



ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

SEDE LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERIA ELECTROMECHANICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO REPRODUCTOR
DE RELIEVES.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

DIRECTOR: ING. MARCO SINGAÑA
CODIRECTOR: ING. WASHINGTON FREIRE

ELABORADO POR:
SALAZAR PAREDES FREDDY WILLIAM
TERAN HERRERA HECTOR COCHISE

LATACUNGA, FEBRERO DEL 2008

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los Srs. Salazar Paredes Freddy William y Terán Herrera Héctor Cochise, bajo nuestra supervisión.

ING. MARCO SINGAÑA
DIRECTOR DEL PROYECTO

ING. WASHINGTON FREIRE
CODIRECTOR DE PROYECTO

ING. WASHINGTON FREIRE
COORDINADOR DE CARRERA

DR. RODRIGO VACA CORRALES
SECRETARIO ABOGADO

ESCUELA POLITECNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERIA ELECTROMECHANICA

CERTIFICADO

En nuestra calidad de Director y Codirector, certificamos que los señores Salazar Paredes Freddy William y Terán Herrera Héctor Cochise, han desarrollado el proyecto de grado titulado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO REPRODUCTOR DE RELIEVE**”, aplicando las disposiciones institucionales, metodológicas y técnicas, que regulan esta actividad académica, por lo que autorizamos a los mencionados alumnos, reproduzcan el documento definitivo, se presente a las autoridades de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, y se proceda a la exposición de su contenido.

Atentamente,

ING. MARCO SINGAÑA

DIRECTOR

ING. WASHINGTON FREIRE

CODIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD EXPRESADA

Quiénes suscriben, Salazar Paredes Freddy William y Terán Herrera Héctor Cochise, portadores de las cédulas de ciudadanía 050167200-0 y 050268046-5 respectivamente con libertad y voluntariamente declaramos que el presente tema de investigación: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO REPRODUCTOR DE RELIEVES”**, su contenido, ideas, análisis, conclusiones y propuestas son originales, auténticos y personales.

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

Atentamente;

Salazar Paredes Freddy William

Terán Herrera Héctor Cochise

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a las personas soñadoras, quienes creen que es posible un país mejor para todos, a las personas que solo pusieron zancadillas para la realización de esta tesis, que con sus palabras y acciones lo único que hicieron fue darme más deseos de lograrlo.

Freddy William Salazar P.

El presente proyecto está dedicado a mis padres que con su ejemplo y apoyo incondicional me permitieron completar con éxito esta etapa de preparación y realización profesional, quienes guiaron con sabios consejos mis decisiones en los momentos más cruciales y difíciles de mi vida. A mis hermanos que con superación personal les animo a superar barreras para que alcancen su propia realización personal.

Héctor Cochise Terán H.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme brindado el coraje y capacidad para ser constante en mi anhelo de concluir este trabajo, a mis padres, a mi señora madre Lic. Hilda Paredes y a mi señor padre Oscar Salazar, por las enseñanzas y gran cariño que toda mi vida he recibido de ellos, así como la constancia que con su ejemplo me han dado, a mis hermanos que son mi razón y conciencia, a mi compañero de tesis y amigo el señor Héctor Terán quien me apoyo, nunca desmayo a pesar de la adversidad y problemas que se presentaron en el tiempo que duró esta tesis, a los padres de mi compañero el señor Ing. Héctor Terán y a la señora Ligia del Pilar Herrera por el apoyo y la paciencia que han tenido durante el transcurso de este tiempo, a nuestros directores de tesis el señor Ing. Washington Freire y el señor Ing. Marco Singaña quienes han sido de las pocas personas que han creído en nuestra capacidad y en la posibilidad de la realización de este tema de tesis, a mis amigos que de una u otra manera me ayudaron a seguir y no desmayar en la realización de esta tesis.

Freddy William Salazar P.

A dios por la vida, sabiduría y paciencia que me otorgó, a mis padres por inculcar desde temprana edad valores y principios que me permitirá superar las dificultades durante toda mi vida, a mis maestros porque siempre estuvieron pendiente de mi situación durante toda mi carrera, en especial al ingeniero Washington Freire por ser amigo, maestro y al ingeniero Marco Singaña por su desinteresada ayuda, por último a mi leal compañero y siempre amigo Freddy por su comprensión y apoyo.

Héctor Cochise Terán H.

ÍNDICE GENERAL

I.- CAPITULO

GENERALIDADES

1.1	Introducción		1
	1.1.1	Antecedentes	1
	1.1.2	Objetivo general	2
	1.1.3	Objetivos específicos	2
	1.1.4	Justificación e importancia	2
	1.1.5	Alcances y metas	3
1.2	ÁREA MECÁNICA		3
	1.2.1	Ejes ³	
	1.2.1.1	Análisis de carga estática	4
	1.2.1.2	Carga Estática- Flexión y Torsión	4
	1.2.2	Rodamientos	4
	1.2.2.1	Clasificación de los rodamientos	5
	1.2.2.2	Rodamientos rígidos de bolas	5
	1.2.2.3	Selección de rodamientos	6
	1.2.3	Vigas	7
	1.2.3.1	Esfuerzos uniformemente distribuidos	7
	1.2.3.2	Fuerza Cortante y Momento Flexionante en Vigas	8
	1.2.3.3	Esfuerzos normales por flexión	8

1.2.4 Engranajes	9
1.2.4.1 Clasificación de los engranajes	9
1.2.4.2 Engranajes Cilíndricos Rectos	10
1.2.4.3 Engranajes cónicos rectos	10
1.2.4.4 Construcción y cálculo de los dientes de engranajes rectos, helicoidales y cónicos	11
1.2.5 Mecanizado	14
1.2.5.1 Principio del mecanizado	14
1.2.5.2 Clasificación de las máquinas-herramientas	15
1.2.5.3 Herramientas. (Útil de corte)	16
1.2.5.4 Clasificación de las fresas por sus aplicaciones	16
1.2.5.5 Selección de Parámetros para el Fresado. (Cálculos)	17
1.3 ÁREA ELÉCTRICA	20
1.3.1 Motores	20
1.3.1.1 Motores de corriente Alterna (AC)	20
1.3.1.2 Motores de corriente continua (DC)	22
1.3.1.3 Parámetros de selección de un motor DC	22
1.3.2 Control eléctrico	22
1.3.2.1 El Contactor	23
1.3.2.2 Interruptor de posición final o de carrera	24
1.4 ÁREA ELECTRÓNICA	24
1.4.1 Conversor ANALOGO-DIGITAL (A/D)	24

1.4.1.1 Ventajas de la conversión	25
1.4.1.2 Desventajas	26
1.4.2 Memorias	26
1.4.2.1 Clasificación de las memorias	26
1.4.3 Microcontroladores PIC's	30
1.4.3.1 Recursos comunes a todos los microcontroladores	30
1.4.3.2 Arquitectura básica	30
1.4.4 Control electrónico	35
1.4.4.1 Control de servomotores con el microcontrolador	
PID LM 629	35
1.4.4.2 Filtro P.I.D	36
1.4.4.3 Decodificación de la posición del eje del motor	36
1.4.4.4 Operaciones de lectura y escritura del MPID	37
1.4.4.5 Salidas al motor	38
1.4.4.6 Descripción de los terminales del MPID	38
1.4.4.7 Etapa de potencia	39
1.4.5 Interface de comunicación	40
1.4.5.1 Estructura del puerto serie RS-232	41
1.4.5.2 Especificaciones básicas del estándar RS-232	42
1.5 ÁREA INFORMÁTICA	43
1.5.1 Software de programación LabView	43
1.5.2 Software de programación para PIC's	49

II.- CAPITULO

DISEÑO

2.1 SISTEMA MECÁNICO	52
2.1.1 Cálculo de ejes	52
2.1.2 Selección de rodamientos	63
2.1.3 Cálculo de vigas	65
2.1.4 Cálculo de engranajes	76
2.1.4.1 Rueda y tornillo sin-fin (Fuerzas y momentos)	76
2.1.4.2 Rueda y tornillo sin-fin (Cálculos de construcción)	79
2.1.4.3 Cálculo para la construcción de engranaje cónico	82
2.1.4.4 Cálculo para la construcción de engranaje recto	84
2.1.5 Diseño de planos mecánicos	86
2.2 SISTEMA ELÉCTRICO/ ELECTRÓNICO	86
2.2.1 Selección de motores	86
2.2.2 Diseño de circuitos eléctricos/electrónicos	87
2.2.3 Diseño de software	97

III.- CAPITULO

MONTAJE DEL PROTOTIPO

3.1 CONSTRUCCIÓN DE PIEZAS MECÁNICAS	101
3.2. ACOPLAMIENTO DE PIEZAS MECÁNICAS	102

3.2.1. Carro longitudinal (X)	103
3.2.2. Carro transversal (Y)	103
3.2.3. Carro superior (Z)	103
3.2.4. Reductores	104
3.2.5. Base soporte y columna	105
3.2.6. Acoplamiento de brazo soporte	105
3.2.7. Escáner	106
3.2.8. Acoplamiento de motores	106
3.3 INSTALACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO	107
3.3.1. Panel frontal	107
3.3.2. Motor de fresado y pulsador de emergencia	107
3.3.3. Conexión del servomotor	108
3.3.4. Conexiones principales	108
3.3.5. Panel Frontal interno de evaluación	109
3.3.6. Construcción y acoplamiento de tarjetas electrónicas	109
3.3.7. Características de la máquina	112

IV.- CAPITULO

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 PRUEBAS	113
4.1.1 Preparación	113
4.1.2 Desarrollo	113

4.2 RESULTADOS

126

V.- CAPITULO

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

129

5.2 RECOMENDACIONES

131

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

LISTADO DE FIGURAS

I.- CAPITULO

Figura N° 1.1	Rodamientos rígidos de bolas	6
Figura N° 1.2	Fuerzas y momentos que actúan en una viga	8
Figura N° 1.3	Engranajes Cilíndricos diente recto	10
Figura N° 1.4	Engranajes cónicos diente recto	10
Figura N° 1.5	Engranajes de tornillo sin-fin	11
Figura N° 1.6	Nomenclatura de engranaje cilíndrico de diente recto	12
Figura N° 1.7	Nomenclatura de engranaje cónico de diente recto	12
Figura N° 1.8	Nomenclatura de engranaje de tornillo sin-fin	14
Figura N° 1.9	Mecanizado de un útil	15
Figura N° 1.10	Clasificación de las máquinas herramientas	15
Figura N° 1.11	Tipos de fresas	16
Figura N° 1.12	Motor asíncrono	21
Figura N° 1.13	Motor DC	22
Figura N° 1.14	Contactador	23
Figura N° 1.15	Interruptor de posición final	24
Figura N° 1.16	Esquema de un conversor ADC	25
Figura N° 1.17	Clasificación de memorias	27
Figura N° 1.18	Arquitectura de una memoria DRAM	28

Figura N° 1.19	Cronograma de escritura y lectura de una memoria DRAM	29
Figura N° 1.20	Arquitectura de un microcontrolador	31
Figura N° 1.21	Arquitectura del MPID LM 629	36
Figura N° 1.22	Terminales (microcontrolador LM629)	38
Figura N° 1.23	Esquemático de un puente “H”	40
Figura N° 1.24	Conector DB-9 serie	41
Figura N° 1.25	Ciclo de comunicación serie	41
Figura N° 1.26	Panel frontal	43
Figura N° 1.27	Diagrama de bloques	44
Figura N° 1.28	Paleta de herramientas	44
Figura N° 1.29	Paleta de control	45
Figura N° 1.30	Paleta de funciones	45
Figura N° 1.31	Ubicación del botón Run	46
Figura N° 1.32	Ubicación del botón Run en ejecución	47
Figura N° 1.33	Ubicación de los botones pausa y stop	47
Figura N° 1.34	Diagramación de comunicación serial	49
Figura N° 1.35	Programa compilador	50
Figura N° 1.36	Programa compilador	51
Figura N° 1.37	Placas de evaluación	51

II.- CAPITULO

Figura N° 2.1	Eje roscado longitudinal (X)	53
----------------------	------------------------------	----

Figura N° 2.2 Dimensiones de eje roscado (X)	54
Figura N° 2.3 Eje roscado transversal (Y)	55
Figura N° 2.4 Dimensiones de eje roscado (Y)	57
Figura N° 2.5 Eje roscado superior (Z)	57
Figura N° 2.6 Dimensiones de eje roscado (Z)	59
Figura N° 2.7 Eje Husillo (Z)	60
Figura N° 2.8 Distancias y puntos de apoyo	60
Figura N° 2.9 Fuerzas actuantes sobre los engranajes	61
Figura N° 2.10 Diagramas de fuerzas y momentos	62
Figura N° 2.11 Dimensiones de eje husillo (Z)	63
Figura N° 2.12 Dimensiones del rodamiento	63
Figura N° 2.13 Rodamiento de Bolas 6304	65
Figura N° 2.14 Brazo soporte de scanner y fresadora	65
Figura N° 2.15 División por áreas del brazo soporte	66
Figura N° 2.16 Fuerzas sobre el brazo soporte	67
Figura N° 2.17 Diagrama de fuerzas	68
Figura N° 2.18 Diagrama de momentos	68
Figura N° 2.19 Sección transversal del tubo en el punto A	69
Figura N° 2.20 División por áreas de la sección transversal del tubo	69
Figura N° 2.21 Fuerzas sobre el soporte de la fresadora	72
Figura N° 2.22 Dimensiones del brazo soporte	73
Figura N° 2.23 Base y columna soporte	74
Figura N° 2.24 Fuerzas que soporta la columna	74
Figura N° 2.25 Dimensiones de la columna y base soporte	76

Figura N° 2.26	Rueda y tornillo sin-fin	77
Figura N° 2.27	Fuerza sobre una rueda y tornillo sin-fin	78
Figura N° 2.28	Fuerza en el espacio de una rueda y tornillo sin-fin	78
Figura N° 2.29	Dimensiones de Rueda dentada para tornillo sin-fin	81
Figura N° 2.30	Dimensiones del tornillo sin-fin	82
Figura N° 2.31	Dimensiones del engranaje cónico	84
Figura N° 2.32	Dimensiones del engranaje conductor	85
Figura N° 2.33	Dimensiones del engranaje conducido	86
Figura N° 2.34	Diagrama de control	87
Figura N° 2.35	Memoria RAM FPM 1M	88
Figura N° 2.36	Disposición de terminales Pic RAM	89
Figura N° 2.37	Disposición de terminales del PIC MASTER	91
Figura N° 2.38	Diagrama de flujo de la inicialización de los chips	92
Figura N° 2.39	Desarrollo trapezoidal del movimiento en posición	94
Figura N° 2.40	Esquema de comunicación entre Pic master y Pic Ram	97
Figura N° 2.41	Principio para el cálculo de posiciones en la fresa	98

III.- CAPITULO

Figura N° 3.1	Fresado de colas de milano	101
Figura N° 3.2	Fresado de engranajes	102
Figura N° 3.3	Torneado y limado de elementos constitutivos de la máquina	102
Figura N° 3.4	Carro longitudinal (X)	103

Figura N° 3.5 Carro transversal (Y)	103
Figura N° 3.6 Carro superior (Z)	104
Figura N° 3.7 Reductores (x-y-z) respectivamente	104
Figura N° 3.8 Columna y base de soporte	105
Figura N° 3.9 Brazos de soporte	105
Figura N° 3.10 Escáner	106
Figura 3.11 Sujeción de motores	106
Figura N° 3.12 Panel frontal de control eléctrico	107
Figura N° 3.13 Motor principal de fresado con pulsador de emergencia	108
Figura N° 3.14 Conexión de servo motores (x-y-z) respectivamente	108
Figura N° 3.15 Conexión principal	109
Figura N° 3.16 Panel Frontal interno de evaluación	109
Figura N° 3.17 Fuentes de energía	110
Figura N° 3.18 Etapa de control Servomotores DC	110
Figura N° 3.19 Panel Frontal interno de evaluación	111
Figura N° 3.20 Panel visor de máquina	112
Figura N° 3.21. Máquina finalizada	112

IV.- CAPITULO

Figura N° 4.1. Tablero de control. Detalle del botón de encendido	113
Figura N° 4.2. Display LCD contando los 5 segundos de forma descendente	114
Figura N° 4.3. Display LCD mostrando el mensaje del cabezal	114

Figura N° 4.4. Terminales del brazo no conectados	114
Figura N° 4.6. Tablero de control. Detalle del botón de apagado	114
Figura N° 4.7. Interruptor selector de cabezal	115
Figura N° 4.8. Movimiento a posiciones iniciales de “eje z.	115
Figura N° 4.9. Movimiento a posiciones iniciales de “eje x”.	115
Figura N° 4.10. Movimiento a posiciones iniciales de “eje y “.	115
Figura N° 4.11. Tablero de control. Detalle del botón de apagado	116
Figura N° 4.12. Display LCD avisando que la máquina está lista	116
Figura N° 4.13. Pieza seleccionada para escanearse	116
Figura N° 4.14. Proceso de escaneo de la máscara	117
Figura N° 4.15. Proceso de escaneo de la pieza	117
Figura N° 4.16. Teclado de control. Detalle de botón que maneja los dato	118
Figura N° 4.17. Display LCD mostrando selección de la cual se elije resta	118
Figura N° 4.18. Display LCD informando proceso de restado	118
Figura N° 4.19. Apariencia del Panel frontal de Labview	119
Figura N° 4.20. Pieza escaneada observada en el visualizador	119
Figura N° 4.21. Seleccionando descargar una imagen de la PC a la Máquina120	
Figura N° 4.22. Display LCD avisando que la máquina está lista	120
Figura N° 4.23. Tipos de fresas para fresar	121
Figura N° 4.24. Botón de manejo de datos del teclado de control121	
Figura N° 4.25. Display LCD mostrando cálculo se elije de acuerdo a la fresa.122	
Figura N° 4.26. Display LCD informando el porcentaje de trabajo	122
Figura N° 4.27. Teclado de control. Detalle de botón de fresado	122
Figura N° 4.28. En esta pantalla se selecciona el tipo de fresa	123

Figura N° 4.29. En esta pantalla se selecciona la distancia a fresar	123
Figura N° 4.30. En esta pantalla se selecciona avance	123
Figura N° 4.31. En esta pantalla se selecciona el tipo de material	123
Figura N° 4.32. Esta pantalla informa que se debe bajar el carro z	123
Figura N° 4.33. En esta pantalla se selecciona el espesor de cada fresado	124
Figura N° 4.34. En esta pantalla se selecciona el número de capas	124
Figura N° 4.35. Si se está conforme con la altura fijada en esta pantalla	124
Figura N° 4.36. Esta es una pantalla de seguridad colocar el materia	125
Figura N° 4.37. Fresa realizando proceso de fresado	125
Figura N° 4.38. Pieza terminada	125
Figura N° 4.39. Pieza a escanearse	126
Figura N° 4.40. Imagen generada por el escáner	126
Figura N° 4.41. Imagen a ser fresada	127
Figura N° 4.42. Resultados de las piezas fresadas en distintas calidades	127

V.- CAPITULO

LISTADO DE TABLAS

I.- CAPITULO

Tabla N° 1.1 Ecuaciones de esfuerzo cortante y flexión máximo	9
Tabla N° 1.2. Ecuaciones de construcción de engranaje cilíndrico diente recto	11
Tabla N° 1.3. Ecuaciones para construcción de engranaje cónico diente recto	13
Tabla N° 1.4. Parámetros de corte (útil HSS) para cálculos de fresado	17
Tabla N° 1.5. Avance y velocidad de las fresas HSS con insertos cerámicos	18
Tabla N° 1.6. Características de los motores comerciales según NEMA	21
Tabla N° 1.7. Función de los pines del puerto serial	42
Tabla N° 1.8. Iconos de comunicación por el puerto serial	48

II.- CAPITULO

Tabla N° 2.1. Características técnicas del rodamiento	64
Tabla N° 2.2. Distribución de pines de una RAM de 1 M	88
Tabla N° 2.3. Comandos disponibles en el chip LM269	93
Tabla N° 2.4. Palabra de datos de configuración del comando LFIL	95
Tabla N° 2.5. Palabra de configuración del comando LTRJ	96

III.- CAPITULO

Tabla 4.1. Características mecánicas	112
Tabla 4.2. Características eléctricas	113
Tabla 4.3. Características electrónicas	113

IV.- CAPITULO

V.- CAPITULO

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO A. Hojas técnicas de dispositivos electrónicos.

ANEXO A.1 PIC 16F628-A

ANEXO A.2 PIC 16F877-A

ANEXO A.3 Controlador LM629

ANEXO A.4 Modulo Encoder Incremental HEDS-9040

ANEXO A.5 Encoder Incremental HEDS-5140#A05

ANEXO B. Programación de los PIC`s.

ANEXO B.1 Programación PIC MASTER (16F877-A)

ANEXO B.2 Programación PIC RAM (16F877-A)

ANEXO B.3 Programación PIC CLOCK (16F628-A)

ANEXO C. Planos mecánicos (Despiece de la máquina).

ANEXO C.1 EM-01-07 Mesa Transversal (eje "Y")

ANEXO C.2 EM-02-07 Mesa Superior (eje "Z")

ANEXO C.3 EM-03-07 Mesa Longitudinal (eje "X")

ANEXO C.4 EM-04-07	Husillo de giro
ANEXO C.5 EM-05-07	Soporte columna
ANEXO C.6 EM-06-07	Soporte escaner
ANEXO C.7 EM-07-07	Reductores
ANEXO C.8 EM-08-07	Escaner

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y ENLACES

SHIGLEY Edgard, Diseño en Ingeniería Mecánica ,Quinta edición, Cáp.18, Pág. 788

REYES Carlos, Aprenda rápidamente a programar PIC's ,Primera edición, Cáp.2, Pág. 13

<http://www.skf.com/portal/skf/home/products?lang=es&maincatalogue=1&newlink=1>

<http://www.tecnun.es/asignaturas/elemaqui/cap9.pdf>

www.ing.unlpam.edu.ar/~material/tecmecanica/material_didactico.htm

<http://www.todocoleccion.net/teoria-calculo-bobinados-electricos-j-rapp-9-edicion-1983-x7282313>

http://www.emagister.com.mx/cursos_control_electrico_motores-tpsmx-314789.htm

http://www.automatas.org/hardware/teoria_pid.htm

<http://www.emagister.com/memorias-teoria-definiciones-cursos-1028977.htm>

<http://www.cnc.info.pl/topics27/lm628-629-precision-motion-controller-vt1112.htm>

http://www.automatas.org/hardware/teoria_pid.htm

<http://www.x-robotics.com/motorizacion.htm>

<http://www.pjmicrocontroladores.wordpress.com/2007/03/02/programador-por-puerto-serie-para-pic/>

<http://www.skf.com/portal/skf/home/industries?contentId=341375&lang=en>

<http://www1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582b.pdf> -

<http://www.microchip.com/downloads/en/devicedoc/40044D.pdf>

<http://www.national.com/pf/LM/LM629.html>

I.-CAPITULO

I.- CAPITULO

GENERALIDADES

1.1 Introducción

La presente tesis, se ha elaborado con la finalidad de ayudar al sector industrial y educativo, mediante el diseño y construcción de una máquina reproductora de relieves, para la fabricación de piezas con perfiles que en forma manual se emplearía mucho tiempo en su elaboración, a la vez no se alcanzaría una precisión y mecanización rápida y sencilla.

1.1.1 Antecedentes

La reproducción y la mecanización de piezas en una máquina fresadora en la mayoría de talleres y empresas industriales a nivel nacional, se realiza de forma manual ,donde los operadores utilizan una fresadora convencional para mecanizar las piezas que se necesiten, lo cual requiere una gran habilidad humana para la construcción. Es por esto que en países mejor desarrollados se ha construido máquinas destinadas a ésta labor, con el uso de la automatización se ha mejorado los recursos utilizados para este proceso de mecanizado.

El desarrollo y mecanizado de piezas, producto de ecuaciones desconocidas de máquinas extranjeras o la construcción de matrices en poco tiempo y con gran eficiencia, nos harán competentes en un mercado liberalizado, en el cual tenemos que competir, por lo cual se propone diseñar y construir una máquina reproductora de relieves, en donde

se optimice los tiempos de producción y se pueda generar piezas fresadas en forma rápida y sencilla, las mismas que puedan ser usadas en el área mecánica.

1.1.2 Objetivo general

Construir un prototipo de máquina fresadora utilizando palpadores con el fin de reproducir relieves.

1.1.3 Objetivos específicos

- Diseño, selección e implementación de un palpador de relieves.
- Diseñar y construir un sistema mecánico de movimientos que nos permita desplazar los tres ejes "X", "Y", "Z".
- Diseñar y construir los sistemas de control para el sistema mecánico de movimientos a través de servomotores.
- Diseño y construcción de acondicionadores de señales.
- Obtener el Título de Ingeniero en Electromecánica al finalizar este proyecto.

1.1.4 Justificación e importancia

Actualmente existe un ambiente de grandes expectativas e incertidumbre, mucho de esto se da por los rápidos cambios de tecnología actual, pues estos no permiten asimilar en forma adecuada, de modo que es muy difícil sacar su mejor provecho. También surgen cambios rápidos en el orden de lo económico y político, los cuales en sociedades como la nuestra (países en desarrollo), inhiben el surgimiento de soluciones propias para nuestros problemas más fundamentales.

Una opción o alternativa frente a esto es la reconversión de las industrias introduciendo la automatización. Sin embargo se debe hacerse en la forma más adecuada, de modo que se pueda absorber gradualmente la nueva tecnología en un tiempo adecuado; todo esto sin olvidar los factores de rendimiento de la inversión y capacidad de producción.

Uno de los elementos dentro de este resurgir, es la generación de piezas elaboradas en distintos materiales y de la misma estructura, con el fin de ser

utilizados en otros métodos de mecanizado, como la electroerosión con uso de piezas de carbón; aquí interviene la facilidad de realizarla en una reproductora de relieves bajo la automatización y control de máquinas herramientas, con un costo inferior comparado con las que se comercializan en el mercado.

1.1.5 Alcances y metas

- Construir un palpador mecánico; gobernado por tres servomotores en las coordenadas X, Y, Z; el cual, pueda palpar piezas con un espesor no superior a los 4 cm, cuyos relieves no sean inferiores a 1mm, con una resolución no superior a 100 dpi en materiales con dureza superior que la madera con dimensiones finales no superiores a 28 cm. x 12 cm.
- Diseñar y construir un mecanismo adecuado para el manejo del palpador.
- Seleccionar un transductor adecuado para el palpador.
- Construir o adaptar un cabezal de fresadora controlado por motores el cual sea capaz de reproducir piezas con una tolerancia no menor al diámetro de la fresa.
- Implementar una mesa para colocar la pieza a maquinar controlado por motores.
- Seleccionar el sensor para el control de posición de los motores.
- Diseño y construcción de un circuito electrónico me permita el control local o remoto del prototipo.
- Diseño y construcción de una interface de comunicación mediante PIC's.

1.2 ÁREA MECÁNICA

1.2.1 Ejes

Un eje móvil (o simplemente, eje) es un elemento rotatorio generalmente de sección transversal circular (una barra eje), cuya función es transmitir movimiento y potencia. Para la selección un eje se toma en cuenta los siguientes factores:

- Deformación y rigidez

- Deformación por flexión
- Deformación por torsión
- Inclinación en cojinetes y elementos soportados por ejes
- Deformación por cortante debida a cargas transversales en ejes cortos
- Esfuerzo y resistencia
- Resistencia estática
- Resistencia a la fatiga
- Confiabilidad

1.2.1.1 Análisis de carga estática¹

Se determina el Torque Máximo Admisible (τ_{adm}) o (τ_{max}) mediante:

$$\tau_{adm} = \frac{S_{sy}}{n} = \frac{S_y}{2n} \quad \text{Ec. 1}$$

El esfuerzo de Von Mises (σ'_{adm}) permisible con base en la teoría de la energía de distorsión en la falla es:

$$\sigma'_{adm} = \frac{S_y}{n} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

S_y: Esfuerzo en (y)

n: Factor de seguridad

1.2.1.2 Carga Estática- Flexión y Torsión

El diámetro (d) está dado por:

$$d = \left[\frac{32n}{\pi S_y} \left(M^2 + T^2 \right)^{1/2} \right]^{1/3} \quad \text{Ec. 3}$$

El diámetro mediante la teoría de la energía de distorsión es:

¹ SHIGLEY Edgard, Diseño en Ingeniería Mecánica ,Quinta edición, Pág.18, Pág. 788

$$d = \left[\frac{16n}{\pi S_y} \left(M^2 + 3T^2 \right)^{1/2} \right]^{1/3} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

d: Diámetro del eje

M: Momento flexionante

T: Momento torcionante

1.2.2 Rodamientos²

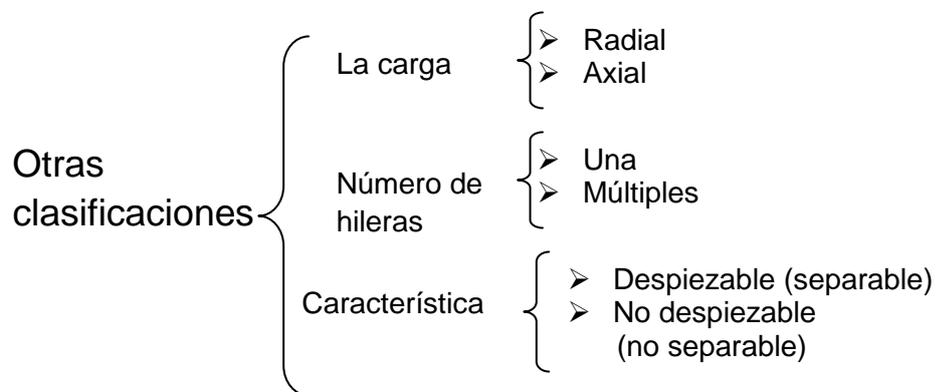
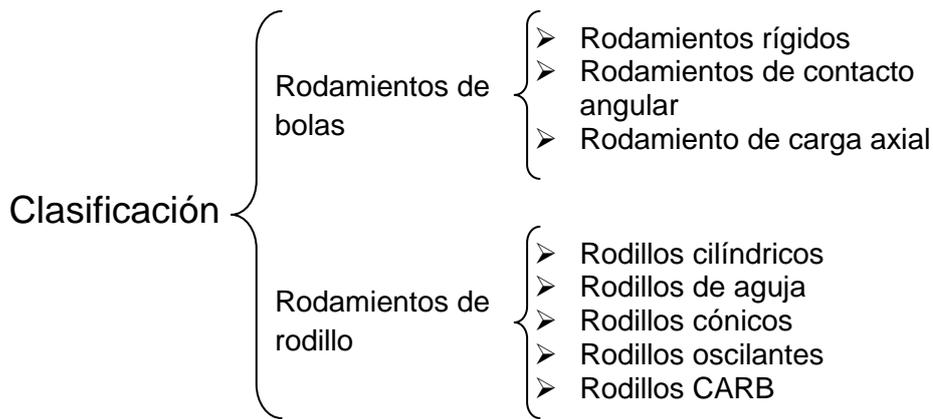
Son piezas de acero aleado con cromo, manganeso y molibdeno que son sometidos a rigurosos tratamientos térmicos para obtener piezas de gran resistencia al desgaste y a la fatiga. Los rodamientos son elementos de máquinas que permiten el movimiento entre un elemento mecánico y otro.

La mayoría de los rodamientos están formados por anillo uno interior y otro exterior. Los elementos rodantes pueden ser bolas o rodillos, Por lo general son retenidos por una jaula (canastilla), que separa, les da un intervalo de distancia a los elementos rodantes y los mantiene dentro de la pista interna y externa permitiendo que los elementos rodantes giren libremente.

1.2.2.1 Clasificación de los rodamientos

Los rodamientos se clasifican en dos categorías según los elementos rodantes, éstas son:

² <http://www.skf.com/portal/skf/home/products?lang=es&maincatalogue=1&newlink=1>



1.2.2.2 Rodamientos rígidos de bolas

En la Figura N° 1.1 se observa un rodamiento rígido; por su sencillo diseño son fáciles de montar, apropiados para velocidades altas e incluso muy altas y resistentes en su funcionamiento, exigiendo muy poco mantenimiento; cuando están sellados permiten estar exentos de lubricación y libres de manutención. Las ranuras profundas de los caminos de rodadura y el alto grado de conformidad entre éstas y las bolas, permiten que los rodamientos rígidos de una hilera de bolas soporten cargas axiales en ambos sentidos, además de cargas radiales; incluso a altas velocidades, la adaptabilidad angular de los rodamientos rígidos de bolas es relativamente pequeña. Estos rodamientos son los más utilizados entre todos los tipos de rodamientos.

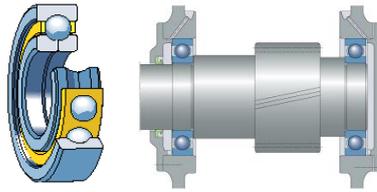


Figura N° 1.1 Rodamientos rígidos de bolas

1.2.2.3 Selección de rodamientos

Para la selección del rodamiento se deben considerarse las siguientes características de diseño:

- Carga sometida.- Valores de Fuerza radial y axial
- Velocidad de giro requerida.- Velocidades máximas y operación.
- Duración.- Aplicación, tipo de servicio y tiempo de servicio.
- Lubricación y mantenimiento.- Determinar el tipo y método de lubricación requerido o recomendado para el rodamiento y si requiere mantenimiento.

La vida nominal de un rodamiento según la normativa ISO 281:1990 es:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^p \quad \text{Ec. 5}$$

Si la velocidad es constante, suele ser preferible calcular la vida expresada en horas de funcionamiento utilizando la ecuación 6.

$$L_{10h} = \left(\frac{1000000}{60n} \right) \left(\frac{C}{P} \right)^p \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

L_{10} = vida nominal básica (con un 90 % de fiabilidad), millones de revoluciones

L_{10h} = vida nominal básica (con un 90 % de fiabilidad), horas de funcionamiento

C = capacidad de carga dinámica, KN

P = carga dinámica equivalente del rodamiento, kN

n = velocidad de giro, rpm

p = exponente de la ecuación de la vida (3 para los rodamientos de bolas y 10/3 para los rodamientos de rodillos)

1.2.3 Vigas³

Se define como elemento de considerable longitud y diámetro diseñado para soportar, regular, cargas puntuales o distribuidas en aplicaciones arquitectónicas y en la industria de la construcción de máquinas.

1.2.3.1 Esfuerzos uniformemente distribuidos

Los esfuerzos uniformemente distribuidos en barras se calculan de acuerdo al tipo de esfuerzos a los que se encuentren sometidos; así se tiene:

- Barra en tensión [σ]

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. 7}$$

Requerimientos:

- La barra sea recta y de material homogéneo
- La línea de acción de la fuerza pase por el centroide de la sección
- La sección esté suficientemente alejada de los extremos y de cualquier discontinuidad o cambio brusco en la sección transversal.

- Barra en compresión [τ]

³ SHIGLEY Edgard, Diseño en Ingeniería Mecánica ,Quinta edición, Cáp.3, Pág. 79

$$\tau = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. 8}$$

Requerimientos:

- La barra sea recta y de material homogéneo
- La línea de acción de la fuerza pase por el centroide de la sección
- La sección esté suficientemente alejada de los extremos y de cualquier discontinuidad o cambio brusco en la sección transversal.
- Una barra no muy delgada (en compresión puede fallar por pandeo).

1.2.3.2 Fuerza Cortante y Momento Flexionante en Vigas

La Figura N° 1.2 presenta una viga con reacciones R_1 y R_2 en sus apoyos y cargada con las fuerzas concentradas F_1 , F_2 y F_3 . La dirección asignada al eje (y) determina la convención de signos para las fuerzas. Las cargas F_1 , F_2 , F_3 son negativas porque actúan en la dirección opuesta a la del eje (y); por lo tanto, R_1 y R_2 son positivas.

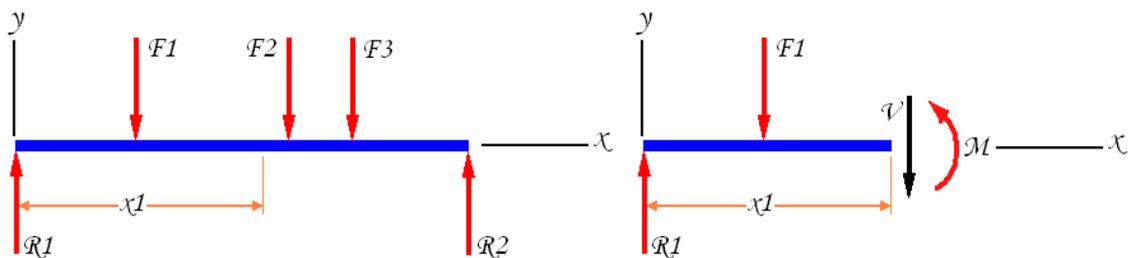


Figura N° 1.2 Fuerzas y momentos que actúan en una viga.

A veces una carga distribuida causa una flexión. El momento flexionante es la suma de los momentos de las fuerzas tomados con respecto a un eje de referencia.

1.2.3.3 Esfuerzos normales por flexión

Para deducir las relaciones correspondientes a los esfuerzos normales por flexión en vigas, se asumirán las siguientes idealizaciones:

1. La viga se somete a flexión pura.
2. El material es isótropo y homogéneo.
3. La viga es inicialmente recta y su sección transversal es constante en toda su longitud.

El momento flexionante máximo $[\sigma]$, en una viga está dado por:

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad \text{Ec. 9}$$

En la Tabla N° 1.1, la ecuación da el valor del esfuerzo máximo; luego, cuando se sabe qué sentido tiene el momento, se determina a simple vista si los esfuerzos máximos son de tensión o de compresión.

Perfil del material	Esfuerzo en barra $[\tau]$
 Rectangular	$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{3V}{2A}$
 Circular	$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{4V}{3A}$
 Estructura (viga I)	$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{V}{A_{alma}}$

Tabla N° 1.1 Ecuaciones de esfuerzo cortante y flexión máximo.

1.2.4 Engranajes⁴

⁴ www.tecnun.es/asignaturas/elemaqui/cap9.pdf

La potencia puede transmitirse desde un árbol a otro por medio de correas, ruedas de fricción, engranajes o cadenas. Cuando la razón entre las velocidades tiene que ser constante se aplica ruedas de engrane. Es evidente que cualquier par de superficies que rueden juntas con un movimiento de rodadura pura, permite obtener una relación de velocidad, puede servir de base para el diseño de un par de ruedas dentadas.

1.2.4.1 Clasificación de los engranajes

La más empleada es la que se basa en la situación relativa de los árboles o ejes donde van montados los engranajes, y cuyo movimiento de rotación transmiten. Se clasifican en:

- Ejes paralelos en un mismo plano.
Engranajes cónico-rectos, cónico-helicoidales o espirales.
- Ejes que se cortan en un mismo plano.
Engranajes cónico-rectos, y helicoidales y cónico-espirales.
- Ejes que se cruzan perpendicularmente.
Engranajes de tornillo-sin-fin, helicoidales, cónico-hipoides
- Ejes que se cruzan a cualquier ángulo.
Helicoidales.

1.2.4.2 Engranajes Cilíndricos Rectos

Es el tipo de engranaje más simple y corriente; en la Figura N° 1.3 se indica el engranaje con respecto a su acoplamiento. A grandes velocidades si no son rectificadas, producen ruido mayor o menor según la velocidad y la corrección de su tallado.



Figura N° 1.3 Engranajes Cilíndricos diente recto.

1.2.4.3 Engranajes cónicos rectos

En la Figura N° 1.4 se presentan algunos engranajes cónicos, estos engranajes efectúan la transmisión de movimiento de ejes que se cortan en un mismo plano, generalmente en ángulo recto, por medio de superficies cónicas dentadas. Los dientes convergen en el punto de intersección de los ejes.

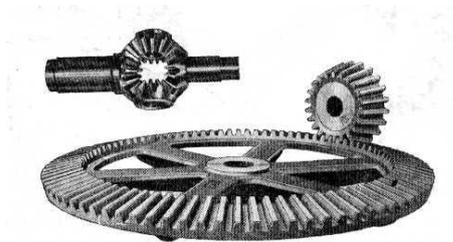


Figura N° 1.4 Engranajes cónicos diente recto.

En la clasificación de los especiales se encuentra el tornillo sin-fin. Son helicoidales para ejes cruzados, siendo el tornillo una rueda helicoidal de un filete o de varios. La rueda puede ser helicoidal simple o especial para tornillo sin-fin, en la que la superficie exterior y la de fondo del diente son concéntricas con las cilíndricas del tornillo. Generalmente, el ángulo de ejes es de 90° . Las características antes mencionadas, se observa en la Figura N° 1.5.

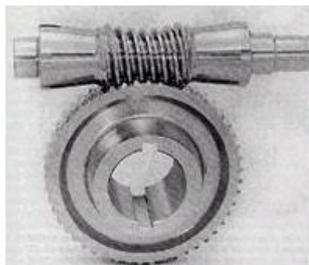


Figura N° 1.5 Engranajes de tornillo sin-fin.

1.2.4.4 Construcción y cálculo de los dientes de engranajes rectos, helicoidales y cónicos.⁵

➤ Engranajes Rectos

En la Tabla N° 1.2. se resume las ecuaciones más importantes para el diseño y construcción de los engranajes mencionados.

NOMENCLATURA	Ecuación
Paso circular	$\rho = m\pi$
Diámetro primitivo	$d = m.z$
Profundidad de diente	$h = m. 2,25$
Profundidad de trabajo	$h' = m. 2$
Diámetro exterior	$d_a = m(z + 2)$
Longitud del diente	$b = 3. p$

Tabla N° 1.2. Ecuaciones de construcción de engranaje cilíndrico diente recto

En la Figura N° 1.6 se observa el acotado y la nomenclatura de un acople rueda- piñón de diente recto.

⁵ LARBURU Nicolas, Máquinas prontuario ,Quinta edición, Sección décima, Pág. 322

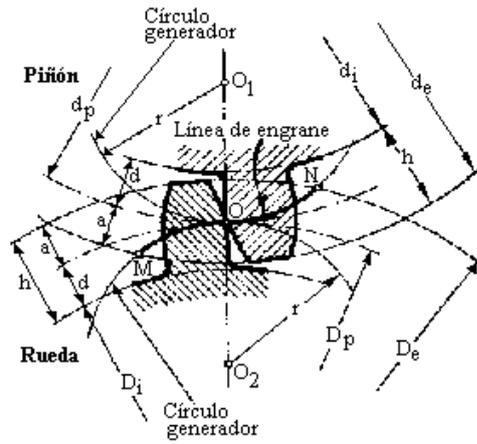


Figura N° 1.6 Nomenclatura de engranaje cilíndrico de diente recto.

