



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

EXTENSIÓN LATACUNGA

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE
DOSIFICACIÓN DE MICRO NUTRIENTES PARA OPTIMIZAR EL
PROCESO DE PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA AVIPAZ CÍA.
LTDA.”**

RIVERA GRIJALVA PAÚL ANDRÉS

Tesis presentada como requisito previo a la obtención del grado de:

INGENIERO EN MECATRÓNICA

AÑO 2013

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

EXTENSIÓN LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

ING. FRANKLIN SILVA (DIRECTOR)

ING. FÉLIX MANJARRÉS (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE DOSIFICACIÓN DE MICRO NUTRIENTES PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA AVIPAZ CIA. LTDA.” realizado por el señor: RIVERA GRIJALVA PAÚL ANDRÉS ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, **SI** recomiendan su publicación.

Latacunga, Noviembre del 2013

ING. FRANKLIN SILVA.
DIRECTOR

ING. FÉLIX MANJARRÉS
CODIRECTOR

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
EXTENSIÓN LATACUNGA**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, RIVERA GRIJALVA PAÚL ANDRÉS

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE DOSIFICACIÓN DE MICRO NUTRIENTES PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA AVIPAZ CIA. LTDA.” ha sido desarrollada con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme a las referencias que constan en las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Noviembre del 2013

RIVERA GRIJALVA PAUL ANDRÉS

CI: No.- 1803934692

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
EXTENSIÓN LATACUNGA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, RIVERA GRIJALVA PAÚL ANDRÉS

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE DOSIFICACIÓN DE MICRO NUTRIENTES PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA AVIPAZ CIA. LTDA.” cuyo contenido, ideas y criterios es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Noviembre del 2013

RIVERA GRIJALVA PAUL ANDRÉS

CI: No.- 1803934692

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la vida y por las oportunidades brindadas cada día, por entregarme la pasión y el entusiasmo de lograr cosas grandes.

A la empresa AVIPAZ CIA LTDA. por la apertura y apoyo brindado para la realización de este proyecto. A mi director y codirector de tesis por su ayuda y colaboración para alcanzar este objetivo.

De manera especial a mi familia por su apoyo y cariño incondicional.

Andy Rivera

DEDICATORIA

Dedicado con todo el cariño a mi familia. A mi mamá por ser mi apoyo constante en cada momento, por enseñarme el valor del esfuerzo y la dedicación. A mi papá que con su ayuda, colaboración y ganas estuvo hasta alcanzar esta meta. A mi hermano por brindarme su compañía y alegría todos los días. A mi tío Marcelo por estar pendiente de mí a todo instante y por siempre quererme como a un hijo. A la sweetheart por ser la inspiradora de mis locuras. A todos gracias por formar parte de mi vida.

Andy Rivera

ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
RESUMEN.....	xxii
ABSTRACT.....	xxiii
PRESENTACIÓN.....	xxiv

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	1
1.1.1. PROCESO DE DOSIFICACIÓN DE MICRO INGREDIENTES.....	4
1.1.2. TIPOS DE MÁQUINAS DOSIFICADORAS.....	4
a. DOSIFICADOR SIN FIN.....	4
b. DOSIFICADOR VOLUMÉTRICO.....	5
c. DOSIFICADOR GRAVIMÉTRICO.....	6
d. DOSIFICADOR POR VIBRACIÓN.....	6
1.1.3. SISTEMAS DE DOSIFICACIÓN.....	7
a. SISTEMAS LINEALES.....	7

b.	SISTEMAS CIRCULARES.....	7
1.2.	ÁREA MECÁNICA.....	8
1.2.1.	TRANSPORTADORES.....	8
a.	TRANSPORTADORES DE TORNILLO.....	9
a.1.	COMPONENTES.....	10
1.2.2.	BIN DE ALMACENAMIENTO.....	11
a.	BIN DE ALMACENAMIENTO RECTANGULAR.....	11
1.2.3.	TOLVA.....	12
a.	POR GRAVEDAD.....	12
b.	FORZADA.....	13
1.2.4.	ACTUADORES.....	13
a.	CILINDRO NEUMÁTICO.....	14
a.1.	UNIDAD DE MANTENIMIENTO.....	14
a.1.1.	FILTRO.....	15
a.1.2.	REGULADOR.....	16
a.1.3.	LUBRICADOR.....	16
b.	ELECTROVÁLVULA.....	17
1.2.5.	MOTOR-REDUCTOR.....	18
1.2.6.	RODAMIENTOS.....	18
a.	COMPONENTES.....	19
1.2.7.	MATERIALES.....	19
a.	ACERO GALVANIZADO.....	20
b.	ACERO INOXIDABLE.....	21
c.	ACERO SUAVE.....	22
d.	POLÍMEROS.....	23
1.3.	DISPOSITIVOS DE CONTROL.....	23

1.3.1.	SENSORES.....	23
a.	CELDAS DE CARGA.....	24
a.1.	GENERALIDADES.....	24
a.2.	TIPO S.....	24
a.3.	CABLEADO.....	25
a.4.	SEÑAL DE SALIDA.....	25
1.3.2.	INDICADOR DE PESO.....	25
1.3.3.	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.....	26
a.	ESTRUCTURA INTERNA.....	26
b.	ESTRUCTURA EXTERNA.....	27
c.	COMPONENTES BÁSICOS.....	27
c.1.	ENTRADAS.....	27
c.1.1.	ENTRADAS DIGITALES.....	28
c.1.2.	ENTRADAS ANALÓGICAS.....	28
c.2.	SALIDAS.....	28
c.3.	UNIDAD CENTRAL DE PROCESO Ó CPU.....	29
c.4.	MEMORIA DEL PLC.....	29
c.4.1.	EEPROM.....	29
c.4.2.	RAM.....	30
c.5.	FUENTE DE PODER.....	30
c.6.	MÓDULOS DE COMUNICACIÓN.....	30
c.7.	MÓDULOS DE AMPLIACIÓN.....	30
1.3.4.	VARIADOR DE FRECUENCIA.....	30
a.	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	31
1.3.5.	COMPUTADOR (PC).....	32
1.3.6.	CONTACTOR.....	32

1.3.7.	ELEMENTOS DE PROTECCIÓN.....	33
a.	FUSIBLES	33
b.	INTERRUPTOR MAGNETO TÉRMICO.....	34
1.4.	SISTEMA DE CONTROL.....	35
1.4.1.	SISTEMAS HMI.....	35
a.	FUNCIONES DEL HMI.....	36
a.1.	MONITOREO.....	36
a.2.	SUPERVISIÓN.....	36
a.3.	ALARMAS.....	36
a.4.	CONTROL.....	37
1.4.2.	AUTOMATIZACIÓN.....	37
a.	CONTROL DE PROCESOS.....	37
b.	OPTIMIZACIÓN.....	37
1.4.3.	DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE DE MONITOREO Y CONTROL.....	38
a.	SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN DEL PLC.....	38
b.	SIMATIC WinCC.....	40

CAPÍTULO II

2.1.	INTRODUCCIÓN.....	42
2.2.	DISEÑO CONCURRENTE.....	43
2.3.	DISEÑO POR CALIDAD.....	43
2.3.1.	CASA DE LA CALIDAD.....	43
2.3.2.	REQUISITOS DEL CLIENTE.....	44
2.3.3.	REQUISITOS TÉCNICOS.....	45
2.3.4.	CONCLUSIONES DE LA CASA DE LA CALIDAD.....	45
2.4.	DISEÑO FUNCIONAL.....	49

2.4.1.	ANÁLISIS DEL DIAGRAMA FUNCIONAL.	50
2.4.2.	DEFINICIÓN DE MÓDULOS.	50
2.5.	SELECCIÓN DEL MÉTODO DE DOSIFICACIÓN.	52
2.6.	DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO.	54
2.6.1.	SELECCIÓN MATERIAL.	54
2.6.2.	CAPACIDAD DE ALMACENAJE	56
2.6.3.	DISEÑO DEL CONTENEDOR O BIN.	57
a.	ÁNGULO DE REPOSO.	58
b.	TIPO DE FLUJO.	59
c.	DIMENSIONAMIENTO.	59
d.	CÁLCULO DEL ESPESOR.	61
d.1.	PLACAS CON BORDES SIMPLEMENTE APOYADOS.	63
d.2.	PLACAS CON BORDES TOTALMENTE EMPOTRADOS.	65
2.6.4.	DISEÑO DE LA TOLVA DE RECEPCIÓN COMÚN.	67
a.	DIMENSIONAMIENTO.	68
b.	CAPACIDAD DE LA TOLVA DE RECEPCIÓN COMÚN.	69
2.6.5.	DISEÑO DEL TRANSPORTADOR.	70
a.	DIMENSIÓN RECOMENDADA DE UN TRANSPORTADOR DE TORNILLO.	70
b.	CAPACIDAD DEL TRANSPORTADOR DE TORNILLO.	71
c.	CALCULO DE LA POTENCIA.	72
c.1.	POTENCIA NECESARIA PARA TRANSPORTAR EL MATERIAL.	72
c.2.	POTENCIA DE ACCIONAMIENTO DEL TORNILLO SIN CARGA.	73
c.3.	POTENCIA DEBIDO A LA INCLINACIÓN.	73
d.	DIMENSIONAMIENTO.	74

e.	DISEÑO DEL EJE.	76
e.1.	DISEÑO POR FLEXIÓN.	78
e.2.	DISEÑO POR TORSIÓN.....	80
e.3.	DISEÑO POR CORTANTE DEBIDO A LA FLEXIÓN.	81
e.4.	ESFUERZOS COMBINADOS.....	82
e.5.	FACTOR DE SEGURIDAD	83
e.6.	DEFLEXIÓN MÁXIMA.....	84
f.	DISEÑO DE LA HÉLICE.....	85
f.1.	CALCULO DEL VOLUMEN DE LA HÉLICE.....	86
f.1.1.	CALCULO DEL NUMERO DE PASOS.....	86
f.1.2.	CALCULO DEL VOLUMEN PARA UN PASO.....	86
f.2.	CALCULO DEL PESO Y CARGA MÁXIMA DEL MATERIAL.	87
f.3.	CALCULO DE LOS PARÁMETROS DEL SIN FIN	88
f.4.	CALCULO DEL ESPESOR DE LA HÉLICE.	90
f.4.1.	DISEÑO POR CORTANTE.....	92
f.4.2.	DISEÑO POR FLEXIÓN.....	92
f.4.3.	DISEÑO POR DESGASTE.....	93
g.	DESARROLLO DE LA HÉLICE.	96
2.7.	SELECCIÓN DEL CILINDRO NEUMÁTICO.....	98
2.8.	DISEÑO ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO.	102
2.8.1.	DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS.....	102
a.	DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE POTENCIA.	102
a.1.	MOTOR.....	102
a.2.	REDUCTOR.....	104
a.3.	VARIADOR DE FRECUENCIA.	106
b.	DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CONTROL.....	107

b.1.	PLC.....	107
b.2.	MÓDULO DE AMPLIACIÓN.....	109
b.3.	INDICADOR.....	110
b.4.	CELDA DE CARGA.....	111
2.8.2.	CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE PROTECCIÓN.....	112
a.	DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE PROTECCIÓN DEL SISTEMA POTENCIA.	112
a.1.	DIMENSIONAMIENTO DEL CONTACTOR.	112
a.2.	DIMENSIONAMIENTO DEL FUSIBLE.	114
b.	DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE PROTECCIÓN DEL SISTEMA CONTROL.	115
b.1.	DIMENSIONAMIENTO DEL INTERRUPTOR ELECTROMAGNÉTICO.	115
b.2.	DIMENSIONAMIENTO DE FUSIBLES.....	117
2.8.3.	DIMENSIONAMIENTO DE LOS ALIMENTADORES.....	118
a.	CONDUCTOR PARA EL ALIMENTADOR.....	118
b.	CONDUCTOR PARA LOS MOTORES.....	119
c.	CONDUCTOR PARA EL CIRCUITO DE CONTROL	121

CAPÍTULO III

3.1.	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....	122
3.1.1.	MONTAJE MECÁNICO.	122
a.	DIAGRAMA DE OPERACIONES DE PROCESO.	122
a.1.	FABRICACIÓN DE LA ESTRUCTURA.	122
a.2.	FABRICACIÓN DEL BIN.....	124

a.3.	FABRICACIÓN DE TAPA LATERAL.....	125
a.4.	FABRICACIÓN DEL CANALÓN.....	126
a.5.	SOPORTE EXTREMO.....	126
a.6.	FABRICACIÓN DEL CILINDRO DOSIFICADOR EXTERIOR.	127
a.7.	FABRICACIÓN DEL TORNILLO SIN FIN.....	128
a.8.	FABRICACIÓN DE LA TOLVA DE RECEPCIÓN.....	130
b.	ENSAMBLAJE DE COMPONENTES.....	130
3.1.2.	MONTAJE SISTEMA NEUMÁTICO.....	132
3.1.3.	MONTAJE ELÉCTRICO.....	133
a.	ALIMENTACIÓN PRINCIPAL Y PUESTA A TIERRA.....	133
b.	TABLERO DE CONTROL.....	133
b.1.	CONEXIONES INTERNAS.....	135
b.2.	ELEMENTOS DE CONEXIÓN FÍSICA.....	135
c.	CABLEADO DE MOTORES.....	136
d.	CABLEADO DE CELDA DE CARGA.....	136
3.1.4.	IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE.....	137
a.	PROGRAMACIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA.....	138
b.	CALIBRACIÓN DEL INDICADOR.....	139
c.	BLOQUES DE PROGRAMACIÓN DEL PLC.....	140
d.	FUNCIONAMIENTO DEL HMI.....	145

CAPÍTULO IV

4.1.	PRUEBAS Y RESULTADOS.....	146
4.1.1.	PRUEBAS A LAS CONEXIONES ELÉCTRICAS.....	146
4.1.2.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PLC.....	147
4.1.3.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL HMI.....	149

4.1.4.	PRUEBAS A LA CELDA DE CARGA.....	149
a.	SEÑAL DE SALIDA EN CERO.....	149
b.	REPETIBILIDAD.....	150
4.1.5.	PRUEBAS DEL INDICADOR.....	150
4.1.6.	PRUEBAS DE DOSIFICACIÓN.....	151
4.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	160
4.3.	ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO.....	160
4.4.	VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	161

CAPÍTULO V

5.1.	CONCLUSIONES.....	163
5.2.	RECOMENDACIONES.....	164
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	166
	ANEXOS.....	170

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.	Fluidez del Material	71
Tabla 2.2.	Variación de C según β	71
Tabla 2.3.	Valores Típicos de k_d	95
Tabla 2.4.	Características del Motor.....	104
Tabla 2.5.	Características del Reductor	105
Tabla 2.6.	Características del Variador de Frecuencia G110	107
Tabla 2.7.	Características del Autómata S7-1200 CPU 1214C	109
Tabla 2.8.	Características de la Celda de Carga.....	112
Tabla 2.9.	Dimensionamiento de los Contactores	113

Tabla 2.10.	Características de los Contactores.....	114
Tabla 2.11.	Características de los Fusibles.....	115
Tabla 2.12.	Carga Instalada.....	116
Tabla 2.13.	Características de los Fusibles.....	117
Tabla 2.14.	Características del Conductor del Alimentador.....	119
Tabla 2.15.	Dimensionamiento de los Conductores	120
Tabla 2.16.	Características del Conductor de los Motores	120
Tabla 2.17.	Características del Conductor de Control.....	121
Tabla 3.1.	Elementos del Sistema Neumático	132
Tabla 3.2.	Identificación de los colores del cable de la Celda de Carga	136
Tabla 3.3.	Identificación de los colores del cable del Indicador	137
Tabla 3.4.	Parámetros de Configuración del Sinamics G110.	138
Tabla 3.5.	Parámetros de Calibración para el Indicador de Peso	140
Tabla 4.1.	Recetas	152
Tabla 4.2.	Pruebas de Dosificación para Receta de Aves.....	152
Tabla 4.3.	Pruebas de Dosificación para Receta de Porcinos	155
Tabla 4.4.	Pruebas de Dosificación para Receta de Bovinos	157
Tabla 4.5.	Desviación Estándar y Error del Sistema de Dosificación.....	160

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.	Diagrama de Proceso de Producción.	3
Figura 1.2.	Dosificador Sin fin	5
Figura 1.3.	Dosificador volumétrico	5
Figura 1.4.	Dosificador Gravimétrico	6
Figura 1.5.	Vibrador electromagnético.....	6

Figura 1.6.	Sistema de dosificación lineal.	7
Figura 1.7.	Sistema de dosificación circular.	8
Figura 1.8.	Transportador de Tornillo sin fin.	10
Figura 1.9.	Partes de un transportador de tornillo sin fin.	10
Figura 1.10.	Bines de Almacenamiento.....	11
Figura 1.11.	Tipo de Tolvas.....	12
Figura 1.12.	Descarga por gravedad.....	12
Figura 1.13.	Descarga por sinfín.	13
Figura 1.14.	Actuadores.....	13
Figura 1.15.	Cilindros Neumáticos.	14
Figura 1.16.	Unidad de mantenimiento.....	15
Figura 1.17.	Filtro.....	15
Figura 1.18.	Regulador	16
Figura 1.19.	Lubricador	17
Figura 1.20.	Electroválvula.....	17
Figura 1.21.	Motor-reductor.....	18
Figura 1.22.	Rodamiento de Bolas.....	18
Figura 1.23.	Componentes de un Rodamiento.....	19
Figura 1.24.	Plancha de Acero Galvanizado	20
Figura 1.25.	Plancha de Acero Inoxidable.....	21
Figura 1.26.	Perfil de Acero.....	22
Figura 1.27.	Componente ensamblado con Polímeros y Acero.....	23
Figura 1.28.	Celda de carga.....	24
Figura 1.29.	Celda de carga tipo “S”	24
Figura 1.30.	Indicador de Peso.	25
Figura 1.31.	Controladores Lógicos Programables.	26

Figura 1.32.	Variador de frecuencia	31
Figura 1.33.	PC.....	32
Figura 1.34.	Contactador	33
Figura 1.35.	Fusible	34
Figura 1.36.	Interruptor magnético	34
Figura 1.37.	Esquema general de un sistema de control.....	35
Figura 1.38.	Interface Hombre Máquina (HMI)	36
Figura 1.39.	Vista de portal del TIA PORTAL.....	39
Figura 1.40.	Vista de proyecto del TIA PORTAL	40
Figura 2.1.	Casa de la Calidad	48
Figura 2.2.	Diseño Funcional	51
Figura 2.3.	Diseño Funcional Modulo I	52
Figura 2.4.	Almacenamiento y Transporte del Sistema	53
Figura 2.5.	Selección del Método de Dosificación	54
Figura 2.6.	Prisma rectangular.	57
Figura 2.7.	Prisma trapezoidal.	58
Figura 2.8.	Ángulo de reposo	58
Figura 2.9.	Flujo tipo masa.....	59
Figura 2.10.	Parámetros del Contenedor.	60
Figura 2.11.	Dimensiones del contenedor o bin.	62
Figura 2.12.	Placa empotrada en sus ejes.	65
Figura 2.13.	Coeficiente de Momento	66
Figura 2.14.	Pirámide Truncada	68
Figura 2.15.	Parámetros de la Tolva Común.....	68
Figura 2.16.	Diagrama explicativo de los componentes.	70
Figura 2.17.	Esfuerzos Combinados en el Eje del Tornillo Dosificador.....	76

Figura 2.18.	Muestra la masa del eje del sin fin	77
Figura 2.19.	Diagrama de Torsión.....	77
Figura 2.20.	Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante.....	78
Figura 2.21.	Representación de la Hélice del Sin Fin.....	85
Figura 2.22.	Representación de un Paso del Sin Fin.....	86
Figura 2.23.	Parámetros L del Sin Fin.....	89
Figura 2.24.	Diagrama de Fuerzas aplicadas al Sin Fin.....	90
Figura 2.25.	Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante.....	91
Figura 2.26.	Alzado de un Paso del Sin Fin.....	97
Figura 2.27.	Desarrollo de la Hélice.....	98
Figura 2.28.	Longitud Desarrollada de la Hélice.....	98
Figura 2.29.	Fuerzas actuantes en el cilindro neumático.....	99
Figura 2.30.	Diagrama de Fuerzas.....	100
Figura 2.31.	Carrera del Pistón.....	102
Figura 2.32.	Motor.....	103
Figura 2.33.	Acoplamiento Motor-Reductor.....	105
Figura 2.34.	Convertidor de Frecuencia G110.....	106
Figura 2.35.	Autómata S7-1200	108
Figura 2.36.	Signal Board para PLC s7-1200.....	110
Figura 2.37.	Indicador de peso.....	110
Figura 2.38.	Celda de Carga Tipo "S"	111
Figura 2.39.	Contactador	114
Figura 2.40.	Fusible Cilíndrico y Base para Fusible.....	115
Figura 2.41.	Interruptor Electromagnético.....	117
Figura 2.42.	Fusible Cilíndrico y Base para Fusible.....	118
Figura 2.43.	Conductor Eléctrico Flexible.....	120

Figura 3.1.	Diagrama de procesos para construcción de la Estructura.....	123
Figura 3.2.	Diagrama de procesos para construcción del bin.	124
Figura 3.3.	Diagrama de procesos para construcción de tapa lateral.	125
Figura 3.4.	Diagrama de procesos para construcción del canalón.	126
Figura 3.5.	Diagrama de procesos para construcción de soportes extremos.	127
Figura 3.6.	Diagrama de procesos para construcción del Cilindro Dosificador.....	128
Figura 3.7.	Diagrama de procesos para construcción del Tornillo Sin Fin.	129
Figura 3.8.	Diagrama de procesos para construcción de la tolva	130
Figura 3.9.	Ensamblaje del dosificador.....	131
Figura 3.10.	Diagrama Neumático.....	132
Figura 3.11.	Distribución de Elementos en el Tablero de Control	134
Figura 3.12.	Sugerencia de instalación.	134
Figura 3.13.	Distribución de Elementos.....	135
Figura 3.14.	Conexión Celda de Carga - Indicador	137
Figura 3.15.	Diagrama de Funcionamiento del Sistema Dosificación	141
Figura 3.16.	Función FB “Dosificar”	142
Figura 3.17.	Función FC “Comparar Peso”	143
Figura 3.18.	Función FC “Operaciones Matemáticas”	143
Figura 3.19.	Función FB “Modo Manual”	144
Figura 3.20.	Función FC “HMI Recursos”	144
Figura 3.21.	Función FC “Compuerta”	144
Figura 3.22.	Función FC “Emergency Stop”	144
Figura 4.1.	Tablero de control de la Dosificadora.	146
Figura 4.2.	Medición de Voltajes	147
Figura 4.3.	Encendido del PLC	147

Figura 4.4.	Posibles estados del PLC	148
Figura 4.5.	Fallos en la comunicación PC y PLC.....	148
Figura 4.6.	Comunicación PC y PLC.....	148
Figura 4.7.	Posibles estados de un programa en el TIA PORTAL.....	149
Figura 4.8.	Señal de salida en cero.....	150
Figura 4.9.	Masa en la balanza	151
Figura 4.10.	Masa en la tolva de recepción.....	151
Figura 4.11.	Peso dosificado por cada muestra realizada para el I1	153
Figura 4.12.	Peso dosificado cada muestra realizada para el I2	153
Figura 4.13.	Peso dosificado cada muestra realizada para el I3	154
Figura 4.14.	Peso dosificado cada muestra realizada para el I4	154
Figura 4.15.	Peso dosificado cada muestra realizada para el I1	155
Figura 4.16.	Peso dosificado cada muestra realizada para el I2	156
Figura 4.17.	Peso dosificado cada muestra realizada para el I3	156
Figura 4.18.	Peso dosificado cada muestra realizada para el I4	157
Figura 4.19.	Peso dosificado cada muestra realizada para el I1	158
Figura 4.20.	Peso dosificado cada muestra realizada para el I2	158
Figura 4.21.	Peso dosificado cada muestra realizada para el I3	159
Figura 4.22.	Peso dosificado cada muestra realizada para el I4	159

RESUMEN

La empresa de alimentos balanceados AviPaz Cia. Ltda. ha logrado progresar y crecer en la fabricación de distintos tipos de balanceados para aves de corral, cerdos, ganado vacuno y cuyes, cuenta con maquinaria semi-automática para la producción de alimentos balanceados, máquina peletizadora, extrusora de soya y secadora de maíz.

El presente proyecto consiste en el “Diseño y Construcción de un Sistema Automático de Dosificación de Micronutrientes para Optimizar el Proceso de Producción”

Para iniciar con este proyecto se necesitó un escenario basado en el mercado, para luego dar paso a la selección del diseño, tipo de materiales a utilizar y el procedimiento empleado en la construcción de esta máquina.

La máquina inicia su proceso con el almacenamiento de vitaminas para lo cual se cuenta con cuatro bins hechos en acero inoxidable ya que la máquina está diseñada para producto alimenticio. A continuación el transporte se hará a través del accionamiento de motores que activan a un transportador de tornillo sin fin el cual mueve los micronutrientes a ser dosificados que caen en la tolva de recepción para ser pesados utilizando celdas de carga. Finalmente el sistema de descarga estará accionado por un cilindro neumático controlado por una electroválvula.

Las características principales de la máquina son; estructura, caja eléctrica, elementos eléctricos de alta confiabilidad, sistema dosificador de tornillo sin fin, pesaje basado en celda de carga, Voltaje 220, presión de aire 120- 150 PSI, control por PLC S7-1200.

ABSTRACT

The feed company AviPaz Cia. Ltda. has made progress and grow in the manufacture of various types of animal food such as poultry, pigs, cattle and guinea pigs. They have semi-automatic machinery for the production of food, pellet machine, extruder soybean and corn dryer.

The present project consists of "Design and Construction of an Automatic Dosing of Micronutrient System to Optimize the Production Process".

To start with this project we took a market-based scenario for making the selection of design, type of materials and the procedure used in the construction of this machine. The machine starts the process with the storage of vitamins for which there are four bins made of stainless steel. Then the transport of micronutrient is made by motor drive, which activates a screw conveyor which moves the micronutrients to be dosed into the receiving hopper, place where micronutrients are weighed using load cells.

Finally the discharge system is actuated by a pneumatic cylinder controlled by a solenoid.

The main features of the machine are: structure, electrical box, high reliability electrical components, system auger dose, weighing load cell based, 220 Voltage, 120-150 PSI air pressure, control by PLC S7 -1200.

PRESENTACIÓN

El presente proyecto describe el diseño y construcción de una máquina dosificadora de micronutrientes para optimizar el proceso productivo en la empresa AviPaz Cia.Ltda. en la ciudad de Ambato.

En el capítulo I, contiene una descripción general de sistemas de dosificación los cuales permiten tener una idea de cuál sería el ideal para este caso, además descripción de los elementos y componentes que forman parte del sistema.

En el capítulo II, se describe el diseño mecánico, eléctrico; la selección de componentes a ser utilizados, además el software utilizado para su diseño.

En el capítulo III, se detalla la construcción y montaje de los elementos mecánicos, la implementación de los componentes del sistema de control, el montaje eléctrico, la creación del programa del PLC.

En el capítulo IV, se refiere la evaluación del proyecto y análisis de los resultados obtenidos, presentando las pruebas realizadas.

En el capítulo V, se presenta las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.

La empresa de alimentos AviPaz Cia. Ltda. se dedica a la fabricación de distintas clases de balanceados para aves de corral, cerdos, ganado vacuno y cuyes, cuenta con maquinaria semi-automática para la producción de alimentos balanceados, entre ellos: máquina peletizadora, extrusora de soya y secadora de maíz.

En la Figura 1.1 se verifica el proceso que inicia cuando los camiones depositan la materia prima en la fosa de descarga (1) y son transportados a través de un tornillo sin fin hacia la zaranda (2), lugar donde se separan las impurezas, piedras y palos que puedan haber llegado con la materia prima.

A continuación por medio de un elevador se deposita la materia prima en los distintos silos de almacenamiento (3), la materia prima la constituyen el maíz y la pasta soya por lo que existen cuatro silos grandes y dos silos medianos de almacenaje respectivamente.

Luego el maíz y la pasta de soya son transportados hacia el interior de la fábrica donde se almacenan en dos bines rectangulares para su posterior molienda. Otros ingredientes principales como el afrecho, carbonato de calcio, harina de pescado son almacenados individualmente en uno de los bines que conforman el sistema de dosificación y pesaje de macro ingredientes (4).

El maíz y la pasta de soya son molidos en un molino de martillos (5) hasta obtener la granulometría adecuada y después son transportados por un elevador hacia los bines del sistema de dosificación y pesaje de macro ingredientes.

Un sistema HMI permite la selección de la fórmula a producirse y comienza la dosificación de macro ingredientes que son pesados en una báscula (6).

Una vez finalizada la dosificación caen hacia la máquina mezcladora (7) en donde los macro ingredientes son mezclados y es añadido de forma automática el aceite de palma (8) y de manera manual los micro-ingredientes antes pesados por los operarios en un sector distinto de la fábrica. Después de la mezcla el alimentos balanceado o formula nutricional es transportada hacia el área de peletizado (9) o ensacado (10).

En el área de peletizado el alimento balanceado entra en las peletizadoras (9) que constituyen un medio para moldear la mezcla de alimento en partículas más grandes mediante un proceso mecánico en combinación con humedad, calor y presión. (Fairfeild, 2002)

Después, el pellet caliente pasa por el enfriador (11), donde baja su temperatura con el movimiento de aire de un ventilador. Los finos en suspensión en el aire de enfriamiento se separan en un colector (12) y regresan a la peletizadora para su reprocesamiento, los pellets fríos se descargan del enfriador y pasan alrededor o por el desmoronador (13), dependiendo del producto que se esté procesando.

Posteriormente, el producto pasa por un mecanismo de tamizado (14) donde se separa el producto. El producto que cumple normas estándares va a las tolvas de alimento terminado, mientras que los finos y las partículas grandes se regresan a la peletizadora para ser procesadas de nuevo.

Las tolvas de alimento terminado constituyen parte del área de ensacado donde el alimento balanceado hecho harina, pellet o granulado son ensacados bajo distintos pesos y lugar de destino.

En el área de pesaje de micro ingredientes se pondrá más interés ya que aquí se realizará el proyecto.

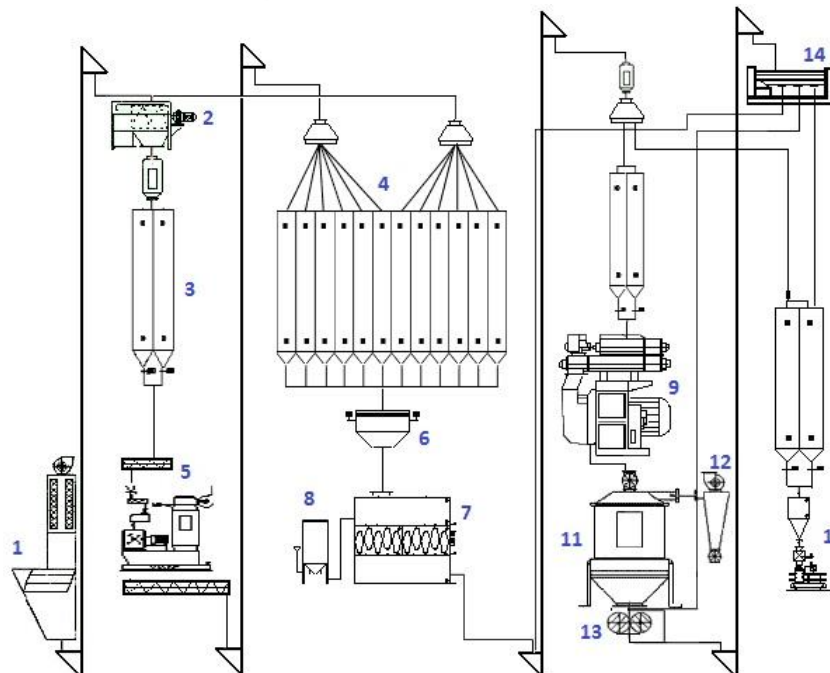
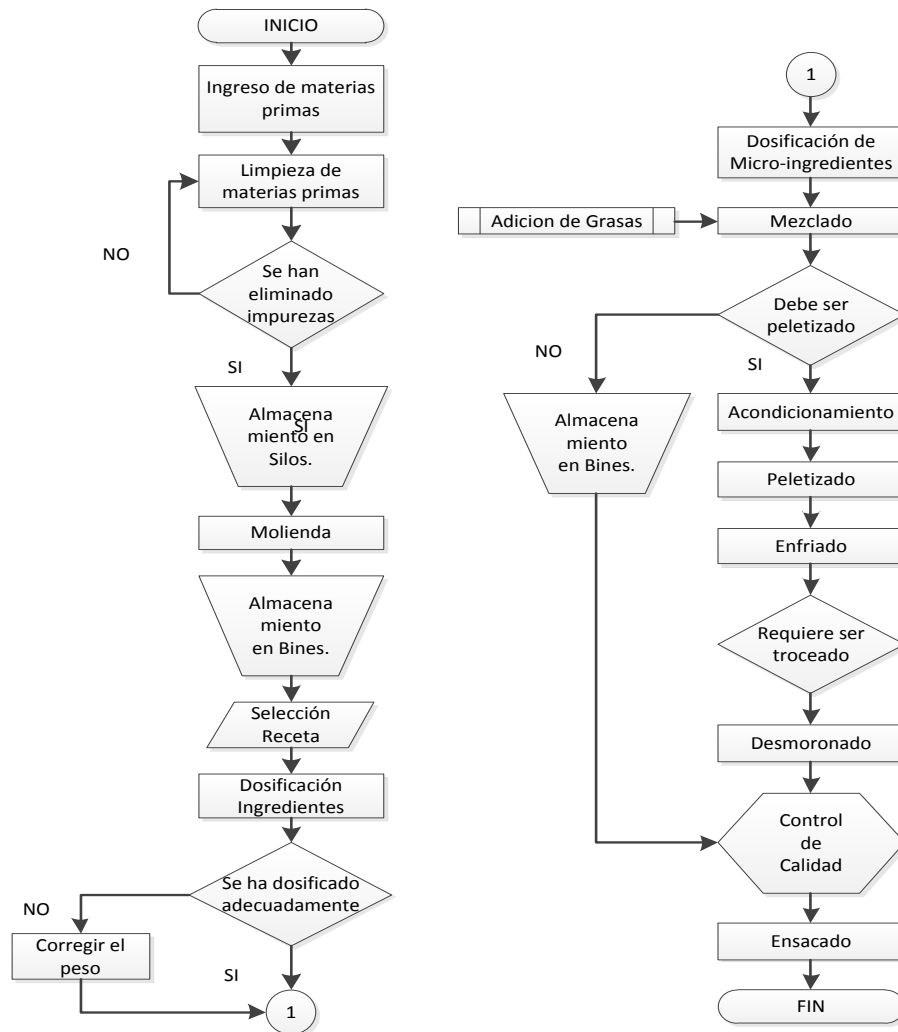


Figura 1.1. Diagrama de Proceso de Producción.

1.1.1. PROCESO DE DOSIFICACIÓN DE MICRO INGREDIENTES.

La fabricación de alimentos se está dirigiendo hacia la adición directa de pre-mezclas y aditivos al alimento final en las plantas que producen solo pocos tipos de variedades. Los fabricantes de alimento comercial usan mezclas base en la planta para adaptarse a la variedad de alimentos que tienen que producir. Sin embargo, en lugar de comprar micro ingredientes puros individuales y de hacer las mezclas base internas a partir del proceso de dosificación están comprando algunas pre-mezclas concentradas y combinaciones de micro ingredientes sencillos que se suministran en relaciones diferentes para acomodarse a la variedad de alimentos que producen.

El objetivo de presente proyecto consiste en el diseño de un sistema de dosificación que permita la elaboración de las pre mezclas vitamínicas en la misma fábrica, de manera que el costo de estas se reduzca, se optimice el proceso que hasta el momento viene siendo manual lo cual genera ciertos riesgos de los trabajadores en sus vías respiratorias por el manejo de estas sustancias de uso delicado.

1.1.2. TIPOS DE MÁQUINAS DOSIFICADORAS.

a. DOSIFICADOR SIN FIN.

Sistema (Figura 1.2) compuesto principalmente por un tornillo sin fin, utilizado para productos en polvo de difícil deslizamiento. Algunos sistemas, dependiendo del tipo de producto a dosificar, constan de agitadores adicionales en la tolva de descarga.

Este sistema es bastante preciso, pero si se requiere mayor exactitud, se puede incorporar una balanza para asegurar la cantidad exacta de material. Esto se realiza cuando el producto es altamente costoso y no se permiten desperdicios.



Figura 1.2. Dosificador Sin fin.

FUENTE: Indurpack. Dosificadores. Recuperado de: http://www.indurpack.com/d_atornillo.htm

b. DOSIFICADOR VOLUMÉTRICO.

Este sistema (Figura 1.3) es utilizado para productos granulados de fácil deslizamiento tales como azúcar, sal, café, aromáticos o similares, y consta principalmente de un plato telescópico con vasos en forma cónica que da el volumen para los gramos a empacar.



Figura 1.3. Dosificador volumétrico.

FUENTE: Tecse. Equipos de Envasado. Recuperado de: http://equipenvas.com/dosificadores_DV

c. DOSIFICADOR GRAVIMÉTRICO.

Este sistema (Figura 1.4) es utilizado generalmente para productos no homogéneos. El llenado del recipiente se realiza por gravedad y consta de una balanza para asegurar el correcto llenado.



Figura 1.4. Dosificador Gravimétrico.

FUENTE: Interempresas (2012). Dosificadores gravimétricos - Gravipes, S.L. Recuperado de: <http://www.interempresas.net/Quimica/FeriaVirtual/Producto-Dosificadores-gravimetricos-45820.html>

d. DOSIFICADOR POR VIBRACIÓN.

Este sistema (Figura 1.5) es práctico para dosificar productos secos de estructura rígida con una precisión no muy alta. Está compuesto por un elemento que produce vibración y un soporte elástico.

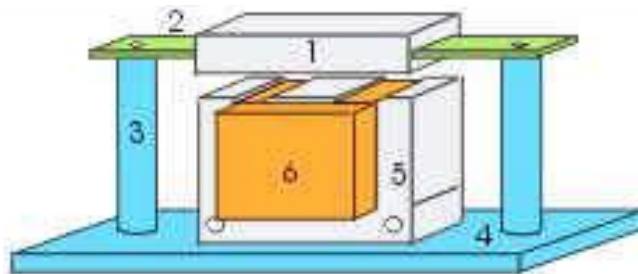


Figura 1.5. Vibrador electromagnético

FUENTE: Morales, E (2010). Diseño y construcción de un dosificador y empacador. ESPE. Recuperado de: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4397/1/T-ESPEL-0735.pdf>

1.1.3. SISTEMAS DE DOSIFICACIÓN.

Los sistemas de dosificación según su distribución son:

a. SISTEMAS LINEALES.

En este tipo de sistemas los contenedores se encuentran dispuestos en línea y en dos filas. La tolva o báscula tiene forma rectangular. Este sistema ocupa un gran espacio como se muestra en la Figura 1.6.



Figura 1.6. Sistema de dosificación lineal.

FUENTE: Intersystems. Microsystems: Weight Gain. [Documento]. Recuperado de: http://intersystems.net/brochures/bmh_lit/micro_ms1_small.pdf

b. SISTEMAS CIRCULARES.

Los sistemas circulares (Figura 1.7) son sistemas más compactos y difíciles de construir, la báscula tiene forma de cono truncado. Su principal ventaja es el ahorro de espacio comparado al sistema lineal.

Tanto los sistemas líneas como circulares pueden tener un control por ganancia o pérdida de peso como método de control de dosificación.



Figura 1.7. Sistema de dosificación circular.

FUENTE: Segra. Productos. Dosificación de micronutrientes. Recuperado de: http://segra.es/dosificador_mid.html

1.2. ÁREA MECÁNICA.

Los sistemas mecánicos son aquellos constituidos por componentes, dispositivos o elementos que tienen como función transformar o transmitir el movimiento desde la fuente que lo genera, al convertir distintos tipos de energía. Los diseñadores y los ingenieros de diseño crean aparatos o sistemas que satisfagan necesidades especificadas. En el caso típico, los aparatos y sistemas mecánicos comprenden piezas móviles que transmiten potencia y ejecutan por ejemplo desplazamientos y movimientos. El diseño mecánico es el proceso de diseño o selección de componentes mecánicos para utilizarlos y lograr una función deseada. Naturalmente, los elementos de máquinas deben ser compatibles, acoplarse bien entre si y funcionar en forma segura y eficiente.

1.2.1. TRANSPORTADORES.

Los transportadores se usan para muchos propósitos en la industria, entre ellos movimiento de materiales, medición, mezclado y clasificación según el tamaño (Fairchild, 2002). Por lo general se utilizan para trasladar ingredientes a granel en una dirección horizontal con poca o sin pendiente.

Algunos se usan para controlar las cantidades de alimento y para medir los materiales, ya sea por volumen o peso. Otros se usan para mezclar ingredientes secos o para añadir ingredientes líquidos a las mezclas o productos terminados.

El tipo y tamaño del transportador seleccionado para cada aplicación se basa en los siguientes factores:

- Características físicas y químicas de los ingredientes.
- Cantidad o ritmo del flujo.
- Distancia y elevación.
- Contaminación.
- Eficiencia.

Cada tipo de transportador tiene sus ventajas y desventajas y ningún transportador será apto para todas las aplicaciones.

a. TRANSPORTADORES DE TORNILLO.

