

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

SEDE LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

DISEÑO, AUTOMATIZACIÓN Y SUPERVISIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO LOCALIZADO DE ALTA FRECUENCIA, PROTECCIÓN CONTRA HELADAS Y DOSIFICACIÓN DE FERTILIZANTES PARA LA INYECCIÓN QUE REQUIERE EL CULTIVO DE FRAGARIA (FRUTILLA).

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

ELABORADO POR:

**SANTOS BENAVIDES WILLAMS ROBERTO
ZARABIA SANDOVAL BORIS RAÚL**

Latacunga, Septiembre 2008.

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado en su totalidad por Santos Benavides Willams Roberto y Zarabia Sandoval Boris Raúl, bajo nuestra supervisión.

Ing. Marco Singaña.
DIRECTOR DE PROYECTO

Ing. Washington Freire.
CODIRECTOR DE PROYECTO

Ing. Mario Jimenéz.
DIRECTOR DE CARRERA

Dr. Eduardo Vázquez.
SECRETARIO ABOGADO

DECLARACIÓN, AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Quienes suscriben, Santos Benavides Willams Roberto portador de la cédula de ciudadanía 050236219-7 y Zarabia Sandoval Boris Raúl portador de la cédula de ciudadanía 050241128-3, con libertad y voluntariamente declaran que el presente tema de investigación: **“DISEÑO, AUTOMATIZACIÓN Y SUPERVISIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO LOCALIZADO DE ALTA FRECUENCIA, PROTECCIÓN CONTRA HELADAS Y DOSIFICACIÓN DE FERTILIZANTES PARA LA INYECCIÓN QUE REQUIERE EL CULTIVO DE FRAGARIA (FRUTILLA)”**, su contenido, ideas, análisis, implementación, conclusiones y recomendaciones son originales, auténticos y personales.

En tal virtud son para efectos legales y académicos que se desprenden de la presente tesis, es y será de nuestra responsabilidad legal y académica como autores de este proyecto de grado.

Atentamente,

Santos Benavides Willams R.

Zarabia Sandoval Boris R.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar doy gracias a Dios por ofrendarme la vida, la salud y la fuerza para terminar mis estudios. Agradezco infinitamente a mis padres (Rodrigo Santos y Esperanza Benavides) por apoyarme incondicionalmente en todo momento, doy gracias a mis hermanos (Mauricio, Juan C. y Paola) y Anita Jiménez, que siempre estuvieron pendientes de mis estudios y también agradezco a mis maestros y compañeros de estudio que siempre brindaron su amistad y apoyo.

Williams Santos.

Agradezco enormemente a Dios por brindarme la vida y el impulso de seguir luchando y perseverando para conseguir las metas propuestas durante el transcurso de la vida. Agradezco a mis padres Víctor Zarabia y María Luzmila Sandoval por todo el apoyo entregado incondicionalmente en todo momento, a mi esposa y hermanos, quienes han sido los que me han acompañado y me han dado el ánimo de caminar hacia delante. Finalmente agradezco a mis maestros y compañeros, quienes me han brindado la amistad.

Boris Zarabia.

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a Dios y a mis Padres, ya que sin su apoyo hubiera sido imposible terminar mis estudios académicos.

Willams Santos.

Dedico este proyecto a mis Padres, lo cual se lo merecen por la lucha y el esfuerzo enorme por vivir y seguir apoyando.

Boris Zarabia.

NDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDO	Página N°
ÍNDICE DE CONTENIDOS.	i
LISTADO DE FIGURAS.	vii
LISTADO DE TABLAS.	xiii
LISTADO DE ECUACIONES.	xv
LISTADO DE ANEXOS.	xvii

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 TECNOLOGÍA DEL CULTIVO DE FRAGARIA (FRESA).	01
1.1.1 Importancia.	01
1.1.2 Características y Requerimientos del Cultivo de Fresa.	01
1.1.3 Características Físico-Químicas que debe reunir el Suelo.	02
1.1.4 Análisis y Preparación del Suelo.	03
1.1.5 Inconvenientes en el Cultivo.	04
1.1.6 Mantenimiento del cultivo.	07
1.1.6.1 Cobertura de suelo.	07
1.1.6.2 Riego.	08
1.1.6.3 Fertilización.	08
1.1.6.4 Poda.	09
1.2 Mecánica de fluidos.	10
1.2.1 Propiedades Físicas de fluidos.	10
1.2.2 Reservorios y tanques.	12
1.2.3 Sistemas de redes hidráulicas.	12
1.2.4 Tecnologías de los sistemas de riego.	14
1.2.5 Ventajas y desventajas de los sistemas de riego.	22
1.3 Automatización y control.	25
1.3.1 Parámetros y características de automatización y control.	25

1.3.2	Tecnologías de los sistemas de automatización y control.	25
1.3.2.1	Automatización mecánica.	25
1.3.2.2	Automatización neumática.	26
1.3.2.3	Automatización hidráulica.	26
1.3.2.4	Automatización eléctrica.	26
1.3.2.5	Automatización electrónica.	26
1.3.2.6	Control de lazo abierto.	27
1.3.2.7	Control de lazo cerrado.	27
1.3.3	Ventajas y desventajas de los sistemas de automatización y control.	28
1.4	Sistemas Electromecánicos.	29
1.4.1	Generalidades de los sistemas electromecánicos.	29
1.4.2	Dispositivos electromecánicos.	29
1.4.2.1	Máquina Eléctrica.	29
1.4.2.2	Bomba.	35
1.4.2.3	Dosificador de Fertilizantes.	35
1.4.2.4	Banda Transportadora.	37
1.4.2.5	Electroválvulas.	37
1.4.2.6	Servoválvula.	38
1.4.2.7	Relé o relevador.	39
1.5	Tecnología de Interfaces de Comunicación.	39
1.5.1	Medios de Transmisión.	39
1.5.1.1	Medios Guiados.	40
1.5.1.2	Medios no guiados.	44
1.5.2	Enlaces.	51
1.5.3	Tipos de comunicación.	52
1.5.3.1	Comunicación Serial.	52
1.5.3.2	Comunicación Serial RS232.	53
1.5.4	Tipos y Características de las Señales.	55
1.5.4.1	Señales Continuas y Discretas.	55
1.5.4.2	Señales Periódicas y Aperiódicas.	55
1.5.4.3	Velocidad de Transmisión (V_t).	55
1.5.4.4	Ancho de Banda (W).	56

1.5.4.5	Relación entre Ancho de Banda y velocidad de transmisión.	56
1.5.5	Transmisión de Datos Analógicos y Digitales.	57
1.5.5.1	Datos.	57
1.5.5.2	Señales.	58
1.5.5.3	Medios Digitales.	59
1.6	Adquisición de Datos.	59
1.6.1	El sistema de adquisición de datos.	59
1.6.1.1	El transductor.	60
1.6.1.2	Acondicionamiento de señal.	60
1.6.1.3	La conversión Análogo/Digital.	66
1.6.1.4	La etapa de salida.	70
1.7	Tarjetas de adquisición de Datos y Microcontroladores.	70
1.7.1	Tarjetas de Adquisición de Datos.	70
1.7.2	Microcontroladores PIC.	71
1.7.2.1	Arquitectura interna de un microcontrolador.	73

CAPÍTULO II

2 ELEMENTOS DE DISEÑO

2.1	Análisis del área en donde se realizará el proyecto.	76
2.1.1	Dimensionamiento del terreno.	76
2.1.2	Área de estación de bombeo y fertilización.	77
2.1.3	Reservorio de agua.	79
2.1.4	Unidad de supervisión y control.	80
2.2	Sistema Riego localizado de alta frecuencia.	81
2.2.1	Requerimientos de agua del cultivo.	81
2.2.2	Descripción del sistema de riego.	83
2.2.2.1	Cabezal de riego o centro de control.	83
2.2.2.2	La red de distribución.	94
2.2.2.3	Criterios de diseño y selección de equipos.	98
2.3	Automatización y control.	102
2.3.1	Características y parámetros de selección de dispositivos eléctricos y electrónicos de fuerza y control.	102

2.3.1.1	Dispositivos eléctricos.	102
2.3.1.2	Dispositivos electrónicos.	103
2.3.2	Características y parámetros de selección de dispositivos de automatización.	108
2.4	Parámetros de selección de electromecanismos	110
2.5	Supervisión.	111
2.5.1	Características del software del proceso.	112
2.5.2	Parámetros de interfaces de comunicación.	112
2.5.3	Adquisición de datos.	113

CAPÍTULO III

3 DISEÑO, SELECCIÓN Y PROGRAMACIÓN

	Introducción.	115
3.1	Diseño del sistema de riego.	116
3.1.1	Diseño del reservorio de agua.	118
3.1.2	Diseño de la red de tuberías primaria, secundaria y emisión del sistema de riego.	119
3.1.3	Análisis de pérdidas en el sistema de riego.	125
3.1.4	Selección de la bomba.	129
3.4	Diseño de la unidad fertilización.	131
3.4.1	Diseño del Mezclador/Inyector.	131
3.4.2	Diseño del dosificador.	133
3.4.3	Diseño de controladores para los dosificadores.	137
3.5	Diseño del circuito de fuerza del proceso.	139
3.5.1	Circuito de fuerza de las bombas.	139
3.5.2	Circuito de fuerza de las electroválvulas y actuadores.	139
3.5.3	Selección de dispositivos eléctricos de fuerza.	139
3.6	Diseño del Circuito de Control del Proceso.	140
3.6.1	Selección de sensores.	140
3.6.2	Circuito de control.	150
3.6.3	Selección de dispositivos eléctricos de control.	150
3.7	Adquisición de datos.	151

3.7.1	Diseño de acondicionamiento de señales.	151
3.7.1.1	Diseño de acondicionamiento de señales del sensor humedad de suelo.	151
3.7.1.2	Diseño de acondicionamiento de señales del sensor temperatura de suelo.	156
3.7.1.3	Diseño de acondicionamiento de señal del sensor nivel.	159
3.7.1.4	Diseño de acondicionamiento de señales del sensor flujo.	159
3.7.2	Conversión de señales A/D.	160
3.7.2	Diseño y selección de tarjetas y dispositivos para la adquisición de datos.	161
3.8	Selección de interfaces de comunicación módulo DAQ-PC.	162
3.9	Diseño del software para el control y supervisión del proceso.	163

CAPÍTULO IV

4 IMPLEMENTACION – PUESTA EN OPERACION.

4.1	Implementación del reservorio.	168
4.2	Implementación del sistema de riego.	169
4.3	Implementación del sistema de bombeo.	172
4.4	Implementación del sistema de fertilización.	173
4.4.1	Tanque mezclador/inyector.	173
4.4.2	Dosificador.	175
4.5	Implementación del sistema eléctrico de fuerza y control.	176
4.6	Implementación del acondicionamiento de señales y adquisición de datos de variables físicas del terreno.	178
4.7	Implementación del software de supervisión y control.	180
4.8	Regulación y puesta a punto.	181
4.8.1	Calibración.	181
4.8.2	Pruebas y resultados.	139
4.9	Puesta en operación.	197
4.10	Análisis financieros.	200
4.11	Manual de operación del programa de fertirrigación.	202

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1	Conclusiones.	203
-----	---------------	-----

BIBLIOGRAFÍA/ENLACES.

LISTADO DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1.1	Preparación del Suelo.	03
Figura 1.2	Redes abiertas.	12
Figura 1.3	Redes cerradas.	13
Figura 1.4	Redes de riego.	13
Figura 1.5	Riego por superficie.	15
Figura 1.6	Riego por aspersion.	15
Figura 1.7	Riego localizado.	16
Figura 1.8	Sistema de riego por superficie.	17
Figura 1.9	Sistema de riego por aspersion.	18
Figura 1.10	Sistema de riego localizado de alta frecuencia.	19
Figura 1.11	Partes de la red de distribución.	21
Figura 1.12	Control de lazo abierto.	27
Figura 1.13	Control en lazo cerrado.	27
Figura 1.14	Motor de inducción.	31
Figura 1.15	Motor de corriente continua (DC).	32
Figura 1.16	Motor paso-paso unipolar de 5 hilos.	34
Figura 1.17	Motor paso-paso bipolar de 4 hilos.	34
Figura 1.18	Bomba centrífuga.	35
Figura 1.19	Dosificador de fertilizantes sólidos y líquidos.	36
Figura 1.20	Banda transportadora.	37
Figura 1.21	Electroválvulas.	38
Figura 1.22	Servoválvula.	38
Figura 1.23	Esquema de un relé electromagnético.	39
Figura 1.24	Cable coaxial.	41
Figura 1.25	Cable par trenzado.	41
Figura 1.26	Cable par trenzado blindado.	42
Figura 1.27	Cable de fibra óptica.	43

Figura 1.28 Transmisión omnidireccional.	45
Figura 1.29 Transmisión direccional.	45
Figura 1.30 Microonda terrestre.	46
Figura 1.31 Módulo transmisor.	49
Figura 1.32 Módulo receptor.	50
Figura 1.33 Fotodiodo y fototransistor.	51
Figura 1.34 Sistema Punto-a-punto.	51
Figura 1.35 Sistema de Difusión.	51
Figura 1.36 Estructura de un dato serial.	53
Figura 1. 37 Orden de envío del dato.	54
Figura 1.38 Diagrama de bloques de un sistema de adquisición de datos.	59
Figura. 1.39 Amplificador Inversor.	62
Figura 1.40 Amplificador no Inversor.	63
Figura 1.41 Disposición de pines del C.I. CD4016.	65
Figura 1.42 Conversor de aproximaciones sucesivas.	69
Figura 1.43 Tarjeta DAQ de la Serie M.	71
Figura 1.44 Diagrama de bloques del Microcontrolador.	72
Figura 1.45 Oscilador RC.	72
Figura 1.46 Oscilador XT.	72
Figura 1.47 Arquitectura Von Neumann.	73
Figura 1.48 Arquitectura Harvard.	73
Figura 1.49 Memoria de programa.	74

CAPÍTULO II

Figura 2.1 Dimensiones del caballete para el cultivo de fresa.	77
Figura 2.2 Distribución de caballetes en el área de terreno.	77
Figura 2.3 Área de la estación de bombeo.	78
Figura 2.4 Área distribuida en la unidad de fertilización.	78
Figura 2.5 Formas de reservorios.	79
Figura 2.6. Proceso de la evapotranspiración.	81
Figura 2.7 Instalación típica de riego localizado.	83
Figura 2.8 Cabezal de riego por goteo.	84

Figura 2.9 Esquema hidrociclón: a) Entrada de agua, b) Recipiente acumulador arena, c) Salida de agua.	85
Figura 2.10 Curvas caudal-pérdida de carga de hidrociclones.	86
Figura 2.11 Curvas caudal-pérdida de carga en separadores.	86
Figura 2.12 Disposición de la arena en los filtros de grava.	87
Figura 2.13 Filtro de malla.	88
Figura 2.14 Fertilizador tipo Vénturi.	89
Figura 2.15 Tanque de Fertilización.	90
Figura 2.16 Esquema de bomba eléctrica inyectando al sistema.	90
Figura 2.17 Esquema de la bomba hidráulica.	91
Figura 2.18 Inyección por succión de la bomba.	91
Figura 2.19 Esquema de una bomba centrífuga y detalle de un impulsor.	92
Figura 2.20 Cinta de goteo.	97
Figura 2.21 Microaspersor y microjet.	98
Figura 2.22 Símbolo del diodo.	104
Figura 2.23 Símbolo del transistor.	104
Figura 2.24 símbolo del tiristor.	105
Figura 2.25 Símbolo del SCR.	106
Figura 2.26 Símbolo del GTO.	107
Figura 2.27 Símbolo del TRIAC.	107

CAPÍTULO III

Figura 3.1 Red del sistema de riego por goteo de la plantación.	120
Figura 3.2 Red del sistema de riego por microaspersión de la plantación.	120
Figura 3.3 Sistema de riego localizado, goteo y microaspersión.	120
Figura 3.4 Distribución de tuberías en el sistema de goteo, parte 1.	121
Figura 3.5 Distribución de tuberías en el sistema de goteo, parte 2.	121
Figura 3.6 Dimensionamiento y distribución de emisores.	123
Figura 3.7 Tramos del cabezal de riego.	124
Figura 3.8 Dispositivos del Mezclador.	132
Figura 3.9 Estructura del dosificador.	134
Figura 3.10 Dispensador de sólidos.	134

Figura 3.11	Dispensador de líquidos.	135
Figura 3.12	Banda transportadora.	136
Figura 3.13	Esquema del dispensador de sólidos.	137
Figura 3.14	Esquema del controlador de líquidos.	138
Figura 3.15	Sensor Watermark.	141
Figura 3.16	Distribución de pines del LM35.	142
Figura 3.17	Sensor integrado de humedad SHT11 PCB.	143
Figura 3.18	Sensor SHT11 acoplado al SIL.	143
Figura 3.19	Diagrama de Conexión.	144
Figura 3.20	Inicio de transmisión.	144
Figura 3.21	Ejemplo de secuencia de medida para humedad relativa.	146
Figura 3.22	Partes de la Mini-turbina Signet.	148
Figura 3.23	Sensores de presión MPX10D y MPX10DP.	148
Figura 3.24	Sensor de Nivel ON/OFF.	149
Figura 3.25	Sensado de presencia de material.	150
Figura 3.26	Divisor Resistivo.	152
Figura 3.27	Etapa Rectificadora.	153
Figura 3.28	Circuito de activación.	156
Figura 3.29	Sensor Remoto de Temperatura.	157
Figura 3.30	Circuito Amplificador.	157
Figura 3.31	Acondicionamiento de señal del MPX10D.	159
Figura 3.32	Acondicionamiento de señales del sensor de flujo.	160
Figura 3.33	Esquema de conexiones de los canales del PIC 16F877A.	160
Figura 3.34	Diagrama de conexiones de los sensores MPX10D en la tarjeta.	161
Figura 3.35	Interface de comunicación RS232.	162
Figura 3.36	Partes principales de un VI.	163
Figura 3.37	Diagrama de flujo de los “VI” del software de supervisión y control.	164
Figura 3.38	Diagrama de flujo del programa de verificación de actuadores.	165
Figura 3.39	Diagrama de flujo del programa de seteo.	165
Figura 3.40	Diagrama de flujo del programa del proceso.	166
Figura 3.41	Diagrama de flujo de la base de datos.	167

CAPÍTULO IV

Figura 4.1	Constitución física del reservorio.	168
Figura 4.2	Ubicación física del transductor de nivel MPX10DP.	169
Figura 4.3	Instalación física del distribuidor.	169
Figura 4.4	Ubicación de las tuberías y accesorios del múltiple.	170
Figura 4.5	Instalación de las cintas de goteo.	170
Figura 4.6	Instalación de las mangueras en los caballetes.	171
Figura 4.7	Instalación de los microaspersores.	171
Figura 4.8	Instalación del sistema de riego.	172
Figura 4.9	Elementos de fuerza de la bomba.	172
Figura 4.10	Disposición física de los accesorios del tanque mezclador.	173
Figura 4.11	Ubicación del sensor de nivel del tanque mezclador.	173
Figura 4.12	Instalación del sistema de inyección.	174
Figura 4.13	Ubicación del controlador.	174
Figura 4.14	Ubicación física de los elementos del dosificador.	175
Figura 4.15	Dispensador de sólidos y su circuito controlador L298N 12-06.	175
Figura 4.16	Circuito controlador DL 02-07 de las mini-bombas.	176
Figura 4.17	Moto-reductor de la banda transportadora.	176
Figura 4.18	Parte frontal del tablero principal.	177
Figura 4.19	Ubicación física de los elementos del tablero principal.	177
Figura 4.20	Tarjeta de acondicionamiento de señales de los sensores WATERMARK y LM35DZ.	178
Figura 4.21	Módulo de variables físicas.	179
Figura 4.22	Ubicación física del sensor WATERMARK y LM35DZ.	179
Figura 4.23	Ubicación física del módulo de transmisión del SHT11.	180
Figura 4.24	Pantalla de presentación del software de supervisión y control.	180
Figura 4.25	Cuadro de dialogo para ingresar la clave.	181
Figura 4.26	Pantalla de menú principal.	181
Figura 4.27	Pantalla del seteo.	182
Figura 4.28	Pantalla de dosificadores de líquidos y sólidos.	183
Figura 4.29	Pantalla del cuadro de dialogo.	183
Figura 4.30	Pantalla del proceso (sistema de riego virtual).	184

Figura 4.31 Pantalla de reportes.	185
Figura 4.32 Pantalla de heladas.	185
Figura 4.33 Pantalla de la base de datos.	187
Figura 4.34 Pantalla de verificación de actuadores.	187
Figura 4.35 Calibración de la humedad de suelo.	188
Figura 4.36 Calibración de la temperatura de suelo.	189
Figura 4.37 Medida de la humedad relativa y temperatura ambiente.	190
Figura 4.38 Calibración del nivel de líquido.	191
Figura 4.39 Calibración del dispensador de sólidos.	192
Figura 4.40 Calibración del dispensador de líquidos.	192

LISTADOS DE TABLAS

CAPÍTULO I

Tabla 1.1 Plagas comunes en el cultivo de fresa.	05
Tabla 1.2 Enfermedades más comunes.	06
Tabla 1.3 Recomendación general de fertilización para la fresa (para una densidad de 50.000 plantas por hectárea).	09
Tabla 1.4 Colores de los cables del motor paso-paso.	33
Tabla 1.5 Régimen de transmisión.	46
Tabla 1.6 Capacidad de transmisión.	47
Tabla 1.7 Rango de frecuencias.	47
Tabla 1.8 Dirección que viajan los datos.	52
Tabla 1.9 Tipos de señales.	58

CAPÍTULO II

Tabla 2.1 Materiales para construir reservorios.	80
Tabla 2.2 Selección del tipo de filtro dependiente del elemento contaminante.	84
Tabla 2.3 Tamaño medio de las partículas de arena de los filtros de grava (mm) y el diámetro de poros que genera (mm).	87

CAPÍTULO III

Tabla 3.1 Diámetros seleccionados en los múltiples.	122
Tabla 3.2 Diámetros seleccionados en la red de distribución para el sistema de goteo.	123
Tabla 3.3 Diámetros seleccionados en la red de distribución, sistema de microaspersión.	124
Tabla 3.4 Diámetros seleccionados en el cabezal de riego.	125
Tabla 3.5 Pérdidas de carga en el múltiple a-A1-b.	126
Tabla 3.6 Pérdidas de carga totales en los múltiples.	126
Tabla 3.7 Pérdidas totales de carga en la red de distribución.	127
Tabla 3.8 Pérdidas totales de carga en el cabezal de riego.	127

Tabla 3.9	Pérdidas totales por accesorios de todo el sistema de riego.	128
Tabla 3.10	Detalle de pérdidas totales en el sistema.	130
Tabla 3.11	Selección de los dispositivos de fuerza para la activación de los actuadores.	140
Tabla 3.12	Comando y códigos.	144
Tabla 3.13	Distribución de pines MPX10D y MPX10DP.	149
Tabla 3.14	Dispositivos eléctricos de control del mando manual.	151
Tabla 3.15	Rango de operación de sensado.	154
Tabla 3.16	Rangos de alimentación y su respectiva medida para el convertidor.	155
Tabla 3.17	Rango de temperatura y tensión de salida.	158

CAPÍTULO IV

Tabla 4.1	Resultados obtenidos en las pruebas del sistema de goteo.	193
Tabla 4.2	Resultados obtenidos en las pruebas del sistema de microaspersión.	194
Tabla 4.3	Resultados obtenidos en las pruebas de diferentes insumos sólidos y Líquidos.	195
Tabla 4.4	Resultados obtenidos en las pruebas de tiempos de mezcla de insumos sólidos.	196
Tabla 4.5	Resultados de los valores obtenidos en la prueba del sistema contra heladas.	196
Tabla 4.6	Datos para el seteo del proceso.	197
Tabla 4.7	Secuencia de activación de los dispositivos del sistema de riego.	198
Tabla 4.8	Datos de los registros de las variables físicas.	199
Tabla 4.9	Resultados del consumo de agua y fertilizantes.	200
Tabla 4.10	Detalle de costos de los equipos del sistema de riego.	201
Tabla 4.11	Cálculo de la inversión del proyecto.	202

LISTADO DE ECUACIONES

CAPÍTULO I

Ecuación 1.1	10
Ecuación 1.2	10
Ecuación 1.3	10
Ecuación 1.4	46
Ecuación 1.5	47
Ecuación 1.6	48
Ecuación 1.7	48
Ecuación 1.8	55
Ecuación 1.9	55
Ecuación 1.10	56
Ecuación 1.11	57
Ecuación 1.12	62
Ecuación 1.13	62
Ecuación 1.14	62
Ecuación 1.15	62
Ecuación 1.16	63
Ecuación 1.17	63
Ecuación 1.18	64
Ecuación 1.19	64
Ecuación 1.20	67

CAPÍTULO II

Ecuación 2.1	79
Ecuación 2.2	80
Ecuación 2.3	82
Ecuación 2.4	82
Ecuación 2.5	92
Ecuación 2.6	93
Ecuación 2.7	93

Ecuación 2.8	99
Ecuación 2.9	100
Ecuación 2.10	100
Ecuación 2.11	101
Ecuación 2.12	101
Ecuación 2.13	101
Ecuación 2.14	101
Ecuación 2.15	101

CAPÍTULO III

Ecuación 3.1	117
Ecuación 3.2	117
Ecuación 3.3	117
Ecuación 3.4	117
Ecuación 3.5	118
Ecuación 3.6	119
Ecuación 3.7	130
Ecuación 3.8	153
Ecuación 3.9	157

LISTADO DE ANEXOS

- ANEXO A1 Transmisor TWS 434a.
- ANEXO A2 Receptor RWS 434.
- ANEXO A3 Radiación solar extraterrestre (R_0).
- ANEXO A4 Características técnicas de los emisores.
- ANEXO A5 Informe de peritaje.
- ANEXO A6 Análisis de suelo.
- ANEXO A7 Plano de la plantación.
- ANEXO A8 Coeficiente K_c .
- ANEXO A9 Diámetros y pérdidas de tubería pvc a diferentes caudales.
- ANEXO A10 Nomograma del regulador de presión fijo.
- ANEXO A11 Operación y mantenimiento de la bomba 1hp.
- ANEXO A12 Data sheet pic 16F628A.
- ANEXO A13 Data sheet L298N dual full-bridge driver.
- ANEXO A14 Circuito de fuerza de las bombas.
- ANEXO A15 Circuito de fuerza de las electroválvulas y actuadores.
- ANEXO A16 Sensor de humedad de suelo WATERMARK.
- ANEXO A17 Data sheet LM35.
- ANEXO A18 Data sheet SHT11.
- ANEXO A19 Datos técnicos MINI-TURBINA SIGNET.
- ANEXO A20 Data sheet MPX10D.
- ANEXO A21 Sensor empty type.
- ANEXO A22 Data sheet LM324.
- ANEXO A23 Data sheet PIC16F877A.
- ANEXO A24 Data sheet CD4016BC.
- ANEXO A25 Características técnicas de la DAQ 6221.
- ANEXO A26 Diagrama de conexiones de la tarjeta de DAQ de variables físicas.
- ANEXO A27 Artículo del diario EL COMERCIO.
- ANEXO A28 Manual de operación del sistema de fertirrigación.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 TECNOLOGÍA DEL CULTIVO DE FRAGARIA (FRESA).¹

1.1.1 Importancia.

Se ha convertido en un cultivo industrial muy importante a nivel mundial, se puede afirmar que la planta posee las más variadas y complejas posibilidades de manejo, estas condiciones ha permitido un desarrollo científico y tecnológico en la producción de esta fruta. Las características morfológicas y fisiológicas de este cultivo permiten manejar en condiciones de ambiente controlado y no controlado, también la atracción que ofrecen sus características de forma, color, gusto y aroma, ha hecho de la fresa uno de los productos más apetecidos, tanto para consumo directo como para la elaboración de derivados que son de gran demanda universal.

1.1.2 Características y Requerimientos del Cultivo de Fresa.

La fresa es un cultivo que se adapta muy bien a muchos tipos de climas. Su parte vegetativa es altamente resistente a heladas, llegando a soportar temperaturas de hasta -20 °C, aunque los órganos florales quedan destruidos con valores algo inferiores a 0 °C. Al

¹ http://www.proexant.org.ec/Manual_Frutilla.html

mismo tiempo son capaces de sobrevivir a temperaturas calurosas de 55 °C. Los valores óptimos para una fructificación adecuada se sitúan en torno a los 15 a 20 °C de temperatura media anual.

Temperaturas por debajo de 12 °C durante el cuajado dan lugar a frutos deformados por frío, en tanto que un tiempo muy caluroso puede originar una maduración y coloración del fruto muy rápida, lo cual le impide adquirir un tamaño adecuado para su comercialización.

En latitudes de la zona ecuatorial, la pluviometría mínima requerida en sequía se sitúa en torno a los 600 mm y en regadío es necesario aportar en el orden de 2000 mm durante el ciclo del cultivo.

La influencia del suelo, su estructura física y contenido químico es una de las bases para el desarrollo de la fresa. Éste prefiere suelos equilibrados, ricos en materia orgánica, aireados, bien drenados, pero con cierta capacidad de retención de agua.

El equilibrio químico de los elementos nutritivos se considera más favorable que una riqueza elevada de los mismos. Un nivel bajo de patógenos son igualmente indispensables para el cultivo.

La granulometría² óptima de un suelo para el cultivo de la fresa es aproximadamente: 50% de arena silíceo, 20% de arcilla, 15% de calizas y 5% de materia orgánica.

En definitiva, un suelo catalogado como arenoso o franco-arenoso y homogéneamente profundo se acercaría al ideal para este cultivo.

La fresa es un cultivo muy exigente, tanto en las cantidades de agua muy repartida y suficiente a lo largo del cultivo, como la calidad que presente ésta. El cultivo disminuye su rendimiento, con concentraciones de sales en el agua superiores a 0,8 mmhos/cm.

1.1.3 Características Físico-Químicas que debe reunir el Suelo.

- a) **PH.** La fresa soporta valores entre 6 y 7. Situándose el óptimo en torno a 6,5 e incluso menor.
- b) **Materia orgánica.** Serían deseables niveles del 2 al 3%.

² Es parte de la petrografía que trata de la medida del tamaño de las partículas, granos y rocas de los suelos

- c) **C/N = 10.** Se considera un valor adecuado para la relación carbono/nitrógeno, con ello se asegura una buena evolución de la materia orgánica aplicada al suelo.
- d) **Sales totales.** Se debe evitar suelos salinos, con concentraciones de sales que originen Conductividad Eléctrica en extracto saturado superiores a 1 mmhos/cm, puede empezar a registrarse disminución en la producción de fruta.
- e) **Caliza activa.** La fresa es muy sensible a la presencia de caliza activa, sobre todo a niveles superiores del 5%. Valores superiores provocan el bloqueo del hierro y la clorosis consecuente.

1.1.4 Análisis y Preparación del Suelo.

El suelo es un factor importante para cualquier tipo de cultivo, por la misma razón, es necesario realizar un previo análisis del suelo; por la cual se realiza un muestreo de diferentes áreas, estas muestras son enviadas a un laboratorio de suelos. Los resultados permiten conocer la calidad, tipo suelo, materia orgánica, macro y micro elementos.

En primer lugar se procede a realizar las labores más comunes y generales como; arar el suelo, subsolar (remover por debajo de la capa arable) si es necesario, rastrar, nivelar y proceder al trazado de la plantación mediante la configuración técnica de las caballetes de siembra y de las vías de acceso para facilitar las labores culturales, controles fitosanitarios, cosecha, etc. La preparación del suelo permitirá un buen aflojamiento en los primeros 0.40 m, lo ideal es subsolar para romper capas compactas e impermeables y mejorar el drenaje, tomando en cuenta que es un cultivo que dura varios años. La Figura 1.1 muestra una fotografía de la preparación del suelo para el cultivo.



Figura 1.1 Preparación del Suelo.

La desinfección del suelo es necesaria, ya sea sobre los caballotes de cultivo o en la totalidad del terreno, usando productos químicos en dosis recomendadas por los fabricantes.

También, como en el caso de España, se utiliza el método de la solarización, que se basa en la elevación de la temperatura del suelo durante treinta o más días en la época de máxima temperatura. Primeramente se debe partir de una buena preparación del suelo, procurando que no queden bolsas de aire, luego regar agua e inmediatamente colocar plástico transparente, cuya función es la de retener el calor procedente de los rayos solares en el suelo para que se eleve la temperatura del mismo, de 15 a 20 °C por encima de la temperatura del suelo sin cubierta plástica.

Por la experiencia obtenida, la temperatura del suelo puede elevarse hasta 49 °C a 10 cm de profundidad y a 43 °C a 20 cm de profundidad. La solarización provoca una reducción de la población de hongos del suelo y la incidencia de las enfermedades, así mismo actúa sobre insectos que habitan en las capas altas del suelo.

Entre los hongos patógenos controlados por esta técnica se tiene *Verticillium sp.*, *Fusarium sp.*, *Rhizoctonia solani*, *Pythium ultimum*, *Pyrenochaeta lycopersici* y *Phytophthora cinnamomi*. No obstante las poblaciones de *Pythium* se ven menos castigadas con esta técnica, por lo que se debe fumigar con bromuro de metilo.

Otra posibilidad es la combinación de la solarización con algún fumigante, es posible lograr mejores resultados con respecto a la simple solarización.

1.1.5 Inconvenientes en el Cultivo.³

Los principales inconvenientes que pueden presentarse en un cultivo de fresa, son los siguientes:

a) Crecimiento de Malezas. En los caminos entre caballotes se puede aplicar herbicidas, teniendo cuidado de no afectar las plantas de frutilla. Para los caballotes la eliminación de las malezas es por deshierbe manual.

³ www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/tec_fresa.pdf

b) Plagas y Enfermedades.

Plagas comunes. En la siguiente Tabla se indican las diferentes plagas, el daño que causa al cultivo y el químico que se debe aplicar para su control.

PLAGAS	DAÑO	CONTROL
Arañita roja. <i>Tetranychus sp</i>	Destruyen el tejido verde, viven principalmente en el envés de las hojas.	Abamectina.
Pulgones. <i>Mizus persicae y Aphis sp</i>	Provocan amarillamiento de hojas, transmiten virus.	Metamidophos, Dimetoato, Garlic.
Gusano de tierra. <i>Agrotis sp y Feltia sp.</i>	Cortan hojas y estolones de tallo.	Cebos tóxicos (carbaryl+melaza+afrecho).
Gusano Blanco o Sacho. <i>Bothynus sp.</i>	Se alimenta de las raíces debilitando a la planta o provocando su mortandad.	Cebos tóxicos.
Babosas y Caracoles. <i>Agriolimax lavéis, Helix sp.</i>	Se alimentan de los frutos, haciendo orificios provocando su putrefacción.	Cebos tóxicos.

Tabla 1.1 Plagas comunes en el cultivo de fresa.

Enfermedades no Infecciosas. En ellas no hay un organismo patógeno causal, y pueden deberse a factores fisiológicos, físicos o genéticos. Dentro de ellas se puede mencionar:

- Cara de gato o deformidad del fruto.
- Daño por heladas que afecta a flores y frutos.
- Deformidad del fruto que se debe a características parietales acentuadas por condiciones climáticas adversas, durante los periodos secos.
- Fruta deformada por daño de herbicidas, deficiencias de microelementos, exceso de Nitrógeno, ataque de hongos o insectos que dañan físicamente a la flor, no permitiendo su normal fecundación.

- Albinismo, la fruta se presenta moteada rosada y blanca, la causa se cree puede ser un rápido crecimiento anormal por un exceso de Nitrógeno y problemas climáticos.
- Sequía, la pérdida normal de agua a través de las hojas durante la época seca, combinada con vientos secantes o altas temperaturas, pueden producir un stress y debilitamiento total de la planta; además, disminución del tamaño del fruto o desecamiento de ellos, dejándolos como pasas.
- Daño por exceso de sales, ya sea en el suelo o en el agua de riego, produce fitotoxicidad notoria en los bordes de las hojas y disminución en el crecimiento.
- Deficiencias nutricionales.

Enfermedades más comunes. La Tabla 1.2 muestra las enfermedades, el daño que provocan al cultivo y como se debe controlar.

ENFERMEDADES	DAÑO	CONTROL
Mancha de la hoja. <i>Mycosphaerella fragariae</i>	Provoca la presencia de manchas pequeñas redondas de color rojizo a púrpura pudiendo causar destrucción de hojas.	Eliminando las hojas atacadas y/o realizar aplicaciones preventivas base de Mancozeb, Agrilife.
Podredumbre gris. <i>Botrytis cinerea</i>	Los frutos en contacto con el suelo son infectados, mientras que frutos maduros por efecto de la enfermedad se secan y quedan momificados.	Aplicando funguicidas a base de Zineb. Benomil tan pronto como los botones florales sean visibles.
Oidium. <i>Spheroteca macularis</i>	El borde de las hojas se enrolla hacia arriba del borde, provocan deformación de frutos.	Azufre micronizado.
Podredumbre negra de la raíz. <i>Phitoptora sp</i> <i>Rizoctoniasp</i>	Las raíces presentan manchas o lesiones ovaladas de color marrón.	Usando plantas sanas, tratando el material a propagar con Thiran y/o Agrilife.

Tabla 1.2 Enfermedades más comunes.

1.1.6 Mantenimiento del cultivo.⁴

1.1.6.1 Coberturas de suelo.

Consiste en cubrir los caballetes con algún material que impida que la fruta tenga contacto directo con el suelo. La cobertura a su vez, cumple otras funciones importantes como:

- Mantiene a la fruta limpia.
- Evitar el crecimiento de malezas.
- Aumenta la retención de humedad en el suelo.
- Evita el salpique del agua, lo que disminuye los problemas de enfermedades.

Existen diferentes materiales que se pueden utilizar como coberturas; entre ellos: la granza de arroz, el aserrín, la paja de gramíneas y el polietileno, de diferente color y grosor.

Se utiliza el polietileno negro, de 0,2 a 0,4 mm de grosor, con aditivo para evitar el daño de los rayos ultravioletas; ya que tiene las siguientes ventajas:

- Ejercer un eficiente combate de malezas.
- Aumenta la temperatura del suelo.
- Tiene una vida útil de más de un año en el campo.

Presenta el inconveniente de que a veces produce calentamiento excesivo, quemando frutas y hojas.

El polietileno se coloca sobre el caballete, una vez que ésta se ha preparado totalmente, inclusive con la aplicación de fertilizantes e insecticidas de suelo.

Se tensa bien y se prensa a ambos lados del caballete con la misma tierra o con grapas de alambre galvanizado. Una vez colocado, se marca la distancia de siembra y se abren agujeros de unos 10 cm de diámetro en cada punto, donde van las plantas.

⁴ <http://fichas.infojardin.com/hortalizas-verduras/fresa-fresas-freson-fresones-frutillas-fresales.htm>

Los otros tipos de coberturas aunque tienen la ventaja de ser más baratas, provocan pérdida de agua, pueden introducir nuevas malezas al terreno y son muy difíciles de conseguir por los grandes volúmenes que se utilizan.

1.1.6.2 Riego.

El riego es un factor fundamental en la producción de fresas, puesto que las plantas necesitan del agua durante su crecimiento y producción.

Es necesario contar con un adecuado sistema de riego. Debido al uso de coberturas de suelo, sólo se utilizan los sistemas de riego por aspersión o por goteo.

Cuando es por aspersión, se prefieren aspersores pequeños y de gota fina para no afectar la floración. El sistema de riego por goteo que ha dado mejores resultados, es de manguera tipo "by wall" con doble pared y con salidas de agua cada 25 cm. Con este sistema basta una sola manguera por cada caballete de 70 cm de ancho.

1.1.6.3 Fertilización.

Dado que el cultivo de la fresa es muy intensivo y además es una planta de alta producción, es importante mantener un programa de fertilización para reponer la extracción de nutrientes y mantener la fertilidad del suelo.

La experiencia de los productores en el país, demuestra que el cultivo puede responder en forma diferente de acuerdo a las circunstancias que se presenten.

En la siguiente Tabla se presenta, a manera de recomendación general, un plan de fertilización para usarlo en aquellos terrenos que han sido cultivados anteriormente otros cultivos, o en donde se siembre fresa en forma intensiva; este plan debe adaptarse a las condiciones de terreno, mediante la interpretación del análisis de suelo respectivo, que se lo realiza en un laboratorio de suelos.

La fertilización del suelo consiste aportar al cultivo los macro y micro elementos que requiere las plantas de fresa para su desarrollo y producción.

Época de fertilización	Nutriente aplicado (Kg/ha)					Consumo de fertilizante			
	N	P	K	Mn	Br	Fórmula ⁵	g/plta	Kg/ha	Sacos/ha
En la siembra									
A los 45 días	100	300	100			10-30-10	20	1000	20
Después de la cosecha	50					Nitrato de amonio	3	150	3
	180	50	150	60	20	18-5-15-6-2	20	1000	20

Tabla 1.3 Recomendación general de fertilización para la fresa (para una densidad de 50.000 plantas por hectárea).

El plan anterior de fertilización debe complementarse con una aplicación mensual de abono foliar con alto contenido de magnesio, boro y calcio.

1.1.6.4 Poda.

Por el tipo de crecimiento de la planta de fresa, la producción constante de tallos hace que la planta tome una forma de macolla (conjunto de vástagos), en donde se acumula gran cantidad de hojas y ramas muertas; consecuencia también del calor producido por la cobertura de polietileno negro. Esta hojarasca retiene humedad que facilita el ataque de hongos a la fruta y además dificulta la aplicación de plaguicidas, por lo que es necesario eliminarla mediante una poda de limpieza.

La poda debe realizarse después de los ciclos fuertes de producción; se quitan los racimos viejos, hojas secas y dañadas, y restos de frutos que quedan en la base de la macolla. Se debe tener cuidado de no maltratar la planta y no se debe podar antes de la primera producción. Al aumentar la penetración de luz a las hojas, así como la ventilación, acelera la renovación de la planta. Esto facilita la aplicación de plaguicidas y previene el ataque de hongos en la fruta.

⁵ La fórmula 10-30-10 debe ser con azufre y no con cloro.

1.2 Mecánica de Fluidos.

1.2.1 Propiedades Físicas de los Fluidos.

Definición.

Fluido es una sustancia que se deforma continuamente, o sea se escurre, cuando está sometido a un esfuerzo cortante o tangencial.

Masa específica, peso específico y densidad.⁶

Se denomina masa específica (m) a la cantidad de materia por unidad de volumen (v) de una sustancia. Se designa por P al peso específico y se define:

$$P = \lim (m/v); v \rightarrow 0 \quad \text{Ec. 1.1}$$

El peso específico corresponde a la fuerza con que la tierra atrae a una unidad de volumen. Se designa por β . La masa y el peso específico están relacionados por:

$$\beta = gP \quad \text{Ec. 1.2}$$

Donde g representa la intensidad del campo gravitacional.

Se denomina densidad a la relación que existe entre la masa específica de una sustancia cualquiera y una sustancia de referencia. Para los líquidos se utiliza la masa específica del agua a 4 °C como referencia, que corresponde a 1 g/cm³, y para los gases se utiliza al aire como masa específica a 20 °C y 11,013 bar de presión, que corresponde a 1,204 kg/m³.

$$\rho = \frac{1}{\bar{V}} \quad \text{Ec. 1.3}$$

Donde:

ρ = Densidad.

\bar{V} = Volumen específico.

⁶ Grane, Flujo de fluidos, McGraw-Hill, Primera Edición, Pág.1-2,1-3

Viscosidad.

La viscosidad es una propiedad distintiva de los fluidos. Está ligada a la resistencia que opone un fluido a deformarse continuamente cuando se le somete a un esfuerzo cortante.

Esta propiedad es utilizada para distinguir el comportamiento entre fluidos y sólidos.

Compresibilidad.

La compresibilidad representa la relación entre los cambios de volumen y los cambios de presión a que está sometido un fluido. Las variaciones de volumen pueden relacionarse directamente con variaciones de la masa específica si la cantidad de masa permanece constante.

En general se sabe que en los fluidos; la masa específica depende tanto de la presión, como de la temperatura, de acuerdo a la ecuación de estado.

Presión de vapor.

Los fluidos en fase líquida o gaseosa, dependiendo de las condiciones en que se encuentren contenidas, las sustancias puras pueden pasar por las cuatro fases, desde sólido a plasma, según las condiciones de presión y temperatura a que estén sometidas.

Cuando a un líquido se le disminuye la presión a la que está sometido, hasta llegar a un nivel en el que comienza a bullir, se dice que ha alcanzado la presión de vapor. Esta presión depende de la temperatura.

Tensión superficial.

Se ha observado que entre la interfase de dos fluidos que no se mezclan se comportan como si fuera una membrana tensa. La tensión superficial es la fuerza que se requiere para mantener en equilibrio una longitud unitaria de esta película. El valor de ella dependerá de los fluidos en contacto y de la temperatura. Los efectos de la tensión superficial solo son apreciables en fenómenos de pequeñas dimensiones, como es el caso de tubos capilares, burbujas, gotas y situaciones similares.

1.2.2 Reservorios y tanques.

Reservorio o estanque es una fosa construida con el objetivo de acumular agua de cualquier medio como una especie de almacén. Se construye donde no ocupe mucho espacio, ni requiera gran cantidad de recursos, su forma es la de un trapecio, con inclinaciones aproximadas al 20% de pendiente, es impermeabilizada con plástico ó concreto, entre otros materiales dependiendo del diseño del reservorio. Los mismos que son alimentados por agua lluvia, canales de riego y agua potable.

La fosa debe impermeabilizarse con plástico negro comercial y puede construirse de diferentes medidas, la profundidad del estanque depende del objetivo por el que se haya construido.

Uso: Sirve para la conservación de agua de lluvia, para utilizarla en el verano; tanto para riego, como para suministro de agua al ganado o limpieza de instalaciones; para la producción de lechuga de agua, para la alimentación de cerdos, para la producción de peces o para varias actividades.

1.2.3 Sistemas de redes hidráulicas.

Existen los siguientes sistemas de redes.

Redes abiertas.

Redes de tubos madres o líneas expresas en sistemas de acueductos. Se caracteriza por no tener ningún circuito cerrado en el sistema. En la Figura 1.2, se muestra un esquema de este tipo de red, en un sistema de riego localizado de alta frecuencia también se tiene este tipo de red.



Figura 1.2 Redes abiertas.

Redes cerradas.

Conocidas también como sistemas con circuitos cerrados o ciclos. Su característica primordial es tener algún tipo de circuito cerrado en el sistema. El objetivo es tener un sistema redundante de tuberías; cualquier zona dentro del área cubierta por el sistema puede ser alcanzada simultáneamente por más de una tubería, aumentando así la confiabilidad del abastecimiento. Éste es el tipo de red que conforma el suministro de agua potable, dentro del esquema de acueducto de una ciudad. En la Figura 1.3, se muestra un ejemplo de este tipo de red.

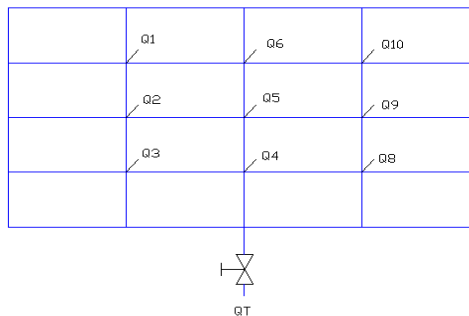


Figura 1.3 Redes cerradas.

Redes de riego.

Este tipo de redes se utiliza en los sistemas de riego a presión, en particular en los de riego localizado de alta frecuencia. Al igual que en las redes abiertas, las de riego tampoco tienen circuitos cerrados, pero a diferencia de aquéllas, las tuberías se bifurcan constantemente para cubrir todo el terreno que debe irrigarse. Un ejemplo se muestra en la Figura 1.4.

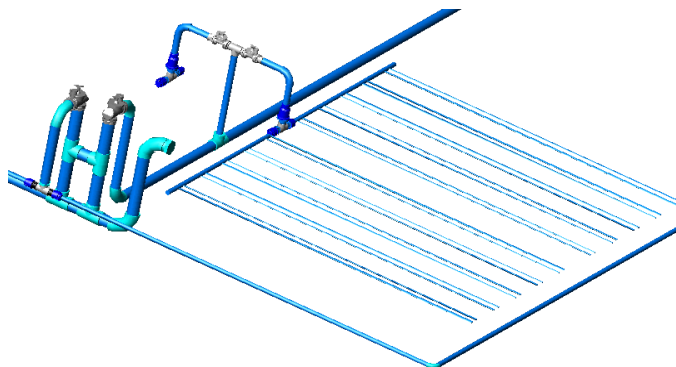


Figura 1.4 Redes de riego.

1.2.4 Tecnologías de los Sistemas de riego.

1. Definición de un sistema de riego.

Un sistema de riego es el conjunto organizado de funciones y dispositivos mediante un método o técnica, cuyo funcionamiento ordenadamente relacionado, permite completar las necesidades de agua de los cultivos, aportando una cantidad extra a la que cae con la lluvia o una cantidad requerida.

2. Métodos de riego.

Por método de riego se entiende a las técnicas y procedimientos empleados en hacer que el agua humedezca la zona de raíces. La técnica de riego consiste en reponer la humedad del suelo en cantidad y oportunidades adecuadas.

3. Clasificación de los métodos de riego.

Dichas técnicas; según la forma de aplicación del agua al suelo y su disposición se clasifican en:

- a) Riego por superficie.
- b) Riego por aspersión.
- c) Riego localizado.

a) Riego por Superficie. Necesita que el agua llegue a la parcela con energía gravitatoria, y utiliza la superficie del terreno para su distribución; para que los mismos sean eficientes.

Es recomendable que se realicen en suelos uniformes, profundos y bien nivelados.

En el caso de tener aguas o suelos salinos, este tipo de riego permite realizar lavados más enérgicos que otros sistemas. En la Figura 1.5, se puede ver la aplicación de este método.



Figura 1.5 Riego por superficie.

b) Riego por aspersión. Como se muestra en la Figura 1.6, este método es un sistema mecanizado, que permite la aplicación del agua en el suelo en forma de aspersión, o sea, fraccionando el caudal en gotas, asegurando un manejo eficiente de la lámina de riego. Tiene la ventaja, sobre el riego por gravedad, ya que se puede aplicar eficientemente en suelos con alto coeficiente de infiltración, suelos poco profundos, o suelos con topografía muy accidentada.



Figura 1.6 Riego por aspersión.

c) Riego localizado. Es una técnica de aplicación del agua en el suelo mediante caudales reducidos, sobre un área restringida del volumen radicular de los cultivos, con una alta frecuencia de aplicación, que permite mantener el suelo en condiciones cercanas a la capacidad de campo. Además también puede practicarse la fertirrigación en cantidades y momentos oportunos.

La alta frecuencia favorece la absorción de agua por doble efecto, mantener elevadas las condiciones de humedad y lograr que bajen las concentraciones salinas. Una de las aplicaciones de riego localizado se muestra en la Figura 1.7.



Figura 1.7 Riego localizado.

4. Clasificación de los sistemas de riego.

Según los métodos de riego se clasifican en:

i. Sistemas de riego por superficie.

- Riego por surcos (por ejemplo, un huerto).
- Riego a manta (por ejemplo, inundando un arriate⁷).

ii. Sistemas de riego por aspersion.

- Riego con aspersores.
- Riego con difusores.

iii. Sistemas de riego localizado de alta frecuencia.

- Riego por goteo.
- Riego subterráneo.
- Riego con cintas de exudación.
- Riego con microaspersores.

⁷ Cantero estrecho y dispuesto para sembrar las plantas de frutilla.

i. Sistemas de riego por superficie.

Éste consiste en utilizar el propio suelo como sistema de distribución dentro de la parcela, llevando el agua desde la zona próxima al lugar de suministro, denominada cabecera de parcela, hasta que alcance el lugar más lejano, denominado cola de parcela, infiltrándose en el suelo a medida que va avanzando a lo largo de éste (Ver Figura 1.8).

Este sistema solo necesita de una fuente de agua y la técnica del método de riego. La fuente de agua puede ser superficial de presa, lago, río o manantial, conducida a través de un canal de riego.

Las técnicas son distintas, ya que para seleccionar depende de algunos factores tales como: el tipo de suelo, topología del terreno y el tipo de cultivo.



Figura 1.8 Sistema de riego por superficie.

Además, existen en este método limitaciones mayores que pueden conducir al rechazo, como puede ser la topografía y la permeabilidad de los suelos. Se requieren terrenos planos o con pendientes suaves. También, como el suelo realiza el transporte y distribución del agua en la parcela, este método no es aconsejable en suelos arenosos gruesos, de muy alta permeabilidad, ni en los arcillosos pesados con tendencia al agrietamiento.

ii. Sistemas de riego por aspersión.

La Figura 1.9, muestra aquel sistema de riego que trata de imitar a la lluvia. Es decir, el agua destinada al riego se hace llegar a las plantas por medio de tuberías y mediante unos pulverizadores, llamados aspersores, y gracias a una presión determinada, el agua se eleva

para que luego caiga pulverizada o en forma de gotas sobre la superficie que se desea regar.



Figura 1.9 Sistema de riego por aspersión.

Para conseguir un buen riego por aspersión son necesarios:

1. Presión en el agua.
2. Un correcto diseño de la red de tuberías adecuadas a la presión del agua.
3. Aspersores adecuados que sean capaces de esparcir el agua a presión que les llega por la red de distribución.
4. Depósito de agua que conecte con la red de tuberías.

1. Presión en el agua. Es necesaria por dos motivos: la red de distribución se multiplica en proporción a la superficie que debe regar, teniendo en cuenta que el agua debe llegar al mismo tiempo y a la misma presión a las bocas donde se encuentran instalados los mecanismos de difusión (aspersores), con el fin de conseguir un riego uniforme. La segunda razón, es que la presión del agua debe ser capaz de poner en marcha todos los aspersores al mismo tiempo sean fijos o móviles.

En el caso que la presión de la red no sea suficiente, se deberá instalar un motor que dé la presión suficiente desde el depósito hasta los aspersores.

2. Red de tuberías. En general la red de tuberías que conducen el agua a la superficie a regar se compone de ramales de alimentación, los mismos que suministran el agua a los

ramales secundarios que conectan directamente con los aspersores. Todo esto supone un estudio técnico adecuado ya que de él dependerá el éxito de la instalación.

3. Aspersores. Los más utilizados en la agricultura son los giratorios, porque giran alrededor de su eje y permiten regar una superficie circular impulsados por la presión del agua, aunque en el mercado los hay de variadas funciones y distinto alcance. Son parte muy importante del equipo de riego por aspersión y por tanto el modelo, tipo de lluvia (más o menos pulverizada) que producen, alcance, etc., deben formar parte del estudio técnico antes mencionado.

4. Depósito del agua. Desempeña dos funciones: la de almacenamiento del agua suficiente para uno o varios riegos y la de ser punto de enlace entre el agua sin presión y el motor de impulsión de esa agua a la presión necesaria para el riego calculado.

iii. Sistemas de riego localizado de alta frecuencia.

Los equipos de riego localizado permiten suministrar agua y fertilizantes en forma dirigida a la planta. El agua es conducida a cada planta a través de una red de tuberías y es entregada por goteros, microjet o cinta. En el terreno el agua se distribuye formando un bulbo de mojado cuya forma y tamaño depende del tipo de suelo, caudal del emisor y tiempo de riego.

Una instalación típica de riego localizado se muestra en la Figura 1.10, está constituida por una fuente de agua, cabezal de riego, aparatos de control hidráulico, una red de distribución y emisores (gotero, microjet, microaspersor o cinta).

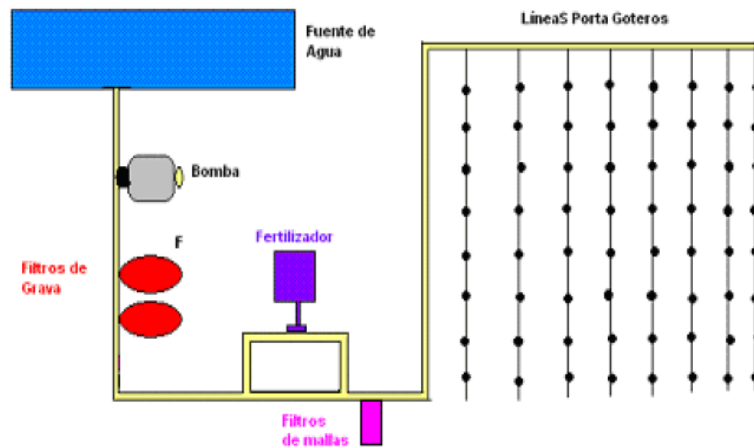


Figura 1.10 Sistema de riego localizado de alta frecuencia.

a. Fuente de agua. Puede ser:

- Superficial: presa, lago, río o manantial, conducida a través de un canal de riego.
- Subterránea: extraída de un pozo tubular a tajo abierto.

La alta frecuencia de riego en estos sistemas, exige el uso de reservorios que permiten la regulación y disponibilidad permanente del agua, además se debe sedimentar las impurezas que podrían obstruir los goteros.

b. El cabezal de riego. Comprende los equipos de bombeo, filtros y el equipo de fertirrigación.

- **Equipo de bombeo.** Son centrífugos, de eje vertical BTV u horizontal, impulsadas por motores estacionarios a explosión o eléctricos. La dimensión del equipo de bombeo dependerá del caudal y presión de operación requerida para el funcionamiento del sistema, es decir que para elegir el equipo de bombeo a usar, primero se debe tener definido el caudal y presión que necesitará el sistema de riego.

- **Filtros.** Retienen las impurezas que contiene el agua para evitar el taponamiento de los emisores. Los filtros se usan tanto en la entrada como a la salida, hacia la red de distribución.
- **Fertirrigación.** Esta etapa esta compuesta de una serie de accesorios que permiten incluir fertilizantes en las redes de distribución, de acuerdo a las necesidades de los cultivos.

c. La red de distribución. Una vez pasado el agua por el cabezal de riego (equipo de bombeo, sistemas de prefiltrado, filtrado, incorporación de fertilizantes, etc.), permite llevar el líquido a las plantas del cultivo, para ello, es necesario contar con una red de conducción, la misma que se muestra en la Figura 1.11, la que está compuesta por:

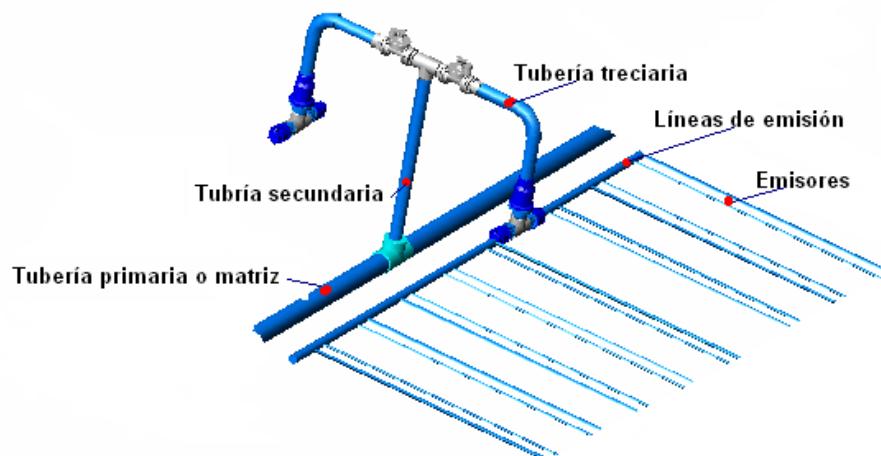


Figura 1.11 Partes de la red de distribución.

- **Tubería de Conducción.** Se puede dividir en primaria o matriz (parte del cabezal a la zona de riego), secundaria (conecta la primaria con el sector de riego) y terciaria (es la que va en la cabecera del sector de riego, a ella van conectadas las líneas o tuberías porta goteros).

Normalmente son de Polivinilo de Carbono (PVC), deben ir de preferencia enterradas para evitar que se dañen por acción de la luz (cristalización); las que no sea posible enterrar, se deben pintar con látex blanco para protegerlas de la luz, en

algunos casos cuando se necesita flexibilidad de las tuberías al instalarlas, es mejor usar tuberías de polietileno.

- **Líneas emisoras o porta goteros.** Se conectan a la tubería terciaria, estas líneas suelen ser de polietileno, en la línea emisora se colocan los goteros, ésta va colocada al pie de las plantas en las hileras del cultivo.

- **Emisores.** Son dispositivos que regulan la aplicación del agua en el suelo, para escoger el más adecuado se debe considerar:
 - ✓ Caudal uniforme y constante, poco sensible a las variaciones de presión.
 - ✓ Diámetro adecuado, que evite obturaciones.
 - ✓ Buena procedencia (datos del fabricante; baratos, resistentes a daños químicos y ambientales, aplicación de fabricación, etc.).
 - ✓ Relación caudal-presión, debe ser lo más constante posible durante todo su tiempo de uso.
 - ✓ Poca sensibilidad a los cambios de temperatura.

Los emisores pueden ser: goteros, cintas, microaspersor y microjet.

1.2.5 Ventajas y desventajas de los sistemas de riego.

Sistemas de riego por superficie.

Ventajas.

- No requiere de equipos para su aplicación.
- Se usan medios naturales.

Desventajas.

- Solo se puede aplicar en terrenos uniformes.

- Necesita gran cantidad de agua.
- No se puede alcanzar uniformidad de riego.
- Requiere labores culturales y constante vigilancia para no causar inundación.
- Los suelos se erosionan por causa de las corrientes.

Sistemas de riego por aspersión.

Ventajas.

- Ahorro en mano de obra, una vez puesto en marcha no necesita especial atención. Existen en el mercado eficaces programadores activados por electroválvulas conectadas a un reloj, que por sectores y por tiempos, activará el sistema según las necesidades previamente programadas. Con lo cual la mano de obra es prácticamente inexistente.
- Adaptación al terreno, se puede aplicar tanto a terrenos lisos como a los ondulados no necesitando allanamiento ni preparación de las tierras.
- La eficiencia del riego por aspersión, es de un 80% frente al 50% en los riegos por inundación tradicionales. Por consecuencia el ahorro en agua es un factor muy importante a la hora de valorar este sistema.
- Especialmente útil para distintas clases de suelos, ya que, permite riegos frecuentes y poco abundantes en superficies poco permeables.

Desventajas.

- Daños a las hojas y a las flores, las primeras pueden dañarse por el impacto del agua sobre las mismas, si son hojas tiernas o especialmente sensibles al depósito de sales sobre las mismas. En cuanto a las flores pueden, y de hecho se dañan, por ese mismo impacto sobre las corolas.
- Requiere una inversión importante; el depósito, las bombas, las tuberías, las juntas, los manguitos, las válvulas, los programadores y la intervención de técnicos, hacen que en un principio el gasto sea elevado aunque la amortización a medio plazo está asegurada.

- El viento puede afectar, en días de vientos acentuados el reparto del agua puede verse afectado en su uniformidad.
- Aumento de enfermedades y propagación de hongos debido al mojado total de las plantas.

Sistemas de riego de alta frecuencia.

Ventajas.

- Pueden usarse en terrenos con elevadas pendientes. Ningún otro método de riego puede ser empleado en terrenos con pendientes extremas.
- Requieren solo un emparejamiento mínimo de la superficie del terreno. Esta labor es necesaria para prevenir problemas de drenaje superficial, los cuales pueden presentarse con las lluvias.
- La Uniformidad de Distribución (UD) de los sistemas nuevos puede ser muy alta (0,93 o mayor).
- Los sistemas pueden instalarse virtualmente en parcelas de cualquier tamaño y forma.
- En general no hay que enfrentar problemas de escorrentía superficial. Sin embargo, la escorrentía superficial puede constituirse en problema con aguas de muy alta pureza.
- Los sistemas tienen la capacidad de aplicar riegos con alta frecuencia sin sacrificar UD.
- Los fertilizantes pueden ser aplicados directa y uniformemente a la zona de raíces en cualquier día de cualquier estado de crecimiento, en cualquier dosis, sin humedecer el follaje de las plantas.
- La porción superior de la zona de raíces puede mantenerse húmeda, lo cual, aumenta la toma de nutrientes del suelo. Esta simple ventaja es probablemente de excepcional importancia en el mejoramiento de la producción de algunos cultivos.

Desventajas.

- La red puede degradarse rápidamente con el tiempo debido a causas estándar, tales como, filtrado y la inyección de químicos.
- La UD puede degradarse también en forma rápida, debido a algunas circunstancias imprevistas e inusuales, tales como almejas de agua dulce que crecen dentro de las mangueras. o insectos inusuales que prefieren poner sus huevos dentro de cierto tipo de emisor.
- El daño causado por roedores puede ser devastador en algunas áreas.
- Utilizan reguladores de presión.
- No se puede reutilizar.
- El costo excesivo al inicio de la instalación.
- Requiere un buen manejo y mantenimiento.

1.3 Automatización y control.

1.3.1 Parámetros y características de automatización y control.

La automatización es la sustitución de la acción humana por mecanismos, independientes o no, movidos por una fuente de energía exterior, capaces de realizar ciclos completos de operaciones que se pueden repetir indefinidamente.

De acuerdo al grado de automatización puede hablarse de dos niveles: completo y parcial. La automatización completa se refiere en la producción masiva de productos homogéneos en ciclo continuo (botellas de vidrio, pernos, etc.), mientras que la automatización parcial es propia de la producción variable y limitada.

Según el punto de vista de la programación, la automatización puede considerarse de ciclo fijo y de ciclo programado. El primer caso es adecuado para la fabricación de grandes series porque el automatismo es invariable (siempre realiza el mismo ciclo). El segundo caso se orienta a la fabricación de piezas distintas, en series pequeñas y medias, porque el dispositivo programador que dispone el sistema puede ordenar el ciclo que convenga, con las lógicas limitaciones tecnológicas.

Control es un mando manual o automático que actúa sobre un proceso industrial, bajo la supervisión humana. Existen dos formas básicas de realizar el control: control en lazo

abierto, cuando las señales de mando son independientes de los órganos receptores, y control en lazo cerrado, cuando las señales de mando dependen de la posición de los órganos móviles.

1.3.2 Tecnologías de los sistemas de automatización y control.⁸

1.3.2.1 Automatización mecánica.

Los sistemas mecánicos suelen ser complicados por la abundancia de mecanismos y de escasa flexibilidad. La tecnología que regula su funcionamiento es relativamente accesible al personal poco calificado, lo que se traduce en un montaje y mantenimiento económicos.

Los mecanismos que los componen son: ruedas dentadas y poleas para transmisiones del movimiento biela-manivela, piñón-cremallera, etc. Y para la conversión del movimiento rectilíneo en circular o viceversa se tiene levas y palancas, para la obtención de recorridos controlados, etc.

1.3.2.2 Automatización neumática.

La técnica neumática admite infinidad de aplicaciones en el campo de la máquina herramienta, especialmente en los trabajos de fijación de piezas, bloqueo de módulos, alimentación de máquinas y, movimiento lineal de dispositivos que no requieran velocidades de actuación rigurosamente constantes. Prácticamente la totalidad de las automatizaciones industriales tienen, como elementos de mando, instalaciones neumáticas.

1.3.2.3 Automatización hidráulica.

Prácticamente, lo dicho para la automatización neumática vale para la hidráulica; la hidráulica se prefiere en sistemas que deban desarrollar más trabajo y no sea primordial la velocidad de respuestas. Este tipo de mando se encuentra en prensas, diversas máquinas herramienta, y también, en el automóvil: frenos, dirección e, incluso en la suspensión.

1.3.2.4 Automatización eléctrica.

⁸ Combranos Jesús, Automatismos Eléctricos, Neumáticos e Hidráulicos, 3^{ra} Edición, 2004, Pág. 4-8

Dentro de un proceso industrial por sencillo que sea éste debe tener algún tipo de automatismo eléctrico, encargado de gobernar los motores o como función de mando dentro de la propia máquina.

1.3.2.5 Automatización electrónica.

Por supuesto, la llegada de la electrónica a la industria ha supuesto una verdadera revolución y ha permitido que la automatización industrial dé un paso de gigante. La base de este avance en la automatización ha sido el sistema digital, que ha desembocado en el computador y, naturalmente en el autómeta programable.

1.3.2.6 Control de lazo abierto.

El control de lazo abierto se caracteriza porque la información o variables que controlan el proceso circulan en una sola dirección, desde el sistema de control al proceso. El sistema de control no recibe la confirmación de las acciones que realiza los actuadores sobre el proceso. Un control de lazo abierto se muestra en la Figura 1.12.

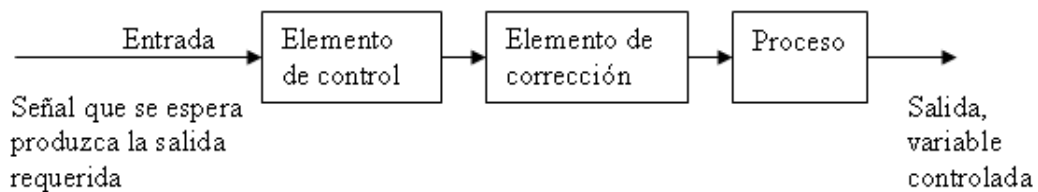


Figura 1.12 Control de lazo abierto.

1.3.2.7 Control de lazo cerrado.

El control de lazo cerrado (Figura 1.13) se caracteriza porque existe una realimentación a través de los sensores desde el proceso hacia el sistema de control, que permite a este último conocer si las acciones ordenadas a los actuadores se han realizado correctamente. La mayoría de los procesos existentes en la industria utilizan el control en lazo cerrado, bien porque el producto que se pretende obtener, o la variable que se controla necesita un control continuo en función de unos determinados parámetros de entrada, o bien porque el

proceso a controlar se subdivide en una serie de acciones elementales de tal forma que, para realizar una determinada acción sobre el proceso, es necesario que previamente se haya realizado otra serie de acciones elementales.

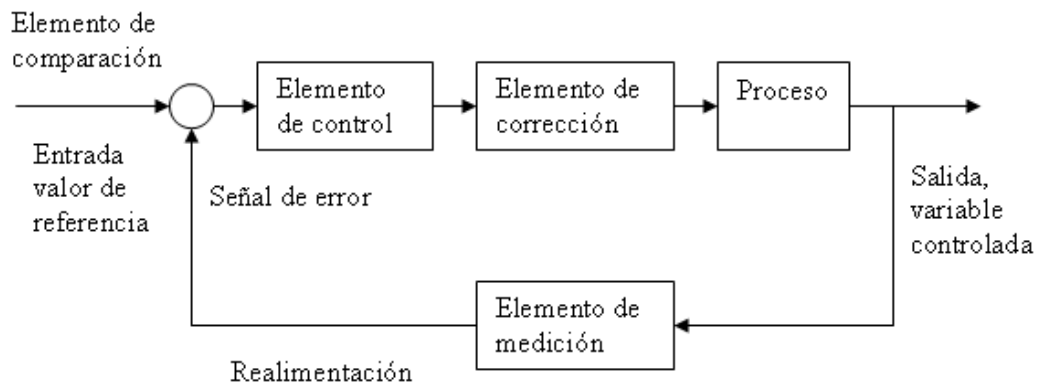


Figura 1.13 Control en lazo cerrado.

1.3.3 Ventajas y desventajas de los sistemas de automatización y control.

Automatización.

Ventajas.

- Los sistemas mecánicos pueden soportar grandes esfuerzos, son modulares, y con un buen mantenimiento preventivo pueden durar mucho tiempo produciendo.
- La automatización neumática tiene la ventaja de tener velocidad en el proceso, limpieza dentro de los dispositivos, la sencillez de los propios sistemas de mando: cilindros, válvulas, etc.
- El sistema hidráulico tiene la ventaja de desarrollar más trabajo mecánico, aplicado en sistemas que no requieran respuestas rápidas.
- Dentro de la automatización eléctrica, las ventajas son diversas como; comandar a largas distancias, velocidades de respuestas muy rápidas, es un sistema muy limpio, etc.
- Las principales ventajas de la automatización electrónica son de equipos muy reducidos y de gran capacidad, comandos a distancias por medio de cables e inalámbricos, etc.

Desventajas.

- Los grandes problemas de la automatización mecánica es la longitud, en muchas ocasiones, de las cadenas cinemáticas y, por supuesto, la sincronización de movimientos en los dispositivos móviles.
- El inconveniente de la automatización neumática requiere de un desembolso económico añadido a la propia automatización, para el mantenimiento de la fuente de aire, ya que debe mantenerse perfectamente limpio y seco.
- Uno de los principales inconvenientes del sistema hidráulico es el mantenimiento y costo de repuestos.
- La desventaja de la automatización eléctrica, es el sinnúmero de cables que se requiere para la automatización.
- Dentro de la automatización electrónica, las desventajas son: tener un personal calificado, calibración de los dispositivos electrónicos, al averiar un circuito integrado se tiene que cambiar todo el módulo, etc.

Control.

Ventajas y desventajas.

- El control de lazo abierto es apropiado donde se requiera un determinado ciclo de trabajo, pero si se requiere un mismo producto con este tipo de control, no se puede obtener.
- Dentro del control de lazo cerrado, se puede tener control durante todo el proceso, este tipo de control requiere de más dispositivos y por ende es más costoso.

1.4 Sistemas Electromecánicos.

1.4.1 Generalidades de los sistemas electromecánicos.

Un sistema electromecánico es la combinación de varios elementos, que transforman un tipo de energía en otra; en este caso la energía eléctrica en mecánica o viceversa. Esta transformación conduce a realizar un determinado trabajo o fenómeno, como velocidad, rotación, desplazamiento, presión, calor, etc.

Por ejemplo, se puede mencionar varios dispositivos electromecánicos que conforman un sistema tales como: motores, bandas transportadoras, electroválvulas, dosificadores, caudalímetros, contactores, etc.

1.4.2 Dispositivos Electromecánicos.

1.4.2.1 Máquina Eléctrica.

Es una máquina que transforma la energía eléctrica en energía mecánica de fuerza y rotación. Su principio de funcionamiento se basa en la inducción magnética producido por los bobinados, generando un movimiento rotativo.

Según su tipo de alimentación existen motores de:

i. Corriente alterna (AC).

- Motor de inducción.

ii. Corriente continua (DC).

- Motor de corriente continua (DC).
- Motor paso a paso.

Motor de inducción. El funcionamiento de un motor de inducción, se basa en las propiedades electromagnéticas de la corriente eléctrica y la posibilidad de crear, a partir de ellas, unas determinadas fuerzas de atracción y repulsión encargadas de actuar sobre un rotor bobinado (jaula de ardilla) y generar un movimiento de rotación. La Figura 1.14 se muestra la forma de un motor de inducción.

Clasificación de los Motores de Inducción.

Motor de diseño NEMA A.

Este tipo de motor de diseño A tiene corriente de arranque de 6 a 10 veces la corriente nominal.

Tiene además eficiencia y factor de potencia aceptables, alto par máximo y bajo deslizamiento. El par de arranque es cercano al 150% del par normal, y el par máximo sobrepasa el 200% de este último.

Motor de diseño NEMA B.

Un motor de diseño B tiene mayor reactancia que uno de diseño A, lo cual se logra mediante el uso de barras delgadas y profundas en el rotor. Esto permite reducir la corriente de arranque a un valor del orden de cinco veces la nominal.

Este tipo de motor puede arrancar a voltaje pleno en algunos casos en que un motor de diseño A requiera de un arrancador de tensión reducida. El par de arranque, deslizamiento y eficiencia son casi del mismo valor que para el motor de diseño A, en tanto que el par máximo y factor de potencia son menores. El motor de diseño B es de uso generalizado para potencias de 1 a 150 hp en construcción abierta a prueba de goteaduras, y hasta 150 hp aproximadamente en construcción cerrada con ventilación forzada externa.

Motor de diseño NEMA C.

El motor de diseño C tiene mayor par de arranque que los de los diseños A o B, aproximadamente un 200% del nominal. Por otra parte, el par máximo es menor que el de los diseños A o B, aproximadamente un 180% del nominal. Cambia un alto par de arranque con baja corriente de arranque.

El par nominal (plena carga) es igual a los diseños A y B. Este tipo de motor tiene una jaula doble formada por dos grupos de barras concéntricas; una jaula esta cercana a la periferia del rotor, y tiene alta resistencia y baja reactancia; la otra esta dentro de aquella, a mayor profundidad, y tiene baja resistencia y alta reactancia. En operación, la reactancia de ambos devanados disminuye a medida que aumenta la velocidad del rotor, y decrece la frecuencia del voltaje inducido en las barras.

Este diseño toma una corriente de arranque menor que el tipo de motor estándar. Su par de arranque es del 200% o más, lo cual hace que este motor sea especialmente adecuado para cargas que requieran un alto par inicial.

Motor de diseño NEMA D.

El motor de diseño D produce un par de arranque muy alto: aproximadamente el 275 % del nominal. Sin embargo, no tiene en realidad un par máximo bien definido, ya que el par disminuye en forma continua al aumentar la velocidad. La corriente de este motor es reducida, su deslizamiento es alto y su eficiencia es baja. El deslizamiento con carga de un motor de este tipo es mayor que el de cualquier otro, y se emplea en casos en que se

requiera de un elevado par en el arranque, pero donde la carga es ligera o intermitente, como en montacargas (polipastos) y ascensores.

La corriente que toma un motor de inducción consta de dos componentes: una reactiva o magnetizante y otra activa o de trabajo. La componente que produce el par (es decir, la que realiza trabajo útil) está prácticamente en fase con el voltaje; es decir, su factor de potencia es de casi el 100%. La componente magnetizante podría considerarse puramente inductiva, salvo por la pequeña resistencia del devanado y porque tal corriente está atrasada casi 90° respecto al voltaje. Por tanto, su factor de potencia es prácticamente cero.

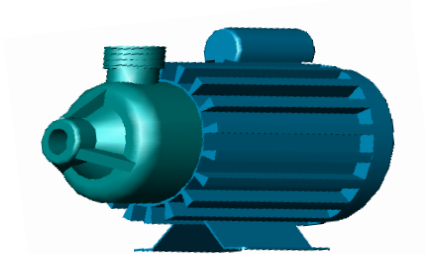


Figura 1.14 Motor de inducción.

Motor de corriente continua (DC). Un motor de DC está compuesto por el estator, que contiene los polos y los devanados de campo, y el elemento rotatorio denominado armadura, de la cual el conmutador es una parte muy importante, así como el par de escobillas. En la Figura 1.15 se muestra un motor en forma esquemática.

Estos motores se emplean en forma extensa en la industria gracias a su capacidad para satisfacer una gran variedad de requisitos de par y velocidad. Estos motores son especialmente adecuados para aplicaciones que requieren aceleración gradual dentro de un intervalo muy amplio, ajuste preciso de velocidad, sincronización de velocidades (o ambas cosas) y control preciso del par de rotación.

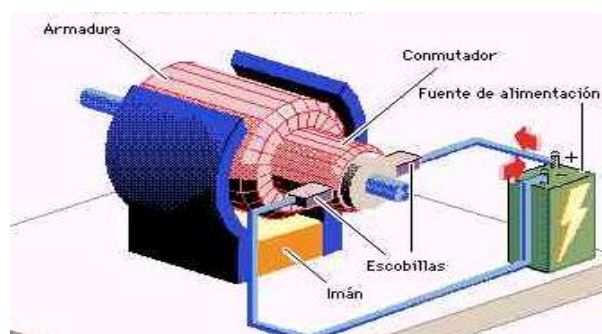


Figura 1.15 Motor de corriente continua (DC).

Los motores de corriente continua se clasifican en:

Excitación independiente.

- Imán permanente.
- Electromagnético (Excitación independiente).

Autoexcitado.

- Conexión serie.
- Conexión paralelo.
- Conexión compuesta.

Las principales razones para seleccionar un motor de DC son:

- La facilidad para controlar su velocidad.
- El control del par motor.
- La posibilidad de obtener su detención en posiciones precisas.

Motor paso-paso (PAP). Los motores paso a paso son muy utilizados en mecanismos donde es muy importante la precisión de movimiento, como en robótica, en proyectos aéreo espaciales, en maquinarias industriales como fresadoras, tornos, inclusive se los encuentra en las computadoras en periféricos como las impresoras, CD-ROM, escáner, etc. La diferencia con los motores de corriente continua y corriente alterna se encuentran en que los motores paso-paso son más precisos en su velocidad, movimiento y giros, ya que trabajan con señales digitales, es decir con **0L** y **1L**.

Existen dos tipos de motores paso-paso, los bipolares y los unipolares, la diferencia entre ellos, es que los motores bipolares poseen dos bobinas y son de 4 hilos, en cambio los motores unipolares poseen mayor número de bobinas facilitando el manejo al usuario, y poseen desde 5 hasta 8 hilos para su manejo.

Para el manejo de estos motores se necesita de un circuito integrado (L298) que dispone de dos puentes H o se debe construir un arreglo de 8 transistores.

La alimentación que requieren los dos tipos de motores, varían entre 1.3 V, 1.9 V, 4.5 V, 5 V, 12 V y 24 V, y la corriente que consume un motor puede estar desde 300 mA hasta 3A, dependiendo del torque que esté manejando.

a. Motores paso-paso unipolares. Como se mencionó anteriormente, posee 5 a 8 hilos, siendo ésta una gran ventaja de trabajo con este tipo de motores, pues el circuito de control es muy sencillo (Ver Figura 1.16).

A continuación se presenta la Tabla 1.4, con una gama de colores de los cables, con lo que se puede identificar las alimentaciones de las 4 bobinas. Éste es el único inconveniente que se puede presentar.

Bobina	Color
A	Amarillo
B	Naranja
C	Negro
D	Café

Tabla 1.4 Colores de los cables del motor paso-paso.

Y el resto de los hilos serán comunes, los cuales se conectan a la entrada del voltaje de operación.

En las especificaciones del motor viene dado el ángulo de paso, como 0.72°, 1.8°, 3.75°, 7.5°, 15°, 90°, etc. Y de acuerdo al grado que gire el motor por impulso, se debe dar un número de pasos para que éste gire una vuelta completa.

Por ejemplo, para un motor que gira con ángulo de 90° por paso, el número de pasos que debe dar para una vuelta completa será de 4 pasos. Este tipo de motores deben trabajar con un circuito integrado buffer ULN2003 o puente H, los cuales poseen la circuitería interna adecuada para manejar este tipo de motores.

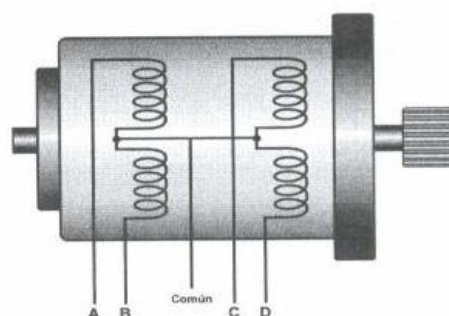


Figura 1.16 Motor paso-paso unipolar de 5 hilos.

b. Motor paso-paso bipolar. Este tipo de motores no son muy utilizados, por la complejidad de la circuitería para que éste entre en funcionamiento.

Para manejar estos motores se necesita de los integrados L297 y L298 que permiten generar las secuencias necesarias para energizar las bobinas del motor bipolar. En la Figura 1.17, se indica un motor PAP Bipolar.

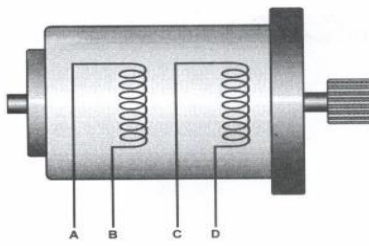


Figura 1.17 Motor paso-paso bipolar de 4 hilos.

1.4.2.2 Bomba.

Es una máquina que succiona un líquido e impulsa a una determinada dirección, presión y caudal.

La bomba comúnmente utilizada es la centrífuga la cual consta de una impulsor que gira a velocidades determinadas produciendo un efecto de vacío (succión) y una fuerza centrífuga la cual establece la presión y caudal (descarga) del líquido.

Una turbina esta incorporada en una cámara hermética con orificios de succión y descarga. El movimiento de la turbina es generada por una máquina que proporciona movimiento rotacional, generalmente por un motor eléctrico u otro tipo de máquina que permita este movimiento.

Existen diferentes tipos de bombas para un sinnúmero de aplicaciones y cada una de éstas tiene su forma de selección con sus respectivas características de diseño. En la Figura 1.18, se presenta el esquema de una bomba para aplicaciones industriales.

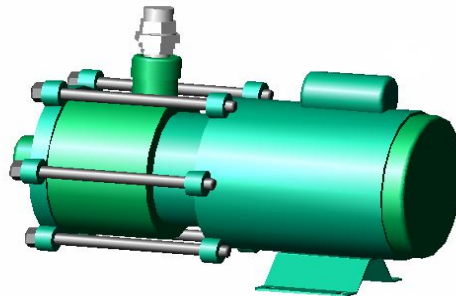


Figura 1.18 Bomba centrífuga.

1.4.2.3 Dosificador de Fertilizantes.

Está diseñado para proporcionar cantidades exactas de sólidos granulados o líquidos, desde un acumulador hacia un dispensador. En los sólidos se requiere de un mecanismo de tornillo sin-fin acoplado a un sistema de transmisión mecánico movido por un motor a bajas revoluciones y en los líquidos un sistema de bombeo.

En los dosificadores de sólidos (Figura 1.19) se tiene un motor acoplado a un mecanismo de transmisión que reduce la velocidad y aumenta el torque, permitiendo así llevar el material que se encuentra en la cámara, mediante un tornillo sin-fin hacia el exterior, se puede controlar la posición o la velocidad del sistema a través de un encoder que debe disponer el motor, además debe poseer un detector de material a dosificar y una tolva que permita almacenar los insumos. Estos dispositivos se seleccionan de acuerdo a las características del material a dosificar.

Para dosificar un insumo líquido se usan depósitos que a través de bombas inyectoras llevan el líquido al tanque de mezcla y, son controladas mediante un módulo controlador electrónico, este módulo permite detectar presencia de líquido y medir el volumen inyectado en función del tiempo mediante un algoritmo programado.

Actualmente los sistemas de fertilización con dosificadores más tecnificados, conllevan a un proceso eficientemente automatizado. Por esta razón se deben seleccionar y diseñar dispositivos adecuados, de acuerdo las características cuantitativas del proceso de producción.

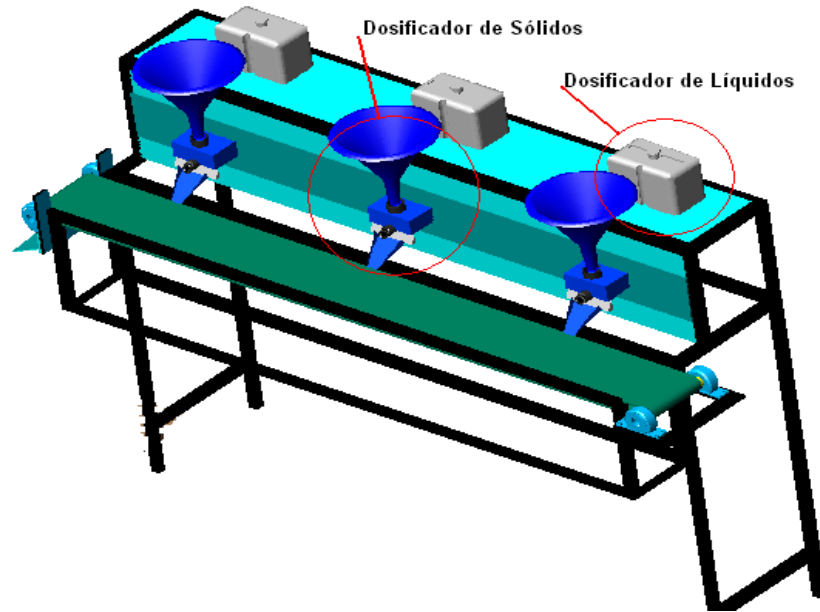


Figura 1.19 Dosificador de fertilizantes sólidos y líquidos.

1.4.2.4 Banda transportadora.

Su diseño debe ser apropiado para transportar el material dosificado hacia otra fase del proceso, mediante el movimiento de una banda acoplado a un motor.

La banda se selecciona de acuerdo a las características (peso, temperatura, reacción química, etc.) del material a transportar, además el motor debe tener el torque necesario para vencer la fuerza mecánica y el peso del material.

La banda transportadora se caracteriza por transformar el movimiento circular en un movimiento lineal, permitiendo transportar materiales a distancias considerables y su velocidad puede ser constante o variable. La Figura 1.20, muestra un tipo de banda transportadora.

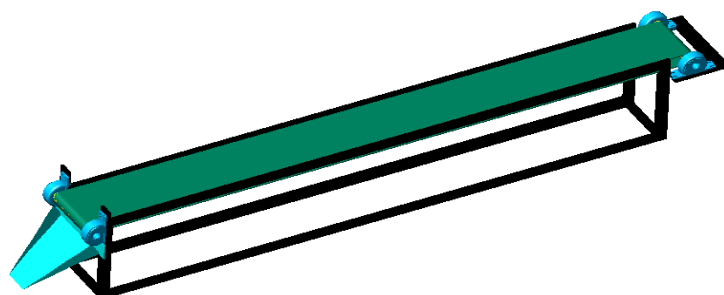


Figura 1.20 Banda transportadora.

1.4.2.5 Electroválvulas.

Son válvulas comunes que en su estructura se incorpora un dispositivo eléctrico (solenoides); en la Figura 1.21, se indica una electroválvula. La apertura y cierre de las mismas se origina por la operación mecánica del electroimán acoplado en la válvula, dicha operación también puede ser manual.

Las electroválvulas tienen una gran gama de aplicaciones en todo tipo de procesos que requieran automatización, existen diversos tipos de acuerdo a la función y características de fluido. Manteniendo estos criterios se deben seleccionar estas electroválvulas.

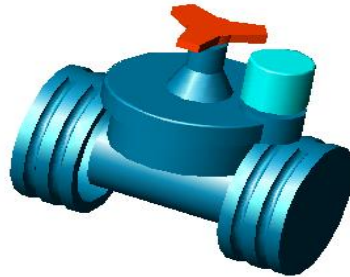


Figura 1.21 Electroválvulas.

1.4.2.6 Servoválvula.

Es una válvula que suministra un determinado caudal de fluido, operando la apertura o cierre de la misma, en forma proporcional a través de un sistema de transmisión mecánica controlada eléctricamente. La fuerza motriz que dispone el servomotor vence la fuerza propia de la válvula y la presión de fluido que está actuando sobre la misma. El motor, ya

sea éste servomotor o Paso a Paso debe tener un controlador electrónico que permita controlar las funciones de la válvula. En la Figura 1.22, se tiene un tipo de servoválvula.

Dentro sus aplicaciones, estas válvulas son diseñadas para diferentes tipos de flujos, y el material con el cual están construidas depende de las características físicas y químicas del fluido y el medio que se apliquen dentro de la industria.

Los elementos que contiene este electromecanismo se debe elegir de acuerdo a los requerimientos de aplicación que exige un sistema hidráulico.

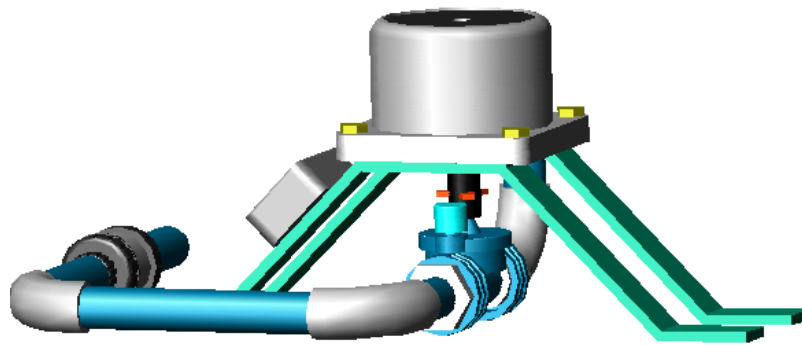


Figura 1.22 Servoválvula.

1.4.2.7 Relé o relevador.

Es un dispositivo electromecánico (Figura 1.23), que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de un electroimán (parte eléctrica), se acciona un juego de uno o varios contactos (parte mecánica), que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

Para seleccionar este tipo de dispositivo hay que tomar en cuenta el voltaje de alimentación (bobinado) y la corriente para la cual esta diseñada sus contactos.

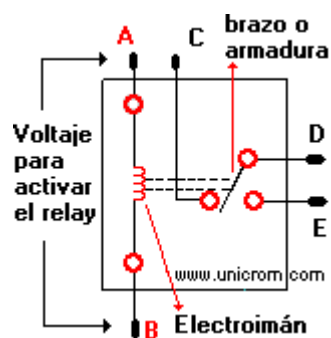


Figura 1.23 Esquema de un relé electromagnético.

1.5 Tecnología de Interfaces de Comunicación.

1.5.1 Medios de Transmisión.

Medio de transmisión es el sistema (físico o no) por el que viaja la información transmitida (datos, voz, audio, etc.) entre dos o más puntos distantes entre sí. Por el medio de transmisión viajan señales analógicas o digitales, que son las que realmente llevan la información. Se pueden distinguir básicamente dos tipos de medios:

Medios guiados: cuando las señales están ligadas a algún tipo de medio físico: pares trenzados (UTP, STP, ScTP), cables coaxiales, fibras ópticas.

Medios no guiados: cuando las ondas viajan por el aire, mar, vacío y se pueden distinguir microondas terrestres, microondas satélite, infrarrojos, radio.

1.5.1.1 Medios Guiados.⁹

Son aquellos medios en los que se produce un confinamiento de la señal. En estos casos la capacidad de transmisión (velocidad de transmisión, o ancho de banda) depende de dos factores:

- Distancia.
- Tipo de enlace.
 - Punto-a-Punto.
 - Difusión.

Principalmente existen 3 tipos: pares trenzados, cable coaxial y fibra óptica.

⁹ Tomasi Wayne, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, ISBN, 2^{da} Ed., Pág. 323.

a) **El Cable Coaxial.** El cable está formado por un conductor central macizo o compuesto por múltiples fibras al que rodea un aislante dieléctrico de mayor diámetro.

Una malla exterior aísla interferencias al conductor central. Por último, utiliza un material aislante para recubrir y proteger todo el conjunto.

Tiene propiedades mucho más favorables frente a interferencias y a la longitud de la línea de datos, de modo que el ancho de banda es mayor. Permitiendo una mayor concentración de las transmisiones analógicas o más capacidad de las transmisiones digitales.

Puede llegar a anchos de banda comprendidos entre los 80 Mhz y los 400 Mhz (dependiendo de si es fino o grueso). Esto quiere decir que en transmisión de señal analógica se puede tener del orden de 10.000 circuitos de voz.

En redes de área local se utilizan dos tipos de cable coaxial: fino y grueso.

- Cable fino (Thinnet): Es un cable coaxial flexible de unos 0,64 centímetros de grueso (0,25 pulgadas). Se puede utilizar para la mayoría de las redes, ya que es un cable flexible y fácil de manejar.
- Cable grueso (Thicknet): Es un cable coaxial relativamente rígido de aproximadamente 1,27 centímetros de diámetro. Al cable Thicknet a veces se le denomina Ethernet estándar debido a que fue el primer tipo de cable utilizado con la conocida arquitectura de red Ethernet. El núcleo de cobre del cable Thicknet es más grueso que el del cable Thinnet. Cuanto mayor sea el grosor del núcleo de cobre, más lejos puede transportar las señales.

En la Figura 1.24, se indica la estructura de un cable coaxial.



Figura 1.24 Cable coaxial.

b) El Cable Par Trenzado. Un cable de par trenzado se forma trenzando dos conductores aislados juntos (Ver Figura 1.25). Los pares se trenzan frecuentemente en dos unidades, y las dos unidades, a su vez, están trenzadas para formar un solo cable. Éstos están cubiertos con un aislante plástico, dependiendo del uso que se les vaya a dar. Los pares vecinos se trenzan con diferente inclinación (el largo de la trenza) para poder reducir la interferencia entre los pares debido a la inducción mutua. Las constantes primarias del cable de par trenzado con sus parámetros eléctricos (resistencia, inductancia, capacitancia y conductancia) que están sujetos a variaciones con el ambiente físico como temperatura, humedad y tensión mecánica, y que dependen de las variaciones en la fabricación.

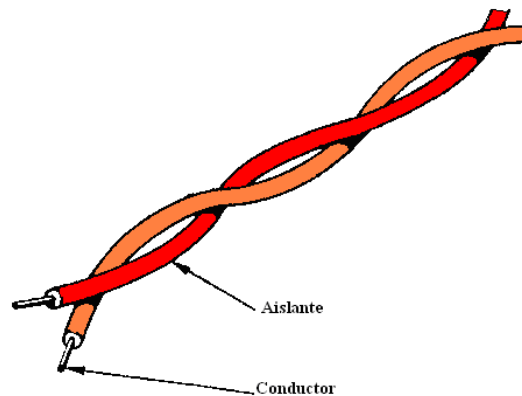


Figura 1.25 Cable par trenzado.

El trenzado tiene un promedio de tres trenzas por pulgada. Para mejores resultados, el trenzado debe ser variado entre los diferentes pares.

Existen tres tipos de cable par trenzado:

- UTP (Unshielded Twisted Pair Cabling), o cable par trenzado sin blindaje.
- STP (Shielded Twisted Pair Cabling), o cable par trenzado blindado.
- ScTP (Screened Twisted Pair Cabling), o cable par trenzado blindado apantallado.

Un tipo de cable par trenzado se muestra en la Figura 1.26.

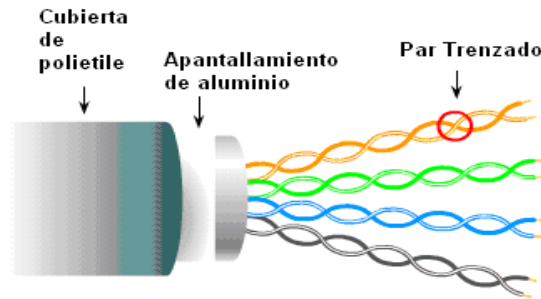


Figura 1.26 Cable par trenzado blindado.

d) **El Cable de Fibra Óptica.**¹⁰ Es un filamento de vidrio sumamente delgado diseñado para la transmisión de la luz. Las fibras ópticas poseen enormes capacidades de transmisión, del orden de miles de millones de bits por segundo. Además de que los impulsos luminosos no son afectados por interferencias causadas por EMI (Interferencias Electromagnéticas) y RFI (Interferencias de Radio Frecuencias). Actualmente la fibra óptica está reemplazando en grandes cantidades a los cables comunes de cobre.