➤ **Engranajes cónicos rectos**

Son utilizados para efectuar reducción de velocidad con ejes en 90° . Estos engranajes generan más ruido que los engranajes cónicos helicoidales. Se puede apreciar la nomenclatura y la sección de corte del engranaje en la Figura N° 1.7.

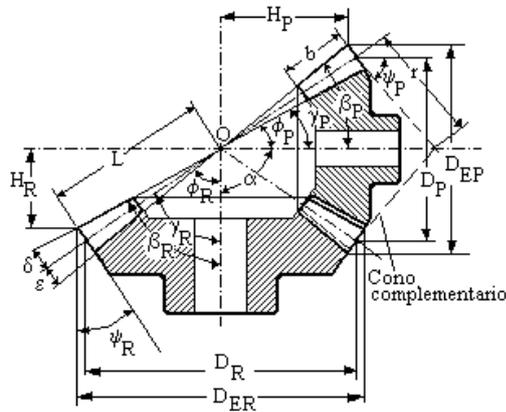


Figura N° 1.7 Nomenclatura de engranaje cónico de diente recto.

En la Tabla N° 1.3. se encuentra las ecuaciones de construcción del engranaje cónico diente recto.

NOMENCLATURA	Ecuación
h = profundidad del diente	2,25 . m
s = espesor del diente	$\frac{p}{2} = \frac{\pi \cdot m}{2}$
b = longitud del diente	< a 1/3 de la generatriz
α_f = ángulo de dedendum	$\operatorname{tg} \theta = \frac{h_f}{R} = \frac{2,1,25 \operatorname{sen} \delta}{z}$
ángulo de addendum	$\operatorname{tg} \theta_a = \frac{h_a}{R}$
α_c = ángulo de cara	$\alpha_a = \alpha_f + \alpha_a$
d_a = diámetro exterior	$d + 2 \cdot h_a \cos \theta$
Engranajes cónicos-rectos con ángulos de ejes $\alpha < 90^\circ$ $\varphi_1 + \varphi_2 = E$	$\operatorname{tg} \delta_1 = \frac{\operatorname{sen} E}{\frac{z_2}{z_1} + \cos E}$ $\operatorname{tg} \delta_2 = \frac{\operatorname{sen} E}{\frac{z_1}{z_2} + \cos E}$
Todas las demás dimensiones, como para los de $\alpha = 90^\circ$ $\varphi_1 + \varphi_2 = \Sigma$	$\operatorname{tg} \delta_1 = \frac{\operatorname{sen} (180^\circ - E)}{\frac{z_2}{z_1} - \cos (180^\circ - E)}$ $\operatorname{tg} \delta_2 = \frac{\operatorname{sen} (180^\circ - E)}{\frac{z_1}{z_2} - \cos (180^\circ - E)}$

Tabla N. 1.3. Ecuaciones para construcción de engranaje cónico diente recto

➤ **Tornillo sin-fín y rueda helicoidal**

Es utilizado cuando se exige una gran reducción de velocidad en un espacio limitado y una marcha silenciosa. Existen distintos casos que se pueden

presentar, según sea el tipo del perfil de los dientes, tanto de la rueda como el del tornillo sin-fín, los que pueden ser: a) tornillo sin-fín y rueda helicoidal ambos de perfil cilíndrico, b) tornillo sin-fín de perfil cilíndrico y rueda helicoidal perfil globoide (axoide), siendo éste el de uso más generalizado y c) tornillo sin-fín y rueda helicoidal ambos de perfil globoide.

En la Figura N° 1.8 se observa los elementos que conforman el par tornillo sin-fín y rueda helicoidal con su respectiva nomenclatura.

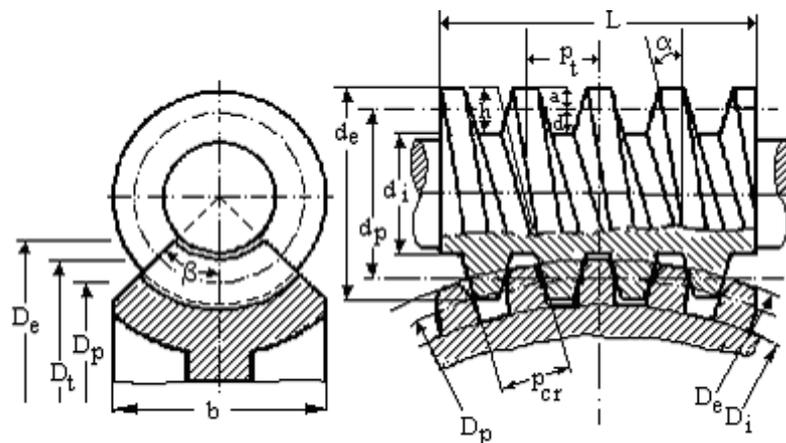


Figura N° 1.8 Nomenclatura de engranaje de tornillo sin-fin.

Donde:

L : longitud del tornillo sin-fín.

d_e : diámetro exterior del tornillo.

p_t : paso axial entre filetes del tornillo.

p_{cr} : paso circunferencial de la rueda.

a : altura de cabeza (adendo) del filete.

D_i : diámetro interior de la rueda.

d : altura de raíz (dedendo) del filete.

D_p : diámetro primitivo de la rueda.

h : altura total del filete.

D_i : diámetro de garganta de la rueda

α : ángulo de avance del tornillo.

D_e : diámetro exterior de la rueda.

1.2.5 MECANIZADO⁶

⁶ www.ing.unlpam.edu.ar/~material/tecmechanica/material_didactico.htm

1.2.5.1 Principio del mecanizado.

Observando el trabajo del cincel en la Figura N° 1.9 su penetración en el material se logra por los golpes del martillo, estos permiten a la herramienta “clavarse” en el metal abriéndolo, debido al material de la cuña que forma un filo; y es más duro que la pieza trabajada.

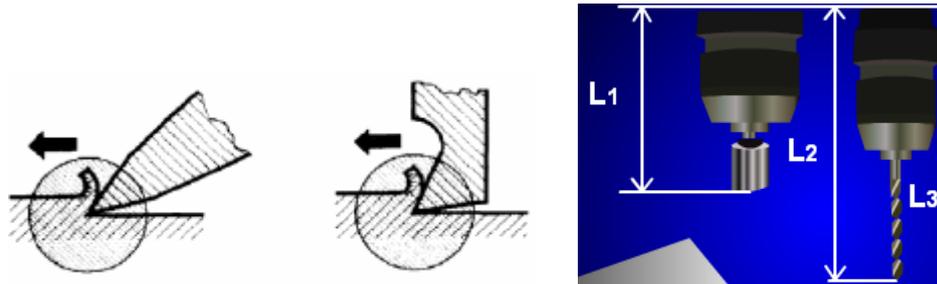


Figura N° 1.9 Mecanizado de un útil.

1.2.5.2 Clasificación de las máquinas-herramientas.

Atendiendo al movimiento relativo entre la herramienta y la pieza, las máquinas se pueden clasificar como se indica en la Figura N° 1.10.

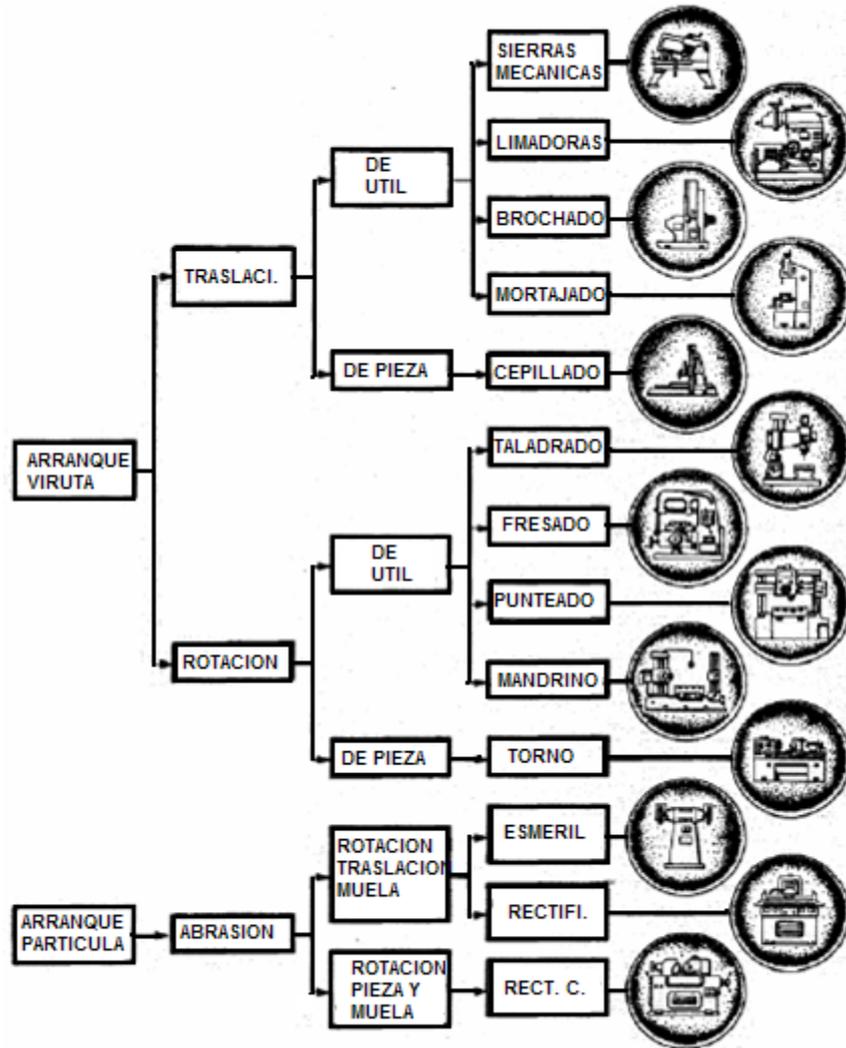


Figura N° 1.10 Clasificación de las máquinas herramientas.

1.2.5.3 Herramientas (Útil de corte).

Una máquina debe trabajar con la máxima economía, para que las piezas se fabriquen con el mínimo consumo de potencia y de tiempo y, por consiguiente, con el menor costo.

Para poder llevar a cabo esto, es necesario conocer varios aspectos de las mismas, que constituyen sus características, como son:

- La clase de herramienta.
- La forma de la misma.
- El material de que está constituida.

- Los ángulos característicos de afilado.

1.2.5.4 Clasificación de las fresas por sus aplicaciones

Las fresas presentan muy variadas formas para adaptarse al trabajo que se ha de ejecutar. En la Figura N° 1.11. se observa fresas para labrar superficies planas que pueden ser cilíndricas y frontales. Para trabajos fuertes, se emplean fresas dobles, cuyos dientes están inclinados en sentido opuesto. Las fresas frontales pueden ser de dientes postizos. Hay también fresas que pueden trabajar por dos caras.

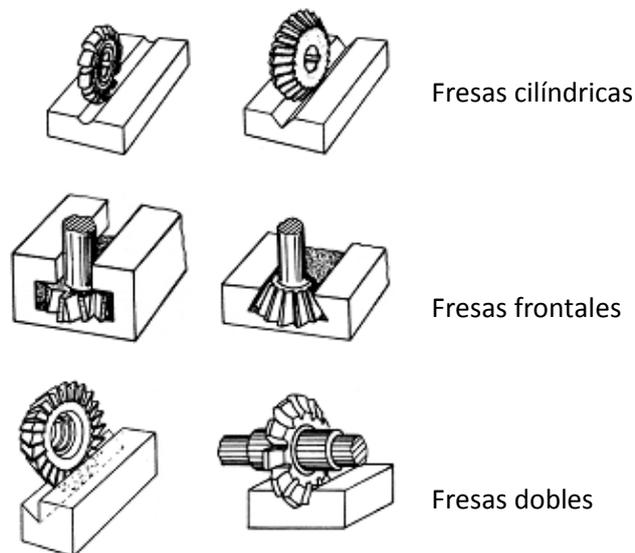


Figura N° 1.11 Tipos de fresas.

1.2.5.5 Selección de Parámetros para el Fresado. (Cálculos)

- **Diámetro de la fresa. (D) (mm)**

Existen fresas de diferentes diámetros y tipos que se debe seleccionar exclusivamente a criterio del constructor, la fresa dependerá del acabado de la superficie deseado y de la complejidad del mecanizado a realizarse.

Para el fresado frontal, se recomienda que el diámetro de la fresa sea mayor a $(4/3)$ del avance real del mecanizado. $[a_r]$

➤ **Velocidad de corte (Vc) [m/min]**

La velocidad de corte de la herramienta recomendada para fresas de acero rápido (HSS), se puede ver en la Tabla N° 1.4. Cuando se emplean insertos cerámicos se puede consultar la Tabla N° 1.5.

HERRAMIENTA	VELOCIDAD DE CORTE	AVANCE
Fresa cilíndrica $\varnothing 12$ mm Z=2, HSS.	Vc = 20 m/min. (desbaste) Vc = 25 m/min. (acabado)	Av. = 0.03 mm/v.z. (desb.) Av. = 0.01 mm/v.z.
Broca de centrar $\varnothing 3.15$ mm	Vc = 15 m/min.	MANUAL
Avellanador cónico	Vc = 15 m/min.	MANUAL
Avellanador cilíndrico	Vc = 15 m/min.	MANUAL
Broca hel. $\varnothing 4$	Vc = 20 m/min.	MANUAL
Broca hel. $\varnothing 6.5$	Vc = 20 m/min.	MANUAL
Broca hel. $\varnothing 17.5$	Vc = 20 m/min.	MANUAL
Fresa cilíndrica $\varnothing 6$ mm Z=2, HSS.	Vc = 20 m/min. (desbaste) Vc = 25 m/min. (acabado)	Av. = 0.03 mm/v.z. (desb.) Av. = 0.01 mm/v.z.
Fresa cilíndrica $\varnothing 8$ mm Z=2, HSS.	Vc = 20 m/min. (desbaste) Vc = 25 m/min. (acabado)	Av. = 0.03 mm/v.z. (desb.) Av. = 0.01 mm/v.z.

Tabla N° 1.4. Parámetros de corte (útil HSS) para cálculos de fresado.

MATERIAL	Fresas de gran rendimiento cilíndricas y frontales		Fresas corrientes de dientes agudos Fresas destalonadas de perfil sencillo		Fresas de perfil constante complicado	
	Avance en	Velocidad de corte	Avance en mm/min	Velocidad de corte	Avance en	Velocidad de corte

	mm/min	m/min		m/min	mm/min	m/min
Electron	800	400	500	400	315	250
Aluminio(aleaciones dulces)	500	250	315	250	200	160
Aluminio(aleaciones duras)	400	160	250	160	160	100
Latón	315	63	200	63	125	40
Bronce blando, fundición dulce	250	40	160	40	100	25
Fundición semidura	200	25	125	25	80	16
Fundición dura	160	20	100	20	63	12,5
Acero dulce	160	20	100	20	63	12,5
Acero con 40/50 Kg/mm2	160	20	100	20	63	12,5
Acero con 50/70 Kg/mm2	125	16	80	16	50	10
Acero con 70/90 Kg/mm2	100	16	63	16	50	10
Acero con 90/120 Kg/mm2	80	12,5	50	12,5	32	8
Acero Inoxidable	40	10	25	10	20	8

Tabla N° 1.5. Avance y velocidad de las fresas HSS con insertos cerámicos.

➤ **Revoluciones por minuto. (N) [rpm]**

Estas se calculan a partir de la fórmula:

$$V = \frac{\pi * D * n}{1000} = \left[\frac{m}{min} \right] \quad \text{Ec. 10}$$

➤ **Número de filos de una fresa. (z)**

Para estimar el número de filos de una fresa (z) es importante tomar las siguientes consideraciones:

1.-El número de filos no debe ser muy grande como para impedir el alojamiento de la viruta que se genere durante la operación.

2.- Se debe considerar que al menos dos dientes siempre estén cortando. Se prefieren tres.

➤ **Fresado frontal**

$$Z = \frac{9,45D}{a_r} \quad \text{Ec. 11}$$

➤ **Fresado Periférico**

$$Z = \frac{18,9D \cos \phi}{D + a_r} \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

Z= Número de filos cortantes

D= Diámetro de la fresa (mm)

ϕ =Angulo de la hélice de la fresa

a_r =Profundidad de corte radial (mm)

➤ **Avance de la mesa (s') [mm/min]**

Para las herramientas de acero rápido (HSS) se puede consultar en la segunda columna de la Tabla 4. y Tabla 5. para conocer su valor.

➤ **Avance (S_n) [mm/rev]**

De acuerdo a las recomendaciones ya establecidas en el ítem 1.2.5.2, se calcula a partir de la Ecuación 13.

$$S_n = S_z * Z * N \text{ (mm/min)} \quad \text{Ec. 13}$$

➤ **Potencia (P) [Kw]**

La potencia es muy importante para la selección de la máquina herramienta a utilizar o en su caso, para modificar el plan de proceso para una máquina determinada. Se calcula mediante la Ecuación 14.

$$P = \frac{a_a * a_r * s' * F_p * W}{1000 * V_p * E_f} [\text{Kw}] \quad \text{Ec. 14}$$

➤ **Tiempo (TM) [min]**

El tiempo de trabajo se calcula mediante la Ecuación 15.

$$TM = \frac{C}{s'} [\text{min}] \quad \text{Ec. 15}$$

El valor de C se refiere a la distancia total que se desplaza la herramienta de corte.

1.3 ÁREA ELÉCTRICA

1.3.1 Motores⁷

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica rotativa que transforma energía eléctrica en energía mecánica.

Los motores se clasifican de acuerdo a la energía que necesitan para su funcionamiento; así se tiene:

- Motores de corriente Alterna (AC)
- Motores de corriente continua (DC)

1.3.1.1 Motores de corriente Alterna (AC)

⁷ www.todocoleccion.net/teoria-calculo-bobinados-electricos-j-rapp-9-edicion-1983-x7282313 -

Los motores de corriente alterna (Figura N° 1.12.) están formados por dos partes principales:

El estator es la parte externa del motor que no gira. Esta consta de embobinados, que al ser alimentados por corriente alterna, generan un campo magnético rotativo. El rotor es la parte del motor que gira, debido a la acción del campo magnético rotativo del estator.

En un motor asíncrono o motor de inducción, el campo magnético rotativo induce en el rotor un campo magnético que se opone al primero, resultando en un par que hace que el rotor gire en el mismo sentido del giro del campo magnético rotativo. Para que el campo magnético pueda producirse, el rotor tiene que girar a una velocidad un poco menor que la del campo magnético rotativo.

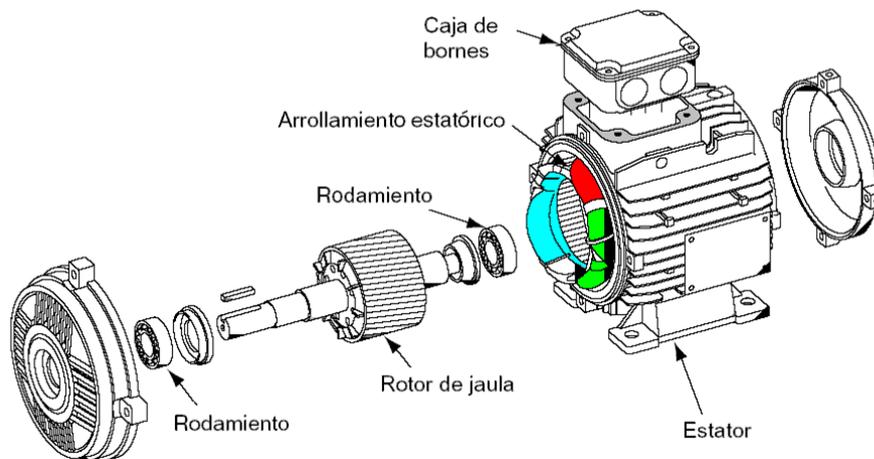


Figura N° 1.12 Motor asíncrono.

Para distinguir entre diversos tipos disponibles, la National Eléctrica Manufacturers Association (NEMA) ha desarrollado un [sistema](#) de identificación con letras en la cual cada tipo de motor comercial de inducción de jaula de ardilla se fabrica de acuerdo con determinada norma de diseño y se coloca en determinada clase, identificada con una

letra. Las propiedades de la [construcción](#) eléctrica y [mecánica](#) el rotor, en las cinco clases NEMA sobre motores de inducción de jaula de ardilla, se resume en la Tabla N° 1.6.

Clase NEMA	Par de arranque (# de veces el nominal)	Corriente de Arranque	Regulación de Velocidad (%)	Nombre de clase Del motor
A	1.5-1.75	5-7	2-4	Normal
B	1.4-1.6	4.5-5	3.5	De propósito general
C	2-2.5	3.5-5	4-5	De doble jaula alto par
D	2.5-3.0	3-8	5-8 , 8-13	De alto par alta resistencia
F	1.25	2-4	mayor de 5	De doble jaula, bajo par y baja corriente de arranque.

Tabla N° 1.6. Características de los motores comerciales según NEMA.

1.3.1.2 Motores de corriente continua (DC)

En la Figura N° 1.13. se observa un motor DC; siendo éstos los más comunes y económicos, constituidos, por lo general, por dos imanes permanentes fijados en la carcasa y una serie de bobinados de cobre ubicados en el eje del motor, que habitualmente suelen ser tres.

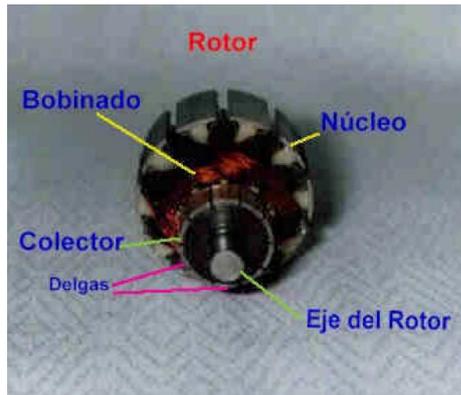


Figura N° 1.13 Motor DC.

1.3.1.3 Parámetros de selección de un motor DC

Todos los motores pueden ser utilizados para toda clase de trabajo y cada actividad requiere un tipo de motor. Para elegir un motor hay que tener en cuenta:

- La carga de trabajo (Potencia).
- La clase de servicio.
- El ciclo de trabajo.
- Los procesos de arranque, frenado e inversión.
- La regulación de velocidad.
- Las condiciones de la red de alimentación.
- La temperatura ambiente.

1.3.2 Control eléctrico⁸

Para realizar el control eléctrico de una máquina es necesario conocer los elementos indispensables que se utilizarán en el mismo, así como su función, selección e instalación. Sin lugar a duda el operario se evitará tener contratiempo y al mismo tiempo seguridad en el manejo de la misma.

⁸ www.emagister.com.mx/cursos_control_electrico_motores-tpsmx-314789.htm

1.3.2.1 El Contactor

En la Figura N° 1.14 se muestra las partes constitutivas que permite en conjunto la conexión y desconexión eléctrica, accionado por cualquier forma de energía, menos manual, capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en condiciones normales del circuito, incluso las de sobrecarga. .

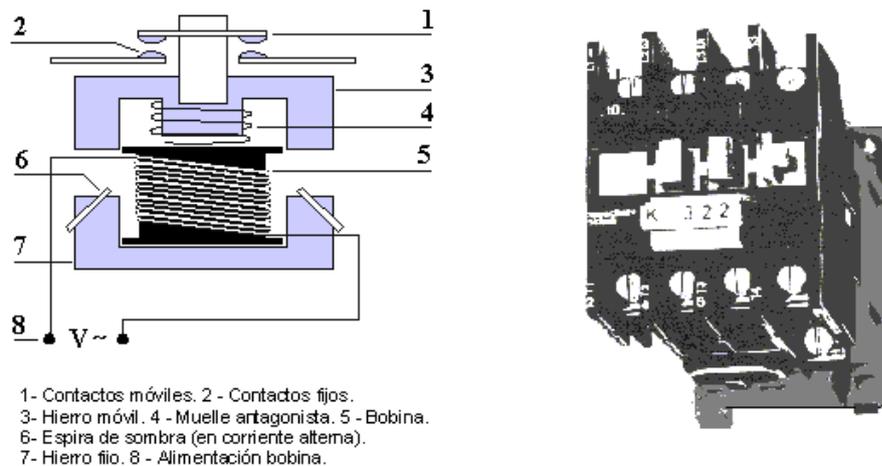


Figura N° 1.14 Contactor.

Para elegir el contactor se debe tener en cuenta los siguientes criterios:

- Tipo de corriente, tensión de alimentación de la bobina y la frecuencia.
- Potencia nominal de la carga.
- Condiciones de servicio: ligera, normal, dura, extrema. Existen maniobras que modifican la corriente de arranque y de corte.
- Si es para el circuito de potencia o de mando y el número de contactos auxiliares que necesita.
- Para trabajos silenciosos o con frecuencias de maniobra muy altas es recomendable el uso de contactores estáticos o de estado sólido.
- Por la categoría de empleo.

1.3.2.2 Interruptor de posición final o de carrera.

Es un aparato empleado en la etapa de mecanizado, detección, control de presencia, ausencia o posición. En la Figura N° 1.15. se muestra los mecanismos de accionamiento mediante contacto físico (ataque).

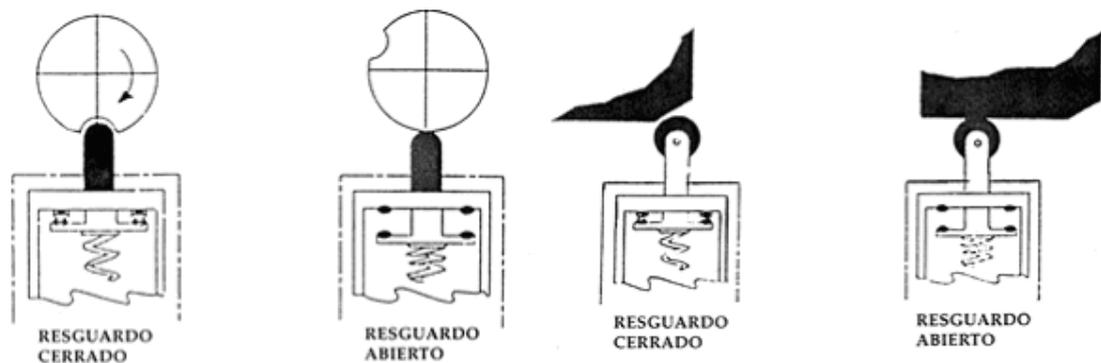


Figura N° 1.15 Interruptor de posición final.

1.4 ÁREA ELECTRÓNICA

1.4.1 Conversor ANALOGO-DIGITAL (A/D)⁹

El conversor A/D cuantiza un valor x análogo y lo representa por B bits $[b_1, b_2, \dots, b_B]$. Un conversor muy usado es el ADC0808 de $B=8$ bits de aproximación sucesiva.

En la Figura N° 1.16. se puede observar la conversión A/D de aproximación sucesiva, inicialmente $B=[0,0,\dots,0]$, luego comenzando con el MSB b_1 , se pone en 0 o en 1. Luego el valor de B se pasa a un conversor D/A (DAC) que proporciona un valor cuantizado de X_q que se compara con el valor de entrada X . Si X es mayor o igual que X_q , entonces el

⁹ www.automatas.org/hardware/teoria_pid.htm

bit se mantiene, de otro modo cambia a 0 o 1. Después de efectuar esta iteración B veces desde el bit más significativo al menos significativo, se obtiene la salida digital B que corresponde al valor de la entrada analógica X. Este algoritmo funciona sólo con binario natural y binario offset.

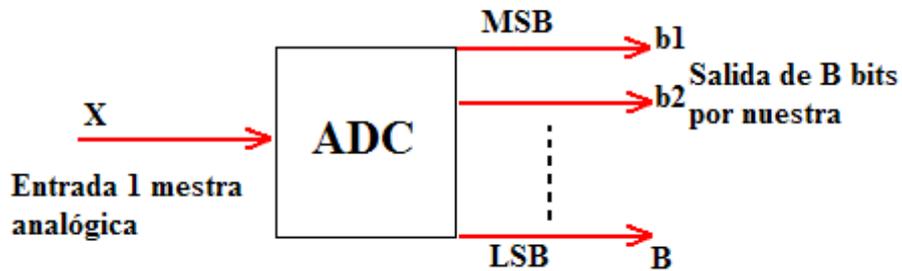


Figura N° 1.16 Esquema de un conversor ADC.

Un convertidor analógico a digital es un circuito que tiene una línea de entrada analógica y n líneas de salida digitales. Genera el código binario que es proporcional a la entrada de voltaje analógica.

Todos los ADCs requieren al menos un comparador analógico, un elemento que acepte dos entradas analógicas de voltaje y produzca una salida digital. Diferentes técnicas de conversión analógicas a digital han sido desarrolladas a través del tiempo, los más populares son el de rampa o escalera y el de aproximaciones sucesivas.

El ADC contador de rampa es el más lento y simple de los ADC secuenciales. El registro de resultados es un contador de n bits que se pone en cero al comenzar la conversión. Mientras la salida del convertidor DAC sea menor que la entrada analógica, al contador se le permite seguir contando.

Cuando la salida del DAC sea mayor que la entrada analógica el contador se detiene, su valor almacenado es el resultado, Esta técnica requiere un máximo de 2^n pasos para realizar la conversión de n bits.

1.4.1.1 Ventajas de la conversión

- No introduce ruidos en la transmisión.
- Se guarda y procesa mucho más fácilmente que la analógica.
- Posibilita almacenar grandes cantidades de datos en diferentes soportes
- Permite detectar y corregir errores con más facilidad.
- Las grabaciones no se deterioran con el paso del tiempo como sucede con las cintas analógicas.
- Permite realizar regrabaciones sucesivas sin que se pierda ninguna generación y, por tanto, calidad.

1.4.1.2 Desventajas

- Para su transmisión requiere un mayor ancho de banda en comparación con la analógica.
- La sincronización entre los relojes de un transmisor inalámbrico digital y el receptor requiere que sea precisa.
- Las transmisiones de las señales digitales son incompatibles con las instalaciones existentes para transmisiones analógicas.

1.4.2 Memorias¹⁰

Se considera una memoria como un conjunto de M registros de N bits cada uno de ellos. Estos registros ocupan las posiciones desde el valor 0 hasta M-1. Para acceder a cada registro es necesaria una lógica de selección y una secuencia establecida.

1.4.2.1 Clasificación de las memorias

Algunos tipos de memoria utilizados se presentan en la Figura N° 1.17.

¹⁰ www.emagister.com/memorias-teoria-definiciones-cursos-1028977.htm

➤ **Memorias de acceso aleatorio (RAM)**

(Random access memory): Son memorias de acceso directo; esto es, cada una de los registros puede ser leído o escrito de forma directa sin más que presentar en los terminales de dirección el código correspondiente de la posición que ocupa dentro de la memoria.

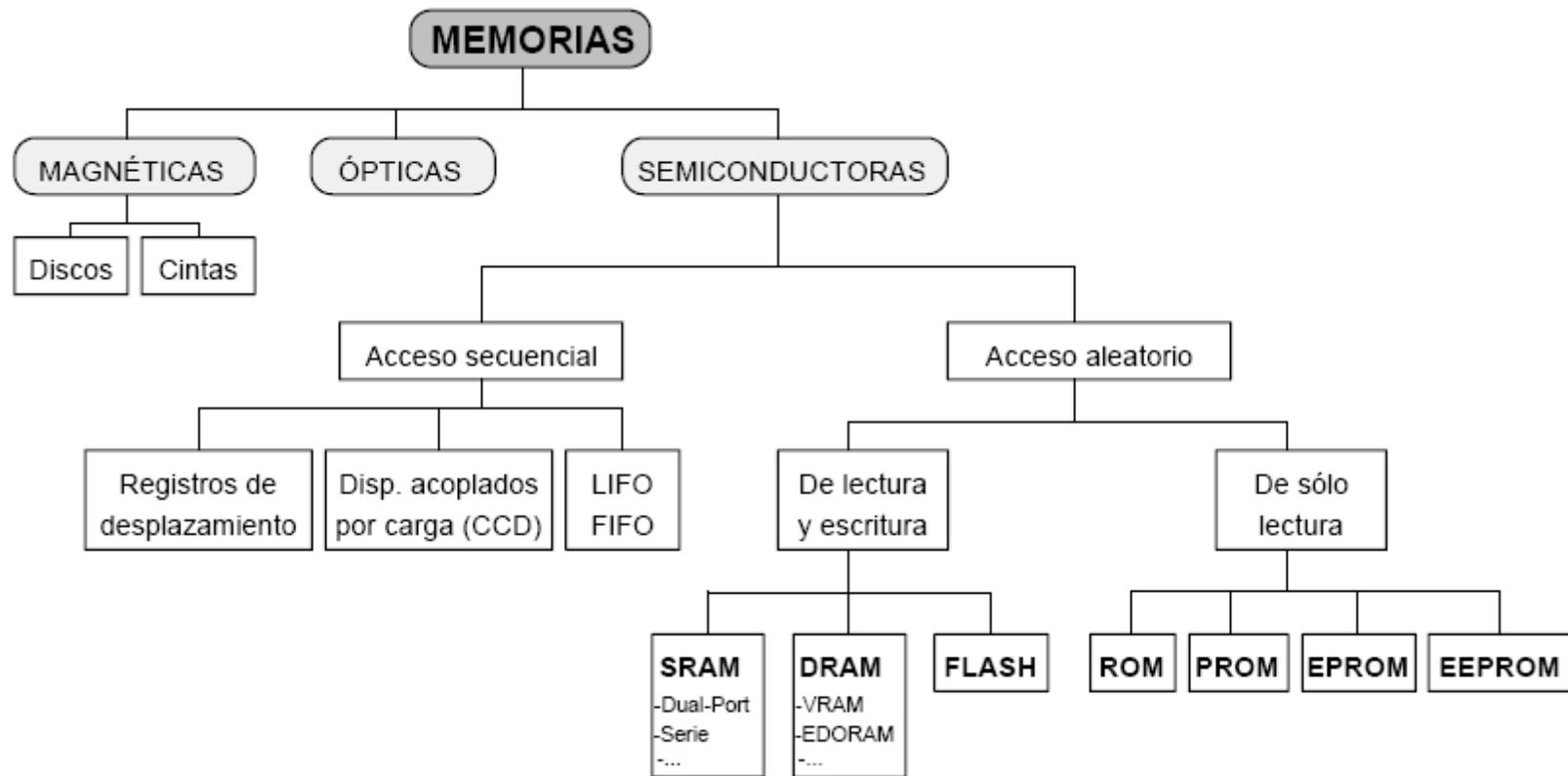


Figura N. 1.17 Clasificación de memorias.

Se presenta en la Figura N° 1.18. la arquitectura de una memoria dinámica.

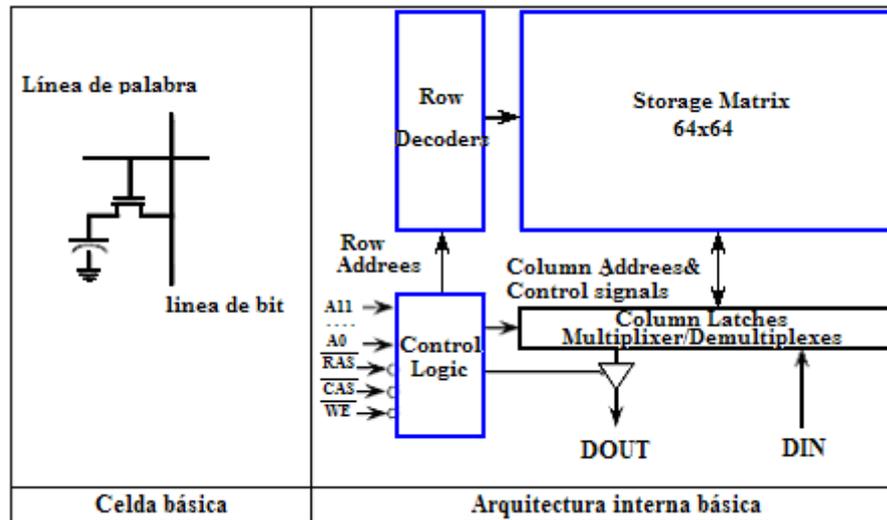


Figura N° 1.18 Arquitectura de una memoria DRAM.

El tiempo de espera que debe transcurrir entre dos accesos consecutivos; esto hace que el procesador tenga que esperar en ocasiones a que la memoria esté disponible para acceder a ella, encontrándose en un tiempo de espera denominado "wait state".

El proceso de lectura consiste en seleccionar la línea de palabra y leer la línea de bit, mientras que el proceso de escritura consiste en, una vez seleccionada la palabra mediante la línea correspondiente, escribir un dato en la línea de bit.

Una característica de este tipo de memorias radica en que el proceso de lectura es destructivo; esto es, en el momento que se lee la información de una celda de memoria, ésta se pierde.

Por ello es necesario refrescar constantemente los datos de todas las celdas: El almacenamiento adecuado de los datos decae en unos pocos milisegundos. Para realizar

este proceso de refresco una circuitería interna está constantemente leyendo los datos de la memoria y volviéndolos a escribir sobre las mismas posiciones. Para ello son necesarias dos nuevas líneas de control que se observa en la Figura N° 1.18, son los terminales RAS y CAS, cuya equivalencia es:

- RAS: Row Address Strobe
- CAS: Column Address Strobe

Estas dos líneas sustituyen a la línea de selección de chip CS de las memorias RAM estáticas. Se indica en la Figura N° 1.19. un cronograma simplificado de este tipo de memorias.

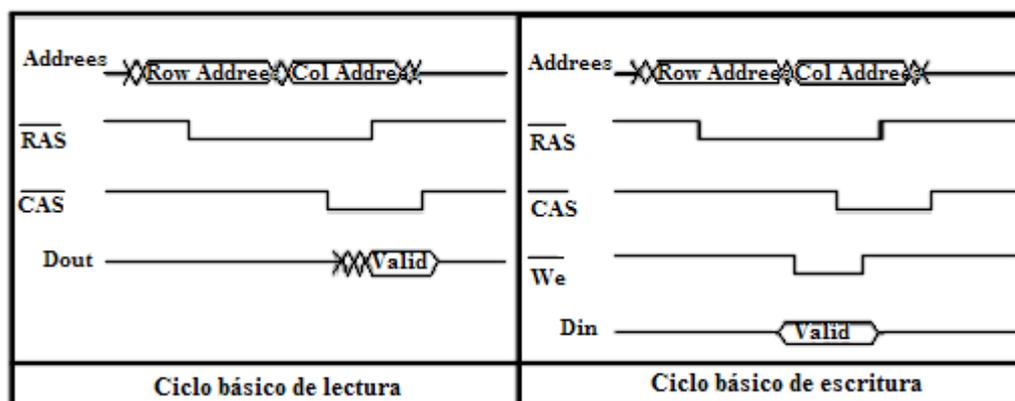


Figura N° 1.19 Cronograma de escritura y lectura de una memoria DRAM.

En el ciclo de lectura, cuando la señal RAS se activa (valor bajo) se almacenan en unos registros la dirección de la fila. Seguidamente ocurre lo mismo para la dirección de la columna al activarse la señal CAS. En este momento la memoria está preparada para dar un dato válido. Por último las líneas de datos de salida se ponen en alta impedancia.

- **Memoria Fast Page Mode (FPM) DRAM**

La primera mejora significativa consistió en considerar que, habitualmente, tanto las instrucciones que ejecuta el procesador como los datos a los que accede se encuentran ubicados en posiciones consecutivas de memoria. La consecuencia fue la construcción de una memoria que permitía especificar la dirección RAS (fila) una sola vez y luego cambiar sucesivamente el valor CAS (columna) para acceder a posiciones de memoria correspondientes a diferentes columnas dentro de la fila especificada.

1.4.3 Microcontroladores PIC's¹¹

Un microcontrolador es un circuito integrado que contiene toda la estructura (arquitectura) de un microcomputador, o sea CPU, RAM, ROM y circuitos de entrada y salida. Los resultados de tipo práctico, que pueden lograrse a partir de estos elementos, son sorprendentes. Algunos microcontroladores más especializados poseen además convertidores análogos digital, temporizadores, contadores y un sistema para permitir la comunicación en serie y en paralelo.

Se pueden crear muchas aplicaciones con los microcontroladores. Estas aplicaciones de los microcontroladores son ilimitadas (el límite es la imaginación), entre ellas se puede mencionar: sistemas de alarmas, juego de luces, paneles publicitarios, etc. Controles automáticos para la Industria en general; entre ellos control de motores DC/AC y motores de paso a paso, control de máquinas, control de temperatura, control de tiempo, adquisición de datos mediante sensores, etc.

1.4.3.1 Recursos comunes a todos los microcontroladores.

Al estar todos los microcontroladores integrados en un chip, su estructura fundamental y sus características básicas son muy parecidas. Todos deben disponer de los bloques esenciales Procesador, memoria de datos y de instrucciones, líneas de E/S, oscilador de reloj y módulos controladores de periféricos. Sin embargo, cada fabricante intenta enfatizar los recursos más idóneos para las aplicaciones a las que se destinan preferentemente.

¹¹ REYES Carlos, Aprenda rápidamente a programar PIC's ,Primera edición, Cáp.2, Pág. 13

1.4.3.2 Arquitectura básica

La arquitectura básica de un microcontrolador es la de Von Neumann, se muestra en la Figura N° 1.20. y se caracteriza por disponer de una sola memoria principal donde se almacenan datos e instrucciones de forma indistinta. Otra arquitectura (Harvard) dispone de dos memorias independientes una, que contiene sólo instrucciones y otra, sólo datos. Ambas disponen de sus respectivos sistemas de buses de acceso y es posible realizar operaciones de acceso (lectura o escritura) simultáneamente en ambas memorias.

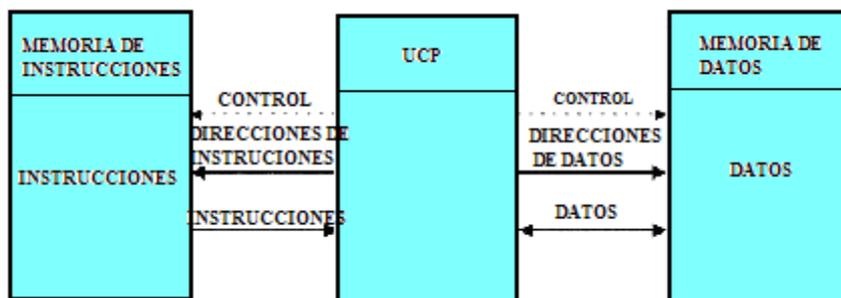


Figura N° 1.20 Arquitectura de un microcontrolador

➤ El procesador o CPU

Es el elemento más importante del microcontrolador y determina sus principales características, tanto a nivel hardware como software. Se encarga de direccionar la memoria de instrucciones, recibir el código OP de la instrucción en curso, su decodificación y la ejecución de la operación que implica la instrucción, así como la búsqueda de los operandos y el almacenamiento del resultado.