Los transportadores de tornillo (Fairchild, 2002) son uno de los métodos más sencillos y antiguos para transportar materiales a granel como muestra la Figura 1.8. El material colocado en el cuerpo del transportador a través de las aberturas de entrada se mueve a lo largo en un suave movimiento en espiral por la rotación del tornillo. Las entradas, salidas, compuertas, transmisiones y otros accesorios controlan el ritmo de transportación del material y el lugar de descarga.

Estos transportadores también se pueden usar como alimentadores para controlar la cantidad de flujo de los materiales en las operaciones de procesamiento o para proporcionar un mezclado limitado durante la transportación.

Por lo general, las unidades están cerradas por completo y se pueden sellar de manera efectiva para evitar que escape el polvo y los humos o que entre la mugre y la humedad. Casi todos los materiales a granel se pueden transportar por los

transportadores de tornillo, pero por lo general quedan algunos residuos en el fondo del cuerpo.



Figura 1.8. Transportador de Tornillo sin fin.

FUENTE: Vecoplan (2010). Productos. Transportadores de tornillo sin fin. Recuperado de:
http://www.vecoplan.de/es_af-products.htm

a.1. COMPONENTES.

El transportador de tornillo consiste de hélices en espiral montadas sobre una tubería y se fabrica con dirección a la derecha o a la izquierda para adaptarse a la dirección de rotación del tornillo y a la dirección deseada del viaje del material. Se forma la hélice helicoidal en un equipo especial de rolado a partir de una barra plana sencilla formando una hélice continua como se indica en la Figura 1.9.

La tubería sobre la que están montadas las hélices se selecciona para proporcionar la fuerza de torsión adecuada que transmita la potencia requerida y que proporcione la rigidez necesaria contra la deflexión de su propio peso y elevación del material.

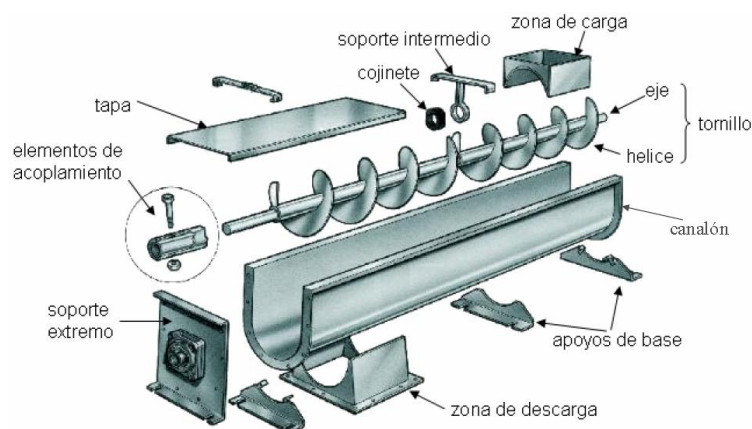


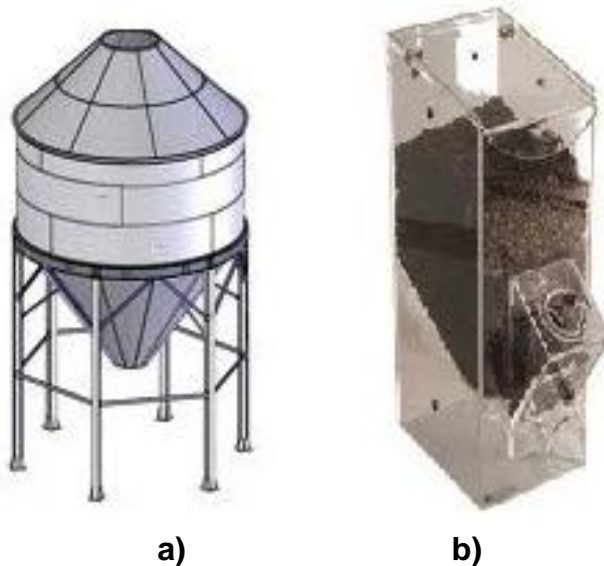
Figura 1.9. Partes de un transportador de tornillo sin fin.

FUENTE: Alnicolsa. Tornillo sin fin. Recuperado de: <http://taninos.tripod.com/tornillo.html>

1.2.2. BIN DE ALMACENAMIENTO.

Es un espacio diseñado específicamente para el almacenamiento de materiales o productos al granel (ABC, 2012), que se mantienen allí en condiciones ideales hasta el momento de su comercialización o manejo, evitando así que entren en mal estado debido a las condiciones climáticas; es parte integral del ciclo de acopio de la industria.

Los bienes ofrecen una variedad de tamaños, características y capacidad siendo los tipos más comunes aquellos que se muestra en la Figura 1.10.



a) b)
Figura 1.10. Bines de Almacenamiento.

FUENTE: Imagen basada en: Leyendas del té (2008).Silos de café Recuperado de:http://www.leyendasdelte.com/tienda/index.php?main_page=index&cPath=159_161
Confortec Ingeniería. Silos. Recuperada de: <http://confortec.es/proy06.html>

a. BIN DE ALMACENAMIENTO RECTANGULAR.

Son hechos de acero de mayor espesor que los circulares, por lo que son más caros (Williams & Gracey, 1996). Las láminas de las paredes están sujetas entre ellas en secciones mediante pernos o están soldadas para formar paneles grandes. Este tipo de depósito tiene pisos planos o tolvas en el fondo.

1.2.3. TOLVA.

Son piezas (Figura 1.11) que sirven para facilitar la carga y descarga de fluidos y áridos; sus formas son variadas y los nombres que reciben están en función del número de piezas que constan: simples si están formado por dos elementos y compuesta si el número de elementos es mayor.

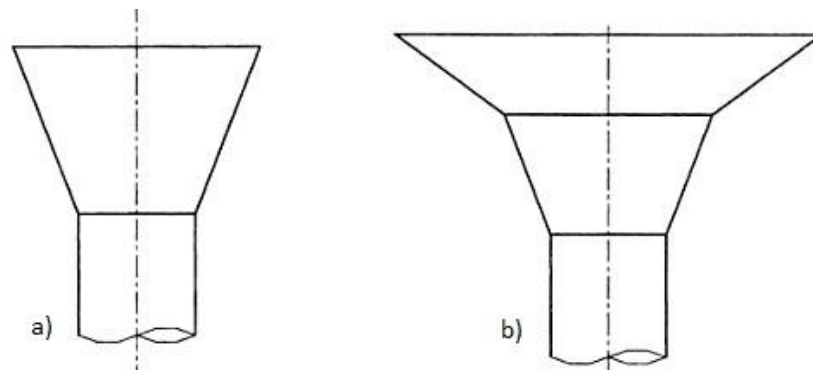


Figura 1.11. Tipo de Tolvas

a) Tolva Simple Recta. b) Tolva Compuesta Recta.

FUENTE: Cobo, C; Rodríguez A (2001). Geometría para Ingenieros Toma I: Representación Diédrica. Tolvas. Página 321. España.

La descarga de tolvas de almacenamiento, en todos los casos se efectuará por gravedad o descarga forzada.

a. POR GRAVEDAD.

A través de compuertas de descarga manual o automática. (Figura 1.12)



Figura 1.12. Descarga por gravedad.

FUENTE: Nuteco. Silos y tolvas de almacenamiento. Recuperado de: <http://www.nutecomes.com/silos-y-tolvas-de-almacenamiento/>

b. FORZADA.

A través de transportadores de tornillo sin fin. (Figura 1.13).



Figura 1.13. Descarga por sinfín.

FUENTE: Nuteco. Silos y tolvas de almacenamiento. Recuperado de: <http://www.nutecomes.com/silos-y-tolvas-de-almacenamiento/>

1.2.4. ACTUADORES.

Se denominan actuadores (Figura 1.14) a aquellos elementos que pueden provocar un efecto sobre un proceso automatizado, modificando los estados de un sistema. Su función es generar movimiento de los elementos según las órdenes dadas por la unidad de control.

El actuador recibe la orden de un regulador o controlador y da una salida necesaria para activar un elemento final de control, transformando la energía de entrada en energía de salida utilizable para realizar una acción.



Figura 1.14. Actuadores

FUENTE: Scribd (2013). Actuadores [Documento]. Recuperado de: <http://www.scribd.com/doc/54732299/2-Actuadores>

a. CILINDRO NEUMÁTICO.

Los cilindros neumáticos (Figura 1.15) son unidades que transforman la energía potencial del aire comprimido en energía cinética o en fuerzas prensoras. Básicamente consisten en un recipiente cilíndrico provisto de un émbolo o pistón. Al introducir un determinado caudal de aire comprimido, éste se expande dentro de la cámara y provoca un desplazamiento lineal. (Media Wiki, 2011)



Figura 1.15. Cilindros Neumáticos.

FUENTE: OLX (2013). Cilindros Neumáticos AIRTAC Veracruz. Recuperada de: <http://veracruz.city.olx.com.mx/cilindros-neumaticos-airtac-veracruz-iid-217137991>

a.1. UNIDAD DE MANTENIMIENTO.

Los dispositivos conectados en los diferentes puntos de un circuito neumático necesitan recibir aire con una presión uniforme y libre de impurezas. Además, de que muchos de estos dispositivos tienen elementos móviles que precisan ser lubricados.

La preparación del aire comprimido que consumen los dispositivos neumáticos conectados en diferentes puntos se realiza mediante las llamadas unidades de mantenimiento (Figura 1.16). Estas unidades están formadas por tres elementos que son: filtro, regulador y lubricador.



Figura 1.16. Unidad de mantenimiento.

FUENTE: Neumática Seritium (2013). Unidad de Mantenimiento. Recuperado de: <http://seritiumneumatica.wikispaces.com/Unidad+de+mantenimiento>.

a.1.1. FILTRO.

El filtro que se indica en la Figura 1.17 tiene como objetivo detener las impurezas que arrastra el aire comprimido como polvo, polen, restos de pequeñas oxidaciones, etc. El aire penetra en el filtro donde una placa deflectora le obliga a realizar un movimiento de rotación. Las partículas más pesadas y las gotitas de vapor caen al fondo del recipiente donde son evacuadas al exterior.

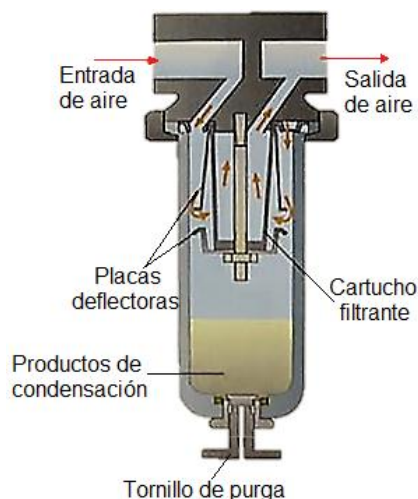


Figura 1.17. Filtro

FUENTE: Neumática Seritium (2013). Unidad de Mantenimiento. Filtro. Recuperado de: <http://seritiumneumatica.wikispaces.com/Unidad+de+mantenimiento>.

a.1.2. REGULADOR.

El regulador de presión (Figura 1.18) tiene como misión mantener el aire que utiliza el circuito neumático a una presión constante, independientemente de las variaciones de presión que se produzcan. La entrada de aire se regula mediante un tornillo de manera que deja pasar una cantidad constante de aire comprimido hacia el punto de utilización.

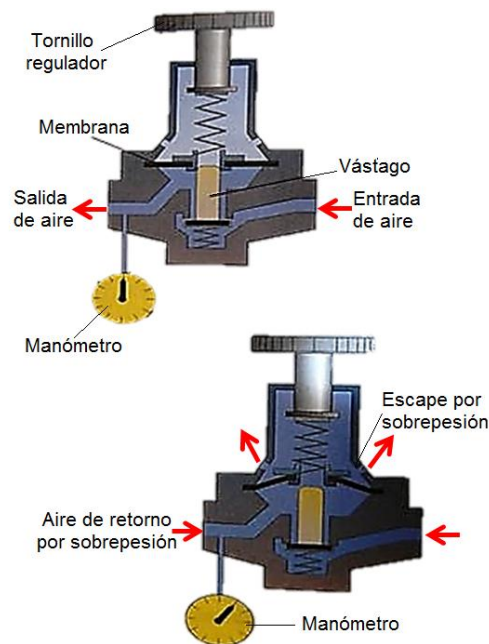


Figura 1.18. Regulador.

FUENTE: Neumática Seritium (2013). Unidad de Mantenimiento. Regulador. Recuperado de: <http://seritiumneumatica.wikispaces.com/Unidad+de+mantenimiento>.

a.1.3. LUBRICADOR.

La función de estos aparatos es incorporar al aire ya tratado previamente, una determinada cantidad de aceite. La lubricación de determinados actuadores neumáticos reduce su desgaste y permite aumentar su velocidad de funcionamiento. Sin embargo, una lubricación excesiva podría provocar obstrucciones de los accionamientos, actuadores, filtros, silenciadores u otros elementos neumáticos por lo que se requiere observar los rangos recomendados que indique el fabricante. Las partes de un lubricador se indican en la Figura 1.19.

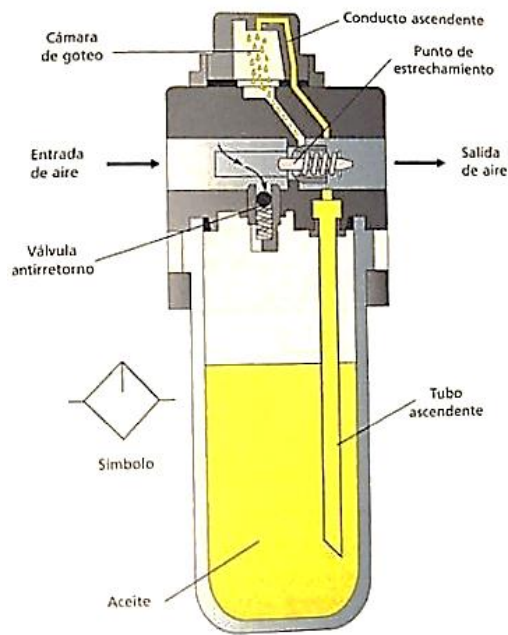


Figura 1.19. Lubricador.

FUENTE: Neumática Seritium (2013). Unidad de Mantenimiento. Regulador. Recuperado de: <http://seritiumneumatica.wikispaces.com/Unidad+de+mantenimiento>.

b. ELECTROVÁLVULA.

Una electroválvula es una válvula electromecánica como la indicada en la Figura 1.20, diseñada para controlar el flujo de un fluido que atraviesa un conducto; mediante la activación de una bobina solenoide por medio de corriente eléctrica. Tiene dos partes fundamentales: el solenoide y la válvula.



Figura 1.20. Electroválvula.

FUENTE: QN Componentes. Electroválvula Neumática Recuperado de: http://www.qncomponentes.com/qnci/product.php?id_product=29

1.2.5. MOTOR-REDUCTOR.

Se llama motor-reductor (Figura 1.21) al conjunto formado por un motor y un reductor, teniendo por finalidad reducir la velocidad generada por el motor, antes de su aplicación industrial a la máquina o elemento a accionar. (Roldan, 2005)



Figura 1.21. Motor-reductor.

FUENTE: SyS componentes eléctricos. Productos. Ejes Paralelos. Recuperado de: <http://www.solucionesyservicios.biz/Motores-y-reductores/Motoreductores/Ejes-paralelos>

1.2.6. RODAMIENTOS.

Los rodamientos (Figura 1.22) son mecanismos, cuya función es servir de apoyo entre un elemento giratorio y su soporte, transformando el rozamiento por deslizamiento en deslizamiento por rodadura (SENA, 2012)



Figura 1.22. Rodamiento de Bolas.

FUENTE: 123RF (2013). Rodamientos de bola. Recuperado de: http://es.123rf.com/photo_3611827_rodamientos-de-bolas-sobre-una-superficie-pulida-de-acero.html

Un rodamiento consta de dos aros concéntricos entre los que se desplazan o rotan cuerpos sólidos, conocidos como elementos rodantes. Estos elementos garantizan una mayor durabilidad de los componentes de la máquina, evitan el

desgaste, el calentamiento por fricción, el aumento del par de giro y lógicamente se garantiza una operación silenciosa y eficiente.

a. COMPONENTES.

Los rodamientos en general están formados por cuatro elementos básicos y todas las partes se construyen con un material común para evitar que el desgaste sea más severo en alguno de sus componentes. La capacidad del rodamiento depende en gran parte de los materiales empleados en su construcción por lo que regularmente se emplean aceros.

Las partes básicas del rodamiento como indica en la Figura 1.23 son: un anillo o aro interior, un anillo o aro exterior, un conjunto de elementos rodantes que pueden ser bolas, rodillos o conos y como elementos auxiliares se incluyen armaduras, jaulas o elementos separadores de los elementos rodantes.

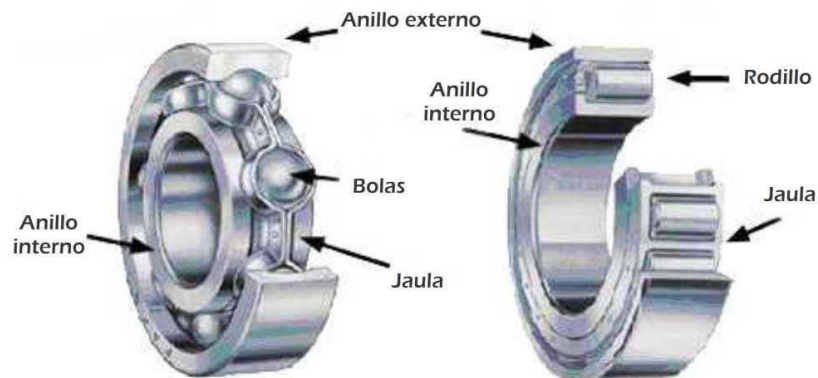


Figura 1.23. Componentes de un Rodamiento.

FUENTE: Elementos de Máquinas [Documento]. Rodamientos. Página 5.

1.2.7. MATERIALES.

El ser humano viene utilizando diversos materiales desde épocas ancestrales para la fabricación de productos. Es así que en el diseño de un objeto ha de emplearse el mejor material que se adapte a las necesidades y que resulte más económico, razón por la cual se han elegido algunas alternativas de materiales los mismos que pueden ser utilizados para el diseño de los distintos componentes.

Las posibles alternativas son:

- Acero galvanizado.
- Acero inoxidable.
- Acero suave.
- Polímeros.

a. ACERO GALVANIZADO.

El acero galvanizado (Figura 1.24) es aquel que se obtiene luego de un proceso de recubrimiento de varias capas de la aleación de hierro y zinc. El recubrimiento galvanizado le otorga al acero una excelente protección, entregándole propiedades fabulosas entre las que se encuentra su gran resistencia a la abrasión, así como también a la corrosión.

La resistencia a la corrosión produce tres excelentes efectos. El primero, denominado “protección por efecto de barrera” consta en la aislación frente a un medio ambiente que podría ser bastante agresivo. En segundo lugar, la “protección catódica o de sacrificio” es aquella en la que el zinc se comporta como la parte anódica de la corrosión, de este modo, mientras haya recubrimiento de zinc, entonces el acero estará protegido. Por último, la “restauración de zonas desnudas” se refiere a que la corrosión del zinc logra tapar aquellas discontinuidades que pueden existir en el recubrimiento a causa de la corrosión u otro tipo de daños, como por ejemplo, un golpe fuerte.

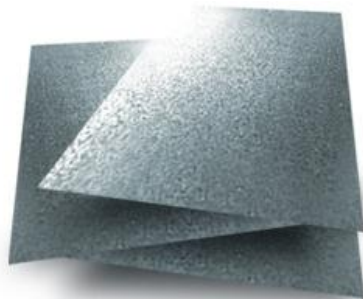


Figura 1.24. Plancha de Acero Galvanizado.

FUENTE: Acesco. Productos. Colombia. Recuperado de: http://www.acesco.com/acesco/index.php?option=com_content&task=view&id=103&Itemid=112

b. ACERO INOXIDABLE.

El acero inoxidable (Figura 1.25) es un acero de elevada resistencia a la corrosión, gracias a los metales aleantes presentes en su estructura como el cromo que poseen una gran afinidad con el oxígeno formando una capa pasivadora, evitando así la corrosión del hierro. Sin embargo, esta capa puede ser afectada por algunos ácidos, dando lugar a que el hierro sea atacado y oxidado por mecanismos intergranulares o picaduras generalizadas. Algunos tipos de acero inoxidable contienen además otros elementos aleantes; los principales son el níquel y el molibdeno.

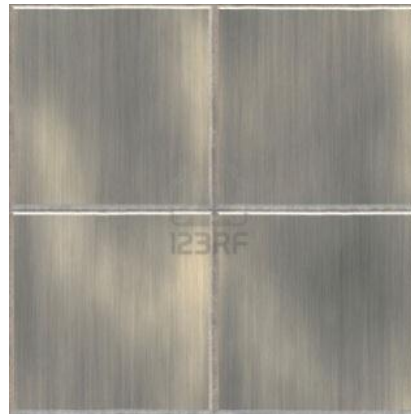


Figura 1.25. Plancha de Acero Inoxidable.

FUENTE: Todo de inoxidable. Productos. Recuperado de: <http://www.tododeinoxidable.com/Productos/PlacayLaminadeAceroInoxidable/tabid/176/Default.aspx>

Las características principales del acero inoxidable son indicadas a continuación:

Resistencia a la Corrosión.

La formación de una fina capa de óxido en su superficie, le concede una elevada resistencia a la corrosión, defendiéndola de la acción de los medios más agresivos, y tornándolo inerte y de durabilidad comprobada.

Conformabilidad.

Se presenta en composiciones químicas con propiedades mecánicas específicas, que posibilitan diversas opciones de conformación. Puede ser plegado, cortado, estampado y soldado, adecuándose a diversas aplicaciones.

Belleza.

Desde el opaco al espejado, el acero inoxidable ofrece una gran gama de acabados superficiales, brindando recursos visuales y funcionalidad a los productos.

Versatilidad.

El acero inoxidable es aplicado en diversos sectores de la industria, atendiendo a las diversas exigencias de variados proyectos. Es suministrado en rollos, hojas, flejes preformas y perfiles.

Reciclable 100 %.

Como material noble, el acero inoxidable es totalmente reciclable y su reaprovechamiento no interfiere en su calidad.

Facilidad de limpieza.

El material asegura calidad en la asepsia permitiendo total higiene, requisito indispensable en determinadas aplicaciones.

c. ACERO SUAVE.

El acero suave (Figura 1.26) es el tipo más común de acero utilizado en la construcción, la manufactura y muchas otras industrias. De los aceros al carbono, el acero ASTM A36 es una de las variedades más comunes en parte debido a su bajo costo, ofrece una excelente resistencia y fuerza para ser un acero bajo en carbono y aleación. Es muy fácil de soldar, lo que lo convierte en un material estructural atractivo en los oficios de construir donde puede ser encontrado como un soporte temporal o permanente de material de revestimiento aunque es propenso al óxido.



Figura 1.26. Perfil de Acero.

FUENTE: Dipac. Recuperado de: http://www.dipacmanta.com/alineas.php?ca_codigo=1603

d. POLÍMEROS.

Los polímeros se producen por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas que forman enormes cadenas de diferentes formas. Pueden pertenecer a la química inorgánica (cemento, porcelana, vidrio, etc.) o a la química orgánica (proteínas, grasas, propilenos, etc.)

Los plásticos son polímeros de elevado peso molecular, esto es, son moléculas gigantes formadas por numerosas unidades repetidas combinadas en agregados muy grandes. Los polímeros se pueden combinar con materiales metálicos para formar ensamblajes de componentes como se indica en la figura 1.27.



Figura 1.27. Componente ensamblado con Polímeros y Acero.

FUENTE: WamGroup. Bulk Solids Handling & Processing. MBW Micro-Batch Feeder. Recuperado de: http://www.wamgroup.com/ATEX_compliant_products/MBW_FLEXFLO_Micro_Batch_Feeders.html

1.3. DISPOSITIVOS DE CONTROL.

1.3.1. SENSORES.

Los sensores son dispositivos electrónicos (Carletti, 2012) diseñados para transformar las magnitudes de las variables físicas del entorno en señales que puedan ser interpretadas por sistemas de centrales de control, por lo tanto son transductores que convierten una característica física en otra diferente para ser más fácilmente interpretada. Los sensores entregan información sobre el proceso y el ambiente en el cual está interactuando, al computador (cerebro) del proceso.

a. CELDAS DE CARGA.

a.1. GENERALIDADES.

La celda de carga (Figura 1.30) es un transductor de fuerza, que después de haber tenido en cuenta los efectos de aceleración de la gravedad y del empuje del aire en el lugar de utilización mide una masa, convirtiendo la magnitud medida (masa) en una señal eléctrica (señal de salida) proporcional al valor de la magnitud medida. Las celdas de carga son usadas ampliamente en aplicaciones de pesaje electrónico.



Figura 1.28. Celda de carga.

FUENTE: Balanza Detecto. Celda tipo monobloque. Colombia. Recuperado de: <http://balanzas-detecto-ltda.com/celdas-carga.html>

a.2. TIPO S.

El nombre de este tipo de celda de carga proviene de su forma que es similar a la de una letra “S”, se utilizan en aplicaciones de tensión (Figura 1.31). Su rango de trabajo es desde 25 libras hasta 20000 libras.

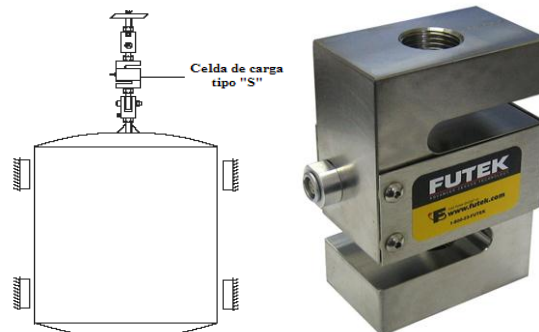


Figura 1.29. Celda de carga tipo “S”.

FUENTE: Logicbus (2009). Productos. Celdas de Carga. Recuperado de: http://www.logicbus.com.mx/celdas_tipos.php

a.3. CABLEADO.

Una celda de carga tiene generalmente un cable con 4 o 6 hilos que están codificados para facilitar las conexiones. Cada celda viene con una hoja de especificaciones que contiene la información sobre el código de colores. El cable de 6 hilos tiene señal positiva y negativa, excitación positiva y negativa y líneas de sense positiva y negativa.

a.4. SEÑAL DE SALIDA.

La señal de salida de una celda de carga está determinada por la carga aplicada y por el voltaje de excitación y su sensibilidad expresada en el rango de mv/V. El rango de salida típico es generalmente de 2 o 3mv/V. Esto significa que por cada voltio de excitación la señal de salida de la celda será de 2 o 3 mV. Si aplicamos 100 kg a una celda de carga de 100 kg con un voltaje de 10 voltios de excitación aplicada a la celda y el rango es de 3 mv/V, la señal de salida será de 30 mV. ($10V \times 3mv/V = 30 \text{ mV}$). Si aplicamos solo 50 kg de carga la señal obtenida será del 50% o sea 15 mV.

1.3.2. INDICADOR DE PESO.

Un indicador de peso (Figura 1.30) es un dispositivo digital de pesaje electrónico para usarse en una báscula o balanza electrónica. Poseen circuitos electrónicos que permiten interactuar con diferentes dispositivos. Se pueden vincular con celdas de carga, impresoras y computadoras.



Figura 1.30. Indicador de Peso.

FUENTE: Avery Weigh-Tronix. 2013 Indicator/Controller Recuperado de: http://www.averyweigh-tronix.com/Global/Products/Indicators/1080/1080_spec_UK500537.pdf

1.3.3. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.

Los Controladores Lógicos Programables (Figura 1.31) son computadores digitales industriales dedicados a las tareas de control de procesos. Dichos dispositivos fueron creados para mejorar el sistema de control convencional mediante contactores. Entre los problemas que presentaban los sistemas de control convencional están: poca flexibilidad, difícil supervisión y corrección de errores, poca confiabilidad y alto consumo de energía. (Miranda, 2004)



Figura 1.31. Controladores Lógicos Programables.

FUENTE: ELEC2. Autómatas programables en las aplicaciones térmicas y de fluidos [Post].

Recuperado de: <http://www.elec2.es/?tag=siemens>

Las razones de estos problemas radican en que los sistemas convencionales implementan la lógica de control mediante cableados complicados y múltiples elementos discretos como temporizadores, contactores, interruptores, enclaves mecánicos y botoneras, todos los cuales están sujetos a fallo. Además, el hecho de que la lógica esté implementada por cableados hace difícil su modificación.

Como respuesta, surgió la idea de tener un único elemento programable que realizará la lógica de control. Entonces, bastará con programar dicha lógica en la memoria del dispositivo para obtener el mismo resultado que con la intrincada red de contactores que se tenía previamente.

a. ESTRUCTURA INTERNA.

Está constituida por los siguientes componentes:

- CPU.
- Memoria.
- Entradas y salidas.
- Comunicaciones.
- Buses.

b. ESTRUCTURA EXTERNA.

Todos los PLC, poseen una de las siguientes estructuras:

- Compacta, en un solo bloque están todos los elementos.
- Modular.
- Estructura americana: separa las entradas y salidas del resto del autómatas.
- Estructura europea: cada módulo es una función (fuente de alimentación, CPU, entrada y salida, entre otros).

Externamente se encuentran con cajas que contienen una de estas estructuras, las cuales poseen indicadores y conectores en función del modelo y fabricante.

Para el caso de una estructura modular se dispone de la posibilidad de fijar los distintos módulos en rieles normalizados, para que el conjunto sea compacto y resistente. El micro-autómatas suelen venir sin cubierta, ya que su empleo no es determinado y se suele incluir dentro de un conjunto más grande de control o dentro de la misma maquinaria que se debe controlar.

c. COMPONENTES BÁSICOS.

c.1. ENTRADAS.

Constituyen la etapa de entrada del PLC. Desde la parte externa del PLC lucen como una bornera donde se deben colocar los cables con las señales que provienen de los transductores, pero internamente están conformadas por circuitos electrónicos que acoplan esas señales a las especificaciones de señales

que el PLC puede manipular. Según la naturaleza de la señal que se recibe de los transductores, las entradas se clasifican en:

c.1.1. ENTRADAS DIGITALES.

Estas entradas se diseñan para recibir señales de los sensores de campo. Dichas señales varían sólo entre dos estados. El PLC codifica estas señales según su amplitud en: 1 lógico para el valor de amplitud mayor, y 0 lógico para el nivel de amplitud menor. Los niveles de amplitud que el PLC entenderá son definidos por el fabricante. Este tipo de señales generalmente provienen de transductores como interruptores, botoneras, sensores de fin de carrera, etc.

c.1.2. ENTRADAS ANALÓGICAS.

Son las que reciben señales analógicas de los transductores de campo. Estas señales generalmente provienen de sensores que miden el valor instantáneo de una variable física. Ejemplos de este tipo de señales son: la salida de un tacómetro, de un foto sensor o de un sensor de nivel.

El valor de la señal analógica internamente se transforma en una señal digital de tal forma que el procesador la pueda manipular. Un aspecto importante de esta transformación es la resolución con que se realiza en el interior del PLC. Por resolución se entenderá la cantidad de valores cuantizados disponibles para representar una señal analógica.

c.2. SALIDAS.

Internamente son circuitos electrónicos que realizan el acople entre las señales digitales utilizadas por el PLC y las señales analógicas o cuantizadas que utilizan los actuadores. Las salidas se clasifican, al igual que en el caso de las entradas, en digitales y analógicas. Las salidas digitales se aplican a actuadores como bobinas de contactores, electroválvulas, etc.

Existen salidas digitales: de voltaje y de relé. Las salidas de voltaje asignan una magnitud de voltaje, que depende del fabricante, al estado 1 lógico; y de 0 V al estado 0 lógico. Las salidas de relé consisten en un contacto seco que se cierra en el estado 1 y se abre en el estado 0. En el caso de salidas analógicas, los valores de salida están generalmente entre 0 a 10 VDC para salidas de voltaje; y de 4 a 20 mA para las de corriente, aunque estos valores varían según el fabricante. Estas señales comandan actuadores como válvulas solenoides, servomotores, etc.

c.3. UNIDAD CENTRAL DE PROCESO Ó CPU.

Es el elemento principal de procesamiento del PLC. Una vez digitalizadas, las señales de entrada son pasadas al CPU, el cual les aplica el algoritmo de control para generar las salidas. El algoritmo de control está almacenado en la memoria interna del PLC en forma de un programa, el cual es creado y almacenado por el usuario. Además de ejecutar el programa, el CPU realiza acciones como verificación del sistema, actualización de las imágenes de entrada/salida y la medición del tiempo de ejecución del programa.

c.4. MEMORIA DEL PLC.

Es el lugar físico donde residen el sistema operativo, el programa, los datos de ejecución y las imágenes de entrada-salida. El sistema operativo es un programa que utiliza el PLC para iniciar su operación y realizar las configuraciones propias de su funcionamiento. La memoria del PLC se clasifica en diferentes clases dependiendo de su modo de acceso y volatilidad.

c.4.1. EEPROM.

Es una memoria de sólo lectura que puede ser escrita por medios electrónicos. No necesita de una fuente de poder para mantener sus datos. Por su característica no volátil, se utiliza para guardar datos esenciales, tal como el sistema operativo y el programa.

c.4.2. RAM.

Es una memoria de acceso aleatorio que se utiliza para guardar los datos generados mientras se ejecuta el programa. Es volátil, por lo que los datos almacenados se pierden si se suspende la alimentación.

c.5. FUENTE DE PODER.

Es el elemento que brinda la alimentación a todos los componentes del PLC. Generalmente los componentes funcionan a bajos voltajes de DC. La fuente realiza la transformación de los voltajes AC de las líneas de potencia a esos niveles DC.

c.6. MÓDULOS DE COMUNICACIÓN.

Las comunicaciones de la CPU son llevadas a cabo por un circuito especializado con protocolos como RS-232C, TTY o HPIB (IEEE-485) MODBUS, HART, RS-485, DeviceNet, ControlNet, Ethernet; y depende según el fabricante y la sofisticación del PLC.

c.7. MÓDULOS DE AMPLIACIÓN.

Los cartuchos de señal pueden ser añadidos al CPU del PLC para incrementar el número de entradas y salidas digitales o analógicas, comunicación RS485 o un módulo de batería para el controlador permitiendo que el tamaño de la CPU permanezca inalterado.

1.3.4. VARIADOR DE FRECUENCIA.

Un variador de frecuencia (Fraile Mora, 2008) es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) (Figura 1.32) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. Un variador de

frecuencia es un caso especial de un variador de velocidad. Los variadores de frecuencia son también conocidos como drivers de frecuencia ajustable (AFD), drivers de CA, micro drivers o inversores. Dado que el voltaje es variado a la vez que la frecuencia, a veces son llamados drivers VVVF (variador de voltaje variador de frecuencia).



Figura 1.32. Variador de frecuencia.

FUENTE. Direct Industry (2013). Variador de Frecuencia Recuperado de: <http://www.directindustry.es/prod/mitsubishi-automation/variadores-de-frecuencia-7025-282159.html>

a. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

Los dispositivos variadores de frecuencia operan bajo el principio de que la velocidad síncrona de un motor de corriente alterna (CA) está determinada por la frecuencia de CA suministrada y el número de polos en el estator, de acuerdo con la relación:

$$RPM = \frac{120 \times f}{p}$$

Ec. 1.1.

Donde

RPM = Revoluciones por minuto

f = frecuencia de suministro CA (Hercio)

p = Número de polos (adimensional)

1.3.5. COMPUTADOR (PC).

Los computadores (Figura 1.33) permiten crear y presentar rápidamente aplicaciones de interfaz Hombre-Máquina (HMI) comunicándose directamente con su proceso o planta (Logic Electronics, 2012).

Además de ser interfaces hombre máquina brindan medios para mostrar datos y controlar sistemas autónomos en tiempo real. Estos permiten extender su aplicación a todos lados combinando el software de interface humano máquina HMI y el hardware para el control de procesos de automatización.



Figura 1.33. PC.

FUENTE: La Computadora (2010). [Blog]. Recuperado de: <http://shekinainformatica.blogspot.com/2010/04/la-computadora.html>

1.3.6. CONTACTOR.

Un contactor (Wikipedia, 2013) es un componente electromecánico que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente, ya sea en el circuito de potencia o en el circuito de mando, tan pronto se de tensión a la bobina. Puede ser accionado a distancia y tiene dos posiciones de funcionamiento: una estable o de reposo, cuando no recibe acción alguna por parte del circuito de mando, y otra inestable, cuando actúa dicha acción. Este tipo de funcionamiento se llama de “todo o nada”.

En los esquemas eléctricos, su simbología se establece con las letras KM seguidas de un número de orden. En la figura 1.34 se muestra un contactor.



Figura 1.34. Contactor.

FUENTE: Gama. Materiales Eléctricos. [Artículo]. Recuperado de: <http://www.gama-me.com/materiales-electricos/comando-motor/contactor-siemens-sirius-3rt1034-1an20-ac-3-15-kw400-v-tamano-s2>

1.3.7. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN.

Las instalaciones eléctricas disponen de diversos elementos de seguridad para disminuir el riesgo de accidentes, como los causados por cortocircuitos, sobrecargas o contacto de personas o animales con elementos en tensión. (Gobierno de Aragón, 2010)

Un cortocircuito se produce por fallos en el aislante de los conductores o por contacto accidental entre conductores aéreos debidos a fuertes vientos o rotura de los apoyos. Dado que un cortocircuito puede causar daños importantes en las instalaciones eléctricas e incluso incendios en edificios, las instalaciones están normalmente dotadas de fusibles, interruptores magneto térmicos o diferenciales y tomas de tierra, a fin de proteger a las personas y las cosas.

a. FUSIBLES

Se denomina fusible (Figura 1.35) a un dispositivo, constituido por un soporte y un filamento de metal o aleación de bajo punto de fusión, que se intercala en un punto determinado de una instalación eléctrica para que se funda por Efecto Joule, cuando la intensidad de corriente supere, por un cortocircuito o un exceso de carga un determinado valor que pudiera hacer peligrar la integridad de los

conductores de la instalación con el consiguiente riesgo de incendio o destrucción de otros elementos. En cuanto a la clase de servicio los fusibles vienen designados mediante dos letras; la primera nos indica la función que va a desempeñar, la segunda el objeto a proteger, por lo cual el fusible más común es:

- **Tipo gG/gL:** Es un cartucho limitador de la corriente empleado fundamentalmente en la protección de circuitos sin puntas de corriente importantes, tales como circuitos de alumbrado, calefacción aunque se podría utilizar en la protección de motores, cumplen con la Norma IEC60269.



Figura 1.35. Fusible

FUENTE: Los componentes. Productos. Fusibles. Recuperado de: <http://www.loscomponentes.com/loscomponentes/pg510/sp/>

b. INTERRUPTOR MAGNETO TÉRMICO.

Son dispositivos empleados para proteger los circuitos eléctricos de sobrecargas y cortocircuitos, en sustitución de los fusibles. Una vez que actúan debido a una sobrecarga o un cortocircuito, se pueden rearmar sin necesidad de sustituirlos como ocurre con los fusibles. Cuando desconectan el circuito.



Figura 1.36. Interruptor magnético

FUENTE: Grupo Intercom (2005). Instalaciones Eléctricas [Blog]. Recuperado de: <http://www.emagister.com/curso-seguridad-instalaciones-electricas/interruptor-magnetotermico-interruptor-diferencial>

1.4. SISTEMA DE CONTROL.

Un sistema o proceso (Figura 1.37) está formado por un conjunto de elementos relacionados entre sí para alcanzar una determinada finalidad, y ofrece señales de salida en función de señales o datos de entrada. El conocimiento del comportamiento de la señal de salida respecto a una variación en la señal de entrada permitirá seleccionar la acción de control adecuada para lograr las mejoras en la respuesta prevista del sistema.

La regulación y el control de procesos industriales permiten la automatización de la producción, mejora de la calidad del producto, el incremento de la seguridad, la disminución del consumo de energético, la optimización del coste de producción y de mantenimiento, etc. (Angulo B & Raya G, 2005)

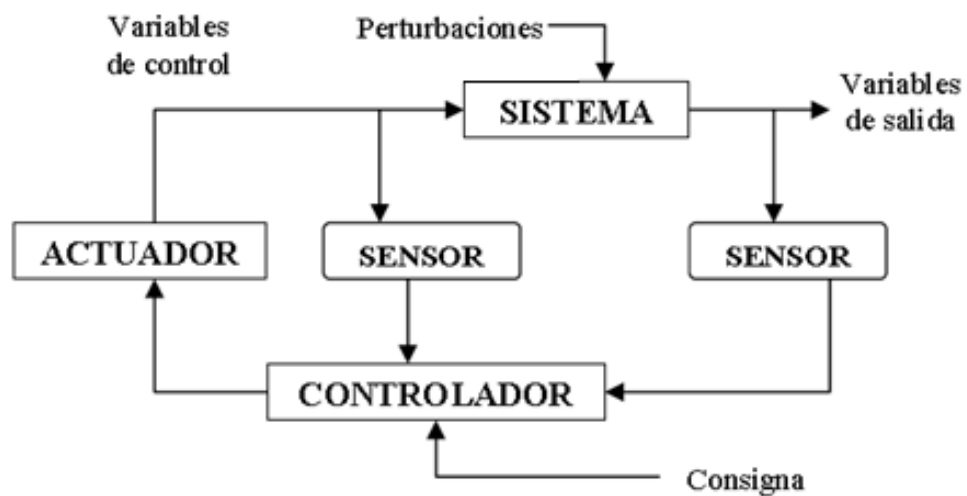


Figura 1.37. Esquema general de un sistema de control.