En la Figura 1.27, se muestra un ejemplo de cable de fibra óptica.

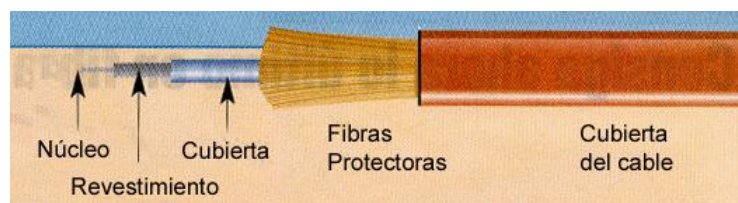


Figura 1.27 Cable de fibra óptica.

Existen tres tipos de propagación de fibras ópticas para la transmisión de datos:

- **Monomodo:** Potencialmente, ésta es la fibra que ofrece la mayor capacidad de transporte de información. Tiene una banda de paso del orden de los 100 GHz/km. Los mayores flujos se consiguen con esta fibra, pero también es la más compleja de implantar.

¹⁰ <http://www.monografias.com/trabajos13/fibropt/fibropt.shtml>

- **Multimodo de índice gradual:** Las fibras multimodo de índice de gradiente gradual tienen una banda de paso que llega hasta los 500 MHz por kilómetro. Su principio se basa en que el índice de refracción en el interior del núcleo no es único y decrece cuando se desplaza del núcleo hacia la cubierta. Los rayos luminosos se encuentran enfocados hacia el eje de la fibra. Estas fibras permiten reducir la dispersión entre los diferentes modos de propagación a través del núcleo de la fibra.
- **Multimodo de índice escalonado:** Las fibras multimodo de índice escalonado están fabricadas a base de vidrio, con una atenuación de 30 dB/km, o plástico, con una atenuación de 100 dB/km. Tienen una banda de paso que llega hasta los 40 MHz por kilómetro. En estas fibras, el núcleo está constituido por un material uniforme cuyo índice de refracción es claramente superior al de la cubierta que lo rodea. El paso desde el núcleo hasta la cubierta conlleva por tanto una variación brutal del índice, de ahí su nombre de índice escalonado.

Se han llegado a efectuar transmisiones de decenas de miles de llamadas telefónicas a través de una sola fibra, debido a su gran ancho de banda. Otra ventaja es la gran fiabilidad, su tasa de error es mínima. Su peso y diámetro la hacen ideal frente a cables de pares o coaxiales. Normalmente se encuentra instalada en grupos, en forma de mangueras, con un núcleo metálico que les sirve de protección y soporte frente a las tensiones producidas. Su principal inconveniente es la dificultad de realizar una buena conexión de distintas fibras con el fin de evitar reflexiones de la señal, así como su fragilidad.

1.5.1.2 Medios No Guiados.¹¹

La radiocomunicación puede definirse como Telecomunicación realizada por medio de las ondas eléctricas. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), define las ondas radioeléctricas como ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio sin guía artificial y cuyo límite superior de frecuencia se fija, convencionalmente, en 3.000 GHz.

¹¹ Regis J., Comunicaciones Inalámbricas de Banda Ancha, ISBN, 2004, Pág. 37

La técnica de la radiocomunicación consiste en la superposición de la información que se desea transmitir en una onda electromagnética soporte, llamada portadora. La inserción de esa información constituye el proceso denominado modulación.

La onda modulada se envía al medio de propagación a través de un dispositivo de acoplamiento con el medio, denominado antena.

El conjunto de equipos para el tratamiento de la información: moduladores, filtros, antenas etc., constituye la estación transmisora (o abreviadamente, el transmisor).

Cuando la onda transmitida alcanza el punto o puntos de destino, accede al sistema receptor por medio de una antena de recepción, que capta una fracción de la energía. El alcance útil o cobertura de una emisión radioeléctrica depende del tipo e intensidad de las perturbaciones que se puede presentar en el trayecto de transmisor a receptor.

Existen dos tipos fundamentales de transmisión inalámbrica:

- Omnidireccionales: La antena transmisora emite en todas las direcciones espaciales y la receptora recibe igualmente en toda dirección.

En la Figura 1.28 se muestra un tipo de antena transmisora.



Figura 1.28 Transmisión omnidireccional.

- **Direccionales:** La energía emitida se concentra en un haz, para lo cual se requiere que la antena receptora y transmisora estén alineadas. Cuanto mayor sea la frecuencia de transmisión, es más factible confinar la energía en una dirección (Figura 1.29).

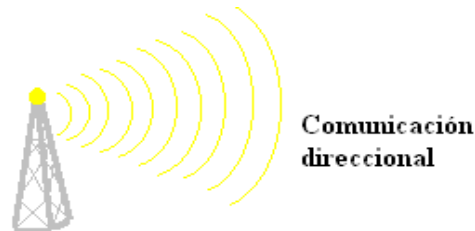


Figura 1.29 Transmisión direccional.

Básicamente se emplean tres tipos de ondas del espectro electromagnético para comunicaciones:

- **Microondas:** 2 GHz - 40 GHz. Muy direccionales. Pueden ser terrestres o por satélite.
- **Ondas radio:** 30 MHz - 1 GHz. Omnidireccionales.
- **Infrarrojos:** $3 \cdot 10^{11}$ – 200 THz.

La zona del espectro de las microondas está dividida de la siguiente manera:

a) Microondas Terrestres. La antena de este tipo de microondas es parabólica y tiene unos tres metros de diámetro (Ver Figura 1.30); el haz es muy estrecho por lo que la antena receptora y emisora deben estar muy bien alineadas. A cuanto mayor altura se sitúen las antenas, existe mayor facilidad para esquivar obstáculos.



Figura 1.30 Microonda terrestre.

La distancia que cubre un único radioenlace de microondas viene dada por la expresión.

$$d = 7.14 * (k*h)^{1/2} \quad \text{Ec. 1.4}$$

Donde:

h = altura de la antena (m).

k = 1, si no se considera los efectos de la gravedad. Generalmente se toma k = 3/4.

Para cubrir distancias mayores se usan radioenlaces concatenados.

Las microondas cubren una parte importante del espectro, de los 2 a los 40 GHz; el ancho de banda potencial y la velocidad de transmisión aumentan con la frecuencia; dichos valores se indica en la Tabla 1.5, por lo que sus prestaciones son muy buenas y tienen múltiples aplicaciones como la transmisión de vídeo y de voz.

Banda (GHz)	Ancho de Banda (MHz)	Régimen de transmisión (Mbps)
2	7	12
6	30	90
11	40	90
18	220	274

Tabla 1.5 Régimen de transmisión.

El problema fundamental de este tipo de comunicación es la atenuación, que se calcula con la ecuación 1.5, que dependerá de la longitud de onda, así como de las condiciones meteorológicas.

$$L(\text{dB}) = 10 \log (4\pi d/\lambda)^2 \quad \text{Ec. 1.5}$$

Donde:

d = Distancia las antenas.

λ = Longitud de Onda.

Además existen problemas de interferencia entre unas y otras emisiones, por lo que es necesario regular las bandas. En la Tabla 1.6, se indican valores de regulación de las bandas.

4-6 (GHz)	Transmisión a larga distancia.
12 GHz	Directos.
22 GHz	Televisión por cable.

Tabla 1.6 Capacidad de transmisión.

b) Microondas por Satélite. El satélite se comporta como una estación repetidora que recoge la señal de algún transmisor en Tierra y la retransmite difundiendo entre una o varias estaciones terrestres receptoras, pudiendo regenerar dicha señal ó limitarse a repetirla. Las frecuencias ascendente y descendente son distintas: $f_{asc} < f_{desc}$ (Ver Tabla 1.7). Para evitar interferencias entre satélites está normalizada una separación entre ellos de un mínimo de 3° (en la banda de 12/14 GHz) ó 4° (4/6 GHz).

Ascendente (GHz)	Descendente (GHz)	Ancho de banda (MHz)
4	6	500
12	14	500
19	29	2.500

Tabla 1.7 Rango de frecuencias.

El rango de frecuencias óptimo para la transmisión comprende 1-10 GHz.

- Por debajo de 1 GHz aparecen problemas debidos al ruido solar, galáctico y atmosférico.
- Por encima de 10 GHz, predominan la absorción atmosférica, así como la atenuación debida a la lluvia. Cada satélite opera en una banda de frecuencia determinada conocida como Transpondedor.

c) Ondas de Radio. Se caracterizan por ser omnidireccionales, por lo que no se necesita antenas parabólicas. Utilizan la banda comprendida entre 30 MHz – 1 GHz, para transmitir señales AM, FM, TV (UHF, VHF), datos, etc.

Este rango de frecuencias es el más adecuado para transmisiones simultáneas (difusión,...). Las perturbaciones que sufren en este tipo de comunicaciones son provocadas por las reflexiones que se producen tanto en la tierra como en el mar, debidas a interferencias multitrayecto.

La distancia cubierta por el enlace está dada por:

$$d = 7,14 * (K * h)^{1/2} \quad \text{Ec. 1.6}$$

Donde:

h = Altura de la antena (m).

k = 1, si no se considera los efectos de la gravedad. Generalmente se toma k = 3/4.

Para cubrir distancias mayores se usan más radioenlaces concatenados.

De igual forma la atenuación; se calcula con:

$$L(dB) = 10 \log(4\pi d / \lambda)^2 \quad \text{Ec. 1.7}$$

Donde:

d = Distancia cubierta por el enlace.

λ = Longitud de onda.

Dentro de las ondas de radio están la comunicación de Radio-Frecuencia (RF)¹² a 433.92 MHZ. Utilizan modulación del tipo ASK (Amplitude Shift Keying),¹³ permitiendo al usuario comunicarse entre dos equipos, a través de dispositivos de transmisión y recepción

¹² Corrales V. Santiago, Electrónica Práctica con Microcontroladores PIC, 2^{da} Edición, Pág. 129-134.

¹³ Es el tipo de modulación (transmisión) más sencillo que existe, y consiste en variar la amplitud de la onda portadora, este tipo de modulación es muy sensible a las interferencias, por lo que no suelen emplearse en comunicaciones radioeléctricas.

de datos, sin necesidad que los equipos se encuentren alineados, ya que es una transmisión Omnidireccional.

Cada uno de estos módulos trabajan con circuitos integrados que permiten codificar la señal que están enviando y recibiendo, en el caso del transmisor RF necesita el circuito integrado HT12D, y el receptor utiliza el HT12E. El manejo de estos módulos de RF, es muy sencillo, ya que estos circuitos integrados tienen la ventaja de asignar un código para transmisión de datos, el cual debe ser el mismo para que el sistema pueda funcionar. Los circuitos integrados HT12D y HT12E, operan a 4 bits, para mayor capacidad existe el circuito HT648L para el receptor y HT640 para el transmisor, los cuales trabajan a 8 bits.

Módulos Radio Frecuencia.

Módulo Transmisor. Éste tiene una potencia de salida de hasta 8 mW a 433.92 MHz., alcanzando distancias de hasta 140 metros en espacios abiertos y 60 metros en espacios que tengan obstáculos como paredes, separadores en oficinas, etc. Este tipo de transmisor acepta señales lineales y digitales de entrada y opera con un voltaje de 1.5 V a 12 V de corriente continua (Ver Figura 1.31).

Para manejar este dispositivo se puede utilizar un microcontrolador o un codificador HT12E. En el Anexo A1, indica las características del módulo de transmisión.



Figura 1.31 Módulo transmisor.

Módulo Receptor. El módulo receptor opera a 433.92 MHz, y tiene una sensibilidad de 3 μ V, opera con un voltaje de alimentación entre 4.5 V y 5.5 V de corriente continua, posee una entrada lineal y digital. En el Anexo A2 se presenta detalladamente sus características.

En este tipo de módulo receptor se puede utilizar un microcontrolador para la modulación de los datos o un decodificador HT12D. En la Figura 1.32 se indica un módulo receptor.



Figura 1.32 Módulo Receptor.

d) Infrarrojos.¹⁴ El uso de la luz infrarroja se puede considerar que es muy similar a la transmisión digital con microondas. El haz infrarrojo puede ser producido por un láser o un LED.

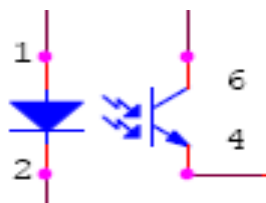
Los dispositivos emisores y receptores deben ser ubicados “a la vista” uno del otro. Su velocidad de transmisión de hasta 100 Kbps puede ser soportadas a distancias hasta de 16 km. Reduciendo la distancia a 1.6 Km, se puede alcanzar 1.5 Mbps.

Según su configuración se utilizan para detectores de objetos o transmisión de datos.

Características fundamentales:

- Reflexión directa.
- Utilización de transductores que modulan la luz infrarroja no coherente. Deberán estar alineados o tener una reflexión directa.
- No pueden atravesar obstáculos.
- Rapidez en la instalación, ya que no es necesario tener ningún permiso.
- Imposibilidad de establecer enlaces en medios abiertos debido al cambio de las condiciones climatológicas, que pueden actuar a modo de obstáculos.

Un sistema de comunicación infrarroja esta formado por el circuito indicado en la Figura 1.33, consiste en un dispositivo transmisor (Fotodiodo) y un receptor (Fototransistor).



¹⁴ <http://html.rincondelvago.com/medios-de-transmision-de-datos.html>

Figura 1.33 Fotodiodo y fototransistor.

1.5.2 Enlaces.

Los enlaces se pueden clasificar en:

- Directo: La señal se propaga entre el emisor y el receptor sin pasar por ningún dispositivo intermedio que no sea un amplificador o repetidor, que sirven para aumentar la potencia de la señal.

Punto-a-Punto y Multipunto (difusión): Dos únicos medios que comparten un enlace directo frente a varios sistemas conectados a un mismo medio. Cada uno de estos sistemas podrá tanto recibir como transmitir información con el resto.

En las Figuras 1.34 y 1.35, se indica los sistemas respectivamente.

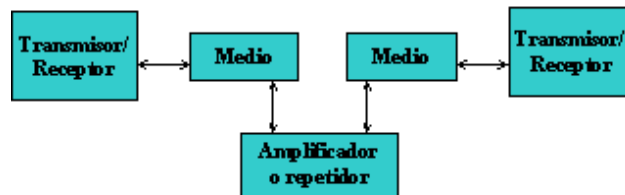


Figura 1.34 Sistema Punto-a-punto.



Figura 1.35 Sistema de Difusión.

- Indirecto: Al transportar la señal entre el emisor y el receptor sufre algún tipo de transformación (regeneradores).
- En función del sentido en que viaja la información; se puede clasificar según indica en la Tabla 1.8.


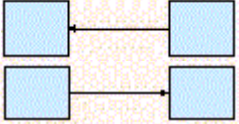
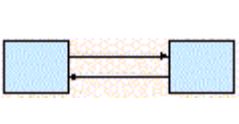
	Simplex	Sentido único de la transmisión.
	Half-duplex	Canal bidireccional, pero sólo transmite un extremo cada vez.
	Full-Duplex	Canal bidireccional, ambos extremos pueden transmitir a la vez, aunque utilizarán distintas frecuencias.

Tabla 1.8 Dirección que viajan los datos.

1.5.3 Tipos de Comunicación.

Existen dos formas de realizar una comunicación binaria, la paralela y la serial. La comunicación paralela, como la comunicación entre la impresora y el PC, mediante cable paralelo, los datos viajan simultáneamente a través varios hilos, tiene la ventaja de que la transferencia de datos es más rápida, pero el inconveniente es que se necesita un cable por cada bit de dato, lo que encarece y dificulta el diseño de las placas, otro inconveniente es la capacitancia que genera los conductores por lo que la transmisión se vuelve defectuosa a partir de unos pocos metros.

1.5.3.1 Comunicación Serial.

La comunicación serial en cambio es mucho más lenta debido a que transmite bit por bit, pero tiene la ventaja de necesitar menor cantidad de hilos, y además se puede extender la comunicación a mayor distancia, por ejemplo, en la norma RS232 a 15 m, en la norma RS422/485 a 1200 m y utilizando un MÓDEM, a cualquier parte del mundo.

Existen dos formas de realizar la comunicación serial: la sincrónica y la asincrónica, la diferencia entre estas dos formas de comunicación es que la comunicación sincrónica además de la línea para la transmisión de datos, necesita otra línea que contenga los pulsos de reloj, éstos a su vez indican cuando un dato es válido. Por otra parte la comunicación serial asincrónica no necesita pulsos de reloj, en su lugar utiliza mecanismo como

referencia tierra (RS232) o voltajes diferenciales (RS422/485), en donde la duración de cada bit es determinada por la velocidad de transmisión de datos, que se debe definir previamente entre ambos equipos.

1.5.3.2 Comunicación Serial RS232.¹⁵

La norma RS232 se incluye actualmente en los computadores, para lo cual dispone de un puerto serial y sirve para comunicarse con otras computadoras además del mouse, programadores, impresoras, etc. En la Figura 1.36 se presenta el esquema de los bits que forman un dato a ser enviado.

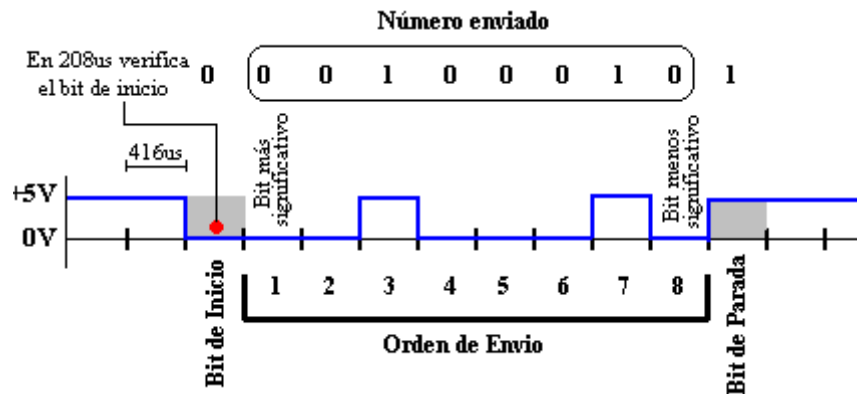


Figura 1.36 Estructura de un dato serial.

En el gráfico anterior, un dato se envía serialmente a 2400,8NI, (2400 bits/s, sin paridad, 8 bits de dato y 1 bit de parada), correspondiente al número 68, carácter ASCII de “D” (%01000100), el tiempo de un bit es de 416 µs, por lo que el receptor revisa el bit de arranque después de 208 µs, y luego cada 416 µs.

Como se puede observar la señal permanece en un nivel lógico alto mientras no realiza ninguna transferencia de datos. Para empezar a transmitir datos el transmisor coloca la línea en nivel bajo durante el tiempo de un bit (416 µs para 2400 bits/s), éste se llama el bit de arranque, a continuación empieza a transmitir con el mismo intervalo de tiempo los bits de datos, que pueden ser de 7 u 8 bits, comenzando por los bits menos significativos y

¹⁵ Reyes Carlos A., Microcontroladores PIC, 2^{da} Edición, Pág. 128.

terminando por los más significativos. Al final de la transmisión de datos se envía el bit de paridad, si estuviera activa esta opción y por último los bits de parada, que pueden ser 1 o 2, después de esto la línea vuelve a un estado lógico alto, y el transmisor está listo para enviar el siguiente dato.

Como el receptor no está sincronizado con el transmisor desconoce el momento en que empieza la transmisión, por lo que siempre debe estar en espera del cambio de estado o sea el bit de arranque, una vez que se da este bit, medio bit después vuelve a verificar si está en bajo; si no lo está no lo recibe ya que pudo ser ocasionado por un ruido en la línea; caso contrario, si el estado sigue siendo bajo, empieza a recibir la transmisión hasta el bit de parada.

Para que la lectura de los datos sea correcta, ambos equipos deben estar configurados a la misma velocidad y demás parámetros, y no exceder más allá de los 2 metros, pasado esta distancia los datos recibidos pueden no ser los correctos debido a la pérdida de voltaje en el cable, ruido, etc. Para distancias mayores existe el protocolo RS232, cuyos niveles de voltaje están establecidos de la siguiente manera: para señal 1 lógica (-5 V a -15 V) en el transmisor y (-3 V a -2.5 V) en el receptor, para señal 0 lógica (+5 V a +15 V) en el transmisor y (+3 V a +25 V) en el receptor, es decir una lógica inversa. En la Figura 1.37 se indica el orden de envío de un dato.

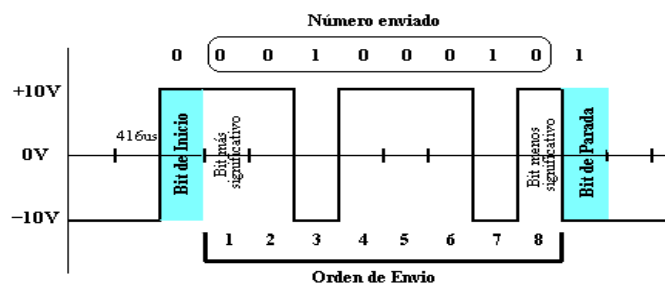


Figura 1. 37 Orden de envío del dato.

1.5.4 Tipos y Características de las Señales.

1.5.4.1 Señales Continuas y Discretas.

- Las señales continuas serán aquellas que cumplan:

$$\lim_{t \rightarrow a} s(t) = S(a) \quad \text{Ec. 1.8}$$

Cuando $t \rightarrow a$ quiere decir que el valor de t se aproxima a a , sin llegar nunca a alcanzar este valor, $s(t)$ se aproxima a $S(a)$. En forma continua, la señal varía suavemente en el tiempo sin discontinuidades. Ejemplo: la voz.

- Las señales discretas por el contrario mantienen un valor constante durante un cierto tiempo, tras el cual pasan a otro valor de forma discontinua. Ejemplo: señal binaria (que sólo puede tomar los valores 0 y 1).

1.5.4.2 Señales Periódicas y Aperiódicas.

Las señales periódicas se caracterizan porque repiten un cierto patrón en el tiempo, según la Ec. 1.9.

$$s(t + kT) = s(t), \quad k=0,1,-1,2,-2 \quad \text{Ec. 1.9}$$

Se dice que la señal es periódica de periodo T (donde T es el menor periodo que cumple la condición). Ejemplo: sinusoides, tren de pulsos. Cuando el valor del periodo no se repite la señal es aperiódica.

1.5.4.3 Velocidad de Transmisión (Vt).

Se expresa normalmente de bits por segundo (*bps*), al referirse a la velocidad de transmisión de un enlace o tasa binaria.

Existen además otras unidades como por ejemplo el baudio, o número de cambios por segundo que experimenta la señal. Sin embargo una línea de Kbauds no necesariamente transmite kbps, pues cada señal puede que transmita varios bits. Si se usaran los voltajes 0 V y 2 V, y el valor de cada señal transportará 2 bits, entonces la velocidad en bps sería el doble que la de bauds.

En el caso de la señal binaria el número de niveles de tensión son dos, que corresponde con el número de bits; por lo que la velocidad en bps es igual a los bauds. Si se tratase de un sistema de 256 niveles se tendría $256 \text{ bps} = 2^8 = 8 \text{ bauds}$.

1.5.4.4 Ancho de banda (W).

Se define como el rango de frecuencias en el que está contenida la mayor parte de la energía de la señal. Su unidad son los Herzios (Hz).

La necesidad de renunciar a parte de la energía de la señal al limitar el ancho de banda a un determinado intervalo de frecuencias, radica en el hecho de que señales con un espectro muy amplio de frecuencias no pueden transmitirse íntegramente por el medio de transmisión, puesto que éstos suelen funcionar bien exclusivamente en un determinado rango de frecuencias. Por lo tanto las frecuencias con menor energía se rechazan (se filtran). Un ejemplo muy claro de señal con espectro infinito es el pulso, base de las comunicaciones digitales.

1.5.4.5 Relación entre Ancho de Banda y velocidad de transmisión.¹⁶

La velocidad a que se pueden transmitir los bits no puede ser tan grande como se deseara, sino que tiene un máximo, impuesto por el ancho de banda. Nyquist dedujo en 1924 una expresión que relacionaba ambos parámetros, cuando la transmisión se realizará a través de un medio sin ruido:

$$Tasa \ de \ datos \ máx. = 2H \log_2 V \ [bps] \qquad \qquad \qquad \mathbf{Ec. \ 1.10}$$

Donde:

V = Número de niveles discretos de la señal.

H = Ancho de banda del filtro paso-bajo.

Con el filtro pasa-bajo se filtra la señal, señal que por tanto se podrá recuperar tomando un mínimo de $2H$ muestras por segundo (teorema del muestreo de Nyquist).

¹⁶ <http://www.it.uc3m.es/~jmoreno/telematica/servidor/apuntes/tema2/tema02.htm>

Pero no fue hasta 1948 que Shannon partiendo del trabajo de Nyquist consiguió relacionar tasa binaria y ancho de banda para un canal sujeto a un ruido aleatorio gaussiano:

$$N^{\circ} \text{ máx. de bps} = H \log_2 (1 + S/N) \quad \text{Ec. 1.11}$$

Donde:

I = Capacidad de Información (bps).

H = Ancho de Banda (Hz).

S/N = Relación de Potencia Señal-a-Ruido.

Un caso importante de señal con ancho de banda infinito es una onda digital; la necesidad de acotarla en frecuencia se debe; tanto a que el medio de transmisión es limitado, como a lo caro que resulta el ancho de banda. Al eliminar frecuencias de la señal en el tiempo se produce una distorsión, es decir, no existen pulsos perfectos con pendientes infinitas, sino aproximaciones. Esto dificulta la interpretación en recepción. Cuanto mayor es la limitación en frecuencia mayor es la distorsión, y por tanto mayor la probabilidad de error.

Finalmente se extrae como conclusión que cuanto mayor sea el ancho de banda disponible mayor será la velocidad con la que se puede transmitir. En principio con una $V_t = W/2$ la representación de la señal será suficientemente buena.

1.5.5 Transmisión de Datos Analógicos y Digitales.

1.5.5.1 Datos.

El dato se define como una entidad que transporta información. Se puede clasificar los datos en dos grupos:

- Analógicos: Los datos toman valores en un intervalo continuo. Ej.: voz, video, etc.
- Digitales: Toman valores de un conjunto discreto. Ej.: textos, números enteros.

Dependiendo del tipo de datos existen señales analógicas y digitales. Para transmitir se utiliza uno u otro tipo de señales, en función del tipo de medio del que se disponga. Por ejemplo, para transmitir datos digitales en un medio analógico se usa un módem.

1.5.5.2 Señales.

La señal se define como la codificación eléctrica o magnética de los datos.

- Señales Analógicas: El problema principal que presentan estas señales es la atenuación con la distancia, lo que provocan que se tenga que intercalar una serie de amplificadores. Sin embargo estos amplificadores tienen un problema añadido además de la señal se amplifica el ruido, por lo que cuanto más largo sea el enlace peor será la calidad de la señal en recepción.
- Señales Digitales: Con las señales digitales se elimina el problema de la pérdida de calidad, ya que en lugar de amplificadores se emplean repetidores. Los repetidores no se limitan a aumentar la potencia de la señal, sino que decodifican los datos y los codifican de nuevo, regenerando la señal en cada salto; idealmente el enlace podría tener longitud infinita.

En la Tabla 1.9 se muestra diferentes tipos de señales.


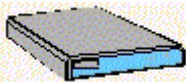


 <p>Teléfono</p>	<p>Datos Analógicos Señales Analógicas</p>
 <p>Módem</p>	<p>Datos Digitales Señales Analógicas</p>
 <p>CODEC</p>	<p>Datos Analógicos Señales Digitales</p>
 <p>Transmisor digital</p>	<p>Datos Digitales Señales Digitales</p>

Tabla 1.9 Tipos de señales.

1.5.5.3 Medios digitales.

Para transmitir datos, normalmente se usa medios digitales ya que se presentan una serie de ventajas, tales como:

- Abaratamiento de la tecnología en la escala de integración a gran escala (LSI) y a muy gran escala (VLSI).
- Ruido no aditivo, ya que los repetidores regeneran la señal.
- Uso del medio más eficiente, por ejemplo las tecnologías de multiplexación en el tiempo (técnicas digitales) que son más baratas que la multiplexación en frecuencia (técnicas analógicas).
- Seguridad y Privacidad de los datos. La digitalización de los datos (analógicos o digitales) permite usar cifrado.
- Integración, con el tratamiento digital de los datos analógicos y digitales, todas las señales se pueden tratar de forma similar.

1.6 Adquisición de Datos.

1.6.1 El sistema de adquisición de datos.

Un sistema de adquisición de datos es un equipo que permite tomar señales físicas del entorno y convertirlas en datos que posteriormente se podrá procesar y presentar. A veces el sistema de adquisición es parte de un sistema de control, y por tanto la información recibida se procesa para obtener una serie de señales de control. En la Figura 1.38 se presenta el diagrama de bloques de un sistema de adquisición de datos.

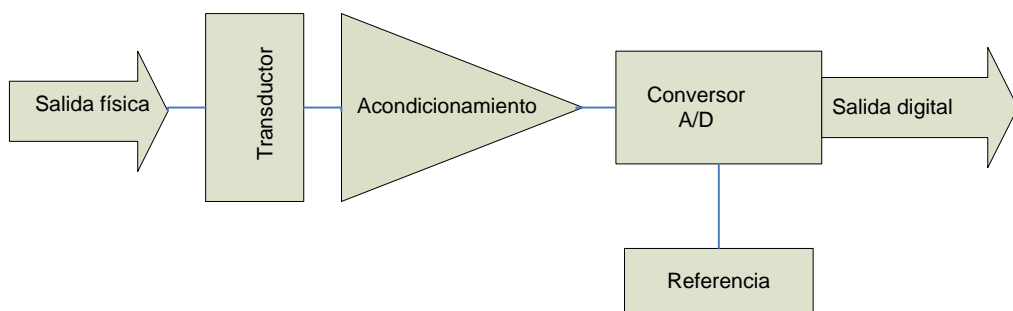


Figura 1.38 Diagrama de bloques de un sistema de adquisición de datos.

Como muestra en la Figura anterior, los bloques principales son:

- El transductor.

- El acondicionamiento de señal.
- El convertidor analógico-digital.
- La etapa de salida (interfaz con la lógica).

1.6.1.1 El transductor.

Es un elemento que convierte la magnitud física que se va a medir, en una señal de salida (normalmente tensión o corriente) que puede ser procesada por el sistema. Salvo que la señal de entrada sea eléctrica, se puede decir que el transductor es un elemento que convierte energía de un tipo en otro. Por tanto, el transductor debe tomar poca energía del sistema bajo observación, para no alterar la medida.

Los tipos de transductores pueden ser:

Presión. Permite medir la presión ejercida por un cuerpo sobre una superficie, su unidad es Pascal (Pa).

Temperatura. Facultada de medir el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente, su unidad es el grado centígrado.

Humedad. Mide la cantidad de agua o vapor que se encuentra impregnado en un cuerpo. Se expresa en porcentaje (%).

Flujo. Mide la cantidad de caudal que fluye en un determinado tiempo. Su unidad es galones por minuto.

1.6.1.2 Acondicionamiento de señal.

Es la etapa encargada de filtrar y adaptar la señal proveniente del transductor a la entrada del conversor analógico/digital. Esta adaptación suele ser doble y se encarga de:

- Adaptar el rango de salida del transductor al rango de entrada del conversor (Normalmente en tensión).
- Acoplar la impedancia de salida de uno con la impedancia de entrada del otro.

La adaptación entre los rangos de salida del conversor y el de entrada del conversor tiene como objetivo el aprovechar el margen dinámico del conversor, de modo que la máxima señal de entrada debe coincidir con la máxima que el conversor pero no con la máxima tensión admisible, ya que para ésta entran en funcionamiento las redes de protección que el conversor lleva integrada.

Por otro lado, la adaptación de impedancias es imprescindible ya que los transductores presentan una salida de alta impedancia, que normalmente no puede excitar la entrada de un conversor, cuya impedancia típica suele estar entre 1 y 10 kohms.

En una etapa de acondicionamiento de señal se encuentran las siguientes etapas, aunque no todas están siempre presentes:

- Amplificación.
- Excitación.
- Filtrado.
- Multiplexado.
- Aislamiento.
- Linealización.

a) Amplificación. Es el tipo más común de acondicionamiento. Para conseguir la mayor precisión posible la señal de entrada debe ser amplificada, de modo que su máximo nivel coincida con la máxima tensión que el conversor pueda leer.

Existen dos tipos más comunes de amplificadores.

El amplificador inversor. La Figura 1.39, ilustra una configuración básica del amplificador inversor.

En este circuito, la entrada (+) está a tierra, y la señal se aplica a la entrada (-) a través de R_1 , con realimentación desde la salida a través de R_2 .

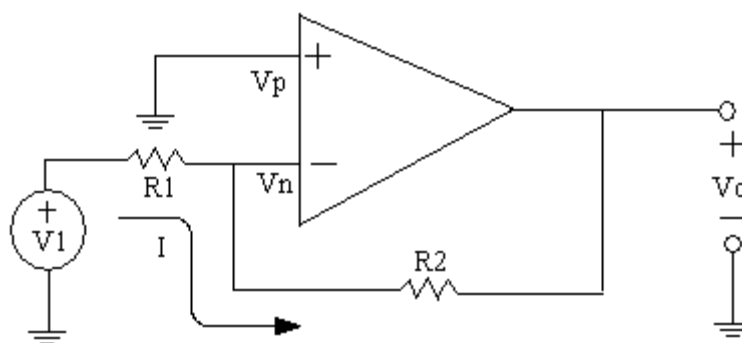


Figura. 1.39 Amplificador Inversor.

Toda la corriente I que circula por R_1 pasará por R_2 , puesto que no se derivará ninguna corriente hacia la entrada del operacional (Impedancia infinita), así pues el producto de I por R_2 será igual a $-V_0$

$$I = -\frac{V_o}{R_2} \quad \text{Ec. 1.12}$$

$$\frac{V_i}{R_1} = -\frac{V_o}{R_2} \quad \text{Ec. 1.13}$$

por lo que:

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} * V_i \quad \text{Ec. 1.14}$$

luego la ganancia del amplificador inversor:

$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1} \quad \text{Ec. 1.15}$$

Con la Ec. 1.13, se puede determinar la ganancia ajustando bien R_1 , o bien R_2 . Si R_2 varía desde cero hasta infinito, la ganancia variará también desde cero hasta infinito, puesto que es directamente proporcional a R_1 . La impedancia de entrada es igual a R_1 , y V_i y R_2 únicamente determinan la corriente I , por lo que la corriente que circula por R_2 es siempre I , para cualquier valor de R_2 .

Amplificador no Inversor. Este circuito es muy parecido al inversor, la diferencia es que la señal se introduce por el terminal no inversor, lo cual va a significar que la señal de salida estará en fase con la señal de entrada y amplificada.

El análisis matemático será igual que en el montaje inversor (Ver Figura 1.40).

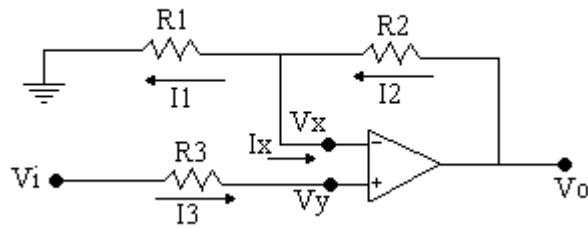


Figura 1.40 Amplificador no Inversor.

Se considera que:

$$V_x = V_y; I_x = 0; I_3 = 0; I_1 = \frac{V_x - 0}{R_1}; I_2 = \frac{V_o - V_x}{R_2} \quad \text{Ec. 1.16}$$

Teniendo en cuenta que: $V_y = V_i$ y $V_x = V_i$ se obtiene:

$$I_1 = \frac{V_i}{R_1}; I_2 = \frac{V_o - V_i}{R_2} \text{ y si } I_x = 0 \Rightarrow I_2 = I_1$$

$$\frac{V_o - V_i}{R_2} = \frac{V_i}{R_1} \Rightarrow R_1 * V_o - R_1 * V_i = R_2 * V_i \Rightarrow \quad \text{Ec. 1.17}$$

$$\Rightarrow R_1 * V_o = R_2 * V_i + R_1 * V_i \Rightarrow V_o = \frac{R_2 * V_i + R_1 * V_i}{R_1} \rightarrow \quad \text{Ec. 1.18}$$

$$\Rightarrow V_o = \frac{V_i * (R_2 + R_1)}{R_1} \Rightarrow V_o = V_i * \frac{R_2}{R_1} + 1$$

en este caso la ganancia será:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R_2}{R_1} + 1$$

Ec. 1.19

Como se muestra en la ecuación 1.19, la ganancia de este amplificador no puede ser menor que 1. Como en el caso del amplificador inversor, R3 es igual a la combinada en paralelo de R2 y R1.

b. Excitación. La etapa de acondicionamiento de señal a veces genera excitación para algunos transductores, como los sensores MPX10D (que tienen un puente de Wheatstone), LM35DZ, humedad de suelo (WaterMark), SHT11 que necesitan de la misma; bien por su constitución interna, o bien por la configuración en que se conectan (como el caso del MPX100, que tiene el puente de Wheatstone).

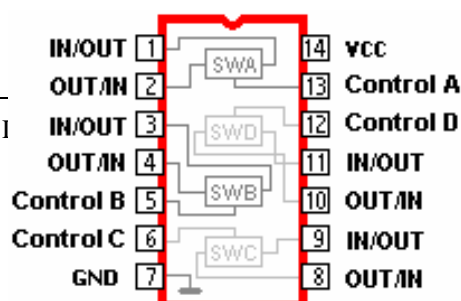
c. Filtrado. El fin del filtro es eliminar las señales no deseadas de la señal que se está observando. Por ejemplo, en las señales casi continuas, (como la temperatura) se usa un filtro de ruido, que eliminará interferencias, incluidas las de 60 Hz de la red eléctrica que ocasionan errores en la adquisición de datos.

d. Multiplexado. El multiplexado es la conmutación de las entradas del conversor, de modo que con un sólo conversor, se puede medir los datos de diferentes canales de entrada. Puesto que el mismo conversor está midiendo diferentes canales, su frecuencia máxima de conversión será la original dividida por el número de canales muestreados.

Un multiplexor es el circuito integrado CD4016.

Interruptor Bilateral (CD4016).¹⁷

El circuito integrado, es un cuádruple interruptor Bilateral, diseñado para la transmisión o multiplexado de señales digitales o analógicas, se puede considerarlo como un interruptor de conmutación, cada uno de los interruptores dispone de un PIN de control y dos PINES de entrada/salida. En la Figura 1.41 se indica la disposición de pines del circuito integrado.



¹⁷ Tocci Ronald J., Sistemas I

Figura 1.41 Disposición de pines del C.I. CD4016.

Bidireccional significa que cualquiera de los dos pines de cada interruptor exceptuando el pin de control, puede hacer de entrada, mientras el otro es de salida.

Cada interruptor entra en conducción cuando se presenta un nivel alto ("1" Lógico), y en corte cuando se envíe un nivel bajo ("0" Lógico) por el mismo pin de control.

e. Aislamiento. Otra aplicación habitual en acondicionamiento de la señal, es el aislamiento eléctrico entre el transductor y el computador, para proteger al mismo de transitorios de alta tensión que puedan dañarlo. Un motivo adicional para usar aislamiento es garantizar que las lecturas del conversor no son afectadas por diferencias en el terminal de tierra de fuentes DC o por tensiones en modo común.

Cuando el sistema de adquisición y la señal a medir están ambas referidas a tierras diferentes pueden aparecer problemas, si hay una diferencia de potencial entre ambas tierras, apareciendo un "lazo de masa", que puede devolver resultados erróneos en la adquisición de datos.

f. Linealización. Muchos transductores, como el LM35, presentan una respuesta no lineal ante cambios lineales en los parámetros que están siendo medidos. Aunque la linealización puede realizarse mediante métodos numéricos, en el sistema de adquisición de datos, se realiza corrección mediante hardware.

1.6.1.3 La conversión Análogo/Digital.

Es un sistema que presenta en su salida una señal digital a partir de una señal analógica de entrada, (normalmente de tensión) realiza las funciones de **cuantificación** y **codificación**.

La cuantificación implica la división del rango continuo de entrada en una serie de pasos, de modo que para infinitos valores de la entrada, la salida sólo puede presentar una serie determinada de valores. Por tanto la cuantificación implica una pérdida de información.

La codificación es el paso por el cual la señal digital se presenta según un determinado código binario, de modo que las etapas posteriores al conversor puedan leer estos datos adecuadamente. Este paso hay que tener siempre en cuenta, ya que puede hacer que se

obtengan datos erróneos, sobre todo cuando el sistema admite señales positivas y negativas con respecto a tierra, momento en el cual la salida binaria del conversor proporciona, tanto la magnitud como el signo de la tensión que ha sido medida.

a. Características básicas de un conversor A/D.¹⁸

A continuación se describen las características básicas del conversor, que se debe tener en cuenta para realizar medidas de un modo correcto:

- Impedancia de entrada.
- Rango de entrada.
- Número de bits.
- Resolución.
- Tensión de fondo de escala.
- Tiempo de conversión.
- Error de conversión.

Hay una serie de características que son comunes a otros tipos de circuitos que no se explicarán, aunque siempre hay que tener en cuenta, como la impedancia de entrada, fan-out, etc.

Número de bits: Es el número de bits que tiene la palabra de salida del conversor, y por tanto es el número de pasos que admite. Así un conversor de 8 bits sólo podrá dar a la salida $2^8 = 256$ valores posibles.

Resolución: Es el mínimo valor que puede distinguir el conversor en su entrada analógica, o dicho de otro modo, la mínima variación, V_{in} , en el voltaje de entrada que se necesita para cambiar en un bit la salida digital. En resumen, se tiene:

$$V_i = \frac{V_{fe}}{(2^n - 1)} \quad \text{Ec. 1.20}$$

Donde:

n = Número de bits del conversor.

V_{fe} = Tensión de fondo de escala.

¹⁸ www.redeya/electronica/tutoriales/adquisiciondedatos.html

Es decir, aquella salida digital es máxima.

La tensión de fondo de escala depende del tipo de conversor, pero normalmente se fija de acuerdo al diseño, en forma de una tensión de referencia externa, (aunque en algunos casos, como el del conversor ADC 0808, la tensión de fondo de escala es el doble de la tensión de referencia). Por ejemplo, un conversor de 8 bits con una tensión de fondo de escala de 2 V, tendrá una resolución de:

$$\frac{2V}{2^8 - 1} = 7,84 \frac{mV}{\text{paso}}$$

En cambio, para el mismo conversor, para otra tensión de referencia, resolución será de:

$$\frac{5V}{2^8 - 1} = 19,6 \frac{mV}{\text{paso}}$$

b. Tiempo de conversión.

Es el tiempo que tarda en realizar una medida el conversor en concreto, y dependerá de la tecnología de medida empleada. Evidentemente da una cota máxima de la frecuencia de la señal a medir.

Este tiempo se mide como el transcurrido desde que el conversor recibe una señal de inicio de conversión (normalmente llamada SOC, Start of Conversión) hasta que en la salida aparece un dato válido. Para tener constancia de un dato válido hay caminos:

- Esperar el tiempo de conversión máximo que aparece en la hoja de características.
- Esperar a que el conversor envíe una señal de fin de conversión.

Si no se respeta el tiempo de conversor, en la salida se tendrá un valor, que dependiendo de la constitución del conversor será:

- Un valor aleatorio, como consecuencia de la conversión en curso.
- El resultado de la última conversión.

Esta es la parte fundamental del sistema de adquisición de datos. Existen diferentes técnicas para convertir una señal, como:

- Aproximaciones sucesivas.
- Doble rampa.
- Flash.
- Tensión/Frecuencia.

A continuación se detallará solo la primera, pues es la más utilizada en la circuitería de un conversor A/D.

Conversor de aproximaciones sucesivas.

Como se mencionó anteriormente es el más utilizado, ya que permite altas resoluciones y tiempos de conversión relativamente pequeños con un bajo costo. Se puede alcanzar velocidades de hasta 1 Mhz.

En la Figura 1.42 muestra un diagrama de bloques que explica el funcionamiento de este conversor.

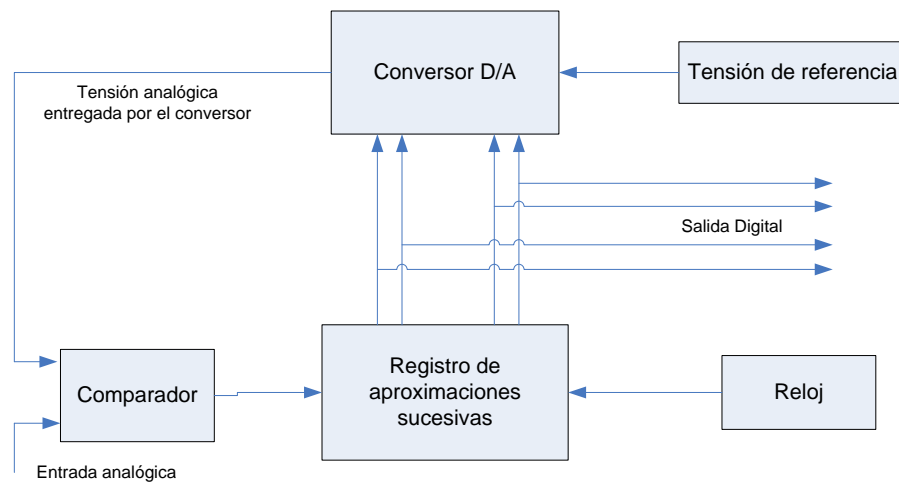


Figura 1.42 Conversor de aproximaciones sucesivas.

El registro de aproximaciones sucesivas proporcionan los códigos digitales al conversor D/A y la salida de éste se compara con la tensión que se puede convertir.

Errores en los convertidores analógico/digital.

Un conversor no es un circuito perfecto, sino que presenta una serie de errores que se debe considerar antes de usar como un dato final. Entre los más importantes se tiene:

- Error de offset.
- Error de cuantificación.
- Error de linealidad (linealidad integral).
- Error de apertura.

Estos errores se pueden corregir mediante algoritmos o calibraciones.

1.6.1.4 La etapa de salida.

Es el conjunto de elementos que permiten conectar a un sistema de adquisición de datos con el resto del equipo, y puede ser desde una serie de buffers digitales incluidos en el circuito de conversión, hasta un interfaz RS232, RS485 o Ethernet para conectar a un computador o estación de trabajo, en el caso de sistemas de adquisición de datos.

1.7 Tarjetas de Adquisición de Datos y Microcontroladores.

1.7.1 Tarjetas de Adquisición de Datos.

Una tarjeta de adquisición de datos (DAQ), es un hardware que está conformado por sinnúmero de elementos, tales como; microprocesador, bancos de memorias, periféricos de entradas/salidas (I/O), conversores, contadores, temporizadores, amplificadores, multiplexores, etc. Todos estos elementos hacen que una tarjeta realice una variedad de funciones.

Pero la tarea fundamental de una tarjeta DAQ es la medición y generación de señales físicas del mundo real.

Las tarjetas DAQ, se conectan directamente al bus del computador, que a través de un software y un controlador permiten adquirir y procesar los datos en tiempo real.

Existen diferentes tipos de tarjetas, cada una con sus respectivas características de funcionamiento y fabricación. En la Figura 1.42 se muestran algunas tarjetas de la serie M (National Instruments).

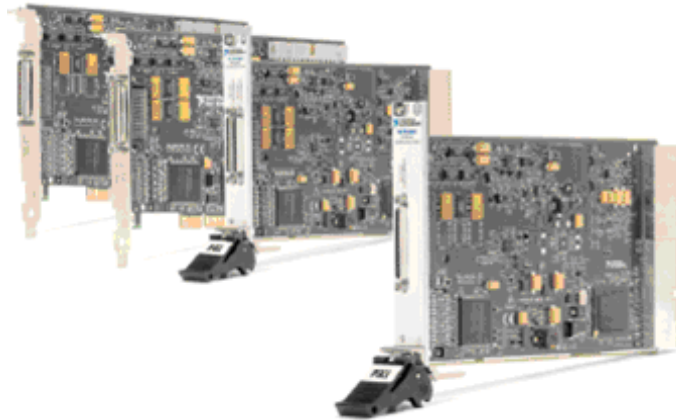


Figura 1.42 Tarjeta DAQ de la Serie M.

1.7.2 Microcontroladores PIC.¹⁹

Un microcontrolador es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Pues el PIC es una microcomputadora, el cual necesita de periféricos de entrada y salida para su correcta utilización. Las entradas dependiendo de su aplicación pueden ser: sensores, teclados, pulsadores, switch, etc. Las salidas igualmente dependiendo de la aplicación pueden ser: leds, display, LCD, relés, computadoras, etc.

El micro esta compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica, sus partes o componentes principales son:

- **Memoria ROM** (Memoria sólo de lectura).
- **Memoria RAM** (Memoria de acceso aleatorio).
- **Líneas de entrada/salida (I/O)** También llamados puertos.
- **Lógica de control** Coordina la interacción entre los demás bloques.

¹⁹ Corrales V. Santiago, Electrónica Práctica con microcontroladores PIC, 1^{ra} Ed., Pág. 9-13.

En la Figura 1.44 se muestra un diagrama de bloques de la estructura interna de un microcontrolador. Los microcontroladores funcionan con un reloj externo, el cual indica al micro la velocidad a la que debe trabajar. Este circuito es muy simple pero de mucha importancia para el buen funcionamiento del sistema, ya que sin él no podría ejecutar las órdenes o las líneas de instrucción que se encuentran programadas en el mismo.

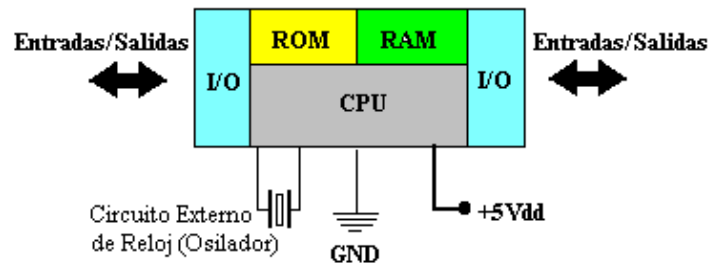


Figura 1.44 Diagrama de bloques del Microcontrolador.

Los tipos de cristal más comunes para un microcontrolador PIC son:

1. RC. Oscilador con resistencia y condensador.

Según las recomendaciones de Microchip, la resistencia puede tomar valores entre 5 K y 100 K, el condensador valores superiores de 20 pF (Figura 1.45).

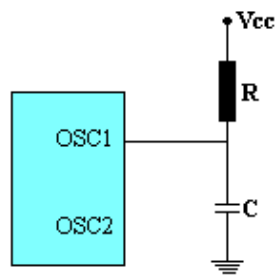


Figura 1.45 Oscilador RC.

2. XT. Cristal (Figura 1.46).

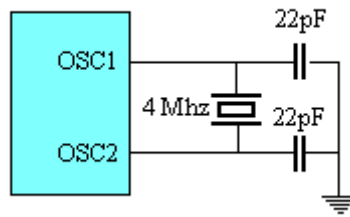


Figura 1.46 Oscilador XT.

3. **HS.** Cristal de alta velocidad.

4. **LP.** Cristal para baja frecuencia y bajo consumo de potencia.

1.7.2.1 Arquitectura interna de un microcontrolador.

Un microcontrolador es un dispositivo complejo, formado por otros circuitos más sencillos. Como son:

1. **Procesador.** Es la parte encargada del procesamiento de las instrucciones. Debido a la necesidad de conseguir elevados rendimientos en este proceso, se ha desembocado en el empleo generalizado de procesadores de arquitectura Harvard, frente a los tradicionales que seguían la arquitectura Von Neumann.

Esta última se caracterizaba porque su CPU se conectaba con una memoria única, donde coexistían datos e instrucciones, a través de un sistema de buses. En la Figura 1.47 se muestra un esquema de la arquitectura Von Neumann.

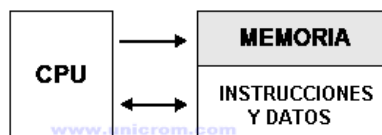


Figura 1.47 Arquitectura Von Neumann.

En la arquitectura Harvard son independientes la memoria de instrucciones y la memoria de datos; y cada una dispone de su propio sistema de buses para el acceso. Esta dualidad, además de propiciar el paralelismo, permite la adecuación del tamaño de las palabras y

los buses a los requerimientos específicos de las instrucciones y de los datos, como se muestra en la Figura 1.48.

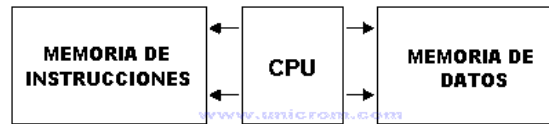


Figura 1.48 Arquitectura Harvard.

El procesador de los modernos microcontroladores responde a la arquitectura RISC (Computadores de Juego de Instrucciones Reducido), que se identifica por poseer un repertorio de instrucciones pequeño y simple, de forma que la mayor parte de las instrucciones se ejecutan en un ciclo de rutinas.

2. Memoria de programa. Ésta es la memoria de instrucciones, aquí es donde se almacena el programa o código que el microcontrolador debe ejecutar. No se puede utilizar memorias externas de ampliación.

- **Memorias EEPROM.** (Electrical Erasable programmable Read Only Memory). Esta tarea se hace a través de un circuito grabador y bajo el control de un PC (IC-PROG). El número de veces que puede grabar y borrar una memoria EEPROM es finito aproximadamente 1000 veces.

- **Memoria FLASH.** Posee las mismas características que la EEPROM, pero ésta tiene menor consumo de energía y mayor capacidad de almacenamiento, por ello esta sustituyendo a la memoria EEPROM.

En la Figura 1.49 se observa la memoria de programa de un microcontrolador, ésta se divide en páginas de 2048 posiciones.

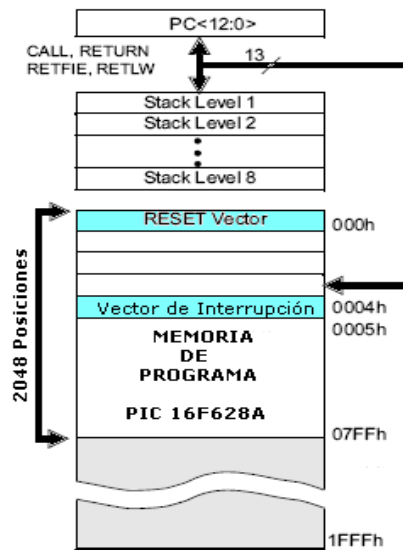


Figura 1.49 Memoria de programa.

Cuando ocurre un Reset, el contador de programa (PC) apunta a la dirección 0004h, entonces ahí se escribe la programación necesaria para atender dicha interrupción. Ocurre lo mismo, cuando hay una interrupción en el contador de programa.

3. Memoria de datos. Este tipo de memoria posee dos:

➤ RAM estática ó SRAM.

Donde residen los Registros Específicos (SFR) con 24 posiciones de tamaño byte, aunque dos de ellas no son operativas y los Registros de Propósito General (GPR) con 68 posiciones.

➤ EEPROM.

Es una memoria PROM, cuyos datos se borran eléctricamente, en ésta se puede almacenar datos tipo Byte, que no se pierden al desconectar la alimentación.

CAPÍTULO II

ELEMENTOS DE DISEÑO

2.1 Análisis del área en donde se realizará el proyecto.

2.1.1 Dimensionamiento del terreno.

El terreno o campo es el área donde se acentuará la plantación, este campo se encuentra en su estado natural, el mismo que necesita de su tratamiento y acondicionamiento para el cultivo que se implementará. Se debe limitar el área que se va a cultivar, dejando bordes que oscilan entre 1 a 1.5 metros para la instalación del sistema de riego, cercar y tener acceso a una inspección rutinaria del cultivo.

Para diseñar el área donde se va a cultivar es muy importante tomar en cuenta el tipo de cultivo que se implementará, pues los caballotes o camas varían su tamaño de acuerdo al cultivo y densidad de las plantas.

Por ejemplo, para un cultivo de fresa, las dimensiones del caballote y surcos se detalla en la Figura 2.1.

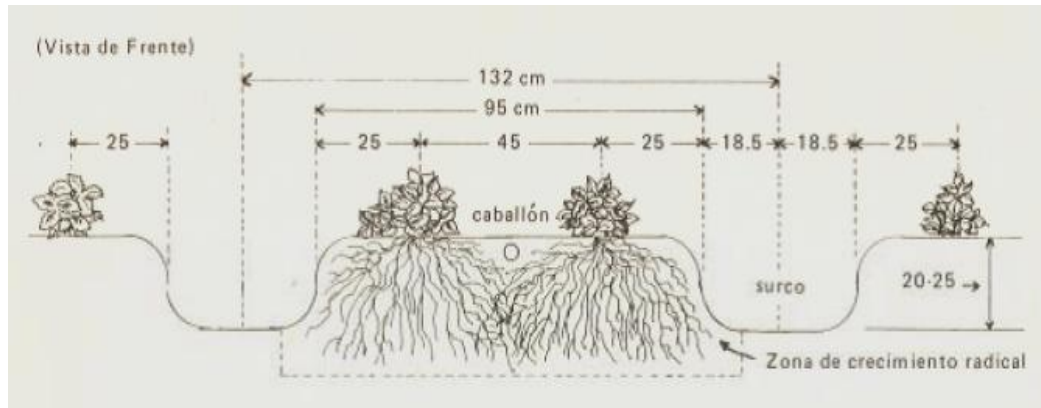


Figura 2.1 Dimensiones del caballete para el cultivo de fresa.

Con el área de cultivo y las dimensiones dadas, se puede determinar el número de caballones (Figura 2.2).



Figura 2.2 Distribución de caballones en el área de terreno.

El dimensionamiento no es una norma rigurosa, ya que puede variar de acuerdo a las necesidades y factores que influyen en los cultivos.

2.1.2 Área de estación de bombeo y fertilización.

La estación de bombeo es el área donde se encuentra la bomba, siendo ésta el punto de inicio del sistema hidráulico, el sistema de riego depende mucho de esta máquina, pues, es la encargada de aumentar la presión y caudal del agua para un correcto funcionamiento del sistema de riego. En la Figura 2.3, se muestra un ejemplo del área de instalación de la estación de bombeo.

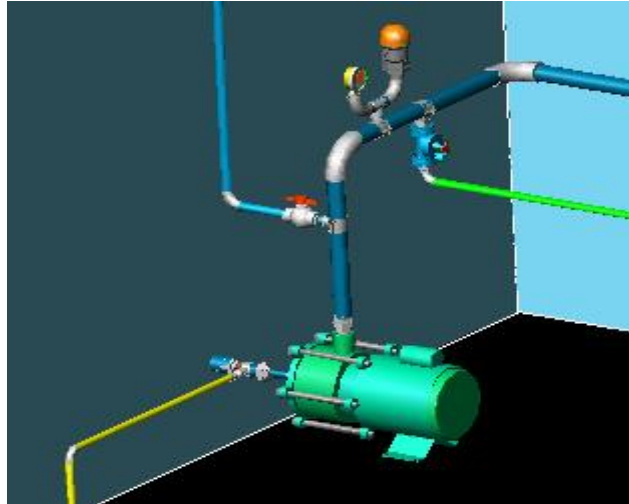


Figura 2.3 Área de la estación de bombeo.

El área donde esta ubicada esta máquina debe estar distribuida de tal forma que permita un adecuado funcionamiento y accesibilidad al mantenimiento, libre de agentes contaminantes o destructivos y con su respectiva señalización.

La unidad de fertilización es la encargada de inyectar los nutrientes necesarios con dosis adecuadas y una excelente mezcla que exigen los cultivos. En la Figura 2.4, se observa una unidad de fertilización, con sus elementos distribuidos en una determinada área.



Figura 2.4 Área distribuida en la unidad de fertilización.

El área de fertilización se distribuye de acuerdo a las dimensiones de cada elemento que constituye esta unidad (dosificador, mezclador e inyector), considerando los espacios de operación y mantenimiento.

2.1.3 Reservorio de agua.

En un sistema de riego, el reservorio es una de las partes de mucha importancia, ya que de éste depende el óptimo suministro de la cantidad de agua, sin que falte en ningún momento.

Para diseñarlo se debe determinar la capacidad cúbica, capaz de abastecer toda la plantación, determinar la forma y seleccionar el material para su construcción.

Capacidad cúbica del reservorio.

Forma:

Determina la forma del reservorio, ya sea ésta cuadrada, rectangular, circular o diferente a las anteriores, como se muestra en la Figura 2.5.

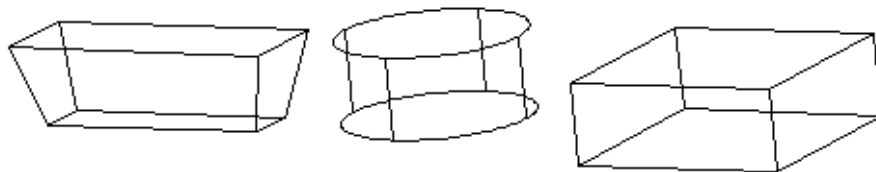


Figura 2.5 Formas de reservorios.

Volumen:

Cálculo del volumen de la forma.

$$\text{Volumen} = \text{área} * \text{altura}$$

Ec. 2.1

Capacidad:

Cálculo de la capacidad.

$$\text{Capacidad} = \text{volumen} * 1000$$

Ec. 2.2

Material:

Los materiales básicos utilizados para la construcción de reservorios se indican en la Tabla 2.1.

Material	Impermeabilizante	Ubicación
Hormigón	Cemento, cerámica, cemento negro, etc.	Sobre y Bajo tierra
Polietileno	Impermeables	
Metálicos	Impermeables	
Poliuretano	Impermeables -----	Sobre y Bajo tierra.

Tabla 2.1 Materiales para construir reservorios.

2.1.4 Unidad de supervisión y control.

La unidad de supervisión y control es la encargada de controlar en forma automática y manual mediante software y hardware todos los dispositivos eléctricos y mecánicos; de esta unidad depende el óptimo funcionamiento del proceso de producción en la plantación.

Es muy importante adecuar correctamente esta unidad aplicando ciertas condiciones eléctricas y arquitectónicas para los espacios de manejo y mantenimiento.

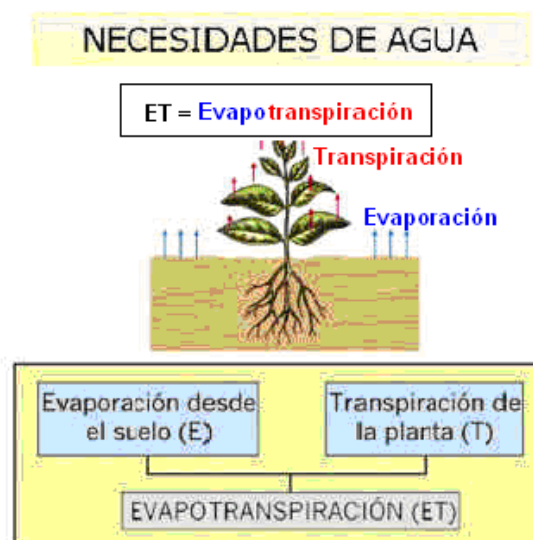
2.2 Sistema Riego localizado de alta frecuencia.

2.2.1 Requerimientos de agua del cultivo.²⁰

Uno de los aspectos fundamentales en el manejo del riego de cualquier cultivo, es aquel relacionado con su demanda de agua, no sólo en términos globales sino también la que se produce en las distintas etapas de su desarrollo.

Al respecto, muchos son los investigadores que han abordado el tema, planteando ecuaciones y relaciones que permiten, de una u otra forma, estimar con cierta probabilidad lo que realmente la planta está necesitando en un momento determinado. Ello permite regular la frecuencia y la cantidad de agua que se desea aplicar.

Para determinar el déficit de agua en el suelo a reponer con el riego y la frecuencia con que debe hacerse, a fin de mantener un rendimiento de los cultivos acorde con los beneficios que se esperan del regadío, se requiere conocer la evapotranspiración,²¹ la que varía fundamentalmente según el cultivo y el clima. En la siguiente Figura se muestra el proceso de la evapotranspiración.



²⁰ <http://www.elriego.com>

²¹ Es la evaporación del agua en un terreno, originada por la transpiración de las plantas.

Figura 2.6 Proceso de la evapotranspiración.

La evapotranspiración real o verdadera de un cultivo, en cierto momento de su ciclo vegetativo, puede expresarse como:

$$ET = ET_0 \times K_c \quad \text{Ec. 2.3}$$

Donde:

- ET = Evapotranspiración real del cultivo.
- ET₀ = Evapotranspiración de referencia.
- K_c = Factor que corrige el cultivo según su fase vegetativa.²²

ET₀ depende esencialmente de los factores físicos, climáticos y está débilmente influida por la especie vegetal de que se trate. Es decir, que ET₀ es función de la energía para cambiar el estado físico del agua, de la cabida en la atmósfera para el vapor de agua y de la remoción del vapor de agua de la superficie evaporante.

Existen varios métodos para su estimación, entre ellos están: de la radiación y del evaporímetro. Los dos primeros tienen un uso restringido, pues requieren de datos climáticos

La estimación de la evapotranspiración del cultivo de referencia o potencial diaria se basa en la relación siguiente:

$$ET_0 = 0,0023 (t_{med} + 17,78) R_0 * (t_{max} - t_{min})^{0.5} \quad \text{Ec. 2.4}$$

Donde:

ET₀ = Evapotranspiración potencial diaria, mm/día.

t_{med} = Temperatura media diaria, °C.

R₀ = Radiación solar extraterrestre, en mm/día (Tabulada).

t_{max} = Temperatura diaria máxima.

²² <http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.metododeblanney.pdf>

t_{\min} = Temperatura diaria mínima.

Para evaluar la Radiación Solar Extraterrestre (R_0) existen varias tablas, que se indican en el Anexo A3, todas ellas en función de la latitud y del mes. Estas tablas están en MJulio/m²/día, para pasar a mm/día (de agua evaporada) hay que multiplicar por 0,408.

2.2.2 Descripción del sistema de riego.

Los equipos de riego localizado permiten suministrar agua y fertilizantes en forma dirigida a la planta. El agua es conducida a cada planta a través de una red de tuberías y entrega por goteros, microjet o cinta. En el terreno, el agua se distribuye formando un bulbo de mojado cuya forma y tamaño depende del tipo de suelo, caudal del emisor y tiempo de riego.

Una instalación típica de riego localizado (Figura 2.7), está constituida por un cabezal de riego y aparatos de control hidráulico; más una red de distribución y emisores (gotero, microjet, microaspersor o cinta).

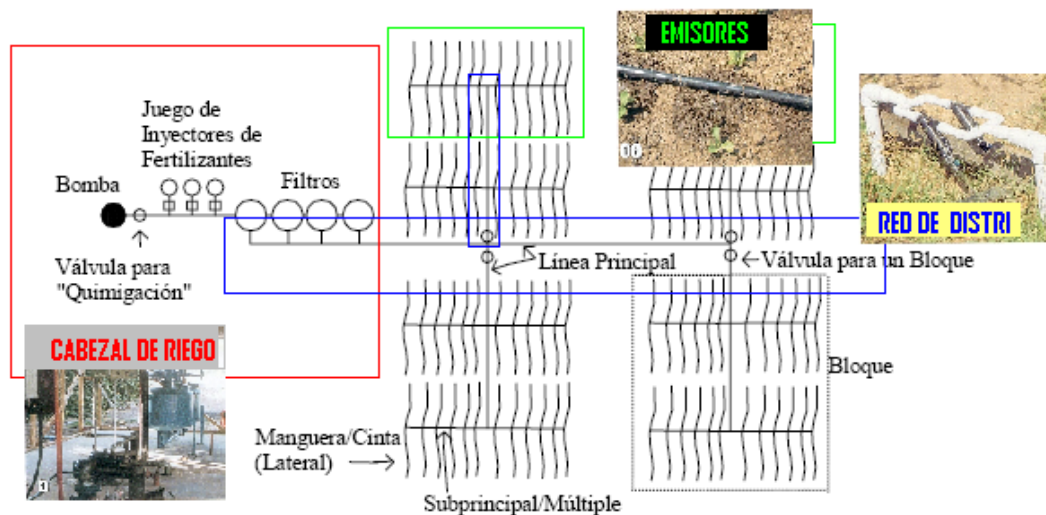


Figura 2.7 Instalación típica de riego localizado.

2.2.2.1 Cabezal de riego o centro de control.

Se entiende por cabezal de riego o centro de control, al conjunto de instrumentos utilizados para filtrar el agua, fertilizar, controlar presiones y caudales. En la Figura 2.8 se presenta un esquema clásico de un cabezal de riego.

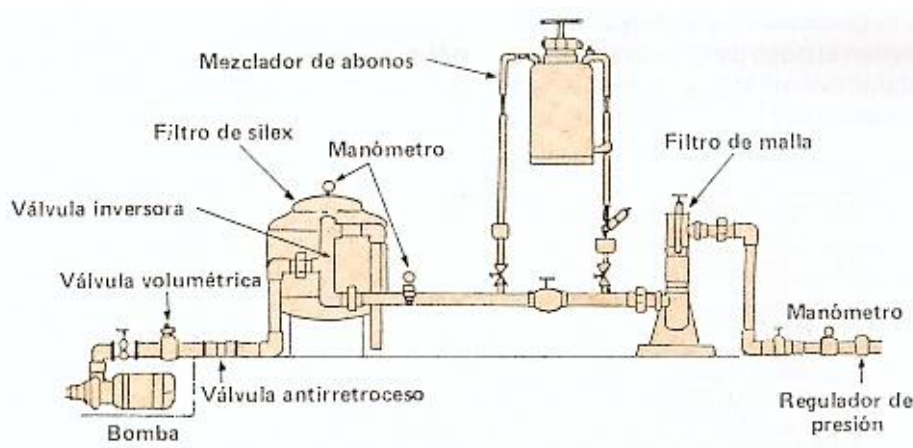


Figura 2.8 Cabezal de riego por goteo.

A continuación se describe los componentes del cabezal de riego.

a) Equipos de filtrado.

El problema más grave y frecuente en las instalaciones de riego localizado, y en particular las de goteo y cinta, es el de las obturaciones. Por ello es importante estar seguro que el equipo tenga los filtros adecuados en cuanto al tipo y tamaño.

El tipo o tipos de filtros necesarios en una instalación de riego localizado, dependerá de la naturaleza y tamaño de las partículas contaminantes (Tabla 2.2).

Contaminante	Hidrociclón separador	Filtro de grava	Filtro de malla
Arena	✓		✓
Limo y arcilla		✓	✓
Orgánicos		✓	✓

Tabla 2.2 Selección del tipo de filtro dependiente del elemento contaminante.

- **Prefiltros.** En caso que el agua esté muy contaminada por sólidos, puede ser indispensable instalar en la toma, antes de entrar en el cabezal, prefiltros que retienen grandes volúmenes de contaminantes, o por lo menos las partículas mayores. Dentro de los prefiltros, los más convenientes son los depósitos de decantación.
- **Separadores de arena (hidrociclones y separadores).**

Son aparatos que pueden hacer las funciones de prefiltros, pero por lo general, dentro del cabezal. Se usan como sustitutos de filtro de grava, cuando el agua está contaminada, principalmente por arena (Figura 2.9).

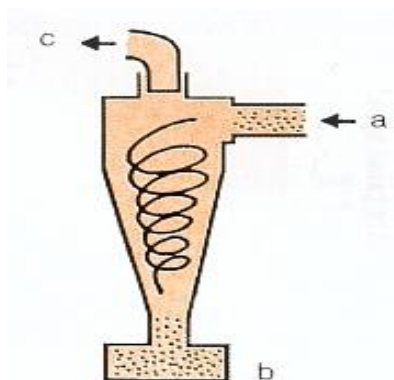


Figura 2.9 Esquema hidrociclón: a) Entrada de agua, b) Recipiente acumulador arena, c) Salida de agua.

Con estos dispositivos, debido a un flujo vertical, se consigue separar hasta el 98% de la arena, que sería equivalente a un tamiz de 200 mallas. Sirven para separar partículas más densas que el agua.

A diferencia de otros filtros, los hidrociclones y separadores mantienen la pérdida de carga constante a lo largo del tiempo.

En las Figuras 2.10 y 2.11 se presentan las características de caudal-pérdida de carga de hidrociclones y separadores, respectivamente.

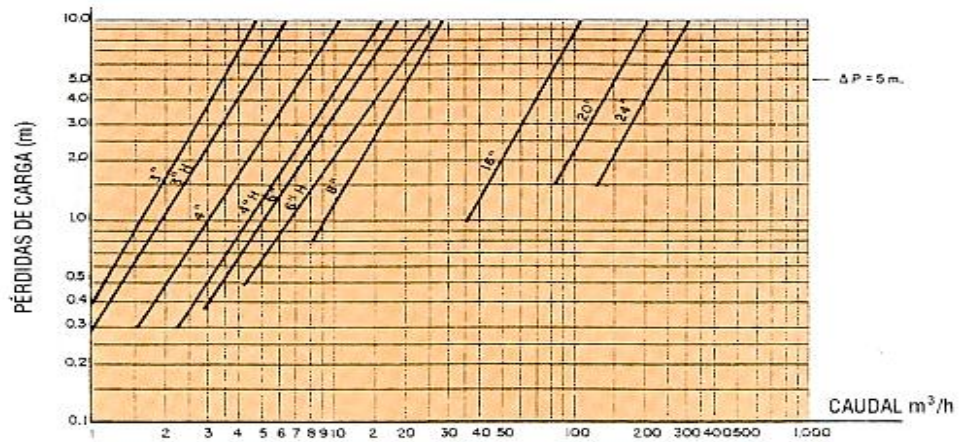


Figura 2.10 Curvas caudal-pérdida de carga de hidrociclones.

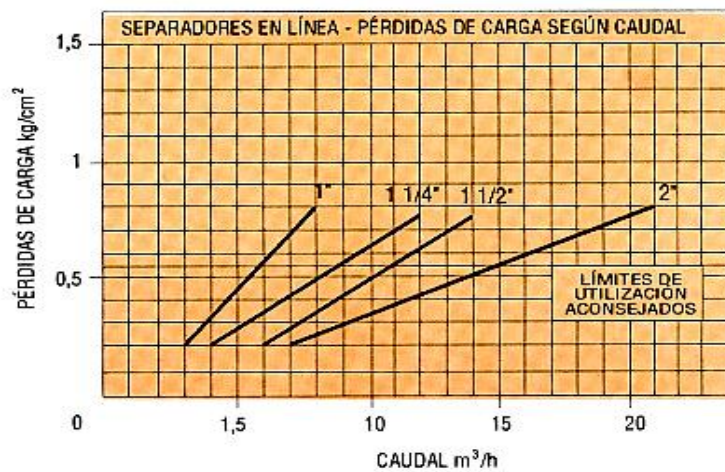


Figura 2.11 Curvas caudal-pérdida de carga en separadores.

- **Filtro de arena.** Consiste en tanques metálicos o de plástico reforzado, capaces de resistir las presiones estáticas y dinámicas de la red, rellenos de arena o grava (granito o sílice) tamizada de un determinado tamaño. Cuando el agua atraviesa el tanque, la arena realiza su filtrado.

Los filtros de grava son muy efectivos para retener la materia orgánica; pues, a través de todo el espesor de arena, acumulan grandes cantidades de algas antes de

que sea necesaria su limpieza. También se usan para retener arcillas y arenas finas. En la Figura 2.12 se muestra la disposición de la arena de los filtros de grava.

El tamaño y tipo de la arena de filtro determina la forma y dimensiones de los poros que controlan el filtrado. El diámetro de poros es aproximadamente de 1/7 a 1/10 del diámetro de la arena del filtro (Tabla 2.3).

Material	Diámetro			
	Medio arena (mm)	Efectivo (mm)	De poros (mm)	Equivalente en Mesh
Granito molido	1,90	1,50	0,214	70
Granito molido	1,00	0,78	0,111	140
Sílice	0,83	0,66	0,094	170
Sílice	0,55	0,46	0,066	230
Sílice	0,34	0,27	0,039	400

Tabla 2.3 Tamaño medio de las partículas de arena de los filtros de grava (mm) y el diámetro de poros que genera (mm).

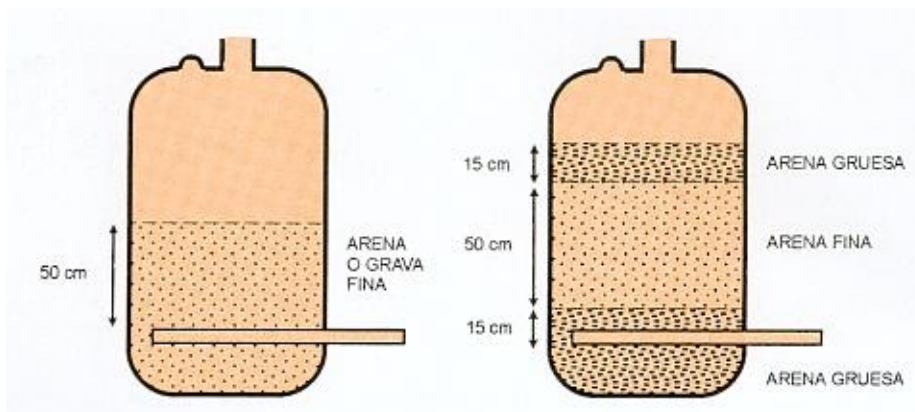


Figura 2.12 Disposición de la arena en los filtros de grava.

- **Filtros de malla.** Normalmente se sitúan en el cabezal, inmediatamente después del tanque fertilizante. A diferencia de los filtros de grava que trabajan por superficie y profundidad, los filtros de malla sólo lo hacen por superficie, por lo que pueden retener menos cantidad de partículas sólidas.

El caudal a tratar por un filtro de malla; dependerá de la calidad de agua, la superficie de filtrado, el porcentaje de orificios y la pérdida de carga permitida.

Para un filtro de malla fina se admite, normalmente, un caudal máximo de 250 m³/h por m² de superficie filtrante de acero inoxidable y 100 m³/h para una malla de nylon para un mismo diámetro de orificio.

En un filtro de malla (Figura 2.13), las pérdidas de cargas varían de 1 a 3 metros, se debe limpiar cuando ésta aumenta en 3,5 m.c.a (metros de columna de agua), lo que significaría una pérdida de presión en los filtros de malla entre 4,5 a 6,5 m.c.a.

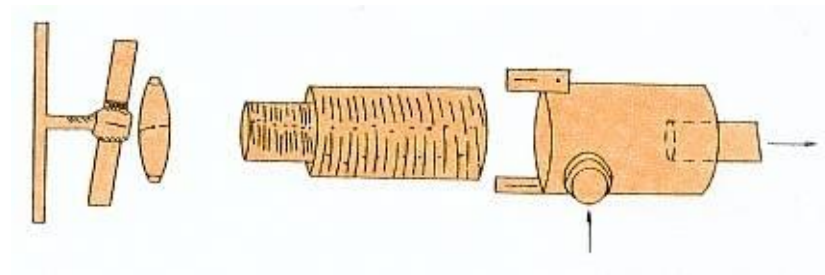


Figura 2.13 Filtro de malla.

b) Unidad de fertilización.

Tanto los macro como los microelementos que el cultivo necesita, pueden ser incorporados en el agua de riego, siempre que sean solubles en ella. También pueden aplicarse ácidos (sulfúrico, clorhídrico, fosfórico, nítrico), fungicidas, hipoclorito de sodio, etc.

Los tanques de fertilización, en general, son depósitos de 20 a 400 litros, en donde se coloca los fertilizantes, fungicidas, etc. La solución madre o mezcla es incorporada a la red de distribución mediante un inyector.

Inyector. Son normalmente dispositivos que suministran la solución fertilizante a presión, como vénturi, tanque fertilizador, bombas inyectoras, o el aprovechamiento de la succión que da la bomba del sistema de riego. A continuación se describe cada uno de estos inyectores.

- **Vénturi.** Es un dispositivo en forma de T, en cuyo interior posee una compresión o garganta, ésta es de un diámetro pequeño, de manera que el agua alcanza una velocidad tan elevada que la presión se hace negativa, creándose una diferencia de

presión, entre la atmosférica y la establecida en la garganta, causante del flujo de solución fertilizante del depósito a la garganta.

Pueden instalarse en paralelo, la pérdida de presión que ocasionan es del 20% o más. Un esquema de fertilizador tipo venturi se muestra en la Figura 2.14.

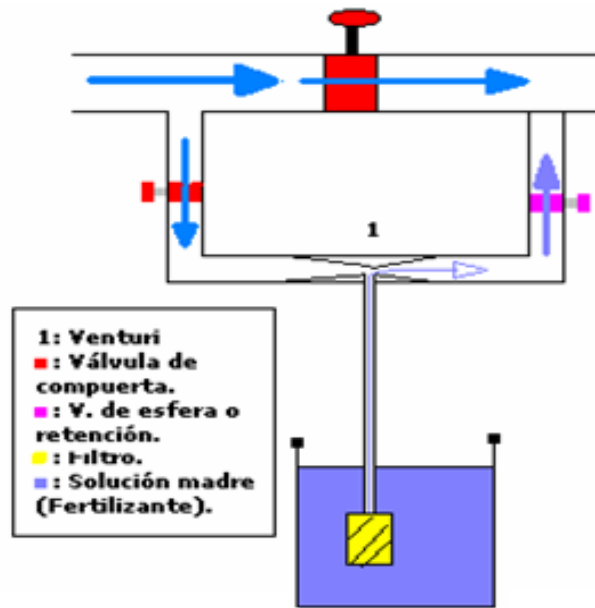


Figura 2.14 Fertilizador tipo Venturi.

- **Tanque de fertilización.** Son depósitos herméticos, de metal o de plástico reforzado, conectados al cabezal de manera que solo circula por él una fracción del caudal; los caudales que entran y salen (del tanque) son iguales.

Presentan el inconveniente que la concentración de fertilizante dentro del tanque va disminuyendo con el tiempo de riego, así al inicio se tendrá una concentración alta, pero al ir ingresando el agua de riego al tanque e ir saliendo con el fertilizante diluido, éste irá disminuyendo al continuar el riego; la cantidad de fertilizante que sale del tanque por unidad de tiempo, dependerá del caudal que sale y de la concentración en ese instante; razón por la cual, el uso de este equipo ha ido disminuyendo, pero resulta útil, cuando se fertiliza un solo sector de riego, más no cuando hay varios sectores a regar con el mismo equipo.

En la Figura 2.15 se presenta el esquema de un tanque fertilizador.

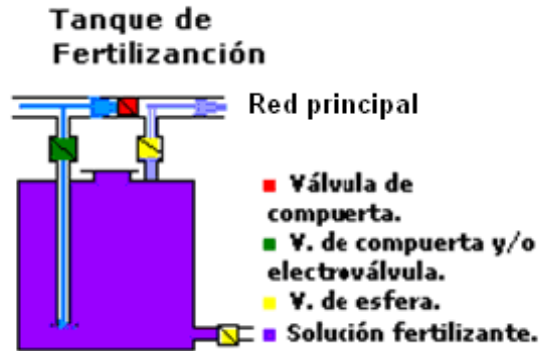


Figura 2.15 Tanque de Fertilización.

- **Bomba de inyección.** Es el equipo más preciso y el más caro. Estas bombas son de desplazamiento positivo, siendo un émbolo o una membrana, que con movimiento de vaivén, inyectan la solución de fertilizantes. Son normalmente de dos tipos, eléctricas e hidráulicas; las primeras son bombas de reducidas dimensiones y potencia, se prefiere que sean de membrana en lugar de pistón.
 - **Eléctricas.** De accionamiento eléctrico; por tanto, no altera el funcionamiento del sistema, ya que no consume energía hidráulica. Se regula normalmente, variando el recorrido del elemento impulsor. En la Figura 2.16 se observa el esquema de una bomba eléctrica inyectando al sistema.

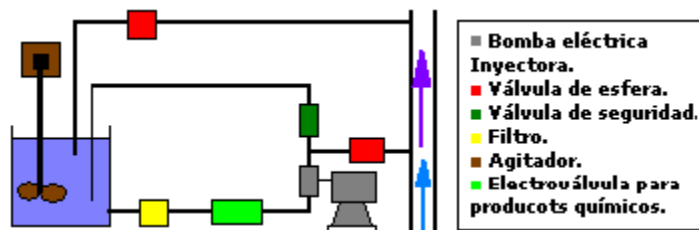


Figura 2.16 Esquema de bomba eléctrica inyectando al sistema.

- **Hidráulicas.** Utilizan la presión del agua del sistema para accionar el funcionamiento del mismo sistema de inyección; que debe tener un valor mínimo dependiendo del modelo, su funcionamiento estará afectado por posibles fluctuaciones de presión. Se regula variando la velocidad del émbolo con mayor o menor caudal de entrada. La variación del caudal inyectado no es tan rápido y exacto como en las bombas eléctricas (Figura 2.17).

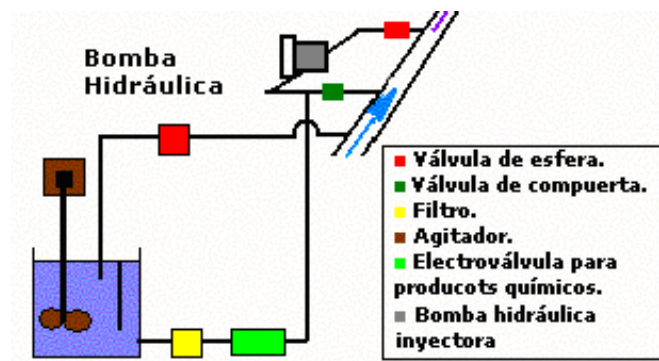


Figura 2.17 Esquema de la bomba hidráulica.

- **Inyección de la bomba del sistema de riego.** Este método consiste en la introducción de la solución fertilizante al sistema, aprovechando la succión generada por la bomba que da presión a todo el sistema, esto implica que el punto de inyección de fertilizantes debe estar antes de la bomba (a diferencia de los anteriores que están conectados al sistema después de la bomba), lo cual implica que los fertilizantes disueltos, pasarán a través de la bomba y podría presentar un riesgo, pueden corroer el material de que esta hecha la bomba; en estos casos es recomendable usar una bomba especial que permita circular agua con productos disueltos, sin dañarse. La Figura 2.18 muestra la forma de aprovechar la bomba principal para fertilizar.

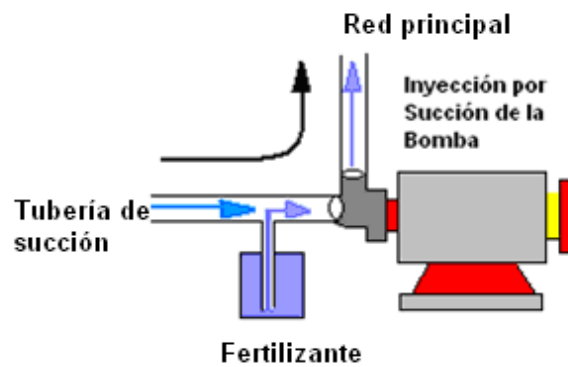


Figura 2.18 Inyección por succión de la bomba.

c) Equipos de bombeo.

Las bombas centrífugas (Figura 2.19) son las más usadas en los predios para elevar agua. Se caracterizan por hacer uso de la fuerza centrífuga, razón por la cual el agua sale en dirección normal al eje de la bomba.

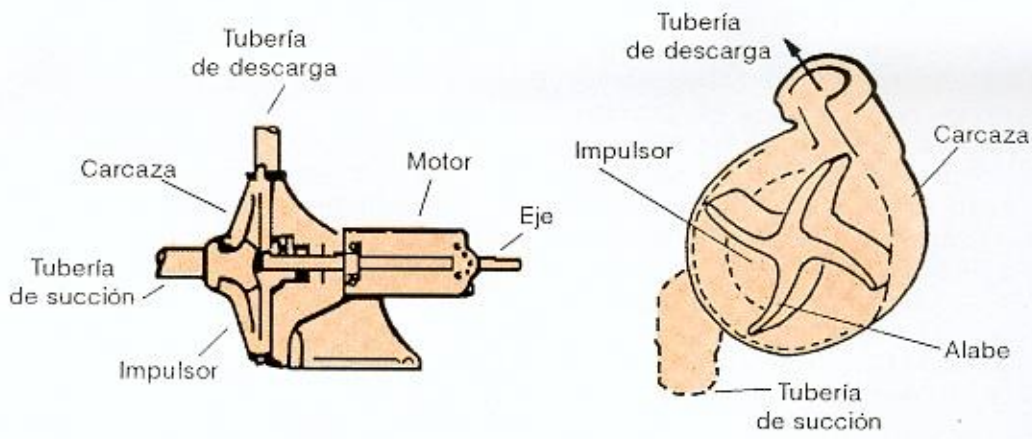


Figura 2.19 Esquema de una bomba centrífuga y detalle de un impulsor.

A continuación se indican algunas definiciones y ecuaciones que se utilizan para el dimensionamiento de las bombas con fines de riego.

Potencia teórica.

Es la potencia requerida para elevar, con un 100% de eficiencia, un determinado caudal con una bomba y motor dado, lo cual es imposible de lograr en la práctica. La relación es la siguiente:

$$P(\text{teórica}) = \frac{Q * h}{75} \quad \text{Ec. 2.5}$$

Donde:

$Q = \text{Caudal.}$

$H = \text{Altura de descarga.}$

Potencia al eje (o al freno).

Corresponde a la potencia real que se debe aplicar al eje de la bomba para determinadas condiciones de funcionamiento. Está dada por la relación:

$$P(\text{freno}) = \frac{Q * h}{75 * Eb * Em} \quad \text{Ec. 2.6}$$

Donde:

$P = \text{Potencia (HP).}$

$Q = \text{Caudal (lts/seg).}$

$H = \text{Altura total (metro de columna de agua o m.c.a.).}$

$Eb = \text{Eficiencia de la bomba (\%).}$

$Em = \text{Eficiencia del motor (\%).}$

Altura dinámica total.

La altura dinámica total o carga manométrica está compuesta por:

- **Altura estática (h):** Corresponde a la diferencia de cota entre el nivel de abastecimiento de agua y el nivel de agua en el punto de descarga. Se expresa en metros.
- **Altura equivalente a la velocidad con que el agua sale de la tubería (Hv):** Para que el agua pueda salir de la tubería a determinada velocidad, se requiere una potencia equivalente en metros, que se calcula por la siguiente relación:

$$H_v = \frac{V^2}{2 * g} \quad \text{Ec. 2.7}$$

Donde:

H_v = Altura equivalente a la velocidad de salida del agua en la tubería (m.c.a.).

V = Velocidad del agua a la salida de la tubería (m/seg).

g = Aceleración de gravedad (9,8 m/seg²).

- **Altura equivalente a la presión de descarga (He):** Este valor es cero si se descarga a la atmósfera (estanque de acumulación, canal, etc.). En cambio, debe considerarse su valor si se descarga en un estanque a presión o si se utiliza la bomba para equipos de riego presurizados. Tiene que expresarse en metros, efectuando las conversiones pertinentes cuando la presión de los equipos está en otras unidades.

2.2.2.2 La red de distribución.

El agua que ha pasado por el cabezal de riego (equipo de bombeo, sistemas de prefiltrado, filtrado, incorporación de fertilizantes, etc.), tiene un objetivo único, hacer llegar el agua a las plantas del cultivo, es necesario contar con un sistema o red de conducción, la que está compuesta por:

a) Tubería de Conducción.

Se puede dividir en primaria o matriz (parte del cabezal a la zona de riego), secundaria (conecta la primaria con el sector de riego) y terciaria (que va a la tubería de distribución múltiple del sector de riego, a ella van conectadas las líneas o tuberías porta goteros).

Normalmente son de Polivinilo de Carbono (PVC), deben ir de preferencia enterradas para evitar que se dañen por acción de la luz (cristalización); las que no sea posible enterrar se deben pintar con látex blanco para protegerlas de la luz, en algunos casos cuando se necesita flexibilidad de las tuberías al instalarlas, es mejor usar tuberías de polietileno.

Hay dos tipos de polietileno; de baja densidad y alta densidad. El de baja densidad tiene menos resistencia al calor y a la tracción que el de alta densidad, pero mayor resistencia al agrietamiento y mayor flexibilidad, por lo que es de uso más corriente.

La resistencia a los agentes atmosféricos se consigue con estabilizantes y colorantes, como el negro de humo, que retiene la radiación ultravioleta en la parte superficial de la tubería sin afectar al resto.

El PVC, como todos los demás materiales plásticos, consta de una molécula polimérica (resina) y aditivos. El que se emplea normalmente en el riego localizado es rígido, es decir, no lleva aditivos plastificantes. De acuerdo a lo especificado en las normas chilenas, NCH 397 y 399, las tuberías de PVC se diseñan para las siguientes presiones de trabajo:

Clase 4 = 4 kg/cm^2 (40 m.c.a.).

Clase 6 = 6 kg/cm^2 (60 m.c.a.).

Clase 10 = 10 kg/cm^2 (100 m.c.a.).

b) Líneas emisoras o porta goteros.

Se conectan a la tubería terciaria, estas líneas suelen ser de polietileno. En la línea emisora se colocan emisores (goteros, cintas o microaspersores); y ésta va colocada al pie de las plantas en las hileras del cultivo.

Emisores. Son dispositivos que regulan la aplicación del agua en el suelo, para escoger el más adecuado se debe considerar:

- Caudal uniforme y constante, poco sensible a las variaciones de presión.
- Diámetro adecuado que evite obturaciones.
- Buena procedencia (datos del fabricante: que sea de bajo costo, resistentes a daños químicos y ambientales, garantía de fabricación, etc.).
- Relación caudal-presión, debe ser lo más constante posible durante todo su tiempo de uso.
- Poca sensibilidad a los cambios de temperatura.

Los emisores pueden ser: goteros, cintas, microaspersor y microjet.

❖ **Goteros.** Son los más antiguos, hay de varios tipos, los cuales son:

- En línea (in-line), que es de conducto largo, en el cual se da la pérdida de carga, existen: microtubo, helicoidal y laberíntico.
- De botón (on-line), corresponde a los goteros que se insertan en la pared de la tubería emisora o porta gotero, su funcionamiento es tipo laberíntico o vortex.
- Laberínticos, normalmente son goteros de laberinto, sin cubierta, extrudido²³ en la cubierta; la pérdida de carga se da por tortuosidad (vueltas) del laberinto.

El caudal de emisión de los goteros varía con la presión de trabajo del sistema, esta variación depende de las características del gotero y del diámetro de la tubería portagoteros, así cuando la presión varía significativamente (por ejemplo cuando hay variación de pendiente significativa), es recomendable el uso de

²³ Extrudido: Forma dada a una masa plástica, que sale por una abertura especialmente dispuesta.

goteros autocompensados, los mismos que, cuando varía la presión en el sistema, la variación de su caudal es mínima.

- ❖ **Cintas de Riego.** Son las más difundidas en nuestra región, una cinta de goteo consta de dos conductos paralelos, un conducto **principal o de transporte**, que es el interior mismo de la cinta ('la luz de la tubería') que lleva el agua en toda la cinta y de donde pasa a través de un orificio (que provoca una pérdida de carga) al conducto **secundario o de descarga**, que presenta un canal regulador de flujo turbulento que produce la pérdida de carga que define el caudal especificado por el fabricante.

Las cintas son de polietileno, su durabilidad depende directamente del espesor de la cinta (0.1 a 0.6 mm), y sobre todo del mantenimiento y limpieza, este último depende mucho de la calidad del agua, y a pesar que se pueda tener una cinta muy buena; si el agua es de mala calidad, esta cinta no durará mucho.

En la Figura 2.20 se detalla la forma en que está fabricada una cinta de goteo.

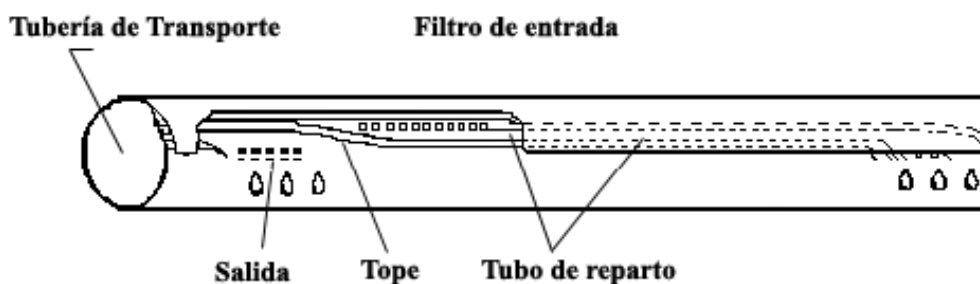


Figura 2.20 Cinta de goteo.

- ❖ **Microaspersor y Microjet.** Son dispositivos de emisión de agua en forma de lluvia fina, a baja altura, y en un área relativamente amplia; se diferencian en que el microaspersor funciona con un movimiento de rotación (piezas móviles), por lo que puede aumentar su diámetro de humedecimiento; en cambio el microjet no posee piezas móviles.

Son muy adecuados para cultivos de sistema radicular superficial y suelos arenosos (alta infiltración).

Igual que los goteros, los microaspersores están sujetos a las variaciones de presión, por tanto su caudal varía, sobre todo en zonas con marcadas diferencias de pendiente, para ello existen **microaspersores autocompensados**, cuyo caudal está regulado por el tipo de boquilla que posee, habiendo un rango entre 20 y 95 lts/h, el diámetro de humedecimiento esta determinado por el tipo de rotor, siendo los diámetros entre 3.5 y 8.0 m. En la Figura 2.21 se muestra un microaspersor y un microjet.