Existen tres orientaciones en cuanto a la arquitectura y funcionalidad de los procesadores actuales:

CISC: Un gran número de procesadores usados en los microcontroladores están basados en la filosofía CISC (Computadores de Juego de Instrucciones Complejo). Disponen de

más de 80 instrucciones máquina en su repertorio, algunas de las cuales son muy sofisticadas y potentes, requiriendo muchos ciclos para su ejecución. Una ventaja de los procesadores CISC es que ofrecen al programador instrucciones complejas que actúan como macros.

RISC: Tanto la industria de los computadores comerciales, como la de microcontroladores están orientándose hacia la filosofía RISC (Computadores de Juego de Instrucciones Reducido). En estos procesadores el repertorio de instrucciones máquina es muy reducido y las instrucciones son simples y, generalmente, se ejecutan en un ciclo. La sencillez y rapidez de las instrucciones permiten optimizar el hardware y el software del procesador.

SISC: En los microcontroladores destinados para aplicaciones muy concretas, el juego de instrucciones, además de ser reducido, es "específico", o sea, las instrucciones se adaptan a las necesidades de la aplicación prevista. Esta filosofía se ha bautizado con el nombre de SISC (Computadores de Juego de Instrucciones Específico).

➤ **Memoria**

En los microcontroladores la memoria de instrucciones y datos está integrada en el propio chip. Una parte debe ser no volátil, tipo ROM, y se destina a contener el programa de instrucciones que gobierna la aplicación. Otra parte de memoria será tipo RAM, volátil, y se destina a guardar las variables y los datos. La RAM en estos dispositivos es de poca capacidad pues sólo debe contener las variables y los cambios de información que se produzcan en el transcurso del programa.

Las memorias EEPROM y FLASH son muy útiles al permitir que los microcontroladores que las incorporan puedan ser reprogramados "en circuito", es decir, sin tener que sacar el circuito integrado de la tarjeta. Así, un dispositivo con este tipo de memoria incorporado al control del motor de un automóvil permite que pueda modificarse el programa durante la rutina de mantenimiento periódico, compensando los desgastes y otros factores tales como la compresión, la instalación de nuevas piezas, etc. La reprogramación del microcontrolador puede convertirse en una labor rutinaria dentro de la puesta a punto.

➤ **Puertos de Entrada y Salida**

La principal utilidad de los pines que posee la cápsula que contiene un microcontrolador es soportar las líneas de E/S que comunican al computador interno con los periféricos exteriores.

Según los controladores de periféricos que posea cada modelo de microcontrolador, las líneas de E/S se destinan a proporcionar el soporte a las señales de entrada, salida y control.

➤ **Reloj principal**

Todos los microcontroladores disponen de un circuito oscilador que genera una onda cuadrada de alta frecuencia, que configura los impulsos de reloj usados en la sincronización de todas las operaciones del sistema.

Aumentar la frecuencia de reloj supone disminuir el tiempo en que se ejecutan las instrucciones pero lleva aparejado un incremento del consumo de energía.

➤ **Recursos especiales**

Los principales recursos específicos que incorporan los microcontroladores son:

- Temporizadores o "Timers".
 - Perro guardián o "Watchdog".
 - Protección ante fallo de alimentación o "Brownout".
 - Conversor A/D.
 - Conversor D/A.
 - Comparador analógico.
 - Modulador de anchura de impulsos o PWM.
 - Puertos de E/S digitales.
 - Puertos de comunicación.
-
- **Temporizadores o "Timers"**

Se emplean para controlar periodos de tiempo (temporizadores) y para llevar la cuenta de acontecimientos que suceden en el exterior (contadores).

Para la medida de tiempos se carga un registro con el valor adecuado y a continuación dicho valor se va incrementando o decrementando al ritmo de los impulsos de reloj o algún múltiplo hasta que se desborde y llegue a 0, momento en el que se produce un aviso.

- **Perro guardián o "Watchdog"**

Un microcontrolador funciona sin el control de un supervisor y de forma continuada las 24 horas del día. El Perro guardián consiste en un temporizador que, cuando se desborda y pasa por 0, provoca un reset automáticamente en el sistema.

- **Protección ante fallo de alimentación o "Brownout"**

Se trata de un circuito que resetea al microcontrolador cuando el voltaje de alimentación (VDD) es inferior a un voltaje mínimo ("brownout").

- **Estado de reposo o de bajo consumo**

Para ahorrar energía, (factor clave en los aparatos portátiles), los microcontroladores disponen de una instrucción especial (SLEEP en los PIC), que les pasa al estado de reposo o de bajo consumo, en el cual los requerimientos de potencia son mínimos.

- **Conversor A/D (CAD)**

Los microcontroladores que incorporan un Conversor A/D (Analógico/Digital) pueden procesar señales analógicas, tan abundantes en las aplicaciones.

- **Conversor D/A (CDA)**

Transforma los datos digitales obtenidos del procesamiento del computador en su correspondiente señal analógica que saca al exterior por un pin de la cápsula.

- **Comparador analógico**

Algunos modelos de microcontroladores disponen internamente de un amplificador operacional que actúa como comparador entre una señal fija de referencia y otra variable que se aplica por un pin de la cápsula.

La salida del comparador proporciona un nivel lógico 1 ó 0 según una señal sea mayor o menor que la otra.

- **Modulador de ancho de pulso o PWM**

Son circuitos que proporcionan en su salida pulsos de ancho variable, que se ofrecen al exterior a través de los pines del encapsulado.

- **Puertos de E/S digitales**

Todos los microcontroladores destinan algunos de sus pines a soportar líneas de E/S digitales. Por lo general, estas líneas se agrupan de ocho en ocho formando Puertos.

Las líneas digitales de los Puertos pueden configurarse como Entrada o como Salida cargando un 1 ó un 0 en el bit correspondiente de un registro destinado a su configuración.

- **Puertos de comunicación**

Algunos modelos disponen de recursos que permiten comunicarse directamente, entre los que destacan:

- UART, adaptador de comunicación serie asíncrona.
- USART, adaptador de comunicación serie síncrona y asíncrona
- Puerta paralela esclava para poder conectarse con los buses de otros microprocesadores.
- USB (Universal Serial Bus), que es un moderno bus serie para los PC.
- Bus I²C, que es un interfaz serie de dos hilos desarrollado por Philips.

1.4.4 Control electrónico

1.4.4.1 Control de servomotores con del microcontrolador PID LM 629¹²

Realmente el sistema está definido por el procesador anfitrión que manda todos los comandos al microcontrolador PID programable LM629 (MPID), en donde llega primeramente el valor de la señal inicial, cuando el motor inicia su movimiento y posteriormente retroalimenta el valor de la señal del encoder.

Esta es decodificada dentro del MPID realizándose la suma de estos valores, se genera una diferencia de error que actúa directamente en el filtro PID quien se encarga de corregir los valores que llegan al dispositivo de puente H. Los MPIDs, son dispositivos dedicados al control de motores DC y servomecanismos, que ocupan señales de retroalimentación de cuadratura incremental, en la Figura N° 1.21. se muestra el sistema de control de los motores mediante el dispositivo LM629.

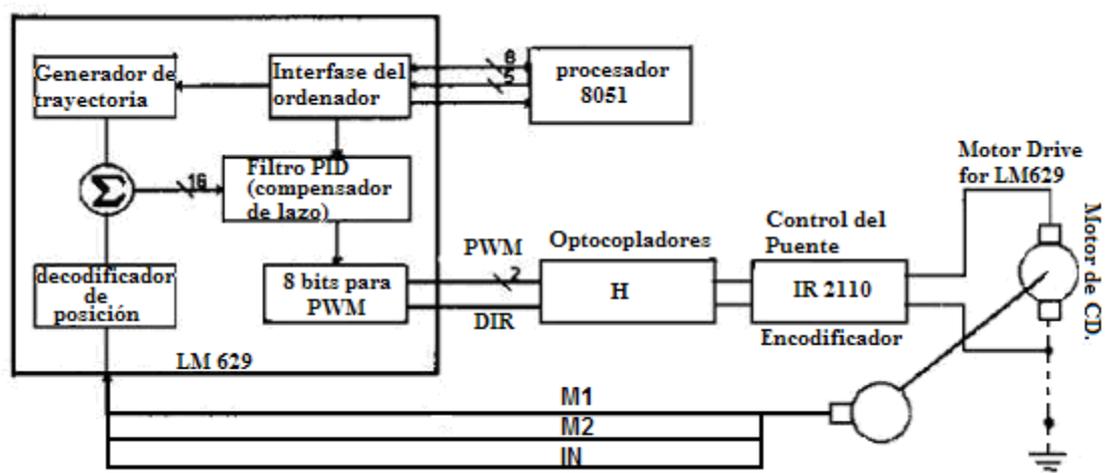


Figura N° 1.21 Arquitectura del MPID LM 629

¹² www.automatas.org/hardware/teoria_pid.htm

1.4.4.2 Filtro P.I.D.

El MPID, usa un filtro digital PID (proporcional, integral y derivativo) para compensar el lazo de control. El motor se sostiene en la posición deseada al aplicar una fuerza restauradora para el motor que es proporcional al error de posición, más el error de integración, y más el error derivativo. La siguiente ecuación discreta en el tiempo, ilustra el control ejecutado por el MPID.

$$u(n) = K_p * e(n) + K_i \sum_{n=0}^n e(n) + K_d [e(n) - e(n-1)] \quad \text{Ec. 16}$$

Donde:

u(n) es la señal de salida de control en el tiempo "n" de muestreo

e(n) es el error de posición en el tiempo "n" de muestreo, "n" indica la muestra de la derivada de muestreo.

Kp, Ki, y Kd son los parámetros cargados (ajustados por el usuario o preajustados de fábrica).

1.4.4.5 Decodificación de la posición del eje del motor

El microcontrolador PID tiene una interfaz para capturar tres señales de la posición óptica en el eje del encoder.

En la Figura N° 1.21. ; dos señales cuadradas de entrada (M1 y M2) son decodificadas para obtener la información de la posición y la dirección, una tercera señal de entrada opcional (IN) usada para capturar la posición una vez por revolución

1.4.4.3 Operaciones de lectura y escritura del MPID

- El procesador escribe comandos al MPID vía el puerto de entrada / salida, cuando el terminal de entrada 16 (Port Select /PS) está en bajo lógico.

- El código del comando deseado se aplica a la línea del puerto paralelo, cuando la terminal de entrada 15 (/WR) es activada.
- El byte de comando pasa los valores al MPID, al subir la señal de entrada /WR.
- Cuando el byte del comando de escritura es necesario, primero se lee el byte de estado y enseguida se prueba el estado de una bandera, llamada "Bit-busy" (bit 0).
- Si el Bit-busy está en uno lógico, el comando de escritura no se realiza. El "Bit-busy" nunca es más grande que 100 μ seg, típicamente cae entre los 15 a 25 μ seg.
- El procesador lee el byte de estado del MPID de una manera similar, es decir, al activar la señal del terminal 13 (/RD) mientras que /PS está en bajo, la información del estado permanece válida mientras /RD esté en bajo.
- Los datos de lectura y de escritura desde el MPID se aplican con /PS en alto.
- Estas escrituras y lecturas se dan siempre en números enteros (de 1 a 7) con palabras de 2 bytes, siendo el primero de cada palabra el más significativo.
- Cada byte requiere ser probado en lectura o escritura.
- Cuando se transfiere la palabra de dato, primero es necesario leer el byte de estado y luego probar el estado del "Bit-busy".
- Cuando el "Bit-busy" esta en bajo lógico, el usuario puede entonces transferir secuencialmente ambos bytes al comprimirse en una palabra de dato, pero el Bit-busy puede volverse a probar y determinar que está en bajo, antes de atender la transferencia del par de bytes siguientes.

1.4.4.4 Salidas al motor

El rango de a (a = duración del pulso dividido entre el periodo de la señal) esta entre 0/128 (motor parado) y 127/128 (mayor tensión con polaridad positiva) ó 128/127 (tensión continua, polarización negativa).

Hay cuatro periodos PWM en un intervalo de muestreo del LM629. De este modo, para un LM629 con reloj de 8 Mhz se incrementa el rango de salida 3,9 Khz a una frecuencia de conmutación del puente en H de 1,5Khz.

1.4.4.5 Descripción de los terminales del MPID

Se determina la función de cada uno de los terminales del controlador LM629. (Figura N° 1.22).

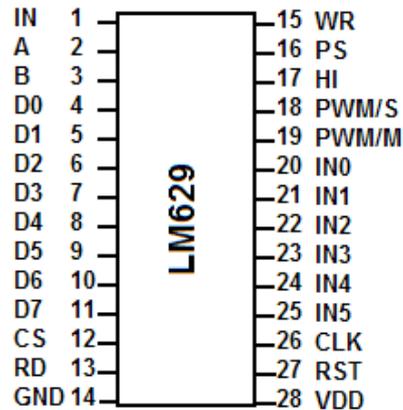


Figura N° 1.22 Terminales (microcontrolador LM629)

- El terminal 1 de entrada /IN, recibe un pulso opcional desde el encoder y puede ser sostenido en alto.
- Si no se usa, da la posición de la flecha cuando este pulso es leído y cuando los terminales 2 y 3 están en bajo.
- Los terminales 2 y 3, reciben las señales del encoder en las entradas A y B.
Estas señales de cuadratura vienen del encoder incremental y están desfasadas 90° una de otra, así la dirección de rotación del motor.
- Los terminales 4 al 11, son puertos de E/S (del D0 al D7). Es un puerto bidireccional de datos el cual conecta al procesador de la computadora, usado para escribir comandos y datos al MPID, y para leer el byte de estado y datos desde el MPID que es controlado por las siguientes terminales: /CS(terminal 12), /PS(terminal 16), /RD(pin 13) y /WR(pin 15).
- El terminal 12, es entrada al Chip Select (/CS), usada para seleccionar la operación de lectura y escritura del MPID.
- El terminal 13, es entrada para lectura (/RD), usada para leer el estado y datos.
- El terminal 14, es tierra (GND).

- El terminal 15, es entrada de escritura (/WR) , usada para escribir comandos y datos.
- El terminal 16, es entrada para selección de puerto (/PS), usado para seleccionar puertos para comandos, si está en bajo; o datos si está en alto.
- El terminal 17, es salida de interrupción del ordenador (HI), esta señal alerta al ordenador (por medio de un servicio de una rutina de interrupción) cuando una condición de interrupción ha ocurrido.
- Modo para el MPID (LM629 con salidas de signo / magnitud), las salidas en esta señal PWM son, con signo en el terminal 18 (o 11 para montaje de superficie) y una señal PWM en magnitud sobre el terminal 19 (o 13 para montaje de superficie), los terminales del 20 al 25 no son usados en el LM629.
- El terminal 26, es entrada de reloj (Clock), donde recibe el sistema de reloj.
- El terminal 27, es entrada para reset (/RST), y es activo en bajo.
- El terminal 28, es el suministro de voltaje (VDD), con un voltaje de 5 volts.

1.4.4.6 Etapa de potencia

En la Figura N° 1.23. se muestra la arquitectura equivalente mediante cuatro interruptores del diseño conocido como puente " H ".

Este puente recibe una alimentación de DC y permite un control bidireccional de la corriente que circula por el motor.

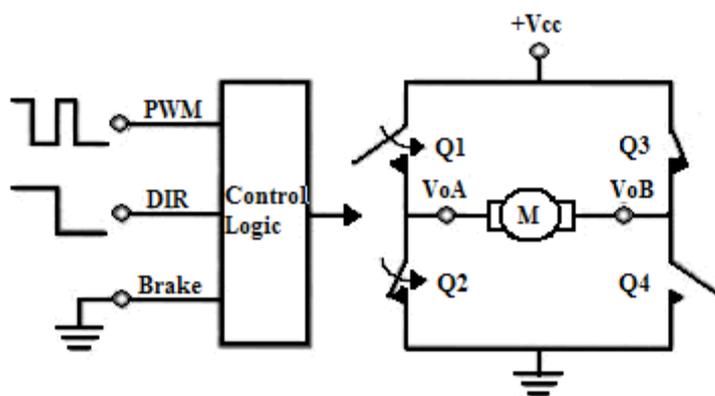


Figura N° 1.23 Esquemático de un puente "H"

La topología no ofrece alternativa, una vez decidido el controlador que la va a controlar que es el LM629, con salida PWM, por lo que se diseñará un puente en H. Igualmente sucede con los elementos de conmutación, que entran en la gama de posibilidades de los MOSFET:

➤ **Conducción de Q1 y Q4:**

La carga inductiva se ve sometida a una tensión de magnitud igual a la de la fuente, invertida en signo. Por ella circula una corriente de sentido negativo respecto de la referencia.

➤ **Conducción de Q1 y Q3 o Q2 y Q4:**

La carga resulta cortocircuitada, con tensión cero y sin circulación de corriente.

➤ **Conducción de Q3 y Q4 o Q1 y Q2:**

Estas situaciones resultan prohibidas, porque tienen como consecuencia cortocircuitar la potencia.

1.4.5 Interface de comunicación

Los puertos de comunicación, como su nombre indica, son una serie de puertos que sirven para comunicar el ordenador con los periféricos u otros ordenadores. Se trata en definitiva de dispositivos I/O (*Input/Output*, o Entrada/Salida). El puerto serie RS-232 (Figura N° 1.24.). Se requiere como mínimo un cable de dos alambres, más un cable de tierra, una conexión del tipo full-duplex como la de telefónica. El puerto serie tiene otros terminales que se usan para coordinar la comunicación entre los equipos.

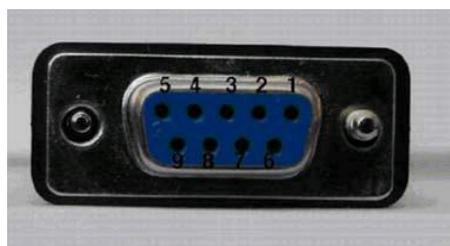


Figura N° 1.24 Conector DB-9 serie

1.4.5.1 Estructura del puerto serie RS-232

La comunicación de datos en un puerto serie, se usa para efectuar comunicaciones asíncronas, sin tiempo preestablecido para iniciarse. Los datos llegan en paquetes de información, normalmente cada paquete es de 8 bits=1 byte . La velocidad con la que los datos se transmiten, para el caso del RS-232, pueden ser desde los 300 Baudios (1 Baudio=1 bit/seg) hasta 115,200 Baudios. En la Figura N° 1.25. se muestra otro de los parámetros importantes de comunicación serial que es el bit de inicio que le indica al puerto receptor que va a llegar un byte de información.

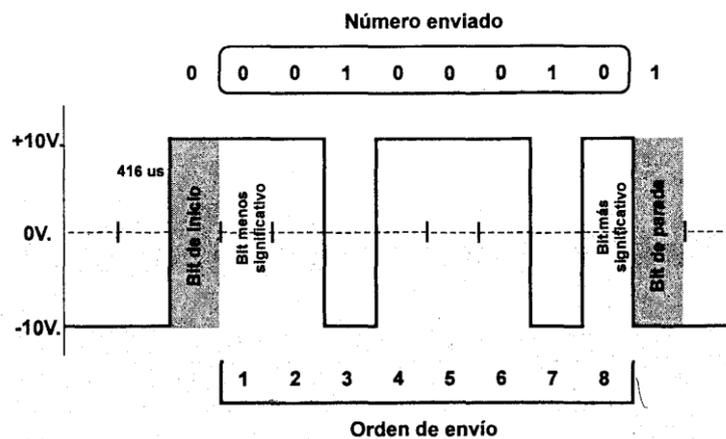


Figura N° 1.25 Ciclo de comunicación serie

En la Tabla N° 1.7. se indica los terminales con sus funciones de un puerto serie.

N° de Termin.	Abr.	Nombre completo	Función
3	TD	Transmit Data	Salida de datos Serie (TXD)

2	RD	Receive Data	Entrada de datos Serie (RXD)
8	CTS	Clear to Send	Indica si el modem está preparado para recibir y mandar datos
1	DCD	Data Carrier Detect	Detecta si hay conexión con el otro extremo
6	DSR	Data Set Ready	Dice si la UART está preparada para la conexión
4	DTR	Data Terminal Ready	Dice al modem si la UART está preparada para la conexión
7	RTS	Request To Send	Informa que la UART está preparada para intercambiar datos
9	RI	Ring Indicator	Se activa cuando el modem detecta una llamada del PSTN

Tabla N° 1.7. Función de los pines del puerto serial.

1.4.5.2 Especificaciones básicas del estándar RS-232

- Longitud máxima total de cable = 15 m
- Máximo número de instrumentos = 1
- Protocolo asíncrono de bit serie.
- Velocidad de transferencia máxima de 230 Kb/s
- Mensajes codificados como caracteres ASCII
- Parámetros de configuración:
 - Bits de datos
 - Paridad
 - Bit de parada

1.5 ÁREA INFORMÁTICA

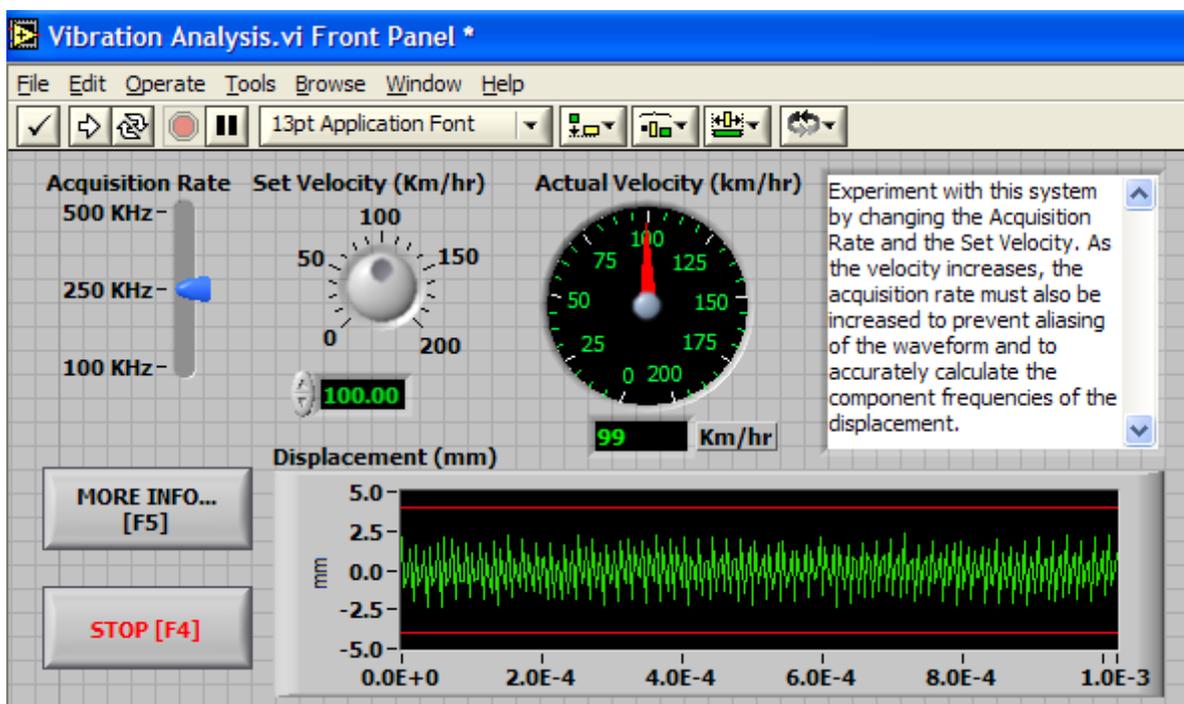
1.5.1 Software de programación LabView¹³

Constituye un sistema de programación gráfica para aplicaciones que involucren adquisición, control, análisis, presentación, comunicación y guardado de datos; además, posee extensas librerías de funciones y subrutinas.

Los programas desarrollados mediante LabView se denominan *Instrumentos Virtuales* (VIs), porque su apariencia y funcionamiento imitan los de un instrumento real.

➤ Panel Frontal

Es una interfaz gráfica del VI con el usuario, como se muestra en la Figura N° 1.26. Esta interfaz tiene entradas procedentes del usuario y presenta las salidas proporcionadas por el programa. Esta formado por botones, pulsadores, potenciómetros, gráficos, etc.



¹³ Manual de Labview 7.0 express

Figura N° 1.26 Panel frontal

➤ **Diagrama de bloques**

Se observa en la Figura N° 1.27. el *diagrama de bloques* que constituye el código fuente del VI. En el *diagrama de bloque* es donde se realiza la implementación del programa del VI, para controlar o realizar cualquier procesamiento de las entradas y salidas que se crearon en el *panel frontal*.

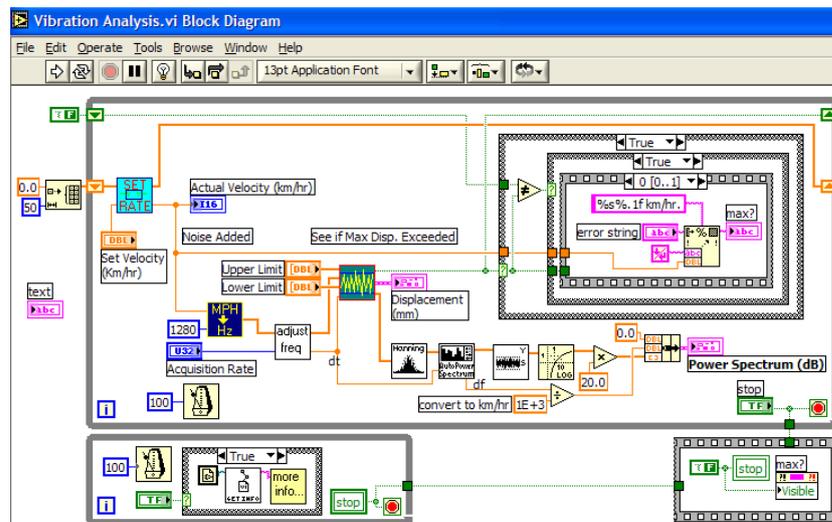


Figura N° 1.27 Diagrama de bloques

➤ **Paletas.**

Proporcionan las herramientas que se requieren para crear y modificar tanto el *panel frontal* como el *diagrama de bloques*.

Paleta de herramientas (Tools Palette).- Se emplea tanto en el *panel frontal* como en el *diagrama de bloques*. Se observa en la Figura N° 1.28.



Figura N° 1.28 Paleta de herramientas

Paleta de control (Control Palette).- Estos controles son empleados en el panel frontal, permitiendo la interacción directa usuario-computador; el diseño, ubicación de cada control dependerá del detalle y la aplicación, mostrado en la Figura N° 1.29.

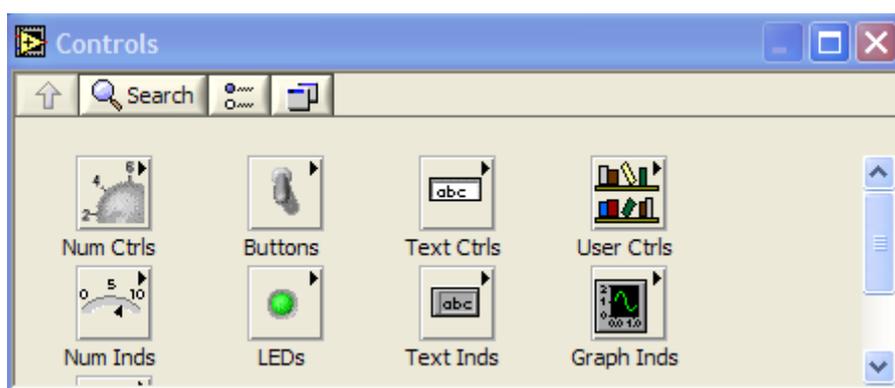


Figura N° 1.29 Paleta de control

Paleta de funciones (Functions Palette).-Estas funciones se emplean en el diseño del *diagrama de bloques*, mostrado en la Figura N° 1.30.

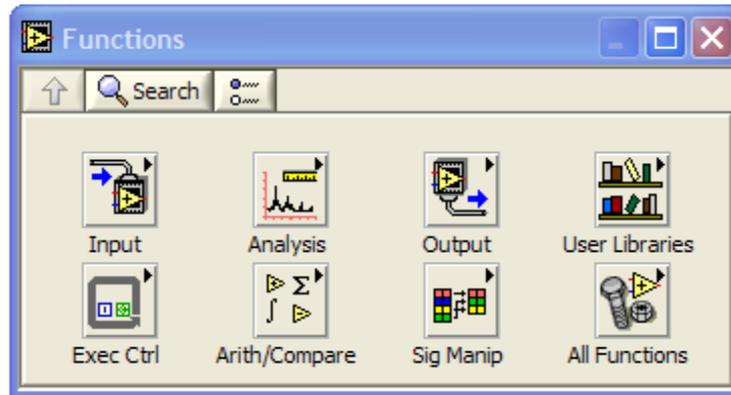


Figura N° 1.30 Paleta de funciones

Programación en LabView

Con el entorno gráfico de programación de LabView se comienza a programar a partir del *panel frontal*. En primer lugar se definirán y seleccionarán de la *paleta de controles* todos los *controles* (entradas que dará el usuario) e *indicadores* (salidas que presentará en pantalla el VI) que se emplean para introducir los datos por parte del usuario y presentan en pantalla los resultados.

Una vez colocados en la ventana correspondiente al *panel frontal* todos los objetos necesarios, debe pasarse a la ventana *Diagram* (menú *Windows > Show Diagram*), que es donde se realiza la programación propiamente dicha (*diagrama de bloques*).

Al abrir esta ventana, en ella se encuentran los terminales correspondientes a los objetos situados en el *panel frontal*, dispuestos automáticamente por LabView.

Se deben ir situando las *funciones*, *estructuras*, etc. que se requieran para el desarrollo del programa, las cuales se unen a los terminales mediante cables.

Para facilitar la tarea de conexión de todos los terminales, en el menú “*Help*” puede elegirse la opción “*Show Help*”, con lo que al colocar el cursor del ratón sobre un elemento aparece una ventana con información relativa a éste (parámetros de entrada y salida).

Además, si se tiene seleccionado el cursor de cableado, al situar éste sobre un elemento se muestran los terminales de forma intermitente.

Ejecución de un VI

Una vez situados en el *panel frontal*, se pulsará el botón de *Run*, como se muestra en la Figura N° 1.31. situado en la barra de herramientas.

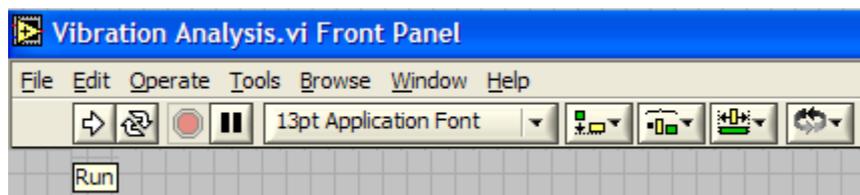


Figura N° 1.31 Ubicación del botón Run

El programa comenzará a ejecutarse. Mientras dura la ejecución del mismo, la apariencia del botón de *Run* es la que se muestra a continuación en la Figura N° 1.32.

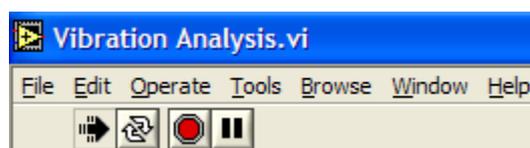


Figura N° 1.32 Ubicación del botón Run en ejecución

Se puede efectuar la finalización de un programa de dos formas. En la Figura N° 1.33. , se emplea un botón (stop) en el *panel frontal* del VI, cuya pulsación produzca la interrupción del bucle de ejecución de la aplicación. La segunda forma de detener la ejecución del VI es pulsando el botón de *pausa*.

La diferencia entre ambos es que si se pulsa *stop*, la ejecución del programa finaliza inmediatamente, mientras que si se pulsa *pausa*, se produce una detención en el funcionamiento del programa, retomándose su ejecución una vez se vuelve a pulsar el mismo botón.

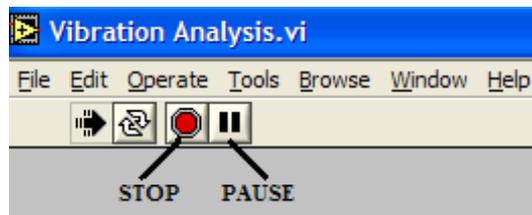


Figura N° 1.33 Ubicación de los botones pausa y stop.

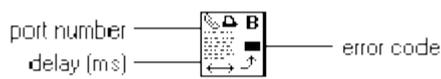
Comunicación a través del puerto serial.

Se transmite la información por un puerto que puede ser el COM1 o el COM2, de forma serial, a través de un solo cable, y cada bit pasa uno tras otro a alta velocidad.

En la Tabla N° 1.8. se tiene funciones para iniciar, escribir y leer el puerto serial.

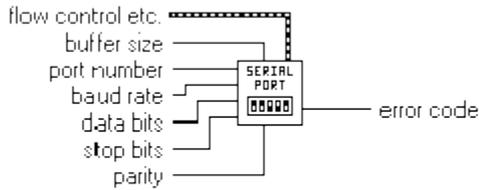


Indica en la variable “byte count” el número de bytes en el buffer de entrada del puerto serie indicado en “port number”.



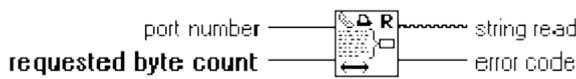
Serial Port Break.vi

Inhabilita el puerto serie “port number” durante un periodo de tiempo “delay(ms)” en milisegundos.



Serial Port Init.vi

Inicializa el puerto serie seleccionado a unos valores determinados.



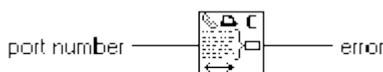
Serial Port Read.vi

Lee el número de caracteres especificados por “requested byte count” del puerto serie indicado en “port number”



Serial Port Write.vi

Escribe los datos en “string to write” en el puerto serie indicado en “port number”



Close Serial Driver.vi

Cierra el puerto serie especificado en “port number”

Tabla N° 1.8. Iconos de comunicación por el puerto serial.

Dependiendo de la versión, la diagramación de una secuencia de comunicación serie se vuelve más simple (Figura N° 1.34).

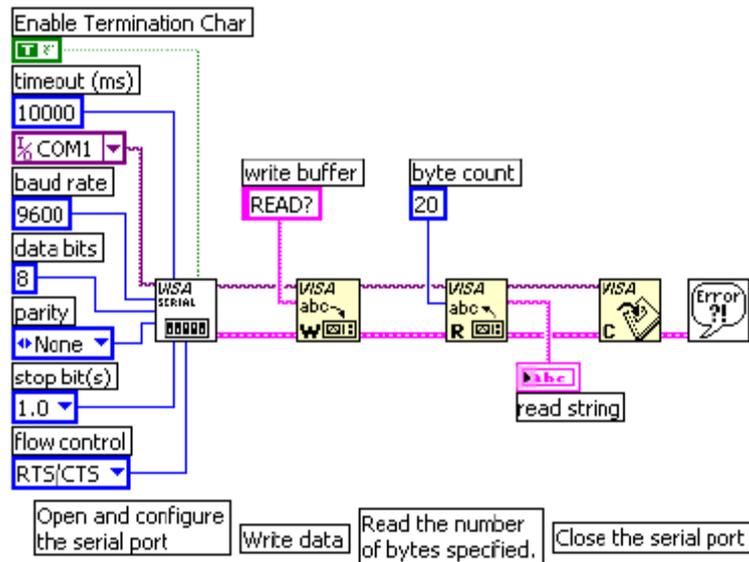


Figura N. 1.34 Diagramación de comunicación serial

1.5.2 Software de programación para PIC's¹⁴

Uno de los factores que más importancia tiene a la hora de seleccionar un microcontrolador entre todos los demás es el soporte tanto software como hardware que dispone. Las principales herramientas de ayuda al desarrollo de sistemas basados en microcontroladores son:

- Ensamblador. La programación en lenguaje ensamblador puede resultar un tanto ardua para el principiante, pero permite desarrollar programas muy eficientes, ya que otorga al programador el dominio absoluto del sistema.

- Compilador. Se inicia la programación en un lenguaje de alto nivel (como el C ó el Basic), observado en la Figura N. 1.35, que permite disminuir el tiempo de desarrollo de un producto.

¹⁴ REYES Carlos, Aprenda rápidamente a programar PIC's ,Primera edición, Cáp.1, Pág. 1

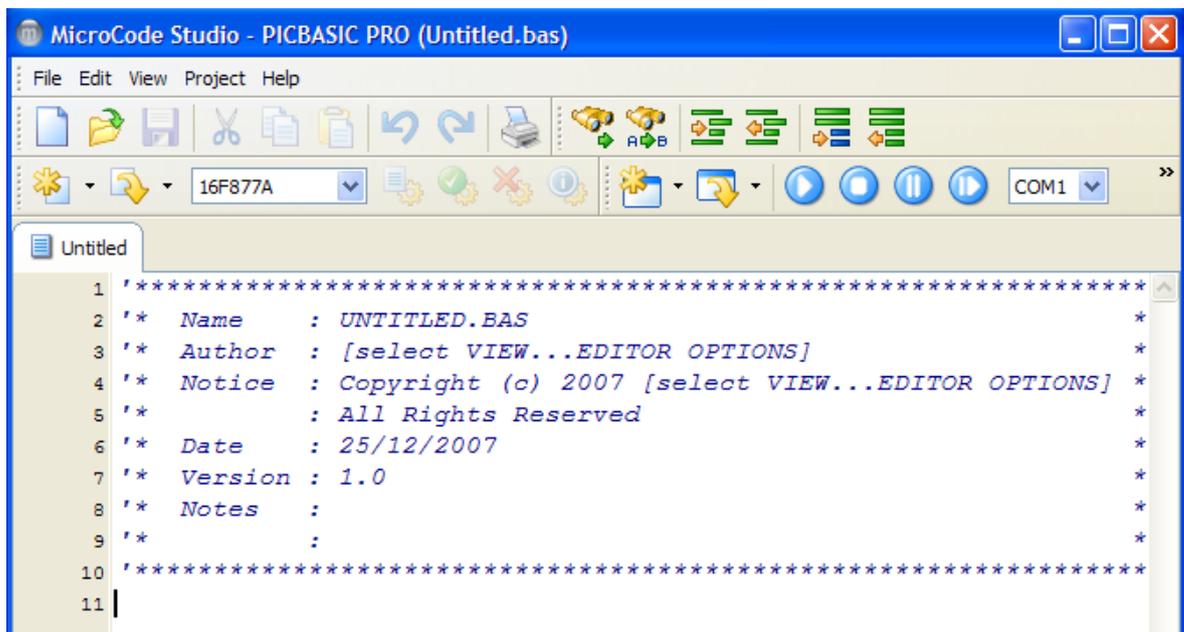


Figura N° 1.35 Programa compilador.

➤ **Simulador.** Son capaces de ejecutar en un PC programas realizados para el microcontrolador.

Los simuladores permiten tener un control absoluto sobre la ejecución de un programa, siendo ideales para la depuración de los mismos. Su gran inconveniente es que es difícil simular la entrada y salida de datos del microcontrolador.

Tampoco cuentan con los posibles ruidos en las entradas, pero, al menos, permiten el paso físico de la implementación de un modo más seguro y menos costoso, puesto que ahorraremos en grabaciones de chips para la prueba in-situ. (Figura N° 1.36.)

➤ **Placas de evaluación.** Se trata de pequeños sistemas con un microcontrolador ya montado y que suelen conectarse a un PC desde el que se cargan los programas que se ejecutan en el microcontrolador.

Las placas suelen incluir visualizadores LCD, teclados, LEDs, fácil acceso a los pines de E/S, etc. El sistema operativo de la placa recibe el nombre de programa monitor.

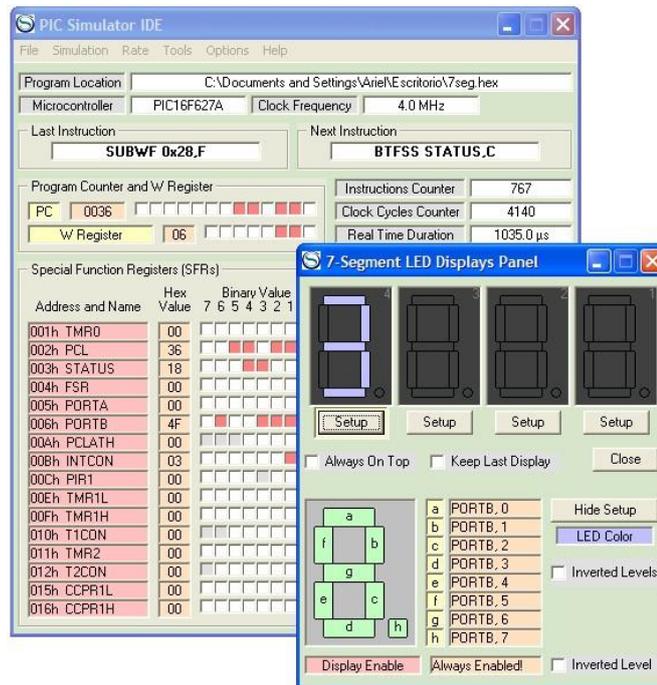


Figura N° 1.36 Programa compilador.

En la Figura N° 1.37. se presenta un monitor de algunas placas de evaluación, aparte de permitir cargar programas y datos en la memoria del microcontrolador, se puede en cualquier momento realizar ejecución paso a paso, monitorizar el estado del microcontrolador o modificar los valores almacenados en los registros o en la memoria.

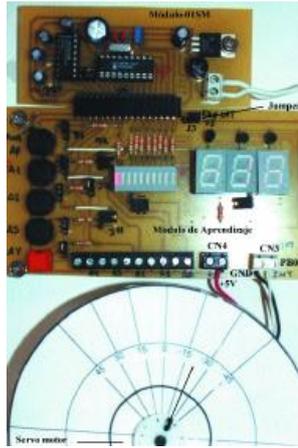


Figura N° 1.37 Placas de evaluación.

II.-CAPITULO

II.- CAPITULO

DISEÑO

2.1 SISTEMA MECÁNICO

El sistema mecánico de la máquina se basa en los movimientos de los carros longitudinal, transversal y superior (X,Y,Z) respectivamente; los cuales tienen sus acoples fijos y móviles a través de secciones en forma de “Cola de Milano” , produciendo el avance con ejes roscados de forma trapecial.

2.1.1 Cálculo de ejes¹⁵

Los ejes o flechas así como toda su estructura soporta fuerzas que se oponen al desplazamiento; por lo cual, se debe definir la fuerza necesaria para lograr que su desempeño sea el óptimo; e inclusive necesaria para la selección de un motor servo que garantice el mecanizado.

Es útil para obtener una primera estimación de las dimensiones de eje para cualquier clase de cargas. Los esfuerzos en un punto de la superficie de un eje redondo macizo se someten a cargas de flexión, axiales y de torsión.

