



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

“Diseño de una Máquina Fresadora CNC para Mecanizado de  
Prototipos de Barcos en Madera”

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

(PROYECTO DE GRADUACIÓN)

Previo a la Obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentado por:

Fausto Andrés Maldonado Galarza

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2015

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco primero a Dios por darme la vida y llenarla siempre de bendiciones. A mis padres, hermano y familia, que siempre me han brindado su amor y apoyo. A todos mis amigos, por su compañerismo y amistad durante toda mi etapa estudiantil. A mis maestros, que influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme como una persona de bien y preparada para los retos que pone la vida, en especial a mi director de tesis el Ing. Manuel Helguero por sus consejos y apoyo incondicional en mi formación como profesional y en la culminación de este proyecto de grado.

## DEDICATORIA

Le dedico principalmente a Dios por permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre por ser pilar fundamental en mi vida, por su amor, cariño y comprensión durante todo este tiempo, a mi padre que desde el cielo me ha ayudado y guiado durante mi vida, a mi hermano por la compañía y apoyo que me brinda siempre. A mis amigos y personas que con su ayuda me han permitido culminar con éxito este proyecto.

# TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

---

Ing. Jorge Duque R.  
DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE

---

Ing. Manuel Helguero G.  
DIRECTOR DEL TFG

---

Ing. Jonathan León T.  
VOCAL



## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido desarrollado en el presente Trabajo Final de Graduación, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

---

Fausto Andrés Maldonado Galarza

## RESUMEN

Durante mucho tiempo la madera fue el único material empleado en la construcción de barcos o estructuras de buques, es más ligera que el agua y muy resistente a pesar de su bajo peso específico, sin embargo presenta dificultades de moldeo y ensamblaje para navíos de grandes dimensiones, hoy en día su empleo está restringido a pequeñas embarcaciones como yates, lanchas y pesqueros.

En el diseño de barcos, la construcción de prototipos es una base muy importante para realizar los análisis y estudios correspondientes, los modelos a escala son fáciles de manipular por lo que es más sencillo realizar ensayos o pruebas en los mismos.

La construcción de prototipos por medio de CNC nos brinda un alto grado de calidad, gracias a la repetitividad y gran precisión que ofrece dicho sistema, además se evitan errores o variaciones que se pueden producir al trabajar de forma manual.

En este proyecto de graduación se realiza el diseño de una máquina fresadora CNC, específicamente para mecanizar prototipos de barcos en madera, las dimensiones de la máquina se determinan tomando en cuenta las máximas medidas de los modelos de barcos que se pretenden construir.

Se analizan las características físicas y propiedades mecánicas de la materia prima que se va a emplear, información inicial que nos ayuda a determinar las fuerzas ejercidas en las diferentes partes que componen dicha máquina y con lo que se desarrollan los cálculos de diseño y la selección de componentes correspondientes.

A partir de un diseño preliminar para la máquina CNC, se procede con un análisis más profundo para el cálculo de los elementos que conforman el sistema mecánico de dicho diseño y la selección de los dispositivos adecuados para el sistema de control del mismo, se emplean libros de diseño mecánico, manuales de selección, el software AUTODESK INVENTOR para diseño y análisis por elementos finitos, así como opiniones de expertos acerca del tema.

Con los resultados de diseño obtenidos, se crean un grupo de partes que se ajustan entre sí adecuadamente y funcionan en conjunto con total seguridad y eficiencia.

La máquina fresadora CNC diseñada va a lograr construir prototipos de barcos con mayor facilidad, alta precisión en forma y medidas, menor tiempo de trabajo y bajos costos de producción.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ABREVIATURAS.....	vii
SIMBOLOGÍA.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
ÍNDICE DE PLANOS.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO 1</b>	
1. ANÁLISIS DEL PROBLEMA E INFORMACIÓN GENERAL.....	3
1.1. Objetivos.....	3
1.2. Especificaciones y requerimientos.....	5
1.3. Prototipos de barcos.....	6
1.4. Máquinas CNC.....	18
1.5. Características de la madera.....	31
1.6. Propiedades mecánicas de la madera.....	36
1.7. Maquinabilidad de la madera.....	39
1.8. Descripción del proceso de fresado en madera.....	41
1.9. Herramientas utilizadas en el fresado de madera.....	43
1.10. Seguridad al operar máquinas herramientas.....	47

## **CAPÍTULO 2**

2. ANÁLISIS DE OPCIONES PARA EL DISEÑO DE FORMA.....	52
2.1. Descripción de las partes que forman la máquina fresadora CNC... 52	
2.2. Sistema mecánico.....	56
2.3. Sistema de control.....	91

## **CAPÍTULO 3**

3. DISEÑO Y SELECCIÓN.....	132
3.1. Parámetros de diseño.....	132
3.2. Materiales de los componentes.....	144
3.3. Selección del husillo de corte.....	148
3.4. Sistema de intercambio de herramienta de corte.....	150
3.5. Diseño del sistema de transmisión de potencia y sistema de guías	151
3.6. Diseño de la estructura principal y mesa de trabajo.....	253
3.7. Sistema de sujeción del material base.....	263
3.8. Sistema de protección y extracción de viruta.....	264
3.9. Selección de actuadores.....	270
3.10. Selección de acoples para actuadores – transmisión de potencia	277
3.11. Selección de tarjetas electrónicas y controladores.....	279
3.12. Selección de sensores, elementos de mando y protección. ....	283
3.13. Selección del software libre para control.....	288

**CAPÍTULO 4**

4. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	294
4.1. Costo de materiales y mano de obra.....	295
4.2. Rentabilidad del proyecto.....	300

**CAPÍTULO 5**

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	303
--	-----

**APÉNDICES****BIBLIOGRAFÍA**

## ABREVIATURAS

CNC	Computer Numerical Control
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
ACME	American Control of Mechanical Engineering
ASTM	American Society for Testing and Materials
AISI	American Iron and Steel Institute
SAE	Society of Automotive Engineers
ISO	International Standards Organization
UPN	Perfil Normalizado con sección transversal en forma de U
NEMA	National Electrical Manufacturers Association

## SIMBOLOGÍA

N	Newton
mm	Milímetros
mm <sup>2</sup>	Milímetros cuadrados
mm <sup>3</sup>	Milímetros cúbicos
RPM	Revoluciones por minuto
W	Watts
kW	Kilo watts
HP	Caballos de fuerza
m	Metros
m <sup>2</sup>	Metros cuadrados
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
h	Horas
min	Minutos
s	Segundos
Hz	Hertz
Kg	Kilogramos
Lbs	Libras
in	Pulgadas
in <sup>2</sup>	Pulgadas cuadradas
in <sup>3</sup>	Pulgadas cúbicas
MPa	Mega pascales
ksi	Kilo libras/pulgada cuadrada
HRB	Dureza en Rockwell B
pie	Pies
pie <sup>2</sup>	Pies cuadrados
pie <sup>3</sup>	Pies cúbicos
CFM	Pies cúbicos por minuto
V	Voltaje
A	Amperios
Oz	Onzas
hpp	Hilos por pulgada
spr	Pasos por revolución
sps	Pasos por segundo
V <sub>c</sub>	Velocidad de corte
D	Diámetro de la herramienta de corte
N	Velocidad de la herramienta de corte
V <sub>a</sub>	Velocidad de avance
f <sub>z</sub>	Avance por diente
Z	Número de filos
p	Profundidad de corte
s'	Avance
AC	Área de corte



e	Espesor de viruta
K	Constante de proporcionalidad
$K_{SO}$	Presión específica de corte
b	Factor de corrección
$F_c$	Fuerza de corte
$P_c$	Potencia de corte
$P_e$	Potencia eléctrica
$\eta$	Eficiencia del motor
$F_1$	Fuerza uno
$F_2$	Fuerza dos
$F_T$	Fuerza total
V	Fuerza cortante
M	Momento flector
d	Distancia a la fuerza
r	Distancia al centro de cada perno
$F'$	Fuerza cortante primaria
$F''$	Fuerza cortante secundaria
n	Número de pernos
$L_T$	Longitud de la rosca
$L_L$	Longitud sin rosca
$A_S$	Área de esfuerzo cortante
d	Diámetro base del perno
$\tau$	Esfuerzo cortante
F	Fuerza máxima
$S_p$	Resistencia del perno
$n_p$	Factor de seguridad del perno
$F_3$	Fuerza tres
$F_4$	Fuerza cuatro
$d_1$	Distancia a la fuerza uno
$d_2$	Distancia a la fuerza dos
$d_3$	Distancia a la fuerza tres
$d_4$	Distancia a la fuerza cuatro
$F_e$	Peso de la estructura acoplada
$F_h$	Peso del husillo de corte
$R_1$	Reacción uno
$R_2$	Reacción dos
$M_A$	Momento en el punto A
$\sigma_{m\acute{a}x}$	Esfuerzo normal máximo
$S_y$	Resistencia a la fluencia del material
n	Factor de seguridad
S	Módulo de resistencia del material
$D_G$	Diámetro del eje guía
$\sigma$	Esfuerzo admisible del material
A	Área transversal del tornillo de potencia
$D_T$	Diámetro del tornillo de potencia

$L_t$	Longitud total
$L_d$	Longitud de desplazamiento
$d_e$	Diámetro exterior
$p$	Paso del husillo de bolas
$d_r$	Diámetro de raíz
$d_m$	Diámetro medio
$\mu$	Coefficiente de fricción
$C_o$	Capacidad de carga estática
$f_s$	Coefficiente de seguridad estático
$F_{om\acute{a}x}$	Carga estática máxima
$C$	Capacidad de carga dinámica
$f_h$	Factor de dureza
$f_t$	Factor de temperatura
$f_c$	Factor de contacto
$f_w$	Factor de carga
$L$	Vida nominal en kilómetros
$L_h$	Vida nominal en horas
$s$	Longitud de carrera
$n_s$	Frecuencia de carrera
$F_r$	Carga radial
$F_a$	Carga axial
$S_o$	Factor de seguridad estático
$P_o$	Carga axial máxima
$P$	Carga máxima
$n$	Velocidad rotacional de trabajo
$L_{10h}$	Vida nominal en horas
$p$	Exponente de la ecuación de la vida
$F_{1s}$	Fuerza uno secundaria
$F_{2s}$	Fuerza dos secundaria
$e$	Factor de cálculo
$X$	Factor radial
$Y$	Factor axial
$F_T'$	Fuerza total promedio
$A_d$	Área del ducto
$Q$	Flujo de extracción
$V_t$	Velocidad de transporte
$D_d$	Diámetro del ducto
$I_c$	Inercia de la carga
$W$	Fuerza aplicada
$I_t$	Inercia del tornillo de potencia
$L$	Longitud roscada del tornillo de potencia
$I_m$	Inercia del motor
$I_T$	Inercia total
$w$	Velocidad angular
$V_l$	Velocidad lineal
$\theta$	Pasos incrementales

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Modelo de barco a escala.....	8
Figura 1.2. Molde de casco de barco.....	9
Figura 1.3. Prototipo de casco de barco para pruebas.....	10
Figura 1.4. Modelado 3D de barcos en software de diseño naval.....	14
Figura 1.5. Mecanizado de prototipo de barco en CNC.....	16
Figura 1.6. Fresadora y Torno CNC.....	20
Figura 1.7. Software CAM.....	23
Figura 1.8. Código de programación en CNC.....	31
Figura 1.9. Partes del tronco de un árbol.....	33
Figura 1.10. Fresado de madera.....	43
Figura 1.11. Protección en máquinas herramientas.....	48
Figura 1.12. Equipos de protección personal.....	50
Figura 2.1. Partes de una fresadora convencional.....	53
Figura 2.2. Ejes básicos de una fresadora.....	55
Figura 2.3. Partes de una fresadora CNC con mesa de trabajo fija.....	56
Figura 2.4. Estructuras bases construidas en fundición gris.....	58
Figura 2.5. Estructura base a partir de perfiles de acero soldados.....	59
Figura 2.6. Mesa de trabajo ranurada.....	60
Figura 2.7. Spindles para fresado.....	61
Figura 2.8. Sistema de intercambio rápido de herramienta.....	63
Figura 2.9. Sistema de intercambio con tambor rotatorio.....	64
Figura 2.10. Sistema de intercambio con almacén lineal.....	65
Figura 2.11. Tipos de roscas comunes en tornillos de potencia.....	67
Figura 2.12. Tornillos de potencia.....	67
Figura 2.13. Husillos de bolas.....	68
Figura 2.14. Tipos de recirculación en husillos de bolas.....	70
Figura 2.15. Geometría del husillo de bolas.....	71
Figura 2.16. Sistema piñón – cremallera.....	73
Figura 2.17. Sistema piñón – cremallera para máquinas CNC.....	73
Figura 2.18. Sistema de ejes guías.....	75
Figura 2.19. Bocines de bronce, hierro fundido y acero.....	76
Figura 2.20. Rodamientos lineales.....	77
Figura 2.21. Guías especiales.....	78
Figura 2.22. Tipos de prensas universales.....	79
Figura 2.23. Platos volteadores o divisores.....	81
Figura 2.24. Sistema de sujeción con bridas.....	82

Figura 2.25. Partes de un sistema de extracción.....	84
Figura 2.26. Sistemas de extracción portátiles.....	85
Figura 2.27. Sistema de extracción de alto vacío.....	87
Figura 2.28. Protección fija.....	89
Figura 2.29. Protección ajustable.....	90
Figura 2.30. Protección auto-ajustable.....	91
Figura 2.31. Servomotores.....	92
Figura 2.32. Partes y funcionamiento de un servomotor.....	94
Figura 2.33. Encoders.....	95
Figura 2.34. Partes de un encoder incremental.....	96
Figura 2.35. Encoder absoluto.....	97
Figura 2.36. Motor paso a paso.....	99
Figura 2.37. Partes motor paso a paso.....	100
Figura 2.38. Esquema de pulsos en un motor a pasos.....	101
Figura 2.39. Estructura motor a pasos unipolar.....	103
Figura 2.40. Estructura motor a pasos bipolar.....	106
Figura 2.41. Esquema de un motor a pasos híbrido de 8 terminales y sus configuraciones.....	108
Figura 2.42. Esquema sistema de control para motores a pasos.....	109
Figura 2.43. Fuente de poder.....	111
Figura 2.44. Controlador o driver.....	113
Figura 2.45. Sensor inductivo.....	115
Figura 2.46. Sensor de efecto Hall.....	116
Figura 2.47. Sensor capacitivo.....	117
Figura 2.48. Sensor de ultrasonido.....	119
Figura 2.49. Sensor óptico.....	120
Figura 2.50. Sensor binario (fin de carrera).....	122
Figura 2.51. Sensor analógico.....	124
Figura 2.52. Potenciómetro angular.....	126
Figura 2.53. Resolvers.....	127
Figura 2.54. Botón de emergencia.....	129
Figura 2.55. Dispositivos fotoeléctricos.....	130
Figura 3.1. Fresadora CNC de 3 ejes.....	133
Figura 3.2. GMT Air Cooled CNC Spindle.....	149
Figura 3.3. Refrigeración por medio de aire para Spindle CNC.....	150
Figura 3.4. Sistema de intercambio manual de herramienta.....	151
Figura 3.5. Sistema mecánico eje Z.....	153
Figura 3.6. Unión crítica atornillada, sistema mecánico eje Z.....	154
Figura 3.7. Unión empernada sometida a esfuerzo cortante por carga excéntrica.....	156

Figura 3.8.	Diagrama de fuerzas, método del paralelogramo.....	160
Figura 3.9.	Cola de milano.....	164
Figura 3.10.	Sistema de transmisión de potencia, eje Z.....	166
Figura 3.11.	Diagrama de cuerpo libre, eje guía coordenada Z.....	169
Figura 3.12.	Puntos de corte en diagrama de cuerpo libre, eje guía coordenada Z.....	170
Figura 3.13.	Diagramas fuerza cortante y momento flector, guía coordenada Z.....	173
Figura 3.14.	Tornillo de potencia, sistema de transmisión eje Z.....	176
Figura 3.15.	Disposición rodamientos lineales, soporte – carro tornillo de potencia, eje Z.....	181
Figura 3.16.	Disposición rodamientos axiales, tornillo de potencia, eje Z..	188
Figura 3.17.	Sistema mecánico eje X.....	189
Figura 3.18.	Sistema de transmisión de potencia, eje X.....	190
Figura 3.19.	Diagrama de cuerpo libre, eje guía coordenada X.....	193
Figura 3.20.	Puntos de corte en diagrama de cuerpo libre, eje guía coordenada X.....	195
Figura 3.21.	Diagramas fuerza cortante y momento flector, guía coordenada X.....	197
Figura 3.22.	Tornillo de potencia, sistema de transmisión eje X.....	200
Figura 3.23.	Estructura columnas soporte, sistema eje X.....	204
Figura 3.24.	Distribución de fuerzas y restricción de movimiento, estructura columnas soporte.....	206
Figura 3.25.	Tensión de Von Mises, estructura columnas soporte.....	208
Figura 3.26.	Deformación de la estructura columnas soporte.....	209
Figura 3.27.	Factor de seguridad, estructura columnas soporte.....	210
Figura 3.28.	Disposición rodamientos lineal, eje guía, coordenada X.....	211
Figura 3.29.	Disposición rodamientos - chumaceras, tornillo de potencia, eje X.....	220
Figura 3.30.	Sistema mecánico eje Y.....	221
Figura 3.31.	Sistema de transmisión de potencia, eje Y.....	223
Figura 3.32.	Diagrama de cuerpo libre, eje guía coordenada Y.....	226
Figura 3.33.	Puntos de corte en diagrama de cuerpo libre, eje guía coordenada Y.....	228
Figura 3.34.	Diagramas fuerza cortante y momento flector, guía coordenada Y.....	230
Figura 3.35.	Tornillo de potencia, sistema de transmisión eje Y.....	233
Figura 3.36.	Sistema riel soporte, coordenada Y.....	236
Figura 3.37.	Distribución de fuerzas y restricción de movimiento, sistema rieles soporte.....	238

Figura 3.38. Tensión de Von Mises, sistema rieles soporte.....	240
Figura 3.39. Deformación de la polea, sistema rieles soporte.....	241
Figura 3.40. Factor de seguridad, sistema rieles soporte.....	242
Figura 3.41. Disposición rodamientos lineales, eje guía, coordenada Y...	243
Figura 3.42. Disposición rodamientos - chumaceras, tornillo de potencia, eje Y.....	253
Figura 3.43. Mesa de trabajo.....	254
Figura 3.44. Perfil de aluminio disponible en el mercado.....	255
Figura 3.45. Estructura base, mesa de trabajo.....	256
Figura 3.46. Sujeción mesa de trabajo y estructura base.....	257
Figura 3.47. Estructura principal.....	258
Figura 3.48. Distribución de fuerzas y restricción de movimiento, estructura principal.....	260
Figura 3.49. Tensión de Von Mises, estructura principal.....	262
Figura 3.50. Deformación de la estructura principal.....	262
Figura 3.51. Factor de seguridad, estructura principal.....	263
Figura 3.52. Bridas de sujeción.....	264
Figura 3.53. Barreras de protección fija.....	265
Figura 3.54. Soportes para barreras de protección.....	266
Figura 3.55. Fuelles de protección.....	269
Figura 3.56. Transmisión de movimiento en sentido horizontal.....	271
Figura 3.57. Acople tipo mordaza Lovejoy.....	278
Figura 3.58. Panel de control con elementos de mando para la máquina fresadora CNC.....	286
Figura 3.59. Fusible e interruptor termomagnético.....	287
Figura 3.60. Rhinoceros – Autodesk Inventor.....	290
Figura 3.61. Software PyCAM.....	291
Figura 3.62. Software LinuxCNC.....	293

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Letras para códigos de programación en CNC.....	25
Tabla 2. Tipos básicos de fresas para madera.....	45
Tabla 3. Secuencia simple para controlar motores a pasos unipolares...	104
Tabla 4. Secuencia doble para controlar motores a pasos unipolares.....	104
Tabla 5. Secuencia medio paso para controlar motores a pasos unipolares.....	105
Tabla 6. Secuencia para controlar motores a pasos bipolares.....	107
Tabla 7. Presión específica de corte para fresado.....	142
Tabla 8. Parámetros del análisis de esfuerzos, estructura columnas soporte.....	205
Tabla 9. Parámetros del análisis de esfuerzos, sistema rieles soporte...	237
Tabla 10. Parámetros del análisis de esfuerzos, estructura principal.....	259
Tabla 11. Características de los fuelles de protección.....	270
Tabla 12. Características de los motores paso a paso seleccionados.....	276
Tabla 13. Especificaciones para los acoples Lovejoy tipo mordaza.....	278
Tabla 14. Características del variador de alta frecuencia con driver.....	280
Tabla 15. Características de la tarjeta de interface principal.....	281
Tabla 16. Características de los Drivers para los motores a pasos.....	283
Tabla 17. Características de fines de carrera para la máquina CNC.....	285
Tabla 18. Costos de materiales y elementos para la fresadora CNC.....	296
Tabla 19. Costo mano de obra para la fresadora CNC.....	300
Tabla 20. Cuadro comparativo, máquinas fresadoras CNC similares.....	301

## ÍNDICE DE PLANOS

- Plano 1. FRESADORA CNC (3 EJES)
- Plano 2. FRESADORA CNC (3 EJES) (Dimensiones Generales)
- Plano 3. FRESADORA CNC (3 EJES) (Sistema Mecánico)
- Plano 4. SISTEMA MECÁNICO EJE Z
- Plano 5. EJE Z – SISTEMA COLA DE MILANO
- Plano 6. SISTEMA MECÁNICO EJE X
- Plano 7. ESTRUCTURA COLUMNAS SOPORTE (Dimensiones Generales)
- Plano 8. SISTEMA MECÁNICO EJE Y
- Plano 9. ESTRUCTURA PRINCIPAL
- Plano 10. ESTRUCTURA PRINCIPAL (Dimensiones Generales)
- Plano 11. ESTRUCTURA PRINCIPAL (Estructura base - mesa de trabajo)
- Plano 12. ESTRUCTURA PRINCIPAL (Mesa de trabajo)



## INTRODUCCIÓN

La fresadora CNC es una máquina herramienta que realiza fundamentalmente procesos de fresado, en los que interviene como herramienta de corte la denominada fresa y es controlada por un sistema CNC o Control Numérico Computarizado que dirige de manera automática y coordinada los diferentes ejes de dicha máquina, logrando generar movimientos de mecanizado complejos y con una gran exactitud, obteniendo una alta eficiencia de producción en contraste a realizar los mismos procesos con las limitaciones de una máquina fresadora convencional o manual.

En el capítulo 1 se detallan los objetivos a lograr con el diseño de la máquina fresadora CNC, las especificaciones y requerimientos de la misma, se describen los prototipos de barcos, las máquinas CNC, las características y propiedades del material a mecanizar, los procesos con las herramientas utilizadas en el fresado y las normas o elementos de seguridad que se deben emplear al trabajar con este tipo de máquina.

Luego de establecer los objetivos y recopilar la información necesaria, en el capítulo 2 se describen las partes que van a formar la máquina fresadora CNC, las diferentes opciones de elementos que forman el sistema mecánico y el sistema de control.

En el capítulo 3 se realiza el diseño y la selección de las diferentes partes y dispositivos que forman la máquina fresadora CNC, se establecen los parámetros para dicho diseño, los materiales de los componentes, se realizan los cálculos o análisis (mediante elementos finitos) necesarios para las partes correspondientes y la selección de dispositivos de acuerdo a cálculos desarrollados para los mismos.

Una vez hecho el diseño de la fresadora CNC, en el capítulo 4 se determina el costo de todos los materiales y elementos necesarios para la construcción de dicha máquina, el costo de la mano de obra que interviene en la manufactura y ensamblaje de la misma, para luego realizar un análisis de rentabilidad, comparando las características y precio final de la máquina diseñada con otras máquinas similares disponibles en el mercado.

En el capítulo 5 se realizarán las respectivas conclusiones y recomendaciones del trabajo realizado con respecto al diseño final de la máquina fresadora CNC para mecanizar prototipos de barcos en madera.

# CAPÍTULO 1

## 1. ANÁLISIS DEL PROBLEMA E INFORMACIÓN GENERAL

Se pide diseñar una máquina fresadora CNC que pueda realizar la construcción de prototipos de barcos en madera de una forma fácil y precisa, a partir de un modelo en 3D desarrollado en un software tipo CAD.

### 1.1. Objetivos

#### 1.1.1. Objetivo general

Realizar el diseño de una máquina fresadora CNC para mecanizado de prototipos de barcos en madera, que sea sencilla, versátil, de fácil mantenimiento y sobre todo económica, sin descuidar la seguridad de la misma y del personal que la va a operar.

### 1.1.2. Objetivos específicos

- Definir el diseño de forma, dimensiones, movimientos principales, calcular fuerzas y seleccionar materiales de cada uno de los elementos que componen la máquina fresadora CNC.
- Analizar las condiciones de posible falla de cada uno de los elementos para realizar el respectivo diseño o selección de los mismos y evitar dichas fallas.
- Seleccionar los componentes de control adecuados para el fácil manejo y funcionamiento seguro de la máquina CNC, además de los respectivos software CAD y CAM que permitan llevar de un modelo 3D al lenguaje de construcción del mismo.
- Desarrollar un método de construcción de prototipos de barcos en madera más fácil, preciso y utilizando tecnología avanzada de mecanizado.
- Reafirmar y ampliar los conocimientos adquiridos en la carrera acerca del diseño de máquinas y procesos de mecanización.
- Satisfacer los requerimientos del usuario con respecto a las características funcionales de la máquina y contribuir con el desarrollo industrial del país.

## 1.2. Especificaciones y requerimientos

Se requiere poder mecanizar prototipos de barcos de máximo: 2000 mm de largo, 350 mm de ancho y 400 mm de altura.

El material a mecanizar es madera y se necesita que la máquina realice un proceso de desbaste rápido, obtener un buen acabado superficial y además cuente con bastante precisión en la forma y dimensiones finales, de acuerdo al modelo 3D elaborado.

Las partes del sistema mecánico de la máquina fresadora CNC deben ser de sencilla instalación y fácil mantenimiento, debe contar con una estructura robusta, que sea muy estable y no produzca vibraciones.

Los elementos del sistema de control deben permitir operar la máquina CNC de una manera fácil y segura, brindando al usuario total interacción con los parámetros de trabajo de la misma, además se debe de contar con un software de dibujo CAD y programación CAM, permitiendo la inspección y edición del respectivo código de mecanizado si fuera necesario.

La máquina necesita estar protegida contra condiciones ambientales críticas de temperatura y humedad, además contra condiciones externas como salpicaduras de aceites, polvo y residuos del material que se va a mecanizar.

Se requiere que la máquina fresadora CNC cuente con elementos de protección (para seguridad del operador) en contra del desprendimiento de viruta del material que está siendo mecanizado así como la posible rotura y expulsión (debido a los movimientos del proceso que realiza) de la herramienta de corte o de algún componente de la máquina misma.

Se pide que la apariencia final de la máquina CNC sea atractiva a la vista del usuario y cuente con la suficiente ergonomía, de acuerdo a las funciones u operaciones que va a realizar.

### **1.3. Prototipos de barcos**

Un prototipo es el primer ejemplar que se fabrica de un invento, un diseño, una figura u otra cosa a una escala menor de las medidas reales, que sirve de modelo para pruebas y análisis.

En la construcción de barcos los prototipos son de mucha importancia ya que permiten realizar una serie de pruebas que son necesarias para evaluar las características de diseño en condiciones reales y obtener un modelo final sin fallas para una posterior fabricación en dimensiones reales.

### **1.3.1. Modelo, molde y prototipo**

#### **Modelo:**

Un modelo es lo que va a servir como objeto de imitación, en la construcción naval un modelo proporciona una demostración práctica de diferentes pruebas de material, permite apreciar el funcionamiento de la pieza, nos permite visualizar volúmenes, sirve para hacer visibles parámetros físicos como medidas, color y textura, en resumen es el medio para hacer perceptible visualmente la solución de un posible problema de carácter físico, ver figura 1.1.



**FIGURA 1.1. MODELO DE BARCO A ESCALA**

**Molde:**

Un molde se define como un objeto hueco que da forma a la materia fundida que en él se vacía, utensilio que permite reproducir muchas formas todas iguales a sí mismo, en la construcción naval con materiales compuestos es una herramienta con forma de macho o hembra (o ambas) que permite realizar piezas todas iguales a sí mismo, también se lo denomina molde de producción, ver figura 1.2.





**FIGURA 1.2. MOLDE DE CASCO DE BARCO**

**Prototipo:**

Es el proceso de creación de una pieza a escala para someterla a pruebas antes de fabricarla en medidas reales, es muy importante para establecer parámetros de diseño, composición y producción, puede requerir múltiples ensayos antes de llegar al diseño final. En la construcción naval juega un papel muy importante para el paso del diseño a la elaboración en la realidad, ver figura 1.3.



**FIGURA 1.3. PROTOTIPO DE CASCO DE BARCO PARA PRUEBAS**

### **1.3.2. Materiales para prototipos de barcos**

Los prototipos generalmente no resisten esfuerzos más allá del peso propio por lo que a menudo se realizan en materiales económicos, fáciles de procesar y de bajo peso, como madera, yeso, espumas rígidas, materiales compuestos o metales ligeros.

En la construcción de embarcaciones a escala real, el material más utilizado es la madera, la elección de la misma se produce principalmente por factores económicos y de facilidad de manufactura, debido a que los modelos de barcos son piezas

de grandes dimensiones, formas complejas y se limita dicha fabricación con otro tipo de material.

Dicha madera deberá ser cuidadosamente seleccionada evitando posibles irregularidades como los nudos, debe poseer un bajo contenido de humedad para no tener posteriores alteraciones de la forma por efecto de la misma, deberá soportar las temperaturas a las cuales será sometido todo el conjunto por lo que el tipo de madera elegido es el contrachapado marino, debido a que en su proceso de fabricación se elimina casi toda la humedad y posee una estabilidad dimensional que generalmente no posee la madera en su constitución natural.

Un material que se utiliza en la construcción de prototipos es la espuma de poliuretano, posee facilidad de modelado y mecanizado, bajo peso, fácil manipulación, la corrección de defectos se realiza con facilidad y piezas de grandes dimensiones pueden ser construidas con rapidez, pero su producción y costo en el mercado es más caro que el de la madera.

Para la selección del material de prototipos de barcos se debe considerar dos factores muy importantes, la baja resistencia a la abrasión y una elevada resistencia a la compresión.