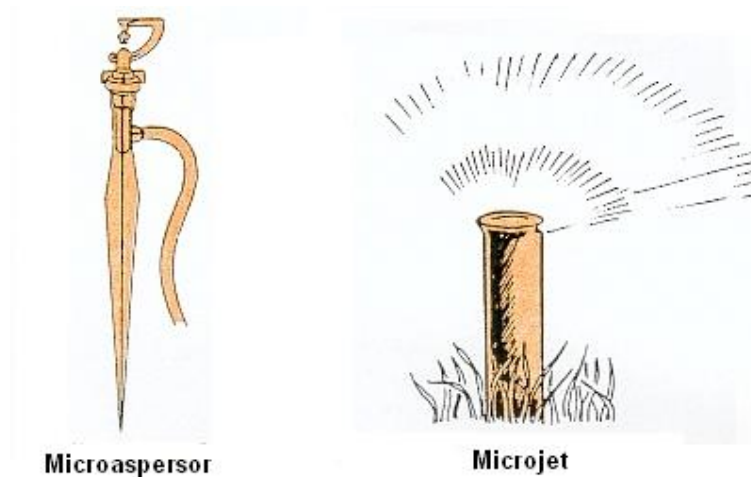


Figura 2.21 Microaspersor y Microjet.

2.2.2.3 Criterios de diseño y selección de equipos.

Para realizar el proyecto de una instalación de goteo, se requiere de una serie de datos de campo y otros antecedentes técnicos obtenidos a partir de ellos, que permitirán dimensionar todas las tuberías que componen la red, de forma que pueda obtenerse una gran eficiencia del sistema.

Datos básicos.

Gran parte de ellos se toman directamente en el predio. Proporcionan la información suficiente y las limitaciones a que habrá que ajustarse en el proyecto. Estos datos son:

- a. Superficie del predio.
- b. Tipo de suelo.
- c. Tipo de cultivo.
- d. Plano de plantación.
- e. Caudal total disponible.
- f. Desnivel del predio.
- g. Calidad del agua de riego.
- h. Disponibilidad de energía eléctrica.
- i. Horas que se puede regar cada día.
- j. Evapotranspiración máxima diaria.

A partir de estos datos, y con el plano del predio, se efectúa el trazado de las distintas tuberías, pensando en conseguir una distribución de agua adecuada a un mínimo costo.

Dos son los aspectos que hay que tomar en consideración para el dimensionamiento adecuado de un sistema de riego localizado: uno netamente agronómico y otro de tipo hidráulico.

Aspectos agronómicos.

En principio están orientados a conocer las necesidades de agua del cultivo y específicamente los requerimientos máximos de la temporada de desarrollo.

Las demandas netas diarias del cultivo quedan definidas por la siguiente expresión:

$$NRD = ET * Au \qquad \text{Ec. 2.8}$$

Donde:

NRD = Necesidades netas de riego diario (lts/planta/día).

ET = Evapotranspiración.

Au = Área asignada al cultivo o a la planta (m^2).

Una vez estimadas las necesidades netas de riego de las plantas; como segundo paso, se define la frecuencia de aplicación de agua. La información técnica disponible indica la conveniencia de efectuar riegos diarios, para aprovechar en toda su magnitud las ventajas del riego localizado, relacionado a la mantención de una adecuada humedad en el suelo.

Un paso posterior, tiene que ver con el cálculo del tiempo de riego necesario para aplicar y suplir las necesidades hídricas de la planta. El cálculo se efectúa basándose en la siguiente ecuación:

$$TR = \frac{NRD}{En * qe} \quad \text{Ec. 2.9}$$

Donde:

TR = Tiempo de riego en horas.

En = Número de emisores por planta (depende del esparcimiento de los emisores).

qe = Caudal del emisor (litros/hora).

Calculado el tiempo de riego máximo en el período de mayor consumo de agua, éste se relaciona con las horas laborales disponibles para el manejo de riego. Así, se determina el número máximo de unidades de riego o estaciones de riego.

$$N^{\circ} \text{ estaciones de riego} = \frac{\text{Horas laborales diarias}}{\text{Tiempo máximo de riego diario}} \quad \text{Ec. 2.10}$$

Aspectos hidráulicos.

Conocido el caudal de diseño para el sistema, es necesario dimensionar toda la red de tuberías (matrices, submatrices, múltiples y laterales) que lo componen. Para tal efecto, utilizando criterios de diseño preestablecidos, se calculan las pérdidas de carga (fricción y singularidades) de las diferentes combinaciones de diámetros y longitudes de tuberías. Finalmente, se define una determinada combinación.

El cálculo de las pérdidas de carga se efectúa utilizando ecuaciones desarrolladas para flujo de agua en conductos cerrados, tales como las de Darcy-Weisbach:²⁴

$$hf = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ec. 2.11}$$

$$hf = \frac{22.96 * K * Q^2}{d^4} \quad \text{Ec. 2.12}$$

$$K = f * \frac{L}{D} \quad \text{Ec. 2.13}$$

$$f = \frac{0.316}{\text{Re}^{0.25}} \quad \text{Ec. 2.14}$$

$$\text{Re} = \frac{21.22 Q \rho}{d \mu} \quad \text{Ec. 2.15}$$

Donde:

hf = Pérdida de carga (m).

v = Velocidad (m/s).

Q = Caudal (lts/min).

²⁴ Grane, Flujo de Fluidos, McGraw-Hill, Primera Edición, Pág. 3-2 a 3-9.

L = Longitud de la tubería (m).

D = Diámetro nominal (m).

d = Diámetro interno (m).

Re = Número de Reynols para flujo turbulento.

ρ = Densidad.

u = Viscosidad.

Finalmente, se determina la presión requerida del sistema, expresada en metros de columna de agua y que en forma resumida contempla lo siguiente:

- a. Presión de operación de los emisores (Ver Anexo A4, características técnicas de los emisores).
- b. Pérdida de carga en el múltiple.
- c. Pérdida de carga en la submatriz.
- d. Pérdida de carga en la tubería matriz.
- e. Pérdida de carga en accesorios.
- f. Pérdida de carga en los filtros.
- g. Otras pérdidas.

2.3 Automatización y control.

Dentro del diseño de automatización y control se utilizan elementos que permiten ciertas funciones o acciones de la mecánica de funcionamiento de un proceso a controlar. Estos elementos son eléctricos, electrónicos y mecánicos, los cuales conviene seleccionarse de acuerdo al trabajo que ejecutan y características de funcionamiento.

2.3.2 Características y parámetros de selección de dispositivos eléctricos y electrónicos de fuerza y control.

2.3.2.1 Dispositivos eléctricos.

a. Protección. Estos dispositivos son los encargados de proteger corrientes de cortocircuitos y sobrecargas, tales como: fusibles, relés térmicos, bimetálicos o guarda motores, etc. Se selecciona bajo ciertos criterios:

- Coordinación adecuada.
- Corriente máxima de la carga.
- Curva característica de operación.
- Voltaje de trabajo.
- Modulares y fácil montaje.

b. Alimentación. La misión es la de establecer la corriente de alimentación de un dispositivo eléctrico (típicamente un motor) al ser accionado, o la forma en que se alimenta el dispositivo eléctrico. Entre éstos se encuentran: switch, contactores, relés, interruptores, etc. Para su selección se aplica los siguientes parámetros:

- Voltajes de trabajo, alimentación y aislamiento.
- Corriente máxima de trabajo.
- Características mecánicas (apertura y cierre de los contactos).
- Tipo de operación a efectuar.
- Dimensionamiento físico.

c. Control. Al maniobrar estos dispositivos, se encargan de dar la señal de control a ciertas acciones de la automatización. Existe una gran variedad de elementos que se seleccionan de acuerdo a su necesidad y aplicación. Entre los elementos más aplicados se tiene: pulsadores, perillas, pilotos, interruptores, etc.; los cuales se seleccionan bajo los siguientes criterios:

- Voltajes de trabajo y aislamiento.
- Tipo de accionamiento.
- Características mecánicas.
- Dimensionamiento.
- Aplicación.

2.3.2.2 Dispositivos electrónicos.

a) **Fuerza o Potencia.** Se caracterizan por manejar medias y altas corrientes, basándose en el principio de funcionamiento de los transistores. Los mismos que al ser saturados permiten el paso de la corriente, actuando como un interruptor.

Estos dispositivos de estado sólido (semiconductores) son utilizados en la electrónica de potencia, y son los siguientes:

Diodos. Es el interruptor electrónico más simple. No se puede controlar, en el sentido de que son las tensiones y corrientes del circuito las que determinan el estado de conducción y de corte del diodo. El diodo está polarizado en directa cuando la corriente que lo atraviesa es positiva, es decir cuando ésta circula desde el ánodo hacia el cátodo y está polarizado en inversa cuando la tensión entre el ánodo y cátodo es negativa. Una característica dinámica importante de un diodo real es la corriente de recuperación inversa, esta es la corriente negativa que circula por el diodo al pasar de conducción a corte antes de que alcance el valor cero. El tiempo de recuperación es normalmente inferior a 1 μ s.

En la Figura 2.22 se muestra el símbolo del diodo.



Figura 2.22 Símbolo del diodo.

Transistores. Los transistores son utilizados como interruptores electrónicos de potencia. Los circuitos de excitación se diseñan para que éstos estén completamente saturados (activados) o en corte (desactivados). Los transistores tienen la ventaja de que proporcionan un control de activación y de desactivación. En la Figura 2.23 se indica el símbolo de este dispositivo.



Figura 2.23 Símbolo del transistor.

Tiristores. Un tiristor es uno de los dispositivos semiconductores más importantes dentro de la electrónica de potencia. Los tiristores se utilizan en forma extensa en los circuitos electrónicos de potencia. Se operan como conmutadores biestables, pasando de un estado no conductor a un estado conductor. Para muchas aplicaciones se puede suponer que los tiristores son interruptores o conmutadores ideales, aunque los tiristores prácticos exhiben ciertas características y limitaciones.

Características de los tiristores.

Un tiristor es un dispositivo semiconductor de cuatro capas de estructura PNPN, con tres uniones PN y tiene tres terminales: ánodo cátodo y compuerta. La Figura 2.24 muestra el símbolo del tiristor y una sección recta de tres uniones PN. Los tiristores se fabrican utilizando la técnica de difusión.

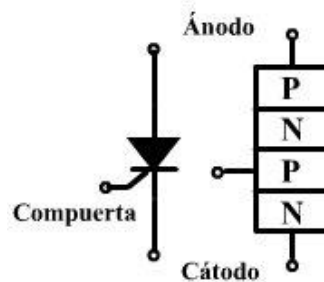


Figura 2.24 Símbolo del tiristor.

Activación del tiristor.

Un tiristor se activa incrementando la corriente del ánodo. Esto se puede llevar a cabo por: acción térmica, luz, alto voltaje, dv/dt o corriente de compuerta.

Tipos de tiristores.

Dependiendo de la construcción física y del comportamiento de activación y desactivación, en general los tiristores pueden clasificarse en ocho categorías; pero se describirán los más conocidos.

1. Tiristores de control de fase o de conmutación rápida (SCR).
2. Tiristores de desactivación por compuerta (GTO).
3. Tiristores de triodo bidireccional (TRIAC).
4. Tiristores de conducción inversa (RTC).
5. Tiristores de inducción estática (SITH).
6. Rectificadores controlados por silicio activados por luz (LASCR).
7. Tiristores controlados por FET (FET-CTH).
8. Tiristores controlados por MOS (MCT).

1. Tiristores de control de fase o de conmutación rápida (SCR).

Los tiristores de tres terminales, conocido también como el rectificador controlado de silicio o SCR (Rectificador Controlado de Silicio), son dispositivos de uso más común en los circuitos de control de potencia. Se utilizan ampliamente para cambiar o rectificar aplicaciones y actualmente se encuentran en clasificaciones que van desde unos pocos amperios hasta un máximo de 3,000 A.

Uso: Especialmente útil para el control de motores, hornos sistemas de aire acondicionado; la característica especial para esta aplicación, es que el voltaje de ruptura o de encendido puede ajustarse por medio de una corriente que fluye hacia su compuerta de entrada.

En la Figura 2.25 se indica el símbolo del SCR.



Figura 2.25 Símbolo del SCR

2. Tiristores de desactivación por compuerta (GTO).

Un tiristor GTO (Gate Turn-off Thyristor) es un SCR que puede apagarse por una pulsación suficientemente grande en su compuerta de entrada. En la Figura 2.26 se encuentra el símbolo del GTO.

El GTO requiere una mayor corriente de compuerta para encendido que un SCR común. Para grandes aparatos de alta potencia se necesitan corrientes de compuerta del orden de 10 A o más. Para apagarlos se necesita una gran pulsación de corriente negativa de entre 20 y 30 μ s de duración. La magnitud de la pulsación de corriente negativa debe ser de un cuarto a un sexto de la corriente que pasa por el aparato.

Uso: Estos dispositivos se han vuelto más y más comunes en las unidades de control de motores, puesto que ellos eliminaron la necesidad de componentes externos para apagar los SCR en circuitos de cc.

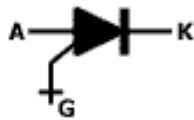


Figura 2.26 Símbolo del GTO.

3. Tiristores de triodo bidireccional (TRIAC).

Es un dispositivo que se comporta como dos SCR conectados en contraposición, con una compuerta de paso común; puede ir en cualquier dirección desde el momento en que el voltaje de ruptura se sobrepasa. El voltaje de ruptura en un TRIAC disminuye si se aumenta la corriente de compuerta, en la misma forma que lo hace en un SCR, con la diferencia que un TRIAC responde tanto a los impulsos positivos como a los negativos de su compuerta.

Uso: En convertidores de corriente bidireccional y centrales de alta potencia.

En la Figura 2.27 se indica el símbolo del TRIAC.

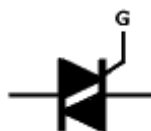


Figura 2.27 Símbolo del TRIAC.

b) Control. Estos dispositivos son transistores de baja corriente que permiten activar otros elementos en forma directa o indirecta, mediante pulsos eléctricos, haz de luz ó corriente necesaria de saturación.

Dependiendo de las características de diseño y el medio de control se seleccionan estos dispositivos, tales como: optoacopladores, transistores, compuertas lógicas y microcontroladores.

2.3.2 Características y parámetros de selección de dispositivos de automatización.

En un proceso automatizado los dispositivos realizan ciertas funciones, cada uno cumpliendo características, parámetros y normas que exige el proceso. Los dispositivos de automatización deben ser seleccionados de acuerdo a las funciones que deben cumplir en el proceso.

a) Criterios de selección de tarjetas para adquisición de datos. En las tarjetas electrónicas se debe considerar varios factores que permiten decidir sobre su utilización y función dentro de un sistema automatizado.

Se debe tomar en cuenta las características del tipo de computador, pues la tarjeta y los controladores deben acoplarse correctamente a éste. Esta información se obtiene del catálogo que ofrece el fabricante.

El software de los sistemas de adquisición es diseñado para ser controlado a través de un computador. Incluyéndose instrucciones detalladas, en tutoriales y manuales; sobre la instalación del software y hardware.

Otro factor importante, es determinar el número y tipo de entradas o salidas, digitales o análogas que se necesitan para la aplicación deseada. Se debe analizar si se necesitarán entradas de voltaje y/o corriente moderado, frecuencia, posición, contadores,

extensiométricos, etc. Dependiendo del costo, muchas tarjetas ofrecen desde un tipo de entrada hasta la más completa. Por ejemplo, un tipo de tarjeta se puede usar con módulos acondicionadores de señal que permiten muchos tipos de señales de entrada, incluyendo altos voltajes.

También se debe considerar la aplicación que se dará a la tarjeta; ya sea para adquisición de datos, análisis y registros, o para controlar procesos; las tarjetas entregan diferentes alternativas de funcionamiento. Además, se debe analizar si la tarjeta adquiere los datos con la rapidez, resolución y exactitud que se desea; si podrá ser modificada, actualizada o expandida a medida que las necesidades cambien o crezcan, etc.

En forma resumida, los parámetros de selección son:

- Características del computador.
- Software de aplicación.
- Tipo de aplicación en el proceso.
- Número y tipo de entradas/salidas.
- Velocidad de muestreo y conversión.
- Bits de resolución.

b). Microcontroladores. Al igual que en las tarjetas de adquisición, los microcontroladores manejan casi los mismos criterios de selección. Dependerá de las aplicaciones para la diferenciación entre ellos.

Los más importantes son:

- Saber la aplicación, si es para control, adquisición, comunicación o registro.
- Características de funcionamiento dentro de su aplicación, ya que las señales eléctricas deben ser acondicionadas (regulación de voltajes, amplificación, filtrado y aislamiento) a las características de fabricación del microcontrolador.

Además se debe poseer un hardware de grabación, programa de compilación y programación. Estas funciones se realizan a través de un computador mediante una interface de comunicación (serial, paralelo o USB) previamente diseñada.

Antes de establecer una aplicación con microcontrolador, se debe asegurar que éste se adapte correctamente a dicho sistema. Por esta razón se deben considerar los siguientes aspectos:

- El número de puertos que dispone el microcontrolador.
- Capacidad de memoria de programa (EEPROM) y memoria de datos (RAM).
- Sí posee o no conversor A/D. Y si dispone, conocer su velocidad y resolución de conversión.
- Sí posee o no oscilador interno.
- Disponer de las características eléctricas y electrónicas de operación de los microcontroladores.

c) **Sensores.** En una automatización, los sensores proporcionan información de las variables físicas que están ocurriendo dentro de un proceso. De tal manera que se debe seleccionar un sensor rigiendo a las características que exige el sistema, para obtener exactitud, linealidad y velocidad de respuesta, etc. Permitiendo realizar un control que tenga estabilidad y confiabilidad en las fases del proceso.

Para realizar una selección adecuada, se debe considerar algunos detalles importantes:

- Conocer el tipo de transducción, de acuerdo a su aplicación e información que se requiere.
- Si el sensor es de polarización directa e indirecta, es decir si tiene alimentación propia.
- Calibración y linealidad.
- Sí el sensor necesita de acondicionamiento de señal.
- El costo de acuerdo a la aplicación.

2.4 Parámetros de selección de electromecanismos.

Un sistema esta compuesto de uno o varios procesos, cada uno de éstos con su propio objetivo a cumplir. Por ejemplo, para transportar un elemento de un lugar a otro el sistema requiere de una banda transportadora, la misma que consta de varios elementos que conforman el electromecanismo; por lo cual, es necesario saber cual es el medio motor, forma de transmisión y elementos mecánicos que se acoplen.

Para la selección de estos dispositivos hay que considerar las siguientes características:

- **Eléctricas.** Potencia, voltaje, corriente, frecuencia, aislamiento, entre otros.
- **Mecánicas.** Torque, velocidad, material, etc.
- **Funcionalidad.** Dimensiones, operación y aplicación.

Estas características son comunes para todos los eletromecanismos, aunque pueden variar según la tecnología con la están diseñados estos elementos.

Electromecanismos más utilizados en los sistemas automatizados de riego.

En todo sistema automatizado, los dispositivos electromecánicos son muy útiles, ya que sustituyen la acción humana en las funciones de un proceso. Los electromecanismos más comúnmente usados en un sistema de riego automatizado son:

- Máquinas AC.
- Máquinas DC.
 - Paso a paso.
 - Motores DC.
- Electroválvulas.
- Contactores.
- Relés.
- Transformadores.

- Botoneras.

2.5 Supervisión.

La supervisión es una actividad técnica y especializada, que se logra un control automático en donde se ha implementado un sistema supervisor, y tiene como fin fundamental utilizar racionalmente los factores que le hacen posible la ejecución de los procesos. El hombre, la materia prima, los equipos, maquinarias, entre otros elementos; intervienen en forma directa o indirecta en la obtención de productos y servicios, que se destina a la satisfacción de necesidades de un mercado de consumidores, cada día más exigente.

2.5.1 Características del software del proceso.

Un software es un conjunto de instrucciones y códigos informáticos que permiten realizar una tarea, bajo el control de un computador. Por esta razón un programa deben cumplir las siguientes características:

- **Versátil.** Capaz de adaptarse en el proceso con facilidad y rapidez a diversas funciones en forma simultánea (bombeo, fertilización, registro y adquisición de datos).
- **Interactivo.** Que permite una interacción a modo de dialogo entre computador y el usuario. Esto quiere decir que el programa debe tener paneles gráficos, ventanas de dialogo, ayudas y en lo posible diagramas del proceso en tiempo real.
- **Flexible.** Susceptible de cambios o variaciones según las circunstancias o necesidades que exigen los procesos.

2.5.2 Parámetros de interfaces de comunicación.

La interfaz se define como un tipo de dispositivo que se emplea para conectar equipos unos con otros. Los equipos de transmisión se conectan entre sí utilizando interfaces normalizadas.

La interface debe tener características eficaces para garantizar que no haya datos erróneos o se pierda la información por perturbaciones, mal diseño o selección inadecuada del protocolo de comunicación, por eso se debe escoger con estricto criterio.

Con los siguientes parámetros se puede seleccionar interfaces normalizadas, que cumplan con las necesidades de una transmisión de datos, de acuerdo a los procesos que requieren automatización y supervisión.

- Red Física, normalmente la transmisión entre dos dispositivos requiere de conectores, cables y adaptadores. Éstos se seleccionan tomando en cuenta las características del medio donde se va a implementar; distanciamiento entre dispositivos o equipos, tipos de interferencias, tecnología de interfaces, entre otros.
- Protocolo, una vez obtenido el medio de transmisión, es necesario tener un lenguaje de comunicación, que pueden ser Modbus, ASCII, Optomux, entre otros. Estos códigos permiten la comunicación de los dispositivos mediante un driver (Software). El lenguaje de comunicación se selecciona de acuerdo a la tecnología de los equipos.
- Drive, Software que comunica el programa de aplicación con los dispositivos, hablando el protocolo indicado. Este software puede ser LabVIEW, Visual Basic, C++, etc. La selección del software depende del grado de programación que requiere el proceso.

2.5.3 Adquisición de datos.

Los módulos de adquisición de datos basados en PC son una alternativa interesante por el diseño no tan complejo, y las altas prestaciones que ofrecen en los sistemas de control. Estos módulos proporcionan la información que será útil para medir, registrar y controlar procesos de acuerdo a las necesidades.

Para implementar un módulo de adquisición de datos, es necesario considerar los siguientes aspectos:

- **Transductor.** Se debe seleccionar adecuadamente, determinando el tipo de variable física que está actuando en el proceso. Estos dispositivos deben ser eficaces, rápidos, y confiables ya que de éstos depende que la información sea exacta y que se aproxime a lo real.
- **El acondicionamiento de señal.** Esta etapa es muy importante debido a que se manipula la señal obtenida del transductor con el fin de optimizar, puesto que no se puede tener una señal pura por diferentes factores tales como: ruido, corrientes parasitas, caída de voltaje, distancias, entre otras. Esta optimización se lo realiza a través de filtros, regulación de voltaje, amplificación, multiplexado y otros métodos.

Para realizar estas operaciones es necesario efectuar un estudio de las señales que se van a tratar, comparando las características de fabricación y las medidas registradas de un patrón; las diferencias que existen se proceden a corregir usando cualquiera de los métodos de acondicionamiento. Una vez corregido se procede a efectuar el siguiente nivel del sistema de adquisición de datos.

- **La conversión analógico-digital.** Las señales análogas ya optimizadas deberán ser codificadas en términos digitales puesto que, ésta es la única forma que puede leer un computador o microcontrolador. Éstos necesitan de un algoritmo para determinar el valor de la variable física que el sensor esta midiendo.

Esta codificación se lo realiza con un conversor ADC que están contruidos de diferentes tipos, éstos se diferencian por las características tales como: resolución, voltajes de referencia o de aplicación, número de canales, número de bits de salida, y rangos de aplicación. Por ello es necesario determinar estos parámetros antes de seleccionar.

Estos dispositivos no solo se los encuentra individualmente, sino también vienen incluidos en módulos o tarjetas de adquisición de datos, microcontroladores, instrumentos de medida, etc.

En ocasiones la conversión es lo contrario, o sea, de digital a análoga, en estos casos el dispositivo a usarse es el conversor DAC.

- **La etapa de salida.** En esta etapa los datos obtenidos en la conversión, se los debe enviar a un procesador, el cual efectuará diversas funciones usando un programa o software. Estos datos se usan para hacer un control automatizado de algún proceso y por ende se puede supervisar, registrar o realizar reportes en forma periódica.

Para enviar la información se lo hace mediante interface de comunicación, utilizando varios métodos estudiados anteriormente.

CAPÍTULO III

DISEÑO, SELECCIÓN Y PROGRAMACIÓN

Introducción.

La automatización y supervisión de un sistema de fertirriego comprende de varios diseños y selección de dispositivos que permitan cumplir con este objetivo. En primer lugar, se diseñará un sistema de riego capaz de satisfacer las necesidades y exigencias del cultivo en que se va aplicar, este sistema consta de un cabezal de riego, unidad de fertilización y una red de distribución. En segundo lugar se diseñará la parte de automatización, la misma que se encargará de realizar un control automático de todo el sistema mediante módulos de adquisición de datos, dispositivos de control, actuadores y sensores subordinados a través de un computador mediante un software programado en LabView, el mismo que realizará todas las funciones planificadas de la supervisión y control de todo el proceso del cultivo a aplicarse.

Datos generales de la plantación en donde se realizará el proyecto.

Ubicación del predio.

Dirección: Camino público.

Sector: Rumipamba **Central**.

Cantón: Salcedo.

Parroquia: San Miguel.

Provincia: Cotopaxi.

Propietario: Víctor Eduardo Zarabia.

Datos del predio:

Superficie del predio.	1764 m ²	Informe de peritaje (Ver Anexo A5).
Tipo de suelo.	Franco arenoso.	Análisis de Suelo (Ver Anexo A6).
Tipo de cultivo.	Fresa.	-----
Plano de plantación.		(Ver Anexo A7).
Desnivel del predio.	0% Plano.	Informe de peritaje.
Calidad del agua de riego.	Agua Potable.	Análisis de agua.
Disponibilidad de energía eléctrica.	Si.	Informe de peritaje.

Dimensionamiento de la plantación.

La plantación consta de tres áreas; el área de cultivo, área de control de riego y reservorio de agua. Estas áreas están distribuidas de acuerdo disponibilidad de la superficie que ofrece el propietario, las cuales reflejan en el plano.

3.1 Diseño del sistema de riego.

En primer lugar se determinarán los siguientes parámetros básicos que serán útiles para el diseño de sistema de riego.

Datos:

Cultivo: Fresa.

Distancia de la cama: 18.5 m.

Número de camas: 35.

Número de bloques: 2.

Distancia entre plantas: 30 cm.

Número de emisores por planta: 1

Caudal del emisor: 2.6 litros/hora por metro (T-TAPE cinta de goteo recomendada para fresa); Ver Anexo A4 para las características de los emisores.

Área por planta: 0.0706 m²

Temperatura mínima diaria: 15.2 °C

Temperatura máxima diaria: 22.5 °C

Temperatura media diaria: 18.85 °C

Latitud de la zona: Sur 0° 40' = 0.667°

Requerimiento hídrico del cultivo diario.

Determinación de la ETo evapotranspiración del cultivo de referencia o potencial diaria.

$R_o = 33,3208462 \text{ MJulio/m}^2/\text{día}$. Del ítem 2.2.1 del Capítulo II, se obtiene de tablas el valor de R_o (valor promedio de la radiación solar en la latitud 0.667° sur).

$$R_o = 33,3208462 * 0.408$$

$$R_o = 13.59 \text{ mm/día.}$$

$$ETo = 0,0023 (t_{med} + 17,78) R_o * (t_{max} - t_{min})^{0.5} \quad \text{Ec. 3.1}$$

$$ETo = 0,0023 (18.85 + 17,78) 13.59 * (22.5 - 15.2)^{0.5}$$

$$ETo = 3.093 \text{ mm/día.}$$

$$ET = ETo * K_c \quad \text{Ec. 3.2}$$

$$ET = 3.093 * 0.6 \quad (\text{Kc en el Anexo A8}).$$

$$ET = 0.92 \text{ mm/día.}$$

Necesidad neta de riego diario por planta.

$$NRD = ET * A_u \quad \text{Ec. 3.3}$$

$$NRD = 9.2 \times 10^{-4} \text{ m/día} * 0.0706 \text{ m}^2$$

$$NRD = 6.495 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{día.}$$

$$NRD = 0.06495 \text{ lts /planta /día.}$$

Volumen de agua total para todas las plantas.

$$V_t = NRD * NEt \quad \text{Ec. 3.4}$$

NEt es el número de emisores totales, determinado de acuerdo al total de plantas y número de emisores por planta y por todas las camas entre los dos bloques de la plantación.

$$NEt = 17080$$

$$Vt = 0.06495 \text{ lts por día} * 17080 = 1109.38 \text{ lts por día.}$$

Tiempo de riego necesario para aplicar y suplir las necesidades hídricas de la planta.

$$TR = \frac{NRD}{En * qe}$$

$$TR = \frac{0.06495}{1 * 0.43}$$

$$TR = 0.15104 \text{ hrs} = 9.02 \text{ min.}$$

Caudal total mínimo que necesita el sistema de riego.

$$Qt = Vt / TR \text{ (m}^3\text{/h)}.$$

$$Qt = 1.10938 / 0.075 = 7.73 \text{ m}^3\text{/h.}$$

3.1.1 Diseño del reservorio de agua.

Datos:

De acuerdo a las áreas distribuidas en el plano de la plantación, el área disponible para el reservorio es de 21 m².

Volumen mínimo diario: $Vt = 1109.38$ lts por día.

Días estimados de reserva: 15 días.

Cálculo del volumen de agua estimado (Ve):

$$Ve = Vt * N \text{ días}$$

Ec. 3.4

$$Ve = 1109.38 \text{ lts} * 15 = 16640.7 \text{ litros.}$$

Con este valor se determina las medidas del reservorio para que de un volumen igual o mayor al estimado.

Cálculo de la capacidad volumétrica máxima del reservorio.

De acuerdo al plano las medidas del área disponible son: (Ver Anexo A7).

Largo (L) = 4,65 m; ancho (A)=2,63 m; altura (H)= 1,70 m.

Volumen (V) = Area * H.

Ec. 3.5

$V = (4.65 \text{ m} * 2.63 \text{ m}) * 1.70 \text{ m}.$

$V = 20.82 \text{ m}^3$

Capacidad = V * 1000.

Capacidad = $20.82 \text{ m}^3 * 1000.$

Capacidad = 20820 litros.

El reservorio será construido sobre el nivel del suelo, aprovechando parte de la estructura de una construcción anterior.

De acuerdo a la Tabla 2.1 el material de construcción será de hormigón con estructura metálica impermeabilizada con cerámica (baldosa).

3.1.2 Diseño de la red de tuberías primaria, secundaria y emisión del sistema de riego.

De acuerdo al cultivo se ha seleccionado dos métodos de riego, por goteo y microaspersión, de los cuales cada uno corresponde a una red; y los dos sistemas se unen a una red principal mediante un intercambiador que actúa mediante electroválvulas. Con el dimensionamiento de la plantación, el sistema queda de la siguiente manera:

La red distribuida para el sistema de goteo (Figura 3.1), está dividida en 4 partes (A, B, C y D), unidas en dos bloques (Bloque 1, Bloque 2). La Figura 3.2 muestra el sistema de microaspersión, y finalmente el sistema de red completo se indica en la Figura 3.3.

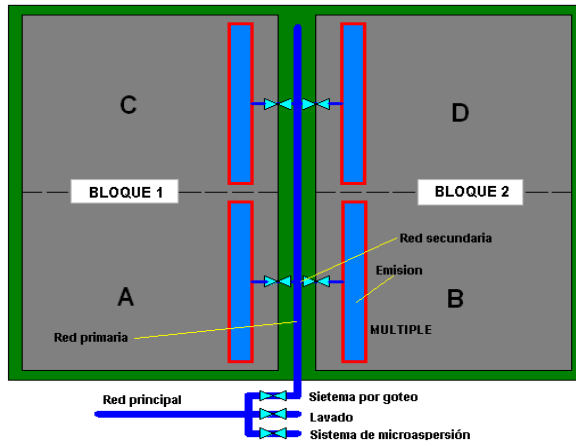


Figura 3.1 Red del sistema de riego por goteo de la plantación.

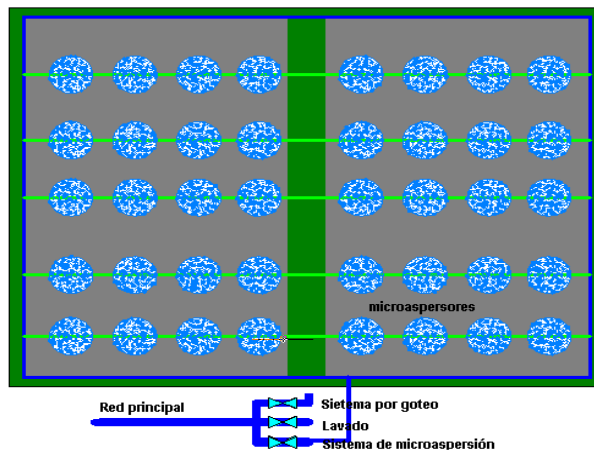


Figura 3.2 Red del sistema de riego por microaspersión de la plantación.

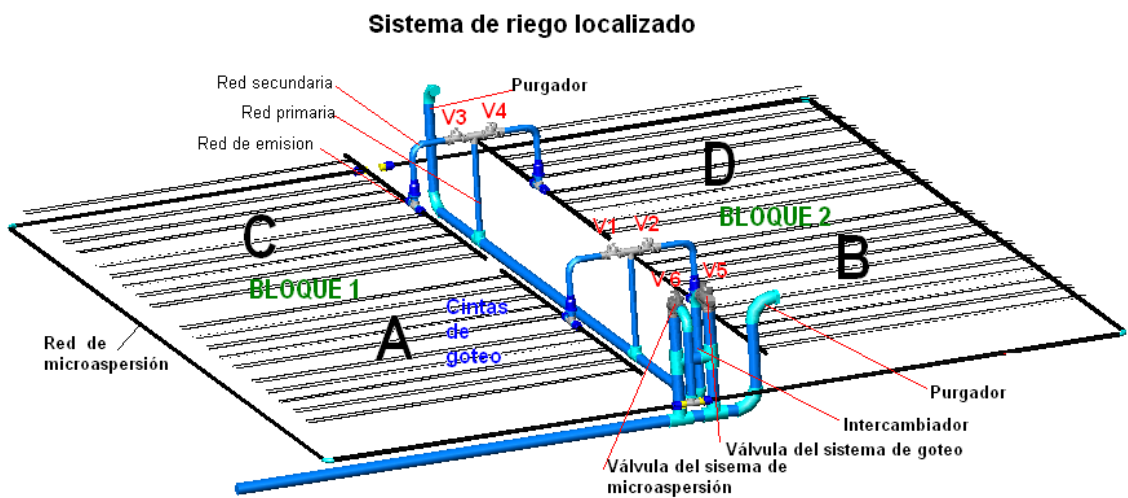


Figura 3.3 Sistema de riego localizado, goteo y microaspersión.

Selección diámetros de tuberías.

Con el caudal necesario obtenido a partir de las necesidades hídricas de riego del cultivo, se selecciona los diámetros de tubería adecuados para cada etapa del sistema de riego. La selección se basa en una tabla de tuberías PVC, en la cual se presentan diámetros y pérdidas por cada 100 m de tubería a diferentes caudales (Ver Anexo A9).

a. Sistema de goteo.

Las Figuras 3.4 y 3.5 muestran cómo están distribuidas las tuberías referidas a este sistema.

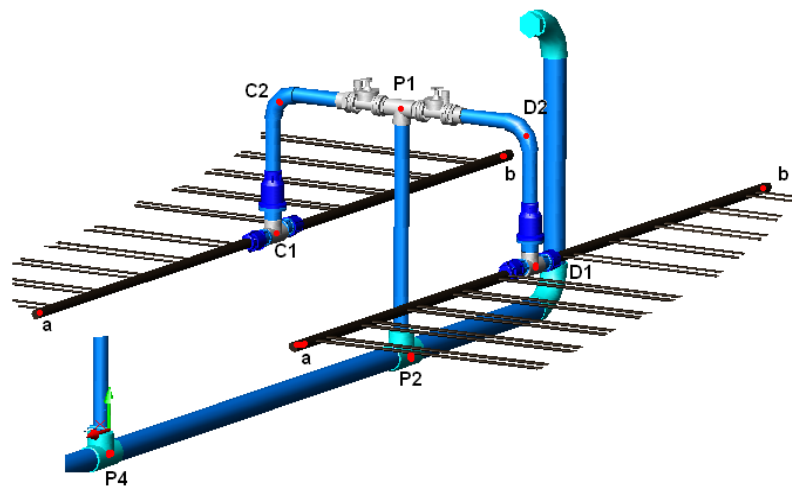


Figura 3.4 Distribución de tuberías en el sistema de goteo, parte 1.

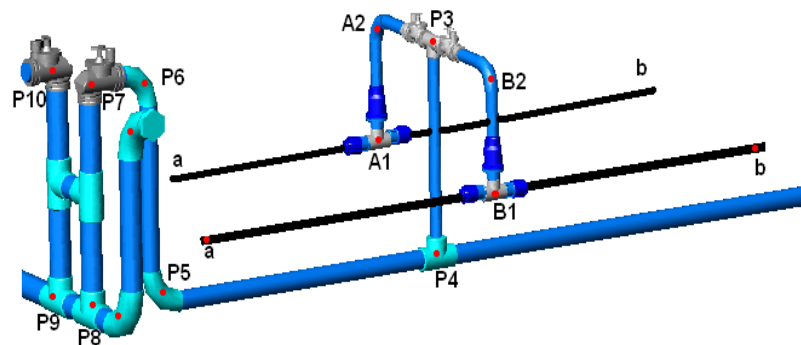


Figura 3.5 Distribución de tuberías en el sistema de goteo, parte 2.

En las Tablas 3.1 y 3.2 se presentan los diámetros para tuberías en el sistema, obtenidos de acuerdo a la distribución dada.

Múltiple A			
Q=1,9325		m ³ /h	
Sección	Material	Caudal m ³ /h	Diámetro mm
a - A1	Polietileno	0,96625	25
b - A1	Polietileno	0,96625	25
A1 - A2	PVC	1,9325	32
A2 - P3	PVC	1,9325	32
Múltiple B			
Q=1,9325		m ³ /h	
Sección	Material	Caudal m ³ /h	Diámetro mm
a - B1	Polietileno	0,96625	25
b - B1	Polietileno	0,96625	25
B1 - B2	PVC	1,9325	32
B2 - P3	PVC	1,9325	32
Múltiple C			
Q = 1,93		m ³ /h	
Sección	Material	Caudal m ³ /h	Diámetro mm
a - C1	Polietileno	0,96625	25
b - C1	Polietileno	0,96625	25
C1 - C2	PVC	1,9325	32
C2 - P1	PVC	1,9325	32
Múltiple D			
Q = 1,93		m ³ /h	
Sección	Material	Caudal m ³ /h	Diámetro mm
a - D1	Polietileno	0,96625	25
b - D1	Polietileno	0,96625	25
D1 - D2	PVC	1,9325	32
D2 - P1	PVC	1,9325	32

Tabla 3.1 Diámetros seleccionados en los múltiplos.

Diámetros de tuberías de la red distribución sistema de goteo			
Caudal total en la red			
Q = 7,73 m ³ /h			
Sección	Material	Caudal (m ³ /h)	Diámetro (mm)
P1 - P2	PVC	3,865	40
P2 - P4	PVC	3,865	63
P4 - P3	PVC	3,865	40
P4 - P5	PVC	7,730	63
P5 - P6	PVC	7,730	63
P6 - P7	PVC	7,730	63
P7 - P8	PVC	7,730	63

Tabla 3.2 Diámetros seleccionados en la red de distribución para el sistema de goteo.

b. Sistema de microaspersión (contra heladas).

Para este sistema se necesita el caudal total de todos los emisores. Pero antes se selecciona el tipo de microaspersor más adecuado para el cultivo.

Selección del microaspersor.

De acuerdo al cultivo, se necesita un microaspersor que nebulice, y que cubra un radio de mojado de 0.7 m, por lo tanto el microaspersor seleccionado es: **Nebulizador Agritec Color Verde**. Sus características se muestran en el Anexo A4.

Con las características se determina el caudal total de todos los microaspersores; de acuerdo a la Figura 3.6, los diámetros seleccionados se muestra en la Tabla 3.3.

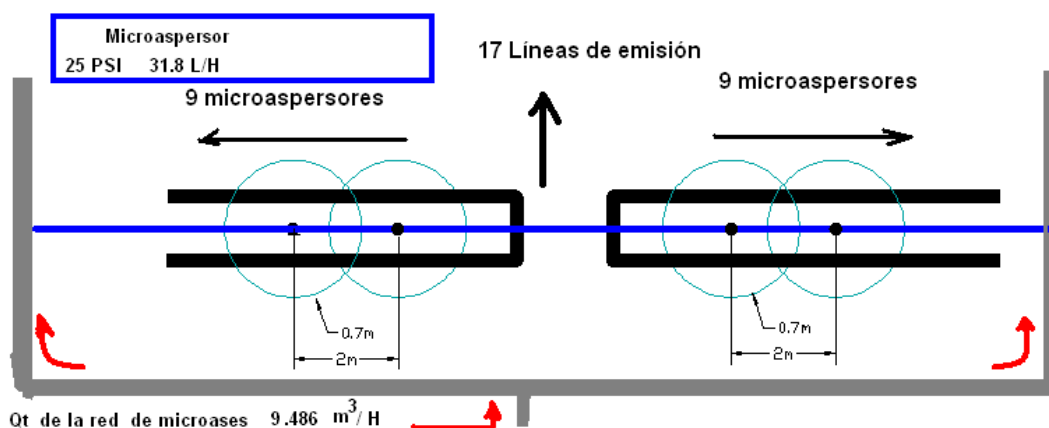


Figura 3.6 Dimensionamiento y distribución de emisores.

Diámetros de tuberías de la red de distribución, sistema de microaspersión			
Caudal total de microaspersores $Q_{te} = 9,48 \text{ m}^3/\text{h}$			
	Caudal m^3/h	Material	Diámetro mm
Tubería de emisión	0,55	polietileno	12
Red de distribución	9,48	polietileno	32
P9 – P10	9.48	PVC	63

Tabla 3.3 Diámetros seleccionados en la red de distribución, sistema de microaspersión.

c. Tubería principal.

El diámetro de la tubería principal que une a los dos sistemas hacia el cabezal de riego es de 63 mm, este diámetro es debido a que pasa un caudal de $17,21 \text{ m}^3/\text{h}$ obtenido de la suma de caudales de ambos sistemas en casos extremos. El diámetro de la tubería principal maneja caudales de ambos sistemas, uno a la vez.

d. Cabezal de riego.

En la siguiente Figura se muestra la distribución de los puntos y tramos que corresponden a esta parte del sistema.

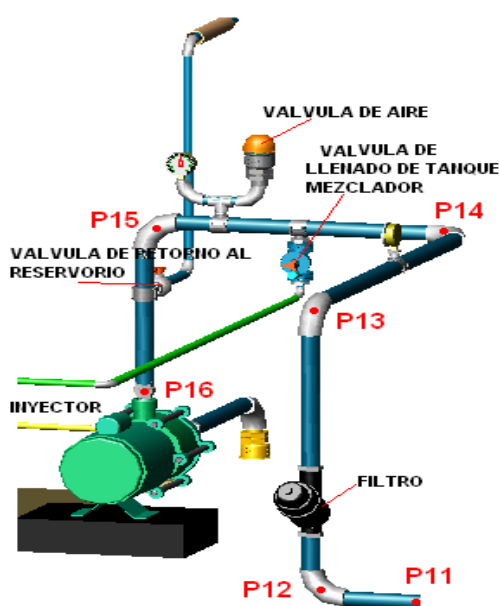


Figura 3.7 Tramos del cabezal de riego.

El caudal que manejará el cabezal de riego es de 1.93 a 9.48 m³/h, este rango se debe a que puede estar activada una sola válvula del sistema de goteo ó activado el sistema de microaspersión; representando el mínimo y máximo caudal, respectivamente.

De acuerdo a la siguiente Tabla los diámetros seleccionados en los tramos del cabezal de riego son:

Diámetros de tuberías del cabezal de riego.			
Caudal total en la red.			
Q = 1.9-9.48 m ³ /h			
Sección	Material	Caudal (m³/h)	Diámetro (mm)
P11 – P12	PVC	7,73	63
P12 – P13	PVC	7,73	63
P13 – P14	PVC	7,73	63
P14 – P15	PVC	7,73	63
P15 – P16	PVC	7,73	63

Tabla 3.4 Diámetros seleccionados en el cabezal de riego.

3.1.3 Análisis de pérdidas en el sistema de riego.

Pérdidas de carga en tuberías.

Refiriéndose a la Ec 2.12 del capítulo II, se determina las pérdidas en cada etapa del sistema de riego hasta el punto donde se une con la bomba. La ecuación está configurada en términos del caudal (lts/min), diámetro (m) y longitud (m) para tuberías PVC.

La densidad del agua (ρ) a 20 °C es igual a 1000 kg/m³.

La viscosidad dinámica (μ) del agua a 20 °C es igual a 0,01 Poises, 1 Centipoise.

El factor K se determina con la Ec 2.13 del capítulo anterior, el número de Reynolds Re y el factor de fricción f en tablas y nomogramas.²⁵

a. Pérdidas de carga en los múltiples.

En la Tabla 3.5 se muestra el valor de pérdidas en un múltiple.

²⁵ Grane, Flujo de fluidos, McGraw-Hill, Primera Edición, Pág. 4 – 2.

Tramo	Q	d	L	Re	f	K	Hf
	l/min	mm	m				m
a ↑	1,840	25	1,3	1732,2	0,0369	1,9209	0,00038
	3,680	25	1,3	3464,4	0,0410	2,1320	0,00170
	5,520	25	1,3	5196,6	0,0360	1,8720	0,00335
	7,360	25	1,3	6928,8	0,0330	1,7160	0,00546
	9,200	25	1,3	8661,0	0,0319	1,6588	0,00825
	11,04	25	1,3	10393,2	0,0300	1,5600	0,01118
A1	12,88	25	1,3	12125,4	0,0260	1,3520	0,01318
A1 ↓ b	16,56	25	1,3	15589,8	0,0220	1,1440	0,01844
	14,72	25	1,3	13857,6	0,0240	1,2480	0,01589
	12,88	25	1,3	12125,4	0,0260	1,3520	0,01318
	11,04	25	1,3	10393,2	0,0300	1,5600	0,01118
	9,200	25	1,3	8661,0	0,0319	1,6588	0,00825
	7,360	25	1,3	6928,8	0,0330	1,7160	0,00546
	5,520	25	1,3	5196,6	0,0360	1,8720	0,00335
	3,680	25	1,3	3464,4	0,0410	2,1320	0,00170
	1,840	25	1,3	1732,2	0,0369	1,9188	0,00038
Hf Total =							0,12135

Tabla 3.5 Pérdidas de carga en el múltiple a-A1-b.

El valor de pérdidas totales (H_f total) de cada múltiple indica la Tabla 3.6.

Tramo	Hf (m)
a - A1 - b	0,12135
a - B1 - c	0,15568
a - C1 - c	0,12135
a - D1 - c	0,15568
Total =	0,55406

Tabla 3.6 Pérdidas de carga totales en los múltiplos.

b. Pérdidas en el sistema de distribución.

La Tabla 3.7 muestra las pérdidas totales de carga en la red de distribución.

Tramo	Q(l/min)	d(mm)	L(m)	Re	f	K	Hf(m)
A1 - A2	32,2080	32	0,55	23688,3	0,0240	0,4125	0,00937
A2 - P3	32,2080	32	0,5	23688,3	0,0240	0,3750	0,00852
B1 - B2	32,2080	32	0,55	23688,3	0,0240	0,4125	0,00937
B2 - P3	32,2080	32	0,5	23688,3	0,0240	0,3750	0,00852
C1 - C2	32,2080	32	0,55	23688,3	0,0240	0,4125	0,00937
C2 - P1	32,2080	32	0,5	23688,3	0,0240	0,3750	0,00852
D1 - D2	32,2080	32	0,55	23688,3	0,0240	0,4125	0,00937
D2 - P1	32,2080	32	0,5	23688,3	0,0240	0,3750	0,00852
P1 - P2	64,4166	40	1,15	37901,7	0,0220	0,6325	0,02354
P2 - P4	64,4166	63	19,9	24064,5	0,0245	7,7194	0,04669
P4 - P3	64,4166	40	1,15	37901,7	0,0220	0,6325	0,02354
P4 - P5	128,8333	63	7,55	48129,1	0,0215	2,5766	0,06233
P5 - P6	128,8333	63	1,05	48129,1	0,0215	0,3583	0,00867
P6 - P7	128,8333	63	0,8	48129,1	0,0215	0,2730	0,00660
P7 - P8	128,8333	63	1,05	48129,1	0,0215	0,3583	0,00867
P8 - P11	158	63	14	59025,1	0,0215	4,7778	0,17384
Hf Total=							0,42543

Tabla 3.7 Pérdidas totales de carga en la red de distribución.

c. Pérdidas en el cabezal de riego.

La siguiente Tabla presenta las pérdidas totales en el cabezal de riego.

Tramo	Q	d	L	Re	f	K	Hf
	l/min	mm	m				m
P11 - P12	158	63	1,4	59025,1	0,0240	0,5333	0,01941
P12 - P13	158	63	1,14	59025,1	0,0240	0,4343	0,01580
P13 - P14	158	63	1,58	59025,1	0,0240	0,6019	0,02190
P14 - P15	158	63	0,99	59025,1	0,0240	0,3771	0,01372
P15 - P16	158	63	0,84	59025,1	0,0240	0,3181	0,01157
Hf Total=							0,08240

Tabla 3.8 Pérdidas totales de carga en el cabezal de riego.

Pérdidas por accesorios.

Estas pérdidas se determinan con la misma Ec. 2.12, El factor K y fT varían dependiendo del tipo de accesorio.²⁶

La Tabla 3.9 muestra la determinación de las pérdidas por accesorios por cada una de las partes del sistema.

²⁶ Grane, Flujo de fluidos, McGraw-Hill, Primera Edición, Pág. 4-12.

a. Múltiples

	Accesorio	Q(l/min)	fT	K	H_f (m)
A	T 25 mm	32,08	0,0230	1,3800	0,08348
	Neplo estrechamiento 32 mm/25 mm	32,08	1,0000	0,3110	0,00701
	Codo 90° 32 mm	32,08	0,0220	0,6600	0,01487
	Válvula 32 mm	32,08	0,0796	2,3880	0,05381
B	T 25 mm	32,08	0,0230	1,3800	0,08348
	Neplo estrechamiento 32 mm/25 mm	32,08	1,0000	0,3110	0,00701
	Codo 90° 32 mm	32,08	0,0220	0,6600	0,01487
	Válvula 32 mm	32,08	0,0796	2,3880	0,05381
C	T 25 mm	32,08	0,0230	1,3800	0,08348
	Neplo estrechamiento 32 mm/25 mm	32,08	1,0000	0,3110	0,00701
	Codo 90° 32 mm	32,08	0,0220	0,6600	0,01487
	Válvula 32 mm	32,08	0,0796	2,3880	0,05381
D	T 25 mm	32,08	0,0230	1,3800	0,08348
	Neplo estrechamiento 32 mm/25 mm	32,08	1,0000	0,3110	0,00701
	Codo 90° 32 mm	32,08	0,0220	0,6600	0,01487
	Válvula 32 mm	32,08	0,0796	2,3880	0,05381
Hf total					0,63667

b. Red de distribución

	Accesorio	Q	fT	K	H_f
P1	T de estrechamiento 40 mm/32 mm	64,16	0,021	2,1389	0,07897
P2	T de estrechamiento 63 mm/40 mm	64,16	0,018	4,7529	0,02852
P3	T de estrechamiento 40 mm/32 mm	64,16	0,021	2,1389	0,07897
P4	T de estrechamiento 63 mm/40 mm	128,32	0,018	4,7529	0,11407
P5	Codo 90° 63 mm	128,32	0,018	0,5400	0,01296
P6	Codo 90° 63 mm	128,32	0,018	0,5400	0,01296
P7	Válvula 90° 63 mm	128,32	0,018	0,5400	0,01296
P8	T 63 mm	128,32	0,018	0,3600	0,00864
P9	T 63 mm	128,32	0,018	0,3600	0,00864
Hf total					0,35668

c. Cabezal de riego

	Accesorio	Q	fT	K	H_f
P11	Codo 90° 63 mm	158	0,018	0,5400	0,01965
P12	Codo 90° 63 mm	158	0,018	0,5400	0,01965
P13	Codo 90° 63 mm	158	0,018	0,5400	0,01965
P14	Codo 90° 63 mm	158	0,018	0,5400	0,01965
P15	Codo 90° 63 mm	158	0,018	0,5400	0,01965
P16	Ensanchamiento 3/4" a 63 mm	158	0,018	99,1981	3,60933
Hf total					3,70757

d. Sistema de microaspersión

	Accesorio	Q	fT	K	H_f
P10	válvula 90° 63 mm	158,32	0,018	0,5400	0,01973
	estrechamiento 63 mm / 25 mm	158	0,018	33,9772	1,23626
Hf total					1,25599

Tabla 3.9 Pérdidas totales por accesorios de todo el sistema de riego.

Otras Pérdidas.

Filtro.

Las pérdidas en los filtros de anillo es de 2 a 3 m cuando están limpios, y cuando están sucios las pérdidas aumentan un 40%; 2.8 a 4.2 m. En este caso, el filtro que se usa en el sistema es de 1½ plg. de diámetro, la pérdida estimada es de 4 m, las pérdidas por accesorios de acople es 0.1 m. En resumen, la pérdida total es 4.1 m.

Regulador de presión fijo.

La función del regulador de presión es causar una caída de presión en valores predeterminados por el fabricante, de acuerdo a las características existen varios tipos, dependiendo del caudal y presión de salida. Para la determinación de esta diferencia de presión se usa un nomograma hipotético (Ver Anexo A10).

Se usa este tipo de reguladores de presión para los múltiples, debido a que la cinta de goteo trabaja a 18 PSI en condiciones normales.

El regulador seleccionado es:

Regulador de presión 20 PSI de salida 2 a 20 GPM.

3.1.4 Selección de la bomba.

La bomba debe abastecer el caudal y presión necesarios que requiere el sistema de riego, permitiendo tener un buen rendimiento en los sistemas de riego por goteo y microaspersión.

Presión requerida por el sistema de riego.

Esta presión se obtiene sumando todas las pérdidas y la presión de operación en los emisores. En la siguiente Tabla se detalla todas las pérdidas del sistema.

Pérdidas en tuberías.	m
Pérdidas de carga totales en los múltiples.	0,55406
Pérdidas totales de carga en la red de distribución.	0,42543
Pérdidas totales de carga en el cabezal de riego.	0,0824
Pérdidas en accesorios.	
Múltiples.	0,63667
Red de distribución.	0,35668
Cabezal de riego.	3,70757
Sistema de microaspersión.	1,25599
Otras pérdidas.	
Filtro.	4,2
Total	11,2188

Tabla 3.10 Detalle de pérdidas totales en el sistema.

La presión de operación en los emisores es de 18 PSI, más las pérdidas suman 18.78 PSI; al pasar por el regulador de presión, la presión que requiere el emisor es de 27 PSI transformada a metros es igual a 19.01 m; siendo ésta la presión de operación.

Finalmente, la presión de todo el sistema es 30.22 m, con un caudal total de 158 lts/min.

Potencia de la bomba.

$$P(\text{teórica}) = \frac{Q * h * \rho}{6116 \times 10^3} \quad \text{Ec. 3.6}$$

$$P(\text{teórica}) = \frac{158 * 30.22 * 998}{6116 \times 10^3}$$

$$P(\text{teórica}) = 0.7806 \text{KW}$$

$$P(\text{alfreno}) = \frac{0.7806 \text{KW}}{0.9}$$

$$P(\text{alfreno}) = 0.8674 \text{KW} = 1.16 \text{HP.}$$

Características de la bomba seleccionada.

Bomba centrífuga de 1 HP, 220 V y 1.5 a 6.1 m³/h.

Las características técnicas de mantenimiento y operación de esta bomba, se muestran en el Anexo A11.

3.10Diseño de la unidad fertilización.

La nutrición en un cultivo exige un estricto manejo de los sistemas de fertilización. Por esta razón, en este proyecto se implementa un sistema automatizado donde la intervención humana se limitará solo a supervisar.

La unidad de fertilización comprende tres partes:

1. El dosificador tiene características para insumos sólidos y líquidos, los cuales serán depositados en un tanque mezclador mediante una banda transportadora y mangueras, respectivamente.
2. El mezclador mediante una bomba centrífuga proporciona la turbulencia, con la cual se mezclan y disuelven los insumos homogéneamente.
3. Inyector, permite suministrar a la red la cantidad necesaria de la mezcla, de forma programada o regulada.

3.10.1 Diseño del Mezclador/Inyector.

En el proyecto se utiliza un mezclador por tanque y bomba hidráulica.

En la Figura 3.8 se muestra un gráfico, donde se indican cada una de las partes que integran este mezclador/inyector.

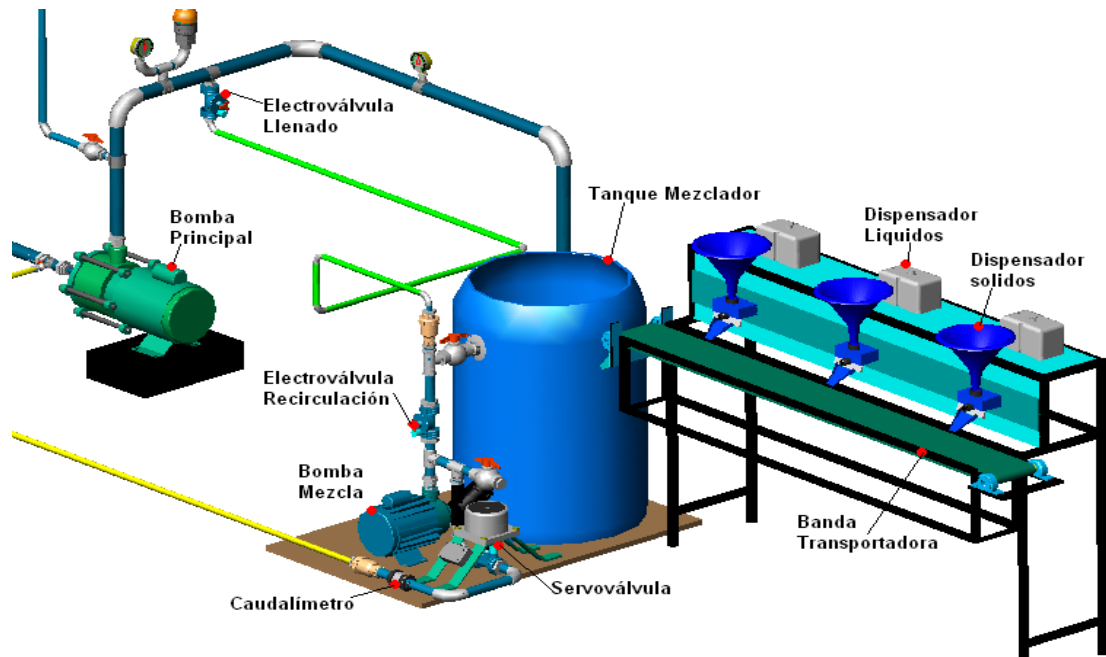


Figura 3.8 Dispositivos del Mezclador.

a. Características del tanque.

- Volumen máximo 150 lts (capacidad del tanque 200 lts).
- Polietileno (no reacciona con los químicos).
- De forma cilíndrica.

b. Características de la bomba.

- Caudal 40 lts/min.
- Altura de columna de agua 40 m.
- Impulsor centrífugo.
- IP 44.
- ½ HP.
- 110/220 V.

c. Características del Caudalímetro.

- Caudal máximo y mínimo.
- Tipo turbina.
- Polivinilo (resistente a químicos).
- Alimentación +5 Vcd y GND.
- Salida digital.

d. Características de las Electroválvulas.

Las electroválvulas de llenado y recirculación son similares.

- Diámetro 3/4 plg.
- Regulación de caudal (por diafragma).
- Activación de piloto manual y solenoide de 24 Vac, I=120 mA, W=1.2, Modelo: S-390-2-R.
- Polietileno.

e. Características de la servoválvula.

Esta servoválvula tiene las mismas características de las electroválvulas citadas anteriormente. Diferenciándose únicamente en que la regulación de caudal es accionada mediante un motor PAP.

- Matrimonio tipo castilla (Acoplamiento servoválvula).
- Controlador DriveL298N.
- Motor PAP.
 - $V_s = 5 \text{ Vdd}$.
 - $\text{Amp} = 2.1 \text{ A}$.
 - $\text{Torque} = 20 \text{ oz}$.
 - $\text{Paso} = 1.8 \text{ Deg/step}$.

3.10.2 Diseño del dosificador.

El dosificador es aquel que va a proporcionar las dosis de insumos fertilizantes, ya que en la fertilización del cultivo se realizan diferentes formulaciones de abonos dependiendo de la etapa de desarrollo. La combinación de diferentes elementos en porcentajes, tales como NPK (nitrógeno, fósforo y potasio) que son los macro elementos y los micro elementos calcio, zinc, hierro, manganeso entre otros, da como resultado una fórmula de abono. El insumo que contienen estos elementos viene en estado sólido y/o líquido, en diferentes porcentajes de granulación y densidad.

Este equipo permite facilitar la dosificación de los insumos en cantidades adecuadas, debido a que tiene dispositivos que son controlados mediante un sistema automatizado. Los dispositivos que comprenden al dosificador están ensamblados en una estructura dimensionada de acuerdo a su manejo. En la Figura 3.9 se indica las medidas de la estructura del dosificador.

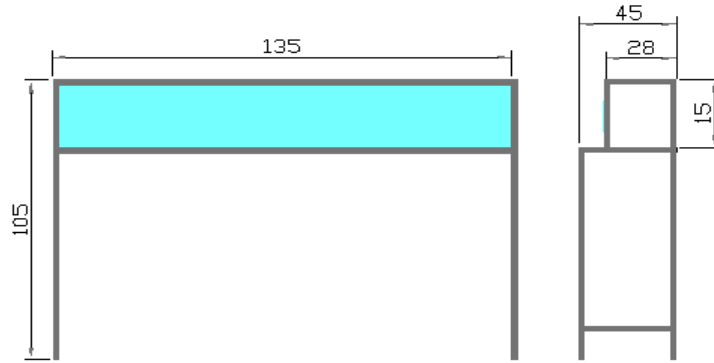


Figura 3.9 Estructura del dosificador.

a. Dosificación de sólidos.

Los dispensadores de copadoras tienen características que satisfacen las necesidades de diseño del dosificador de insumos fertilizantes de estado sólido (Ver Figura 3.10). De acuerdo al paso del tornillo sin-fin, éste suministra una cantidad de gramos por vuelta de insumo, el mismo se acopla a un sistema de transmisión mecánica y el torque necesario es proporcionando por un motor PAP.

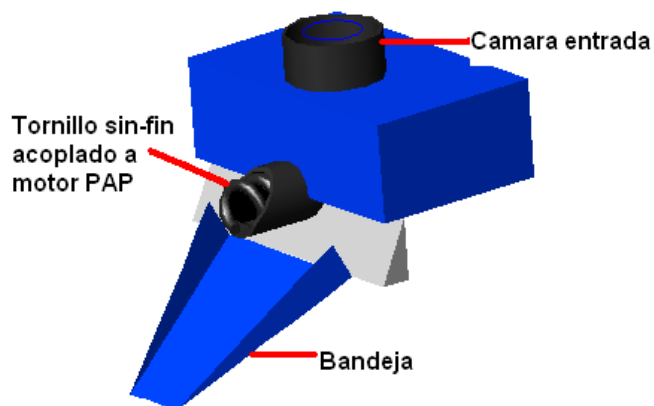


Figura 3.10 Dispensador de sólidos.

Características del dispensador de sólidos (tipo tolva).

- Tolva de 12 lbs.
- Cámara del dispensador de 50 gramos.
- Transmisión mecánica por engranajes.
- Motor PAP.
 - 24 Vcd.
 - 8 Ohms/bobina.
 - Paso 1.8°
 - Torque 500 g.cm.

b. Dosificación de líquidos.

La dosificación de insumos líquidos se realiza a través de bombas pequeñas las mismas que están acopladas a reservorios pequeños, estos depósitos pueden variar de acuerdo al volumen que se maneja. En este proyecto la cantidad de almacenamiento es de 2 litros por dispensador, pues la cantidad diaria de insumo no supera los 200 ml por riego. La Figura 3.11 muestra el dispensador de líquidos.

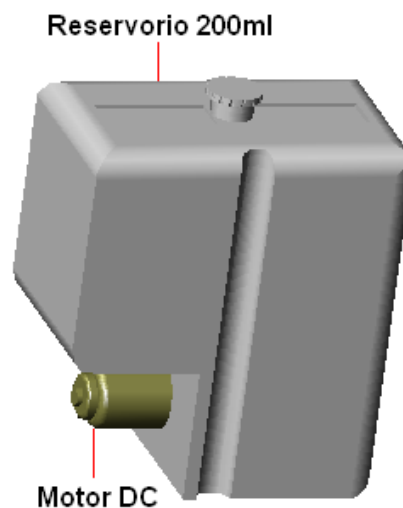


Figura 3.11 Dispensador de líquidos.

Características del dispensador de líquidos.

- Reservorio pequeño 2000 ml (polietileno).
- Manguera de 1/4 plg.
- Mini bomba.
 - Impulsor centrífugo (PDFV, polifluoruro de vinilideno).
 - Diámetro de descarga 5 mm.
 - Voltaje de alimentación 12 Vcd.
 - Amperios 4.6 A.

c. Banda transportadora.

Ésta permite transportar los insumos previamente dosificados hacia el tanque mezclador. El movimiento de la banda se ejecuta mediante un motor DC a través de poleas; el mismo que esta sincronizado con el proceso de dosificación y mezcla. La Figura 3.12 muestra la banda transportadora.

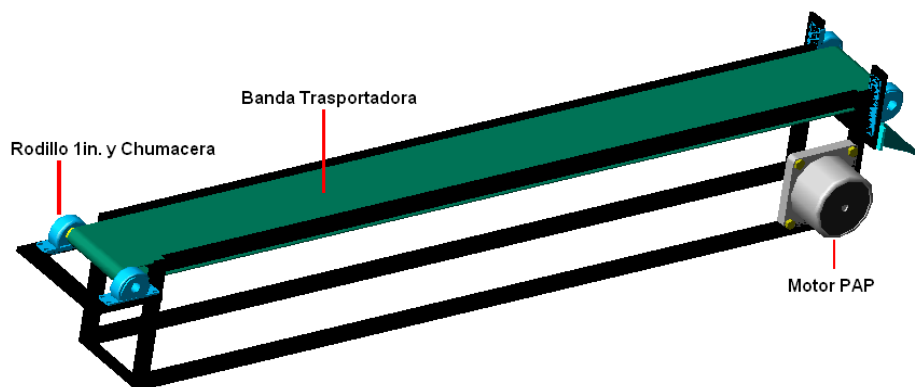


Figura 3.12 Banda transportadora.

Características de la banda transportadora.

- Material de la banda: Lona-Corocil.
- Medidas de la banda: ancho = 20 cm. y Longitud entre ejes = 150 cm.
- Rodillo de 1 plg. con chumaceras.
- Velocidad lineal.

- Motoreductor DC.
 - Voltaje de alimentación 12 Vcd.
 - Amperios 2.8 A.
 - Potencia 9 watts.

3.10.3 Diseño de controladores para los dosificadores.

a. Dispensador de sólidos.

Este controlador posee características de acuerdo a las necesidades del dispensador, tales como:

L298N 12-06 (Driver Motor PAP Dosificador).

- $V_{s1} = 5 \text{ Vdd}$; $V_{s2} = 12 \text{ Vdd}$.
- Gnd.
- 1 Input (In de tarjeta NI).
- 1 Output (Out a tarjeta NI).
- Microcontrolador.
- Driver para motor PAP.
- Diodos antiparalelo.

La Figura 3.13 muestra un esquema de la distribución de los sensores y controladores del dispensador de sólidos.

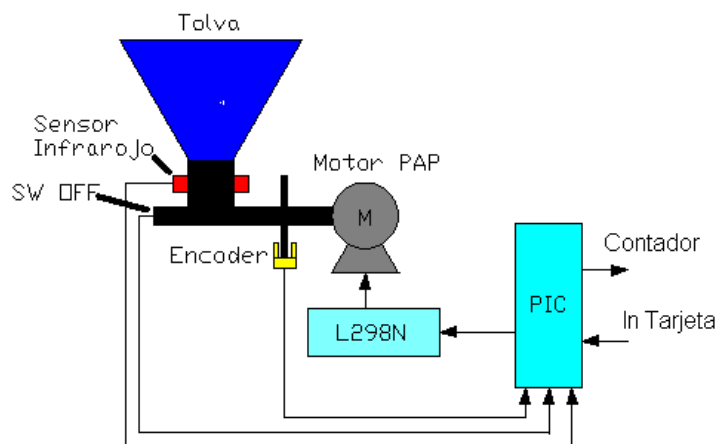


Figura 3.13 Esquema del dispensador de sólidos.

Selección de elementos para el diseño del controlador.

- Pic 16F628A (En el Anexo A12 se presentan las características más relevantes de este microcontrolador).
- Dual full-bridge driver L298N. (En el Anexo A13 se presenta el Data Sheet del L298N).
- Encoder (optoacoplador con fototransistor ECG 3100).
- Detector de presencia de material (optoacoplador con fototransistor ECG 3100).

b. Dispensador de líquidos.

El controlador del dispensador de líquidos posee características eléctricas de las mini _ bombas, que son activadas mediante lógica matemática (Ver Figura 3.14). Siendo las siguientes:

DL 02-07 (Driver Dosificador Líquidos).

- $V_{s1} = 5 \text{ Vcd}$; $V_{s2} = 12 \text{ Vcd}$.
- GND.
- 3 Input level.
- 3 Input de Actuadores.
- 1 Input date.
- 1 Output date.
- Transistor de potencia.
- Microcontrolador.

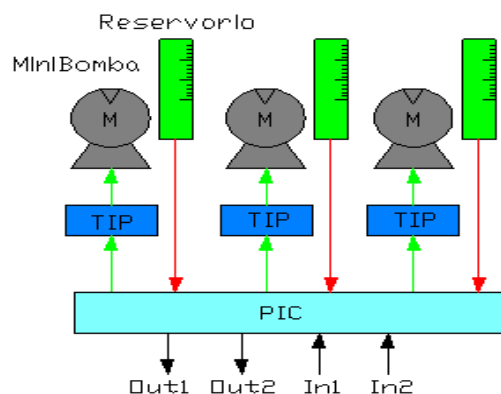


Figura 3.14 Esquema del controlador de líquidos.

Selección de elementos para el diseño del controlador.

- Pic 16F628A.
- Resistencias de 1 Watt.
- Baquelita de 5 x 5 cm.
- Conectores tipo DIL.
- TIP 110 (Transistor de potencia ECG 261).
- Sensor de nivel ON/OFF (176250CK Jameco).

3.11 Diseño del circuito de fuerza del proceso.

En esta etapa de diseño, se toma muy en cuenta las características eléctricas y mecánicas de los dispositivos que conforman el circuito de fuerza, pues los motores DC, los motores de las bombas, electroválvulas, entre otros manejan corrientes nominales y de arranque.

3.11.1 Circuito de fuerza de las bombas.

En el Anexo A14, muestra la conexión de los elementos de fuerza de la bomba principal y mezcla/injector.

3.11.2 Circuito de fuerza de las electroválvulas y actuadores.

Para el circuito de fuerza de las electroválvulas y la banda transportadora, se tiene un esquema de conexiones en el Anexo A15.

3.11.3 Selección de dispositivos eléctricos de fuerza.

Con las características de cada dispositivo actuador, se seleccionan los elementos de fuerza.

En la Tabla 3.11, se detalla la selección de los dispositivos eléctricos de fuerza.

Bomba principal.	Bomba Inyector/Mezclador	Electroválvulas	Banda transportadora
Breaker.	Breaker.	Fusible.	Fusible.
K32A Núm. Polos = 2 V = 230/400 Vca Poder corte = 300 A Curva C a 30 °C. Núm. Ope.=10 Kcls.	K32A Núm. Polos = 2 V = 230/400 Vca Poder Corte =300 A. Curva C a 30 °C. Núm. Ope.=10 Kcls	Ic = 250 mA. V = 500 V. Curva C Tipo botella.	Ic =3 A. V = 500 V. Curva C Tipo botella.
Contactor.	Contactor.	Módulo Relés.	Módulo Relés.
CL03A310M Ith = 45 A Ui = 1000 V Aux. Cont. Ith = 15 A V = 220 V Hp = 5	3TF3010-0A Ith = 25 A Ui = 1000 V Aux.Cont. Ith= 10 A V = 110/220 V Hp = 1	Mod Réles 14-07 14 relés Características: Imáx = 10 A V = 120/240 V	Mod Réles 14-07 14 relés Características: Imáx = 10 A V = 120/240 V
Relé Térmico.	Relé Térmico.		
T = 80 °C. I apertura=10-25 A Ui = 1000 V V = 220 V	T = 80 °C. I apertura=10-25 A Ui = 1000 V V = 220 V		

Tabla 3.11 Selección de los dispositivos de fuerza para la activación de los actuadores.

3.12Diseño del Circuito de Control del Proceso.

3.12.1 Selección de sensores.

A continuación se realiza una descripción de los sensores que forman parte del proyecto.

a. Para el sensado de la humedad y temperatura de suelo, se selecciona el sensor matricial Watermark y el sensor LM35DZ, respectivamente.

Watermark El sensor Watermark es ideal para el sensado de la humedad del suelo, como el que se observa en la Figura 3.15.



Figura 3.15 Sensor Watermark.

El sensor Watermark (del tipo granular matricial), ofrece un método indirecto de medición de la humedad del suelo, a partir de la medida de la succión del agua en el terreno en centibares (cB), con un rango aceptablemente lineal entre 0 y 200 centibares (en el Anexo A16 se indica detalladamente sus características). En sí, el sensor es una resistencia eléctrica variable lograda por dos electrodos contenidos en una barrera permeable, con componente reactiva capacitiva menor del 7% en el rango de 0 a 10 KHz de frecuencia, igualmente el método de sensado adoptado, no se ve afectado por componentes reactivos. Es decir, que cada valor de resistencia del sensor corresponde linealmente a un valor de presión en centibares, que a su vez se toma como indicador de un cierto valor de humedad en el suelo.

Tiene la ventaja de ser un sensor económico, robusto, de rápido tiempo de respuesta, y no necesita mantenimiento, ni calibraciones, pero se degrada con el tiempo.

Del fabricante se obtiene la siguiente información y sugerencias, para el diseño del circuito excitador del sensor:

- Dispone de una Tabla de conversión de valores de resistencia y presión de succión para el rango de 0-200 centibars (550-28000 Ohms). Para un menor valor de resistencia (y por ende una menor lectura en centibars), corresponde a un suelo más húmedo.
- La resistencia del sensor es inversamente proporcional a la temperatura del suelo. Se debe ajustar al 1% por grado Fahrenheit de variación, tomando como referencia inicial 75 °F.

- No es recomendable aplicar al sensor una tensión continua, ya que los electrodos se pueden dañar por efecto electrolítico.
- No debe dejarse el sensor continuamente excitado, ni la corriente debe superar el 1 mA (para obtener una mayor vida útil).

LM35DZ. Es un sensor de temperatura con una precisión calibrada a 1 °C, y un rango que abarca desde -55 °C a +150 °C. Ver Anexo A17 donde se detallan las características de este dispositivo.

El sensor se presenta en diferentes encapsulados, pero el más común es el TO-92, de 3 terminales, dos de ellas para alimentarlo y la tercera entrega un valor de tensión proporcional a la temperatura medida por el dispositivo. Al tener el LM35DZ con las letras del encapsulado hacia arriba (vista inferior), se determina que de izquierda a derecha los pines son: 1) *VCC*, 2) *Vout* y 3) *GND* (Ver Figura 3.16).

La salida es lineal y equivale a 10 mV/°C, por lo tanto:

- +1500 mV = 150 °C.
- +250 mV = 25 °C.
- -550 mV = -55 °C.



Figura 3.16 Distribución de pines del LM35.

b. Para la medición de la humedad relativa y temperatura ambiental se elige el sensor SHT11.

SHT-11. Es un sensor integrado de humedad relativa (HR) y temperatura (°C), de la marca SENSIRION, calibrado en fábrica, con salida digital mediante un bus serie síncrono y protocolo específico. Además dispone en su interior con un calefactor para evitar

condensación de vapor de agua en el interior de la cápsula de medida. En la Figura 3.17 se indica el sensor integrado de humedad.

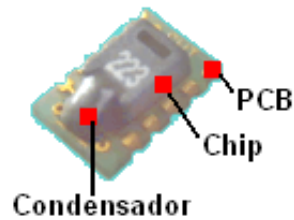


Figura 3.17 Sensor integrado de humedad SHT11 PCB.

Éste se puede alimentar con un rango de tensión continua entre 2,4 a 5 V, y es necesario proveer lo más cerca posible del circuito integrado un condensador de desacoplo de 100 nF entre GND y VCC. En la Figura anterior se observa una pequeña PCB (Printed Circuit Board) donde alberga al SHT11 y su condensador de desacoplo; ya que este sensor presenta encapsulado para montaje superficial LCC (Lead Chip Carrier) y es difícil de quitar una vez soldado, es mejor trabajar con pines más standard como un SIL de 8 pines (Ver Figura 3.18). Para más información del SHT11, refiérase al Anexo A18.

El circuito integrado dispone de 8 pines, aunque solo se usan 4 de ellos y los demás se deberán soldar en pads al aire, simplemente para la sujeción del integrado.

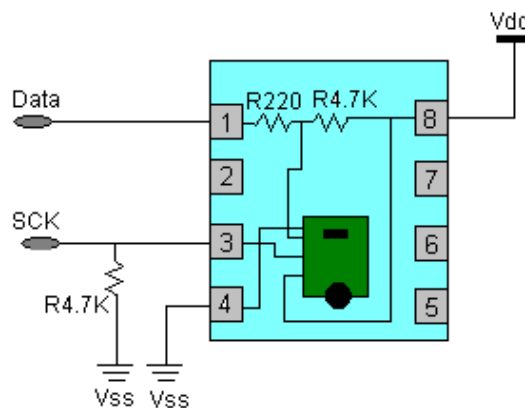


Figura 3.18 Sensor SHT11 acoplado al SIL.

El pin DATA corresponde a la salida/entrada de datos para comandar y leer el sensor, además es un pin triestado; por lo que necesita de una resistencia de polarización a Vcc

(push-up). SCK (serial clock input) se utiliza para sincronizar la transmisión y no dispone de frecuencia mínima. En la Figura 3.19 muestra el diagrama de conexiones del sensor.

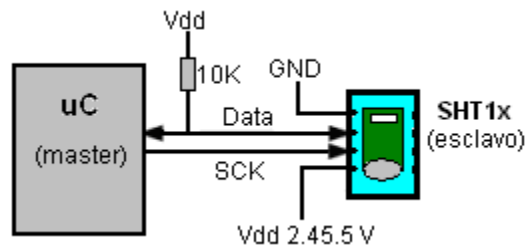


Figura 3.19 Diagrama de Conexión.

Transmisión Start: Para comunicarse con el SHT11, lo primero que se debe hacer es enviar una secuencia de inicio de transmisión "Transmission Start" (Ver Figura 3.20). Ésta consiste en poner a cero lógico la línea DATA mientras SCK esta en "1", seguidamente se genera un pulso bajo en SCK mientras la línea DATA sigue a "0" y para finalizar se pone a "1" DATA mientras SCK esta a "1", inmediatamente se baja a "0" lógico SCK y finaliza la secuencia dejando la línea DATA y SCK en los estados lógicos por defecto (DATA en estado alto y SCK en estado bajo).



Figura 3.20 Inicio de transmisión.

En la Tabla 3.12 se indica los códigos que corresponden a cada comando, después de iniciar el dispositivo:

Comando	Código binario
Reservado.	0000x
Medida de Temperatura.	00011
Medida de Humedad.	00101
Leer el registro de estado interno.	00111
Escribir el registro de estado interno.	00110
Reservado.	0101x-1110x
Generar un Reset al software interno, reponiendo a los valores por defecto el registro de estado. Hay que esperar 11 <i>mS</i> al menos después de enviar este comando.	11110

Tabla 3.12 Comando y códigos.

El protocolo de transmisión de comandos esta basado en un byte completo, o lo que es lo mismo 8 bits, como los comandos son de 5 bits el resto de bits a la izquierda siempre serán ceros. Por esta razón se envía primero los 3 ceros seguido del comando para completar el byte.

El SHT11 indicará una recepción valida con un pulso de ACK en la línea DATA que es bidireccional y lo hará en el siguiente pulso de SCK, después de haber completado los 8 bits del comando; por lo tanto, después de enviar el comando hay que configurar como entrada el puerto del microcontrolador conectado a DATA del SHT11 y generar una señal de CLOCK para que el sensor envíe su respuesta ACK, y lo hará poniendo la línea a nivel bajo; como se mencionó anteriormente la línea DATA por defecto esta en 1 lógico, y lo que hace el SHT11 es forzar a 0 lógico con su salida a colector abierto.

Secuencia de medida: Después de haber enviado un comando, por ejemplo "00000101" que corresponde a la medida de humedad relativa (Ver Figura 3.21), se recibe el ACK desde el sensor y se espera que éste complete la adquisición y entregue su medida, esto suele tardar unos 55 mseg. para una resolución de salida de 12 bits o bien, unos 11 mseg. para una resolución de 8 bits. Como este tiempo de adquisición no es muy exacto y puede variar dependiendo de la alimentación del sensor o de su oscilador interno; para evitar esperas innecesarias, en el sensor se genera un pulso bajo en la línea DATA y así se sabe que lo siguiente ya será datos validos, esto se hace comprobando la línea DATA cada determinado tiempo hasta que ésta pase a nivel bajo. Si está en nivel alto, aun no ha concluido la adquisición, pero si se recibe un nivel bajo será la indicación de adquisición completada y pasará a leer la medida del sensor.

Ahora se generan 8 pulsos de reloj en la línea SCK y se guarda el estado de cada bit que retornará el sensor. La trama que retorna el sensor se compone de 3 bytes, el primero corresponde a MSB, el segundo a LSB, y el tercero es el CRC-8 Checksum para comprobar que el dato a llegado correcto, pero se puede ignorar generando NACK después de la llegada del segundo byte (LSB). Como puede notarse el dato de la medida se

compone de 2 bytes, aunque como mucho el dato válido será de 12 bits de resolución, pero aunque se configure el sensor para una resolución de 8 bits, siempre se leerá 2 bytes ignorando el MSB en este caso.

Después de cada 8 bits recibidos, el microcontrolador genera un ACK para que el sensor detecte que ya ha recibido los datos. Esto se hace generando un flanco de subida en SCK mientras DATA esta a nivel bajo. Después de esto se continúa con la lectura de otro byte.

Para terminar la trama, se genera desde el microcontrolador un NACK (NoACK), esto es lo mismo que el ACK pero en vez de mantener la línea DATA a nivel bajo se tiene que poner a 1 lógico, mientras esto pasa se genera un flanco de subida en SCK igual que antes.

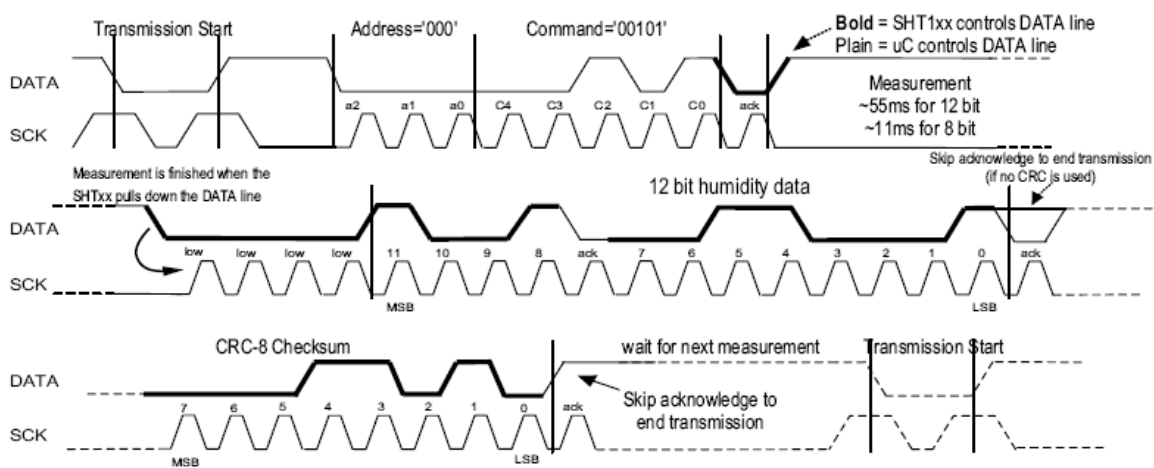


Figura 3.21 Ejemplo de secuencia de medida para humedad relativa.

El sensor admite dos adquisiciones o medidas por segundo, por lo que no se debe forzar la lectura con reinicios superiores a este valor, pero una medida normal seria cada 5 o 10 segundos o más.

Este sensor de humedad relativa/temperatura puede ser usado en estaciones meteorológicas portátiles; y en un robot explorador, puede servir para generar gráficos de humedad en los sitios por donde pasa, así como también registrar medidas adecuadas en lugares de climas extremos.

c. Para la regulación de caudal de inyección, se selecciona un caudalímetro tipo turbina Signet 2100.

MINI-TURBINA SIGNET. Diseñada especialmente para aplicaciones en pequeños diámetros, la Mini Turbina SIGNET 2100 (Ver Figura 3.22), proporciona lecturas muy precisas en dos rangos de caudal: 0,4 a 4 lts/min y 4 a 40 lts/min, en agua. Su principio de operación es el de un rotor que, fijado a un eje que gira, produce una frecuencia proporcional a la velocidad del líquido. El rotor no es magnético para permitir una respuesta lineal a los cambios de velocidad y para ayudar a evitar fricción estática a bajas velocidades.

Los avances de Signet en la detección de campos magnéticos de muy baja intensidad permiten enviar una señal de colector abierto, que es capaz de alimentar directamente a equipos de conteo de frecuencia, sin necesidad de acondicionar la señal.

Así es posible reducir el rango de velocidad de flujo detectable a 0,1 m/s y aprovechar un mayor rango de frecuencia del sensor.

El cuerpo del sensor y del rotor están fabricados en PVDF²⁷ (un derivado del PTFE), lo cual ofrece compatibilidad química en aplicaciones con líquidos corrosivos y en ambientes agresivos. La construcción de cojinetes y ejes en cerámica ha demostrado proveer alta resistencia al desgaste y largo tiempo de servicio sin mantenimiento. Asimismo el rotor no-magnético elimina la acumulación y contaminación de partículas ferrosas, así como el arrastre magnético.

En el Anexo A19 se presentan las características de esta Mini-Turbina.

Se construye mediante moldeado por inyección, sin partes mecanizadas. Las superficies son lisas, sin porosidades, ni grietas; lo que limita la contaminación por bacterias en aplicaciones de alta pureza.

Una incorporación de electrónica removible en un caudalímetro de bajo costo. Ante una eventual falla se puede inspeccionar, o recambiar, sin necesidad de sacar la turbina; ni

²⁷ PVDF: Polifluoruro de Vinilideno.

despresurizar la línea, requerimiento indispensable para no interrumpir un proceso continuo de producción.

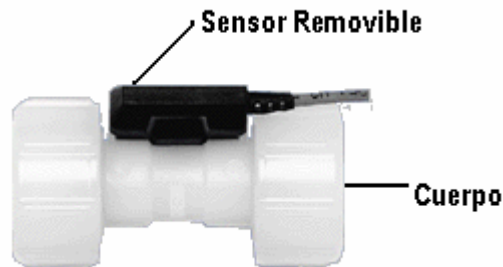


Figura 3.22 Partes de la Mini-turbina Signet.

d. Los niveles tanto de reservorio como tanque mezclador necesitan ser medidos, por esta razón se elige los sensores de presión MPX10D.

MPX 10DX.²⁸ Es un dispositivo de silicón piezoresistivo, este sensor de presión provee buena exactitud y un voltaje de salida lineal-directamente proporcional a la presión aplicada. Es estándar, de bajo costo, no compensables, permiten diseñar y añadir su propia compensación de temperatura externa y acondicionar su señal de trabajo (Figura 3.23).

La presión de trabajo que tienen este dispositivo es de: 0 a 10 kPa (0 -1.45 psi); al llegar a la escala máxima de 10 kPa su voltaje de salida es 35 mV. Si sobrepasa los 10 kPa el sensor simplemente pueden explotar.

El MPX10D por ser pequeños, y de fácil implementación se los utiliza en la industria de control, en controles de sistemas neumáticos, robótica, indicadores de nivel, además en la instrumentación médica. Ver Anexo A20 en donde se presenta en forma detallada la información técnica del dispositivo.



²⁸ Jameco Electronics, Linear, Sensors & Digital Pots, Catalog 262, Pág. 42.

Figura 3.23 Sensores de presión MPX10D y MPX10DP.

En la Tabla 3.13 se presenta la distribución de pines del dispositivo.

Distribución de pines			
1	Gnd	3	V_S
2	$+V_{out}$	4	$-V_{out}$

Tabla 3.13 Distribución de pines MPX10D y MPX10DP.

e. El sensado de niveles en los dispensadores de fertilizantes líquidos se hace a través de sensores nivel ON/OFF del tipo capacitivo.

Sensor Empty Type. El sensor tiene dos configuraciones; cuando la boya se encuentra en la parte superior, es normalmente cerrado, y cuando la misma esta en la parte inferior es normalmente abierto. Se utiliza para determinar un nivel máximo o nivel mínimo de un tanque reservorio (Ver Figura 3.24).

En el Anexo A21 se indica detalladamente las características de este sensor.

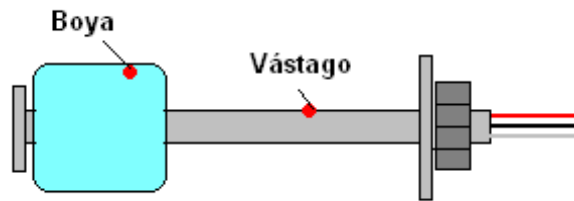


Figura 3.24 Sensor de Nivel ON/OFF.

f. Para el sensado de presencia de material y el conteo del número de vueltas del dosificador de sólidos, se implementa la activación de un fototransistor a través de un led infrarrojo.

Sensor Infrarrojo. Es un sensor que tiene un emisor y receptor, estos deben estar correctamente alineados frontalmente dentro del proceso en el cual se estén utilizando. En la Figura 3.25 se muestra la disposición de los transceptores.

El emisor no es más que un led de luz infrarroja, el cual envía una señal para que el receptor se polarice. El receptor es un fototransistor con características de luz infrarroja que posee un encapsulado oscuro, permitiendo que la luz solar o artificial no distorsione la información receptada.

Este tipo de sensores actúan correctamente en ambientes cerrados y a cortas distancias.

El haz de luz infrarroja al ser interrumpido por cualquier material u objeto no transparente despolariza el fototransistor; dependiendo de la configuración del circuito, proporciona un “0” lógico ó “1” lógico, de esta manera se puede detectar la ausencia o presencia de material.

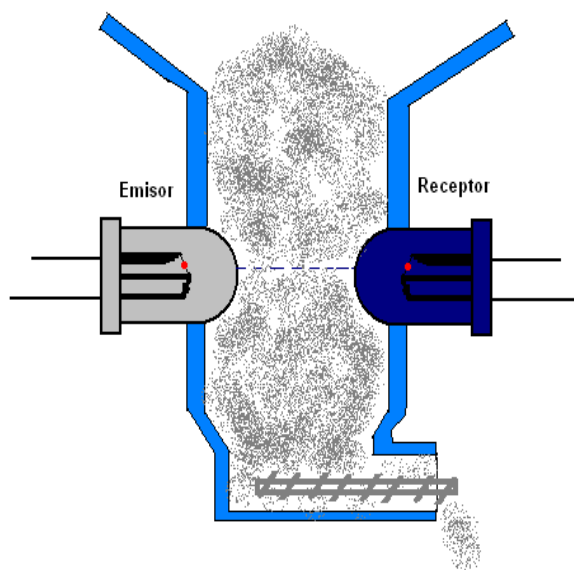


Figura 3.25 Sensado de presencia de material.

3.12.2 Circuito de control.

Es un circuito independiente al circuito de fuerza, accionando los actuadores de forma manual y automática. El diagrama de conexiones se muestra en el Anexo B1.

3.12.3 Selección de dispositivos eléctricos de control.

Para la activación de las bombas en forma manual, se ha seleccionado dichos dispositivos como se detalla en la Tabla 3.14.

Bomba principal.	Bomba Inyector/mezclador
Switch keys	Switch keys
V = 220/400 Vca. I = 1 A. Selector 3 posiciones. Luz piloto 110/220 V.	V = 220/400 Vca. I = 1 A. Selector 3 posiciones. Luz piloto 110/220 V.
Selector	Selector
I = 0.5 A. U _i = 500 V. V = 110/220 V. H _p = 5. Núm. Posiciones = 2 Luz piloto 110/220 V.	I = 0.5 A. U _i = 500 V. V = 110/220 V. H _p = 5. Núm. Posiciones = 2 Luz piloto 110/220 V.

Tabla 3.14 Dispositivos eléctricos de control del mando manual.

3.13 Adquisición de datos.

3.13.1 Diseño de acondicionamiento de señales.

3.13.1.1 Diseño de acondicionamiento de señales del sensor humedad de suelo.

Se plantea básicamente un divisor resistivo, como se indica en la Figura 3.26. La resistencia R_x simboliza el sensor de humedad, la resistencia R_a limita la corriente y define el rango utilizable del sensor. Los capacitores a ambos lados de R_x buscan eliminar el paso de una eventual tensión continua hacia el sensor.

Se alimenta con tensión alterna de 15 V, reducida desde 110 Vac a través de un transformador. En el secundario va conectado un relé para la activación/desactivación del sensado de humedad.

Como se alimenta desde la red de 110 Vac a través de un transformador, se considera necesario también medir la tensión de alimentación del divisor de tensión (tensión del secundario del transformador) para incorporarla al cálculo de la humedad, ya que es de esperar fluctuaciones de tensión en la red que afectarían la calidad de la medición si no se la midiese. Esto se lo hace mediante la resistencia sensora R_d .

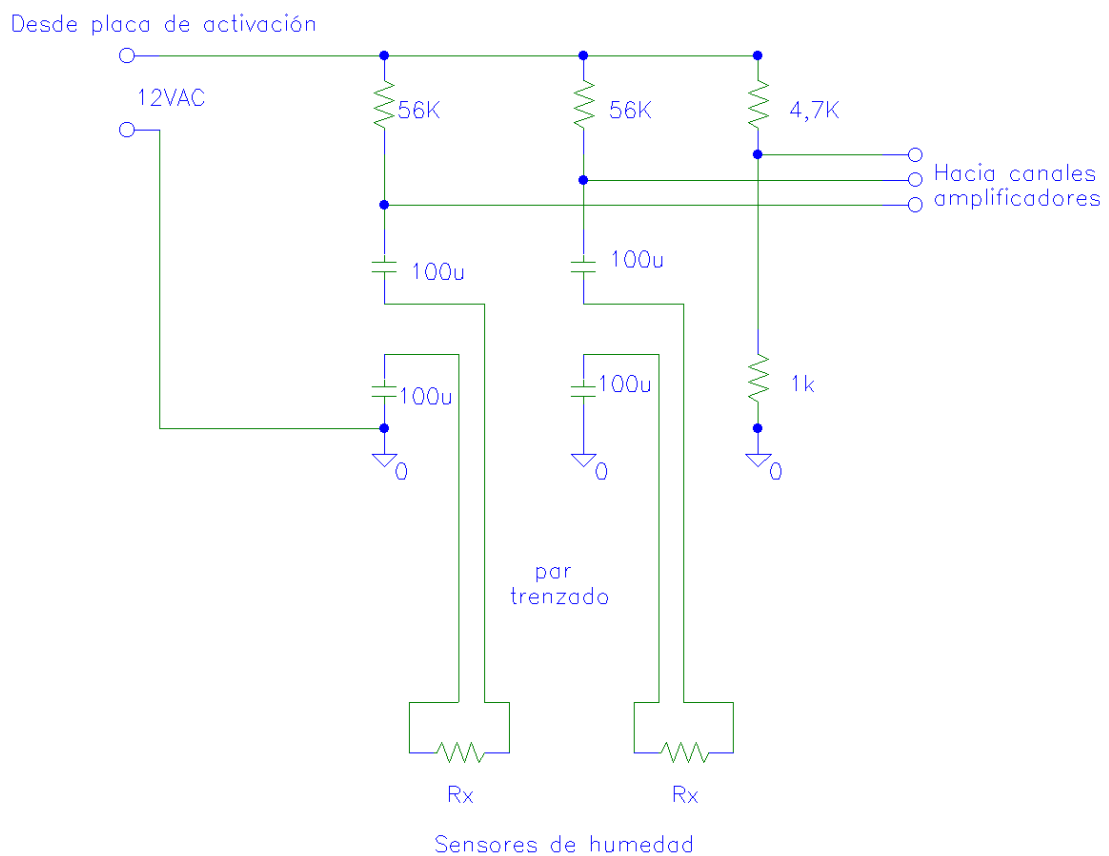


Figura 3.26 Divisor Resistivo.

La etapa siguiente, trata de un rectificador de precisión media onda con una tensión umbral de alterna de unos 15 mV. Resumidamente, el circuito sensa la caída de tensión sobre R_x , la rectifica y almacena el valor pico de la media onda con una constante de tiempo dada por el capacitor y las resistencias $R_2 + R_3$ ($\tau \approx 1$ seg; el ripple es despreciable). Finalmente el nivel de continua obtenido es adquirido por el conversor analógico/digital.