➤ Eje roscado (X)

¹⁵SHIGLEY Edgard, Diseño en Ingeniería Mecánica ,Quinta edición, Cáp.9, Pág. 422

En la Figura N° 2.1, se tiene una rueda y tornillo sin-fin que generan 54 lb.pulg o 6.1 N.m, la salida de éste está acoplado con un elemento roscado tipo Acme con un coeficiente de rozamiento de 0.08, el cual desplaza en el eje x la pieza a maquinar, además de todos los elementos que integran el eje y, que en un total pesa 50 lb y tiene un coeficiente de rozamiento de 0.3.

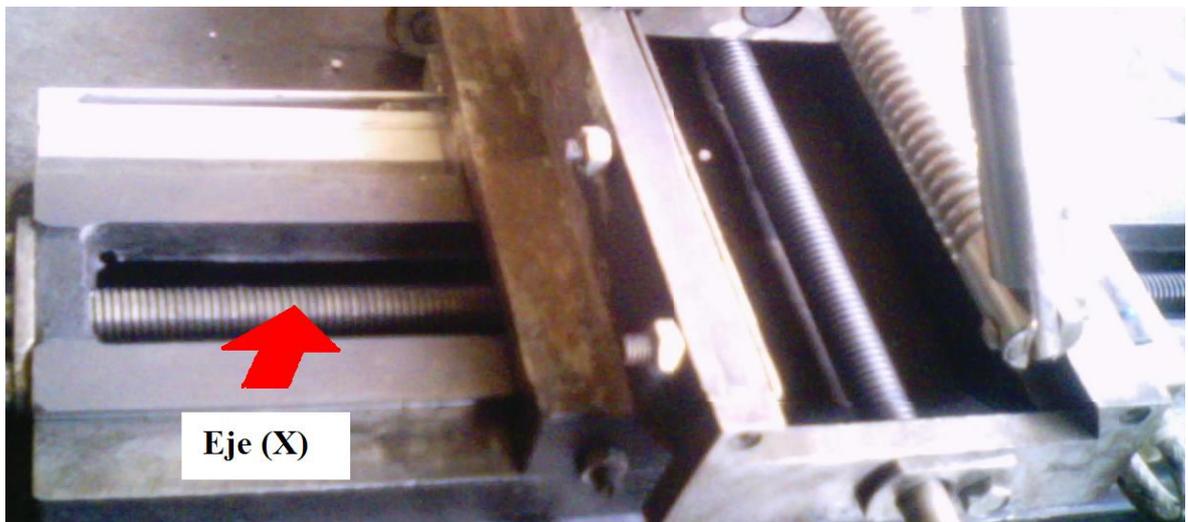


Figura N° 2.1 Eje roscado longitudinal (X).

Fuerza de oposición de la mesa

$$F_{\text{mesa}} = P * \mu = 50 * 0.3 = 15lb$$

Cálculo de la fuerza bruta de la mesa, si:

$$2\alpha = 30^\circ \text{.entonces: } \alpha = 15^\circ$$

$$d_m = 11.8 / 25.4 = 0.4645 \text{ pulg} = 11.8 \text{ mm}$$

$$d_c = 11 / 25.4 = 0.4330 \text{ pulg} = 11 \text{ mm}$$

$$\mu = 0.08 \quad \mu_c = 0.1 \quad l = np = 1 * 1.5 / 25.4 = 0.059055 \text{ pulg} = 1.5 \text{ mm}$$

Si la fuerza es la misma:

$$T = \frac{F}{2} \left[dm \left(\frac{l + \pi \mu d_m \sec \alpha}{\pi d_m - \mu l \sec \alpha} \right) + \mu_c d_c \right]$$

$$T = \frac{F}{2} \left[0.4645 \left(\frac{0.059055 + \pi * 0.08 * 0.4645 * \sec(15)}{\pi * 0.4645 - 0.08 * 0.059055 * \sec(15)} \right) + 0.1 * 0.4330 \right]$$

$$F = \frac{2T}{0.1007} = \frac{2 * 54}{0.1007} = 1071.70 lb$$

$$F = 1071.70 lb * 4.45 = 4769.091725 N$$

Factor de seguridad

$$n = 4$$

$$F_{recomendable} = \frac{1071.70}{4} = 267.925 lb = 1192.27272 N$$

Determinación del límite de trabajo:

Material= St 42-2

$$S_y = 255 \text{ MPa} \quad ; \quad S_u = 410 \text{ MPa}$$

Resistencia límite

$$S_p = 0.8 * S_y = 0.8 * 255 \text{ MPa} = 204 \text{ MPa}$$

Área de esfuerzo

Diámetro = 10.5 mm

$$A = \pi r^2 = \pi * \left(\frac{10.5}{2 * 25.4} \right)^2 = 0.134214 \text{ pulg}^2 = 86.5901 \text{ mm}^2$$

Determinación de la fuerza límite:

$$S_p = \frac{F_{límite}}{A_{esfuerzo}}$$

$$F_{\text{límite}} = Sp * A_{\text{esfuerzo}} = 204 \left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right) * 86.5901 \text{ mm}^2 = 17664.3804 \text{ N} = 3969.5236 \text{ lb}$$

$$F_{\text{recomendate}} = \frac{3969.52}{4} = 992.38 \text{ lb} = 4416.0975 \text{ N}$$

. En la Figura N° 2.2 se aprecia las dimensiones del eje roscado (X).

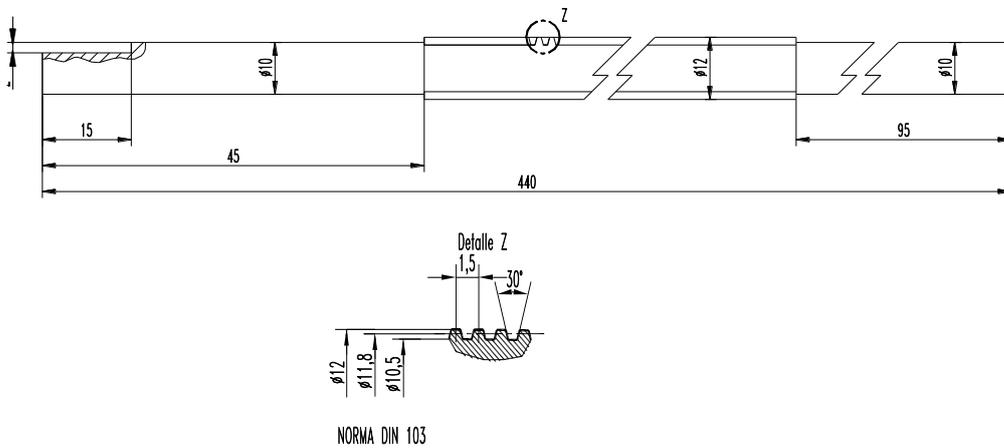


Figura N° 2.2 Dimensiones de eje roscado (X).

➤ Eje roscado (Y)

En la Figura N° 2.3, se tiene una rueda y tornillo sin-fin que generan 54 lb.pulg o 6.1 N.m, la salida de éste está acoplado con un elemento roscado tipo Acme con un coeficiente de rozamiento de 0.08 el cual mueve la mesa en donde se acopla directamente la pieza que se va a maquinar, que en un total pesa 30 lb y tiene un coeficiente de rozamiento de 0.3.



Figura N° 2.3 Eje roscado transversal (Y).

Fuerza de oposición de la mesa

$$F_{\text{mesa}} = P * \mu = 30 * 0.3 = 9lb$$

Cálculo de la fuerza bruta de la mesa:

Si

$$2\alpha = 30^\circ$$

$$\alpha = 15^\circ$$

$$d_m = 11.8 / 25.4 = 0.4645 \text{ pulg} = 11.8 \text{ mm}$$

$$d_c = 11 / 25.4 = 0.4330 \text{ pulg} = 11 \text{ mm}$$

$$\mu = 0.08$$

$$\mu_c = 0.1$$

$$l = np = 1 * 1.5 / 25.4 = 0.059055 \text{ pulg} = 1.5 \text{ mm}$$

$$T = \frac{F d_m}{2} \left(\frac{l + \pi \mu d_m \sec \alpha}{\pi d_m - \mu l \sec \alpha} \right) + \frac{F \mu_c d_c}{2}$$

Si la fuerza es la misma

$$T = \frac{F}{2} \left[dm \left(\frac{l + \pi \mu d_m \sec \alpha}{\pi d_m - \mu l \sec \alpha} \right) + \mu_c d_c \right]$$

$$T = \frac{F}{2} \left[0.4645 \left(\frac{0.059055 + \pi * 0.08 * 0.4645 * \sec(15)}{\pi * 0.4645 - 0.08 * 0.059055 * \sec(15)} \right) + 0.1 * 0.4330 \right]$$

$$T = \frac{F}{2} [1.1007]$$

$$F = \frac{2T}{0.1007} = \frac{2 * 54}{0.1007} = 1071.70 lb$$

$$F = 1071.70 lb * 4.45 = 4769.091725 N$$

Factor de seguridad

$$n = 4$$

$$F_{recomendable} = \frac{1071.70}{4} = 267.925 lb = 1192.27272 N$$

Determinación del límite de trabajo:

Material= St 42-2 ; $S_y = 255 \text{ MPa}$; $S_u = 410 \text{ MPa}$

Resistencia límite

$$S_p = 0.8 * S_y = 0.8 * 255 \text{ MPa} = 204 \text{ MPa}$$

Área de esfuerzo

Diámetro = 10.5 mm

$$A = \pi r^2 = \pi * \left(\frac{10.5}{2 * 25.4} \right)^2 = 0.134214 \text{ pulg}^2 = 86.5901 \text{ mm}^2$$

Determinación de la fuerza límite

$$Sp = \frac{F_{\text{límite}}}{A_{\text{esfuerzo}}}$$

$$F_{\text{límite}} = Sp * A_{\text{esfuerzo}} = 204 \left(\frac{N}{mm^2} \right) * 86.5901 mm^2 = 17664.3804 N = 3969.5236 lb$$

$$F_{\text{recomendable}} = \frac{3969.52}{4} = 992.38 lb = 4416.0975 N$$

Fuerza neta de trabajo

$$F_t = 1071.70 - 9 = 1062.7 lb$$

En la Figura N° 2.4 se aprecia las dimensiones del eje roscado (Y).

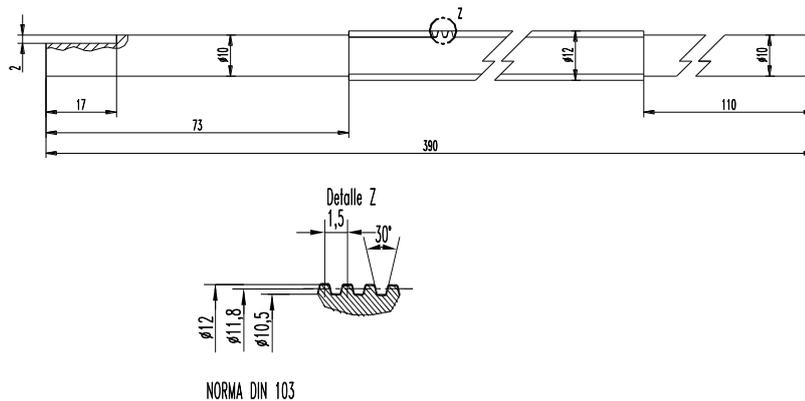


Figura N° 2.4 Dimensiones de eje roscado (Y).

➤ Eje roscado (Z)

En la Figura N° 2.5 se tiene una rueda y tornillo sin-fin que generan 54 lb.pulg o 6.1 N.m, la salida de éste está acoplado con un elemento roscado tipo Acme con un coeficiente de rozamiento de 0.08 el cual sube o baja la fresa, motor de fresa, y soporte de eje de fresa, que en un total pesa 40 lb.

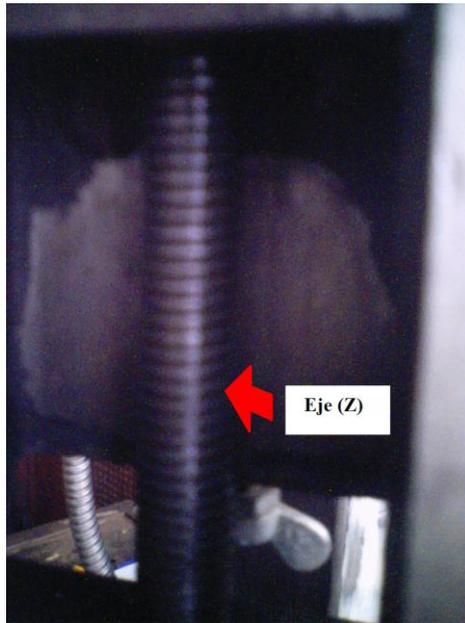


Figura N° 2.5 Eje roscado superior (Z).

Si

$$2\alpha = 30^\circ$$

$$\alpha = 15^\circ$$

$$d_m = 11.8 / 25.4 = 0.4645 \text{ pulg} = 11.8 \text{ mm}$$

$$d_c = 11 / 25.4 = 0.4330 \text{ pulg} = 11 \text{ mm}$$

$$\mu = 0.08$$

$$\mu_c = 0.1$$

$$l = np = 1 * 1.5 / 25.4 = 0.059055 \text{ pulg} = 1.5 \text{ mm}$$

$$T = \frac{F d_m}{2} \left(\frac{l + \pi \mu d_m \sec \alpha}{\pi d_m - \mu l \sec \alpha} \right) + \frac{F \mu_c d_c}{2}$$

Si la fuerza es la misma

$$T = \frac{F}{2} \left[dm \left(\frac{l + \pi \mu d_m \sec \alpha}{\pi d_m - \mu l \sec \alpha} \right) + \mu_c d_c \right]$$

$$T = \frac{F}{2} \left[0.4645 \left(\frac{0.059055 + \pi * 0.08 * 0.4645 * \sec(15)}{\pi * 0.4645 - 0.08 * 0.059055 * \sec(15)} \right) + 0.1 * 0.4330 \right]$$

$$T = \frac{F}{2} [1.1007]$$

$$F = \frac{2T}{0.1007} = \frac{2 * 54}{0.1007} = 1071.70 lb$$

$$F = 1071.70 lb * 4.45 = 4769.091725 N$$

Factor de seguridad

$$n = 4$$

$$F_{recomendate} = \frac{1071.70}{4} = 267.925 lb = 1192.27272 N$$

Determinación del límite de trabajo

Material

St 42-2

Sy = 255 MPa

Su = 410 MPa

Resistencia límite

$$Sp = 0.8 * Sy = 0.8 * 255 MPa = 204 MPa$$

Área de esfuerzo

Diámetro = 10.5 mm

$$A = \pi r^2 = \pi * \left(\frac{10.5}{2 * 25.4} \right)^2 = 0.134214 \text{ pulg}^2 = 86.5901 \text{ mm}^2$$

Determinación de la fuerza límite

$$Sp = \frac{F_{\text{límite}}}{A_{\text{esfuerzo}}}$$

$$F_{\text{límite}} = Sp * A_{\text{esfuerzo}} = 204 \left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right) * 86.5901 \text{ mm}^2 = 17664.3804 \text{ N} = 3969.5236 \text{ lb}$$

$$F_{\text{recomendable}} = \frac{3969.52}{4} = 992.38 \text{ lb} = 4416.0975 \text{ N}$$

La capacidad del mecanismo supera por bastante a los requerimientos del sistema en 26 veces. En la Figura N° 2.6 se aprecia las dimensiones del eje roscado (Z).

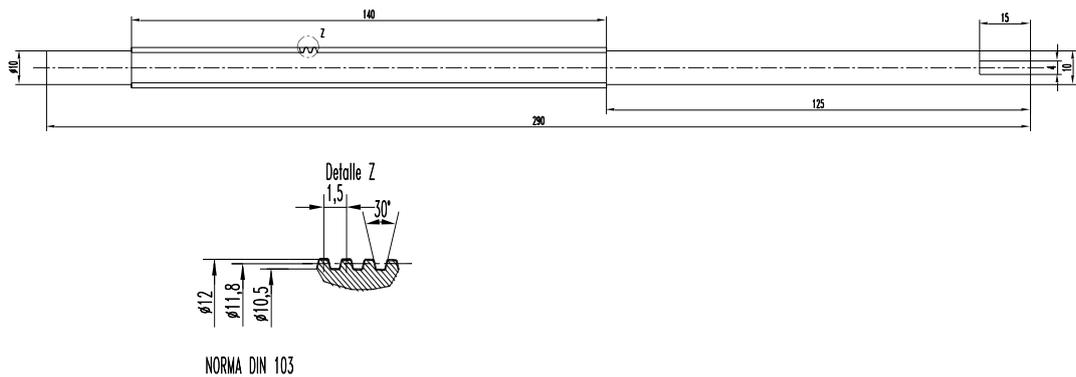


Figura N° 2.6 Dimensiones de eje roscado (Z).

➤ Eje Husillo

Se aprecia en la Figura N° 2.7 al eje husillo principal que se acopla a un motor de 1/3 HP, 100 V, 1 A, 3500 rpm. transmite el movimiento a un piñón de 14 dientes con un diámetro de 21 mm. que engrana en otro con un ángulo de contacto de 23° y éste tiene 22 dientes con un diámetro de 32.8 mm. y este está sujetado a un eje de transmisión de movimiento hacia la fresa, la cual se encarga de fresar el material.

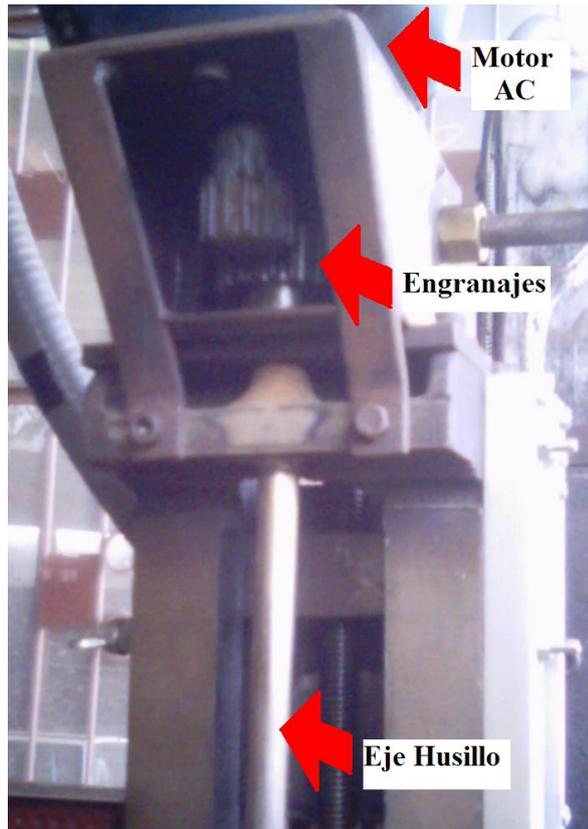


Figura N° 2.7 Eje Husillo (Z).

Antes de realizar el cálculo correspondiente se determina los puntos y las distancias del mecanismo (Figura N° 2.8).

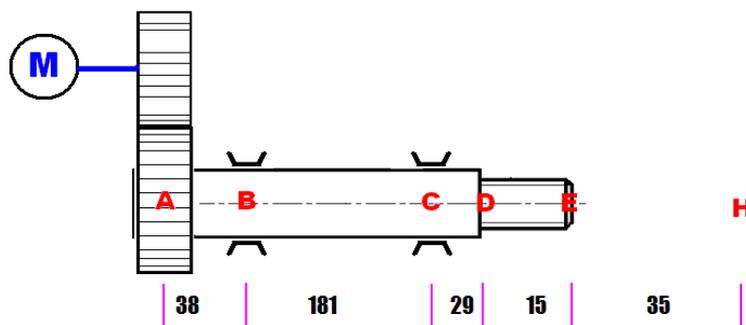


Figura N° 2.8 Distancias y puntos de apoyo

Determinación del momento en "A":

$$T = \frac{63000 * H}{n} = \frac{63000 * 1/3}{3500}$$

$$T = 6lb.in$$

$$T = 6lb.in * 0.113 = 0.678 N.m$$

Las fuerzas (Figura N° 2.9) serán las que actúen por parte del piñón transmisor :

$$M = F.d$$

$$F_M = \frac{M}{d} = \frac{0.678 N.m}{0.0105m} = 64.5714N$$

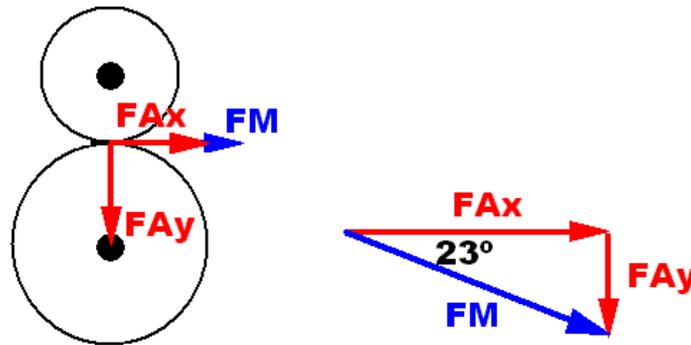


Figura N° 2.9 Fuerzas actuantes sobre los engranajes

$$FAx = F_M * \cos 23 = 64.5714 * \cos 23 = 59.4383N$$

$$FAy = F_M * \sen 23 = 64.5714 * \sen 23 = 25.23N$$

$$T = FAx * d = 59.4383N * 0.0164m = 0.9747N.m$$

$$T_{xz} = \frac{16T}{\pi * d^3} = \frac{16 * 0.9747}{\pi * 0.9525^3} = 5.7444MPa$$

En el caso extremo que se detenga la fresa y la mesa arrastrare al eje con la pieza, se anexa la fuerza por el arrastre de la mesa que recorra en dos direcciones, se debe

seleccionar el lado más débil y este sería “Hy positiva” (hacia arriba) de 1062.7lb o 4729 N, para que se genere un riesgo de fractura en “D”.

$$\sum F_x = 0$$

No hay fuerzas en x, entonces: $\sum F_y = 0$

$$-FA_y + FB_y - FC_y + FHy = 0, \text{ a continuación: } \sum MB = 0$$

$$FA_y * 0.038 - FC_y * 0.181 + 4729 * 0.26 = 0$$

$$FC_y = \frac{25.23N * 0.038 + 4729 * 0.26}{0.181} = 6798.3571N$$

$$FB_y = FA_y + FC_y - FHy$$

$$FB_y = 25.23 + 6798.3751 - 4729 = 2094.60N$$

A través del método gráfico (Figura N° 2.10) se halla los momentos necesarios:

$$A1 = 25.23 * 0.038 = 0.95874N.m$$

$$A2 = 2069.37 * 0.181 = 374.556N.m$$

$$A3 = 4729 * 0.079 = 373.591N.m$$

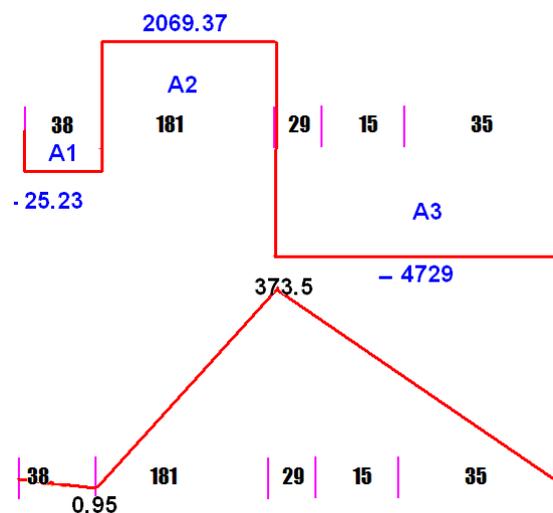


Figura N° 2.10 Diagramas de fuerzas y momentos

Por tanto:

$$\sigma_x = \frac{M}{I/c} = \frac{32M}{\pi d^3} = \frac{32 * 373.6}{\pi (0.95)^3} = 4403.64 MPa$$

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + 3T_{xz}^2} = \sqrt{4403.64^2 + 3 * 5.774^2} = 4403.65 MPa$$

Si la pieza está hecha de ST 42-2 y su $S_y = 255$ MPa superando en una relación de 17 a 1, debe tener un excesivo diámetro para cumplir con este requerimiento y no se trise en D (Figura N° 2.8).

$$S_{y_{nueva}} = 255 / 4 = 63.75 MPa$$

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + 3T_{xz}^2}$$

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma'^2 - 3T_{xz}^2} = \sqrt{63.75^2 - 3 * 5.3774^2} = 63.066 MPa$$

$$\sigma_x = \frac{M}{I/c} = \frac{32M}{\pi d^3}$$

$$M = \frac{\sigma_x \pi d^3}{32} = \frac{63.066 * \pi * 0.9525^3}{32} = 5.3504 Nm$$

$$F = \frac{M}{dist} = \frac{5.3504}{0.079} = 67.7271 N = 15.2195 lb \quad \text{recomendado para maquinar}$$

Claro está que sin el factor de diseño podría resistir hasta 61 lb; entonces el eje tendría las dimensiones que se muestra en la Figura N° 2.11.

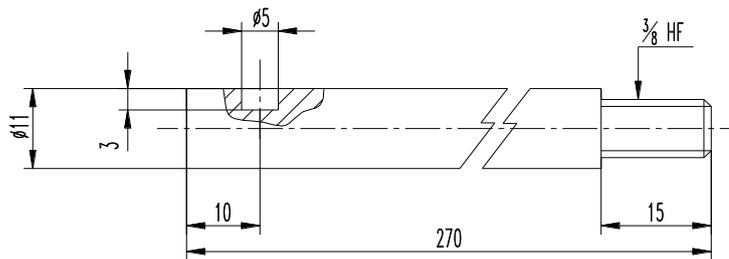


Figura N° 2.11 Dimensiones de eje husillo (Z)

2.1.2 Selección de rodamientos

El rodamiento en el cual se encuentra montado el eje que conecta al motor y sostiene la fresa; se representa en la Figura N° 2.12.

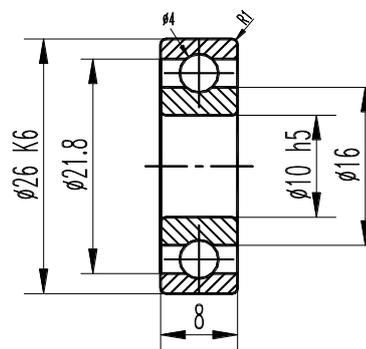


Figura N° 2.12 Dimensiones del rodamiento

Las características técnicas se muestran en la Tabla N° 2.1.

RODAMIENTO DE UNA HILERA DE BOLAS	
Cap. de carga	15900 N
Carga fatiga	335 N
Velocidad Nominal	13000-16000 r/min

Masa	0.09Kg
Designación	6304

Tabla N. 2.1. Características técnicas del rodamiento

Este rodamiento gira a 1166.6 rpm con una carga radial de 86.26 lb o 383.89 N ;además es autolubricado. Para máquinas se requiere una fiabilidad de 90% y condiciones de limpieza media.

Vida nominal (horas de funcionamiento)

$$L_{10h} = \left(\frac{1000000}{60n} \right) \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

$$L_{10h} = \left(\frac{1000000}{60 * 1166.6} \right) \left(\frac{15900}{383.89} \right)^3 = 1015074.114 \text{ horas}$$

Vida nominal SKF

$$L_{10m} \therefore a_1 = 1$$

$$d_m = 0,5(d + D) = 0,5(10 + 26) = 18 \text{ mm}$$

Si 1166.6 rpm, $v_1 = 28 \text{ mm}^2/\text{s}$. Por tanto $\kappa = 1$

$$P_u = 335\text{N} \text{ y } P_u/P = 335/383.89 = 0.87264$$

$$\eta_c = 0,8 \text{ y } \eta_c P_u/P = 0.698. \text{ Con } \kappa = 1$$

$$a_{SKF} = 50$$

$$L_{10mh} = 10^6 / (60n) a_1 a_{SKF} L_{10}$$

$$L_{10mh} = 10^6 / (60 * 1166.6) 1 * 50 * \left(\frac{15900}{383.89} \right)^3 = 50753705.69 \text{ horas}$$

Pero como el rodamiento no es SKF se elige el primer valor (L_{10h}), teniendo en cuenta su aplicación; se lo puede observar en la Figura N° 2.13.



Figura N° 2.13 Rodamiento de Bolas 6304

2.1.3 Cálculo de vigas

En lo que respecta a vigas, en la máquina se utiliza un brazo soporte y una base soporte para soporte de los mecanismos.

➤ Brazo soporte

En la Figura N° 2.14 se muestra un brazo que soporta, por un lado el peso del escáner y por el otro el peso de la fresadora, el brazo se encuentra sujetado a la columna por un perno construido para ello, el perno absorbe parte de la fuerza del sistema llevándolo al equilibrio.

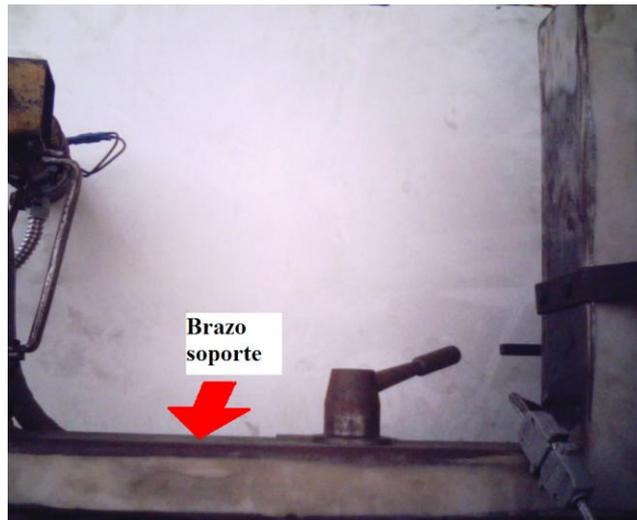


Figura N° 2.14 Brazo soporte de scanner y fresadora

Se conocen los siguientes datos:

Peso de la pieza: 5 lb. = 2.26 kg. ; Peso del escáner: 53 lb. = 24 kg.

Peso de la fresadora: 60 lb. = 27.2 kg.

Esfuerzo contrario del escáner máximo: 67.2lb = 30.48kg.

Esfuerzo contrario de fresadora máxima:

Es de tubo de acero rectangular ST-33, cuyo perfil mide 10 x 5.2 cm y un espesor de 3 mm. y sus características son:

Su (resistencia última o resistencia a la tracción) = 320 N/mm² o MPa

Sy (resistencia a la fluencia) = 185 N/mm² o MPa con una elongación = 20 %

Con propiedades muy similares con el acero AISI 1010 HR

Para determinar el centro de gravedad se asume las áreas del soporte como se muestra en la Figura N° 2.15.

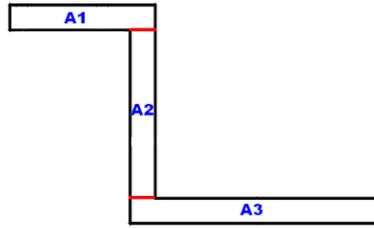


Figura N° 2.15 División por áreas del brazo soporte

$$A1 = 52 \times 300 = 15600 \text{ mm}^2; ; A2 = (400 - 52) \times 52 = 18096 \text{ mm}^2$$

$$A3 = 517 \times 52 = 26884 \text{ mm}^2$$

Se toma referencia en la esquina inferior derecha de A3

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} x_i A_i}{\sum_{i=1}^{i=n} A_i} = \frac{x_1 A_1 + x_2 A_2 + x_3 A_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

$$\bar{x} = \frac{(-517 + 52 - 300/2) * 15600 + (-517 + 52/2) * 18096 + (-517/2) * 26884}{15600 + 18096 + 26884} = -419.75 \text{ mm.}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} y_i A_i}{\sum_{i=1}^{i=n} A_i} = \frac{y_1 A_1 + y_2 A_2 + y_3 A_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

$$\bar{y} = \frac{(52 + 400 - 52) * 15600 + (52 + (400 - 52)/2) * 18096 + (52/2) * 26884}{15600 + 18096 + 26884} = 182.1 \text{ mm.}$$

➤ **Determinación de la resistencia del brazo sin trabajo**

Debido al perno, se crea un equivalente de dos vigas en voladizo; se representa en la Figura N° 2.16

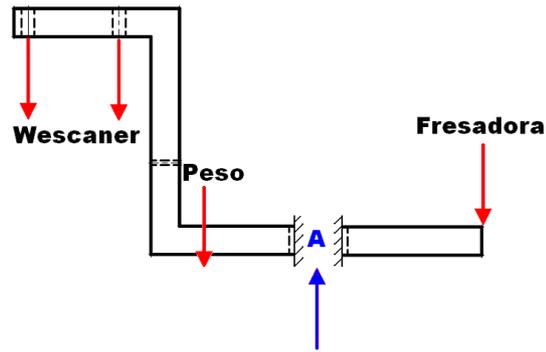


Figura N° 2.16 Fuerzas sobre el brazo soporte

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0 \\ -Escaner - Fresadora - Peso + FA &= 0 \\ -53 - 60 - 5 + FA &= 0 \\ FA &= 118lb = 53.52kg \end{aligned}$$

Escáner hasta A:

$$\begin{aligned} \sum M_y &= 0 \\ -53/2 * (-484) - 53/2 * (-319) - 5 * (-164.75) - MA &= 0 \\ 12826 + 8453.5 + 823.75 - MA &= 0 \\ MA &= 22103.25lb.mm = 870.2066lb.pu\lg \end{aligned}$$

Fresadora hasta A:

$$\begin{aligned} \sum M_y &= 0 \\ -MA - 60 * 255 &= 0 \\ MA &= -15300lb.mm = 602.36lb.pu\lg \end{aligned}$$

Momento total en A:

$$\begin{aligned} MA &= Escaner\ hasta\ A + A\ hasta\ fresadora \\ MA &= 22103.25 - 15300 = 7103.25lb.mm = 279.66lb.pu\lg \end{aligned}$$

Método gráfico:

Se necesita graficar las fuerzas antes mencionadas en un sistema de equilibrio para cumplir los requerimientos de diseño (Figura N° 2.17).

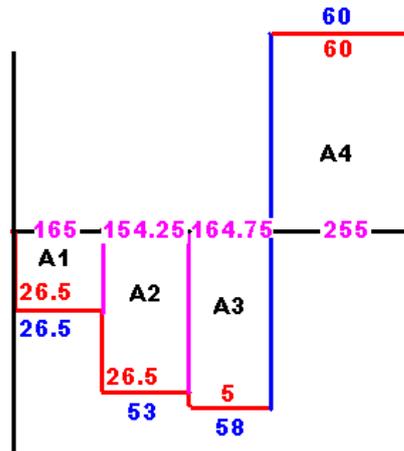


Figura N° 2.17 Diagrama de fuerzas

$$A1 = 165 * 26.5 = 4372.5 \text{ lb.mm};; A2 = 154.25 * 53 = 8175.25 \text{ lb.mm}$$

$$A3 = 164.75 * 58 = 9555.5 \text{ lb.mm};; A4 = 255 * 60 = 15300 \text{ lb.mm}$$

Con las áreas antes calculadas se determina los momentos que actúan y determinan los puntos rígidos y sensibles del diseño (Figura N° 2.18).

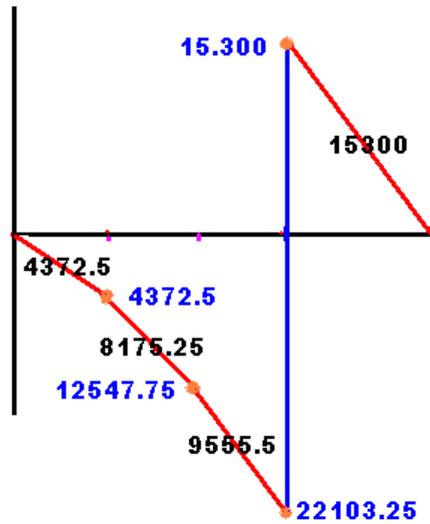


Figura N° 2.18 Diagrama de momentos

Se representa en la Figura N° 2.19 el punto "A", dónde se ejerce el mayor momento sobre la superficie de la pieza, dando como resultado:

$$\sum MA = 22103.25 + 15300 = 37403.25 \text{ lb.in} = 1472.5689 \text{ lb.in} = 166.3779 \text{ Nm}$$

lx:

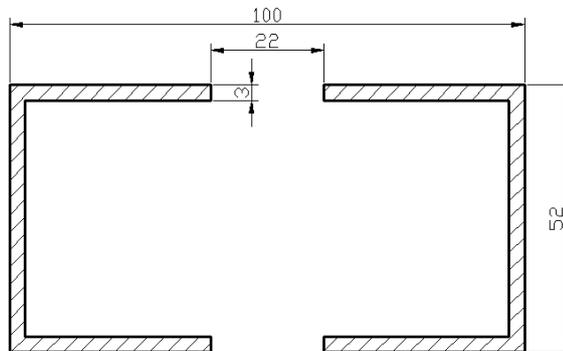


Figura N° 2.19 Sección transversal del tubo en el punto A

Dividiendo la sección "A" en áreas para puntualizar sus inercias, como se ilustra en la Figura N° 2.20.

$$A_{TOTAL} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + A6$$

$$A_{TOTAL} = 36*3 + 36*3 + 52*3 + 52*3 + 36*3 + 36*3$$

$$A_{TOTAL} = 744mm^2$$

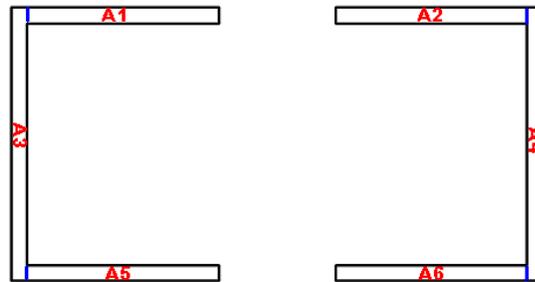


Figura N° 2.20 División por áreas de la sección transversal del tubo en el punto A

$$\sum M$$

$$744 * C1 = (36 * 3)1.5 + (36 * 3)1.54 + (52 * 3)26 + (52 * 3)26 + (36 * 3)50.5 + (36 * 3)50.5$$

$$C1 = \frac{19344}{744} = 26mm.$$

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

$$I_1 = \frac{3.6(0.3)^3}{12} = 0.0081cm^4$$

$$I_2 = \frac{3.6(0.3)^3}{12} = 0.0081cm^4$$

$$I_3 = \frac{0.3(5.2)^3}{12} = 3.5152cm^4$$

$$I_4 = \frac{0.3(5.2)^3}{12} = 3.5152cm^4$$

$$I_5 = \frac{3.6(0.3)^3}{12} = 0.0081cm^4$$

$$I_6 = \frac{3.6(0.3)^3}{12} = 0.0081cm^4$$

$$d_1 = 26 - 1.5 = 24.5 \text{ mm.}$$

$$d_2 = 26 - 1.5 = 24.5 \text{ mm.}$$

$$d_3 = 0$$

$$d_4 = 0$$

$$d_5 = 26 - 1.5 = 24.5 \text{ mm.}$$

$$d_6 = 26 - 1.5 = 24.5 \text{ mm.}$$

$$I_x = I_{cg} + Ad^2$$

$$I_x = \left[0.0081 + 1.08(2.45)^2 \right] + \left[0.0081 + 1.08(2.45)^2 \right] + \left[5.152 + 1.56(0)^2 \right] + \left[5.152 + 1.56(0)^2 \right] + \left[0.0081 + 1.08(2.45)^2 \right] + \left[0.0081 + 1.08(2.45)^2 \right] = 32.9936 \text{ cm}^4$$

Ya que es figura simétrica; por lo tanto:

$$C1 = 50 \text{ mm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

$$I_1 = \frac{0.3(3.6)^3}{12} = 1.1664 \text{ cm}^4$$

$$I_2 = \frac{0.3(3.6)^3}{12} = 1.1664 \text{ cm}^4$$

$$I_3 = \frac{5.2(0.3)^3}{12} = 0.0117 \text{ cm}^4$$

$$I_4 = \frac{5.2(0.3)^3}{12} = 0.0117 \text{ cm}^4$$

$$I_5 = \frac{0.3(3.6)^3}{12} = 1.1664 \text{ cm}^4$$

$$I_6 = \frac{0.3(3.6)^3}{12} = 1.1664 \text{ cm}^4$$

$$d_1 = 50 - 18 - 3 = 29mm.$$

$$d_2 = 50 - 18 - 3 = 29mm.$$

$$d_3 = 50 - 1.5 = 48.5mm$$

$$d_4 = 50 - 1.5 = 48.5mm$$

$$d_5 = 50 - 18 - 3 = 29mm.$$

$$d_6 = 50 - 18 - 3 = 29mm.$$

$$I_y = I_{cg} + Ad^2$$

$$I_y = \left[.1664 + 1.08(2.9)^2 \right] + \left[.1664 + 1.08(2.9)^2 \right] + \left[.0117 + 1.56(4.85)^2 \right] + \left[.0117 + 1.56(4.85)^2 \right] + \left[.1664 + 1.08(2.9)^2 \right] + \left[.1664 + 1.08(2.9)^2 \right] = 114.4104cm^4$$

∴

$$\sigma = \frac{166.3779Nm * 2.6cm}{32.9936cm^4} = 13.1111MPa$$

Si el ST-33 tiene un $S_y = 185 N/mm^2$ o MPa Entonces

$$n = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{185}{13.1111} = 14.11018$$

Excede al factor de seguridad deseado de $n = 4$, en 3.5 veces y el análisis es realizado en la zona más propensa a falla.

➤ El brazo en trabajo

Caso "A"

Cuando trabaja el escáner, éste puede genera una fuerza contraria a su peso a tal punto de eliminarlo haciendo con esto que el brazo sufra un esfuerzo menor de lo inicial.

Caso "B"

Cuando la fresadora trabaja con normalidad, genera fuerzas despreciables de diseño, pero en caso de que la pieza se atrancara con la fresa sería preocupante, no se toma en cuenta la fuerza de penetración, ya que ésta anula el peso de la fresadora y alivia el trabajo del brazo.

La parte más sensible es en A; por lo tanto, se diagrama el sistema de fuerzas espacial en ese punto (Figura N° 2.21).