Los materiales más porosos como el yeso o el cemento se suelen utilizar para modelos que no posean acabados superficiales exigentes o cuando no se requiere excesiva exactitud de dimensiones.

También se utilizan materiales compuestos que poseen propiedades mejoradas para satisfacer las exigencias que tiene la construcción de barcos.

El número de prototipos que se desean obtener del mismo diseño es un factor importante a tener en consideración, la selección del material de realización de dicho prototipo está ligada al número a producir y la madera es una muy buena opción.

### **1.3.3. Aspectos de construcción a considerar**

Desde el punto de vista constructivo, siempre es más favorable trabajar con las condiciones adecuadas de sujeción,

iluminación, parámetros de corte, lijado, pulido y/o procesos de pintado.

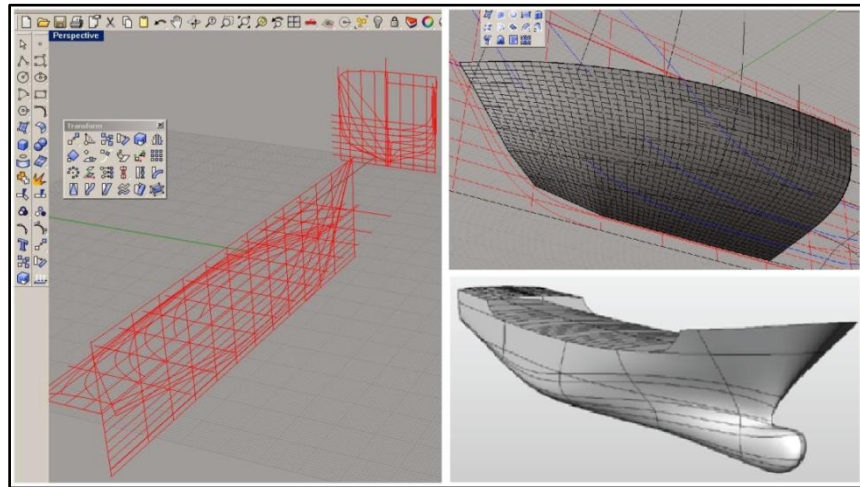
Existen una serie de aspectos muy importantes que se debe considerar en la construcción de un prototipo:

- Propiedades y características del material a utilizar
- Tolerancias respecto a medidas del prototipo.
- Necesidad de corrección de fallas.
- Modificaciones posteriores.
- Nivel de acabado superficial
- Limpieza previa a la construcción.

El acabado superficial dependerá de los requisitos de la pieza final, desde superficies clase A hasta piezas de acabado basto con posteriores procesos de pintado, existen un buen número de grados de refinamiento de las superficies de los modelos.

#### **1.3.4. Construcción de prototipos en máquinas CNC**

Como se muestra en la figura 1.4, La mayoría de diseños navales se realizan con modelado de superficies en 3D por lo que es muy factible utilizar el control numérico computarizado (CNC) para su construcción.



**FIGURA 1.4. MODELADO 3D DE BARCOS EN SOFTWARE DE DISEÑO NAVAL**

Las ventajas que ofrece la tecnología CNC son numerosas y atractivas, dentro del amplio abanico de posibilidades que nos ofrece, son dos los procedimientos más utilizados:

- Mecanizado del prototipo mediante CNC.
- Corte de secciones constructivas mediante CNC.

#### **Mecanizado de prototipos mediante CNC:**

El proceso de manufactura de un prototipo en CNC es laborioso y requiere de una cuidadosa selección de los materiales, herramientas y parámetros de operación que intervienen durante todo el proceso.

El primer paso es generar la forma del modelo mediante un software CAD de generación de superficies en 3D, luego se envía el archivo al taller de mecanizado donde se convierte mediante un software CAM a un lenguaje de programación para la máquina de construcción.

El siguiente paso es seleccionar el material en el que se construirá el modelo que puede ser madera, yeso, espumas rígidas, materiales compuestos o metales ligeros.

Se coloca y sujeta bien en la máquina CNC el material seleccionado y se procede a mecanizar con las herramientas y parámetros de corte adecuados.

Finalmente con el modelo ya construido se verifican las medidas, el acabado superficial y queda listo para posteriores procesos de preparación final de dicho prototipo, ver figura 1.5.



**FIGURA 1.5. MECANIZADO DE PROTOTIPO DE BARCO EN  
CNC**

**Corte de secciones constructivas mediante CNC:**

Con las líneas del prototipo (casco, cubierta, etc.) desarrolladas en 3D se pueden obtener las secciones de corte transversales del mismo utilizando técnicas de CAD.

El anidado consiste en distribuir las piezas (secciones) sobre planchas, por lo general de contrachapado marino, para un mejor aprovechamiento del material y la reducción del porcentaje de recorte.



En esta etapa se le pueden añadir a las plantillas todos los elementos que faciliten la identificación y el montaje posterior del modelo (líneas auxiliares, marcas de control, número de orden, número de componente, etc.).

El corte de estas secciones se produce generalmente por chorro de agua ya que los cortes de tipo térmico no son los más indicados para la madera.

La herramienta de corte en este proceso consiste en un chorro muy concentrado de agua, que puede incluir polvos de material abrasivo, y se lanza desde una tobera a una velocidad de dos veces y media la velocidad del sonido y una presión de varios miles de bares.

Para el montaje del modelo es necesario realizar también secciones longitudinales que se montan entrelazadas con las secciones transversales y definen las formas de la superficie del modelo.

La máquina de chorro de agua abrasivo utiliza un sistema de posicionamiento y corte por control numérico computarizado por lo que también se lo considera de tipo CNC.

#### **1.4. Máquinas CNC**

Se denomina máquina CNC a la que se opera por medio de control numérico computarizado, que utiliza un código de programación para construir una pieza determinada, dicho código puede ser realizado manualmente o generado mediante un software CAM a partir de un dibujo 3D de dicha pieza.

Como se muestra en la figura 1.6, generalmente son máquinas herramientas como el torno y la fresadora las que han sido automatizadas con este tipo de sistema.

##### **1.4.1. Características y funcionamiento**

###### **Características:**

- Alto grado de calidad gracias a la precisión, repetitividad (producción en serie) y ausencia de variaciones debido a operaciones de tipo manual.

- Desperdicios reducidos y son menos probables los errores por interrupciones u otros factores que suelen ocurrir en máquinas de tipo convencional.
- Inspección simplificada, una vez que la inspección a la primera pieza, se requiere una inspección mínima en las piezas subsecuentes.
- Menores costos de producción y gasto de herramientas gracias a la menor necesidad de montajes, reparaciones complejas y al reducido tiempo de servicio.
- Las operaciones de fabricación complejas que debe de hacer la máquina, se realizan con mucha facilidad, debido al sistema de control avanzado de la misma.

**Funcionamiento:**

Para maquinar una pieza se utiliza un sistema de coordenadas que especificarán el movimiento de la herramienta de corte, el sistema se basa en el control de los movimientos de dicha herramienta de trabajo con relación a los ejes de coordenadas de la máquina, usando un código de programación ejecutado desde una computadora.

En el torno se controla los movimientos de la herramienta en dos ejes de coordenadas: el eje de las X para los desplazamientos laterales del carro y el eje de las Z para los desplazamientos transversales de la torre.

En la fresadora se controlan tres ejes de desplazamientos un vertical, que corresponden al eje Z y dos ejes horizontales que corresponden a los ejes X e Y respectivamente.

Para lograr esto se incorporan motores eléctricos en los mecanismos de desplazamiento de cada eje de la máquina correspondiente y dependiendo de la capacidad de dicha máquina, puede tener más de tres ejes.



**FIGURA 1.6. FRESADORA Y TORNO CNC**

### **1.4.2. Control numérico computarizado (CNC)**

CNC es el control de una máquina usando números y letras, utiliza un sistema en el cual los valores numéricos programados son directamente insertados y almacenados en un medio de entrada, para automáticamente ser leídos y decodificados provocando el movimiento correspondiente en la máquina que se está controlando.

#### **1.4.2.1. Fabricación asistida por computadora (CAM)**

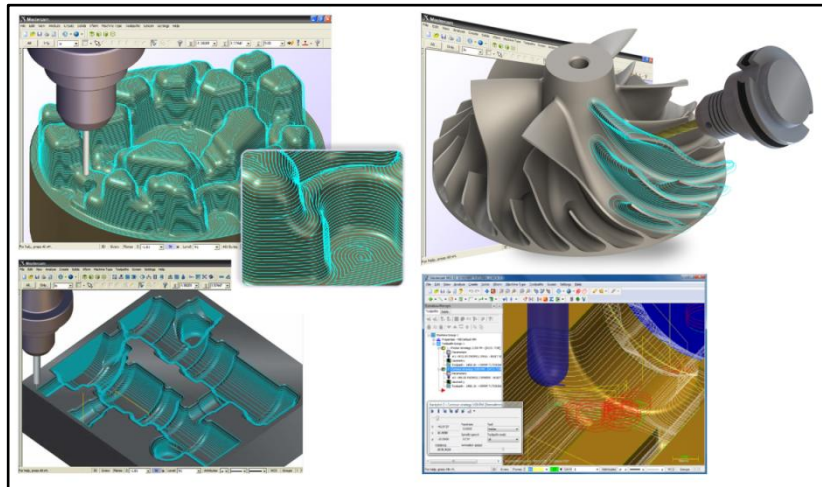
El término CAM (Computer Aided Manufacturing / Fabricación Asistida por Computadora) agrupa las aplicaciones encargadas de traducir las especificaciones de diseño de una pieza en 3D originadas a través de un software CAD a otras especificaciones de construcción, ver figura 1.7.

Una vez que el modelo geométrico en 3D se encuentra en el sistema CAM, es necesario definir la zona que se quiere mecanizar, los procesos que se van a seguir y con qué herramienta se va a realizar.

La zona a mecanizar se suele acotar con un paralelepípedo o un prisma cuando es necesario, fuera de esta zona la geometría será ignorada, por lo que en principio no será mecanizado, esto es muy útil para delimitar las zonas según la herramienta a utilizar, para definir desbastes y acabados o para mecanizado de pequeños detalles en zonas específicas.

Los sistemas CAM disponen de utilidades y herramientas que permiten optimizar los mecanizados de desbaste, realizar verificaciones de trayectoria de herramienta sobre el modelo 3D para evitar colisiones o asignar automáticamente las zonas de mecanizado para evitar la generación de trayectorias sobre zonas de vacío y minimizar el tiempo de mecanizado del mismo.

Al final el software CAM genera un código de programación que contiene todos los procesos y parámetros de operación necesarios para que la máquina construya el modelo 3D ingresado.



**FIGURA 1.7. SOFTWARE CAM**

#### **1.4.2.2. Códigos y programación en CNC**

El código de programación que se utiliza en CNC es también conocido como código “G” ya que dentro de dicha programación la mayoría de parámetros importantes como el sistema de medidas o los procesos de mecanizado a realizar se designan con dicha letra.

Los sistemas de unidades son las unidades de medición que se usan en un programa CNC, todas las máquinas entienden las unidades métricas (milímetros, mm) y las inglesas (pulgadas, "). Es necesario indicarle a la máquina CNC que unidades se están utilizando, normalmente al

inicio de un programa CNC se coloca G70 que especifica pulgadas o G71 que especifica milímetros.

Luego se coloca el modo de entrada que se refiere al tipo de coordenada a utilizar, existen dos tipos:

- Entrada Absoluta, que es el código G90, especifica la distancia desde el origen o punto cero del programa y es el más común.
- Entrada Incremental, designada por el código G91, especifica las distancias y direcciones usando el punto previo como nuevo origen.

Para poder seguir un formato de programación dentro del código G existen letras que designan parámetros o funciones específicas.



**TABLA 1.**  
**LETRAS PARA CÓDIGOS DE PROGRAMACIÓN EN**  
**CNC**

<b>N</b>	Número de secuencia
<b>G</b>	Funciones preparatorias
<b>X</b>	Comando del eje X
<b>Y</b>	Comando del eje Y
<b>Z</b>	Comando del eje Z
<b>R</b>	Radio desde el centro especificado
<b>A</b>	Ángulo contra los punteros del reloj desde el vector +X
<b>I</b>	Desplazamiento del centro del arco del eje X
<b>J</b>	Desplazamiento del centro del arco del eje Y
<b>K</b>	Desplazamiento del centro del arco del eje Z
<b>F</b>	Tasa de alimentación
<b>S</b>	Velocidad de giro
<b>T</b>	Número de la herramienta
<b>M</b>	Función miscelánea

**Números de secuencia:**

El número de secuencia, también llamado código N, es el número de identificación del bloque (línea) en un programa CNC, la palabra de código común utilizada comienza con N y normalmente tiene un rango N1 hasta N9999, por ejemplo N5, N10, N15, etc. Su principal beneficio es permitir la búsqueda fácil en programas largos y la capacidad de volver a hacer partir un programa en casi cualquier número de línea.

### **Funciones preparatorias:**

Las funciones preparatorias son los códigos G, son indicados por la letra G y un número de 2 dígitos, estos códigos son las funciones más importantes en programación CNC debido a que dirigen el sistema CNC para el procesamiento de los datos de coordenadas en una manera particular, son casi estandarizados en la industria.

Los códigos G usados comúnmente son:

**G00:** El código transversal rápido, se utiliza para mover los ejes rápidamente entre los cortes, cambios de herramienta, etc.

**G01:** El código de interpolación lineal, se usa para desbastar material mediante el movimiento de los ejes en direcciones rectas a lo largo o a través del material, se deben especificar la velocidad del mandril, la partida del mandril y la tasa de alimentación antes de ejecutar este código.

**G02:** La interpolación circular en el sentido de las manecillas del reloj, es utilizada para eliminar material mediante el movimiento de los ejes en direcciones

circulares a lo largo o a través del material, también se deben especificar la velocidad del mandril, la partida del mandril y la tasa de alimentación antes de ejecutar este código.

**G03:** La interpolación circular en contra de las manecillas del reloj, es usada para eliminar material mediante el movimiento de los ejes en direcciones circulares a lo largo o a través del material, igual se deben especificar la velocidad del mandril, la partida del mandril y la tasa de alimentación antes de ejecutar este código.

Existe una lista completa de códigos G con su función específica aunque no son del todo estándar ya que es posible que existan códigos específicos para una máquina en particular.

#### **Funciones misceláneas:**

El código M se usa para funciones misceláneas tales como el control del líquido enfriador, conexión y dirección del mandril, rebobinado, y fin del programa, van desde M00 a M99, son asignados por el constructor de la máquina, pero existen algunos que están estandarizados.

Entre los códigos M comúnmente usados se tiene:

**M02:** Fin del programa.

**M03:** Comienzo de la rotación del mandril en el sentido de las manecillas del reloj.

**M04:** Comienzo de la rotación del mandril en el sentido contrario a las manecillas del reloj.

**M07:** Inicio del aporte de rocío enfriador.

**M08:** Inicio del flujo del enfriador.

También existe una lista completa de códigos M con su función específica dentro de la programación CNC.

### **Ciclos especiales:**

Los ciclos especiales son secuencias preprogramadas de movimientos repetitivos de la herramienta, que están dentro del sistema de control para operaciones comunes como taladrado, golpe, ampliado y envoltura, su propósito es reducir la cantidad de códigos del programa que normalmente se deberían escribir, estos ciclos son códigos G especiales en CNC.

**El Ciclo de Taladrado (G81):** Se utiliza para taladrar múltiples agujeros sin programar cada movimiento por separado.

**El Ciclo de Encarado (G77):** Se usa para desbastar material (ubicado en la parte superior de la pieza) que puede estar ubicado dentro de un área rectangular.

**El Ciclo de Envoltura Rectangular (G78):** Se usa para desbastar material ubicado dentro de un área rectangular.

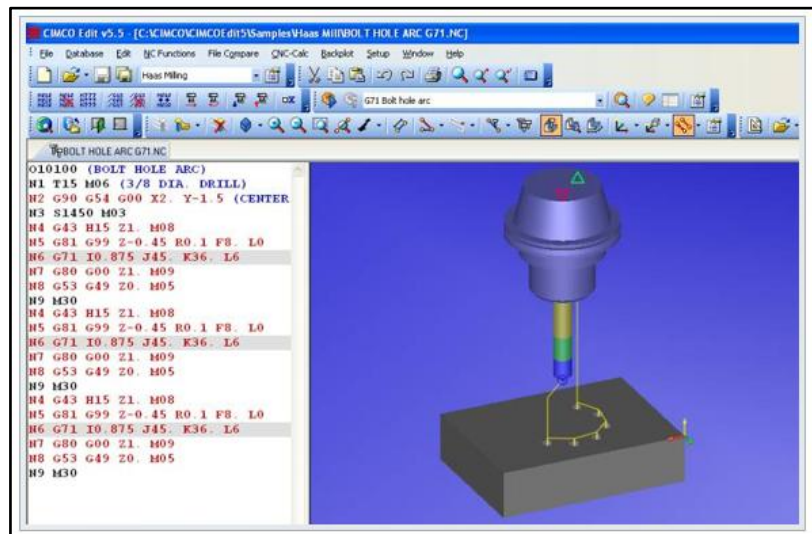
#### **Códigos especiales:**

Se usan para realizar funciones en los controles de la CNC y aumentan la capacidad de los programadores para escribir programas inteligentes, estos códigos se pueden ajustar pero existen algunos estandarizados.

Finalmente aprendidos la mayoría de códigos y el formato de escritura en CNC se deben tener ciertas consideraciones de programación:

- Desarrollar un estilo de programación que pueda ser leído y usado por todos los programadores de la misma clase.

- Poder leer los programas para buscar errores tipográficos antes de enviarlos a la máquina.
- Realizar programas sencillos para las funciones deseadas.
- Elegir procesos y velocidades que tengan un balance entre la vida de la herramienta y ciclos cortos de tiempo de mecanizado.
- Usar la experiencia previa y la de otros para elegir procesos, velocidades y profundidad de corte, pero no hacer suposiciones.
- Lograr la optimización del ciclo de tiempo produciendo piezas en serie dimensionalmente aceptables.
- Un ciclo de tiempo completamente optimizado produce el mayor número de piezas terminadas por día y por tanto la mayor eficiencia de la máquina CNC.



**FIGURA 1.8. CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN EN CNC**

### 1.5. Características de la madera

La madera es una materia prima de origen vegetal, se encuentra bajo la corteza de los troncos y ramas de los árboles.

Es uno de los primeros y más utilizados materiales para construcción, debido a sus características naturales:

- Es un recurso abundante y además renovable.
- Se trabaja con facilidad.
- Es ligera (flota en el agua).
- Aísla bien el frío, calor y ruido.

- Es agradable a los sentidos (tacto, vista y olfato).
- Está formada por fibras y sustancias que le proporcionan rigidez y dureza, también posee materiales que son de mucha utilidad en procesos varios como resina, almidón, taninos, etc.

### **Partes de la madera:**

Si se da un corte transversal al tronco de un árbol, como se observa en la figura 1.9, distinguimos las siguientes partes, de dentro hacia fuera:

**Médula o duramen:** Formada por células muertas que están muy lignificadas, su aspecto es seco y duro.

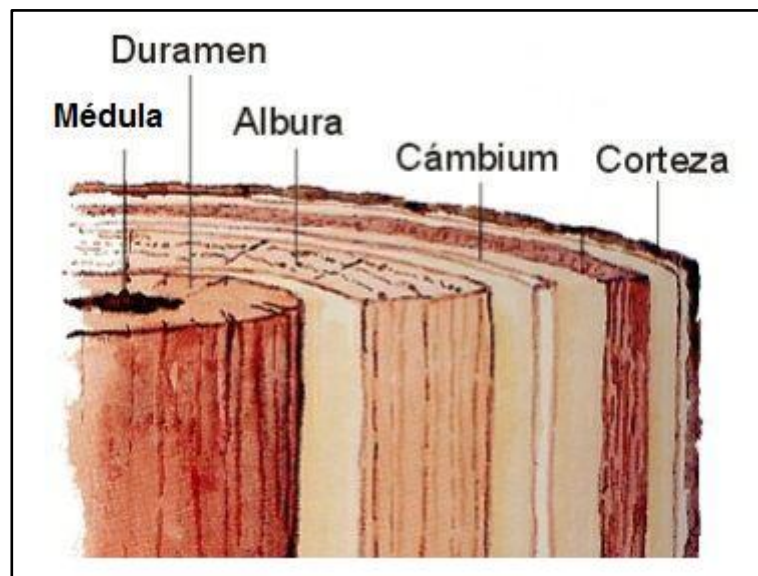
**Albura o leño:** De aspecto blanquecino, formada por células vivas en su parte exterior y es el responsable del transporte de la savia bruta desde la raíz del árbol hasta las diferentes partes del mismo, durante el crecimiento del árbol, sus células interiores mueren y pasan a engrosar el duramen.

**Cambium:** Capa de células vivas entre la albura y la corteza interna, durante su crecimiento da lugar a la formación de la albura y a nuevas células de la corteza interna.



**Corteza interna:** Es por donde circula la savia elaborada; está formada por células que poco a poco se desplazan al exterior formando la corteza externa, también se denomina floema o líber

**Corteza externa:** Formada por una capa de células muertas, protege al árbol contra la rudeza del tiempo y del ataque de insectos o parásitos.



**FIGURA 1.9. PARTES DEL TRONCO DE UN ÁRBOL**

La parte que interesa del tronco es el duramen (leño viejo del árbol en torno al centro, que es más seco y rígido), junto con la albura (leño joven del árbol, en torno al duramen, que contiene todavía células vivas que transportan agua y nutrientes).

**Propiedades varias de la madera:**

Según el tipo de madera, edad del árbol, zona climática, las propiedades varían de unos a otros, pero de manera general, las maderas presentan las siguientes propiedades:

**Baja densidad:** Suelen ser menos densas que el agua (por eso flotan).

**Conductividad térmica y eléctrica baja:** La madera es un excelente aislante térmico y las maderas ricas en agua son mejores conductores eléctricos que las secas.

**Resistencia mecánica:** A la tracción, compresión, flexión, cortadura y desgaste, es muy resistente a estirarse y comprimirse (aunque la mitad de resistente que a estirarse).

**Hendibilidad:** Es la facilidad con que se abren las fibras de la madera en sentido longitudinal, hienden menos las maderas duras, secas, resinosas y con nudos, la madera hendible es poco apta para el clavado y para realizar encajes, si el secado es brusco la madera tiende a abrirse.

**Retractabilidad o contracción:** Pérdida de volumen al perder parte del agua.

**Humedad:** Cantidad de agua que contiene la madera en su estructura, está relacionada con su peso y afecta a otras

propiedades físicas y mecánicas, ésta se debe reducir para obtener una madera útil, desde un punto de vista técnico.

**Dureza:** Es la resistencia que ofrece al corte y aumenta con la densidad.

**Flexibilidad:** Característica de las maderas jóvenes, verdes y blandas, que permiten ser dobladas sin romperse.

**Propiedades estéticas:** Color, veteado, olor, textura, etc.

#### **Clasificación según su dureza:**

Es la clasificación más común:

**Maderas blandas:** Cuyos árboles tienen hoja perenne, son resinosos. Ejemplo: pino, ciprés, abeto, cedro, etc. Son maderas ligeras, de crecimiento rápido, de color claro, nudos pequeños, fáciles de trabajar y de bajo costo. Se emplean para trabajos en los que no se necesita gran solidez, (400 a 500 kg/m<sup>3</sup>).

**Maderas duras:** Cuyos árboles tienen hoja caduca. Ejemplo: roble, castaño, nogal, olmo, caoba. Es una madera compacta, poca resina y escasos nudos, amplia gama de colores, mayor densidad, crecimiento lento, más difíciles de trabajar, de mayor calidad y precio. Se emplean en trabajos de ebanistería, muebles más

compactos, instrumentos musicales, interiores de barco, andamios de obra, etc. (700 a 1400 kg/m<sup>3</sup>).

### **1.6. Propiedades mecánicas de la madera**

La orientación de las fibras que componen la madera da lugar a la variedad de su estructura, por lo que a la hora de definir sus propiedades mecánicas hay que distinguir siempre entre la dirección perpendicular y la dirección paralela a la fibra, es en este hecho que radica la principal diferencia de comportamiento frente a otros materiales, las resistencias y módulos de elasticidad en la dirección paralela a la fibra son mucho más elevados que en la dirección perpendicular.

Los árboles están diseñados por naturaleza para resistir con eficacia los esfuerzos a los que va a estar sometido en su vida, principalmente son esfuerzos de flexión, producidos por la acción del viento u otros factores ambientales y los de compresión, producidos por las acciones gravitatorias de su peso al crecer.

En la madera como material se han realizado muchos estudios e investigaciones mediante ensayos realizados sobre probetas pequeñas libres de daños o madera limpia, pero también hay que

considerar que piezas de gran tamaño pueden tener numerosos defectos o particularidades como nudos, gemas, etc. Por lo que los mejores valores para diseño son los obtenidos para madera estructural.

Entre las características más significativas de las propiedades mecánicas de la madera tipo estructural se tiene:

**Tracción paralela a la fibra:**

La resistencia a la tracción paralela a la fibra es elevada, los valores característicos oscilan entre 8 y 18 N/mm<sup>2</sup>.

**Compresión paralela a la fibra:**

Su resistencia a compresión paralela a la fibra es elevada, alcanzando valores característicos en la madera de 16 a 23 N/mm<sup>2</sup>. Un valor bajo del módulo de elasticidad reduce en la práctica la resistencia a la compresión en piezas esbeltas.

**Flexión:**

La resistencia a la flexión es muy elevada comparada con su densidad, sus valores característicos varían entre 14 y 30 N/mm<sup>2</sup>.

**Tracción perpendicular a la fibra:**

La resistencia a la tracción perpendicular a la fibra es muy baja y va de 30 a 70 veces menos que en la dirección paralela, su valor característico es de 0,3 a 0,4 N/mm<sup>2</sup>.

**Compresión perpendicular a la fibra:**

Su resistencia a compresión perpendicular a la fibra es muy inferior a la de la dirección paralela, los valores característicos varían entre 4,3 y 5,7 N/mm<sup>2</sup>, lo que representa la cuarta parte de la resistencia en dirección paralela a la fibra.

**Cortante:**

El esfuerzo cortante origina tensiones tangenciales que actúan sobre las fibras de la madera de diversos modos, en las piezas sometidas a flexión y a cortante, las tensiones que intervienen son conjuntamente las de cortadura y deslizamiento y sus valores característicos (por deslizamiento) varían entre 1,7 y 3,0 N/mm<sup>2</sup> en las especies más utilizadas habitualmente.

El valor de la resistencia por rodadura es del orden del 20 al 30% de la resistencia por deslizamiento.

**Módulo de elasticidad:**

En la madera, debido a su anisotropía, el módulo de elasticidad en dirección paralela a la fibra adopta valores diferentes según se trate de compresión o de tracción, en la práctica se utiliza un único valor del módulo de elasticidad para la dirección paralela a la fibra, su valor varía entre 7.000 y 12.000 N/mm<sup>2</sup> dependiendo de la calidad de la madera. En la dirección perpendicular a la fibra se toma, análogamente, un único módulo de elasticidad, cuyo valor es 30 veces inferior al paralelo a la fibra.

**Módulo de cortante:**

En la madera también existe un módulo de cortante ligado a los esfuerzos cortantes, su valor es 16 veces inferior al módulo de elasticidad paralelo a la fibra.

**1.7. Maquinabilidad de la madera**

La maquinabilidad es una propiedad de los materiales que permite comparar la facilidad con que pueden ser mecanizados por arranque de viruta, la dureza y la resistencia se consideran como los principales factores a evaluar para dicha propiedad.

El criterio para establecer que un material es más maquinable que otro contiene muchos factores: la potencia requerida, la forma de la viruta, el acabado superficial, etc. El más usado es el de desgaste de la herramienta de corte, un material tiene mejor maquinabilidad cuando desgasta poco dicha herramienta.

En el caso de la madera presenta una dureza y resistencia mucho menores que las de otros tipos de materiales como metales, plásticos, etc. Por lo que tiene una elevada maquinabilidad, además puede trabajarse con herramientas típicas de carpintería, cortar en cualquier sentido, cepillar, perforar, calar y atornillar sin problema.

#### **1.7.1. Acabado superficial en la madera**

El acabado superficial es un proceso cuya finalidad es obtener una superficie con características adecuadas para alguna aplicación en particular, por cosmética del producto o en algunos casos puede tener la finalidad adicional de lograr que se obtenga las especificaciones dimensionales finales.

En general si se usan las herramientas correctas junto con los parámetros de corte adecuados y por sus propiedades, la



madera va a obtener un muy buen acabado superficial con dimensiones finales exactas.

En procesos de mecanización un buen acabado superficial se logra con velocidades de giro (RPM) altas de la herramienta de corte en conjunto con una profundidad de corte y velocidad de avance bajas.

En la madera luego de realizar el acabado final en máquina se utilizan ciertos tipos de productos de aplicación exterior para realzar las características superficiales de la misma, por ejemplo: barnices, aceites, ceras, etc.

### **1.8. Descripción del proceso de fresado en madera**

Se pueden considerar que la madera funciona mecánicamente como un sólido elástico, homogéneo, que obedece a las leyes de la resistencia de materiales y que, dentro de ciertos límites de calidad y variabilidad es un material confiable para realizar un proceso de fresado, ver figura 1.10.

Una fresadora es una máquina rotativa en la que se coloca una herramienta de corte llamada fresa y debido al movimiento giratorio

de la misma en conjunto al movimiento longitudinal que le da la máquina, va haciendo el respectivo labrado en el material base hasta dejarlo con la forma y dimensiones de la pieza final.

Las fresadoras manuales se alimentan teniendo en cuenta los defectos de forma y calidad de la madera, la dirección de la fibra y guiando las piezas sobre la mesa de forma conveniente a los fines del trabajo a realizar.

Las máquinas automáticas se alimentan teniendo en cuenta el proceso a desarrollar y los parámetros de la máquina.

En máquinas CNC las piezas se colocan de acuerdo al origen de inicio del proceso a realizar, actuando la sujeción del material que se dispone adecuadamente considerando: caras maestras, sentido de la veta, orientación de los nudos y dimensiones, a fin de obtener el resultado requerido.

Para fresar maderas blandas y aglomerados, bastará una potencia de unos 500 W (0.67 HP), para fresar maderas duras será necesaria una potencia a partir de unos 800 W a 1400 W (1.07 HP a 1.88 HP).