En la última etapa antes de entrar al convertor A/D, se alimenta al amplificador LM324 con una tensión acotada a 6,5 V para evitar posibles daños al convertor en caso de un funcionamiento anómalo.

En la Figura 3.27 se indica detalladamente la circuitería que corresponde a la etapa rectificadora.

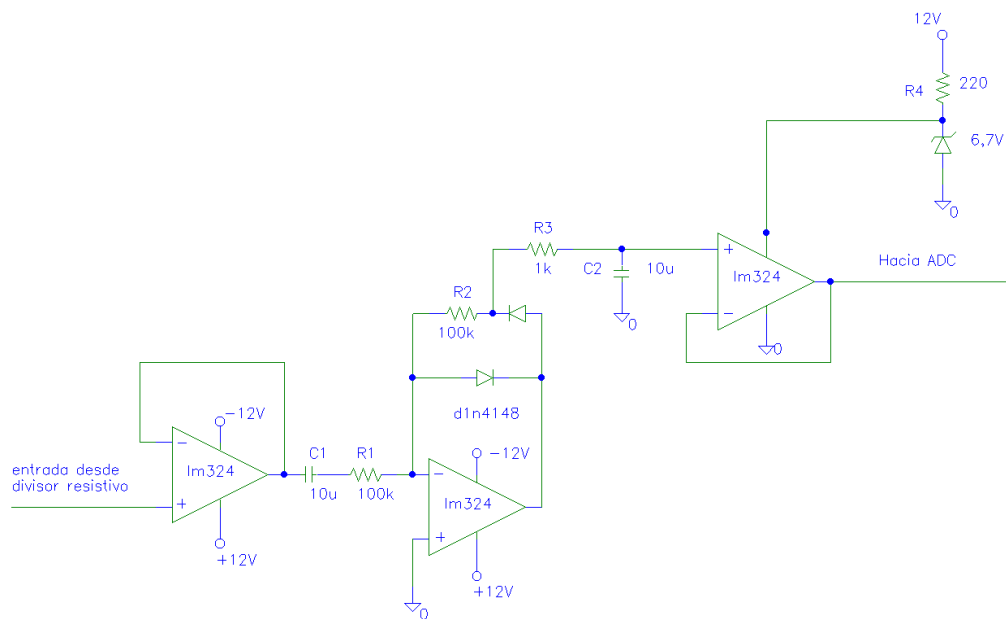


Figura 3.27 Etapa Rectificadora.

Diseño del circuito.

Datos:

- Tensión nominal de alimentación: 15 Vac
- Tensión máxima medible por el convertor A/D: 5 Vdc
- Máximo valor en la escala de presión que se desea medir: 115 centibares.

Primero se determina el rango de medición:

En la tabla que muestra el Anexo A16, 115 cB corresponde a una resistencia de 17450 Ohms y como es el valor máximo que se quiere medir, se ensaya que equivalga a 5 Vdc en

el conversor A/D. Se nota que la tensión que llega al conversor es el valor pico de la onda de alterna rectificadas y filtrada, es decir que:

$$5 V_{dc} = 1.414 * V_{eficazAC} \quad \text{Ec. 3.2}$$

Entonces,

$$V_{eficazAC} = 3.54 V$$

que es la máxima tensión medible antes de saturar el conversor.

Con 115 cB, la corriente sobre el sensor será:

$$I = \frac{3,54V}{17450\Omega} = 203,4\mu A$$

Ahora se determina el valor de la resistencia limitadora, R_a . Cuando en R_x caen 3,54 V, la restante tensión lo debe hacer sobre R_a , es decir:

$$\begin{aligned} V_{Ra} &= I * R_a = 15V - 3,54V \\ \Rightarrow R_a &= \frac{15 - 3.54}{203 * 10^{-6}} = 56450\Omega \end{aligned}$$

Se elige una resistencia normalizada de 56 KOhms al +/-5%.

No es de esperar que la presión a la cual se sature el conversor sea exactamente 115 cB, debido a que para el cálculo de R_a se utiliza un valor fijo de alimentación de 15 Vac y como ya se mencionó esto puede variar según las condiciones de la red de alterna. Pero el valor de 115 cB está bastante alejado del máximo de "sequedad" al cual responderá el control de riego (alrededor de 60 cB).

Con 0 cB (lo cual es consecuencia de un sensor completamente saturado en humedad) la corriente sobre el sensor será de:

$$I = \frac{15}{17450 + 500} = 833\mu A$$

Resumiendo, en la Tabla 3.15 se indica los valores de presión, resistencia y tensión.

Rango de "sequedad"	Presión [cB]	Resistencia [Ohms]	Tensión en el Conversor A/D [V]
Mínimo	0	500	0,187
Máximo	115	17450	5

Tabla 3.15 Rango de operación de sensado.

Para monitorear la tensión del secundario del transformador, se hace necesario acondicionar su valor a un nivel adecuado e ingresarlo a un canal del conversor A/D.

Esto se consigue mediante otro divisor resistivo.

Se adopta que para el valor nominal de 15 Vac se traduzca a una tensión de 4 Vdc a la entrada del conversor, de modo de dejar un margen para una sobretensión.

Planteando la ecuación queda:

$$\frac{4}{\sqrt{2}} = 15 * \frac{Rd}{Rd + Rc}$$

Adoptando $Rd = 1 \text{ KOhms}$,

se obtiene: $Rc = 4,3 \text{ KOhms} \cong 4,7 \text{ KOhms}$

A modo de ejemplo se citan en la siguiente Tabla distintos valores de tensión de alimentación y su correspondencia con la tensión medida en el canal del ADC.

Tensión de alimentación (en el secundario del transformador) [V eficaz]	Tensión medida en el conversor A/D [VDC]
12	3,20
14	3,74
15	4
16	4,27

18	4,80
18,8	5

Tabla 3.16 Rangos de alimentación y su respectiva medida para el convertor.

Al desenergizar el circuito, la tensión sobre R_x cae a cero con una constante de tiempo de aproximadamente 1,5 segundos (debido a la presencia de los capacitores de desacople de 100 uF).

Circuito de activación de los sensores de Humedad.

La habilitación se maneja escribiendo un estado alto (1 lógico) en la línea del puerto del microcontrolador. Éste puede entregar en cada salida del puerto como máximo 25 mA, teniendo esto en cuenta se coloca una resistencia limitadora junto con el optoacoplador. Al habilitar, se pone en conducción al optoacoplador, que al inyectar corriente en la base del transistor lo satura permitiendo energizar la bobina del relé. De esta manera se logra la activación del circuito de sensado.

En la Figura 3.28 indica el diagrama de activación del relé para alimentar a los sensores de humedad de suelo.

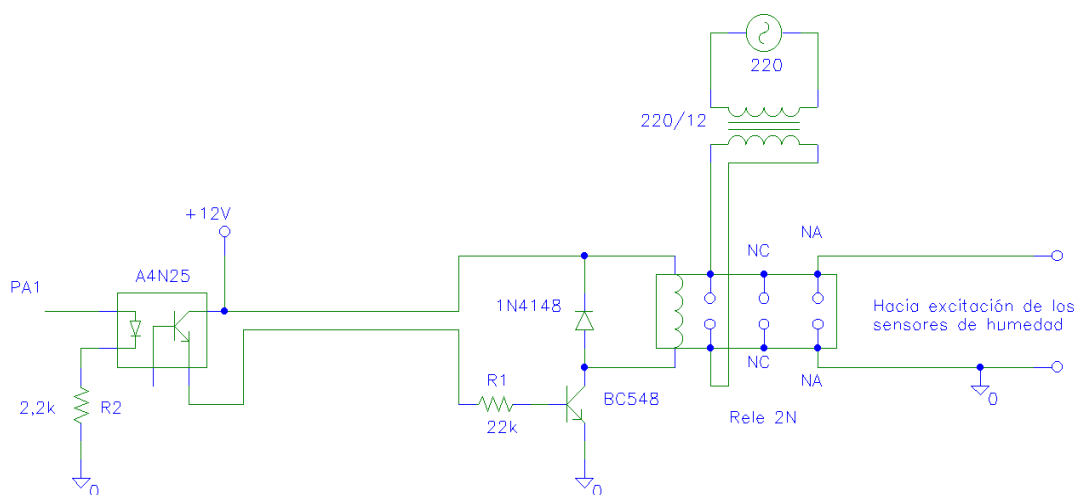


Figura 3.28 Circuito de activación.

3.13.1.2 Diseño de acondicionamiento de señales del sensor temperatura de suelo.

50 °C	600 mV	5 V
-------	--------	-----

Tabla 3.17 Rango de temperatura y tensión de salida

El amplificador operacional utilizado es el circuito LM324 (Ver Anexo A22), que incluye 4 amplificadores en el circuito integrado compartiendo una misma alimentación.

Si ingresa una tensión mayor a 6.8 V el conversor podría dañarse, por lo que se debe diseñar un amplificador para que se sature a una tensión menor a éste límite, de modo que si por algún motivo (síntoma de algún desperfecto) intentase amplificarse una tensión que supere el límite, ésta no cause daño.

Del módulo de alimentación se dispone de una tensión de +12 Vdc, de modo que mediante un diodo zener de 6,2 V y una resistencia limitadora se alimenta al LM324.

3.13.1.3 Diseño de acondicionamiento de señal del sensor nivel.

En la Figura 3.31 muestra un diagrama de conexiones para el acondicionamiento del sensor de presión MPX10D.

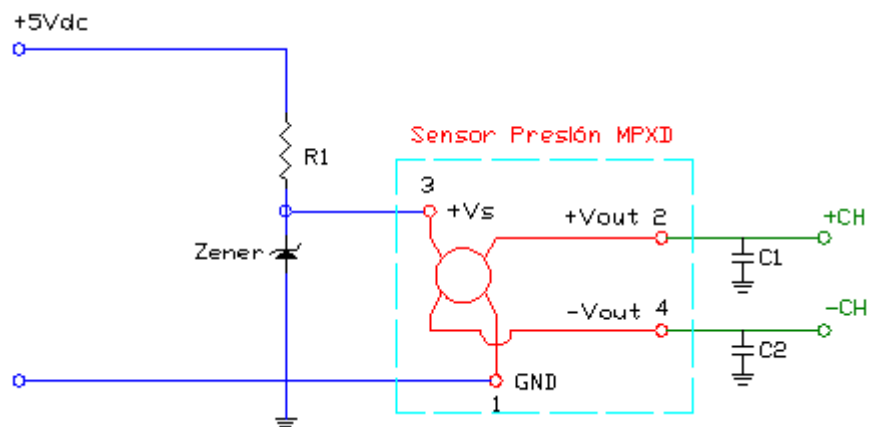


Figura 3.31 Acondicionamiento de señal del MPX10D.

Datos:

- $V_s = 3 \text{ Vcd.}$
- $I_o = 6 \text{ mA.}$

- $V_z = 3 \text{ V}$.
- $V_t = V_{R1} + V_z$.
- $V_{R1} = 2 \text{ V}_{cd}$.
- $R1 = V_{R1}/I_o$.
- $R1 = 333.33 \text{ ohms} \cong 330 \text{ ohms}$.

3.13.1.4 Diseño de acondicionamiento de señales del sensor flujo.

La Figura 3.32 indica el diagrama de conexiones para el acondicionamiento de señal del sensor de flujo.

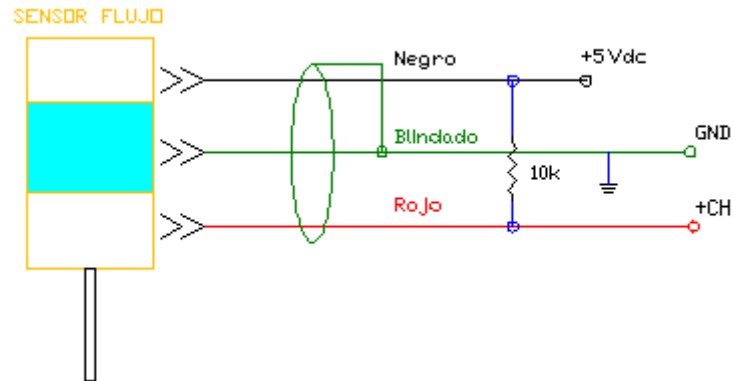


Figura 3.32 Acondicionamiento de señal del sensor flujo.

3.7.2 Conversión de señales A/D.

Una vez realizado el acondicionamiento de señal en los sensores de humedad y temperatura de suelo, se procede a la conversión A/D. Para la conversión se ha seleccionado un microcontrolador 16F877A (En el Anexo A23 se presentan las características más relevantes de este microcontrolador), sus canales A/D están distribuidos de la siguiente manera: RA0, RA1, RA2 y RA3 para los sensores de humedad (WaterMark) y RA5 monitorea la tensión del secundario en el transformador; y solo se usa RA6 para los sensores de temperatura (LM35) porque están demultiplexados con el circuito integrado CD4016BC. En el Anexo A24 se presenta el Data Sheet del mismo.

En la Figura 3.33 se muestra el esquema de conexiones de los canales del microcontrolador.

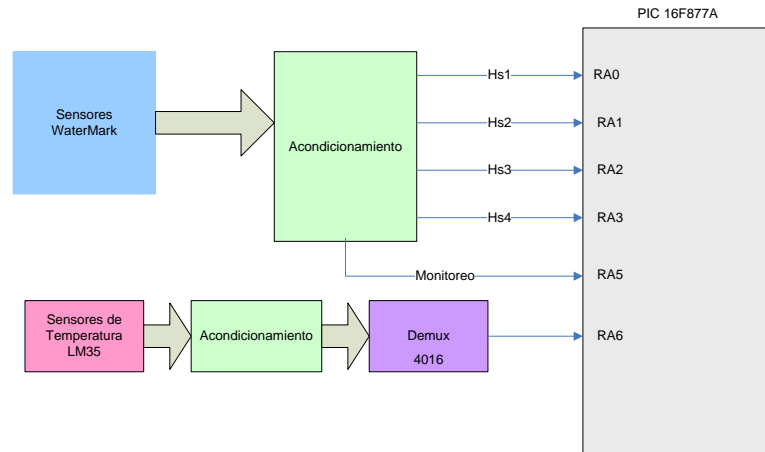


Figura 3.33 Esquema de conexiones de los canales del PIC 16F877A.

La conversión de las señales análogas de los sensores de presión (MPX10D) se realiza a través de una tarjeta DAQ. Se utiliza 2 canales por cada sensor por ser diferenciales. En la siguiente Figura se muestra el diagrama de conexiones de estos sensores en la tarjeta DAQ.

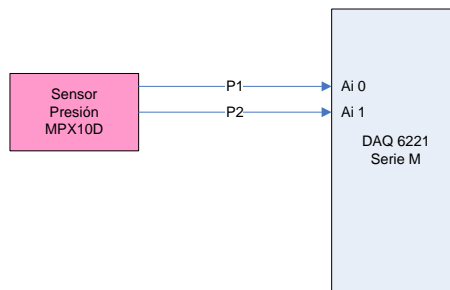


Figura 3.34 Diagrama de conexiones de los sensores MPX10D en la tarjeta.

3.7.3 Diseño y selección de tarjetas y dispositivos para la adquisición de datos.

Selección de la Tarjeta DAQ.

Para el control y adquisición de datos del sistema de fertirriego se requiere una tarjeta que tenga los siguientes parámetros:

- 22 líneas Entradas/Salidas digitales.
- 9 canales de entradas análogas.
- Un contador de entrada.
- Resolución de 8 a 12 bits.
- Velocidad de muestreo normal.

➤ Puerto PCI.

De acuerdo a los parámetros antes mencionados, la tarjeta de adquisición de datos seleccionada es la PCI 6221 Serie M de National Instruments. Sus características se muestran en el Anexo A25.

Diseño de la tarjeta DAQ de variables físicas.

Después de haber acondicionado las señales de los sensores de variables físicas, éstas pasan por el convertor A/D, pero en este caso el dispositivo de conversión es el mismo microcontrolador que hará la adquisición. Esta tarjeta tiene las siguientes características para la adquisición:

- 7 Canales análogos.
- Resolución de conversión de 8 a 10 bits.
- Comunicación serial RX/TX.
- 4 Líneas de control.
- 6 Líneas para LCD.
- Conector BCN para la comunicación de tarjetas de adquisición del sensor SHT11 (Inalámbrico).
- Puerto DB25, para la conexión de tarjetas acondicionadoras de señal.
- Puerto DB9, para la comunicación entre el PC y la tarjeta.

En el Anexo A26 se muestra el diagrama de conexiones de la tarjeta de DAQ de variables físicas.

3.14 Selección de interfaces de comunicación módulo DAQ-PC.

La tarjeta se comunica con el PC mediante la norma RS232 (Puerto Serial), por lo cual los dispositivos electos para esta interface de comunicación son:

- Cable UTP de 2 pares (1.20 m).
- Conector DB9, Macho y Hembra.

En la siguiente Figura se muestra la interface de comunicación entre estos dispositivos.

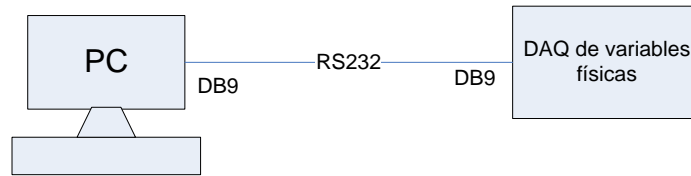


Figura 3.35 Interface de comunicación RS232.

3.9 Diseño del software para el control y supervisión del proceso.

Este proyecto se basa en el control y supervisión de todo un sistema de riego y fertilización de un cultivo en particular, a través de un PC. Es importante programar las funciones de cada una de las etapas y procesos que comprenden al sistema, para garantizar un adecuado funcionamiento, interactividad con el usuario y fácil manejo.

Para programar el software correspondiente a este sistema se usará “**LABVIEW 7.0 Express**” (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), es un lenguaje de instrumentación y análisis para PCs. Se distingue de la naturaleza secuencial de los lenguajes tradicionales de programación y provee un ambiente de programación gráfico, con todas las herramientas necesarias para la adquisición, análisis y presentación de datos. Los programas de LabVIEW son llamados instrumentos virtuales (VIs), los cuales tienen tres partes principales: el panel frontal, el diagrama de bloques, y el icono/conector. Un VI puede ser transformado en un objeto (sub VI), un sub VI puede ser usado como una “subrutina”, dentro de los diagramas de bloques de otros VIs. En la siguiente Figura se muestra las tres partes principales de un VI.²⁹

²⁹ LabVIEW Básico I, Manual del Curso, 2001, Pág. GE-1, 1-2.

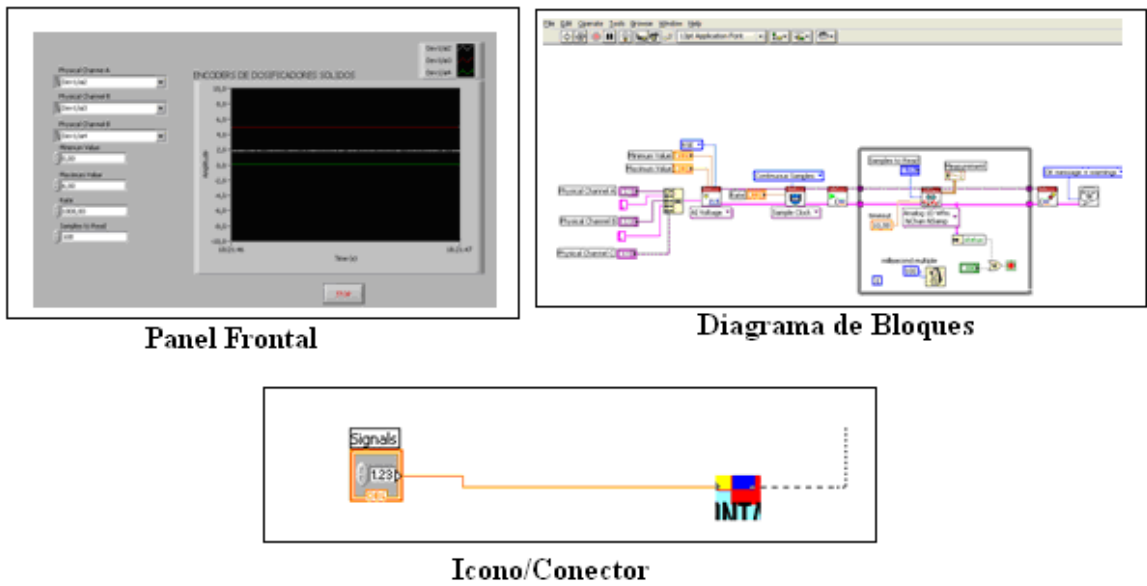


Figura 3.36 Partes principales de un VI.

Pantalla principal. En el diseño de esta pantalla se debe especificar claramente los lazos de cada etapa, pues es el programa donde se va a iniciar el control del proceso.

En la Figura 3.37 se muestra el diagrama de flujo, para el diseño del software de la pantalla principal.

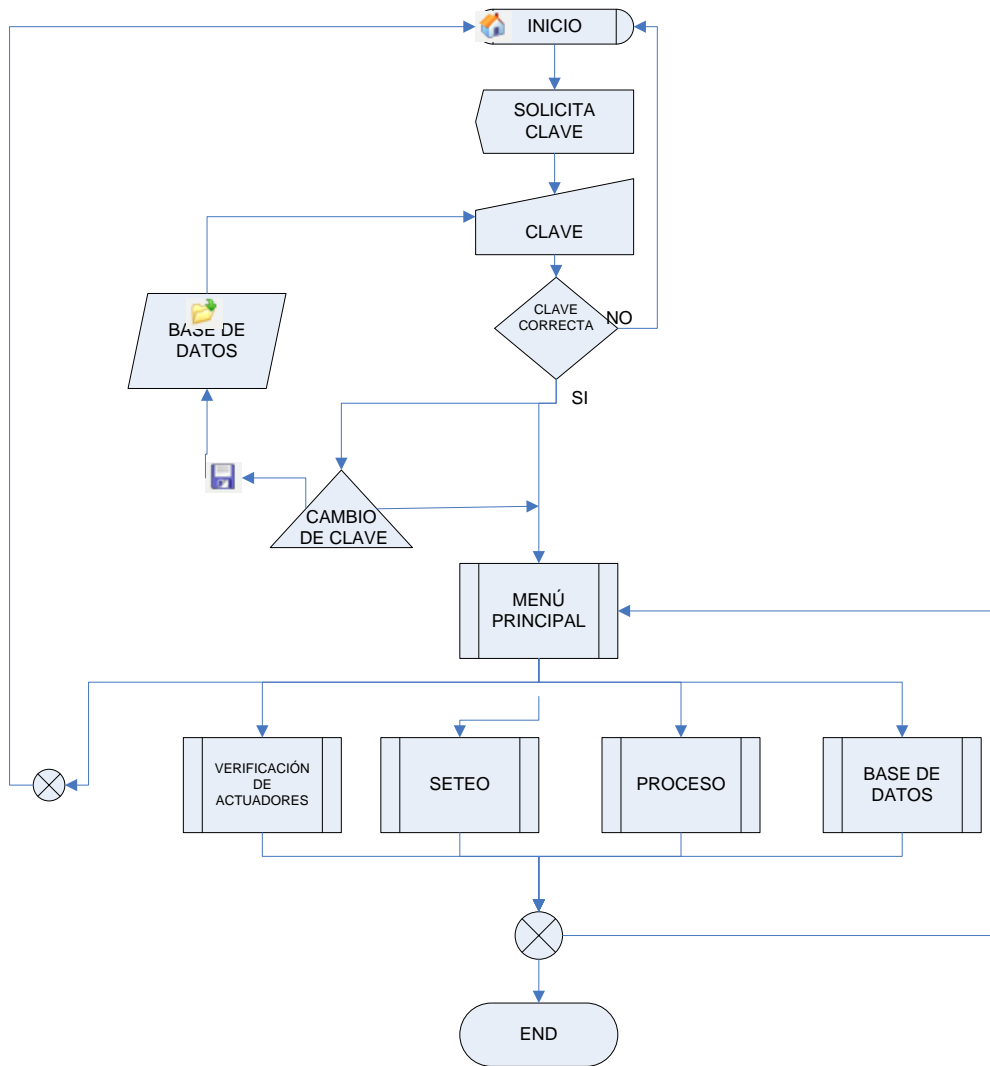


Figura 3.37 Diagrama de flujo de los “VI” del software de supervisión y control.

- 1. Verificación de actuadores.** En el siguiente diagrama de flujo (Figura 3.38), se muestra el diseño del programa que verifica el funcionamiento de cada uno de los actuadores de todo el proceso. Estos actuadores se controlan en forma independiente.

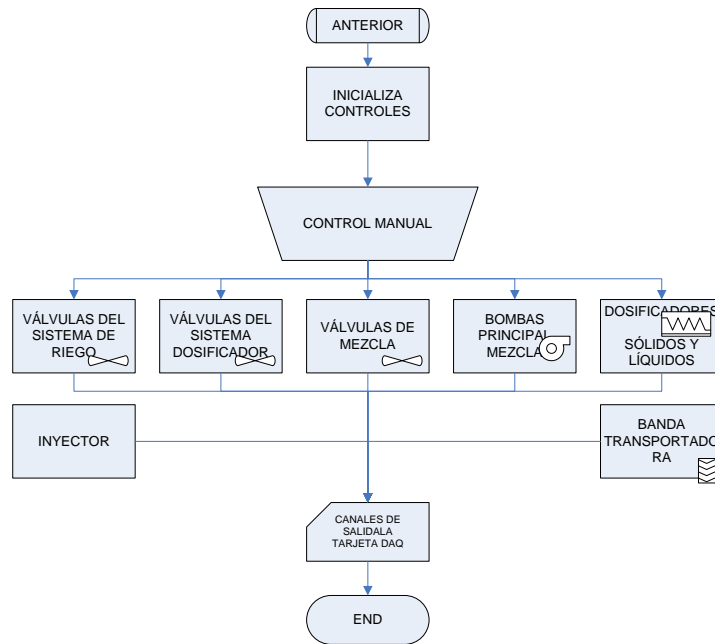


Figura 3.38 Diagrama de flujo del programa de verificación de actuadores.

2. **Seteo.** El programa de seteo está diseñado para realizar cambios de valores de las diferentes etapas del proceso. En la siguiente Figura se muestra el diagrama de flujo del programa de seteo.

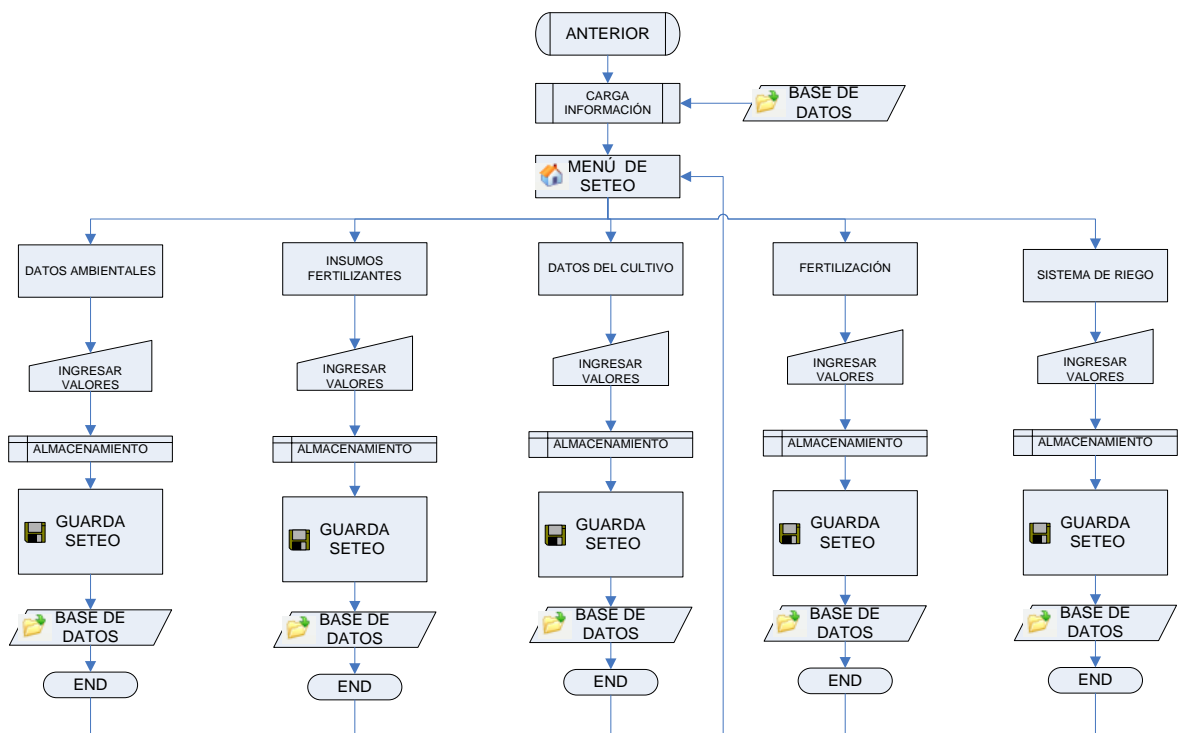


Figura 3.39 Diagrama de flujo del programa de seteo.

3. Proceso. Esta etapa tiene varios programas que recopilan información y se entrelazan entre si, realizando diferentes funciones secuenciales que hacen que se tenga un control y monitoreo en tiempo real del proceso.

En la Figura 3.40 se indica el diagrama flujo del programa que se refiere al proceso.

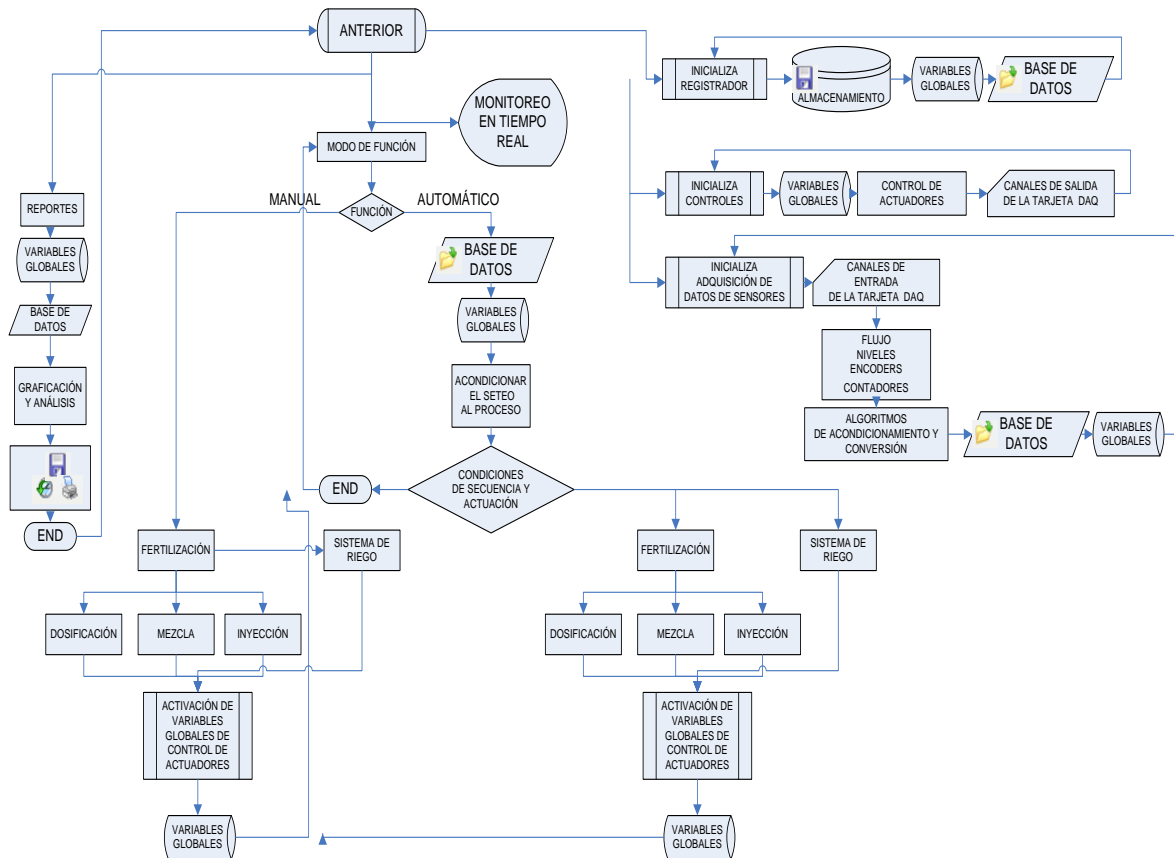


Figura 3.40 Diagrama de flujo del programa del proceso.

4. Base de datos. En este programa se ingresarán y cambiarán datos del cultivo, y además éste debe estar restringido, ya que los cambios lo realizará una persona calificada.

En la Figura 3.41 se muestra el diagrama de flujo del programa de la base de datos.

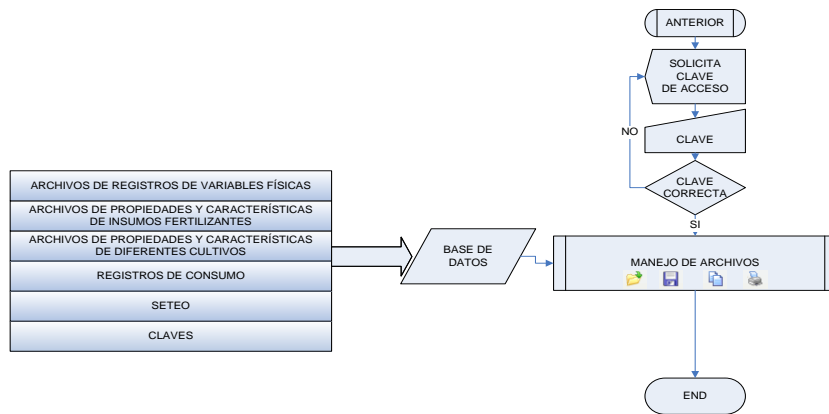


Figura 3.41 Diagrama de flujo de la base de datos.

CAPÍTULO IV

Implementación – Puesta en Operación.

4.1 Implementación del reservorio.

El tanque reservorio esta construido de acuerdo a las medidas indicadas en el ítem 3.1.1 del capítulo III, su estructura esta cimentado a un costado del cuarto de máquinas (Figura 4.1) de bloque y concreto; pero al interior de las paredes del reservorio se colocó baldosa para impermeabilizar el mismo.

La tubería de retorno de caudal al tanque, se encuentra ubicada sobre el nivel máximo de almacenamiento de agua, como se indica en la Figura antes mencionada, y la tubería de purga se encuentra al pie del mismo.

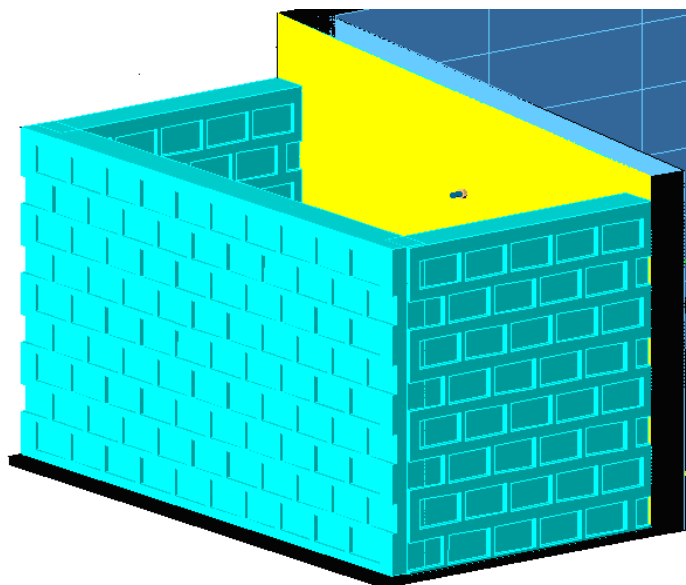


Figura 4.1 Constitución física del reservorio.

El transductor de medida del nivel de líquido, es el MPX10DP que esta ubicado al pie del reservorio, como se indica en la Figura 4.2.



Figura 4.2 Ubicación física del transductor de nivel MPX10DP.

4.2 Implementación del sistema de riego.

Sistema de goteo.

En la Figura 4.3, se visualiza la instalación del distribuidor del sistema de riego, éste mediante las electroválvulas permite seleccionar el sistema de goteo o microaspersión y, mediante la tubería de purga se puede realizar un lavado de la tubería principal.

El sistema de goteo esta implementado de acuerdo al diseño del ítem 3.1.2 literal “a” del capítulo anterior; como se indica en la figura antes mencionada, el caudal y las medidas de las tuberías de PVC que llegan hasta los múltiples, se detalla en la Tabla 3.2.



Figura 4.3 Instalación física del distribuidor.

Siguiendo con el sistema de goteo, éste tiene dos múltiples en forma de T. En la Figura 4.4 se indica la instalación de uno de éstos, el cual esta formado por: dos electroválvulas, dos reguladores de presión, mangueras para las cintas de goteo y las tuberías de PVC.

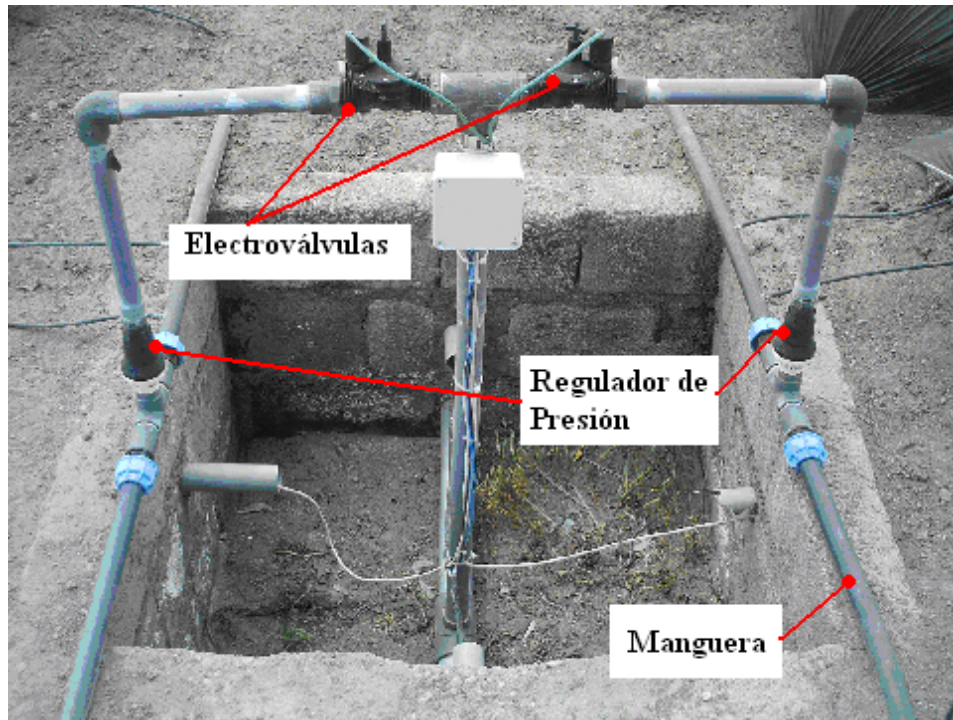


Figura 4.4 Ubicación de las tuberías y accesorios del múltiple.

Por último en la Figura 4.5, se visualiza la instalación de las cintas de goteo mediante mangueras de ¼ plg.

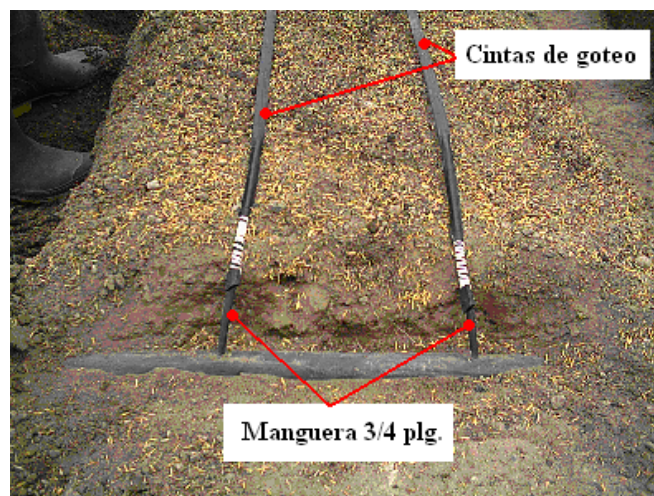


Figura 4.5 Instalación de las cintas de goteo.

Sistema de microaspersión.

El sistema de microaspersión es un circuito cerrado y de acuerdo al diseño del ítem antes mencionado literal “b”, las mangueras van ubicadas sobre el caballete (pasando uno) para ahí ser instalado los microaspersores. En la Figura 4.6 se indica la instalación de las mangueras.



Figura 4.6 Instalación de las mangueras en los caballetes.

En la Figura 4.7 se visualiza la ubicación de los microaspersores Agritec color verde.

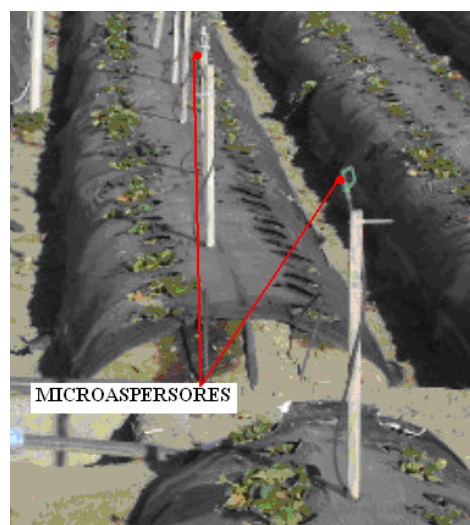


Figura 4.7 Instalación de los microaspersores.

4.3 Implementación del sistema de bombeo.

En la Figura 4.8 se muestra la instalación física de la bomba, manómetros, tubería, filtro, entre otros accesorios del sistema de bombeo o cabezal de riego, la medida de la tubería del cabezal de riego se indica en la Tabla 3.4, del capítulo anterior.

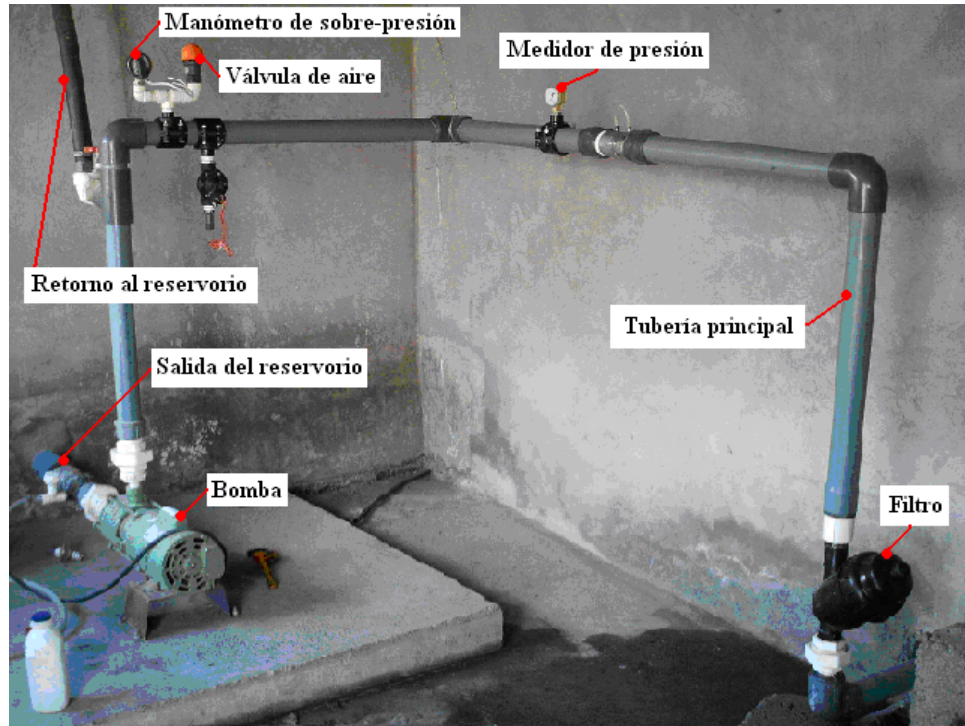


Figura 4.8 Instalación del sistema de riego.

En la siguiente Figura se visualiza la ubicación de los elementos de fuerza de la bomba en el tablero de control.

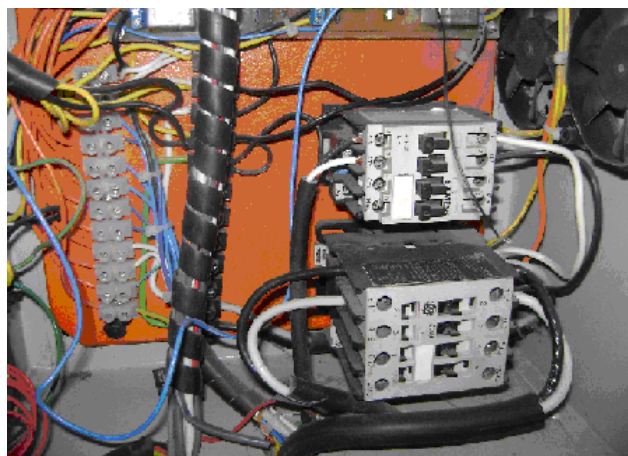


Figura 4.9 Elementos de fuerza de la bomba.

4.4 Implementación del sistema de fertilización.

La fertilización consta de tres etapas como:

4.4.1 Tanque mezclador/inyector.

De acuerdo al diseño y características técnicas que se describen en el ítem 3.4.1, se realiza la instalación de los elementos del tanque mezclador tal como se muestran en la Figura 4.10.



Figura 4.10 Disposición física de los accesorios del tanque mezclador.

El tanque mezclador tiene un sensor de nivel de líquido MPX10DP, de menor rango que del reservorio. En la siguiente Figura se visualiza la ubicación física de este sensor.

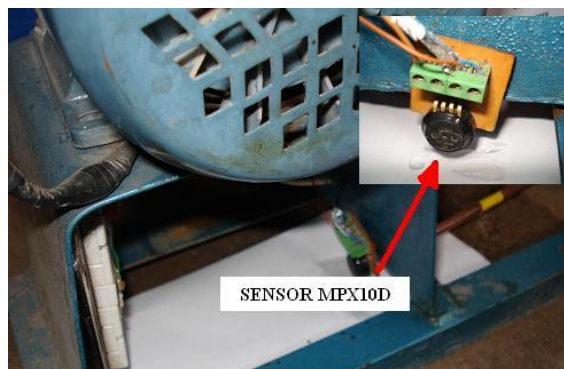


Figura 4.11 Ubicación del sensor de nivel del tanque mezclador.

La etapa inyección va acoplado al tanque mezclador, los dispositivos principales que forman parte de éste son: servoválvula y el caudalímetro. El diseño y características técnicas de éstos, se indican en el ítem antes mencionado.

En la Figura 4.12 se muestra la instalación de la servoválvula, caudalímetro y los accesorios.

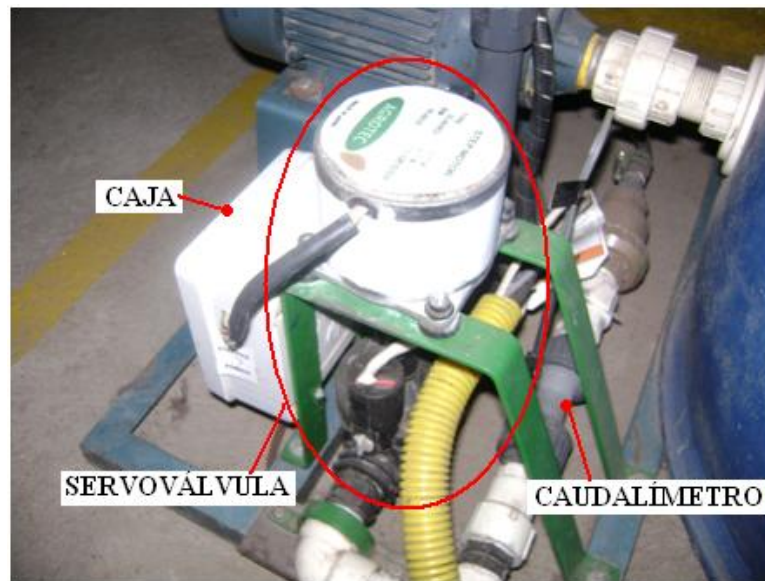


Figura 4.12 Instalación del sistema de inyección.

Dentro de la caja está el circuito controlador que se ha denominado **SERVL298 12-06** de la servoválvula, que está ubicado a un costado de la misma, en la siguiente Figura se visualiza el circuito controlador.



Figura 4.13 Ubicación del circuito controlador SERVL298 12-06.

4.4.2 Dosificador.

El dosificador esta construido en una estructura metálica de acuerdo al diseño, selección y medidas indicadas en el ítem “3.4.2 Diseño del dosificador”. En la Figura 4.14 se muestra la ubicación física de los dispensadores de sólidos y líquidos, así como su banda transportadora.

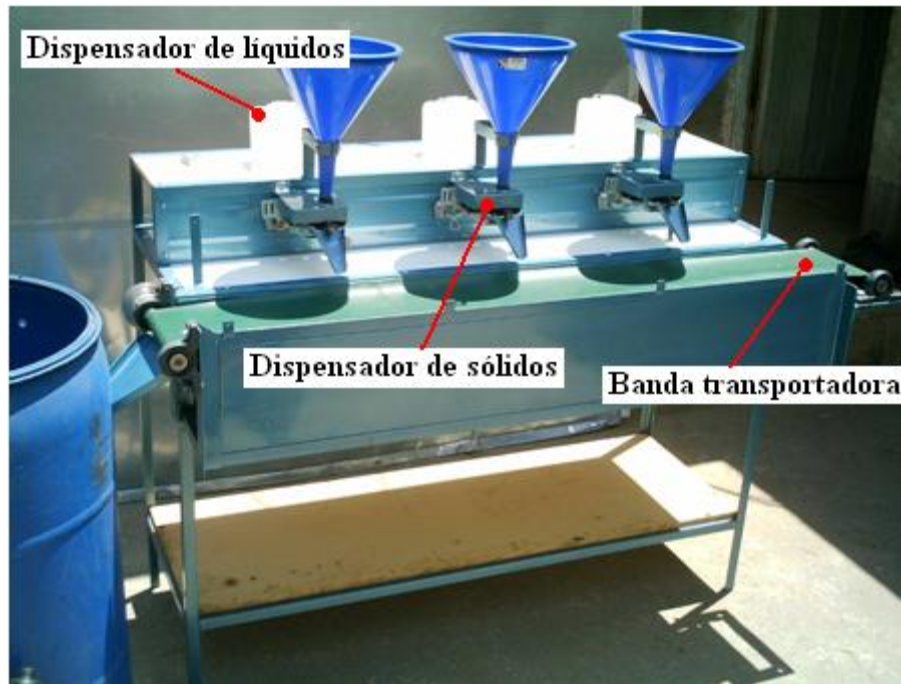


Figura 4.14 Ubicación física de los elementos del dosificador.

En la Figura 4.15 se muestra el circuito controlador denominado **L298N 12-06** de uno de los dispensadores de sólidos del dosificador.

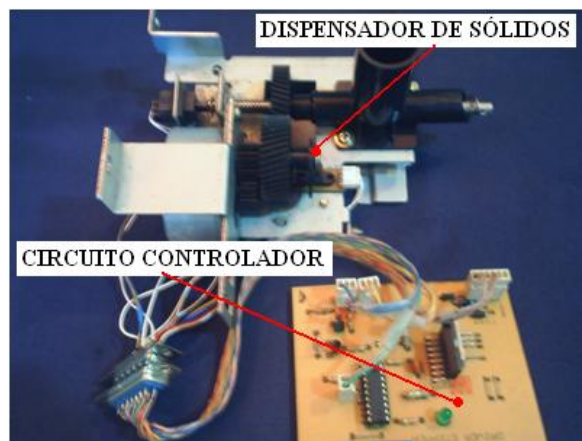


Figura 4.15 Dispensador de sólidos y su circuito controlador L298N 12-06.

Continuando con los dispensadores, en la siguiente Figura se visualiza la disposición física del circuito controlador denominado **DL 02-07** de las mini-bombas del dispensador de líquidos, ubicado en el chasis del dosificador.

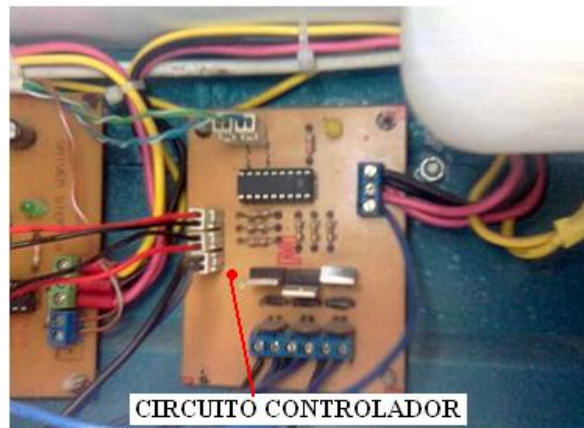


Figura 4.16 Circuito controlador DL 02-07 de las mini-bombas.

La banda transportadora tiene un moto-reductor que se encuentra anclado al bastidor para su movimiento. En la Figura 4.17 se indica la disposición física del moto-reductor.

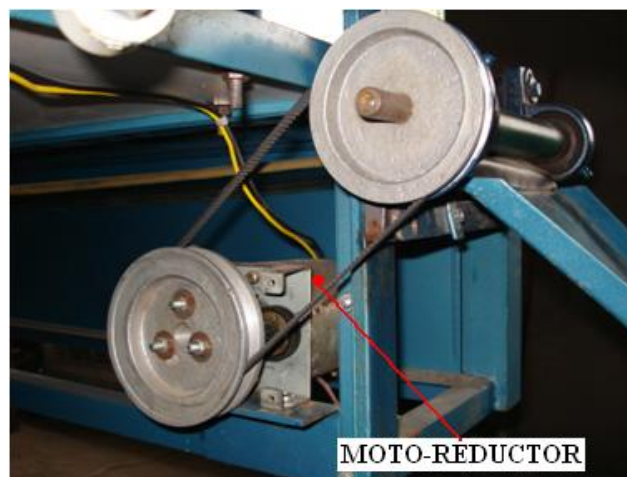


Figura 4.17 Moto-reductor de la banda transportadora.

4.5 Implementación del sistema eléctrico de fuerza y control.

El circuito de fuerza y control se encuentra concentrado en el tablero principal, que está ubicado a un costado de la parte inferior del chasis del dosificador (Figura 4.18). En su parte frontal (tapa) se encuentran los selectores de activación manual de la energía

eléctrica, circuito de control, bomba principal, bomba de mezcla/inyección, y las luces pilotos de estado de operación de las mismas.



Figura 4.18 Parte frontal del tablero principal.

En la parte interior del tablero (Figura 4.19) se distribuyen equitativamente las fuentes de poder, tarjeta de réles (**Mod Réles 14-07**), bloque de conexiones de la tarjeta **6221 NI**, contactores (**CL03A310M**, **3TF3010-0A**), transformador 110/24 Vac, borneras y sus respectivos conductores que son parte de la circuitería.

Todos los elementos que forman parte del tablero, están diseñados y seleccionados de acuerdo al ítem 3.5.

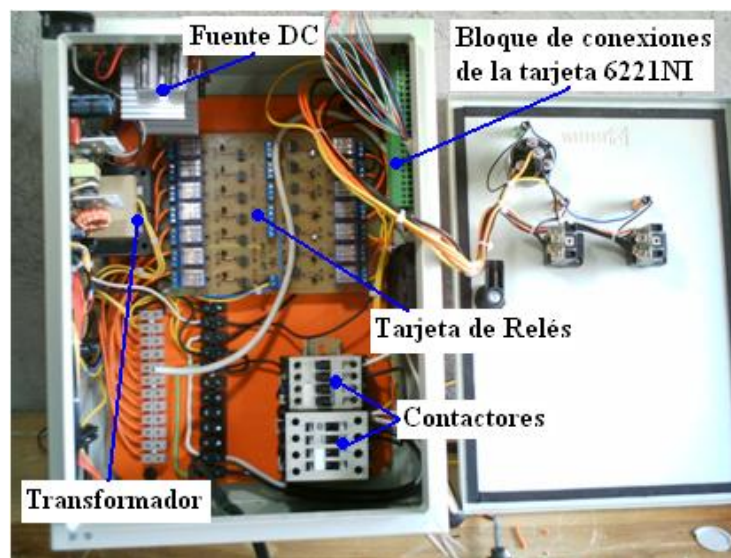


Figura 4.19 Ubicación física de los elementos del tablero principal.

4.6 Implementación del acondicionamiento de señales y adquisición de datos de variables físicas del terreno.

Las señales de los transductores están acondicionadas de acuerdo al ítem “3.7.1 Diseño de acondicionamiento de señales”. En la Figura 4.20 se indica la tarjeta diseñada e implementada para el acondicionamiento de señales de los sensores **WATERMARK** y **LM35DZ**. Esta tarjeta va incorporada al módulo de adquisición de variables físicas.

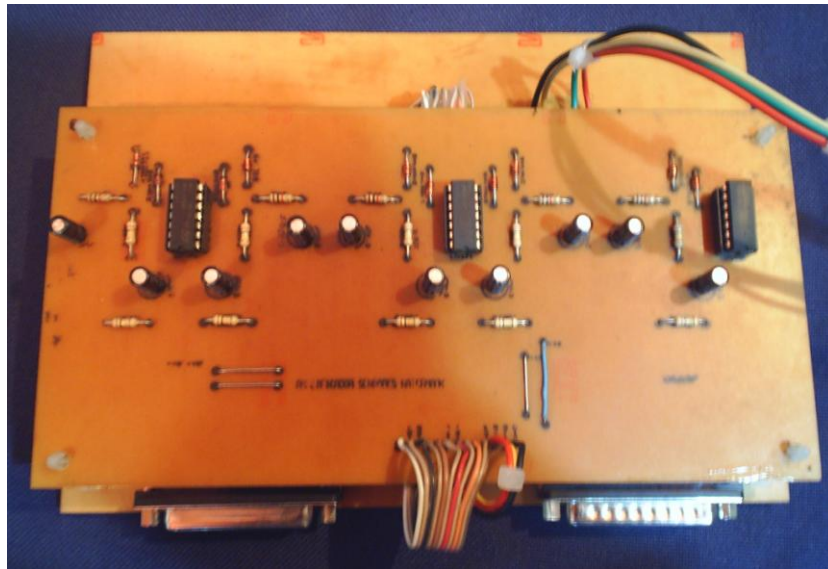


Figura 4.20 Tarjeta de acondicionamiento de señales de los sensores **WATERMARK** Y **LM35DZ**.

Para los transductores de nivel **MPX10DP** y la **Míni-Turbina SIGNET**, su acondicionamiento viene detallado de fábrica. En los ítems 3.7.1.3 y 3.7.1.4, se indican estos acondicionamientos de señales.

La adquisición de datos del terreno se realiza a través del módulo **ADQ** de variables físicas como; temperatura ambiental, humedad relativa, temperatura de suelo y humedad de suelo.

En la Figura 4.21 se visualiza la ubicación física de los circuitos controladores y la tarjeta de adquisición de datos denominado **ADQ/Tx PIC16F877A** en el chasis del módulo.



Figura 4.21 Módulo de variables físicas.

En la siguiente Figura se indica la instalación de los sensores de humedad de suelo (**WATERMARK**) y el sensor de temperatura de suelo (**LM35DZ**) en el caballete de la plantación de frutilla.

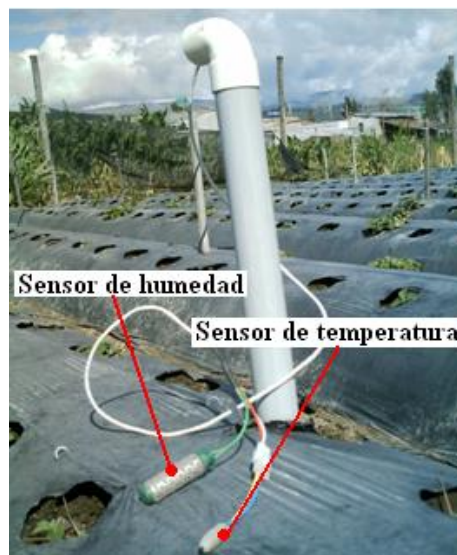


Figura 4.22 Ubicación física del sensor WATERMARK Y LM35DZ.

Los módulos inalámbricos del sensor de temperatura y humedad relativa van dispuestos; el receptor, en el módulo de variables físicas, y el transmisor va ubicado dentro de una caja, como se muestra en la Figura 4.23.

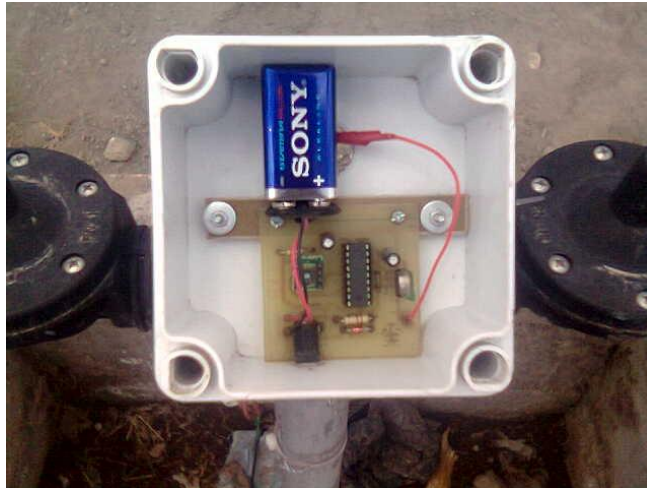


Figura 4.23 Ubicación física del módulo de transmisión del SHT11.

4.7 Implementación del software de supervisión y control.

La ejecución y presentación de este software que controla el proceso, se realizó en la plataforma de “LABVIEW 7.0 Express”, a continuación se detalla cada una de las pantallas del software.

1. **Pantalla de inicio.** Al ejecutar el programa, ésta inicia con una pantalla de presentación inicial. La misma que se indica en la Figura 4.24.



Figura 4.24 Pantalla de presentación del software de supervisión y control.

2. **Ingreso de clave.** Al hacer clic sobre la llave, de la Figura anterior (pantalla de inicio), se despliega un cuadro de dialogo (ver Figura 4.25) donde se ingresará la clave, y en la parte inferior tiene tres opciones: **ACEPTAR**, si es correcta la clave habilitará el botón de **MENÚ PRINCIPAL** ó si es incorrecta volverá a pedir la clave; **CAMBIAR**, abrirá otro cuadro de dialogo donde permitirá cambiar la clave; **CANCELAR**, cerrará dicho cuadro de dialogo.



Figura 4.25 Cuadro de dialogo para ingresar la clave.

3. **Menú principal.** Una vez habilitado el botón **MENÚ PRINCIPAL**, se hace clic sobre éste, y aparece una pantalla que se ilustra en la Figura 4.26. Aquí se tienen menús que permitirán al usuario ingresar a los VIs de operación del sistema **SARF**, como: **SETEO**, **PROCESO** (activa sistema de riego, mezcla e inyección), **BASE DE DATOS** y **Verificación de Actuadores**; además información sobre procedimientos de operación del programa (**AYUDA**) o para salir del mismo (**VOLVER**).

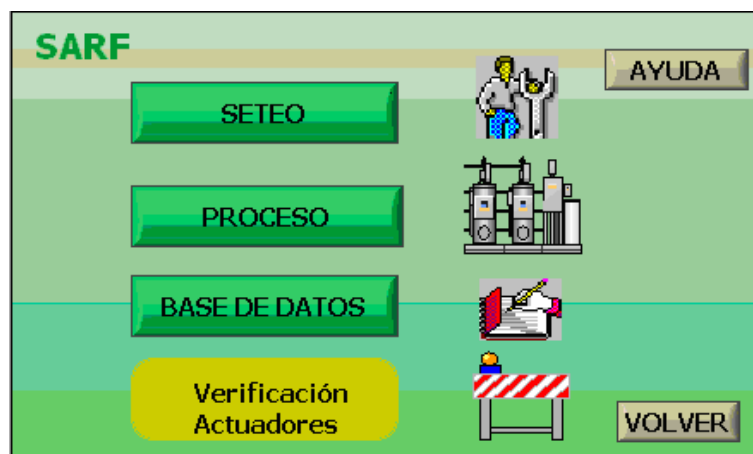


Figura 4.26 Pantalla de menú principal.

4. **SETEO.** En la Figura 4.27 se muestra la pantalla de menús, para los diferentes tipos de seteo como: **PROGRAMA DE RIEGO**, este es un submenú que presentará una

pantalla donde se seteará el horario de riego y fertilización durante el periodo de cultivo. **INSUMOS**, este VI presenta todos los insumos disponibles para la fertilización, con sus respectivas propiedades que requiere el sistema para la dosificación, además permite cambiar, eliminar o agregar otros insumos agrícolas. **DATOS DE CULTIVO**, en esta pantalla se presenta la hoja de vida del cultivo, y también se puede seleccionar otros tipos de cultivo. **FERTILIZACIÓN**, (en el apartado de abajo se detalla este submenú) y la opción **SALIR**, esta permite cerrar esta pantalla, retornando al menú principal (**SARF**). En cada uno de estos VIs se pueden cambiar valores de acuerdo a la necesidad del proceso.



Figura 4.27 Pantalla del seteo.

En la Figura 4.28 se muestra una de las pantallas del submenú de seteo, esta pantalla corresponde a la **FERTILIZACIÓN** (líquidos y sólidos), en ésta se indica el nombre y la cantidad de insumo que se aplicará al cultivo (parte superior). En la parte inferior se seteará los insumos líquidos y sólidos para cargar a los dosificadores. Este seteo de insumos es independiente para cada zona del área de cultivo, en la parte superior derecha se seleccionará la zona a tratar.

En la pestaña **TANQUE MERZCLADOR** presenta una pantalla donde se seteará el volumen de mezcla y tiempo de mezcla.

INYECTOR, en esta pestaña se desplegará una pantalla donde se debe setear el caudal de inyección, para la fertilización del cultivo.



Figura 4.28 Pantalla de dosificadores de líquidos y sólidos.

Además, al escoger un insumo fertilizante en la parte derecha se tiene el botón **Información del producto**. Al hacer clic sobre el mismo se desplegará un cuadro de dialogo, donde se proporcionará las características y dosis recomendadas por el fabricante del insumo fertilizante seleccionado (Figura 4.29).

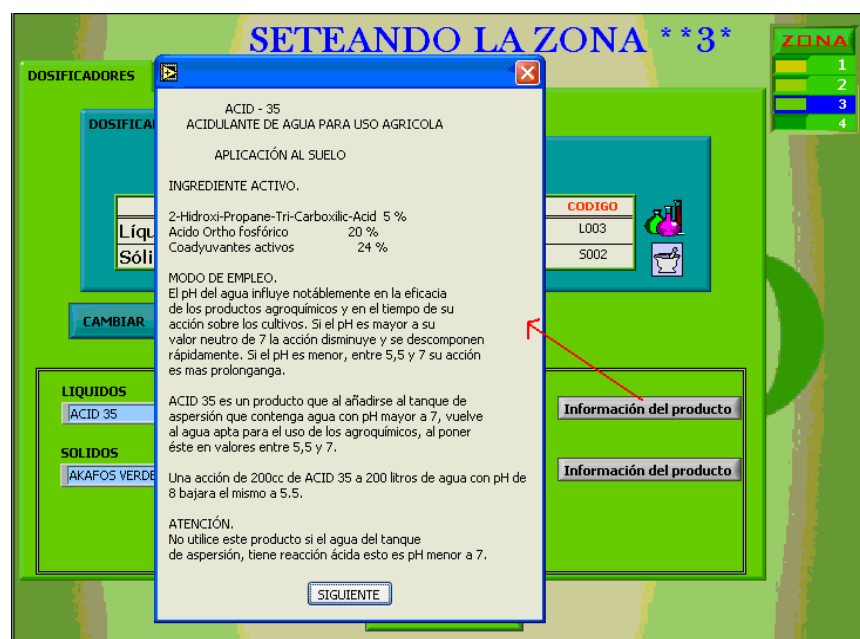


Figura 4.29 Pantalla del cuadro de dialogo.

5. **PROCESO.** Esta etapa tiene varios programas que recopilan información y se entrelazan entre si, realizando diferentes funciones secuenciales, que hace que tengan un control y monitoreo del proceso en tiempo real. Además esta etapa tiene un submenú con opciones que permitirán poner al proceso en modo **MANUAL** o **AUTOMÁTICO**, ingresar al submenú **REPORTES**, control de **HELADA**, obtener **AYUDA** (se detallan pasos para la operación manual o automática) y **RETORNAR** al menú principal. En modo **MANUAL** el usuario podrá controlar a conveniencia el proceso, pero en **AUTOMÁTICO** dependerá del seteo que se ha dado al proceso. En la Figura 4.30 se visualiza la pantalla del proceso.

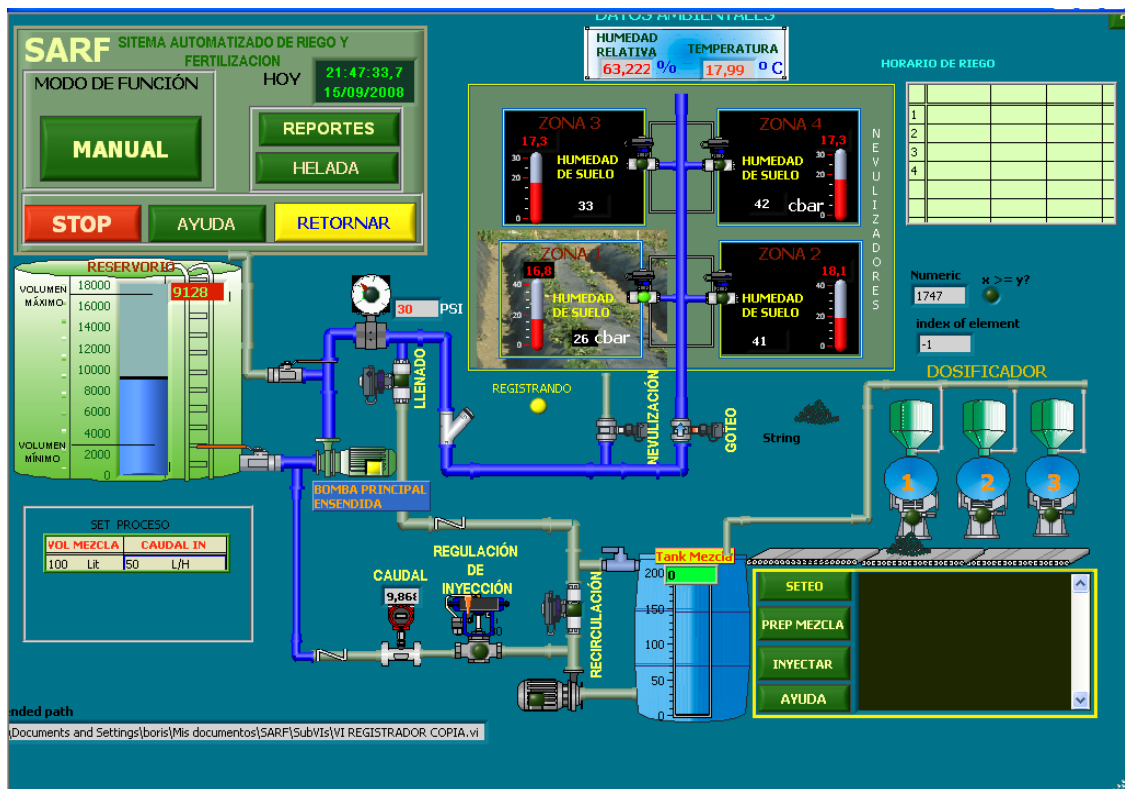


Figura 4.30 Pantalla del proceso (sistema de riego virtual).

La pantalla del proceso tiene un submenú muy importante del sistema de riego virtual, que es la pantalla de **REPORTES**, en ésta se presentarán las variables físicas como: temperatura y humedad de suelo; humedad relativa y temperatura ambiental. Además tiene histogramas de cada una de las variables, que permite dar a conocer al agricultor

los cambios de variables que ha ocurrido durante el día. En la Figura 4.31 se indica la pantalla de reportes.

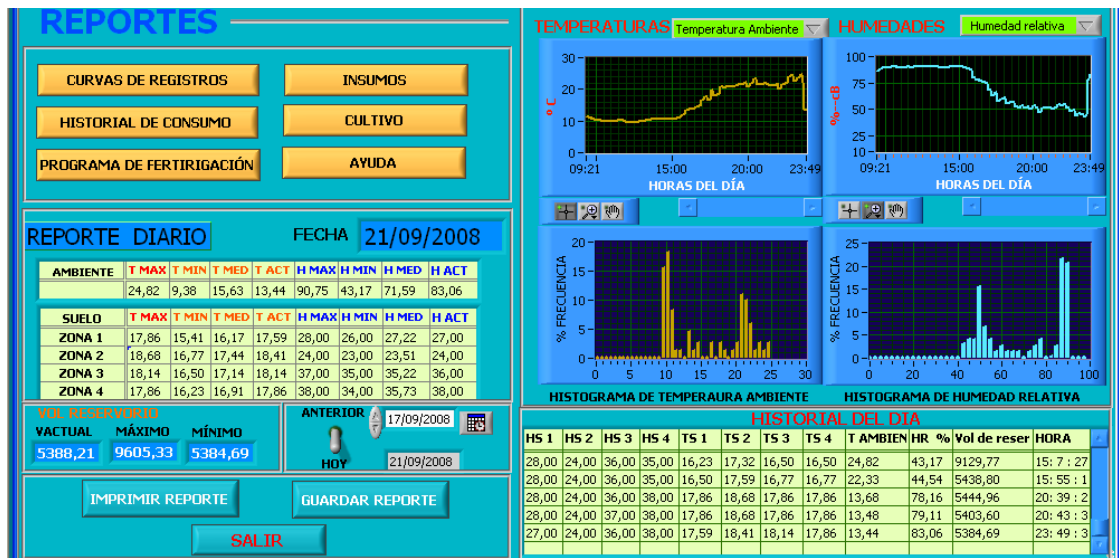


Figura 4.31 Pantalla de reportes.

Y el control de **HELADA**, es un submenú que se activará automáticamente cuando se tenga bajones de temperatura, en esta pantalla se indicará la hora, fecha y el tipo de helada que se produjo en ese día.

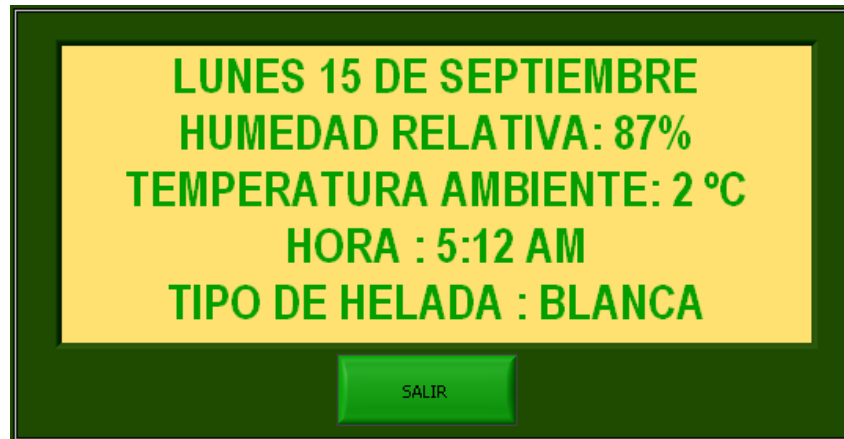


Figura 4.32 Pantalla de heladas.

También los botones de la parte izquierda de la pantalla **REPORTES**, se desplegará pantallas de:

CURVAS DE REGISTRO. En esta pantalla se presentará los gráficos en tiempo real de las curvas del módulo registrador de variables físicas, tales como: temperatura ambiental, temperatura de suelo, humedad relativa y humedad de suelo.

HISTORIAL DE CONSUMO. En esta pantalla se mostrará el repote de consumo de agua y fertilizantes, durante el periodo de cultivo.

PROGRAMA DE FERTIRRIGACIÓN. Aquí se indicará el cronograma de riegos con y sin fertilización, durante el periodo de cultivo.

INSUMOS. Dentro de esta pantalla se presentará los nombres de los insumos que se está utilizando actualmente en la plantación (por zonas).

CULTIVO. En esta pantalla se presentará un cuadro de dialogo, describiendo la evolución del cultivo.

AYUDA. Aquí se desplegará un cuadro de dialogo donde se detallaran los pasos de cómo funciona el VI de **REPORTES**.

REPORTE DIARIO. Aquí se presentará una tabla con los valores de temperaturas y humedades, tanto de suelo como del ambiente.

Además, tiene la opción de: **IMPRIMIR REPORTE DIARIO** (imprime el reporte diario del cultivo); **GUARDAR REPORTE DIARIO** (guarda en un archivo el reporte del día) y **SALIR** (cierra este VI).

- 6. BASE DE DATOS.** En este VI se puede crear hojas técnicas de los cultivos, éstas se guardarán en archivos (texto o de excel), y cuando se requiera visualizar las características del cultivo que está implementado, únicamente se abrirá el archivo desde esta pantalla. Estos archivos pueden ser modificados, borrados o copiados. Además es una herramienta restringida, pues solo la persona encargada del mantenimiento del cultivo podrá ingresar a este VI, ya que tiene una clave para su ingreso.

En la siguiente Figura se muestra la pantalla de la base de datos.

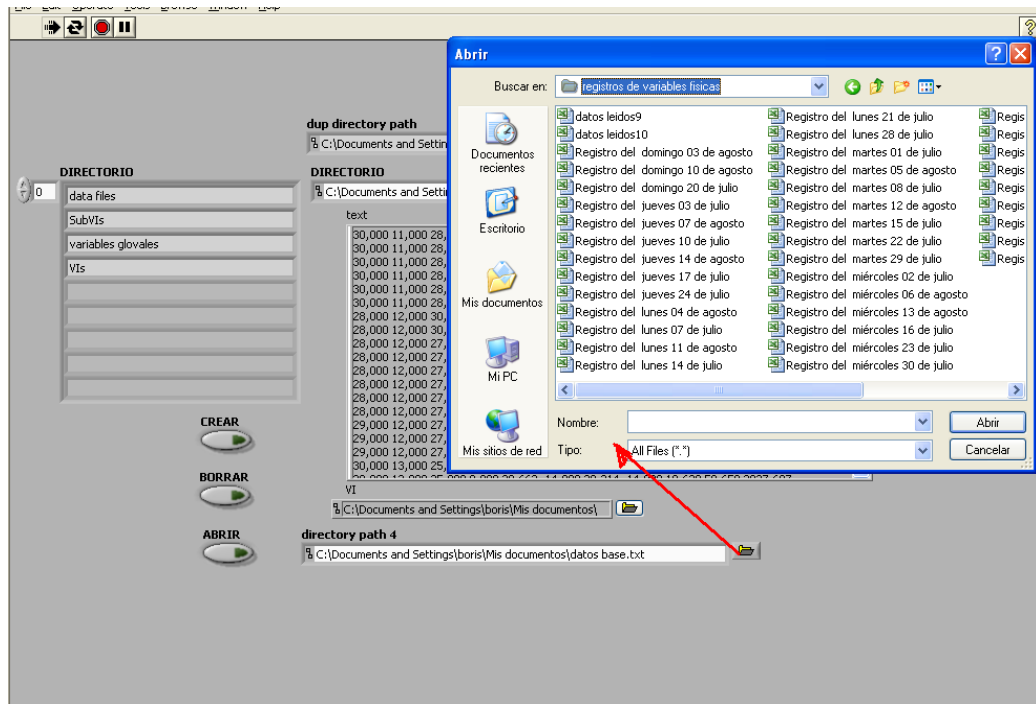


Figura 4.33 Pantalla de la Base de Datos.

- 7. Verificación de Actuadores.** Esta pantalla permite al usuario activar en forma remota a través del software de control y monitoreo cada uno de los dispositivos, verificando su funcionamiento; no solo en el proceso, sino también en la tarjeta DAQ. Este VI es ideal para realizar mantenimiento y pruebas en el proceso (Figura 4.34).

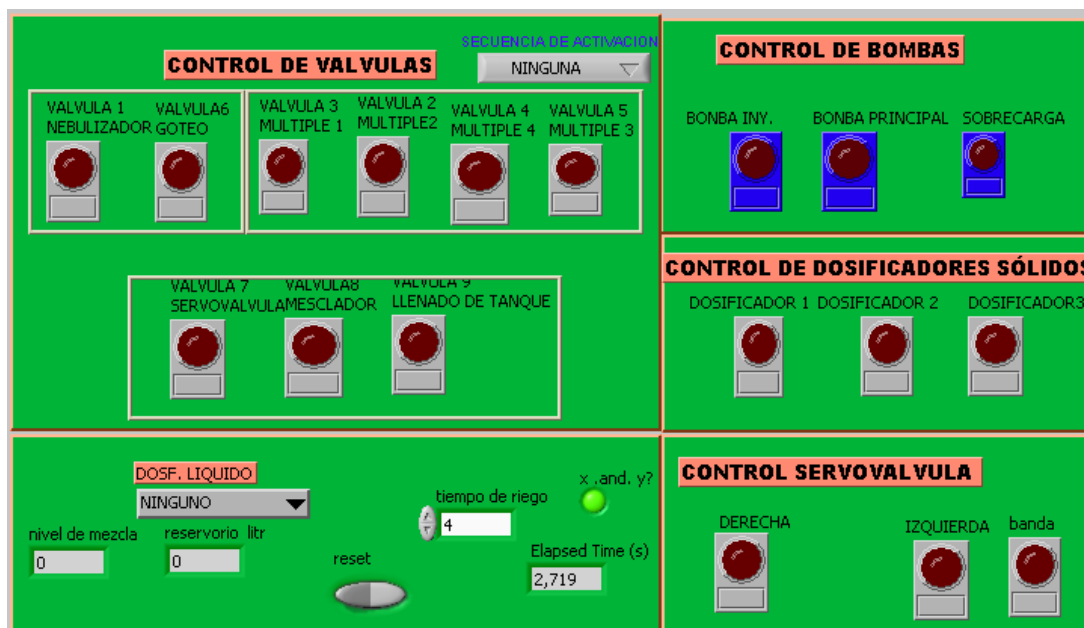


Figura 4.34 Pantalla de Verificación de Actuadores.

4.8 Regulación y puesta a punto.

4.8.1 Calibración.

Humedad de suelo. En el apartado 3.7.1.1, se diseñó el circuito de acondicionamiento de señal para sensar la variable física de humedad de suelo y transformarla a señal normalizada de 0 a 5 Vdc, para una resistencia de entrada de 500 ohms (0 cB) y 17450 ohms (115 cB), siendo ésta la resistencia máxima que puede ingresar a la entrada del módulo de variables físicas.

En la Figura 4.35 se muestra la lectura de la humedad de suelo en centibares (cB), utilizando el sensor WATERMARK, e instalado en la misma área como instrumento patrón el tensiómetro modelo “R” de la marca IRROMETER.

Por lo tanto el sensor WATERMARK y el tensiómetro analógico, indican la misma medida de humedad de suelo 26 cB; por lo que el sensor WATERMARK esta calibrado excelentemente para trabajar como un tensiómetro normal, midiendo la humedad de suelo.

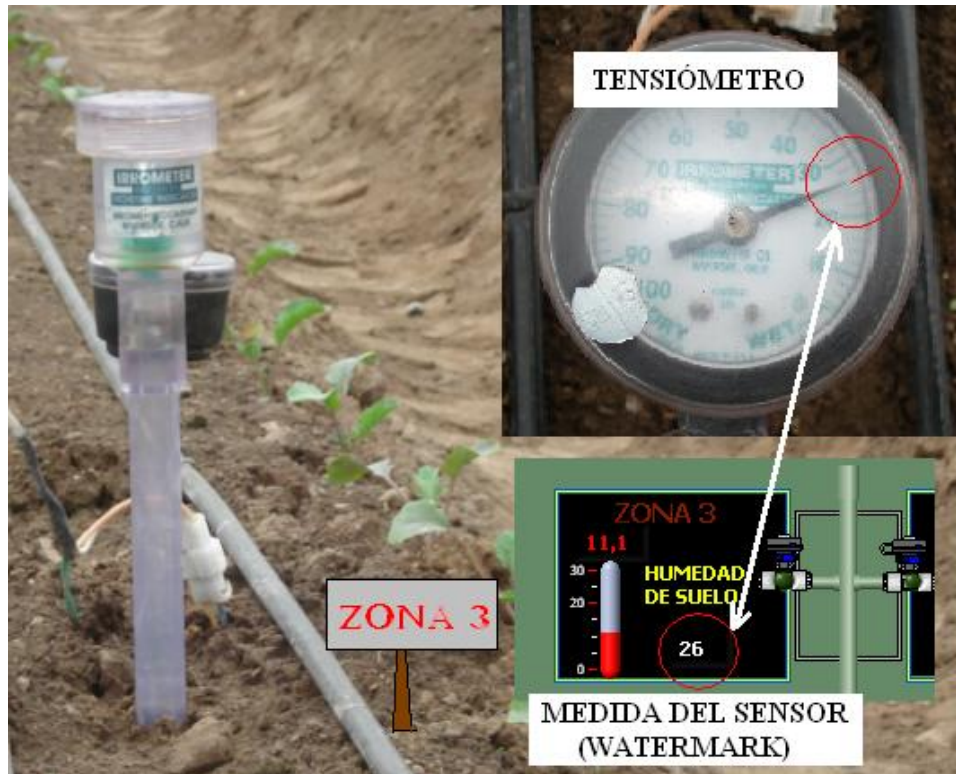


Figura 4.35 Calibración de la humedad de suelo.

El PIC16F877A tiene un conversor A/D, el cual se configuró para trabajar a 10 bits, que equivalen a un rango decimal de 0 a 1024, por lo tanto la resolución a la que se mide el voltaje es de 0.25 V/bit.

Se obtiene el voltaje de salida, multiplicando el dato decimal que proporciona el conversor del PIC, por la resolución del conversor.

Temperatura de suelo. En el ítem 3.7.1.2, está diseñado el acondicionamiento de señal del sensor de temperatura LM35. En donde se convierte la temperatura a señal de voltaje de entrada, para luego transformarla a señal normalizada de 0 a 5 V (para un voltaje de 50 mV (-5 °C) a 600 mV (50 °C)), siendo éste el máximo voltaje configurado a la entrada del módulo de variables físicas donde se tiene una excelente linealidad del sensor LM35.

En la siguiente Figura se indica la lectura de la temperatura del suelo; usando el sensor LM35, y la medida de la misma con el instrumento patrón (termómetro tipo bolígrafo). El valor de temperatura registrado por los dos instrumentos tiene una diferencia en décimas, esto se debe a que no se puede apreciar una lectura con decimales en el termómetro patrón y el sensor LM35 tiene un rango de error de +/- 0,1/4°C. Y esta diferencia se encuentra

dentro del rango de error; por lo tanto, este sensor está calibrado para medir la temperatura en el suelo eficientemente.

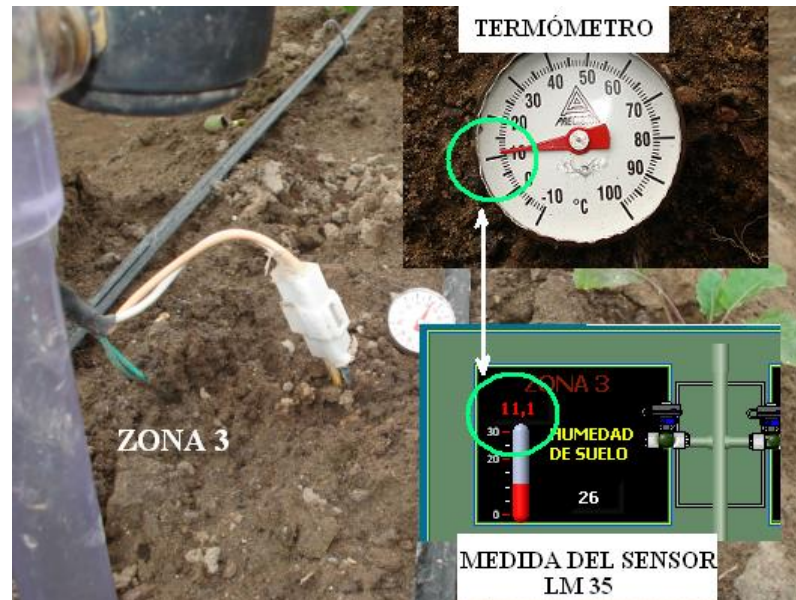


Figura 4.36 Calibración de la temperatura de suelo.

De igual forma este sensor utiliza el convertor A/D del PIC 16F877A, para convertir la señal análoga del LM35 a una señal digital y así poder visualizar el valor de temperatura de suelo.

Temperatura ambiente/Humedad relativa. El sensor que mide estas variables es el SHT11 de la marca SENSIRION, la calibración de este sensor viene de fábrica (Anexo A18), lo único que se debe hacer es seleccionar la resolución a la cual va a medir el sensor.

De igual forma que los otros sensores éste se encuentran en el módulo de variables físicas y la lectura del SHT11 se presenta en un LCD, como se indica en la Figura 4.37.



Figura 4.37 Medida de la humedad relativa y temperatura ambiente.

Nivel. El nivel de líquido del reservorio como del tanque mezclador, se mide con el sensor MPX10DP. El voltaje de salida es lineal (directamente proporcional a la presión aplicada); la presión máxima es de 10 KPa para un voltaje de salida de 35 mV, éste ingresa directamente a las entradas análogas de la tarjeta DAQ 6221 de NI, y mediante un programa realizado en LABVIEW, indica la medida de nivel en metros del líquido en el reservorio.

Este programa transforma la presión a columna de agua expresada en metros, de esta manera se puede calcular el volumen del líquido. En la siguiente Figura se visualiza la lectura de nivel del tanque mezclador, en la pantalla y en el instrumento patrón (flexómetro). El mismo procedimiento se realiza para calibrar el nivel de líquido del reservorio.

Para esta calibración se realizó varias pruebas, llegando a tener un error de +/- 0,5%, que es un error aceptable. Con esto el sensor de nivel MPX10DP, está calibrado para que proporcione la medida correcta del nivel de líquido del tanque reservorio.

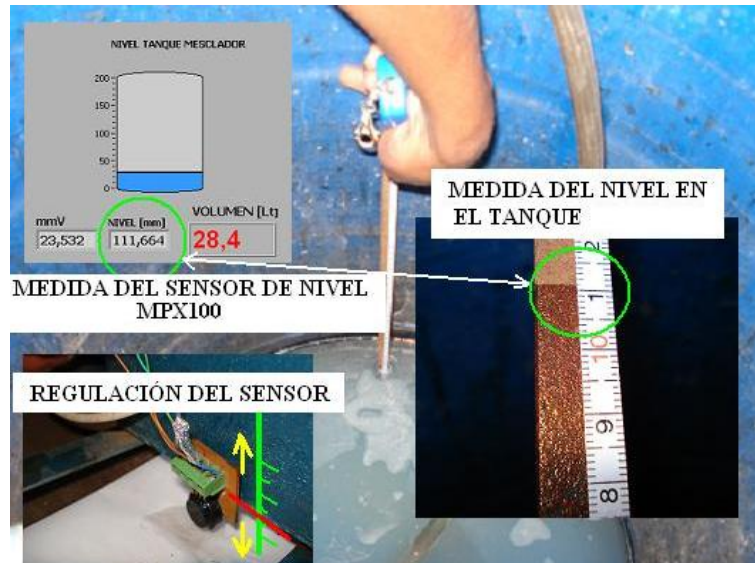


Figura 4.38 Calibración del nivel de líquido.

Dispensador sólidos. La calibración de este equipo es muy sencilla, pues simplemente se cuenta el número de vueltas que da el tornillo sin-fin, a través de un encoder y se mide la masa del insumo fertilizante en una balanza. De esta manera se determina los gramos por vuelta que se tiene. En la Figura 4.39 se muestra la cantidad de fertilizante sobre la balanza (instrumento patrón) y la medida que de la misma en la pantalla.

Para este proceso de igual forma se realizó varias pruebas del dispensador de sólidos con la balanza electrónica y como resultado se obtuvo, un error de +/- 0,3%, que es un error aceptable. Por lo tanto el dispensador de sólidos esta calibrado para proporcionar la medida exacta del insumo fertilizante en gramos.

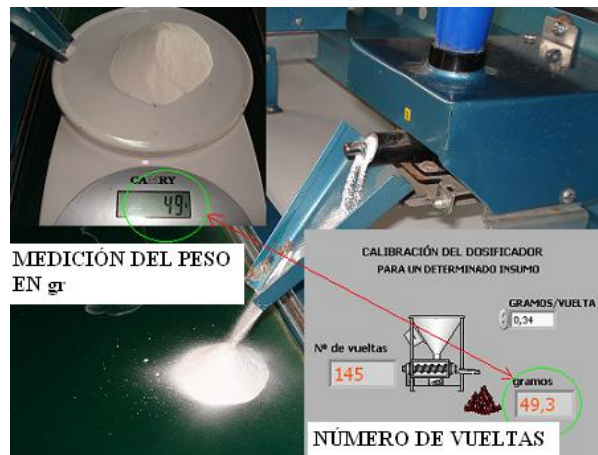


Figura 4.39 Calibración del dispensador de sólidos.

Dispensador de líquidos. Las mini-bombas que tiene este equipo son de caudal constante, por lo que la calibración se realiza en función del tiempo. Para esto se toma muestras en un recipiente con medida y se determina el tiempo que tarda en llenar dicho recipiente, de esta forma se calibra el caudal del dispensador de líquidos. En la siguiente Figura se muestra la medida en el recipiente (instrumento patrón), y en la pantalla del programa.

En varias pruebas realizadas el volumen de líquido medido fue el mismo, pero teniendo un error despreciable; por lo que se puede concluir, que la medida registrada por el programa está calibrada correctamente.

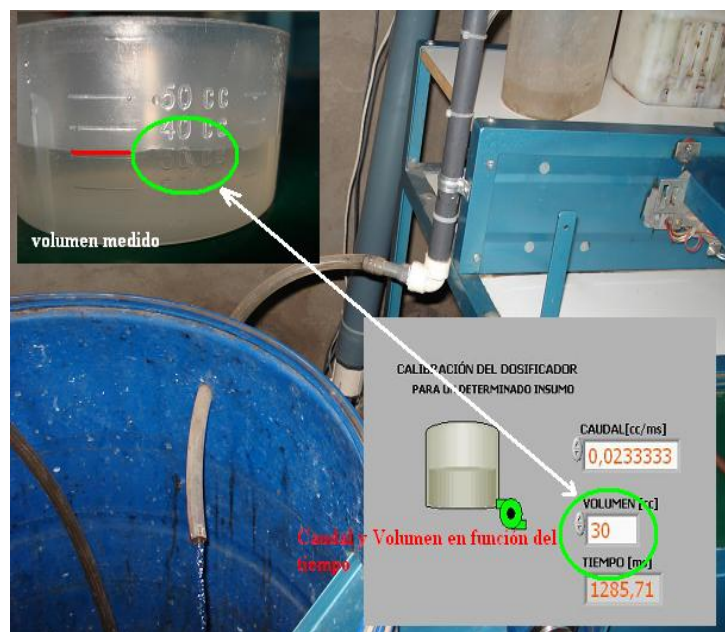


Figura 4.40 Calibración del dispensador de líquidos.

4.8.2 Pruebas y Resultados.

En cada una de las etapas del proceso se realizaron pruebas, las cuales permiten comprobar la funcionalidad y la eficiencia del sistema.

Sistema de riego.

a. Sistema de goteo. Se realizó mediciones de tiempo mediante el aforo³⁰, de acuerdo a un volumen especificado. Se tomó muestras en diferentes goteros o emisores de las cintas que se encuentran ubicados sobre los caballetes del área de cultivo, estas pruebas se realizaron

³⁰ Aforo: Es medir el volumen de agua que sale de un gotero en un determinado tiempo, con un recipiente graduado.

a su máxima capacidad, es decir las 4 zonas habilitadas. Con los registros de volumen del reservorio, se determinó el caudal total que entrega el sistema de riego al cultivo.

En la siguiente Tabla se indican los resultados obtenidos en estas pruebas.

Muestra n°	Volumen de aforo (cc).	Tiempo Min.	Caudal del emisor		Volumen total consumido (lt).
			lt/h	lt/min	
1	50	6,98	0,4297994	0,0071633	749
2	50	6,12	0,4901961	0,0081699	753
3	50	6,75	0,4444444	0,0074074	747
4	50	6,22	0,4823151	0,0080386	747
5	50	6,6	0,4545455	0,0075758	749
Promedio		6,534	0,4602601	0,007671	749
Caudal total en el sistema			Medido	114,63116	lt/min
				6,8778696	m³/h
			Diseñado	128,83333	lit/min
				7,73	m³/h

Tabla 4.1 Resultados obtenidos en las pruebas del sistema de goteo.

Con estas mediciones se determinó que el caudal entregado por las cintas de goteo si cumple con el caudal diseñado, aunque existe un mínimo error, pero éste no afecta en la medida de humedad de suelo.

b. Sistema de microaspersión. El caudal de este sistema se comprobó realizando mediciones del volumen consumido en un determinado tiempo, en este caso se realizó para 5 minutos, repitiendo varias veces la prueba. Y con los registros de volumen del reservorio se pudo determinar el caudal consumido por los microaspersores, el mismo que será comparado con lo establecido en el diseño.

En la Tabla 4.2 se muestran los resultados de estas mediciones en el sistema de microaspersión.