Determinación de σ_x

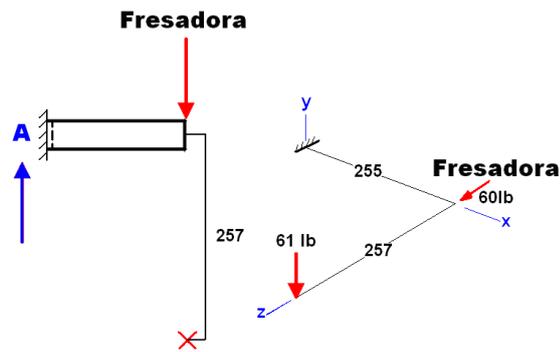


Figura N° 2.21 Fuerzas sobre el soporte de la fresadora

Plano xz

Es el mismo momento que en el análisis sin carga.

$$\sum MA_z = 22103.25 + 15300 = 37403.25 \text{ lb.mm} = 1472.5689 \text{ lb.pulg} = 166.3779 \text{ Nm}$$

Plano xy

$$\sum Fy = 0$$

$$A_y - 61 = 0$$

$$A_y = 61 \text{ lb}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$M_{Ay} - (61 * 4.45) * 0.255 = 0$$

$$M_{Ay} = 69.219 \text{ Nm}$$

Momento Ayz

$$|M_{Ayz}| = \sqrt{M_{Ay}^2 + M_{Az}^2}$$

$$|M_{Ayz}| = \sqrt{69.219^2 + 166.3779^2}$$

$$|M_{Ayz}| = 180.223 Nm$$

Si:

$$I_x = 32.9936 cm^4$$

$$\sigma = \frac{M * c}{I_x} = \frac{180.223 * 2.6}{32.9936} = 14.2021 MPa$$

$$J = I_x + I_y = 32.9936 + 114.4104 = 147.404 cm^4$$

$$T_{yz} = \frac{Tr}{J} = \frac{(61 * 4.45) * 0.257 * 5}{147.404} = 2.3663 MPa$$

$$\sigma_{total} = \sqrt{\sigma^2 + 3T_{yz}^2} = \sqrt{14.2021^2 + 3 * 2.3663^2} = 14.7817 MPa$$

Si el ST-33 tiene un $S_y = 185 \text{ N/mm}^2$ o MPa, entonces:

$$n = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{185}{14.7817} = 12.51$$

Excede al factor de seguridad deseado de $n = 4$, por 3 veces y el análisis realizado es en la zona más propensa a falla.

Una vez calculado todos los factores, se observa las dimensiones finales con la que se construye el brazo soporte (Figura No 2.22).

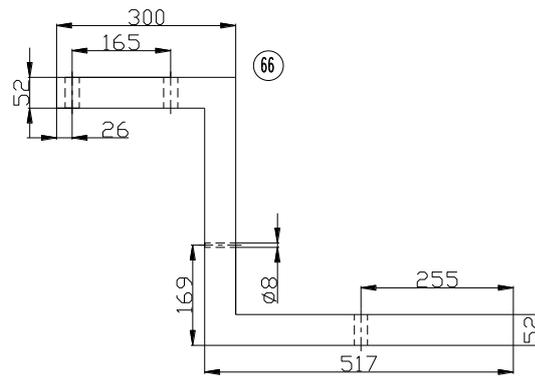


Figura N° 2.22 Dimensiones del brazo soporte

➤ **Base soporte y columna**

Es la columna que soporta el peso del escáner, fresadora; a más de absorber las fuerzas que éstos generan cuando la máquina trabaja (Figura N° 2.23).



Figura N° 2.23 Base y columna soporte

Las fuerzas que absorbe son compresión, flexión y torsiones, se representan en la Figura N° 2.24 y son necesarias para el cálculo.

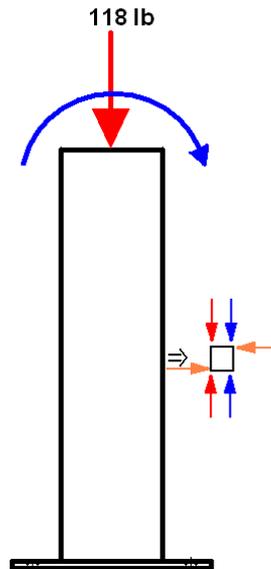


Figura N° 2.24 Fuerzas que soporta la columna

$$\sum Fy = 0$$

$$- Escaner - Fresadora - Peso + Soporte = 0$$

$$- 53 - 60 - 5 + Soporte = 0$$

$$Soporte = 118lb = 53.52kg$$

$$\sigma_c = \frac{P}{A} = \frac{118lb * 4.45}{4mm * 96mm * 4} = 0.341MPa$$

El caso más extremo es cuando el scanner funciona generando su máxima fuerza en contra.

Fuerza del scanner

$$F_{scaner} = 67.2 - 53 = 14.2lb = 63.19 N$$

Fuerza de la fresadora

$$F_{fresadora} = 60lb = 267 N$$

Esfuerzo por flexión

$$\sum M_{base} = 0$$

$$M_{base} = 63.19 * 0.402 + 267 * 0.255 = 93.4873 N.m$$

$$I_x = 223cm^4$$

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{93.4873 * 5}{223} = 2.0961 MPa$$

Esfuerzo por torsión (61 lb. debido a la mesa con un distancia de 305 mm. de la base)

$$J = I_x + I_y = 223 + 223 = 446cm^4$$

$$T = F * d = 61 * 4.45 * 0.305 = 82.7922 N.m$$

$$T = \frac{T * r}{j} = \frac{82.7922 * 5}{446} = 0.92881 MPa$$

Esfuerzo normal común

$$\sigma = \sigma_{flexión} + \sigma_c = 2.0961 + 0.341 = 2.4371 MPa$$

Esfuerzo normal total

$$\sigma_{total} = \sqrt{\sigma^2 + 3Tyz^2} = \sqrt{2.4371^2 + 3 * 0.92881^2} = 2.9201 MPa$$

El resultado determina que esta sobre dimensionado; entonces la estructura que se observa en la Figura N° 2.25 será la definitiva para la construcción de la misma.



Figura N° 2.25 Dimensiones de la columna y base soporte.

2.1.4 Cálculo de engranajes¹⁶

Por la aplicación que se requiere; es indispensable el acople del servomotor con un servomotor compuesto de engranaje y tornillo sin-fin, con el objeto de tener en los ejes de los distintos carros un torque alto con un avance relativamente lento para un mecanizado seguro y preciso.

2.1.4.1 Rueda y tornillo sin-fin (Fuerzas y momentos)

Se aprecia en la Figura N° 2.26 un servomotor de 1/10 HP, 3600 rpm, 36 VDC, 3 A, que se conecta con un sistema de tornillo sin fin con un diámetro medio (dm) de 14 mm y rueda con una relación de 1/40 con un dm = 40, se determina el torque (T) real de salida.

¹⁶ www.tecnun.es/asignaturas/elemaqui/cap9.pdf

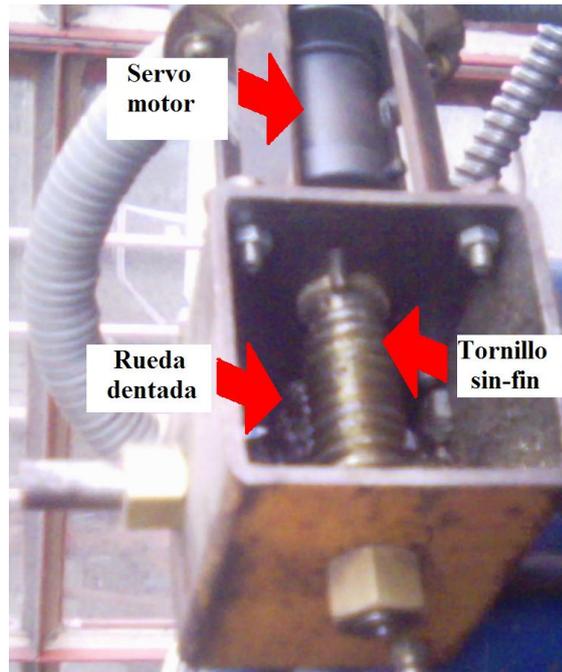


Figura No 2.26 Rueda y tornillo sin-fin

Paso diametral

$$P = \frac{N}{d} = \frac{40}{40/25.4} = 25.4 \text{ pulg}$$

Paso axial es igual al paso circular

$$p_t = \frac{\pi}{P} = \frac{\pi}{25.4} = 0.1236 \text{ pulg}$$

El avance es

$$L = p_x N_w = 0.1236 * 1 = 0.1236 \text{ pulg}$$

El ángulo de avance

$$\lambda = \tan^{-1} \frac{L}{\pi d_w} = \tan^{-1} \frac{0.1236}{\pi(7/25.4)} = 8.1246^\circ$$

La velocidad en la línea de paso en el tornillo sin-fin es:

$$V_w = \frac{\pi d_w n_w}{12} = \frac{\pi(7/25.4) * 3600}{12} = 259.7379 \text{ ft/min}$$

Determinación de la fuerza

$$W_{w_t} = \frac{33000 H}{V_w} = \frac{33000 (1/10)}{259.7379} = 12.722695 \text{ lb}$$

Las fuerzas que actúan en un tornillo sin-fin se aprecian en la Figura N° 2.27.

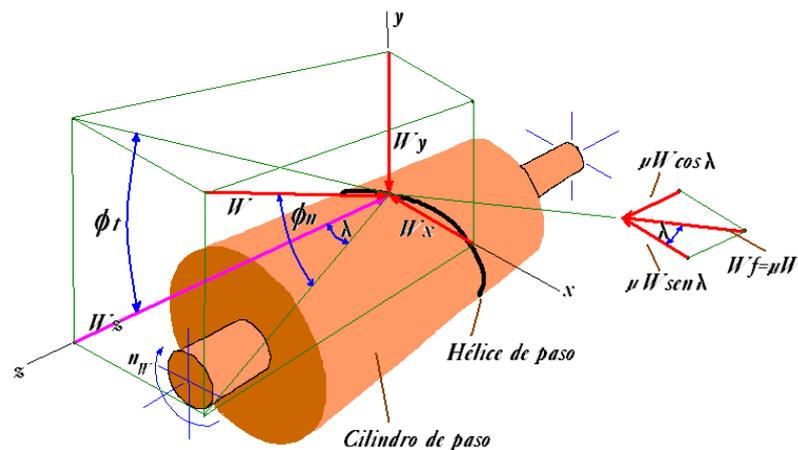


Figura N° 2.27 Fuerza sobre una rueda y tornillo sin-fin.

Se determina el diagrama de cuerpo libre con las fuerzas actuantes; se puede observar en la Figura N° 2.28.

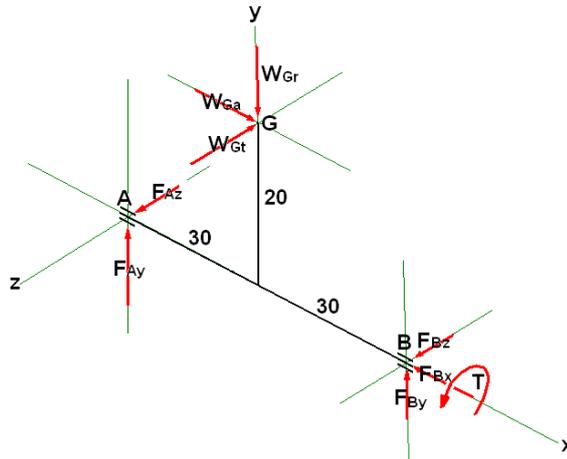


Figura N° 2.28 Fuerza en el espacio de una rueda y tornillo sin-fin.

Con un factor $\mu = 0.0425$ y un ángulo de contacto de 14.5°

Entonces:

$$W_x = W(\cos\phi_n \operatorname{sen}\lambda + \mu \cos\lambda)$$

$$W = \frac{W_x}{\cos\phi_n \operatorname{sen}\lambda + \mu \cos\lambda}$$

$$W = \frac{12.722695}{\cos(14.5)\operatorname{sen}(8.1246) + 0.0425\cos(8.1246)} = 71.11697lb$$

Determina W_{Gt}

$$W_z = W(\cos\phi_n \cos\lambda + \mu \operatorname{sen}\lambda)$$

$$W_z = 71.11697(\cos(14.5)\cos(8.1246) + 0.0425\operatorname{sen}(8.1246)) = 68.5878lb$$

Si

$$W_{Gt} = -W_z = -68.5878 lb$$

Se determina el torque de salida

$$\sum M_{AB} = 0$$

$$-68.5878 * 20 / 25.4 + T_{salida} = 0$$

$$T_{salida} = 54.0061 \text{ lb.in}$$

$$T_{salida} = 54.0061 \text{ lb.in} * 0.113 = 6.1027 \text{ N.m}$$

2.1.4.2 Rueda y tornillo sin-fin (Cálculos de construcción)

➤ Rueda

Se requiere para el servomotor una rueda dentada de $z=40$; $m=1$; $\beta = 90^\circ$.

Denominación:

$de2 = m * (z+2)$; Diámetro Exterior de rueda [mm]

$det \text{ max} = de2 + 1,5 * m$; Diámetro de Torneado máximo de rueda [mm]

$det \text{ min} = de2 + m$; Diámetro de Torneado mínimo de rueda [mm]

$d2 = mc2 * Z2$; Diámetro Primitivo [mm]

$di = \frac{d2}{3} - \frac{7}{3} * mn$; Diámetro interior de rueda [mm]

$mx1 = m=1$; Módulo axial

$Px1 = mx1 * \pi =$; Paso axial de Tornillo [mm]

$Pn1 = Px1 * \text{Sen}\beta$; Paso normal de Tornillo [mm]

$$Pn2 = Pn1 \quad ; \text{ Paso normal de rueda [mm]}$$

$$Pc2 = Px1 \quad ; \text{ Paso circunferencial de rueda [mm]}$$

$$mc2 = mx1 \quad ; \text{ Modulo circunferencial de rueda [mm]}$$

$$a2 = m \quad ; \text{ Addendum [mm]}$$

$$b2 = 1,2 * m \quad ; \text{ Dedendum [mm]}$$

$$a + b = h \quad ; \text{ Altura de diente [mm]}$$

$$B = 7,5 * m + 6 \quad ; \text{ Ancho de Corona [mm]}$$

$$R = \frac{d2}{2} - m \quad ; \text{ Radio de Garganta [mm]}$$

Entonces se tiene:

$$De2 = m * (z+2) \quad De2 = 1 * (40+2) \quad De2 = 42mm$$

$$det \text{ max} = de2 + 1,5 * m \quad det \text{ max} = 42 + 1,5 * 1 = 43,5mm$$

$$det \text{ min} = de2 + m \quad det \text{ min} = 42 + 1 = 43mm$$

$$d2 = mc2 * Z2 \quad d2 = 1 * 40 = 40mm$$

$$di = \frac{d2}{3} - \frac{7}{3} * mn \quad di = \frac{40}{3} - \frac{7}{3} * 1 = 37,6mm$$

$$mx1 = m = 1$$

$$Px1 = mx1 * \pi = \quad Px1 = 1 * \pi \quad Px1 = 3,1416mm$$

$$Pn1 = Px1 * Sen\beta \quad Pn1 = 3,1416 * Sen90^\circ = 3,1416 \text{ mm}$$

$$a2 = m$$

$$a2 = 1$$

$$b2 = 1,2 * m \quad b2 = 1,2 * 1 = 1,2mm$$

$$a + b = h \quad 1 + 1,2 = 2,2mm$$

$$B = 7,5 * m + 6 \quad B = 7,5 * 1 + 6 = 13,5mm$$

$$R = \frac{d2}{2} - m \quad R = \frac{40}{2} - 1 \quad R = 19mm$$

Una vez determinado estos cálculos se aplican los mismos en la construcción; teniendo un plano previo, como se observa en la Figura N° 2.29.

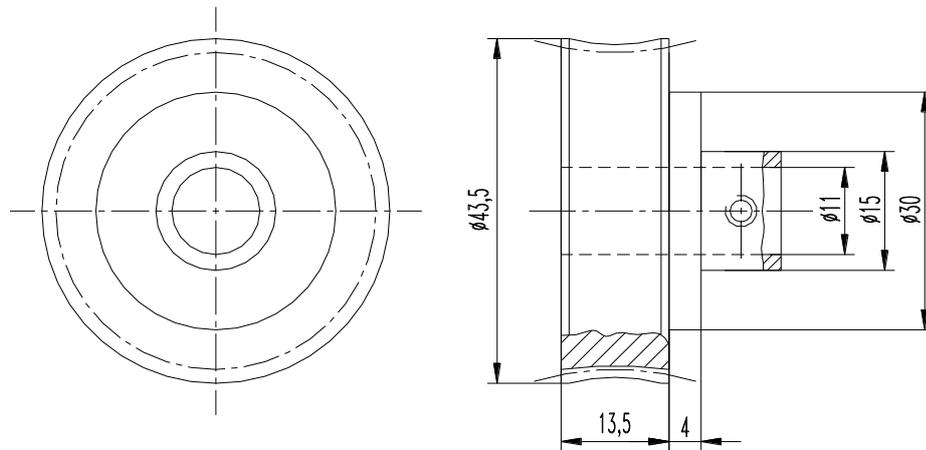


Figura N° 2.29 Dimensiones de Rueda dentada para tornillo sin-fin

➤ **Tornillo sin-fin**

Se requiere para el servomotor un tornillo sin-fin que se acople con una rueda dentada.

Denominación:

$$d1 = q * xm1 ; \text{ Diámetro primitivo [mm]} \quad de1 = d1 + 2m ; \text{ Diámetro exterior [mm]}$$

$$l = 6 * px1 ; \text{ Longitud de Tornillo} \quad di = d1 - \frac{7}{3} * m ; \text{ Diámetro interior [mm]}$$

$$a + b = h ; \text{ Altura de Diente [mm]} \quad c = \frac{d1 + d2}{2} ; \text{ Distancia entre centros [mm]}$$

Entonces:

$$d1 = q * xm1 \quad d1 = 16 * 1 = 16mm$$

$$de1 = d1 + 2m \quad de1 = 16 + 2 * 1 = 18mm$$

$$l = 6 * px1 \quad l = 6 * 3,1416 = 18,84mm$$

$$di = d1 - \frac{7}{3} * m \quad di = 16 - \frac{7}{3} * 1$$

$$a + b = h \quad 1 + 1,2 = 2,2mm$$

$$c = \frac{d1 + d2}{2} \quad c = \frac{16 + 40}{2} = 28mm$$

Una vez determinado estos cálculos, se elabora un plano previo como se observa en la Figura N° 2.30.

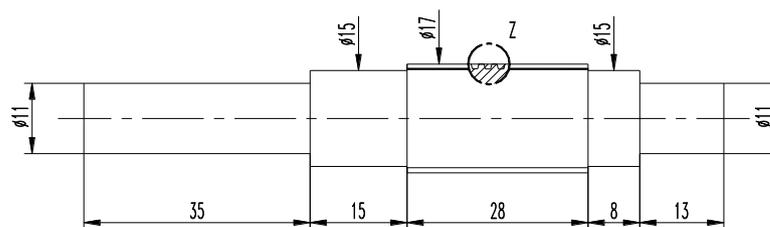


Figura N° 2.30 Dimensiones del tornillo sin-fin

2.1.4.3 Cálculo para la construcción de engranaje cónico

Para el carro superior (Z) se necesita engranajes cónicos para tener un avance manual.

Denominación:

$$de1 = d1 + 2 * a * \cos \tau 1 \quad ; \text{ Diámetro Exterior [mm]}$$

$$d1 = m * Z1 \quad ; \text{ Diámetro Primitivo [mm]}$$

$$\tau 1 = \arctg\left(\frac{z1}{z2}\right) = \quad ; \text{ Angulo primitivo [°]}$$

$$h = 2,18 * m = \quad ; \text{ Altura del diente [mm]}$$

$$ht = 2 * m = \quad ; \text{ Profundidad de trabajo [mm]}$$

$$c = 0,188 * m \quad ; \text{ Espacio libre de fondo [mm]}$$

$$P = m * \pi = \quad ; \text{ Paso circular [mm]}$$

$$G = \left(\frac{m}{2}\right) * \sqrt{z1^2 - z2^2} = \quad ; \text{ Generatriz [mm]}$$

$$a1 = ht - a2 = \quad ; \text{ Addendum Piñón [mm]}$$

$$a2 = m * A = \quad ; \text{ Addendum Rueda [mm]}$$

$$b1 = h - a1 = \quad ; \text{ Dedendum [mm]}$$

$$g1 = \arctg\left(\frac{b2}{G}\right) = \quad ; \text{ Angulo de Addendum [°]}$$

$$\delta_1 = \arctg\left(\frac{b_1}{G}\right) = \quad ; \text{Angulo de Dedendum } [^\circ]$$

$$\kappa_1 = \tau_1 + \delta_2 = \quad ; \text{Angulo de cara } [^\circ]$$

$$\varphi_1 = \tau_1 - \delta_1 = \quad ; \text{Angulo de Fondo } [^\circ]$$

$$\beta \Rightarrow \left(\frac{G}{3}\right) = \quad ; \text{Longitud de diente [mm]}$$

$$ec_2 = \frac{\pi * m}{2} - (a - a_2) * tg\alpha = \quad ; \text{Espesor circular Rueda [mm]}$$

$$ec_1 = p - ec_2 = \quad ; \text{Espesor circular [mm]}$$

Datos:

$$\tau_1 + \tau_2 = 90^\circ ; z_1 = 16 ; m = 1 ; \tau_1 = 45^\circ ; \tau_2 = 45^\circ ; a = 1$$

$$d_1 = m * Z_1 \quad ; d_1 = 1 * 16 = 16mm = 0,29 \text{ pulg}$$

$$de_1 = d_1 + 2 * a * \cos\tau_1 \quad ; de_1 = 16 + 2 * 1 * \cos 45^\circ = 17,41mm$$

$$\tau_1 = \arctg\left(\frac{z_1}{z_2}\right) = \quad ; 45^\circ = \arctg\left(\frac{16}{z_2}\right) = ; \quad z_2 = \frac{16}{\text{tg}45^\circ} = 16$$

$$h = 2,18 * m = \quad ; h = 2,18 * 1 = 2,18 \therefore 2,2mm$$

$$P = m * \pi = \quad ; P = 1 * \pi = 3,1416mm$$

$$G = \left(\frac{m}{2}\right) * \sqrt{z1^2 - z2^2} = \quad ; G = \left(\frac{1}{2}\right) * \sqrt{16^2 - 16^2} = 11,31mm$$

$$\vartheta1 = \arctg\left(\frac{b2}{G}\right) = \quad ; \vartheta1 = \arctg\left(\frac{1,2}{11,31}\right) = 5,99^\circ \therefore 6^\circ$$

$$\delta1 = \arctg\left(\frac{b1}{G}\right) = \quad ; \delta1 = \arctg\left(\frac{1,2}{11,31}\right) = 6^\circ \therefore \delta1 = \delta2$$

$$\omega1 = \tau1 + \delta2 = \quad ; \omega1 = 45^\circ + 6^\circ = 51^\circ$$

$$\varphi1 = \tau1 - \delta1 = \quad ; \varphi1 = 45^\circ - 6^\circ = 30^\circ$$

$$\beta \geq \left(\frac{G}{3}\right) = \quad ; \beta \geq \left(\frac{11,31}{3}\right) = 3,47mm = 0,148 \text{ pulg}$$

Una vez determinado los cálculos se elabora un plano; se observa en la Figura N° 2.31.

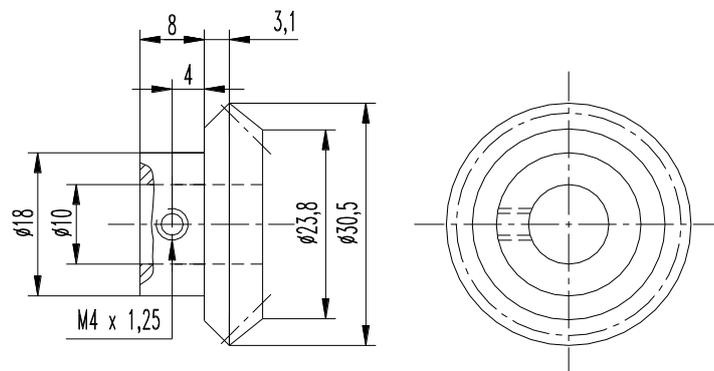


Figura N° 2.31 Dimensiones del engranaje cónico

2.1.4.4 Cálculo para la construcción de engranaje de diente recto

Estos se utilizan para conectar el motor AC con el eje husillo de la máquina; además de producir las revoluciones promedio para el mecanizado del material.

➤ Engranaje conductor

Denominación:

$$D_e = m * (z + 2) \quad ; \text{ Diámetro exterior [mm]}$$

$$D_p = m * z \quad ; \text{ Diámetro primitivo [mm]}$$

$$D_i = m * (z - 2,5) \quad ; \text{ Diámetro de fondo [mm]}$$

$$h = 2,25 * m \quad ; \text{ Altura de diente [mm]}$$

$$c = 0,25 * m \quad ; \text{ Espacio libre de fondo [mm]}$$

$$p = \pi * m \quad ; \text{ Paso circular de diente [mm]}$$

$$B = 8a_{10} * m \quad ; \text{ Longitud de diente [mm]}$$

Se tiene:

$m=1,5$; $z=22$; Material= Acero de construcción 110-18 ; entonces:

$$De = m * (z + 2) \quad ; \quad De = 1,5 * (22 + 2) = 36mm$$

$$Dp = m * z \quad ; \quad Dp = 1,5 * 22 = 33mm$$

$$Di = m * (z - 2,5) \quad ; \quad Di = 1,5 * (22 - 2,5) = 29,5mm$$

$$h = 2,25 * m \quad ; \quad h = 2,25 * 1,5 = 3,3mm$$

$$a = 1 * m \quad ; \quad a = 1 * 1,5 = 1,5mm$$

$$b = 1,25 * m \quad ; \quad b = 1,25 * 1,5 = 1,9mm$$

$$c = 0,25 * m \quad ; \quad c = 0,25 * 1,5 = 3,8mm$$

$$p = \pi * m \quad ; \quad p = \pi * 1,5 = 4,7mm$$

Las dimensiones que toma este engranaje se puede observar en la Figura N° 2.32.

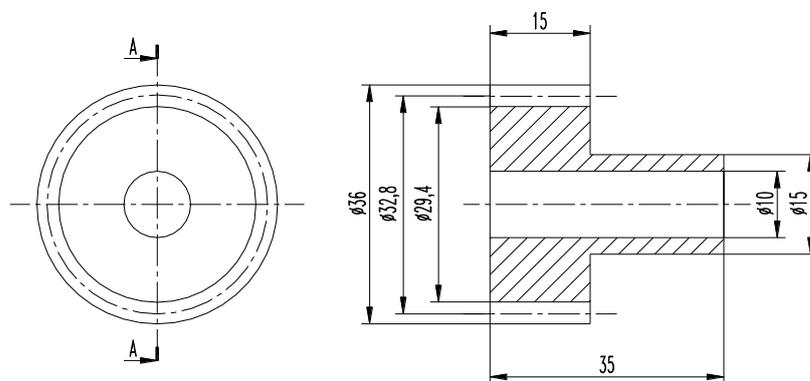


Figura N° 2.32 Dimensiones del engranaje conductor

➤ **Engranaje conducido**

Se tiene:

$m=1,5$; $z=14$; Material= Teflón; Polipropileno ; entonces:

$$De = m * (z + 2) \quad ; \quad De = 1,5 * (14 + 2) = 24mm$$

$$Dp = m * z \quad ; \quad Dp = 1,5 * 14 = 21mm$$

$$Di = m * (z - 2,5) \quad ; \quad Di = 1,5 * (14 - 2,5) = 17,5mm$$

$$h = 2,25 * m \quad ; \quad h = 2,25 * 1,5 = 3,3mm$$

$$a = 1 * m \quad ; \quad a = 1 * 1,5 = 1,5mm$$

$$c = 0,25 * m \quad ; \quad c = 0,25 * 1,5 = 3,8mm$$

$$p = \pi * m \quad ; \quad p = \pi * 1,5 = 4,7mm$$

$$B = 8a10 * m \quad ; \quad B = 10 * 1,5 = 15mm$$

Las dimensiones que toma este engranaje se puede observar en la Figura N° 2.33.

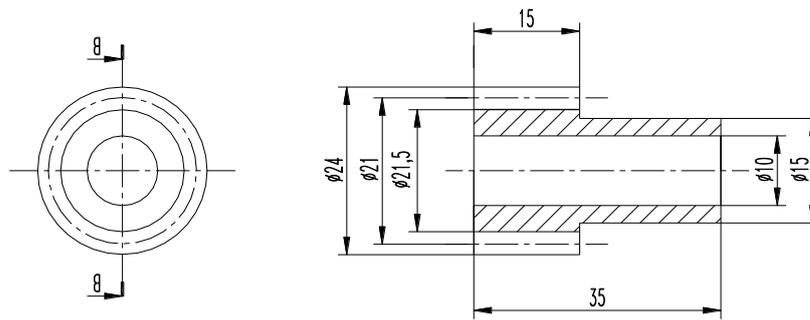


Figura N. 2.33 Dimensiones del engranaje conducido

2.1.5 Diseño de planos mecánicos

El despiece de la máquina en su totalidad se encuentra en la sección ANEXOS (C).

2.2 SISTEMA ELÉCTRICO/ ELECTRÓNICO

2.2.1 Selección de motores

- Para los carros de las coordenadas (X),(Y),(Z).

Seleccionó tres motores DC servos que funcionan a 36 V, consumen 3A, generan 3600 rpm y generan 1/10 HP. Estos motores acoplados a las cajas reductoras satisfacen la aplicación de la máquina.

- Para la fresa

Un motor AC de 110V, consume 3A, genera 3500 rpm y genera 1/3 HP. Tiene el tamaño y peso que se requería.

- Para el scanner

Un motor DC 25V, consume 1A, genera 3000 rpm y genera 20 W.

2.2.2 Diseño de circuitos eléctricos/electrónicos

Con el fin de alcanzar los objetivos planteados de la máquina se plantea el diagrama de control, para posteriormente determinar los elementos electrónicos necesarios. Este diagrama se puede observar en la Figura N° 2.34.

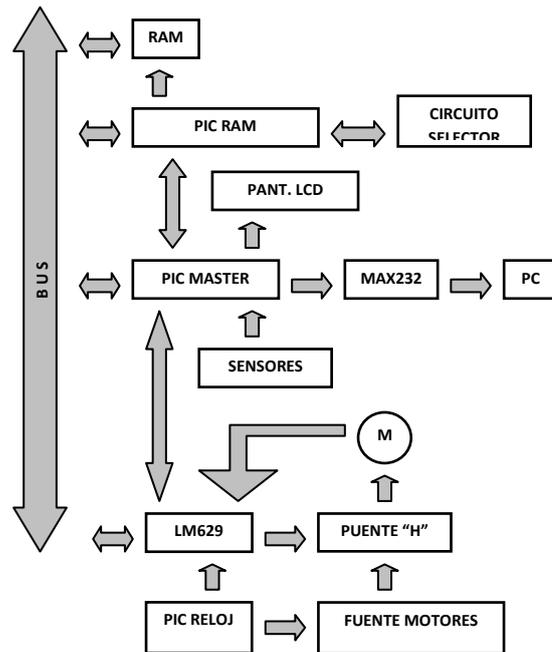


Figura N° 2.34 Diagrama de control

➤ RAM

La memoria RAM utilizada es una SIMM (Single Inline Memory Module) de 30 pines, utilizada en computadoras 386/486 hasta pentium 1. La distribución de pines de este modelo de RAM se muestra en la Tabla N° 2.2.

Módulo de memoria 30-pin SIMM		
Pin #	Nombre de pines	Descripción
1	VCC	+5 VDC
2	/CAS	Column Address Strobe
3	DQ0	Data 0
4	A0	Address 0
5	A1	Address 1
6	DQ1	Data 1
7	A2	Address 2
8	A3	Address 3
9	GND	Ground
10	DQ2	Data 2
11	A4	Address 4
12	A5	Address 5
13	DQ3	Data 3
14	A6	Address 6
15	A7	Address 7
16	DQ4	Data 4
17	A8	Address 8
18	A9	Address 9
19	A10	Address 10
20	DQ5	Data 5
21	/WE	Write Enable
22	GND	Ground
23	DQ6	Data 6
24	A11	Address 11
25	DQ7	Data 7
26	QP	Data Parity Out

27	/RAS	Row Address Strobe
28	/CASP	Something Parity
29	DP	Data Parity In
30	VCC	+5 VDC

Tabla N° 2.2. Distribución de pines de una RAM de 1 M

En la Figura N° 2.35 se presenta la apariencia física de la memoria.

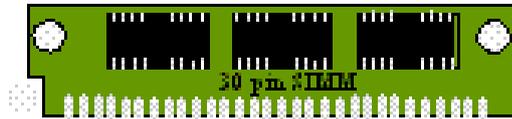


Figura N° 2.35 Memoria RAM FPM 1M

La velocidad común de este tipo de memorias es de 70ns.

A lo anteriormente mencionado, se debe tener en cuenta la frecuencia del cristal del PIC; ya que, si la frecuencia es muy alta, no leerá el dato debido a que no le da tiempo para que la memoria prepare el dato.

Pic RAM (16F877A)¹⁷

Este PIC tiene la función de:

- Administrar la RAM.
- Realizar la lectura del escáner.
- Trabaja como esclavo del Pic Master.

¹⁷ www1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582b.pdf -

Realiza los cálculos de:

- Encerado electrónico de pieza y máscara.
- Cálculo de posiciones de fresa (5mm radial vertical).

La disposición de terminales del PIC se muestra en la Figura N° 2.36.

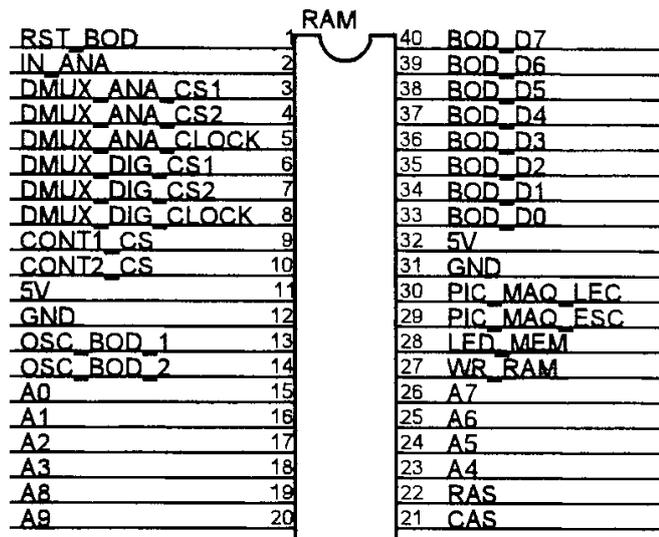


Figura N° 2.36 Disposición de terminales Pic RAM

Cada terminal del PIC RAM es utilizado para diferentes funciones; como:

- IN_ANA.- Entrada analógica desde el escáner
- DMUX_ANA_CS1.- Selector del primer demultiplexor analógico
- DMUX_ANA_CS2.- Selector del segundo demultiplexor analógico
- DMUX_ANA_CLOCK.- Genera los pulsos digitales que necesita en contador de los DMUX analógicos
- DMUX_DIG_CS1.- Selector del primer demultiplexor digital.
- DMUX_DIG_CS2.- Selector del segundo demultiplexor digital.
- DMUX_DIG_CLOCK.- Genera los pulsos digitales que necesita en contador de los DMUX digitales

- CONT1_CS.- Selecciona el contador BDC de los analógicos (se usa para encerrar los contadores)
- CONT2_CS.- Selecciona el contador BDC de los digitales (se usa para encerrar los contadores)
- A0-A9.- Se escribe la dirección de fila y columnas, están conectados directamente a la DRAM. Es unidireccional, solo salida.
- BOD_D0-BOD_D7.- Están conectados al bus de datos, protegidos por una resistencia de 1Ω en caso de corto circuito directo. Es bidireccional.
- PIC_MAQ_LEC.- Pin usado como parte del sistema de comunicación bidireccional entre PIC's. Es unidireccional, solo salida.
- PIC_MAQ_ESC.- Pin usado como parte del sistema de comunicación bidireccional entre PIC's. Es unidireccional, solo entrada.
- LED_MEM.- Es el resto de una evolución anterior en la cual se suponía que se usaría un puente para separar la RAM del bus de datos, en el momento sirve como led indicado de acceso a la RAM.
- WR_RAM.- En cero lógico se activa modo de escritura en la RAM
- RAS.- En cero lógico se accesa a fila.
- CAS.- En cero lógico se accesa a columna.

PIC Master (16F877A)¹⁸

Este PIC tiene la función de:

- Controlar el Pic Master
- Administrar el bus de datos
- Establecer comunicación bidireccional serial con la PC
- Administrar los LM629
- Controlar el funcionamiento de la máquina mediante los sensores.
- Manejar la pantalla LCD
- Interpretar y ejecutar ordenes dadas por el usuario

Realiza los cálculos de:

¹⁸ www1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582b.pdf -

- Posición, velocidad, aceleración de los servomotores en x, y, z.

El PIC MASTER ha sido seleccionado principalmente por su amplia capacidad de memoria y los terminales que posee necesarias para la aplicación empleada. La disposición de terminales del PIC se muestra en la Figura N° 2.37.

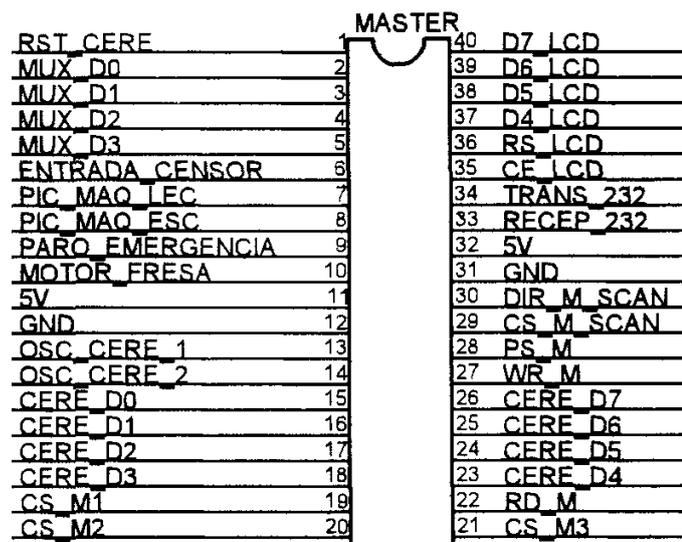


Figura N° 2.37 Disposición de terminales del PIC MASTER

Cada terminal del PIC MASTER es utilizado para diferentes funciones; así :

- MUX_D0-MUX_D3.- De 0 a 16 binario usado por el DMUX digital para la entrada de los sensores usados en la mesa de la máquina.
- ENTRADA_CENSOR.- entrada de la señal digital proveniente de la mesa.
- PIC_MAQ_LEC.- Pin usado como parte del sistema de comunicación bidireccional entre PIC's. Es unidireccional, solo entrada.
- PIC_MAQ_ESC.- Pin usado como parte del sistema de comunicación bidireccional entre PIC's. Es unidireccional, solo salida.
- PARO_EMERGENCIA.- Señal proveniente de la puerta o botón de paro de emergencia.
- MOTOR_FRESA.- Salida s un relé que activa al motor de la fresa.

- CERE_D0-CERE_D7.- Salida al bus de datos.
- CS_M1-CS_M3.- Selecciona a los LM629 que se encargan de manejar los servomotores
- RD_M.- Función de lectura de orden en lo LM629.
- WR_M.- Función de escritura de orden en lo LM629.
- PS_M.- Indica si es comando o valor.
- CS_M_SCAN.- Activa que funciones el motor del scanner.
- DIR_M_SCAN.- selecciona la dirección del motor del scanner
- RECEP_232 - TRANS_232.- Uso para la comunicación serial.
- CE_LCD-RS_LCD-D4_LCD a D7_LCD.- Pines dedicados al uso del LCD

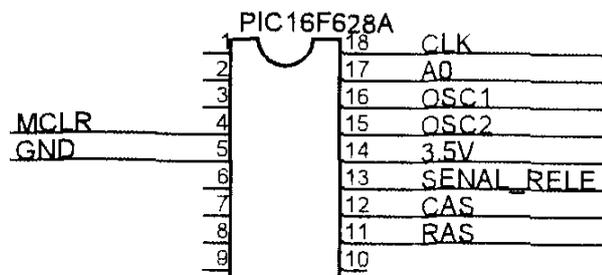
PIC Clock (16F628A)¹⁹

Este PIC tiene la función de:

- Controlar los relés de fuente
- Generar señal de reloj

Para la aplicación de reloj no es necesario utilizar otro PIC de mayor capacidad; los terminales satisfacen la necesidad.

La disposición de terminales se muestra en la Figura N° 2.38.



¹⁹ www1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/40044D.

Figura N° 2.38 PIC Clock

Cada terminal del PIC CLOCK es utilizado para diferentes funciones; así :

- CLK.-Genera la señal de reloj que necesitan los LM629 para funcionar
- A0.-Revisa si la máquina esta prendida o apagada
- OSC1 y OSC2.-Pines a los cuales se conecta el cristal de cuarzo de 20 MHz
- 3.5V.-El PIC está alimentado por el conjunto de baterías recargables.
- SEÑAL_RELE.-Genera una señal que activa los relés de la fuente de los motores.
- CAS y RAS.-Pines de refresco de la RAM.

LM629²⁰

A continuación se describe la función de los comandos del manejador de servomotores en la Tabla N° 2.3.

Comando	Tipo	Código	Descripción	Bytes
		Hexa.		de datos
RESET	Inicialización	00	Resetea el chip	0
PORT8	inicialización	05	Selecciona salida de 8 bits	0
PORT1 2	inicialización	06	Selecciona salida de 12 bits	0
DFH	Inicialización	02	Define origen de posiciones	0
SIP	Interrupciones	03	Paso del encoder por la posición índice	0
LPEI	Interrupciones	1 B	Interrupción por error	2
LPES	Interrupciones	1A	Parar si hay un error	2

²⁰ www.national.com/pf/LM/LM629.html

SBPA	Interrupciones	20	Situar un breakpoint, absoluto	4
SBPR	Interrupciones	21	Situar un breakpoint, relativo	4
MSKI	Interrupciones	1 C	Enmascarar las interrupciones	2
RSTI	Interrupciones	1 D	Reseteo de las interrupciones	2
LFIL	Filtro	1 E	Cargar los parámetros del filtro	2 a 10
UDF	Filtro	04	Actualizar los parámetros del filtro	0
LTRJ	Trayectoria	1 F	Cargar trayectoria	2 a 14
STT	Trayectoria	01	Comenzar la trayectoria	0
RDSTAT	Información	Ninguno	Leer el bit de estado	1
RDSIGS	Información	0C	Leer el registro de señales	2
RDIP	Información	9	Leer la posición del índice	4
RDDP	Información	8	Leer la posición encomendada	4
RDRP	Información	0A	Leer la posición real	4
RDDV	Información	7	Leer la velocidad encomendada	4
RDRV	Información	0B	Leer la velocidad real	2
RDSUM	Información	0D	Leer el valor de la integral del filtro	2

Tabla N° 2.3. Comandos disponibles en el chip LM269

Con 23 instrucciones se programa cualquier operación a los servomotores.