Es importante tener una regulación de la velocidad o al menos contar con varias velocidades de trabajo, con el fin de que se adapte al tipo y dureza de madera con la que se esté trabajando, generalmente para maderas la velocidad oscila entre 8000 RPM hasta 22000 RPM dependiendo si la madera es dura o blanda.



**FIGURA 1.10. FRESADO DE MADERA**

### **1.9. Herramientas utilizadas en el fresado de madera**



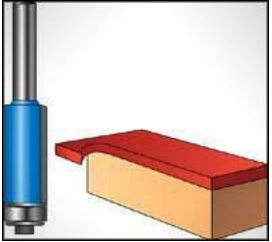
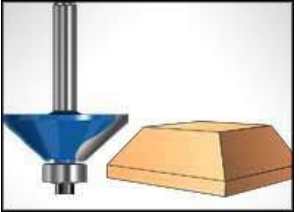
Dentro del campo de la manufactura de madera existen diversos tipos de herramientas y equipos que se utilizan para el tallado de la misma, son utilizadas comúnmente en carpintería, para el proceso de fresado de madera la herramienta de corte utilizada se denomina fresa.


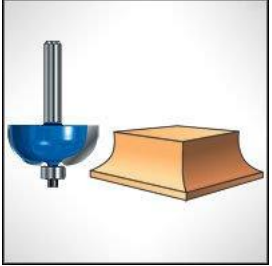


Las fresas tienen en su periferia o cara frontal dientes en forma de cuchillas de dos o más filos, además poseen un mango o cuerpo principal con la longitud y diámetro necesarios para su sujeción, además soporta la fuerza de corte que se ejerce en el proceso de fresado, la ventaja de esta herramienta es que no se calienta mucho ni se desafilan rápidamente debido a que cada cuchilla está cortando en una fracción del tiempo que dura su revolución y durante el resto del tiempo sale y se vuelve a enfriar.

Las fresas para madera son herramientas muy versátiles, debido a la infinidad de posibilidades que presta para hacer diferentes tipos de trabajos con el simple recambio de una fresa a otra, así como el uso de diferentes guías y accesorios que facilitan dicha labor.

Para el fresado en madera existen muchísimos tipos de fresas según su forma y tamaño.

**TABLA 2.**  
**TIPOS BÁSICOS DE FRESAS PARA MADERA**

Nombre	Descripción	Esquema
El cortador o broca recta	Es de las más comunes, se usa mayormente para hacer cortes rectos del tipo ranura, dado o para vaciar el área de una mortaja o caja.	
El cortador de ensamble	Produce un corte recto horizontal y vertical, está diseñado específicamente para cortar una ranura en el borde del material.	
El perfilador	Es guiado por un rodamiento que tiene el mismo tamaño que el radio de corte, se utiliza para recortar el borde de un material al ras del borde de otro material.	
Bisel o chaflán	Producen un corte en bisel a un ángulo determinado, a menudo se utilizan para decorar el borde de la madera y también para crear uniones biseladas.	

Redondeadora	Se utiliza para dar un acabado redondo en el borde de la madera en la que se trabaja, es muy útil para redondear y crear acabados decorativos.	
Cortador curvo	Es la imagen invertida de la fresa para redondeo, en lugar de crear un perfil redondo, corta un perfil cóncavo, viene en varios tamaños de radio de corte y se puede conseguir con vástago guía o rodamiento.	
Cola de milano	Se utiliza con frecuencia en combinación con una plantilla para producir con rapidez y precisión las juntas de cola de milano muy utilizados para los ensambles de cajoneras y otros decorativos	
Ranurador	También llamado disco Ranurador, se utiliza, para hacer ranuras a lo largo en piezas de madera, técnica muy útil para el ensamble de piezas.	

### **1.10. Seguridad al operar máquinas herramientas**

El principal riesgo al operar máquinas herramientas es el conjunto de factores físicos que pueden dar lugar a una lesión por la acción mecánica de los elementos de la máquina, también herramientas, piezas a trabajar o materiales proyectados, sólidos o fluidos. Las formas más comunes del peligro mecánico son principalmente: aplastamiento, cizallamiento, corte, enganche, atrapamiento o arrastre, impacto, perforación, fricción o abrasión y disparo de sólidos o fluidos.

Existen algunos tópicos de seguridad que deben cumplirse para protección del operador en cuanto al estado de las máquinas herramientas que maneja:

- Los interruptores y demás mandos de puesta en marcha de las máquinas, se deben asegurar para que no sean accionados involuntariamente, las arrancadas involuntarias producen muchos accidentes.
- Comprobar que las protecciones exteriores se encuentran en buen estado y en su respectivo sitio, especialmente cuando se accione la herramienta de corte.

- Facilitar instrucciones al operador sobre el manejo seguro de las máquinas, seguir el manual de instrucciones.
- Para realizar mantenimiento, ajuste, desbloqueo, revisión o reparación de los equipos de trabajo que puedan suponer un peligro para la seguridad del operador se realizarán tras haber parado o desconectado dichos equipos, además hay que tomar las medidas necesarias para evitar la puesta en marcha o conexión accidental mientras esté efectuándose las operaciones descritas.
- Cuidar el orden y la limpieza de la zona de trabajo, máquinas, herramientas, utillaje y accesorios.



**FIGURA 1.11. PROTECCIÓN EN MÁQUINAS  
HERRAMIENTAS**



### **1.10.1. Protección personal del operador:**

Como se muestra en la figura 1.12, al igual que para las máquinas herramientas, el operador tiene implementos de protección personal y normas de seguridad que debe cumplir para evitar accidentes en el trabajo:

- La ropa de trabajo deberá estar bien ajustada, las mangas deben llevarse ceñidas a la muñeca, con elásticos en vez de botones, o arremangadas hacia adentro, se puede utilizar mandil u overol dependiendo del caso.
- Es muy peligroso trabajar en la fresadora llevando anillos, relojes, pulseras, cadenas al cuello, bufandas, corbatas o cualquier prenda que cuelgue, también deben recogerse el cabello bajo un gorro o alguna prenda similar.
- Usar los equipos de protección individual necesarios para cada tarea: casco, guantes, gafas, tapones, botas, etc.
- Mantener las manos alejadas de las herramientas, no sujetar las piezas con la mano sino mecánicamente.
- Las virutas producidas durante el mecanizado nunca tienen que retirarse con la mano, ya que se pueden

producir cortes y pinchazos, se deben retirar con la ayuda de un cepillo o brocha adecuados.



**FIGURA 1.12. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL**

#### **1.10.2. Previo a comenzar el trabajo:**

Antes de comenzar cualquier trabajo en máquinas herramientas, hay que tomar en cuenta que se cumplan ciertos requisitos:

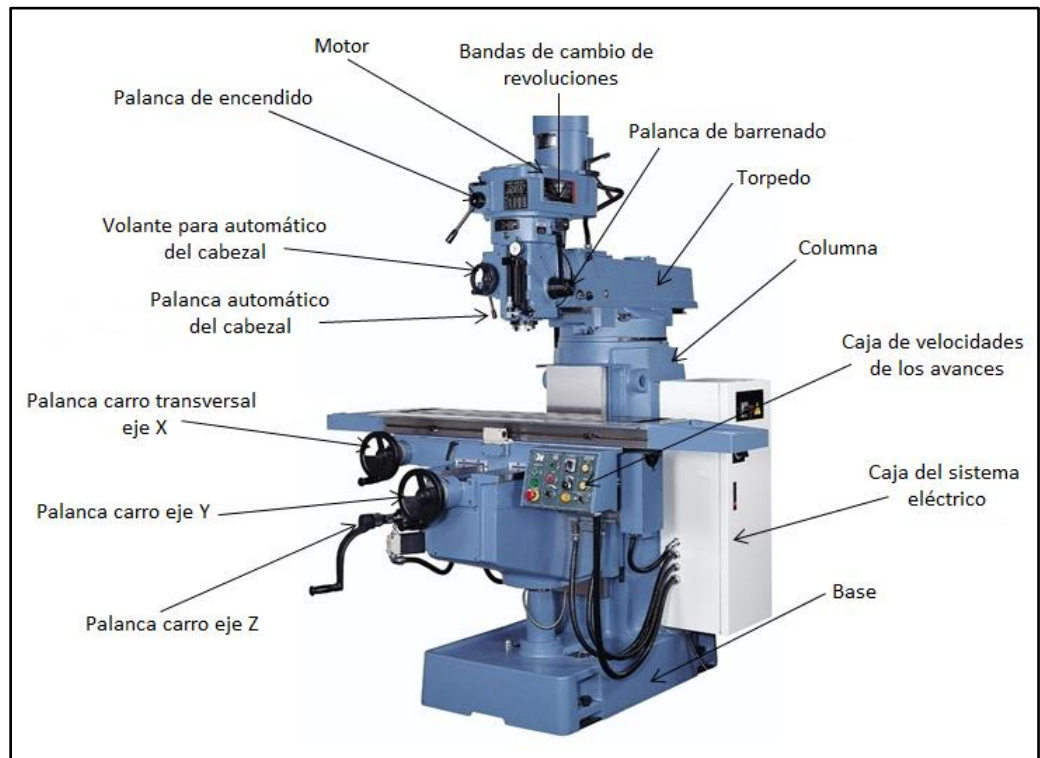
- Sujetar bien el material base, medir y calibrar la pieza a trabajar.
- Comprobar la herramienta de corte a utilizar y la sujeción de la misma, verificar los procesos y parámetros de corte a utilizar.
- Limpiar y engrasar las partes de la máquina que lo necesiten.
- Dirigir la boquilla del chorro de líquido refrigerante hacia la herramienta de corte.

# CAPÍTULO 2

## 2. ANÁLISIS DE OPCIONES PARA EL DISEÑO DE FORMA

### 2.1. Descripción de las partes que forman la máquina fresadora CNC

Las fresadoras CNC son muy similares a las fresadoras convencionales (ver figura 2.1) y poseen las mismas partes móviles como la mesa de trabajo, el cabezal de corte, el husillo y los carros de desplazamiento lateral y transversal, aunque no presentan palancas ni volantes para accionar dichas partes móviles, sino una pantalla en un panel de controles y una caja metálica donde se alojan los componentes eléctricos y electrónicos que regulan el funcionamiento de motores destinados a efectuar el mismo trabajo que hacían las palancas y volantes de las máquinas convencionales.



**FIGURA 2.1. PARTES DE UNA FRESADORA CONVENCIONAL**

Uno de los componentes principales de la máquina es el CNC, que es una computadora responsable de los movimientos de la fresadora a través de un software de control, la combinación de electrónica y motores o servomotores de accionamiento es capaz de lograr todas las operaciones de fresado posibles por más complejas que sean.

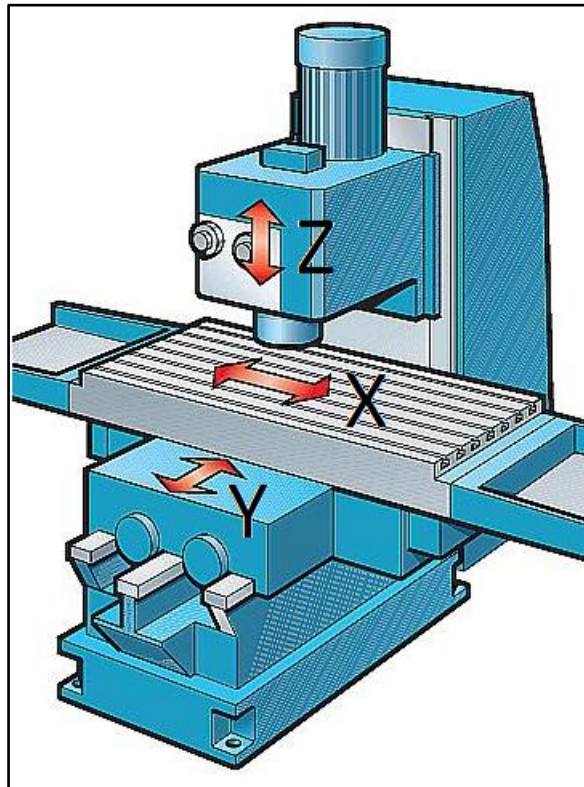
El control de los movimientos que ejerce una fresadora CNC, son los mismos realizados en una fresadora convencional:

**Eje X:** horizontal y paralelo a la superficie de sujeción de la pieza, se asocia con el movimiento en el plano horizontal a lo largo de la mesa de trabajo.

**Eje Y:** forma un triedro con los ejes X y Z, se asocia con el movimiento en el plano horizontal transversal de la mesa de trabajo.

**Eje Z:** es en donde va montada la herramienta de trabajo, por lo que posee la potencia de corte y puede adoptar distintas posiciones, se asocia con el desplazamiento vertical del cabezal de la máquina.

Si la fresadora posee una mesa de trabajo fija, los desplazamientos de los ejes son ejecutados por el cabezal.

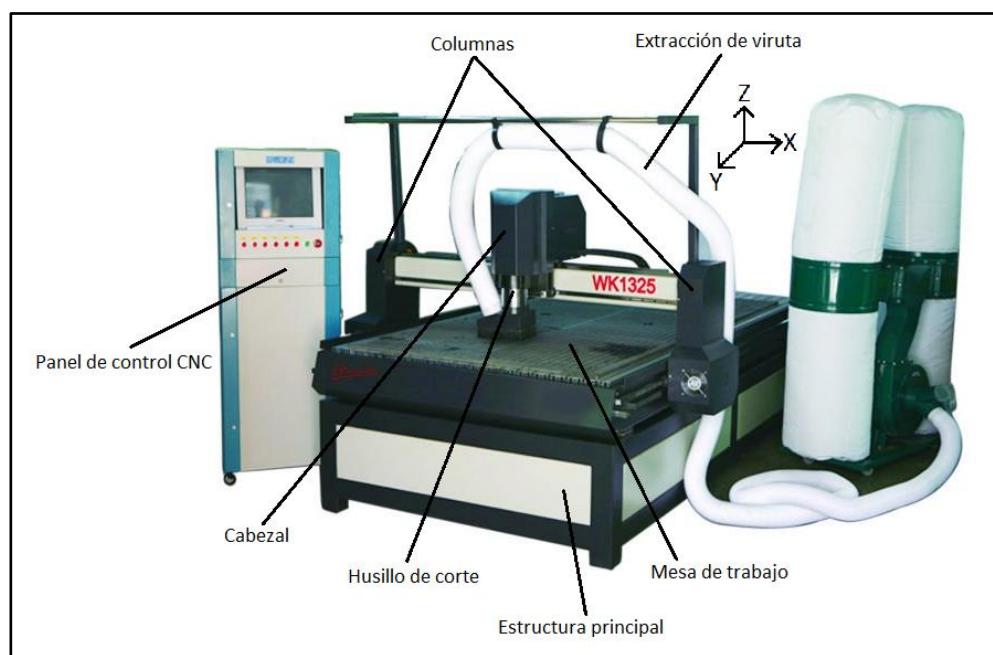


**FIGURA 2.2. EJES BÁSICOS DE UNA FRESADORA**

Como se muestra en la figura 2.3, una máquina fresadora CNC, de tres ejes y con mesa de trabajo fija posee los siguientes elementos básicos:

- Estructura principal
- Mesa de trabajo
- Columnas
- Cabezal

- Husillo de corte
- Panel de control CNC
- X, Y, Z – Ejes de desplazamiento
- Extracción de viruta



**FIGURA 2.3. PARTES DE UNA FRESADORA CNC CON MESA DE TRABAJO FIJA**

## 2.2. Sistema mecánico

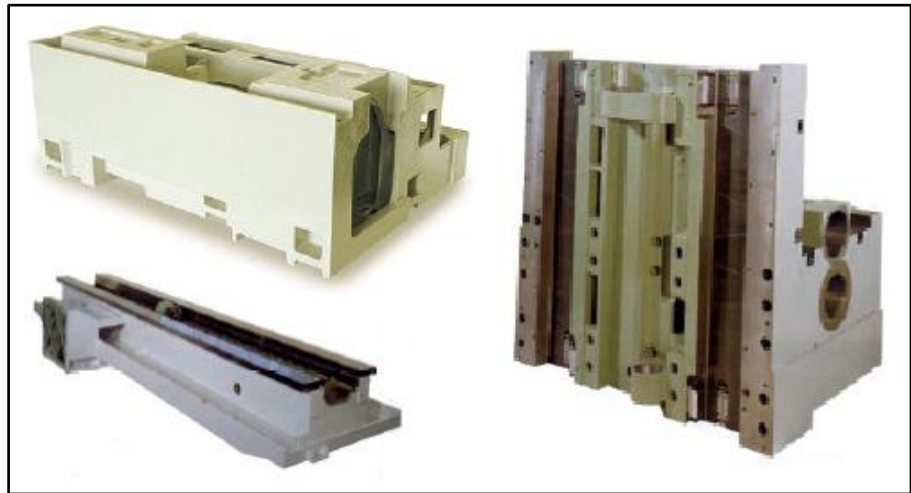
Son todas las piezas o partes mecánicas de la máquina, que integran su estructura y accionamiento.



### **2.2.1. Estructura principal y mesa de trabajo**

La estructura principal es la base que soporta toda la máquina por lo que tiene que cumplir ciertas características que brinden a las demás partes de dicha máquina el espacio y seguridad suficientes al realizar algún movimiento para un trabajo o proceso específico, debe ser robusta, no muy pesada pero contar con la inercia necesaria para soportar las fuerzas ejercidas por todos los demás elementos al ponerse en operación, no generar vibraciones y poseer las dimensiones adecuadas según el tamaño de las piezas acopladas a la misma y funciones principales a ejecutar.

Por lo general este tipo de estructura base se funde en una sola pieza de fundición gris en arena, también se construyen de chapas de acero soldadas, se realizan diseños muy sobredimensionados con respecto a las fuerzas que deben soportar y presentan agujeros, alojamientos, huecos, etc. Que permiten el montaje de otros elementos de la máquina o conducciones eléctricas, ver figura 2.4.



**FIGURA 2.4. ESTRUCTURAS BASES CONSTRUIDAS EN  
FUNDICIÓN GRIS**

Sobre esta estructura va a estar asentada la mesa de trabajo en la que se fija el material base para ser mecanizado por lo que tiene que soportar las fuerzas de corte y posibles vibraciones que se generan en el proceso.

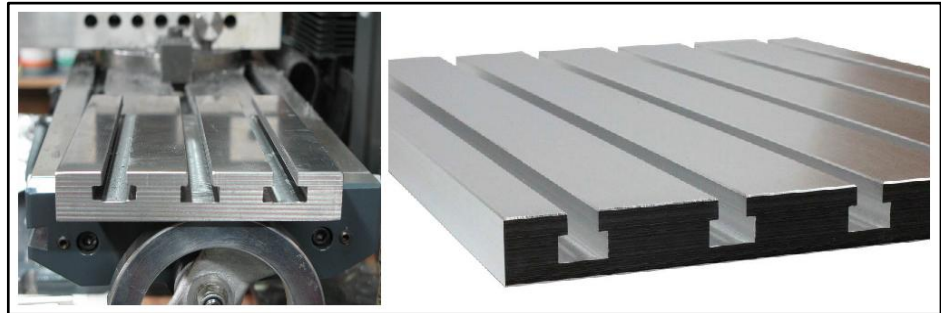
Otra forma de construir este tipo de estructuras es mediante perfiles de acero soldados, designados de tal forma que cumplan con los requerimientos descritos anteriormente para estas bases, ver figura 2.5.



**FIGURA 2.5. ESTRUCTURA BASE A PARTIR DE PERFILES DE ACERO SOLDADOS**

Las mesas de trabajo son las encargadas de alojar el material base en el cual se realizará el proceso de mecanizado, su forma y dimensiones depende de su aplicación y las características del material que va a soportar.

Las mesas más comunes en máquinas fresadoras son las ranuradas, ya que por esos canales se pueden colocar tornillos y herramientas para sujetar el material de trabajo con mucha mayor facilidad y seguridad, ver figura 2.6.



**FIGURA 2.6. MESA DE TRABAJO RANURADA**

### **2.2.2. Husillo y herramienta de corte**

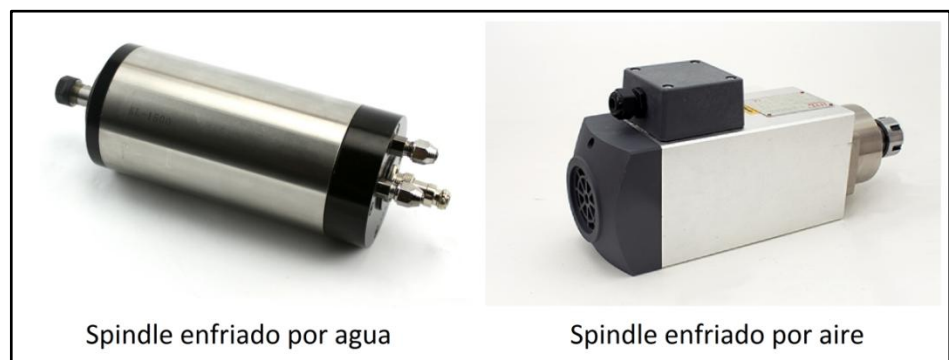
Se denomina husillo al motor o Spindle que da la potencia y revoluciones (RPM) a la herramienta de corte y le proporciona la fuerza de giro necesaria para realizar el desbaste del material que se quiere trabajar, las características y especificaciones de dicho motor dependen del proceso de mecanizado a efectuar, el tipo de herramienta a utilizar y características del material que se va a cortar, ver figura 2.7.

El Spindle puede ser bifásico o trifásico y debe ser enfriado por aire o por agua, que es lo que le permite trabajar continuamente durante mayor tiempo, utiliza un driver (variador de frecuencia) que le proporciona un determinado nivel de voltaje por medio de una señal PWM (Pulse Width Modulation) modulación por ancho de pulso, esta frecuencia es proporcionada por una interface de puerto paralelo o USB al software de control,

también se asigna otro pin del puerto paralelo para el sentido de giro, es decir que podrá girar en sentido horario o anti horario.

Se le puede asignar diferentes velocidades de trabajo debido a que cada material se comporta diferente al ser cortado y se requerirá una velocidad determinada (RPM) de la herramienta de corte así como una velocidad de avance de la misma, e inclusive una velocidad de bajada para iniciar un corte sin vibraciones.

El rango de velocidad puede llegar hasta los 60,000 RPM y algunos poseen una entrada analógica que permiten operarlos manualmente.



**FIGURA 2.7. SPINDLES PARA FRESADO**

Las herramientas de corte que se van a utilizar en la máquina CNC son las empleadas para el fresado de madera y que están especificadas en la sección 1.9 del proyecto, la forma y dimensiones de las mismas van a depender del proceso que se quiera realizar.

### **2.2.3. Sistema de intercambio de herramienta de corte**

Una de las ventajas al utilizar fresas para madera es que por su gran variedad nos brindan bastantes alternativas para hacer distintos trabajos, todo esto gracias al fácil intercambio de un tipo de fresa a otra, existen varios sistemas para el intercambio de dichas herramientas que van desde métodos manuales hasta los más complejos programables y automatizados.

Entre los sistemas de intercambio de herramienta más comunes que se encuentra en máquinas CNC se tiene los siguientes:

#### **Sistema de intercambio rápido de herramienta:**

Como se observa en la figura 2.8, En el sistema de intercambio manual se utilizan piezas en forma de cono que se acoplan entre sí y un tornillo que ajusta todo y asegura la sujeción, todas las partes se disponen de tal forma que se pueden cambiar con

facilidad, es un sistema muy útil y con un tiempo de operación relativamente corto.



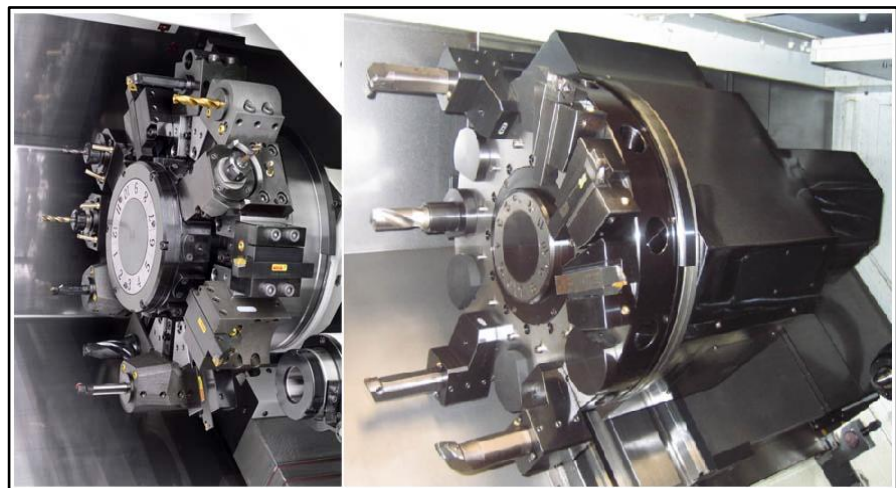
**FIGURA 2.8. SISTEMA DE INTERCAMBIO RÁPIDO DE HERRAMIENTA**

**Sistema de intercambio con tambor rotatorio:**

Este sistema es un cambiador de herramientas automatizado que se acciona por una leva mecánica que ofrece una combinación de movimientos giratorios y lineales necesarios para hacer dicho intercambio, todo el mecanismo realiza la extracción de la herramienta junto con el cono de sujeción, el cambio a la nueva herramienta e inserción de la misma en el husillo de corte, ver figura 2.9.

El tambor rotatorio puede poseer herramientas fijas que al requerir un cambio gira hasta posicionar la nueva herramienta y todo el conjunto realizar el movimiento de corte o puede funcionar como un almacén giratorio que se mueve para insertar la nueva herramienta en un husillo específico y luego regresar a su posición original.

Dicho sistema puede poseer de 10 a 40 herramientas al mismo tiempo en su tambor y se utiliza en máquinas que realizan procesos múltiples de manera continua por lo que requieren bastantes cambios de herramientas en un mismo trabajo.



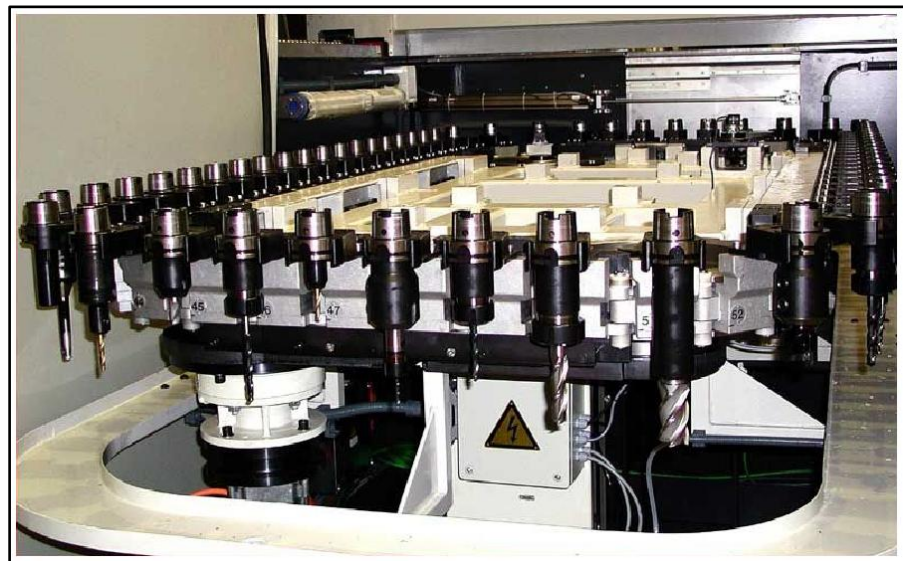
**FIGURA 2.9. SISTEMA DE INTERCAMBIO CON TAMBOR ROTATORIO**



**Sistema de intercambio con almacén lineal:**

Este sistema contiene una serie de herramientas almacenadas en forma lineal y está equipado con un soporte de sujeción junto con una estación de extracción para dichas herramientas, es accionado por un cilindro neumático y un engranaje reductor planetario, permite la posibilidad de aumentar el número de herramientas almacenadas en el mismo, ver figura 2.10.

Este tipo de sistema de intercambio de herramienta se utiliza en grandes procesos de producción.



**FIGURA 2.10. SISTEMA DE INTERCAMBIO CON ALMACÉN  
LINEAL**

#### **2.2.4. Sistema de transmisión de potencia**

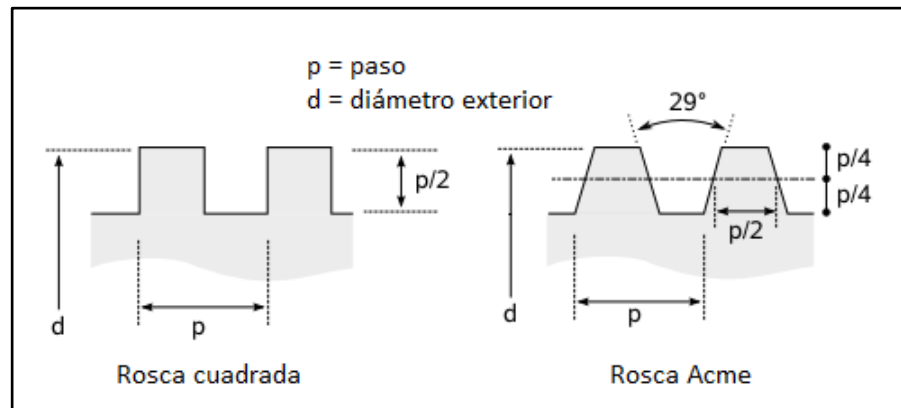
En máquinas fresadoras CNC los sistemas de transmisión de potencia más utilizados son el de tornillo de potencia, husillo de bolas y piñón – cremallera.

##### **Tornillo de potencia:**

Es el elemento más común utilizado en máquinas herramientas para realizar los movimientos principales de traslación en cada eje de las mismas, permite transformar un movimiento de rotación en un movimiento rectilíneo con el objeto de transmitir fuerza o potencia.

Trabaja con un roce elevado, por lo que la eficiencia, el desgaste, el calentamiento y la resistencia mecánica son consideraciones importantes para su diseño.

Como se muestra en la figura 2.11, los tipos de rosca que se utilizan frecuentemente en tornillos de potencia son la cuadrada y la ACME.