Muestra n°	Volumen total consumido lt	Caudal	Tiempo
		lt/h	min
1	815	981,9277108	5
2	823	991,5662651	5

3	816		983,1325301	5
4	819		986,746988	5
5	820		987,9518072	5
Promedio	818,6		986,2650602	
Caudal total en el sistema		Medido	197,2	lit/min
			9,862	m ³ /h
		Diseñado	156,6666667	lit/min
			9,4	m ³ /h

Tabla 4.2 Resultados obtenidos en las pruebas del sistema de microaspersión.

Con las 5 pruebas realizadas al sistema de microaspersión se analizó que el caudal medido con el caudal diseñado tiene una mínima diferencia, esta diferencia de caudal es despreciable, pues el área que tiene que cubrir la nube de agua es muy grande por lo que se obvia el exceso de caudal.

Fertilización.

a. Dosificación. Para esta etapa se realizó diferentes pruebas con varios insumos fertilizantes tanto sólidos como líquidos. Para los insumos sólidos se utilizaron fertilizantes con diferentes calibres de granulación (espesor en mm) y soltura (facilidad para dispersarse o regarse); y para los insumos líquidos se probaron con productos de diferentes viscosidades.

En la Tabla 4.3 se tienen los resultados obtenidos, tanto de los dosificadores líquidos como de los sólidos.

Sólidos		
Nombre del insumo	Calibre	Observación
Akaphos	0,095mm	Pasa sin problemas.
Nitrofoska	0,13mm	Pasa sin problemas.
Muriato de potasio	0,25mm	Pasa, pero al concentrarse en el cuello del dispensador se compacta.
Borax	0,0089mm	Pasa, por ser granulado fino, y tener buena soltura.
Sulfato de manganeso	0,0045mm	No pasa, el granulado muy fino, además se compacta.
Abono de fondo 10-30-10	2,56mm	Pasa con mucha dificultad, se atasca frecuentemente.
Raizal	0,12mm	Pasa sin problemas.
Líquidos		
Nombre del insumo	Similitud de viscosidad	Observación

Biol	Al agua	Si fluye normalmente.
Previcur	Al aceite	Si fluye pero con un poco de dificultad.
	SAE40	
Acido Húmico	Al aceite de cocina	Si fluye.
Furadan	Al yogurt	No fluye, muy viscoso para este tipo de bomba.

Tabla 4.3 Resultados obtenidos en las pruebas de diferentes insumos sólidos y líquidos.

Las pruebas realizadas a los dosificadores de sólidos con diferentes espesores se detallan claramente en la Tabla 4.3 sección sólidos, con esto se determinó que si es un granulado fino y no tiene soltura no se puede utilizar para este dispensador, de igual forma sucede con los insumos que superan los 2.56 mm de espesor. De la misma manera se realizaron pruebas para los dispensadores de líquidos, en este caso se utilizó productos con diferentes viscosidades, estas pruebas se detallan en la Tabla antes mencionada, determinándose que para una viscosidad superior a 40 el sistema no se presta para este tipo de viscosidades.

b. Mezcla. Estas pruebas se realizaron en el tanque mezclador, primero se probó usando un insumo sólido de granulado grueso y luego con un insumo de granulado fino, se hizo observaciones en periodos de tiempo de 1 minuto, hasta obtener la disolución total y homogénea. Otra prueba en la etapa de la fertilización es el tiempo de llenado del tanque, para esto se usaron los registros de volumen del tanque mezclador, en diferentes tiempos. Los resultados se indican en la Tabla 4.4.

Tiempo transcurrido	Porcentaje de disolución		
	Min	Granulación gruesa	Granulación fina
0		0%	0%
1		2%	50%
2		25%	100%
3		50%	100%
4		75%	100%
5		86%	100%
6		100%	100%
Tiempo de llenado	Volumen		
3 min	44,9 lt		

Tabla 4.4 Resultados obtenidos en las pruebas de tiempos de mezcla de insumos sólidos.

Las pruebas de disolución de los insumos fertilizantes realizadas en el tanque mezclador se puede apreciar en la Tabla anterior, para un granulado grueso, a los seis minutos se tiene la disolución completa y para una granulación fina, a los dos minutos también se tiene su total disolución. Por lo que es recomendable utilizar el máximo tiempo de mezcla obtenido en esta prueba.

Sistema Contra Heladas. Esta prueba se realizó usando los registros del sensor SHT11, los mismos que se compararan con los valores seteados en el programa de fertirrigación para que el sistema active el riego por microaspersión, logrando así llegar al objetivo de proteger el cultivo contra las bajas temperaturas ambientales. En la Tabla 4.5 se presentan los datos y resultados de un día con helada, tomados el 12 de Septiembre del 2008.

Fecha de registro		12/09/2008	
TEMPERATUR A		ACTIVACIÓN DE DISPOSITIVOS	
	°C	Hora	Bomba principal Electroválvula de microaspersión
Óptima del cultivo	12 a 25	12:4	
Máx. registrada	22	5	
Mín. registrada	1,9	5:12	X X
HUMEDAD RELATIVA			OBS: la información de las características, tipo de heladas y sus métodos de defensa. Son de esta dirección: www.puntoambiental.com/informes/heladas.pdf
Registrada en la hora de la helada		89%	
Mayor a 50%	Helada Blanca	X	
Menor a 50%	Helada Negra		

Tabla 4.5 Resultados de los valores de la helada.

De acuerdo a los datos obtenidos en la tabla anterior, en ese día se ha presenciado una helada blanca. El programa de fertirrigación actuó sobre esa anomalía térmica reduciendo el impacto notablemente, en relación a otras áreas de cultivo correspondientes a su entorno. Comprobando de esta manera que el sistema es eficiente para este tipo de protección.

4.9 Puesta en operación.

Para poner en operación todo el proceso de riego y fertilización, primero se realizó un seteo en el programa del sistema automatizado, con la información que muestra la Tabla 4.6. Ésta contiene datos del cultivo implementado, programa de riego y fertilización; e insumos fertilizantes.

DATOS DEL CULTIVO.	
Porcentaje de desarrollo.	52%
Humedad del suelo recomendado.	20 a 40 cB.
Temperatura ambiente optima.	10 a 25 °C.
Temperatura ambiente perjudicial (heladas).	Inferior a 5 °C.
Periodo de desarrollo del cultivo.	90 días.
Periodo de producción.	Aproximadamente 2 años.
PROGRAMA DE RIEGO.	
Cultivo.	ZONA 1
Cultivo.	ZONA 2
Cultivo.	ZONA 3
Cultivo.	ZONA 4
	FERTILIZACIÓN POR SEMANA
	Hora
	6:30
	RIEGO POR SEMANA
	Horario
	6:30
	12:30
	18:30
	INSUMOS.
Sólidos.	Dosis
HAKAPHOS 15- 10 -15 VERDE	121 gr/ZONA
Líquidos.	Dosis
ÁCIDO HUMICO.	100 cc/ZONA
Volumen de mezcla.	40 lt/ZONA
Caudal de inyección.	10 lt/min/ZONA

Tabla 4.6 Datos para el seteo del proceso.

Unas vez seteado el proceso, se puso en marcha el sistema en modo manual durante 6 horas partiendo desde las 00:00 horas, con el fin de obtener registros y generar la base de datos de las variables físicas que actúan en el proceso; seguidamente, al sistema se cambió a modo automático.

Y de acuerdo a los valores seteados, el proceso fue actuando y obteniendo información de las variables físicas del cultivo durante este día de prueba.

Resultados obtenidos.

1. Resultados de activación de actuadores

En la Tabla 4.7 se indican los dispositivos que van actuando durante el periodo de prueba.

Fecha: Sábado 13 de septiembre del 2008		hora								
		0:00	Registros							
		6:30	Llenado del tanque de mezcla							
		6:31	Dosificación							
		6:32	Dosificación							
		6:38	Mezcla							
		6:43	Inyección y riego							
		6:49	Lavado							
		6:54	Fin de riego							
		12:30	Riego							
		18:30	Riego							
Bomba Principal			*							
Bomba inyección				*	*	*	*	*		
Válvula de llenado			*					*		
Válvula de recirculación				*	*	*	*	*		
Válvula de inyección							*	*		
Válvula de goteo			*				*	*	*	*
Válvula de nebulización										
Válvula zona 1			*				*	*	*	*
Válvula zona 2			*				*	*	*	*
Válvula zona 3			*				*	*	*	*
Válvula zona 4			*				*	*	*	*
Dosificador sólido 1				*						
Dosificador sólido 2										
Dosificador sólido 3										
Dosificador Líquido 1					*					
Dosificador Líquido 2										
Dosificador Líquido 3										
Banda transportadora				*						

Tabla 4.7 Secuencia de activación de los dispositivos del sistema de riego.

Teniendo como resultado un buen control, y que además, cada uno de los dispositivos funcionó adecuadamente y en forma sincronizada. En este caso solo se activó el sistema de riego y fertilización; y no el sistema de protección contra heladas, debido a que el valor mínimo de temperatura registrado es de 7,2°C y este sistema de heladas se activa cuando registra un valor inferior a los 5 °C que es perjudicial para el cultivo.

Además, si algún dispositivo no opera por alguna falla o advertencia, el programa detiene el proceso y envía un mensaje de error o advertencia; para estos casos es recomendable usar el VI **Verificación Actuadores** para determinar la falla y realizar su respectiva corrección.

2. Resultados de los registros de variables Físicas.

Valor promedio	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Humedad de suelo [cB]	26	35	30	36
Temperatura de suelo [°C]	14,053	15,62	15,55	15,02
	Máx.	Min.	Prom.	
Humedad relativa [%]	83,90	44,93	71,60	
Temperatura ambiente[°C]	21,74	7,22	13,416	

Tabla 4.8 Datos de los registros de las variables físicas.

Como se puede apreciar en la Tabla 4.8, los valores de las variables físicas están dentro de los rangos seteados inicialmente, la humedad del suelo de las cuatro zonas tienen valores intermedios, por lo tanto el riego está controlado, manteniendo la humedad de suelo requerida por el cultivo. La humedad relativa promedio en el área de cultivo es normal, pero la diferencia entre el máximo y el mínimo es de 38.97% indicando que existe una evapotranspiración moderada.

Para poder manejar el cultivo a un nivel más exigente, se debe recopilar mucha información sobre el mismo, y de esta manera poder setear el sistema adecuadamente para que el proceso funcione acorde a las exigencias; y por ende tener un producto de calidad y competitivo en el mercado.

3. Resultados de consumo de agua y fertilizantes.

En la siguiente Tabla se presentan los valores de consumo de agua y fertilizantes totales.

Nombre	Cantidad
Agua.	3214 lt
Hakaphos.	484 gr
Acido Húmico.	400 cc

Tabla 4.9 Resultados del consumo de agua y fertilizantes.

El volumen de agua consumido durante el día de prueba es un valor que esta dentro de las necesidades de riego diario que exige el cultivo; por lo tanto, de acuerdo al artículo publicado en el diario EL COMERCIO (Anexo A27), la eficiencia del riego: con el goteo, el desperdicio del agua es del 5%, en aspersión se optimiza entre el 55 y 60%, que comparado con otros sistemas como el de inundación, las pérdidas son mínimas. En el caso que el registrador de variables físicas no esté adecuadamente calibrado; puede existir un consumo excesivo o un déficit de agua en el cultivo.

En cuanto a los fertilizantes, en la tabla anterior se puede notar que los valores de las dosis son exactos, debido a que el sistema está programado para entregar las dosis previamente seteada.

De igual forma depende mucho de la calibración del equipo y estar capacitado en la parte de fertilización del cultivo implementado; pues, de esto depende la buena producción y el ahorro de los insumos fertilizantes.

4.10 Análisis financiero.

El análisis financiero de este proyecto esta basado en una proforma realizada en el año 2007. Los elementos que forman el sistema de riego como; bomba, tuberías y accesorios, actualmente no tienen variaciones exageradas en su costo, porque se pueden encontrar fácilmente en el país. Esto no ocurre con algunos sensores y tarjetas que se tuvieron que importar de otros países.

Con estos antecedentes se procede a establecer el costo real del proyecto. En la Tabla 4.10 se detallan los costos de inversión.

N°	Nombre	Cnt	USD.
1	Reservorio.	1	250
2	Cuarto de máquinas.	1	400
3	Bomba 1HP.	1	250
4	Sistema de riego (incluido accesorios para la automatización).	1	860
5	Sensores de humedad.	1	672

6	Sensores de temperatura de suelo.	1	104
7	Sensor de humedad relativa/temperatura, inalámbrico.	1	250
8	Dosificador.	1	450
9	Tanque mezclador.	1	250
10	Inyector.	1	360
11	Tablero de control.	1	920
12	Tarjeta NI 6221 de la serie M.	1	1200
13	Módulo de adquisición de variables físicas.	1	80
14	Computador Pentium 4.	1	950
15	180 metros de cable número 18 AWG.	-	110
16	120 metros de cable UTP (4 pares).	-	60
17	Varios.	-	100
	Total	=	7266

Tabla 4.10 Detalle de costos de los equipos del sistema de riego.

El costo inicial del proyecto es muy elevado frente a un tradicional, pero al ser un proceso tecnificado donde se ahorra energía eléctrica, recurso hídrico, insumos agrícolas, mano de obra, y los equipos tienen una duración de 15 años; la inversión se recuperará en el primer año de cosecha. En la Tabla 4.11 se indica el análisis de la producción anual, en donde; la tasa interna de retorno (TIR) es el 10%, y el VAN (Valor Actual Neto) es 5821.2, siendo positivo este valor; lo quiere decir que el proyecto es viable.

Consumo promedio diario.						
Fertilizante	Agua	Energía eléctrica	Mano de obra	Transporte	Valor agregado	Total diario
\$ 2	\$ 0,5	\$ 0,66	\$ 6	\$ 2	\$ 14,6615	\$ 25,821
Gasto diario (promedio)=						\$ 180,95
Producción promedia por cosecha.						
N° Camas	N° Bloques	Kilos/cama	Total kilos	Costo por kilo	Costo Kilo al mercado	
35	2	1,8	126	\$ 0,20	\$ 1,20	
Costo de la producción (promedio) =						\$ 453,60

INVERSIÓN	\$ -7.266			453,6
mes 1	\$ 1.090,60		Ganancia semanal =	\$ 272,65
mes 2	\$ 1.090,60			
mes 3	\$ 1.090,60		Ganancia mensual =	\$1,090,6
mes 4	\$ 1.090,60			
mes 5	\$ 1.090,60			
mes 6	\$ 1.090,60			
mes 7	\$ 1.090,60			
mes 8	\$ 1.090,60			
mes 9	\$ 1.090,60			
mes 10	\$ 1.090,60			
mes 11	\$ 1.090,60			
mes 12	\$ 1.090,60			
Total anual	\$13,087,2			

Cálculo del TIR y el VAN	
TIR	10%
VAN	\$ 5.821,20

Tabla 4.11 Cálculo de la inversión del proyecto.

4.11 Manual de operación del programa de fertirrigación.

El manual de operación del programa de fertirrigación se detalla en el Anexo A28.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 CONCLUSIONES.

- El proyecto desarrollado que consiste en el **Diseño, Automatización y Supervisión de un Sistema de Riego Localizado de Alta Frecuencia, Protección Contra Heladas y Dosificación de Fertilizantes para la Inyección que Requiere el Cultivo de Fragaria (Frutilla)**, funciona eficientemente, con lo cual se dio cumplimiento a todos los objetivos planteados al inicio del proyecto.
- Se diseñó, seleccionó y construyó un sistema de riego y fertilización que permite irrigar al cultivo implementado de forma adecuada y eficiente, de acuerdo a la información obtenida de las variables físicas del terreno.
- Se llegó a optimizar y generar un adecuado registro de mediciones de las variables físicas como: humedad de suelo, temperatura de suelo, humedad relativa, volumen de agua, caudal de riego, caudal de inyección y cantidad de insumos fertilizantes con la utilización de tecnología actual como los transductores electrónicos instalados en el proyecto.
- Con la aplicación del hardware NI 6221 de la serie M, se pudo realizar una adecuada centralización de las señales discretas y análogas para la adquisición y control del proceso de fertirrigación.

- Usando la plataforma operativa de LabView 7.0 Express se consiguió desarrollar y generar un programa de aplicación para el registro de mediciones de las variables físicas en el proceso y ejercer un control en la operación del sistema. Este programa está adecuadamente diseñado para interactuar con el proceso; y también es de fácil entendimiento para el usuario.
- Se ha logrado controlar y supervisar el proceso de producción a través de la información proporcionada por los reportes y el monitoreo constante del proceso, de esta manera se ha tomando decisiones que ayudan a regular los parámetros que intervienen en el manejo del cultivo y a corregir falencias que se puedan presentar sobre el mismo.
- Mediante el sistema de riego por goteo implementado, se logró una excelente uniformidad de fertilización y humedad de suelo en la zona de raíces, de esta manera se llegó a tener un ahorro significativo del recurso hídrico y fertilizante; además, redujo el crecimiento de malezas en las pasabandas o caminos entre los caballetes.
- Con el sistema de microaspersión diseñado se consiguió cubrir toda el área de cultivo con el agua nebulizada. Este efecto pudo reducir significativamente el impacto de las heladas sobre los frutos y órganos florales, presenciadas durante el ciclo de cultivo.
- Mediante el dosificador de insumos fertilizantes, tanto sólidos como líquidos, se pudo proporcionar una óptima cantidad de los mismos, de acuerdo al programa de nutrición aplicado en el cultivo. Esto ayuda a un mejor control y sobre todo al ahorro de los nutrientes que absorben las plantas.
- En la etapa de mezcla se determinó que con la turbulencia provocada por la bomba mediante la recirculación, los insumos se disolvieron en su totalidad, obteniendo una mezcla homogénea que garantiza una distribución eficiente a cada una de las

plantas; al mismo tiempo evitando que los equipos de inyección no sufran daños por incrustaciones de partículas no disueltas.

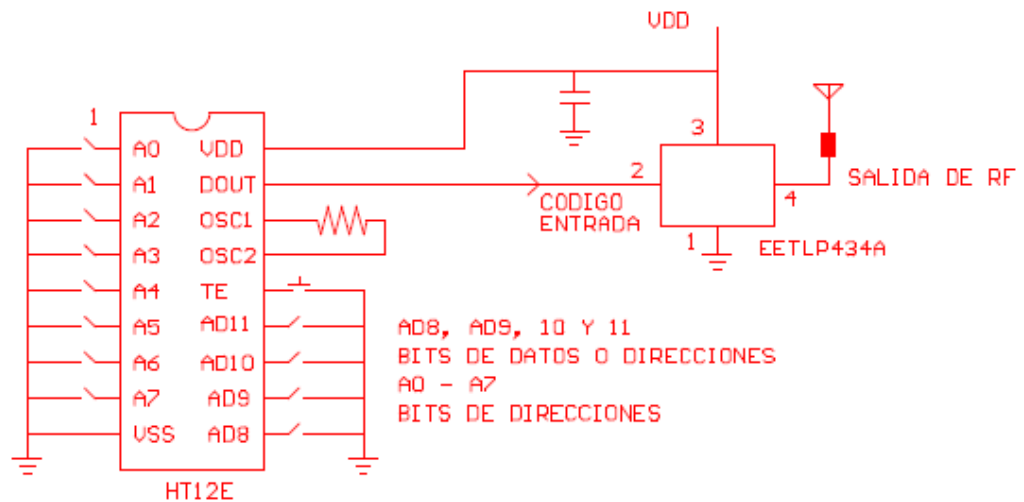
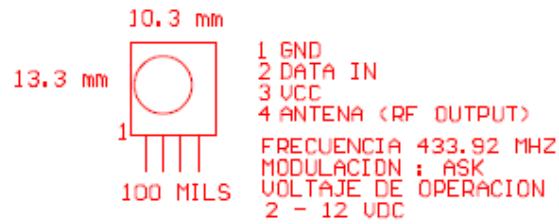
- En cuanto al sistema de inyección diseñado e implementado se determinó la eficacia del control a lazo cerrado en la servoválvula, además, se comprobó que el caudal de inyección se mantiene constante durante el periodo de irrigación; de acuerdo al valor seteado en el programa fertirrigación.
- Con el sistema de radio frecuencia (RF) implementado para la transmisión de datos de las variables como: temperatura ambiental y humedad relativa, se consiguió tener un dispositivo de medición inalámbrico que permite ubicar en diferentes lugares dentro del radio de alcance del transceptor.
- El sensor de humedad de suelo WATERMARK instalado en el terreno permite realizar mediciones de humedad en forma inmediata y exacta, lo que no ocurre con el tensiómetro; de esta manera se puede monitorear el comportamiento de la humedad en tiempo real.
- El módulo de relés denominado “**Mod Relés 14-07**”, permitió aislar eléctricamente las salidas de la tarjeta DAQ **NI 6221 de la serie M** con el circuito de mando de los actuadores que controla ésta, evitando que sufra daños por descargas de bobinas, arranque de las bombas o por variaciones del suministro eléctrico.
- La tecnología implementada en este cultivo, da a conocer al sector agrícola que la carrera de Ingeniería Electromecánica, está contribuyendo con los conocimientos en todas las áreas donde se necesita tecnificar los procesos relacionados a este sector.

5.2 RECOMENDACIONES.

- La tubería de la red distribución debe estar enterrada o pintada, ya que al exponerse directamente a los rayos del sol, éstas se cristalizan y se pueden romper con mayor facilidad.
- Al realizar el control de malezas no se debe usar herramientas cortopunzantes, debido a que puede provocar cortes en las cintas de goteo que causaría irregularidades en el riego.
- En épocas cuando se presencia la incidencia de heladas, es recomendable realizar chequeos periódicos y minuciosos en los nebulizadores, ya que pueden estar dañados o taponados; evitando así que opere irregularmente el sistema de microaspersión.
- El módulo de medición de temperatura ambiente y humedad relativa debe estar protegido contra el agua e insectos, ya que pueden ocasionar daños o mediciones incorrectas de las variables que éste mide.
- El agua de riego utilizada debe estar libre de impurezas, y el filtro del sistema de riego debe ser revisado periódicamente según las hojas técnicas del mismo, esto evitará que existan obturaciones de las cintas de goteo y de los microaspersores.
- Los equipos del cabezal de riego deben seguir un riguroso plan de mantenimiento, especialmente las bombas. Puesto que al existir vibraciones ocasionados por el arranque y el régimen de trabajo causan deterioros a los empaque y retenedores.
- En la dosificación de insumos se recomienda usar productos con características que el sistema permita operar sin problemas.

- En el tanque mezclador se recomienda realizar siempre un retrolavado después de cada fertilización, debido a que queda un pequeño volumen de mezcla remanente y esto ocasiona incrustaciones de las sales en las paredes del tanque.
- Es recomendable realizar una revisión de la turbina del caudalímetro, debido a que pueden existir pequeñas pelusas envueltas en el eje de la turbina. de esta manera se puede evitar que la medición de flujo sea errónea.
- Los insumos fertilizantes una vez abierto el sobre que los contiene, deben ser consumido en el lapso recomendado por el fabricante, y en el caso de no consumir dentro del tiempo establecido éstos se compactan; provocando que los dispensadores de sólidos se obstruyan y no funcionen adecuadamente.
- Se debe construir una puesta a tierra antes de implementar los circuitos eléctricos y electrónicos, esto ayudará a eliminar; ruido eléctrico, cargas estáticas de las carcasas y descargas atmosféricas.
- Los sensores de humedad y temperatura de suelo, deben estar enterrados de acuerdo a la profundidad de la raíz de la planta, la hoja técnica de este sensor tiene su propia tabla de especificaciones; tanto del tipo de cultivo, como sus características.
- Verificar que no tengan fugas de agua las tuberías del cabezal de riego, ya que éste maneja altas presiones, y al encontrarse dentro del cuarto de operación, una fuga de agua dañaría los equipos de automatización del sistema de riego.
- Los equipos de automatización deben estar energizados las 24 horas del día, pues, el módulo de variables físicas siempre debe estar registrando cambios climáticos, y el computador debe actuar ante esas variaciones de datos.

- El cambio de la base de datos del cultivo, lo debe hacer un experto agrónomo, siendo ésta la persona encargada de dar mantenimiento al cultivo y conocer las falencias que existe en las plantas para su producción.



EJEMPLO
CIRCUITO TIPICO USANDO EL CODIFICADOR HT12E DE
HOLTEK SEMICONDUCTOR INC

SYMBOL	PARAMETROS	CONDICION	MIN	TIP	MAX	UNIDAD
VCC	VOLTAJE NOM		2.0	-	12.0	V
Icc1	CORRIENTE PICO (<2V)		-	-	1.64	mA
Icc2	CORRIENTE PICO (<12V)		-	-	19.4	mA
Uh	VOLTS ENTRADA ALTO	Idat=100ua(alto)	VCC-0.5	VCC	VCC+0.5	V
U _I	VOLTS ENTRADA BAJO	Idat=0 ua(BAJO)	-	-	0.3	V
FO	FRECUENCIA ABSOLUTA	315 MHZ MODULE	314.8	315	315.2	MHz
PO	RF POTENCIA SALIDA 50 OHM	VCC=9V - 12V	-	16	-	dBm
		VCC=5V - 6V	-	14	-	dBm
DR	DATA RATE	COD. EXT	512	4.8K	200K	bps

NOTA: (TEMP. DE ENCAPSULADO=25 C + - 2 C)
(IMPEDANCIA DE CARGA DE PRUEBA = 50 OHM)
TRADUCCION FIEL DEL ORIGINAL EN INGLES

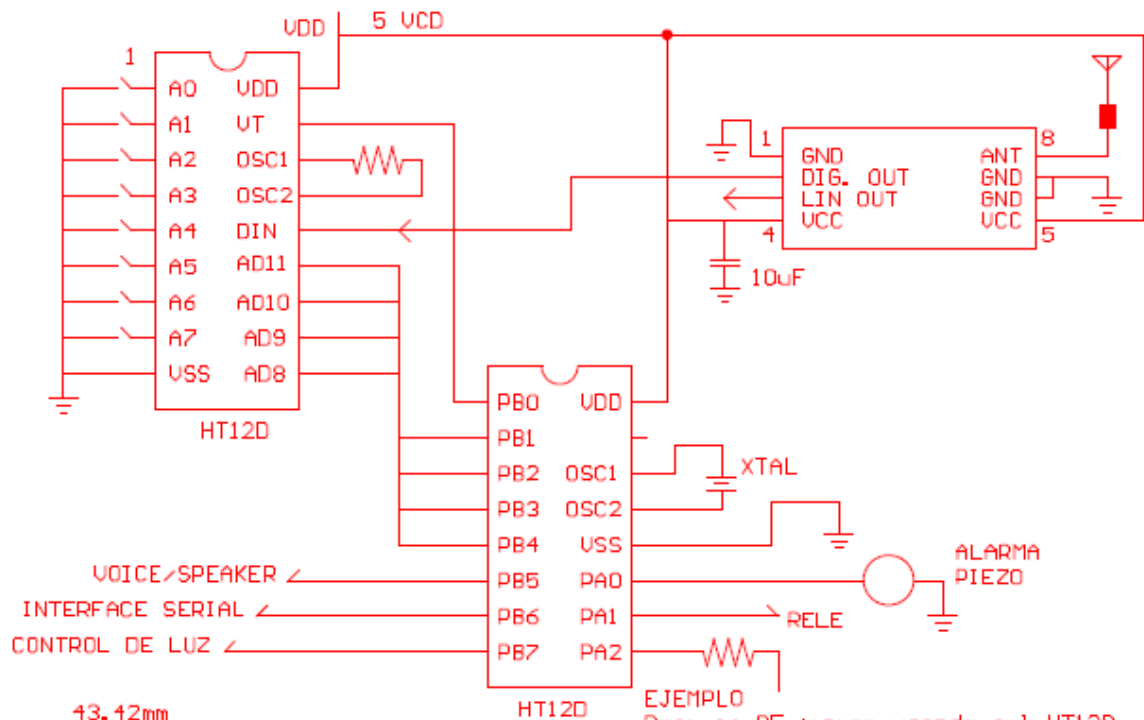
PIC micro Estudio

TRANSMISOR
ULTRA PEQUEÑO
DE 433.95 MHZ

EETLP434A

REV.

SYMBOL	PARAMETROS	CONDICION	MIN	TIP	MAX	UNIDAD
UCC	VOLTAJE NOM		3.3	5.0V	6.0	V
Itot	CORRIENTE NOMINAL		-	4.5		mA
Udat	SALIDA DATOS	I _{dat} =+20uA(HIGH)	U _{cc} -0.5	-	U _{cc}	mA
		I _{dat} =-20uA(Low)		-	0.3	V
CARACTERISTICAS ELECTRICAS						
CARACTERISTICA	SYM	MIN	TIP	MAX	UNIDAD	
RF DE OPERACION	FC	433.92			MHz	
SENSITIVITY	PREF		-110		dBm	
ANCHO DEL CANAL			+500		Khz	
RUIDO EQUIVALENTE BW			4		Khz	
TIEMPO DE ENCENDIDO			5		ms	
TEMPERATURA DE OPERACION	TOP	-20	-	80	C	
DATA RATE			4.8		Khz	



PIC micro Estudio

RECEPTOR SAW
ULTRA PEQUEÑO
DE 433.95 MHz

EERLP434A

REV.

Tabla de Radiación solar extraterrestre en $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ (Allen et al., 1998)

http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e0j.htm#annex_2_meteorological_tables

Latitud Norte	Ene	Feb	Mar	Abril	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70	0.0	2.6	10.4	23.0	35.2	42.5	39.4	28.0	14.9	4.9	0.1	0.0
68	0.1	3.7	11.7	23.9	35.3	42.0	38.9	28.6	16.1	6.0	0.7	0.0
66	0.6	4.8	12.9	24.8	35.6	41.4	38.8	29.3	17.3	7.2	1.5	0.1
64	1.4	5.9	14.1	25.8	35.9	41.2	38.8	30.0	18.4	8.5	2.4	0.6
62	2.3	7.1	15.4	26.6	36.3	41.2	39.0	30.6	19.5	9.7	3.4	1.3
60	3.3	8.3	16.6	27.5	36.6	41.2	39.2	31.3	20.6	10.9	4.4	2.2
58	4.3	9.6	17.7	28.4	37.0	41.3	39.4	32.0	21.7	12.1	5.5	3.1
56	5.4	10.8	18.9	29.2	37.4	41.4	39.6	32.6	22.7	13.3	6.7	4.2
54	6.5	12.0	20.0	30.0	37.8	41.5	39.8	33.2	23.7	14.5	7.8	5.2
52	7.7	13.2	21.1	30.8	38.2	41.6	40.1	33.8	24.7	15.7	9.0	6.4
50	8.9	14.4	22.2	31.5	38.5	41.7	40.2	34.4	25.7	16.9	10.2	7.5
48	10.1	15.7	23.3	32.2	38.8	41.8	40.4	34.9	26.6	18.1	11.4	8.7
46	11.3	16.9	24.3	32.9	39.1	41.9	40.6	35.4	27.5	19.2	12.6	9.9
44	12.5	18.0	25.3	33.5	39.3	41.9	40.7	35.9	28.4	20.3	13.9	11.1
42	13.8	19.2	26.3	34.1	39.5	41.9	40.8	36.3	29.2	21.4	15.1	12.4
40	15.0	20.4	27.2	34.7	39.7	41.9	40.8	36.7	30.0	22.5	16.3	13.6
38	16.2	21.5	28.1	35.2	39.9	41.8	40.8	37.0	30.7	23.6	17.5	14.8
36	17.5	22.6	29.0	35.7	40.0	41.7	40.8	37.4	31.5	24.6	18.7	16.1
34	18.7	23.7	29.9	36.1	40.0	41.6	40.8	37.6	32.1	25.6	19.9	17.3
32	19.9	24.8	30.7	36.5	40.0	41.4	40.7	37.9	32.8	26.6	21.1	18.5
30	21.1	25.8	31.4	36.8	40.0	41.2	40.6	38.0	33.4	27.6	22.2	19.8
28	22.3	26.8	32.2	37.1	40.0	40.9	40.4	38.2	33.9	28.5	23.3	21.0
26	23.4	27.8	32.8	37.4	39.9	40.6	40.2	38.3	34.5	29.3	24.5	22.2
24	24.6	28.8	33.5	37.6	39.7	40.3	39.9	38.3	34.9	30.2	25.5	23.3
22	25.7	29.7	34.1	37.8	39.5	40.0	39.6	38.4	35.4	31.0	26.6	24.5
20	26.8	30.6	34.7	37.9	39.3	39.5	39.3	38.3	35.8	31.8	27.7	25.6
18	27.9	31.5	35.2	38.0	39.0	39.1	38.9	38.2	36.1	32.5	28.7	26.8
16	28.9	32.3	35.7	38.1	38.7	38.6	38.5	38.1	36.4	33.2	29.6	27.9
14	29.9	33.1	36.1	38.1	38.4	38.1	38.1	38.0	36.7	33.9	30.6	28.9
12	30.9	33.8	36.5	38.0	38.0	37.6	37.6	37.8	36.9	34.5	31.5	30.0
10	31.9	34.5	36.9	37.9	37.6	37.0	37.1	37.5	37.1	35.1	32.4	31.0
8	32.8	35.2	37.2	37.8	37.1	36.3	36.5	37.2	37.2	35.6	33.3	32.0
6	33.7	35.8	37.4	37.6	36.6	35.7	35.9	36.9	37.3	36.1	34.1	32.9
4	34.6	36.4	37.6	37.4	36.0	35.0	35.3	36.5	37.3	36.6	34.9	33.9
2	35.4	37.0	37.8	37.1	35.4	34.2	34.6	36.1	37.3	37.0	35.6	34.8
0	36.2	37.5	37.9	36.8	34.8	33.4	33.9	35.7	37.2	37.4	36.3	35.6


TSX - 300

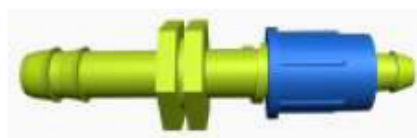
Cinta de riego



La cinta T-TAPE TSX 300 ha sido diseñada para economizar aún más las aplicaciones para campos de hileras cortas. La cinta de goteo Modelo TSX 300 es ideal para invernaderos, viveros e instalaciones con hileras de cultivos y vegetales de corto alcance. Los agricultores podrán disminuir costos al reducir su sistema al modelo TSX 300 y seguir contando con la alta uniformidad de emisión y resistencia de la Serie T-TAPE TSX.

La trayectoria de flujo turbulento de TSX 300 permite una uniformidad de emisión del 95% en ejecuciones de hasta 175 pies (50 metros). Esta ranura prácticamente elimina las obstrucciones ocurridas al comenzar la operación causadas por agentes contaminantes externos, impide el ingreso de raíces y reduce los daños causados por insectos.

ACCESORIOS DE CONEXION



Conector cinta maguera



ESPECIFICACIONES DEL MODELO T-TAPE TSX 300

Espesor de la pared

T-TAPE TSX 306 0.150mm
T-TAPE TSX 310 0.1250mm

Cantidad por carrete

T-TAPE TSX 306 1675mm
T-TAPE TSX 310 1065mm

Presión de operación

T-TAPE TSX 306 4 a 8 psi
T-TAPE TSX 310 4 a 10 psi

Peso del carrete promedio
11.4 kgs

Dimensiones del rollo

33cm Diámetro x 26cm

Longitud de ejecución en pies con una inclinación de 0% Presión de entrada (psi) MODELO 300

	EU%	0.40	0.55	0.70	0.85	1.05
3XX-15-680 15 cm - 680 lph	90%	128	129	129	129	130
	85%	156	164	165	165	165
3XX-30-340 30cm - 340 lph	90%	200	200	201	202	202
	85%	254	255	256	257	258

NEBULIZADOR



HOJA TÉCNICA

Microaspersor



El Nebulizador es un micro aspersor fabricado en resinas plásticas, resistentes a la luz ultravioleta, a la intemperie y al desgaste, lo cual hace de este un elemento resistente a la erosión y a las fuerzas de impacto utilizadas para la descarga a alta presión e ideal para las condiciones adversas de trabajo permitiendo la aplicación de químicos y fertilizantes.

PRESENTACIONES

Color Cuerpo	Presión (p.s.i)	Caudal nominal (lph)	Caudal nominal (gph)	Radio de mojado
 Verde	25	31.80	8.40	0.70
	30	34.80	9.20	0.70
	35	38.40	10.10	0.70
	40	40.00	10.60	0.75
	45	42.30	11.20	0.75
	50	45.30	12.00	0.80
 Azul	25	43.40	11.50	0.80
	30	46.10	12.20	0.80
	35	48.20	12.80	0.80
	40	50.00	13.20	0.90
	45	56.60	14.70	0.90
	50	59.60	15.70	0.95

GRAN VERSATILIDAD

El Nebulizador se produce en dos versiones de acuerdo al tipo de conexión:

Rosca 3/8 With worth (Tipo americano)

Rosca 1/8 NPT.

De acuerdo a las necesidades del cliente, se fabrican elevadores de polietileno que permiten la conexión para los dos tipos mencionados.

Esquema de montaje



El Nebulizador ofrece un cubrimiento de 360° con gotas muy pequeñas que forman una niebla uniformemente distribuida en el área de tiro.

La cortina circular de gota que genera es pequeña lo cual permite su uso en bancos de enraizamiento e invernaderos.

DE LA CALIDAD DEL AGUA DEPENDE LA VIDA ÚTIL DE SU SISTEMA DE RIEGO

- Para el lavado de líneas y emisores se recomienda usar la solución 1377 y/o aditivo.
- No usar, nunca ácido nítrico.
- Consulte a nuestro departamento de servicio técnico para información y asesoría complementaria.

INFORME DE PERITAJE

Fecha de Asignación :	Mayo 6, 2002
Oficial a cargo del cliente :	Srta. María Eugenia Espinoza
Oficina :	Agencia Salcedo
Fecha de Inspección :	Abril 6, 2002
Nombre del Cliente :	Sr. Victor Eduardo Zarabia Guanofuiza y Sra.
Teléfono del Cliente :	

TIPO DE BIEN : Propiedad Rural

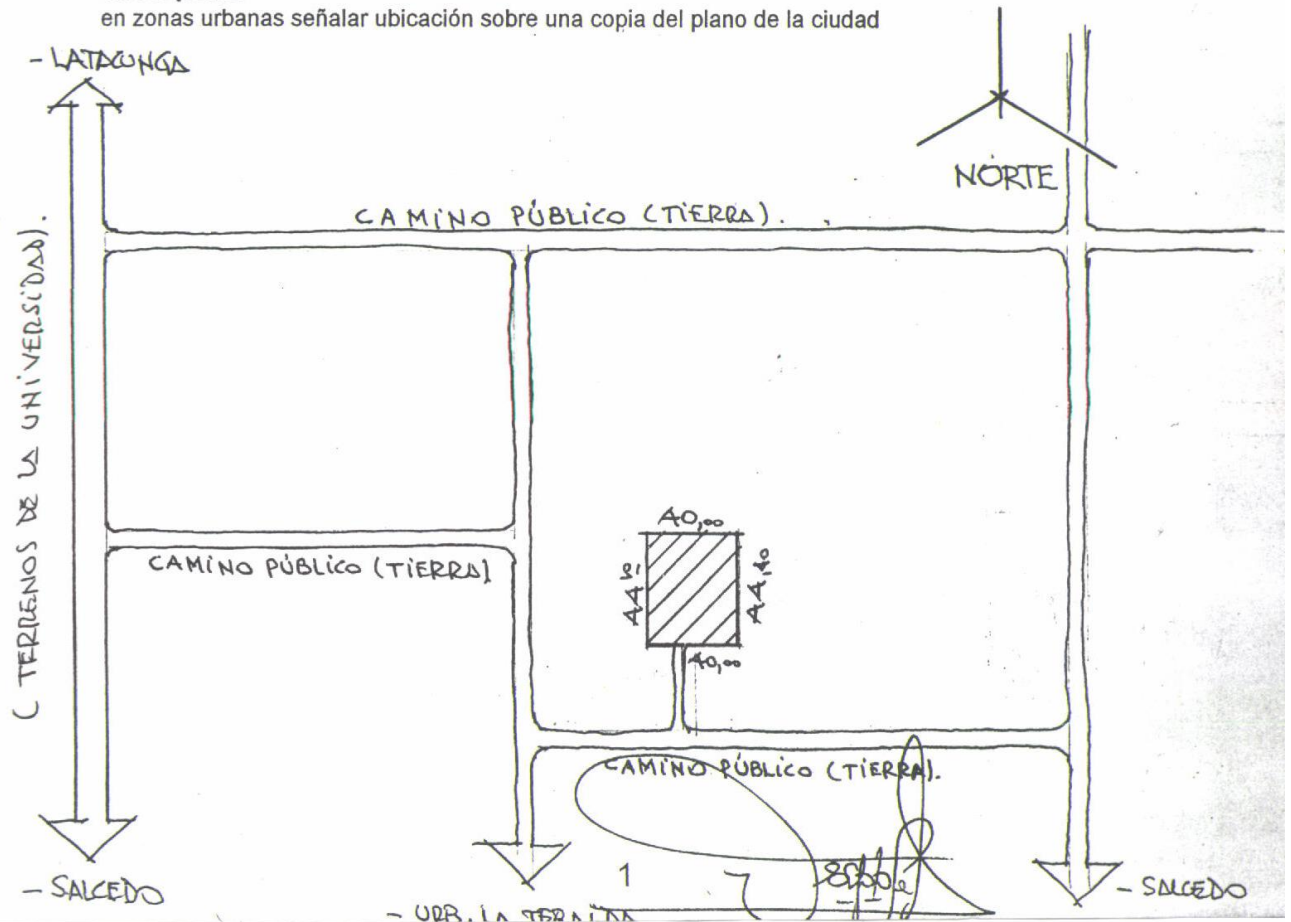
1.- UBICACIÓN Y ESQUEMA

1.1 Ubicación

Dirección :	Camino público	
Sector:	Rumipamba Central	Lote N°
Cantón :	Salcedo	Parroquia :
Provincia :	Cotopaxi	Ciudad :
		San Miguel
		Salcedo

1.2 Esquema

en zonas urbanas señalar ubicación sobre una copia del plano de la ciudad



2.- SITUACION LEGAL

2.1 Propiedad Horizontal

SI	<input type="checkbox"/>
NO	<input checked="" type="checkbox"/>

2.2 Titulo de Adquisición

Tipo :	Compraventa
Otorgada por :	Julio Cesar Zarabia y Sra. (Padres)
A Favor de :	Sr. Victor Eduardo Zarabia y Sra.
Notaria:	SEGUNDA Lcdo. Wilson H. Cepeda V.
Fecha :	Marzo 20, 1991
Fecha de Inscripción :	Marzo 27, 1991

3.- LINDEROS GENERALES DE LA PROPIEDAD

	Dimensiones	Limites, Descripción
Norte :	40.00	Propiedad de Gloria Tenorio
Sur :	40.00	Propiedad de Julio Cesar Zarabia
Este :	44.10	Propiedad de Humberto Unapucha
Oeste :	44.10	Canal de riego y terreno de Leandro Coque

Total Superficie : **1,764.00** m²

4.- DESCRIPCION DE LA ZONA

4.1 : Plusvalía *Buena, el sector es agrícola. Las propiedades en ese sector son muy cotizadas.*

4.2 Clasificación

Comercial	<input type="checkbox"/>
Residencial	<input type="checkbox"/>
Industrial	<input type="checkbox"/>
Financiera	<input type="checkbox"/>
Otras agrícola	<input checked="" type="checkbox"/>

Observaciones

La propiedad, tiene agua de riego.

4.3 Facilidades de la Zona

Teléfono	<input type="checkbox"/>
Luz	<input checked="" type="checkbox"/>
Agua Potable	<input checked="" type="checkbox"/>
Alcantarillado	<input type="checkbox"/>
Vías : Asfaltadas	<input checked="" type="checkbox"/>
Adoquinadas	<input type="checkbox"/>
Empedradas	<input type="checkbox"/>
Tierra / Lastre	<input checked="" type="checkbox"/>
Otras	<input type="checkbox"/>



INIAP
INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE
INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

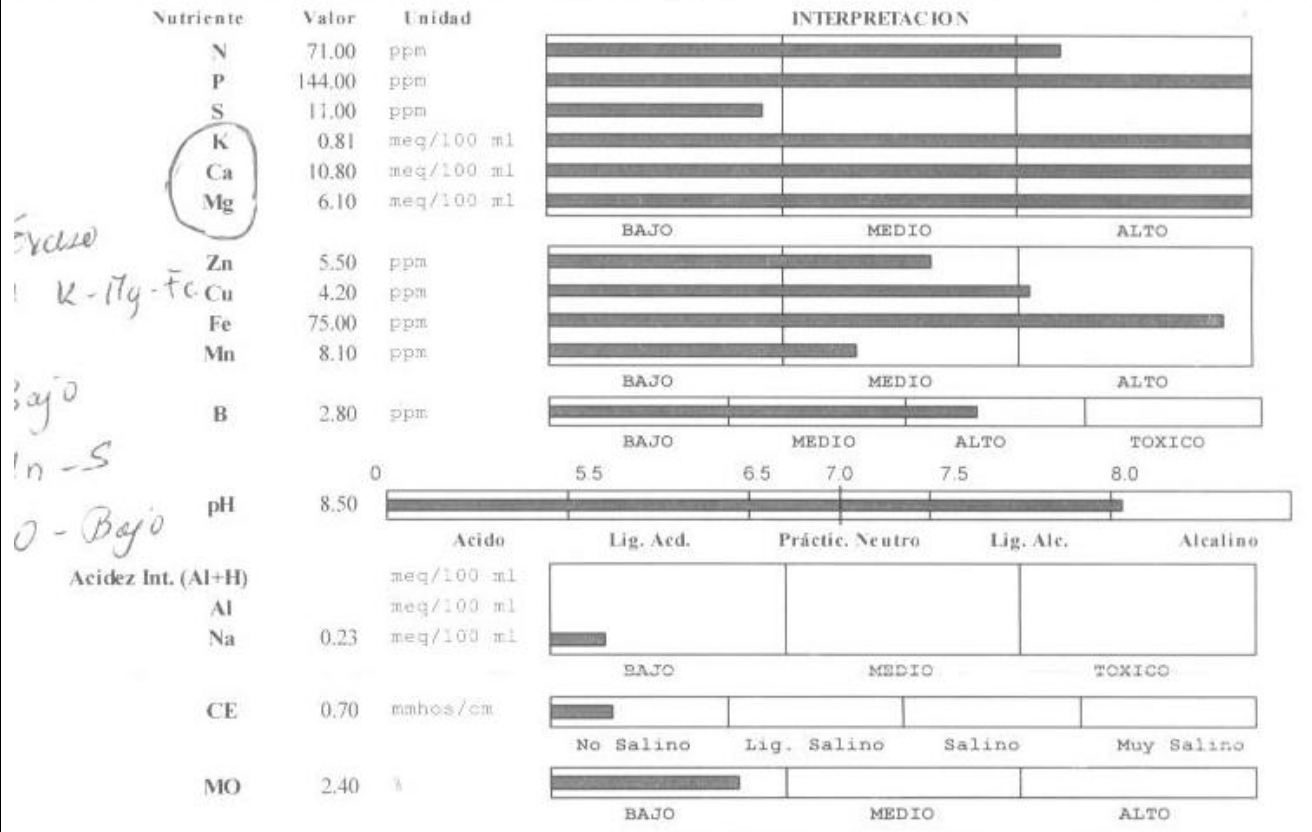
ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA"
LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS
Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340
Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693



REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

<p style="text-align: center;">DATOS DEL PROPIETARIO</p> <p>Nombre : BORIS ZARABIA Dirección : SALCEDO Ciudad : Teléfono : Fax :</p>	<p style="text-align: center;">DATOS DE LA PROPIEDAD</p> <p>Nombre : FRUTIZAR Provincia : COTOPAXI Cantón : SALCEDO Parroquia : SAN MIGUEL DE SALEDO Ubicación :</p>
---	---

<p style="text-align: center;">DATOS DEL LOTE</p> <p>Cultivo Actual : FRUTILLA Cultivo Anterior : FRUTILLA Fertilización Ant. : Superficie : Identificación : LOTE 1</p>	<p style="text-align: center;">PARA USO DEL LABORATORIO</p> <p>Nº Reporte : 4.379 Nº Muestra Lab. : 65754 Fecha de Muestreo : 26/06/2007 Fecha de Ingreso : 27/06/2007 Fecha de Salida : 04/07/2007</p>
---	--



Exceso
K - Mg - Fe
Bajo
ln - S
0 - Bajo

Ca	Mg	Ca+Mg	(meq/100ml)	%	ppm	(%)			Clase Textural
Mg	K	K	Σ Bases	NTot	Cl	Arena	Limo	Arcilla	
1,8	7,5	20,9	17,9						


RESPONSABLE LABORATORIO


LABORATORISTA

Absolute Maximum Ratings (Note 10)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	+35V to -0.2V
Output Voltage	+6V to -1.0V
Output Current	10 mA
Storage Temp.:	
TO-46 Package,	-60°C to +180°C
TO-92 Package,	-60°C to +150°C
SO-8 Package,	-65°C to +150°C
TO-220 Package,	-65°C to +150°C
Lead Temp.:	
TO-46 Package, (Soldering, 10 seconds)	300°C

TO-92 and TO-220 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
SO Package (Note 12)	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 11)	2500V
Specified Operating Temperature Range: T_{MIN} to T_{MAX} (Note 2)	
LM35, LM35A	-55°C to +150°C
LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
LM35D	0°C to +100°C

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.2	± 0.5		± 0.2	± 0.5		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.3			± 0.3		± 1.0	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MAX}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MIN}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4		± 1.5	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.18		± 0.35	± 0.15		± 0.3	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	+10.0	+9.9, +10.1		+10.0		+9.9, +10.1	mV/ $^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1$ mA	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		mV/mA
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.5		± 3.0	± 0.5		± 3.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.05		± 0.01	± 0.05		mV/V
	$4V \leq V_S \leq 30V$	± 0.02		± 0.1	± 0.02		± 0.1	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5V, +25^\circ\text{C}$	56	67		56	67		μA
	$V_S = +5V$	105		131	91		114	μA
	$V_S = +30V, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		56.2	68		μA
	$V_S = +30V$	105.5		133	91.5		116	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4V \leq V_S \leq 30V, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		0.2	1.0		μA
	$4V \leq V_S \leq 30V$	0.5		2.0	0.5		2.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.5	+0.39		+0.5	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of <i>Figure 1</i> , $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{MAX}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^\circ\text{C}$

COEFICIENTE K_c PARA DIFERENTES CULTIVOS

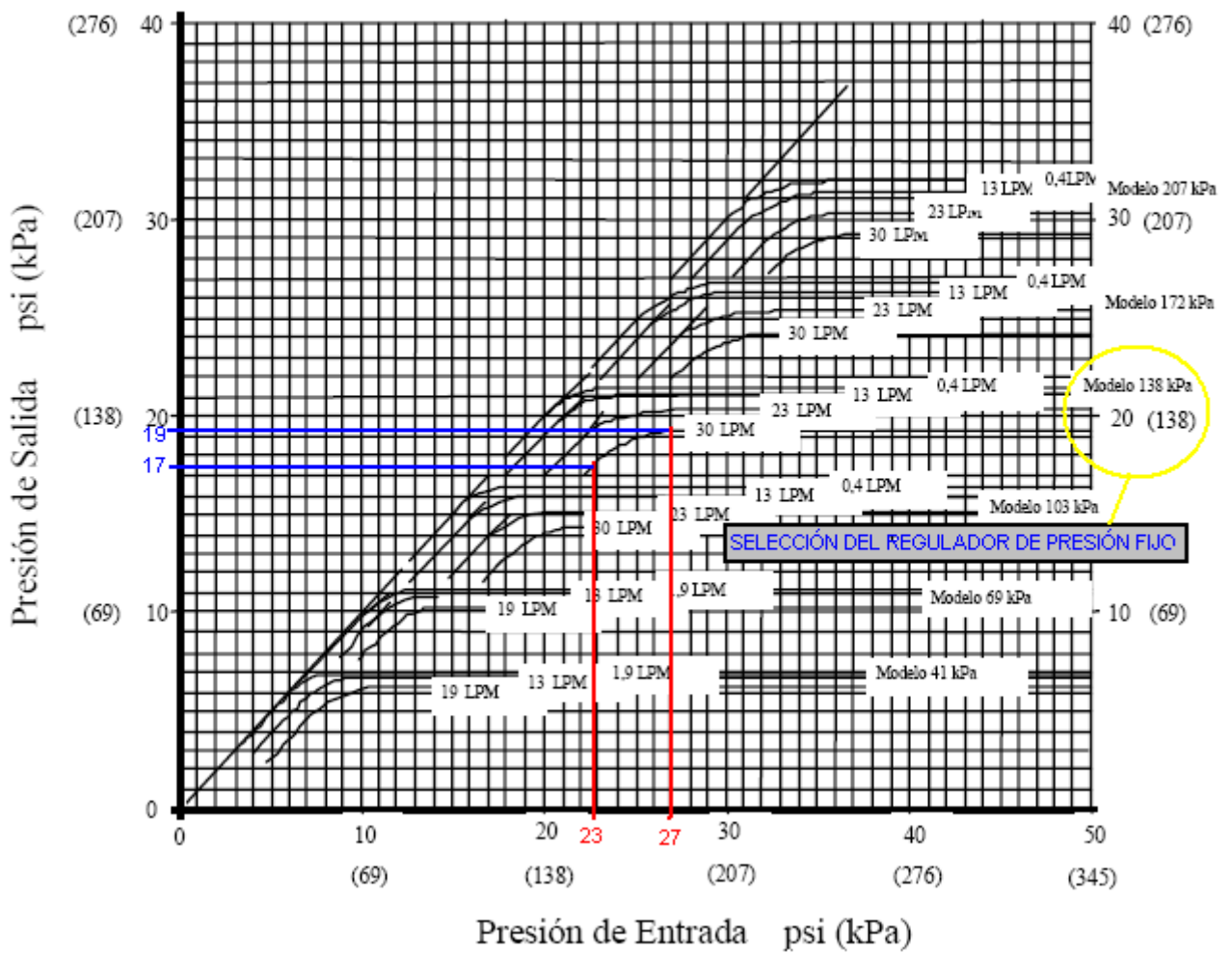
Cultivo	Periodo de crecimiento vegetativo	Coeficientes Globales K _G	
		Región húmeda	Región árida
Aguacate	Todo el año	0.5	0.55
Ajonjolí	3 a 4 meses	0.8	
Alfalfa	Entre heladas	0.8	0.85
	En invierno	0.6	
Algodón	6 a 7 meses	0.6	0.65
Arroz	3 a 5 meses	1	1.2
Cacahuete	5 meses	0.6	0.65
Cacao	Todo el año	0.75	0.8
Café	Todo el año	0.75	0.75
Camote	5 a 6 meses	0.6	
Caña de azúcar	Todo el año	0.75	0.9
Cártamo	5 a 8 meses	0.55	0.65
Cereales de granos pequeños (Alpiste) (Avena) (Cebada) (Centeno) (Trigo)	3 a 6 meses	0.75	0.85
Cítricos	7 a 8 meses	0.5	0.65
Chile	3 a 4 meses	0.6	
Espárrago	6 a 7 meses	0.6	
Fresa	Todo el año	0.45	0.6
Frijol	3 a 4 meses	0.6	0.7

PERDIDAS DE CABEZA

Según la combinación de las fórmulas de Hazen-Williams y de Darcy-Weisbach
 $J = 8.38 \times 10^6 \times Q^{1.75} \times D^{-4.76}$

Siendo:
 J= Pérdida en metros/100 m
 Q= Caudal en metros 3/hora
 D= Diámetro interno en m

Tuberías PR 35 y PR 55										Tuberías PR 85									
L/ min	M3/h	Diámetros (mm)								L/ min	M3/h	Diámetros (mm)							
		12	16	20	25	32	40	50	63			16	20	25	32	40	50	63	
		9.80	13.60	17.00	22.00	28.20	35.20	44.00	55.40			13.00	18.20	20.40	26.20	32.60	40.80	51.40	
0.05	0.00	0.01								0.05	0.00								
0.10	0.01	0.02								0.10	0.01	0.01							
0.20	0.01	0.07								0.20	0.01	0.02	0.01						
0.40	0.02	0.24	0.02							0.40	0.02	0.06	0.02	0.01					
0.80	0.06	0.81	0.17	0.06						0.80	0.06	0.21	0.07	0.02	0.01				
1.00	0.06	1.19	0.26	0.09	0.03					1.00	0.06	0.31	0.11	0.04					
1.50	0.09	2.43	0.51	0.18	0.05	0.02				1.50	0.09	0.62	0.22	0.07	0.02	0.01			
2.00	0.12	4.01	0.86	0.29	0.06	0.03	0.01			2.00	0.12	1.05	0.37	0.12	0.04	0.01			
2.50	0.15	5.59	1.25	0.43	0.13	0.04	0.01			2.50	0.15	1.55	0.54	0.18	0.06	0.02	0.01		
3.00	0.18	8.16	1.72	0.60	0.18	0.05	0.02	0.01		3.00	0.18	2.13	0.75	0.25	0.08	0.03	0.01		
3.60	0.21	10.69	2.26	0.78	0.23	0.07	0.02	0.01		3.60	0.21	2.79	0.99	0.33	0.10	0.04	0.01		
4.00	0.24	13.60	2.86	0.99	0.29	0.09	0.03	0.01		4.00	0.24	3.53	1.24	0.41	0.13	0.04	0.02	0.01	
4.80	0.27	16.59	3.60	1.21	0.36	0.11	0.04	0.01		4.80	0.27	4.33	1.52	0.51	0.16	0.06	0.02	0.01	
5.00	0.30	19.95	4.21	1.46	0.43	0.13	0.05	0.02	0.01	5.00	0.30	5.21	1.83	0.61	0.19	0.07	0.02	0.01	
5.50	0.33	23.57	4.97	1.72	0.51	0.16	0.05	0.02	0.01	5.50	0.33	6.16	2.16	0.72	0.22	0.08	0.03	0.01	
6.00	0.36	27.44	5.79	2.01	0.59	0.18	0.06	0.02	0.01	6.00	0.36	7.17	2.52	0.84	0.26	0.09	0.03	0.01	
6.50	0.39	31.57	6.66	2.31	0.68	0.21	0.07	0.03	0.01	6.50	0.39	8.25	2.90	0.97	0.30	0.10	0.04	0.01	
7.00	0.42	35.94	7.58	2.63	0.77	0.24	0.08	0.03	0.01	7.00	0.42	9.39	3.30	1.10	0.34	0.12	0.04	0.01	
7.50	0.46	40.55	8.55	2.96	0.87	0.27	0.09	0.03	0.01	7.50	0.46	10.60	3.73	1.25	0.38	0.13	0.05	0.02	
8.00	0.48	45.40	9.57	3.32	0.97	0.30	0.10	0.04	0.01	8.00	0.48	11.88	4.17	1.40	0.43	0.15	0.05	0.02	
8.50	0.51	50.49	10.65	3.69	1.08	0.33	0.12	0.04	0.01	8.50	0.51	13.19	4.64	1.55	0.47	0.17	0.05	0.02	
9.00	0.54	55.80	11.77	4.08	1.20	0.37	0.13	0.04	0.01	9.00	0.54	14.59	5.13	1.71	0.52	0.18	0.05	0.02	
9.50	0.57	61.33	12.93	4.49	1.32	0.40	0.14	0.05	0.02	9.50	0.57	16.02	5.63	1.86	0.57	0.20	0.07	0.02	
10.00	0.60	67.09	14.15	4.93	1.44	0.44	0.15	0.05	0.02	10.00	0.60	17.53	6.16	2.05	0.63	0.22	0.08	0.03	
11.00	0.66	79.27	16.72	5.79	1.70	0.52	0.18	0.06	0.02	11.00	0.66	20.71	7.28	2.44	0.74	0.26	0.09	0.03	
12.00	0.72	92.31	19.47	6.74	1.98	0.61	0.21	0.07	0.02	12.00	0.72	24.12	8.48	2.84	0.86	0.31	0.11	0.04	
1300	0.78		22.39	7.76	2.28	0.70	0.24	0.08	0.03	1300	0.78	27.74	9.76	3.26	0.99	0.36	0.12	0.04	
14.00	0.84		25.49	8.83	2.60	0.80	0.28	0.10	0.03	14.00	0.84	31.59	11.11	3.72	1.13	0.40	0.14	0.06	
15.00	0.90		28.76	9.97	2.93	0.90	0.31	0.11	0.04	15.00	0.90	35.64	12.53	4.19	1.28	0.45	0.16	0.06	
16.00	0.96		32.20	11.16	3.28	1.01	0.35	0.12	0.04	16.00	0.96	39.90	14.03	4.69	1.43	0.51	0.17	0.06	
17.00	1.02		35.81	12.41	3.65	1.12	0.39	0.14	0.05	17.00	1.02	44.37	15.60	5.22	1.59	0.56	0.19	0.06	
18.00	1.08		39.58	13.71	4.03	1.24	0.43	0.15	0.05	18.00	1.08	49.03	17.24	5.77	1.76	0.62	0.21	0.07	
19.00	1.14		43.50	15.07	4.43	1.36	0.48	0.16	0.06	19.00	1.14	53.90	18.95	6.34	1.93	0.68	0.24	0.08	
20.00	1.20		47.59	16.49	4.85	1.49	0.52	0.18	0.06	20.00	1.20	58.96	20.73	6.94	2.11	0.75	0.26	0.09	
21.00	1.26		51.83	17.96	5.28	1.62	0.57	0.20	0.07	21.00	1.26	64.22	22.59	7.59	2.30	0.81	0.28	0.09	
22.00	1.32		56.23	19.48	5.72	1.76	0.61	0.21	0.07	22.00	1.32	69.67	24.49	8.19	2.50	0.88	0.30	0.10	
23.00	1.38		60.77	21.06	6.19	1.90	0.66	0.23	0.08	23.00	1.38	75.30	26.48	8.86	2.70	0.96	0.33	0.11	
24.00	1.44		65.47	22.69	6.67	2.05	0.71	0.25	0.08	24.00	1.44	81.12	28.52	9.54	2.91	1.03	0.35	0.12	
25.00	1.50		70.32	24.37	7.16	2.20	0.77	0.27	0.09	25.00	1.50	87.13	30.63	10.25	3.12	1.11	0.38	0.13	
26.00	1.56		75.32	26.10	7.67	2.36	0.82	0.28	0.10	26.00	1.56	93.32	32.81	10.98	3.34	1.18	0.41	0.14	
27.00	1.62		80.46	27.88	8.19	2.52	0.88	0.30	0.10	27.00	1.62		35.05	11.73	3.57	1.27	0.44	0.15	
28.00	1.68		85.75	29.71	8.73	2.68	0.94	0.32	0.11	28.00	1.68		37.35	12.50	3.81	1.36	0.46	0.16	
29.00	1.74		91.18	31.59	9.28	2.85	1.00	0.34	0.12	29.00	1.74		39.72	13.29	4.06	1.43	0.49	0.16	
30.00	1.80		96.75	33.52	9.85	3.03	1.06	0.37	0.12	30.00	1.80		42.15	14.10	4.30	1.52	0.52	0.17	
32.00	1.92			37.53	11.03	3.39	1.18	0.41	0.14	32.00	1.92		47.19	15.79	4.81	1.70	0.59	0.20	
34.00	2.04			41.73	12.26	3.77	1.32	0.46	0.15	34.00	2.04		52.47	17.55	5.35	1.89	0.65	0.22	
36.00	2.16			46.12	13.55	4.17	1.45	0.50	0.17	36.00	2.16		57.99	19.40	5.91	2.09	0.72	0.24	
38.00	2.28			50.70	14.90	4.58	1.60	0.55	0.19	38.00	2.28		63.74	21.32	6.50	2.30	0.79	0.26	
40.00	2.40			55.46	16.30	5.01	1.75	0.61	0.20	40.00	2.40		69.73	23.33	7.11	2.52	0.87	0.28	
42.00	2.52			60.40	17.76	5.46	1.90	0.66	0.22	42.00	2.52		75.94	25.41	7.74	2.74	0.94	0.30	
44.00	2.64			65.53	19.26	5.92	2.07	0.72	0.24	44.00	2.64		82.39	27.56	8.40	2.97	1.02	0.34	
46.00	2.76			70.83	20.81	6.40	2.23	0.77	0.26	46.00	2.76		89.05	29.79	9.08	3.21	1.11	0.37	
48.00	2.88			76.30	22.42	6.89	2.40	0.83	0.28	48.00	2.88		95.94	32.10	9.78	3.46	1.19	0.40	
50.00	3.00			81.95	24.08	7.40	2.58	0.89	0.30	50.00	3.00			34.47	10.50	3.72	1.28	0.43	
52.00	3.12			87.78	25.79	7.93	2.77	0.96	0.32	52.00	3.12			36.52	11.25	3.98	1.37	0.46	
54.00	3.24			93.78	27.55	8.47	2.96	1.02	0.34	54.00	3.24			38.64	12.02	4.26	1.47	0.49	
56.00	3.36				29.37	9.03	3.16	1.09	0.37	56.00	3.36			40.83	12.81	4.53	1.56	0.52	
58.00	3.48				31.23	9.60	3.35	1.16	0.39	58.00	3.48			43.09	13.62	4.82	1.66	0.56	
60.00	3.60				33.13	10.19	3.55	1.23	0.41	60.00	3.60			47.43	14.45	5.12	1.76	0.59	
65.00	3.90				38.12	11.72	4.05	1.42	0.47	65.00	3.90			54.56	16.62	5.89	2.03	0.68	
70.00	4.20				43.39	13.34	4.65	1.61	0.54	70.00	4.20			62.11	18.92	6.70	2.31	0.77	
75.00	4.50				48.96	15.06	5.25	1.82	0.61	75.00	4.50			70.08	21.35	7.56	2.60	0.87	
80.00	4.80				54.82	16.86	5.88	2.04	0.68	80.00	4.80			78.46	23.90	8.47	2.92	0.97	
85.00	5.10				60.96	18.74	6.54	2.27	0.76	85.00	5.10			87.25	26.69	9.41	3.24	1.08	
90.00	5.40				67.36	20.71	7.23	2.50	0.84	90.00	5.40				29.38	10.40	3.68	1.30	
95.00	5.70				74.05	22.77	7.94	2.75	0.92	95.00	5.70				32.29	11.44	3.94	1.32	
100.00	6.00				81.00	24.91	8.69	3.01	1.01	100.00	6.00				35.32	12.51	4.31	1.44	
105.00	6.30					27.13	9.46	3.28	1.10	105.00	6.30				38.47	13.62	4.69	1.57	
110.00	6.60					29.43	10.27	3.55	1.19	110.00	6.60				41.74	14.78	5.09	1.70	
120.00	7.20					34.27	11.95	4.14	1.39	120.00	7.20				48.60	17.21	5.93	1.98	
130.00																			



Consulta rápida a los procedimientos básicos para la correcta instalación de las Motobombas Schneider

- ¿ Cómo conectar el motor Monofásico 110/220 V ?
Para conectar el motor en 110 V, utilice el esquema de la figura A. Para conectarlo en 220 V, utilice el esquema de la figura B.

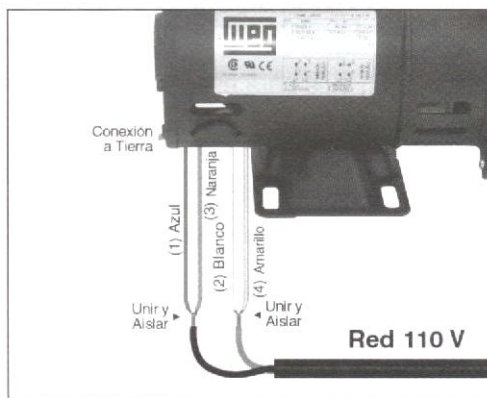


Figura A - Monofásico 110 V

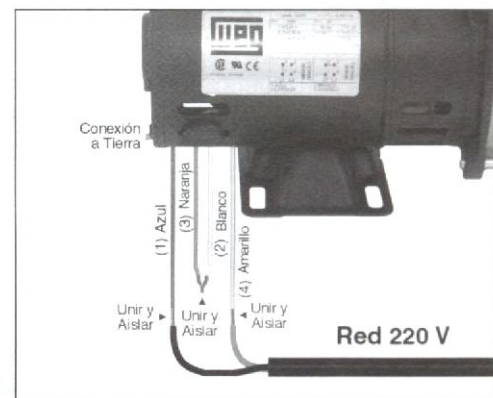


Figura B - Monofásico 220 V

- Para motores monofásicos de otros voltajes (127/254 V o 220/440 V) y motores trifásicos, conectar los cables conforme placa de identificación del motor y la tensión de la red.
- Instalar la motobomba lo más próximo posible de la fuente de captación, dentro de un abrigo que la proteja de las intemperies y con espacio suficiente para ventilación del motor eléctrico.
- Los diámetros de los tubos de entrada y salida de la bomba pueden ser ampliados siempre que sea necesario. Por otro lado, no recomendamos usar tubos de diámetros menores que los bocales de la motobomba.
- Utilizar válvula de pie (válvula fondo de pozo) en las motobombas centrífugas (figura C).
- En las bombas centrífugas, rellenar toda la tubería de succión y el cuerpo de la misma con agua.
- En las motobombas autocebantes (figura D), completar el cuerpo de la misma con agua .
- Obligatorio conectar el motor eléctrico a tierra.**
- Utilizar llave magnética de protección (relay de sobrecarga).
- Mayores informaciones, vea el manual anexo.



Figura C - Motobomba Centrífuga

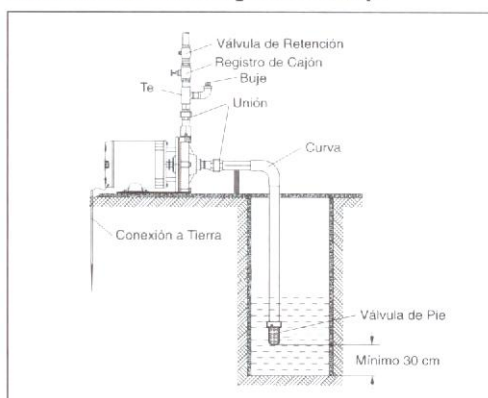


Figura D - Motobomba Autocebante

Instrucciones para instalación, operación y mantenimiento de las Bombas/Motobombas SCHNEIDER

Estimado cliente, este manual de instalación es **general para toda la línea de productos SCHNEIDER**. Para su tranquilidad y satisfacción siga correctamente las orientaciones propuestas.

Motobombas Centrífugas Monoetapa



Motobombas Centrífugas Multietapas

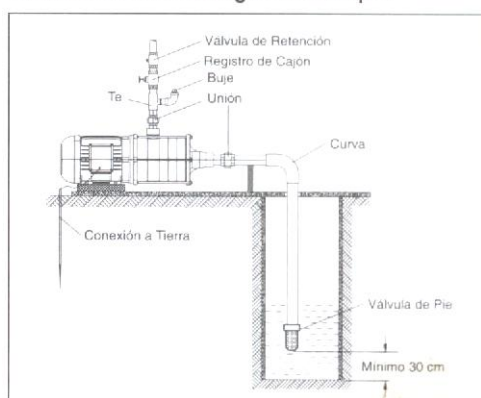


Figura 1 - Esquema de Instalación

Observaciones:

- Antes de accionar la motobomba eléctricamente verifique si el eje del motor (o del eje libre) gira libremente.
- Es importante resaltar que los datos hidráulicos de las motobombas, indicados en catálogos de 50 Hz y 60 Hz, solamente serán plenamente obtenidos para: altura de succión de 0 mca, agua en temperatura ambiente (25°C), a nivel del mar, accionadas por motor eléctrico II polos (excepción BCS 350 - IV polos), conforme frecuencia de la red. Y desde que instaladas de manera adecuada. El punto de trabajo (caudal y altura manométrica) exacto es definido por cálculo y tiene en cuenta largos de tuberías, diámetros y diferencias en las distancias geométricas específicas de cada instalación.

A – Instrucciones generales para instalación hidráulica

- 1 - Instalar la motobomba lo más próximo posible de la fuente de captación de agua, garantizando la ausencia de sólidos en suspensión, tales como: arena, ramas, hojas, piedras, etc.
- 2 - El lugar de instalación de la motobomba deberá ser iluminado y seco, de fácil acceso para agilizar el mantenimiento/inspección, con espacio suficiente para ventilación del motor.
- 3 - No exponer la motobomba a la acción del tiempo, protegiéndola de las intemperies (sol, lluvia, polvo, humedad, etc.)
- 4 - Fijar la motobomba sobre una base firme y regular (hormigón o albañilería), sin vibraciones. Busque mantener un pequeño declive en el sentido de la captación.

- 5 - Utilizar lo mínimo posible conexiones en la instalación, dando preferencia siempre a las curvas al invés de los codos.
- 6 - En el caso de motobombas con entradas y salidas de rosca, sugerimos instalar (próximo a ellas) uniones, tanto en la canalización de succión como en la descarga para facilitar el montaje y desmontaje del conjunto (equipo).
- 7 - Haga soportes para sostener el peso de las canalizaciones para que el mismo no presione la motobomba.
- 8 - Usar válvula de pie (fondo del pozo), con un diámetro superior al de la canalización de succión. Instalar la válvula a una distancia mínima de 30 cm del fondo del lugar de la captación, garantizando una columna de agua sobre la válvula, suficiente para no entrar aire por la misma.
- 9 - En la succión usar preferentemente tubo con rosca. Sellar todas las conexiones con sellador apropiado, evitando la entrada de aire. **Obs.: Nunca girar la tubería de succión más allá del fin de la rosca de la succión, evitando el bloqueo del impulsor.**
- 10 - Cuando la motobomba este instalada en una cisterna o reservatorio, mantenga una cierta distancia entre la canalización de abastecimiento de ese reservatorio y el punto de succión de la motobomba, evitando así, la succión de burbujas de aire.
- 11 - Instale válvulas de retención en la tubería de descarga cada 20 mca (desnivel más pérdidas de carga) de acuerdo con NB-92/80.
- 12 - Nunca reduzca los diámetros de las tuberías de succión y descarga de la motobomba. **Utilice siempre canalización con diámetro igual o mayor al de la motobomba.** Los diámetros orientativos de las tuberías deben ser compatibles con el caudal deseado de acuerdo con la tabla abajo:

Caudal (m ³ /h)		0 a 1	1 a 2	2 a 4	4 a 8	8 a 15	15 a 30	30 a 60	60 a 120	120 a 200
Diámetro	Pulgadas	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5
	Milímetros	25	32	40	50	60	75	85	110	140

Importante:

- 1 - Toda **motobomba**, al ser instalada sobre el **techo de residencias o edificaciones, deberá contener protección impermeable contra posibles escapes** a lo largo de su uso, en el período de garantía o fuera del mismo.
- 2 - En el bombeo de agua caliente con temperaturas **superiores a 70°C es obligatorio solicitar la motobomba con impulsor en Bronce y sello mecánico en Viton o EPDM**. En estos casos, la instalación hidráulica debe seguir las determinaciones de las normas brasileñas, tales como: NBR 7198 (Instalaciones de Agua Caliente en Edificios), NBR 2352 (Instalaciones de Calentamiento Solares en Edificios), NR 13 Anexo I-A (Calderas de Presión), entre otras.
- 3 - No recomendamos utilizar motobombas en hierro fundido en los sistemas de recirculación de agua caliente dotados de calentador(es).
- 4 - Si el equipo, después de haber funcionado un determinado tiempo, queda un periodo sin ser usado, cuando sea colocado en funcionamiento otra vez, recomendamos accionar el motor por algunos segundos, para ver si el eje del mismo gira libremente. Entonces dejar la motobomba funcionando algunos minutos haciendo el bombeo del agua hacia afuera del reservatorio.
- 5 - En el caso de almacenaje del equipo (antes de ser instalado), recomendamos guardarlo en lugar seco. Además, mover manualmente y periódicamente el eje del motor (o del eje libre).

Nota:

- Las Tablas 01 y 02 se basan en la norma NBR 5410.
- Si el voltaje utilizado es diferente de los presentados en las tablas, consulte un profesional o la Concesionaria de Energía de su ciudad.

Esquema de Conexión Eléctrica

1) **Motores Monofásicos:** seguir el esquema mostrado en la Figura 2.

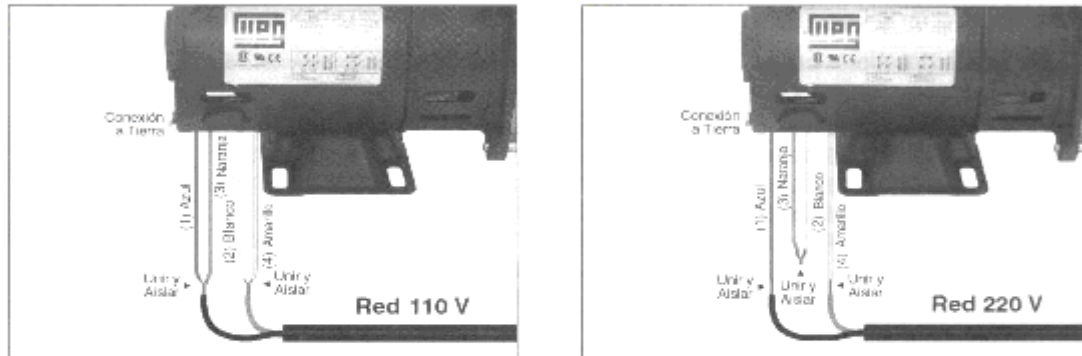


Figura 2 - Esquema de conexión de los motores monofásicos

2) **Motores Trifásicos:** seguir el esquema propuesto en la placa de identificación del motor. Observar instrucción contenida en el punto C-5.

Observaciones:

- Para motores con potencias a partir de 7,5 cv recomendamos arranque estrella - triángulo ($Y\Delta$) o conforme normas de la Concesionaria de Energía Local.
- Siempre que tenga dudas en la instalación eléctrica del motor o en la comprensión de las tablas y esquemas presentados, consulte un técnico especializado en el tema, o póngase en contacto con los Servicios Especializados.

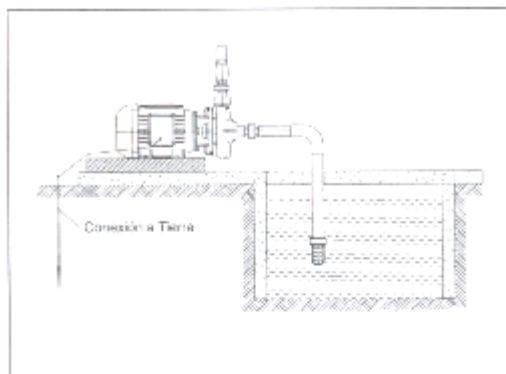
D-4) Motobomba Centrífuga con Impulsor Semi Abierto MSA Schneider

Figura 7a - Instalación Motobomba MSA

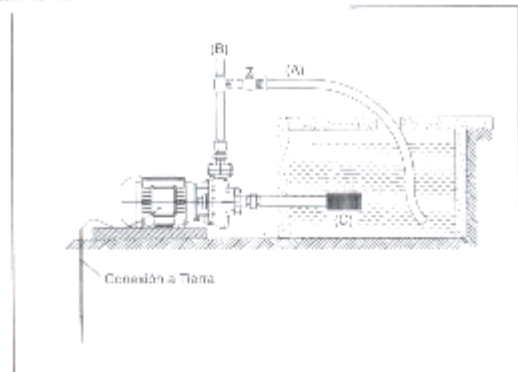


Figura 7b - Instalación con succión positiva Motobomba MSA

- Las motobombas MSA se destinan al bombeo de líquido con pequeñas partículas en suspensión, no abrasivas, en un diámetro máximo de 4 mm. La proporción máxima es del 20% en volumen de líquido bombeado y peso específico hasta $1g/cm^3$. En estas situaciones, instalar la motobomba conforme **Figura 7b**. Para bombeo de agua exenta de sólidos, instalarla conforme **Figura 7a**.
- Para un perfecto funcionamiento de la motobomba, cuando bombee agua con sólidos en suspensión (**Figura 7b**), recomendamos colocar un Te en el bocal de descarga: en una de las extremidades, conectar una manguera (A) acoplada a un registro, direccionándola de vuelta al lugar de succión para mezclar las partículas al líquido a ser bombeado, y, en la otra, la tubería de descarga (B). Cuidar para que la manguera de recirculación quede alejada del tubo de succión, evitando de esta manera la formación de burbujas de aire. Instale, también, un pre filtro (tipo cesto) (C) en la succión, a fin de impedir el pasaje de sólidos de diámetros mayores que 4 mm.
- En el caso de intervalos mayores entre un funcionamiento y otro, para evitar daños en función de la sedimentación de las partículas, recomendamos colocar la motobomba para bombeo de agua limpia.
- La viscosidad del líquido no podrá sobrepasar 500 SSU o 100 Ct (similar al aceite SAE 40).
- Para bombeo de agua con material abrasivo, consultar los Servicios Especializados.

Proceda de la siguiente forma para verificar la correcta alineación:

- 1 - Para verificar la alineación radial utilice una regla metálica conforme Figura 17. Instale la regla en el acoplamiento en su sentido longitudinal y vea si no existe pasaje de luz entre la regla y el acoplamiento. El espacio máximo admisible es 0,2 mm.
Para alinear el conjunto, si es necesario, suelte los tornillos que fijan el motor en la base y calce el mismo. Después de apretar los tornillos de fijación del motor en la base, verifique nuevamente la alineación.
- 2 - Utilizando un calibrador de láminas, verifique el espacio axial del acoplamiento de 90 en 90 grados, conforme Figura 17.

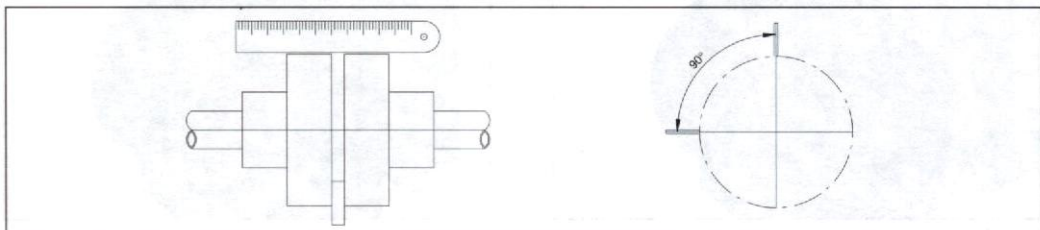


Figura 17 - Verificación de los espacios - axial y radial en el acoplamiento

Un reloj comparador (Figura 18) también puede ser usado para verificar la alineación. Proceda de la siguiente manera:

- 1 - Marque una línea de referencia en los guantes de acoplamiento conforme Figura 18.
- 2 - Ponga el reloj comparador en cero.
- 3 - Muy despacio, gire los dos guantes de acoplamiento simultáneamente.
- 4 - Haga la lectura en el reloj para determinar si la bomba y el motor necesitan algún ajuste en su alineación.

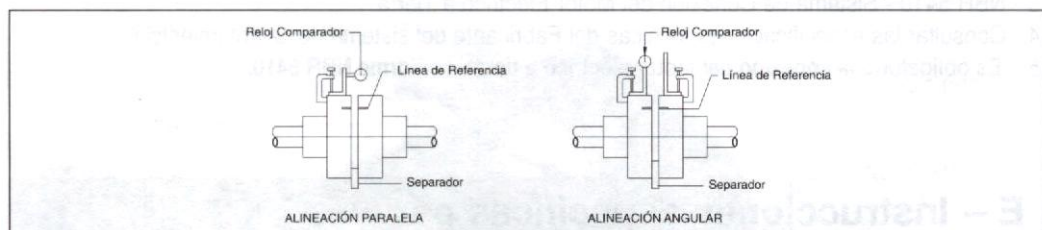


Figura 18 - Alineación del acoplamiento usando reloj comparador

E-2) Mantenimiento de los Ejes Libres

- 1 - Los ejes libres de las bombas ya salen de Fábrica lubricados con aceite o betún (dependiendo del modelo).
- 2 - El aceite y betún más indicados para los ejes libres de los rolamientos son los de la línea industrial. **Los aceites pueden ser del tipo SAE 30 o 40, y el betún debe ser "GraxAzul" (Sulfato de Molibdenio) con punto de gota de 170°C.**
- 3 - En los cambios y lubricaciones use solamente aceites y betún nuevos y exentos de impurezas. **Nunca mezcle lubricantes de marcas diferentes.**

Intervalo para Lubricación

- 1 - En los ejes libres lubricados a betún, para uso diario de hasta 8 horas de trabajo, el cambio deberá ser hecho siempre cada 6000 horas de uso efectivo o 1 año, lo que suceda primero. Para uso diario continuo de 24 horas, los intervalos de cambio deben ser cada 1000 horas. Estos valores son válidos para temperaturas de trabajo de los rolamientos inferiores a 70°C. Arriba de esta temperatura, a cada aumento de 15°C es necesario que el intervalo de lubricación sea disminuído por la mitad.
- 2 - En los ejes libres lubricados con aceite, el intervalo de cambio es diferente de acuerdo con el volumen de aceite y las condiciones de utilización. Normalmente, en los casos en que la temperatura de trabajo es inferior a 50°C con buenas condiciones ambientales y poca suciedad, cambios anuales son suficientes. Sin embargo, en los casos en que la temperatura del aceite alcanza niveles de 100°C, el intervalo de cambio pasa a ser cada 3 meses o menos. Todavía, en los casos en que haya penetración de humedad, el intervalo para cambio debe ser más reducido.

Procedimiento para Lubricación

- 1 - Los ejes libres a betún deberán ser desensamblados para limpieza antes de cada lubricación. Usar queroseno para retirar todo el lubricante viejo de los rolamientos y del interior del eje libre. No utilice pincel o trapo, pues los hilos pueden provocar daños al rolamiento. Después de efectuada la limpieza, proceda de la siguiente manera para lubricar:
 - a) Llene la superficie de la pista del rolamiento con betún;
 - b) Encaje el rolamiento en el eje y, posteriormente, en el eje libre;
 - c) Llenar mitad del espacio vacío que queda en el interior del alojamiento del eje libre con betún.
- 2 - En los ejes libres de aceite proceda de la siguiente manera para lubricar:
 - a) Abra el buje, ubicado en la parte inferior del eje libre, permitiendo que todo el aceite usado escurra afuera del mismo. Después, cierre el buje;
 - b) Adicione el aceite nuevo por el orificio superior hasta llegar a la indicación de nivel de la varilla.

Importante:

- La ausencia o exceso de lubricación causan sobrecalentamiento y aceleran el desgaste del equipo.
- Tratándose de eje libre lubricado con aceite, siempre que se opere el equipo, observe antes el nivel de aceite.

F - Defectos más comunes en instalaciones de Bombas y Motobombas y sus causas más probables

1 - Motobomba trabaja pero no hay descarga. Caudal y/o presión nulos o insuficientes

- La tubería de succión y la motobomba no están bien llenas de agua.
- Profundidad de succión elevada (mayor que 8 mca para altitudes a nivel del mar).
- Entrada de aire por la tubería de succión.
- Válvula de pie prensada, parcialmente o totalmente obstruida, o inadecuada.
- Motor con sentido de rotación invertido.
- Altura de descarga mayor que aquella para el cual la motobomba fue proyectada.

Atención en Garantía

Todo producto "**SCHNEIDER**" es garantizado contra eventuales **defectos de fabricación**, conforme plazo contenido en el Sello de Garantía del Producto, que pasa a tener validez a partir de la fecha de emisión de la Factura Comercial de Venta al Consumidor, la cual deberá contener el número de serie del modelo adquirido.

Obs.: En el caso de que haya una segunda llamada en garantía, el tema deberá ser comunicado a la Planta.

La suspensión de la Garantía ofrecida sucederá cuando:

- 1 - Daños causados por uso indebido, contrarios a las instrucciones contenidas en este manual, o uso fuera de la tabla de rendimientos indicada para cada modelo de motobomba y/o potencia del motor (consultar estos datos junto al revendedor).
- 2 - Daños causados por almacenaje y/o manipulación inadecuados, o accidentes de cualquier naturaleza.
- 3 - Violaciones o reparaciones realizadas por personas no autorizadas.
- 4 - Ausencia o adulteración del Sello de Garantía del Producto y/o de la Factura Comercial de Venta al Consumidor.
- 5 - Desgaste natural de las piezas por tiempo de operación.
- 6 - De acuerdo con especificaciones del fabricante del motor, **no habrá garantía del mismo cuando la quema suceder por problemas en la red eléctrica de alimentación:** sobrecarga (caídas u oscilaciones en general de energía), o falta de fase (motores trifásicos): cables conductores mal proyectados; ausencia o falta de dispositivos de protección; conexión equivocada; entrada de agua u objetos extraños en el motor; bloqueo de los rodamientos por exceso de humedad (corrosión).

Importante:

- Entregar la instalación de la motobomba a un profesional experiente en el rango eléctrico e hidráulico.
- La responsabilidad y los gastos con transporte del equipo dañado entre Usuario/Servicio Especializado, o al contrario, son exclusivos del usuario.
- Es indispensable la presentación del manual con el Sello de Garantía del Producto y la Factura Comercial de Venta al Consumidor, para atender la Garantía.

Sello de Garantía del Producto

MOD:ME – BR 1315 11/2CVMON060HZ110/220;NPT					
LIMITES	PRESSAO (MCA)	VAZAO (M3/H)	PROF. INJ. (M)	PRESSAO MAX (MCA)	SERIE
MIN	25	1,5	-	58	07 07307.00020
MAX	55	6,1	-	57	RPM: 3450
BOCAIS	SUCCAO: 1		RECALQUE: 3/4	DIAM. ROTOR: 107 MM	
				RETORNO: -	

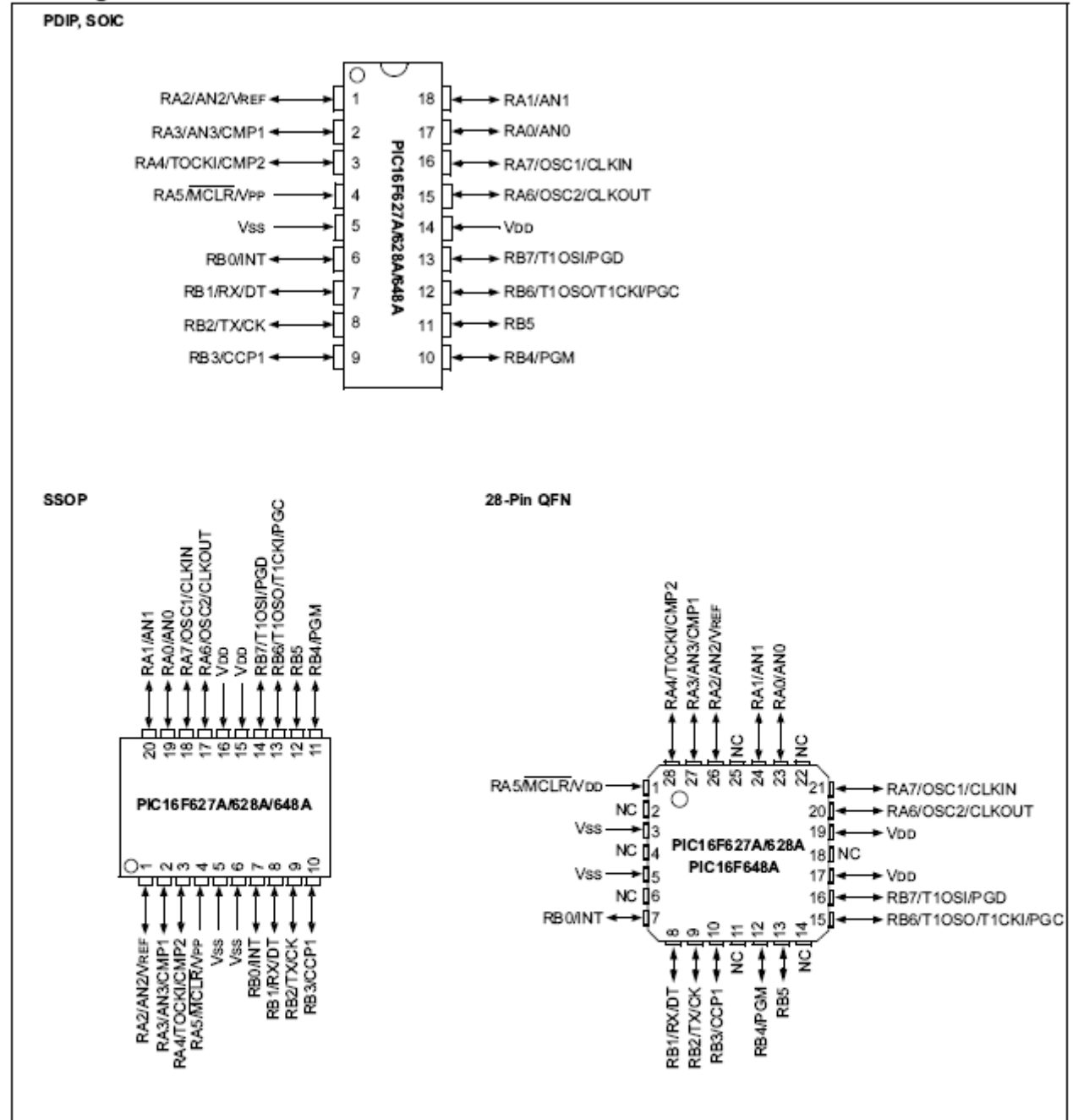
6181-5 5

GARANTIA

(18)

DEZOITO MESES

Pin Diagrams



1.0 GENERAL DESCRIPTION

The PIC16F627A/628A/648A are 18-Pin FLASH-based members of the versatile PIC16CXX family of low cost, high performance, CMOS, fully-static, 8-bit microcontrollers.

All PICmicro® microcontrollers employ an advanced RISC architecture. The PIC16F627A/628A/648A have enhanced core features, eight-level deep stack, and multiple internal and external interrupt sources. The separate instruction and data buses of the Harvard architecture allow a 14-bit wide instruction word with the separate 8-bit wide data. The two-stage instruction pipeline allows all instructions to execute in a single-cycle, except for program branches (which require two cycles). A total of 35 instructions (reduced instruction set) are available, complemented by a large register set.

PIC16F627A/628A/648A microcontrollers typically achieve a 2:1 code compression and a 4:1 speed improvement over other 8-bit microcontrollers in their class.

PIC16F627A/628A/648A devices have integrated features to reduce external components, thus reducing system cost, enhancing system reliability and reducing power consumption.

The PIC16F627A/628A/648A has 8 oscillator configurations. The single-pin RC oscillator provides a low cost solution. The LP oscillator minimizes power consumption, XT is a standard crystal, and INTOSC is a self-contained precision two-speed internal oscillator. The

HS is for High-Speed crystals. The EC mode is for an external clock source.

The SLEEP (Power-down) mode offers power savings. Users can wake-up the chip from SLEEP through several external interrupts, internal interrupts and RESETS.

A highly reliable Watchdog Timer with its own on-chip RC oscillator provides protection against software lock-up.

Table 1-1 shows the features of the PIC16F627A/628A/648A mid-range microcontroller families.

A simplified block diagram of the PIC16F627A/628A/648A is shown in Figure 3-1.

The PIC16F627A/628A/648A series fits in applications ranging from battery chargers to low power remote sensors. The FLASH technology makes customizing application programs (detection levels, pulse generation, timers, etc.) extremely fast and convenient. The small footprint packages makes this microcontroller series ideal for all applications with space limitations. Low cost, low power, high performance, ease of use and I/O flexibility make the PIC16F627A/628A/648A very versatile.

1.1 Development Support

The PIC16F627A/628A/648A family is supported by a full-featured macro assembler, a software simulator, an in-circuit emulator, a low cost in-circuit debugger, a low cost development programmer and a full-featured programmer. A Third Party "C" compiler support tool is also available.

TABLE 1-1: PIC16F627A/628A/648A FAMILY OF DEVICES

		PIC16F627A	PIC16F628A	PIC16F648A	PIC16LF627A	PIC16LF628A	PIC16LF648A
Clock	Maximum Frequency of Operation (MHz)	20	20	20	4	4	4
	Memory						
	FLASH Program Memory (words)	1024	2048	4096	1024	2048	4096
	RAM Data Memory (bytes)	224	224	256	224	224	256
	EEPROM Data Memory (bytes)	128	128	256	128	128	256
Peripherals	Timer module(s)	TMR0, TMR1, TMR2	TMR0, TMR1, TMR2	TMR0, TMR1, TMR2	TMR0, TMR1, TMR2	TMR0, TMR1, TMR2	TMR0, TMR1, TMR2
	Comparator(s)	2	2	2	2	2	2
	Capture/Compare/PWM modules	1	1	1	1	1	1
	Serial Communications	USART	USART	USART	USART	USART	USART
	Internal Voltage Reference	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Features	Interrupt Sources	10	10	10	10	10	10
	I/O Pins	16	16	16	16	16	16
	Voltage Range (Volts)	3.0-5.5	3.0-5.5	3.0-5.5	2.0-5.5	2.0-5.5	2.0-5.5
	Brown-out Reset	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
	Packages	18-pin DIP, SOIC, 20-pin SSOP, 28-pin QFN	18-pin DIP, SOIC, 20-pin SSOP, 28-pin QFN	18-pin DIP, SOIC, 20-pin SSOP, 28-pin QFN	18-pin DIP, SOIC, 20-pin SSOP, 28-pin QFN	18-pin DIP, SOIC, 20-pin SSOP, 28-pin QFN	18-pin DIP, SOIC, 20-pin SSOP, 28-pin QFN

All PICmicro® Family devices have Power-on Reset, selectable Watchdog Timer, selectable Code Protect and high I/O current capability. All PIC16F627A/628A/648A Family devices use serial programming with clock pin RB6 and data pin RB7.