1.4.1. SISTEMAS HMI.

El término HMI (Human Machine Interface) ha sido acuñado en los últimos años para calificar una de las características más importantes de los sistemas de supervisión, control, diseño y simulación. El deseo de acercar el ordenar al hombre y de conseguir un mayor diálogo y ergonomía con los procesos de control ha fructificado en la aparición de entornos gráficos que mediante sinópticos de las

plantas y procesos permiten hacerse una idea exacta de la ubicación de los operadores técnicos implantados así como de los flujos de información en los procesos. Estas interfaces (Figura 1.40) incorporan objetos gráficos a los que se les “dota de vida” (Ortega & Iravo, 2001) en función del estado o valor de las variables a las que se les asocia. Los atributos de un objeto gráfico pueden ser su tamaño, color, movimiento.



Figura 1.38. Interface Hombre Máquina (HMI).

FUENTE: Electro Industria (2011). Buena Prácticas en el diseño de sistemas HMI [Artículo].

Recuperado de: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=683&edi=1>

a. FUNCIONES DEL HMI.

a.1. MONITOREO.

Es la habilidad de obtener y mostrar datos del proceso en tiempo real. Estos datos se pueden mostrar como números, textos o gráficos que permitan una lectura más fácil de interpretar.

a.2. SUPERVISIÓN.

Esta función permite junto con el monitoreo la posibilidad de ajustar las condiciones de trabajo del proceso directamente desde el dispositivo de control.

a.3. ALARMAS.

Es la capacidad de reconocer eventos excepcionales dentro del proceso y reportar estos eventos. Las alarmas son reportadas basadas en límites de control pre-establecido.

a.4. CONTROL.

Es la capacidad de aplicar algoritmos que ajustan los valores de proceso y así mantener estos valores dentro de ciertos límites.

1.4.2. AUTOMATIZACIÓN.

Según (MAVAISA, 2010) la palabra automatización proviene del griego antiguo auto: guiado por uno mismo, y es el uso de sistemas o elementos computarizados y electromecánicos para controlar maquinarias y/o procesos industriales sustituyendo a operadores humanos. El alcance va más allá que la simple mecanización de los procesos ya que ésta provee a operadores humanos mecanismos para asistirlos que los esfuerzos físicos del trabajo.

a. CONTROL DE PROCESOS.

El objetivo de todo proceso industrial es la obtención de un producto final, de características determinadas que cumpla con las especificaciones y niveles de calidad exigidos por el mercado. La misión del control de procesos en un sistema de control será corregir las desviaciones surgidas en las variables de proceso respecto de unos valores determinados que se consideran óptimos para conseguir las propiedades requeridas en el producto producido. (Bishop & Dorf, 2005)

b. OPTIMIZACIÓN.

Optimizar es sinónimo de buscar lo mejor, también alcanzar la ganancia máxima o tener la pérdida mínima. El hombre a lo largo de su historia ha intentado siempre proyectarse hacia la cumbre o alcanzar el éxito en sus actividades empresariales. Buscando la forma de alcanzar lo mejor en una circunstancia o problema bien definido. (Pike & Guerra, 1989)

1.4.3. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE DE MONITOREO Y CONTROL.

El uso de un PC + Software, constituye una alternativa de monitoreo y control.

Como PC se puede utilizar cualquiera según lo exija el proyecto, desde las llamadas Industriales para ambientes agresivos, los Panel PC que se instalan en gabinetes dando una apariencia de terminal de operador, y la tradicional PC de escritorio.

Como software se requiere uno para la programación de los dispositivos que hacen control y otro especializados para la creación del HMI. La selección de estos depende de la marca de los dispositivos utilizados, compatibilidad y versatilidad de las aplicaciones que brindan y se requieren.

a. SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN DEL PLC.

TIA (Totally Integrated Automation) PORTAL proporciona un entorno fácil de manejo para configurar la lógica de controladores de la marca SIEMENS. Para aumentar la productividad este software ofrece dos vistas diferentes de proyecto; distintos portales orientados a tareas y organizados según las funciones de las herramientas (vista del proyecto). El usuario puede seleccionar la vista que considere apropiado para trabajar eficientemente.

Para aumentar la productividad TIA PORTAL dispone de dos zonas en la creación y manejo del proyecto. La vista de portal proporciona acceso a todos los componentes del proyecto permitiendo la orientación a las tareas a realiza de manera sencilla e intuitiva. Portales de las diferentes tareas. La vista del proyecto muestra todos los componentes del proyecto, permitiendo un acceso fácil a los dispositivos y módulos. Es posible determinar fácilmente el procedimiento y la tarea que se debe seleccionar.

La disposición de la vista del portal como muestra la Figura 1.39 presenta los siguientes componentes:

1. Portales para las distintas tareas.
2. Acciones para el portal seleccionado.
3. Ventana de la acción seleccionada.
4. Cambio a la vista de proyecto.

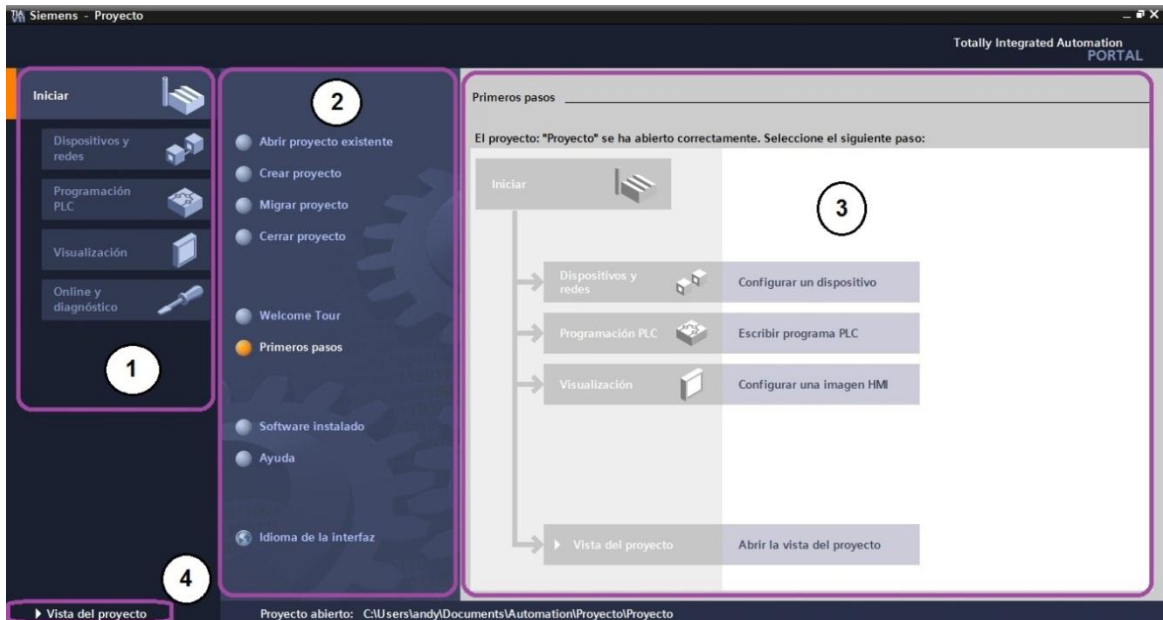


Figura 1.39. Vista de portal del TIA PORTAL.

A través del árbol de proyecto es posible acceder a todos los componentes y datos del proyecto, en esta vista se puede realizar las siguientes acciones:

- Agregar componentes adicionales.
- Editar componentes existentes.
- Visualizar y modificar las propiedades de los componentes existentes.

Como muestra la Figura 1.40 la vista de proyecto tiene los siguientes componentes:

1. Menú y barra de herramientas.
2. Ventana del proyecto.
3. Vista detallada.
4. Área de trabajo.
5. Task Cards (Dispositivos de Trabajo).
6. Cambia a la vista del portal.
7. Ventana de inspección.

8. Barra del editor.

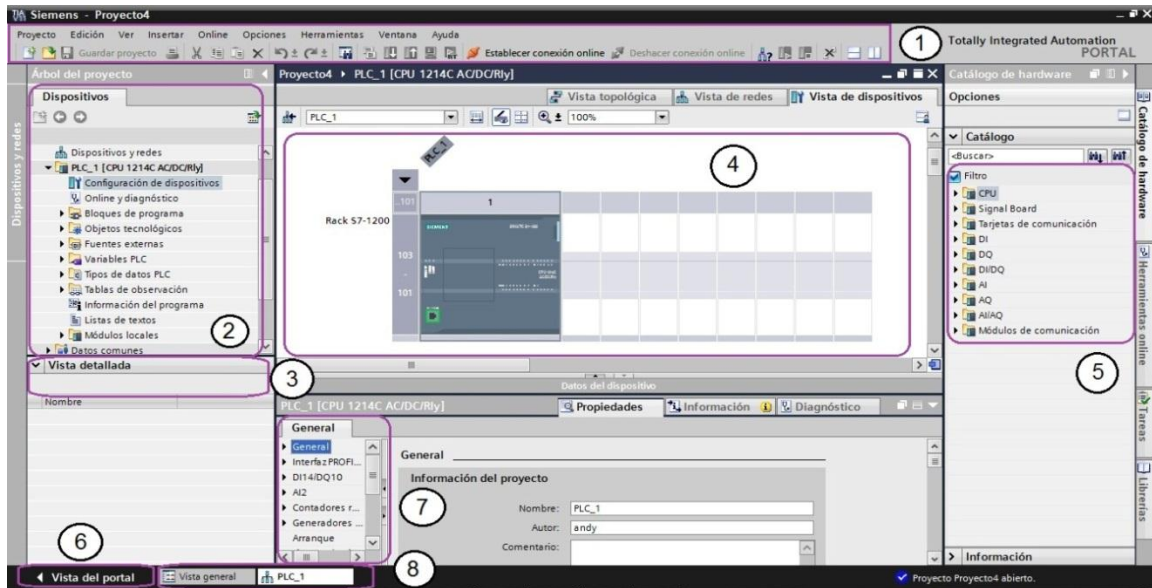


Figura 1.40. Vista de proyecto del TIA PORTAL.

En el área de trabajo se visualiza los objetos que se abren para editarlos. En la ventana de inspección se visualiza información adicional acerca de un objeto seleccionado o sobre las acciones realizadas. La barra de Task Cards selecciona objetos de una librería o del catálogo de hardware. En la vista detallada se visualiza determinados contenidos de un objeto seleccionado como lista de textos o variables.

b. SIMATIC WinCC.

El paquete de software WinCC constituye el entorno de desarrollo de Siemens en el marco de los scadas y HMI para visualización y control de procesos industriales. WinCC combina la arquitectura de las aplicaciones de Windows con la programación entornos gráficos e incluye varios elementos destinados al control y supervisión de procesos. El entorno de ingeniería de proyectos de WinCC engloba:

- Dibujos - para diseñar representaciones de planta.
- Estructura de archivos – para guardar datos/eventos marcados con fecha y hora en una base de datos SQL.

- Generador de informes – para generar informes sobre los datos solicitados.
- Administración de datos – para definir y recopilar datos de toda la planta.
- Tiempo de ejecución de WinCC.
- Permite a los operarios interactuar con la aplicación directamente en la máquina o desde un centro de control.

CAPÍTULO II

DISEÑO

2.1. INTRODUCCIÓN.

A lo largo de la historia, la disciplina básica necesaria para diseñar un producto era la Mecánica, puesto que un producto solo contenía elementos mecánicos. A principios del siglo XX, aparecen los componentes eléctricos, más tarde los electrónicos. Finalmente, ya en las últimas décadas aumenta la dificultad del diseño de un producto al incluir microprocesadores y elementos de software. Se puede afirmar, por tanto, que el proceso de diseño es una tarea cada vez más compleja que abarca campos muy diferentes de la ingeniería. (Capuz, 1999)

Por otra parte, existe la tendencia generalizada en los diseñadores de iniciar el diseño a partir de su idea (solución) favorita, o preconcebida, y dedicarse a refinarla hasta obtener el diseño final. Esta es una metodología pobre, ya que cuantas más ideas se generan, más probable es que una de ellas resulte satisfactoria. Como consecuencia de estos razonamientos se infiere que el diseño de un producto precisa de metodologías creativas que combinen los esfuerzos en cada área específica para obtener un producto que satisfaga las necesidades del cliente mejor que el de la competencia.

Los elementos fundamentales del proceso de diseño en ingeniería son:

El establecimiento de objetivos y especificaciones, síntesis, análisis, construcción, pruebas y evaluación. Además se debe tener en cuenta las diferentes restricciones como son los factores económicos, seguridad, estéticos, éticos, impacto social e impacto ambiental. (García, 2004)

Tomando en cuenta los elementos del proceso de diseño se ha elegido desarrollar el sistema de dosificación de micro-nutrientes bajo los conceptos de diseño concurrente, diseño por calidad y diseño funcional.

2.2. DISEÑO CONCURRENTE.

El diseño concurrente es la metodología actual del diseño mecatrónico que hace referencia a la utilización de la tecnología de computadores para mejorar el proceso de diseño, reduciendo las probabilidades de errores y organizando de mejor manera la información. Se ha escogido esta metodología porque permite el diseño simultáneo de los sistemas mecánicos, eléctricos-electrónicos y de control optimizando el diseño y reduciendo los tiempos en la manufactura por superposición de actividades.

2.3. DISEÑO POR CALIDAD.

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño y construcción de un sistema automático de dosificación de micro-nutrientes. En la actualidad el área de dosificación cuenta con un sistema manual de pesaje y dosificación realizado por parte de los operadores, donde ellos son los responsables del manejo y dosificación de los micro-nutrientes en base a la receta a producirse.

El sistema de dosificación se diseñará y construirá basándose en la necesidad de optimizar los tiempos de producción y salvaguardando la integridad física de los operadores del área quienes están en riesgo debido al manejo de las sustancias de uso delicado como son los micro-nutrientes.

2.3.1. CASA DE LA CALIDAD.

La casa de la calidad es una herramienta del QFD (Despliegue de la Función de Calidad) que permite satisfacer los requisitos del cliente en todo el proceso de diseño a través de la utilización de una serie de matrices para relacionar la voz del cliente con los requisitos técnicos del producto, los requisitos de los componentes, los planes para el control de procesos y las operaciones de manufactura.

Para la construcción de la casa de la calidad se requiere:

- Identificar los requisitos del cliente.
- Identificar los requisitos de técnicos.
- Relacionar los requisitos del cliente con los requisitos técnicos.
- Realizar una evaluación de los productos o servicios competitivos.
- Evaluar los requisitos técnicos y desarrollar los objetivos.
- Determinar qué requisitos técnicos se deben desplegar en el resto del proceso de producción.

2.3.2. REQUISITOS DEL CLIENTE.

La voz del cliente es el principal insumo para la construcción de la casa de la calidad y de acuerdo con el criterio de la empresa AVIPAZ CIA LTDA. el sistema de dosificación debe contar con las siguientes características:

- Fácil operación.
- Fácil mantenimiento.
- Que requiera pocos operadores para su funcionamiento.
- Que el sistema sea automático salvo el llenado de los bins con vitaminas y la recolección de estas una vez que han sido dosificadas, procesos que deben ser realizados manualmente.
- Que funcione con energía eléctrica, motores y sistemas neumáticos.
- Que dosifique lo más rápido posible.
- Que tenga un error máximo del 5% por ingrediente en la dosificación.
- Que sea un modelo ampliable a futuro.
- Que la máquina no se corra.
- Que posea una interfaz amigable para el control del proceso.
- Que la extracción de vitaminas dosificadas sea de fácil manejo.
- Que ocupe poco espacio.
- Que dosifique en paradas de 20 kg.

2.3.3. REQUISITOS TÉCNICOS.

Una vez conocidos los requerimientos y necesidades de la empresa se procede a traducirlos en especificaciones técnicas que son detalladas a continuación:

- Tamaño de los bins.
- Número de bins.
- Tamaño del dosificador.
- Paso del tornillo dosificador.
- Velocidad del dosificador
- Tamaño de la tolva de recepción común.
- Tipo de material utilizado para la construcción.
- Distribución de los componentes del sistema.
- Exactitud y precisión de los dispositivos utilizados.
- Nivel de automatización aplicado al proceso.

2.3.4. CONCLUSIONES DE LA CASA DE LA CALIDAD.

La casa de la calidad mostrada en la Figura 2.1 nos brinda la información necesaria acerca de las características técnicas que satisfacen en gran medida las demandas del cliente, siendo las más importantes detalladas a continuación:

- Tamaño de los bins.
Los bins deben tener un tamaño que permita almacenar en ellos una masa promedio de 75 Kg de vitaminas en polvo y a su vez sus dimensiones deben ser lo más óptimas para que ocupen poco espacio físico.
- Número de bins.
El número de bins necesario para comenzar con el proceso de dosificación automático es de cuatro y a futuro este número puede ser incrementado según los requerimientos y necesidades de la empresa.

- **Tamaño del dosificador.**
El tamaño del dosificador es dependiente de la cantidad de vitaminas a ser dosificadas, mientras mayor sea el tamaño del dosificador mayor cantidad de material será desplazado por el mismo. Se ha establecido una medida entre 60 y 70 mm como diámetro del dosificador y una longitud no mayor a 1m. No obstante estos valores serán debidamente calculados y considerados más adelante.
- **Paso del tornillo dosificador.**
A mayor paso del tornillo dosificador mayor será la cantidad transportada por lo que se ha considerado que este valor no debe ser mayor al valor del diámetro del dosificador para no perder precisión en la cantidad dosificada por el arrastre de demasiado material.
- **Velocidad del Dosificador.**
Es el limitante de la cantidad máxima a ser dosificada por unidad de tiempo. La velocidad del dosificador debe guardar relación con la cantidad de producto a ser dosificado.
- **Tamaño de la tolva de recepción común.**
El tamaño de la tolva de recepción común es el limitante de la cantidad máxima a ser dosificada por cada ejecución del sistema y por requerimiento de la empresa esta debe tener capacidad para recibir un promedio de 20 kg y ocupar el mayor espacio disponible.
- **Tipo de material utilizado para la construcción.**
Por las propiedades físico-químicas que presentan las sustancias a ser dosificadas se requiere utilizar materiales que sean de fácil limpieza, mantenimiento y que poseen bajos niveles de corrosión.
- **Distribución de los componentes del sistema.**
El tamaño del sistema depende principalmente de la distribución que se le dé a los elementos que forman parte del mismo. Por facilidad en la

distribución se ha considerado una distribución lineal como la más adecuada.

- Exactitud y precisión de los dispositivos utilizados.
El éxito de una correcta dosificación se ve influenciada por la precisión de los dispositivos utilizados en el proceso, los algoritmos de control y el nivel de perturbaciones externas que presente el sistema durante su funcionamiento. Se ha decidido utilizar dispositivos y elementos de control de fácil adquisición en el mercado que sean de simple manipulación y reemplazables en caso de fallo.
- Nivel de automatización aplicado al proceso.
El nivel de automatización está directamente relacionado con la facilidad de operación y el número de operarios requeridos para el manejo del sistema. Por pedido de la empresa y limitaciones de este proyecto se ha decidido que el proceso de llenado de bins y de descarga de dosificados sea llevado a cabo por el operario a cargo del manejo del sistema.

Como se ha descrito, estos son los parámetros que están directamente relacionados con los aspectos más importantes del sistema: Rapidez en la dosificación, facilidad de operación y poco espacio físico necesario.

Por otro lado, en lo que se refiere a los requerimientos técnicos la mayoría de las especificaciones técnicas están relacionadas entre sí en grupos. Es así que por ejemplo el tamaño del dosificador, el paso y la velocidad de dosificación están íntimamente ligados para satisfacer la característica de rapidez en la dosificación. Además las características tamaño de los bins, distribución del sistema y tamaño de la tolva de recepción común satisfacen las características de poco espacio físico requerido.

Finalmente se busca diseñar y construir un sistema que tenga las mismas bondades que uno existente en el mercado satisfaciendo siempre las necesidades del cliente.

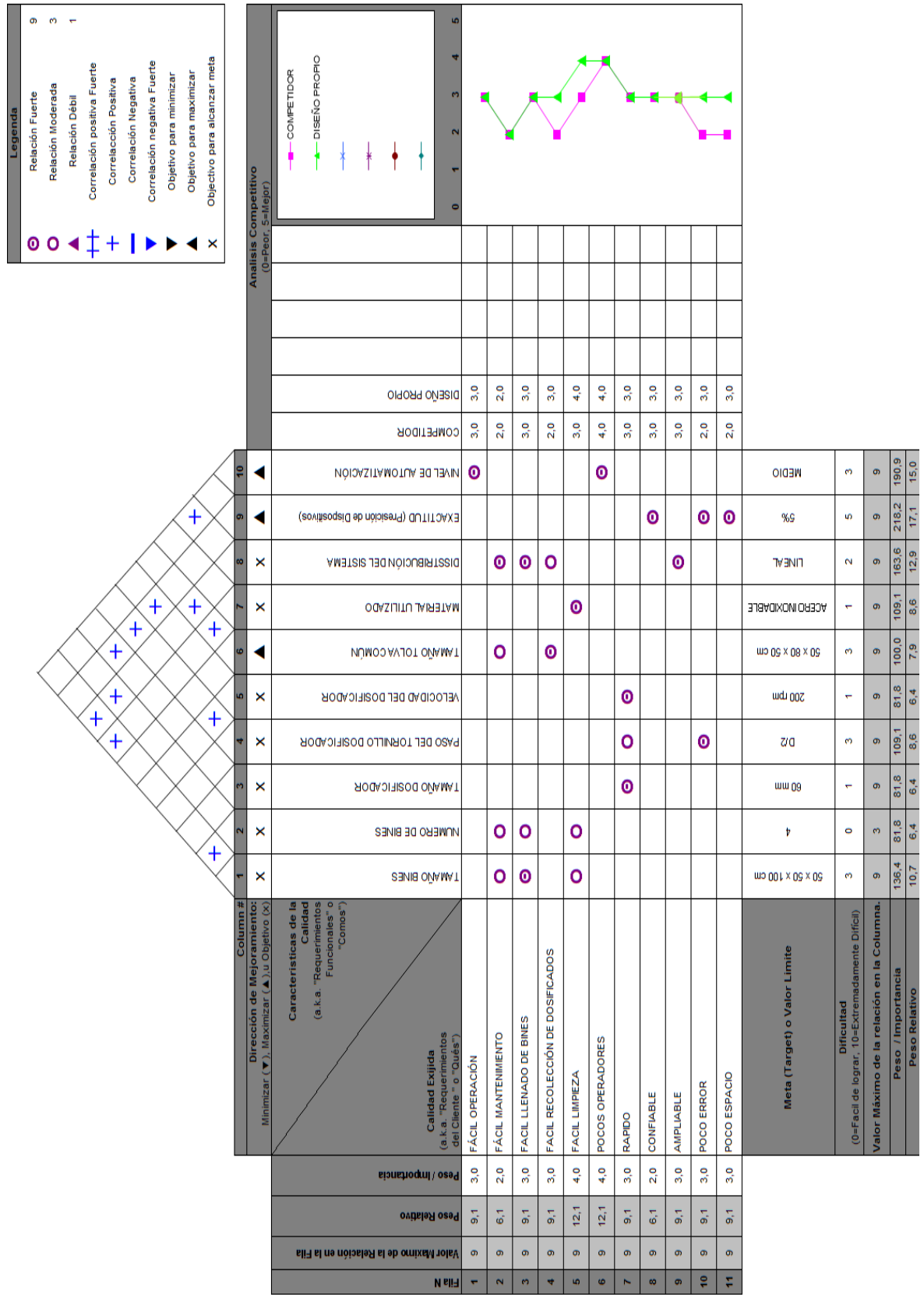


Figura 2.1. Casa de la Calidad.

2.4. DISEÑO FUNCIONAL.

El análisis funcional es una técnica del diseño cuyo objetivo primordial es el de describir las funciones que un producto va a realizar mediante un análisis donde se excluye los componentes físicos que componen al producto. Se puede definir una función como el comportamiento, de un humano o una máquina, que se necesita para cumplir los requisitos de diseño. Es decir toda función necesariamente conlleva la transformación de un flujo de materiales, energía o información:

- Las funciones relacionadas con el flujo de energía pueden almacenar, conducir, disipar, suministrar o transformar energía.
- Las relaciones con el flujo de materiales se puede dividir en las que actúan sobre el flujo, las que lo dividen y las que unen dos o más flujos.
- Las asociadas con la información pueden adoptar la forma de señales mecánicas, eléctricas o de software.

Por tanto, es un error iniciar el diseño de un producto a partir de los componentes internos, ya que en ese caso se está limitando la creatividad. El diseño debe comenzar basándose en el único dato conocido que es la función que debe realizar el objeto.

Para aplicar correctamente esta técnica de diseño, es necesario establecer las funciones primarias y secundarias que cumple el producto. Entendiéndose por funciones primarias aquellas que motivan al cliente a la adquisición de un producto en específico, que en este caso es la dosificación de micro-nutrientes.

Las funciones secundarias son todas aquellas que permiten que la o las funciones principales se cumplan satisfactoriamente. Las funciones secundarias son

determinadas mediante el análisis y descomposición en sub-funciones de la función principal.

2.4.1. ANÁLISIS DEL DIAGRAMA FUNCIONAL.

En los diagramas funcionales se observa el desarrollo de los niveles 0 y 1, que son los adecuados para mostrar las funciones necesarias que el sistema debe realizar. Desplegar un nivel más del diagrama conllevaría encontrar ciertas soluciones a cada sub-proceso.

En el nivel 0, se presenta la función primaria que debe cumplir el sistema que es dosificar micro-nutrientes, para ello se requiere de materiales, energía, información y señales de control. El nivel 1 describe los subprocesos principales que especifican de manera general cada uno de los procedimientos o funciones que se han de realizar para obtener el producto, además de las transformaciones que sufren los materiales a lo largo del proceso, los diferentes tipos de flujo energético, señales de control y relación entre funciones.

2.4.2. DEFINICIÓN DE MÓDULOS.

Para poder analizar el cumplimiento de los sub-procesos es conveniente dividir al producto en módulos o bloques funcionales para tomar en cuenta aspectos tan importantes como la reducción de costos, la facilidad de mantenimiento, la ampliación del sistema y la facilidad de producción.

Afortunadamente dentro del proceso de dosificación se lleva a cabo funciones tan independientes que analizadas cuidadosamente permiten establecer un único modulo que describe el correcto funcionamiento del sistema.

Al analizar el diagrama funcional se pueden establecer tres conjuntos de funciones principales que son:

- Almacenar y transportar los micronutrientes.
Que consiste en el proceso de verter las vitaminas en cada uno de los bins contenedores y ser transportados hasta la zona de pesaje.
- Dosificar los micronutrientes.
Que va desde el momento en que las vitaminas transportadas empiezan a ser pesadas según el requerimiento de la receta a elaborarse hasta que todas las vitaminas han sido dosificadas.
- Retirar Dosificados.
Que consiste en vaciar de la tolva de recepción común los micro-nutrientes antes pesados por medio de la apertura de una compuerta.

Se ha elegido realizar un solo modulo por la independencia entre cada una de las 3 funciones principales ya que solamente existe una interfaz de flujo de material, lo que en otras palabras significa que los tres conjuntos pueden operar con total independencia siempre y cuando exista un flujo de material de la una hacia la otra.

En las Figura 2.2 y Figura 2.3 se muestra el desarrollo del módulo funcional del primer conjunto.

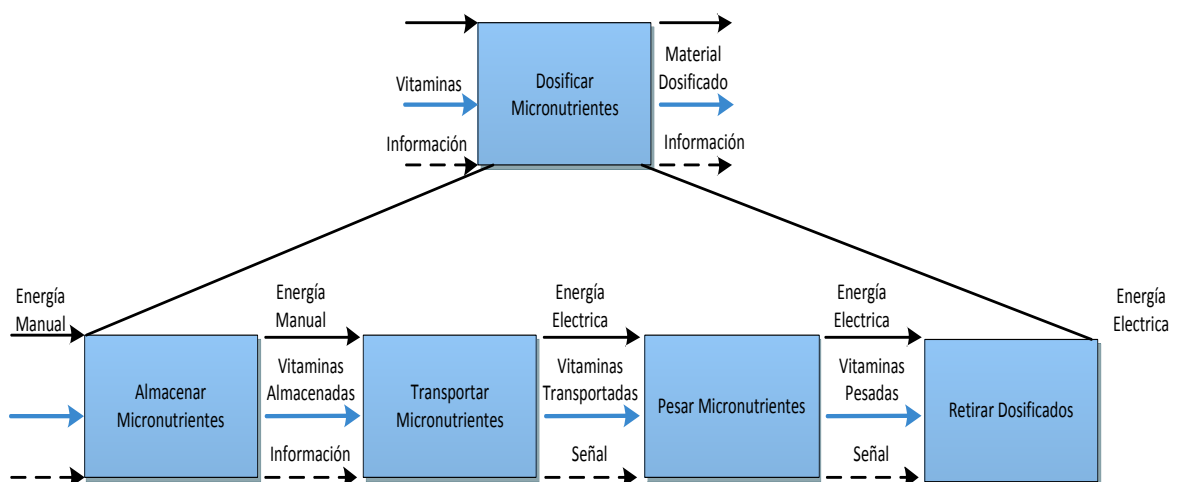


Figura 2.2. Diseño Funcional

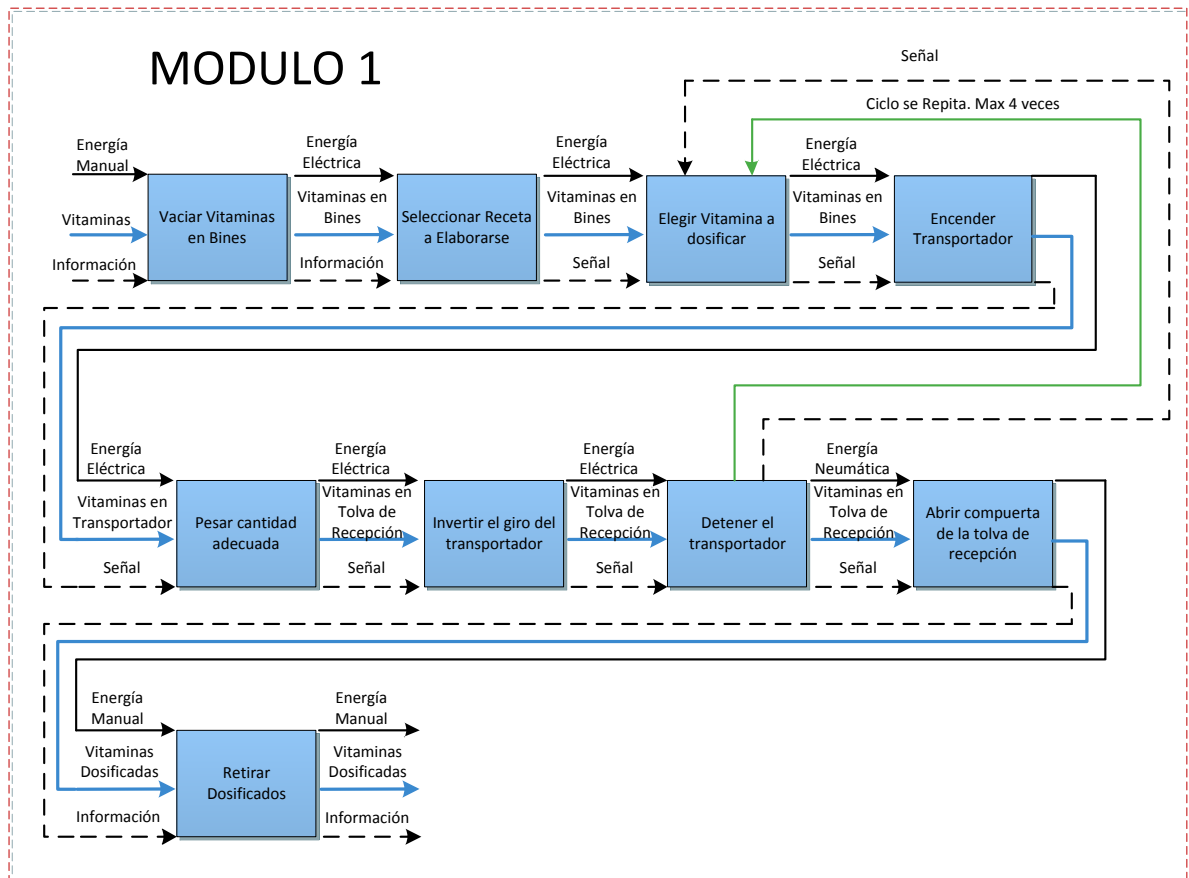


Figura 2.3. Diseño Funcional Modulo I.

2.5. SELECCIÓN DEL MÉTODO DE DOSIFICACIÓN.

Como se indicó en la sección 2.4.22.4.2 DEFINICIÓN DE MÓDULOS el sistema de dosificación debe cumplir con las siguientes funciones:

- Almacenar los micronutrientes.
- Transportar los micronutrientes.
- Pesar la cantidad de micronutrientes según la receta seleccionada.
- Desalojar los micronutrientes de la tolva de recepción común.

Tomando en cuenta las funciones a realizarse se propone el siguiente diseño para cumplir con todos los parámetros:

El sistema debe estar conformado de un bin o contenedor de forma rectangular para almacenar los micronutrientes en su interior hasta el momento en que entren el proceso de dosificado.

El sistema de transporte desde los bienes hasta la zona de pesado tiene que permitir además del transporte un manejo adecuado de la cantidad de material que se encuentra en movimiento para controlar la medida de micronutrientes que se va añadiendo, es decir cumplir también la función de dosificador. Por tal motivo se selecciona un transportador de tipo tornillo sin fin. La alternativa propuesta de almacenamiento y transporte puede observarse en la Figura 2.4

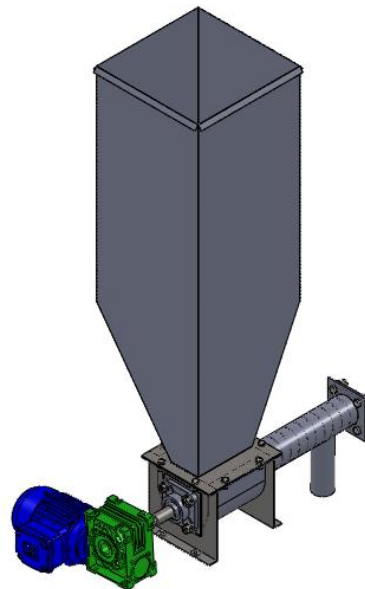


Figura 2.4. Almacenamiento y Transporte del Sistema.

La distribución del sistema se ha seleccionado como de tipo lineal, donde los contenedores se encuentran dispuestos en línea y en dos filas para satisfacer los deseos del cliente antes descrito en la sección 2.3.2 REQUISITOS DEL CLIENTE. Este tipo de distribución del sistema permite la facilidad de construcción, montaje, mantenimiento y la accesibilidad hacia los contenedores a través del espacio dispuesto entre las filas.

La sección del sistema donde se pesaran los micronutrientes contará con una báscula de forma piramidal truncada para guardar estética con el resto de

componentes en el diseño. Para retirar los micronutrientes del sistema se ha seleccionado operar una compuerta de apertura y cierre que permita desalojar las vitaminas del interior de la tolva de recepción común.

Todos estos elementos estarán sostenidos en una estructura que sirva de soporte. La selección del diseño del sistema completo se muestra en la Figura 2.5.

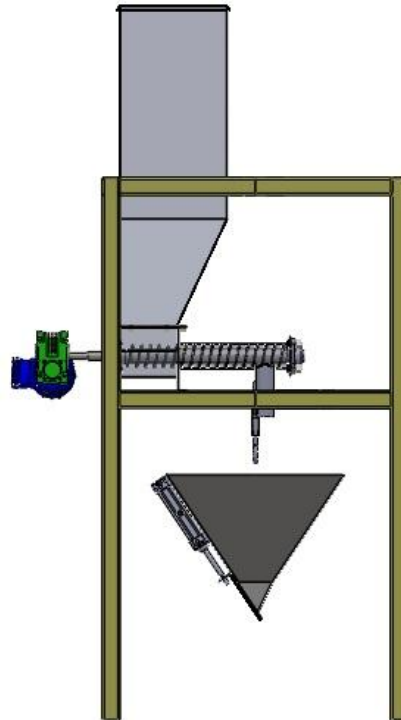


Figura 2.5. Selección del Método de Dosificación

2.6. DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO.

2.6.1. SELECCIÓN MATERIAL.

Para la selección de material se debe tomar en cuenta ciertos parámetros como son: la resistencia a la corrosión y desgaste a la abrasión producida por los micronutrientes ya que al estar en contacto se debe conservar las propiedades organolépticas, nivel de auto limpieza propia del material, la capacidad para ser plegado, cortado, pulido, soldado, la disponibilidad en el mercado, el espesor, el costo, la apariencia, la maquinabilidad y el peso.

Se ha de descartado el uso del acero galvanizado debido a que este requiere ser pintado para evitar la oxidación, y esto afectaría directamente a las propiedades físicas y químicas de las vitaminas que se van a dosificar en el momento en que se produzca un levantamiento de las capas de la pintura que recubren a este tipo de acero, además existirán zonas de alta fricción y movimiento como en el tornillo sin fin lo que acelerará el proceso de desgaste de este material.

De igual manera se ha descartado la utilización de Polímeros para la construcción de los componentes debido principalmente a que se requieren de matrices de alto costo para la fabricación o extrusión del plástico en la forma y dimensiones requeridas de los componentes. Adicionalmente poseen una durabilidad menor y un desgaste mayor con respecto al acero en el manejo de micro-nutrientes.

El uso del acero suave queda totalmente descartado como material a ser empleado en las zonas donde los micronutrientes se encuentren en contacto directo. Sin embargo será utilizado para la construcción de la base y soporte del sistema automático de dosificación.

Por lo tanto el acero inoxidable es la mejor opción ya que es uno de los aceros con mayores prestaciones desde el punto de vista de fabricación de componentes. Este material tiene resistencia a la corrosión, prevención de la contaminación del producto, resistencia al óxido, facilidad en la fabricación, excelente formabilidad, belleza en la apariencia, facilidad para la limpieza, alta resistencia con bajo peso y muy buena soldabilidad.

El tipo a ser usado es el acero inoxidable AISI 304-2B es el más común en la industria alimenticia y su acabado muestra la superficie lisa, reflectante, grisácea; será utilizado en la construcción de tolvas, transportador de tornillo sin fin y tolva de recepción.

2.6.2. CAPACIDAD DE ALMACENAJE

La capacidad de los contenedores o bins de almacenamientos viene determinada por el peso de la materia prima y su densidad. Los requerimientos operativos de la empresa establecen que los bins o contenedores deben almacenar 75 Kg.

A continuación se muestran los cálculos realizados para determinar el volumen ocupado por la materia prima partiendo de un valor promedio de la densidad de los productos a ser almacenados.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Ec. 2.1.

Donde:

V Volumen a ser ocupado (m^3).

m Masa del material (kg).

ρ Densidad ($\frac{kg}{m^3}$).

El valor de la densidad $\rho = 1201 \left(\frac{kg}{m^3}\right)$, se ha obtenido como el promedio de la sumatoria de las densidades de los distintos micronutrientes a ser utilizados en el proceso de dosificación. Los valores de la densidad para cada uno de los distintos materiales pueden ser encontrados en el Anexo A bajo la columna "Weight (LBS/CF)".

Definido esto se procede a encontrar el volumen despejando en la Ec. 2.1.se tiene:

Si:

$m = 75 \text{ kg}$.

$$V = \frac{m}{\rho}$$
$$V = \frac{75 \text{ kg}}{1201 \frac{\text{kg}}{m^3}}$$

$$V = 0.0624 m^3.$$

El volumen determinado es en teoría el requerido para llenar con esa capacidad los contenedores al 100%, por lo que por condiciones de seguridad y falta de precisión por parte del operador en el abastecimiento del material, así como las diferentes presentaciones de peso en las que vienen los micro-nutrientes se calculará las dimensiones de los contenedores o bins para un volumen un poco mayor al antes mencionado.

$$V = 0.065 m^3.$$

2.6.3. DISEÑO DEL CONTENEDOR O BIN.

Las propiedades del material almacenado en un contenedor afectan las presiones y cargas para su diseño. Los parámetros para el diseño incluyen densidad, ángulo de reposo y el coeficiente de fricción contra la pared. Los esfuerzos a los cuales va a estar sometido el contenedor son mínimos.

La forma geométrica que se ha seleccionado para el contenedor es un cuerpo formado por un prisma rectangular (Figura 2.6) y un prisma trapezoidal. (Figura 2.7)

$$V = A \times B \times H$$

Ec. 2.2.

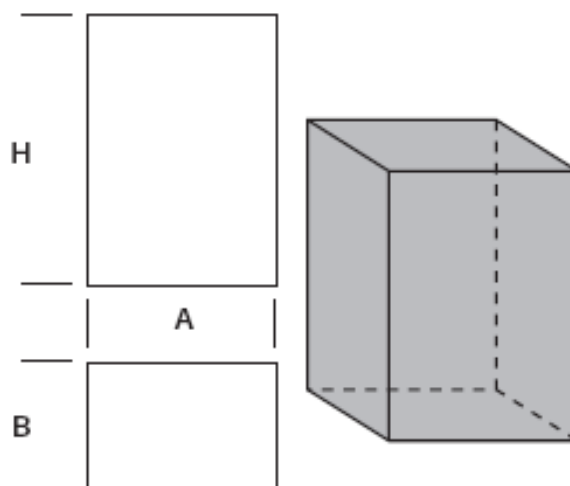


Figura 2.6. Prisma rectangular.

$$V = a \times h \times B + \left(\frac{A - a}{2}\right) \times B \times h$$

Ec. 2.3.