La secuencia que se debe tener en cuenta se observa en la Figura N° 2.38; para la inicialización después de cualquier operación de escritura, hay que leer el bit 'ocupado', y confirmar que se ha puesto a uno, garantizando así que la operación se ha completado con éxito.

Las señales de datos, como las de control de los LM629 son comunes; salvo la de selección de chip y las de interrupción. Así que para diferenciar a qué chip va destinada cada operación de lectura o escritura, simplemente habrá que diferenciar la señal #CS1 o #CS2.

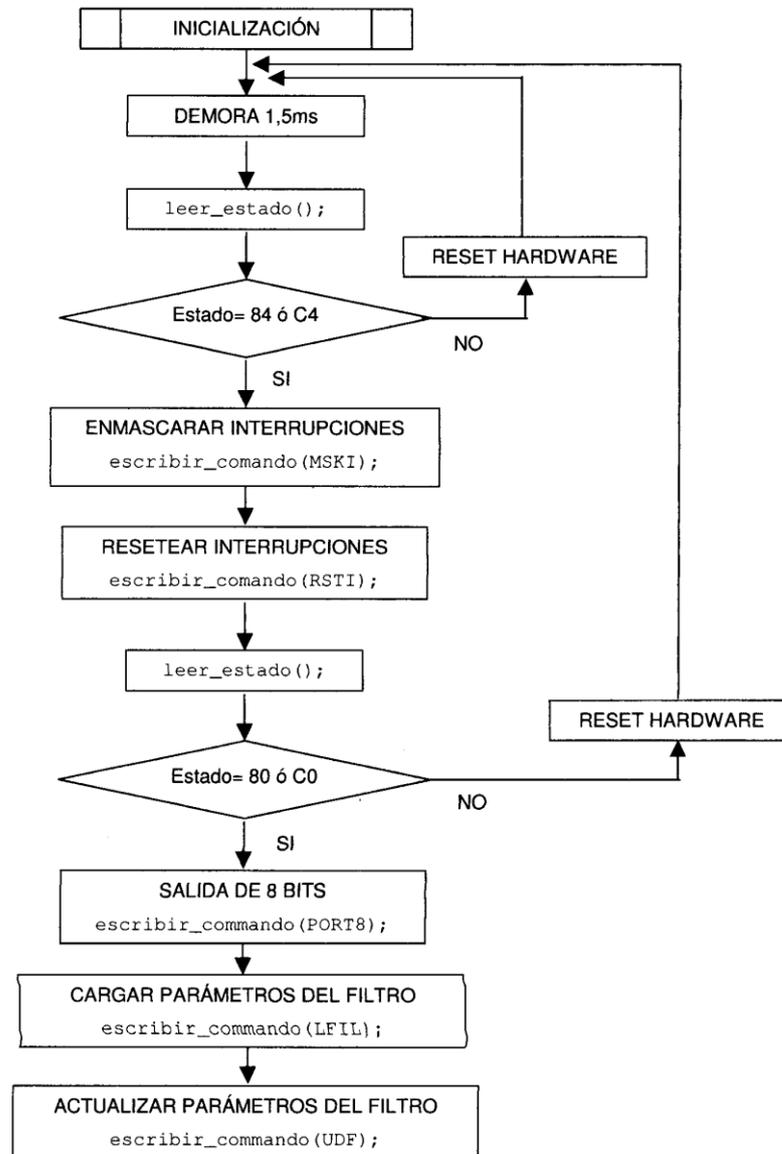


Figura N. 2.38 Diagrama de flujo de la inicialización de los chips

Estos chips necesitan un proceso de inicialización. Se trata de asegurarse primero de que el chip se encuentra en estado de reset. Posteriormente se inicializan las interrupciones (operación que no hace el reset hardware) y finalmente se configura el filtro del chip. Este proceso debe repetirse, una vez para cada chip. El reset hardware se consigue activando la señal de reset del chip desde el microcontrolador.

El filtro que se menciona en el diagrama de flujo es un filtro PID, proporcional-integral-derivativo. Al ejecutar el comando de carga de parámetros (LFIL), se debe escribir después una palabra de datos, en la que se fijan los parámetros que se van a cargar, según la Tabla N° 2.4.

Bits	15-8	7-4	3	2	1	0
Función	Tasa de muestreo	No usados	Se cargará	Se cargará	Se cargará	Se cargará
	Del término derivativo		Kp	Ki	Kd	il

Tabla N° 2.4. Palabra de datos de configuración del comando LFIL

A continuación el chip esperará que se introduzcan tantas palabras de datos como coeficientes se han indicado. Los parámetros cargados no comienzan a ser efectivos hasta que no se ejecuta el comando UDF (actualizar los parámetros del filtro).

Para que el control sea bueno, se deben elegir parámetros que cumplan las siguientes características:

- Error en estado estacionario nulo
- Tiempo de establecimiento mínimo
- Sobrepasso mínimo

Cargados los parámetros del filtro, se pueden empezar a ejecutar el comando (LTRJ) de control de los servomotores y será en función de cada trayectoria. Como el anterior, primero se escribe una palabra de datos en la que se configurarán las opciones del comando; en este caso, la codificación de los bits de la palabra se determina según la Tabla N° 2.5.

Número de bit	Función
15	No usado
14	No usado
13	No usado
12	Dirección hacia delante (solo modo velocidad)
11	Modo velocidad
10	Parada suave (aceleración programada)
9	Parada brusca (máxima aceleración)
8	Parada por desconexión de fuente
7	No usado
6	No usado
5	Se cargará la aceleración
4	Aceleración relativa
3	Se cargará la velocidad
2	Velocidad relativa
1	Se cargará la posición
0	Posición relativa

Tabla N.º 2.5. Palabra de configuración del comando LTRJ

Se puede controlar el motor en velocidad o en posición. En el primero de ellos, se fija una velocidad y una aceleración. El motor se acelera según lo programado, hasta alcanzar la velocidad indicada. El filtro PID hace que se mantenga en esa velocidad, aún habiendo ruido. En modo posición, se fija el ángulo de giro del motor, quedando éste fijo, hasta nueva orden.

Por otra parte, los datos introducidos pueden ser absolutos, o relativos. En el modo posición absoluta, el motor se comporta como un servomotor multivuelta. (Figura N° 2.39). En el modo relativo, cada posición se toma a partir del sitio en el que se encuentre en ese momento, y no desde un origen global. Es un buen modo para avanzar a intervalos, como un motor paso a paso, con la salvedad que aquí el paso es programable por el usuario. Lo mismo sucede con la velocidad.

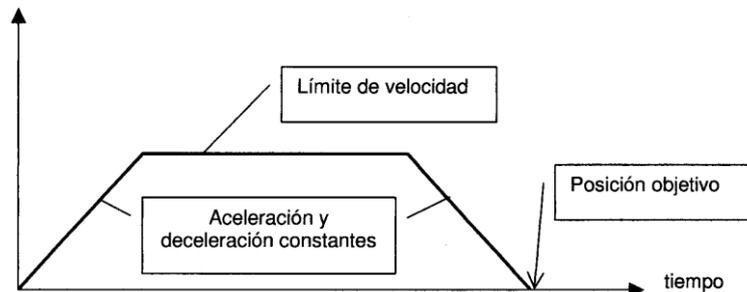


Figura N° 2.39 Desarrollo trapezoidal del movimiento en posición

Después de introducir el comando LTRJ, el chip espera que se carguen los datos que se han anunciado. Cada uno de ellos: aceleración, velocidad y posición constan de dos palabras, primero se carga la palabra alta y luego la baja. Esto permite unos rangos para los parámetros:

- Posición: -1.073.741.824 a 1.073.741.823 pasos de encóder
- Velocidad: 0 a 1.073.741.823/216 pasos de encóder/muestreo
- Aceleración: 0 a 1.073.741.823/216 pasos de encóder/muestreo

Los parámetros anteriores no se hacen efectivos en la trayectoria hasta que se ejecuta el comando SIT: comienzo de la trayectoria. Esto es muy útil para coordinar los dos motores: primero se cargan los parámetros de "x", de "y", de "z", finalmente se inicia el movimiento.

2.2.3 Diseño de software

Para el diseño de software de los PIC se ha utilizado PIC BASIC un programa de alto nivel, que usa un lenguaje de programación muy similar al de Visual Basic.

Pic RAM²¹

El PIC inicia y genera condiciones iniciales para funcionamiento, su primera prioridad es que las compuertas del BUS de datos estén como entradas o alta impedancia para que no haya cortocircuitos en el BUS lo que podría dañar los integrados; controla la RAM y va al ciclo de espera (es un ciclo simple en el cual el PIC revisa si el pin es energizado por el PIC MASTER) cuando recibe la orden va a receptor la orden, la forma de recepción de la orden se describe en la Figura N° 2.40.

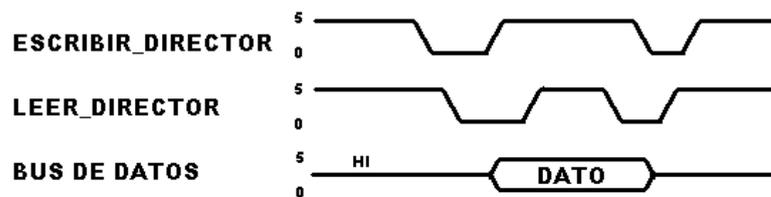


Figura N° 2.40 Esquema de comunicación entre Pic master y Pic Ram

Como se puede observar es una comunicación paralela de 8 bits (1 byte) en la cual utilizando dos líneas extras se garantiza una excelente comunicación ya que se da el tiempo suficiente al PIC para que reciba el dato. Luego utilizando el comando SELECT CASE de acuerdo al dato, realizará la tarea encomendada utilizando GOTO.

De acuerdo al dato enviado por el Pic master, el Pic Ram realizará las siguientes tareas:

- Escanear
- Restar

²¹ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582b.pdf -

- Posiciones
- Ingreso a bodegas

Escanear.- En esta opción en Pic Ram, utilizando los periféricos de salida (previamente designados) controla el escáner, el cual por demultiplexión entrega una señal analógica de cada uno de los sensores de éste; y el Pic, con el conversor analógico digital, transforma estas señales en digitales y las almacena en la memoria RAM, a la vez que se comunica con el master y refresca la RAM. Terminada la labor regresa al ciclo de espera de orden. Cabe mencionar que el escáner escanea dos, veces una con pieza y otra sin pieza.

Restar.- Debido a que puede haber error mecánico, el Pic realiza una seteo electrónico restando los valores con y sin pieza, encontrando el valor real de la pieza el cual es almacenado en bodegas de la RAM.

Posiciones.-Debido a que la fresadora utiliza una fresa cilíndrica radial de 5 mm. de diámetro es necesario calcular a que altura se debe colocar para maquinarse lo más exacto posible sin afectar las otras alturas, como se muestra en la Figura N° 2.41.

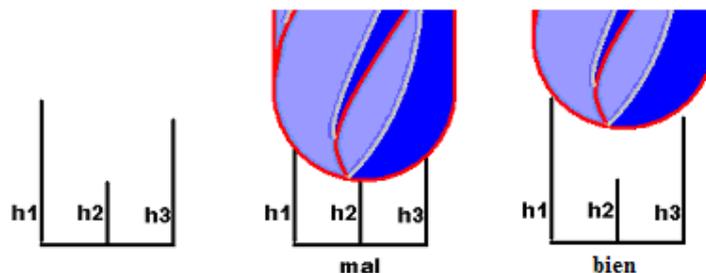


Figura N° 2.41 Principio para el cálculo de posiciones en la fresa

Las posiciones se hallan en el espacio y se almacenan en bodegas de la RAM.

Ingreso a bodegas.-Se puede acceder a bodegas para descargar en un computador y poder observar (modificar, recortar,...etc.) el gráfico.

➤ **Pic master**

El PIC inicia y genera condiciones iniciales para funcionamiento, su primera prioridad es que las compuertas del BUS de datos estén como entradas o alta impedancia para que no haya cortocircuitos en el BUS lo que podría dañar los integrados, procede a iniciar los LM629, todos los trabajos que realiza el Pic master es mostrado en el LCD de 16x2. Las funciones del Pic master son:

- Inicio de la máquina
- Escaneo
- Resta
- Posiciones
- Fresar
- Comunicarse con el PC (de ser necesario)
- Control remoto

Inicio de la máquina.- El Pic master activa todos sus periféricos de entrada y determina en que situación de encuentra la máquina, de acuerdo a esta condición mueve los motores de forma adecuada para que ésta llegue a condiciones iniciales.

Escaneo.- Ordena al Pic Ram que realice el escaneado, cuidando que el bus de datos se encuentre libre.

Resta.- Ordena al Pic Ram que realice el restado, cuidando que el bus de datos se encuentre libre.

Posiciones.- Ordena al Pic Ram que calcule las posiciones de fresa, cuidando que el bus de datos se encuentre libre.

Fresar.-El Pic master se comunica con el Pic Ram pidiéndole las posiciones de fresa de la bodega, luego con cálculos matemáticos determina los valores a insertar en los LM629 por el BUS de datos y procede a fresar por “capas imaginarias” las cuales determinan mejor desempeño de la fresadora.

Comunicarse con el PC (de ser necesario).- Como es el PIC que se comunica con la PC, los datos de bodega son enviados a este PIC el cual envía a la PC.

Control remoto.-Si por medio de un PC se envían códigos, ésta ejecuta las labores de una forma muy similar a que si se hiciese por el teclado de la máquina, es posible descargar piezas de la PC a la RAM y luego fresar.

➤ **Pic Clock**

El PIC inicia y crea condiciones iniciales para funcionamiento, genera las señales de reloj para los LM629 cuando se apaga la máquina, éste pasa a refrescar la RAM para que los datos no se pierdan.

III.-CAPITULO

III.- CAPITULO

MONTAJE DEL PROTOTIPO

3.1 CONSTRUCCIÓN DE PIEZAS MECÁNICAS

La construcción de los carros (X),(Y),(Z) fueron mecanizados en material de hierro fundido por sus propiedades de absorber vibraciones de mecanizado, lo cual elimina errores y aumenta el rendimiento de la elaboración de la pieza. (Figura N° 3.1). Los taladros de guía del eje roscado, transmisor de movimiento al resto de la mesa, están hechos con gran exactitud evitando así atascos del carro en su desplazamiento, con bocines de hierro fundido y bronce fosfórico para eliminar errores en el funcionamiento, además de tapas desmontables para un fácil mantenimiento.



Figura N° 3.1 Fresado de colas de milano.

Como se muestra en la Figura N° 3.2 los engranajes se elaboraron según su empleo y cálculos previamente realizados de material de acero de construcción, bronce fosfórico, prolipopeleno, garantizando así que no exista un desgaste por uso.

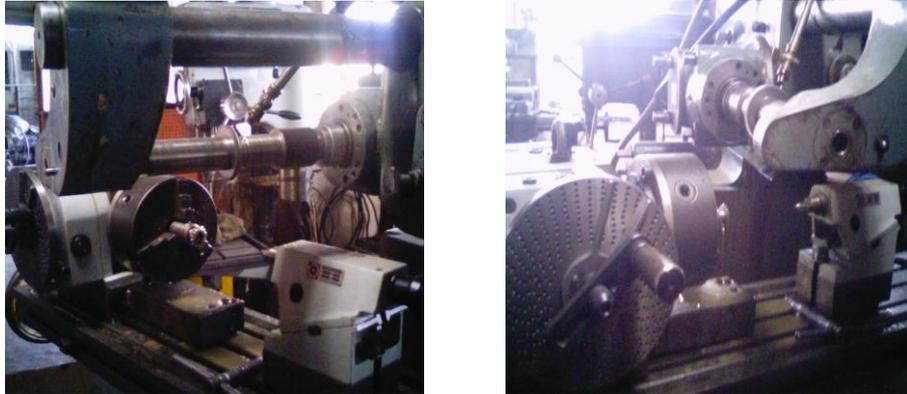


Figura N° 3.2 Fresado de engranajes.

Se mecanizó los bocines, separadores, acoples, tornillos, tuercas, etc. según la función que va a realizar, con diferentes materiales; así se empleó ,tanto el torno como la limadora. (Figura N° 3.3).



Figura 3.3 Torneado y limado de elementos constitutivos de la máquina.

3.2. ACOPLAMIENTO DE PIEZAS MECÁNICAS

Todas las partes de la máquina son acopladas con pernos, tornillos, pasadores, prisioneros; por lo que se puede deducir que la máquina es totalmente desarmable, por razones que necesite algún momento un cambio de pieza o algún desperfecto.

3.2.1. Carro longitudinal (X)

En la Figura N° 3.4 se muestra la colocación de superficie plana, la cual debe estar equilibrada, alineada y sujeta con tonillos hacia la bancada de la máquina. Posteriormente se coloca la base del carro, atravesado por tornillo, colocado una vez los bocines se colocan las tapas.



Figura N° 3.4 Carro longitudinal (X).

3.2.2. Carro transversal (Y)

Se coloca la base de la mordaza de la mesa junto con el tornillo roscado, los bocines y las tapas se colocan en forma paralela para evitar el descentramiento al acoplar el eje principal con el servomotor. (Figura N° 3.5).



Figura N° 3.5 Carro transversal (Y).

3.2.3. Carro superior (Z).

La base del carro superior (Z) está ubicada en el terminal del brazo para fresadora, sujetado por tornillos. Posteriormente se coloca la base del carro (Z) junto con la tuerca y eje roscado, entonces se acoplarán los bocines con las tapas. (Figura N° 3.6). Los engranajes se alinean con los ejes mediante chavetas y éstos a la vez giran sobre bocines y rodamientos, en la parte superior e inferior respectivamente. Se monta el motor a la base junto con todos los elementos y se prueba el correcto desplazamiento.



Figura N° 3.6 Carro superior (Z).

3.2.4. Reductores

Es esencial en el armado de los reductores; la distancia entre centros, así como su alineación (Figura N° 3.7). La carcasa debe estar centrada con las bases sujetadoras de los motores; así se evita posteriormente la vibración de la estructura.

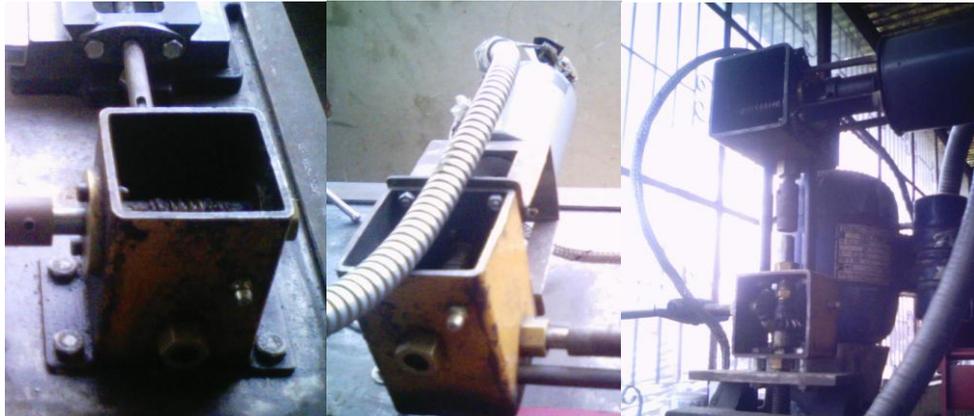


Figura N° 3.7 Reductores (x-y-z) respectivamente.

3.2.5. Base soporte y columna.

El conjunto ya acoplado se encuentra montado en la columna, la cual esta sujeta a la base mediante soldadura, y ésta a su vez con pernos a la mesa estructural general; esto se observa en la Figura N° 3.8.



Figura N° 3.8 Columna y base de soporte.

3.2.6. Acoplamiento de brazo soporte

Todo el sistema mecánico como el del escáner se encuentran en equilibrio, sujetos a través de uniones con pernos y su ajuste principal se realiza a través de un mecanismo de ajuste central, además permite girar a 90 grados en una sola dirección; se muestra en la Figura N° 3.9.

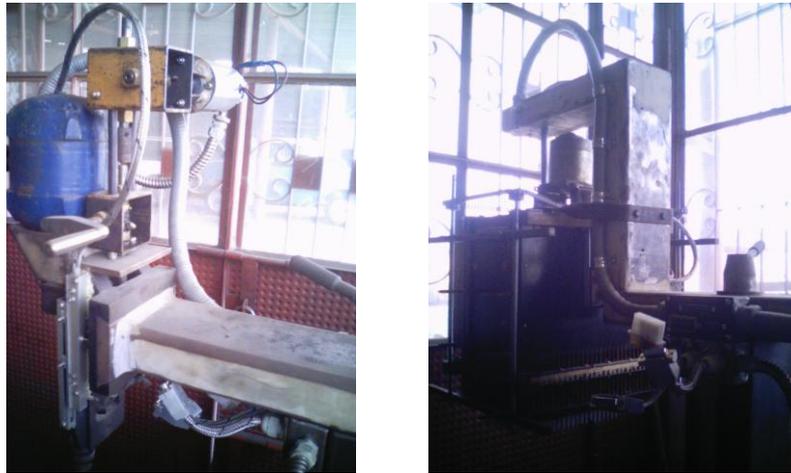


Figura N° 3.9 Brazos de soporte.

3.2.7. Escáner

El escáner se encuentra armado en estructura de madera, junto con todas las placas sensoras, las cuales se encuentran sujetadas con pernos; sin embargo la estructura forma un solo conjunto sujetado al brazo soporte (Figura N° 3.10).



Figura N° 3.10 Escáner.

3.2.8. Acoplamiento de motores

Los motores se colocan en sus bases en sus respectivas posiciones por medio de pernos; hay que controlar que el eje del motor se encuentre alineado con el eje principal del tornillo sin-fin del reductor, así se evita los descentramientos. Es importante que los acoples y chavetas tengan su perno de sujeción para asegurar un acople seguro. (Figura N° 3.11).



Figura 3.11 Sujeción de motores.

3.3 INSTALACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

Todo el sistema eléctrico de la máquina ha sido realizado con tubo metálico anillado con protección de caucho para protección de los distintos conductores y esta sujetado con acoples rápidos a los distintos cajetines, motores, y tablero de control, para así evitar posibles confusiones en reparaciones futuras de conexión.

3.3.1. Panel frontal

El panel frontal (Figura N° 3.12); esta conformado de dos botoneras; verde enciende la máquina, rojo la apaga; un interruptor general de llave que suministra energía a toda la máquina; un paro de emergencia que es una botonera en forma de hongo con enclavamiento mecánico; dos luces piloto, amarilla indica energía en la red y verde indica máquina prendida, cada botonera tiene sus íconos informativos.



Figura N° 3.12 Panel frontal de control eléctrico.

3.3.2. Motor de fresado y pulsador de emergencia

En la Figura N° 3.13 se aprecia un motor monofásico de 110 V, está conectado por conductores flexibles que soportan 2 veces la corriente de arranque, insertados dentro de una canaleta metálica. También se observa un pulsador en forma de hongo con enclavamiento mecánico cuya función es paro de emergencia.



Figura N° 3.13 Motor principal de fresado con pulsador de emergencia.

3.3.3. Conexión del servomotor

Los motores DC de 36V están conectados por conductores flexibles que soportan 4 veces la corriente nominal, insertados dentro de una canaleta metálica. Los conductores son bicolores (negro = negativo y rojo = positivo) conectados a los puentes. (Figura N° 3.14).



Figura N° 3.14 Conexión de servo motores (x-y-z) respectivamente

3.3.4. Conexiones principales

Todas los conductores provenientes tanto del escáner, servomotores, motor AC y finales de carrera; se dirigen a un cajetín principal; separados por sectores para evitar problemas de inducción, descienden en forma ordenada hacia las tarjetas electrónicas correspondientes (Figura N° 3.15).



Figura N° 3.15 Conexión principal

3.3.5. Panel Frontal interno de evaluación

Se aprecia en la Figura N° 3.16, el panel frontal ha sido construido con el fin de proporcionar información a través de leds de los sectores mecánicos, eléctricos y electrónicos que se encuentran en ese momento en funcionamiento. Cada uno de estos leds, a su lado izquierdo tiene plug en donde se puede tomar niveles de voltaje y de señal de cada dispositivo en caso que la situación lo amerite.



Figura N° 3.16 Panel Frontal interno de evaluación

3.3.6. Construcción y acoplamiento de tarjetas electrónicas

Las tarjetas electrónicas se diseñaron con el software Aguila; y la impresión de los circuitos con papel press-n-Peel o papel de transferencia térmica. Así se tiene las siguientes tarjetas:

➤ **Fuentes de energía**

Esta tarjeta proporciona la energía necesaria para los servomotores DC; corresponde exclusivamente el sector de potencia DC (Figura N° 3.17).



Figura N° 3.17 Fuentes de energía

➤ **Etapa de control de servomotores**

Esta tarjeta contiene los puentes H, manejadores LM629; corresponde al control exclusivo de motores servos DC (Figura N° 3.18).



Figura N° 3.18 Etapa de control Servomotores DC

➤ **Etapa de control electrónico , transferencia y almacenamiento de datos**

En esta tarjeta se encuentra el PIC MASTER , PIC Distribuidor de datos, memoria RAM, comunicación serial, los cuales se integran y es la etapa primordial para el funcionamiento de la máquina; tanto en el escaneo de datos ,como en la elaboración de piezas. (Figura N° 3.19).

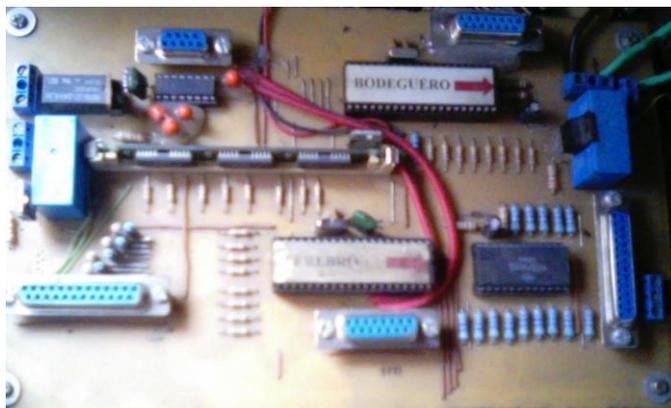


Figura N° 3.19 Panel Frontal interno de evaluación

➤ **Panel visor de máquina**

Este panel con LCD permite visualizar en etapas el funcionamiento de la máquina así como setear parámetros para el mecanizado de piezas. (Figura N° 3.20).



Figura N° 3.20 Panel visor de máquina

Una vez armado el conjunto de la máquina (Figura N° 3.21), ésta toma características mecánicas, eléctricas y electrónicas. Se detalla en las Tablas 3.1, 3.2 , y 3.3.

3.3.7 Características de la máquina



Figura N° 3.21. Máquina finalizada.

Dato	Valor	Unidades
Dimensiones máximas a escanear	120X280	mm.
Altura Máxima de la pieza a escanearse	40	mm.
Distancia mínima susceptible al escáner	0.2	mm.
Material mínimo de la pieza a escanear	Madera	
Dimensiones máximas a fresar	120X280	mm.
Altura Máxima de la pieza a fresarse	40	mm.
Material máximo de la pieza a fresar	Aluminio	

Avance mínimo de la mesa	24×10^{-3}	mm.
--------------------------	---------------------	-----

Tabla 3.1. Características mecánicas.

Dato	Valor	Unidades
Fuente de alimentación	110	Voltios
Frecuencia	60	Hz
Corriente máxima	15	Amperios

Tabla 3.2. Características eléctricas.

Dato	Tipo
Pantalla LCD	2*16
Comunicación	RS 232
Control	PID
Independencia de PC	

Tabla 3.3. Características electrónicas.

IV.-CAPITULO

IV.- CAPITULO

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 PRUEBAS

4.1.1 Preparación

Después de haber realizado una adecuada revisión de los sistemas mecánicos, eléctricos, electrónicos y determinado un adecuado funcionamiento, la máquina está preparada para utilizarse.

4.1.2 Desarrollo

➤ Encendido de la máquina

Para encender la máquina se presiona el botón verde de encendido ubicado en el tablero de control Figura N° 4.1. El display LCD se encenderá y procederá a contar 5 segundos en forma descendente Figura N° 4.2. En la Figura N° 4.3 se muestra el mensaje de “CABESAL??” y esto puede deberse a dos razones; la primera que no esté conectado los terminales del brazo como se muestra en la Figura N° 4.4, o no esté habilitado en botón de precaución mostrado en la Figura N° 4.5.



Figura N° 4.1. Tablero de control. Detalle del botón de encendido.

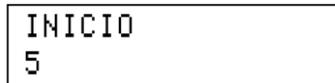


Figura N° 4.2. Display LCD contando los 5 segundos de forma descendente.

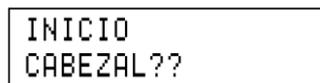


Figura N° 4.3. Display LCD mostrando el mensaje de que no se ha seleccionado el cabezal.



Figura N° 4.4. Terminales del brazo no conectados.

Para solucionar el primer caso se debe **APAGAR** la máquina presionando el botón rojo del tablero de control que se observa en la Figura N° 4.6, conectar y posteriormente iniciar los pasos anteriores, en el segundo caso es una medida de protección en caso no

encontrarse la mesa o cualquiera de los cabezales listos para ubicarse en posiciones iniciales luego de una revisión de la mesa y cabezales, éste se activa se forma manual encendiendo una luz indicadora de color verde Figura N° 4.7.

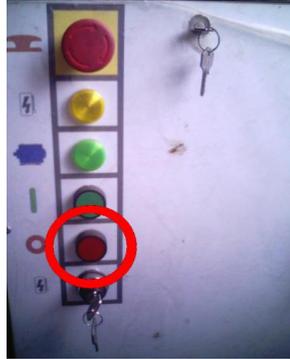


Figura N° 4.6. Tablero de control. Detalle del botón de apagado.



Figura N° 4.7. Interruptor selector de cabezal

Dependiendo el caso, recoge primero el “eje z” visto en la Figura N° 4.8 o el “escáner” (Figura N° 4.9), posteriormente recoge el “eje x” expuesto en la Figura N° 4.10 y al finalizar recoge el “eje y” (Figura N° 4.11).



Figura N° 4.8. Movimiento a posiciones iniciales de “eje z”.

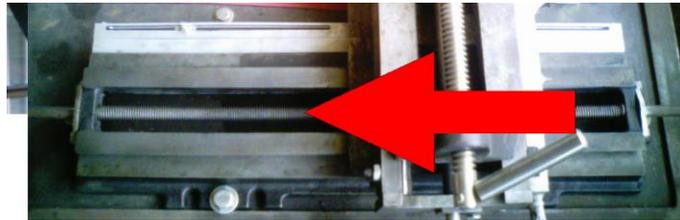


Figura N° 4.9. Movimiento a posiciones iniciales de “eje x”.

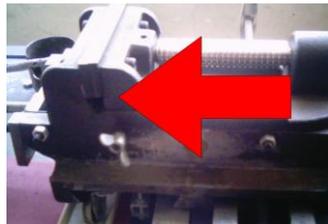


Figura N° 4.10. Movimiento a posiciones iniciales de “eje y”.



Figura N° 4.11. Tablero de control. Detalle del botón de apagado.

Para finalizar el encendido en el LCD se observará la leyenda “LISTO” indicando que la máquina está preparada, como se puede ver en la Figura N° 4.12.

LISTO

Figura N° 4.12. Display LCD avisando que la máquina está lista.

➤ ***Escaneo de pieza***

La pieza a escanearse se observa en la Figura N° 4.13.



Figura N° 4.13. Pieza seleccionada para escanearse.

Los pasos para realizar el escaneo de una pieza se detalla a continuación:

- *Escaneo de la máscara.*- La superficie donde se coloca la pieza, se escanea previamente para tomar el valor de error de los potenciómetros; proceso que se puede observar en la Figura N° 4.14.



Figura N° 4.14. Proceso de escaneo de la máscara.

- *Recolección de valores de la pieza.*- En la Figura N° 4.15 se observa el escaneo de la pieza, donde se toman los valores de altitud en cada punto por medio de presión de las barras palpadoras.



Figura N° 4.15. Proceso de escaneo de la pieza.

- *Determinación de la altura real de la pieza.*- Utilizando el teclado de control de la máquina (Figura N° 4.16), se ordena que realice el proceso de restado en los valores y retorne el valor real en altura de la pieza presionando el botón de manejo de datos detallado en la Figura N° 4.16, el cual muestra la leyenda indicada en la Figura N° 4.17 y por último la máquina termina de realizar el proceso de restado mostrado en la Figura N° 4.18.

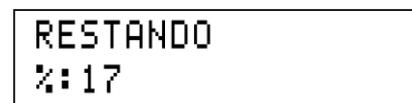


Figura N° 4.16. Teclado de control. Detalle de botón que maneja los datos.



DATOS?..
RESTA-POSICIONES

Figura N° 4.17. Display LCD mostrando dos opciones de selección de la cual se elije resta.



RESTANDO
Z:17

Figura N° 4.18. Display LCD informando que la máquina está realizando el proceso de restado.

➤ ***Aplicaciones de la superficie escaneada***

- *Descarga de la imagen a PC.*- Utilizando el software programado en Labview, mostrado en la Figura N° 4.19; se selecciona la opción “MAQ>PIEZA>PC” se siguen las indicaciones dadas por el software y se procede a descargar la imagen, la cual puede ser observada y guardada (Figura N° 4.20).

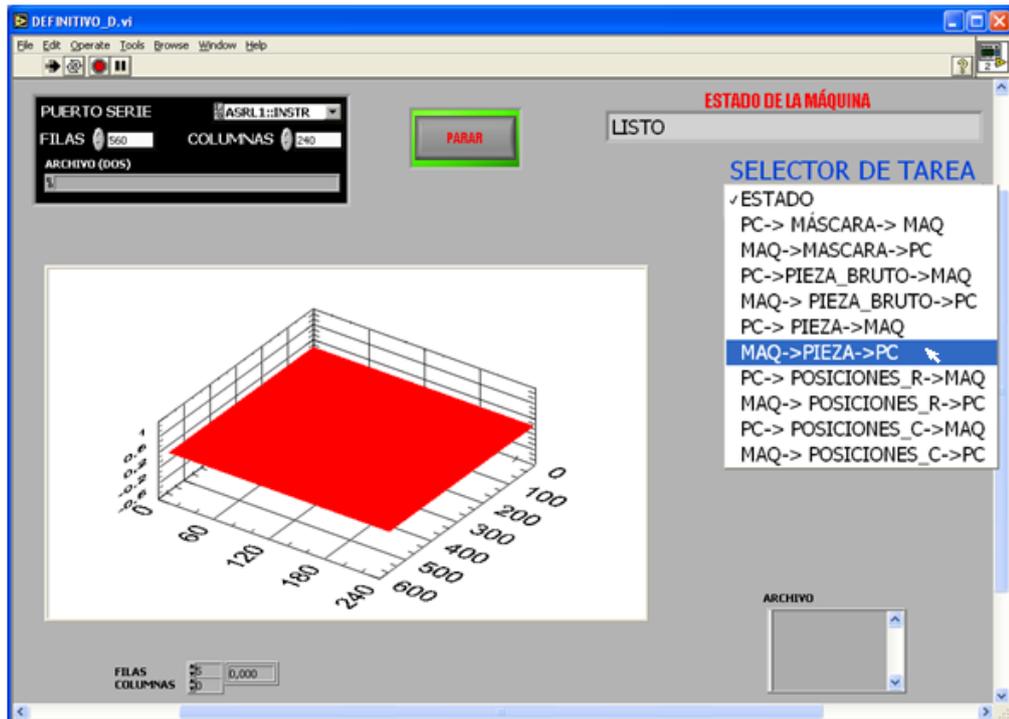


Figura N. 4.19. Apariencia del Panel frontal de Labview con botones de selección.

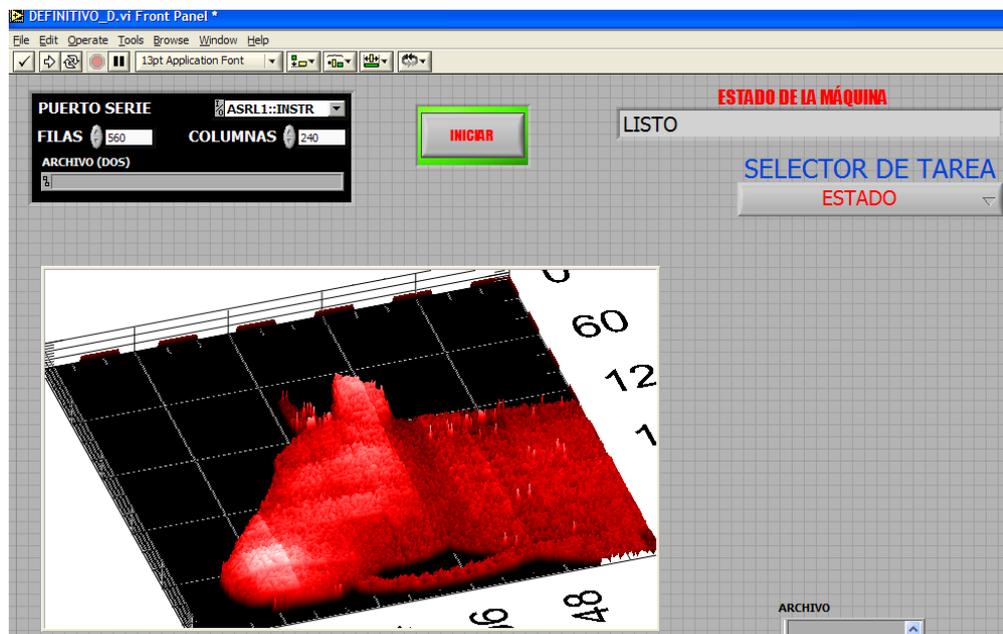


Figura N. 4.20. Pieza escaneada observada en el visualizador y botones de opción de guardado.

➤ **Fresado de pieza**

- *Obtención de la imagen a fresarse*

Descarga de imagen desde PC.- Utilizando el software se selecciona la opción “PC>PIEZA>MAQ” como se muestra en la Figura N° 4.21; se abre el archivo de la imagen que se desea descargar, se revisa que la pantalla LCD de la máquina se visualice “LISTO” (Figura N° 4.22) y se presiona el botón de descarga.

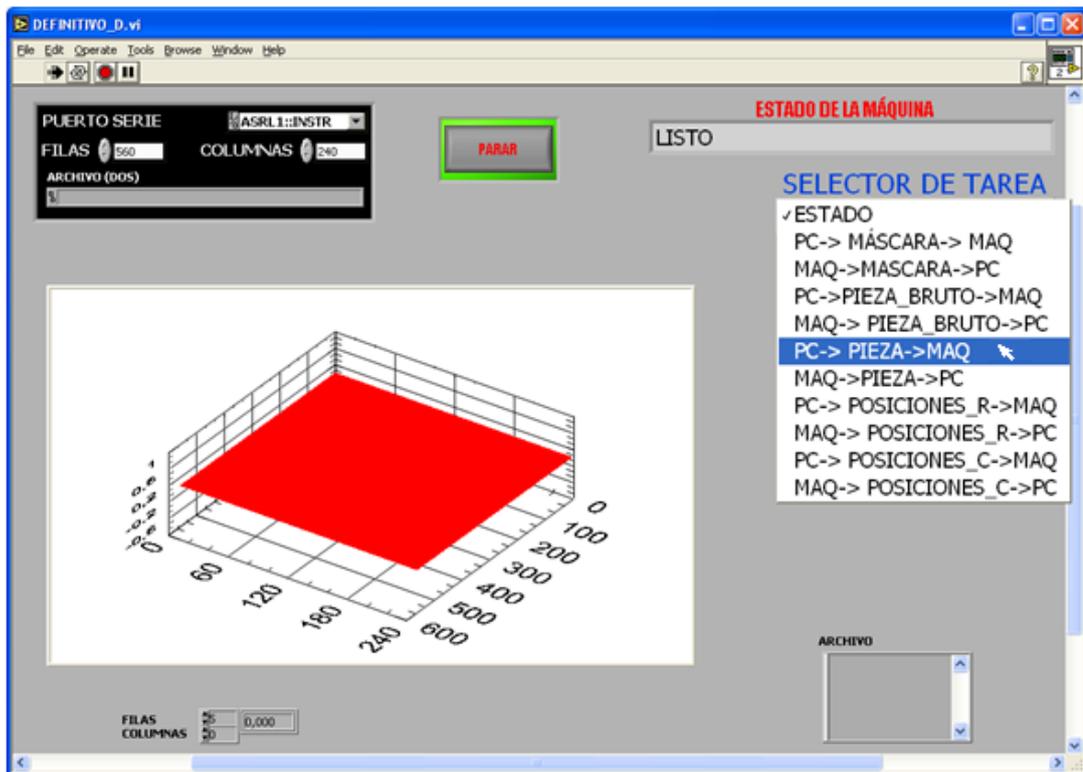


Figura N° 4.21. Seleccionando descargar una imagen de la PC a la Máquina para fresar.

LISTO

Figura N° 4.22. Display LCD avisando que la máquina está lista.

Uso de archivo producto del escaneo de una pieza.- Como ya existe un archivo de la imagen en la máquina, se puede usar este para enviar a fresar. Se recomienda antes de enviar a fresar descargar el archivo a la PC para asegurarse que la imagen que está en la máquina es la que se desea fresar.

Cálculo de posiciones.-Para el cálculo de posiciones se debe determinar el tipo de fresa que se va a utilizar en el fresado de la pieza. La máquina está capacitada para mecanizar con fresas de 5 mm. de diámetro sean estas radiales o cilíndricas (Figura N° 4.23). En la Figura N° 4.24 se observa el botón de manejo de datos que nos permite acceder a las pantallas LCD de cálculo de posiciones de la fresa. Se selecciona el tipo de cálculo de acuerdo a la fresa, como se muestra en la Figura N° 4.25; la Figura 4.26 muestra el porcentaje de cálculo que la máquina realiza para determinar las posiciones de la fresa.



Figura N° 4.23. Tipos de fresas para fresar.



Figura N° 4.24. Botón de manejo de datos del teclado de control.

En primer plano se muestra las opciones de cálculo cuando se elige la fresa (Figura N° 4.25).

```
DATOS?..  
RADIAL-CILINDRIC
```

Figura N° 4.25. Opciones de cálculo.

Posteriormente a la selección, se muestra el porcentaje de trabajo realizado en el cálculo de la máquina (Figura N° 4.26).

```
POS. RADIAL  
%:1
```

Figura N° 4.26. Porcentaje de cálculo de posiciones.

Ejecución del fresado.-En la figura N° 4.27, se observa el botón de fresado mediante el cual se accede a las pantallas de ingreso de datos para fresado, éstos se presentan en las Figura N° 4.28 a la Figura N° 4.36.



Figura N° 4.27. Teclado de control. Detalle de botón de fresado.