TABLE 3-2: PIC16F627A/628A/648A PINOUT DESCRIPTION

Name	Function	Input Type	Output Type	Description
RA0/AN0	RA0	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	AN0	AN	—	Analog comparator input
RA1/AN1	RA1	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	AN1	AN	—	Analog comparator input
RA2/AN2/VREF	RA2	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	AN2	AN	—	Analog comparator input
	VREF	—	AN	VREF output
RA3/AN3/CMP1	RA3	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	AN3	AN	—	Analog comparator input
	CMP1	—	CMOS	Comparator 1 output
RA4/T0CKI/CMP2	RA4	ST	OD	Bi-directional I/O port
	T0CKI	ST	—	Timer0 clock input
	CMP2	—	OD	Comparator 2 output
RA5/MCLR/VPP	RA5	ST	—	Input port
	MCLR	ST	—	Master clear. When configured as MCLR, this pin is an active low RESET to the device. Voltage on MCLR/VPP must not exceed VDD during normal device operation.
	VPP	—	—	Programming voltage input.
RA6/OSC2/CLKOUT	RA6	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	OSC2	—	XTAL	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode.
	CLKOUT	—	CMOS	In RC/INTOSC mode, OSC2 pin can output CLKOUT, which has 1/4 the frequency of OSC1
RA7/OSC1/CLKIN	RA7	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	OSC1	XTAL	—	Oscillator crystal input
	CLKIN	ST	—	External clock source input. RC biasing pin.
RB0/INT	RB0	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Can be software programmed for internal weak pull-up.
	INT	ST	—	External interrupt.
RB1/RX/DT	RB1	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Can be software programmed for internal weak pull-up.
	RX	ST	—	USART receive pin
	DT	ST	CMOS	Synchronous data I/O.
RB2/TX/CK	RB2	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Can be software programmed for internal weak pull-up.
	TX	—	CMOS	USART transmit pin
	CK	ST	CMOS	Synchronous clock I/O.
RB3/CCP1	RB3	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Can be software programmed for internal weak pull-up.
	CCP1	ST	CMOS	Capture/Compare/PWM I/O

Legend: O = Output
 — = Not used
 TTL = TTL Input

CMOS = CMOS Output
 I = Input
 OD = Open Drain Output

P = Power
 ST = Schmitt Trigger Input
 AN = Analog

TABLE 3-2: PIC16F627A/628A/648A PINOUT DESCRIPTION

Name	Function	Input Type	Output Type	Description
RB4/PGM	RB4	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Interrupt-on-pin change. Can be software programmed for internal weak pull-up.
	PGM	ST	—	Low voltage programming input pin. When low voltage programming is enabled, the interrupt-on-pin change and weak pull-up resistor are disabled.
RB5	RB5	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Interrupt-on-pin change. Can be software programmed for internal weak pull-up.
RB6/T1OSO/T1CKI/PGC	RB6	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Interrupt-on-pin change. Can be software programmed for internal weak pull-up.
	T1OSO	—	XTAL	Timer1 oscillator output.
	T1CKI	ST	—	Timer1 clock input.
	PGC	ST	—	ICSP Programming Clock.
RB7/T1OSI/PGD	RB7	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Interrupt-on-pin change. Can be software programmed for internal weak pull-up.
	T1OSI	XTAL	—	Timer1 oscillator input.
	PGD	ST	CMOS	ICSP Data I/O
Vss	Vss	Power	—	Ground reference for logic and I/O pins
VDD	VDD	Power	—	Positive supply for logic and I/O pins

Legend: O = Output
 — = Not used
 TTL = TTL Input

CMOS = CMOS Output
 I = Input
 OD = Open Drain Output

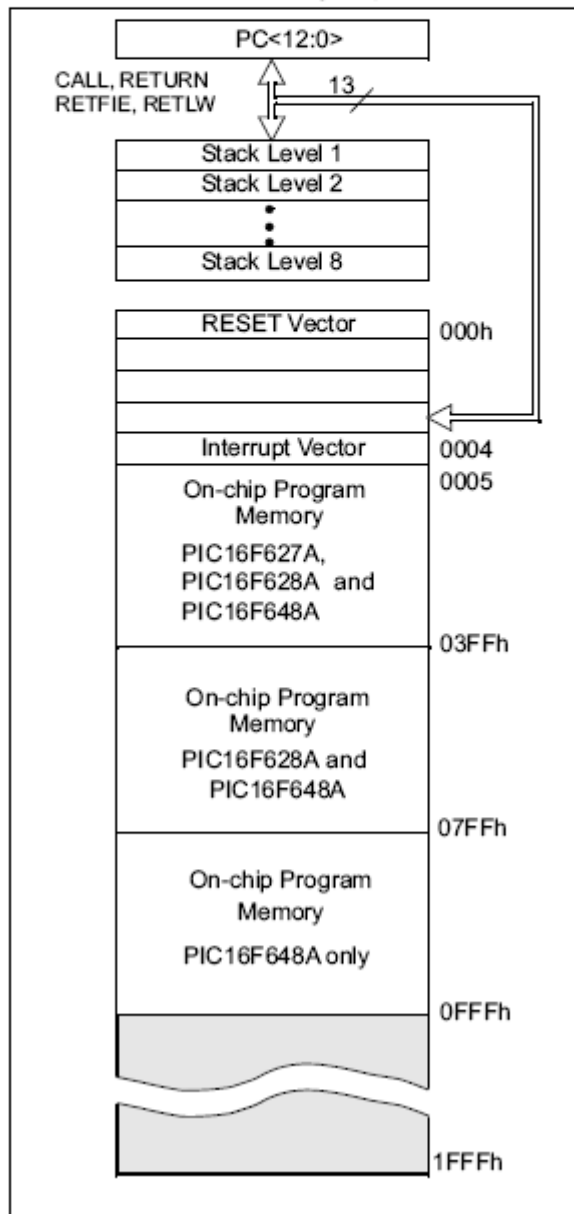
P = Power
 ST = Schmitt Trigger Input
 AN = Analog

4.0 MEMORY ORGANIZATION

4.1 Program Memory Organization

The PIC16F627A/628A/648A has a 13-bit program counter capable of addressing an 8K x 14 program memory space. Only the first 1K x 14 (0000h - 03FFh) for the PIC16F627A, 2K x 14 (0000h - 07FFh) for the PIC16F628A and 4K x 14 (0000h - 0FFFh) for the PIC16F648A are physically implemented. Accessing a location above these boundaries will cause a wrap-around within the first 1K x 14 space (PIC16F627A), 2K x 14 space (PIC16F628A) or 4K x 14 space (PIC16F648A). The RESET vector is at 0000h and the interrupt vector is at 0004h (Figure 4-1).

FIGURE 4-1: PROGRAM MEMORY MAP AND STACK



4.2 Data Memory Organization

The data memory (Figure 4-2 and Figure 4-3) is partitioned into four banks, which contain the general purpose registers and the Special Function Registers (SFR). The SFR's are located in the first 32 locations of each Bank. There are general purpose registers implemented as static RAM in each Bank. Table 4-1 lists the general purpose register available in each of the four banks.

TABLE 4-1: GENERAL PURPOSE STATIC RAM REGISTERS

	PIC16F627A/628A	PIC16F648A
Bank0	20-7Fh	20-7Fh
Bank1	A0h-FF	A0h-FF
Bank2	120h-14Fh, 170h-17Fh	120h-17Fh
Bank3	1F0h-1FFh	1F0h-1FFh

Addresses F0h-FFh, 170h-17Fh and 1F0h-1FFh are implemented as common RAM and mapped back to addresses 70h-7Fh.

Table 4-2 lists how to access the four banks of registers via the STATUS Register bits RP1 and RP0.

TABLE 4-2: ACCESS TO BANKS OF REGISTERS

	RP1	RP0
Bank0	0	0
Bank1	0	1
Bank2	1	0
Bank3	1	1

4.2.1 GENERAL PURPOSE REGISTER FILE

The register file is organized as 224 x 8 in the PIC16F627A/628A and 256 x 8 in the PIC16F648A. Each is accessed either directly or indirectly through the File Select Register (FSR). See Section 4.4.

12.1 USART Baud Rate Generator (BRG)

The BRG supports both the Asynchronous and Synchronous modes of the USART. It is a dedicated 8-bit baud rate generator. The SPBRG register controls the period of a free running 8-bit timer. In Asynchronous mode bit BRGH (TXSTA<2>) also controls the baud rate. In Synchronous mode bit BRGH is ignored. Table 12-1 shows the formula for computation of the baud rate for different USART modes, which only apply in Master mode (internal clock).

Given the desired baud rate and F_{osc} , the nearest integer value for the SPBRG register can be calculated using the formula in Table 12-1. From this, the error in baud rate can be determined.

Example 12-1 shows the calculation of the baud rate error for the following conditions:

F_{osc} = 16 MHz
 Desired Baud Rate = 9600
 BRGH = 0
 SYNC = 0

EXAMPLE 12-1: CALCULATING BAUD RATE ERROR

$$\text{Desired Baud Rate} = \frac{F_{osc}}{64(x+1)}$$

$$9600 = \frac{16000000}{64(x+1)}$$

$$x = 25.042$$

$$\text{Calculated Baud Rate} = \frac{16000000}{64(25+1)} = 9615$$

$$\text{Error} = \frac{(\text{Calculated Baud Rate} - \text{Desired Baud Rate})}{\text{Desired Baud Rate}}$$

$$= \frac{9615 - 9600}{9600} = 0.16\%$$

It may be advantageous to use the high baud rate (BRGH = 1) even for slower baud clocks. This is because the $F_{osc}/(16(X+1))$ equation can reduce the baud rate error in some cases.

Writing a new value to the SPBRG register, causes the BRG timer to be RESET (or cleared), this ensures the BRG does not wait for a timer overflow before outputting the new baud rate.

TABLE 12-1: BAUD RATE FORMULA

SYNC	BRGH = 0 (Low Speed)	BRGH = 1 (High Speed)
0	(Asynchronous) Baud Rate = $F_{osc}/(64(X+1))$	Baud Rate = $F_{osc}/(16(X+1))$
1	(Synchronous) Baud Rate = $F_{osc}/(4(X+1))$	NA

Legend: X = value in SPBRG (0 to 255)

TABLE 12-2: REGISTERS ASSOCIATED WITH BAUD RATE GENERATOR

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on POR	Value on all other RESETS
98h	TXSTA	CSRC	TX9	TXEN	SYNC	—	BRGH	TRMT	TX9D	0000 -010	0000 -010
18h	RCSTA	SPEN	RX9	SREN	CREN	ADEN	FERR	OERR	RX9D	0000 000x	0000 000x
99h	SPBRG	Baud Rate Generator Register								0000 0000	0000 0000

Legend: x = unknown, - = unimplemented read as '0'.
 Shaded cells are not used by the BRG.

TABLE 12-3: BAUD RATES FOR SYNCHRONOUS MODE

BAUD RATE (K)	Fosc = 20 MHz			16 MHz			10 MHz		
	KBAUD	ERROR	SPBRG value (decimal)	KBAUD	ERROR	SPBRG value (decimal)	KBAUD	ERROR	SPBRG value (decimal)
0.3	NA	—	—	NA	—	—	NA	—	—
1.2	NA	—	—	NA	—	—	NA	—	—
2.4	NA	—	—	NA	—	—	NA	—	—
9.6	NA	—	—	NA	—	—	9.766	+1.73%	255
19.2	19.53	+1.73%	255	19.23	+0.16%	207	19.23	+0.16%	129
76.8	76.92	+0.16%	64	76.92	+0.16%	51	75.76	-1.36%	32
96	96.15	+0.16%	51	95.24	-0.79%	41	96.15	+0.16%	25
300	294.1	-1.96	16	307.69	+2.56%	12	312.5	+4.17%	7
500	500	0	9	500	0	7	500	0	4
HIGH	5000	—	0	4000	—	0	2500	—	0
LOW	19.53	—	255	15.625	—	255	9.766	—	255

BAUD RATE (K)	Fosc = 7.15909 MHz			5.0688 MHz			4 MHz		
	KBAUD	ERROR	SPBRG value (decimal)	KBAUD	ERROR	SPBRG value (decimal)	KBAUD	ERROR	SPBRG value (decimal)
0.3	NA	—	—	NA	—	—	NA	—	—
1.2	NA	—	—	NA	—	—	NA	—	—
2.4	NA	—	—	NA	—	—	NA	—	—
9.6	9.622	+0.23%	185	9.6	0	131	9.615	+0.16%	103
19.2	19.24	+0.23%	92	19.2	0	65	19.231	+0.16%	51
76.8	77.82	+1.32	22	79.2	+3.13%	15	75.923	+0.16%	12
96	94.20	-1.88	18	97.48	+1.54%	12	1000	+4.17%	9
300	298.3	-0.57	5	316.8	5.60%	3	NA	—	—
500	NA	—	—	NA	—	—	NA	—	—
HIGH	1789.8	—	0	1267	—	0	100	—	0
LOW	6.991	—	255	4.950	—	255	3.906	—	255

BAUD RATE (K)	Fosc = 3.579545 MHz			1 MHz			32.768 kHz		
	KBAUD	ERROR	SPBRG value (decimal)	KBAUD	ERROR	SPBRG value (decimal)	KBAUD	ERROR	SPBRG value (decimal)
0.3	NA	—	—	NA	—	—	0.303	+1.14%	26
1.2	NA	—	—	1.202	+0.16%	207	1.170	-2.48%	6
2.4	NA	—	—	2.404	+0.16%	103	NA	—	—
9.6	9.622	+0.23%	92	9.615	+0.16%	25	NA	—	—
19.2	19.04	-0.83%	46	19.24	+0.16%	12	NA	—	—
76.8	74.57	-2.90%	11	83.34	+8.51%	2	NA	—	—
96	99.43	+3.57%	8	NA	—	—	NA	—	—
300	298.3	0.57%	2	NA	—	—	NA	—	—
500	NA	—	—	NA	—	—	—	—	—
HIGH	894.9	—	0	250	—	0	8.192	—	0
LOW	3.496	—	255	0.9766	—	255	0.032	—	255

The data on the RB1/RX/DT pin is sampled three times by a majority detect circuit to determine if a high or a low level is present at the RX pin. If bit BRGH (TXSTA<2>) is clear (i.e., at the low baud rates), the sampling is done on the seventh, eighth and ninth falling edges of a x16 clock (Figure 12-3). If bit BRGH is set (i.e., at the high baud rates), the sampling is done on the 3 clock edges preceding the second rising edge after the first falling edge of a x4 clock (Figure 12-4 and Figure 12-5).

FIGURE 12-1: RX PIN SAMPLING SCHEME. BRGH = 0

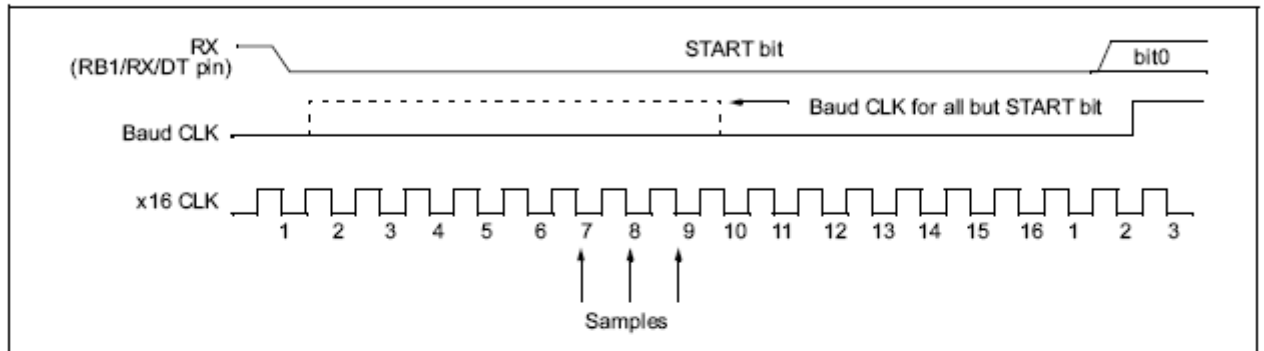


FIGURE 12-2: RX PIN SAMPLING SCHEME, BRGH = 1

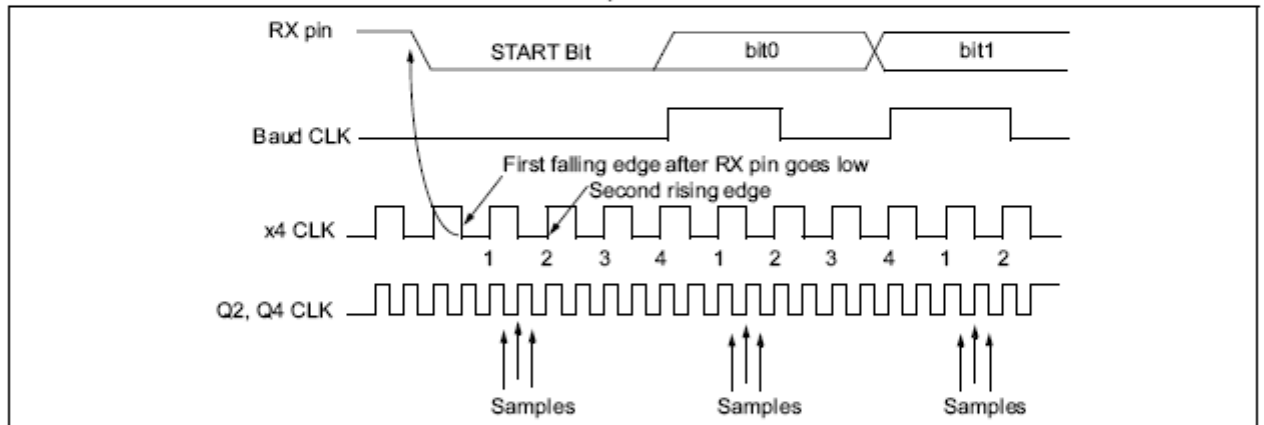
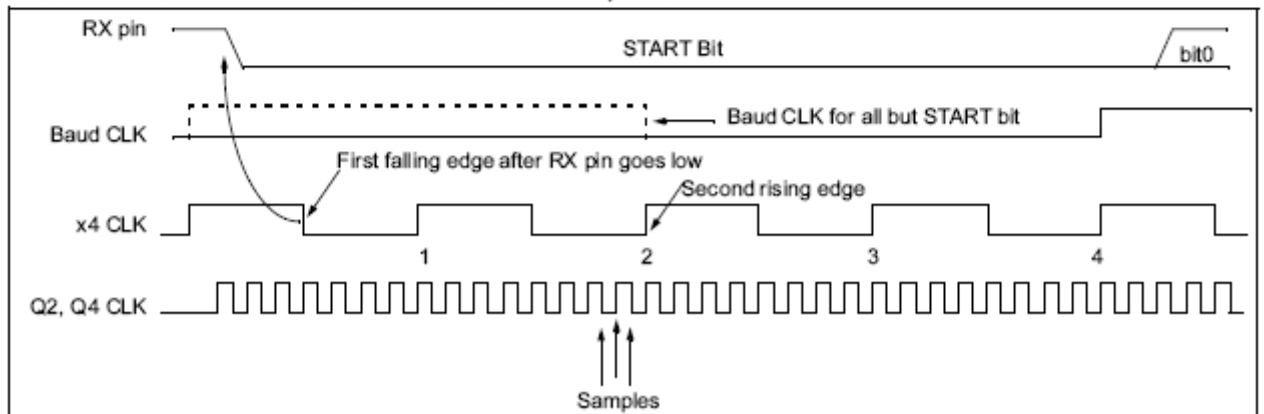


FIGURE 12-3: RX PIN SAMPLING SCHEME, BRGH = 1



12.3 USART Address Detect Function

12.3.1 USART 9-BIT RECEIVER WITH ADDRESS DETECT

When the RX9 bit is set in the RCSTA register, 9 bits are received and the ninth bit is placed in the RX9D bit of the RCSTA register. The USART module has a special provision for multi-processor communication. Multiprocessor communication is enabled by setting the ADEN bit (RCSTA<3>) along with the RX9 bit. The port is now programmed such that when the last bit is received, the contents of the receive shift register (RSR) are transferred to the receive buffer, the ninth bit of the RSR (RSR<8>) is transferred to RX9D, and the receive interrupt is set if and only if RSR<8> = 1. This feature can be used in a multi-processor system as follows:

A master processor intends to transmit a block of data to one of many slaves. It must first send out an address byte that identifies the target slave. An address byte is identified by setting the ninth bit (RSR<8>) to a '1' (instead of a '0' for a data byte). If the ADEN and RX9 bits are set in the slave's RCSTA register, enabling multiprocessor communication, all data bytes will be ignored. However, if the ninth received bit is equal to a '1', indicating that the received byte is an address, the slave will be interrupted and the contents of the RSR register will be transferred into the receive buffer. This allows the slave to be interrupted only by addresses, so that the slave can examine the received byte to see if it is being addressed. The addressed slave will then clear its ADEN bit and prepare to receive data bytes from the master.

When ADEN is enabled (= '1'), all data bytes are ignored. Following the STOP bit, the data will not be loaded into the receive buffer, and no interrupt will occur. If another byte is shifted into the RSR register, the previous data byte will be lost.

The ADEN bit will only take effect when the receiver is configured in 9-bit mode (RX9 = '1'). When ADEN is disabled (= '0'), all data bytes are received and the 9th bit can be used as the parity bit.

The receive block diagram is shown in Figure 12-8.

Reception is enabled by setting bit CREN (RCSTA<4>).

12.3.1.1 Setting up 9-bit mode with Address Detect

Follow these steps when setting up Asynchronous Reception with Address Detect Enabled:

1. TRISB<1> bit needs to be set and TRISB<2> bit cleared in order to configure pins RB2/TX/CK and RB1/RX/DT as the Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter pins.
2. Initialize the SPBRG register for the appropriate baud rate. If a high-speed baud rate is desired, set bit BRGH.
3. Enable asynchronous communication by setting or clearing bit SYNC and setting bit SPEN.
4. If interrupts are desired, then set enable bit RCIE.
5. Set bit RX9 to enable 9-bit reception.
6. Set ADEN to enable address detect.
7. Enable the reception by setting enable bit CREN or SREN.
8. Flag bit RCIF will be set when reception is complete, and an interrupt will be generated if enable bit RCIE was set.
9. Read the 8-bit received data by reading the RCREG register to determine if the device is being addressed.
10. If any error occurred, clear the error by clearing enable bit CREN if it was already set.
11. If the device has been addressed (RSR<8> = '1' with address match enabled), clear the ADEN and RCIF bits to allow data bytes and address bytes to be read into the receive buffer and interrupt the CPU.

TABLE 12-8: REGISTERS ASSOCIATED WITH ASYNCHRONOUS RECEPTION

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on POR	Value on all other RESETS
0Ch	PIR1	EEIF	CMIF	RCIF	TXIF	—	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF	0000 -000	0000 -000
18h	RCSTA	SPEN	RX9	SREN	CREN	ADEN	FERR	OERR	RX9D	0000 000x	0000 000x
1Ah	RCREG	USART Receive data register								0000 0000	0000 0000
8Ch	PIE1	EEIE	CMIE	RCIE	TXIE	—	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE	0000 -000	0000 -000
98h	TXSTA	CSRC	TX9	TXEN	SYNC	—	BRGH	TRMT	TX9D	0000 -010	0000 -010
99h	SPBRG	Baud Rate Generator Register								0000 0000	0000 0000

Legend: x = unknown, - = unimplemented locations read as '0'. Shaded cells are not used for Asynchronous Reception.

12.4 USART Synchronous Master Mode

In Synchronous Master mode, the data is transmitted in a half-duplex manner, (i.e., transmission and reception do not occur at the same time). When transmitting data, the reception is inhibited and vice versa. Synchronous mode is entered by setting bit SYNC (TXSTA<4>). In addition enable bit SPEN (RCSTA<7>) is set in order to configure the RB2/TX/CK and RB1/RX/DT I/O pins to CK (clock) and DT (data) lines respectively. The Master mode indicates that the processor transmits the master clock on the CK line. The Master mode is entered by setting bit CSRC (TXSTA<7>).

12.4.1 USART SYNCHRONOUS MASTER TRANSMISSION

The USART transmitter block diagram is shown in Figure 12-5. The heart of the transmitter is the transmit (serial) shift register (TSR). The shift register obtains its data from the read/write transmit buffer register TXREG. The TXREG register is loaded with data in software. The TSR register is not loaded until the last bit has been transmitted from the previous load. As soon as the last bit is transmitted, the TSR is loaded with new data from the TXREG (if available). Once the TXREG register transfers the data to the TSR register (occurs in one Tcycle), the TXREG is empty and interrupt bit, TXIF (PIR1<4>) is set. The interrupt can be enabled/disabled by setting/clearing enable bit TXIE (PIE1<4>). Flag bit TXIF will be set regardless of the state of enable bit TXIE and cannot be cleared in software. It will RESET only when new data is loaded into the TXREG register. While flag bit TXIF indicates the status of the TXREG register, another bit TRMT (TXSTA<1>) shows the status of the TSR register. TRMT is a read only bit which is set when the TSR is empty. No interrupt logic is tied to this bit, so the user has to poll this bit in order to determine if the TSR register is empty. The TSR is not mapped in data memory so it is not available to the user.

Transmission is enabled by setting enable bit TXEN (TXSTA<5>). The actual transmission will not occur until the TXREG register has been loaded with data. The first data bit will be shifted out on the next available rising edge of the clock on the CK line. Data out is stable around the falling edge of the synchronous clock (Figure 12-12). The transmission can also be started by first loading the TXREG register and then setting bit TXEN (Figure 12-13). This is advantageous when slow baud rates are selected, since the BRG is kept in RESET when bits TXEN, CREN, and SREN are clear. Setting enable bit TXEN will start the BRG, creating a shift clock immediately. Normally when transmission is first started, the TSR register is empty, so a transfer to the TXREG register will result in an immediate transfer to TSR resulting in an empty TXREG. Back-to-back transfers are possible.

Clearing enable bit TXEN, during a transmission, will cause the transmission to be aborted and will RESET the transmitter. The DT and CK pins will revert to hi impedance. If either bit CREN or bit SREN is set, during a transmission, the transmission is aborted and the DT pin reverts to a hi-impedance state (for a reception). The CK pin will remain an output if bit CSRC is set (internal clock). The transmitter logic however is not RESET although it is disconnected from the pins. In order to RESET the transmitter, the user has to clear bit TXEN. If bit SREN is set (to interrupt an on-going transmission and receive a single word), then after the single word is received, bit SREN will be cleared and the serial port will revert back to transmitting since bit TXEN is still set. The DT line will immediately switch from hi-impedance Receive mode to transmit and start driving. To avoid this, bit TXEN should be cleared.

In order to select 9-bit transmission, the TX9 (TXSTA<6>) bit should be set and the ninth bit should be written to bit TX9D (TXSTA<0>). The ninth bit must be written before writing the 8-bit data to the TXREG register. This is because a data write to the TXREG can result in an immediate transfer of the data to the TSR register (if the TSR is empty). If the TSR was empty and the TXREG was written before writing the "new" TX9D, the "present" value of bit TX9D is loaded.

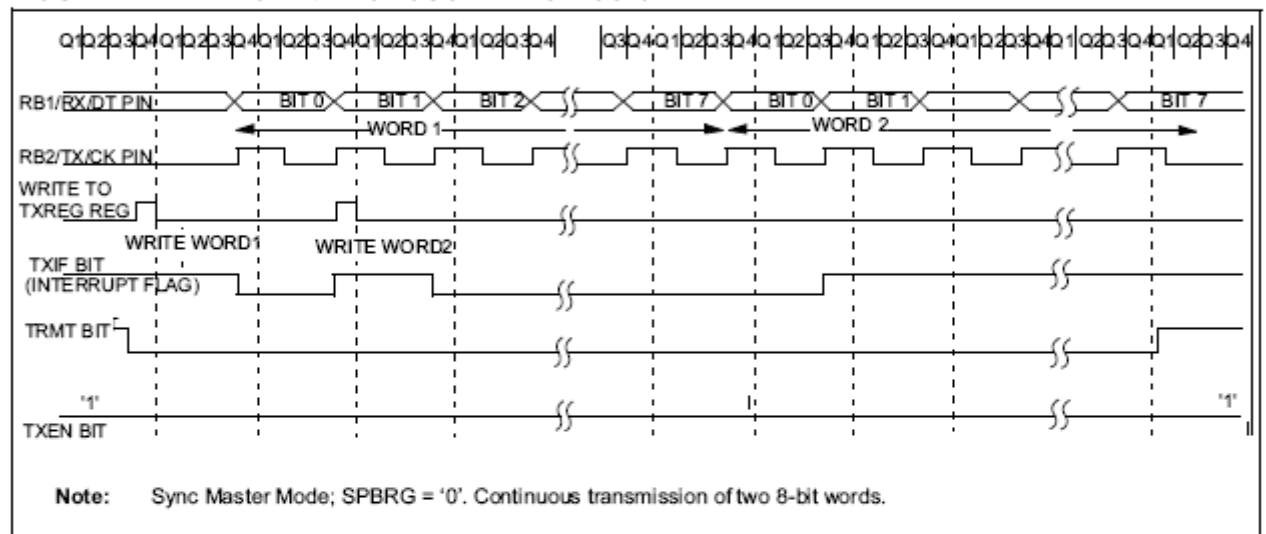
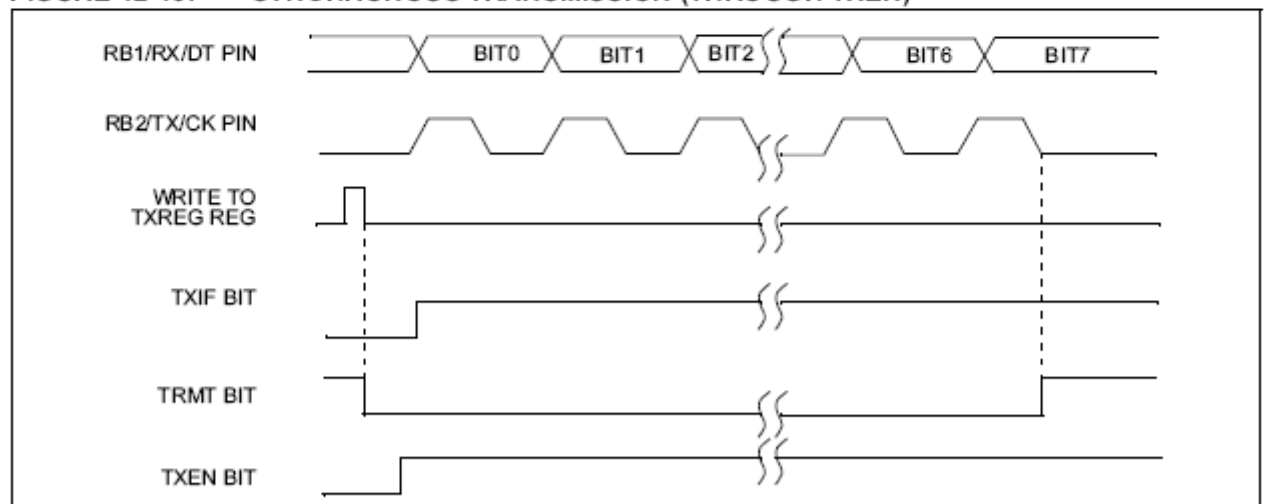
Follow these steps when setting up a Synchronous Master Transmission:

1. TRISB<1> bit needs to be set and TRISB<2> bit cleared in order to configure pins RB2/TX/CK and RB1/RX/DT as the Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter pins.
2. Initialize the SPBRG register for the appropriate baud rate (Section 12.1).
3. Enable the synchronous master serial port by setting bits SYNC, SPEN, and CSRC.
4. If interrupts are desired, then set enable bit TXIE.
5. If 9-bit transmission is desired, then set bit TX9.
6. Enable the transmission by setting bit TXEN.
7. If 9-bit transmission is selected, the ninth bit should be loaded in bit TX9D.
8. Start transmission by loading data to the TXREG register.

TABLE 12-9: REGISTERS ASSOCIATED WITH SYNCHRONOUS MASTER TRANSMISSION

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on POR	Value on all other RESETS
0Ch	PIR1	EEIF	CMIF	RCIF	TXIF	—	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF	0000 -000	0000 -000
18h	RCSTA	SPEN	RX9	SREN	CREN	ADEN	FERR	OERR	RX9D	0000 000x	0000 000x
19h	TXREG	USART Transmit data register								0000 0000	0000 0000
8Ch	PIE1	EEIE	CMIE	RCIE	TXIE	—	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE	0000 -000	0000 -000
98h	TXSTA	CSRC	TX9	TXEN	SYNC	—	BRGH	TRMT	TX9D	0000 -010	0000 -010
99h	SPBRG	Baud Rate Generator Register								0000 0000	0000 0000

Legend: x = unknown, - = unimplemented, read as '0'. Shaded cells are not used for Synchronous Master Transmission.

FIGURE 12-12: SYNCHRONOUS TRANSMISSION**FIGURE 12-13: SYNCHRONOUS TRANSMISSION (THROUGH TXEN)**

12.4.2 USART SYNCHRONOUS MASTER RECEPTION

Once Synchronous mode is selected, reception is enabled by setting either enable bit SREN (RCSTA<5>) or enable bit CREN (RCSTA<4>). Data is sampled on the RB1/RX/DT pin on the falling edge of the clock. If enable bit SREN is set, then only a single word is received. If enable bit CREN is set, the reception is continuous until CREN is cleared. If both bits are set then CREN takes precedence. After clocking the last bit, the received data in the Receive Shift Register (RSR) is transferred to the RCREG register (if it is empty). When the transfer is complete, interrupt flag bit RCIF (PIR1<5>) is set. The actual interrupt can be enabled/disabled by setting/clearing enable bit RCIE (PIE1<5>). Flag bit RCIF is a read only bit which is RESET by the hardware. In this case it is RESET when the RCREG register has been read and is empty. The RCREG is a double buffered register, (i.e., it is a two deep FIFO). It is possible for two bytes of data to be received and transferred to the RCREG FIFO and a third byte to begin shifting into the RSR register. On the clocking of the last bit of the third byte, if the RCREG register is still full then overrun error bit OERR (RCSTA<1>) is set. The word in the RSR will be lost. The RCREG register can be read twice to retrieve the two bytes in the FIFO. Bit OERR has to be cleared in software (by clearing bit CREN). If bit OERR is set, transfers from the RSR to the RCREG are inhibited, so it is essential to clear bit OERR if it is set. The 9th receive bit is buffered the same way as the receive data. Reading the RCREG register, will load bit RX9D

with a new value, therefore it is essential for the user to read the RCSTA register before reading RCREG in order not to lose the old RX9D information.

Follow these steps when setting up a Synchronous Master Reception:

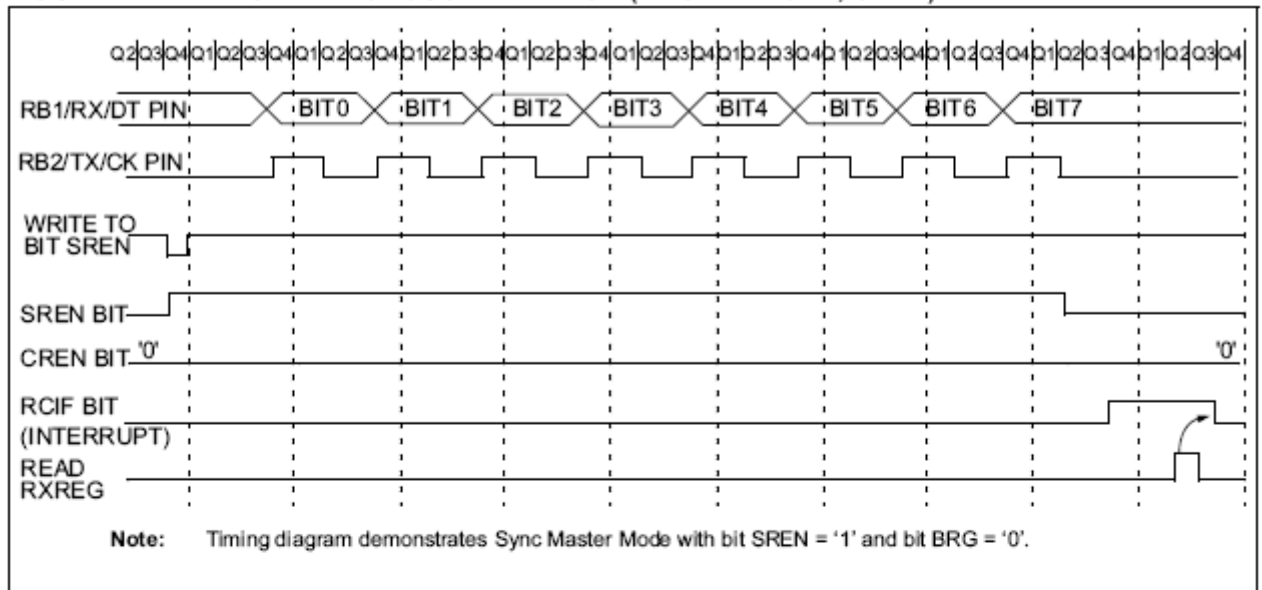
1. TRISB<1> bit needs to be set and TRISB<2> bit cleared in order to configure pins RB2/TX/CK and RB1/RX/DT as the Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter pins.
2. Initialize the SPBRG register for the appropriate baud rate. (Section 12.1)
3. Enable the synchronous master serial port by setting bits SYNC, SPEN, and CSRC.
4. Ensure bits CREN and SREN are clear.
5. If interrupts are desired, then set enable bit RCIE.
6. If 9-bit reception is desired, then set bit RX9.
7. If a single reception is required, set bit SREN. For continuous reception set bit CREN.
8. Interrupt flag bit RCIF will be set when reception is complete and an interrupt will be generated if enable bit RCIE was set.
9. Read the RCSTA register to get the ninth bit (if enabled) and determine if any error occurred during reception.
10. Read the 8-bit received data by reading the RCREG register.
11. If any error occurred, clear the error by clearing bit CREN.

TABLE 12-10: REGISTERS ASSOCIATED WITH SYNCHRONOUS MASTER RECEPTION

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR	Value on all other RESETS
0Ch	PIR1	EEIF	CMIF	RCIF	TXIF	—	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF	0000 -000	0000 -000
18h	RCSTA	SPEN	RX9	SREN	CREN	ADEN	FERR	OERR	RX9D	0000 000x	0000 000x
1Ah	RCREG	USART Receive data register								0000 0000	0000 0000
8Ch	PIE1	EEPIE	CMIE	RCIE	TXIE	—	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE	-000 0000	-000 -000
98h	TXSTA	CSRC	TX9	TXEN	SYNC	—	BRGH	TRMT	TX9D	0000 -010	0000 -010
99h	SPBRG	Baud Rate Generator Register								0000 0000	0000 0000

Legend: x = unknown, - = unimplemented read as '0'. Shaded cells are not used for Synchronous Master Reception.

FIGURE 12-14: SYNCHRONOUS RECEPTION (MASTER MODE, SREN)



12.5 USART Synchronous Slave Mode

Synchronous Slave mode differs from the Master mode in the fact that the shift clock is supplied externally at the RB2/TX/CK pin (instead of being supplied internally in Master mode). This allows the device to transfer or receive data while in SLEEP mode. Slave mode is entered by clearing bit CSRC (TXSTA<7>).

12.5.1 USART SYNCHRONOUS SLAVE TRANSMIT

The operation of the synchronous Master and Slave modes are identical except in the case of the SLEEP mode.

If two words are written to the TXREG and then the SLEEP instruction is executed, the following will occur:

- The first word will immediately transfer to the TSR register and transmit.
- The second word will remain in TXREG register.
- Flag bit TXIF will not be set.
- When the first word has been shifted out of TSR, the TXREG register will transfer the second word to the TSR and flag bit TXIF will now be set.
- If enable bit TXIE is set, the interrupt will wake the chip from SLEEP and if the global interrupt is enabled, the program will branch to the interrupt vector (0004h).

Follow these steps when setting up a Synchronous Slave Transmission:

- TRISB<1> bit needs to be set and TRISB<2> bit cleared in order to configure pins RB2/TX/CK and RB1/RX/DT as the Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter pins.
- Enable the synchronous slave serial port by setting bits SYNC and SPEN and clearing bit CSRC.
- Clear bits CREN and SREN.
- If interrupts are desired, then set enable bit TXIE.
- If 9-bit transmission is desired, then set bit TX9.
- Enable the transmission by setting enable bit TXEN.
- If 9-bit transmission is selected, the ninth bit should be loaded in bit TX9D.
- Start transmission by loading data to the TXREG register.



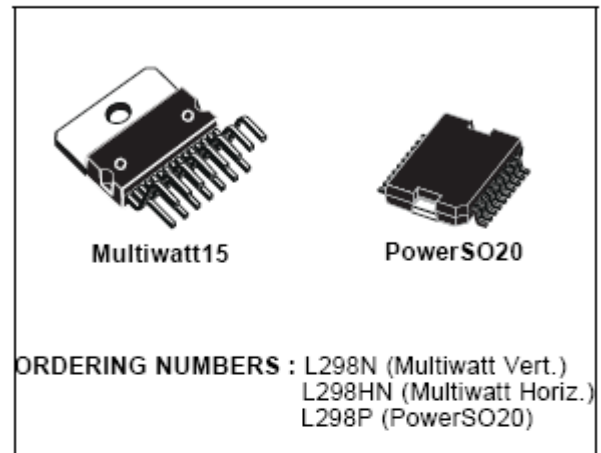
L298

DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

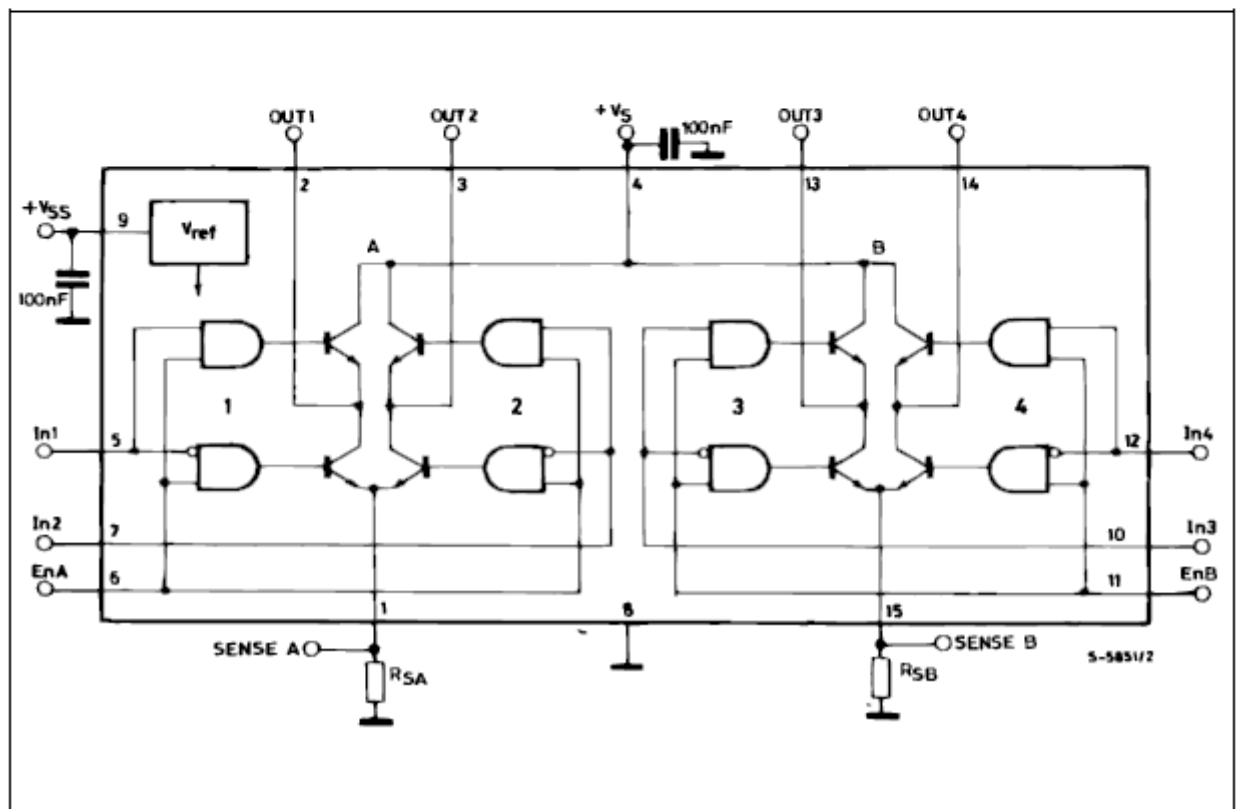
DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the con-



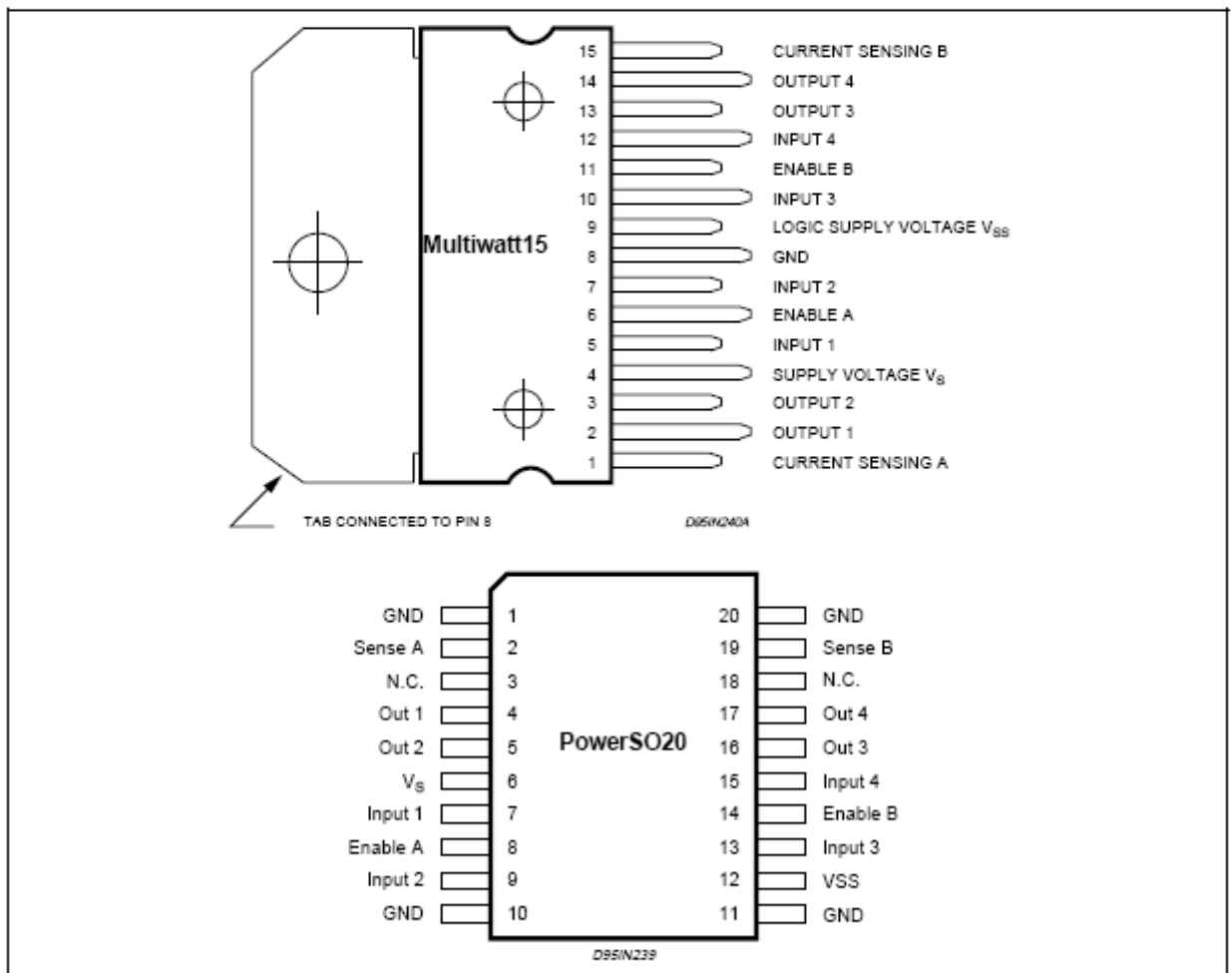
nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

BLOCK DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Power Supply	50	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage	7	V
V_I, V_{en}	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
I_O	Peak Output Current (each Channel)		
	- Non Repetitive ($t = 100\mu s$)	3	A
	- Repetitive (80% on -20% off; $t_{on} = 10ms$)	2.5	A
	-DC Operation	2	A
V_{sens}	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
P_{tot}	Total Power Dissipation ($T_{case} = 75^\circ C$)	25	W
T_{op}	Junction Operating Temperature	-25 to 130	$^\circ C$
T_{stg}, T_J	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	$^\circ C$

PIN CONNECTIONS (top view)**THERMAL DATA**

Symbol	Parameter	PowerSO20	Multiwatt15	Unit
$R_{th(j-case)}$	Thermal Resistance Junction-case	Max.	3	$^\circ C/W$
$R_{th(j-amb)}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max.	35	$^\circ C/W$

(*) Mounted on aluminum substrate

PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

MW.15	PowerSO	Name	Function
1;15	2;19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
2;3	4;5	Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	V _S	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5;7	7;9	Input 1; Input 2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
6;11	8;14	Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1,10,11,20	GND	Ground.
9	12	V _{SS}	Supply Voltage for the Logic Blocks. A100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10; 12	13;15	Input 3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13; 14	16;17	Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
–	3;18	N.C.	Not Connected

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_S = 42V; V_{SS} = 5V, T_j = 25°C; unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
V _S	Supply Voltage (pin 4)	Operative Condition	V _{IH} +2.5		46	V	
V _{SS}	Logic Supply Voltage (pin 9)		4.5	5	7	V	
I _S	Quiescent Supply Current (pin 4)	V _{en} = H; I _L = 0	V _I = L		13	22	mA
			V _I = H		50	70	mA
		V _{en} = L	V _I = X			4	mA
I _{SS}	Quiescent Current from V _{SS} (pin 9)	V _{en} = H; I _L = 0	V _I = L		24	36	mA
			V _I = H		7	12	mA
		V _{en} = L	V _I = X			6	mA
V _{IL}	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		-0.3		1.5	V	
V _{IH}	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		2.3		V _{SS}	V	
I _{IL}	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _I = L			-10	μA	
I _{IH}	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V _I = H ≤ V _{SS} -0.6V		30	100	μA	
V _{en} = L	Enable Low Voltage (pins 6, 11)		-0.3		1.5	V	
V _{en} = H	Enable High Voltage (pins 6, 11)		2.3		V _{SS}	V	
I _{en} = L	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = L			-10	μA	
I _{en} = H	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V _{en} = H ≤ V _{SS} -0.6V		30	100	μA	
V _{CEsat (H)}	Source Saturation Voltage	I _L = 1A	0.95	1.35	1.7	V	
		I _L = 2A		2	2.7	V	
V _{CEsat (L)}	Sink Saturation Voltage	I _L = 1A (5)	0.85	1.2	1.6	V	
		I _L = 2A (5)		1.7	2.3	V	
V _{CEsat}	Total Drop	I _L = 1A (5)	1.80		3.2	V	
		I _L = 2A (5)			4.9	V	
V _{sens}	Sensing Voltage (pins 1, 15)		-1 (1)		2	V	

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$T_1 (V_i)$	Source Current Turn-off Delay	$0.5 V_i$ to $0.9 I_L$ (2); (4)		1.5		μs
$T_2 (V_i)$	Source Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (2); (4)		0.2		μs
$T_3 (V_i)$	Source Current Turn-on Delay	$0.5 V_i$ to $0.1 I_L$ (2); (4)		2		μs
$T_4 (V_i)$	Source Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (2); (4)		0.7		μs
$T_5 (V_i)$	Sink Current Turn-off Delay	$0.5 V_i$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		0.7		μs
$T_6 (V_i)$	Sink Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (3); (4)		0.25		μs
$T_7 (V_i)$	Sink Current Turn-on Delay	$0.5 V_i$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		1.6		μs
$T_8 (V_i)$	Sink Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		0.2		μs
$f_c (V_i)$	Commutation Frequency	$I_L = 2\text{A}$		25	40	KHz
$T_1 (V_{en})$	Source Current Turn-off Delay	$0.5 V_{en}$ to $0.9 I_L$ (2); (4)		3		μs
$T_2 (V_{en})$	Source Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (2); (4)		1		μs
$T_3 (V_{en})$	Source Current Turn-on Delay	$0.5 V_{en}$ to $0.1 I_L$ (2); (4)		0.3		μs
$T_4 (V_{en})$	Source Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (2); (4)		0.4		μs
$T_5 (V_{en})$	Sink Current Turn-off Delay	$0.5 V_{en}$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		2.2		μs
$T_6 (V_{en})$	Sink Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (3); (4)		0.35		μs
$T_7 (V_{en})$	Sink Current Turn-on Delay	$0.5 V_{en}$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		0.25		μs
$T_8 (V_{en})$	Sink Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		0.1		μs

1) Sensing voltage can be -1V for $t \leq 50\text{ }\mu\text{sec}$; in steady state $V_{sens\ min} \geq -0.5\text{V}$.

2) See fig. 2.

3) See fig. 4.

4) The load must be a pure resistor.

Figure 1 : Typical Saturation Voltage vs. Output Current.

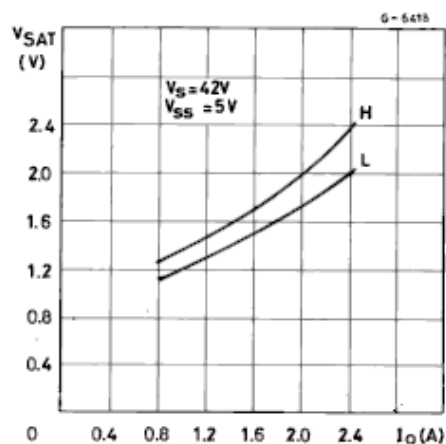
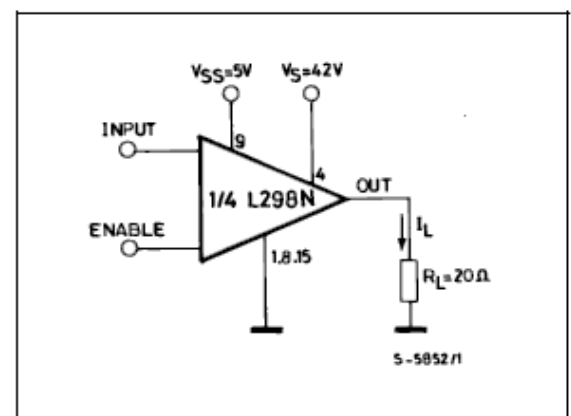


Figure 2 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT Switching, set EN = H
For ENABLE Switching, set IN = H

Figure 3 : Source Current Delay Times vs. Input or Enable Switching.

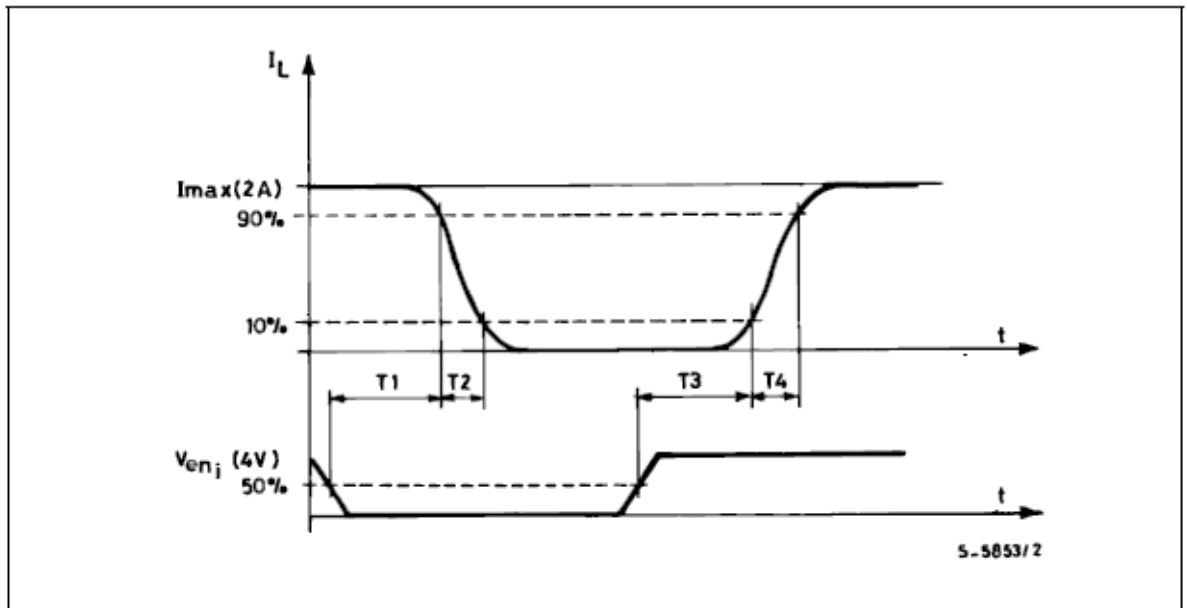
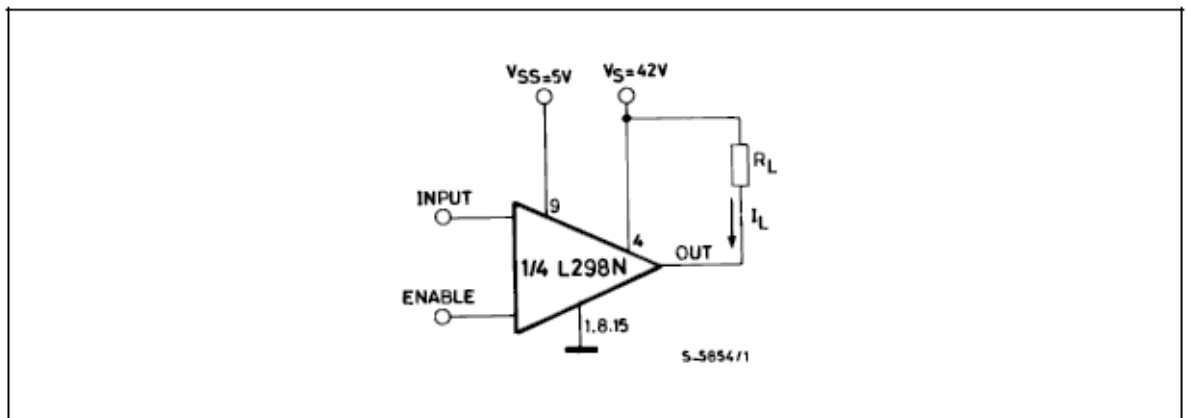


Figure 4 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT Switching, set EN = H
 For ENABLE Switching, set IN = L

Figure 5 : Sink Current Delay Times vs. Input 0 V Enable Switching.

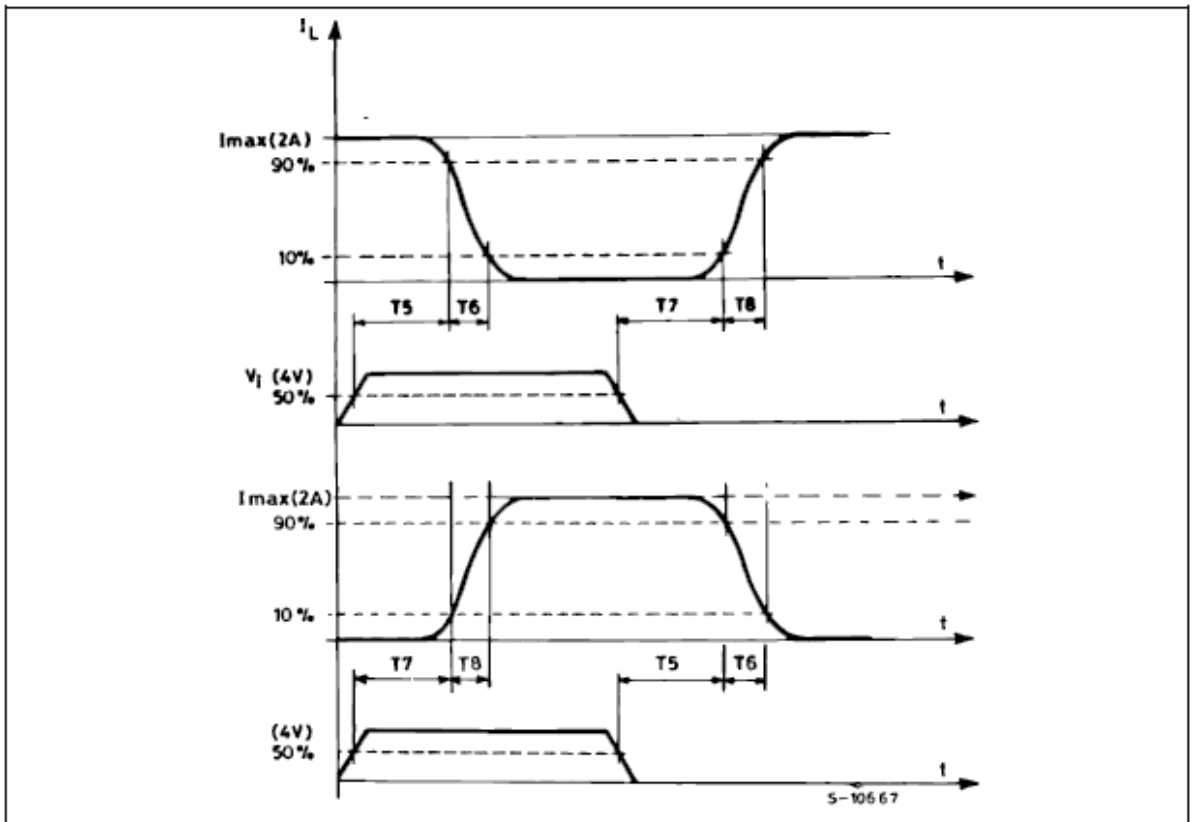


Figure 6 : Bidirectional DC Motor Control.

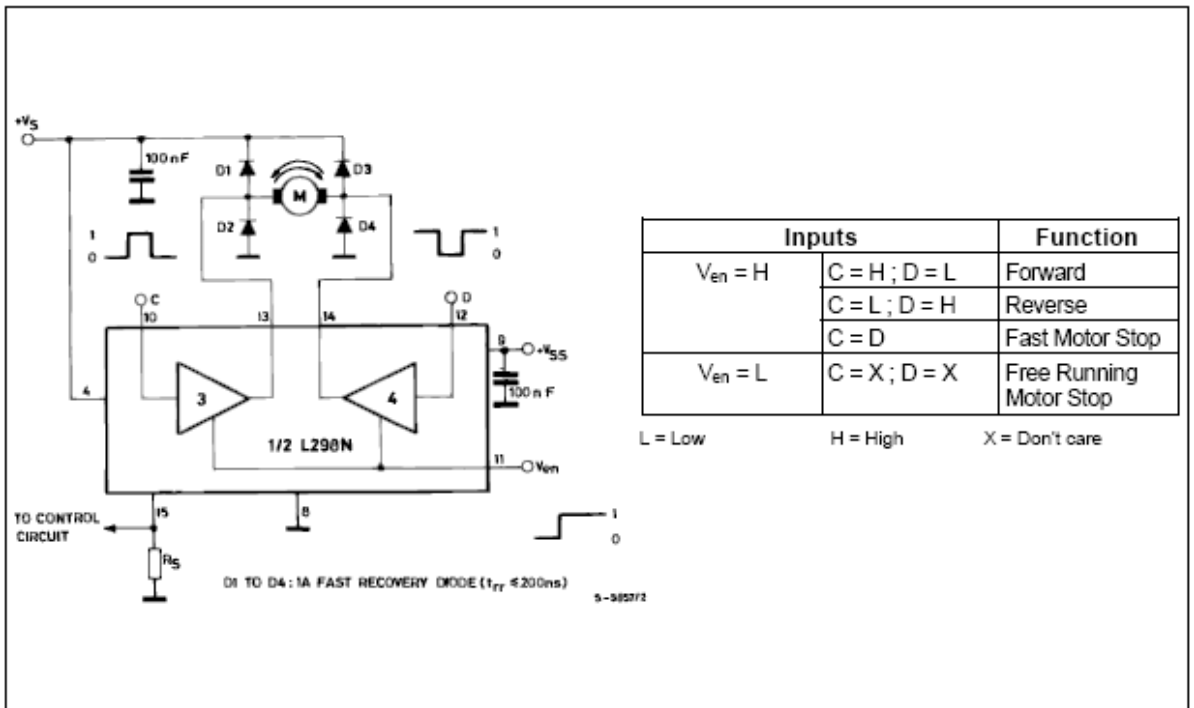
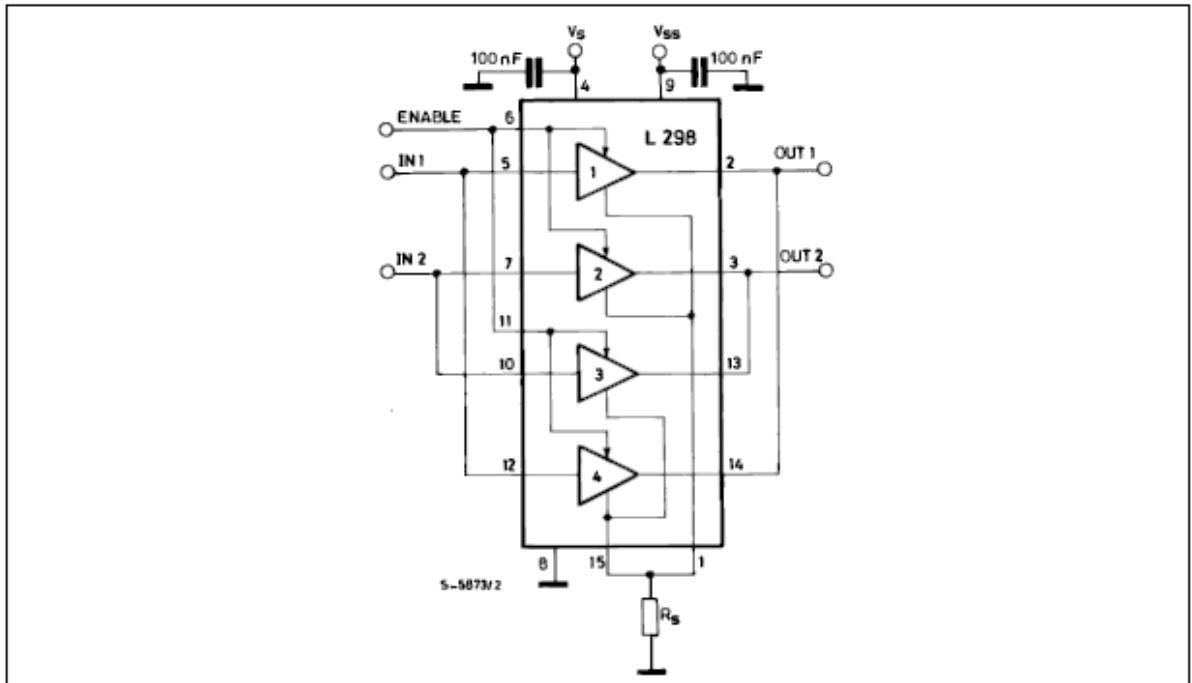


Figure 7 : For higher currents, outputs can be paralleled. Take care to parallel channel 1 with channel 4 and channel 2 with channel 3.



APPLICATION INFORMATION (Refer to the block diagram)

1.1. POWER OUTPUT STAGE

The L298 integrates two power output stages (A ; B). The power output stage is a bridge configuration and its outputs can drive an inductive load in common or differential mode, depending on the state of the inputs. The current that flows through the load comes out from the bridge at the sense output : an external resistor (R_{SA} ; R_{SB} .) allows to detect the intensity of this current.

1.2. INPUT STAGE

Each bridge is driven by means of four gates the input of which are In1 ; In2 ; EnA and In3 ; In4 ; EnB. The In inputs set the bridge state when The En input is high ; a low state of the En input inhibits the bridge. All the inputs are TTL compatible.

2. SUGGESTIONS

A non inductive capacitor, usually of 100 nF, must be foreseen between both V_S and V_{SS} , to ground, as near as possible to GND pin. When the large capacitor of the power supply is too far from the IC, a second smaller one must be foreseen near the L298.

The sense resistor, not of a wire wound type, must be grounded near the negative pole of V_S that must be near the GND pin of the I.C.

Each input must be connected to the source of the driving signals by means of a very short path.

Turn-On and Turn-Off : Before to Turn-ON the Supply Voltage and before to Turn it OFF, the Enable input must be driven to the Low state.

3. APPLICATIONS

Fig 6 shows a bidirectional DC motor control Schematic Diagram for which only one bridge is needed. The external bridge of diodes D1 to D4 is made by four fast recovery elements ($t_{tr} \leq 200$ nsec) that must be chosen of a VF as low as possible at the worst case of the load current.

The sense output voltage can be used to control the current amplitude by chopping the inputs, or to provide overcurrent protection by switching low the enable input.

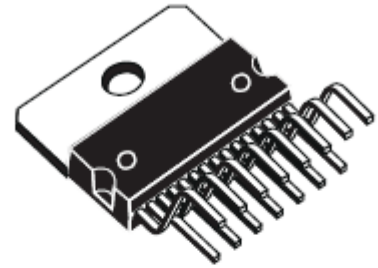
The brake function (Fast motor stop) requires that the Absolute Maximum Rating of 2 Amps must never be overcome.

When the repetitive peak current needed from the load is higher than 2 Amps, a paralleled configuration can be chosen (See Fig.7).

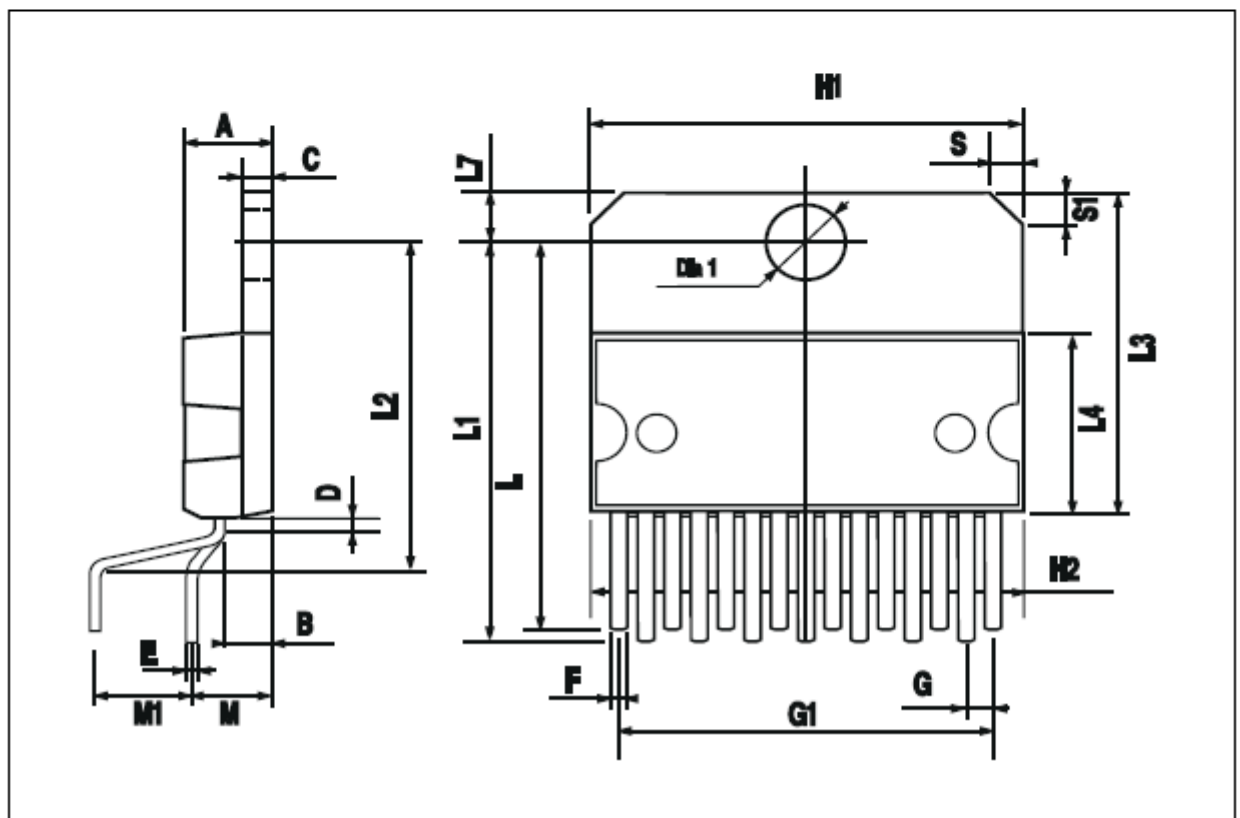
An external bridge of diodes are required when inductive loads are driven and when the inputs of the IC are chopped ; Schottky diodes would be preferred.

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			5			0.197
B			2.65			0.104
C			1.6			0.063
D		1			0.039	
E	0.49		0.55	0.019		0.022
F	0.66		0.75	0.026		0.030
G	1.02	1.27	1.52	0.040	0.050	0.060
G1	17.53	17.78	18.03	0.690	0.700	0.710
H1	19.6			0.772		
H2			20.2			0.795
L	21.9	22.2	22.5	0.862	0.874	0.886
L1	21.7	22.1	22.5	0.854	0.870	0.886
L2	17.65		18.1	0.695		0.713
L3	17.25	17.5	17.75	0.679	0.689	0.699
L4	10.3	10.7	10.9	0.406	0.421	0.429
L7	2.65		2.9	0.104		0.114
M	4.25	4.55	4.85	0.167	0.179	0.191
M1	4.63	5.08	5.53	0.182	0.200	0.218
S	1.9		2.6	0.075		0.102
S1	1.9		2.6	0.075		0.102
Dia1	3.65		3.85	0.144		0.152

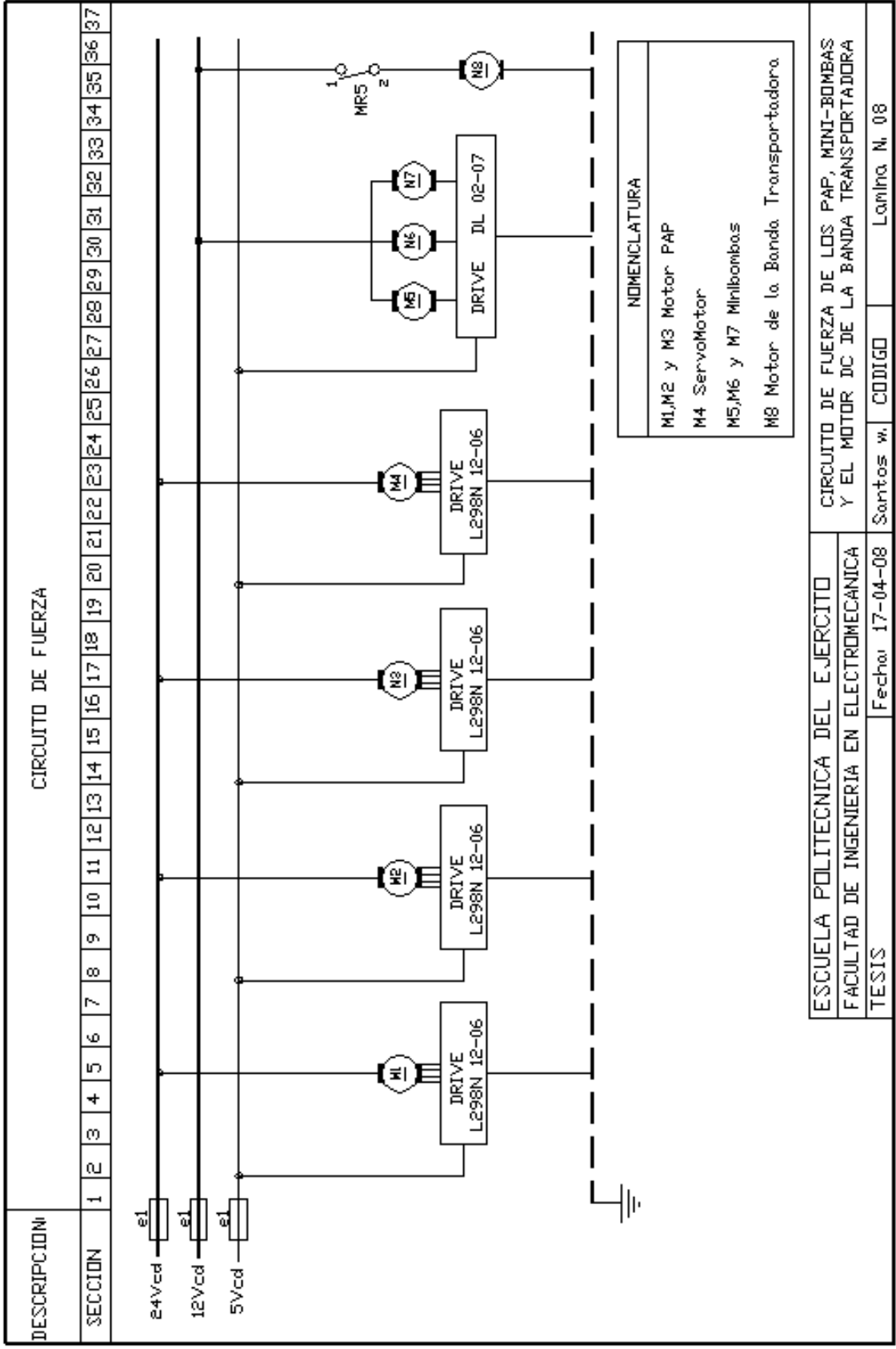
OUTLINE AND MECHANICAL DATA



Multiwatt15 V

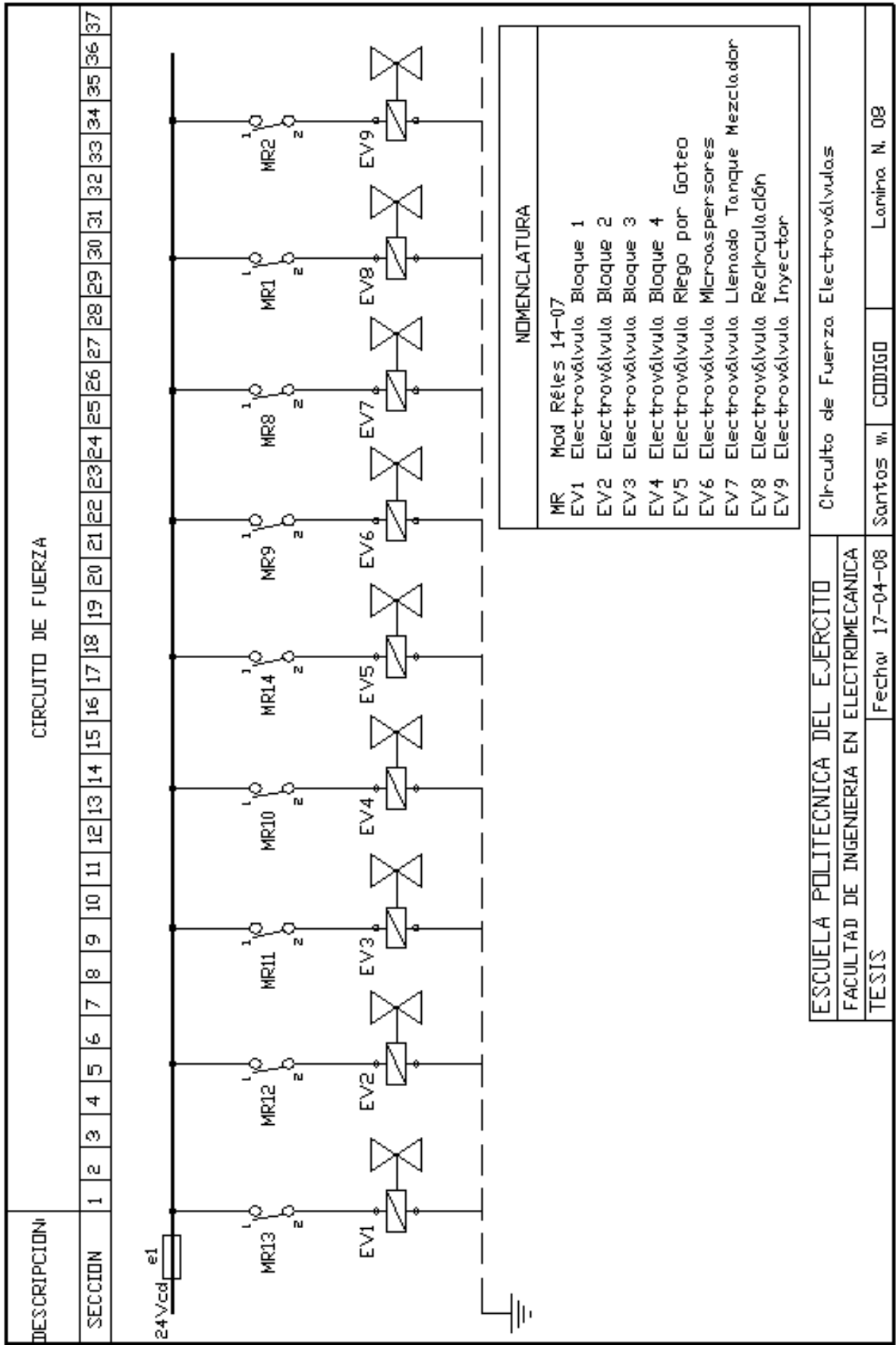


DESCRIPCIÓN	CIRCUITO DE FUERZA																CIRCUITO DE MANDO																				
SECCION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
	<p>The diagram shows a three-phase power supply with lines L1 and L2. A circuit breaker (FI) is connected to the supply, and a fuse (C2) is connected to the motor (M).</p>																<p>The diagram shows a power source L1 with terminal e1. A fuse C1 is connected to the source, followed by a switch P1 with terminals 3 and 4. The circuit then branches into two parallel paths: one through a relay R4 with terminals 86 and 87, and another through a manual control unit labeled 'Mando Automático' with terminals 13 and 14. Both paths rejoin and pass through a fuse C2 before returning to the power source L2.</p>																				
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTROMECÁNICA TESIS	Circuito de fuerza y mando de la bomba de inyección o mezcla.																Sartos #. CODIGO Laminas N. 03																				



DESCRIPCION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37				
SECCION																																									

ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO	CIRCUITO DE FUERZA DE LOS PAP, MINI-BOMBAS Y EL MOTOR DC DE LA BANDA TRANSPORTADORA
FACULTAD DE INGENIERIA EN ELECTROMECANICA	
TESIS	
Fecha: 17-04-08	Santos w. CODIGO
	Lamina N. 08



ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO
 FACULTAD DE INGENIERIA EN ELECTROMECHANICA
 TESIS

Circuito de Fuerza Electrov6lvulos

Santos w. CODIGO Lamina N. 08

Fecha 17-04-08

WATERMARK Soil Moisture Sensor **MODEL 200SS (Basic Sensor)**

Cat. No.	Length	Price Each
200SS-5	5 Feet (1.5 m)	\$30.00
200SS-10	10 Feet (3 m)	31.75
200SS-X	No Wire Lead	28.50

For lengths longer than 10' — add \$0.20 per foot.



Basic **WATERMARK** Soil Moisture Sensor. For use with all crops. To be used with **WATERMARK** meter. Reads electrical resistance in 0-200 centibar range. Easily interfaced with dataloggers. (Sensor protection required when sensor interfaced with electronic logging devices.)

TABLA DE CONVERSIÓN DE RESISTENCIA A CENTIBARES

Pres [cb]	Res[Ohms]	Pres[cb]	Res[Ohms]	Pres[cb]	Res[Ohms]	Pres[cb]	Res[Ohms]	Pres[cb]	Res[Ohms]
0	550	40	6800	80	12875	120	18075	160	23075
1	600	41	6960	81	13010	121	18200	161	23200
2	650	42	7120	82	13145	122	18325	162	23325
3	700	43	7280	83	13280	123	18450	163	23450
4	750	44	7440	84	13415	124	18575	164	23575
5	800	45	7600	85	13550	125	18700	165	23700
6	850	46	7760	86	13685	126	18825	166	23825
7	900	47	7920	87	13820	127	18950	167	23950
8	950	48	8080	88	13955	128	19075	168	24075
9	1000	49	8240	89	14090	129	19200	169	24200
10	1100	50	8400	90	14225	130	19325	170	24325
11	1280	51	8560	91	14360	131	19450	171	24450
12	1460	52	8720	92	14495	132	19575	172	24575
13	1640	53	8880	93	14630	133	19700	173	24700
14	1820	54	9040	94	14765	134	19825	174	24825
15	2000	55	9200	95	14900	135	19950	175	24950
16	2200	56	9360	96	15035	136	20075	176	25075
17	2400	57	9500	97	15170	137	20200	177	25200

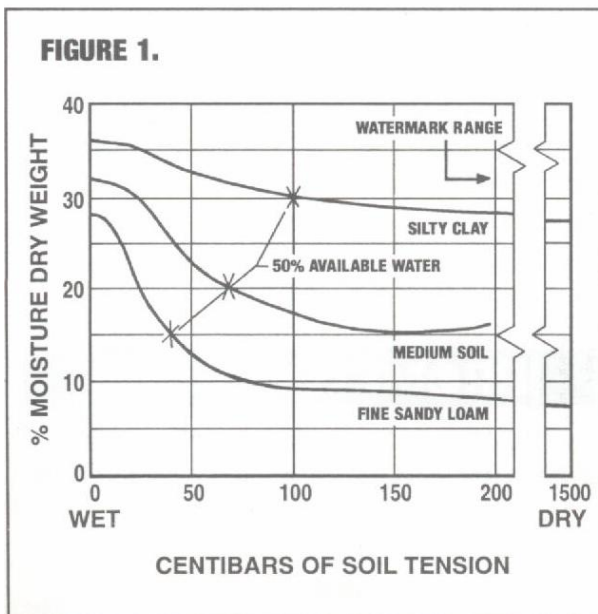
TABLA DE CONVERSIÓN DE RESISTENCIA A CENTIBARES (Continuación)

18	2600	58	9650	98	15305	138	20325	178	25325
19	2800	59	9800	99	15440	139	20450	179	25450
20	3000	60	9950	100	15575	140	20575	180	25575
21	3200	61	10100	101	15700	141	20700	181	25700
22	3400	62	10250	102	15825	142	20825	182	25825
23	3600	63	10400	103	15950	143	20950	183	25950
24	3800	64	10550	104	16075	144	21075	184	26075
25	4000	65	10700	105	16200	145	21200	185	26200
26	4200	66	10850	106	16325	146	21325	186	26325
27	4400	67	11000	107	16450	147	21450	187	26450
28	4600	68	11150	108	16575	148	21575	188	26575
29	4800	69	11300	109	16700	149	21700	189	26700
30	5000	70	11450	110	16825	150	21825	190	26825
31	5200	71	11600	111	16950	151	21950	191	26950
32	5400	72	11750	112	17075	152	22075	192	27075
33	5600	73	11900	113	17200	153	22200	193	27200
34	5800	74	12050	114	17325	154	22325	194	27325
35	6000	75	12200	115	17450	155	22450	195	27450
36	6160	76	12335	116	17575	156	22575	196	27575
37	6320	77	12470	117	17700	157	22700	197	27700
38	6480	78	12605	118	17825	158	22825	198	27825
39	6640	79	12740	119	17950	159	22950	199	27950

DETERMINING "WHEN" TO IRRIGATE

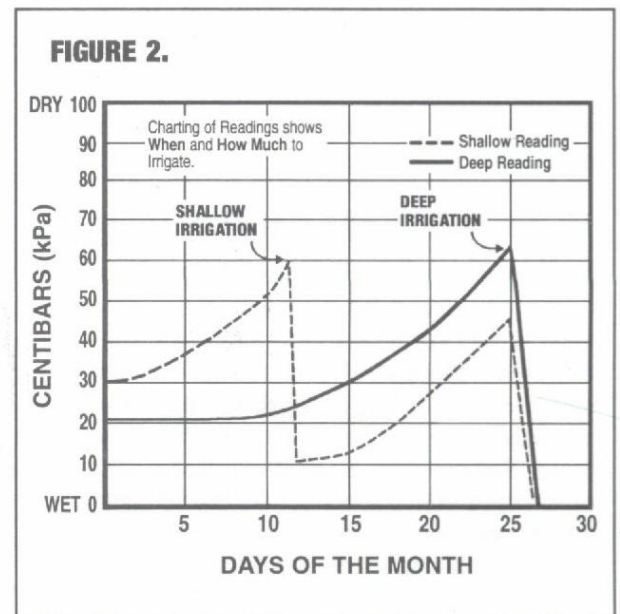
Figure 1 shows how variations in soil affect the ability of the soil to store water (water holding capacity). Heavier clay soils store much more water than sandy soils. But even more important, the plant cannot readily extract all of this stored moisture; only the "available" portion. The general rule of thumb is that irrigation should commence before you reach 50% of the "available" portion being depleted. From Figure 1 you can see what the soil moisture tension is at the 50% level of available moisture.

Assuming your soil was of a medium type, this 50% level would occur at about 60-70 centibars. While determination of the proper irrigation point is largely dependent on soil type, you must also consider the crop and your irrigation method. Sensitive crops may require irrigation sooner, less sensitive crops may not need water until later. Surface irrigation may allow you to apply water much more rapidly than a drip system, thus you need to consider how quickly your system can react in order to avoid moisture stress. (See Figure 2).



DETERMINING "HOW MUCH" TO IRRIGATE

Your own record keeping system, and experience with your crop, soils and irrigation method are essential with any good management system. With **Watermark** Sensors properly placed in both the top (e.g. 12") and bottom (e.g. 24") of the crop root system, your readings will tell you whether it is the shallow or deep moisture which is depleted. If your shallow reading is 60 and your deep reading is 10, you know you only need to apply enough water to rewet the top 12". If the readings are reversed, with 40 for the shallow and 60 for the deep, you may need to apply twice as much water. The local farm advisor or Soil Conservation Service can be of great help to you in determining your individual soils and how much water they store. This will help you use the **Watermark** Sensor readings to effectively control your irrigation scheduling and to prevent excessive leaching of plant nutrients. (See Figure 2).



Irrrometer Lengths and Placement Depths

The following are suggested placement depths for various crops based on deep, well drained soil. Instruments may be angled or set more shallowly in lighter or shallow soil. **With drip/mic irrigation 12", 24" depths are recommended**, with an added 36" depth on deeper rooted crops.

CROP	Shallow Instrument (Inches)	Deep Instrument (Inches)	For Extra Depth, Set at (Inches)	CROP	Shallow Instrument (Inches)	Deep Instrument (Inches)	For Extra Depth, Set at (Inches)
Alfalfa	18-24	36-48	60-70	Melons	18	36	
Almonds	24	48	72	Milo	24	48	
Apples	20	40	60	Mint	12	24	
Apricots	24	48	72	Monterey Pines, Firs	12	24	
Artichokes	18	36		Mums	12	(Placed 4-6")	
Asparagus	18-24	36-48		Mustard	18	36	
Avocados	12	24	36	Nectarines	18	36	
Bananas	12	24		Oats	18	36	
Barley	18	36		Okra	18	36	
Beans (bush)	10		18	Olives	24	48	60
Beans (Lima)	18	36		Onions	12		
Beans (Pole)	18	36		Papaya	12	24	
Beets (sugar)	18	36		Parsnips	18	36	
Beets (table)	12-18	24-36		Peaches	18	36	60
Blueberries	12	24		Peanuts	12	24	
Broccoli	12	20		Pears	18	36	48
Cabbage	12	20		Peas	18	36	
Canaigre	18	36	48	Pecans	18	36	48
Cantaloupe	18	36		Peppers	15	30	
Carnations	12	(Placed 4-6")		Permanent Pastures	8-15		24-30
Carrots	12	24		Persimmons	18	36	
Cauliflower	12	24		Pineapple	15	30	
Celery	10	20		Pistachio Nuts	24	48	60
Chard	12	24		Pomegranates	18	36	
Cherries	24	48		Potatoes (Irish)	8-10	18	
Christmas tree	12	24		Potatoes (Sweet)	18	36	
Citrus; orange, lemon, grapefruit	18	36		Plums	24	48	72
Coffee	18-24	36-48		Prunes	24	48	72
Corn (sweet)	12	30		Pumpkin	18	36	48
Corn (field)	18	36		Radishes	12		
Cotton	18	36	48	Raspberries	18	36	
Cranberries	18	36		Sorghum	18	36	
Cucumbers	18	36		Soy Beans	18	36	60
Date palm	24	48	60	Spinach	12	24	
Egg Plant	12	24		Squash (Summer)	15	30	
Figs	18	36		Strawberries	6	12	
Garlic	12	24		Sudan Grass	18-24	36-48	
Grain and Flax	18	36		Sugar Cane	18	36	
Grapes	24	48	60	Sunflowers	24	48	60
Hops	24	48	60	Tea	12	24	
Jojoba	18	36		Tobacco	8-15	30	
Kiwi	18	36	48	Tomatoes	18	36	
Ladino Clover	10	20		Turnips	18	36	
Lettuce	12			Walnuts	24	48	72
Macadamias	12	24	36	Watermelon	18	36	48
Maize	18	36		Wheat-Hay	18	36	

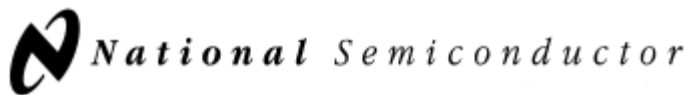


IRRROMETER COMPANY, INC.

P.O. Box 2424 Riverside, CA 92516

Phone (951) 689-1701 Fax (951) 689-3706

www.irrometer.com sales@irrometer.com



November 2000

LM35

Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

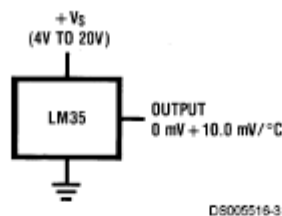
The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^\circ\text{C}$ over a full -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\ \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55° to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40° to $+110^\circ\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

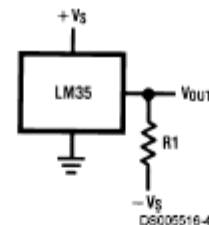
- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear $+10.0\ \text{mV}/^\circ\text{C}$ scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at $+25^\circ\text{C}$)
- Rated for full -55° to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for 1 mA load

Typical Applications



DS0005516-3

FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor
($+2^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$)



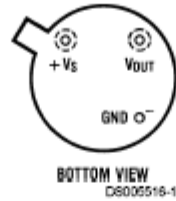
DS0005516-4

Choose $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$
 $V_{\text{OUT}} = +1,500\ \text{mV}$ at $+150^\circ\text{C}$
 $= +250\ \text{mV}$ at $+25^\circ\text{C}$
 $= -550\ \text{mV}$ at -55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

Connection Diagrams

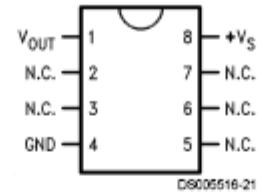
TO-46
Metal Can Package*



*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or
LM35DH
See NS Package Number H03H

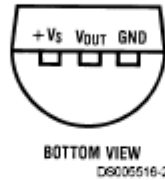
SO-8
Small Outline Molded Package



N.C. = No Connection

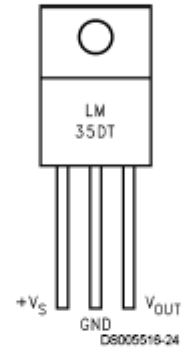
Top View
Order Number LM35DM
See NS Package Number M08A

TO-92
Plastic Package



Order Number LM35CZ,
LM35CAZ or LM35DZ
See NS Package Number Z03A

TO-220
Plastic Package*



*Tab is connected to the negative pin (GND).

Note: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP.