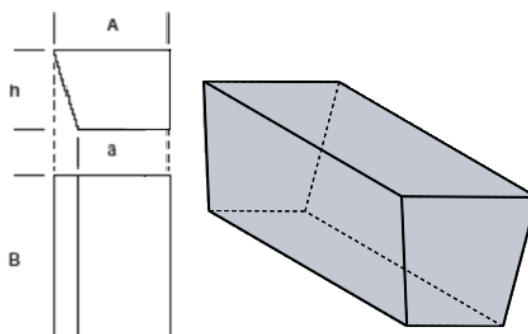


Figura 2.7. Prisma trapezoidal.

a. ÁNGULO DE REPOSO.

Cuando un grano es vaciado sobre una superficie horizontal plana, el producto forma un montículo, similar a un cono invertido. El ángulo formado por la horizontal y el talud es el ángulo de reposo. (Figura 2.8)

El ángulo de reposo está influenciado por el tamaño, forma, volumen, superficie del grano, contenido de humedad y orientación de las partículas que conforman la masa del grano. Cuando se llena un silo, el ángulo de reposo puede variar dependiendo de la altura de llenado y el flujo del material. (Universidad Nacional de Colombia, 1997)



Figura 2.8. Ángulo de reposo.

FUENTE. Enciclopedia Estudiantil Interactiva Siglo XXI. Ángulo de Reposo.

Este ángulo de reposo depende de cada material, pero la teoría dice que el ángulo de reposo α debe ser:

$\alpha > 60^\circ$ para polvos cohesivos.

$\alpha < 25^\circ$ para polvos no cohesivos.

Debido a la naturaleza diferente de cada uno de los micronutrientes a ser almacenados se ha decidido utilizar un ángulo de reposo $\alpha \geq 60^\circ$ para minimizar el problema del poco flujo uniforme.

b. TIPO DE FLUJO.

Debido a la selección del ángulo de reposo $\alpha \geq 60^\circ$ se obtiene un flujo tipo másico (Figura 2.9), este tipo de flujo indica que en el momento de la descarga todo el producto en el interior del bin estará en movimiento. (Ebner, 2002)



Figura 2.9. Flujo tipo masa.

FUENTE: Solids Solutions Group (2013). Instalaciones de silos - Silos adecuados para los productos [Artículo]. Recuperado de: <http://www.solids.es/es/instalaciones-sistemas/silos-equipados/instalaciones-de-silos-silos-adecuados-para-los-productos.html>

c. DIMENSIONAMIENTO.

El dimensionamiento consiste en determinar todos los parámetros geométricos del contenedor o bin necesarios que cumplan con el volumen antes determinado.

Tomando en consideración la Ec. 2.2 y Ec. 2.3 se ha calculado matemáticamente, el volumen para nuestro caso en concreto.

$$V = (h_1 \times a \times c) + (a \times c \times h_2) - \frac{(a - r) \times h_2 \times c}{2} - \frac{(c - b) \times h_2 \times a}{2}$$

Ec. 2.4.

En la Figura 2.10 se muestra las correspondientes variables a la Ec. 2.4.

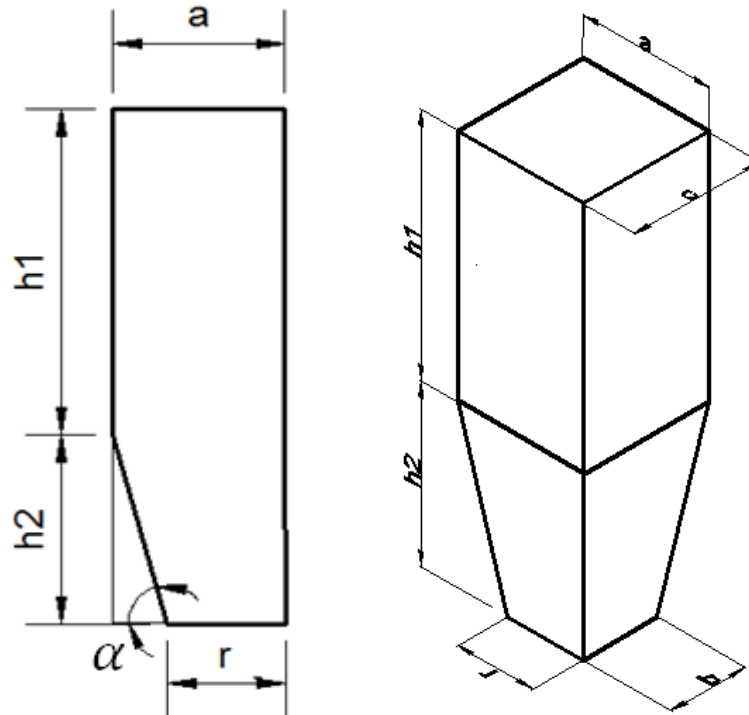


Figura 2.10. Parámetros del Contenedor.

Para el cálculo correspondiente se ha tomado en consideración el volumen real a ser utilizado, el valor de la altura, el ancho, profundidad y una de las medidas de la sección de descarga, se busca hallar un ángulo de reposo del material que este dentro del rango considerado tomando en cuenta que los micronutrientes son polvos cohesivos. Los datos disponibles son:

$$V = 0.065 \text{ m}^3$$

$$a = 0.3 \text{ m}$$

$$b = 0.16 \text{ m}$$

$$c = 0.3 \text{ m}$$

$$h_1 = 0.6 \text{ m}$$

$$h_2 = 0.3 \text{ m}$$

Remplazando los valores en la Ec. 2.4 se obtuvo el siguiente resultado:

$$0.065 = (0.6 \times 0.3 \times 0.3) + (0.3 \times 0.3 \times 0.3) - \frac{(0.3 - r) \times 0.3 \times 0.3}{2} - \frac{(0.3 - 0.16) \times 0.3 \times 0.3}{2}$$
$$r = 0.0844 \text{ m}$$

De la Figura 2.5 se obtiene la siguiente ecuación:

$$\tan \alpha = \frac{h_2}{a - r}$$

Ec. 2.5.

Y remplazando $r = 0.0844 \text{ m}$ en la Ec. 2.5:

$$\tan \alpha = \frac{0.3}{0.3 - 0.0844}$$
$$\alpha = 54.297^\circ$$

El valor de “r” obtenido y del ángulo de reposo “ α ” cumplen con los requerimientos del volumen necesario e inclinación adecuada, pero por facilidad en la construcción y disponibilidad de materiales se toman las siguientes dimensiones finales.

$$\alpha = 55^\circ$$

$$r = 0.08 \text{ m}$$

d. CÁLCULO DEL ESPESOR.

El diseño del bin rectangular estará regido bajo los criterios de ingeniería mecánica según establece la norma ASME (Sociedad Americana de Ingeniería

Mecánica) sección VIII, división 1, para todos los diseños de elemento sometidos a presión interna.

Para el diseño de las paredes del bin rectangular, se utilizará la teoría del cálculo de espesor de las placas rectangulares de la teoría de placas planas (Seely, 1977).

Se comenzará determinando la presión promedio que soportará el bin en sus paredes. Como se conoce según el diseño, las medidas en metros del contenedor descritas en la sección 2.6.3.c DIMENSIONAMIENTO son: $a = 0.3 m$ de largo, $ht = 0.90 m$ de alto y $c = 0.50 m$ de ancho, con una densidad promedio de los micronutrientes $1201 Kg/m^3$. Ver Figura 2.11.

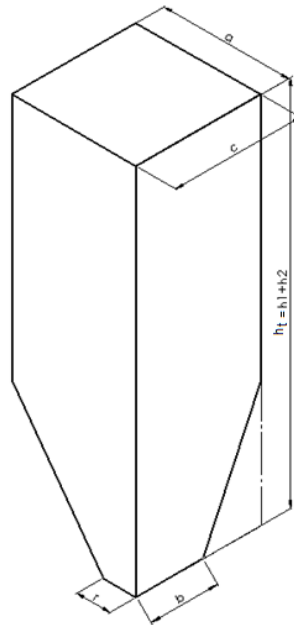


Figura 2.11. Dimensiones del contenedor o bin.

Por lo tanto se procede a calcular la presión media, esta servirá para asumir una presión uniformemente distribuida en toda la placa. Se señala que los cálculos respectivos se desarrollarán en el lado mayormente crítico en uno de los cuatro lados del bin, es decir en la cara de mayor longitud.

El cálculo de carga (presión media) será aplicada en el punto medio como lo indica la Ec. 2.6.

$$w = Pr_{media} = \rho gH$$

Ec. 2.6.

Donde:

Pr_{media} : Es la presión en el punto medio de la placa y es el valor que debemos encontrar. Sus unidades se encuentran en Pascales $\left(\frac{N}{m^2}\right)$.

ρ : Es la densidad de los micronutrientes, $1201\text{Kg}/\text{m}^3$.

w : Será la simbología utilizada al momento de aplicar la teoría de placas planas al considerar a la presión media como la carga distribuida uniformemente.

g : Es la aceleración de la gravedad, $9.81 \frac{m}{s^2}$.

H : Es la altura media de la placa a ser analizada, su valor corresponde a 0.45 metros $\left(H = \frac{ht}{2} = \frac{0.60+0.30}{2} m\right)$.

Con los valores antes mencionados y aplicando la Ec. 2.6 obtenemos:

$$w = Pr_{media} \left[\frac{N}{m^2}\right] = 1201 \left(\frac{Kg}{m^3}\right) \times 9.81 \left(\frac{m}{s^2}\right) \times 0.45(m)$$

$$w = 5301.82 Pa.$$

Una vez obtenida la presión o carga distribuida en la pared del bin, se diseñara el espesor de placa. Para este cálculo se incurrirá en la teoría de las placas planas (Seely, 1977) , el cual sugiere aplicar para estos casos un espesor promedio entre los dos siguientes casos:

d.1. PLACAS CON BORDES SIMPLEMENTE APOYADOS.

Según esta teoría el esfuerzo máximo en la placa se halla en sus ejes diagonales. El esfuerzo máximo en estas diagonales (área crítica) se la determina por la Ec. 2.7.

$$s = \frac{1}{2} \times \frac{h_t^2}{h_t^2 + c^2} \times \frac{wc^2}{t^2}$$

Ec. 2.7.

Donde:

- s: Esfuerzo de trabajo realizado en la placa. [Pa]
- t: Espesor de placa. [m]
- w: Carga distribuida por unidad de área determinada. [Pa]
- h_t : Longitud del lado mayor de la placa. [m]
- c: Longitud del lado menor de la placa. [m]

El valor del dato “t” dentro de la metodología de los cálculos, será un dato iterativo, del cual se determinará vía fórmula el esfuerzo resultante dado por este espesor. Este esfuerzo de trabajo deberá ser menor o igual que el esfuerzo admisible sugerido (Ec. 2.8), en el caso que sea mayor, se deberá aumentar el espesor de placa para así evitar deformaciones permanentes.

Para evitar deformaciones se utiliza un esfuerzo admisible (o esfuerzo de trabajo) que no se debe rebasar al esfuerzo calculado.

$$s \leq \sigma_{admissible}$$

Ec. 2.8.

Los límites de tensión según la norma ASME para el esfuerzo admisible en una sección se indican en la Ec. 2.9.

$$\sigma_{admissible} = 0.6 S_y$$

Ec. 2.9.

Considerando que el material a ser utilizado en el diseño será un acero AISI 304, el valor del esfuerzo a la fluencia S_y para este material ha sido obtenido del Anexo B.

$$S_y = 276 \text{ MPa}$$

Remplazando el valor de S_y en la Ec. 2.9, obtenemos el valor del esfuerzo admisible.

$$\sigma_{admissible} = 0.6 (276) \text{ MPa}$$

$$\sigma_{admissible} = 165.6 \text{ MPa}$$

Asumiendo un valor de $t = 0.0012 \text{ m}$ y reemplazando en la Ec. 2.7 tenemos:

$$s = \frac{1}{2} \times \frac{0.9^2}{0.9^2 + 0.3^2} \times \frac{5301.82 (0.3)^2}{0.0012^2}$$

$$s = 149.11 \text{ MPa}$$

El valor obtenido de $s = 149.11 \text{ MPa}$ cumple con la condición establecida en la Ecuación 2.10, lo cual garantiza una selección del espesor adecuado.

d.2. PLACAS CON BORDES TOTALMENTE EMPOTRADOS.

Según esta teoría el esfuerzo máximo en la placa se da en los ejes centrales a manera de cruz como muestra la Figura 2.12.

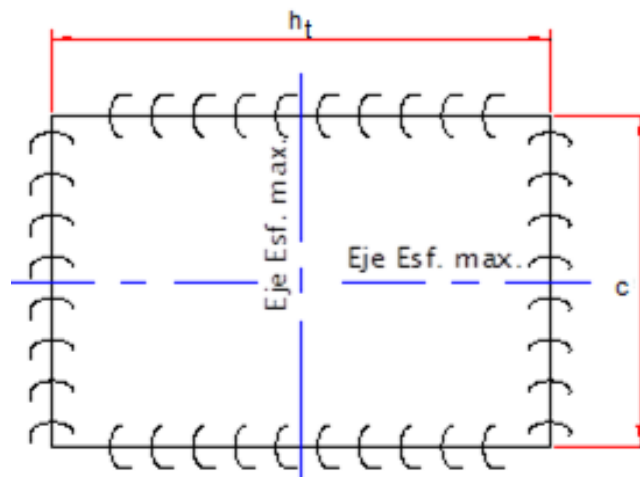


Figura 2.12. Placa empotrada en sus ejes.

FUENTE: Seely, F.B (1977). Curso Superior de Resistencia de Materiales. Placas. Página 225. Buenos Aires.

Para la determinación de este esfuerzo dentro de su área crítica se hallará primero el momento máximo a partir de la Ec. 2.10.

$$M_{max} = n(wc^2)$$

Ec. 2.10.

Donde:

n: Coeficiente de momento.

w: Carga distribuida por unidad de área determinada.[Pa]

c: Longitud del lado menor de la placa. [m].

Una vez expresado el momento máximo, se halla el esfuerzo de trabajo máximo (Ec. 2.11) realizado en la placa dada la carga de trabajo por unidad de área distribuida en la placa de piso. Este esfuerzo se calcula a partir del esfuerzo por flexión como lo indica (Seely, 1977).

$$s = \frac{6M_{max}}{t^2}$$

Ec. 2.11.

Realizando el remplazo de la Ec. 2.10 en la Ec. 2.11 tenemos:

$$s = \frac{6nwc^2}{t^2}$$

Ec. 2.12.

Para determinar el valor de “n” se utilizará el gráfico dado por la Figura 2.13 donde primero se halla la relación de lado corto sobre lado largo conocido como alfa (α) y se avanza hasta la curva determinada experimentalmente; el coeficiente de momento se lo encuentra en el eje de las ordenadas (eje y).

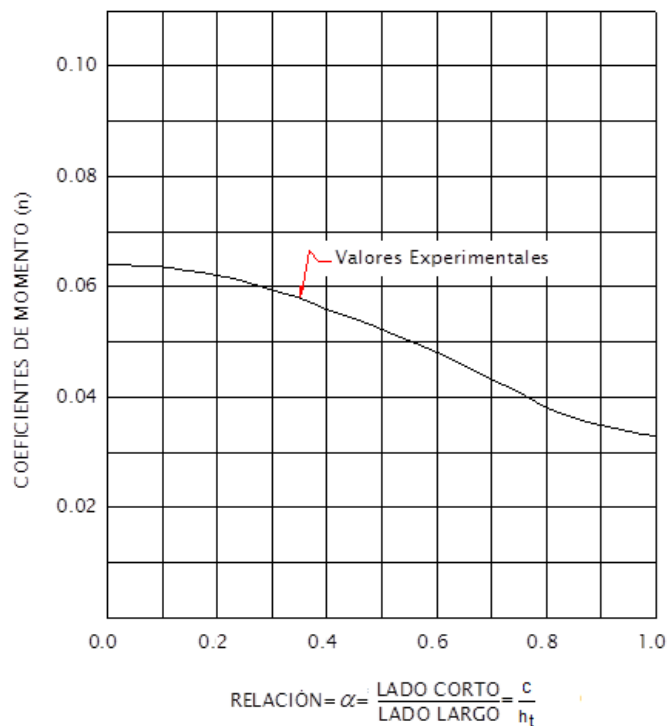


Figura 2.13. Coeficiente de Momento.

FUENTE: Seely, F.B (1977). Curso Superior de Resistencia de Materiales. Placas. Página 227. Buenos Aires.

$$\alpha = \frac{c}{h_t} = \frac{0.3}{0.9} = 0.33$$

Con el valor de $\alpha = 0.33$ se halla el coeficiente de momento $n = 0.055$ a partir de la Figura 2.13.

Tomando los valores de $n = 0.055$, $w = 5301.82 \text{ Pa}$, $c = 0.3$ obtenidos anteriormente, asumiendo $t = 0.001 \text{ m}$ y reemplazando en la Ec. 2.12. se tiene:

$$s = \frac{6(0.055)(5301.82)(0.3)^2}{(0.001)^2}$$

$$s = 157.46 \text{ MPa.}$$

Por lo tanto se expresa que para el cálculo de placa con extremos totalmente empotrados el espesor de placa asumido de 1 mm satisface la condición de realizarse en la placa un esfuerzo de trabajo “menor que o igual” al esfuerzo de admisible (Ec. 2.8).

Una vez hallado ambos espesores, se sugiere la aplicación de un espesor intermedio entre ambos datos, es así que el espesor hallado sería:

$$t = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{(1.2 + 1)mm}{2} = 1.1 \text{ mm}$$

El espesor obtenido es de 1.1 mm con la cual se construirá los bins.

2.6.4. DISEÑO DE LA TOLVA DE RECEPCIÓN COMÚN.

La tolva común se describe como un contenedor de recepción, almacenaje y descarga del material previamente pesado.

La forma geométrica que se ha seleccionado para el contenedor es un cuerpo formado por una pirámide truncada (Figura 2.14).

$$V = \frac{h}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2})$$

Ec. 2.13.

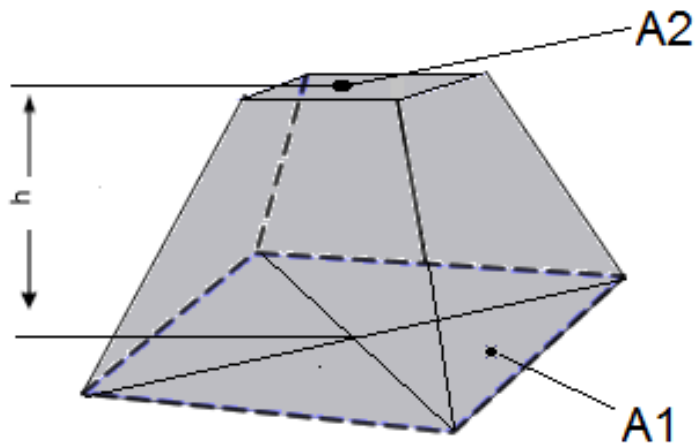


Figura 2.14. Pirámide Truncada.

a. DIMENSIONAMIENTO.

El dimensionamiento consiste en determinar todos los parámetros geométricos de la tolva (Figura 2.15).

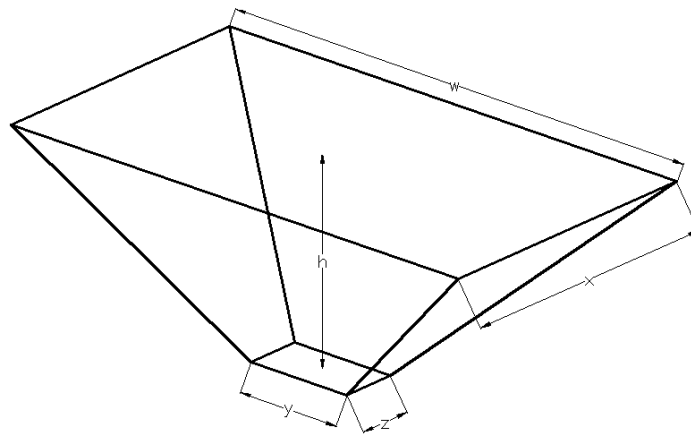


Figura 2.15. Parámetros de la Tolva Común.

Teniendo en cuenta los siguientes valores que se obtuvieron por el diseño espacial de la estructura y las limitaciones físicas en cuanto a tamaño tenemos:

$$w = 0.7 \text{ m}$$

$$x = 0.5 \text{ m}$$

$$y = 0.15 \text{ m}$$

$$z = 0.1 \text{ m}$$

$$h = 0.3 \text{ m}$$

Se calcularán las áreas (Ec. 2.14 y Ec. 2.15) de la parte superior e inferior de la Figura 2.10 tomando en cuenta los valores antes mencionados:

$$A_1 = y \times z$$

Ec. 2.14.

$$A_1 = (0.15 \times 0.1) \text{ m}^2$$

$$A_1 = 0.015 \text{ m}^2.$$

$$A_2 = w \times x$$

Ec. 2.15.

$$A_2 = (0.7 \times 0.5) \text{ m}^2$$

$$A_2 = 0.35 \text{ m}^2.$$

Con estos datos y reemplazando en la Ec. 2.13 se obtendrá el volumen de la tolva común:

$$V = \frac{0.3}{3} \left(0.015 + 0.35 + \sqrt{(0.015)(0.35)} \right)$$

$$V = 0.04 \text{ m}^3.$$

b. CAPACIDAD DE LA TOLVA DE RECEPCIÓN COMÚN.

Una vez calculado el volumen de la tolva de recepción se procede a calcular la capacidad que este podrá almacenar: utilizando la Ec. 2.1:

$$1201 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = \frac{m}{0.04 \text{ m}^3}$$

$$m = 48 \text{ Kg}$$

Como se mostró en la sección 2.3.4 CONCLUSIONES DE LA CASA DE LA CALIDAD que el requerimiento de la empresa en cuanto a la capacidad de almacenamiento de la tolva de recepción debe ser de 20 Kg, el valor hallado anteriormente cumple con el requerimiento ya que este es de 48 Kg siendo este mayor.

2.6.5. DISEÑO DEL TRANSPORTADOR.

a. DIMENSIÓN RECOMENDADA DE UN TRANSPORTADOR DE TORNILLO.

Las dimensiones de los componentes principales de un transportador de tornillo como se muestra en la Figura 2.16 son el diámetro nominal del tornillo helicoidal, paso del tornillo, diámetro de eje del tornillo, la anchura de la tapa, la altura de la tapa desde el centro del eje del tornillo, el espesor de material de la carcasa y el espesor nominal del espiral.

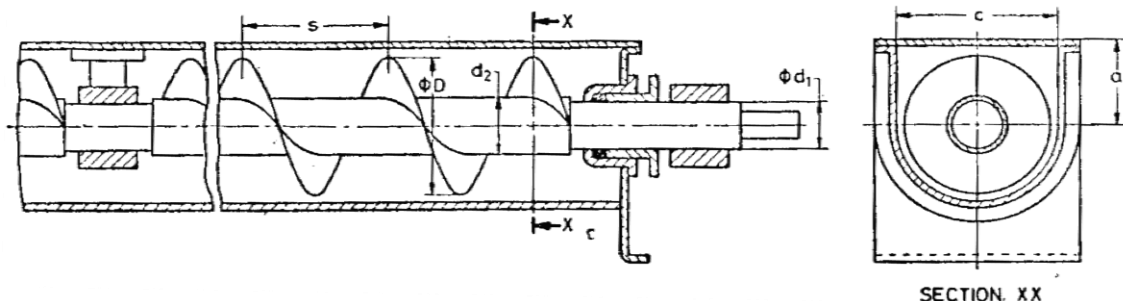


Figura 2.16. Diagrama explicativo de los componentes.

FUENTE: Ray, S (2008). Introduction to Materials Handling. Conveyors. Página 114. New Delhi

Donde:

- (S) Paso del tonillo.
- (D) Tamaño nominal.
- (a) Altura de la tapa desde el centro del eje del tornillo.
- (d₁) Diámetro de acoplamiento.
- (d₂) Diámetro del eje.
- (C) Anchura de la tapa.

b. CAPACIDAD DEL TRANSPORTADOR DE TORNILLO.

La capacidad volumétrica 'V' en $\frac{m^3}{hora}$ depende del diámetro del tornillo 'D' en metros, paso del tornillo 'S' en metros, su velocidad de rotación rpm 'N' y la eficiencia de carga del área de la sección transversal 'φ'. La capacidad 'Q' en $\frac{Kg}{hora}$ se da por:

$$Q = V_v = \frac{\pi D^2}{4} S 60 N \phi \rho C$$

Ec. 2.16.

Donde:

ρ Densidad del material en $\frac{Kg}{m^3}$.

C Factor dependiendo de la inclinación del transportador.

S Paso S = 0,8 D – 1D.

φ varía con la fluidez del material como muestra la Tabla 2.1:

Tabla 2.1.

Fluidez del Material.

FUENTE: Ray, S (2008). Introduction to Materials Handling. Conveyors. Página 116. New Delhi

Características de Materiales	Valor de φ
1. Flujo lento, abrasivos (linker, ceniza)	0.125
2. Flujo lento, suave abrasivo	0.25
3. Flujo libre, suave abrasivo (arena)	0.32
4. Flujo libre, no abrasivo (grano)	0.4

El valor de 'C' varía con el ángulo de inclinación β como se muestra en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2.

Variación de C según β.

FUENTE: Ray, S (2008). Introduction to Materials Handling. Conveyors. Página 116. New Delhi

B	0°	5°	10°	15°	20°
C	1.0	0.9	0.8	0.7	0.65

c. CALCULO DE LA POTENCIA.

Según (Ray, 2008), ha recomendado el cálculo de la necesidad de potencia de un transportador de tornillo. La potencia de accionamiento de un transportador de tornillo cargado viene dado por la fórmula:

$$P = P_H + P_N + P_{st}$$

Ec. 2.17.

Donde:

P_H Potencia necesaria para transportar el material.

P_N Potencia motriz del transportador sin carga.

P_{st} Potencia requerida para la inclinación del transportador.

c.1. POTENCIA NECESARIA PARA TRANSPORTAR EL MATERIAL.

La potencia P_H en Kw es el producto de la tasa de flujo másico del material "Q", la longitud de movimiento de material en la cinta transportadora "L" y un coeficiente de fricción artificial " λ ", también llamado coeficiente de resistencia del material.

$$P_H = \frac{QL'}{367} \lambda [W]$$

Ec. 2.18.

Donde:

Q Flujo requerido del material $\frac{Kg}{hora}$.

L La longitud de transportación m.

λ Coeficiente de resistencia de material.

λ depende del material y de su tamaño. Es generalmente del orden de 2 a 4.

Cabe señalar que durante el avance de material, más allá del deslizamiento entre el material, carcasa y el tornillo, las partículas del material se deslizan contra

otras dando lugar a la fricción interna. Por lo tanto, λ es, naturalmente, que se trate de un coeficiente normal de fricción para el material.

c.2. POTENCIA DE ACCIONAMIENTO DEL TORNILLO SIN CARGA.

Es comparativamente un valor más bajo. Es proporcional al diámetro del tornillo y la longitud total del tornillo. La fórmula es:

$$P_N = \frac{DL}{20} [KW]$$

Ec. 2.19.

Donde:

D Diámetro nominal del tornillo m.

L Longitud total del tornillo m.

c.3. POTENCIA DEBIDO A LA INCLINACIÓN.

Este requisito de potencia es el producto de la tasa del flujo másico y la altura a la que el material está siendo transportado.

$$P_{st} = \frac{QH}{367}, W$$

Ec. 2.20.

Donde:

Q Flujo requerido del material $\frac{Kg}{hora}$.

H Altura m.

Si el material se mueve hacia abajo de la inclinación, H debe ser tomada como negativa. Por lo tanto, el requisito de potencia total es:

$$P = \frac{Q(\lambda L' + H)}{367} + \frac{DL}{20}$$

Ec. 2.21.

d. DIMENSIONAMIENTO.

El transportador sin fin se encarga del transporte de los micronutrientes desde la parte inferior de los bins de almacenamiento hasta el sistema de pesaje. Para el correcto dimensionamiento del transportador y sus partes mencionaremos los datos conocidos y/o requeridos.

- **Tipo:** transportador de tornillo sin fin horizontal.
- **Longitud** de 450 mm. = 0,45 m.
- **Paso** S = 25 mm= 0.025 m.
- **Diámetro del tornillo:** 65 mm=0,065 m.
- **Material a transportar:** Micro nutrientes =1201 kg/m³(densidad específica).
- **Capacidad requerida o caudal:** 400 kg/h.
- **Tiempo de operación:** 8 horas diarias no consecutivas.

A Partir de la Ec. 2.16, hallamos el valor de la velocidad de giro del tornillo sin fin.

$$N = \frac{Q}{15\pi D^2 S \rho C \phi}$$

Ec. 2.22.

De la Tabla 2.1 se tomó el valor de $\phi = 0.32$ correspondiente a un material de flujo libre, suave abrasivo.

De la Tabla 2.2 para una inclinación $\beta = 0^\circ$ el valor de correspondiente C=1.

Por lo tanto obtenemos la velocidad necesaria del tornillo según la Ec. 2.22:

$$N = \frac{400 \text{ kg/h}}{15\pi(0.065 \text{ m})^2 * 0.025 \text{ m} * 1201 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1 * 0.32}$$
$$N = 209.424 \text{ rpm}$$

Se necesitan 200 rpm en el eje que porta el tonillo sin fin transportador.

Para el cálculo de la potencia necesario para transportar el material partimos de la Ec. 2.18 considerando que $\lambda = 2$.

Este valor se ha obtenido como el promedio de la sumatoria de los λ de los distintos micro- nutrientes a ser utilizados en el proceso de dosificación.

Los valores de λ para cada uno de los materiales puede ser encontrado en el Anexo A.1 bajo la columna Mat'l Factor F_M .

$$P_H = \frac{QL'}{367} \lambda [W]$$
$$P_H = \frac{400 * 0.45}{367} * 2$$
$$P_H = 0.9809 [W]$$

Para el a cálculo de la potencia de accionamiento del tornillo sin carga P_N utilizamos la Ec. 2.19 por lo que:

$$P_N = \frac{DL}{20} [KW]$$
$$P_N = \frac{0.065 * 0.45}{20}$$
$$P_N = 0.00146 KW = 1.46 W$$

El cálculo de la potencia debido a la inclinación P_{st} es el producto de la capacidad por la altura a salvar y por la aceleración de la gravedad y utilizando la Ec. 2.20 es igual a cero debido a que el transportador de tornillo sin fin es horizontal y no posee inclinación.

$$P_{st} = 0 W$$

La potencia total requerida por el transportador a plena carga según la Ec. 2.17 es igual a la sumatoria de las 3 potencias antes calculadas.

$$P = P_H + P_N + P_{st}$$

$$P = 0.98 + 1.46$$

$$P = 2.44 W$$

e. DISEÑO DEL EJE.

El eje del tornillo dosificador es un elemento cilíndrico de sección circular hueca, que se encuentra girando, sobre el cual se encuentra soldado la hélice que conforma el sin fin. Un eje, puede ser considerado como una viga sometida a cargas de flexión, tensión, compresión o torsión que actúan individualmente o combinadas.

En ocasiones, se presentan también tensiones por esfuerzo de corte vertical y tensiones normales directas que se deben a cargas axiales, sin embargo, su efecto es, por lo regular, mínimo a tal grado que es válido omitirlas (Mott, Diseño de Elementos de Máquinas, 1992).

Por lo que para el caso del tornillo sin fin se encuentra sometido principalmente a flexión originada por el peso propio del sin dosificador, torsión originada por el torque producido por el motor, como se muestra en la Figura 2.17.

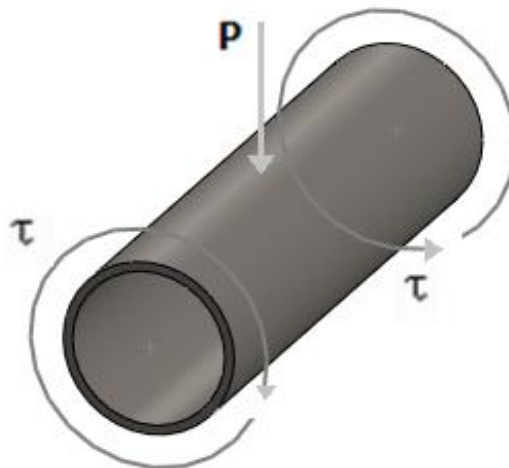


Figura 2.17. Esfuerzos Combinados en el Eje del Tornillo Dosificador.

Debido a que en la empresa contaba con un eje listo para utilizarse se hará el análisis respectivo para comprobar que es idóneo para esta aplicación.

Se obtuvo la masa del material Acero AISI 304 utilizando el software Solid Works 2012 como se indica en la Figura 2.18.

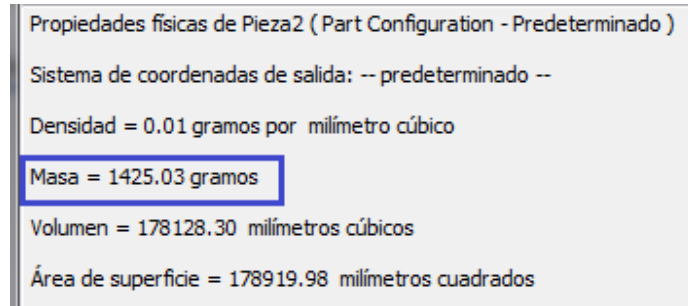


Figura 2.18. Muestra la masa del eje del sin fin

Haciendo el análisis en el software MDSolid se obtuvo diagramas de torsión (Figura 2.19), fuerza cortante y momento flexionante (Figura 2.20) tomando en consideración que el peso actúa como una carga distribuida a lo largo de la longitud del eje.

$$L = 0.45 \text{ m}$$

$$m = 1.425 \text{ Kg}$$

$$g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W = 13.9793 \text{ N}$$

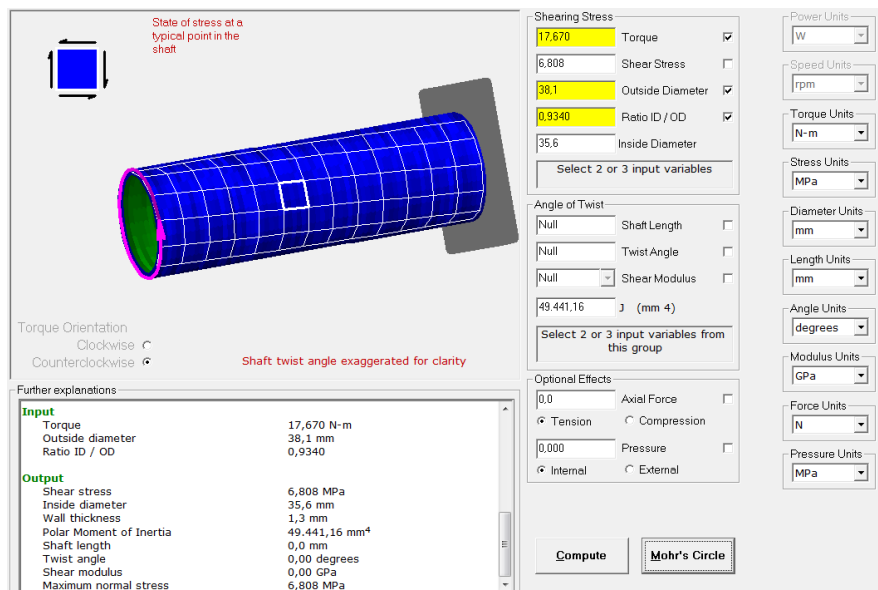


Figura 2.19. Diagrama de Torsión.

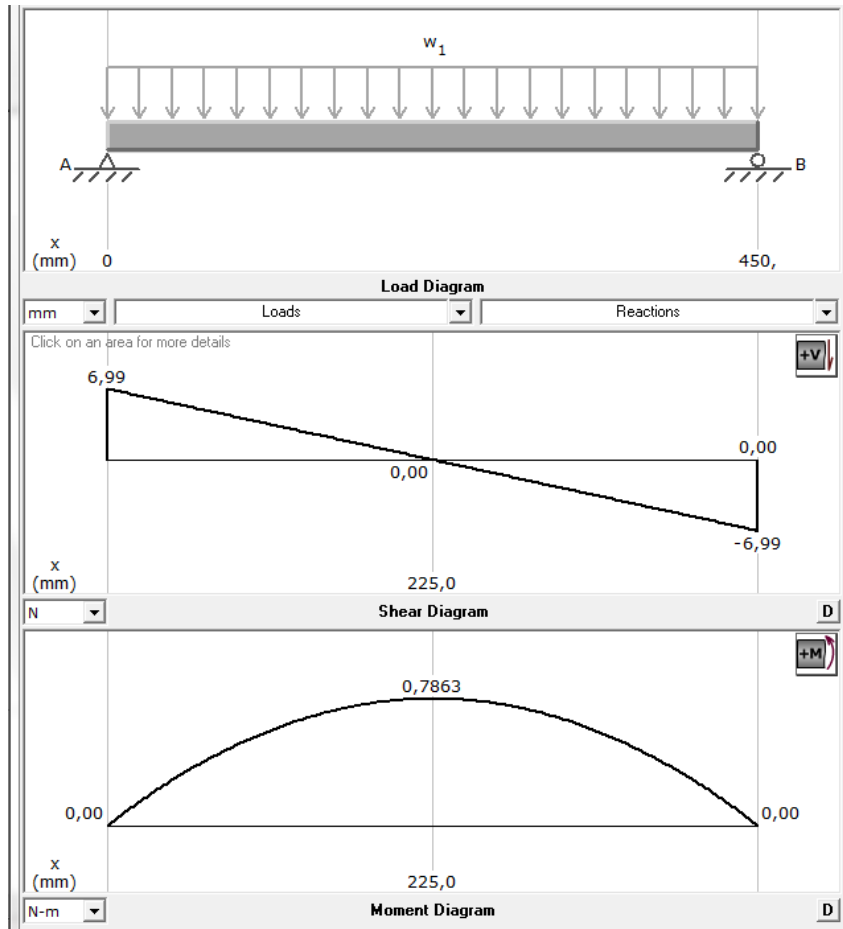


Figura 2.20. Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante.

Se requiere realizar el análisis de esfuerzos combinados para el caso del eje hueco (sección transversal).

Se asumirá un diámetro $D = 38.1 \text{ mm}$ con un espesor de $e = 2.5 \text{ mm}$ para realizar todos los cálculos, porque como se indicó anteriormente se disponía de material en óptimas condiciones para ser utilizado en este proyecto.

e.1. DISEÑO POR FLEXIÓN.

La fórmula de la flexión viene dada por la Ec. 2.23.

$$\sigma_{x_{flexion}} = \frac{M_{max}}{S}$$

Ec. 2.23.

Donde:

- $\sigma_{x_{flexion}}$ Esfuerzo por flexión.
 M_{max} Momento máximo.
S Módulo de resistencia.

S para una sección circular hueca viene dada por la Ec. 2.24.

$$S = \frac{\pi}{32D} (D^4 - d^4)$$

Ec. 2.24.

Donde:

- D Diámetro exterior del eje.
d Diámetro interior del eje.

Para el cálculo se tiene los siguientes datos del cilindro hueco:

$$D = 38.1 \text{ mm} = 0.0381 \text{ m}$$

$$d = 35.6 \text{ mm} = 0.0356 \text{ m}$$

Remplazando en la Ec. 2.24 se obtiene:

$$S = \frac{\pi}{32(0.0381 \text{ m})} (0.0381^4 - 0.0356^4) \text{ m}^4$$

$$S = 1.2909 \times 10^{-6} [\text{m}^3]$$

Considerando $S = 1.2909 \times 10^{-6} [\text{m}^3]$ y el $M_{max} = 0.7863 [N \text{ m}]$ se sustituye en la Ec. 2.23:

$$\sigma_{x_{flexion}} = \frac{0.7863 [Nm]}{1.2909 \times 10^{-6} [\text{m}^3]}$$

$$\sigma_{x_{flexion}} = 0.61 \text{ MPa}$$

e.2. DISEÑO POR TORSIÓN.

Cuando un eje se somete a un torque, sufre un giro en el que una sección transversal gira en relación a otras secciones transversales en el eje. El cálculo del esfuerzo por torsión para una sección transversal circular hueca viene dado por la Ec. 2.25.

$$\tau_{torsion} = \frac{16 T D}{\pi(D^4 - d^4)}$$

Ec. 2.25.

Donde:

$\tau_{torsion}$ Esfuerzo por torsión.
T Momento Torsionante.

Se requiere calcular el torque a partir de:

$$T = \frac{P}{n}$$

Ec. 2.26.

Donde:

P Potencia Watt.
n Velocidad angular $\frac{rad}{s}$.
T Momento Torsionante.

Considerando que se utilizará un motor con una potencia de 370 W y a una velocidad de giro de 200 rpm y reemplazando en la Ec. 2.26 se tiene:

$$T = \frac{370 \text{ Watt}}{200 \frac{rev}{min} \times \frac{2\pi}{1 rev} \times \frac{1 min}{60 s}} = 17.67 \text{ N m}$$

Teniendo en cuenta un $T = 17.67 \text{ Nm}$ y reemplazando en la Ec. 2.25:

$$\tau_{torsion} = \frac{16 (17.67 \text{ Nm})(0.0381 \text{ m})}{\pi(0.0381^4 - 0.0356^4)m^4}$$

$$\tau_{torsion} = 6.84 \text{ MPa.}$$

e.3. DISEÑO POR CORTANTE DEBIDO A LA FLEXIÓN.