**FIGURA 2.11. TIPOS DE ROSCAS COMUNES EN  
TORNILLOS DE POTENCIA**

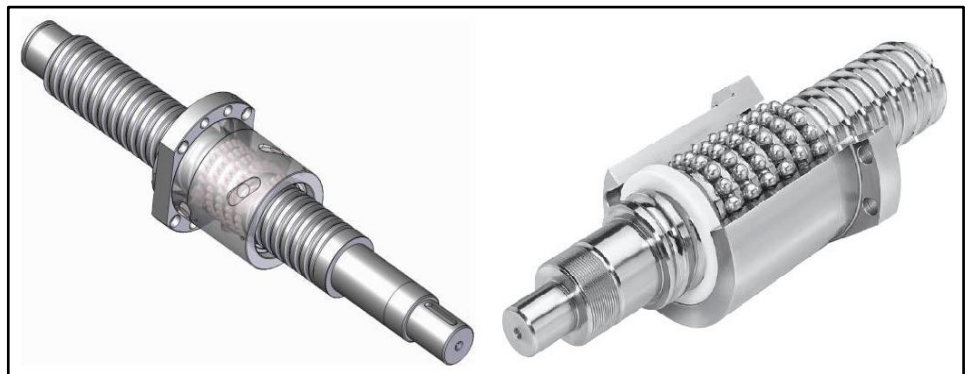
La rosca cuadrada posee un mayor rendimiento pero se prefiere utilizar la rosca ACME que con un ángulo de  $29^\circ$  brinda un buen ajuste y además está normalizada, por lo que es de fácil construcción.



**FIGURA 2.12. TORNILLOS DE POTENCIA**

**Husillo de bolas:**

El husillo de bolas es un tornillo de potencia que ha mejorado considerablemente su eficiencia de funcionamiento al cambiar su diseño de forma, utiliza un camino de rodadura helicoidal sobre el cual se mueven unos rodamientos de bolas que actúan como un tornillo de precisión por lo que su par torsión motriz requerido equivale solamente a un tercio que el necesario en un husillo deslizante convencional, ahorra bastante energía de accionamiento y no sólo puede convertir el movimiento de rotación en un movimiento lineal, sino que también puede convertir el movimiento lineal en movimiento de rotación, ver figura 2.13.

**FIGURA 2.13. HUSILLOS DE BOLAS**

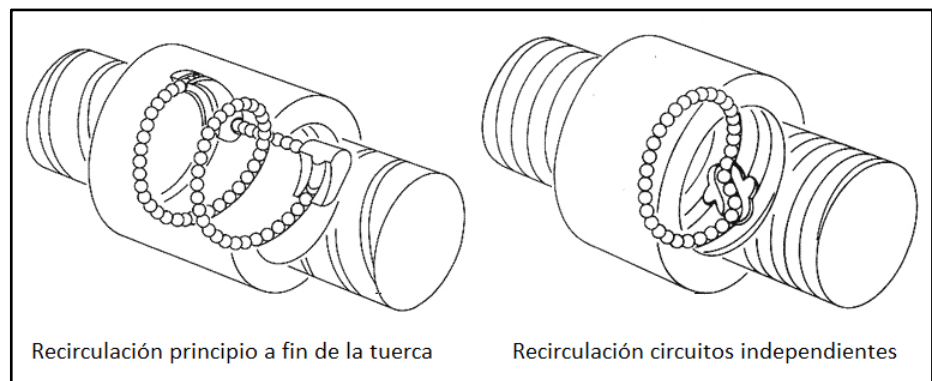
Aunque es perjudicial para la reducción de la fricción, los husillos de bola pueden operar con cierta precarga, así se elimina la holgura entre la entrada (rotación) y la salida (movimiento lineal) de los mismos, esta característica es muy importante cuando trabajan en sistemas con desplazamientos controlados, como en máquinas herramientas CNC y aplicaciones de alta precisión de movimientos.

Las bolas de rodamiento ruedan sobre el eje desplazándose hacia los extremos, pasan entre la rosca del tornillo y la rosca de la tuerca pero se encuentran encerradas dentro de la carcasa de dicha tuerca, para que el movimiento pueda ser continuo las bolas tienen que realizar un circuito cerrado por lo que debe existir un conducto que permita la recirculación de las mismas de principio a fin y viceversa.

Existen dos formas de recirculación:

Las bolas pueden recorrer todas las vueltas desde el principio al fin de la tuerca, saliendo por un extremo y volviendo por el otro a través de un conducto que puede estar mecanizado dentro de dicha tuerca o ser un tubo en el exterior de la misma, también se puede formar varios circuitos independientes donde las bolas

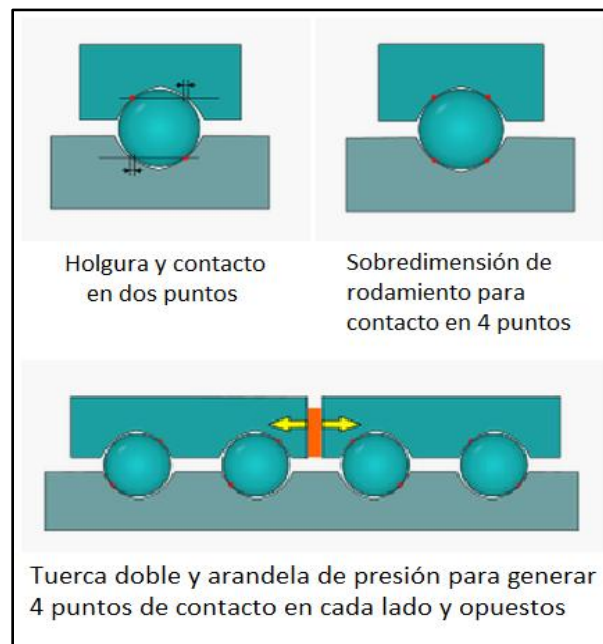
no recorren la totalidad de la tuerca sino solo una parte de los surcos, creando múltiples caminos, este sistema se utiliza cuando se van a aplicar altas cargas, ver figura 2.14.



**FIGURA 2.14. TIPOS DE RECIRCULACIÓN EN HUSILLOS DE BOLAS**

Como se observa en la figura 2.15, el perfil de la pista de rodadura no es circular sino que tiene forma de arco gótico, es decir dos arcos circulares con el mismo radio pero con distinto centro, lo que se produce una holgura y el contacto se da en dos puntos, en lados opuestos en el eje y en la tuerca, comúnmente existen dos formas para evitar la holgura, una es sobredimensionar ligeramente el rodamiento respecto al surco, lo cual genera una pequeña deformación que produce cuatro puntos de contacto, dos en la tuerca y dos en el eje, la otra

forma es aplicando tuercas dobles y haciendo que los puntos de contacto de una tuerca sean opuestos a los de la otra debido a la presión que ejerce una arandela sobre ambas.



**FIGURA 2.15. GEOMETRÍA DEL HUSILLO DE BOLAS**

Los husillos de bolas permiten altas velocidades de desplazamiento con una alta precisión y cargas variables, además la baja fricción que existe en estos sistemas se traduce en una alta eficiencia mecánica en comparación con otras alternativas, los husillos de bolas comunes pueden alcanzar una

eficiencia del 90%, en comparación con el 50% de un husillo ACME de igual tamaño, también la falta de fricción por el deslizamiento entre la tuerca y el tornillo permite una larga vida útil del conjunto del husillo.

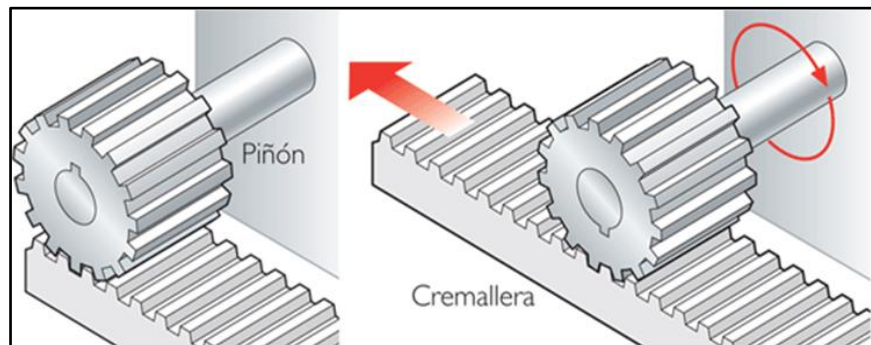
### **Piñón – cremallera:**

Este sistema transforma el movimiento giratorio de un eje, en el que va montado un piñón, en movimiento rectilíneo, al engranar los dientes de dicho piñón con los dientes de una barra prismática o cremallera que se desplaza longitudinalmente, los dientes de ambos pueden ser rectos o helicoidales, ver figura 2.16.

A la cremallera se la considera como una rueda dentada de diámetro primitivo infinito, para que el engrane sea posible y el piñón pueda deslizarse sobre la misma los dos deben poseer el mismo módulo.

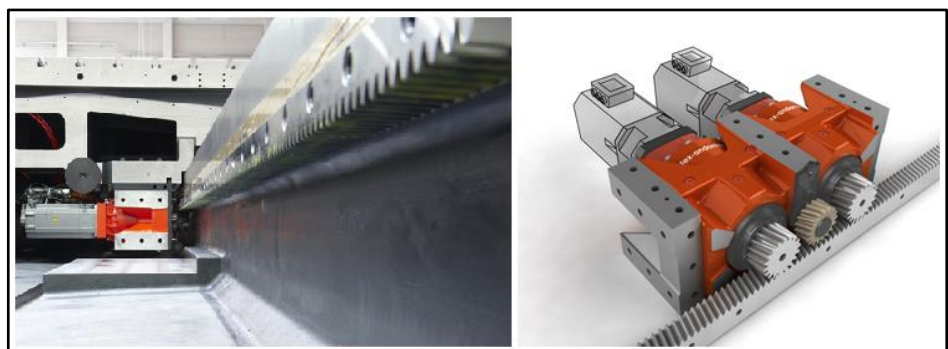
Este tipo de mecanismo es reversible, puede funcionar aplicando un movimiento de giro al piñón que es transmitido a la cremallera desplazándose en forma lineal, o viceversa.





**FIGURA 2.16. SISTEMA PIÑÓN – CREMALLERA**

Este tipo de sistema se utiliza en máquinas CNC cuando sobrepasan los 5000 mm de longitud por la facilidad de construcción del mismo, aunque es necesario colocar dos sistemas iguales a cada lado de la estructura para tener continuidad del movimiento, lo que encarece emplear dicho mecanismo, puede alcanzar velocidades hasta cinco veces mayores a las de los husillos y tienen una lubricación sencilla.



**FIGURA 2.17. SISTEMA PIÑÓN – CREMALLERA PARA MÁQUINAS CNC**

### **2.2.5. Sistema de guías**

En máquinas CNC se utilizan algunos tipos de guías que sirven de apoyo al sistema de transmisión de potencia para soportar las fuerzas generadas por el peso de las partes acopladas a ellos y del proceso de corte o movimientos propios de dicha máquina.

Los principales sistemas de guías usados en este tipo de máquinas son los ejes guías y sistemas especiales de guiado.

#### **Ejes guías:**

Los ejes guías son elementos que brindan soporte y dirección a lo largo de la trayectoria en la que son colocados, tienen un área transversal redonda y pueden ser macizos o huecos (tubos), cuando se tiene que soportar cargas muy grandes se utilizan ejes macizos por su alta resistencia en cambio si las cargas son ligeras y las dimensiones de la máquina son reducidas se utilizan ejes huecos, ver figura 2.18.

Estos ejes guías trabajan en conjunto con otros elementos que permiten el desplazamiento de los respectivos carros de cada eje a lo largo de dichas guías, estos elementos deben generar

la menor fricción posible debido al roce y evitar así el desgaste de los mismos, los más comunes son los bocines y rodamientos lineales.



**FIGURA 2.18. SISTEMA DE EJES GUÍAS**

**Bocines:** se los puede considerar como pequeños cilindros que permiten el deslizamiento de estructuras móviles a través de los ejes guías, un factor muy importante a considerar es la fricción que se produce por el contacto al deslizarse por las guías y por lo que generalmente se construyen de bronce y hierro fundido que son materiales con un bajo nivel de fricción, también se utilizan algunos tipos de aceros especiales que han sido creados con una alta resistencia a la abrasión, adicionalmente

es fundamental que el sistema se encuentre siempre lubricado, ver figura 2.19.



**FIGURA 2.19. BOCINES DE BRONCE, HIERRO FUNDIDO Y ACERO**

**Rodamientos lineales:** son elementos de rodadura para movimientos de traslación, con este tipo de rodamientos el eje guía se encuentra en contacto directo con los rulimanes que se deslizan a través del mismo produciendo el desplazamiento lineal y razón por la cual tienen una alta eficiencia de funcionamiento, ver figura 2.20.

Los rulimanes se encuentran colocados de tal forma que recirculan en un canal cerrado dentro del mismo rodamiento produciendo así el movimiento lineal requerido, el nivel de

fricción que se produce es muy bajo, además son elementos de fácil montaje y calibración.



**FIGURA 2.20. RODAMIENTOS LINEALES**

#### **Sistemas especiales de guiado:**

Este tipo de sistemas utilizan rodamientos especiales que reducen al mínimo la fricción y hacen mucho más eficiente el trabajo de desplazamiento de las diferentes partes o carros acoplados a ellos, en su interior se encuentran rodillos que circulan por canales de rodadura rectificadas brindando un alto deslizamiento y precisión, además estas guías especiales se adaptan a cualquier tipo de movimiento lineal, ver figura 2.21.



**FIGURA 2.21. GUÍAS ESPECIALES**

### **2.2.6. Sistema de sujeción del material base**

Los sistemas de sujeción mantienen el material base de trabajo firmemente en la posición correcta, hacen más estables y eficaces las diferentes operaciones a realizar, además debido a que estos sistemas sostienen los materiales a trabajar mantienen las manos retiradas de las herramientas o partes de la máquina en operación y esto incrementa la seguridad y eficiencia.

Entre los sistemas de sujeción más comunes en máquinas fresadoras están la prensa universal, el plato volteador o divisor y las bridas.

**Prensa universal:**

Como se muestra en la figura 2.22, es un sistema de sujeción de piezas muy seguro, está compuesto por una base o cuerpo que se fija a la mesa de trabajo por medio de pernos, una mordaza estacionaria en contra de la cual se coloca el material a mecanizar, que forma parte de la misma base y una mordaza móvil con mecanismo de tornillo sin fin que al apretar es empujada por dicho tornillo sujetando la pieza base a utilizar.

En la actualidad las prensas universales tienen una variedad de formas que van desde simples modelos con estaciones sencillas hasta diseños muy elaborados con estaciones múltiples.



**FIGURA 2.22. TIPOS DE PRENSAS UNIVERSALES**

**Plato volteador o divisor:**

El plato divisor es un accesorio especial de la fresadora que permite hacer divisiones de trayectoria circular y sujetar el material a trabajar, proporciona un movimiento adicional giratorio a parte de los movimientos longitudinales y verticales dados por la misma máquina, ver figura 2.23.

Con este tipo de accesorio es posible fresar radios, ranuras circulares y secciones circulares que serían difíciles de realizar por otros medios, además se pueden ejecutar con facilidad los procesos de taladrado y mandrinado de perforaciones definidas mediante mediciones angulares, así como otras operaciones de intercambio circular.

Es muy preciso y versátil, se fija a la mesa de trabajo de la fresadora mediante pernos y sujeta la pieza en uno de sus extremos, bien sea en la copa universal, entre copa - punta o entre puntas.





**FIGURA 2.23. PLATOS VOLTEADORES O DIVISORES**

**Bridas:**

Son plaquitas planas o acodadas, con cavidades que permiten el ingreso de un tornillo que en conjunto con una tuerca realizan la respectiva fijación del material a la mesa de trabajo, en general la forma de estas bridas dependen de las necesidades particulares de la sujeción, este tipo de atadura es vertical y requiere de accesorios de apoyo en aplicaciones especiales, se utilizan en materiales que por su forma y gran tamaño no pueden ser sujetadas por prensas o mordazas, ver figura 2.24.

También existen bridas con formas curvas que tienen la ventaja de no doblarse y permiten la sujeción de piezas con diferentes alturas sin variar la del apoyo en el otro extremo.

Cuando la pieza que se va a fijar ya ha sido mecanizada se utilizan plaquitas de metal blando, entre la brida y la superficie de dicha pieza, con el fin de evitar que por la presión ejercida se quede marcada esa parte ya trabajada.



**FIGURA 2.24. SISTEMA DE SUJECIÓN CON BRIDAS**

### 2.2.7. Sistema de extracción de viruta y protección

#### **Sistema de extracción de viruta:**

En máquinas que realizan procesos de remoción de material es muy importante la recolección del polvo y virutas producidas por las mismas, en la manufactura de madera, es muy importante el sistema de extracción de viruta para que el aire dentro y fuera del espacio donde se encuentra dicha máquina se mantenga limpio, evitando así perjuicios en la salud de los operadores, además se eleva la seguridad y previenen accidentes, se reduce el desgaste de las partes expuestas, de herramientas de trabajo y se mantienen libres las áreas de trabajo ocupadas por dichos residuos.

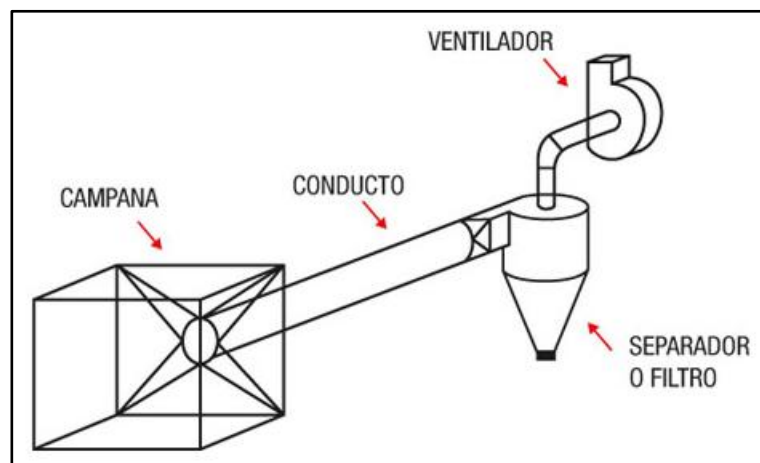
Como se observa en la figura 2.25, todo sistema de extracción consta de las siguientes partes:

**Campana (entrada):** es una especie de cajón de absorción que puede ser de forma cilíndrica, cuadrada o de embudo, tiene diferentes tamaños que depende del área máxima que se desee alcanzar absorber.

**Conducto:** tubería por la cual se desplazan los residuos y aire succionados.

**Filtro:** equipo en el que se realiza la separación de la viruta del aire que han sido absorbidos juntos inicialmente, la viruta recolectada se la almacena para su posterior reciclaje o eliminación.

**Ventilador (salida):** es el encargado de generar la potencia de succión de todo el sistema de extracción y de expulsar al exterior el aire ya filtrado.



**FIGURA 2.25. PARTES DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN**

Entre los sistemas de extracción de viruta más utilizados en la manufactura de madera para máquinas individuales tiene los sistemas de extracción portátiles y el sistema de extracción localizada.

**Sistemas de extracción portátiles:**

Son sistemas portables o móviles que constan de un equipo transportable que se traslada al sitio donde se encuentra la máquina generalmente aislada, se utilizan principalmente en espacios de trabajo pequeños.



**FIGURA 2.26. SISTEMAS DE EXTRACCIÓN PORTÁTILES**

**Sistema de extracción localizada:**

Es el sistema más eficiente para recoger los residuos de viruta, consiste en realizar la absorción lo más cercano posible al origen de desprendimiento de la misma, se evita extraer grandes cantidades de aire e impide que las partículas de

madera se extiendan por todo el espacio de trabajo, existen dos formas de extracción localizada:

- **Sistema de bajo vacío:**

Son sistemas de baja velocidad (0.5 m/s – 5 m/s), pero de gran volumen de absorción (700 m<sup>3</sup>/h – 1200 m<sup>3</sup>/h), están especializados en la recolección de polvos livianos como el aserrín.

- **Sistema de alto vacío:**

Trabaja a altas velocidades (25 m/s – 90 m/s), pero con bajo volumen de absorción (100 m<sup>3</sup>/h – 250 m<sup>3</sup>/h), se utilizan para recoger polvos o partículas más pesadas de viruta, ver figura 2.27.



**FIGURA 2.27. SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE ALTO VACÍO**

#### **Sistema de protección:**

Todos los equipos y herramientas que posean partes móviles y estén expuestos deben tener una protección que impida el contacto físico de un operador o cualquier otro individuo con dicho elemento y así evitar un accidente.

Los dispositivos de protección son variados, el uso de sensores que suspenden el movimiento del equipo al identificar cuerpos extraños que obstruyen el paso y evitar el aplastamiento o amputación, dispositivos de accionamiento de emergencia, como una palanca o un botón que se encuentre en un lugar de

rápido acceso (proximidad de la máquina) y se pueda accionarlo con facilidad.

El tipo de operación, el tamaño o forma del material, el método de manipulación, el lugar del área de trabajo y las exigencias o limitaciones de producción ayudarán a definir el dispositivo de protección apropiado. Se debe elegir la protección más eficaz y práctica disponible.

Entre los elementos de protección más comunes están las barreras de protección.

### **Barreras de protección:**

**Protección fija:** Es un elemento permanente en la máquina, son simples, requieren un mantenimiento mínimo, pueden construirse en chapa metálica, tejido de alambre, barras, plástico o cualquier material resistente a soportar impactos y uso prolongado. Las desventajas son que pueden interferir en la visibilidad, y al realizar el ajuste o mantenimiento de la máquina requieren su remoción.





**FIGURA 2.28. PROTECCIÓN FIJA**

**Protección ajustable:** Son aquellos que otorgan flexibilidad y pueden adecuarse para diferentes tareas de producción. Entre las desventajas están que el operador puede acceder a la zona de riesgo, la protección puede no ser completa en todo momento, interferencia en la visibilidad, requerir mantenimiento y ajustes constantes.



**FIGURA 2.29. PROTECCIÓN AJUSTABLE**

**Protección auto-ajustable:** La abertura de las barreras autoajustables están determinadas por el movimiento del material, a medida que el operador lo traslada hacia el área de riesgo, la protección se mueve hacia atrás o para arriba, permitiendo un espacio para que el material ingrese, después de quitarlo, la protección vuelve a su posición de descanso. Las desventajas son que no siempre aseguran la máxima protección además que necesitan ajustes y mantenimiento frecuentes.



**FIGURA 2.30. PROTECCIÓN AUTO-AJUSTABLE**

## **2.3. Sistema de control**

Es el conjunto de componentes electrónicos que pueden regular su propio comportamiento o el de algún sistema en particular con el fin de lograr un funcionamiento predeterminado.

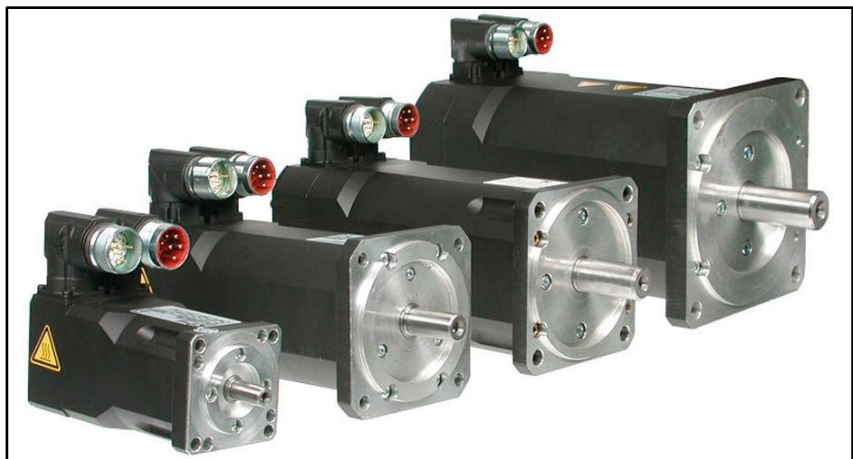
### **2.3.1. Actuadores**

Los actuadores son los dispositivos encargados de generar el movimiento del mecanismo según las órdenes dadas por la unidad de control.

#### **2.3.1.1. Servomotores**

Los servomotores son dispositivos de accionamiento que pueden controlar la precisión de velocidad, torque y

posición, en general constituyen una mejor alternativa de desempeño frente a accionamientos mediante convertidores de frecuencia (no proporcionan control de posición y son poco efectivos a bajas velocidades), como frente a motores paso a paso (otorgan un control de posición menos preciso y son para aplicaciones de baja potencia), la principal desventaja es que son en general más caros que las otras alternativas ya mencionadas.



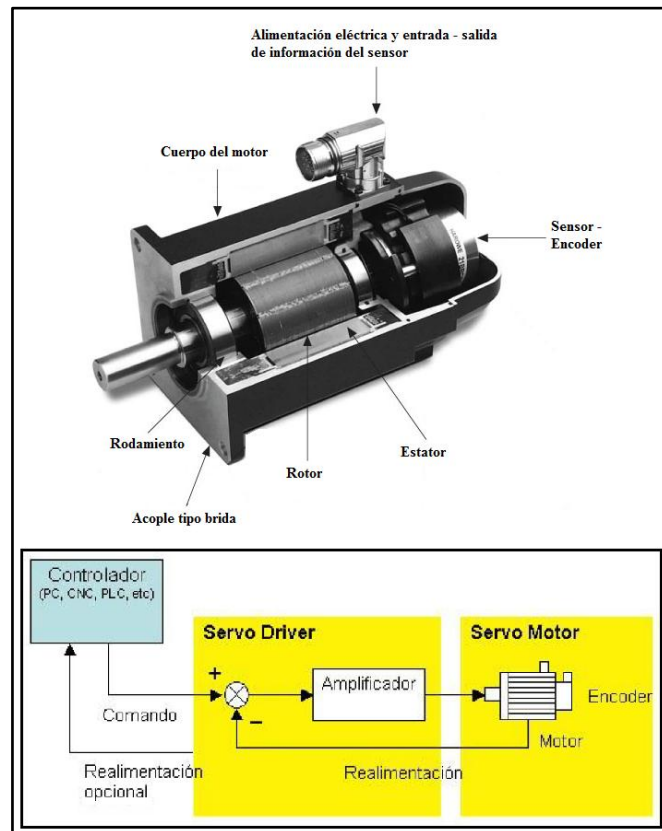
**FIGURA 2.31. SERVOMOTORES**

Está formado por un eje principal sostenido por rodamientos y como parte de su cuerpo un rotor que gira alrededor del estator, uno de los extremos del eje se acopla con un sensor - encoder que regula los parámetros de movimiento y envía dicha información a un driver, todo

en conjunto forma un circuito que comanda posición, torque y velocidad, ver figura 2.32.

El controlador entrega la orden al servomotor sobre los parámetros de movimiento ya mencionados de forma individual, o bien una combinación de dichas variables dependiendo de lo que se requiere y el servomotor ejecuta dicha orden, opcionalmente puede regresar el resultado obtenido, las órdenes pueden enviarse mediante señales analógicas, de pulso o vía puerto de comunicación.

El tipo de encoder más comúnmente utilizado es el incremental, pero existe también el de tipo absoluto.



**FIGURA 2.32. PARTES Y FUNCIONAMIENTO DE UN SERVOMOTOR**

### Encoder:

Como se muestra en la figura 2.33, un encoder es un sensor electro-óptico-mecánico que proporciona información de la posición, velocidad y aceleración del rotor de un motor; actúa como un dispositivo de control para dichos parámetros.

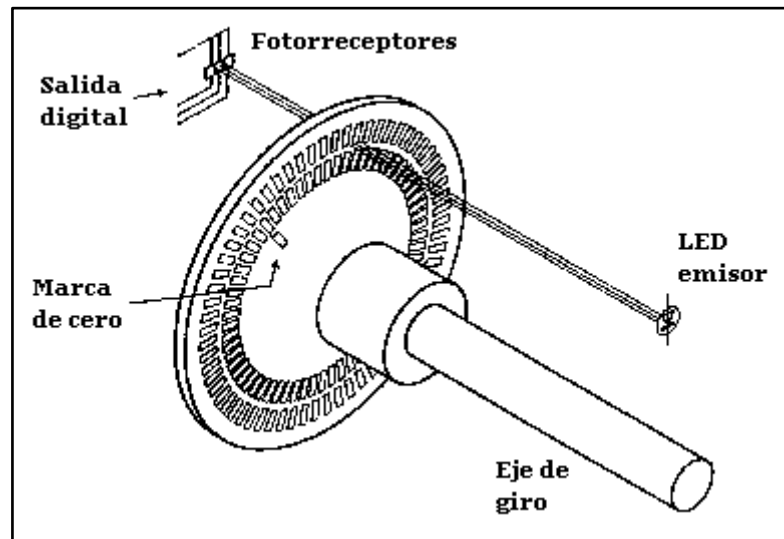
Según el tipo de información sobre la posición que generan se clasifican en encoder incremental y encoder absoluto.



**FIGURA 2.33. ENCODERS**

**Encoder incremental:**

Se caracteriza porque determina su posición contando el número de impulsos que se generan cuando un rayo de luz es atravesado por particiones o canales en la superficie de un disco unido a su eje, es decir que si se tiene un encoder con 1000 ppr, se tendrá un pulso por cada  $360^\circ/1000 = 0,360^\circ$ .



**FIGURA 2.34. PARTES DE UN ENCODER  
INCREMENTAL**

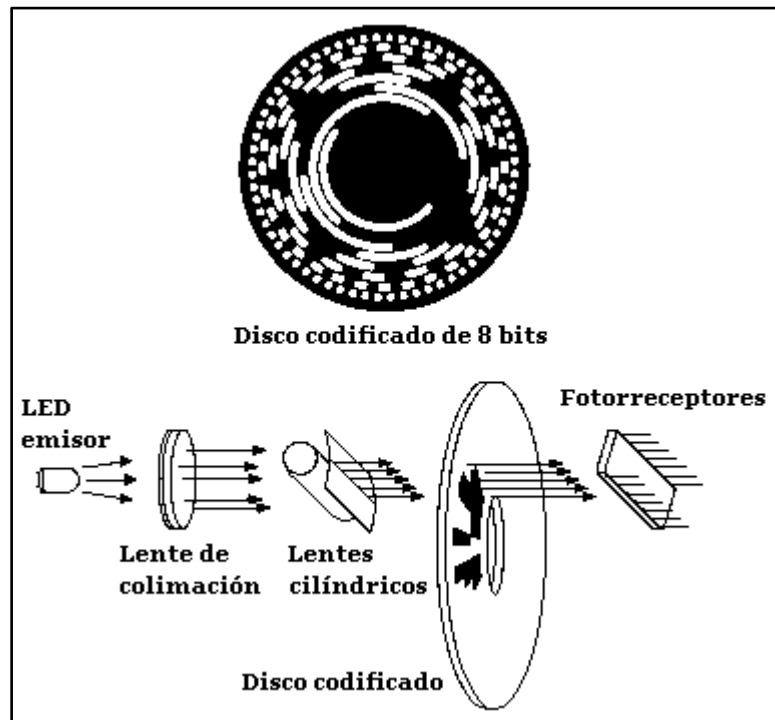
Utiliza un sistema lógico simple que permite determinar desplazamientos a partir de un origen con base a contar impulsos de un canal y determinar el sentido de giro por medio del desfase entre los dos canales, adicionalmente pueden poseer un canal extra que genere un pulso por vuelta y que permite obtener un número de vueltas más fracción de vuelta, ver figura 2.34.