Order Number LM35DT
See NS Package Number TA03F

Absolute Maximum Ratings (Note 10)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	+35V to -0.2V
Output Voltage	+6V to -1.0V
Output Current	10 mA
Storage Temp.:	
TO-46 Package,	-60°C to +180°C
TO-92 Package,	-60°C to +150°C
SO-8 Package,	-65°C to +150°C
TO-220 Package,	-65°C to +150°C

Lead Temp.:	
TO-46 Package, (Soldering, 10 seconds)	300°C

TO-92 and TO-220 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
SO Package (Note 12)	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 11)	2500V
Specified Operating Temperature Range: T_{MIN} to T_{MAX} (Note 2)	
LM35, LM35A	-55°C to +150°C
LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
LM35D	0°C to +100°C

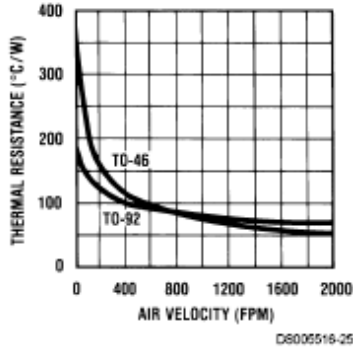
Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

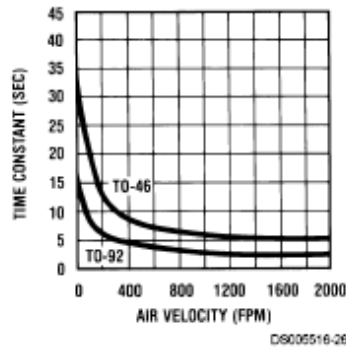
Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.2	± 0.5		± 0.2	± 0.5		°C
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.3			± 0.3		± 1.0	°C
	$T_A = T_{MAX}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		°C
	$T_A = T_{MIN}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4		± 1.5	°C
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.18		± 0.35	± 0.15		± 0.3	°C
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	+10.0	+9.9, +10.1		+10.0		+9.9, +10.1	mV/°C
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1$ mA	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		mV/mA
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.5		± 3.0	± 0.5		± 3.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.05		± 0.01	± 0.05		mV/V
	$4V \leq V_S \leq 30V$	± 0.02		± 0.1	± 0.02		± 0.1	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5V, +25^\circ\text{C}$	56	67		56	67		μA
	$V_S = +5V$	105		131	91		114	μA
	$V_S = +30V, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		56.2	68		μA
	$V_S = +30V$	105.5		133	91.5		116	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4V \leq V_S \leq 30V, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		0.2	1.0		μA
	$4V \leq V_S \leq 30V$	0.5		2.0	0.5		2.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.5	+0.39		+0.5	μA/°C
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of <i>Figure 1</i> , $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	°C
Long Term Stability	$T_J = T_{MAX}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			°C

Typical Performance Characteristics

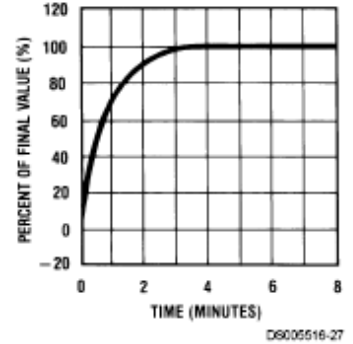
Thermal Resistance Junction to Air



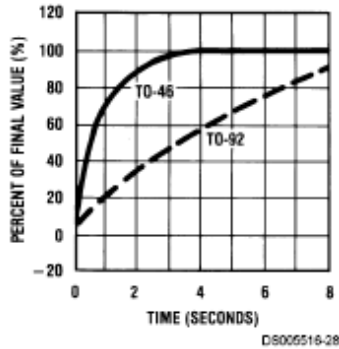
Thermal Time Constant



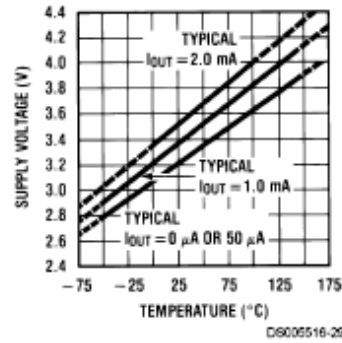
Thermal Response in Still Air



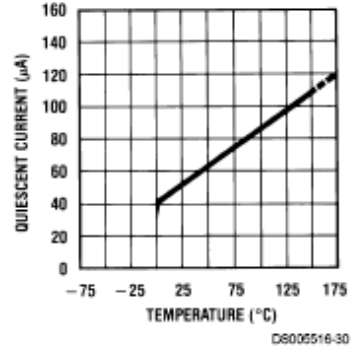
Thermal Response in Stirred Oil Bath



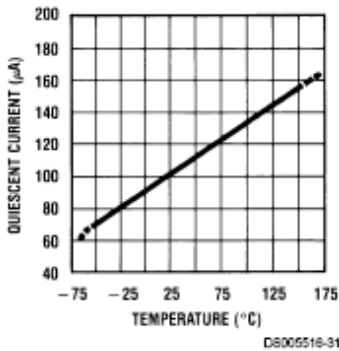
Minimum Supply Voltage vs. Temperature



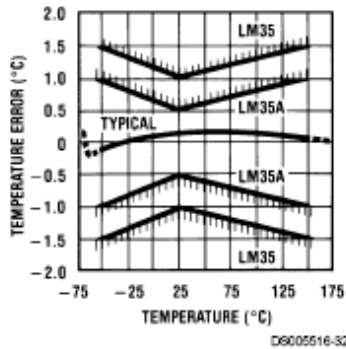
Quiescent Current vs. Temperature (In Circuit of Figure 1.)



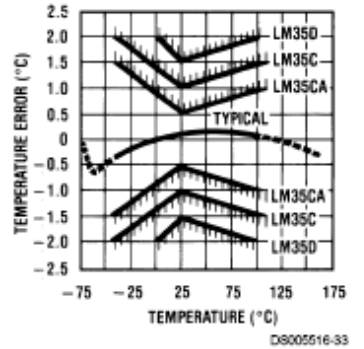
Quiescent Current vs. Temperature (In Circuit of Figure 2.)



Accuracy vs. Temperature (Guaranteed)



Accuracy vs. Temperature (Guaranteed)



Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35			LM35C, LM35D			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy, LM35, LM35C (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.5			± 0.5		± 1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	± 0.8	± 1.5		± 0.8		± 1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	± 0.8		± 1.5	± 0.8		± 2.0	$^\circ\text{C}$
Accuracy, LM35D (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$				± 0.6	± 1.5		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$				± 0.9		± 2.0	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$				± 0.9		± 2.0	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.3		± 0.5	± 0.2		± 0.5	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	+10.0	+9.8, +10.2		+10.0		+9.8, +10.2	mV/ $^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1$ mA	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 2.0		± 0.4	± 2.0		mV/mA
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.5		± 5.0	± 0.5		± 5.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.1		± 0.01	± 0.1		mV/V
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	± 0.02		± 0.2	± 0.02		± 0.2	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56	80		56	80		μA
	$V_S = +5\text{V}$	105		158	91		138	μA
	$V_S = +30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56.2	82		56.2	82		μA
	$V_S = +30\text{V}$	105.5		161	91.5		141	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	0.2	2.0		0.2	2.0		μA
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	0.5		3.0	0.5		3.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.7	+0.39		+0.7	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^\circ\text{C}$

Note 1: Unless otherwise noted, these specifications apply: $-55^\circ\text{C} \leq T_J \leq +150^\circ\text{C}$ for the LM35 and LM35A; $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +110^\circ\text{C}$ for the LM35C and LM35CA; and $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +100^\circ\text{C}$ for the LM35D. $V_S = +5\text{Vdc}$ and $I_{\text{LOAD}} = 50 \mu\text{A}$, in the circuit of Figure 2. These specifications also apply from $+2^\circ\text{C}$ to T_{MAX} in the circuit of Figure 1. Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

Note 2: Thermal resistance of the TO-46 package is $400^\circ\text{C}/\text{W}$, junction to ambient, and $24^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is $180^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is $220^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package is $90^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

Note 3: Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

Note 4: Tested Limits are guaranteed and 100% tested in production.

Note 5: Design Limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

Note 6: Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

Note 7: Accuracy is defined as the error between the output voltage and $10\text{mV}/^\circ\text{C}$ times the device's case temperature, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in $^\circ\text{C}$).

Note 8: Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the device's rated temperature range.

Note 9: Quiescent current is defined in the circuit of Figure 1.

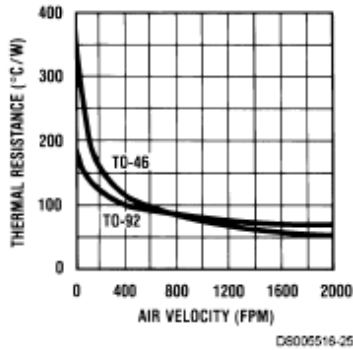
Note 10: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

Note 11: Human body model, 100 pF discharged through a $1.5 \text{ k}\Omega$ resistor.

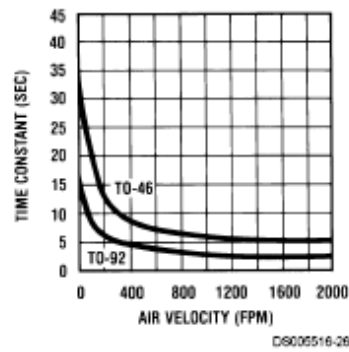
Note 12: See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" or the section titled "Surface Mount" found in a current National Semiconductor Linear Data Book for other methods of soldering surface mount devices.

Typical Performance Characteristics

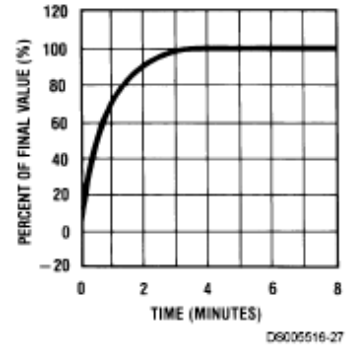
**Thermal Resistance
Junction to Air**



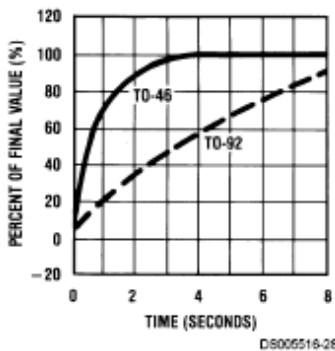
Thermal Time Constant



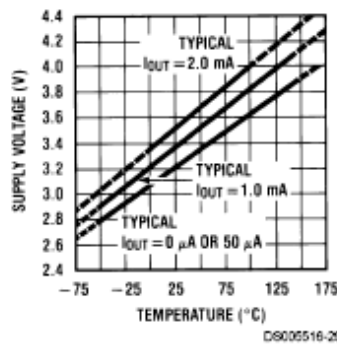
**Thermal Response
in Still Air**



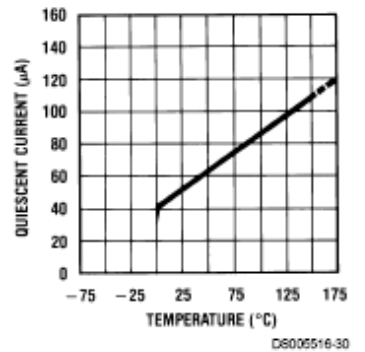
**Thermal Response in
Stirred Oil Bath**



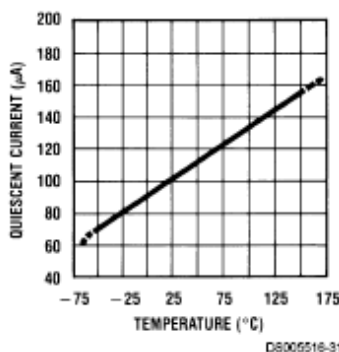
**Minimum Supply
Voltage vs. Temperature**



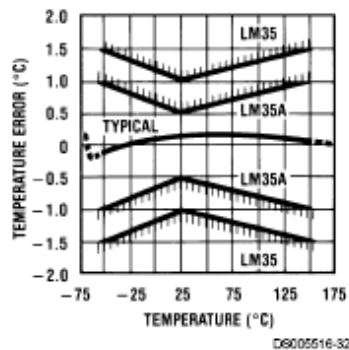
**Quiescent Current
vs. Temperature
(In Circuit of Figure 1.)**



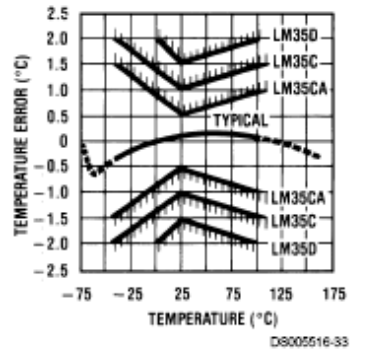
**Quiescent Current
vs. Temperature
(In Circuit of Figure 2.)**



**Accuracy vs. Temperature
(Guaranteed)**

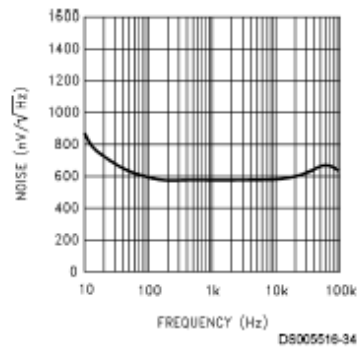


**Accuracy vs. Temperature
(Guaranteed)**

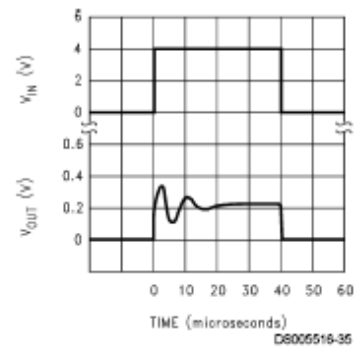


Typical Performance Characteristics (Continued)

Noise Voltage



Start-Up Response



Applications

The LM35 can be applied easily in the same way as other integrated-circuit temperature sensors. It can be glued or cemented to a surface and its temperature will be within about 0.01°C of the surface temperature.

This presumes that the ambient air temperature is almost the same as the surface temperature; if the air temperature were much higher or lower than the surface temperature, the actual temperature of the LM35 die would be at an intermediate temperature between the surface temperature and the air temperature. This is especially true for the TO-92 plastic package, where the copper leads are the principal thermal path to carry heat into the device, so its temperature might be closer to the air temperature than to the surface temperature.

To minimize this problem, be sure that the wiring to the LM35, as it leaves the device, is held at the same temperature as the surface of interest. The easiest way to do this is to cover up these wires with a bead of epoxy which will insure that the leads and wires are all at the same temperature as the surface, and that the LM35 die's temperature will not be affected by the air temperature.

The TO-46 metal package can also be soldered to a metal surface or pipe without damage. Of course, in that case the V- terminal of the circuit will be grounded to that metal. Alternatively, the LM35 can be mounted inside a sealed-end metal tube, and can then be dipped into a bath or screwed into a threaded hole in a tank. As with any IC, the LM35 and accompanying wiring and circuits must be kept insulated and dry, to avoid leakage and corrosion. This is especially true if the circuit may operate at cold temperatures where condensation can occur. Printed-circuit coatings and varnishes such as Humiseal and epoxy paints or dips are often used to insure that moisture cannot corrode the LM35 or its connections.

These devices are sometimes soldered to a small light-weight heat fin, to decrease the thermal time constant and speed up the response in slowly-moving air. On the other hand, a small thermal mass may be added to the sensor, to give the steadiest reading despite small deviations in the air temperature.

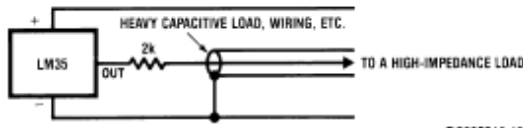
Temperature Rise of LM35 Due To Self-heating (Thermal Resistance, θ_{JA})

	TO-46, no heat sink	TO-46*, small heat fin	TO-92, no heat sink	TO-92**, small heat fin	SO-8 no heat sink	SO-8**, small heat fin	TO-220 no heat sink
Still air	400°C/W	100°C/W	180°C/W	140°C/W	220°C/W	110°C/W	90°C/W
Moving air	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W	105°C/W	90°C/W	25°C/W
Still oil	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W			
Stirred oil	50°C/W	30°C/W	45°C/W	40°C/W			
(Clamped to metal, infinite heat sink)		(24°C/W)				(55°C/W)	

*Wakefield type 201, or 1" disc of 0.020" sheet brass, soldered to case, or similar.

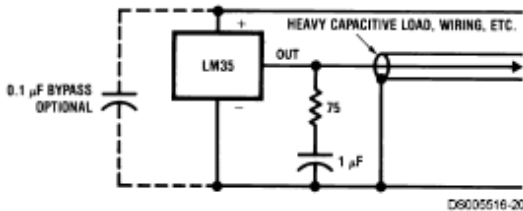
**TO-92 and SO-8 packages glued and leads soldered to 1" square of 1/16" printed circuit board with 2 oz. foil or similar.

Typical Applications



D8005516-19

FIGURE 3. LM35 with Decoupling from Capacitive Load



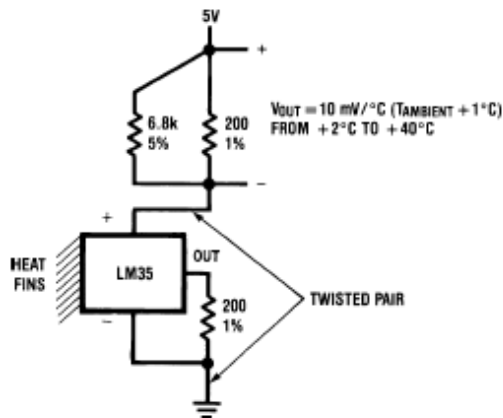
D8005516-20

FIGURE 4. LM35 with R-C Damper

CAPACITIVE LOADS

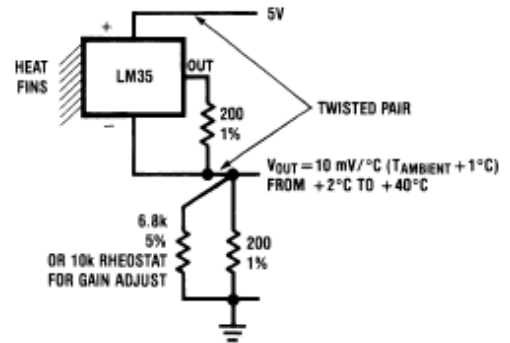
Like most micropower circuits, the LM35 has a limited ability to drive heavy capacitive loads. The LM35 by itself is able to drive 50 pf without special precautions. If heavier loads are anticipated, it is easy to isolate or decouple the load with a resistor; see Figure 3. Or you can improve the tolerance of capacitance with a series R-C damper from output to ground; see Figure 4.

When the LM35 is applied with a 200Ω load resistor as shown in Figure 5, Figure 6 or Figure 8 it is relatively immune to wiring capacitance because the capacitance forms a bypass from ground to input, not on the output. However, as with any linear circuit connected to wires in a hostile environment, its performance can be affected adversely by intense electromagnetic sources such as relays, radio transmitters, motors with arcing brushes, SCR transients, etc, as its wiring can act as a receiving antenna and its internal junctions can act as rectifiers. For best results in such cases, a bypass capacitor from V_{IN} to ground and a series R-C damper such as 75Ω in series with 0.2 or 1 μF from output to ground are often useful. These are shown in Figure 13, Figure 14, and Figure 16.



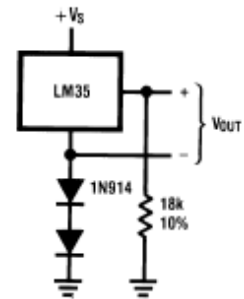
D8005516-5

FIGURE 5. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Grounded Sensor)



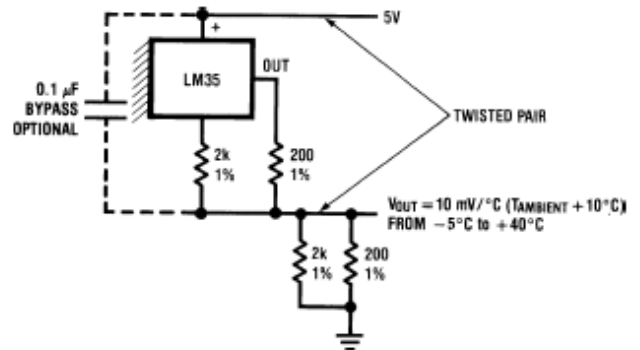
D8005516-6

FIGURE 6. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Output Referred to Ground)



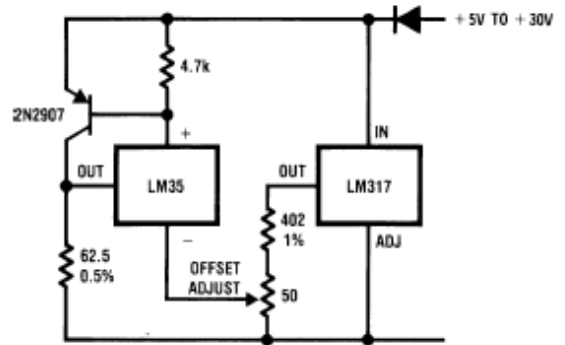
D8005516-7

FIGURE 7. Temperature Sensor, Single Supply, -55° to +150°C



D8005516-8

FIGURE 8. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Output Referred to Ground)



D8005516-9

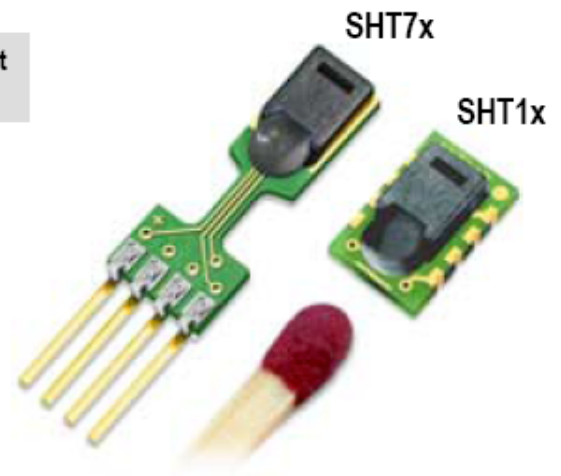
FIGURE 9. 4-To-20 mA Current Source (0°C to +100°C)

SHT1x / SHT7x**Humidity & Temperature Sensor**

THE SENSOR COMPANY

Evaluation Kit
Available

- _ Relative humidity and temperature sensors
- _ Dew point
- _ Fully calibrated, digital output
- _ Excellent long-term stability
- _ No external components required
- _ Ultra low power consumption
- _ Surface mountable or 4-pin fully interchangeable
- _ Small size
- _ Automatic power down

**SHT1x / SHT7x Product Summary**

The SHTxx is a single chip relative humidity and temperature multi sensor module comprising a calibrated digital output. Application of industrial CMOS processes with patented micro-machining (CMOSens® technology) ensures highest reliability and excellent long term stability. The device includes a capacitive polymer sensing element for relative humidity and a bandgap temperature sensor. Both are seamlessly coupled to a 14bit analog to digital converter and a serial interface circuit on the same chip. This results in superior signal quality, a fast response time and insensitivity to external disturbances (EMC) at a very competitive price. Each SHTxx is individually calibrated in a precision humidity chamber with a chilled mirror hygrometer as reference. The

calibration coefficients are programmed into the OTP memory. These coefficients are used internally during measurements to calibrate the signals from the sensors. The 2-wire serial interface and internal voltage regulation allows easy and fast system integration. Its tiny size and low power consumption makes it the ultimate choice for even the most demanding applications.

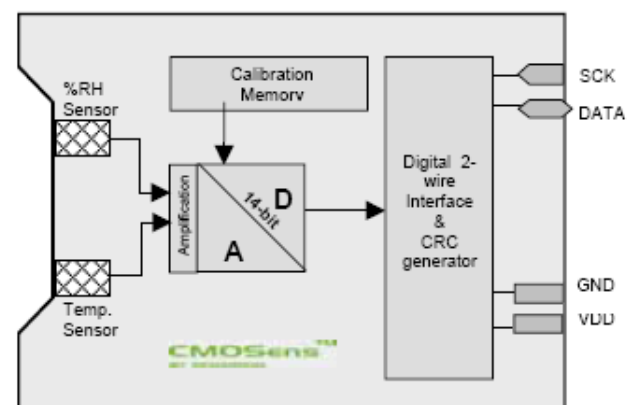
The device is supplied in either a surface-mountable LCC (Leadless Chip Carrier) or as a pluggable 4-pin single-in-line type package. Customer specific packaging options may be available on request.

Applications

- _ HVAC
- _ Automotive
- _ Consumer Goods
- _ Weather Stations
- _ (De-) Humidifiers
- _ Test & Measurement
- _ Data Logging
- _ Automation
- _ White Goods
- _ Medical

Ordering Information

Part Number	Humidity accuracy	Temperature accuracy	Package
SHT11	±3.5%RH	±0.5°C @25°C	SMT (LCC)
SHT15	±2.0%RH	±0.4°C	SMT (LCC)
SHT71	±3.5%RH	±0.5°C @25°C	4-pin single-in-line
SHT75	±2.0%RH	±0.4°C	4-pin single-in-line

Block Diagram

1 Sensor Performance Specifications

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Humidity					
Resolution ⁽²⁾		0.5	0.03	0.03	% RH
		8	12	12	bit
Repeatability			±0.1		% RH
Accuracy ⁽¹⁾	linearized	see figure 1			
Uncertainty					
Interchangeability		Fully interchangeable			
Nonlinearity	raw data		±3		% RH
	linearized		<<1		% RH
Range		0		100	% RH
Response time	1/e (63%) slowly moving air		4		s
Hysteresis			±1		% RH
Long term stability	Typical		< 1		% RH/yr
Temperature					
Resolution ⁽²⁾		0.04	0.01	0.01	°C
		0.07	0.02	0.02	°F
		12	14	14	bit
Repeatability			±0.1		°C
			±0.2		°F
Accuracy		see figure 1			
Range		-40		123.8	°C
		-40		254.9	°F
Response Time	1/e (63%)	5		30	s

Table 1 Sensor Performance Specifications

2 Interface Specifications

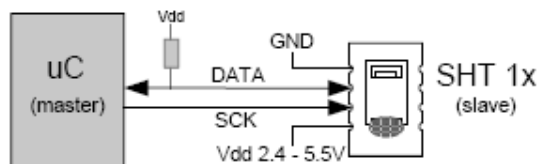


Figure 2 Typical application circuit

2.1 Power Pins

The SHTxx requires a voltage supply between 2.4V and 5.5V. After powerup the device needs 11ms to reach its "sleep" state. No commands should be sent before that time. Power supply pins (VDD, GND) may be decoupled with a 100 nF capacitor.

2.2 Serial Interface (Bidirectional 2-wire)

The serial interface of the SHTxx is optimized for sensor readout and power consumption and is not compatible with I²C interfaces, see FAQ for details.

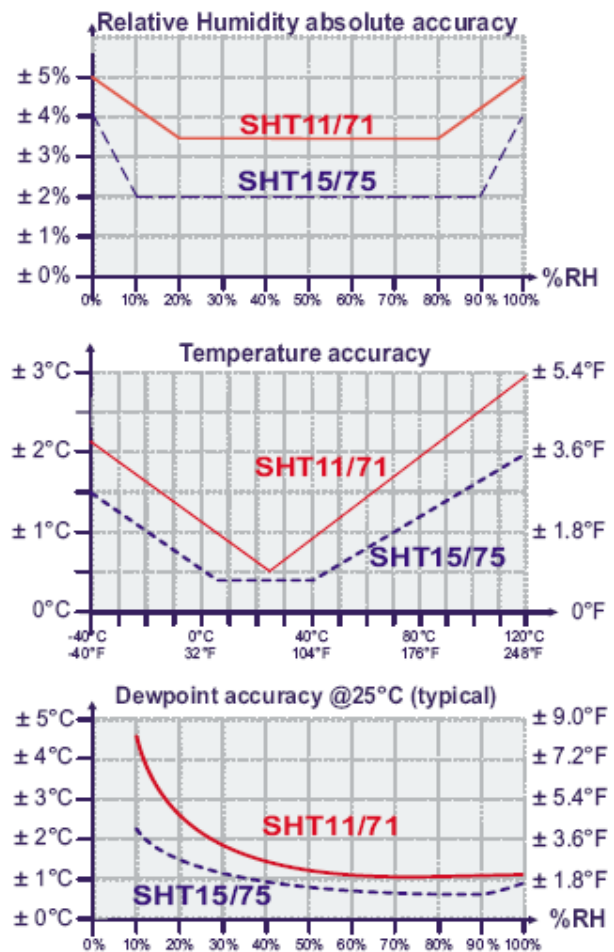


Figure 1 Rel. Humidity, Temperature and Dewpoint accuracies

2.2.1 Serial clock input (SCK)

The SCK is used to synchronize the communication between a microcontroller and the SHT1x / SHT7x. Since the interface consists of fully static logic there is no minimum SCK frequency.

2.2.2 Serial data (DATA)

The DATA tristate pin is used to transfer data in and out of the device. DATA **changes after the falling edge** and is **valid on the rising edge** of the serial clock SCK. During communication the DATA line must remain stable while SCK is high. To avoid signal contention the microcontroller should only drive DATA low. An external pull-up resistor (e.g 10k Ω) is required to pull the signal high. (See Figure 2) Pull-up resistors are often included in I/O circuits of microcontrollers. See Table 5 for detailed IO characteristics.

⁽¹⁾ Each SHTxx is tested to be within RH accuracy specifications at 25°C (77°F) and 48°C (118.4°F)

⁽²⁾ The default measurement resolution of 14bit (temperature) and 12bit (humidity) can be reduced to 12 and 8 bit through the status register.

2.2.3 Sending a command

To initiate a transmission, a "Transmission Start" sequence has to be issued. It consists of a lowering of the DATA line while SCK is high, followed by a low pulse on SCK and raising DATA again while SCK is still high.



Figure 3 "Transmission Start" sequence

The subsequent command consists of three address bits (only "000" is currently supported) and five command bits. The SHT1x/SHT7x indicates the proper reception of a command by pulling the DATA pin low (ACK bit) after the falling edge of the 8th SCK clock. The DATA line is released (and goes high) after the falling edge of the 9th SCK clock.

Command	Code
Reserved	0000x
Measure Temperature	00011
Measure Humidity	00101
Read Status Register	00111
Write Status Register	00110
Reserved	0101x-1110x
Soft reset, resets the interface, clears the status register to default values wait minimum 11ms before next command	11110

Table 2 SHTxx list of commands

2.2.4 Measurement sequence (RH and T)

After issuing a measurement command ('00000101' for RH, '00000011' for Temperature) the controller has to wait for the measurement to complete. This takes approximately 11/55/210ms for a 8/12/14bit measurement. The exact time varies by up to $\pm 15\%$ with the speed of the internal oscillator. To signal the completion of a measurement, the SHT1x pulls down the data line. The controller **must** wait for this "data ready" signal before starting to toggle SCK again.

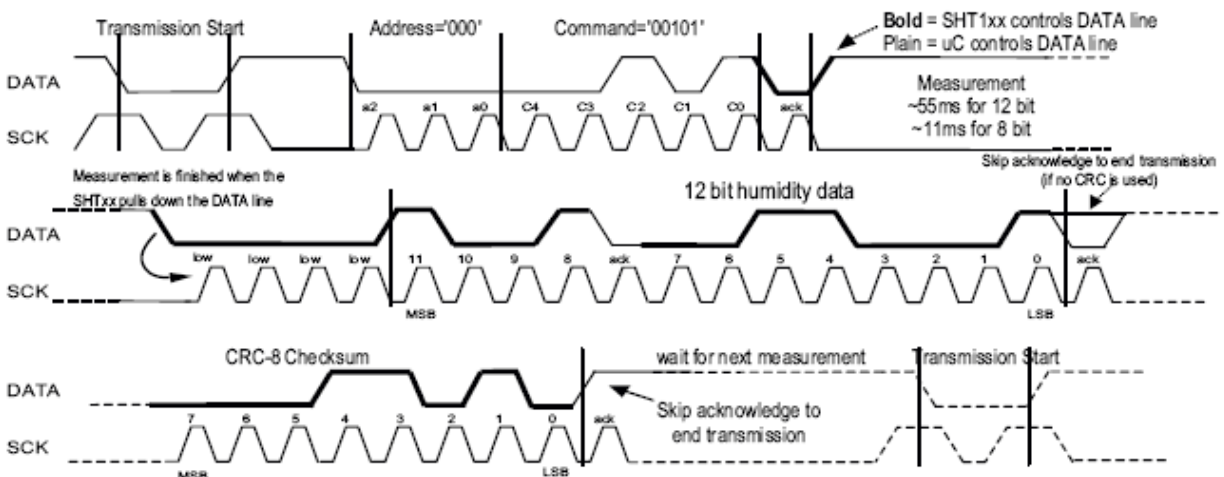


Figure 5 Example RH measurement sequence for value '0000'1001' 0011'0001' = 2353 = 75.79%RH @ 25°C

Two bytes of measurement data and one byte of CRC checksum will then be transmitted. The uC must acknowledge each byte by pulling the DATA line low. All values are MSB first, right justified. (e.g. the 5th SCK is MSB for a 12bit value, for a 8bit result the first byte is not used). Communication terminates after the acknowledge bit of the CRC data. If CRC-8 checksum is not used the controller may terminate the communication after the measurement data LSB by keeping ack high. The device automatically returns to sleep mode after the measurement and communication have ended.

Warning: To keep self heating below 0.1°C the SHTxx should not be active for more than 15% of the time (e.g. max. 3 measurements / second for 12bit accuracy).

2.2.5 Connection reset sequence

If communication with the device is lost the following signal sequence will reset its serial interface: While leaving DATA high, toggle SCK 9 or more times. This must be followed by a "Transmission Start" sequence preceding the next command. This sequence resets the interface only. The status register preserves its content.

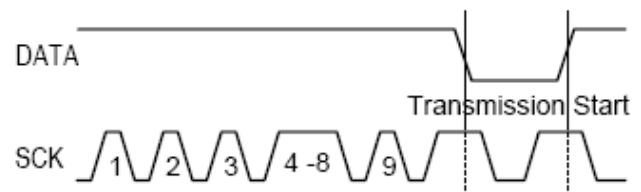


Figure 4 Connection reset sequence

2.2.6 CRC-8 Checksum calculation

The whole digital transmission is secured by a 8 bit checksum. It ensures that any wrong data can be detected and eliminated.

Please consult application note "CRC-8 Checksum Calculation" for information on how to calculate the CRC.

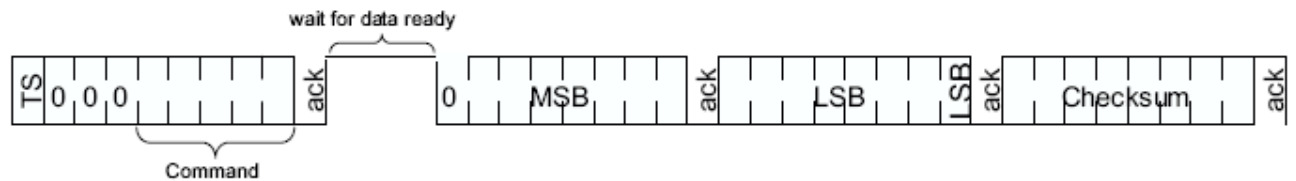


Figure 6 Overview of Measurement Sequence (TS =Transmission Start)

2.3 Status Register

Some of the advanced functions of the SHTxx are available through the status register. The following section gives a brief overview of these features. A more detailed description is available in the application note "Status Register"



Figure 7 Status Register Write

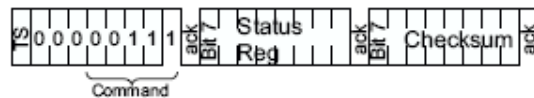


Figure 8 Status Register Read

Bit	Type	Description	Default
7		reserved	0
6	R	End of Battery (low voltage detection) '0' for Vdd > 2.47 '1' for Vdd < 2.47	X No default value, bit is only updated after a measurement
5		reserved	0
4		reserved	0
3		For Testing only, do not use	0
2	R/W	Heater	0 off
1	R/W	no reload from OTP	0 reload
0	R/W	'1' = 8bit RH / 12bit Temperature resolution '0' = 12bit RH / 14bit Temperature resolution	0 12bit RH 14bit Temp.

Table 3 Status Register Bits

2.3.1 Measurement resolution

The default measurement resolution of 14bit (temperature) and 12bit (humidity) can be reduced to 12 and 8 bit. This is especially useful in high speed or extreme low power applications.

2.3.2 End of Battery

The "End of Battery" function detects VDD voltages below 2.47V. Accuracy is $\pm 0.05V$

2.3.3 Heater

An on chip heating element can be switched on. It will increase the temperature of the sensor by approximately 5°C (9°F). Power consumption will increase by ~8mA @ 5V.

Applications:

By comparing temperature and humidity values before and

after switching on the heater, proper functionality of both sensors can be verified.

- In high (>95%) RH environments heating the sensor element will prevent condensation, improve response time and accuracy

Warning: While heated the SHTxx will show higher temperatures and a lower relative humidity than with no heating.

2.4 Electrical Characteristics⁽¹⁾

VDD=5V, Temperature= 25°C unless otherwise noted

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Power supply DC		2.4	5	5.5	V
Supply current	measuring		550		μA
	average	2 ⁽²⁾	28 ⁽³⁾		μA
	sleep		0.3	1	μA
Low level output voltage		0		20%	Vdd
High level output voltage		75%		100%	Vdd
Low level input voltage	Negative going	0		20%	Vdd
High level input voltage	Positive going	80%		100%	Vdd
Input current on pads				1	μA
Output peak current	on			4	mA
	Tristated (off)		10		μA

Table 4 SHTxx DC Characteristics

Parameter	Conditions	Min	Typ.	Max.	Unit
F _{SCK}	VDD > 4.5 V			10	MHz
	VDD < 4.5 V			1	MHz
T _{RFO}	Output load 5 pF	3.5	10	20	ns
	Output load 100 pF	30	40	200	ns
T _{CLx}	SCK hi/low time	100			ns
T _V	DATA valid time		250		ns
T _{SU}	DATA set up time	100			ns
T _{HO}	DATA hold time	0	10		ns
T _R /T _F	SCK rise/fall time		200		ns

Table 5 SHTxx I/O Signals Characteristics

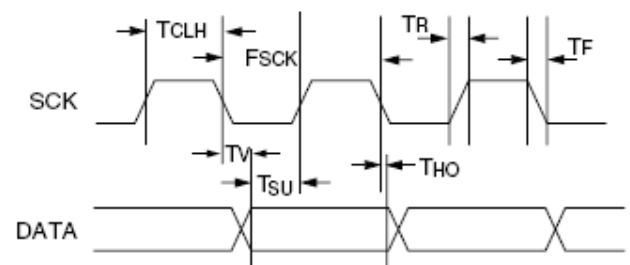


Figure 9 Timing Diagram

⁽¹⁾ Parameters are periodically sampled and not 100% tested
⁽²⁾ With one measurement of 8 bit accuracy without OTP reload per second
⁽³⁾ With one measurement of 12bit accuracy per second

3 Converting Output to Physical Values

3.1 Relative Humidity

To compensate for the non-linearity of the humidity sensor and to obtain the full accuracy it is recommended to convert the readout with the following formula¹:

$$RH_{\text{linear}} = c_1 + c_2 \cdot SO_{RH} + c_3 \cdot SO_{RH}^2$$

SO _{RH}	c ₁	c ₂	c ₃
12 bit	-4	0.0405	-2.8 *10 ⁻⁶
8 bit	-4	0.648	-7.2 *10 ⁻⁴

Table 6 Humidity conversion coefficients

For simplified, less computation intense conversion formulas see application note "RH and Temperature Non-Linearity Compensation".

The humidity sensor has no significant voltage dependency.

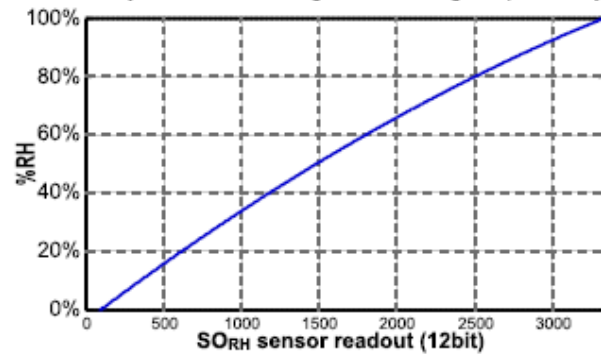


Figure 10 Conversion from SO_{RH} to relative humidity

3.1.1 Compensation of RH/Temperature dependency

For temperatures significantly different from 25°C (~77°F) the temperature coefficient of the RH sensor should be considered:

$$RH_{\text{true}} = (T_{\text{C}} - 25) \cdot (t_1 + t_2 \cdot SO_{RH}) + RH_{\text{linear}}$$

SO _{RH}	t ₁	t ₂
12 bit	0.01	0.00008
8 bit	0.01	0.00128

Table 7 Temperature compensation coefficients

This equals ~0.12%RH / °C @ 50%RH

3.2 Temperature

The bandgap PTAT (Proportional To Absolute Temperature) temperature sensor is very linear by design. Use the following formula to convert from digital readout to temperature:

$$\text{Temperature} = d_1 + d_2 \cdot SO_T$$

VDD	d ₁ [°C]	d ₁ [°f]
5V	-40.00	-40.00
4V	-39.75	-39.50
3.5V	-39.66	-39.35
3V	-39.60	-39.28
2.5V	-39.55	-39.23

SO _T	d ₂ [°C]	d ₂ [°f]
14bit	0.01	0.018
12bit	0.04	0.072

Table 8 Temperature conversion coefficients

For improved accuracies in extreme temperatures with more computation intense conversion formulas see application note "RH and Temperature Non-Linearity Compensation".

3.3 Dewpoint

Since humidity and temperature are both measured on the same monolithic chip, the SHTxx allows superb dewpoint measurements. See application note "Dewpoint calculation" for more.

¹ Where SO_{RH} is the sensor output for relative humidity

Signet 2100 Turbine Sensor Operating Instructions



3-2100.090-1 Rev. F 8/05 English/German/French/Spanish



WARNING!

1. Do not remove from pressurized lines.
2. Never install sensor without O-rings.
3. Confirm chemical compatibility before use.
4. Do not exceed maximum temperature/pressure specifications.
5. Wear safety goggles and faceshield during installation/service.
6. Failure to follow safety instructions could result in severe personal injury.

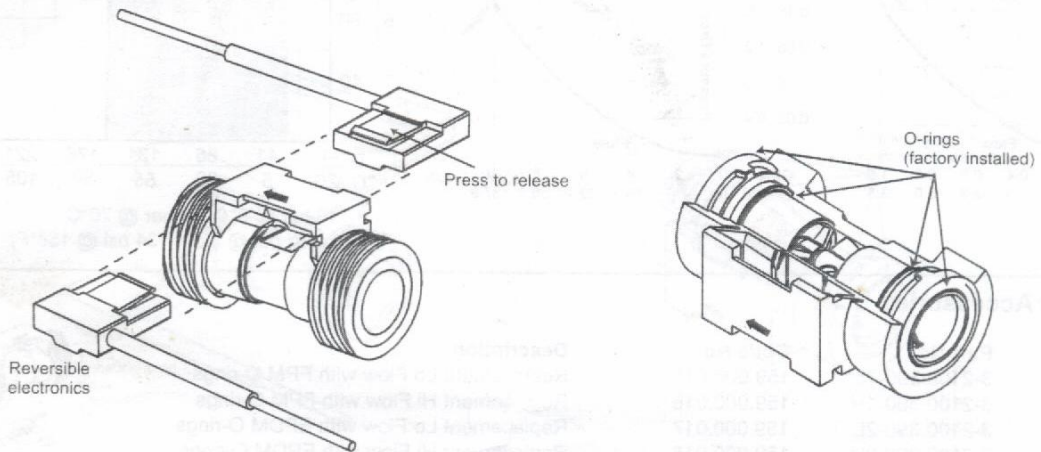
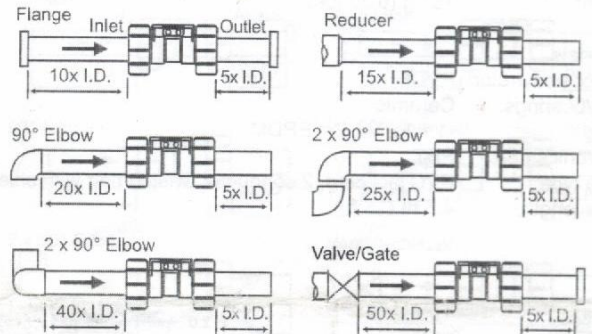
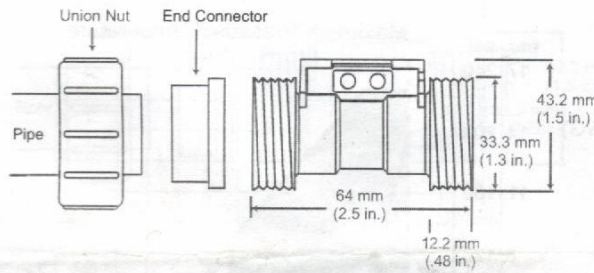
Contents

1. Installation/Mounting
2. Sensor Wiring
3. Calibration
4. Specifications
5. Parts and Accessories

1. Installation/Mounting

1. Install sensor with arrow pointing in the direction of flow. All mounting angles acceptable.
2. Slide union nut onto pipe or flexible tubing.
3. Install end connectors.
4. Hand tighten union nut to secure.

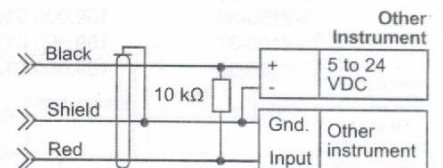
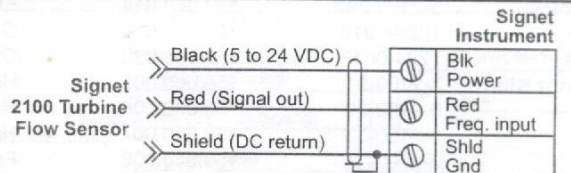
- Suitable for clear or opaque fluids. Suspended solids may cause mechanical failure.
- Upstream/downstream mounting requirements:



2. Sensor Wiring

Wiring Tips:

- Use 2-conductor twisted-pair shielded cable (Belden #8451 or equivalent) for sensor cable splices up to 300 m (1000 ft) max.
- Maintain cable shield through cable splice.
- Route sensor cable away from AC power lines.



3. Calibration

Sensor Model	Connection Option	K-Factors: Pulses/U.S. Gallon	Pulses/Liter
High Flow Sensors 3-2100-1H, 2H	1/2" Pipe	1725	456
	1/2" Hose	1700	449
Low Flow Sensors 3-2100-1L, 2L	1/2" Pipe	12250	3236
	1/4" Hose	12800	3382
	3/8" Hose	13000	3435
	1/2" Hose	12500	3303

4. Specifications

General

Flow range: -L = 0.38 to 3.8 l/m (0.10 to 1 gpm)
 -H = 3 to 38 l/m (0.8 to 10 gpm)

Pipe size: DN 15 (1/2")
 Hose size: 1/2", 3/8", 1/4"
 Accuracy: ±3% of reading
 Repeatability: ±0.5% of reading
 Weight: 151 g (0.33 lbs)

Electrical

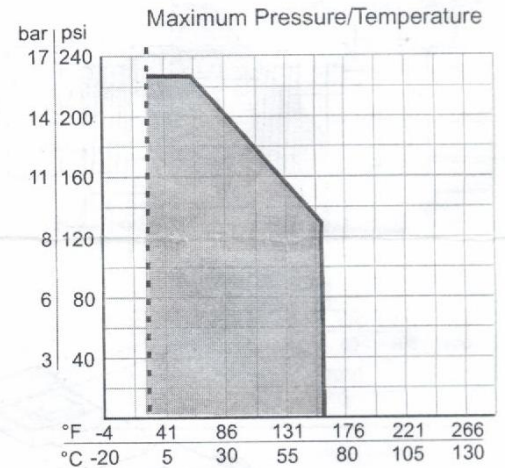
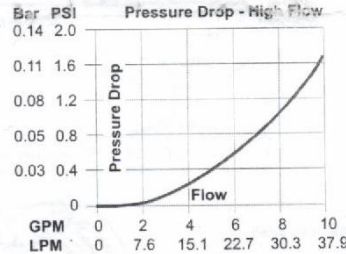
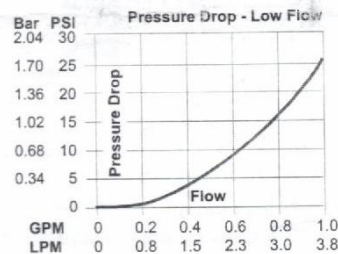
Power: 5 to 24 VDC @ 1.0 mA max.
 Reverse polarity protected
 Output: Open collector, sinking, max 30 mA
 Standards and Approvals
 CE, Manufactured under ISO 9001

Environmental

Relative Humidity: 0-100%

Materials

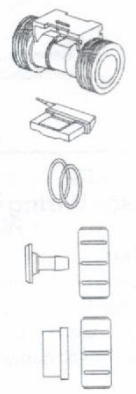
Sensor body/rotor: PVDF
 Shaft/bearings: Ceramic
 O-rings: -1 = FPM, -2 = EPDM
 Electronics box: PBT
 Cable type: PVC jacketed, 2 conductor twisted pair with shield (22 AWG)
 Cable length: 4.6 m (15 ft.)



16 bar @ 0°C, 7.4 bar @ 70°C
 (232 psi @ 32°F, 134 psi @ 158°F)

5. Parts and Accessories

	Part No.	Code No.	Description
Turbine Body:	3-2100.390-1L	159.000.015	Replacement Lo Flow with FPM O-rings
	3-2100.390-1H	159.000.016	Replacement Hi Flow with FPM O-rings
	3-2100.390-2L	159.000.017	Replacement Lo Flow with EPDM O-rings
	3-2100.390-2H	159.000.018	Replacement Hi Flow with EPDM O-rings
Electronics:	3-2100.390	159.000.014	Electronics Box
O-rings:	1220-0018	159.000.019	O-rings (2) FPM
	1224-0018	159.000.020	O-rings (2) EPDM
Connector Kits:	3-2100-31	159.000.005	Hose Barb connector kit, PVDF, 1/2"
	3-2100-32	159.000.006	Hose Barb connector kit, PVDF, 3/8"
	3-2100-33	159.000.007	Hose Barb connector kit, PVDF, 1/4"
	3-2100-34	159.000.008	Fusion Socket connector, PVDF, DN 15
	3-2100-35	159.000.009	Butt Fusion/IR connector kit, PVDF, DN 15
	3-2100-36	159.000.010	Metric Socket connector kit, PVC, DN 15
	3-2100-37	159.000.011	SCH 80 Socket connector kit, PVC, 1/2 in.
	3-2100-38	159.000.012	NPT Thread Socket connector kit, PVC, 1/2 in.



MOTOROLA Freescale Semiconductor, Inc.
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA
Order this document
by MPX10/D

Jameco Part Number 320899 (MPX10DP)

10 kPa Uncompensated Silicon Pressure Sensors

The MPX10 and MPXV10GC series devices are silicon piezoresistive pressure sensors providing a very accurate and linear voltage output — directly proportional to the applied pressure. These standard, low cost, uncompensated sensors permit manufacturers to design and add their own external temperature compensation and signal conditioning networks. Compensation techniques are simplified because of the predictability of Motorola's single element strain gauge design. Figure 1 shows a schematic of the internal circuitry on the stand-alone pressure sensor chip.

Features

- Low Cost
- Patented Silicon Shear Stress Strain Gauge Design
- Ratiometric to Supply Voltage
- Easy to Use Chip Carrier Package Options
- Differential and Gauge Options
- Durable Epoxy Unibody Element or Thermoplastic (PPS) Surface Mount Package

Application Examples

- Air Movement Control
- Environmental Control Systems
- Level Indicators
- Leak Detection
- Medical Instrumentation
- Industrial Controls
- Pneumatic Control Systems
- Robotics

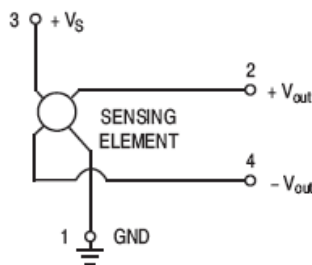


Figure 1. Uncompensated Pressure Sensor Schematic

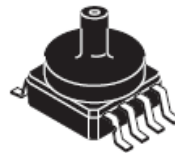
VOLTAGE OUTPUT versus APPLIED DIFFERENTIAL PRESSURE

The output voltage of the differential or gauge sensor increases with increasing pressure applied to the pressure side (P1) relative to the vacuum side (P2). Similarly, output voltage increases as increasing vacuum is applied to the vacuum side (P2) relative to the pressure side (P1).

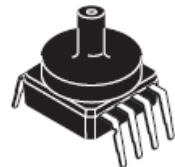
MPX10 MPXV10GC SERIES

0 to 10 kPa (0–1.45 psi)
35 mV FULL SCALE SPAN
(TYPICAL)

SMALL OUTLINE PACKAGE



MPXV10GC6U
CASE 482A



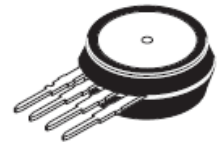
MPXV10GC7U
CASE 482C

PIN NUMBER

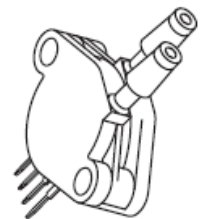
1	Gnd	5	N/C
2	+V _{out}	6	N/C
3	V _S	7	N/C
4	-V _{out}	8	N/C

NOTE: Pin 1 is noted by the notch in the lead.

UNIBODY PACKAGE



MPX10D
CASE 344



MPX10DP
CASE 344C

PIN NUMBER

1	Gnd	3	V _S
2	+V _{out}	4	-V _{out}

NOTE: Pin 1 is noted by the notch in the lead.

MPX10 MPXV10GC SERIES **Freescale Semiconductor, Inc.**

MAXIMUM RATINGS^(NOTE)

Rating	Symbol	Value	Unit
Maximum Pressure (P1 > P2)	P _{max}	75	kPa
Burst Pressure (P1 > P2)	P _{burst}	100	kPa
Storage Temperature	T _{stg}	-40 to +125	°C
Operating Temperature	T _A	-40 to +125	°C

NOTE: Exposure beyond the specified limits may cause permanent damage or degradation to the device.

OPERATING CHARACTERISTICS (V_S = 3.0 Vdc, T_A = 25°C unless otherwise noted, P1 > P2)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Differential Pressure Range ⁽¹⁾	P _{OP}	0	—	10	kPa
Supply Voltage ⁽²⁾	V _S	—	3.0	6.0	Vdc
Supply Current	I _o	—	6.0	—	mAdc
Full Scale Span ⁽³⁾	V _{FSS}	20	35	50	mV
Offset ⁽⁴⁾	V _{off}	0	20	35	mV
Sensitivity	ΔV/ΔP	—	3.5	—	mV/kPa
Linearity ⁽⁵⁾	—	-1.0	—	1.0	%V _{FSS}
Pressure Hysteresis ⁽⁵⁾ (0 to 10 kPa)	—	—	± 0.1	—	%V _{FSS}
Temperature Hysteresis ⁽⁵⁾ (-40°C to +125°C)	—	—	± 0.5	—	%V _{FSS}
Temperature Coefficient of Full Scale Span ⁽⁵⁾	TCV _{FSS}	-0.22	—	-0.16	%V _{FSS} /°C
Temperature Coefficient of Offset ⁽⁵⁾	TCV _{off}	—	±15	—	μV/°C
Temperature Coefficient of Resistance ⁽⁵⁾	TCR	0.28	—	0.34	%Z _{in} /°C
Input Impedance	Z _{in}	400	—	550	Ω
Output Impedance	Z _{out}	750	—	1250	Ω
Response Time ⁽⁶⁾ (10% to 90%)	t _R	—	1.0	—	ms
Warm-Up Time ⁽⁷⁾	—	—	20	—	ms
Offset Stability ⁽⁸⁾	—	—	±0.5	—	%V _{FSS}

NOTES:

- 1.0 kPa (kiloPascal) equals 0.145 psi.
- Device is ratiometric within this specified excitation range. Operating the device above the specified excitation range may induce additional error due to device self-heating.
- Full Scale Span (V_{FSS}) is defined as the algebraic difference between the output voltage at full rated pressure and the output voltage at the minimum rated pressure.
- Offset (V_{off}) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure.
- Accuracy (error budget) consists of the following:
 - Linearity: Output deviation from a straight line relationship with pressure, using end point method, over the specified pressure range.
 - Temperature Hysteresis: Output deviation at any temperature within the operating temperature range, after the temperature is cycled to and from the minimum or maximum operating temperature points, with zero differential pressure applied.
 - Pressure Hysteresis: Output deviation at any pressure within the specified range, when this pressure is cycled to and from the minimum or maximum rated pressure, at 25°C.
 - TcSpan: Output deviation at full rated pressure over the temperature range of 0 to 85°C, relative to 25°C.
 - TcOffset: Output deviation with minimum rated pressure applied, over the temperature range of 0 to 85°C, relative to 25°C.
 - TCR: Z_{in} deviation with minimum rated pressure applied, over the temperature range of -40°C to +125°C, relative to 25°C.
- Response Time is defined as the time for the incremental change in the output to go from 10% to 90% of its final value when subjected to a specified step change in pressure.
- Warm-up Time is defined as the time required for the product to meet the specified output voltage after the pressure has been stabilized.
- Offset Stability is the product's output deviation when subjected to 1000 hours of Pulsed Pressure, Temperature Cycling with Bias Test.

Freescale Semiconductor, Inc. MPX10 MPXV10GC SERIES

TEMPERATURE COMPENSATION

Figure 2 shows the typical output characteristics of the MPX10 and MPXV10GC series over temperature.

Because this strain gauge is an integral part of the silicon diaphragm, there are no temperature effects due to differences in the thermal expansion of the strain gauge and the diaphragm, as are often encountered in bonded strain gauge pressure sensors. However, the properties of the strain gauge itself are temperature dependent, requiring that the device be temperature compensated if it is to be used over an extensive temperature range.

Temperature compensation and offset calibration can be achieved rather simply with additional resistive components, or by designing your system using the MPX2010D series sensor.

Several approaches to external temperature compensa-

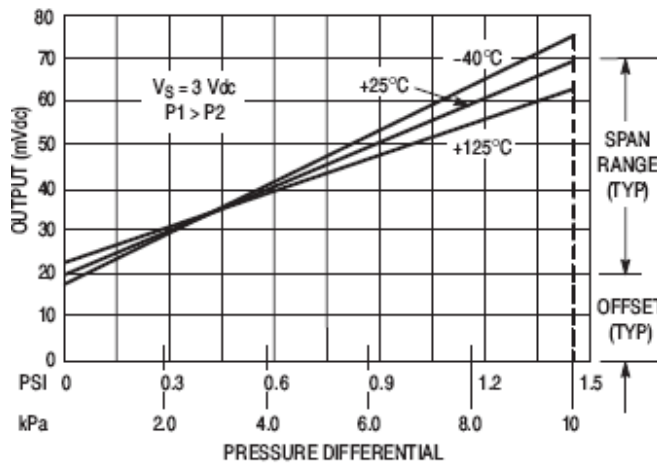


Figure 2. Output versus Pressure Differential

tion over both -40 to $+125^{\circ}\text{C}$ and 0 to $+80^{\circ}\text{C}$ ranges are presented in Motorola Applications Note AN840.

LINEARITY

Linearity refers to how well a transducer's output follows the equation: $V_{\text{out}} = V_{\text{off}} + \text{sensitivity} \times P$ over the operating pressure range (Figure 3). There are two basic methods for calculating nonlinearity: (1) end point straight line fit or (2) a least squares best line fit. While a least squares fit gives the "best case" linearity error (lower numerical value), the calculations required are burdensome.

Conversely, an end point fit will give the "worst case" error (often more desirable in error budget calculations) and the calculations are more straightforward for the user. Motorola's specified pressure sensor linearities are based on the end point straight line method measured at the midrange pressure.

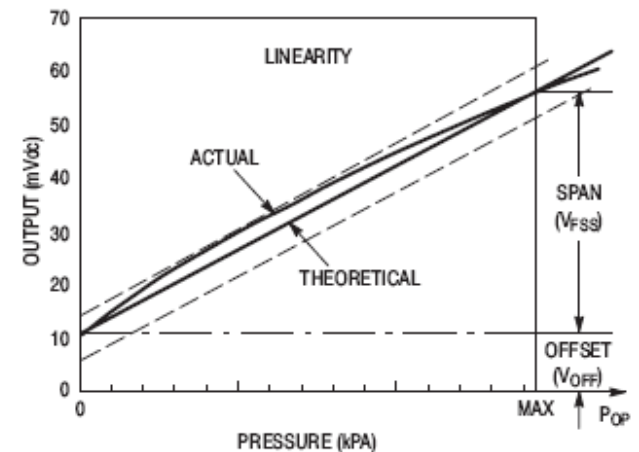


Figure 3. Linearity Specification Comparison

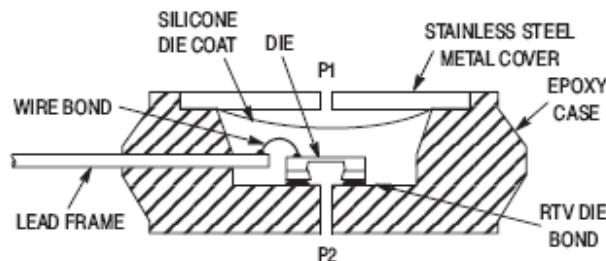


Figure 4. Unibody Package — Cross-Sectional Diagram (not to scale)

Figure 4 illustrates the differential or gauge configuration in the basic chip carrier (Case 344). A silicone gel isolates the die surface and wire bonds from the environment, while allowing the pressure signal to be transmitted to the silicon diaphragm.

The MPX10 and MPXV10GC series pressure sensor oper-

ating characteristics and internal reliability and qualification tests are based on use of dry air as the pressure media. Media other than dry air may have adverse effects on sensor performance and long term reliability. Contact the factory for information regarding media compatibility in your application.

MPX10 MPXV10GC SERIES Freescale Semiconductor, Inc.**PRESSURE (P1)/VACUUM (P2) SIDE IDENTIFICATION TABLE**

Motorola designates the two sides of the pressure sensor as the Pressure (P1) side and the Vacuum (P2) side. The Pressure (P1) side is the side containing silicone gel which isolates the die from the environment. The Motorola pres-

sure sensor is designed to operate with positive differential pressure applied, $P1 > P2$.

The Pressure (P1) side may be identified by using the table below:

Part Number	Case Type	Pressure (P1) Side Identifier
MPX10D	344	Stainless Steel Cap
MPX10DP	344C	Side with Part Marking
MPX10GP	344B	Side with Port Attached
MPX10GS	344E	Side with Port Attached
MPXV10GC6U	482A	Side with Part Marking
MPXV10GC7U	482C	Side with Part Marking

ORDERING INFORMATION — UNIBODY PACKAGE

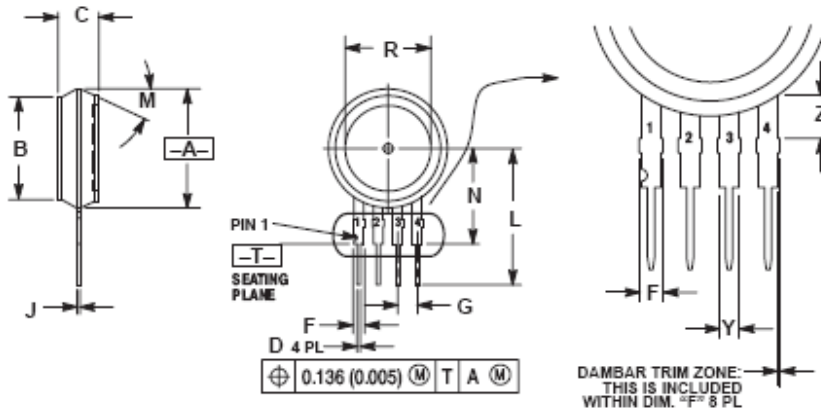
MPX10 series pressure sensors are available in differential and gauge configurations. Devices are available in the basic element package or with pressure port fittings which provide printed circuit board mounting ease and barbed hose pressure connections.

Device Type	Options	Case Type	MPX Series	
			Order Number	Device Marking
Basic Element	Differential	Case 344	MPX10D	MPX10D
Ported Elements	Differential	Case 344C	MPX10DP	MPX10DP
	Gauge	Case 344B	MPX10GP	MPX10GP
	Gauge	Case 344E	MPX10GS	MPX10D

ORDERING INFORMATION — SMALL OUTLINE PACKAGE (MPXV10GC SERIES)

Device Type/Order No.	Packing Options	Case Type	Device Marking
MPXV10GC6U	Rails	Case 482A	MPXV10G
MPXV10GC6T1	Tape and Reel	Case 482A	MPXV10G
MPXV10GC7U	Rails	Case 482C	MPXV10G

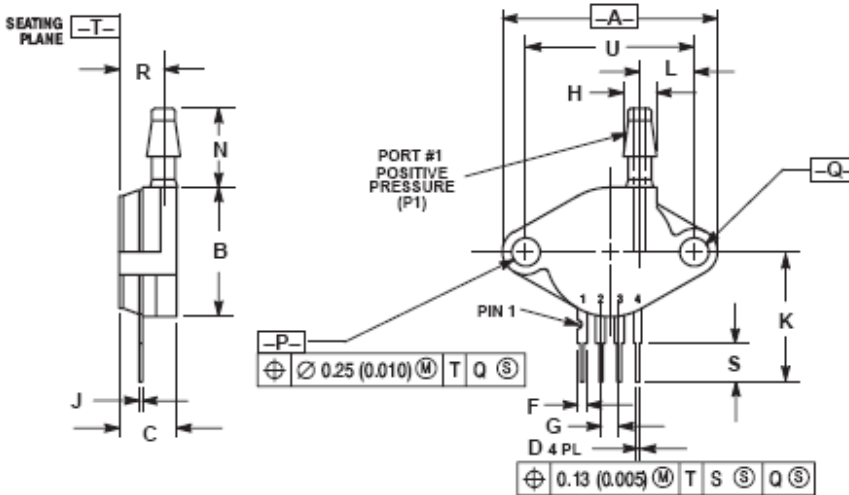
UNIBODY PACKAGE DIMENSIONS



- NOTES:
 1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M, 1994.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
 3. DIMENSION -A- IS INCLUSIVE OF THE MOLD STOP RING. MOLD STOP RING NOT TO EXCEED 16.00 (0.630).

- STYLE 1:
 PIN 1. GROUND
 2. +OUTPUT
 3. +SUPPLY
 4. -OUTPUT
- STYLE 2:
 PIN 1. Vcc
 2. -SUPPLY
 3. +SUPPLY
 4. GROUND
- STYLE 3:
 PIN 1. GND
 2. -VOUT
 3. VS
 4. +VOUT

CASE 344-15
 ISSUE Z



- NOTES:
 1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

- STYLE 1:
 PIN 1. GROUND
 2. + OUTPUT
 3. + SUPPLY
 4. - OUTPUT

CASE 344B-01
 ISSUE B

規格說明書

客戶名稱

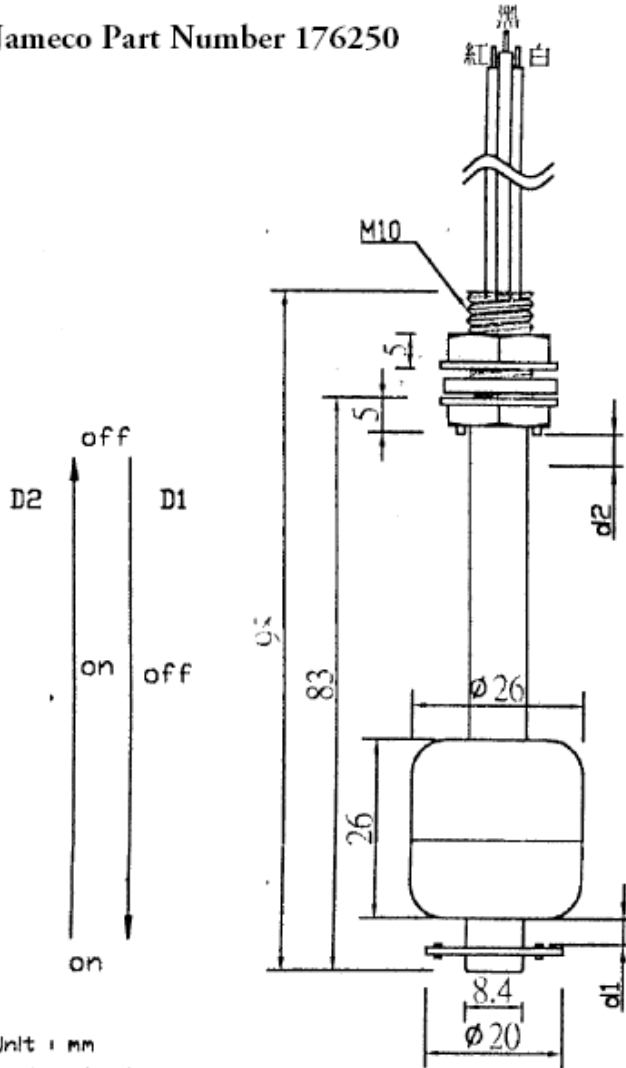
產品名稱

Float Sensor

產品型號

GMI-831A-1A1B

Jameco Part Number 176250



Unit : mm
Scale : 1 : 1

動作說明

動作說明1:

浮球下降至D1位置時則在
2mm < d1 < 5mm 之間動作,
輸出接點(黑/白)為短路
且持續到d1=0

動作說明2:

浮球上升至D2位置時則在
2 < d2 < 4mm 之間必須動作,
此時輸出接點(紅/黑)為開路
且持續到d2=0

動作說明3:

除上述狀況外,FS必須保持
直接點(黑/白)輸出為開路
間接點(紅/黑)輸出為短路

一般公差表

單位: mm

線材長度	±10%
射出合模公差	±0.5%~±1%
導體長度公差	±3%
導角公差	

Material Specification:	Switch Characteristic:	Physical Characteristic:
1. Float body : P.P	1. Contact form : 1A1B	1. Min Shock : 30 G
2. Float ball : P.P	2. Max Contact Rating : A:10W/B:3W	2. Min Vibration : 30 G(10-50HZ)
3. E-Ring : P.P	3. Max Switching Voltage : A:100 /B:30 Vdc	3. Tempe Rating : -10~+45°C
4. O-Ring : Silicon	4. Min Breakdown Voltage : 200 Vdc	4. Heat Shock : -20~+105°C
5. Screw nut : A.B.S	5. Max Switching Current : 0.2 A	5. Humidity : 95%RH (80°C)
6. Wire : UL 1007 AWG22#	6. Min Insulation Potential : 1000 Vdc	6. Anti-Water(Float Ball) : ±3%(1000hr)
	7. Max Contact Resistance : 150m Ohm	7. Application : Water float sense
	8. Min Insulation Resistance : 100M Ohm	
	9. Electrical Life : 1x10 ⁶ (5VDC, 10mA)	

Designed by	Checked by	Date	Modify Date	Scale
		2002/09/20		1:1
Filename		Draw No:	Edition	Sheet
		FS831A-1A1B		1

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

Single Supply Quad Operational Amplifiers

The LM324 series are low-cost, quad operational amplifiers with true differential inputs. They have several distinct advantages over standard operational amplifier types in single supply applications. The quad amplifier can operate at supply voltages as low as 3.0 V or as high as 32 V with quiescent currents about one-fifth of those associated with the MC1741 (on a per amplifier basis). The common mode input range includes the negative supply, thereby eliminating the necessity for external biasing components in many applications. The output voltage range also includes the negative power supply voltage.

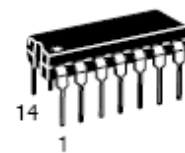
Features

- Short Circuited Protected Outputs
- True Differential Input Stage
- Single Supply Operation: 3.0 V to 32 V
- Low Input Bias Currents: 100 nA Maximum (LM324A)
- Four Amplifiers Per Package
- Internally Compensated
- Common Mode Range Extends to Negative Supply
- Industry Standard Pinouts
- ESD Clamps on the Inputs Increase Ruggedness without Affecting Device Operation
- NCV Prefix for Automotive and Other Applications Requiring Site and Control Changes
- Pb-Free Packages are Available



ON Semiconductor®

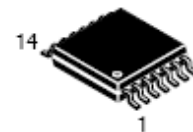
<http://onsemi.com>



PDIP-14
N SUFFIX
CASE 646

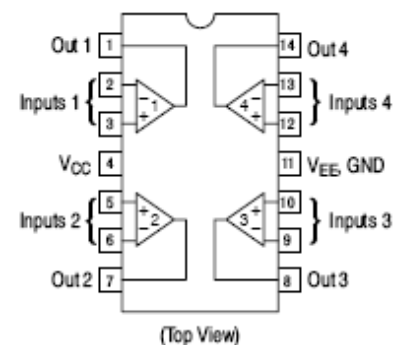


SOIC-14
D SUFFIX
CASE 751A



TSSOP-14
DTB SUFFIX
CASE 948G

PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 10 of this data sheet.

DEVICE MARKING INFORMATION

See general marking information in the device marking section on page 12 of this data sheet.

MAXIMUM RATINGS ($T_A = +25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltages Single Supply Split Supplies	V_{CC} V_{CC}, V_{EE}	32 ± 16	Vdc
Input Differential Voltage Range (Note 1)	V_{IDR}	± 32	Vdc
Input Common Mode Voltage Range	V_{ICR}	-0.3 to 32	Vdc
Output Short Circuit Duration	t_{SC}	Continuous	
Junction Temperature (Note 2)	T_J	150	$^\circ\text{C}$
Thermal Resistance, Junction-to-Air (Note 3)	$R_{\theta JA}$	Case 646 118 Case 751A 156 Case 948G 190	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	$^\circ\text{C}$
ESD Protection at any Pin Human Body Model Machine Model	V_{ESD}	2000 200	V
Operating Ambient Temperature Range	T_A	LM224 -25 to +85 LM324, 324A 0 to +70 LM2902 -40 to +105 LM2902V, NCV2902 (Note 4) -40 to +125	$^\circ\text{C}$

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

1. Split Power Supplies.
2. For supply voltages less than 32 V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.
3. All $R_{\theta JA}$ measurements made on evaluation board with 1 oz. copper traces of minimum pad size. All device outputs were active.
4. *NCV2902 is qualified for automotive use.*

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $V_{EE} = \text{GND}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	LM224			LM324A			LM324			LM2902			LM2902V/NCV2902			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage $V_{CC} = 5.0\text{ V}$ to 30 V $V_{ICR} = 0\text{ V}$ to $V_{CC} - 1.7\text{ V}$, $V_O = 1.4\text{ V}$, $R_B = 0\ \Omega$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{high}}$ (Note 5) $T_A = T_{\text{low}}$ (Note 5)	V_{IO}	-	2.0	5.0	-	2.0	3.0	-	2.0	7.0	-	2.0	7.0	-	2.0	7.0	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Notes 5 and 7)	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	-	7.0	-	-	7.0	30	-	7.0	-	-	7.0	-	-	7.0	-	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 5)	I_{IO}	-	3.0	30	-	5.0	30	-	5.0	50	-	5.0	50	-	5.0	50	nA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Notes 5 and 7)	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	-	10	-	-	10	300	-	10	-	-	10	-	-	10	-	$\text{pA}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 5)	I_B	-	-90	-150	-	-45	-100	-	-90	-250	-	-90	-250	-	-90	-250	nA
Input Common Mode Voltage Range (Note 6) $V_{CC} = 30\text{ V}$ $T_A = +25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 5)	V_{ICR}	0	-	26.3	0	-	26.3	0	-	26.3	0	-	24.3	0	-	24.3	V
Differential Input Voltage Range	V_{IDR}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	V
Large Signal Open Loop Voltage Gain $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$ $V_{CC} = 15\text{ V}$, for Large V_O Swing $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 5)	A_{VOL}	50	100	-	25	100	-	25	100	-	25	100	-	25	100	-	V/mV
Channel Separation $10\text{ kHz} \leq f \leq 20\text{ kHz}$, Input Referenced	CS	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	dB
Common Mode Rejection, $R_B \leq 10\text{ k}\Omega$	CMR	70	85	-	65	70	-	65	70	-	50	70	-	50	70	-	dB
Power Supply Rejection	PSR	65	100	-	65	100	-	65	100	-	50	100	-	50	100	-	dB

5. LM224: $T_{\text{low}} = -25^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +65^\circ\text{C}$
 LM324/LM324A: $T_{\text{low}} = 0^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +70^\circ\text{C}$
 LM2902: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +105^\circ\text{C}$
 LM2902V & NCV2902: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +125^\circ\text{C}$
 NCV2902 is qualified for automotive use.

6. The input common mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V. The upper end of the common mode voltage range is $V_{CC} - 1.7\text{ V}$, but either or both inputs can go to $+32\text{ V}$ without damage, independent of the magnitude of V_{CC} .
7. Guaranteed by design.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $V_{EE} = \text{GND}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	LM224			LM324A			LM324			LM2902			LM2902V/NCV2902			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage – High Limit ($T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low}) (Note 8) $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_{CC} = 30\text{ V}$ $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$ $V_{CC} = 30\text{ V}$ $R_L = 10\text{ k}\Omega$	V_{OH}	3.3	3.5	-	3.3	3.5	-	3.3	3.5	-	3.3	3.5	-	3.3	3.5	-	V
Output Voltage – Low Limit, $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$, $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 8)	V_{OL}	-	5.0	20	-	5.0	20	-	5.0	20	-	5.0	100	-	5.0	100	mV
Output Source Current ($V_{ID} = +1.0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$) $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 8)	I_{O+}	20	40	-	20	40	-	20	40	-	20	40	-	20	40	-	mA
Output Sink Current ($V_{ID} = -1.0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$) $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 8)	I_{O-}	10	20	-	10	20	-	10	20	-	10	20	-	10	20	-	mA
($V_{ID} = -1.0\text{ V}$, $V_O = 200\text{ mV}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)		5.0	8.0	-	5.0	8.0	-	5.0	8.0	-	5.0	8.0	-	5.0	8.0	-	μA
Output Short Circuit to Ground (Note 9)	I_{OC}	-	40	60	-	40	60	-	40	60	-	40	60	-	40	60	mA
Power Supply Current ($T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low}) (Note 8) $V_{CC} = 30\text{ V}$ $V_O = 0\text{ V}$, $R_L = \infty$ $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $V_O = 0\text{ V}$, $R_L = \infty$	I_{CC}	-	-	3.0	-	1.4	3.0	-	-	3.0	-	-	3.0	-	-	3.0	mA
		-	-	1.2	-	0.7	1.2	-	-	1.2	-	-	1.2	-	-	1.2	

8. LM224: $T_{\text{low}} = -25^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +65^\circ\text{C}$
 LM324/LM324A: $T_{\text{low}} = 0^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +70^\circ\text{C}$
 LM2902: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +105^\circ\text{C}$
 LM2902V & NCV2902: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +125^\circ\text{C}$
 NCV2902 is qualified for automotive use.

9. The input common mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V. The upper end of the common mode voltage range is $V_{CC} - 1.7\text{ V}$, but either or both inputs can go to +32 V without damage, independent of the magnitude of V_{CC} .

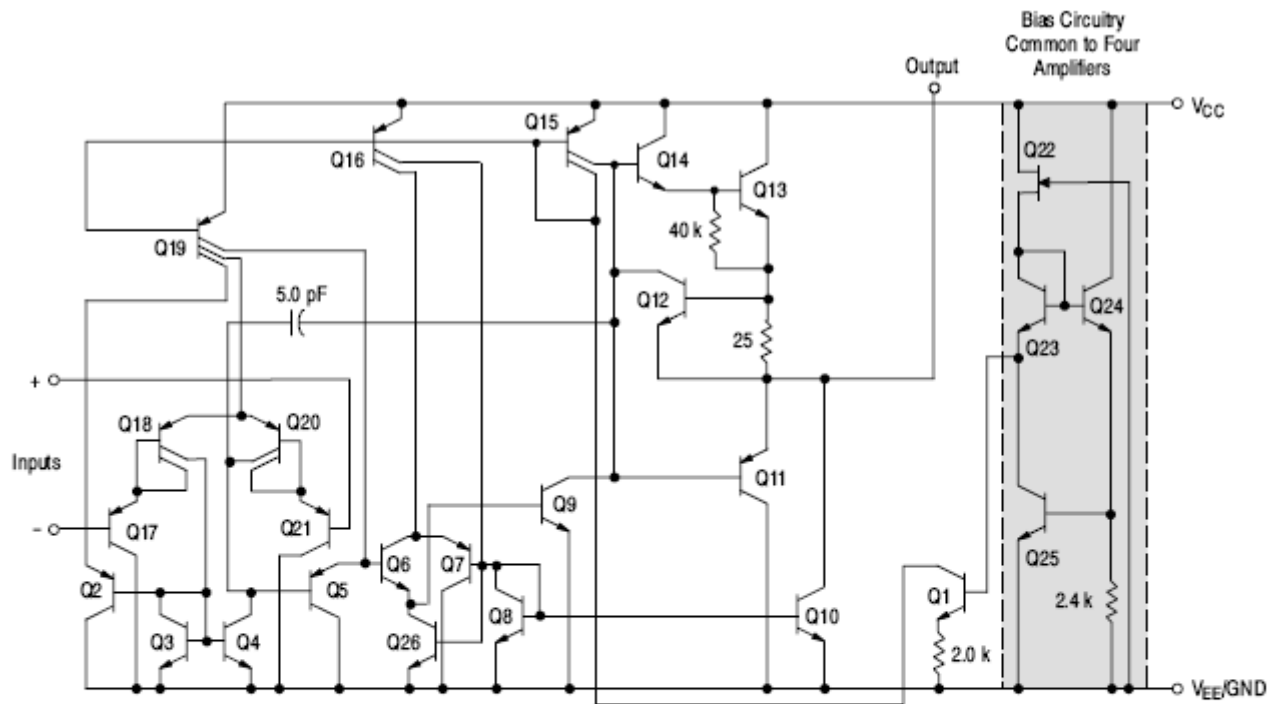


Figure 1. Representative Circuit Diagram
(One-Fourth of Circuit Shown)

CIRCUIT DESCRIPTION

The LM324 series is made using four internally compensated, two-stage operational amplifiers. The first stage of each consists of differential input devices Q20 and Q18 with input buffer transistors Q21 and Q17 and the differential to single ended converter Q3 and Q4. The first stage performs not only the first stage gain function but also performs the level shifting and transconductance reduction functions. By reducing the transconductance, a smaller compensation capacitor (only 5.0 pF) can be employed, thus saving chip area. The transconductance reduction is accomplished by splitting the collectors of Q20 and Q18. Another feature of this input stage is that the input common mode range can include the negative supply or ground, in single supply operation, without saturating either the input devices or the differential to single-ended converter. The second stage consists of a standard current source load amplifier stage.

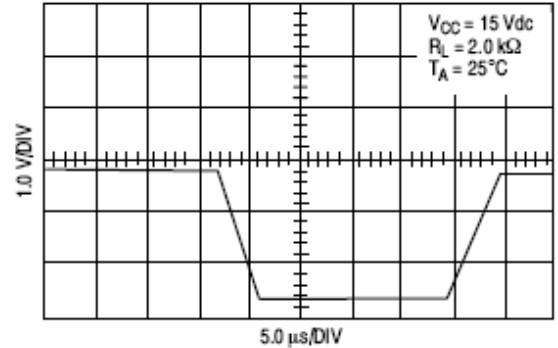


Figure 2. Large Signal Voltage Follower Response

Each amplifier is biased from an internal-voltage regulator which has a low temperature coefficient thus giving each amplifier good temperature characteristics as well as excellent power supply rejection.

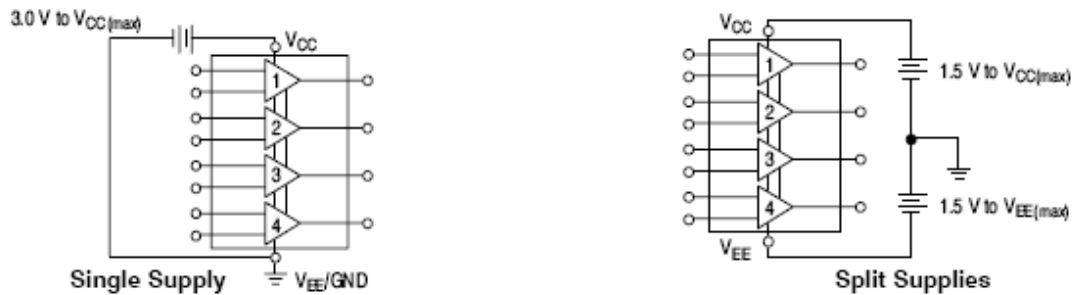


Figure 3.

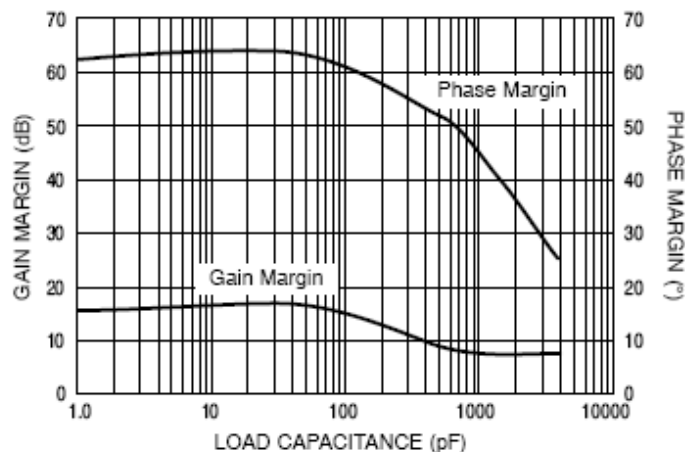


Figure 4. Gain and Phase Margin

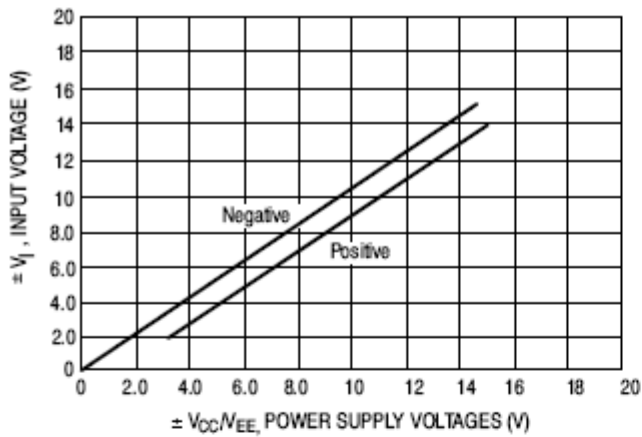


Figure 5. Input Voltage Range

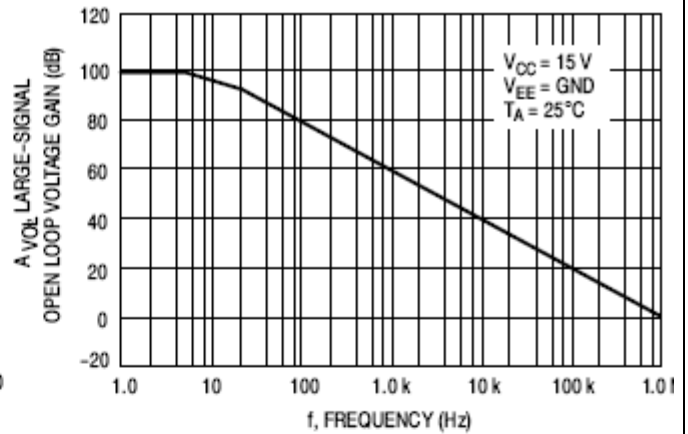


Figure 6. Open Loop Frequency

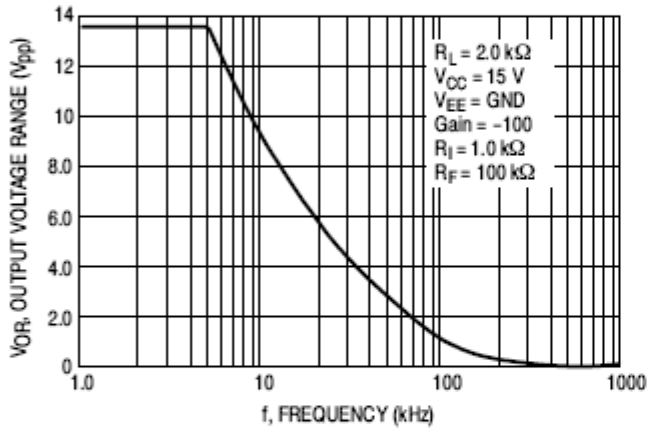


Figure 7. Large-Signal Frequency Response

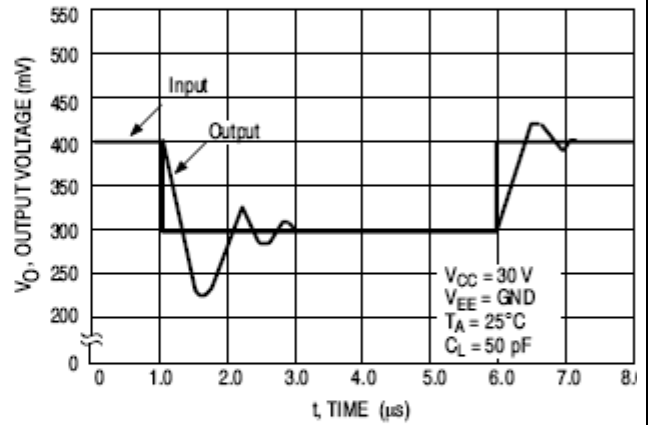


Figure 8. Small-Signal Voltage Follower Pulse Response (Noninverting)

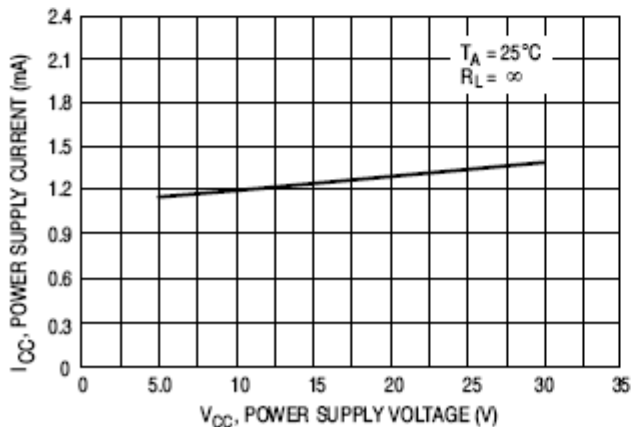


Figure 9. Power Supply Current versus Power Supply Voltage

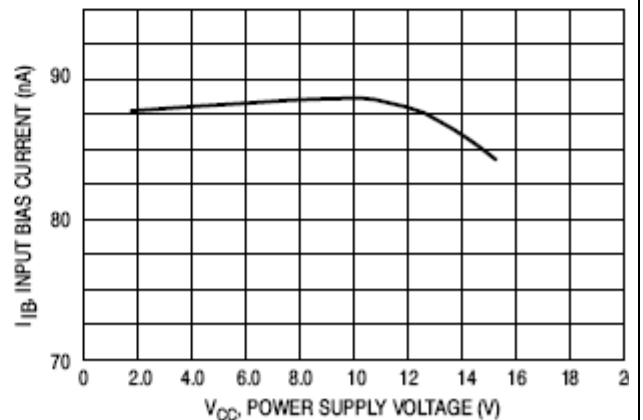
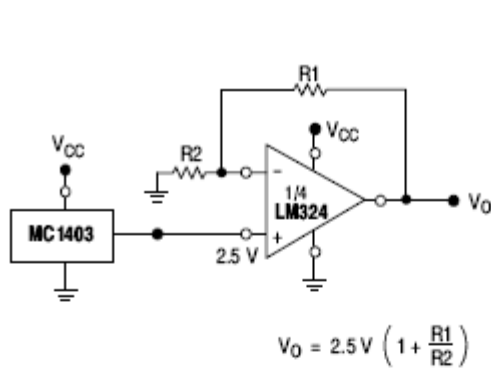
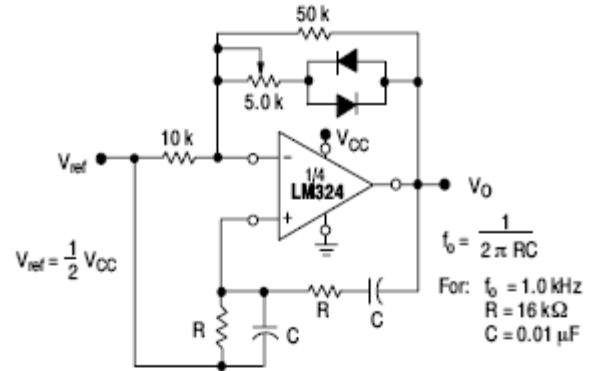


Figure 10. Input Bias Current versus Power Supply Voltage



$$V_0 = 2.5 V \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

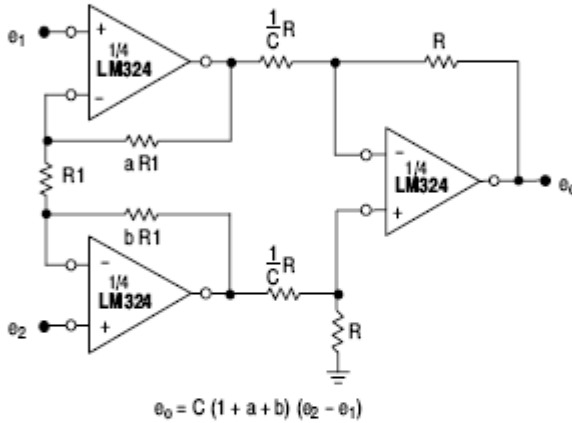
Figure 11. Voltage Reference



$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

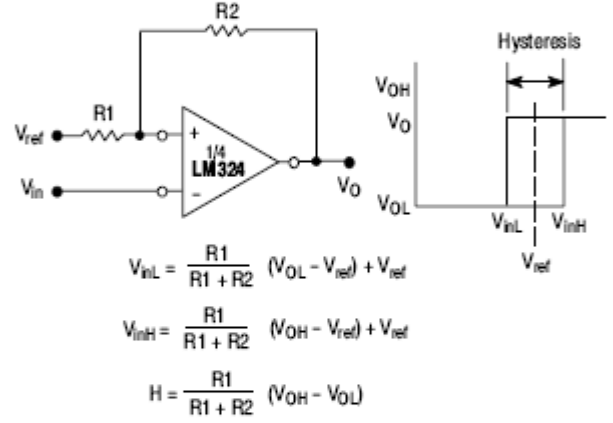
For: $f_0 = 1.0 \text{ kHz}$
 $R = 16 \text{ k}\Omega$
 $C = 0.01 \mu\text{F}$

Figure 12. Wien Bridge Oscillator



$$e_0 = C (1 + a + b) (e_2 - e_1)$$

Figure 13. High Impedance Differential Amplifier

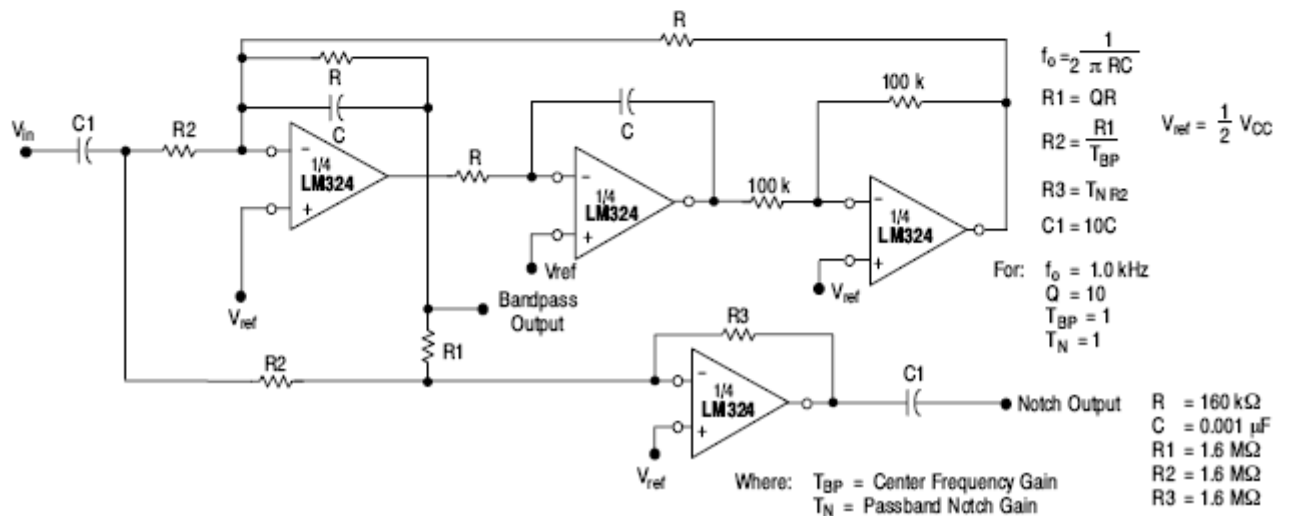


$$V_{inL} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} (V_{OL} - V_{ref}) + V_{ref}$$

$$V_{inH} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} (V_{OH} - V_{ref}) + V_{ref}$$

$$H = \frac{R_1}{R_1 + R_2} (V_{OH} - V_{OL})$$

Figure 14. Comparator with Hysteresis



$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$R_1 = QR$$

$$R_2 = \frac{R_1}{T_{BP}}$$

$$R_3 = T_N R_2$$

$$C_1 = 10C$$

For: $f_0 = 1.0 \text{ kHz}$
 $Q = 10$
 $T_{BP} = 1$
 $T_N = 1$

Where: T_{BP} = Center Frequency Gain
 T_N = Passband Notch Gain

$R = 160 \text{ k}\Omega$
 $C = 0.001 \mu\text{F}$
 $R_1 = 1.6 \text{ M}\Omega$
 $R_2 = 1.6 \text{ M}\Omega$
 $R_3 = 1.6 \text{ M}\Omega$

Figure 15. Bi-Quad Filter

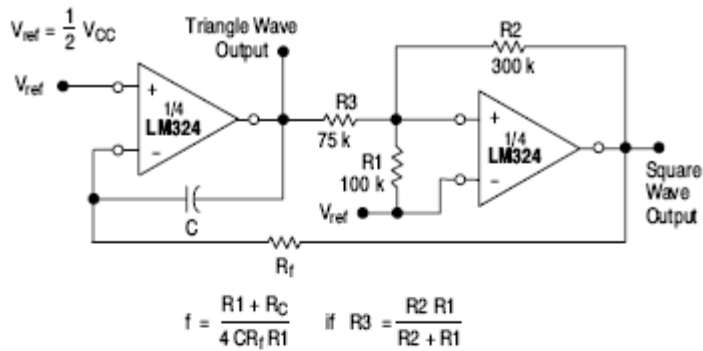


Figure 16. Function Generator

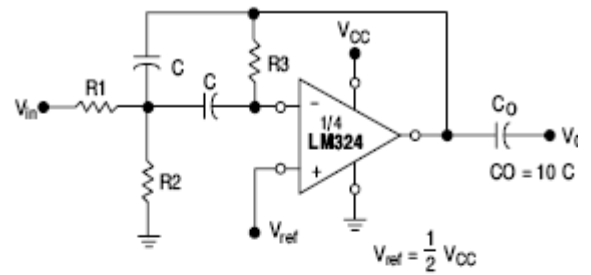


Figure 17. Multiple Feedback Bandpass Filter

Given: f_0 = center frequency

$A(f_0)$ = gain at center frequency

Choose value f_0 , C

$$\text{Then: } R3 = \frac{Q}{\pi f_0 C}$$

$$R1 = \frac{R3}{2 A(f_0)}$$

$$R2 = \frac{R1 R3}{4Q^2 R1 - R3}$$

For less than 10% error from operational amplifier, $\frac{Q_0 f_0}{BW} < 0.1$

where f_0 and BW are expressed in Hz.

If source impedance varies, filter may be preceded with voltage follower buffer to stabilize filter parameters.