El esfuerzo por corte en un tubo de pared delgada viene dado por la Ec. 2.27.

$$\tau_{corte} = \frac{2V}{A}.$$

Ec. 2.27.

Donde:

τ_{corte} Esfuerzo cortante máximo debido a la flexión.

V Fuerza cortante.

A Área de la sección transversal.

$$A = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}.$$

Ec. 2.28.

Remplazando los valores de D y d en la Ec. 2.28 tenemos:

$$A = \frac{\pi(0.0381^2 - 0.0356^2) \text{ m}^2}{4}$$

$$A = 1.447 \times 10^{-4} [\text{m}^2].$$

Remplazando el valor del área (A) y $V = 6.99 \text{ N}$ en la Ec. 2.27:

$$\tau_{corte} = \frac{2(6.99) \text{ N}}{1.447 \times 10^{-4} [\text{m}^2]}$$

$$\tau_{corte} = 96.61 \text{ KPa} = 0.096 \text{ MPa.}$$

$$\tau_{xy} = \tau_{torsion} + \tau_{corte}$$

Ec. 2.29.

Remplazando $\tau_{torsion}$ y τ_{corte} en la Ec. 2.29 se tiene:

$$\tau_{xy} = (6.84 + 0.096) \text{ MPa}$$

$$\tau_{xy} = 6.939 \text{ MPa.}$$

e.4. ESFUERZOS COMBINADOS.

Los esfuerzos principales y los esfuerzos cortantes máximos en el punto de aplicación se determinan usando las ecuaciones de transformación de esfuerzos mediante las Ec. 2.30, Ec. 2.31 y Ec. 2.32.

Esfuerzo Principal Máximo σ_1 :

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

Ec. 2.30.

Esfuerzo Principal Mínimo σ_2 :

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

Ec. 2.31.

Esfuerzo Cortante Máximo τ_{max} :

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

Ec. 2.32.

$$\sigma_x = \sigma_{x_{flexion}} = 0.61 \text{ MPa}$$

$$\sigma_y = 0 \text{ Pa}$$

$$\tau_{xy} = 6.939 \text{ MPa}$$

Remplazando $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ en las Ec. 2.30, Ec. 2.31 y Ec. 2.32 se obtienen los siguientes resultados:

$$\sigma_1 = 7.25 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = -6.64 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} = 6.95 \text{ MPa}$$

Con estos valores se aplicara la Teoría de la energía de distorsión máxima o de Von Mises mediante el uso de la Ec. 2.33

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2}$$

Ec. 2.33.

$$\sigma' = 12.03 \text{ MPa}$$

Si se cumple la condición de la Ec. 2.34 se comprueba que no existirá falla en el material:

$$\sigma' \leq S_y$$

Ec. 2.34.

El factor a la fluencia S_y para el Acero AISI 304 se obtuvo del Anexo B $S_y = 276 \text{ MPa}$.

$$12.03 \text{ MPa} \leq 276 \text{ MPa}$$

La condición se cumple y asegura que no se producirá falla en el material.

e.5. FACTOR DE SEGURIDAD

El coeficiente de seguridad en el punto analizado, de acuerdo con el criterio de von Mises se define mediante la Ec. 2.35.

$$FS = \frac{S_y}{\sigma'}$$

Ec. 2.35.

$$FS = \frac{276 \text{ MPa}}{12.03 \text{ MPa}}$$

$$FS = 22.93$$

El diseño concluye ya que el factor de seguridad obtenido es un valor mayor a 1; lo que verifica que el diseño se realizó de manera correcta. El sobredimensionamiento del factor de seguridad se justifica debido al uso de material en óptimas condiciones del cual se disponía y con cuyas características se realizó este análisis.

e.6. DEFLEXIÓN MÁXIMA.

La cantidad de deflexión que el eje experimenta debido al peso del tornillo es directamente proporcional a su vida útil. La deflexión de un tornillo de longitud estándar no suele ser un problema. Sin embargo, en nuestro caso el diseño de este transportador no se rige a la Norma CEMA-350 (Screw Conveyors for Bulk Materials) porque su tamaño es demasiado pequeño por lo que es necesario el cálculo de la deflexión la cual debe mantenerse en un valor mínimo para aumentar la vida útil del tornillo.

Para el cálculo de la deflexión máxima se utilizará la Ec. 2.36.

$$f = \frac{5WL^3}{384EI}$$

Ec. 2.36.

Donde:

- f Deflexión máxima.
- E Modulo de Elasticidad [200 GPa].
- I Momento de Inercia de un círculo hueco.
- W Peso del eje.

El momento de inercia para un círculo se calcula según la Ec. 2.37.

$$I = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{16}$$

Ec. 2.37.

Remplazando la Ec. 2.37 en la Ec. 2.36 tenemos:

$$f = \frac{5WL^3}{384E \left[\frac{\pi(D^4 - d^4)}{16} \right]}$$

$$f = \frac{5(13.9793 \text{ N})(0.45\text{m})^3}{384\pi \left(200 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right) \left(\frac{0.0381^4 - 0.0366^4}{16} \right) \text{m}^4}$$

$$f = 1.351 \times 10^{-3} \text{ m}$$

La deflexión máxima del eje del transportador tendrá un valor muy pequeño lo cual no significa ningún tipo de riesgo para el eje.

f. DISEÑO DE LA HÉLICE.

La hélice del transportador se calcula considerándola como a una viga corta en voladizo proyectada desde el eje del transportador sin fin. La carga se toma como paralela al eje concentrado en el radio medio de la hélice, el ancho de la viga es igual a la longitud de la hélice media en el radio medio como se muestra en la Figura 2.21.

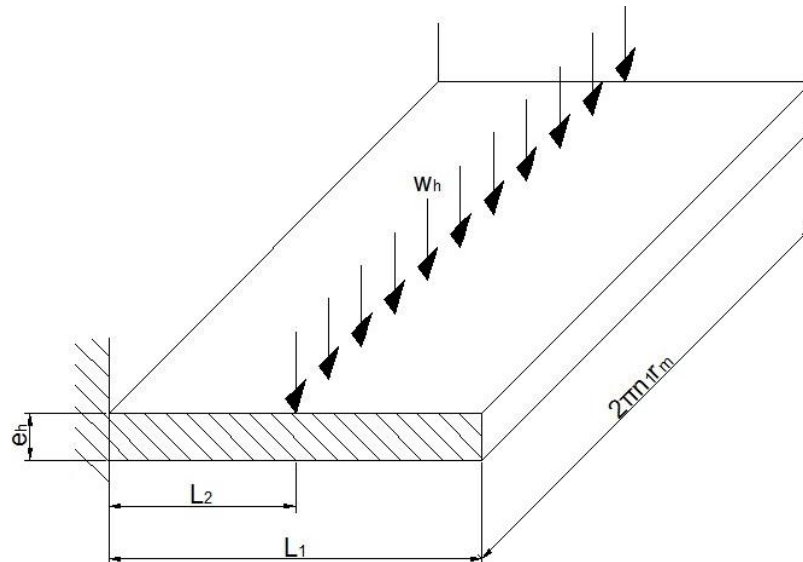


Figura 2.21. Representación de la Hélice del Sin Fin.

Donde:

- e_h Espesor de la hélice.
- L_1 Ancho de la hélice.
- L_2 Distancia del radio medio.
- w_h Carga máxima que empuja la hélice.
- n_1 Número de Pasos.
- r_m Radio medio.

Para el cálculo de la carga máxima que empuja la hélice debemos conocer la cantidad de material que se encuentra en ese instante dentro del sin fin. Para ello se calculará el volumen contenido en cada paso.

f.1. CALCULO DEL VOLUMEN DE LA HÉLICE.

f.1.1. CALCULO DEL NUMERO DE PASOS.

$$n_1 = \# \text{ Pasos} = \frac{L}{P}$$

Ec. 2.38.

Donde:

- n_1 Número de Pasos.
- L Longitud del eje [m].
- P Paso del tornillo [m].

Utilizando la Ec. 2.38 para $P = 0.025 \text{ m}$ obtenemos:

$$n_1 = \frac{0.45 \text{ m}}{0.025 \text{ m}}$$
$$n_1 = 18$$

f.1.2. CALCULO DEL VOLUMEN PARA UN PASO.

Ahora se procederá al cálculo del volumen ocupado por cada paso (Figura 2.22) según la Ec. 2.39.

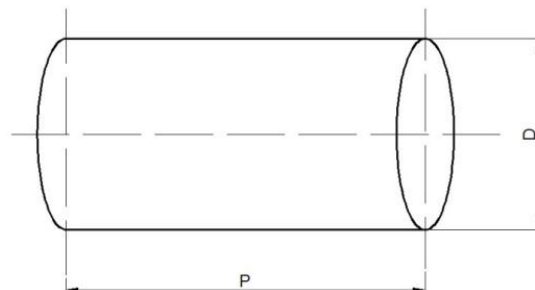


Figura 2.22. Representación de un Paso del Sin Fin.

$$V = \frac{\pi D^2}{4} P$$

Ec. 2.39.

$$V = \frac{\pi(0.065 \text{ m})^2}{4} \times 0.025 \text{ m}$$

$$V = 8.296 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

El volumen ocupado por cada paso del sin fin considerándolo completamente lleno es igual $8.296 \times 10^{-5} \text{ m}^3$. En la realidad esto no ocurre por lo tanto se escogerá un porcentaje de llenado máximo del sin fin del 30%. Este valor de porcentaje de carga se obtuvo como el promedio al analizar los diferentes materiales a ser transportados en este proyecto. Para distintos materiales el porcentaje de carga se muestra en la columna "Conv Loading" del Anexo A.

$$\begin{array}{ccc} 8.296 \times 10^{-5} \text{ m}^3 & \longrightarrow & 100 \% \\ x & \longrightarrow & 30\% \\ x = 2.489 \times 10^{-5} \text{ m}^3 = V_c & & \end{array}$$

f.2. CALCULO DEL PESO Y CARGA MÁXIMA DEL MATERIAL.

A continuación calcularemos la masa para el volumen que ocupa cada paso al 30% a partir de la Ec. 2.1 y el peso del mismo según la Ec. 2.40.

$$\begin{aligned} m &= \rho * V_c \\ m &= 1201 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 2.489 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \\ m &= 0.0299 \text{ Kg} \\ W &= W_p = mg \end{aligned}$$

Ec. 2.40.

Donde:

W_p Peso [N].

m Masa [Kg].

g Gravedad [9.81 m/s²].

$$W_p = (0.0299 \text{ Kg}) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$$

$$W_p = 0.2932 \text{ N}$$

El Peso $W_p=0.2932 \text{ N}$ hallado es el correspondiente para 1 paso. Para el análisis de la hélice se requiere el peso para los 18 pasos, por lo que se procederá a la multiplicación correspondiente con la Ec. 2.41.

$$W = W_p * n_1$$

Ec. 2.41.

$$W = 0.2932 * 18 \text{ N}$$

$$W = 5.28 \text{ N}$$

La fuerza normal de contacto W_h es igual al peso de la carga máxima por el factor de fricción del material a ser transportado (Ec. 2.42).

$$w_h = W \mu_s$$

Ec. 2.42.

Donde:

w_h Carga máxima que empuja la hélice. [N]

W Peso total del material en el sin fin. [N]

μ_s Factor de fricción del material (2)

$$w_h = 5.28 \text{ N (2)}$$

$$w_h = 10.56 \text{ N}$$

f.3. CALCULO DE LOS PARÁMETROS DEL SIN FIN

A partir de la Figura 2.23 se determinaran los parámetros L_1 , L_2 y r_m para el análisis del sin fin como a una viga.

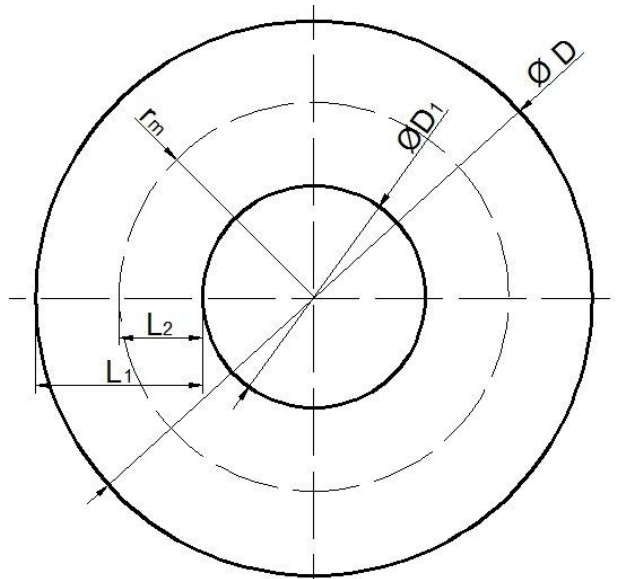


Figura 2.23. Parámetros L del Sin Fin.

Donde:

D Diámetro de la hélice [m].

D_1 Diámetro del eje [m].

$$L_1 = \frac{D}{2} - \frac{D_1}{2}$$

Ec. 2.43.

$$L_2 = \frac{L_1}{2}$$

Ec. 2.44.

$$r_m = \frac{D_1}{2} + L_2$$

Ec. 2.45.

Hallamos los valores de L_1 , L_2 y r_m según las Ec. 2.43, Ec. 2.44 y Ec. 2.45 respectivamente.

$$L_1 = \left(\frac{0.065}{2} - \frac{0.0381}{2} \right) m$$

$$L_1 = 0.0135 \text{ m}$$

$$L_2 = \frac{0.0135}{2}$$

$$L_2 = 0.0067 \text{ m}$$

$$r_m = \frac{0.0381}{2} + 0.0067$$

$$r_m = 0.0258 \text{ m}$$

f.4. CALCULO DEL ESPESOR DE LA HÉLICE.

A continuación realizamos el análisis de la hélice como a una viga en voladizo, aplicando las condiciones de sumatoria de fuerzas y sumatoria de momentos hallamos los valores de las reacciones. (Figura 2.24)

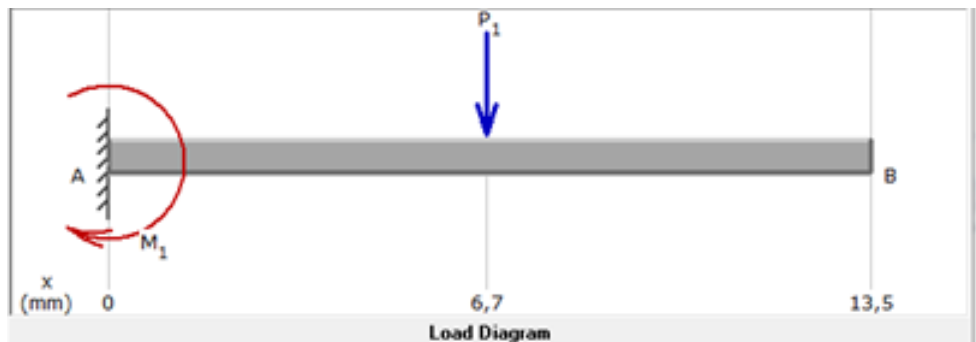


Figura 2.24. Diagrama de Fuerzas aplicadas al Sin Fin.

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_1 = w_h$$

$$R_1 = 10.56 \text{ N}$$

$$\Sigma M_o = 0$$

$$M_1 = (10.56 \text{ N})(0.067 \text{ m})$$

$$M_1 = 0.7075 \text{ Nm}$$

Utilizando el software MDSolid, se obtiene los diagramas de fuerza cortante y momento flexionante (Figura 2.25) tomando en consideración que la carga máxima que afecta al sin fin actúa como una carga puntual a lo largo de la longitud.

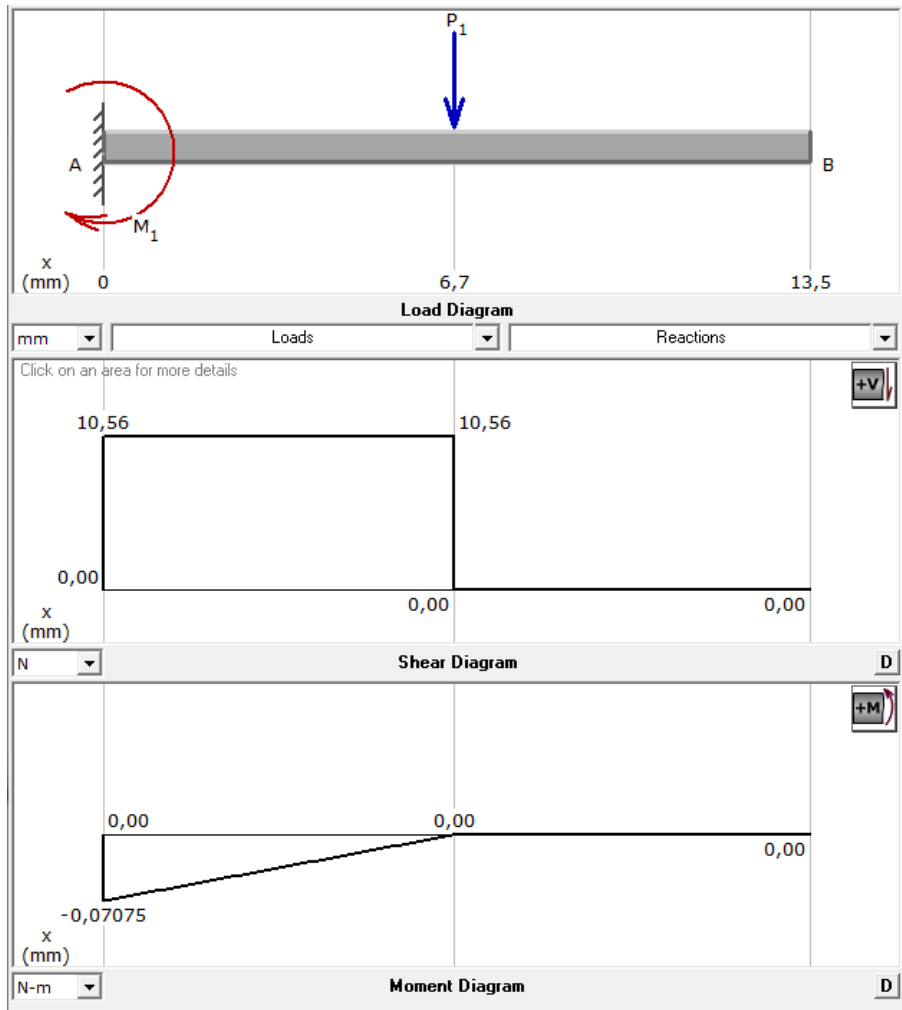


Figura 2.25. Diagramas de fuerza cortante y momento flexionante.

A partir de esto se utilizara los conceptos de diseño por cortante, diseño por flexión y diseño por desgaste para obtener el valor del espesor con el que se deberá construir el hélice del sin fin. Para evitar deformaciones permanentes cuando se quiten las cargas se utiliza un esfuerzo admisible (o esfuerzo de trabajo) que no se debe rebasar al esfuerzo calculado. Los límites de tensión para distintas situaciones según ASME son:

- Tensión.

El esfuerzo admisible de la tensión en una sección es:

$$F_b = 0.6 S_y.$$

- Corte.

El esfuerzo admisible en corte en una sección es la siguiente:

$$F_v = 0.4 S_y.$$

f.4.1. DISEÑO POR CORTANTE.

Para el diseño por cortante se utilizará la Ec. 2.46 y el criterio que indica que el esfuerzo cortante máximo debe ser menor que el esfuerzo admisible en corte.

$$\tau_{max} = \frac{3V}{2A} \leq F_v$$

Ec. 2.46.

$$\tau_{max} = \frac{3V}{2e_h[2\pi n_1 r_m]} \leq 0.4 S_y$$

$$\frac{3(10.56)}{2e_h[2\pi(18)(0.0258)]} = 0.4 (276 \times 10^6)$$

$$e_h = 4.91 \times 10^{-8} m$$

f.4.2. DISEÑO POR FLEXIÓN.

Para el diseño por flexión se utilizará la Ec. 2.47 y el criterio que indica que el esfuerzo flexionante máximo debe ser menor que el esfuerzo admisible en flexión.

$$\sigma_{max} = \frac{M_1 e}{I_n} \leq F_b$$

Ec. 2.47.

$$\sigma_{max} = \frac{M_1 e}{\frac{2\pi n_1 r_m e^3}{12}} \leq 0.6 S_y$$

$$\sigma_{max} = \frac{6M_1}{2\pi n_1 r_m e_h^2} \leq 0.6 S_y$$

$$\frac{6(0.07075)}{\pi(18)(0.0258)e_h^2} = 0.6(276 \times 10^6)$$

$$e_h = 4.1916 \times 10^{-5} m$$

f.4.3. DISEÑO POR DESGASTE

El diseño del desgaste es uno de los más importantes ya que por el contacto que va existir entre la hélice y el material a ser transportado existe fricción, y esto produce un deterioro. Por tal motivo se debe hacer un diseño adecuado para evitar un desgaste prematuro del material.

$$V_d = \frac{k_d F X_d}{3 P_f}$$

Ec. 2.48.

Donde:

P_f Presión de Flujo.

X_d Distancia de desplazamiento del punto de desgaste.

k_d Coeficiente de desgaste (5×10^{-6}).

F Fuerza al punto de contacto [N] $F = W_h = 10.56 \text{ N}$

V_d Volumen del material.

Presión de Flujo.

La presión de flujo se calculara según la Ec. 2.49.

$$P_f = 3 S_y$$

Ec. 2.49.

$$P_f = 3(276 \times 10^6) Pa$$

$$P_f = 828 \times 10^6 Pa$$

Tiempo de ciclo.

El tiempo de ciclo depende de la velocidad de giro del sin fin y del número de pasos. Para una velocidad de giro de 200 rpm tenemos:

$$200 \frac{rev}{min} \times \frac{1 min}{60 s} = 3.333 \frac{rev}{s}$$

Para un sinfín con 18 pasos tenemos que cada 18 vueltas del sin fin es un ciclo. El tiempo que se demora en dar 18 vueltas es:

$$ciclo = 18 \times 0.3 = 5.4 \text{ s}$$

Y el número de ciclos por hora es:

$$\frac{1 \text{ ciclo}}{5.4 \text{ s}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hora}} = 666 \frac{\text{ciclo}}{\text{hora}}$$

Longitud de desgaste.

La longitud de desgaste (Ec. 2.50) es igual a la longitud del sin fin como se indicó en la Figura 2.21.

$$L_d = 2\pi n_1 r_m$$

Ec. 2.50.

$$L_d = 2\pi(18)(0.0258) = 2.918 \text{ m}$$

Distancia de desplazamiento del punto de desgaste.

El cálculo de la distancia de desplazamiento del punto de desgaste se realiza a través de la Ec. 2.51. Para una vida útil de servicio de 1000 horas tenemos:

$$X_d = \frac{\text{ciclo}}{\text{hora}} \times L_d \times \text{horas de trabajo}$$

Ec. 2.51.

$$X_d = \frac{\text{ciclo}}{\text{hora}} \times L_d \times 1000$$

$$X_d = 666 \times 2.918 \times 1000$$

$$X_d = 1943388 \text{ m}$$

Coeficiente de desgaste.

El coeficiente de desgaste k_d (Lipson & Charles., 1970), se obtiene de la Tabla 2.3.

Tabla 2.3.

Valores Típicos de k_d

FUENTE: Marks Standard Handbook for Mechanical Engineering. Sección 10-49.

VALORES TÍPICOS DE k_d			
Lubricación de las Superficies	Metal – Metal		No metálicos
	Deseable – No deseable		Metálicos
Limpia	5×10^{-3}	2×10^{-4}	5×10^{-6}
Pobre	2×10^{-4}	2×10^{-4}	5×10^{-6}
Promedio	2×10^{-5}	2×10^{-5}	5×10^{-6}
Excelente	2×10^{-6}	2×10^{-6}	5×10^{-6}
	5×10^{-7}	2×10^{-7}	5×10^{-6}

Volumen de desgaste.

Es el volumen obtenido a partir de la Figura 2.21 y se calcula mediante la Ec. 2.52.

$$V_d = L_d \times L_1 \times e_d$$

Ec. 2.52.

$$V_d = 2.918 \times 0.0135 \times e_d$$

$$V_d = 0.0394 * e_d$$

Remplazando en la Ec. 2.48 tenemos:

$$V_d = \frac{k_d F X_d}{3 P_f}$$

$$0.0394 e_d = \frac{(5 \times 10^{-6})(10.56)(1943388)}{3(828 \times 10^6)}$$

$$e_d = 1.04 \times 10^{-6} m$$

Finalmente el espesor de la hélice (Ec. 2.53), es la suma de los espesores encontrados por el diseño de los esfuerzos y diseño de desgaste. Entre el espesor hallado por el diseño cortante y de flexión se elige el de mayor valor para la suma.

$$e = e_h + e_d$$

Ec. 2.53.

$$e = 4.1916 \times 10^{-5} + 1.04 \times 10^{-6}$$

$$e = 0.0000429 m$$

$$e = 0.0429 mm$$

El espesor hallado de 0.0429 mm no es un valor estándar por lo que se seleccionará un espesor mayor.

$$e = 1 mm$$

g. DESARROLLO DE LA HÉLICE.

La hélice del sin fin se desarrolla por tramos o pasos los cuales serán soldados unos a otros. Para realizar el desarrollo de la hélice (Figura 2.26) se dibuja primero el alzado de un paso sin fin, para esto es necesario, dividir la semicircunferencia de la vista en planta de la hélice en cierto número de partes iguales, para luego levantar perpendiculares al alzado. A continuación se divide el medio paso del alzado con el mismo número de partes iguales y por los puntos de división se dibujan perpendiculares al eje que al cortar a las rectas verticales nos dan los puntos de la hélice.

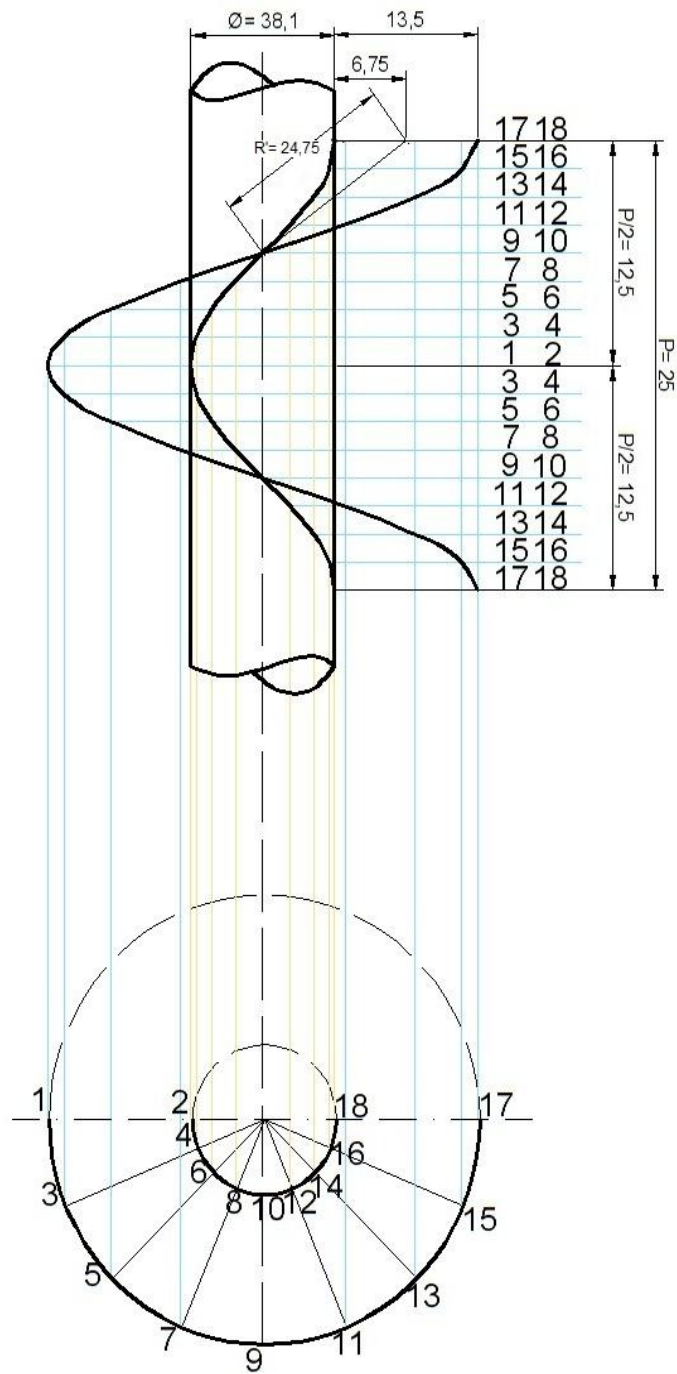


Figura 2.26. Alzado de un Paso del Sin Fin.

Para el desarrollo de la hélice (Figura 2.27) se toma el radio R' del alzado y se dibuja una circunferencia que será el eje de la hélice. A ambos lados se lleva la distancia de 6,75 mm encontrada en el alzado y se traza una circunferencia interior y otra exterior. Estas circunferencias deben tener las longitudes desarrolladas de la hélice 17-18 y 18-0.

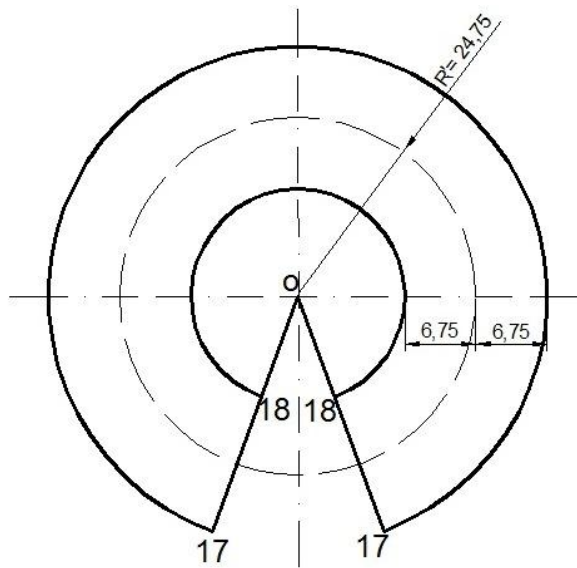


Figura 2.27. Desarrollo de la Hélice.

Para encontrar las longitudes desarrolladas de la hélice (Figura 2.28) se dibujan triángulos rectángulos, cuyo cateto común es el paso P y los otros catetos son respectivos desarrollos de las circunferencias de base. Las hipotenusas son las longitudes desarrolladas de la hélice.

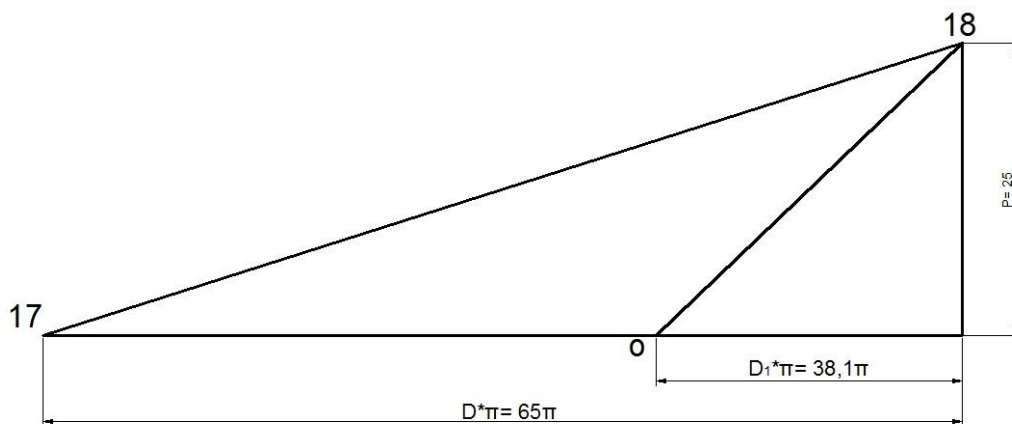


Figura 2.28. Longitud Desarrollada de la Hélice.

2.7. SELECCIÓN DEL CILINDRO NEUMÁTICO.

Para la selección del cilindro neumático se procederá a calcular la fuerza necesaria para contraer la compuerta, para ello se debe considerar el peso del

material y las fuerzas de rozamiento que se opondrán al movimiento del mismo (Figura 2.29).

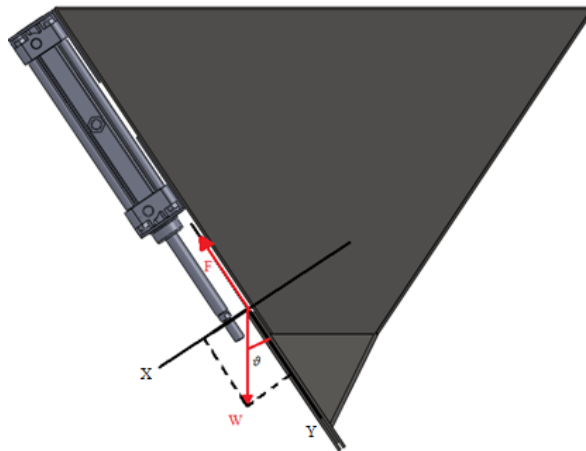


Figura 2.29. Fuerzas actuantes en el cilindro neumático.

Dado que en la sección 2.3.4 CONCLUSIONES DE LA CASA DE LA CALIDAD la empresa requería de 20 Kg de micronutrientes dosificados, pero por cuestiones de diseño y para asegurar el funcionamiento del cilindro se toma un valor un tanto mayor, por lo que se escogió un valor de 30 Kg.

Debido a la forma de la tolva se debe considerar la inclinación que esta tiene, ya que el cilindro neumático está sujeto en una de las caras, teniéndose un ángulo de inclinación es $\theta = 26.17^\circ$.

Para el cálculo del peso se utiliza la Ec. 2.54:

$$w = mg$$

Ec. 2.54.

$$w = 30 \text{ Kg} \left(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) = 294 \text{ N}$$

Como se muestra en la Figura 2.30, el peso es una fuerza vertical y la compuerta se encuentra en un plano inclinado por lo que para el cálculo de la fuerza necesaria para desplazarla hay que considerar la componente del peso que actúan en el mismo plano, es decir la componente en "y" utilizando la Ec. 2.55.

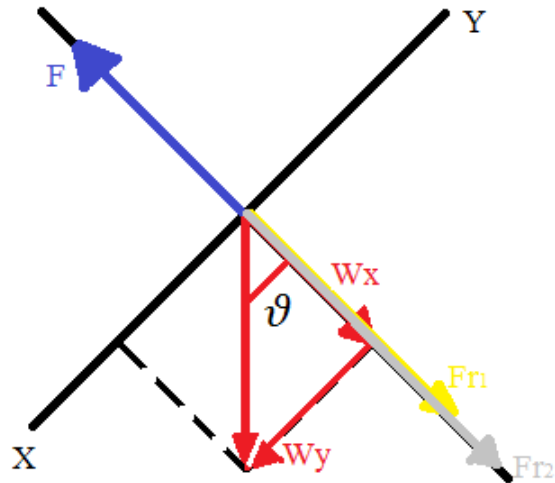


Figura 2.30. Diagrama de Fuerzas.

$$w_y = w \cos \vartheta$$

Ec. 2.55.

$$w_y = 294 \text{ N} \cos 26.17$$

$$w_y = 263.81 \text{ N.}$$

Una vez obtenida esta fuerza, se calculará la fuerza de rozamiento que hay entre los micronutrientes y la compuerta, mediante la Ec. 2.56.

$$Fr = w_y \times \mu$$

Ec. 2.56.

Donde:

Fr Fuerza de rozamiento [N].

w_y Componente "y" del Peso [N].

μ Coeficiente de rozamiento.

El valor de μ se puede encontrar en el ANEXO A como MAT'L FACTOR F_M sacando un promedio se obtuvo un valor de 0.9, remplazando en la Ec. 2.56:

$$Fr_1 = 263.81 \times 0.9$$

$$Fr_1 = 237.43 \text{ N}$$

También existe otra fuerza de rozamiento debido al contacto entre la compuerta y el carril guía sobre el que se desplaza, se calculará a partir de la Ec. 2.56, utilizando un coeficiente de rozamiento del acero sobre acero que es de 0.15.

$$Fr_2 = 263.81 \times 0.15$$

$$Fr_2 = 39.57 \text{ N}$$

Con estos valores hallados anteriormente se realizará una sumatoria de fuerzas, teniendo en cuenta que el peso y las fuerzas de rozamiento son opuestas a la fuerza de contracción del pistón.

$$\Sigma F = 0$$

$$F = w_y + Fr_1 + Fr_2$$

$$F = 263.81 + 237.43 + 39.57 \text{ [N]}$$

$$F = 540.81 \text{ N}$$

La presión del aire disponible será aproximada de 0.7 MPa, con esto se calcula el diámetro del émbolo del pistón, mediante la Ec. 2.57.

$$P = \frac{F}{A}$$

Ec. 2.57.

$$P = \frac{F}{\frac{\pi \phi^2}{4}}$$

$$0.7 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \frac{540.81 \text{ N}}{\frac{\pi \phi^2}{4}}$$

$$\phi = 0.03136 \text{ m} = 31.36 \text{ mm}$$

Con este diámetro de 31.36 mm se escoge un cilindro neumático estándar, cuyo diámetro es de 32 mm.

La carrera del cilindro depende del desplazamiento de la compuerta de apertura y cierre, por dimensionamiento de la compuerta la carrera del cilindro neumático debe ser de 100 mm como se indica en la Figura 2.31. Las características técnicas del cilindro seleccionado se muestran en el ANEXO C.

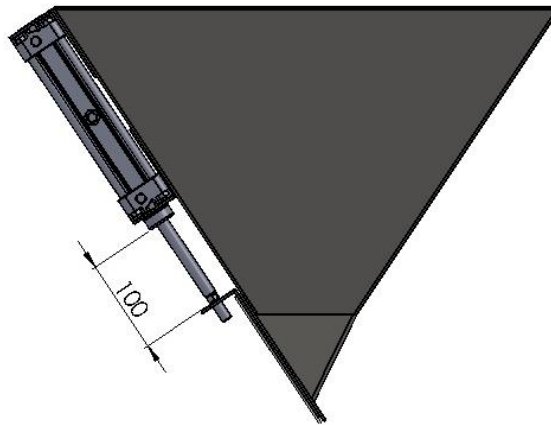


Figura 2.31. Carrera del Pistón.

2.8. DISEÑO ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO.

La correcta selección de los componentes es uno de los aspectos fundamentales en el proceso de automatización, que se ajustan a parámetros técnicos, económicos y disponibilidad en el mercado.

2.8.1. DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS.

a. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE POTENCIA.

Los elementos que componen el esquema de potencia son los detallados a continuación:

a.1. MOTOR.

El sistema de transmisión de potencia más apropiado para el accionamiento del sistema de dosificación de micro-nutrientes es sin lugar a duda un motor acoplado a un reductor con lo cual obtenemos los siguientes beneficios:

- Constancia tanto en la velocidad como en la potencia transmitida.
- Menor espacio requerido y mayor rigidez en el montaje.
- Mayor eficiencia en la transmisión de la potencia suministrada por el motor.

Para este caso se debe tomar en consideración las siguientes características:

- La potencia de 2.44 W calculada en la sección 2.6.5.c CALCULO DE LA POTENCIA.
- Un motor de baja velocidad.
- El voltaje de alimentación trifásico de 220/440 V ya que la empresa cuenta con estos niveles de tensión.
- El factor de servicio de 1.15 para operación con variador de velocidad.
- La frecuencia de operación de 60 Hz porque es la existente en la red de alimentación del país.

Tomando en cuenta las características citadas anteriormente, se seleccionó los motores de marca Siemens tipo 1LA7 070 - 4YA60 (Figura 2.32) cuyos datos se muestran en la Tabla 2.4.



Figura 2.32. Motor.

FUENTE: Direct Industry. (2013). Productos. Recuperado de: <http://www.directindustry.es/prod/lenze-se/motores-electricos-asincronos-trifasicos-6239-748711.html>

Tabla 2.4.

Características del Motor.

Datos Técnicos.	
Potencia.	370 W.
Velocidad	1590 RPM
Numero de Polos	4
Voltaje de Alimentación.	220/440 VAC
Corriente Nominal.	1.9/0.95
Factor de Servicio.	1.15
Clase de Aislamiento.	F
Frecuencia de Operación.	60 Hz

El resto de especificaciones pueden ser encontradas en el Anexo E.

a.2. REDUCTOR.

Para seleccionar los reductores necesarios se debe considerar las siguientes características:

Características de operación:

- La potencia del motor seleccionado.
- La velocidad de salida de 200 RPM calculada en la sección 2.6.5.d DIMENSIONAMIENTO.
- El torque (par máximo) a la salida de 17.7 N.m calculada en la sección 2.6.5.e.2 DISEÑO POR TORSIÓN.
- Relación de Reducción (1 a 7.5). para obtener la velocidad de salida a partir de la velocidad del motor.

Condiciones del ambiente:

- Temperatura ambiente.

Ejecución del equipo:

- Eje a 180°, o 90°.
- Eje de salida horizontal o vertical.

Tomando en cuenta todas las características citadas anteriormente, se seleccionó el reductor (Figura 2.33) de la marca TRANSTECNO tipo CM 040 cuyos datos se indican en la Tabla 2.5.