La resolución de este tipo de encoder depende del número de impulsos por revolución que genere.



### Encoder absoluto:

El encoder absoluto posee un disco que contiene varias bandas dispuestas en forma de coronas circulares concéntricas colocadas de forma que en sentido radial el rotor se divide en sectores con marcas oscuras y transparentes compiladas en código Gray.



**FIGURA 2.35. ENCODER ABSOLUTO**

En el estator se encuentra un fotorreceptor para cada bit representado en el disco, el valor binario obtenido es único

para cada posición del rotor representando su posición absoluta, ver figura 2.35.

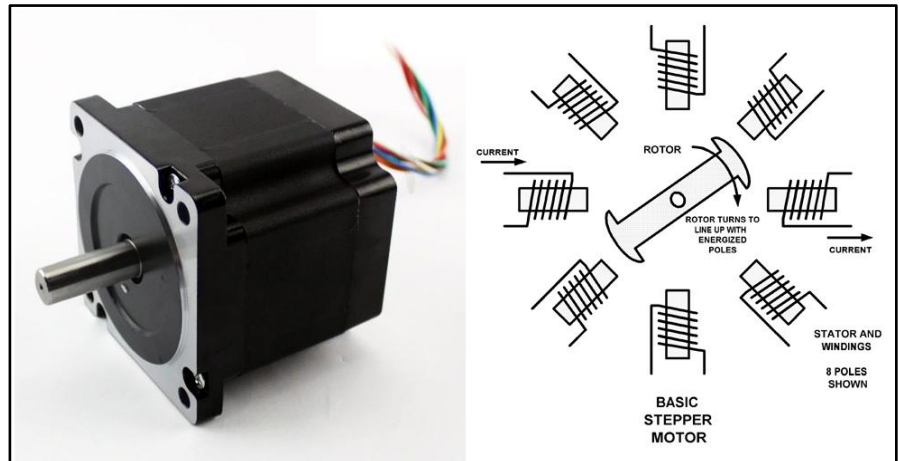
Utiliza el código Gray en lugar del código binario convencional porque en cada cambio de sector sólo cambia el estado de una de las bandas, así se evita errores por falta de alineación de los captadores.

Los encoders incrementales proporcionan mayor resolución a un costo más bajo que los absolutos, además, su electrónica es más simple ya que poseen menos líneas de salida, por lo que son los más utilizados.

#### **2.3.1.2. Motores paso a paso**

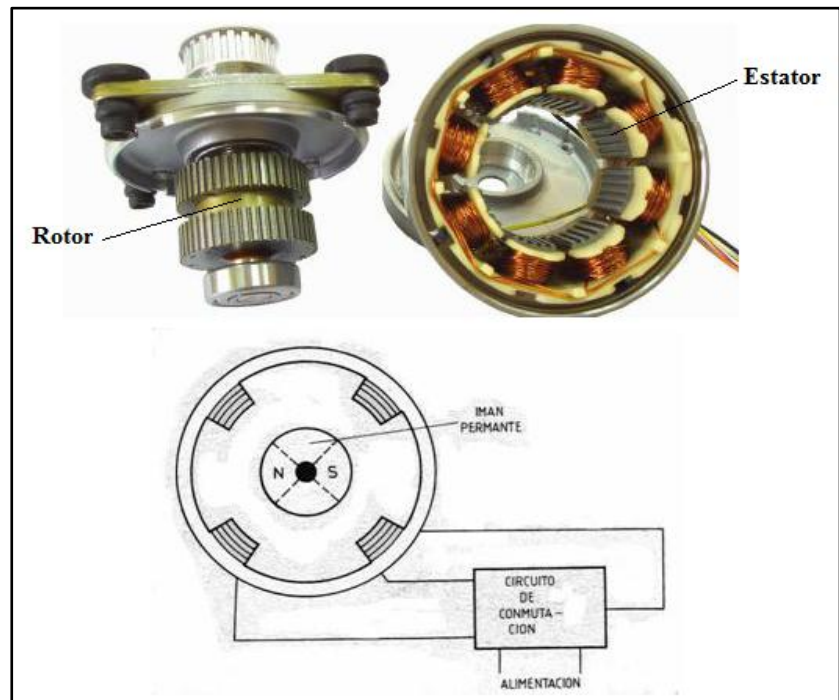
Son un tipo especial de motores que reciben un impulso de corriente y lo transforman en un movimiento preciso del eje y al que se le denomina paso, según la secuencia de dichos impulsos se puede girar en uno u otro sentido y dependiendo de la frecuencia de los mismos se puede regular la velocidad de giro, ver figura 2.36.

Este tipo de motores es ideal para la construcción de mecanismos que requieren movimientos con mucha precisión.



**FIGURA 2.36. MOTOR PASO A PASO**

Como se observa en la figura 2.37, están constituidos por un rotor sobre el que van acoplados imanes permanentes y un estator con un cierto número de bobinas excitadoras bobinadas en él, es decir que las bobinas forman parte del estator y el rotor es un imán permanente, la excitación de dichas bobinas se maneja externamente por medio de un controlador.

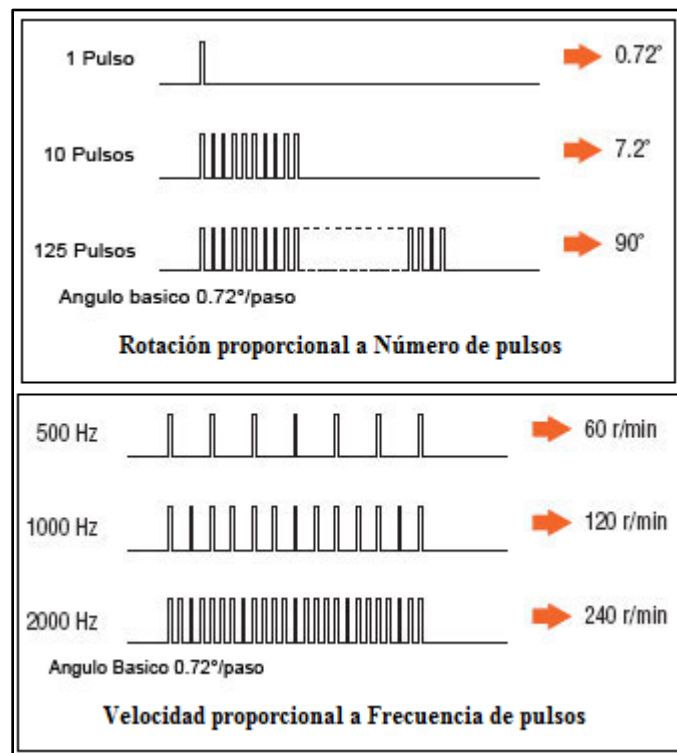


**FIGURA 2.37. PARTES MOTOR PASO A PASO**

La característica principal de este tipo de motor es el de poder moverse un paso a la vez por cada pulso que se le aplique, este paso puede variar desde movimientos de  $90^\circ$  hasta movimientos pequeños de  $0.36^\circ$ , es decir, que para realizar un giro completo de  $360^\circ$  se necesitarán 4 pasos en el primer caso ( $90^\circ$ ) y 1000 pasos para el segundo caso ( $0.36^\circ$ ).

La velocidad del motor paso a paso es proporcional a la frecuencia de los pulsos generados por lo que existe una

relación directa entre la velocidad del pulso (Hz) y la velocidad del motor (RPM).



**FIGURA 2.38. ESQUEMA DE PULSOS EN UN MOTOR A PASOS**

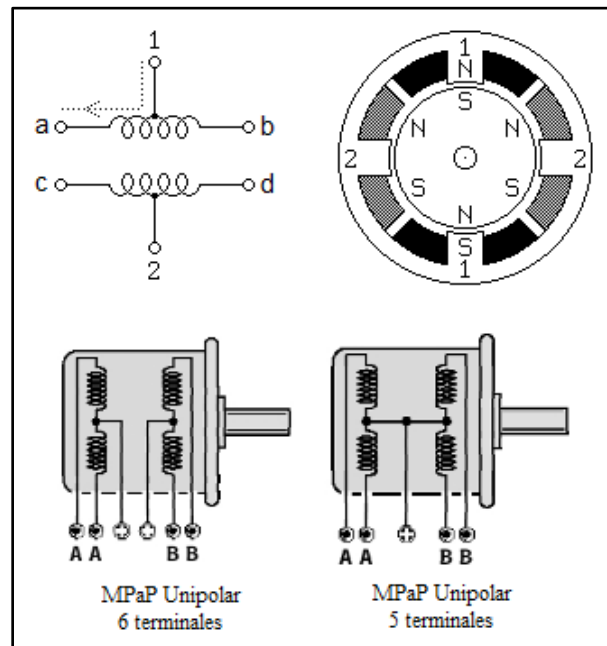
Estos tipos de motores son de fácil operación, bajo costo en comparación con los servomotores y una alta precisión de movimiento, su par motor a baja velocidad permite el uso de una reducción mediante polea y correa de distribución, lo que admite varias cargas para ser conducidas sin reductor.

Existen dos tipos de motores paso a paso de imán permanente:

**Motor paso a paso unipolar:**

Este tipo de motor a pasos se compone de 4 bobinas, se denomina unipolar por que la corriente que circula por dichas bobinas lo hace en un mismo sentido y al tener un doble arrollamiento en sus bobinas no es necesario invertir la polaridad de la alimentación.

Generalmente se compone de 6 cables externos, uno para cada bobina y otro para cada par de estas, pero también puede componerse de 5 cables con un solo cable común para todos los pares de bobina, ver figura 2.39.



**FIGURA 2.39. ESTRUCTURA MOTOR A PASOS  
UNIPOLAR**

Existen tres métodos para controlar este tipo de motores a pasos:

- **Paso simple:** es la más sencilla de todas, consiste en activar cada bobina una a la vez por separado, con esta secuencia no se obtiene mucha fuerza ya que es una bobina la que arrastra cada vez al rotor del eje del motor.

**TABLA 3.**  
**SECUENCIA SIMPLE PARA CONTROLAR MOTORES A**  
**PASOS UNIPOLARES**

Nº de Pasos	A	B	C	D
Paso 1	1	0	0	0
Paso 2	0	1	0	0
Paso 3	0	0	1	0
Paso 4	0	0	0	1

- **Paso doble:** se activan las bobinas de dos en dos con lo que se genera un campo magnético más potente que atraerá con mayor fuerza y retendrá el rotor del motor en la posición correspondiente, el paso debido a esta fuerza es más brusco debido a la acción de dicho campo.

**TABLA 4.**  
**SECUENCIA DOBLE PARA CONTROLAR MOTORES A**  
**PASOS UNIPOLARES**

Nº de Pasos	A	B	C	D
Paso 1	1	1	0	0
Paso 2	0	1	1	0
Paso 3	0	0	1	1
Paso 4	1	0	0	1

- **Medio paso:** es una combinación de las dos secuencias anteriores que logra mover el motor en pasos más pequeños y precisos obteniendo el doble de pasos de



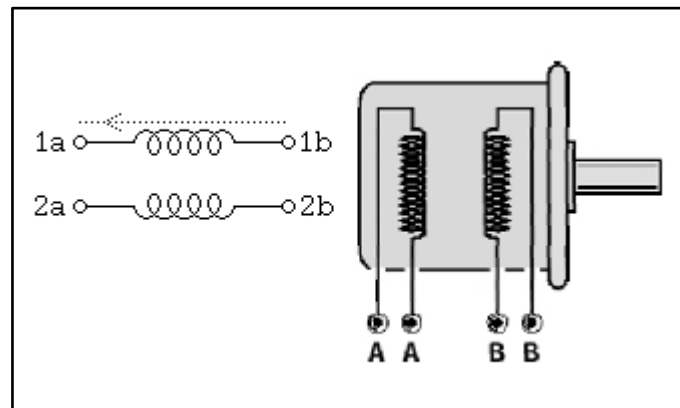
movimiento para completar el recorrido de 360° de dicho motor.

**TABLA 5.**  
**SECUENCIA MEDIO PASO PARA CONTROLAR**  
**MOTORES A PASOS UNIPOLARES**

Nº de Pasos	A	B	C	D
Paso 1	1	0	0	0
Paso 2	1	1	0	0
Paso 3	0	1	0	0
Paso 4	0	1	1	0
Paso 5	0	0	1	0
Paso 6	0	0	1	1
Paso 7	0	0	0	1
Paso 8	1	0	0	1

**Motor paso a paso bipolar:**

Como se muestra en la figura 2.40, está compuesto por 2 bobinas y para que el motor pueda funcionar la corriente que circula por dichas bobinas cambia de sentido en función de la tensión, debido a esto en los extremos de una misma bobina se pueden tener distintas polaridades, consta de 4 conexiones externas, dos para cada bobina.



**FIGURA 2.40. ESTRUCTURA MOTOR A PASOS  
BIPOLAR**

Estos motores necesitan la inversión de la corriente que circula en sus bobinas en una secuencia determinada, cada inversión de la polaridad provoca el movimiento del eje en un paso, cuyo sentido de giro estará determinado por la secuencia seguida.

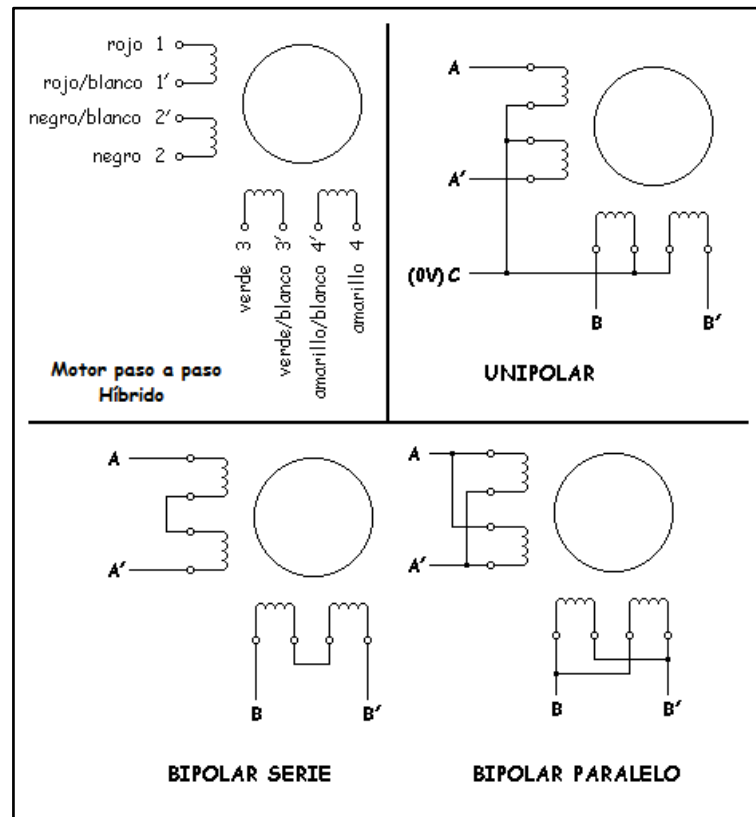
La secuencia necesaria para controlar motores a pasos bipolares es:

**TABLA 6.**  
**SECUENCIA PARA CONTROLAR MOTORES A PASOS**  
**BIPOLARES**

Nº de Pasos	1a	1b	2a	2b
Paso 1	+Vcc	GND	+Vcc	GND
Paso 2	+Vcc	GND	GND	+Vcc
Paso 3	GND	+Vcc	GND	+Vcc
Paso 4	GND	+Vcc	+Vcc	GND

El rotor de estos tipos de motores es un imán permanente con seis polos, tres polos norte y tres polos sur, dispuestos alrededor de su circunferencia.

En general los motores a pasos unipolares son más sencillos de utilizar que los bipolares en los que se dificulta el control de la alimentación y el cambio de polaridad, existen también los motores híbridos que por su estructura y con la configuración de cables adecuada pueden trabajar de forma unipolar o bipolar, con las características correspondientes a cada caso.



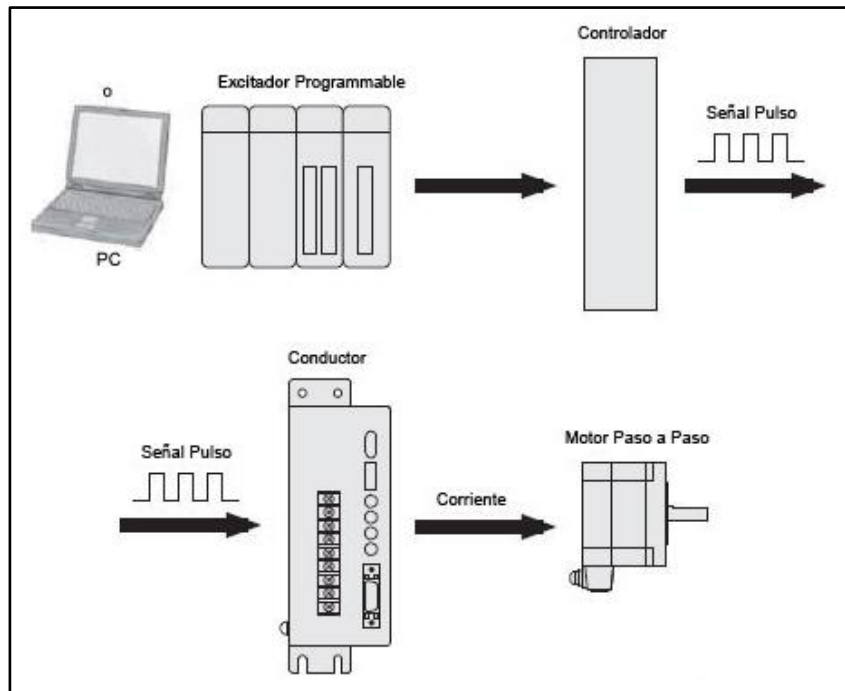
**FIGURA 2.41. ESQUEMA DE UN MOTOR A PASOS HÍBRIDO DE 8 TERMINALES Y SUS CONFIGURACIONES**

### **Sistema de control motores paso a paso:**

El ángulo de rotación y la velocidad del motor a pasos se pueden controlar con gran precisión empleando señales de pulsos generadas por un controlador.

El usuario selecciona los datos de operación usando un excitador programable (software - PC), e ingresa el

comando de operación al controlador (generador de pulso) el cuál envía la señal de pulso al conductor que se conecta al motor paso a paso realizando el movimiento respectivo.



**FIGURA 2.42. ESQUEMA SISTEMA DE CONTROL  
PARA MOTORES A PASOS**

### 2.3.2. Tarjetas electrónicas y controladores

#### Fuente de poder:

También conocido como fuente de alimentación o de energía, es el sistema que entrega la electricidad necesaria para

abastecer a los diferentes equipos que se encuentran conectados al mismo, ver figura 2.43.

Esta fuente de alimentación tiene como función transformar la tensión alterna de la red comercial en una tensión casi continua y para lograr aquello utiliza rectificadores, fusibles y otros elementos que hacen posible la recepción de la electricidad permitiendo regularla, filtrarla y adaptarla a los requerimientos de los diferentes equipos conectados.

Se pueden clasificar en dos tipos de fuentes: lineales y conmutadas, las fuentes lineales tienen un diseño simple que puede llegar a ser más complejo cuanto mayor es la corriente que deben entregar, pero la regulación de tensión que poseen es poco eficiente; una fuente conmutada puede tener la misma potencia que una lineal siendo más pequeña y con una eficiencia mayor, aunque será más compleja en su estructura y por tanto más propensa a averías.

Las fuentes lineales poseen la siguiente estructura: transformador, rectificador, filtro, regulación y salida, mientras que las fuentes conmutadas tienen las siguientes

partes: rectificador, conmutador, transformador, otro rectificador y salida.



**FIGURA 2.43. FUENTE DE PODER**

### **Tarjeta de control o controlador:**

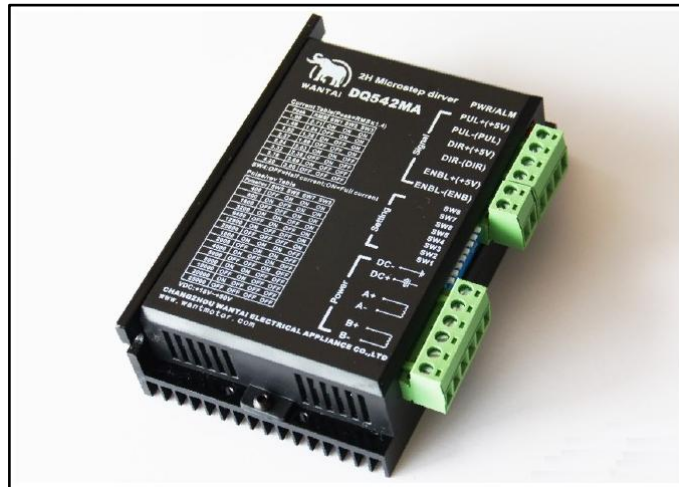
También conocido en inglés como driver es una pieza de software que permite al sistema operativo y programas interactuar adecuadamente con dispositivos de hardware.

Un controlador actúa como un traductor entre el dispositivo y los programas que utilizan el mismo, cada dispositivo tiene su propio sistema de comandos especializados que únicamente conoce su controlador, la mayoría de los programas usan comandos genéricos y el controlador acepta dichos comandos y después los traduce a los comandos especializados para ser leídos por el dispositivo, ver figura 2.44.

Los programadores pueden escribir diferentes tipos de códigos independientemente de la clase de códigos que utiliza el dispositivo a accionar.

Los comandos generales que escribe dicho programador son tomados por el controlador del dispositivo y los traduce en los comandos específicos para el dispositivo correspondiente.





**FIGURA 2.44. CONTROLADOR O DRIVER**

### 2.3.3. Sensores, elementos de mando y protección

#### **Sensores:**

Un sensor es un dispositivo eléctrico y/o mecánico que convierte magnitudes físicas como luz, magnetismo, presión, etc. en valores medibles de dicha magnitud.

Los sensores más utilizados en sistemas CNC son:

- Sensores de proximidad
- Sensores de contacto
- Sensores de posición angular

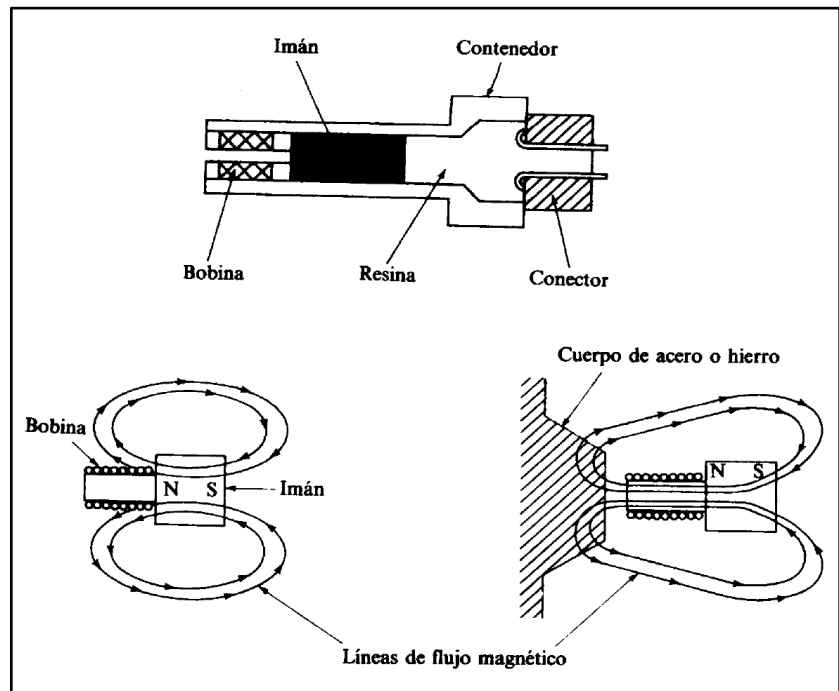
**Sensores de proximidad:**

Son sensores que detectan objetos que se encuentren próximos, antes del contacto, para evitar un posible choque.

- **Sensor inductivo:**

Funciona mediante la modificación de un campo magnético por presencia de objetos metálicos.

Está formado por una bobina colocada junto a un imán permanente, en condiciones normales no hay ningún movimiento en las líneas de flujo y no se induce ninguna corriente en la bobina, pero cuando un objeto metálico penetra en el campo del imán o lo abandona, el cambio resultante en las líneas de flujo induce un impulso de corriente, cuya amplitud es proporcional a la velocidad del cambio del flujo, esta forma de onda de la tensión a la salida de la bobina proporciona un medio para detectar la proximidad de un objeto.



**FIGURA 2.45. SENSOR INDUCTIVO**

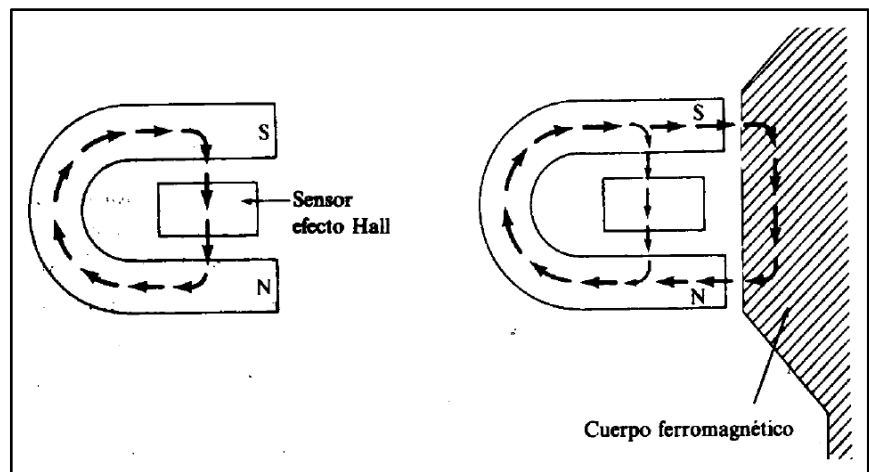
- **Sensor de efecto Hall:**

Trabaja por medio de la modificación de un campo magnético por presencia de objetos metálicos con base al efecto Hall que relaciona la tensión entre dos puntos de un material conductor o semiconductor con un campo magnético a través de un material.

Se compone de un sensor de efecto Hall en conjunto a un imán permanente.

En ausencia de material detecta un campo magnético intenso, pero cuando el material se aproxima al sensor el campo magnético se debilita debido a la curvatura de las líneas de campo a través de dicho material.

El sensor se construye con un semiconductor, y la detección se realiza a través del potencial medido entre los extremos del material.



**FIGURA 2.46. SENSOR DE EFECTO HALL**

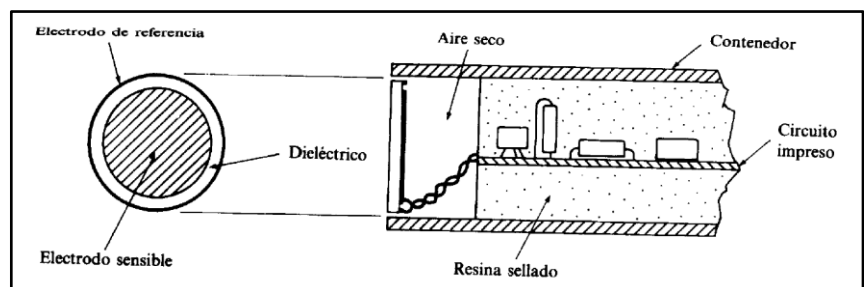
- **Sensor capacitivo:**

Funciona por medio de la modificación de la capacidad de un condensador por presencia de algún objeto sólido.

El elemento sensor es un condensador constituido por un electrodo sensible y un electrodo de referencia separados por un dieléctrico, una cavidad de aire seco para aislar y un conjunto de circuitos electrónicos.

El elemento capacitivo es parte de un circuito que es excitado de manera continua por una forma de onda sinusoidal de referencia, un cambio en la capacidad, produce un desplazamiento de fase entre la señal de referencia y una señal obtenida a partir del elemento capacitivo, el desplazamiento de fase es proporcional al cambio de capacidad, este cambio se utiliza para detección de proximidad.

La capacidad varía con la distancia a la que está el objeto y depende del material objeto de detección.



**FIGURA 2.47. SENSOR CAPACITIVO**

- **Sensor de ultrasonido:**

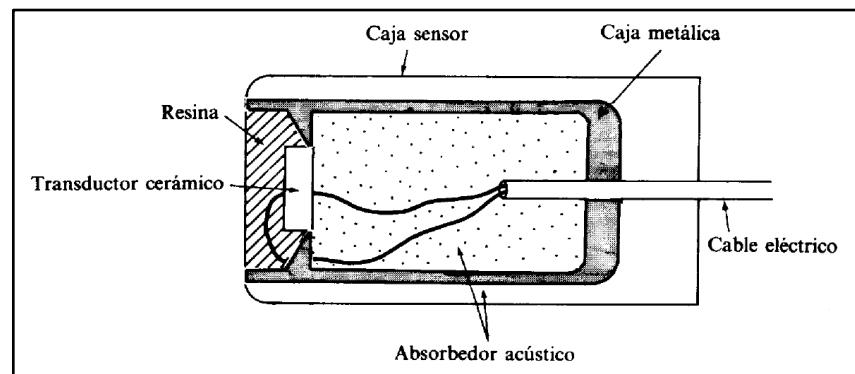
Trabaja mediante la modificación de la distancia de objetos con la detección de ecos de ultrasonidos.

Las ondas ultrasónicas tienen la capacidad de que cuando viajan por un medio cualquiera son reflejadas si encuentran en su camino una discontinuidad o algún elemento extraño.

La reflexión de la onda es debida a la diferencia de impedancias acústicas entre el medio y el objeto, el tiempo de espera entre el envío de la onda ultrasónica hasta su recepción se denomina tiempo de eco, y es utilizado para determinar la distancia al objeto.