En la Figura N° 4.28, se tiene la selección del tipo de fresa sea esta radial o cilíndrica, si se selecciona de forma equivocada la fresa, la pieza terminada no tendrá óptimos resultados.

```
FRESA?...  
RADIAL-CILINDRIC
```

Figura N° 4.28. LCD, selección de fresa

En la siguiente pantalla permite el dimensionamiento de la longitud a ser fresada en el “eje x”, de 1 a 28 cm (Figura N° 4.29).

```
DIS.X(cm) OK  
2
```

Figura N° 4.29. Dimensionamiento de distancia en "X"

Se debe tener en cuenta el seteo de avance de corte en x por cada pasada de la fresa, cada salto será de 0.5mm y está dado de 0 a 10, que es el diámetro de la fresa. Cabe mencionar que mientras más tienda a cero mejor será el acabado (Figura N° 4.30).

```
SALT.Y(Ø.5mm) OK
Ø
```

Figura N° 4.30. Seteo avance de cote en eje "X".

En la pantalla siguiente nos da la posibilidad de seleccionar el tipo de material que se va a usar, A es aluminio, B es polipropeleno y C es madera (Figura N° 4.31).

```
MATERIAL
A      B      C
```

Figura N° 4.31. Selección del material

Posteriormente se informa que manualmente, se debe bajar el carro z al punto inferior, en donde se desea que termine la pieza. **CUIDADO**, si no se coloca la fresa en esta posición chocara la fresa con la entenalla y romperse. Para pasar esta pantalla de seguridad se debe presionar los dos botones a la vez (Figura N° 4.32).

```
SELECCIONE Ø Z
!YA.
```

Figura N° 4.32. Seteo de punto 0 en altura de "Z".

En la siguiente pantalla se selecciona el espesor de cada capa al fresar, esta decisión se tomara en función del ancho de material y acabado que se desee dar a la pieza.

```
SALTO(.1MM) CON  
10
```

Figura N° 4.33. Definición del número de capas a fresar

Secuencialmente, a la pantalla anterior se selecciona el número de capas que consta la pieza. Se debe tener en cuenta que la altura total será la multiplicación entre el espesor de capa y el número de capas.

CUIDADO al ordenar ejecutar esta pantalla ordena al "carro z" que suba la altura fijada.

```
Z(10dcm) EJEC  
3
```

Figura N° 4.34. Selección de número de capas en pieza.

A continuación, Si se está conforme con la altura fijada en esta pantalla se selecciona "SI" caso contrario se selecciona "NO" y se retorna a la Figura N° 4.34.

```
LISTO?.....  
SI NO
```

Figura N° 4.35. Afirmación o desacuerdo con datos cargados.

El último paso antes de fresar, permite la seguridad de colocar el material, nivelarla, sujetarla y por último se ordena a la máquina que empiece a fresar (Figura N° 4.36).

COLOQUE PIEZA
!YA.

Figura N° 4.36. Pantalla en espera de preparación del material.

Cuando la máquina procede a fresar recorre las líneas de coordenadas del cálculo de posiciones de derecha a izquierda como se puede apreciar en la Figura N° 4.37. Cuando termina una capa retorna a posiciones iniciales y procede a maquinar la siguiente capa. Este proceso lo repite tantas veces, como número de capas se haya seleccionado hasta terminar la pieza (Figura N° 4.38).



Figura N° 4.37. Fresa realizando proceso de fresado.



Figura N° 4.38. Pieza terminada.

4.2 RESULTADOS

Al realizar varias pruebas, tanto de escaneado y fresado se tienen los siguientes resultados:

La Figura N° 4.39 muestra la pieza o elemento que se escaneó y la imagen obtenida de la pieza está indicada en la Figura N° 4.40.



Figura N° 4.39. Pieza a escanearse.

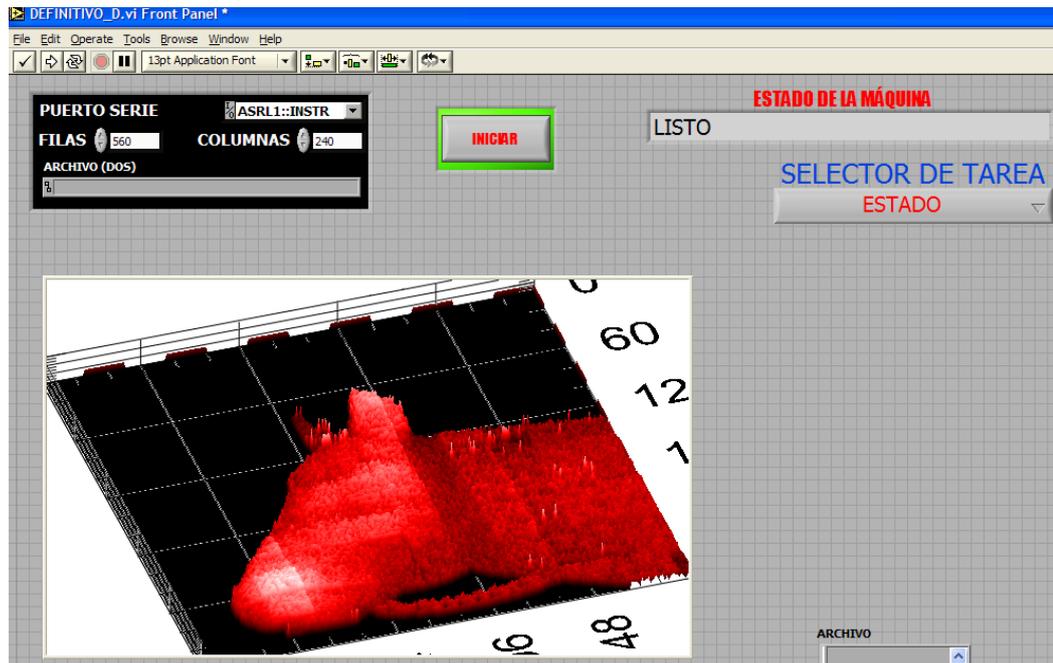


Figura N.º 4.40. Imagen generada por el escáner.

Los resultados producto del escaneado muestra que el principio en el que se basó la construcción de este escáner funciona de una manera adecuada, salvo por inconvenientes mecánicos propios de filosofía de construcción, entre esos el tiempo de escaneado requerido.

La Figura N.º 4.41, muestra la imagen de la figura que se fresará y la pieza terminada se indica en la Figura N.º 4.42, construida en distintos materiales.

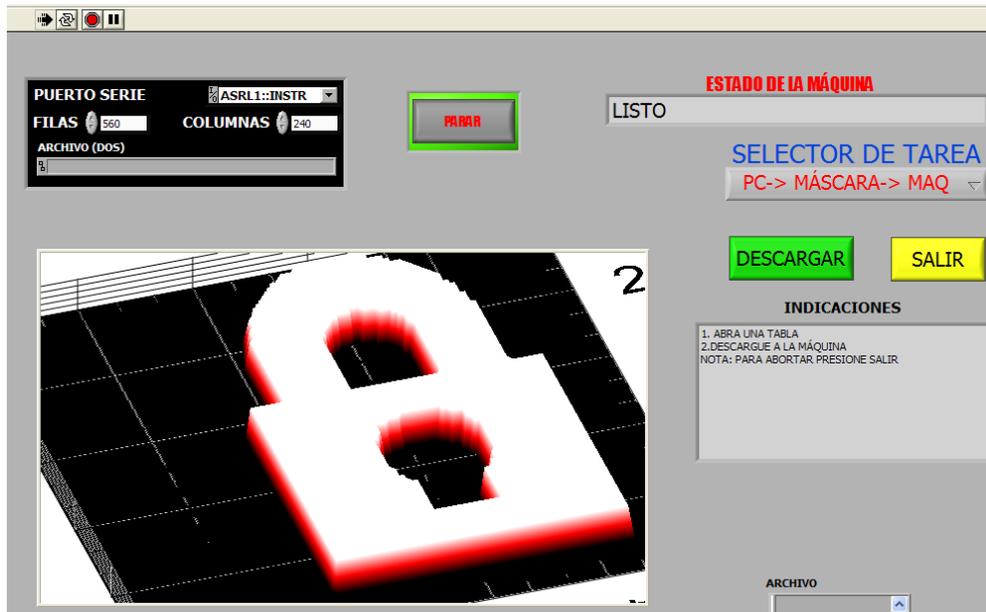


Figura N. 4.41. Imagen a ser fresada.



Figura N. 4.42. Resultados de las piezas fresadas en distintas calidades.

(Madera, aluminio y polipropileno; respectivamente).

El fresado se realiza en distintos materiales como de observa en la Figura anterior, el acabado es excelente, el único inconveniente es el tiempo de maquinado cuando se selecciona el maquinado a máxima calidad.

Cuando se fresa en distintos materiales las velocidades de avance deben ser configuradas por el operador, debido a las características del material.

V.- CAPITULO

V.- CAPITULO

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Después de finalizar el proyecto se llegan a las siguientes conclusiones:

- Se realizó la construcción de un prototipo de máquina fresadora utilizando palpador para reproducir relieves, que funciona correctamente, con lo cual se logró cumplir con los objetivos y metas planteadas, para la construcción del prototipo.

- Se diseñó, seleccionó e implementó un palpador de relieves, a fin de reducir costos que involucraría la importación de maquinaria de fresado automático, así explotando nuestros recursos podemos estar acorde con los avances tecnológicos que brinda el control y la automatización.

- Se desarrolló software y hardware para el control del prototipo, con el fin de obtener una interpretación visual de las condiciones del proceso y la estructura de la pieza a ser mecanizada por el prototipo.

- El uso de servomotores DC generan mejores resultados que el uso de motores de pasos, ya que su control se basa en la realimentación otorgada por el encoder,

logrando controlar la posición y velocidad real con la que se desplaza los carros "X", "Y", "Z".

- La precisión y exactitud en los desplazamientos de los carros "X", "Y", "Z"; dependen de una fina construcción de las partes mecánicas, en especial los acoples turca-tornillo, lo que permite ser al sistema mecánico de movimientos muy confiable para trabajos de precisión.
- La potencia de los servomotores requerida; se disminuyó considerablemente, gracias al uso de reductores de velocidad con una relación de 40:1, incrementado así el torque, con lo cual se reduce considerablemente el costo y tamaño de los motores.
- El uso de microcontroladores ayudó a desarrollar manera definitiva este prototipo, por su adaptabilidad al proceso en el manejo de datos y señales.
- Es factible construir en el País una máquina de mecanizado de características complejas, por el entorno industrial en el que nos desarrollamos, el cual, nos exige día a día actualizarnos a un nivel tecnológico.
- Se ha demostrado que el escaneo de piezas mecánicas utilizando palpadores mecánicos; y como transductores potenciómetros lineales, es totalmente viable obteniendo un excelente resultado.
- La selección de una fresa (radial, o cilíndrica) es importante, porque de ésta depende las posiciones de fresado que asignará la máquina y la forma del relieve que tendrá el mismo una vez mecanizado.
- Una pieza a ser mecanizada en distintos tipos de materiales, presenta distintos acabados, pero dependerá del seteo en los parámetros de corte de la máquina.
- El uso de fuentes AC-DC ,para este tipo de aplicaciones, en donde se tiene microcontroladores y manejo de datos por puertos ,no son aconsejables, ingresan ruido al sistema; deben ser cambiadas por fuentes DC puras.

5.2 RECOMENDACIONES

Para el mejoramiento de la presente tesis podemos dar las siguientes recomendaciones:

- Utilizar únicamente “1” palpador y perfeccionarlo. La intención de reducir el tiempo de escaneo colocando múltiples sensores resultó contraproducente, ya que se utilizó “336” y los problemas se multiplicó 336 veces.
- Adaptar en aplicaciones similares esta tecnología en maquinaria manual prefabricada, implementando solo lo necesario para a la automatización.
- Cargar independientemente las regulaciones del PID para cada motor, porque indistintamente están sometidos a cargas mecánicas, lo que involucra un cambio significativo en la realimentación al momento de actuar en oposición a estas.
- Tener en cuenta el problema de ruido que no se presenta en la simulación y es posible que se pase por alto en el diseño, el mismo que a nivel electrónico produce inconvenientes con el desempeño de los PIC's.
- Emplear en aplicaciones automatizadas, los PIC's en conexión; master-esclavo, en lo posible superiores a la familia de 16F877-A, con el fin de subdividir operaciones a ejecutar e incrementar la velocidad del proceso.
- Utilizar para el manejo de datos, memorias RAM de computadora, por su versatilidad en el manejo y la capacidad en el almacenamiento de datos por sectores, teniendo en cuenta los tiempos de lectura, escritura y refresco de la misma.

- Recurrir a otro software de programación, ya que en Labview la transmisión de datos por puerto serial, resulta lenta, por las subrutinas que tiene que cumplir antes de ser enviados a su destino.

ANEXO

TABLE 3-2: PIC16F627A/628A/648A PINOUT DESCRIPTION

Name	Function	Input Type	Output Type	Description
RA0/AN0	RA0	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	AN0	AN	—	Analog comparator input
RA1/AN1	RA1	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	AN1	AN	—	Analog comparator input
RA2/AN2/VREF	RA2	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	AN2	AN	—	Analog comparator input
	VREF	—	AN	VREF output
RA3/AN3/CMP1	RA3	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	AN3	AN	—	Analog comparator input
	CMP1	—	CMOS	Comparator 1 output
RA4/T0CKI/CMP2	RA4	ST	OD	Bi-directional I/O port
	T0CKI	ST	—	Timer0 clock input
	CMP2	—	OD	Comparator 2 output
RA5/MCLR/VPP	RA5	ST	—	Input port
	MCLR	ST	—	Master clear. When configured as MCLR, this Voltage on MCLR/VPP must not exceed VDD
	VPP	—	—	Programming voltage input.
RA6/OSC2/CLKOUT	RA6	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	OSC2	—	XTAL	Oscillator crystal output. Connects to crystal
	CLKOUT	—	CMOS	In RC/INTOSC mode, OSC2 pin can output
RA7/OSC1/CLKIN	RA7	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	OSC1	XTAL	—	Oscillator crystal input
	CLKIN	ST	—	External clock source input. RC biasing
RB0/INT	RB0	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Can be software pro-
	INT	ST	—	External interrupt.
RB1/RX/DT	RB1	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Can be software pro-
	RX	ST	—	USART receive pin
	DT	ST	CMOS	Synchronous data I/O.
RB2/TX/CK	RB2	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Can be software pro-
	TX	—	CMOS	USART transmit pin
	CK	ST	CMOS	Synchronous clock I/O.
		TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Can be software pro-grammed for internal weak pull-up.

TABLE 15-2: PIC16F627A/628A/648A INSTRUCTION SET

Mnemonic, Operands	Description	Cycles	14-Bit Opcode		Status Affected	Notes
			MSb	LSb		
BYTE-ORIENTED FILE REGISTER OPERATIONS						
ADDWF	f, d Add W and f	1	00	0111 dfff ffff	C,DC,Z	1,2
ANDWF	f, d AND W with f	1	00	0101 dfff ffff	Z	1,2
CLRF	f Clear f	1	00	0001 lfff ffff	Z	2
CLRW	— Clear W	1	00	0001 0000 0011	Z	
COMF	f, d Complement f	1	00	1001 dfff ffff	Z	1,2
DECf	f, d Decrement f	1	00	0011 dfff ffff	Z	1,2
DECFSZ	f, d Decrement f, Skip if 0	1 ⁽²⁾	00	1011 dfff ffff		1,2,3
INCF	f, d Increment f	1	00	1010 dfff ffff	Z	1,2
INCFSZ	f, d Increment f, Skip if 0	1 ⁽²⁾	00	1111 dfff ffff		1,2,3
IORWF	f, d Inclusive OR W with f	1	00	0100 dfff ffff	Z	1,2
MOVF	f, d Move f	1	00	1000 dfff ffff	Z	1,2
MOVWF	f Move W to f	1	00	0000 lfff ffff		
NOP	— No Operation	1	00	0000 0xx0 0000		
RLF	f, d Rotate Left f through Carry	1	00	1101 dfff ffff	C	1,2
RRF	f, d Rotate Right f through Carry	1	00	1100 dfff ffff	C	1,2
SUBWF	f, d Subtract W from f	1	00	0010 dfff ffff	C,DC,Z	1,2
SWAPF	f, d Swap nibbles in f	1	00	1110 dfff ffff		1,2
XORWF	f, d Exclusive OR W with f	1	00	0110 dfff ffff	Z	1,2
BIT-ORIENTED FILE REGISTER OPERATIONS						
BCF	f, b Bit Clear f	1	01	00bb bfff ffff		1,2
BSF	f, b Bit Set f	1	01	01bb bfff ffff		1,2
BTFSC	f, b Bit Test f, Skip if Clear	1 ⁽²⁾	01	10bb bfff ffff		3
BTFSS	f, b Bit Test f, Skip if Set	1 ⁽²⁾	01	11bb bfff ffff		3
LITERAL AND CONTROL OPERATIONS						
ADDLW	k Add literal and W	1	11	111x kkkk kkkk	C,DC,Z	
ANDLW	k AND literal with W	1	11	1001 kkkk kkkk	Z	
CALL	k Call subroutine	2	10	0kkk kkkk kkkk		
CLRWDT	— Clear Watchdog Timer	1	00	0000 0110 0100	TO,PD	
GOTO	k Go to address	2	10	1kkk kkkk kkkk		
IORLW	k Inclusive OR literal with W	1	11	1000 kkkk kkkk	Z	
MOVLW	k Move literal to W	1	11	00xx kkkk kkkk		
RETFIE	— Return from interrupt	2	00	0000 0000 1001		
RETLW	k Return with literal in W	2	11	01xx kkkk kkkk		
RETURN	— Return from Subroutine	2	00	0000 0000 1000		
SLEEP	— Go into Standby mode	1	00	0000 0110 0011	TO,PD	
SUBLW	k Subtract W from literal	1	11	110x kkkk kkkk	C,DC,Z	
XORLW	k Exclusive OR literal with W	1	11	1010 kkkk kkkk	Z	

Note 1: When an I/O register is modified as a function of itself (e.g., MOVF PORTB, 1), the value used will be that value present on the pins themselves. For example, if the data latch is '1' for a pin configured as input and is driven low by an external device, the data will be written back with a '0'.

2: If this instruction is executed on the TMR0 register (and, where applicable, d = 1), the prescaler will be cleared if assigned to the Timer0 Module.

3: If Program Counter (PC) is modified or a conditional test is true, the instruction requires two cycles. The second cycle is executed as a NOP.



MICROCHIP PIC16F87XA Data Sheet

28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers

Device	Program Memory		Data	EEPROM	I/O	10-bit	CCP	MSSP		USART	Timers	Comparators
	Bytes	# Single Word	SRAM (Bytes)	(Bytes)		A/D (ch)	(PWM)	SPI	Master I ² C		8/16-bit	
PIC16F873A	7.2K	4096	192	128	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F874A	7.2K	4096	192	128	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F876A	14.3K	8192	368	256	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F877A	14.3K	8192	368	256	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2

PIN DIAGRAM

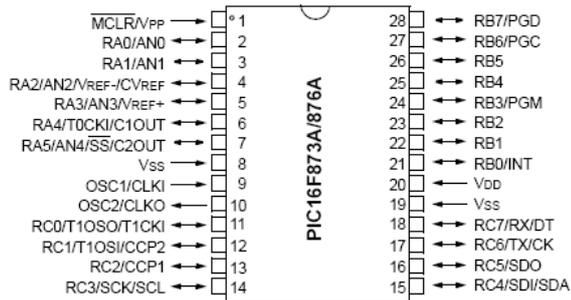


TABLE 1-1: PIC16F87XA DEVICE FEATURES

Key Features	PIC16F873A	PIC16F874A	PIC16F876A	PIC16F877A
Operating Frequency	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz
Resets (and Delays)	POR, BOR	POR, BOR	POR, BOR	POR, BOR
Flash Program Memory	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory (bytes)	128	128	256	256
Interrupts	14	15	14	15
I/O Ports	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D,	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D,
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Analog Comparators	2	2	2	2
Instruction Set	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions

TABLE 1-2: PIC16F873A/876A PINOUT DESCRIPTION

Name	Function	Input Type	Output Type	Description
RA0/AN0	RA0	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	AN0	AN	—	Analog comparator input
RA1/AN1	RA1	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	AN1	AN	—	Analog comparator input
RA2/AN2/VREF	RA2	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	AN2	AN	—	Analog comparator input
	VREF	—	AN	VREF output
RA3/AN3/CMP1	RA3	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	AN3	AN	—	Analog comparator input
	CMP1	—	CMOS	Comparator 1 output
RA4/T0CKI/CMP2	RA4	ST	OD	Bi-directional I/O port
	T0CKI	ST	—	Timer0 clock input
	CMP2	—	OD	Comparator 2 output
RA5/MCLR/VPP	RA5	ST	—	Input port
	MCLR	ST	—	Master clear. When configured as MCLR, this Voltage on MCLR/VPP must not exceed VDD
	VPP	—	—	Programming voltage input.
RA6/OSC2/CLKOUT	RA6	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	OSC2	—	XTAL	Oscillator crystal output. Connects to crystal
	CLKOUT	—	CMOS	In RC/INTOSC mode, OSC2 pin can output
RA7/OSC1/CLKIN	RA7	ST	CMOS	Bi-directional I/O port
	OSC1	XTAL	—	Oscillator crystal input
	CLKIN	ST	—	External clock source input. RC biasing
RB0/INT	RB0	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Can be software pro-
	INT	ST	—	External interrupt.
RB1/RX/DT	RB1	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Can be software pro-
	RX	ST	—	USART receive pin
	DT	ST	CMOS	Synchronous data I/O.
RB2/TX/CK	RB2	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Can be software pro-
	TX	—	CMOS	USART transmit pin
	CK	ST	CMOS	Synchronous clock I/O.
RB3/CCP1	RB3	TTL	CMOS	Bi-directional I/O port. Can be software pro-
	CCP1	ST	CMOS	Capture/Compare/PWM I/O

14.2 Oscillator Configurations

14.2.1 OSCILLATOR TYPES

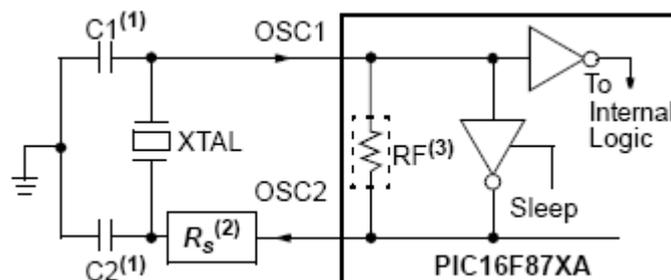
The PIC16F87XA can be operated in four different oscillator modes. The user can program two configuration bits (FOSC1 and FOSC0) to select one of these four modes:

- LP Low-Power Crystal
- XT Crystal/Resonator
- HS High-Speed Crystal/Resonator
- RC Resistor/Capacitor

14.2.2 CRYSTAL OSCILLATOR/CERAMIC RESONATORS

In XT, LP or HS modes, a crystal or ceramic resonator is connected to the OSC1/CLKI and OSC2/CLKO pins to establish oscillation (Figure 14-1). The PIC16F87XA oscillator design requires the use of a parallel cut crystal. Use of a series cut crystal may give a frequency out of the crystal manufacturer's specifications. When in XT, LP or HS modes, the device can have an external clock source to drive the OSC1/CLKI pin (Figure 14-2).

FIGURE 14-1: CRYSTAL/CERAMIC RESONATOR OPERATION (HS, XT OR LP OSC CONFIGURATION)



Ranges Tested:

Mode	Freq.	OSC1	OSC2
XT	455 kHz	68-100 pF	68-100 pF
	2.0 MHz	15-68 pF	15-68 pF
HS	8.0 MHz	10-68 pF	10-68 pF

These values are for design guidance only.

Resonators Used:

2.0 MHz	Murata Erie CSA2.00MG	± 0.5%
4.0 MHz	Murata Erie CSA4.00MG	± 0.5%
8.0 MHz	Murata Erie CSA8.00MT	± 0.5%
16.0 MHz	Murata Erie CSA16.00MX	± 0.5%

All resonators used did not have built-in capacitors.



LM628/LM629 Precision Motion Controller

General Description

The LM628/LM629 are dedicated motion-control processors designed for use with a variety of DC and brushless DC servo motors, and other servomechanisms which provide a quadrature incremental position feedback signal. The parts perform the intensive, real-time computational tasks required for high performance digital motion control. The host control software interface is facilitated by a high-level command set. The LM628 has an 8-bit output which can drive either an 8-bit or a 12-bit DAC. The components required to build a servo system are reduced to the DC motor/actuator, an incremental encoder, a DAC, a power amplifier, and the LM628. An LM629-based system is similar, except that it provides an 8-bit PWM output for directly driving H-switches. The parts are fabricated in NMOS and packaged in a 28-pin dual in-line package or a 24-pin surface mount package (LM629 only). Both 6 MHz and 8 MHz maximum frequency versions are available with the suffixes -6 and -8, respectively, used to designate the versions. They incorporate an SDA core processor and cells designed by SDA.

Features

- n 32-bit position, velocity, and acceleration registers
- n Programmable digital PID filter with 16-bit coefficients
- n Programmable derivative sampling interval
- n 8- or 12-bit DAC output data (LM628)
- n 8-bit sign-magnitude PWM output data (LM629)
- n Internal trapezoidal velocity profile generator
- n Velocity, target position, and filter parameters may be changed during motion
- n Position and velocity modes of operation
- n Real-time programmable host interrupts
- n 8-bit parallel asynchronous host interface
- n Quadrature incremental encoder interface with index pulse input
- n Available in a 28-pin dual in-line package or a 24-pin surface mount package (LM629 only)

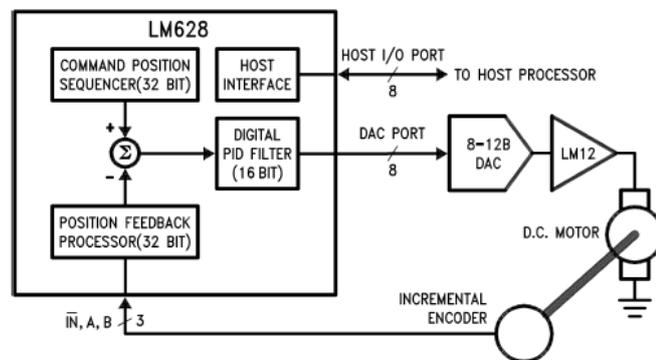


FIGURE 1. Block Diagram

ANEXO A.3		ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO		HOJA 2 DE 5	
Absolute Maximum Ratings (Note 1) (TA ~85~C, (Note 2) mW) 605 If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ ESD Tolerance (CZAP = 120 pF, RZAP = 1.5k) 1 Voltage at Any Pin with Respect to GND -0.3V Ambient Storage Temperature to +1 50~C -65~C 28-pin Dual In-Line Package (Soldering, 4 sec.) 24-pin Surface Mount Maximum Power Dissipation			Operating Ratings Temperature Range -40~C <TA < +85~C Clock Frequency: LM628N-6, LM629N-6, LM629M-6 MHz <fCLK < 6.0 MHz LM628N-8, LM629N-8, VDD Range MHz <fCLK < 8.0 MHz		
DC Electrical Characteristics (VDD and TA per Operating Ratings; fCLK = 6 MHz)					
Symbol	Parameter	Conditions	Tested Limits		Units
			Min	Max	
IDD	Supply Current	Outputs Open		110	mA
INPUT VOLTAGES					
VIH	Logic 1 Input Voltage		2.0		V
VIL	Logic 0 Input Voltage			0.8	V
IIN	Input Currents	0 ~ VIN ~ VDD	-10	10	µA
OUTPUT VOLTAGES					
VOH	Logic 1	IOH -1.6 mA	2.4		V
VOL	Logic 0	IOL 1.6 mA		0.4	V
IOUT	TRI-STATE® Output Leakage	0 ~ VOUT ~ VDD	-10	10	µA
AC Electrical Characteristics (VDD and TA per Operating Ratings; fCLK = 6 MHz; CLOAD = 50 pF; Input Test Signal tr = tr =					
Timing Interval	T#	Tested Limits		Units	
		Min	Max		
ENCODER AND INDEX TIMING (See Figure 2)					
Motor-Phase Pulse Width	T1				µs
Dwell-Time per State	T2				µs
Index Pulse Setup and Hold	T3	0			µs
(Relative to A and B Low)					
CLOCK AND RESET TIMING (See Figure 3)					
Clock Pulse Width	LM628N-6, LM629N-6, LM629M-6	T4	78		ns
		T4	57		ns
Clock Period	LM628N-6, LM629N-6, LM629M-6	T5	166		ns
		T5	125		ns
Reset Pulse Width	T6				µs

Pinout Description

(See Connection Diagrams) Pin numbers for the 24-pin surface mount package are indicated in parentheses.

Pin 1 (17), Index (IN) Input: Receives optional index pulse from the encoder. Must be tied high if not used. The index position is read when Pins 1, 2, and 3 are low.

Pins 2 and 3 (18 and 19), Encoder Signal (A, B) Inputs: Receive the two-phase quadrature signals provided by the incremental encoder. When the motor is rotating in the positive (“forward”) direction, the signal at Pin 2 leads the signal at Pin 3 by 90 degrees. Note that the signals at Pins 2 and 3 must remain at each encoder state (See *Figure 9*) for a minimum of 8 clock periods in order to be recognized. Be-cause of a four-to-one resolution advantage gained by the method of decoding the quadrature encoder signals, this corresponds to a maximum encoder-state capture rate of 1.0 MHz ($f_{CLK} = 8.0$ MHz) or 750 kHz ($f_{CLK} = 6.0$ MHz). For other clock frequencies the encoder signals must also re-main at each state a minimum of 8 clock periods.

Pins 4 to 11(20 to 24 and 2 to 4), Host I/O Port (D0 to D7): Bi-directional data port which connects to host computer/ processor. Used for writing commands and data to the LM628, and for reading the status byte and data from the LM628, as controlled by CS (Pin 12), PS (Pin 16), RD (Pin 13), and WR (Pin 15).

Pin 12 (5), Chip Select (CS) Input: Used to select the LM628 for writing and reading operations.

Pin 13 (6), Read (RD) Input: Used to read status and data. **Pin 14 (7), Ground (GND):** Power-supply return pin.

Pin 15 (8), Write (WR) Input: Used to write commands and data.

Pin 16 (9), Port Select (PS) Input: Used to select command or data port. Selects command port when low, data port when high. The following modes are controlled by Pin 16:

1. Commands are written to the command port (Pin 16 low), Status byte is read from command port (Pin 16 low),
2. Data is written and read via the data port (Pin 16 high).

Pin 17 (10), Host Interrupt (HI) Output: This active-high signal alerts the host (via a host interrupt service routine) that an interrupt condition has occurred.

Pins 18 to 25, DAC Port (DAC0 to DAC7): Output port which is used in three different modes:

1. LM628 (8-bit output mode): Outputs latched data to the DAC. The MSB is Pin 18 and the LSB is Pin 25.
2. LM628 (12-bit output mode): Outputs two, multiplexed 6-bit words. The less-significant word is output first. The MSB is on Pin 18 and the LSB is on Pin 23. Pin 24 is used to demultiplex the words; Pin 24 is low for the less-significant word. The positive-going edge of the signal on Pin 25 is used to strobe the output data. *Figure 8* shows the timing of the multiplexed signals.
3. LM629 (sign/magnitude outputs): Outputs a PWM sign signal on Pin 18 (11 for surface mount), and a PWM magnitude signal on Pin 19 (13 for surface mount). Pins 20 to 25 are not used in the LM629. *Figure 11* shows the PWM output signal format.

Pin 26 (14), Clock (CLK) Input: Receives system clock.

Pin 27 (15), Reset (RST) Input: Active-low, positive-edge triggered, resets the LM628 to the internal conditions shown below. Note that the reset pulse must be logic low for a minimum of 8 clock periods. Reset does the following:

1. Filter coefficient and trajectory parameters are zeroed.
2. Sets position error threshold to maximum value (7FFF hex), and effectively executes command LPEI.
3. The SBPA/SBPR interrupt is masked (disabled).
4. The five other interrupts are unmasked (enabled).
5. Initializes current position to zero, or “home” position.

- 6. Sets derivative sampling interval to $\frac{2048}{f_{CLK}}$ or 256 μ s for an 8.0 MHz clock.
- 7. DAC port outputs 800 hex to “zero” a 12-bit DAC and then reverts to 80 hex to “zero” an 8-bit DAC.

Immediately after releasing the reset pin from the LM628, the status port should read “00”. If the reset is successfully completed, the status word will change to hex “84” or “C4”

Theory of Operation

LM628 READING AND WRITING OPERATIONS

The host processor writes commands to the LM628 via the host I/O port when Port Select (PS) input (Pin 16) is logic low. The desired command code is applied to the parallel port line and the Write (WR) input (Pin 15) is strobed.

The command byte is latched into the LM628 on the rising edge of the WR input. When writing command bytes it is necessary to first read the status byte and check the state of a flag called the “busy bit” (Bit 0). If the busy bit is logic high, no command write may take place. The busy bit is never high longer than 100 μ s, and typically falls within 15 μ s to 25 μ s.

The host processor reads the LM628 status byte in a similar manner: by strobing the Read (RD) input (Pin 13) when PS (Pin 16) is low; status information remains valid as long as RD is low.

Writing and reading data to/from the LM628 (as opposed to writing commands and reading status) are done with PS (Pin 16) logic high.

These writes and reads are always an integral number (from one to seven) of two-byte words, with the first byte of each word being the more significant. Each byte requires a write (WR) or read (RD) strobe.

When transfer-ring data words (byte-pairs), it is necessary to first read the status byte and check the state of the busy bit. When the busy bit is logic low, the user may then sequentially transfer both bytes comprising a data word, but the busy bit must again be checked and found to be low before attempting to

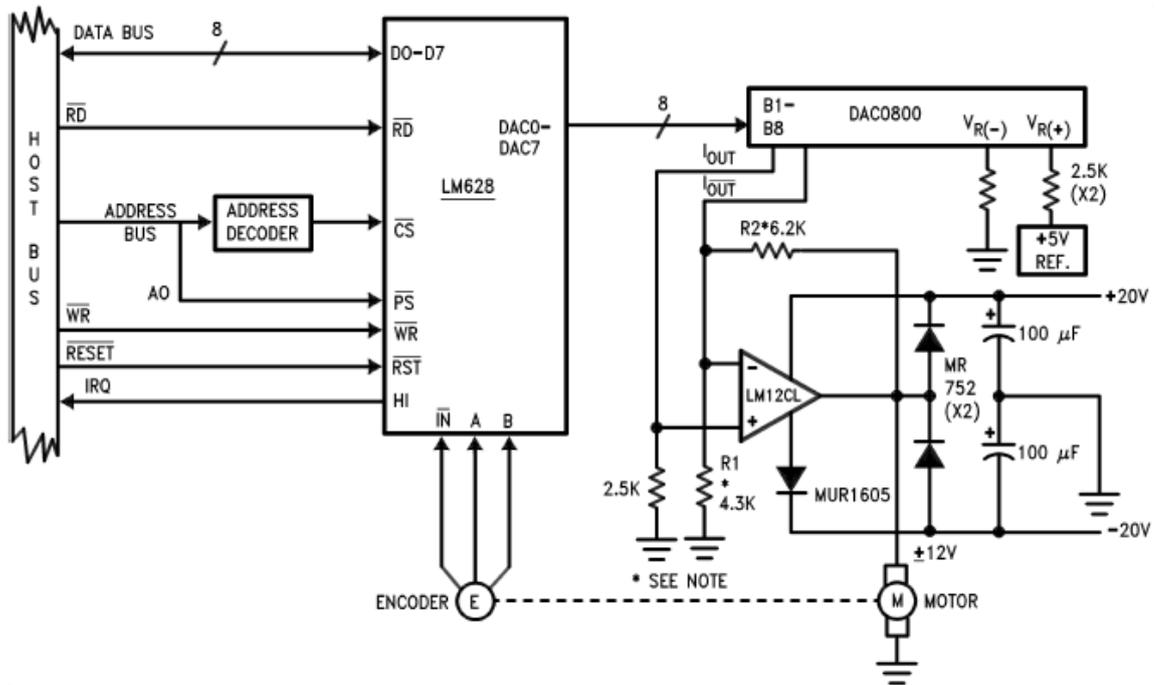
transfer the next byte pair (when transferring multiple words). Data transfers are accomplished via LM628-internal interrupts (which are not nested); the busy bit informs the host processor when the LM628 may not be interrupted for data transfer (or a command byte). If a command is written when the busy bit is high, the command will be ignored.

The busy bit goes high immediately after writing a command byte, or reading or writing a second byte of data (See Figure 5 thru Figure 7).

TABLE 2. LM628 User Command Set

Command	Type	Description	Hex	Data Bytes	Note
RESET	Initialize	Reset LM628	00	0	1
PORT8	Initialize	Select 8-Bit Output	05	0	2
PORT1 2	Initialize	Select 12-Bit Output	06	0	2
DFH	Initialize	Define Home	02	0	1
SIP	Interrupt	Set Index Position	03	0	1
LPEI	Interrupt	Interrupt on Error	1B	2	1
LPES	Interrupt	Stop on Error	1A	2	1
SBPA	Interrupt	Set Breakpoint, Absolute	20	4	1
SBPR	Interrupt	Set Breakpoint, Relative	21	4	1

Typical Applications




Agilent Technologies
Three Channel Optical
Incremental Encoder Modules

Technical Data

Description

The HEDS-9040 and HEDS-9140 series are three channel optical incremental encoder modules. When used with a codewheel, these low cost modules detect rotary position. Each module consists of a lensed LED source and a detector IC enclosed in a small plastic package. Due to a highly collimated light source and a unique photodetector array, these modules provide the same high performance found in the HEDS-9000/9100 two channel encoder family.

Encoding Characteristics
HEDS-9040 (except #T00), HEDS-9 140

Encoding Characteristics over Recommended Operating Range and Recommended Mounting Tolerances unless otherwise specified. Values are for the worst error over the full rotation of HEDS-5140 and HEDS-6140 codewheels.

Parameter	Symbol	Min.	Typ. ^[1]	Max.	Units
Cycle Error	C		3	5.5	e
Pulse Width Error	P		7	30	e
Logic State Width Error	S		5	30	e
Phase Error			2	15	e
Position Error			10	40	min. of arc
Index Pulse Width	P _o	60	90	120	e

Note:

k 1. Module mounted on tolerance circle of 0.13 mm (0.005 in.) radius referenced from module Side A aligning recess centers. 2.7 pull-up resistors used on all encoder module outputs.

Electrical Characteristics

Electrical Characteristics over Recommended Operating Range.

Parameter	Symbol	Min.	Typ. ^[1]	Max.	Units	Notes
Supply Current	I _{CC}	30	57	85	mA	
High Level Output	V _{OH}	2.4			V	I _{OH} = -200 A max.
Low Level Output Voltage	V _{OL}			0.4	V	I _{OL} = 3.86 mA
Rise Time	t _r		180 ^[2]		ns	C _L = 25 pF
Fall Time	t _f		49 ^[2]		ns	R _L = 2.7 k pull-

Notes:

1. Typical values specified at V_{CC} = 5.0 V and 25C.
2. t_r and t_f: 80 nsec for HEDS-9040 #T00.

Electrical Interface

To insure reliable encoding performance, the HEDS-9040 and 9140 three channel encoder modules require 2.7 k (10 %) pull-up resistors on output pins 2, 3, and 5 (Channels I, A and B) as shown in Figure 1. These pull-up resistors should be located as close to the encoder module as possible (within 4 feet). Each of the three encoder module outputs can drive a single TTL load in this configuration.

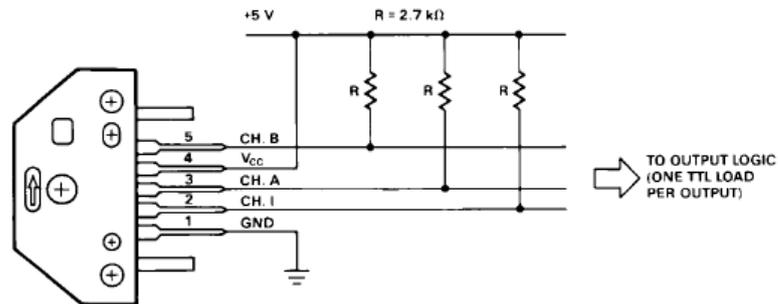


Figure 1. Pull-up Resistors on HEDS-9X40 Encoder Module Outputs.

Mounting Considerations

Figure 2 shows a mounting tolerance *requirement* for proper operation of the HEDS-9040 and HEDS-9140. The Aligning Recess Centers must be located within a tolerance circle of 0.005 in. radius from the nominal locations. This tolerance must be maintained whether the module is mounted with side A as the mounting plane using aligning pins (see Figure 5), or mounted with Side B as the mounting plane using an alignment tool (see Figures 3 and 4).

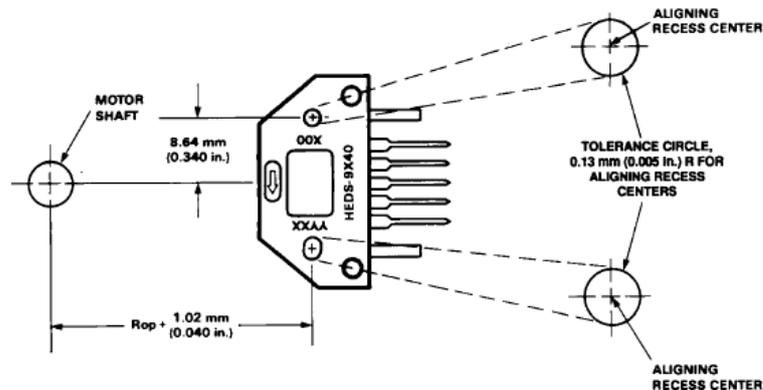


Figure 2. HEDS-9X40 Mounting Tolerance.


Agilent Technologies
Two and Three Channel
Codewheels for Use with Agilent Optical Encoder Modules

Technical Data

Description

Agilent Technologies offers a wide variety of codewheels for use with Agilent's HEDS-9000, HEDS-9100, HEDS-9040, and HEDS-9140 series Encoder Modules. Designed for many environments, applications, and budgets, Agilent codewheels are available in Glass, Film, and Metal. These codewheels are available in resolutions from 96 Counts Per Revolution (CPR) to 1024 CPR on an 11 mm optical radius and 500 to 2048 CPR on a 23.36 mm optical radius.

Each of the three codewheel materials offers a certain advantage. Metal codewheels are the most versatile, with a temperature rating up to 100C, resolution to 512 CPR (28 mm diameter), as well as 2 and 3 channel outputs. Film codewheels offer higher resolution (up to 1024 CPR on a 28 mm diameter) with an operating temperature of 70C. Glass codewheels combine the best of film and metal, offering a temperature rating of 100C and resolutions to 1024 CPR on a 28 mm diameter.