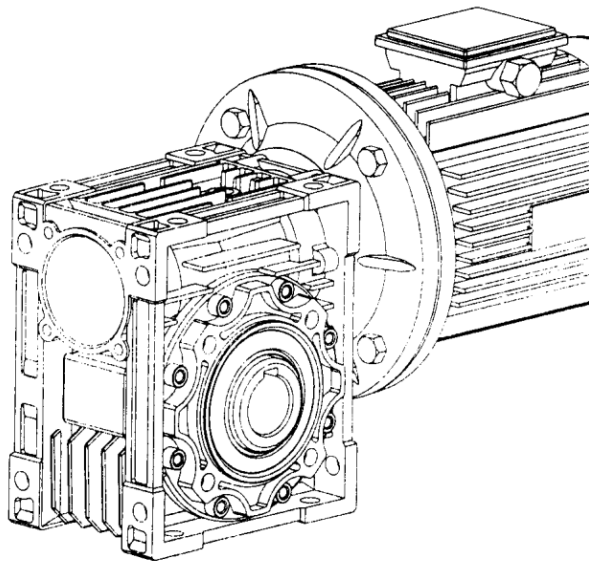


Figura 2.33. Acoplamiento Motor-Reductor.

FUENTE: Direct Industry Recuperado de: <http://www.directindustry.es/prod/leroy-somer/motor-reductores-electricos-helicoidales-8355-21367.html>

Tabla 2.5.

Características del Reductor.

Datos Técnicos.	
Potencia.	370 W.
Tipo.	Sin fin
Relación de Reducción.	7.5
Torque de Servicio.	40 Nm.

El resto de especificaciones pueden ser encontradas en el Anexo F.

a.3. VARIADOR DE FRECUENCIA.

En el proceso de dosificación es necesario controlar la velocidad de dosificación, por lo que se adquirió un variador de frecuencia (Figura 2.34) que controlará la velocidad del motor mediante señales enviadas por el PLC al variador de velocidad.



Figura 2.34. Convertidor de Frecuencia G110.

FUENTE: SyS componentes eléctricos. Productos. Variador de velocidad SINAMICS. Recuperado de: <http://www.solucionesyservicios.biz/Variadores-SINAMICS/SINAMICS-G110>

Los requerimientos para el variador son:

- Voltaje de alimentación 220/440 V.
- Potencia del motor 370 W.
- Frecuencia nominal de la red 60 Hz.
- 3 Entradas digitales para control de accionamiento del variador.
- 1 Entrada analógica para control de velocidad.

Tomando en cuenta estos parámetros se eligió el Convertidor de Frecuencia G110 tipo 6SL3211-0AB17-5UA1 de la familia Siemens, de tipo modular y que cuenta con las siguientes características (Tabla 2.6):

Tabla 2.6.

Características del Variador de Frecuencia G110.

Características seleccionadas	
Potencia	0.75 kW
Datos Técnicos	
Tensión de alimentación	Monofásica 200-240 VAC +/- 10%
Frecuencia de Salida	0 – 650 Hz
Resolución	0.01 HZ
Factor de Sobrecarga	3
Temperatura de Operación	Máxima 40°C (hasta 50° con desclasificación)
Entradas Digitales	3
Salidas Digitales	1 (24 VDC)
Entradas Análogas	1 (0.10 VDC utilizable como cuarta entrada digital)
Datos Mecánicos	
Grado de protección	IP20

El resto de especificaciones pueden ser encontradas en el Anexo D.

b. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CONTROL.

Los elementos que componen el esquema de control son los detallados a continuación:

b.1. PLC.

De acuerdo a la tecnología que existe en la actualidad, se ha tomado la decisión de utilizar un PLC (Controlador Lógico Programable), por su gran capacidad de respuesta frente a diversos requerimientos industriales, la robustez en ambientes hostiles y la facilidad de adquirirlo así como de programarlo.

Mediante la utilización del PLC se va a lograr optimizar la producción que es el objetivo principal, así como un aumento en la calidad, con un sistema automatizado, eficiente y certero.

En la selección será considerado varios aspectos importantes, cuyo objetivo es adquirir un dispositivo que cumpla con los requerimientos de la máquina para un óptimo desarrollo del sistema de control.

Las consideraciones son las siguientes:

- Implementar una celda de carga tipo S.
- Controlar la velocidad del motor a través de una variador de velocidad.
- Salidas digitales 8.
- Entradas digitales 2.
- Entradas analógicas 1.
- Puerto de comunicación Ethernet.
- Capaz de realizar posibles incorporaciones o modificaciones futuras.
- El HMI se realizará con una PC.
- Voltaje de alimentación 110/220 V.
- Disponibilidad dentro del mercado.



Figura 2.35. Autómata S7-1200.

FUENTE: DIYTrade (2013). Producto. Recuperado de: http://www.diytrade.com/china/pd/7925385/Siemens_SIMATIC_S7_PLC_S7_1200.html

Después de tener en cuenta todos estos parámetros el autómata seleccionado para la automatización de dosificación de sólidos es el S7-1200 tipo 6ES7214-1BG31-OXB0 de la familia SIEMENS (Figura 2.35) que cumple con los requerimientos del control del proceso y cuyas características principales se encuentran en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7.

Características del Autómata S7-1200 CPU 1214C.

AUTÓMATA	CARACTERÍSTICAS
Tipo	AC-DC-Relé
Alimentación	110-220 VAC
Entradas Digitales	14 a 24 VDC
Salidas Digitales	10 Tipo relé
Entradas Análogas	2 (0-10 VDC)
Memoria	75 KB
Puerto de Comunicación	Profinet/Industrial Ethernet RJ45 10/1000 Mbps
Potencia	14 W

El resto de especificaciones pueden ser encontradas en el Anexo G.

b.2. MÓDULO DE AMPLIACIÓN.

Se requiere de una salida analógica para la comunicación desde el PLC hacia el Variador de Frecuencia para el control de velocidad por lo que se escogió un módulo SB1224 de la familia SIEMENS (Anexo H).

Este tipo de módulo de ampliación posee una salida analógica configurable para Voltaje o Corriente. En la Figura 2.36 se muestra el cartucho de señal y su conexión física.



Figura 2.36. Signal Board para PLC S7-1200.

FUENTE: Siemens (2013). S7-1200 Signal modules. [Artículo]. Recuperado de: <http://www.automation.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/simatic-s7-controller/s7-1200/signal-modules/pages/default.aspx>

b.3. INDICADOR.

El indicador permitirá visualizar el valor en kg o lb que está siendo medido por la celda de carga, para el sistema se escogió un indicador de marca TREE y de tipo REMO-R (Figura 2.37) con las siguientes características:

- Fuente de alimentación para 4 celdas de carga de 350 OHM.
- Configuración de unidades primarias y secundarias: lb, kg.
- LCD de 5 dígitos.
- Batería recargable.
- Puerto serial RS-232.



Figura 2.37. Indicador de peso.

FUENTE: LW Measurements LLC (2013), Products Features, Recuperado de: http://lwmeasurements.com/About_LW_Measurements.html

b.4. CELDA DE CARGA.

Las celdas de carga existen en diversas presentaciones y para el desarrollo de este proyecto se ha seleccionado una celda de carga tipo “S”, que es la más adecuadas para aplicaciones en las que la carga se encuentre en tracción como por ejemplo una báscula colgante que representa en nuestro caso la tolva de recepción común.

Los requerimientos de este proyecto a la hora de seleccionar la celda carga son:

- Capacidad Máxima 75 Kg.
- Voltaje de Alimentación del indicador 110 V.
- Resistencia a la salida 350 Ω .
- Numero de Cables 4 ó 6.

Tomando en cuenta todos los parámetros citados anteriormente, se seleccionó la celda de carga de tipo “S” de la marca KELI (Figura 2.38) como la más apropiada para el sistema de dosificación y compatible con el indicador antes seleccionado, sus especificaciones se detallan en la Tabla 2.8.



Figura 2.38. Celda de Carga Tipo “S”.

FUENTE: Keli Sensing Technology. Celda de carga. Producto. Recuperado de: <http://en.kelichina.com/ProductShow.asp?ID=37>

Tabla 2.8.

Características de la Celda de Carga.

Datos Técnicos.	
Tipo	S
Capacidad máxima (FS)	100 Kg
Error	$\pm 0.003 \%FS$
Sensibilidad	$3 \pm 0.003 \text{ mV/V}$
Resistencia de entrada.	$400 \pm 20\Omega$

El resto de especificaciones pueden ser encontradas en el Anexo I.

2.8.2. CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE PROTECCIÓN.

Para el sistema de dosificación automático de micronutrientes es indispensable dimensionar los elementos de protección y maniobra, ya que los componentes eléctricos representan una parte esencial para el funcionamiento, protección y control, cuyo objetivo primordial es salvaguardar la integridad del talento humano así como de los elementos y equipos que constituyen el sistema.

a. DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE PROTECCIÓN DEL SISTEMA POTENCIA.

Los elementos que constituyen el sistema de potencia son los motores y el variador de frecuencia.

a.1. DIMENSIONAMIENTO DEL CONTACTOR.

Los contactores se seleccionan en base a la potencia nominal del motor y tomando en cuenta un sobredimensionamiento de 10% según la Ec. 2.58.

$$P_{contactor} = 1.10 P_{n_{motor}}$$

Ec. 2.58.

$$P_{\text{contactor}} = 1.10 (370)W$$

$$P_{\text{contactor}} = 407 W$$

Para el dimensionamiento del contactor se debe considerar:

- Voltaje Nominal .
- Intensidad nominal del motor.
- Tipo de Accionamiento.
- Categoría de utilización establecido por la norma IEC (Comisión Electrotécnica Internacional).
- Frecuencia.
- Voltaje de Aislamiento U_i .
- Clase de Servicio.
- Voltaje de la bobina.
- Números de contactos auxiliares.

Tomando en cuenta los parámetros descritos anteriormente tenemos los siguientes resultados mostrados en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9.
Dimensionamiento de los Contactores.

Elemento	Motor
Potencia Nominal (W)	370
Voltaje Nominal (V)	220
Corriente Nominal (I)	1.9
Categoría de Servicio	AC3
Potencia Contactor (W)	407

El contactor seleccionado según el tipo de motor y su potencia es de la marca Siemens tipo 3RT2015-1AP01 (Figura 2.39) según se muestra en la Tabla 2.10.

Tabla 2.10.

Características de los Contactores.

Voltaje Nominal (V)	220
Frecuencia (Hz)	60
Voltaje de Aislamiento (Ui)	600
Categoría de Servicio	AC3
Clase de Servicio	Intermitente
N° Contactos Aux.	1 NA
Corriente (A)	15

El resto de especificaciones pueden ser encontradas en el Anexo J.



Figura 2.39. Contactor.

FUENTE: Gama. Materiales Eléctricos. [Artículo]. Recuperado de: <http://www.gama-me.com/materiales-electricos/comando-motor/contactor-siemens-sirius-3rt1034-1an20-ac-3-15-kw400-v-tamano-s2>

a.2. DIMENSIONAMIENTO DEL FUSIBLE.

La protección del sistema de potencia se divide en la protección del variador de frecuencia y en la protección de los motores. Como se indica en el Anexo D (Datos Técnicos del Variador de Frecuencia) la corriente de entrada a 230 V es 10A y como indica la hoja de datos técnicos el fusible recomendado para protección de este elemento debe ser de 16 A, por lo que se ha seleccionado un

fusible cilíndrico de cerámica (Figura 2.40) con capacidad 16 A cuyas características son mostradas en la Tabla 2.11.



Figura 2.40. Fusible Cilíndrico y Base para Fusible.

FUENTE: Sassin Electric. Producto. Recuperado de: http://www.sassinelectric.com/producto_detalle.php?id=192&PHPSESSID=ed72a4a4429a8ec36853c9ff6c8b8708

Tabla 2.11.

Características de los Fusibles.

Tipo	Fusible Cilíndrico de Cerámica gG/gL
Tensión Asignada	230-400 V AC – 50-60 Hz
Tensión de Aislamiento	Ui:2000 V
Poder de corte	20 KA
Grado de Protección de la base	IP20
Tamaño	10x38 mm

b. DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE PROTECCIÓN DEL SISTEMA CONTROL.

b.1. DIMENSIONAMIENTO DEL INTERRUPTOR ELECTROMAGNÉTICO.

El sistema de control debe ser protegido contra una sobrecarga instantánea por medio de un interruptor electromagnético comúnmente conocido como Breaker. Por medio de este interruptor electromagnético se protegerá al PLC, celda de carga, y solenoide.

Para dimensionar el interruptor electromagnético se considera la carga total instalada en la etapa de control y se multiplica por el factor de demanda provisto para cada equipo. El factor de demanda será considerado al 100% para el respectivo cálculo lo cual supone que todos los elementos de control estarán activos. Los datos se muestran en la Tabla 2.12.

Tabla 2.12.
Carga Instalada.

Elemento	Carga Instalada [W]	Factor de Demanda FD [%]	Carga Total [W]
PLC	12	100	12
Módulo de Ampliación	1.32	100	1.32
Celdas de Carga	5	100	5
Indicador	4	100	4
Bobina del Contactor	4 x 27	100	108
Bobina de la Electroválvula	3.5	100	3.5
Pérdidas	14.4	100	14.4
Subtotal de Carga			148.22

La corriente consumida por la totalidad del sistema de control se obtiene según la Ec. 2.59.

$$I_{ct} = \frac{P}{V}$$

Ec. 2.59.

Donde:

I_{ct} Corriente Total Consumida [A].

P Carga Total [W].

V Voltaje de Fuente.

$$I_{ct} = \frac{148.22}{220}$$

$$I_{ct} = 0.674 \text{ A}$$

Con el valor de corriente hallado se escoge un interruptor electromagnético que tenga el valor superior comercial más cercano siendo el más adecuado un Siemens tipo 5Sx1201-7 (Figura 2.41) cuya corriente térmica es de 1A y una capacidad de ruptura a 220V de 10kA.



Figura 2.41. Interruptor Electromagnético.

FUENTE: SKA. Clases de Eléctrica básica. [Blog]. Recuperado de: <http://www.skaviados.net/articulos-libros-estudios/13071-clases-de-electrica-basica.html>

b.2. DIMENSIONAMIENTO DE FUSIBLES.

Para la protección del sistema de control conformado por el PLC, Indicador y Celda de Carga se ha tomado en cuenta la corriente de entrada de cada uno de estos elementos por lo cual se ha decidido utilizar un fusible Cilíndrico de Cerámica con capacidad 2 A para su protección. Las características técnicas de estos fusibles (Figura 2.42) se muestran en la Tabla 2.13.

Tabla 2.13.

Características de los Fusibles.

Tipo	Fusible Cilíndrico de Cerámica gG/gL
Tensión Asignada	230-400 V AC – 50-60 Hz
Tensión de Aislamiento	Ui:2000 V
Poder de corte	20 KA
Grado de Protección de la base	IP20
Tamaño	10x38 mm



Figura 2.42. Fusible Cilíndrico y Base para Fusible.

FUENTE: Sassin Electric. Producto. Recuperado de: http://www.sassinelectric.com/producto_detalle.php?id=192&PHPSESSID=ed72a4a4429a8ec36853c9ff6c8b8708

2.8.3. DIMENSIONAMIENTO DE LOS ALIMENTADORES.

a. CONDUCTOR PARA EL ALIMENTADOR.

El conductor para el alimentador se calcula mediante la Ec. 2.60, aumentando el 25% a la corriente nominal del motor más grande y luego agregando los valores de corriente de los otros motores y demás dispositivos.

$$I_a = FS I_{PC}(MG) + \Sigma I_{PC}(MR) + I(C.C)$$

Ec. 2.60.

Donde:

I_a	Corriente de los alimentadores
FS	Factor de sobredimensionamiento
$I_{PC}(MG)$	Corriente a plena carga del motor más grande
$\Sigma I_{PC}(MR)$	Corriente a plena carga del resto de motores
$I(C.C)$	Corriente aproximada de los circuitos de control

Para este caso se tomará en consideración que la sumatoria del $I_{PC}(MR)$ es igual a cero ya que en el sistema de control se limitará el funcionamiento de un solo motor a la vez.

$$I_a = (1.25) (1.9) + 10$$

$$I_a = 12.375 A$$

Con este valor de corriente obtenido y en base al Anexo K, el calibre del conductor seleccionado se indica en la Tabla 2.14.

Tabla 2.14.

Características del Conductor del Alimentador.

Tipo	Cable Flexible TW-K 60°C -600V
Calibre AWG	14
Amperaje	22 A
Formación	26x0.32 mm
Diámetro del Cordón Desnudo	1.89 mm
Espesor Aislamiento	1.14 mm
Diámetro Exterior	4.17 mm
Peso Total Kg/Km	34.3

b. CONDUCTOR PARA LOS MOTORES.

La norma NEC en la sección 430-22, establece que el conductor que alimenta a un solo motor de corriente alterna, debe tener una capacidad del 125% de la corriente nominal del motor (Ec. 2.61).

$$I = 1.25 \frac{I_{PC}}{Factor}$$

Ec. 2.61.

Se considera un factor de 0.80 que corresponde al cableado de 4 a 6 conductores portadores de corriente por ducto.

$$I = 1.25 \frac{1.9 A}{0.80}$$

$$I = 2.9688 A$$

Con este valor de corriente obtenido se dimensiona el conductor como muestra la Tabla 2.15 y en base al Anexo K, el calibre del conductor (Figura 2.43) seleccionado para la conexión a los motores se indica en la Tabla 2.16.

Tabla 2.15.

Dimensionamiento de los Conductores.

Elemento	Motor
I_{PC} (A)	1.9
Factor	0.8
$I = 1.25 \frac{I_{PC}}{\text{Factor}}$ (A)	2.9688



Figura 2.43. Conductor Eléctrico Flexible

FUENTE: Los conductores.(2009). Recuperado de: <http://ccnaturales6.blogspot.com/2010/03/los-conductores.html>

Tabla 2.16.

Características del Conductor de los Motores.

Tipo	Cable Flexible TFF 60°C -600V
Calibre AWG	16
Amperaje	15 A
Formación	16x0.32 mm
Diámetro del Cordón Desnudo	1.49 mm
Espesor Aislamiento	0.76 mm
Diámetro Exterior	3.01 mm
Peso Total Kg/Km	19.4

c. CONDUCTOR PARA EL CIRCUITO DE CONTROL

Tomando en cuenta la corriente hallada en la sección 2.8.22.8.2.b.1 DIMENSIONAMIENTO DEL INTERRUPTOR ELECTROMAGNÉTICO. el circuito de control utilizará un conductor cuyas características se muestran en la Tabla 2.17 y Anexo K.

Tabla 2.17.

Características del Conductor del Circuito de Control.

Tipo	Cable Flexible TFF 60°C -600V
Calibre AWG	18
Amperaje	10 A
Formación	16x0.254 mm
Diámetro del Cordón Desnudo	1.17 mm
Espesor Aislamiento	0.76 mm
Diámetro Exterior	2.69 mm
Peso Total Kg/Km	13.9

CAPÍTULO III

IMPLEMENTACIÓN Y MONTAJE

3.1. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.

Concluido el diseño del sistema automático de dosificación se inicia con el proceso de construcción, implementación y montaje de todos los componentes que conforman el sistema, en este capítulo se describen las tareas realizadas en la parte mecánica, eléctrica y de control, para una vez finalizada proceder al montaje y al inicio de la fase de puesta en marcha, efectuar pruebas de funcionamiento y la posterior corrección de fallas.

3.1.1. MONTAJE MECÁNICO.

El proceso de montaje mecánico empieza con la fabricación de cada uno de los componentes que forman parte del sistema (ver Anexo L), para lo cual se analizará el procedimiento constructivo, luego de haber realizado su diseño y selección de materiales.

a. DIAGRAMA DE OPERACIONES DE PROCESO.

Estos diagramas muestran en una secuencia cronológica todas las operaciones, inspecciones, márgenes de tiempo y materiales a utilizar en un proceso de fabricación, desde la llegada de la materia prima hasta el empaque del producto terminado. A continuación se detallan los diagramas de operación de procesos para los componentes más representativos del sistema automático de dosificación.

a.1. FABRICACIÓN DE LA ESTRUCTURA.

La estructura será construida de acuerdo a los planos detallados en el Anexo M -1 utilizando como material tubo cuadrado negro de acero estructural bajo la norma ASTM-A513 de 50 mm x 3 mm.

Los procesos utilizados para su elaboración se presentan en el diagrama de la Figura 3.1:

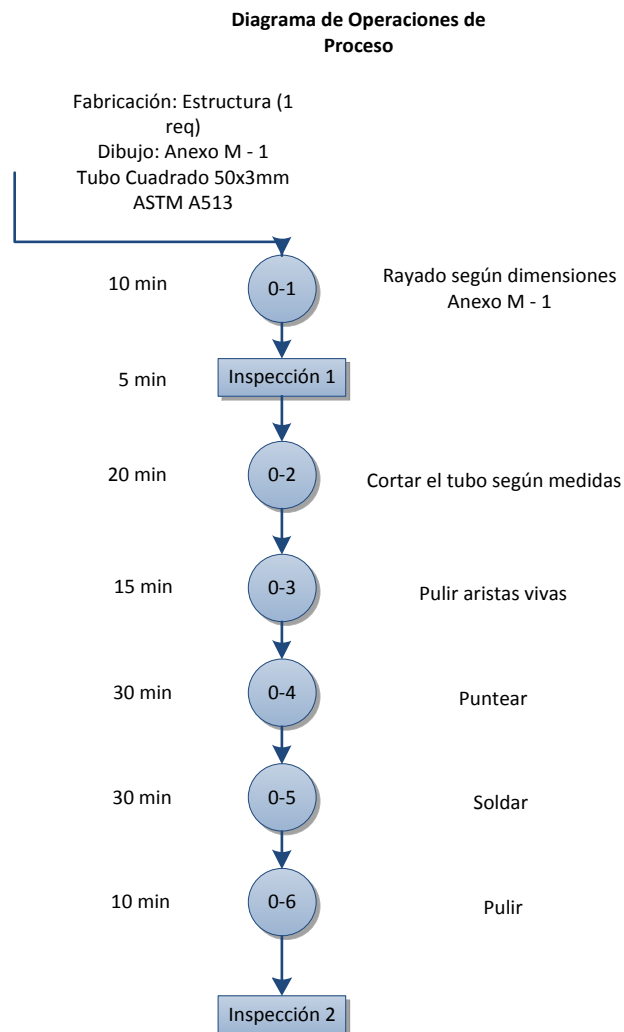


Figura 3.1. Diagrama de procesos para construcción de la Estructura.

Una vez construida la estructura según el plano se debe proceder a pintar con pintura anticorrosiva, para de esta manera asegurar y promover la duración del material que estará en contacto casual con los micronutrientes. Los pasos a seguir para un adecuado proceso de pintura son:

- Lijar.
- Limpiar las superficies.
- Aplicar desoxidante.
- Aplicar fondo.
- Pintar.

a.2. FABRICACIÓN DEL BIN.

La fabricación del bin se realiza de acuerdo a los planos mecánicos detallados en el Anexo M - 2.

Los procesos utilizados se presentan en el diagrama de la Figura 3.2:

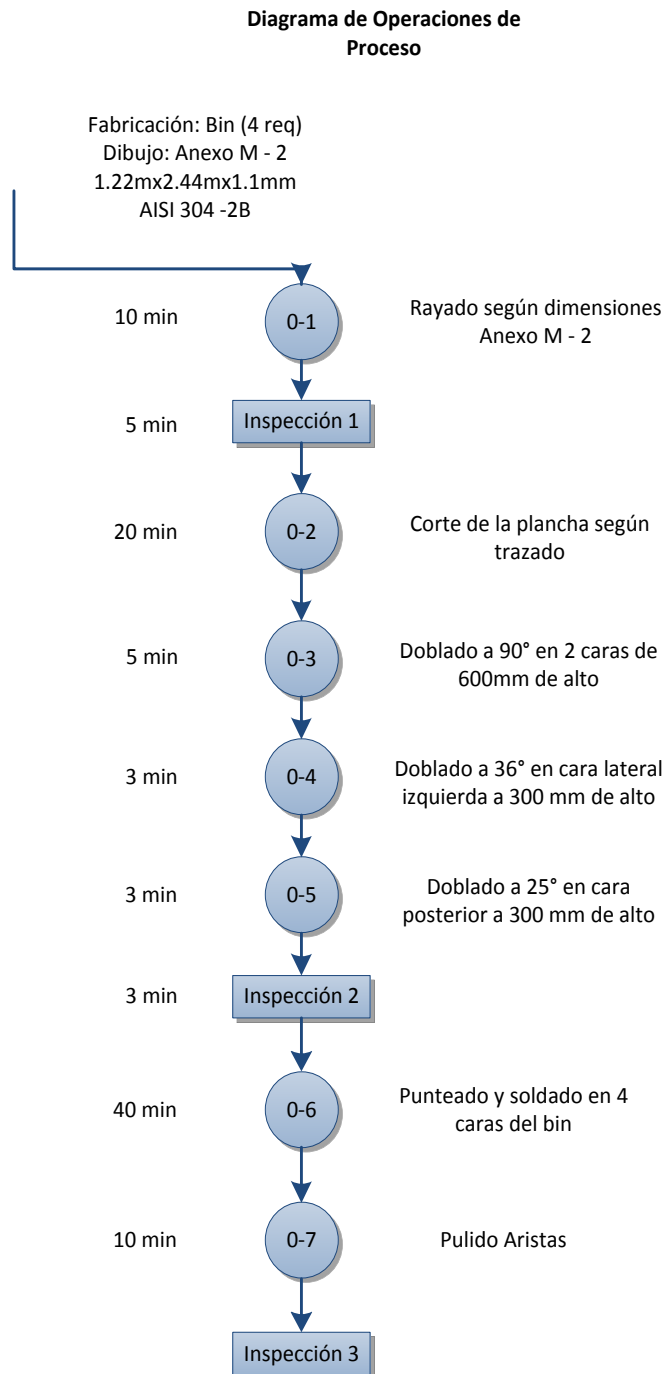


Figura 3.2. Diagrama de procesos para construcción del bin.

a.3. FABRICACIÓN DE TAPA LATERAL

La fabricación de las tapas laterales se realiza de acuerdo a los planos mecánicos detallados en los Anexos M - 4 y M - 5.

Los procesos utilizados para su elaboración se presentan en el diagrama de la Figura 3.3.

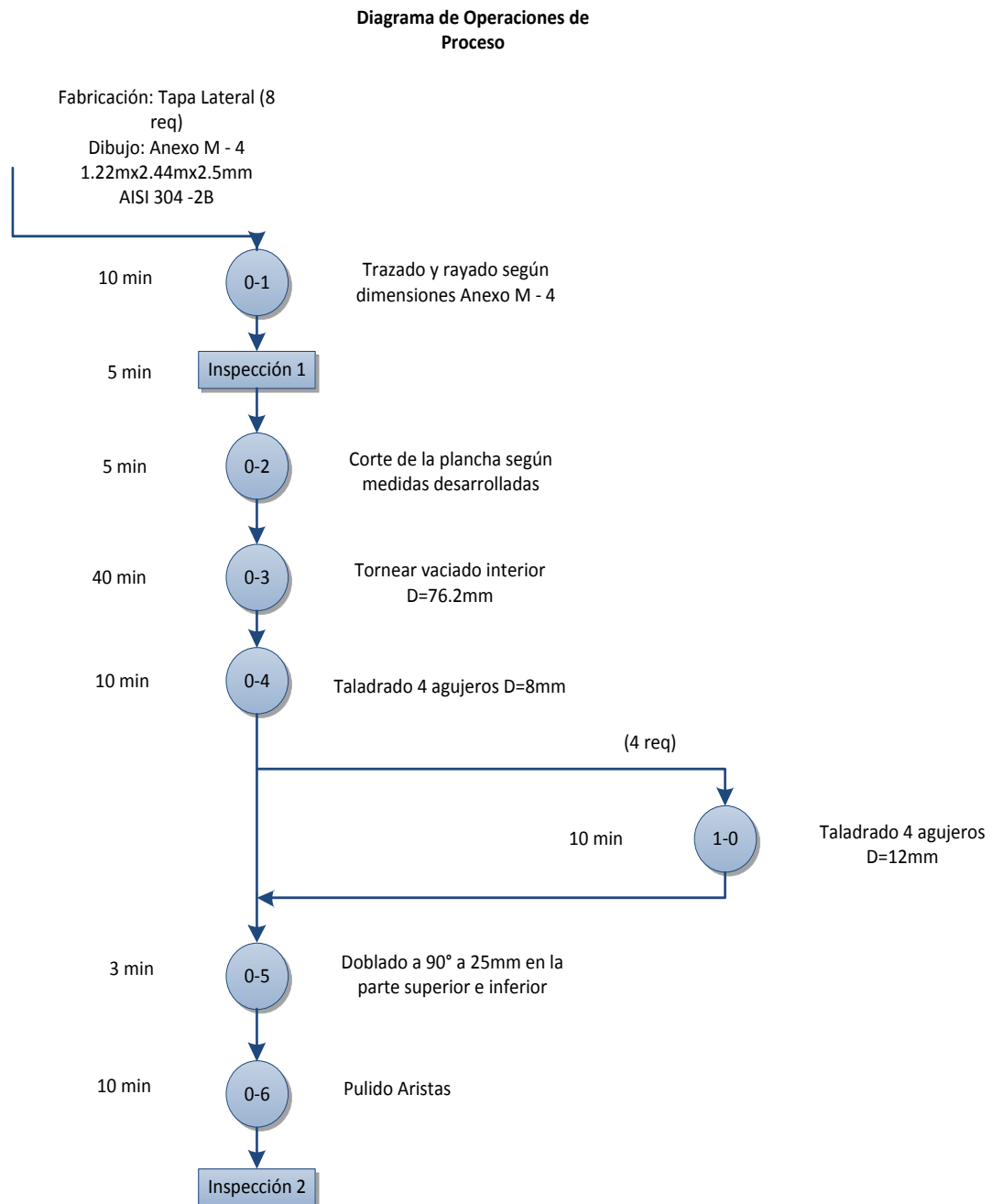


Figura 3.3. Diagrama de procesos para construcción de tapa lateral.

a.4. FABRICACIÓN DEL CANALÓN.

La fabricación del canalón se realiza tomando en cuenta las medidas detalladas en los planos mecánicos del Anexo M - 6.

Los procesos utilizados para su elaboración se presentan en el diagrama de la Figura 3.4.

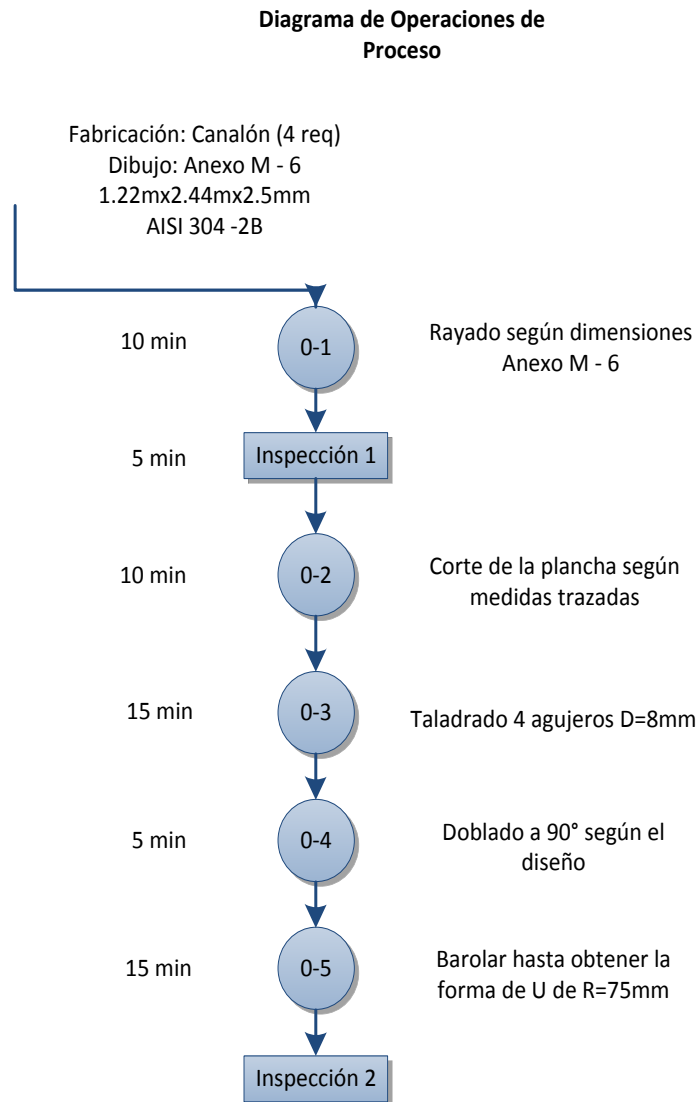


Figura 3.4. Diagrama de procesos para construcción del canalón.

a.5. SOPORTE EXTREMO.

Los soportes extremos de las tapas laterales se realizan tomando en consideración los planos detallados en el Anexo M - 10.

Los procesos utilizados para su elaboración se presentan en el diagrama de la Figura 3.5.

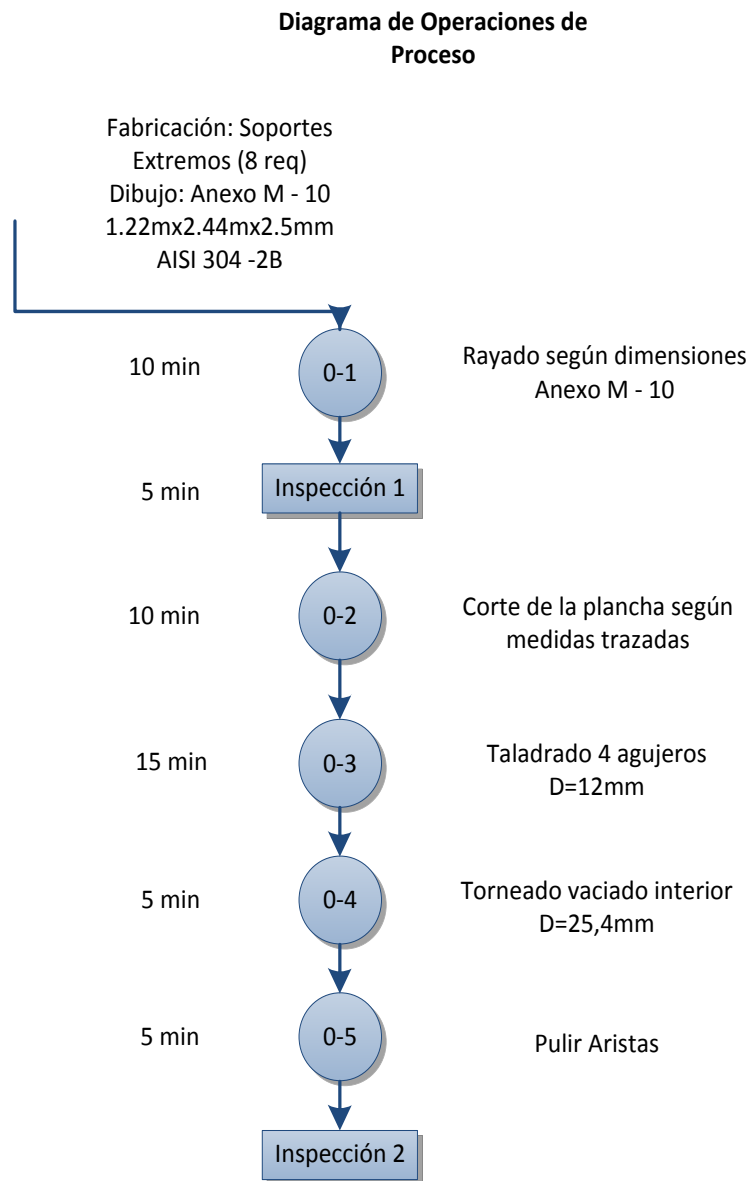
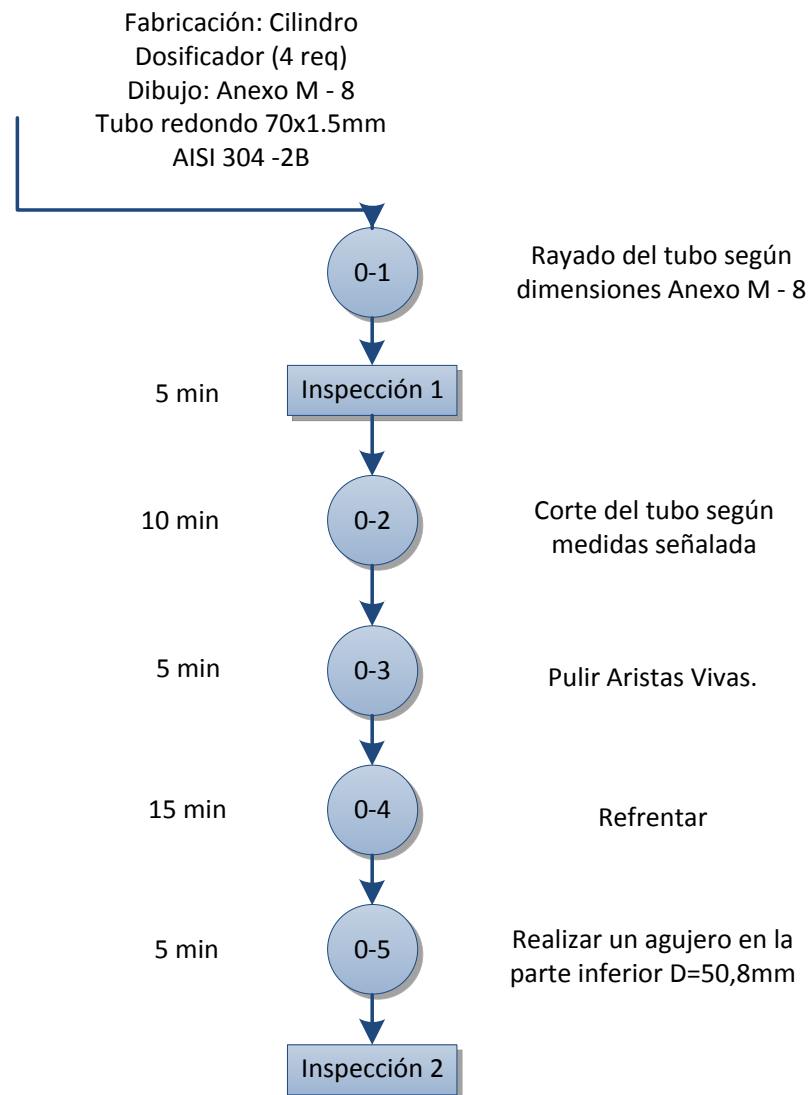


Figura 3.5. Diagrama de procesos para construcción de soportes extremos.

a.6. FABRICACIÓN DEL CILINDRO DOSIFICADOR EXTERIOR.

El cilindro dosificador exterior será construido utilizando tubo redondo de Acero Inoxidable AISI 304-2B. Se tomó en cuenta el plano que se detalla en el Anexo M - 8. Los procesos utilizados para su elaboración se presentan en el diagrama de la Figura 3.6.

Diagrama de Operaciones de Proceso



**Figura 3.6. Diagrama de procesos para construcción del Cilindro
Dosificador.**

a.7. FABRICACIÓN DEL TORNILLO SIN FIN.

El tornillo sin fin será construido utilizando tubo redondo de Acero Inoxidable AISI 304-2B con diámetro 1 ½" y espesor 2 mm. Las hélices del sin fin se construyen utilizando Acero Inoxidable AISI 304-2B de espesor 2.5 mm. Se tomó en cuenta el plano que se detalla en el Anexo M - 7. El procedimiento se describe en el diagrama de la Figura 3.7.

**Diagrama de Operaciones de
Proceso**

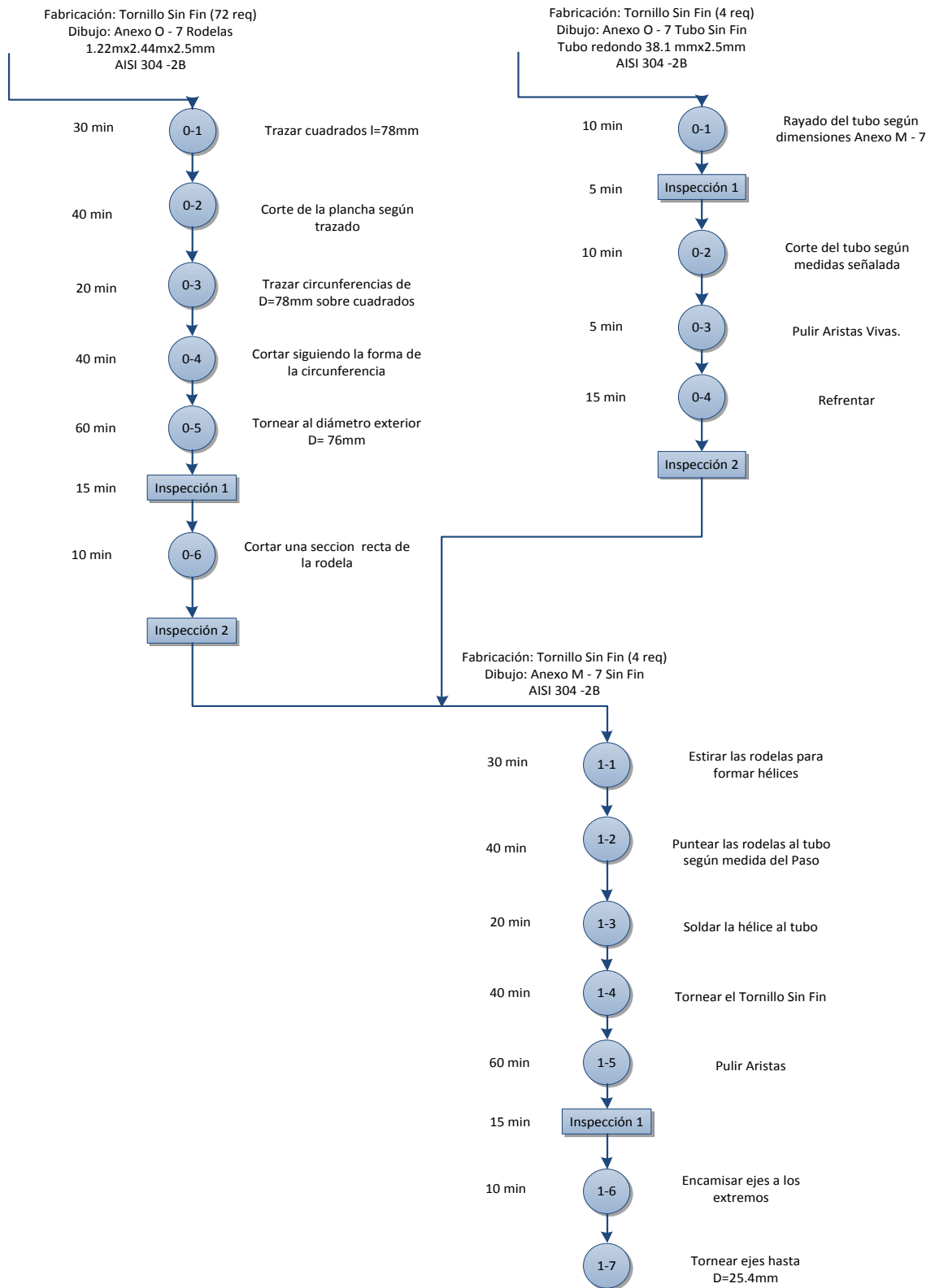


Figura 3.7. Diagrama de procesos para construcción del Tornillo Sin Fin.

a.8. FABRICACIÓN DE LA TOLVA DE RECEPCIÓN.