El elemento básico es un transductor electroacústico, de tipo cerámico piezoeléctrico, una capa de resina protege al transductor contra la humedad, polvo y otros factores ambientales, absorbedores acústicos se utilizan para amortiguar rápidamente la energía acústica.

Este tipo de sensor tiene algunos problemas como: el ángulo de incidencia de la onda sobre el objeto, temperatura (induce cambios en la densidad del aire y provoca cambio en la velocidad de propagación de la onda), superficie del objeto, distancia mínima detectada, la forma de onda es cónica y solo detecta objetos dentro del cono del ultrasonido, falsos ecos, etc.



**FIGURA 2.48. SENSOR DE ULTRASONIDO**

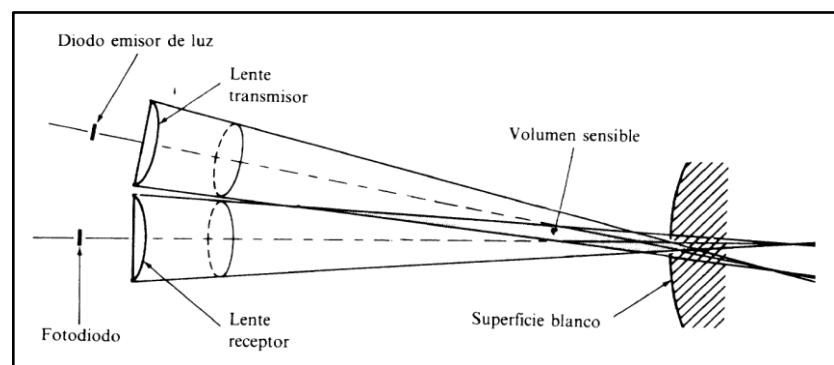
- **Sensor óptico:**

Formado por un diodo LED como emisor de luz y un fotodiodo como receptor.

Los conos de luz formados enfocan la fuente y el detector en el mismo plano, se intersectan formando un volumen largo, que define el campo de operación del

sensor, puesto que cualquier superficie reflectora que intersecta dicho volumen se ilumina por la fuente y es vista simultáneamente por el receptor. Existen sensores con salida binaria en los que un objeto se detecta cuando se recibe una intensidad de luz superior a un umbral preestablecido.

Este tipo de sensor presenta problemas al querer realizar su alineación de forma precisa y con la calidad del emisor debido a que la energía se pierde con la distancia.



**FIGURA 2.49. SENSOR ÓPTICO**

### **Sensores de contacto:**

Se utilizan para obtener información asociada con el contacto de objetos en el espacio de trabajo, son de dos tipos:



- **Sensores binarios:**

Sensores que responden a la presencia o ausencia de algún objeto, son como una especie de micro interruptor, se los conoce también como interruptores de botón, de posición o fines de carrera.

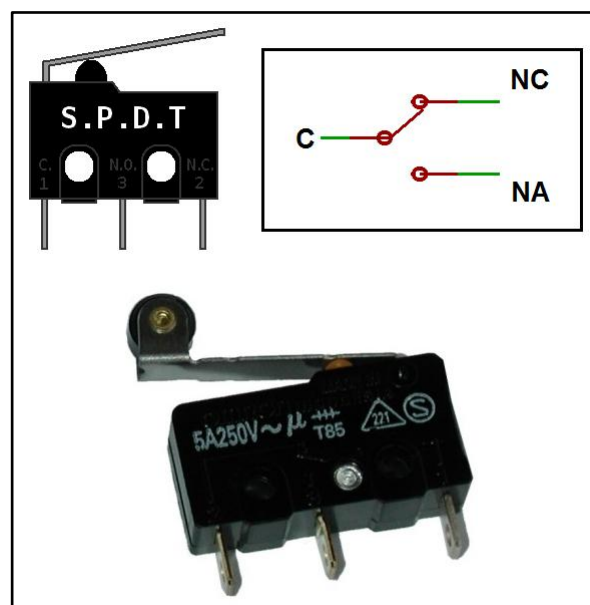
Son muy habituales en la industria para localizar la llegada de un componente mecánico a una determinada posición. Detectan el final del recorrido o la posición límite de un elemento móvil mediante accionamiento mecánico.

Existen de muchos tipos y se suelen distinguir por el elemento móvil que genera la señal eléctrica de salida, se tienen, los de lengüeta, bisagra, palanca con rodillo, varilla, palanca metálica con muelle, de pulsador, etc.

Estos interruptores también poseen combinaciones de 2 y 3 contactos, normalmente abierto (NA) y normalmente cerrado (NC), pueden ser de acción rápida o de acción lenta.

La pieza NA está separada de la móvil y sólo hace contacto cuando el componente mecánico llega al final de su recorrido y acciona la pieza móvil haciendo que pase la corriente por el circuito de control. La pieza NC hace contacto con la móvil y sólo se separa cuando el componente mecánico llega al final de su recorrido y acciona la pieza móvil impidiendo el paso de la corriente por el circuito de control.

Según el tipo de fin de carrera, puede haber una pieza NA, una NC o ambas.



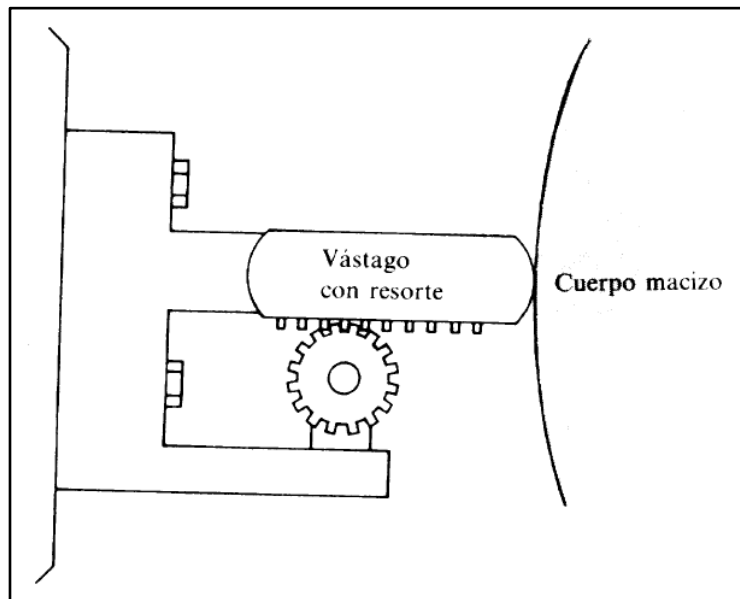
**FIGURA 2.50. SENSOR BINARIO (FIN DE CARRERA)**

- **Sensores Analógicos:**

Detectan no sólo la presencia, sino también la fuerza ejercida obteniendo una salida proporcional a la fuerza local.

Está constituido por una varilla accionada por un resorte mecánicamente enlazada con un eje giratorio, de tal manera que el desplazamiento de la varilla debida a una fuerza lateral da lugar a una rotacional proporcional a dicho eje.

La rotación provocada se mide con un potenciómetro, y conociendo la constante del resorte se conoce la fuerza correspondiente a un desplazamiento dado.



**FIGURA 2.51. SENSOR ANALÓGICO**

### **Sensores de posición angular:**

Son sensores que detectan la posición del ángulo de rotación del eje de un motor o algún sistema de control rotatorio, son de dos tipos: analógicos y digitales.

### **Sensores analógicos:**

Utilizan una señal analógica con el fin de obtener la posición angular del elemento que rota, son sensores más precisos que los de tipo digital como el encoder pero su costo es mucho mayor, entre los más conocidos se tiene el potenciómetro angular, resolvers y sincros.

- **Potenciómetro angular:**

Es un transductor de posición angular de tipo absoluto con salida analógica, consta de una resistencia de hilo bobinado en una pista de material conductor, distribuida a lo largo de un soporte en forma de arco y un cursor unido a un eje de salida que pueda deslizar sobre dicho conductor, el movimiento del eje arrastra el cursor provocando cambios de resistencia entre éste y los extremos.

Al alimentar los extremos con un voltaje constante aparece en la toma de medida una tensión proporcional al ángulo girado a partir del origen.

Tienen una gran facilidad de uso y bajo precio, pero deben estar fijados al elemento cuyo desplazamiento se quiere medir y tienen precisión limitada.



**FIGURA 2.52. POTENCIÓMETRO ANGULAR**

- **Resolvers:**

Constan de una bobina móvil unida al eje y dos bobinas fijas situadas a su alrededor, la bobina que gira al ser excitada por cierta tensión y girada un ángulo  $\theta$  induce en las bobinas fijas tensiones proporcionales a dicho ángulo.

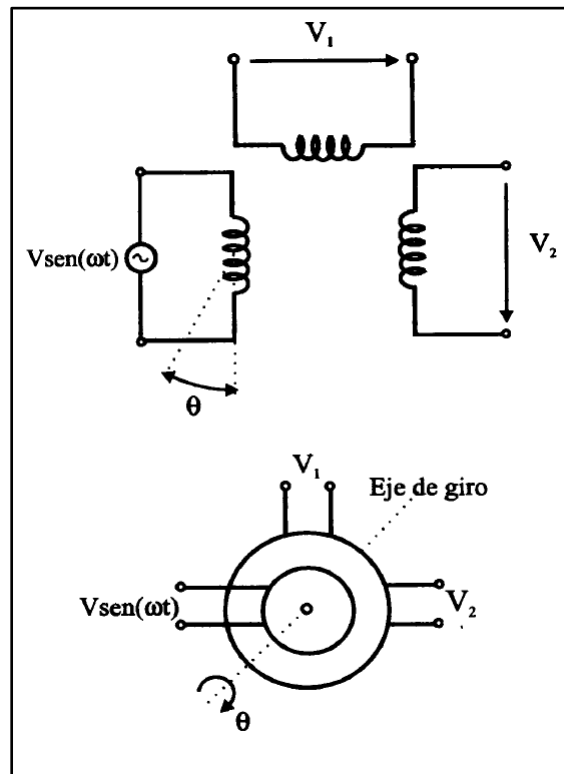


FIGURA 2.53. RESOLVERS

- **Sincros:**

Consta de una bobina con la función de primaria o rotor que se encuentra unida al eje de giro y tres bobinas secundarias que son fijas, colocadas alrededor de la bobina primaria en forma de estrella, desfasadas entre si  $120^\circ$  (estator), al rotor se le aplica una señal senoidal que genera en cada una de las bobinas fijas un voltaje inducido.

En sistemas de control hay que pasar la señal generada analógica a digital, para lo cual se utilizan convertidores resolver / digital (R/D).

**Sensores digitales:**

Son aquellos que frente a un estímulo pueden cambiar de estado ya sea de cero a uno o viceversa, no existen estados intermedios y los valores de tensión que se obtienen son únicamente dos, o valores muy próximos a ellos.

Los sensores digitales más comunes utilizados para detectar la posición angular de un eje o sistema de control rotatorio son los encoders o codificadores angulares de posición, que son de dos tipos: absolutos e incrementales y que se explica cada uno detalladamente en la sección 2.3.1.1 de este capítulo como parte de los actuadores llamados servomotores.

**Elementos de mando y protección:**

Estos elementos permiten controlar la máquina de manera manual y contienen los medios necesarios para encender, apagar y controlar el sistema en caso de requerir protección por algún tipo de accidente o error de operación en el mismo.



Se forma por un conjunto de botones, palancas y una pantalla de visualización que se agrupan en una misma caja conocida como panel de control, con los que el operador puede controlar el funcionamiento total de la máquina de forma manual, dentro de este panel se encuentra uno de los principales botones de mando para seguridad que es el botón o palanca de emergencia.

- **Botón o palanca de emergencia:** Tiene la función de detener la máquina cuando son accionados y se ubican cerca o dentro del área de riesgo, el operador debe poder alcanzar el botón con cualquiera de sus manos. Dichos dispositivos se ubican en un panel central junto a la sala de control principal para facilitar la forma y lugar de accionamiento.



**FIGURA 2.54. BOTÓN DE EMERGENCIA**

Existen elementos adicionales de protección que permiten un mejor control de la seguridad en el entorno de trabajo evitando posibles accidentes, son conocidos como dispositivos de seguridad y el más utilizado es el dispositivo fotoeléctrico.

- **Dispositivo fotoeléctrico:** Es un elemento óptico detector, permite interrumpir el ciclo de operación por medio de un sistema de fuentes luminosas y controles, si el haz de luz es obstruido por la presencia de un cuerpo la máquina para y no opera. Las desventajas son que no protege contra fallas mecánicas, requieren alineamiento y calibración constante.



**FIGURA 2.55. DISPOSITIVOS FOTOELÉCTRICOS**

#### **2.3.4. Software libre para control**

Software libre es el que, una vez obtenido, puede ser usado, copiado, estudiado, modificado o redistribuido libremente y suele estar disponible gratuitamente en Internet.

En sistemas CNC se utilizan dos tipos de software para el adecuado control de la máquina, un software que genera la trayectoria de la herramienta de corte y el posterior código G a partir de un modelo 3D realizado y otro software encargado de proporcionar la interfaz gráfica de simulación, edición e interpretación del código creado, para ser finalmente ingresado al PLC o controlador correspondiente de los actuadores utilizados.

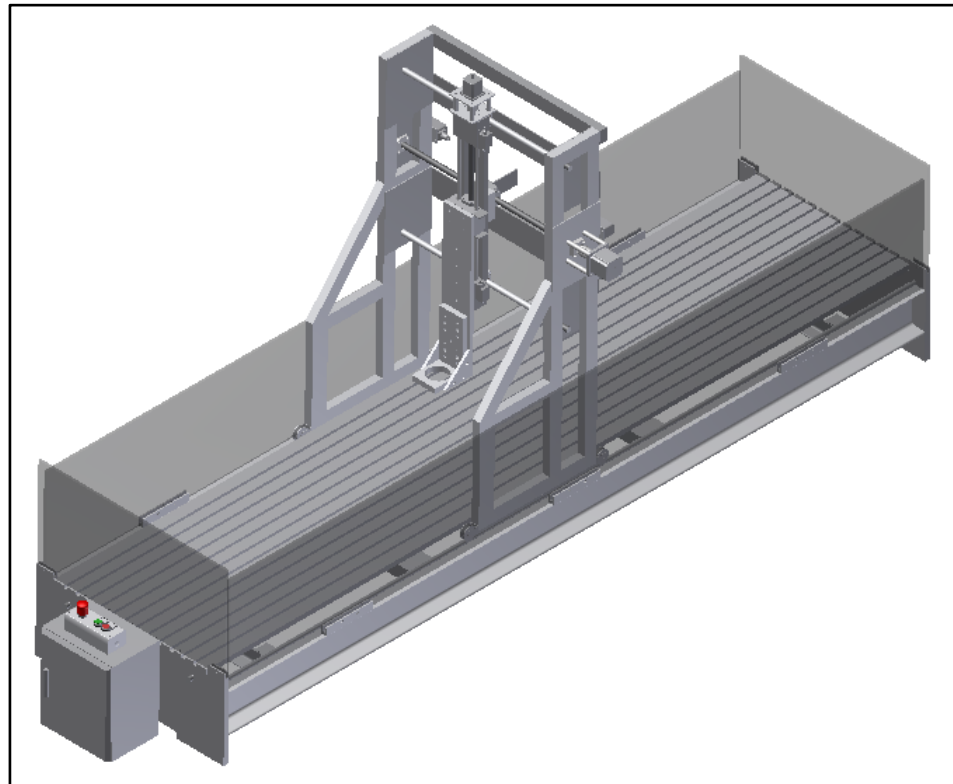
# CAPÍTULO 3

## 3. DISEÑO Y SELECCIÓN

### 3.1. Parámetros de diseño

El diseño a realizar está en función de la materia prima que se va a emplear para los prototipos de barcos, el proceso de mecanizado y movimientos característicos que efectúa una máquina fresadora CNC de 3 ejes.

Todas las partes mecánicas que forman cada uno de los ejes de la máquina fresadora CNC deberán estar soportadas por la estructura principal de la misma, además sobre ella estará asentada la mesa de trabajo que soporta la materia prima a mecanizar, dicha mesa deberá estar fija y alrededor de ella funcionarán o moverán los diferentes elementos del sistema de transmisión, actuadores, sistema de control y husillo de corte.



**FIGURA 3.1. FRESADORA CNC DE 3 EJES**

Se parte del análisis de la velocidad de corte a utilizar para realizar el proceso de desbaste de madera, además de otros parámetros necesarios para elaborar el diseño de cada una de las partes mecánicas que formarán la máquina fresadora CNC, con el diseño y cálculos desarrollados se procede a seleccionar los elementos electrónicos del sistema de control para la misma.

### **3.1.1. Parámetros geométricos**

De acuerdo a la necesidad de espacio para las máximas medidas del material base de los prototipos de barcos requeridos y las longitudes indispensables de recorrido de la herramienta de corte con el fin de lograr mecanizar con facilidad dichos prototipos, se seleccionan las dimensiones adecuadas de la mesa de trabajo.

Con respecto a las dimensiones de los prototipos que se requieren mecanizar (2000 mm de largo, 350 mm de ancho y 400 mm de altura) se establecen las siguientes dimensiones para la mesa de trabajo, largo: 3000 mm y ancho: 650 mm.

Como dimensiones de la máquina en general se disponen, largo: 3000 mm, ancho: 800 mm y altura: 1600 mm.

Las medidas de los demás elementos que forman parte del mecanismo total de la máquina fresadora CNC, estarán basadas en proporción a las dimensiones generales de la máquina y los resultados obtenidos al aplicar los correspondientes criterios de diseño en dichas partes, con lo que se garantiza su resistencia a todos los esfuerzos a los que

serán sometidos durante el funcionamiento del sistema en general.

### **3.1.2. Parámetros de operación**

Según las características de la madera a utilizar se van a seleccionar los parámetros de funcionamiento más adecuados con los cuales se va a lograr un proceso de mecanizado eficiente y con un buen acabado superficial final.

La madera se puede clasificar en blandas o duras, cada una con sus propiedades y características respectivas, para realizar la selección de los parámetros de operación, se consideran valores recomendados de trabajo para maderas duras, que es el caso más crítico.

Se utiliza como herramienta de corte una fresa vertical de 12,7 mm de diámetro, con una longitud de corte de 24 mm y cuatro filos.

Para madera se utilizan velocidades de giro de herramienta que van de 9000 RPM a 20000 RPM dependiendo de la dureza de la misma y del acabado superficial que se desea obtener.

### 3.1.2.1. Velocidad de corte

La velocidad de corte ( $V_c$ ) se calcula a partir de características propias de la herramienta de corte utilizada, pero adicionalmente se debe tomar en cuenta la dureza del material empleado y el proceso de mecanizado que se desea ejecutar.

Para calcular la velocidad de corte se utiliza la siguiente fórmula:

$$V_c = \frac{\pi * D * N}{1000} \quad (3.1)$$

$$D(mm) = 12,7 \text{ [Diámetro de la herramienta de corte]}$$

$$N(RPM) = 9000 \left[ \begin{array}{l} \text{Velocidad de herramienta de corte} \\ \text{para maderas duras} \end{array} \right]$$

$$V_c = \frac{\pi(12,7 \text{ mm})(9000 \text{ RPM})}{1000} = 359.1 \frac{m}{min}$$

$$V_c = 359.1 \frac{m}{min} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 6 \frac{m}{s}$$

Es muy importante resaltar que existen factores adicionales que influyen considerablemente al realizar el



mecanizado en conjunto con la velocidad de corte, como son: la correcta fijación del material base y sujeción de la herramienta empleada, que tienen el fin de evitar posibles vibraciones, accidentes o fallas.

### 3.1.2.2. Velocidad de avance

La velocidad de avance ( $V_a$ ) es la que se produce del movimiento del material base contra la herramienta de corte o viceversa, en general está condicionada por los mismos factores de la velocidad de corte pero también se busca que brinde mayor eficiencia de arranque de material sin afectar la integridad de la fresa y logre un buen acabado superficial final.

La velocidad de avance se calcula con la siguiente expresión:

$$V_a = f_z * Z * N \quad (3.2)$$

$$f_z \left( \frac{mm}{diente} \right) = 0.143 \text{ [Avance por diente, seleccionado de la tabla de Recomendaciones de Avance]}$$

*en fresas CoroMill Plura para materiales  
suaves, Catálogo de Herramientas SANDVIK]*

$$Z = 4 \text{ [Número de filos]}$$

$$N(\text{RPM}) = 9000 \left[ \begin{array}{l} \text{Velocidad de giro de herramienta} \\ \text{para maderas duras} \end{array} \right]$$

$$V_a = 0.143 \frac{\text{mm}}{\text{diente}} * 4 * 9000 \text{ RPM} = 5148 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

$$V_a = 5148 \frac{\text{mm}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} = 5 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

### 3.1.2.3. Profundidad de corte

Es la profundidad de la capa arrancada de la superficie del material base en una pasada de la herramienta de corte.

La profundidad de corte (p) depende de algunos factores como: espesor de material a mecanizar, grado de precisión dimensional a conseguir, potencia de la máquina, relación con respecto al avance seleccionado y parámetros de la herramienta empleada como tamaño, longitud de corte o perfil de la misma.

El valor máximo de profundidad que se puede cortar está directamente relacionado con la longitud de la arista del filo de corte de la herramienta que se va a utilizar.

Para operaciones de mecanizado en madera se utilizan profundidades que van desde 0.5 mm a 3 mm, y se escoge dicho espesor dependiendo de la calidad superficial o rapidez en tiempo que se quieran alcanzar al momento de realizar dichos procesos.

Con una profundidad de corte pequeña se necesitan realizar varias pasadas y para obtener la mayor eficiencia en el tiempo de mecanizado se debe utilizar la máxima profundidad permitida.

Para desarrollar los cálculos respectivos se selecciona una profundidad de corte máxima:  $p = 3 \text{ mm}$ .

#### **3.1.2.4. Cálculo de la fuerza de corte**

Se parte calculando el avance ( $s'$ ) en mm/rev con la siguiente fórmula:

$$s' = \frac{V_a}{N} \quad (3.3)$$

$$V_a \left( \frac{mm}{min} \right) = 5148 \text{ [Velocidad de avance]}$$

$$N(RPM) = 9000 \text{ [Velocidad de giro de herramienta para maderas duras]}$$

$$s' = \frac{5148 \text{ mm/min}}{9000 \text{ RPM}} = 0.57 \frac{mm}{rev}$$

El área de corte (AC) se obtiene de la fórmula:

$$AC = \frac{s' * D}{2} \quad (3.4)$$

$$s' \left( \frac{mm}{rev} \right) = 0.57 \text{ [Avance]}$$

$$D(mm) = 12.7 \text{ [Diámetro de la herramienta de corte]}$$

$$AC = \frac{0.57 \frac{mm}{rev} * 12.7 \text{ mm}}{2} = 3.6 \frac{mm^2}{rev} = 3.6 \text{ mm}^2$$

Se calcula el espesor de viruta (e) con la expresión:

$$e = \left( \frac{V_a}{Z * N} \right) * \sqrt{\frac{p}{D}} \quad (3.5)$$

$$V_a \left( \frac{mm}{min} \right) = 5148 \text{ [Velocidad de avance]}$$

$$Z = 4 \left[ \begin{array}{l} \text{Número de filos común en fresa} \\ \text{de 12.7 mm de diámetro} \end{array} \right]$$

$$N(RPM) = 9000 \text{ [Velocidad de giro de herramienta]}$$

$$p(mm) = 3 \text{ [Profundidad de corte]}$$

$$D(mm) = 12.7 \text{ [Diámetro de la herramienta de corte]}$$

$$e = \left( \frac{5148 \text{ mm/min}}{4 * 9000 \text{ RPM}} \right) * \sqrt{\frac{3 \text{ mm}}{12.7 \text{ mm}}} = 0.07 \frac{\text{mm}}{\text{rev}} = 0.07 \text{ mm}$$

Para la constante de proporcionalidad se utiliza la fórmula:

$$K = K_{SO} * e^{-b} \quad (3.6)$$

$$e(mm) = 0.07 \text{ [Espesor de viruta]}$$

$$K_{SO} \left( \frac{N}{mm^2} \right) = 19 \text{ [Presión específica de corte]}$$

para plásticos (TABLA 7), se escoge para  
plástico por ser el material más

*cercano a la madera]*

$$b = 0.3 \text{ [Factor de corrección (TABLA 7)]}$$

$$K = 19 \frac{N}{mm^2} * (0.07 \text{ mm})^{-0.3} = 41.8 \frac{N}{mm^2}$$

**TABLA 7.**  
**PRESIÓN ESPECÍFICA DE CORTE PARA FRESADO**

<b>MATERIAL</b>	<b>K<sub>so</sub> (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>b</b>
Bronce	124	0.3
Cobre	78	0.3
Latón	54	0.3
Plástico	19	0.3

Finalmente la fuerza de corte se calcula con la siguiente expresión:

$$F_c = K * AC \quad (3.7)$$

$$K \left( \frac{N}{mm^2} \right) = 41.8 \text{ [Constante de proporcionalidad]}$$

$$AC(mm^2) = 3.6 \text{ [Area de corte]}$$

$$F_c = 41.8 \frac{N}{mm^2} * 3.6 \text{ mm}^2 = 150.5 \text{ N}$$

### 3.1.2.5. Cálculo de la potencia de corte

La potencia de corte ( $P_c$ ) se calcula con la siguiente fórmula:

$$P_c = F_c * V_c \quad (3.8)$$

$$F_c(N) = 150.5 \text{ [Fuerza de corte]}$$

$$V_c \left(\frac{m}{s}\right) = 6 \text{ [Velocidad de corte]}$$

$$P_c = 150.5 \text{ N} * 6 \frac{m}{s} = 903 \text{ W}$$

Si se considera una eficiencia ( $\eta$ ) del motor de 85%, la potencia eléctrica ( $P_e$ ) necesaria se obtiene de la expresión:

$$P_e = \frac{P_c}{\eta} \quad (3.9)$$

$$P_c(W) = 903 \text{ [Potencia de corte]}$$

$$\eta = 0.85 \text{ [Eficiencia motor]}$$

$$P_e = \frac{903 \text{ W}}{0.85} = 1062.4 \text{ W}$$

Tomando un factor de seguridad en el mecanizado de 1.5 se obtiene:

$$P_e = 1062.4 \text{ W} * 1.5 = 1593,6 \text{ W}$$

$$P_e = 1593.6 \text{ W} * \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} = 1.6 \text{ kW}$$

Se requiere de un husillo de corte con una potencia mínima de 1.6 kW para realizar adecuadamente el proceso de fresado deseado.

### **3.2. Materiales de los componentes**

Los materiales utilizados para el diseño de cada parte de la máquina fresadora CNC poseen características y propiedades que afectarán directamente al tiempo de vida útil de la misma, por lo que se han seleccionado los más apropiados a utilizar de acuerdo a lo existente y de fácil adquisición en el mercado nacional, al funcionamiento que van a realizar y esfuerzos a los que serán sometidos, de esta manera se asegura obtener una máquina final de gran calidad.



**Acero ASTM A36:**

Es un acero al carbono estructural, que se utiliza para la construcción de estructuras metálicas, puentes, torres de energía, torres para comunicación y edificaciones remachadas, atornilladas o soldadas, herrajes eléctricos y señalización.

Tiene una densidad de 7850 kg/m<sup>3</sup> (0.28 lb/in<sup>3</sup>). En barras, planchas y perfiles estructurales con espesores menores de 8 pulgadas (203,2 mm) tiene un límite de fluencia mínimo de 250 MPa (36 ksi), y un límite de rotura mínimo de 410 MPa (58 ksi), las planchas con espesores mayores de 8 pulgadas (203,2 mm) tienen un límite de fluencia mínimo de 220 MPa (32 ksi), y el mismo límite de rotura.

Se produce en una gran variedad de formas, como: planchas, perfiles estructurales, tubos y láminas.

Las piezas hechas a partir de acero A36 son fácilmente unidas mediante casi todos los procesos de soldadura, es también comúnmente atornillado y remachado para ciertas aplicaciones estructurales.

**Duraluminio:**

Es una aleación especial de aluminio que se endurece por tratamiento térmico, su nombre viene de aluminio duro y comercialmente se lo conoce como aluminio PRODAX, se lo puede considerar como una aleación del sistema Al – Cu – Mg y se lo utiliza bastante para la construcción de diferentes tipos de moldes y piezas en general por su alta maquinabilidad, bajo peso y buenas propiedades mecánicas.

Tiene una densidad de 3250 kg/m<sup>3</sup> (0.12 lb/in<sup>3</sup>), posee un límite de fluencia mínimo de 325 MPa (47 ksi), y un límite de rotura mínimo de 370 MPa (54 ksi).

**Acero AISI-SAE 1045:**

Es un acero utilizado cuando la resistencia y dureza son necesarias en condiciones de trabajo constante, este acero de medio carbono puede ser forjado con martillo, responde muy bien a los tratamientos térmicos por llama o inducción, presenta buena soldabilidad.

Por su dureza y tenacidad es adecuado para la fabricación de componentes de maquinaria.

**Acero AISI-SAE 1018:**

Es un acero de bajo - medio carbono que posee buena soldabilidad y ligeramente mejor maquinabilidad que los aceros con grados menores de carbono, se presenta en condición de calibrado (acabado en frío) y debido a su alta tenacidad junto con su resistencia mecánica es adecuado para componentes de maquinaria.

Tiene una densidad de  $7870 \text{ kg/m}^3$  ( $0.28 \text{ lb/in}^3$ ), un límite de fluencia mínimo de  $370 \text{ MPa}$  ( $54 \text{ ksi}$ ), y un límite de rotura mínimo de  $440 \text{ MPa}$  ( $64 \text{ ksi}$ ).

**Duralón:**

Es un tecnopolímero (nylon de alto peso molecular), producido en un proceso denominado polimerización en bloque, posee buenas propiedades mecánicas y alta resistencia al impacto o choque, es utilizado para elaborar engranes, rodillos, cojinetes, entre otras piezas similares, se encuentra disponible en forma de barras en diferentes medidas y diámetros, así como en bloques o planchas.

**Acero para tornillos clase 4.8:**

Según la norma ISO 898, las clases de calidad y sus características mecánicas, se aplican a tornillos con rosca métrica ISO, de diámetro

nominal  $d \leq 39$  mm, contruidos en acero al carbono y ensayados a temperatura ambiente.