28/40-Pin Enhanced FLASH Microcontrollers

Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873A • PIC16F876A
- PIC16F874A • PIC16F877A

High Performance RISC CPU:

- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches, which are two-cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM),
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to other 28-pin or 40/44-pin
PIC16CXXX and PIC16FXXX microcontrollers

Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,
can be incremented during SLEEP via external
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™
(Master mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with
external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for
Brown-out Reset (BOR)

Analog Features:

- 10-bit, up to 8 channel Analog-to-Digital
Converter (A/D)
- Brown-out Reset (BOR)
- Analog Comparator module with:
 - Two analog comparators
 - Programmable on-chip voltage reference
(VREF) module
 - Programmable input multiplexing from device
inputs and internal voltage reference
 - Comparator outputs are externally accessible

Special Microcontroller Features:

- 100,000 erase/write cycle Enhanced FLASH
program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM
memory typical
- Data EEPROM Retention > 40 years
- Self-reprogrammable under software control
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- Single supply 5V In-Circuit Serial Programming
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins

CMOS Technology:

- Low power, high speed FLASH/EEPROM technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low power consumption

Device	Program Memory		Data SRAM (Bytes)	EEPROM (Bytes)	I/O	10-bit A/D (ch)	CCP (PWM)	MSSP		USART	Timers 8/16-bit	Comparators
	Bytes	# Single Word Instructions						SPI	Master I ² C			
PIC16F873A	7.2K	4096	192	128	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F874A	7.2K	4096	192	128	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F876A	14.3K	8192	368	256	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F877A	14.3K	8192	368	256	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2

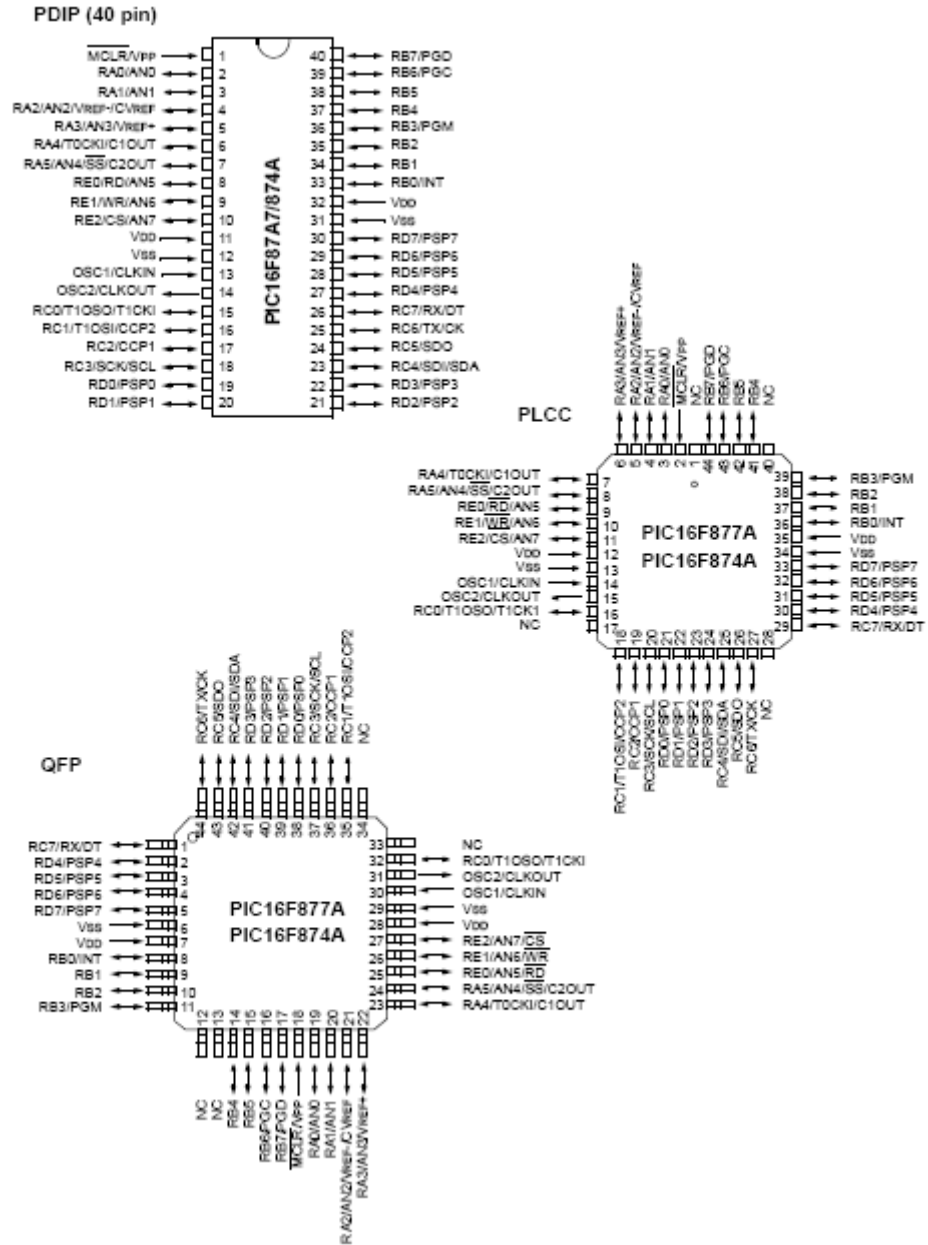
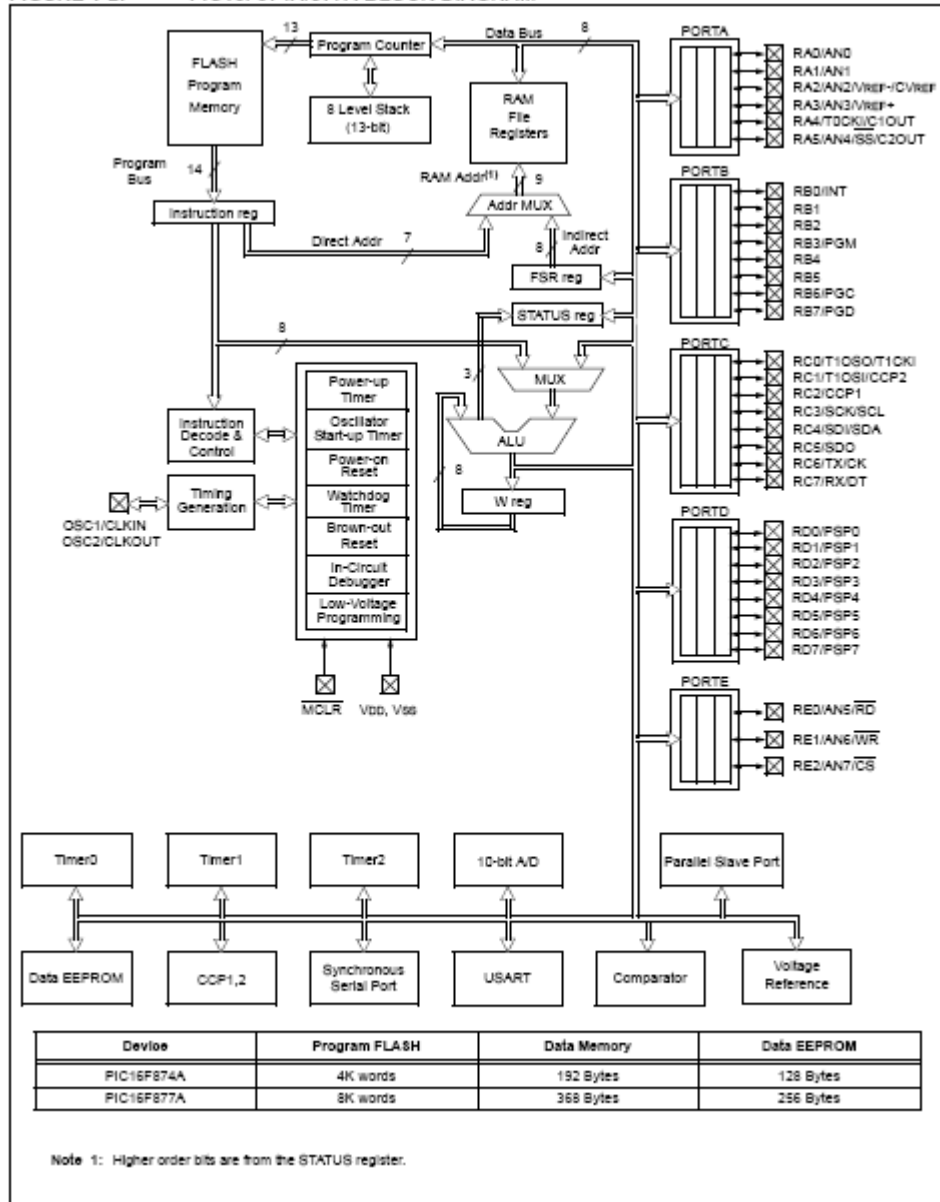


FIGURE 1-2: PIC16F874A/877A BLOCK DIAGRAM



10.3 USART Synchronous Master Mode

In Synchronous Master mode, the data is transmitted in a half-duplex manner (i.e., transmission and reception do not occur at the same time). When transmitting data, the reception is inhibited and vice versa. Synchronous mode is entered by setting bit SYNC (TXSTA<4>). In addition, enable bit SPEN (RCSTA<7>) is set in order to configure the RC6/TX/CK and RC7/RX/DT I/O pins to CK (clock) and DT (data) lines, respectively. The Master mode indicates that the processor transmits the master clock on the CK line. The Master mode is entered by setting bit CSRC (TXSTA<7>).

10.3.1 USART SYNCHRONOUS MASTER TRANSMISSION

The USART transmitter block diagram is shown in Figure 10-6. The heart of the transmitter is the transmit (serial) shift register (TSR). The shift register obtains its data from the read/write transmit buffer register, TXREG. The TXREG register is loaded with data in software. The TSR register is not loaded until the last bit has been transmitted from the previous load. As soon as the last bit is transmitted, the TSR is loaded with new data from the TXREG (if available). Once the TXREG register transfers the data to the TSR register (occurs in one TCYCLE), the TXREG is empty and interrupt bit TXIF (PIR1<4>) is set. The interrupt can be enabled/disabled by setting/clearing enable bit TXIE (PIE1<4>). Flag bit TXIF will be set, regardless of the state of enable bit TXIE and cannot be cleared in software. It will reset only when new data is loaded into the TXREG register. While flag bit TXIF indicates the status of the TXREG register, another bit TRMT (TXSTA<1>) shows the status of the TSR register. TRMT is a read only bit which is set when the TSR is empty. No interrupt logic is tied to this bit, so the user has to poll this bit in order to determine if the TSR register is empty. The TSR is not mapped in data memory, so it is not available to the user.

Transmission is enabled by setting enable bit TXEN (TXSTA<5>). The actual transmission will not occur until the TXREG register has been loaded with data. The first data bit will be shifted out on the next available rising edge of the clock on the CK line. Data out is stable around the falling edge of the synchronous clock (Figure 10-9). The transmission can also be started by first loading the TXREG register and then setting bit TXEN (Figure 10-10). This is advantageous when slow baud rates are selected, since the BRG is kept in RESET when bits TXEN, CREN and SREN are clear. Setting enable bit TXEN will start the BRG, creating a shift clock immediately. Normally, when transmission is first started, the TSR register is empty, so a transfer to the TXREG register will result in an immediate transfer to TSR, resulting in an empty TXREG. Back-to-back transfers are possible.

Clearing enable bit TXEN during a transmission will cause the transmission to be aborted and will reset the transmitter. The DT and CK pins will revert to hi impedance. If either bit CREN or bit SREN is set during a transmission, the transmission is aborted and the DT pin reverts to a hi-impedance state (for a reception). The CK pin will remain an output if bit CSRC is set (internal clock). The transmitter logic, however, is not reset, although it is disconnected from the pins. In order to reset the transmitter, the user has to clear bit TXEN. If bit SREN is set (to interrupt an on-going transmission and receive a single word), then after the single word is received, bit SREN will be cleared and the serial port will revert back to transmitting, since bit TXEN is still set. The DT line will immediately switch from hi-impedance Receive mode to transmit and start driving. To avoid this, bit TXEN should be cleared.

In order to select 9-bit transmission, the TX9 (TXSTA<6>) bit should be set and the ninth bit should be written to bit TX9D (TXSTA<0>). The ninth bit must be written before writing the 8-bit data to the TXREG register. This is because a data write to the TXREG can result in an immediate transfer of the data to the TSR register (if the TSR is empty). If the TSR was empty and the TXREG was written before writing the "new" TX9D, the "present" value of bit TX9D is loaded.

Steps to follow when setting up a Synchronous Master Transmission:

1. Initialize the SPBRG register for the appropriate baud rate (Section 10.1)
2. Enable the synchronous master serial port by setting bits SYNC, SPEN and CSRC.
3. If interrupts are desired, set enable bit TXIE.
4. If 9-bit transmission is desired, set bit TX9.
5. Enable the transmission by setting bit TXEN.
6. If 9-bit transmission is selected, the ninth bit should be loaded in bit TX9D.
7. Start transmission by loading data to the TXREG register.
8. If using interrupts, ensure that GIE and PEIE (bits 7 and 6) of the INTCON register are set.

TABLE 10-8: REGISTERS ASSOCIATED WITH SYNCHRONOUS MASTER TRANSMISSION

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Value on all other RESETS
0Bh, 8Bh, 10Bh, 18Bh	INTCON	GIE	PEIE	TMR0IE	INTE	RBIE	TMR0IF	INTF	R0IF	0000 000x	0000 000u
0Ch	PIR1	PSPIF ⁽¹⁾	ADIF	RCIF	TXIF	SSPIF	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF	0000 0000	0000 0000
18h	RCSTA	SPEN	RX9	SREN	CREN	—	FERR	OERR	RX9D	0000 -00x	0000 -00x
19h	TXREG	USART Transmit Register								0000 0000	0000 0000
8Ch	PIE1	PSPIE ⁽¹⁾	ADIE	RCIE	TXIE	SSPIE	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE	0000 0000	0000 0000
98h	TXSTA	CSRC	TX9	TXEN	SYNC	—	BRGH	TRMT	TX9D	0000 -010	0000 -010
99h	SPBRG	Baud Rate Generator Register								0000 0000	0000 0000

Legend: x = unknown, - = unimplemented, read as '0'. Shaded cells are not used for synchronous master transmission.
 Note 1: Bits PSPIE and PSPIF are reserved on 28-pin devices; always maintain these bits clear.

FIGURE 10-9: SYNCHRONOUS TRANSMISSION

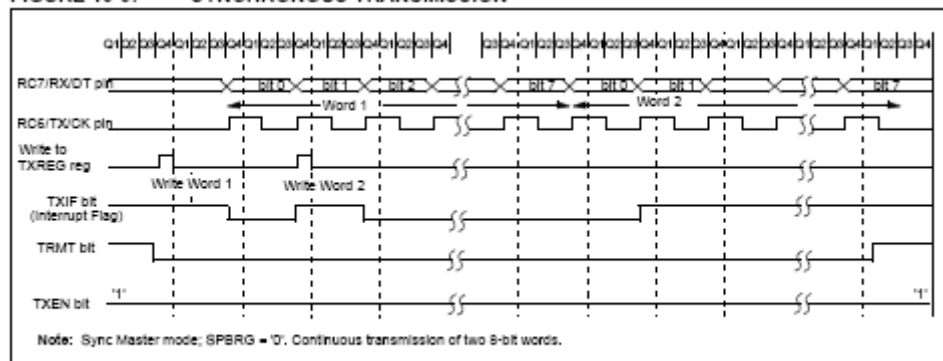
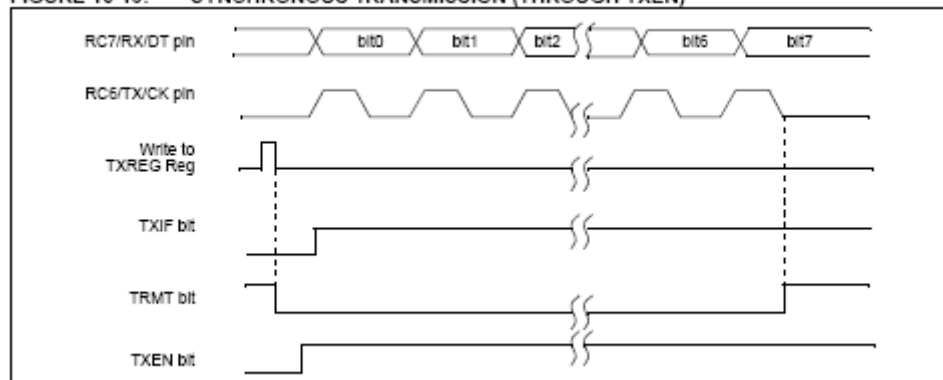


FIGURE 10-10: SYNCHRONOUS TRANSMISSION (THROUGH TXEN)



10.3.2 USART SYNCHRONOUS MASTER RECEPTION

Once Synchronous mode is selected, reception is enabled by setting either enable bit SREN (RCSTA<5>), or enable bit CREN (RCSTA<4>). Data is sampled on the RC7/RX/DT pin on the falling edge of the clock. If enable bit SREN is set, then only a single word is received. If enable bit CREN is set, the reception is continuous until CREN is cleared. If both bits are set, CREN takes precedence. After clocking the last bit, the received data in the Receive Shift Register (RSR) is transferred to the RCREG register (if it is empty). When the transfer is complete, interrupt flag bit RCIF (PIR1<5>) is set. The actual interrupt can be enabled/disabled by setting/clearing enable bit RCIE (PIE1<5>). Flag bit RCIF is a read only bit, which is reset by the hardware. In this case, it is reset when the RCREG register has been read and is empty. The RCREG is a double buffered register (i.e., it is a two deep FIFO). It is possible for two bytes of data to be received and transferred to the RCREG FIFO and a third byte to begin shifting into the RSR register. On the clocking of the last bit of the third byte, if the RCREG register is still full, then overrun error bit OERR (RCSTA<1>) is set. The word in the RSR will be lost. The RCREG register can be read twice to retrieve the two bytes in the FIFO. Bit OERR has to be cleared in software (by clearing bit CREN). If bit OERR is set, transfers from the RSR to the RCREG are inhibited, so it is essential to clear bit OERR if it is set. The ninth

receive bit is buffered the same way as the receive data. Reading the RCREG register will load bit RX9D with a new value, therefore, it is essential for the user to read the RCSTA register before reading RCREG, in order not to lose the old RX9D information.

When setting up a Synchronous Master Reception:

1. Initialize the SPBRG register for the appropriate baud rate (Section 10.1).
2. Enable the synchronous master serial port by setting bits SYNC, SPEN and CSRC.
3. Ensure bits CREN and SREN are clear.
4. If interrupts are desired, then set enable bit RCIE.
5. If 9-bit reception is desired, then set bit RX9.
6. If a single reception is required, set bit SREN. For continuous reception, set bit CREN.
7. Interrupt flag bit RCIF will be set when reception is complete and an interrupt will be generated if enable bit RCIE was set.
8. Read the RCSTA register to get the ninth bit (if enabled) and determine if any error occurred during reception.
9. Read the 8-bit received data by reading the RCREG register.
10. If any error occurred, clear the error by clearing bit CREN.
11. If using interrupts, ensure that GIE and PEIE (bits 7 and 6) of the INTCON register are set.

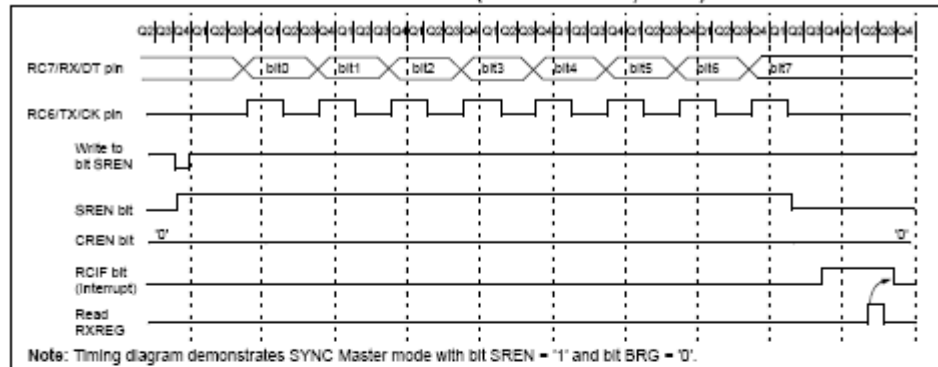
TABLE 10-9: REGISTERS ASSOCIATED WITH SYNCHRONOUS MASTER RECEPTION

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on: POR, BOR	Value on all other RESETS
0Bh, 6Bh, 10Bh, 18Bh	INTCON	GIE	PEIE	TMR0IE	INTE	RBIE	TMR0IF	INTF	R0IF	0000 000x	0000 000u
0Ch	PIR1	PSPIF ⁽¹⁾	ADIF	RCIF	TXIF	SSPIF	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF	0000 0000	0000 0000
18h	RCSTA	SPEN	RX9	SREN	CREN	—	FERR	OERR	RX9D	0000 -00x	0000 -00x
1Ah	RCREG	USART Receive Register								0000 0000	0000 0000
8Ch	PIE1	PSPIE ⁽¹⁾	ADIE	RCIE	TXIE	SSPIE	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE	0000 0000	0000 0000
98h	TXSTA	CSRC	TX9	TXEN	SYNC	—	BRGH	TRMT	TX9D	0000 -010	0000 -010
99h	SPBRG	Baud Rate Generator Register								0000 0000	0000 0000

Legend: x = unknown, - = unimplemented, read as '0'. Shaded cells are not used for synchronous master reception.

Note 1: Bits PSPIE and PSPIF are reserved on 28-pin devices; always maintain these bits clear.

FIGURE 10-11: SYNCHRONOUS RECEPTION (MASTER MODE, SREN)



10.4 USART Synchronous Slave Mode

Synchronous Slave mode differs from the Master mode in the fact that the shift clock is supplied externally at the RC6/TX/CK pin (instead of being supplied internally in Master mode). This allows the device to transfer or receive data while in SLEEP mode. Slave mode is entered by clearing bit CSRC (TXSTA<7>).

10.4.1 USART SYNCHRONOUS SLAVE TRANSMIT

The operation of the Synchronous Master and Slave modes is identical, except in the case of the SLEEP mode.

If two words are written to the TXREG and then the SLEEP instruction is executed, the following will occur:

- The first word will immediately transfer to the TSR register and transmit.
- The second word will remain in TXREG register.
- Flag bit TXIF will not be set.
- When the first word has been shifted out of TSR, the TXREG register will transfer the second word to the TSR and flag bit TXIF will now be set.
- If enable bit TXIE is set, the interrupt will wake the chip from SLEEP and if the global interrupt is enabled, the program will branch to the interrupt vector (0004h).

When setting up a Synchronous Slave Transmission, follow these steps:

- Enable the synchronous slave serial port by setting bits SYNC and SPEN and clearing bit CSRC.
- Clear bits CREN and SREN.
- If interrupts are desired, then set enable bit TXIE.
- If 9-bit transmission is desired, then set bit TX9.
- Enable the transmission by setting enable bit TXEN.
- If 9-bit transmission is selected, the ninth bit should be loaded in bit TX9D.
- Start transmission by loading data to the TXREG register.
- If using interrupts, ensure that GIE and PEIE (bits 7 and 6) of the INTCON register are set.

11.0 ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER (A/D) MODULE

The Analog-to-Digital (A/D) Converter module has five inputs for the 28-pin devices and eight for the 40/44-pin devices.

The conversion of an analog input signal results in a corresponding 10-bit digital number. The A/D module has high and low voltage reference input, that is software selectable to some combination of V_{DD} , V_{AS} , RA2, or RA3.

The A/D converter has a unique feature of being able to operate while the device is in SLEEP mode. To operate in SLEEP, the A/D clock must be derived from the A/D's internal RC oscillator.

The A/D module has four registers. These registers are:

- A/D Result High Register (ADRESH)
- A/D Result Low Register (ADRESL)
- A/D Control Register0 (ADCON0)
- A/D Control Register1 (ADCON1)

The ADCON0 register, shown in Register 11-1, controls the operation of the A/D module. The ADCON1 register, shown in Register 11-2, configures the functions of the port pins. The port pins can be configured as analog inputs (RA3 can also be the voltage reference), or as digital I/O.

Additional information on using the A/D module can be found in the PICmicro™ Mid-Range MCU Family Reference Manual (DS33023).

REGISTER 11-1: ADCON0 REGISTER (ADDRESS 1Fh)

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0
ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	—	ADON
bit 7						bit 0	

bit 7-6 **ADCS1:ADCS0**: A/D Conversion Clock Select bits (ADCON0 bits in **bold**)

ADCON1 <ADCS2>	ADCON0 <ADCS1:ADCS0>	Clock Conversion
0	00	$F_{osc}/2$
0	01	$F_{osc}/8$
0	10	$F_{osc}/32$
0	11	Frc (clock derived from the internal A/D RC oscillator)
1	00	$F_{osc}/4$
1	01	$F_{osc}/16$
1	10	$F_{osc}/64$
1	11	Frc (clock derived from the internal A/D RC oscillator)

bit 5-3 **CHS2:CHS0**: Analog Channel Select bits

000 = Channel 0 (AN0)
 001 = Channel 1 (AN1)
 010 = Channel 2 (AN2)
 011 = Channel 3 (AN3)
 100 = Channel 4 (AN4)
 101 = Channel 5 (AN5)
 110 = Channel 6 (AN6)
 111 = Channel 7 (AN7)

Note: The PIC16F873A/876A devices only implement A/D channels 0 through 4; the unimplemented selections are reserved. Do not select any unimplemented channels with these devices.

bit 2 **GO/DONE**: A/D Conversion Status bit

When ADON = 1:

1 = A/D conversion in progress (setting this bit starts the A/D conversion which is automatically cleared by hardware when the A/D conversion is complete)
 0 = A/D conversion not in progress

bit 1 **Unimplemented**: Read as '0'

bit 0 **ADON**: A/D On bit

1 = A/D converter module is powered up
 0 = A/D converter module is shut-off and consumes no operating current

Legend:

R = Readable bit	W = Writable bit	U = Unimplemented bit, read as '0'
- n = Value at POR reset	'1' = Bit is set	'0' = Bit is cleared
		x = Bit is unknown

REGISTER 11-2: ADCON1 REGISTER (ADDRESS 9Fh)

R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
ADFM	ADCS2	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
bit 7				bit 0			

bit 7 **ADFM**: A/D Result Format Select bit

1 = Right justified. Six (6) Most Significant bits of ADRESH are read as '0'.
0 = Left justified. Six (6) Least Significant bits of ADRESL are read as '0'.

bit 6 **ADCS2**: A/D Conversion Clock Select bit (ADCON1 bits in shaded area and in bold)

ADCON1 <ADCS2>	ADCON0 <ADCS1:ADCS0>	Clock Conversion
0	00	Fosc/2
0	01	Fosc/8
0	10	Fosc/32
0	11	Frc (clock derived from the internal A/D RC oscillator)
1	00	Fosc/4
1	01	Fosc/16
1	10	Fosc/64
1	11	Frc (clock derived from the internal A/D RC oscillator)

bit 5-4 **Unimplemented**: Read as '0'

bit 3-0 **PCFG3:PCFG0**: A/D Port Configuration Control bits

PCFG <3:0>	AN7	AN6	AN5	AN4	AN3	AN2	AN1	AN0	VREF+	VREF-	C / R
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	V _{DD}	V _{SS}	8 / 0
0001	A	A	A	A	VREF+	A	A	A	AN3	V _{SS}	7 / 1
0010	D	D	D	A	A	A	A	A	V _{DD}	V _{SS}	5 / 0
0011	D	D	D	A	VREF+	A	A	A	AN3	V _{SS}	4 / 1
0100	D	D	D	D	A	D	A	A	V _{DD}	V _{SS}	3 / 0
0101	D	D	D	D	VREF+	D	A	A	AN3	V _{SS}	2 / 1
011x	D	D	D	D	D	D	D	D	—	—	0 / 0
1000	A	A	A	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	6 / 2
1001	D	D	A	A	A	A	A	A	V _{DD}	V _{SS}	6 / 0
1010	D	D	A	A	VREF+	A	A	A	AN3	V _{SS}	5 / 1
1011	D	D	A	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	4 / 2
1100	D	D	D	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	3 / 2
1101	D	D	D	D	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	2 / 2
1110	D	D	D	D	D	D	D	A	V _{DD}	V _{SS}	1 / 0
1111	D	D	D	D	VREF+	VREF-	D	A	AN3	AN2	1 / 2

A = Analog input D = Digital I/O

C / R = # of analog input channels / # of A/D voltage references

Legend:

R = Readable bit W = Writable bit U = Unimplemented bit, read as '0'

- n = Value at POR reset '1' = Bit is set '0' = Bit is cleared x = Bit is unknown

Note: On any device RESET, the port pins that are multiplexed with analog functions (ANx) are forced to be an analog input.

The ADRESH:ADRESL registers contain the 10-bit result of the A/D conversion. When the A/D conversion is complete, the result is loaded into this A/D result register pair, the GO/DONE bit (ADCON0<2>) is cleared and the A/D interrupt flag bit ADIF is set. The block diagram of the A/D module is shown in Figure 11-1.

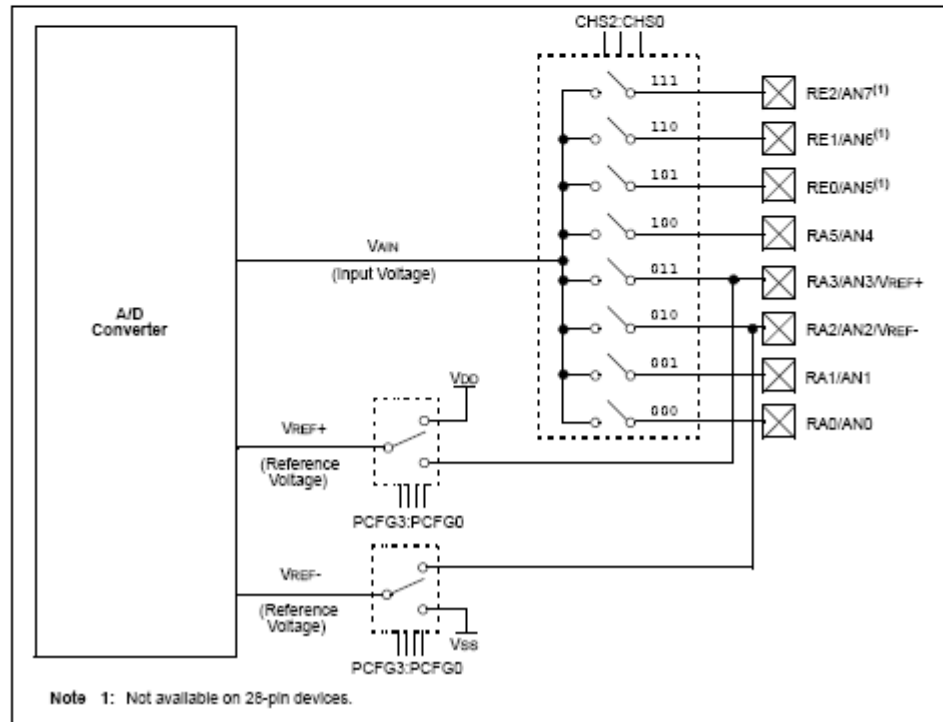
After the A/D module has been configured as desired, the selected channel must be acquired before the conversion is started. The analog input channels must have their corresponding TRIS bits selected as inputs.

To determine sample time, see Section 11.1. After this acquisition time has elapsed, the A/D conversion can be started.

These steps should be followed for doing an A/D Conversion:

1. Configure the A/D module:
 - Configure analog pins/voltage reference and digital I/O (ADCON1)
 - Select A/D input channel (ADCON0)
 - Select A/D conversion clock (ADCON0)
 - Turn on A/D module (ADCON0)
2. Configure A/D interrupt (if desired):
 - Clear ADIF bit
 - Set ADIE bit
 - Set PEIE bit
 - Set GIE bit
3. Wait the required acquisition time.
4. Start conversion:
 - Set GO/DONE bit (ADCON0)
5. Wait for A/D conversion to complete, by either:
 - Polling for the GO/DONE bit to be cleared (with interrupts enabled); OR
 - Waiting for the A/D interrupt
6. Read A/D result register pair (ADRESH:ADRESL), clear bit ADIF, if required.
7. For the next conversion, go to step 1 or step 2, as required. The A/D conversion time per bit is defined as T_{AD} .

FIGURE 11-1: A/D BLOCK DIAGRAM



11.1 A/D Acquisition Requirements

For the A/D converter to meet its specified accuracy, the charge holding capacitor (CHOLD) must be allowed to fully charge to the input channel voltage level. The analog input model is shown in Figure 11-2. The source impedance (Rs) and the internal sampling switch (Rss) impedance directly affect the time required to charge the capacitor CHOLD. The sampling switch (Rss) impedance varies over the device voltage (VDD), see Figure 11-2. The maximum recommended impedance for analog sources is 10 kΩ. As the impedance is decreased, the acquisition time may be decreased.

After the analog input channel is selected (changed), this acquisition must be done before the conversion can be started.

To calculate the minimum acquisition time, Equation 11-1 may be used. This equation assumes that 1/2 LSB error is used (1024 steps for the A/D). The 1/2 LSB error is the maximum error allowed for the A/D to meet its specified resolution.

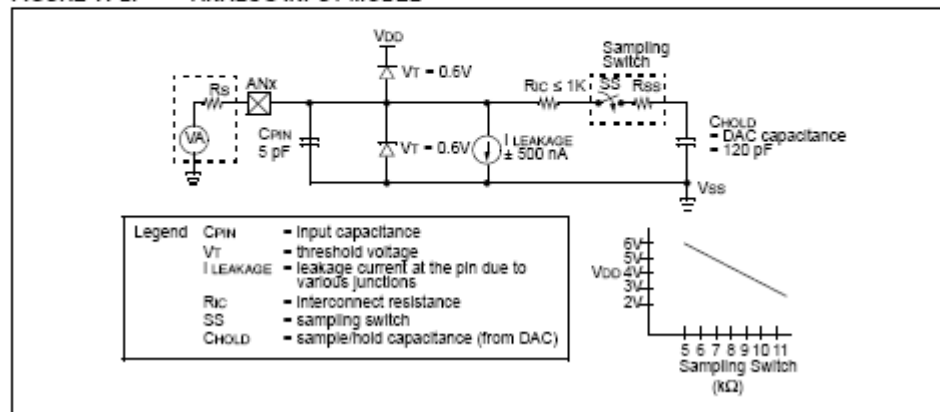
To calculate the minimum acquisition time, T_{ACQ}, see the PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023).

EQUATION 11-1: ACQUISITION TIME

$$\begin{aligned}
 T_{ACQ} &= \text{Amplifier Settling Time} + \\
 &\quad \text{Hold Capacitor Charging Time} + \\
 &\quad \text{Temperature Coefficient} \\
 &= T_{AMP} + T_C + T_{COFF} \\
 &= 2\mu\text{s} + T_C + [(\text{Temperature} - 25^\circ\text{C}) (0.05\mu\text{s}/^\circ\text{C})] \\
 T_C &= \text{CHOLD} (R_{IC} + R_{SS} + R_S) \ln(1/2047) \\
 &= 120\text{pF} (1\text{k}\Omega + 7\text{k}\Omega + 10\text{k}\Omega) \ln(0.0004885) \\
 &= 16.47\mu\text{s} \\
 T_{ACQ} &= 2\mu\text{s} + 16.47\mu\text{s} + [(50^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) (0.05\mu\text{s}/^\circ\text{C})] \\
 &= 19.72\mu\text{s}
 \end{aligned}$$

- Note** 1: The reference voltage (V_{REF}) has no effect on the equation, since it cancels itself out.
 2: The charge holding capacitor (CHOLD) is not discharged after each conversion.
 3: The maximum recommended impedance for analog sources is 10 kΩ. This is required to meet the pin leakage specification.

FIGURE 11-2: ANALOG INPUT MODEL



11.2 Selecting the A/D Conversion Clock

The A/D conversion time per bit is defined as T_{AD} . The A/D conversion requires a minimum $12T_{AD}$ per 10-bit conversion. The source of the A/D conversion clock is software selected. The seven possible options for T_{AD} are:

- $2T_{osc}$
- $4T_{osc}$
- $8T_{osc}$
- $16T_{osc}$
- $32T_{osc}$
- $64T_{osc}$
- Internal A/D module RC oscillator (2-6 μ s)

For correct A/D conversions, the A/D conversion clock (T_{AD}) must be selected to ensure a minimum T_{AD} time of 1.6 μ s.

Table 11-1 shows the resultant T_{AD} times derived from the device operating frequencies and the A/D clock source selected.

11.3 Configuring Analog Port Pins

The ADCON1 and TRIS registers control the operation of the A/D port pins. The port pins that are desired as analog inputs, must have their corresponding TRIS bits set (input). If the TRIS bit is cleared (output), the digital output level (V_{OH} or V_{OL}) will be converted.

The A/D operation is independent of the state of the CHS2:CHS0 bits and the TRIS bits.

Note 1: When reading the port register, any pin configured as an analog input channel will read as cleared (a low level). Pins configured as digital inputs will convert an analog input. Analog levels on a digitally configured input will not affect the conversion accuracy.

2: Analog levels on any pin that is defined as a digital input (including the AN7:AN0 pins), may cause the input buffer to consume current that is out of the device specifications.

TABLE 11-1: T_{AD} vs. MAXIMUM DEVICE OPERATING FREQUENCIES (STANDARD DEVICES (C))

AD Clock Source (T_{AD})		Maximum Device Frequency
Operation	ADCS2:ADCS1:ADCS0	Max.
$2T_{osc}$	000	1.25 MHz
$4T_{osc}$	100	2.5 MHz
$8T_{osc}$	001	5 MHz
$16T_{osc}$	101	10 MHz
$32T_{osc}$	010	20 MHz
$64T_{osc}$	110	20 MHz
RC ^(1, 2, 3)	x11	(Note 1)

Note 1: The RC source has a typical T_{AD} time of 4 μ s, but can vary between 2-6 μ s.

2: When the device frequencies are greater than 1 MHz, the RC A/D conversion clock source is only recommended for SLEEP operation.

3: For extended voltage devices (LC), please refer to the Electrical Characteristics (Sections 17.1 and 17.2).

11.4 A/D Conversions

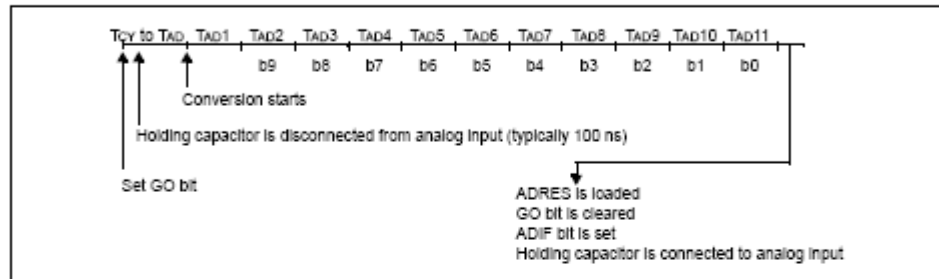
Clearing the $\overline{GO/DONE}$ bit during a conversion will abort the current conversion. The A/D result register pair will NOT be updated with the partially completed A/D conversion sample. That is, the ADRESH:ADRESL registers will continue to contain the value of the last completed conversion (or the last value written to the ADRESH:ADRESL registers). After the A/D conversion

is aborted, the next acquisition on the selected channel is automatically started. The $\overline{GO/DONE}$ bit can then be set to start the conversion.

In Figure 11-3, after the GO bit is set, the first time segment has a minimum of T_{CY} and a maximum of T_{AD} .

Note: The $\overline{GO/DONE}$ bit should NOT be set in the same instruction that turns on the A/D.

FIGURE 11-3: A/D CONVERSION T_{AD} CYCLES

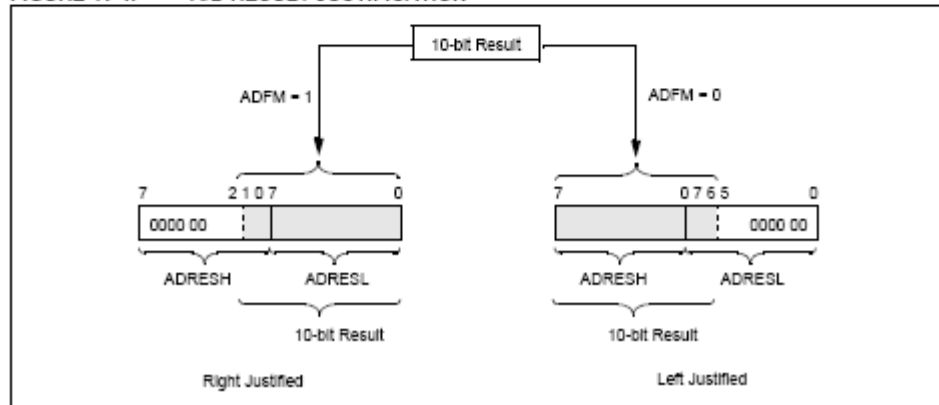


11.4.1 A/D RESULT REGISTERS

The ADRESH:ADRESL register pair is the location where the 10-bit A/D result is loaded at the completion of the A/D conversion. This register pair is 16-bits wide. The A/D module gives the flexibility to left or right justify the 10-bit result in the 16-bit result register. The A/D

Format Select bit (ADFM) controls this justification. Figure 11-4 shows the operation of the A/D result justification. The extra bits are loaded with '0's'. When an A/D result will not overwrite these locations (A/D disable), these registers may be used as two general purpose 8-bit registers.

FIGURE 11-4: A/D RESULT JUSTIFICATION



11.5 A/D Operation During SLEEP

The A/D module can operate during SLEEP mode. This requires that the A/D clock source be set to RC (ADCS1:ADCS0 = 11). When the RC clock source is selected, the A/D module waits one instruction cycle before starting the conversion. This allows the SLEEP instruction to be executed, which eliminates all digital switching noise from the conversion. When the conversion is completed, the GO/DONE bit will be cleared and the result loaded into the ADRES register. If the A/D interrupt is enabled, the device will wake-up from SLEEP. If the A/D interrupt is not enabled, the A/D module will then be turned off, although the ADON bit will remain set.

When the A/D clock source is another clock option (not RC), a SLEEP instruction will cause the present conversion to be aborted and the A/D module to be turned off, though the ADON bit will remain set.

Turning off the A/D places the A/D module in its lowest current consumption state.

Note: For the A/D module to operate in SLEEP, the A/D clock source must be set to RC (ADCS1:ADCS0 = 11). To allow the conversion to occur during SLEEP, ensure the SLEEP instruction immediately follows the instruction that sets the GO/DONE bit.

11.6 Effects of a RESET

A device RESET forces all registers to their RESET state. This forces the A/D module to be turned off, and any conversion is aborted. All A/D input pins are configured as analog inputs.

The value that is in the ADRESH:ADRESL registers is not modified for a Power-on Reset. The ADRESH:ADRESL registers will contain unknown data after a Power-on Reset.

TABLE 11-2: REGISTERS/BITS ASSOCIATED WITH A/D

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on POR, BOR	Value on MCLR, WDT
0Bh,8Bh,10Bh,18Bh	INTCON	GIE	PEIE	TMR0IE	INTE	RBIE	TMR0IF	INTF	RBIF	0000 000x	0000 000u
0Ch	PIR1	PSPIF ⁽¹⁾	ADIF	RCIF	TXIF	SSPIF	CCP1IF	TMR2IF	TMR1IF	0000 0000	0000 0000
8Ch	PIE1	PSPIE ⁽¹⁾	ADIE	RCIE	TXIE	SSPIE	CCP1IE	TMR2IE	TMR1IE	0000 0000	0000 0000
1Eh	ADRESH	A/D Result Register High Byte								xxxx xxxx	uuuu uuuu
9Eh	ADRESL	A/D Result Register Low Byte								xxxx xxxx	uuuu uuuu
1Fh	ADCON0	ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	—	ADON	0000 00-0	0000 00-0
9Fh	ADCON1	ADFM	ADCS2	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0	00-0 0000	00-0 0000
85h	TRISA	—	—	PORTA Data Direction Register						--11 1111	--11 1111
05h	PORTA	—	—	PORTA Data Latch when written: PORTA pins when read						--0x 0000	--0u 0000
89h ⁽¹⁾	TRISE	IBF	OBF	IBOV	PSPMODE	—	PORTE Data Direction bits			0000 -111	0000 -111
09h ⁽¹⁾	PORTE	—	—	—	—	—	RE2	RE1	RE0	---- -xxxx	---- -uuu

Legend: x = unknown, u = unchanged, - = unimplemented, read as '0'. Shaded cells are not used for A/D conversion.

Note 1: These registers are not available on 28-pin devices.



November 1983

Revised January 1999

CD4016BC

Quad Bilateral Switch

General Description

The CD4016BC is a quad bilateral switch intended for the transmission or multiplexing of analog or digital signals. It is pin-for-pin compatible with CD4066BC.

Features

- Wide supply voltage range: 3V to 15V
- Wide range of digital and analog switching: $\pm 7.5 V_{PEAK}$
- "ON" resistance for 15V operation: 400 Ω (typ.)
- Matched "ON" resistance over 15V signal input:
 $\Delta R_{ON} = 10\Omega$ (typ.)
- High degree of linearity:
0.4% distortion (typ.)
@ $f_{IS} = 1$ kHz, $V_{IS} = 5 V_{p-p}$,
 $V_{DD} - V_{SS} = 10V$, $R_L = 10$ k Ω
- Extremely low "OFF" switch leakage:
0.1 nA (typ.)
@ $V_{DD} - V_{SS} = 10V$
 $T_A = 25^\circ C$

- Extremely high control input impedance: $10^{12}\Omega$ (typ.)
- Low crosstalk between switches:
-50 dB (typ.)
@ $f_{IS} = 0.9$ MHz, $R_L = 1$ k Ω
- Frequency response, switch "ON": 40 MHz (typ.)

Applications

- Analog signal switching/multiplexing
 - Signal gating
 - Squelch control
 - Chopper
 - Modulator/Demodulator
 - Commutating switch
- Digital signal switching/multiplexing
- CMOS logic implementation
- Analog-to-digital/digital-to-analog conversion
- Digital control of frequency, impedance, phase, and analog-signal gain

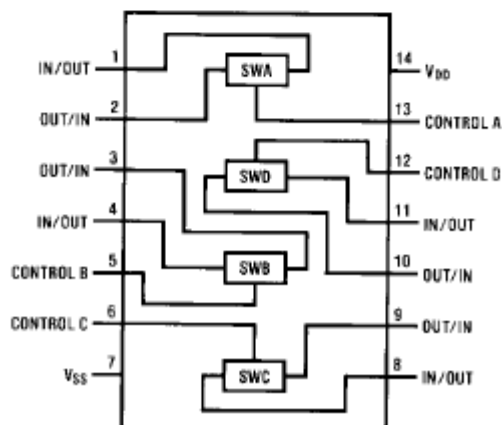
Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
CD4016BCM	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-120, 0.150" Narrow
CD4016BCN	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide

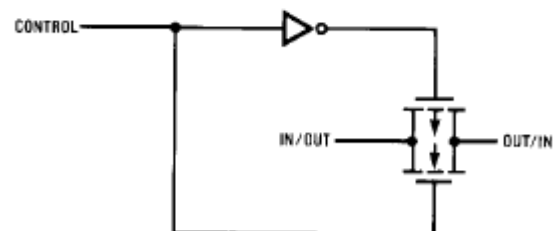
Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the letter suffix "X" to the ordering code.

Connection Diagram

Pin Assignments for DIP and SOIC



Schematic Diagram



Absolute Maximum Ratings (Note 1)

(Note 2)

V_{DD} Supply Voltage	-0.5V to +18V
V_{IN} Input Voltage	-0.5V to $V_{DD} + 0.5V$
T_S Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Power Dissipation (P_D)	
Dual-In-Line	700 mW
Small Outline	500 mW
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	260°C

Recommended Operating Conditions (Note 2)

V_{DD} Supply Voltage	3V to 15V
V_{IN} Input Voltage	0V to V_{DD}
T_A Operating Temperature Range	-40°C to +85°C

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. They are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The tables of "Recommended Operating Conditions" and "Electrical Characteristics" provide conditions for actual device operation.

Note 2: $V_{SS} = 0V$ unless otherwise specified.

DC Electrical Characteristics (Note 2)

Symbol	Parameter	Conditions	-40°C		25°C			+85°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
I_{DD}	Quiescent Device Current	$V_{DD} = 5V, V_{IN} = V_{DD}$ or V_{SS}		1.0		0.01	1.0		7.5	μA
		$V_{DD} = 10V, V_{IN} = V_{DD}$ or V_{SS}		2.0		0.01	2.0		15	μA
		$V_{DD} = 15V, V_{IN} = V_{DD}$ or V_{SS}		4.0		0.01	4.0		30	μA
Signal Inputs and Outputs										
R_{ON}	"ON" Resistance	$R_L = 10k\Omega$ to $(V_{DD} - V_{SS})/2$ $V_C = V_{DD}, V_{IS} = V_{SS}$ or V_{DD} $V_{DD} = 10V$ $V_{DD} = 15V$ $R_L = 10k\Omega$ to $(V_{DD} - V_{SS})/2$ $V_C = V_{DD}$ $V_{DD} = 10V, V_{IS} = 4.75$ to $5.25V$ $V_{DD} = 15V, V_{IS} = 7.25$ to $7.75V$		610 370		275 200	660 400		840 520	Ω Ω
ΔR_{ON}	Δ "ON" Resistance Between any 2 of 4 Switches (In Same Package)	$R_L = 10k\Omega$ to $(V_{DD} - V_{SS})/2$ $V_C = V_{DD}, V_{IS} = V_{SS}$ to V_{DD} $V_{DD} = 10V$ $V_{DD} = 15V$				15 10				Ω Ω
I_{IS}	Input or Output Leakage Switch "OFF"	$V_C = 0, V_{DD} = 15V$ $V_{IS} = 0V$ or $15V,$ $V_{OS} = 15V$ or $0V$		± 50		± 0.1	± 50		± 200	nA
Control Inputs										
V_{ILC}	LOW Level Input Voltage	$V_{IS} = V_{SS}$ and V_{DD} $V_{OS} = V_{DD}$ and V_{SS} $I_{IS} = \pm 10 \mu A$ $V_{DD} = 5V$ $V_{DD} = 10V$ $V_{DD} = 15V$		0.9			0.7		0.4	V
V_{IHC}	HIGH Level Input Voltage	$V_{DD} = 5V$	3.5		3.5			3.5		V
		$V_{DD} = 10V$	7.0		7.0			7.0		V
		$V_{DD} = 15V$ (Note 3) and Figure 8	11.0		11.0			11.0		V
I_{IN}	Input Current	$V_{CC} - V_{SS} = 15V$ $V_{DD} \geq V_{IS} \geq V_{SS}$ $V_{DD} \geq V_C \geq V_{SS}$		± 0.3		$\pm 10^{-5}$	± 0.3		± 1.0	μA

Note 3: If the switch input is held at V_{DD} , V_{IHC} is the control input level that will cause the switch output to meet the standard "B" series V_{OH} and I_{OH} output levels. If the analog switch input is connected to V_{SS} , V_{IHC} is the control input level — which allows the switch to sink standard "B" series I_{OH} , high level current, and still maintain a $V_{OL} \leq$ "B" series. These currents are shown in Figure 8.

AC Electrical Characteristics (Note 4)

$T_A = 25^\circ\text{C}$, $t_r = t_f = 20$ ns and $V_{SS} = 0\text{V}$ unless otherwise specified

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
t_{pHL} , t_{pLH}	Propagation Delay Time Signal Input to Signal Output	$V_C = V_{DD}$, $C_L = 50$ pF, (Figure 1) $R_L = 200\text{k}$ $V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$		58 27 20	100 50 40	ns ns ns
t_{pZH} , t_{pZL}	Propagation Delay Time Control Input to Signal Output HIGH Impedance to Logical Level	$R_L = 1.0$ k Ω , $C_L = 50$ pF, (Figure 2, Figure 3) $V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$		20 18 17	50 40 35	ns ns ns
t_{pHZ} , t_{pLZ}	Propagation Delay Time Control Input to Signal Output Logical Level to HIGH Impedance Sine Wave Distortion	$R_L = 1.0$ k Ω , $C_L = 50$ pF, (Figure 2, Figure 3) $V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$ $V_C = V_{DD} = 5\text{V}$, $V_{SS} = -5$ $R_L = 10$ k Ω , $V_{IS} = 5$ V _{p,p} , $f = 1$ kHz, (Figure 4)		15 11 10 0.4	40 25 22	ns ns ns %
	Frequency Response — Switch "ON" (Frequency at -3 dB)	$V_C = V_{DD} = 5\text{V}$, $V_{SS} = -5\text{V}$, $R_L = 1$ k Ω , $V_{IS} = 5$ V _{p,p} , $20 \text{ Log}_{10} (V_{OS}/V_{OS})$ (1 kHz) -dB, (Figure 4)		40		MHz
	Feedthrough — Switch "OFF" (Frequency at -50 dB)	$V_{DD} = 5\text{V}$, $V_C = V_{SS} = -5\text{V}$, $R_L = 1$ k Ω , $V_{IS} = 5$ V _{p,p} , $20 \text{ Log}_{10} (V_{OS}/V_{IS}) = -50$ dB, (Figure 4)		1.25		MHz
	Crosstalk Between Any Two Switches (Frequency at -50 dB)	$V_{DD} = V_{C(A)} = 5\text{V}$; $V_{SS} = V_{C(B)} = -5\text{V}$, $R_L = 1$ k Ω , $V_{IS(A)} = 5$ V _{p,p} , $20 \text{ Log}_{10} (V_{OS(B)}/V_{OS(A)}) = -50$ dB, (Figure 5)		0.9		MHz
	Crosstalk; Control Input to Signal Output	$V_{DD} = 10\text{V}$, $R_L = 10$ k Ω $R_{IN} = 1$ k Ω , $V_{CC} = 10\text{V}$ Square Wave, $C_L = 50$ pF (Figure 6)		150		mV _{p,p}
	Maximum Control Input	$R_L = 1$ k Ω , $C_L = 50$ pF, (Figure 7) $V_{OS(f)} = \frac{1}{2} V_{OS}(1 \text{ kHz})$ $V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$		6.5 8.0 9.0		MHz MHz MHz
C_{IS}	Signal Input Capacitance			4		pF
C_{OS}	Signal Output Capacitance	$V_{DD} = 10\text{V}$		4		pF
C_{IOS}	Feedthrough Capacitance	$V_C = 0\text{V}$		0.2		pF
C_{IN}	Control Input Capacitance			5	7.5	pF

Note 4: AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing.

Note 5: These devices should not be connected to circuits with the power "ON".

Note 6: In all cases, there is approximately 5 pF of probe and jig capacitance on the output; however, this capacitance is included in C_L wherever it is specified.

Note 7: V_{IS} is the voltage at the In/out pin and V_{OS} is the voltage at the out/In pin. V_C is the voltage at the control input.

AC Test Circuits and Switching Time Waveforms

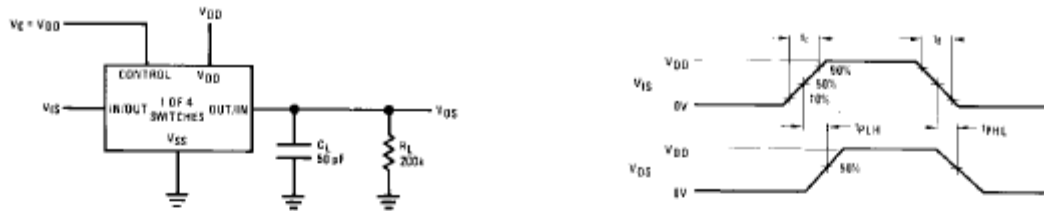


FIGURE 1. t_{PLH} , t_{PLH} Propagation Delay Time Control to Signal Output

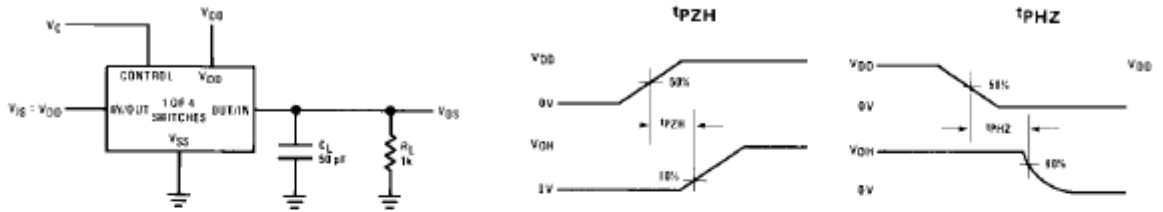


FIGURE 2. t_{PZH} , t_{PHZ} Propagation Delay Time Control to Signal Output

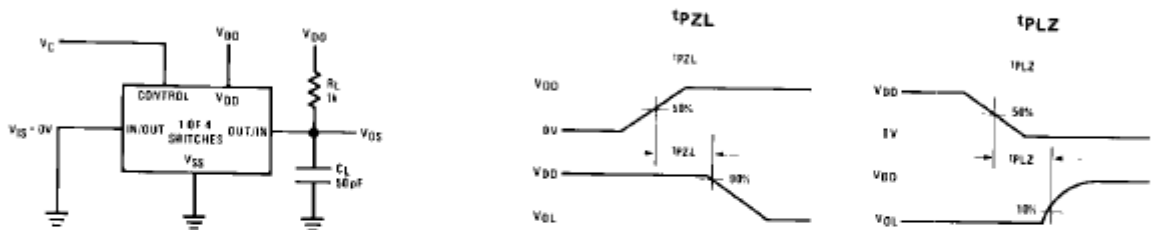
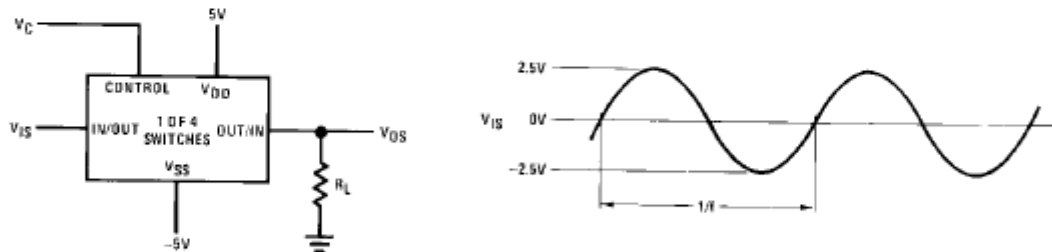


FIGURE 3. t_{PZH} , t_{PHZ} Propagation Delay Time Control to Signal Output



$V_C = V_{DD}$ for distortion and frequency response tests
 $V_C = V_{SS}$ for feedthrough test

FIGURE 4. Sine Wave Distortion, Frequency Response and Feedthrough

AC Test Circuits and Switching Time Waveforms (Continued)

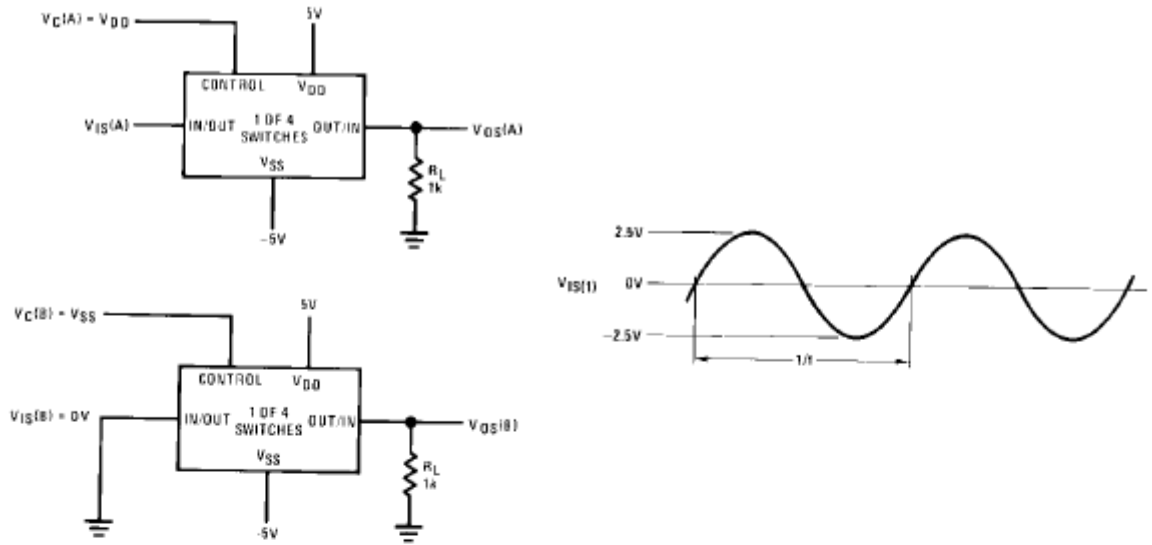


FIGURE 5. Crosstalk Between Any Two Switches

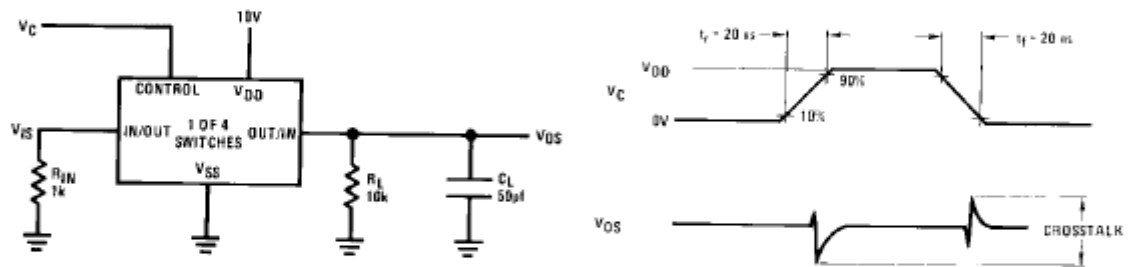


FIGURE 6. Crosstalk — Control to Input Signal Output

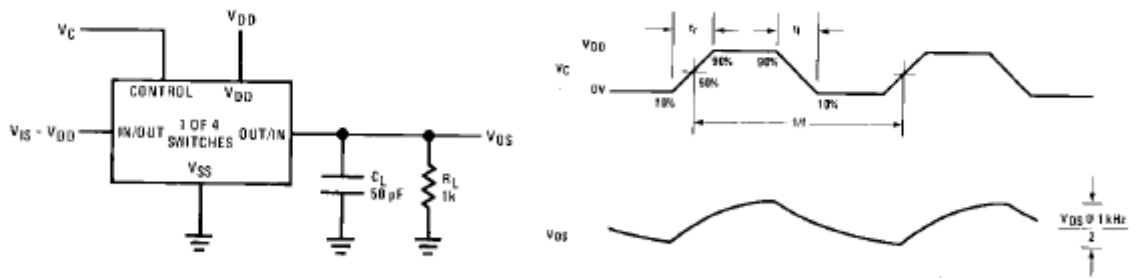


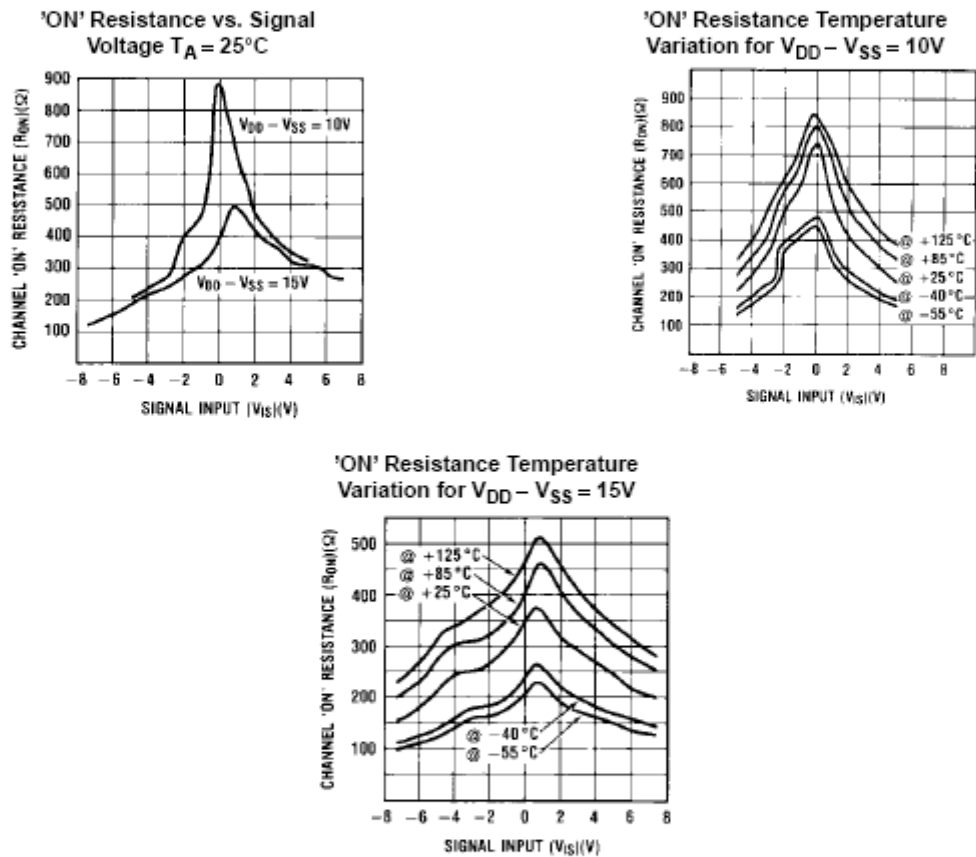
FIGURE 7. Maximum Control Input Frequency

AC Test Circuits and Switching Time Waveforms (Continued)

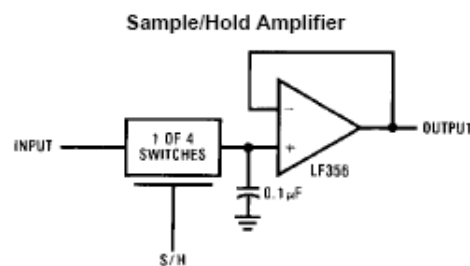
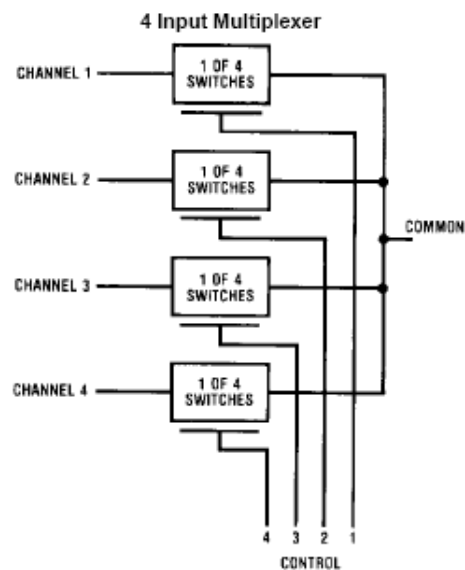
Temperature Range	V _{DD}	Switch Input				Switch Output V _{OS} (V)	
		V _{IS}	I _{IS} (mA)			Min	Max
			-40°C	25°C	+85°C		
COMMERCIAL	5	0	0.2	0.16	0.12	4.6	0.4
	5	5	-0.2	-0.16	-0.12		
	10	0	0.5	0.4	0.3	9.5	0.5
	10	10	-0.5	-0.4	-0.3		
	15	0	1.4	1.2	1.0		
15	15	-1.4	-1.2	-1.0	13.5	1.5	

FIGURE 8. CD4016B Switch Test Conditions for V_{IHC}

Typical Performance Characteristics



Typical Applications



Special Considerations

The CD4016B is composed of 4, two-transistor analog switches. These switches do not have any linearization or compensation circuitry for "R_{ON}" as do the CD4066B's. Because of this, the special operating considerations for the CD4066B do not apply to the CD4016B, but at low supply voltages, $\leq 5V$, the CD4016B's on resistance becomes

non-linear. It is recommended that at 5V, voltages on the in/out pins be maintained within about 1V of either V_{DD} or V_{SS} ; and that at 3V the voltages on the in/out pins should be at V_{DD} or V_{SS} for reliable operation.

NI 622x Specifications

Specifications listed below are typical at 25 °C unless otherwise noted.

Analog Input

Number of channels

NI 6220/NI 6221	8 differential or 16 single ended
NI 6224/NI 6229	16 differential or 32 single ended
NI 6225	40 differential or 80 single ended

ADC resolution 16 bits

DNL No missing codes
guaranteed

INL Refer to the [AI Absolute Accuracy Table](#)

Sampling rate

Maximum	250 KS/s
Minimum	0 S/s
Timing accuracy	50 ppm of sample rate
Timing resolution	50 ns

Input coupling DC

Input range ± 10 V, ± 5 V,
 ± 1 V, ± 0.2 V

Maximum working voltage for analog inputs
(signal + common mode) ± 11 V of AI GND

CMRR (DC to 60 Hz) 95 dB

Input impedance

Device on

AI+ to AI GND	>10 G Ω in parallel with 100 pF
AI- to AI GND	>10 G Ω in parallel with 100 pF

Device off

AI+ to AI GND	820 Ω
AI- to AI GND	820 Ω

Input bias current..... ± 100 pA

Crosstalk (at 100 kHz)

Adjacent channels	-75 dB
Non-adjacent channels	-90 dB

Small signal bandwidth (-3 dB)..... 700 kHz

Input FIFO size..... 4,095 samples

Scan list memory 4,095 entries

Data transfers..... DMA (scatter-gather),
interrupts,
programmed I/O

Overvoltage protection (AI <0..79>, AI SENSE, AI SENSE 2)

Device on	± 25 V for up to two AI pins
Device off	± 15 V for up to two AI pins

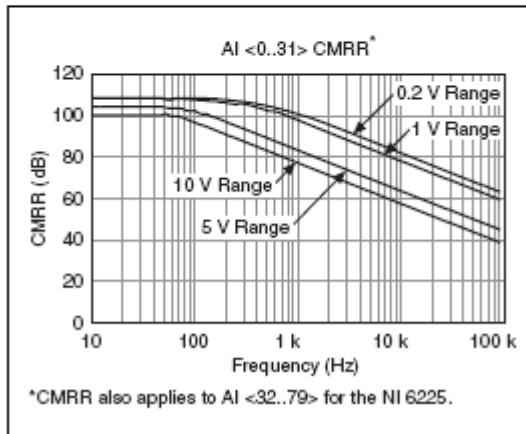
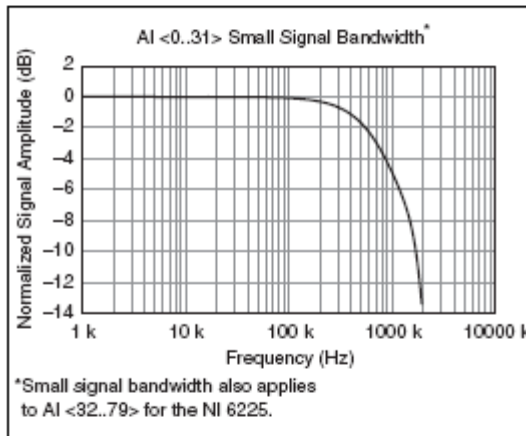
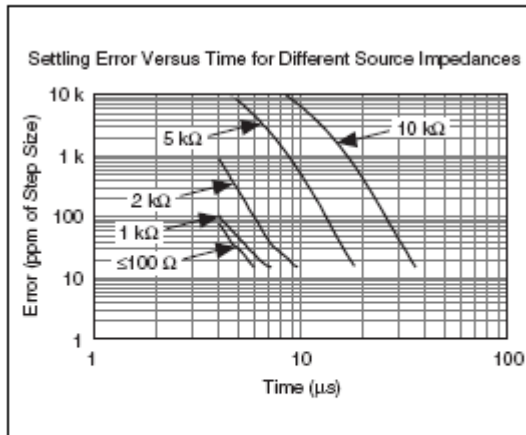
Input current during
overvoltage condition ± 20 mA max/AI pin

Settling Time for Multichannel Measurements

Accuracy, full scale step, all ranges

± 90 ppm of step (± 6 LSB)	4 μ s convert interval
± 30 ppm of step (± 2 LSB)	5 μ s convert interval
± 15 ppm of step (± 1 LSB)	7 μ s convert interval

Typical Performance Graphs



Settling time, full scale step
 15 ppm (1 LSB) 6 μ s

Slew rate 15 V/ μ s

Glitch energy
 Magnitude..... 100 mV
 Duration..... 2.6 μ s

Calibration (AI and AO)

Recommended warm-up time 15 minutes

Calibration interval 1 year

Analog Output

Number of channels

NI 6220.....	0
NI 6221.....	2
NI 6224.....	0
NI 6225.....	2
NI 6229.....	4

DAC resolution 16 bits

DNL ± 1 LSB

Monotonicity..... 16 bit guaranteed

Maximum update rate

1 channel	833 kS/s
2 channels	740 kS/s per channel
3 channels	666 kS/s per channel
4 channels	625 kS/s per channel

Timing accuracy 50 ppm of sample rate

Timing resolution..... 50 ns

Output range ± 10 V

Output coupling DC

Output impedance 0.2 Ω

Output current drive ± 5 mA

Overdrive protection ± 25 V

Overdrive current..... 10 mA

Power-on state..... ± 20 mV

Power-on glitch..... 8.5 V peak for 14.5 ms

Output FIFO size 8,191 samples shared among channels used

Data transfers DMA (scatter-gather), interrupts, programmed I/O

AO waveform modes:

- Non-periodic waveform
- Periodic waveform regeneration mode from onboard FIFO
- Periodic waveform regeneration from host buffer including dynamic update

AI Absolute Accuracy Table

Nominal Range		Residual Gain Error (ppm of Reading)	Gain Tempco (ppm/°C)	Reference Tempco	Residual Offset Error (ppm of Range)	Offset Tempco (ppm of Range/°C)	INL Error (ppm of Range)	Random Noise, σ (μ Vrms)	Absolute Accuracy at Full Scale ¹ (μ V)	Sensitivity ² (μ V)
Positive Full Scale	Negative Full Scale									
10	-10	75	25	5	20	57	76	3,100	97.6	
5	-5	85	25	5	20	60	76	1,620	48.8	
1	-1	95	25	5	25	79	76	360	12.0	
0.2	-0.2	135	25	5	80	175	76	112	5.2	

AbsoluteAccuracy = Reading · (GainError) + Range · (OffsetError) + NoiseUncertainty

GainError = ResidualGainError + GainTempco · (TempChangeFromLastInternalCal) + ReferenceTempco · (TempChangeFromLastExternalCal)

OffsetError = ResidualOffsetError + OffsetTempco · (TempChangeFromLastInternalCal) + INL_Error

NoiseUncertainty = $\frac{\text{RandomNoise} \cdot 3}{\sqrt{100}}$ For a coverage factor of 3 σ and averaging 100 points.

¹ Absolute accuracy at full scale on the analog input channels is determined using the following assumptions:

TempChangeFromLastExternalCal = 10 °C

TempChangeFromLastInternalCal = 1 °C

number_of_readings = 100

CoverageFactor = 3 σ

For example, on the 10 V range, the absolute accuracy at full scale is as follows:

GainError = 75 ppm + 25 ppm · 1 + 5 ppm · 10

GainError = 150 ppm

OffsetError = 20 ppm + 57 ppm · 1 + 76 ppm

OffsetError = 153 ppm

NoiseUncertainty = $\frac{244 \mu\text{V} \cdot 3}{\sqrt{100}}$ NoiseUncertainty = 73 μ V

AbsoluteAccuracy = 10 V · (GainError) + 10 V · (OffsetError) + NoiseUncertainty AbsoluteAccuracy = 3,100 μ V

² Sensitivity is the smallest voltage change that can be detected. It is a function of noise.

Accuracies listed are valid for up to one year from the device external calibration.

A0 Absolute Accuracy Table

Positive Full Scale	Nominal Range		Residual Gain Error (ppm of Reading)	Gain Tempco (ppm/°C)	Reference Tempco	Residual Offset Error (ppm of Range)	Offset Tempco (ppm of Range/°C)	INL Error (ppm of Range)	Absolute Accuracy at Full Scale ¹ (µV)
	Negative Full Scale								
10	-10		90	10	5	40	5	128	3,230

¹ Absolute Accuracy at full scale numbers is valid immediately following internal calibration and assumes the device is operating within 10 °C of the last external calibration. Accuracies listed are valid for up to one year from the device external calibration.

$AbsoluteAccuracy = OutputValue \cdot (GainError) + Range \cdot (OffsetError)$

$GainError = ResidualGainError + GainTempco \cdot (TempChangeFromLastInternalCal) + ReferenceTempco \cdot (TempChangeFromLastExternalCal)$

$OffsetError = ResidualOffsetError + AOffsetTempco \cdot (TempChangeFromLastInternalCal) + INL_Error$

Digital I/O/PFI

Static Characteristics

Number of channels	
NI 6220/NI 6221 (68-pin)/NI 6225	24 total 8 (P0.<0..7>) 16 (PFI <0..7>/P1, PFI <8..15>/P2)
NI 6224/NI 6229	48 total 32 (P0.<0..31>) 16 (PFI <0..7>/P1, PFI <8..15>/P2)
NI 6221 (37-pin)	10 total 2 (P0.<0, 1>) 8 (PFI <0..7>/P1)
Ground reference	D GND
Direction control	Each terminal individually programmable as input or output
Pull-down resistor	50 k Ω to 75 k Ω
Input voltage protection ¹	± 20 V on up to two pins

Waveform Characteristics (Port 0 Only)

Terminals used	
NI 6220/NI 6221 (68-pin)/NI 6225	Port 0 (P0.<0..7>)
NI 6224/NI 6229	Port 0 (P0.<0..31>)
NI 6221 (37-pin)	Port 0 (P0.<0, 1>)
Port/sample size	
NI 6220/NI 6221 (68-pin)/NI 6225	Up to 8 bits
NI 6224/NI 6229	Up to 32 bits
NI 6221 (37-pin)	Up to 2 bits
Waveform generation (DO) FIFO	2,047 samples
Waveform acquisition (DI) FIFO	2,047 samples
DO or DI Sample Clock frequency	0 to 1 MHz
DO or DI Sample Clock source ²	Any PFI, RTSI, AI Sample or Convert Clock,

AO Sample Clock, Counter Internal Output, and many other signals

PFI/Port 1/Port 2 Functionality³

Functionality	Static digital input, static digital output, timing input, timing output
Timing output sources	Many AI, AO, counter, DI, DO timing signals
Debounce filter settings	125 ns, 6.425 μ s, 2.54 ms, disable; high and low transitions; selectable per input

Recommended Operation Conditions

Level	Min	Max
Input high voltage (V_{IH})	2.2 V	5.25 V
Input low voltage (V_{IL})	0 V	0.8 V
Output high current (I_{OH})		
P0.<0..31>	—	-24 mA
PFI <0..15>/P1/P2	—	-16 mA
Output low current (I_{OL})		
P0.<0..31>	—	24 mA
PFI <0..15>/P1/P2	—	16 mA

Electrical Characteristics

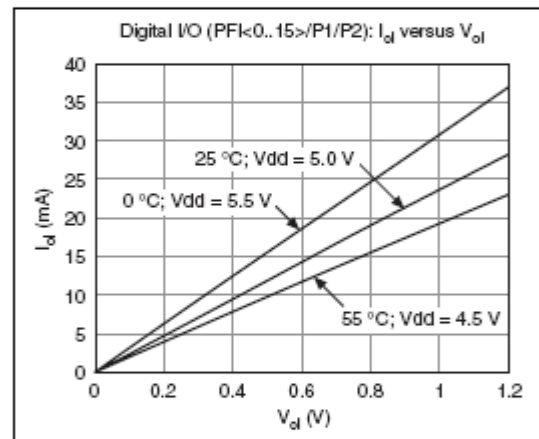
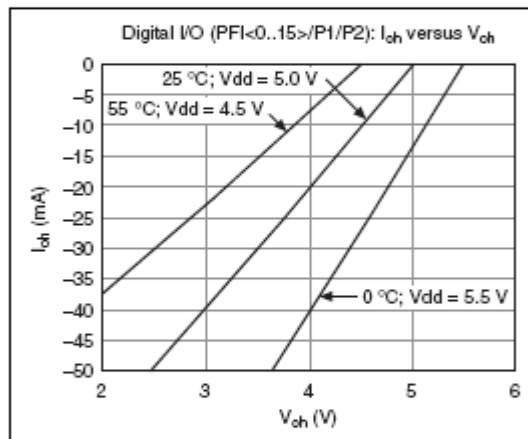
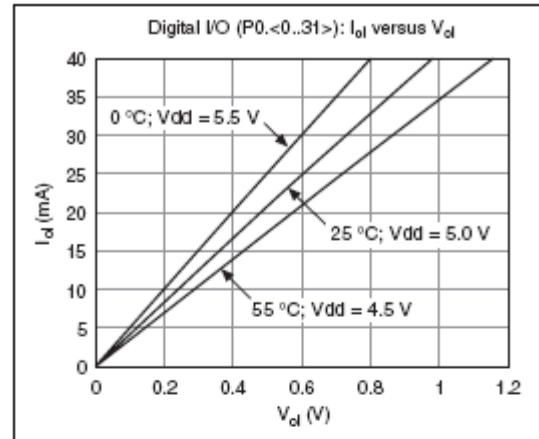
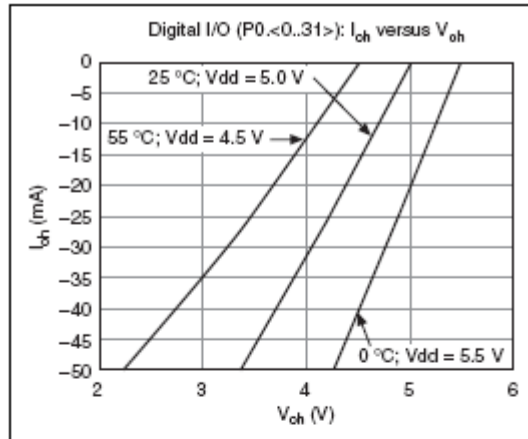
Level	Min	Max
Positive-going threshold (V_{T+})	—	2.2 V
Negative-going threshold (V_{T-})	0.8 V	—
Delta VT hysteresis ($V_{T+} - V_{T-}$)	0.2 V	—
I_{IL} input low current ($V_{in} = 0$ V)	—	-10 μ A
I_{IH} input high current ($V_{in} = 5$ V)	—	250 μ A

¹ Stresses beyond those listed under *Input voltage protection* may cause permanent damage to the device.

² The digital subsystem does not have its own dedicated internal timing engine. Therefore, a sample clock must be provided from another subsystem on the device or an external source.

³ Port 2 is not available on the NI 6221 (37-pin) device.

Digital I/O Characteristics



General-Purpose Counter/Timers

Number of counter/timers	2
Resolution	32 bits
Counter measurements	Edge counting, pulse, semi-period, period, two-edge separation
Position measurements	X1, X2, X4 quadrature encoding with Channel Z reloading; two-pulse encoding
Output applications	Pulse, pulse train with dynamic updates, frequency division, equivalent time sampling
Internal base clocks	80 MHz, 20 MHz, 0.1 MHz
External base clock frequency	0 MHz to 20 MHz
Base clock accuracy	50 ppm
Inputs	Gate, Source, HW_Arm, Aux, A, B, Z, Up_Down
Routing options for inputs	Any PFI, RTSI, PFI_TRIG, PFI_STAR, analog trigger, many internal signals
FIFO	2 samples
Data transfers	Dedicated scatter-gather DMA controller for each counter/timer; interrupts; programmed I/O

Frequency Generator

Number of channels	1
Base clocks	10 MHz, 100 kHz
Divisors	1 to 16
Base clock accuracy	50 ppm
Output can be available on any PFI or RTSI terminal.	

Phase-Locked Loop (PLL)

Number of PLLs	1
Reference signal	PFI_STAR, PFI_CLK10, RTSI <0..7>
Output of PLL	80 MHz Timebase; other signals derived from 80 MHz Timebase including 20 MHz and 100 kHz Timebases

External Digital Triggers

Source	Any PFI, RTSI, PFI_TRIG, PFI_STAR
Polarity	Software-selectable for most signals
Analog input function	Start Trigger, Reference Trigger, Pause Trigger, Sample Clock, Convert Clock, Sample Clock Timebase
Analog output function	Start Trigger, Pause Trigger, Sample Clock, Sample Clock Timebase
Counter/timer functions	Gate, Source, HW_Arm, Aux, A, B, Z, Up_Down,
Digital waveform generation (DO) function	Sample Clock
Digital waveform acquisition (DI) function	Sample Clock

Device-To-Device Trigger Bus

PCI devices	RTSI <0..7> ¹
PXI devices	PXI_TRIG <0..7>, PXI_STAR
Output selections.....	10 MHz Reference Clock; frequency generator output; many internal signals
Debounce filter settings	125 ns, 6.425 μ s, 2.54 ms, disabled; high and low transitions; selectable per input

Bus Interface

PCI or PXI	3.3 V or 5 V signal environment
DMA channels	6, analog input, analog output, digital input, digital output, counter/timer 0, counter/timer 1

Power Requirements

Current draw from bus during no-load condition	
+5 V	0.02 A ²
+3.3 V	0.25 A ²
+12 V	0.15 A
Current draw from bus during AI and AO overvoltage condition	
+5 V	0.02 A ²
+3.3 V	0.25 A ²
+12 V	0.25 A
Power available from +5 V terminal ³	
	1 A max, each connector, with self-resetting fuse
Other power limit for PXI devices	
	Current drawn from +5 V terminals and all P0/PFI/P1/P2 terminals should not exceed 2 A

Physical Requirements

Printed circuit board dimensions	
NI PCI-6220/6221/6224/ 6225/6229	9.7 cm \times 15.5 cm (3.8 in. \times 6.1 in.)
NI PXI-6220/6221/6224/ 6225/6229	Standard 3U PXI

Weight

NI PCI-6220.....	91 g (3.2 oz)
NI PCI-6221 (68-pin).....	92 g (3.2 oz)
NI PCI-6221 (37-pin).....	95 g (3.3 oz)
NI PCI-6224.....	99 g (3.5 oz)
NI PCI-6225.....	103 g (3.6 oz)
NI PCI-6229.....	101 g (3.5 oz)
NI PXI-6220	158 g (5.5 oz)
NI PXI-6221 (68-pin)	162 g (5.7 oz)
NI PXI-6224	170 g (5.9 oz)
NI PXI-6225	174 g (6.1 oz)
NI PXI-6229	171 g (6.0 oz)

I/O connector

NI 6220/NI 6221 (68-pin).....	1 68-pin VHDCI
NI 6224/NI 6225/NI 6229.....	2 68-pin VHDCI
NI 6221 (37-pin).....	1 37-pin D-SUB

Maximum Working Voltage⁴

NI 6220/NI 6221/NI 6224/NI 6225/NI 6229	Channel to earth	11 V, Measurement Category I
---	------------------------	---------------------------------



Caution Do *not* use for measurements within Categories II, III, or IV.

Environmental

Operating temperature	0 to 55 °C
Storage temperature.....	-20 to 70 °C
Humidity.....	10 to 90% RH, noncondensing
Maximum altitude	2,000 m
Pollution Degree (indoor use only)	2

¹ In other sections of this document, *RTSI* refers to RTSI <0..7> for PCI devices or PXI_TRIG <0..7> for PXI devices.

² The NI 6221 (37-pin) does not use +3.3 V from the bus. The 3.3 V current draw, shown in the *Power Requirements* section, comes from the +5 V instead.

³ +5 V terminal is not available on the NI 6221 (37-pin) device.

⁴ *Maximum working voltage* refers to the signal voltage plus the common-mode voltage.

Safety

This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1
- CAN/CSA-C22.2 No. 61010-1



Note For UL and other safety certifications, refer to the product label, or visit ni.com/certification, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Electromagnetic Compatibility

Emissions.....EN 55011 Class A at
10 m; FCC Part 15A
above 1 GHz

ImmunityEN 61326:1997 +
A2:2001, Table 1

CE, C-Tick, and FCC Part 15 (Class A) Compliant



Note For EMC compliance, operate this device with shielded cabling.

CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE Marking, as follows:

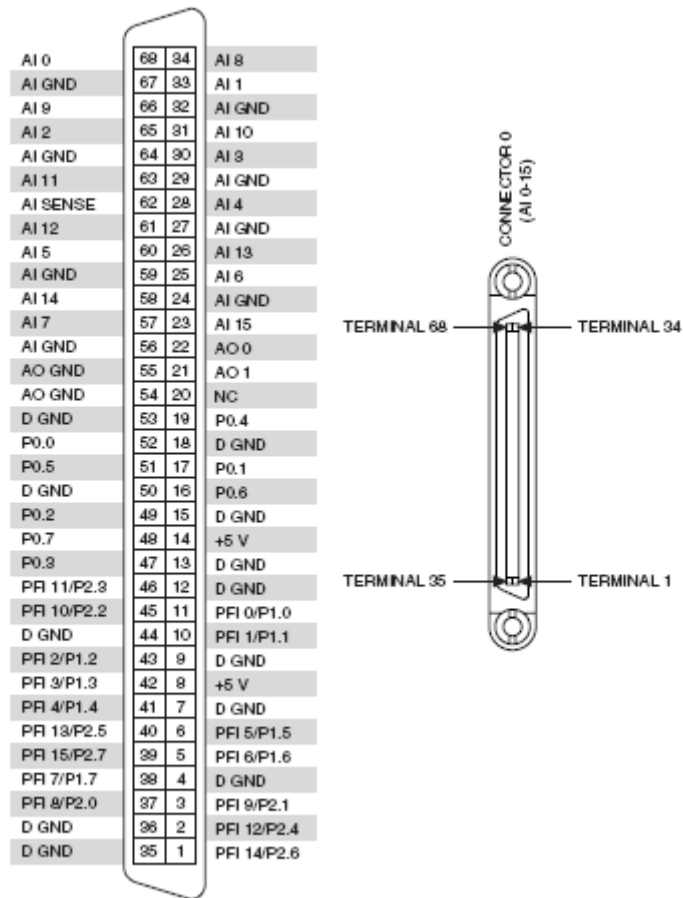
Low-Voltage Directive (safety).....73/23/EEC

Electromagnetic Compatibility

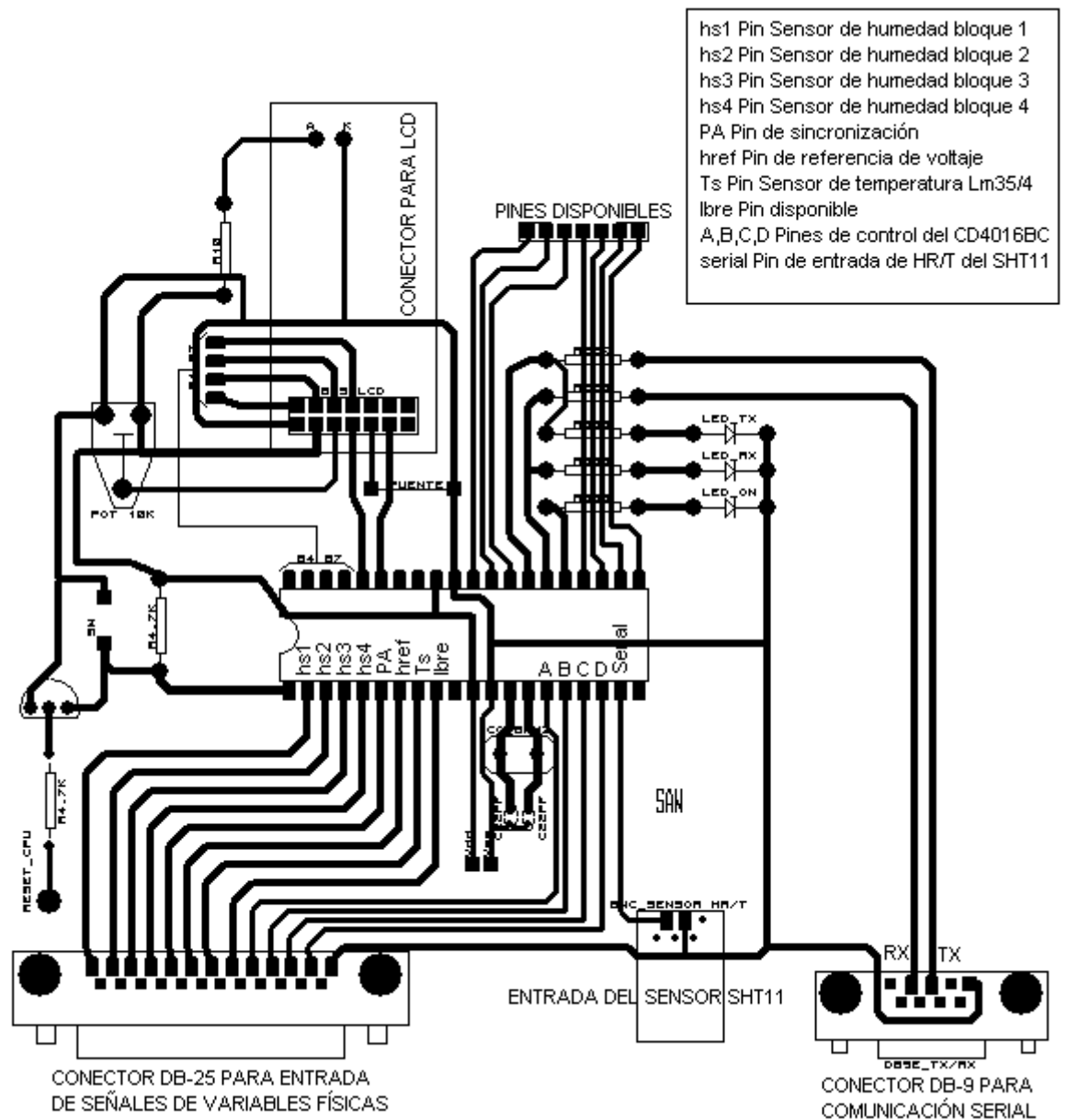
Directive (EMC).....89/336/EEC



Note Refer to the Declaration of Conformity (DoC) for this product for any additional regulatory compliance information. To obtain the DoC for this product, visit ni.com/certification, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

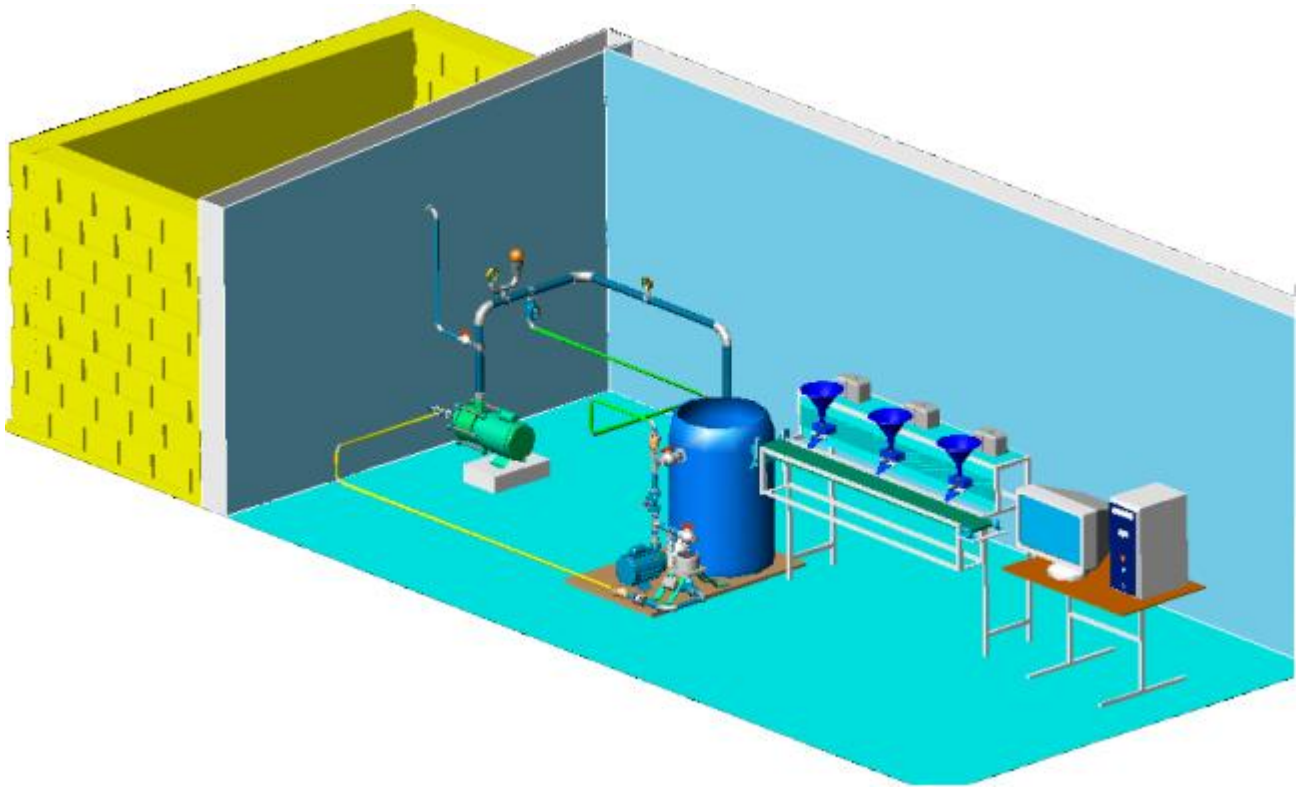


NC = No Connect



MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE FERTIRRIGACIÓN

ELEMENTOS DE DISEÑO



2.1 Análisis del área en donde se realizará el proyecto.

2.1.1 Dimensionamiento del terreno.

El terreno o campo es el área donde se acentuará la plantación, este campo se encontrará en su estado natural él mismo que necesita de su tratamiento y acondicionamiento para el cultivo que se implementará. Debemos limitar el área que se va a cultivar, dejando bordes que oscilan entre 1 a 1.5 metros para la instalación del sistema de riego, cercar y tener acceso a una inspección rutinaria del cultivo.

Para diseñar el área donde se va a cultivar es muy importante tomar en cuenta el tipo de cultivo que se implementará, pues los caballotes o camas varían su tamaño de acuerdo al cultivo y densidad de plantas.

Por ejemplo, para un cultivo de fresa las dimensiones del caballete y surcos se detalla en la figura.