La tolva de recepción se realizará tomando en consideración los planos detallados en el Anexo M -16.

Los procesos utilizados para su elaboración se presentan en el diagrama de la Figura 3.8.

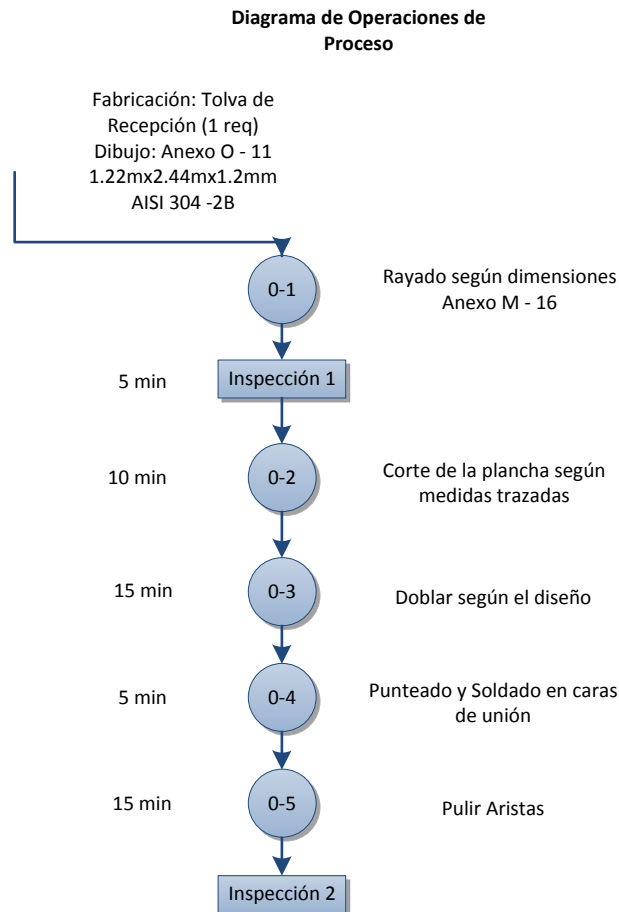


Figura 3.8. Diagrama de procesos para construcción de la tolva.

b. ENSAMBLAJE DE COMPONENTES.

Los componentes mecánicos (Anexo M - 23) construidos requieren de un ensamblaje para sostener juntas en dos o más partes. Para este caso en concreto, el método de sujeción implica el uso de sujetadores roscados como pernos, tornillos y tuercas que permiten tener una facilidad de ensamble y desensamble (Figura 3.9).

Es así que este tipo de ensamble será realizado con cierta facilidad, usando una mínima cantidad de herramientas especiales, permitiendo el mantenimiento gradual y reparaciones mediante desensambles periódicos, al contrario de las soldaduras.

Como sujetadores roscados se ha escogido utilizar pernos de cabeza hexagonal, rodela y tuercas elaboradas en Acero Inoxidable, que es el mismo material con que se ha construido el resto de piezas mecánicas, de esta manera se reduce al máximo el efecto de la corrosión galvánica que sería producida por la mezcla de distintos materiales metálicos en contacto directo.

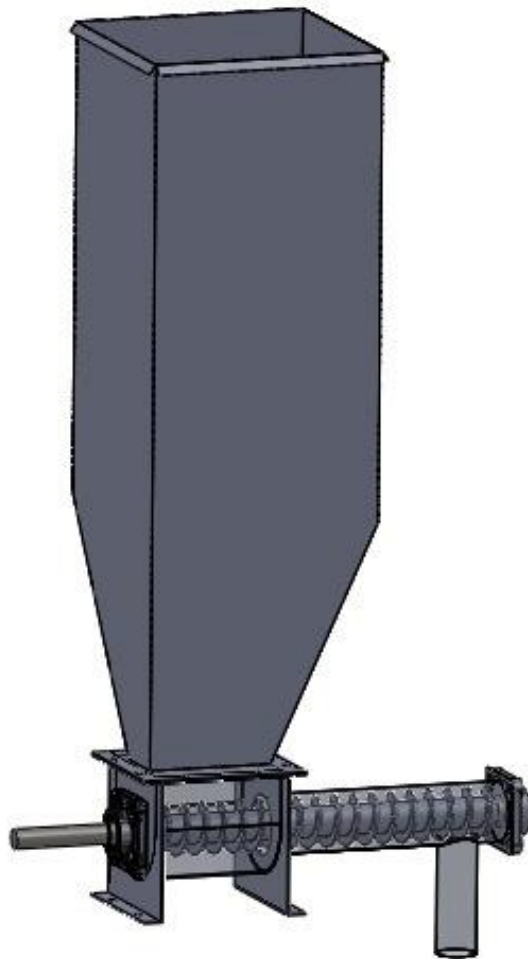


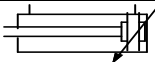

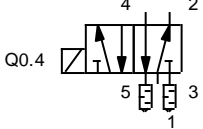
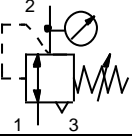

Figura 3.9. Ensamblaje del dosificador.

3.1.2. MONTAJE SISTEMA NEUMÁTICO.

Para el funcionamiento de la compuerta de descarga se ha utilizado un sistema neumático, la conexión de este se puede ver en la Figura 3.10 y los elementos utilizados se describen en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1.

Elementos del Sistema Neumático.

GRAFICO	DESCRIPCIÓN
	Cilindro de Doble Efecto
	Válvula estranguladora
	Válvula de 5/n vías
	Válvula reguladora de presión con manómetro
	Fuente de aire comprimido

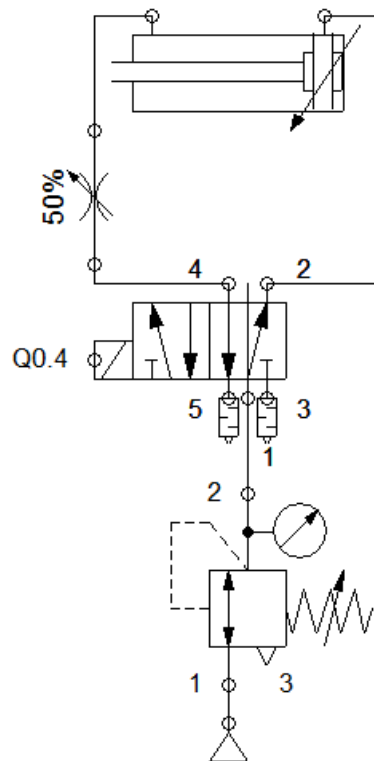


Figura 3.10. Diagrama Neumático.

3.1.3. MONTAJE ELÉCTRICO.

Para el desarrollo del sistema de dosificación, el cableado eléctrico cumple un papel muy importante, ya que con un buen trabajo se obtendrá los resultados esperados.

Se ha dividido en cuatro fases:

- Definir la alimentación principal y puesta a tierra.
- Cableado del tablero de control.
- Cableado de motores.
- Cableado de celdas de carga.

a. ALIMENTACIÓN PRINCIPAL Y PUESTA A TIERRA.

La alimentación principal del tablero control del sistema de dosificación y el sistema de puesta a tierra proviene del TABLERO DE ALIMENTACIÓN PRINCIPAL de la empresa.

b. TABLERO DE CONTROL.

En el montaje eléctrico es importante tomar algunas consideraciones generales para asegurar un óptimo funcionamiento de los componentes y evitar las perturbaciones que podrían ocasionarse mutuamente.

Entre ellos cabe destacar que los cables de alimentación y de señales deben tener un tendido correcto y una dimensión apropiada evitando las longitudes innecesarias.

De acuerdo a la Figura 3.11 se procedió al diseño de la ubicación de los elementos, partiendo de la distribución del PLC, variador de frecuencia, contactores, breakers y fusibles.

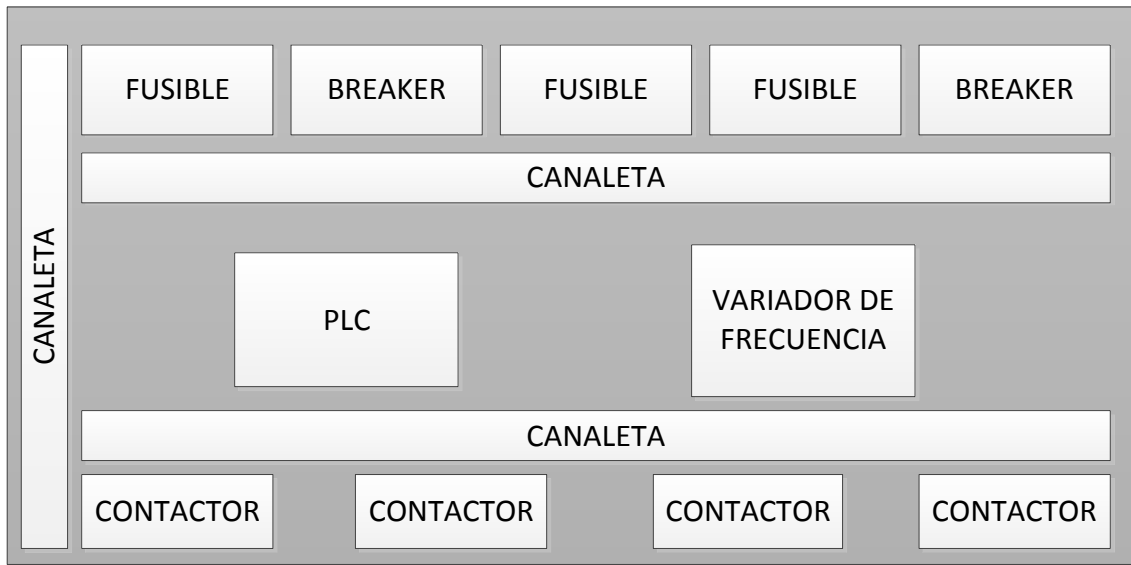


Figura 3.11. Distribución de Elementos en el Tablero de Control.

El montaje físico del PLC y del variador de frecuencia, se realizó de manera que quede espacio suficiente para la disipación de calor entre módulos. En la Figura 3.12 se puede apreciar el espacio libre necesario que se debe considerar al instalar un PLC SIEMENS S7-1200 y un variador SINAMICS G110.

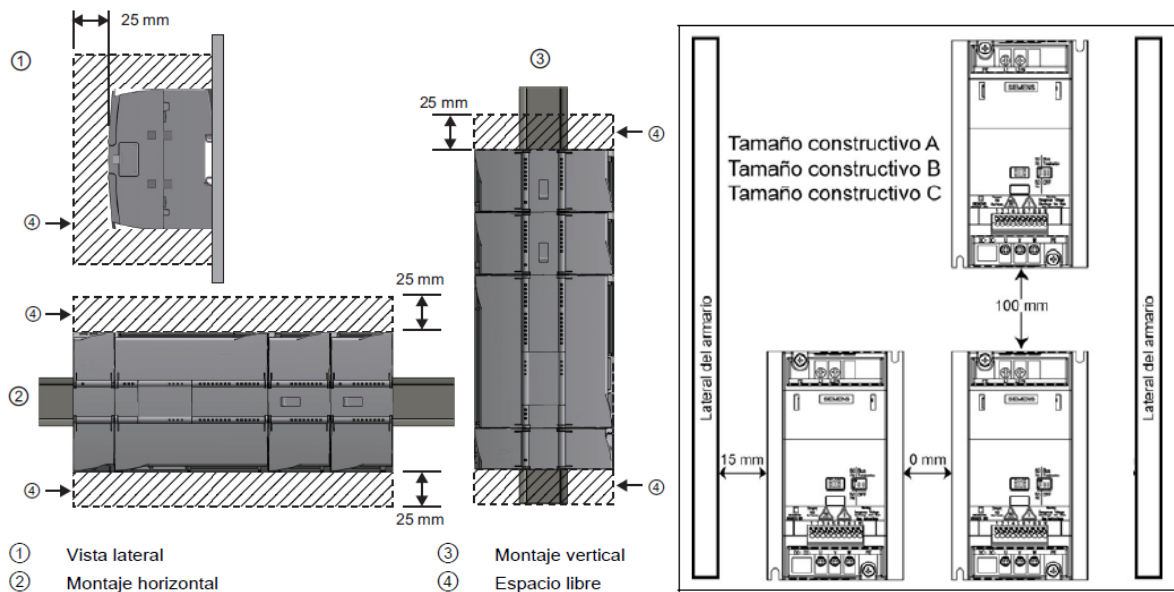


Figura 3.12. Sugerencia de instalación.

a) PLC SIEMENS S7-1200. b) Variador Sinamics G110.

FUENTE: Siemens (2012). Simatic.S7 Controlador Programable S7-1200. Manual de Sistema. Página 42. Alemania. [Documento]. Siemens (2012). Sinamic G110. Instrucciones de servicio resumidas. Página 4. Alemania. [Documento]

b.1. CONEXIONES INTERNAS.

En el proceso de conexión es importante tener una adecuada distribución de espacios, por eso se ubicó de manera ordenada canaletas y riel DIN para posteriormente ubicar los elementos. La distribución de todos los elementos se puede apreciar en la Figura 3.13.

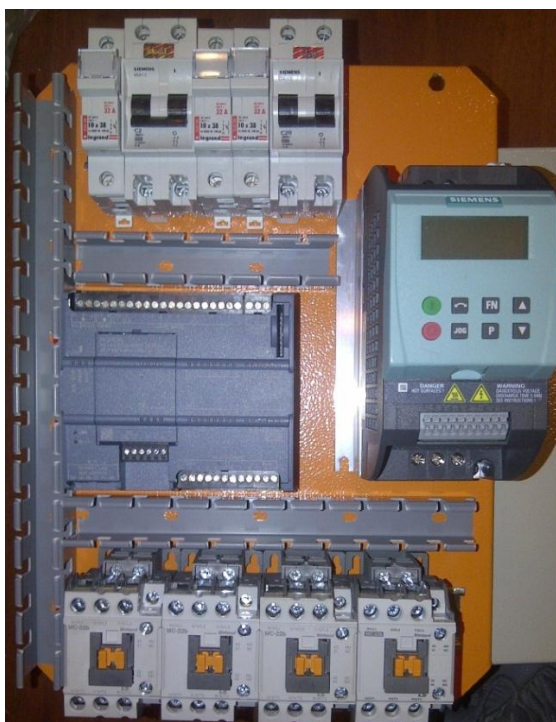


Figura 3.13. Distribución de Elementos.

La canaleta plástica ranurada ayuda a la distribución de los cables dentro del armario, a más de mejorar la estética del mismo. Las dimensiones de la canaleta utilizada es de 25x40 [mm]. El riel DIN permite la cómoda instalación de los componentes en el armario facilitando el remplazo de los mismo. Para este proyecto se utilizó riel DIN de 35[mm].

b.2. ELEMENTOS DE CONEXIÓN FÍSICA.

Para la alimentación de las bobinas de los contactores se utiliza cable Flexible TFF #18, así como para la conexión de entradas y salidas digitales del PLC. Para la señal analógica se maneja cable Flexible TFF #18 blindado.

El plano de conexiones del tablero de control se muestra en el Anexo N-1.

c. CABLEADO DE MOTORES.

Para la conexión de los motores se debe considerar que este elemento maneja niveles altos de voltaje y corriente. En cuanto a la conexión de los motores con los contactores se utilizó el cable Flexible TFF #16, teniendo en cuenta que cada motor tendrá un contactor.

El plano de conexiones del tablero de potencia se muestra en el Anexo N-2.

d. CABLEADO DE CELDA DE CARGA.

La celda de carga estará ubicada en el centro de la tolva de recepción donde llegarán los micronutrientes a ser pesados.

Para la conexión de las celdas de carga se debe tomar en cuenta los colores de los diferentes cables (Tabla 3.1) que identifican la excitación, la señal y la tierra del sensor.

Tabla 3.2.

Identificación de los colores del cable de la Celda de Carga.

Función Celda de Carga	Código de Color
+ Excitación	Rojo
- Excitación	Negro
+ Señal	Verde
- Señal	Blanco

La celda de carga estará conectada a un indicador por lo que se requiere realizar la conexión entre ambas, en la Tabla 3.3 se muestra los colores de los cables del indicador:

Tabla 3.3.

Identificación de los colores del cable del Indicador.

Función Indicador	Código de Color
+ Excitación	Rojo
- Excitación	Negro
+ Señal	Azul
- Señal	Verde

Como se muestra en la Figura 3.14 para realizar la conexión entre la celda de carga y el indicador se debe empalmar los cables de excitación (E+, E-), al igual que los de la señal (S+, S-).

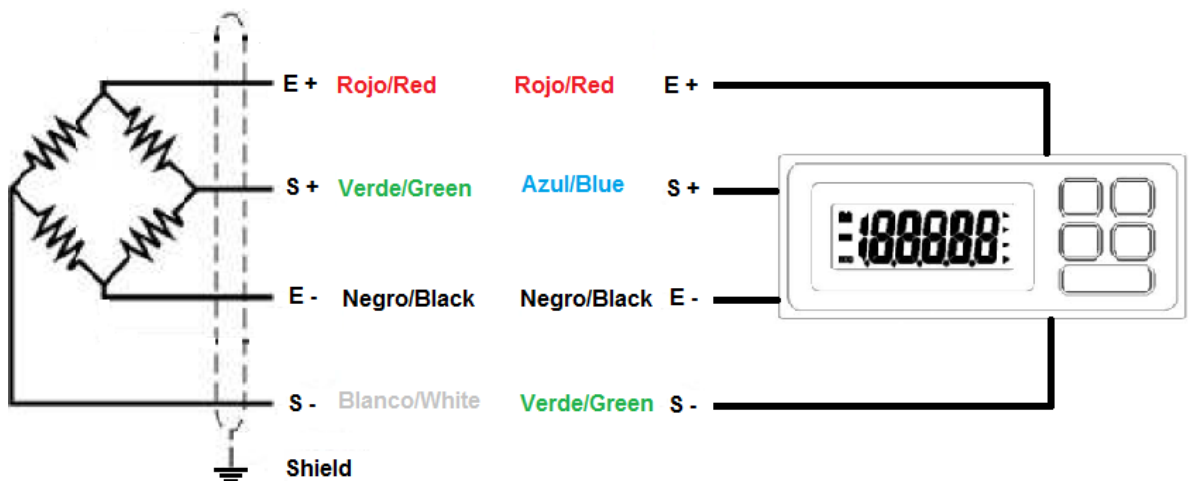


Figura 3.14. Conexión Celda de Carga – Indicador.

3.1.4. IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE.

Con el desarrollo de la tecnología la industria se ha visto la necesidad de facilitar la comunicación entre el operador y/o usuario con la máquina y/o sistema que se encuentra en funcionamiento. Por esta razón se desarrolla un HMI a través de una PC para que el operador pueda ingresar los parámetros necesarios con los cuales el sistema pueda realizar el proceso de dosificación de micro nutrientes. Además en la misma pueda visualizar información como el pesaje del producto en tiempo real. Para la creación del HMI se utilizará un software de programación

llamado Win CC. La programación del PLC se realizará utilizando el software TIA PORTAL. Toda la implementación del software se detalla a continuación.

a. PROGRAMACIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA.

El variador de velocidad usado para accionar el motor del tornillo sin fin servirá para controlar la velocidad de dosificación de los micronutrientes. Será programado con la puesta en servicio rápido y se ajustaran los parámetros necesarios utilizando el panel de operación básica (BOP).

En la Tabla 3.4 se muestra los parámetros implementados en la programación del SINAMIC G110 de manera que su control se pueda realizar desde el PLC.

Para modificar los parámetros se debe poner a P0010 en 1.

Tabla 3.4.

Parámetros de Configuración del Sinamics G110.

PARÁMETRO	VALOR	FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
r0000		Visualizador accionamiento	
P0003	1	Nivel de acceso de usuario	Estándar
P0010	0	Filtro de parámetros para puesta de servicio	Preparado
P0100	2	Potencia expresada en KW o HP.	Norte América [kW], 60 Hz
P0304	220 _V	Tensión nominal del motor	
P0305	1.9 _A	Corriente nominal del motor	
P0307	0.37 _{kW}	Potencia nominal del motor	
P0310	60 _{Hz}	Frecuencia nominal del motor	
P0311	1590	Velocidad nominal del motor	
P0700	2	Selección fuente de ordenes	Terminal
P0970	0	Reposición a valores de fábrica	Deshabilitado
P1000	2	Selección consigna de frecuencia	Consigna ADC
P1080	1.00	Frecuencia mínima	

P1082	60.00	Frecuencia máxima	
P1120	5	Tiempo de aceleración	
P1121	2	Tiempo de desaceleración	
P3900	0	Fin de la puesta en servicio rápido	Sin cálculo del motor ni reajuste de fábrica.

Para finalizar la configuración se debe volver a cambiar el P0010 a 0.

b. CALIBRACIÓN DEL INDICADOR.

Como el indicador estará conectado a la celda de carga, este requiere ser calibrado por lo que se realizarán los siguientes pasos:

1. Mantenga presionado en el indicador la tecla **ZERO**, luego presione la tecla **ON/OFF**, la pantalla mostrará **CAPU=**, presione la tecla **UNIT** y seleccione la unidad de medida Kg o lb, presione **HOLD** para confirmar la selección.
2. Presione nuevamente la tecla **HOLD** para entrar al siguiente menú, la pantalla mostrara **CAP**, presione la tecla **UNIT** para seleccionar la capacidad máxima, presione la tecla **UNIT** para mover el dígito parpadeante hacia la derecha, presione la tecla **ZERO** para incrementar el dígito parpadeante presione la tecla **HOLD** para confirmar la selección.
3. Presione nuevamente la tecla **HOLD** para entrar al siguiente menú, la pantalla mostrará **CALU=**, presione la tecla **UNIT** para seleccionar la unidad de calibración Kg o Lb, presione la tecla **HOLD** para confirmar la selección.
4. Presione nuevamente la tecla **HOLD** para entrar al siguiente menú, la pantalla mostrará **CAL**, presione la tecla **UNIT** para seleccionar el peso de calibración, presione la tecla **UNIT** mover el dígito parpadeante hacia la derecha, presione la tecla **ZERO** para incrementar el dígito parpadeante, presione la tecla **HOLD** para confirmar la selección.(El peso de calibración debería ser mayor a 2/3 de la capacidad máxima)

5. Presione nuevamente la tecla **HOLD** para entrar al siguiente menú, la pantalla mostrará **DIV**, presione la tecla **UNIT** para seleccionar la división, presione la tecla **HOLD** para confirmar la selección.
6. Presione nuevamente la tecla **HOLD** para entrar al siguiente menú, la pantalla mostrará **Adb**, presione la tecla **UNIT** para seleccionar (19, 20), presione la tecla **HOLD** para confirmar la selección.

Ahora comenzará la calibración con los siguientes pasos:

Presione la tecla **PRINT**, la pantalla mostrará **CAL**, después el valor de **AD**, presione la tecla **UNIT** cuando las luz del indicador sea estable, la pantalla mostrará el peso de calibración de manera parpadeante, coloque el peso mostrado en la báscula, presiones la tecla **UNIT** cuando la luz del indicador se encuentre estable, la pantalla mostrará -----, y después el valor de **AD**. Apague la balanza, la calibración ha terminado.

Encienda la balanza, coloque el peso de calibración para verificar si es correcto sino repita el proceso. Los parámetros utilizados para la calibración en nuestro proyecto se indican en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5.

Parámetros de Calibración para el Indicador de Peso.

Capacidad máxima	30 Kg
Peso de calibración	22 Kg
Valor de AD	39960

c. BLOQUES DE PROGRAMACIÓN DEL PLC.

A continuación en la Figura 3.15 se muestra el diagrama de flujo del funcionamiento del sistema:

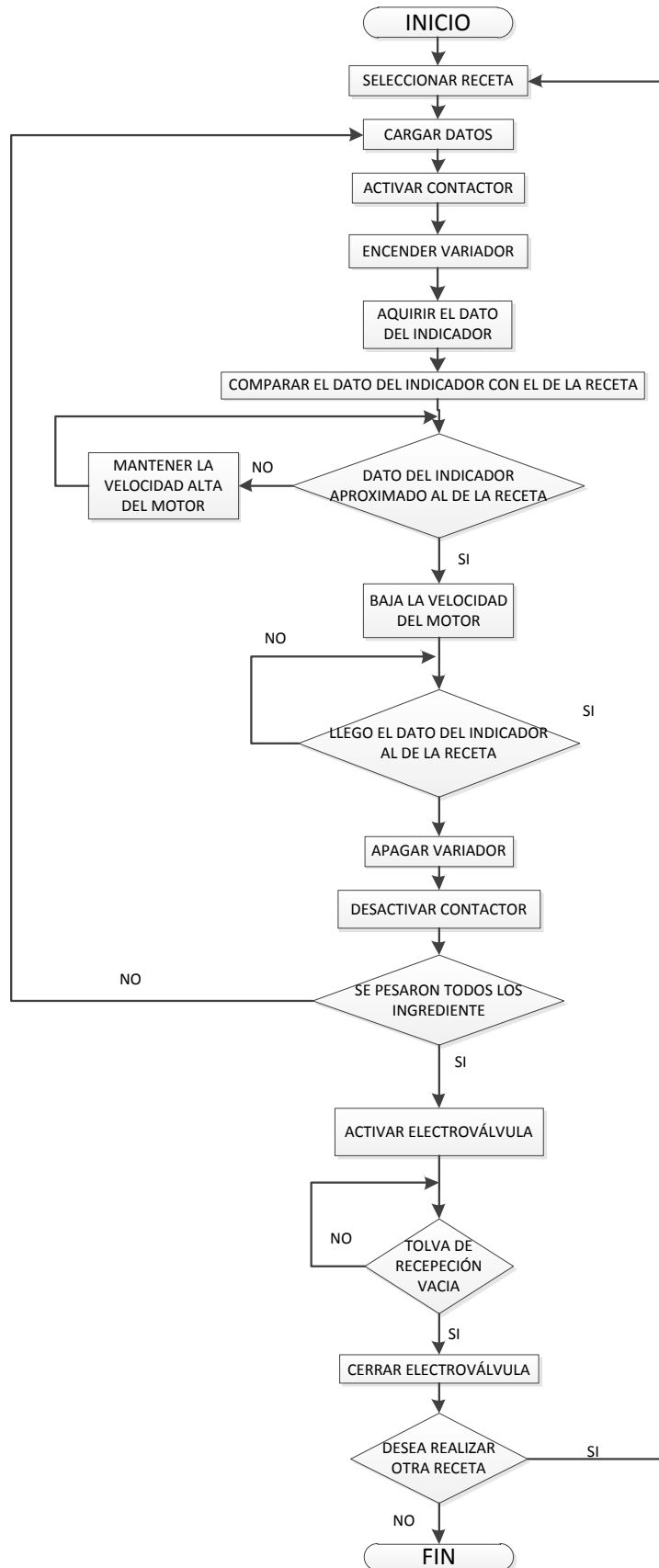


Figura 3.15. Diagrama de Funcionamiento del Sistema Dosificación.

El proceso comienza seleccionando una receta, al realizar esta acción se cargarán los datos, es decir las cantidades que se desean dosificar, activando el contactor y el variador, el motor arranca con velocidad alta.

Se hace una comparación entre el valor deseado y el valor que está siendo pesado, en el momento que este se aproxima al de la receta se disminuye la velocidad del motor. Cuando se llega al valor deseado se apaga el variador y el contactor, finalizando la dosificación de ese ingrediente.

Este proceso se repite para la dosificación de los 4 ingredientes, al terminar se puede activar una electroválvula la cual permite abrir la compuerta de descarga de la tolva de recepción, una vez que esta se vacía por completo la compuerta se debe cerrar.

La programación del PLC ejecuta una función cíclica OB1 llamada MAIN, la cual hace el llamado a la función FB "Dosificar" posteriormente ejecuta la función de control FC "Comparar_Peso" y de manera única también procesa FC "Operaciones_Matematicas".

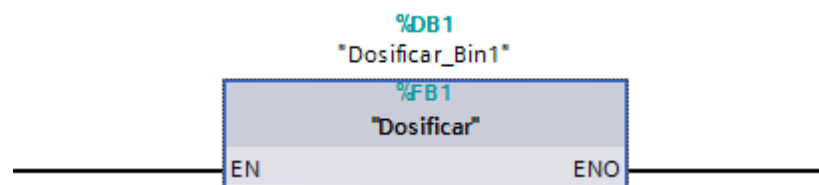


Figura 3.16. Función FB "Dosificar"

El proceso FB "Dosificar" (Figura 3.16) permite arrancar el motor mediante el variador, utilizando las funciones SET y RESET se activa y desactiva a cada uno de estos elementos. Además cuando se detiene el variador pasan aproximadamente dos segundos para detener al motor por medio de la desactivación el contactor. Otra de las funciones importantes de este bloque de función es el de mostrar el valor pesado de cada ingrediente una vez terminada la

dosificación individual. Finalmente dentro de este FB se hace el llamado a la función de control “Comparar_Peso”.

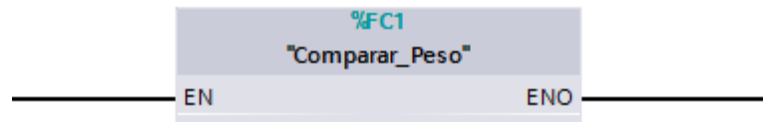


Figura 3.17. Función FC “Comparar Peso”

La función de control FC “Comparar_Peso” indicada en la Figura 3.17 se encarga del control de la velocidad del dosificador. Esta mantendrá la velocidad alta cuando el peso dosificado este dentro del rango de 0 a 80% del peso requerido, cuando sobrepase este valor la velocidad del motor disminuirá, a la espera de llegar al peso deseado momento en el cual el motor se detendrá. Dentro del FC “Comparar Peso” se llama a una nueva función de control FC “Operaciones Matemáticas”.



Figura 3.18. Función FC “Operaciones Matemáticas”

La función FC “Operaciones_Matematicas” (Figura 3.18) se ejecutará una única vez con el arranque del sistema de dosificación y servirá para realizar diferentes cálculos matemáticos los cuales entregan al sistema información para realizar su proceso como el valor de error máximo permitido, los pesos aproximados hasta los cuales se debe mantener las diferentes velocidades.

El programa además cuenta con el FB “Mode Manual” (Figura 3.19) que se encarga de controlar la operación individual de cada uno de los elementos (motores, variador, electroválvula) que componen el sistema. Este bloque de función se activa únicamente cuando se ha seleccionado el modo manual.

%DB8
"Mode_Manual_
DB"



Figura 3.19. Función FB “Modo Manual”.

El FC “HMI Recursos” (Figura 3.20) permite la dinamización de los gráficos en el HMI, mediante el uso de variables para su control.

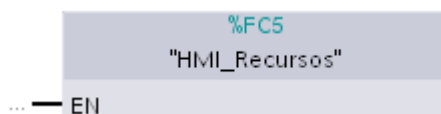


Figura 3.20. Función FC “HMI Recursos”.

El FC “Compuerta” (Figura 3.21) esta encargado de la habilitación del uso de la compuerta en dos casos: En modo Manual en cualquier momento y en modo Automático unicamente cuando el proceso de dosificación haya concluido.

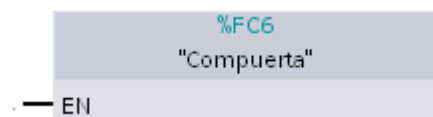


Figura 3.21. Función FC “Compuerta”.

Finalmente el FC “Emergency Stop” (Figura 3.22) deshabilita todos y cada uno de los componentes del sistema cuando un paro de emergencia ha sido detectado en el sistema. Al habilitarse esta función el PLC pasa al estado operativo STOP, por lo cual para continuar con el uso del sistema de dosificación se deberá colocar nuevamente al PLC al estado operacional RUN.

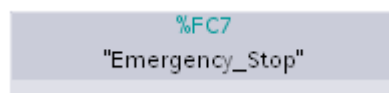


Figura 3.22. Función FC “Emergency Stop”.

Los bloques de programación de manera detallada se encuentran en el Anexo O.

d. FUNCIONAMIENTO DEL HMI.

La interfaz entre usuario y sistema sirve para que el operador pueda darle instrucciones a la máquina, la información acerca del funcionamiento de las distintas pantallas se encuentran en el Anexo P (Manual Usuario).

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1. PRUEBAS Y RESULTADOS.

4.1.1. PRUEBAS A LAS CONEXIONES ELÉCTRICAS.

Luego que el tablero eléctrico (Figura 4.1) se colocó en el lugar más adecuado en la máquina se procedió a conectar los cables de alimentación, se realizaron las siguientes pruebas en la instalación:

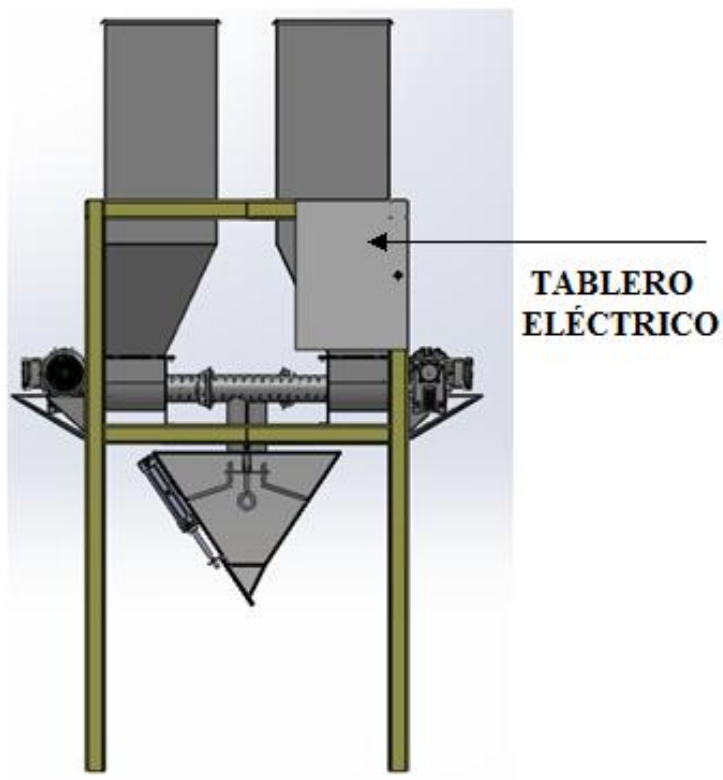


Figura 4.1. Tablero de control de la Dosificadora.

Utilizando el multímetro se selecciona la función continuidad y con la ayuda de los planos eléctricos de la dosificadora (Anexo P-1) se procede a revisar la interconexión de los elementos, se verifica que el cableado se haya realizado según los diagramas.

Una vez alimentado el tablero eléctrico se comprueba con el multímetro el voltaje presente (Figura 4.2).

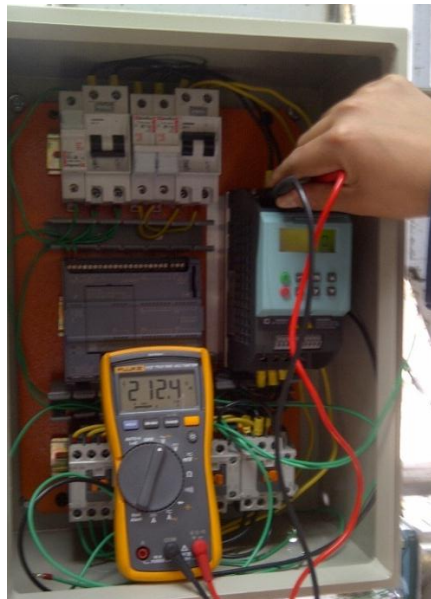


Figura 4.2. Medición de Voltajes

El dato medido está dentro del valor permisible que es de 220 V.

4.1.2. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PLC.

Comprobada la correcta instalación y con la seguridad de que no se presenten cortocircuitos y que dañen los componentes, se enciende la alimentación principal del PLC, verificando su arranque (Figura 4.3).



Figura 4.3. Encendido del PLC.

Los posibles estados de funcionamiento del PLC se muestran en la Figura 4.4.

	RUN
	STOP
	ARRANQUE
	PARADA
	AVERIA

Figura 4.4. Posibles estados del PLC.

Al conectar la PC con el PLC se establece comunicación, pero pueden existir algunos errores (Figura 4.5) que se mostraran en el software TIA PORTAL.












Símbolo	Significado
	Se está estableciendo una conexión con una CPU.
	La CPU ya no es accesible en la dirección ajustada.
	La CPU configurada y la realmente existente no son compatibles debido al tipo.
	Mantenimiento necesario
	Mantenimiento solicitado
	Error
	Desactivados (válido para esclavos)
	No es posible acceder al módulo o dispositivo desde la CPU
	No hay datos de diagnóstico disponibles
	El módulo configurado y el módulo existente son incompatibles
	Se está determinando el estado del módulo.

Figura 4.5. Fallos en la comunicación PC y PLC.

Cuando la conexión con el PLC es exitosa se mostrará un símbolo en el software como el de la Figura 4.6.



Figura 4.6. Comunicación PC y PLC.

Los bloques de programa del PLC pueden mostrar diferentes estados como se indica en la Figura 4.7. Estos estados hacen referencia a la relación existente entre los objetos presentes en el software y existentes en el PLC.







Símbolo	Significado
	La carpeta contiene objetos con versiones online y offline diferentes.
	La versión online del objeto es distinta de la offline.
	El objeto sólo existe online.
	El objeto sólo existe offline.
	No hay fallos. La carpeta contiene objetos con versiones online y offline diferentes.
	No es posible acceder al módulo o dispositivo desde la CPU (válido para módulos y dispositivos que están por debajo de una CPU). El objeto sólo existe offline.

Figura 4.7. Posibles estados de un programa en el TIA PORTAL.

4.1.3. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL HMI.

Se evidenció el funcionamiento de la interfaz HMI en los modos de operación MANUAL y AUTOMÁTICO. Se comprobó la no pérdida de información a través de la comunicación HMI-Computador. Para verificar el arranque y detección del sistema de errores en la comunicación se activó y canceló repetidamente el proceso varias veces.

4.1.4. PRUEBAS A LA CELDA DE CARGA.

a. SEÑAL DE SALIDA EN CERO.

La señal de salida en cero, es la señal obtenida con el peso de la tolva aplicada a la celda de carga. Los pasos que se efectuaron para realizar esta prueba son:
Se alimenta la celda de carga con el voltaje proporcionado por el indicador que es de 5 V.

Se mide la señal de salida de la celda de carga con la ayuda de un multímetro. La señal de salida en cero obtenida en la prueba de la celda de carga fue de 2.8 mV como se muestra en la Figura 4.8.

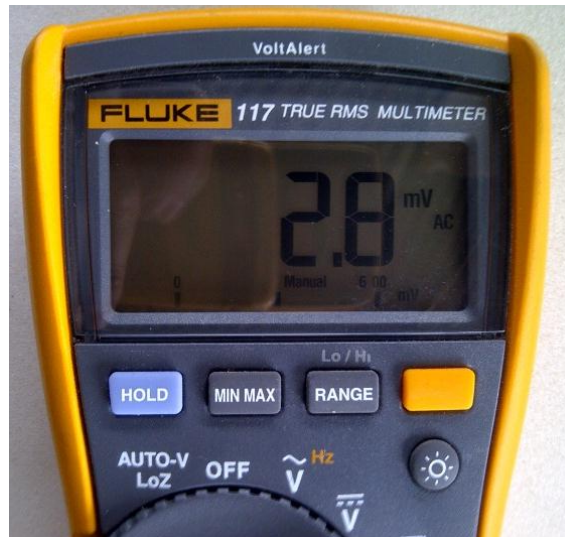


Figura 4.8. Señal de salida en cero.

b. REPETIBILIDAD.

La celda de carga de tipo S nos da como dato que tiene un error de repetibilidad de 0.01% Fs. Los que se efectúan para realizar esta prueba es:

Se aplicó el mismo peso en la tolva de recepción común varias veces para comprobar este valor. Estas lecturas se mostraran en la sección 4.1.6 PRUEBAS DE DOSIFICACIÓN.