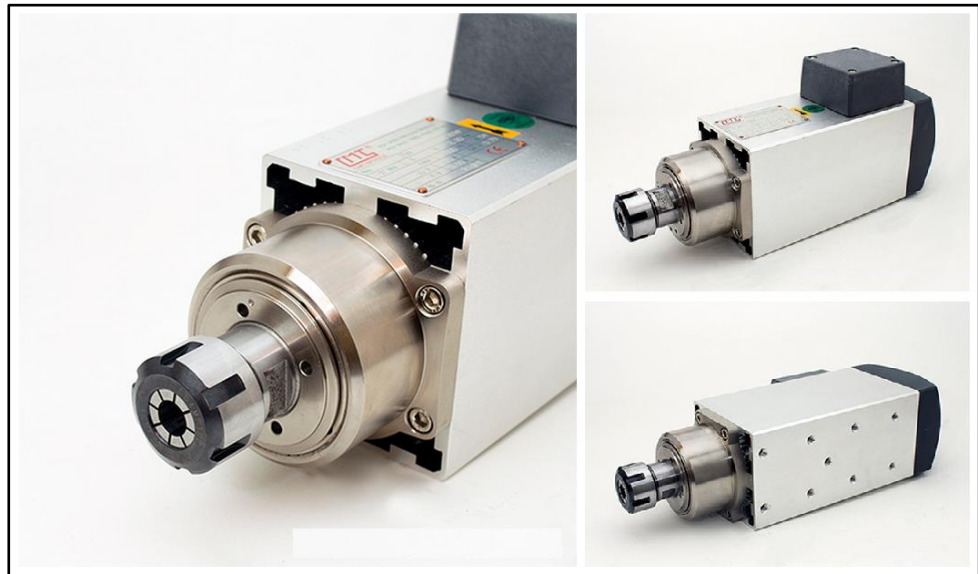
Para tornillos de clase 4.8 se tiene las siguientes características:

Un límite de fluencia mínimo de 310 MPa, límite de rotura mínimo de 420 MPa y una dureza Rockwell máxima de 71 HRB.

### **3.3. Selección del husillo de corte**

Con el resultado obtenido en la sección 3.1.2.5 del cálculo de la potencia eléctrica necesaria para realizar el mecanizado en madera, se requiere un husillo de mínimo 1.6 kW y que pueda generar desde 9000 RPM hasta máximo 20000 RPM, parámetros necesarios para su correcto funcionamiento dentro de la máquina fresadora CNC.

Se selecciona un motor de la marca GMT SPINDLE, que se especializa en la construcción de motores que cumplen la función de husillo de corte en máquinas CNC.



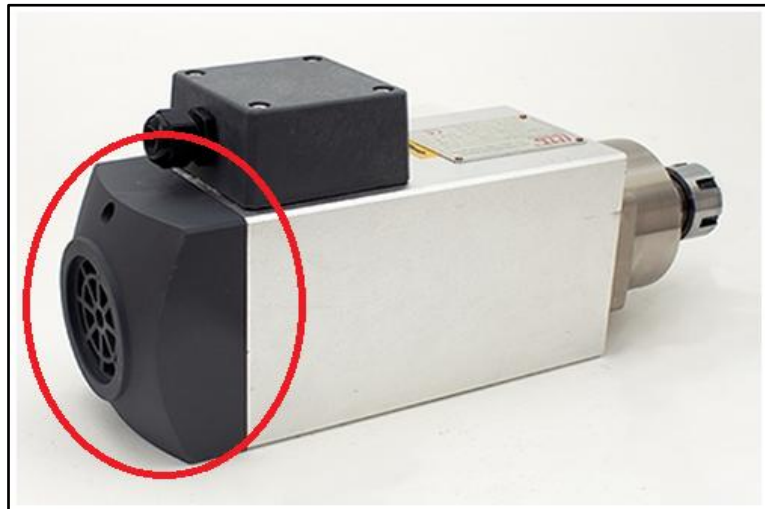
**FIGURA 3.2. GMT AIR COOLED CNC SPINDLE**

El husillo de corte elegido consta de las siguientes características:

<b>GMT Air Cooled CNC Spindle: SFM4653B-24/2.20TMP</b>
<b>Dimensiones:</b> W: 90 mm H : 135 mm L: 270 mm
<b>Potencia:</b> 2.2 kW (3 HP)
<b>Voltaje:</b> 220 V 3 Phases (Inverter Output Voltage)
<b>Corriente:</b> 9.7 A
<b>Frecuencia:</b> 0~400 Hz
<b>Velocidad:</b> 0~24000 RPM stepless
<b>Rango velocidad de trabajo recomendada:</b> 6000-24000 RPM
Lubricación con grasa
Enfriado por aire
<b>Peso:</b> 8.5 kg (18 lbs)

El husillo de la marca seleccionada es el que posee las características más cercanas a las necesarias para la máquina fresadora CNC, con lo que se garantiza su correcto desempeño dentro de lo que se requiere.

Es importante señalar que el Spindle elegido se auto-refrigera por circulación de aire, evitando utilizar un sistema con un fluido refrigerante, además de la selección de equipos y elementos para su funcionamiento.



**FIGURA 3.3. REFRIGERACIÓN POR MEDIO DE AIRE PARA SPINDLE CNC**

#### **3.4. Sistema de intercambio de herramienta de corte**

Para el sistema de intercambio de herramienta de corte se selecciona el más conveniente para el tipo de husillo de corte ya escogido que es el de intercambio rápido o intercambio manual, descrito en la sección 2.2.3, en resumen este sistema utiliza una llave con la que se retira la tuerca y posteriormente el cono de sujeción junto con la fresa colocada para intercambiarla por otro

cono y la respectiva fresa de otra medida, de acuerdo a lo que se requiera, dicho sistema permite un cambio de herramienta fácil y en un tiempo relativamente corto.



**FIGURA 3.4. SISTEMA DE INTERCAMBIO MANUAL DE HERRAMIENTA**

### **3.5. Diseño sistema de transmisión de potencia y sistema de guías**

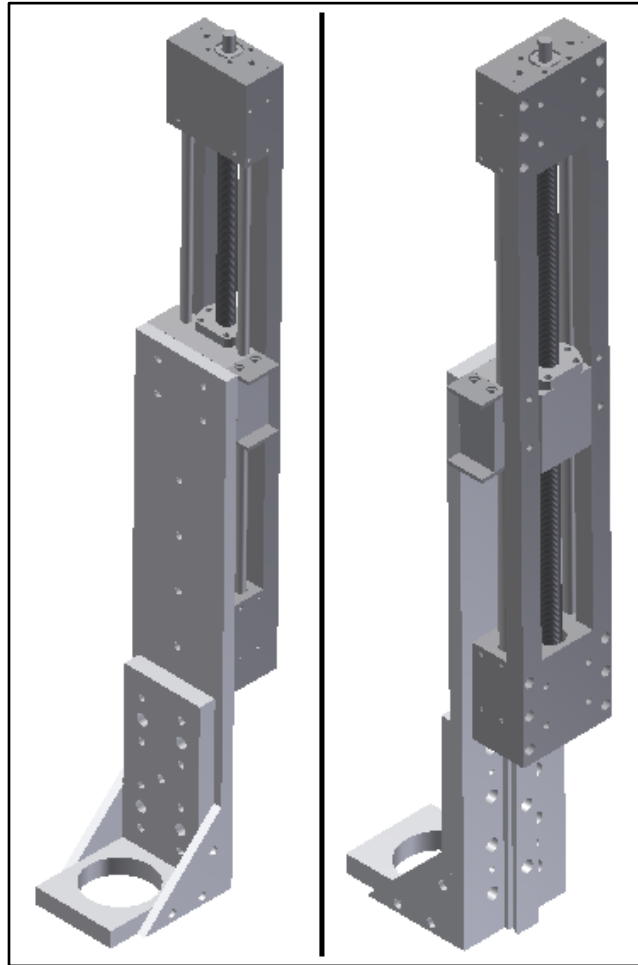
Para realizar el diseño del sistema de transmisión de potencia y sistemas de guías se escoge el husillo de bolas como transmisión principal y ejes redondos como guías, sobre los cuales se van a deslizar las diferentes partes de la máquina mediante rodamientos lineales.

Adicionalmente se va a colocar un sistema de rieles que ayudará a soportar las columnas sobre la estructura principal facilitando la estabilidad y desplazamiento de las mismas.

### **3.5.1. Diseño del sistema vertical eje Z**

La forma del sistema mecánico que constituye el eje Z se muestra en la figura 3.5, las dimensiones de las diferentes partes de dicho sistema se establecieron de manera proporcional a las medidas del husillo de corte ya seleccionado, los planos de cada elemento se encuentran adjuntados en la sección de APÉNDICES.



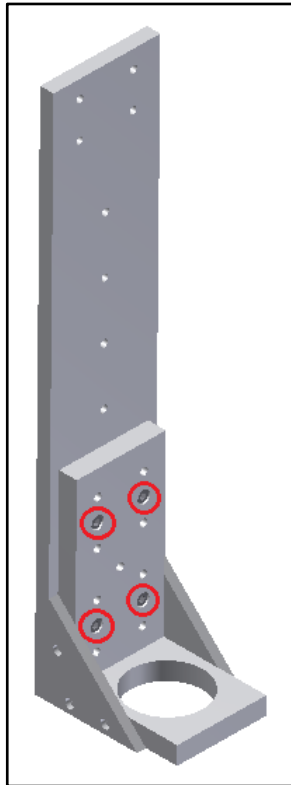


**FIGURA 3.5. SISTEMA MECÁNICO EJE Z**

**Cálculo de uniones atornilladas:**

Para el cálculo de los pernos más adecuados a colocar en las uniones de las diferentes partes del sistema eje Z, que resistan los esfuerzos generados por el mismo, se selecciona un punto crítico de referencia sobre el cual se realizarán dichos cálculos y que es la unión entre la placa soporte primaria del husillo de

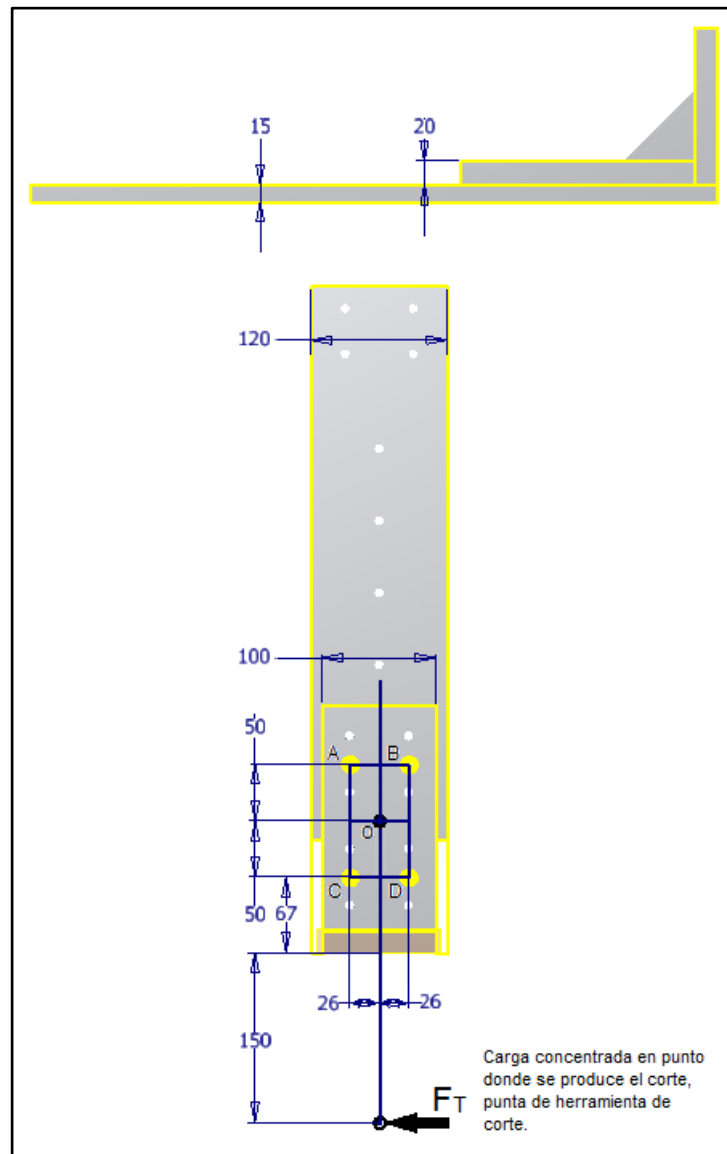
corte y la placa soporte secundaria del mismo, mostrada en la figura 3.6.



**FIGURA 3.6. UNIÓN CRÍTICA ATORNILLADA, SISTEMA MECÁNICO EJE Z**

Esta unión empernada se puede asemejar a dos placas unidas que se someten a esfuerzo cortante debido a una carga excéntrica, como se muestra en la figura 3.7. Los tornillos colocados experimentan una precarga debido al peso del husillo, esta fuerza es igual a  $F_1 = 85 \text{ N}$  y deben soportar la

fuerza transmitida por la herramienta de corte al realizar el desbaste del material base en el proceso de fresado denominada fuerza de corte,  $F_2 = 150.5 \text{ N}$ ; generando una fuerza total de  $F_T = 235.5 \text{ N}$ ; dicha fuerza se encuentra concentrada en el punto donde se produce el corte, es decir, la punta de la herramienta de corte.



**FIGURA 3.7. UNIÓN EMPERNADA SOMETIDA A ESFUERZO CORTANTE POR CARGA EXCÉNTRICA**

Se va a asumir que se utilizan pernos M8 X 1.25 debido a que el husillo seleccionado consta de orificios con dicha rosca para su instalación en el respectivo soporte.

Dichos pernos van a ser de tipo Allen, para que al momento de ser colocados puedan tener la cabeza escondida, mejorando la apariencia y facilitando el acople con los demás elementos, además van a ser de grado ISO 4.8, que se lo encuentra fácilmente en el mercado.

Se inicia determinando el centroide (O) del grupo de pernos que se lo obtiene fácilmente en el gráfico por simetría, al trazar un diagrama de cuerpo libre de la unión emperrada, la reacción cortante V pasaría por el punto O y las reacciones del momento flector M serían con respecto al mismo punto, por lo tanto se define:

Fuerza cortante:

$$V = F_T$$

$$F_T(N) = 235.5 \text{ [Fuerza total generada en los pernos]}$$

$$V = 235.5 \text{ N}$$

Momento flector:

$$M = V * d \quad (3.10)$$

$$V(N) = 235.5 \text{ [Fuerza cortante máxima]}$$

$$d(m) = 0.15 + 0.067 + 0.050 = 0.267$$

$$\left[ \begin{array}{c} \text{Distancia máxima entre la fuerza} \\ \text{generada y el centroide } O \\ \text{del sistema de pernos} \end{array} \right]$$

$$M = 235.5 \text{ N} * 0.267 \text{ m} = 62.9 \text{ N.m}$$

La distancia del centroide hasta el centro de cada perno es:

$$r = \sqrt{(26 \text{ mm})^2 + (50 \text{ mm})^2} = 56.4 \text{ mm}$$

La carga cortante primaria por perno es igual a:

$$F' = \frac{V}{n} \quad (3.11)$$

$$V(N) = 235.5 \text{ [Fuerza cortante]}$$

$$n = 4 \text{ [Número de pernos]}$$

$$F' = \frac{235.5 \text{ N}}{4} = 58.9 \text{ N}$$

La fuerza cortante secundaria es igual para todos los pernos y se obtiene de la siguiente fórmula:

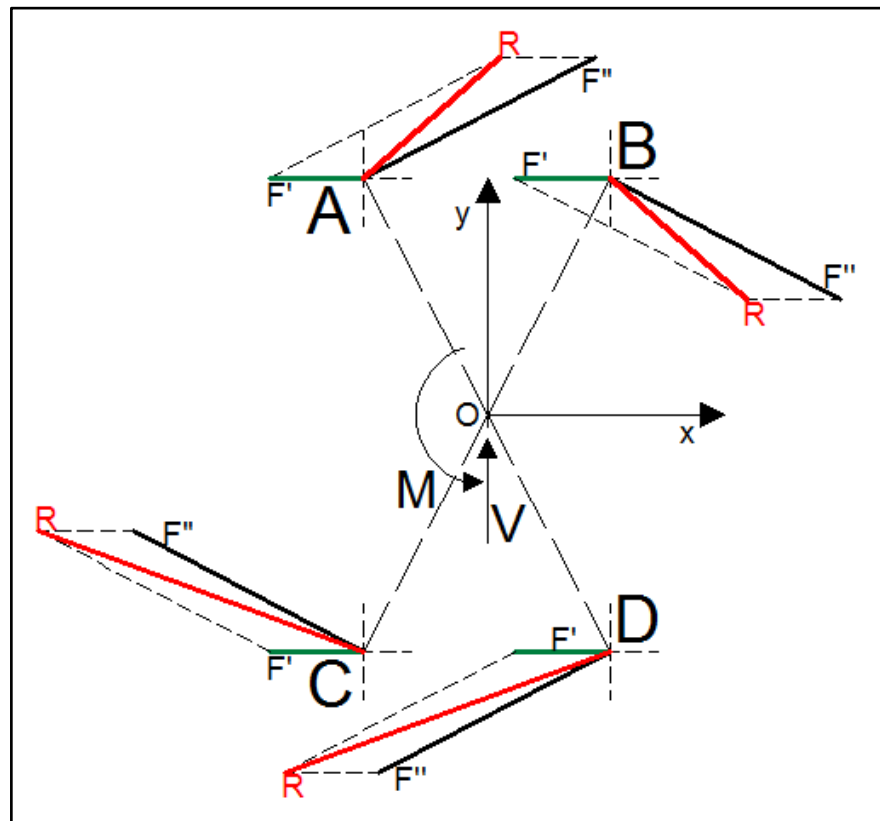
$$F'' = \frac{M}{4r} \quad (3.12)$$

$$M(N.m) = 62.9 \text{ [Momento flector]}$$

$$r(mm) = 56.4 \left[ \begin{array}{l} \text{Distancia del centroide } O \\ \text{al centro de cada perno} \end{array} \right]$$

$$F'' = \frac{62.9 \text{ N.m}}{\frac{56.4}{1000} \text{ m}} = 1115.2 \text{ N}$$

Tanto la fuerza cortante primaria como la fuerza secundaria se grafican a escala para cada perno y se obtiene la fuerza resultante aplicando el método del paralelogramo, como se muestra en la figura 3.8, la magnitud de dicha resultante se adquiere por método gráfico de vectores.



**FIGURA 3.8. DIAGRAMA DE FUERZAS, MÉTODO DEL PARALELOGRAMO**

Las fuerzas resultantes obtenidas son:

$$F_A = F_B = 1063.3 \text{ N}$$

$$F_C = F_D = 1167.8 \text{ N}$$

Los pernos colocados en los puntos C y D son los más críticos por que soportan la mayor parte de la carga, dichos pernos ingresan por la placa soporte primaria quedando con su cabeza



escondida en la misma (9 mm) y se enroscan directamente en la placa secundaria, por lo que necesitan poseer una longitud mínima de  $35 - 9 = 26$  mm, más 2 mm adicionales para un anillo de presión, se obtiene una distancia total de 28 mm, por mayor disponibilidad en el mercado se escoge una longitud de 30 mm.

La longitud de la rosca se calcula con la siguiente expresión:

$$L_T = 2D + 6 \quad (3.13)$$

$$D(mm) = 8 [\text{Diámetro nominal del perno}]$$

$$L_T = 2(8 \text{ mm}) + 6 = 22 \text{ mm}$$

La parte sin rosca del perno es:

$$L_L = 30 \text{ mm} - 22 \text{ mm} = 8 \text{ mm}$$

La longitud libre es menor al espesor de la placa soporte primaria y debido a que el perno tenderá a cortarse a lo largo de su diámetro menor, el área de esfuerzo cortante es:

$$A_S = \frac{\pi * d^2}{4} \quad (3.14)$$

$$d(mm) = 6.376 \text{ [Diámetro base del perno]}$$

$$A_S = \frac{\pi * (6.376)^2}{4} = 32 \text{ mm}^2$$

El esfuerzo cortante se calcula con la expresión:

$$\tau = \frac{F}{A_S} \quad (3.15)$$

$$F(N) = 1167.8 \text{ [Fuerza máxima soportada por los pernos]}$$

$$A_S(mm^2) = 32 \text{ [Area de esfuerzo cortante]}$$

$$\tau = \frac{1167.8 \text{ N}}{32 \text{ mm}^2 * \frac{1 \text{ m}^2}{(1000)^2 \text{ mm}^2}} = 36.5 \text{ MPa}$$

De la tabla 8-11 del libro: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley – Octava edición, se obtiene las resistencias mínimas de los pernos de grado ISO 4.8:  $S_p = 310 \text{ MPa}$  y  $S_{ut} = 420 \text{ MPa}$ . Según el criterio de falla por Von Mises se tiene que:

$$\tau = \frac{F}{A_s} = 0.577 \frac{S_p}{n_p}$$

Con lo que se calcula el factor de seguridad:

$$n_p = 0.577 \frac{S_p}{\tau} \quad (3.16)$$

$$S_p(\text{MPa}) = 310 \left[ \begin{array}{l} \text{Resistencia de prueba mínima del perno,} \\ \text{grado ISO 4.8} \end{array} \right]$$

$$\tau(\text{MPa}) = 36.5 \text{ [Esfuerzo cortante]}$$

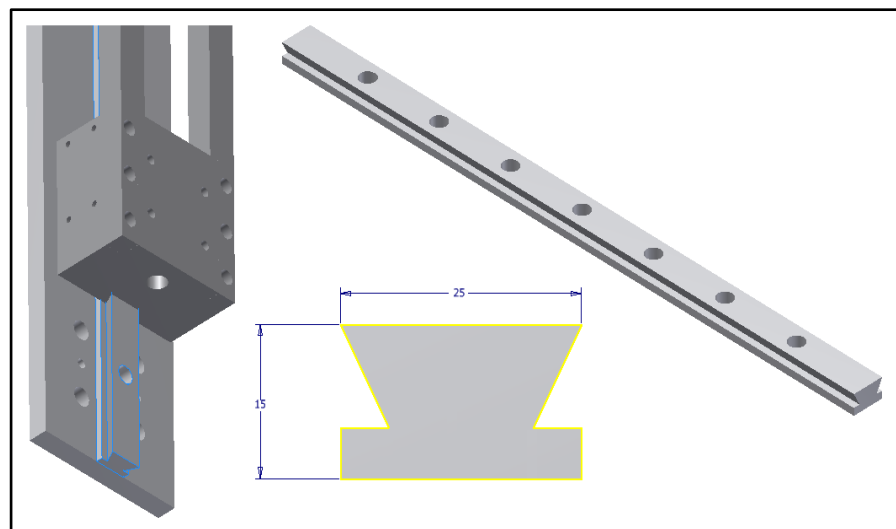
$$n_p = 0.577 \frac{310 \text{ MPa}}{36.5 \text{ MPa}} = 5$$

Se obtuvo un factor de seguridad  $n_p = 5$ , con lo que se verifica que es correcto utilizar pernos M8 X 1.25 de grado ISO 4.8 en dicho punto crítico y se pueden emplear los mismos para las demás partes que requieran este tipo de unión, además en las partes que no cuenten con el suficiente espacio para colocar pernos de medidas M8, se pueden usar pernos M6 del mismo grado ISO 4.8.

**Diseño de la cola de milano:**

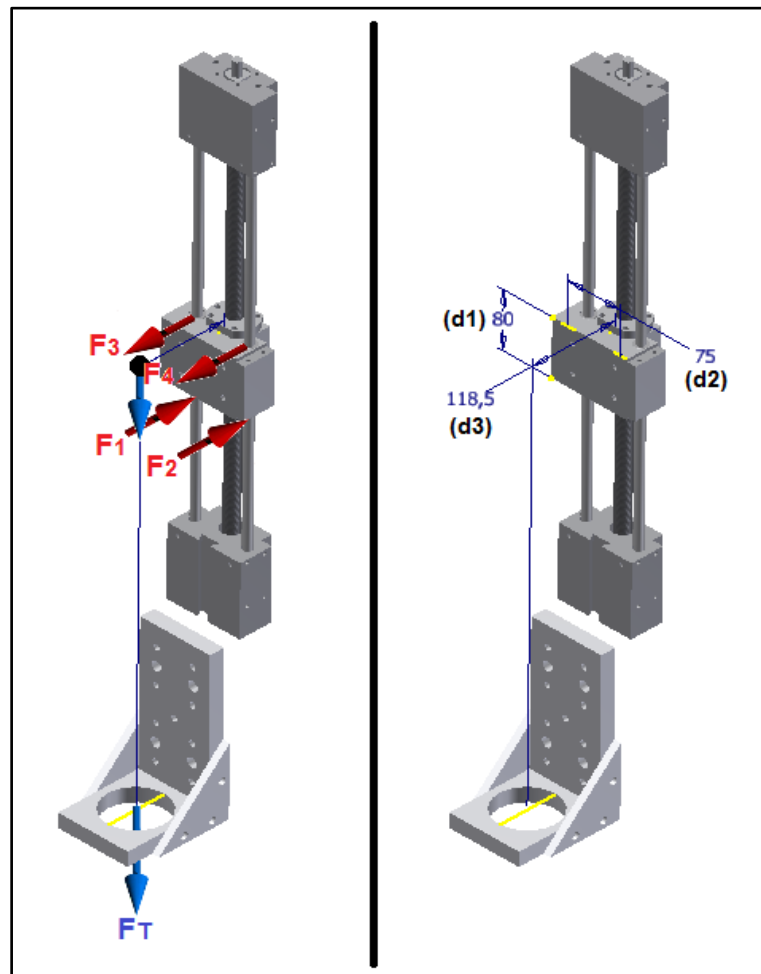
Para aumentar la resistencia y mejorar la precisión del funcionamiento de la placa soporte secundaria, que desciende al husillo de corte con motivo de realizar la tarea de mecanizado correspondiente, se incorpora una cola de milano en su parte posterior que se acoplará mediante pernos y encajará en el bloque inferior del sistema de transmisión de potencia, brindando un correcto desempeño con mayor seguridad.

Debido al espacio disponible en la placa soporte secundaria, se diseña una cola de milano de: 510 mm de largo, 25 mm de ancho y 15 mm de espesor; con un perfil trapezoidal de dimensiones indicadas en su correspondiente plano adjuntado en la sección de APÉNDICES.

**FIGURA 3.9. COLA DE MILANO**

**Diseño del sistema de transmisión de potencia:**

El sistema de transmisión de potencia consta de un carro que se traslada mediante un tornillo sin fin y está orientado por dos guías ubicadas una a cada lado de dicho tornillo, debido a que la máxima altura de los prototipos a construir es de 400mm, se ha dispuesto una altura máxima de 500mm, en la figura 3.10 se muestra la disposición de todos los elementos descritos y las fuerzas que intervienen en los mismos.



**FIGURA 3.10. SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA,  
EJE Z**

Para el sistema en equilibrio, se puede realizar una sumatoria de momentos, con el fin de calcular las fuerzas ejercidas en el soporte - carro del tornillo sin fin sobre cada guía, obteniendo las siguientes expresiones:

$$F_1 = F_2 = -\frac{F_T}{2} \left( \frac{d_3}{d_1} \right) \quad (3.17)$$

$$F_3 = F_4 = \frac{F_T}{2} \left( \frac{d_3}{d_1} \right) \quad (3.18)$$

Primero se calcula la fuerza total ejercida por el soporte – carro del tornillo sin fin:

$$F_T = F_e + F_h + F_c$$

$$F_e(N) = 49 \left[ \text{Peso de la estructura acoplada al soporte – carro del tornillo sin fin} \right]$$

$$F_h(N) = 85 \left[ \text{Peso del husillo de corte} \right]$$

$$F_c(N) = 150.5 \left[ \text{Fuerza de corte} \right]$$

$$F_T = 49 \text{ N} + 85 \text{ N} + 150.5 \text{ N} = 284.5 \text{ N}$$

$$d_1(\text{mm}) = 80$$

$$d_2(\text{mm}) = 75$$

$$d_3(\text{mm}) = 118.5$$

$\left[ \text{Dimensiones puntos de contacto, carro del tornillo sin fin,} \right]$   
eje Z

$$F_1 = F_2 = -\frac{284.5 \text{ N}}{2} \left( \frac{118.5 \text{ mm}}{80 \text{ mm}} \right) = -210.7 \text{ N}$$

$$F_3 = F_4 = \frac{284.5 \text{ N}}{2} \left( \frac{118.5 \text{ mm}}{80 \text{ mm}} \right) = 210.7 \text{ N}$$

Se obtuvo como carga máxima:  $F = 210.7 \text{ N}$  generada en el soporte – carro del sistema mecánico eje Z.

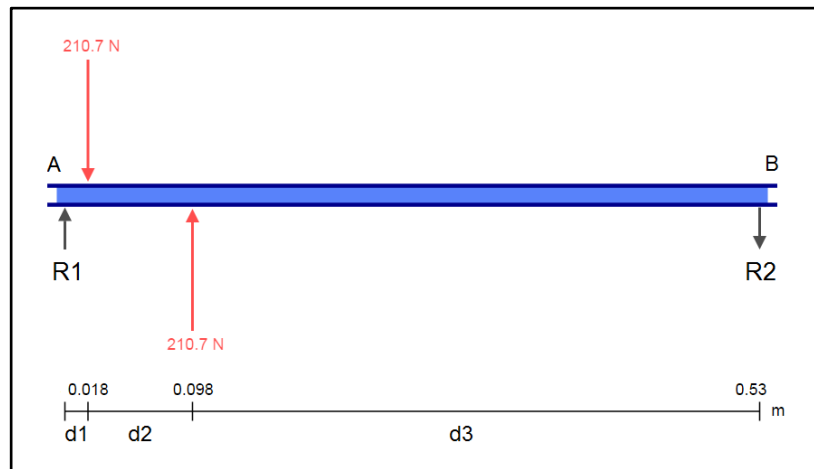
### **Ejes guías coordenada Z:**

Para las guías de la coordenada Z se van a utilizar ejes redondos de acero AISI – SAE 1045, cuyo diámetro será calculado dependiendo de los esfuerzos que deba resistir.

Por lo general el husillo de corte va a realizar el mecanizado en el punto más bajo de su recorrido, por lo tanto se establecen las distancias:  $d1 = 18 \text{ mm}$ ,  $d2 = 80 \text{ mm}$ ,  $d3 = 432 \text{ mm}$ , en donde estarán distribuidas las diferentes fuerzas y reacciones ejercidas en dichas guías, las cargas puntuales corresponden a  $F = 210.7 \text{ N}$ , fuerza máxima a resistir en el sistema de transmisión ya descrito.