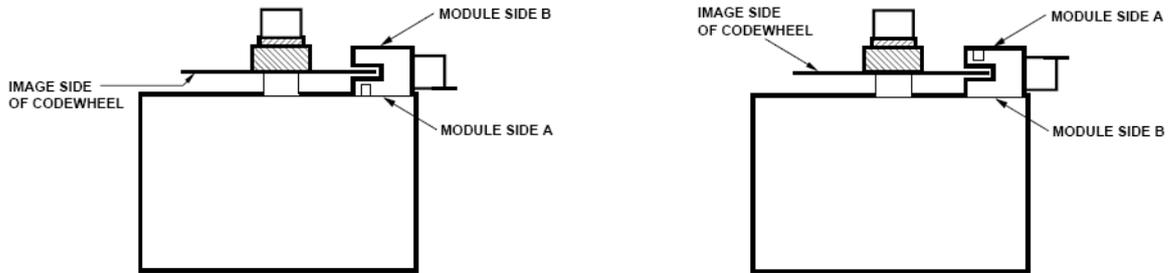
In addition, each material offers a specific reliability rating. It is important to consider the specific application operating environment, long term operating conditions, and temperature ranges when choosing a code-wheel material.

Recommended Operating Conditions

Parameter	HEDS-XXXX	HEDM-XXXX	HEDG-XXXX
Maximum Count	100 kHz	200 kHz*	200 kHz
Shaft Perpendicularity	0.25 mm	0.175 mm	0.175 mm
Shaft Eccentricity Plus	0.1 mm	0.04 mm	0.04 mm

Mounting Rotary Encoders with Codewheels

There are two orientations for mounting the Agilent encoder module and Agilent codewheel. Figure 1a shows mounting the module with side A as the mounting plane. Figure 1b shows mounting the module with side B as the mounting plane. When assembling the encoder and codewheel, it is important to maintain the tolerances of Side A of the module, and the image side of the codewheel. See module Data Sheets for these tolerances.



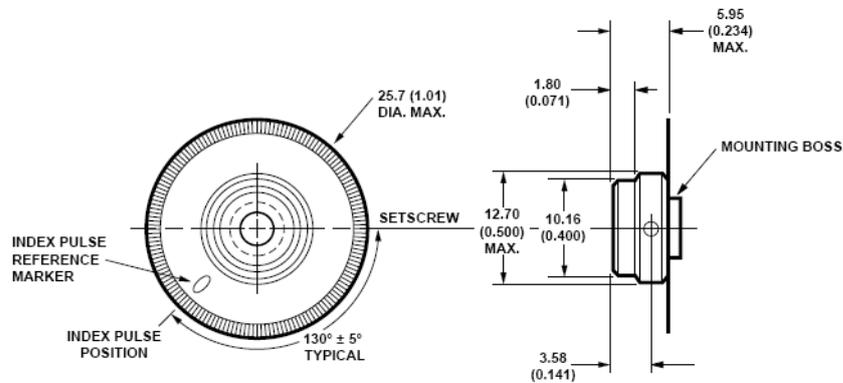
Glass Codewheel Tests

Test	Duration	Number of Parts	Number of Failures
Storage at 100C	1000 hours	44	0
Rotating at 100C	500 hours	10	0
Temperature Cycle: -40C to + 100C	500 cycles	98	0
Temperature/Humidity: 85C/85% R.H.	500 hours	43	0

Film Codewheel Tests

Test	Duration	Number of Parts	Number of Failures
Storage at 70C	1000 hours	118	0
Rotating at 70C	500 hours	10	0
Temperature Cycle: -40C to + 70C	500 cycles	66	0
Temperature Cycle: +20C to +40C	1000 cycles	64	0
Temperature Cycle: +20C to + 55C	1000 cycles	46	0
Temperature Cycle: +20C to +70C	500 cycles	50	0

Mechanical Drawings



R_{OP} = 11.00 mm (0.433 in.)
 DIMENSIONS IN MM (INCHES)

ANEXO B.1 Programación PIC MASTER (16F877-A)

El programado en VB es:

```
*****
* Name   : UNTITLED.BAS                *
* Author : [YO]                        *
* Notice : Copyright (c) 2005 [YO]     *
*       : All Rights Reserved          *
* Date   : 21/11/2005                  *
* Version : 1.0                        *
* Notes  :                             *
*       :                               *
*****

'DEFINICION INICIAL

DEFINE OSC 4

include "modedefs.bas"

DEFINE LCD_DREG  PORTB 'DEFINO PINES DE LCD PUEDTO B

DEFINE LCD_DBIT  4  'EMPIESA DESDE EL PIN 4

DEFINE LCD_RSREG  PORTB 'DEFINO EL PIN PARA CONECTAR EL BIT RS

DEFINE LCD_RSBIT  3  'DEFINO EL PIN DE RESETEO

DEFINE LCD_EREGL  PORTB 'DEFINE PIN PARA CONECTAR EL BIT ENABLE

DEFINE LCD_EBIT  2  'CHIP ENABLE EN B2

ADCON0=%01000000 'A/D APAGO EL ANALÓGICO

ADCON1=%00000110 'CONFIGURO TODO COMO COMPUERTAS DIJITALES

INTCON=%00010000 'SETEO INTERRUPCION RB0 PERO NO HABILITO

OPTION_REG.6 = 0 'INTERRUPCION EN FRANCO DESENDENTE

*****

'CONFIGURACION DE PUERTO Y ESTADOS INICIALES
```

```

TRISA=%00110000 'SETEO EL PUERTO A

PORTA=%00000000 'APAGO A LOS DEMULTIPLEXORES

TRISE=%00000010 '

PORTE=%00000000 '

TRISB=%00000001 'LEO EN BUS DE DATOS

PORTB=0 'PONGO EL PUERTO B EN CERO

TRISC=%11111111 'PREPARO BUS DE DIRECCIONES DE LA RAM

PORTC=0 'DIRECCION 0 EN LA RAM

TRISD=0 'CONTROL DE MOTORES

PORTD=%10111111 'CARGO VALOR AL PUERTO

*****

'ALIAS A LAS COMPUERTAS Y ESPECIALES

PALABRA_DATO VAR WORD 'ESCRIBIR Y RESIVIR DATOS

PALABRA_DATO_ALTO VAR WORD 'LOS 16 MAS ALTOS

VAR_CARG1 VAR WORD 'AVISA AL CARGAR MOTOR QUE HACER ALTERNO

TRAB_CARGA VAR WORD 'AVISA AL CARGAR MOTOR QUE HACER

CONT_RAS_RAM VAR WORD 'CUENTA FILAS

CONT_CAS_RAM VAR WORD 'CUENTA COLUMNAS

CONT1 VAR BYTE 'CONTADOR DE FILA EN EL ESCANE0

CONT2 VAR BYTE 'CONTADOR DE COLUMNA EN EL SACANEO

SERIE VAR BIT 'AVISA SI ESTA CONECTADO A COMP

COORD VAR BIT 'SIRVE PARA CONDICIONAR EL BIT

COORD_1 VAR BIT 'USOS VARIOS

CONT VAR BYTE 'USOS VARIOS

DATO_LCD VAR BYTE 'ESA EL LA VARIABLE DEL DATO A SALIR

CONT_LCD VAR BYTE 'VARIABLE DE UN CONTADOR DEL LCD

EJECUTADOR_TAREAS VAR BYTE 'VARIABLE QUE SE USA EN EL CICLO PRINCIPAL

ORDEN VAR BYTE 'VARIABLE PARA INDICAR LAS ORDENES AL MICRO

RESPUESTA VAR BYTE 'VARIABLE DE LECTURA DE RESPUESTA DE LOS MICROS

CONT_FOR VAR BYTE 'SIRVE PARA EL CONTADOR DEL FOR

TEMP1 VAR BYTE 'VARIABLE DE USOS VARIOS

```

TEMP2 VAR BYTE	'VARIABLE DE USOS VARIOS
TEMP3 VAR BYTE	'VARIABLE DE USOS VARIOS
TEMP4 VAR BYTE	'VARIABLE DE USOS VARIOS
TEMP5 VAR BYTE	'VARIABLE DE USOS VARIOS
TEMP6 VAR BYTE	'VARIABLE DE USOS VARIOS
TEMP7 VAR BYTE	'VARIABLE DE USOS VARIOS
TEMP8 VAR BYTE	'VARIABLE DE USOS VARIOS
TEMP9 VAR BYTE	'VARIABLE DE USOS VARIOS
CAPAS_FRESA VAR BYTE	'ALMASENA CAPAS QUE VA FRESANDO
VALOR_DATO_A VAR BYTE	'ALMACENA EL DATO DE ENTRADA PARA FRESAR
VALOR_DATO_B VAR BYTE	'ALMACENA EL SEGUNDO DATO PARA FRESAR
ALTERNO_Z_1 VAR BYTE	'USADO PARA REALIZAR FRESADO
ALTERNO_Z_2 VAR BYTE	'USADO PARA REALIZAR FRESADO
COMP1 VAR BYTE	'SIRVE PARA CARGAR LAS VARIABLES DEL ESTATUS
COMP2 VAR BYTE	'SIRVE PARA CARGAR LAS VARIABLES DEL ESTATUS
ESTADO_M1 VAR BYTE	'VARIABLE DE ESTADO DEL MOTOR 1
ESTADO_M2 VAR BYTE	'VARIABLE DE ESTADO DEL MOTOR 2
ESTADO_M3 VAR BYTE	'VARIABLE DE ESTADO DEL MOTOR 3
ESTADO VAR BYTE	'VARIABLE TEMPORAL DEL ESTADO DE MOTORES
COMANDO VAR BYTE	'VARIABLE PARA LOS COMANDOS DEL LM629
ALTERNO VAR BYTE	'VARIABLE DE USOS VARIOS
CONST_DIV VAR BYTE	'VARIABLE DE NUMERO DE CAPAS PARA EL FRESADO
EMBIO_DATO VAR BYTE	'DATO CARGADO PARA RESPONDER A AL PC
CASE 4	
GOTO ESCANEAR 'VA A ESCANEAR LAS PIEZA O MÁSCARA	
CASE 5	
GOTO ESCANEAR_MASCARA 'VA A ESCANEAR MASCARA	
CASE 6	
GOTO ESCANEAR_MASCARA 'VA A ESCANEAR PIEZA	
CASE 7	
GOTO RESTA	

```

CASE 8

    GOTO POSICIONES

CASE 9

    GOTO FRESAR

CASE 10

    GOTO FRESAR_PIEZA

CASE 11

    GOTO REALIZAR_FRESADO

CASE 12

    GOTO TRANSMICION_BODEGA_A

CASE 13

    GOTO TRANSMICION_BODEGA_B

CASE 14

    GOTO TRANSMICION_BODEGA_C

CASE 102

    COORD_1 = 1

END SELECT

IF COORD_1 = 1 THEN

    LCDOUT DATO,1      'LIMPIO EL VISOR DEL LCD

    LCDOUT,"LISTO"    'SACO LA LEYENDA POR EL LCD

    COORD_1 = 0      'ASEGURO QUE INGRESE UNA SOLA VES

    EJECUTADOR_TAREAS = 103

ENDIF

ENABLE      'ABILITO INTERRUPCION

DIR_CENSOR = 13      'DIRECCION DE ESCANER

IF ENTRADA_CENSOR = 0 THEN

    EJECUTADOR_TAREAS = 4 'VA A ESCANEAR

ENDIF

DIR_CENSOR = 14      'DIRECCION DE FRESADORA

IF ENTRADA_CENSOR = 0 THEN

    EJECUTADOR_TAREAS = 9 'VA A FRESAR

```

```

ENDIF

DIR_CENSOR = 15      'DIRECCION DE FRESADORA

IF ENTRADA_CENSOR = 0 THEN

    EJECUTADOR_TAREAS = 12 ' VA A DATOS

ENDIF

DISABLE      'DESABILITO INTERRUPCION

GOTO CICLO_PRINCIPAL

'-----

RESETEAR:

'LCDOUT,DATO,LIN2,"RESETEAR" 'ABISO QUE SCANEO

DISABLE      'DESABILITO INTERRUPCION

LCDOUT,DATO,1,"INICIANDO" 'ESCRIBO EN LA PANTALLA

ESCRITURA_LEYENDA = 0

WHILE EJECUTADOR_TAREAS = 0      'REBISO SI ES ESCANER O FRESADORA

    DIR_CENSOR = 9      'VALOR CABEZAL DE SCANER

    IF ENTRADA_CENSOR = 0 THEN 'REBISO SI ESTÁ ACTIVADO (0)

        EJECUTADOR_TAREAS = 1      'CARGO A LA VAR EL VALOR DE SCANER

        ESCRITURA_LEYENDA = 1

    ENDIF

    DIR_CENSOR = 10      'VALOR CABEZAL DE FRESADORA

    IF ENTRADA_CENSOR = 0 THEN 'REBISO SI ESTÁ ACTIVADO (0)

        EJECUTADOR_TAREAS = 2      'CARGO A LA VAR EL VALOR DE SCANER

        ESCRITURA_LEYENDA = 1

    ENDIF

    IF ESCRITURA_LEYENDA = 0 THEN

        LCDOUT,DATO,LIN2,"AJUSTE CABESAL"      'SACO LA LEYENDA PAR EL LCD

    ENDIF

    ESCRITURA_LEYENDA = 1

WEND

GOSUB REBICION_PUERTA      'VA A REVISAR LA PUERTA

TEMP1 = 0      'ENCERO VARIABLE

```

```

TEMP6 = 0          'ENCERO VARIABLE

GOSUB INICIALIZACION      'VA A INICIAR LOS MOTORES

GOTO CICLO_PRINCIPAL

TRANSMICION_BODEGA_A:

'LCDOUT,DATO,LIN2,"TRANS B A" 'ABISO QUE SCANEO

COORD_1 = 0

CONT_RAS_RAM = 0      'ENCERO EL CONTADOR DE POSICIONES DE FILAS RAM

CONT_CAS_RAM = 0      'ENCERO EL CONTADOR DE POSICIONES DE COLUMNAS RAM

ORDEN = 6      'PIDO DATOS DE BODEGA A

BUS = %11111111      'PONGO PUERTO COMO ENTRADA

LCDOUT,DATO,LIN1,"COMUNICANDO" 'ABISO COM. PC

GOSUB ESCRITURA_ORDEN 'ESCRIBO LA ORDEN

    ENDIF

    WHILE LEER_DIRECTOR = 0'ESPERO QUE DATO ESTE LISTO

    WEND

    EMBIO_DATO = MOV_BUS      'GRABO EN LA VAR EL DATO A EMBIAR

    GOSUB RESPUESTA_MAQUINA 'VA A RESPONDER A LA PC

    IF (CONT_RAS_RAM > 129) AND (CONT_CAS_RAM > 254) THEN 'PREGUNTO SI YA TERMINO DE RESTAR

        COORD_1 = 1

    ENDIF

WEND

GOSUB LECTURA_DATO

EJECUTADOR_TAREAS = 102

GOTO CICLO_PRINCIPAL

TRANSMICION_BODEGA_B:

'LCDOUT,DATO,LIN2,"TRANS B B" 'ABISO QUE SCANEO

COORD_1 = 0

CONT_RAS_RAM = 0      'ENCERO EL CONTADOR DE POSICIONES DE FILAS RAM

CONT_CAS_RAM = 0      'ENCERO EL CONTADOR DE POSICIONES DE COLUMNAS RAM

ORDEN = 7      'PIDO DATOS DE BODEGA A

BUS = %11111111      'PONGO PUERTO COMO ENTRADA

```

```

LCDOUT,DATO,LIN1,"COMUNICANDO" 'ABISO COM. PC

GOSUB ESCRITURA_ORDEN 'ESCRIBO LA ORDEN

WHILE COORD_1 = 0

    CONT_CAS_RAM = CONT_CAS_RAM + 1 'ELEBO EL CONTADOR EN 1

    IF CONT_CAS_RAM > 1023 THEN

        CONT_CAS_RAM = 0 'IGUALO A CERO

        CONT_RAS_RAM = CONT_RAS_RAM + 1 'PASO A LA SIGUIENTE FILA

    ENDIF

    WHILE LEER_DIRECTOR = 0'ESPERO QUE DATO ESTE LISTO

    WEND

    EMBIO_DATO = MOV_BUS 'GRABO EN LA VAR EL DATO A EMBIAR

    GOSUB RESPUESTA_MAQUINA 'VA A RESPONDER A LA PC

    IF (CONT_RAS_RAM > 129) AND (CONT_CAS_RAM > 254) THEN 'PREGUNTO SI YA TERMINO DE RESTAR

        COORD_1 = 1

    ENDIF

ESCRITURA_DUAL_COMANDO_YZ:

'LCDOUT,DATO,LIN2,"ESCR 2 COM YZ" 'ABISO QUE SCANEO

GOSUB REBISION_BIT_OCUPADO 'REBISO SI YA SE DESOCUPO EL CHIP

CSM2 = 0 'HABILITO EL SEGUNDO MOTOR

CSM3 = 0 'HABILITO EL TERCER MOTOR

GOSUB ESCRIBIR_COMANDO_REAL 'ESCRIBO EL COMANDO

CSM2 = 1 'DESHABILITO EL SEGUNDO MOTOR

CSM3 = 1 'DESHABILITO EL TERCER MOTOR

RETURN

ESCRITURA_GEN_COMANDO:

'LCDOUT,DATO,LIN2,"ESC GEN COM" 'ABISO QUE SCANEO

GOSUB REBISION_BIT_OCUPADO 'REBISO SI YA SE DESOCUPO EL CHIP

GOSUB ESCRIBIR_COMANDO 'MANDO A ESCRIBIR EL COMANDO

RETURN

LEER_ESTADO_ENTRADA:

```

```

'LCDOUT,DATO,LIN2,"LEER ESTA ESTRA" 'ABISO QUE SCANEO

BUS = %11111111      'PORNGO LA COMPUERTA COMO ENTRADA

PS_M = 0             'ABISO QUE ES COMANDO

RD_M = 0             'ESTOY LEYENDO

ESTADO = MOV_BUS     'GUARDO LA LECTURA DEL PUERTO C

RD_M = 1             'FINALIZO LECTURA

PS_M = 1             'DESABILITO COMANDO

RETURN

```

RESET_MOTOR:

```

'LCDOUT,DATO,LIN2,"RES MOTOR" 'ABISO QUE SCANEO

TEMP1 = TEMP1 + 1    'ELEVO LA VARIABLE EN 1

COMANDO = RESET      'RESETEO LAS INTERRUPCIONES

GOSUB ESCRITURA_GEN_COMANDO 'ESCRIBO COMANDO

GOTO INICIALIZACION 'VOY A INICAR TODO

'++++++

```

COMUNICAR:

```

'LCDOUT,DATO,LIN2,"COMUNICAR" 'ABISO QUE SCANEO

SEROUT PORTB.1,T2400,[#RESPUESTA,"-"]

RETURN

```

LECTURA_DATO:

```

'LCDOUT,DATO,LIN2,"LEC DAT" 'ABISO QUE SCANEO

ESCRIBIR_DIRECTOR = 1      'AVISO AL ESCLAVO QUE ESTOY PREPARADO

WHILE LEER_DIRECTOR = 1    'ESPERO QUE EL ESCLAVO PONGA EN 0

WEND

ESCRIBIR_DIRECTOR = 0      'AVISO QUE EMBIE DATO

WHILE LEER_DIRECTOR = 0

WEND

BUS = 255                  'EL PUERTO COMO ENTRADA

RESPUESTA = MOV_BUS        'ADQUIERO EL DATO

ESCRIBIR_DIRECTOR = 1      'ABISO QUE YA HE ADQUIRIDO

WHILE LEER_DIRECTOR = 1    'ESPERO QUE RECIBA LA RESPUESTA

```

```
WEND
```

```
ESCRIBIR_DIRECTOR = 0      'FINALIZO
```

```
RETURN
```

```
ESCRITURA_ORDEN:
```

```
'LCDOUT,DATO,LIN2,"ESC ORD" 'ABISO QUE SCANEO
```

```
ESCRIBIR_DIRECTOR = 1     'AVISO AL ESCLAVO QUE DESEO CAMUNICAR ALGO
```

```
WHILE LEER_DIRECTOR = 0   'ESPERO QUE EL ESCLAVO ACEPTE COMUNICAR
```

```
WEND
```

```
ESCRIBIR_DIRECTOR = 0     'AVISO QUE VOY A EMBIAR EL DATO
```

```
WHILE LEER_DIRECTOR = 1   'ESPERO QUE ESTÉ LISTO
```

```
WEND
```

```
BUS = 0                   'EL PUESTO COMO SALIDA
```

```
MOV_BUS = ORDEN          'SACO EL DATO POR EL PUERTO
```

```
ESCRIBIR_DIRECTOR = 1     'AVISO Q' EMBIO DATO
```

```
WHILE LEER_DIRECTOR = 0   'ESPERO QUE RECIBA EL DATO
```

```
WEND
```

```
ESCRIBIR_DIRECTOR = 0     'FINALIZO LA RESPUESTA
```

```
WHILE LEER_DIRECTOR = 1   'ESPERO QUE FINALICE
```

```
WEND
```

```
bus = 255                 'TODO COMO ENTRADA
```

```
RETURN
```

```
RESIVIR_DATO:
```

```
DISABLE                   'DESABILITO INTERRUPCION
```

```
SERIN RECEPT_232,T2400,CASO 'EL DATO LO GRAVO EN CASO
```

```
INTCON.1 = 0              'QUITO INTERRUPCION
```

```
SERIE = 1                  'AVISO AL SISTEMA QUE ESTOY COECTADO A COMP
```

```
'LCDOUT,DATO,LIN2,"RESI DAT" 'ABISO QUE SCANEO
```

```
SELECT CASE CASO          'REVISO QUE ESTA PIDIENDO LA COMPUTADORA
```

```
    CASE "A"              'RESETEAR
```

```
        EJECUTADOR_TAREAS = 0
```

```
CASE "B"      'INICIO_SCANER
      EJECUTADOR_TAREAS = 1
CASE "C"      'INICIO_FRESADORA
      EJECUTADOR_TAREAS = 2
CASE "D"      'INICIO_MESA
      EJECUTADOR_TAREAS = 3
CASE "E"      'ESCANEAR
      EJECUTADOR_TAREAS = 4
CASE "F"      'ESCANEAR_MASCARA
      EJECUTADOR_TAREAS = 5
CASE "G"      'ESCANEAR_MASCARA
      EJECUTADOR_TAREAS = 6
CASE "H"      'RESTA
      EJECUTADOR_TAREAS = 7
CASE "I"      'POSICIONES
      EJECUTADOR_TAREAS = 8
CASE "J"      'FRESAR
      EJECUTADOR_TAREAS = 9
CASE "K"      'FRESAR_PIEZA
      EJECUTADOR_TAREAS = 10
CASE "L"      'REALIZAR_FRESADO
      EJECUTADOR_TAREAS = 11
CASE "M"      'BODEGA A
      EJECUTADOR_TAREAS = 12
CASE "N"      'BODEGA B
      EJECUTADOR_TAREAS = 13
CASE "O"      'BODEGA C
      EJECUTADOR_TAREAS = 14
```

END SELECT

RESUME

END

ANEXO B.2 Programación PIC RAM (16F877-A)

El programado en VB es:

* Name : UNTITLED.BAS *

* Author : YO *

* Notice : Copyright (c) 2005 [YO] *

* : All Rights Reserved *

* Date : 30/08/2005 *

* Version : 1.0 *

* Notes : *

'DEFINICION INICIAL

DEFINE OSC 10

ADCON1=%00001110 'CONFIGURO A0 COMO ANÁLOGICA

ADCON0=%01000000 'A/D APAGO EL ANALÓGICO

'CONFIGURACION DE PUERTO Y ESTADOS INICIALES

TRISA=%00000001 'SETEO EL PUERTO A

PORTA=%00110110 'APAGO A LOS DEMULTIPLEXORES

TRISE=%00000000 'PREPARO BUS DE COMUNICACIÓN CON EL PIC MASTER MAQ

PORTE=%00000000 'ENTRADA DEL BUS DE DATOS

TRISB=%11111111 'LEO EN BUS DE DATOS

PORTB=0 'PONGO EL PUERTO B EN CERO

TRISC=%00000000 'PREPARO BUS DE DIRECCIONES DE LA RAM

PORTC=0 'DIRECCION 0 EN LA RAM

TRISD=%01000000 'PREPARO EL RESTO DEL BUS RAM Y CONTROL DE PUENTES PIC MASTER MAQ

PORTD=%01011100 'APAGO EL PUENTE Y RESTO

'ALIAS A LAS COMPUERTAS Y ESPECIALES

PRENDER_AD VAR ADCON0.0 'DEFINO PRENDER AL GENERAL DEL A/D

INICIAR_LECTURA_AD VAR ADCON0.1 'DEFINO INICIAR AL STAR DEL A/D

LEER_DIRECTOR VAR PORTD.7 'POR AQUI EMBIO RESPUESTAS

ESCRIBIR_DIRECTOR VAR PORTD.6 'POR AQUI RECIBO ORDENES

ORDEN VAR BYTE

RESPUESTA VAR BYTE

CONT_RAS_RAM VAR WORD

CONT_CAS_RAM VAR WORD

CONT_RAS1_RAM VAR WORD 'ALMACENA LAS POSICIONES PARA QUE NO SE PIERDA

CONT_CAS1_RAM VAR WORD 'ALMACENA LAS POSICIONES PARA QUE NO SE PIERDA

A0_7_CAS VAR CONT_CAS_RAM.BYTE0

A8_CAS VAR CONT_CAS_RAM.8

A9_CAS VAR CONT_CAS_RAM.9

A0_7_RAS VAR CONT_RAS_RAM.BYTE0

A8_RAS VAR CONT_RAS_RAM.8

A9_RAS VAR CONT_RAS_RAM.9

CONT_1 VAR BYTE

CONT_1_1 VAR BYTE

CONT_2 VAR BYTE

ALTERNO_1 VAR BIT

ALTERNO_ANA VAR BIT

ALTERNO_DIG VAR BIT

ALTERNO_DIF VAR BIT

VAR_SCANER1 VAR WORD

VAR_RESTA1 VAR WORD

VAR_POS1 VAR WORD

```

VAR_CAS VAR WORD

VAR_DIS_EX VAR BYTE          'VARIABLE DE DISTANCIA EXTRA

DMUX_ANA_CS1 VAR PORTA.1

DMUX_ANA_CS2 VAR PORTA.2

DMUX_ANA_CLOCK VAR PORTA.3

DMUX_DIG_CS1 VAR PORTA.4

DMUX_DIG_CS2 VAR PORTA.5

DMUX_DIG_CLOCK VAR PORTE.0

CONT1_CS VAR PORTE.1

CONT2_CS VAR PORTE.2

V_ANALOGICO VAR ADRESH

CAS VAR PORTD.2

RAS VAR PORTD.3

WE VAR PORTD.4

PUENTE1_CS VAR PORTD.5

*****

'PROGRAMA

PAUSE 10000          'PARA 20SEGUNDOS

CICLO_PRINCIPAL:

    IF ESCRIBIR_DIRECTOR = 0 THEN 'REBISO SI EL PIC ESTÁ ORDENNANDO ALGO

        GOTO LECTURA_ORDEN      'EN CASO DE ORDEN VA A TOMAR Y EXAMINAR

    ENDIF          'FIN DEL CONDICIONANTE

GOTO CICLO_PRINCIPAL      'RETORNA AL INICIO

LECTURA_ORDEN:

    LEER_DIRECTOR = 0          'AVISO AL DIRECTOR QUE ESTOY PREPARADO

    WHILE ESCRIBIR_DIRECTOR = 0 'ESPERO QUE EL DIRECTOR PONGA EN 0

        WEND

    LEER_DIRECTOR = 1          'AVISO QUE EMBIE DATO

```

```

WHILE ESCRIBIR_DIRECTOR = 1

WEND

TRISB = %11111111      'EL PUERTO COMO ENTRADA

ORDEN = PORTB          'ADQUIERO EL DATO

LEER_DIRECTOR = 0      'ABISO QUE YA HE ADQUIRIDO

WHILE ESCRIBIR_DIRECTOR = 0  'ESPERO QUE RECIBA LA RESPUESTA

WEND

LEER_DIRECTOR = 1      'FINALIZO

SELECT CASE ORDEN      'SELECCIONO LA ORDEN

    CASE 0

        GOTO CICLO_PRINCIPAL  'NINGUNA TAREA

    CASE 1

        GOTO ESCANEAR        'ESCANEA LA MASCARA

    CASE 2

        GOTO SIGUIENTE_PUNTO  'VA LA LA SIGUIENTE POSICION ESCANEADA

    CASE 3

        GOTO ESCANEAR        'VA A ESCANEAR LA PIEZA

    CASE 4

        GOTO RESTA          'VA A RESTAR POSICIONES DE MASCARA

    CASE 5

        GOTO POSICIONES     'VA A RELIZAR LA RESTA DE POSICIONES

    CASE 6

        goto BODEGA_A        'PERMITE EXTRACCION DE DATOS DE MASCARA

    CASE 7

        GOTO BODEGA_B        'PERMITE EXTRACCION DE DATOS DE PIEZA

    CASE 8

        GOTO BODEGA_C        'PERMITE EXTRACCION DE DATOS DE FRESA

    CASE ELSE

```

```
GOTO CICLO_PRINCIPAL 'RETORNA A CICLO PRINCIPAL

END SELECT

TRISB = %11111111 'EL PUERTO COMO ENTRADA

GOTO CICLO_PRINCIPAL

ESCANEAR:

IF ORDEN = 1 THEN 'REVISO SI VA A ESCANEAR LA MÁSCARA O PIEZA

    ALTERNO_DIF = 1

ELSE

    ALTERNO_DIF = 2

ENDIF

VAR_SCANER1 = 0 'ENCERO EL CONTADOR DE PUNTOS

SIGUIENTE_PUNTO:

TRISB = %11111111 'EL PUERTO COMO ENTRADA

PRENDER_AD = 1 'PRENDO EL ANÁLOGO DIJITAL

INICIAR_LECTURA_AD = 1 'INICIO LECTURA DEL ANÁLOGO DIJITAL

IF ALTERNO_DIF = 1 THEN 'SI ES 1 ESCANEA LA MASCARA

    CONT_RAS_RAM = 0 'ENCERO EL CONTADOR DE POSICIONES DE FILAS RAM

ELSE

    CONT_RAS_RAM = 131 'CARGO EL VALOR PARA LAS POSICIONES

ENDIF

CONT_CAS_RAM = 0 'ENCERO EL CONTADOR DE POSICIONES DE COLUMNAS RAM

CONT_CAS_RAM = CONT_CAS_RAM + VAR_SCANER1 'SUMA PARA SIGUIENTES POSICIONES

CONT_1 = 0 'ENCERO EN CONTADOR ANALOGO

CONT_2 = 0 'ENCERO EN CONTADOR DIGITAL

ALTERNO_1 = 0 'ENCERO EL CONDICIONANTE EN EL WHILE

ALTERNO_ANA = 0 'ENCERO EL CONDICIONANTE DEL CONT ANA

ALTERNO_DIG = 0 'ENCERO EL CONDICIONANTE DEL CONT DIG

WHILE ALTERNO_1 = 0 'ES LAZO PARA LECTURA DE DATOS
```

```

WHILE CONT_CAS_RAM > 1023

    CONT_CAS_RAM = CONT_CAS_RAM - 1024 'RESTO PARA SABER POR CUANTO SE PASA

    CONT_RAS_RAM = CONT_RAS_RAM + 1 'PASO A LA SIGUIENTE FILA

WEND

IF CONT_1 < 8 THEN      'CONDICIONO CONTADOR ANALÓGICO

    CONT2_CS = 1      'PRENDO EL CONTADOR ANA

    DMUX_ANA_CS1 = 0   'PRENDO EL PRIMER DMUX ANA

ELSE                    'CASO CONTRARIO

    IF ALTERNO_ANA = 0 THEN 'REBISO QUE EL CONT ANA SE HA RESETEADO

        CONT2_CS = 0   'RESETEO EL CONTADOR ANA

        DMUX_ANA_CLOCK = 0 'SELECCIONO EL OTRO CANAL DE DEMUX ANALOGO

        DMUX_ANA_CLOCK = 1 'SELECCIONO EL OTRO CANAL DE DEMUX ANALOGO

    ENDIF              'FINALIZO EL CONDICIONANTE

    CONT2_CS = 1      'PRENDO EL CONTADOR ANA

    DMUX_ANA_CS2 = 0   'PRENDO EL SEGUNDO DMUX ANA

ENDIF                'TERMINO EL CONDICIONANTE

IF CONT_2 < 16 THEN    'CONDICIONO CONTADOR DIGITAL

    CONT1_CS = 1      'PRENDO EL CONTADOR DIG

    DMUX_DIG_CS1 = 0   'PRENDO EL PRIMER DMUX DIG

ELSE                  'CASO CONTRARIO

    IF ALTERNO_DIG = 0 THEN 'REBISO QUE EL CONT DIG SE HA RESETEADO

        CONT1_CS = 0   'RESETEO EL CONTADOR DIG

        DMUX_DIG_CLOCK = 0 'SELECCIONO EL OTRO CANAL DE DEMUX DIGITAL

        DMUX_DIG_CLOCK = 1 'SELECCIONO EL OTRO CANAL DE DEMUX DIGITAL

    ENDIF              'FINALIZO EL CONDICIONANTE

    CONT1_CS = 1      'PRENDO EL CONTADOR DIG

    DMUX_DIG_CS2 = 0   'PRENDO EL SEGUNDO DMUX DIG

ENDIF                'TERMINO EL CONDICIONANTE

```

```

TRISB = 0          'EL PUESTO COMO SALIDA

PUENTE1_CS = 1    'ACTIVO EL PUENTE DE LA RAM

PORTB = V_ANALOGICO  'CARGO EL VALOR A/D LEIDO AL BUS DE DATOS

PORTC = A0_7_RAS   'MUEVO EL VALOR DE FILA AL BUS DE DIRECCIONES

PORTD.0 = A8_RAS   'MUEVO EL VALOR RESTANTE DE " "

PORTD.1 = A9_RAS   'MUEVO EL VALOR RESTANTE DE " "

RAS = 0           'ACTIVO LA FILA

'@ NOP           'PONGO UN RETARDO

CAS = 0           'ACTIVO LA COLUMNA

PORTC = A0_7_CAS   'MUEVO EL VALOR DE COLUMNA AL BUS DE DIRECCIONES

PORTD.0 = A8_CAS   'MUEVO EL VALOR RESTANTE DE " "

PORTD.1 = A9_CAS   'MUEVO EL VALOR RESTANTE DE " "

'@ NOP           'TIEMPO RARA QUE SE GRABE

WE = 0           'ACTIVO ESCRITURA

'@ NOP           'TIEMPO RARA QUE SE GRABE

WE = 1           'TERMINAR GRABADO

CAS = 1           'DESACTIVO COLUMNAS

RAS = 1           'DESACTIVO FILAS

DMUX_ANA_CLOCK = 0  'SELECCIONO EL OTRO CANAL DE DEMUX ANALOGO

DMUX_ANA_CLOCK = 1  'SELECCIONO EL OTRO CANAL DE DEMUX ANALOGO

CONT_1 = CONT_1 + 1 'ELEBO EL CONTADOR ANÁLOGO EN 1

TRISB = %11111111  'EL PUERTO COMO ENTRADA

IF CONT_1 = 12 THEN 'SI SE ACABA LA PRIMERA FILA DEL DEMUX ANÁLOGO

    CONT_1 = 0      'ENCERO EL CONTADOR

    DMUX_DIG_CLOCK = 0  'SELECCIONO EL OTRO CANAL DE DEMUX DIGITAL

    CONT_2 = CONT_2 + 1 'ELEVO EN 1 EL CONTADOR 2(ME SIRVE PARA MANEJAR EL DIJITAL

    DMUX_DIG_CLOCK = 1  'SELECCIONO EL OTRO CANAL DE DEMUX DIGITAL

    CONT_CAS_RAM = CONT_CAS_RAM + 4560 'SUMO LAS COLUMNAS INTERMEDIAS

```

```

CONT_CAS_RAM = CONT_CAS_RAM + 20 'SUMO EL RESPECTIVO SALTO

ELSE          'CASO CONTRARIO

    CONT_CAS_RAM = CONT_CAS_RAM + 20 'ELEVO EL CONTADOR DE COLUMNAS EN 20

ENDIF

IF CONT_2 = 28 THEN    'SI SE ACABA DE ESCANEAR LA PRIMERA CARA

    ALTERNO_1 = 1      'CAMBIO VAR PARA FINALIZAR EL WILE

ENDIF

PUENTE1_CS = 0        'APAGO EL PUENTE DE LA RAM

WEND

PRENDER_AD = 0        'APAGO EL ANÁLOGO DIJITAL

INICIAR_LECTURA_AD = 0  'APAGO LECTURA DEL ANÁLOGO DIJITAL

VAR_SCANER1 = VAR_SCANER1 + 1 'ESTA VAR MIRA LOS PUNTOS ESCANEADOS

SELECT CASE VAR_SCANER1    'SELECCIONO EL CASO DEL CONTADOR

    CASE 20

        VAR_SCANER1 = 240

    CASE 260

        VAR_SCANER1 = 480

    CASE 500

        VAR_SCANER1 = 720

    CASE 740

        VAR_SCANER1 = 960

    CASE 980

        VAR_SCANER1 = 1200

    CASE 1220

        VAR_SCANER1 = 1440

    CASE 1460

        VAR_SCANER1 = 1680

    CASE 1700

```

```
VAR_SCANER1 = 1920

CASE 1940

    VAR_SCANER1 = 2160

CASE 2180

    VAR_SCANER1 = 2400

CASE 2420

    VAR_SCANER1 = 2640

CASE 2680

    VAR_SCANER1 = 2880

CASE 2900

    VAR_SCANER1 = 3120

CASE 3140

    VAR_SCANER1 = 3360

CASE 3380

    VAR_SCANER1 = 3600

CASE 3620

    VAR_SCANER1 = 3840

CASE 3860

    VAR_SCANER1 = 4080

CASE 4100

    VAR_SCANER1 = 4320

CASE 4340

    VAR_SCANER1 = 4560

CASE 4580

    VAR_SCANER1 = 0

CASE ELSE

END SELECT

TRISB = %11111111      'EL PUERTO COMO ENTRADA
```

```

RESPUESTA = 1      'SIGUIENTE PUNTO

ESCRITURA_RESPUESTA:

TRISB = %11111111      'EL PUERTO COMO ENTRADA

LEER_DIRECTOR = 0    'AVISO AL DIRECTOR QUE DESEO CAMUNICAR ALGO

WHILE ESCRIBIR_DIRECTOR = 1 'ESPERO QUE EL DIRECTOR ACEPTE COMUNICAR

    '@ NOP

WEND

LEER_DIRECTOR = 1    'AVISO QUE VOY A EMBIAR EL DATO

WHILE ESCRIBIR_DIRECTOR = 0 'ESPERO QUE ESTÉ LISTO

    '@ NOP

WEND

TRISB = 0      'EL PUESTO COMO SALIDA

PORTB = RESPUESTA    'SACO EL DATO POR EL PUERTO

LEER_DIRECTOR = 0    'AVISO Q' EMBIO DATO

WHILE ESCRIBIR_DIRECTOR = 1 'ESPERO QUE RECIBA EL DATO

    '@ NOP

WEND

TRISB = %11111111      'EL PUERTO COMO ENTRADA

GOTO CICLO_PRINCIPAL

    ALTERNO_1 = 1

    ENDIF

    PUENTE1_CS = 0      'DESACTIVO EL PUENTE DE LA RAM

    WEND

RESPUESTA = 4      'INDICO QUE YA TERMINÉ BODEGA

TRISB = %11111111      'EL PUERTO COMO ENTRADA

GOTO ESCRITURA_RESPUESTA

END

```

ANEXO B.3 Programación PIC CLOCK (16F628-A)

El esquemático para este PIC es:

El programado en VB es:

* Name : UNTITLED.BAS *

* Author : YO *

* Notice : Copyright (c) 2007 YO *

* : All Rights Reserved *

* Date : 18/01/2007 *

* Version : 1.0 *

* Notes : *

DEFINE OSC 20

CMCON=%111 'APAGA COMPARADPRES DE VOLTAGE

TRISA = %11111111 'TODO EL PUERTO A COMO ENTRADA

TRISB = %11111110 'TODO EL PUERTO B COMO ENTRADA

CENSOR VAR PORTA.0

CLK VAR PORTA.1

SENAL_RELE VAR PORTB.7

TRIS_CAS VAR TRISB.6

TRIS_RAS VAR TRISB.5

CAS VAR PORTB.6

RAS VAR PORTB.5

CICLO_PRINCIPAL:

```
IF CENSOR = 0 THEN

    SENAL_RELE = 0

    GOTO CAS_RAS

ELSE

    SLEEP 1200

    SENAL_RELE = 1

    GOTO CLOCK

ENDIF

CAS_RAS:

    HIGH CAS

    HIGH RAS

    LOW CAS

    LOW RAS

    TRIS_CAS = 1

    TRIS_RAS = 1

    SLEEP 600

    GOTO CICLO_PRINCIPAL

CLOCK:

    IF CENSOR = 0 THEN GOTO CICLO_PRINCIPAL

    CLK = 1

    CLK = 0

    CLK = 1

    CLK = 0

ESTE CLOK SE REPETIRA EL INTERVALO 1681 VECES

    GOTO CLOCK

END
```

ANEXOS

ANEXO A. Hojas técnicas de dispositivos electrónicos.

ANEXO A.1 PIC 16F628-A

ANEXO A.2 PIC 16F877-A

ANEXO A.3 Controlador LM629

ANEXO A.4 Modulo Encoder Incremental HEDS-9040

ANEXO A.5 Encoder Incremental HEDS-5140#A05

ANEXO B. Programación de los PIC`s.

ANEXO B.1 Programación PIC MASTER (16F877-A)

ANEXO B.2 Programación PIC RAM (16F877-A)

ANEXO B.3 Programación PIC CLOCK (16F628-A)

ANEXO C. Planos mecánicos (Despiece de la máquina).

ANEXO C.1 EM-01-07	Mesa Transversal (eje "Y")
ANEXO C.2 EM-02-07	Mesa Superior (eje "Z")
ANEXO C.3 EM-03-07	Mesa Longitudinal (eje "X")
ANEXO C.4 EM-04-07	Husillo de giro
ANEXO C.5 EM-05-07	Soporte columna
ANEXO C.6 EM-06-07	Soporte escaner
ANEXO C.7 EM-07-07	Reductores
ANEXO C.8 EM-08-07	Escaner