4.1.5. PRUEBAS DEL INDICADOR.

Como el indicador fue calibrado se procede a comprobar si esto proceso fue correcto, empezando por colocar una masa en una balanza como muestra la Figura 4.9.



Figura 4.9. Masa en la balanza.

Luego se coloca en la tolva de recepción y se comprueba que la calibración fue correcta ya que el valor que muestra el indicador es el mismo de la balanza (Figura 4.10).



Figura 4.10. Masa en la tolva de recepción.

4.1.6. PRUEBAS DE DOSIFICACIÓN.

Las pruebas de dosificación servirán para comprobar la efectividad y eficiencia del sistema construido.

Se ha escogido 3 recetas para las pruebas, las cuales tendrán diferentes proporciones de micronutrientes (Tabla 4.1).

Tabla 4.1.

Recetas.

Recetas	Ingrediente 1	Ingrediente 2	Ingrediente 3	Ingrediente 4
Aves	800	2300	1200	2700
Porcinos	1800	1400	2200	1600
Bovinos	1500	2000	1000	2500

Para las pruebas se realizarán los siguientes pasos:

Se introducirán los micronutrientes en cada uno de los bins, por separado y en sus respectivas proporciones dependiendo de la receta. Se encenderá la máquina y se tomarán tres muestras de peso de cada ingrediente. Y se calculará el promedio, el grado de desviación estándar y el error de los diferentes ingredientes (Tabla 4.2, Tabla 4.3, Tabla 4.4).

Tabla 4.2.

Pruebas de Dosificación para Receta de Aves.

Número de muestras	AVES			
	I1	I2	I3	I4
1	795,00	2296,00	1208,00	2696,00
2	795,00	2295,00	1208,00	2698,00
3	800,00	2303,00	1201,00	2698,00
PROMEDIO	796,67	2298,00	1205,67	2697,33
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	2,36	3,56	3,30	0,94
% ERROR	0,29	0,15	0,27	0,03

La Figura 4.11 muestra el comportamiento para la dosificación del Ingrediente 1, teniendo como resultado una desviación estándar de 2.36 lo que implica que el peso está en 800 ± 2.36 y representando un error de 0.29%.

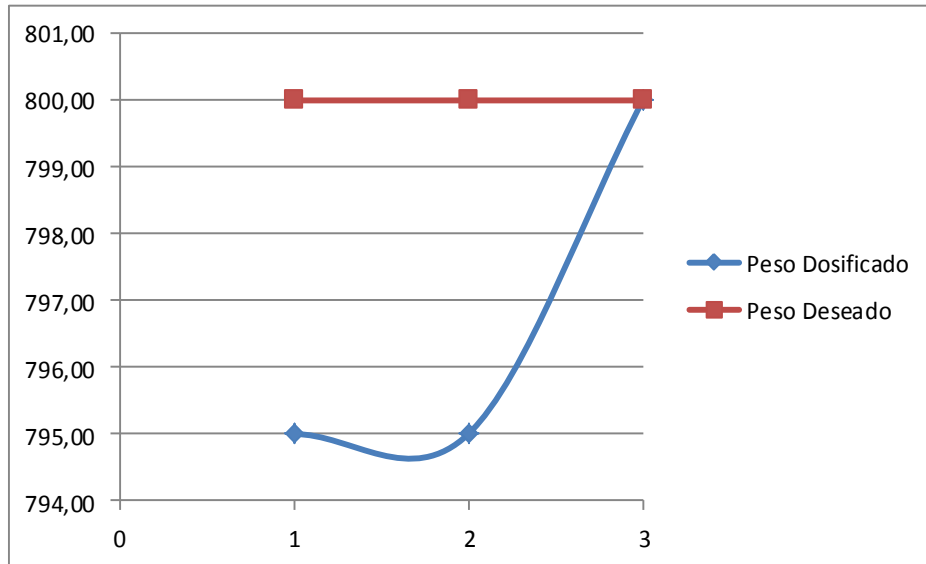


Figura 4.11. Peso dosificado por cada muestra realizada para el I1.

La Figura 4.12 muestra el comportamiento para la dosificación del Ingrediente 2, teniendo como resultado una desviación estándar de 3.56 lo que implica que el peso está en 2300 ± 3.56 y representando un error de 0.15%.

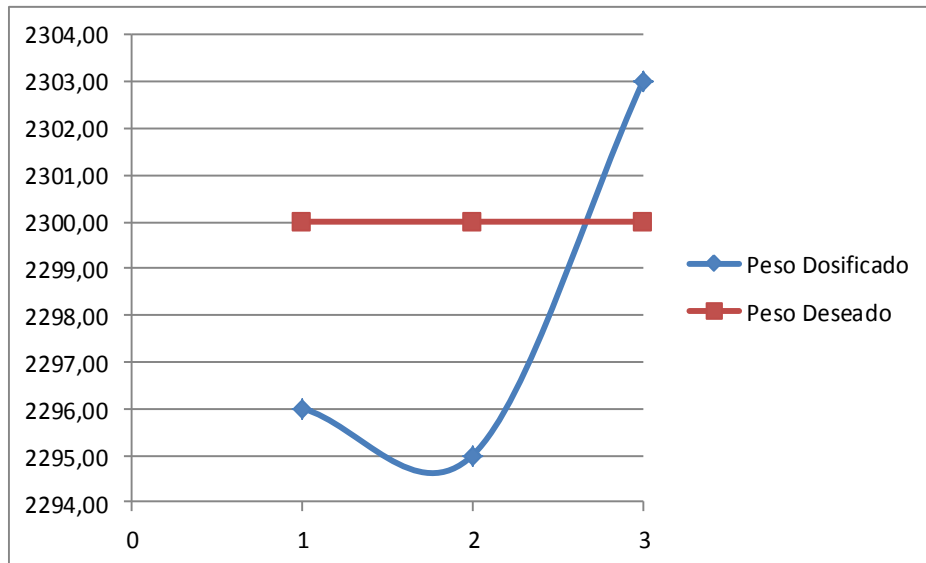


Figura 4.12. Peso dosificado cada muestra realizada para el I2.

La Figura 4.13 muestra el comportamiento para la dosificación del Ingrediente 3, teniendo como resultado una desviación estándar de 3.30 lo que implica que el peso está en 1200 ± 3.30 y representando un error de 0.27%.

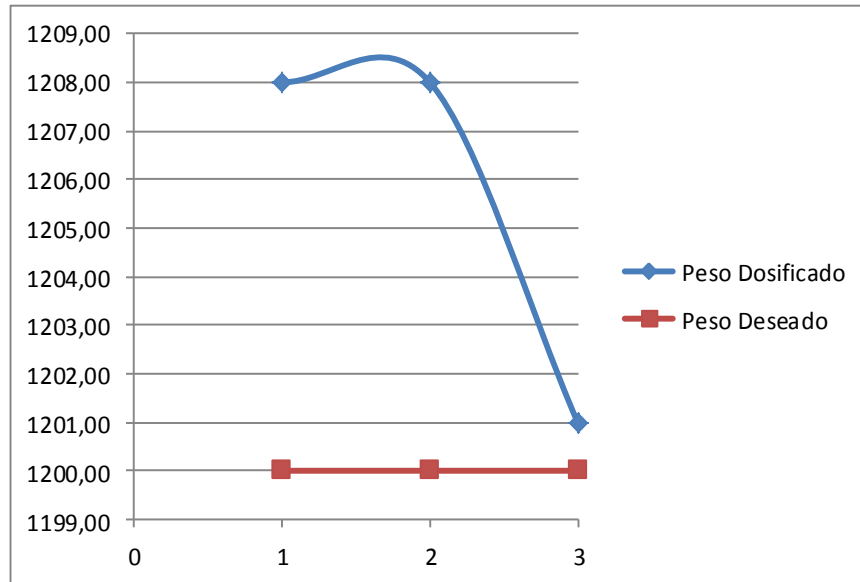


Figura 4.13. Peso dosificado cada muestra realizada para el I3.

La Figura 4.14 muestra el comportamiento para la dosificación del Ingrediente 4, teniendo como resultado una desviación estándar de 0.94 lo que implica que el peso está en 2700 ± 0.94 y representando un error de 0.03%.

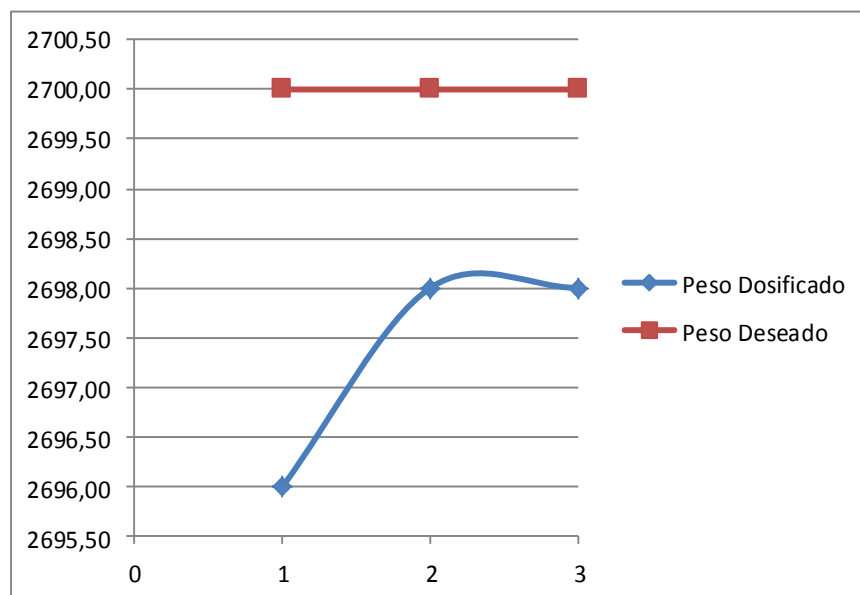


Figura 4.14. Peso dosificado cada muestra realizada para el I4.

Tabla 4.3.

Pruebas de Dosificación para Receta de Porcinos.

Número de muestras	PORCINOS			
	I1	I2	I3	I4
1	1805,00	1393,00	2206,00	1602,00
2	1797,00	1402,00	2198,00	1603,00
3	1799,00	1404,00	2203,00	1595,00
PROMEDIO	1800,33	1399,67	2202,33	1600,00
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	3,40	4,78	3,30	3,56
% ERROR	0,19	0,34	0,15	0,22

La Figura 4.15 muestra el comportamiento para la dosificación del Ingrediente 1, teniendo como resultado una desviación estándar de 3.40 lo que implica que el peso está en 1800 ± 3.40 y representando un error de 0.19%.

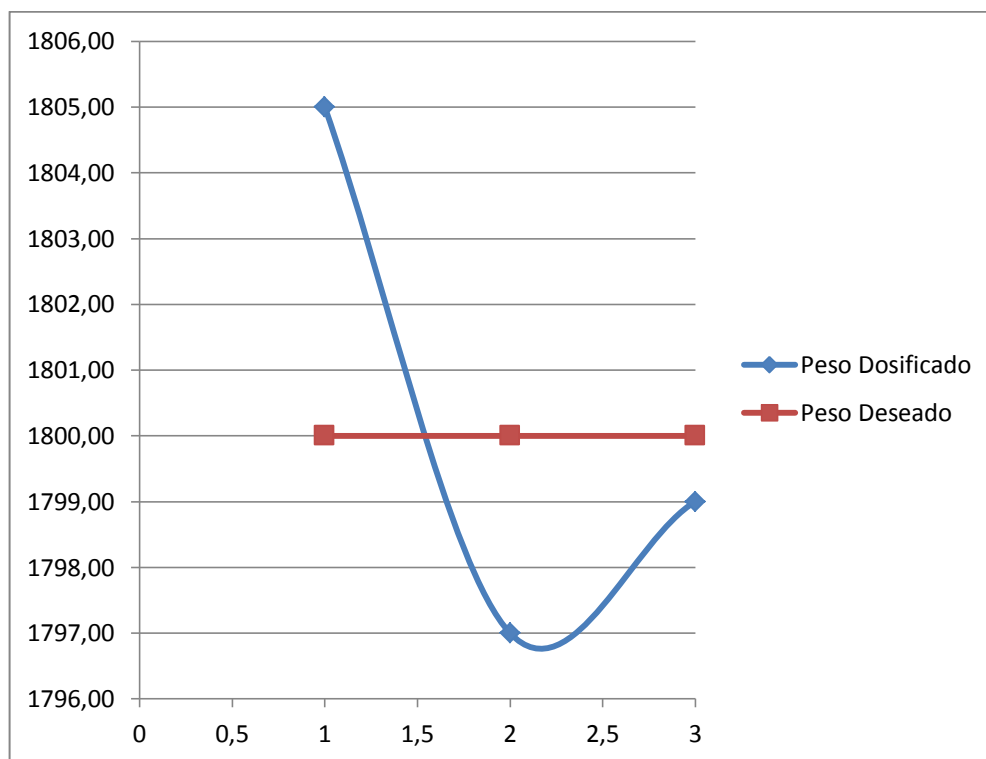


Figura 4.15. Peso dosificado cada muestra realizada para el I1.

La Figura 4.16 muestra el comportamiento para la dosificación del Ingrediente 2, teniendo como resultado una desviación estándar de 4.78 lo que implica que el peso está en 1400 ± 4.78 y representando un error de 0.34%.

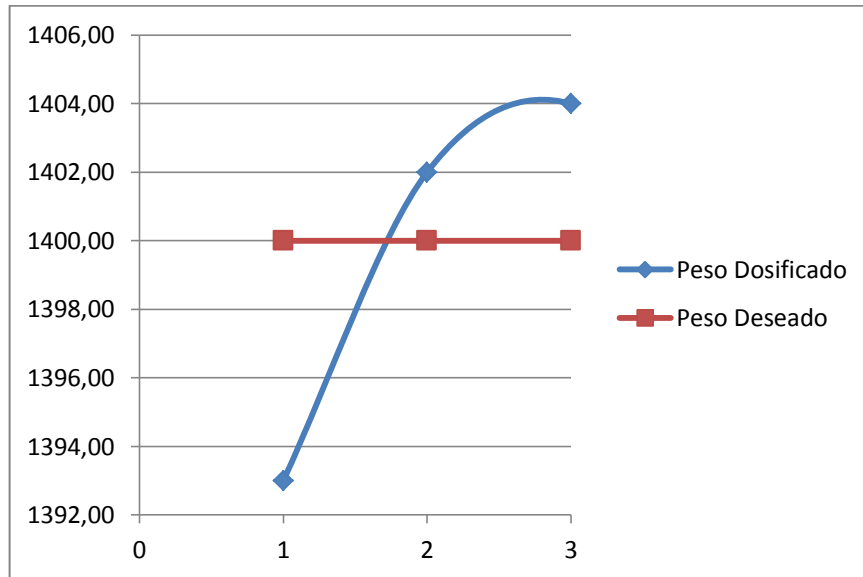


Figura 4.16. Peso dosificado cada muestra realizada para el I2.

La Figura 4.17 muestra el comportamiento para la dosificación del Ingrediente 3, teniendo como resultado una desviación estándar de 3.30 lo que implica que el peso está en 2200 ± 3.30 y representando un error de 0.15%.

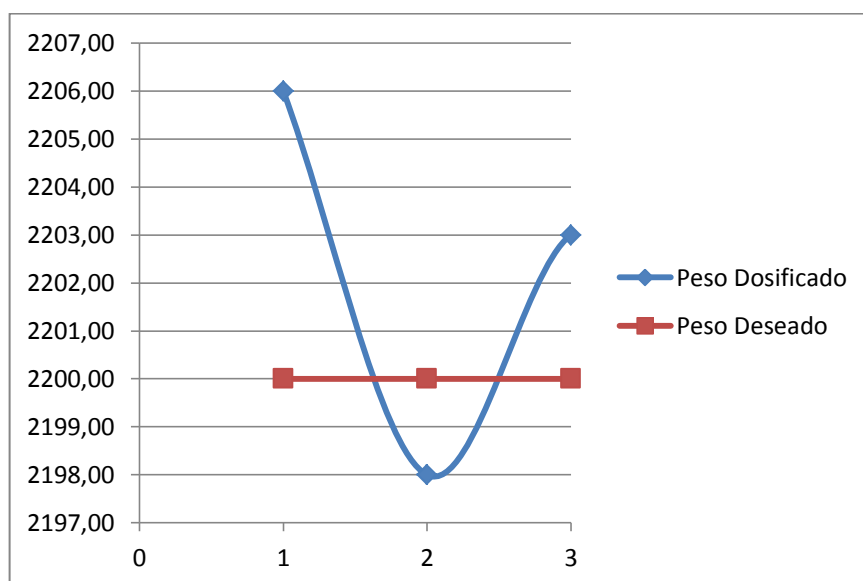


Figura 4.17. Peso dosificado cada muestra realizada para el I3.

La Figura 4.18 muestra el comportamiento para la dosificación del Ingrediente 4, teniendo como resultado una desviación estándar de 3.56 lo que implica que el peso está en 1600 ± 3.56 y representando un error de 0.22%.

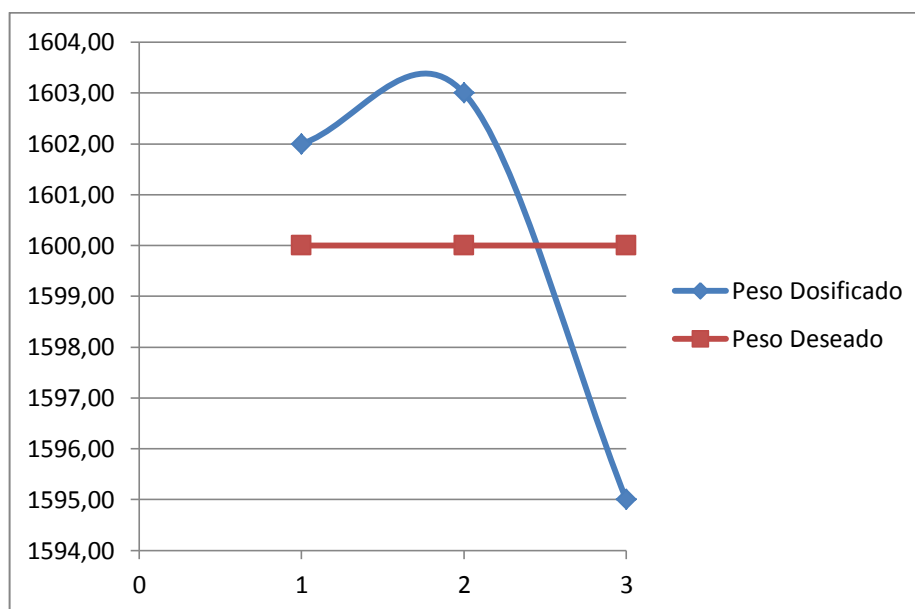


Figura 4.18. Peso dosificado cada muestra realizada para el I4.

Tabla 4.4.

Pruebas de Dosificación para Receta de Bovinos.

Número de muestras	BOVINOS			
	I1	I2	I3	I4
1	1495,00	2003,00	1005,00	2496,00
2	1503,00	2002,00	1002,00	2503,00
3	1503,00	1997,00	997,00	2497,00
PROMEDIO	1500,33	2000,67	1001,33	2498,67
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	3,77	2,62	3,30	3,09
% ERROR	0,25	0,13	0,33	0,12

La Figura 4.19 muestra el comportamiento para la dosificación del Ingrediente 1, teniendo como resultado una desviación estándar de 3.77 lo que implica que el peso está en 1500 ± 3.77 y representando un error de 0.25%.

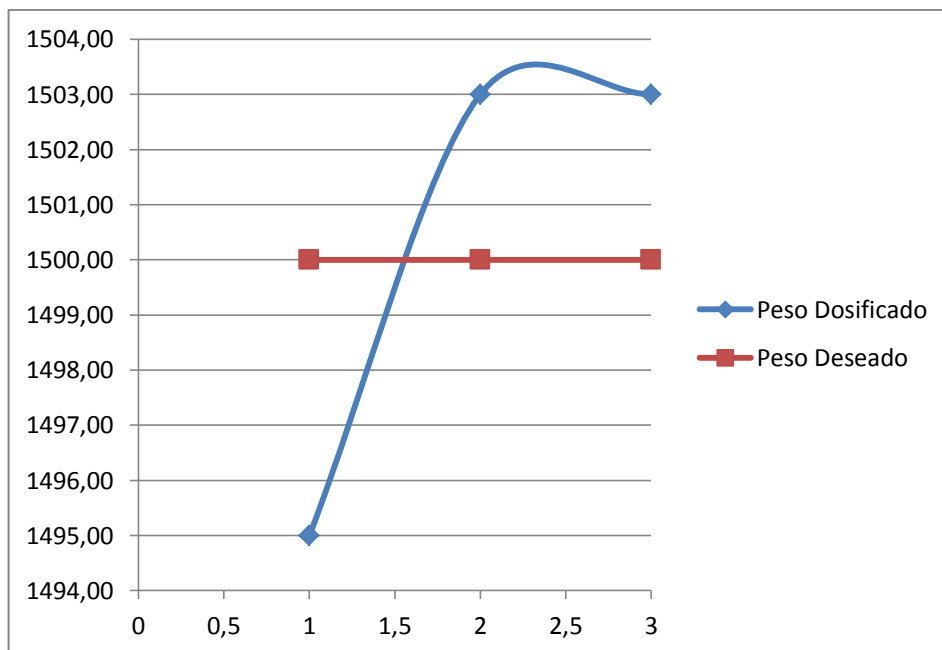


Figura 4.19. Peso dosificado cada muestra realizada para el I1.

La Figura 4.20 muestra el comportamiento para la dosificación del Ingrediente 2, teniendo como resultado una desviación estándar de 2.62 lo que implica que el peso está en 2000 ± 2.62 y representando un error de 0.13%.

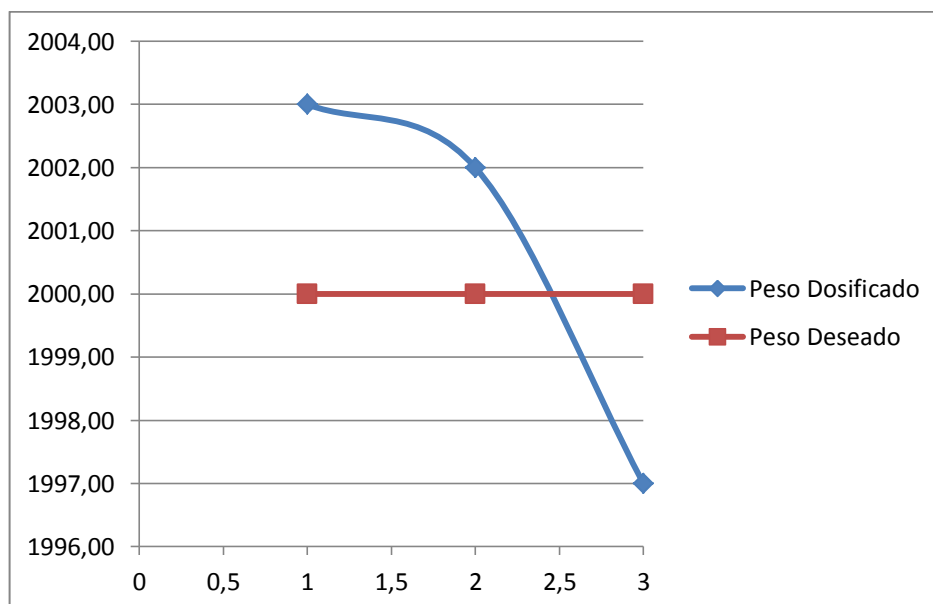


Figura 4.20. Peso dosificado cada muestra realizada para el I2.

La Figura 4.21 muestra el comportamiento para la dosificación del Ingrediente 3, teniendo como resultado una desviación estándar de 3.30 lo que implica que el peso está en 1000 ± 3.30 y representando un error de 0.33%.

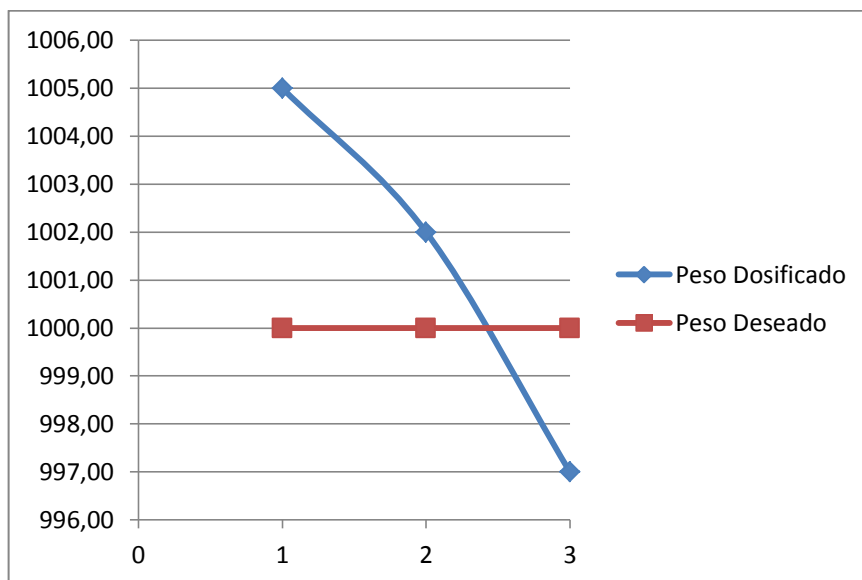


Figura 4.21. Peso dosificado cada muestra realizada para el I3.

La Figura 4.22 muestra el comportamiento para la dosificación del Ingrediente 4, teniendo como resultado una desviación estándar de 3.09 lo que implica que el peso está en 2500 ± 3.09 y representando un error de 0.12%.

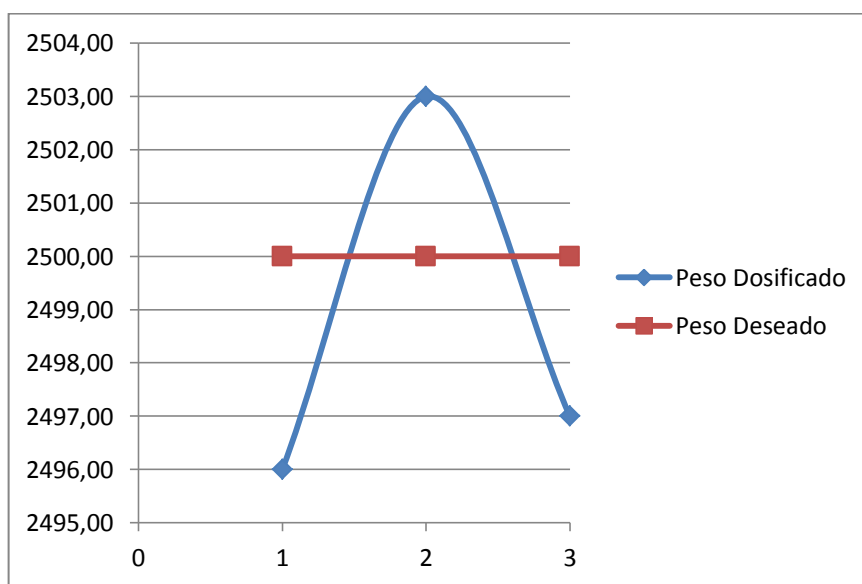


Figura 4.22. Peso dosificado cada muestra realizada para el I4.

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Una vez tomado todos estos datos se procederá hacer un promedio para obtener valores para el sistema.

Como muestra la Tabla 4.5 la desviación estándar del sistema es de 3.17 lo que implica que cualquier valor pesado tendrá ± 3.17 gramos, que representa un error del 0.21%.

Tabla 4.5.

Desviación Estándar y Error del Sistema de Dosificación.

		DESVIACIÓN ESTANDÁR	% ERROR
AVES	I1	2,36	0,29
	I2	3,56	0,15
	I3	3,30	0,27
	I4	0,94	0,03
PORCINOS	I1	3,40	0,19
	I2	4,78	0,34
	I3	3,30	0,15
	I4	3,56	0,22
BOVINOS	I1	3,77	0,25
	I2	2,62	0,13
	I3	3,30	0,33
	I4	3,09	0,12
PROMEDIO		3,17	0,21

4.3. ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO.

Con la habilitación del sistema de dosificación se puede destacar los alcances y las limitaciones que este proyecto posee, a continuación se detallan los alcances:

- Por medio del HMI se puede tener información del estado de operación real de la máquina durante su operación, así como registros de producción y diagnóstico de problemas suscitados durante el proceso.
- La máquina podrá trabajar por horas seguidas sin la necesidad de que un operador la esté vigilando.
- Este sistema se puede utilizar no solo para dosificar vitaminas sino diferentes tipos de materiales sólidos o polvos.

Las limitaciones que tiene la máquina dentro de su normal funcionamiento son:

- El control del sistema necesita que el indicador de peso se encuentre encendido, de ser no ser así no se puede dosificar.
- El sistema se ve puede ver afectado por las vibraciones excesivas producidas por la maquinaria que se encuentra en las cercanías del sistema de dosificación.
- La cantidad máxima de micronutrientes dosificados se ve limitada a la capacidad máxima de almacenaje de la tolva de recepción.

4.4. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.

La hipótesis planteada para este proyecto fue:

“El diseño y construcción del sistema de dosificación permitirá la optimización del proceso de producción.”

Mediante la implementación del proyecto se ha logrado crear un sistema que permita dosificar varios tipos de micro-nutrientes en distintas proporciones, según la receta seleccionada por el operador, evitando así errores durante el pesaje por equivocaciones humanas, asegurando la calidad de los dosificados, de esta manera se verifica el cumplimiento de la hipótesis ya que el proceso de producción ahora es mucho más moderno, eficiente y automatizado.

Con la implementación de este sistema se desplazó la mano de obra que permanecía en contacto directo con las vitaminas, hacia áreas de mayor interés.

Muchas de estas vitaminas pueden resultar dañinas para el ser humano en el largo plazo causando enfermedades a la piel y a las vías respiratorias con lo que con este proyecto se reduce esa posibilidad al mínimo.

Mientras el sistema se encuentre en operación se puede manejar un registro de producción y de inventario de tiempo real lo cual contribuye a tener un control efectivo de los micro-nutrientes existentes.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.

- La correcta dosificación de materias primas que entran en el procesamiento de productos como los alimenticios son un elemento fundamental para mantener la calidad y seguridad de los mismos, a pesar de esto es complicado encontrar sistemas automáticos en el país que permitan realizar esta tarea de una manera más tecnificada y segura.
- Un diseño adecuado de un producto implica definir y utilizar metodologías que sean capaces de captar, entender y filtrar los requerimientos del cliente para ser plasmadas en un producto. En este proyecto estas tareas han sido efectuadas por medio del Despliegue de la Función de la Calidad a través de su herramienta “La Casa de la Calidad” que engloba las necesidades del cliente y los requerimientos técnicos del diseñador.
- Mediante el análisis funcional se ha diseñado un sistema basado en las tareas que la misma debe realizar, la agrupación de estas funciones afines permiten establecer un módulo cuya función es facilitar la producción, el ensamblaje de los componentes y el mantenimiento de los mismos.
- Se concluyó que el mejor diseño consiste en un transportador de tornillo sin fin que acarrea los micronutrientes sin ninguna dificultad desde su almacenamiento hasta su dosificación y una báscula de recepción de dosificados en donde se pese la cantidad requerida en la receta.
- Para conservar las propiedades de los micro-nutrientes el sistema de dosificación está diseñado para construirse en acero inoxidable AISI 304.

- El amplio rango de velocidades con el que se puede controlar el transportador de tornillo sin fin permite obtener una mayor precisión en el momento de la dosificación de micro-nutrientes.
- La selección de la celda de carga a utilizarse siempre debe estar acorde con la capacidad de pesaje estimada, la selección de una celda con una capacidad muy sobredimensionada producirá un menor número de divisiones en el valor del peso y ello conlleva un mayor error en el pesaje.
- El HMI diseñado permite manipular y visualizar el sistema proporcionando un registro de las recetas producidas, las cantidades pesadas, el usuario activo y la hora y fecha de su utilización.
- Se cumple con el objetivo principal que es diseñar y construir un sistema de dosificación de micronutrientes para optimizar el proceso productivo reduciendo en gran medida los errores y minimizando los posibles daños en la salud de los operadores.

5.2. RECOMENDACIONES

- Los operarios a cargo de la máquina deben entrenarse en su uso para lograr una buena productividad, manejo adecuado de los parámetros e incluso para evitar accidentes y equivocaciones en las recetas a producirse. Por ejemplo, quienes estarán a cargo de llenar los bins con materia prima deben estar conscientes de la vitamina que están colocando en cada bin y así mismo al momento de retirar el producto dosificado tener presente el tiempo que disponen para estas tarea.
- En la medida de lo posible se debe realizar el diseño con elementos normalizados y estándar para reducir los costos por concepto de maquinado de los componentes.

- Para la optimización del sistema de pesaje es recomendable utilizar una celda de carga cuya capacidad no supere en un 25% al peso máximo a dosificarse, de esta manera las divisiones del peso son pequeñas y hay más control en la precisión.
- Si se desea que el sistema de dosificación sea una máquina mucho más independiente se puede seleccionar y acoplar su propio compresor para que entregue el suministro de aire que el sistema requiere.
- Es necesario realizar un mantenimiento programado y preventivo del sistema de dosificación para evitar problemas con los elementos mecánicos como reductores, desalineamiento de los ejes de los transportadores, atascamiento de la compuerta de descarga.
- Los operadores a cargo del proceso de llenado de bins deben preferiblemente no usar y portar objetos metálicos que pudieran caer dentro del contenedor y ser arrastrados por el transportador ocasionando atascamientos.
- Antes de poner en funcionamiento el sistema se recomienda encerrar el indicador de peso para comenzar la dosificación desde este valor y comprobar la presión de aire para el funcionamiento del cilindro neumático al momento de la descarga de dosificados.
- Una mejora al diseño del sistema dosificador que se propone es la inserción de una válvula de charnela neumática de acción rápida en la salida que impida que el producto se escurra después de parar la dosificación o durante la limpieza del sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ABC, D. (2012). *Definición Silo*. Recuperado el 21 de 12 de 2012, de Definición Silo: <http://www.definicionabc.com/general/silo.php>
- ABET. (2011). *Publicaciones*. Recuperado el 17 de Enero de 2013, de ABET: <http://www.abet.org/special-reports/>
- Angulo B, C., & Raya G, C. (2005). Principios básicos de la teoría de control. En C. Angulo B, & C. Raya G, *Tecnologías del Sistema de Control* (pág. 31). Barcelona: Universidad Politecnica de Catalunya.
- Bastian, P. (2001). *Electrotecnia de Potencia*. Madrid: Editoriales Akal, S. A.
- Bishop, R. H., & Dorf, R. C. (2005). Introducción a los sistemas de control. En R. H. Bishop, & R. C. Dorf, *Sistemas de control moderno* (págs. 9-17). Madrid: Pearson Education, S.A.
- Capuz, S. (1999). *Introducción al proyecto de Producción. Ingeniería Concurrente para el Diseño de Producto*. Valencia, España: REPROVAL.
- Carletti, E. J. (2012). *Robots Argentina*. Recuperado el 03 de 01 de 2013, de http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm
- DISMACK. (2011). *DISMACK PACKAGING TECHNOLOGY*. Recuperado el 1 de Octubre de 2012, de <http://www.dismack.com/es/dosificadores-sin-fin>
- Ebner, P. (2002). Silos. En R. McElhiney, *Tecnología para la Fabricación de Alimentos Balanceados* (págs. 201-206). Arlington, VA: American Feed Industry Association, Inc.

- ERGONOMIX. (1 de Septiembre de 2012). *AGROTERRA*. Recuperado el 1 de Octubre de 2012, de <http://www.agroterra.com/p/dosificacin-de-pequeos-ingredientes-3046429/3046429>
- Fairchild, F. J. (2002). Transportadores. En R. McElhiney, *Tecnología para la Fabricación de Alimentos Balanceados*. (págs. 146-176). Arlington, VA: American Feed Industry Association, Inc.
- Fairfeild, D. (2002). Centros de costos de peletización. En R. McElhiney, *Tecnología para la fabricación de alimentos balanceados* (págs. 114-131). Airlington, VA: American Feed Industry Association, Inc.
- Fraile Mora, J. (2008). *Máquinas Eléctricas ()*. España: McGraw-Hill /Interamericana de España S.A.
- Garcia, J. (2004). *Fundamentos del Diseño Mecánico*. Cali, Colombia.: Artes Gráficas del Valle.
- Gobierno de Aragon. (Marzo de 2010). *Demo E-Ducativa Catedu*. Recuperado el 3 de Enero de 2013, de http://e-educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio//1000/1106/html/34_elementos_de_proteccin.html
- Groover, M. P. (1997). *Fundamentos de Manufactura Moderna: Materiales, Procesos Y Sistemas*. Naulcapan de Juárez: Pearson Education.
- INFIPACK. (2006). *INFIPACK*. Recuperado el 1 de Octubre de 2012, de http://www.infipack.es/index.php?option=com_content&task=view&id=220&Itemid=198
- Lipson, & Charles. (1970). *Importancia del Desgaste en el Diseño*. Mexico D.F.: Centro Regional de Ayuda Técnica.

- Logic Electronics. (Agosto de 2012). *Logic Electronics*. Recuperado el 3 de Enero de 2013, de http://www.logicelectronic.com/productos/COMPU_INDUST/COMPUTADORES%20PLANOS.htm
- MAVAISA. (2010). CONTROL DE PROCESOS. En MAVAISA, *CONTROL DE PROCESO*.
- Media Wiki. (7 de Marzo de 2011). *WIKIFAB*. Recuperado el 5 de Mayo de 2013, de WIKIFAB: Definición Silo
- Miranda, J. F. (Diciembre de 2004). *Universidad de Costa Rica Facultad de Ingeniería Eléctrica*. Obtenido de <http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb0434t.pdf>
- Mott, R. (1992). *Diseño de Elementos de Máquinas*. Nacaulpan de Juarez, Edo. de Mexico: Pretince Hall Hispanoamerica, S.A.
- Mott, R. (2006). La Naturaleza del diseño mecánico. En R. Mott, *Diseño de Elementos de Máquinas* (págs. 9-15). Mexico: PEARSON.
- Ortega, M., & Iravo, J. (2001). *Sistemas de Interacción Persona-Computador*. Madrid: Ediciones de la Universidad Castilla-La Mancha.
- Orthman. (2004). *Screw Conveyor Catalog & Engeneering Manual*. Columbia, MO: CEMA.
- Pike, R. W., & Guerra, L. (1989). Introducción. En R. W. Pike, & L. Guerra, *Optimización en Ingeniería* (pág. 1). Mexico D.F.: Alfaomega.
- Ray, S. (2008). Conveyors. En S. Ray, *Introduction to Materials Handling* (págs. 114-118). Kolkata: New Age International Publisher.

- Roldan, J. (2005). Motores Eléctricos. En J. Roldan, *Motores Electricos. Accionamientos de máquinas 30 tipos de motores* (pág. 55). Ediciones Paraninfo S.A.
- Seely, F. (1977). Placas. En F. Seely, *Curso Superior de Resistencia de Materiales* (págs. 220-231). Buenos Aires: Nigar S.R.L.
- SENA. (2012). *Rodamientos*. Bogota: SENA.
- Shigley, J. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. Madrid: McGraw-Hill.
- Universidad Nacional de Colombia. (1997). Características Físico Mecánicas y Análisis de Calidad de Granos. En J. E. Ospina Machado, *Características Físico Mecánicas y Análisis de Calidad de Granos* (pág. 86). Bogotá.
- Wikipedia. (20 de Octubre de 2012). *Enciclopedia Libre Wikipedia*. Recuperado el 18 de Enero de 2013, de Enciclopedia Libre Wikipedia: http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81ngulo_de_reposo
- Wikipedia. (14 de Mayo de 2013). *Enciclopedia Libre Wikipedia*. Recuperado el 22 de Mayo de 2013, de Enciclopedia Libre Wikipedia: <http://es.wikipedia.org/wiki/Electrov%C3%A1lvula>
- Wikipedia. (2 de Enero de 2013). *Wikipedia*. Recuperado el 3 de Enero de 2013, de <http://es.wikipedia.org/wiki/Contactor>
- Williams, D. B., & Gracey, A. D. (1996). Estructuras y Locales. En D. B. Williams, & A. D. Gracey, *Mantenimiento y Funcionamiento de Silos*. (pág. 25). Roma : FAO.

ANEXOS

- Anexo A: Características de los Materiales.**
- Anexo B: Propiedades del Acero AISI 304.**
- Anexo C: Características del Cilindro Neumático.**
- Anexo D: Características del Variador de Frecuencia.**
- Anexo E: Características del Motor.**
- Anexo F: Características del Reductor.**
- Anexo G: Características del PLC.**
- Anexo H: Características del Módulo de Ampliación.**
- Anexo I: Características de la Celda de Carga.**
- Anexo J: Características del Contactor.**
- Anexo K: Características del Conductor Eléctrico.**
- Anexo L: Fotos de Construcción.**
- Anexo M: Planos Mecánicos.**
- Anexo N: Planos Eléctricos.**
- Anexo O: Bloques de Programación del PLC**
- Anexo P: Manual de Usuario.**

Elaborado por:

Paúl Andrés Rivera Grijalva.

Aprobado por:

Ing. Fausto Acuña.
DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA.

Certificado por:

Dr. Fredy Jaramillo Ch.
SECRETARIO ACADÉMICO.