En la figura 3.11 se muestra el diagrama de cuerpo libre para dichas guías.





**FIGURA 3.11. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE, EJE GUÍA  
COORDENADA Z**

Con el diagrama de cuerpo libre del eje guía coordenada Z se procede a realizar los cálculos correspondientes para obtener las reacciones generadas. Utilizando sumatoria de momentos y sumatoria de fuerzas en el eje Y, se obtiene:

$$\sum M_A = 0$$

$$-(F * d_1) + (F * (d_1 + d_2)) - (R_2 * (d_1 + d_2 + d_3)) = 0$$

$$R_2 = \frac{(F * (d_1 + d_2)) - (F * d_1)}{d_1 + d_2 + d_3} = \frac{F * d_2}{d_1 + d_2 + d_3}$$

$$R_2 = \frac{210.7 \text{ N} * 80 \text{ mm}}{18 \text{ mm} + 80 \text{ mm} + 432 \text{ mm}} = 31.8 \text{ N}$$

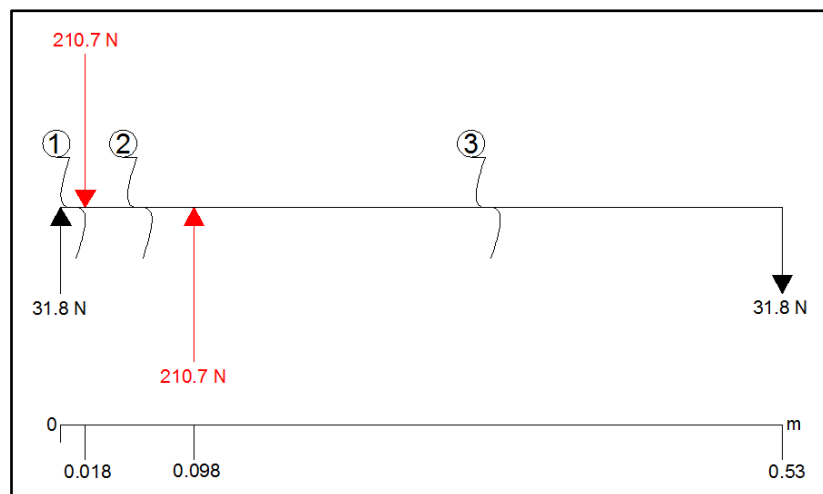
$$\sum F_y = 0$$

$$R_1 - F + F - R_2 = 0$$

$$R_1 = R_2$$

$$R_1 = 31.8 \text{ N}$$

Con los valores obtenidos de las reacciones generadas se procede a realizar los cálculos y diagramas de fuerza cortante y momento flector correspondientes.



**FIGURA 3.12. PUNTOS DE CORTE EN DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE, EJE GUÍA COORDENADA Z**

La figura 3.12, muestra el diagrama de cuerpo libre correspondiente al eje guía coordenada Z con los puntos donde

se van a realizar los cortes necesarios para el análisis de fuerzas y momentos respectivo, se obtiene lo siguiente:

**Corte 1:**

$$V = 31.8 \text{ N}$$

$$M = 31.8(x); \quad x = 0.018 \text{ m}$$

$$M = 31.8(0.018) = 0.57 \text{ N.m}$$

**Corte 2:**

$$V = 31.8 - 210.7 = -178.9 \text{ N}$$

$$M = 31.8(x) - 210.7(x - 0.018)$$

$$M = -178.9(x) + 3.8; \quad x = 0.098 \text{ m}$$

$$M = -178.9(0.098) + 3.8 = -13.7 \text{ N.m}$$

**Corte 3:**

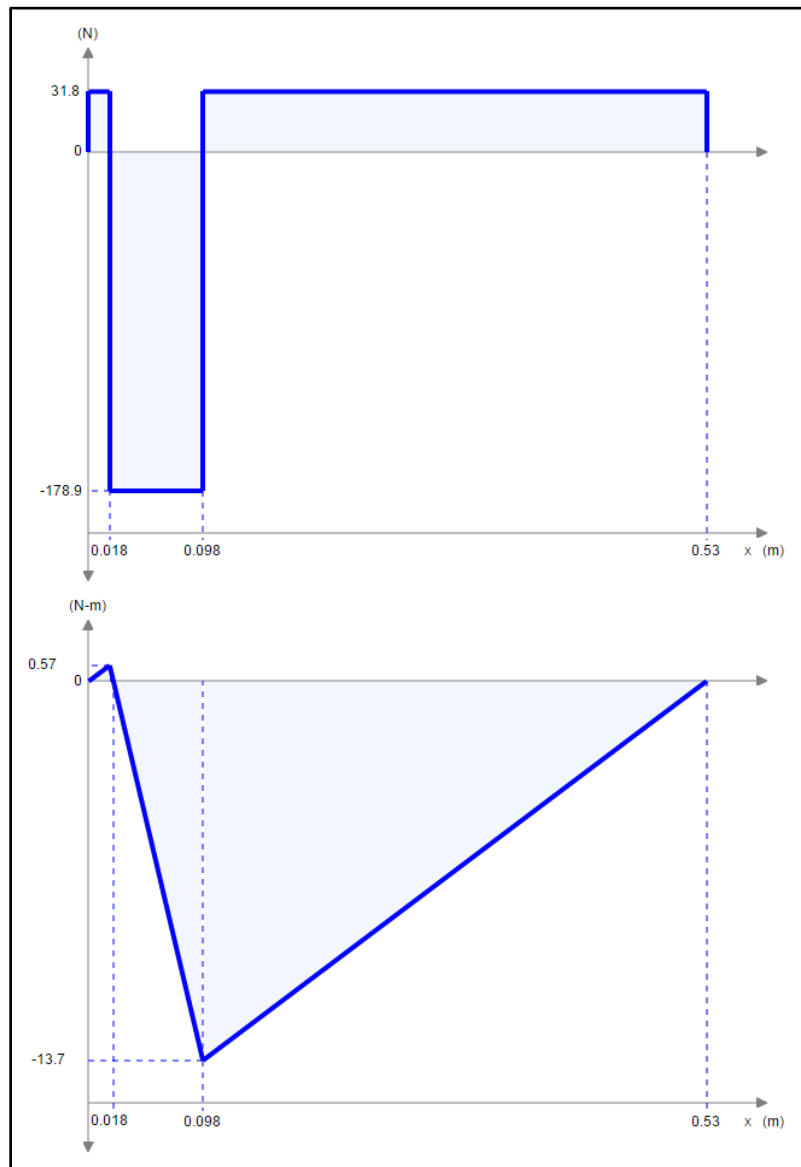
$$V = 31.8 - 210.7 + 210.7 = 31.8 \text{ N}$$

$$M = 31.8(x) - 210.7(x - 0.018) + 210.7(x - 0.098)$$

$$M = 31.8(x) - 16.9; \quad x = 0.53 \text{ m}$$

$$M = 31.8(0.53) - 16.9 = 0 \text{ N.m}$$

Con los resultados conseguidos se realizan los diagramas de fuerza cortante y momento flector correspondientes, como se muestra en la figura 3.13, de estas gráficas se seleccionan los valores críticos que deberán soportar las guías en su funcionamiento.



**FIGURA 3.13. DIAGRAMAS FUERZA CORTANTE Y  
MOMENTO FLECTOR, GUÍA COORDENADA Z**

Se escoge el valor máximo de momento flector que se produce en los ejes guías:  $M = 13.7 \text{ N.m}$ .

El esfuerzo normal máximo que soporta el material de los ejes guías se determina con la expresión:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{S_y}{n} \quad (3.19)$$

$$S_y \left( \frac{N}{mm^2} \right) = 310 \left[ \begin{array}{l} \text{Resistencia a la fluencia del material,} \\ \text{acero AISI – SAE 1045} \end{array} \right]$$

$$n = 2 \left[ \text{Factor de seguridad seleccionado, entre 1.5 y 2.5} \right]$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{310 \text{ N/mm}^2}{2} = 155 \frac{N}{mm^2}$$

Se calcula el módulo de resistencia del material seleccionado con la fórmula:

$$S = \frac{M}{\sigma_{m\acute{a}x}} \quad (3.20)$$

$$M(N.m) = 13.7 \left[ \text{Momento flector máximo generado} \right]$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} \left( \frac{N}{mm^2} \right) = 155 \left[ \text{Esfuerzo normal máximo del material} \right]$$

$$S = \frac{13.7 \text{ N.m} * \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}}}{155 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 88.4 \text{ mm}^3$$

El diámetro del eje guía se lo determina con la siguiente expresión:

$$D_G = \sqrt[3]{\frac{32 * S}{\pi}} \quad (3.21)$$

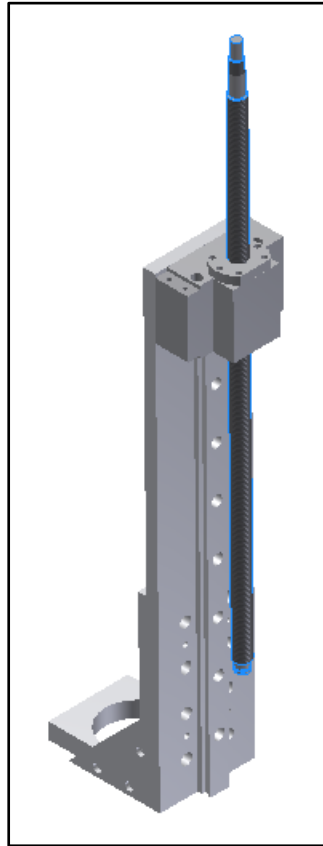
$$S(\text{mm}^3) = 88.4 \text{ [Módulo de resistencia del material]}$$

$$D_G = \sqrt[3]{\frac{32 * 88.4 \text{ mm}^3}{\pi}} = 9.7 \text{ mm}$$

Por facilidad de adquisición se selecciona un diámetro cercano disponible de 10 mm.

### **Cálculo del tornillo de potencia coordenada Z:**

El tornillo de potencia que se va a utilizar es el husillo de bolas y se considera que el material empleado para su construcción es el acero AISI - SAE 1045.



**FIGURA 3.14. TORNILLO DE POTENCIA, SISTEMA DE TRANSMISIÓN EJE Z**

Para el cálculo del tornillo de potencia se requiere determinar la fuerza total con el cuál será cargado:

$$F_T = F_h + F_e + F_c$$

$$F_h(N) = 85 \text{ [Peso del husillo de corte]}$$

$$F_e(N) = 60.4 \left[ \begin{array}{l} \text{Peso de la estructura acoplada al} \\ \text{tornillo de potencia, eje Z} \end{array} \right]$$



$$F_c(N) = 150.5 \text{ [Fuerza de corte]}$$

$$F_T = 85 N + 60.4 N + 150.5 N = 296 N$$

El área transversal del tornillo de potencia se la calcula despejando de la siguiente expresión:

$$\frac{\sigma}{n} = \frac{F_T}{A} \quad (3.22)$$

$$F_T(N) = 296 \text{ [Fuerza total de carga]}$$

$$\sigma \left( \frac{Lb}{in^2} \right) = 1000 \left[ \begin{array}{l} \text{Esfuerzo admisible del material,} \\ \text{acero AISI – SAE 1045} \end{array} \right]$$

$$n = 4 \left[ \begin{array}{l} \text{Factor de seguridad recomendado para} \\ \text{columnas de Euler (empotrado – empotrado),} \\ \text{tabla 4 – 2 del libro: Diseño en ingeniería} \\ \text{mecánica de Shigley, 8va edición} \end{array} \right]$$

$$A = \frac{F_T * n}{\sigma} = \frac{(296 N * \frac{1 Lb}{4.448 N}) * 4}{1000 \frac{Lb}{in^2}} = 0.266 in^2$$

El diámetro del tornillo de potencia se lo calcula con la fórmula:

$$D_T = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} \quad (3.23)$$

$$A(in^2) = 0.266 \text{ [Area transversal del tornillo de potencia]}$$

$$D_T = \sqrt{\frac{4 * 0.266 \text{ in}^2}{\pi}} = 0.58 \text{ in}$$

$$D_T = 0.58 \text{ in} * \frac{25.4 \text{ mm}}{1 \text{ in}} = 14.7 \text{ mm}$$

Por facilidad de adquisición, se escoge un diámetro de 15 mm, además el tornillo de potencia tiene que poseer extremos mecanizados para su fácil acople con el actuador y colocación de rodamientos en sus soportes.

El husillo de bolas seleccionado para el sistema de transmisión - coordenada Z, tiene las siguientes características dimensionales:

<b>L<sub>t</sub></b> : 690 mm (Longitud total)
<b>L<sub>d</sub></b> : 550 mm (Longitud desplazamiento carro)
<b>d<sub>e</sub></b> : 15 mm (Diámetro exterior)
<b>p</b> : 10 o 20 mm (Pasos estándar para H.B. de 15 mm de diámetro)

### Cálculo de torque para el tornillo de potencia, coordenada

**Z:**

La carga total aplicada en el tornillo de potencia es igual a:  $F_T = 296 \text{ N}$ , las dimensiones generales de construcción del tornillo para un diámetro exterior de 15 mm son las siguientes:

$$d_r(\text{mm}) = 12.2 \text{ [Diámetro de raíz]}$$

$$d_m(\text{mm}) = 13.6 \text{ [Diámetro medio]}$$

$$p(\text{mm}) = 10 \text{ [Paso menor para H.B. de diámetro: 15 mm]}$$

$$\mu = 0.15 \text{ [Coeficiente de fricción estándar para H.B.]}$$

El torque necesario para que el tornillo descrito suba la carga total, se lo determina con la siguiente expresión:

$$T_s = \frac{F_T * d_m}{2} \left( \frac{p + (\pi * \mu * d_m)}{(\pi * d_m) - (\mu * p)} \right) \quad (3.24)$$

$$T_s = \frac{296 \text{ N} * 13.6 \text{ mm}}{2} \left( \frac{10 \text{ mm} + (\pi * 0.15 * 13.6 \text{ mm})}{(\pi * 13.6) - (0.15 * 10)} \right)$$

$$T_s = 801.2 \text{ N.mm}$$

El torque para que el tornillo de potencia baje la carga total, se lo calcula con la fórmula:

$$T_b = \frac{F_T * d_m}{2} \left( \frac{(\pi * \mu * d_m) - p}{(\pi * d_m) + (\mu * p)} \right) \quad (3.25)$$

$$T_b = \frac{296 \text{ N} * 13.6 \text{ mm}}{2} \left( \frac{(\pi * 0.15 * 13.6 \text{ mm}) - 10 \text{ mm}}{(\pi * 13.6) + (0.15 * 10)} \right)$$

$$T_b = 163.9 \text{ N.mm}$$

De los torques calculados se escoge el mayor:  $T = 801.2 \text{ N.mm}$ , que es el requerido por el tornillo de potencia para lograr mover la carga total en cualquiera de los dos sentidos durante su funcionamiento.

$$T = 801.2 \text{ N.mm} * \frac{1 \text{ Kg}}{9.8 \text{ N}} * \frac{2.2 \text{ Lb}}{1 \text{ Kg}} * \frac{16 \text{ Oz}}{1 \text{ Lb}} * \frac{1 \text{ in}}{25.4 \text{ mm}}$$

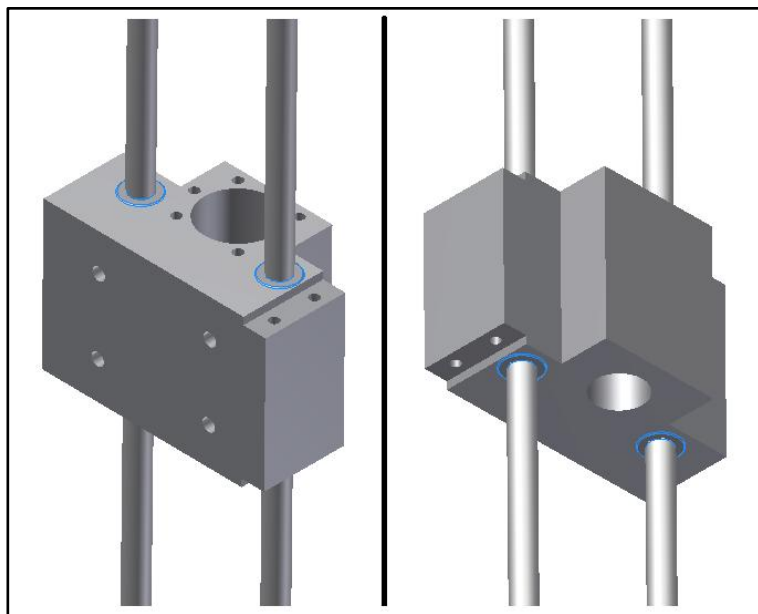
$$T = 113.3 \text{ Oz.in}$$

**Selección de rodamientos:**

Los elementos que van a utilizar rodamientos son el soporte para el carro del tornillo de potencia que se desliza sobre dos guías y el tornillo mismo en sus extremos, sobre los cuales se soporta y gira durante su funcionamiento.

**Soporte – carro del tornillo de potencia:**

Para el soporte - carro del tornillo de potencia se van a utilizar cuatro rodamientos de tipo lineal, dos para cada lado de guía, como se muestra en la figura 3.15, deben contar con un diámetro interior de 10 mm y soportar una carga:  $F = 210.7 \text{ N}$ .



**FIGURA 3.15. DISPOSICIÓN RODAMIENTOS LINEALES, SOPORTE – CARRO TORNILLO DE POTENCIA, EJE Z**

Para la selección de los rodamientos se va a utilizar el catálogo de rodamientos lineales de bolas NTN.

La capacidad de carga estática se la calcula con la siguiente expresión:

$$C_o = f_s * F_{om\acute{a}x} \quad (3.26)$$

$$f_s = 2.5 \left[ \begin{array}{l} \text{Coeficiente de seguridad est\acute{a}tico, para} \\ \text{condiciones de choques y vibraciones de} \\ \text{baja intensidad, Tabla recomendaciones} \\ \text{de coeficiente est\acute{a}tico en distintas con} \\ \text{diciones de funcionamiento, Cat\acute{a}logo de} \\ \text{Rodamientos Lineales de Bolas NTN} \end{array} \right]$$

$$F_{om\acute{a}x}(N) = 210.7 [\text{Carga m\acute{a}xima aplicada}]$$

$$C_o = 2.5 * 210.7 N = 526.8 N$$

La capacidad de carga estática requerida en los rodamientos lineales es de 526.8 N.

La capacidad de carga dinámica se la determina con la fórmula:

$$C = \frac{L * F * f_w}{f_h * f_t * f_c * 50} \quad (3.27)$$

$$F(N) = 210.7 \text{ [Máxima carga aplicada]}$$

$$f_h = 0.08 \left[ \begin{array}{l} \text{Factor de dureza del eje, Tabla factor de} \\ \text{dureza, interpolando para una dureza de} \\ \text{4 HRC, Catálogo de Rodamientos Lineales} \\ \text{de Bolas NTN} \end{array} \right]$$

$$f_t = 1 \left[ \begin{array}{l} \text{Factor de temperatura, Tabla de condiciones} \\ \text{de temperatura, Para una rango de tempe-} \\ \text{ratura de } -20^{\circ}\text{C a } 80^{\circ}\text{C, Catálogo de} \\ \text{Rodamientos Lineales de Bolas NTN} \end{array} \right]$$

$$f_c = 1 \left[ \begin{array}{l} \text{Factor de contacto, Tabla número de ro-} \\ \text{damientos lineales de bolas montados juntos,} \\ \text{Para 1 rodamiento, Catálogo de} \\ \text{Rodamientos Lineales de Bolas NTN} \end{array} \right]$$

$$f_w = 1.25 \left[ \begin{array}{l} \text{Factor de carga, Tabla de condiciones de} \\ \text{funcionamiento - velocidad } V, \text{ para con-} \\ \text{diciones normales, } V \leq 0.25 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \text{ Catálogo de} \\ \text{Rodamientos Lineales de Bolas NTN} \end{array} \right]$$

Para calcular la vida nominal (L) se utiliza la expresión:

$$L = L_h * 2 * s * n_s * 60 \quad (3.28)$$

$$L_h = 25000 \left[ \begin{array}{l} \text{Vida nominal en horas, Valor} \\ \text{máximo para máquinas de 8} \\ \text{horas de trabajo diario} \end{array} \right]$$

$$s(m) = 0.5 \text{ [Longitud de carrera]}$$

$$n_s(\text{min}^{-1}) = 0.0021 \left[ \begin{array}{l} \text{frecuencia de carrera, valor para} \\ \text{8 horas de trabajo diario} \end{array} \right]$$

$$L = 25000 * 2 * 0.5 \text{ m} * 0.0021 \text{ min}^{-1} * 60 = 3150 \text{ m}$$

$$C = \frac{3.15 \text{ Km} * 210.7 \text{ N} * 1.25}{0.08 * 1 * 1 * 50} = 207.4 \text{ N}$$

La capacidad de carga dinámica requerida en los rodamientos lineales es de 207.4 N.

De acuerdo a los resultados obtenidos y para un diámetro de 10 mm se seleccionan rodamientos lineales de bolas estándar, cerrados, de la marca NTN, modelo: BBE10 (jaula de plástico) con una capacidad de carga estática: 549 N y una capacidad de carga dinámica: 286 N.

El plano y especificaciones de dichos rodamientos se encuentran adjuntados en la sección de APÉNDICES.

#### **Tornillo de potencia:**

Para el tornillo de potencia, debido a la posición en la que va a ser colocado, de forma vertical, en sus extremos se van a colocar rodamientos axiales de bolas que puedan resistir la carga vertical máxima aplicada a dicho tornillo,  $F = 296 \text{ N}$ .



Para husillos de bolas de diámetro exterior 15 mm, sus extremos mecanizados tienen un diámetro de 12 mm.

Para la selección de rodamientos se va a utilizar el catálogo general de la marca SKF.

De acuerdo a la carga ejercida en los apoyos se obtiene que:

$$F_r = 0 \text{ N}$$

$$F_a = F = 296 \text{ N}$$

Donde:

$$F_r = \text{Carga radial aplicada}$$

$$F_a = \text{Carga axial aplicada}$$

La capacidad de carga estática ( $C_o$ ) se la calcula con la expresión:

$$C_o = S_o * P_o \quad (3.29)$$

$$S_o = 3 \left[ \begin{array}{l} \text{Factor de seguridad estático, Casos de} \\ \text{exigencia alta y funcionamiento con} \\ \text{cargas de choque para rodamientos} \\ \text{de bolas, TABLA 10 (Catálogo General} \\ \text{SKF), adjuntada en APÉNDICES} \end{array} \right]$$

$$P_o(N) = 296 \text{ [Máxima carga axial aplicada]}$$

$$C_o = 3 * 296 N = 888 N$$

La capacidad de carga estática requerida en los rodamientos axiales de bolas es de 888 N.

La capacidad de carga dinámica se la obtiene con la siguiente fórmula:

$$C = P \left( \frac{60 * n * L_{10h}}{10^6} \right)^{1/p} \quad (3.30)$$

$$P(N) = 296 \text{ [Máxima carga aplicada]}$$

$$n(\text{RPM}) = 106 \text{ [Velocidad rotacional de trabajo]}$$

$$L_{10h} = 25000 \left[ \begin{array}{l} \text{Vida nominal del rodamiento, 90\% de} \\ \text{fiabilidad, horas de funcionamiento,} \\ \text{máx. valor para máquinas de 8 horas} \\ \text{de trabajo diario,} \\ \text{TABLA 8 (Catálogo General SKF),} \\ \text{adjuntada en APÉNDICES} \end{array} \right]$$

$$p = 3 \left[ \begin{array}{l} \text{Exponente de la ecuación de la vida,} \\ \text{para los rodamientos de bolas,} \\ \text{Catálogo General SKF} \end{array} \right]$$

$$C = 296 N \left( \frac{60(106 \text{ RPM}) * 25000}{10^6} \right)^{1/3} = 1603.6 N$$

La capacidad de carga dinámica requerida en los rodamientos axiales de bolas es de 1603.6 N.

Con los resultados obtenidos y para un diámetro interior de 12 mm se seleccionan rodamientos axiales de bolas SKF, modelo: 51201 con una capacidad de carga básica estática: 20800 N y una capacidad de carga dinámica: 13300 N.

En husillos de bolas para lograr mayor precisión y seguridad se disponen dos rodamientos en el extremo superior que va acoplado al motor y uno en el extremo inferior, por lo que se necesitan tres rodamientos en total.



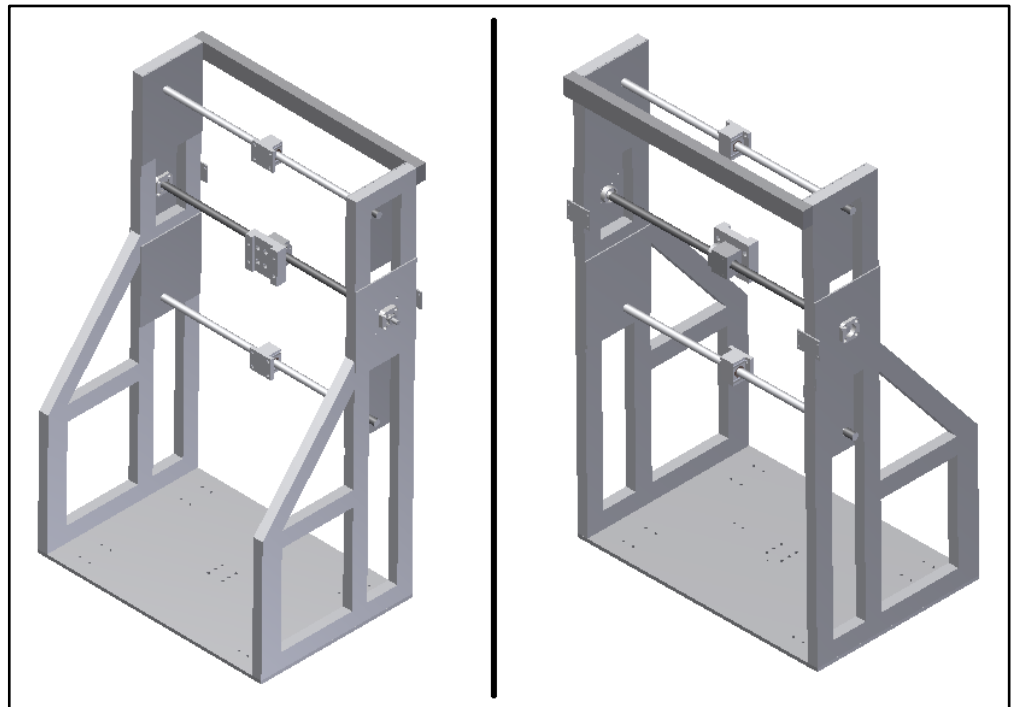
**FIGURA 3.16. DISPOSICIÓN RODAMIENTOS AXIALES,  
TORNILLO DE POTENCIA, EJE Z**

El plano y especificaciones de dichos rodamientos se encuentran adjuntados en la sección de APÉNDICES.

### **3.5.2. Diseño del sistema horizontal eje X**

El sistema mecánico que constituye el eje X se muestra en la figura 3.17, las medidas de las diferentes partes que forman dicho sistema se establecen de acuerdo a los requerimientos dimensionales de la máquina para esta coordenada y de manera proporcional al tamaño de los elementos ya diseñados para el sistema eje Z, los planos de cada parte para este

sistema se encuentran adjuntados en la sección de APÉNDICES.

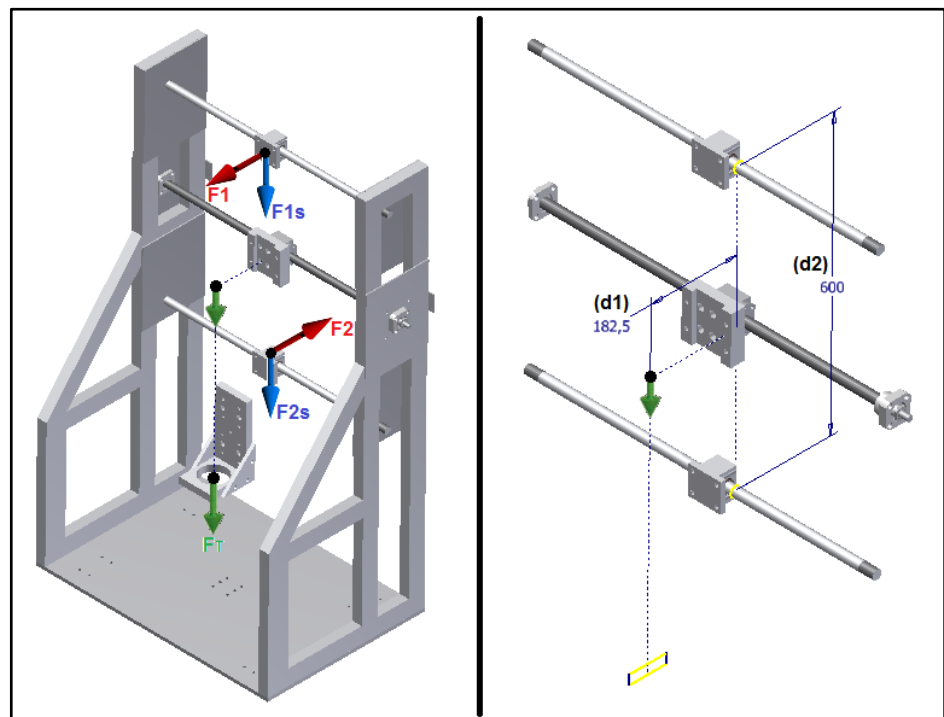


**FIGURA 3.17. SISTEMA MECÁNICO EJE X**

**Diseño del sistema de transmisión de potencia:**

El sistema de transmisión de potencia trabaja en sentido horizontal, consta de un carro soporte que se traslada por medio de un tornillo sin fin y está orientado por dos guías ubicadas una a cada lado de dicho tornillo, el máximo ancho de los prototipos a construir es de 350 mm más una distancia de 240 mm debido al ancho del soporte del husillo y elementos del

sistema mecánico eje Z, por lo que se necesita mínimo de 590 mm a lo largo del eje X. Por facilidad de manipulación y espacio para dar mantenimiento a los diferentes elementos de los sistemas descritos, se ha establecido un ancho de 670 mm.



**FIGURA 3.18. SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA,  
EJE X**

En el sistema en mostrado en la figura 3.18, cada eje guía va a presentar una carga normal y una carga lateral debido a las fuerzas aplicadas durante su funcionamiento, con el fin de calcular las cargas generadas, conservando la relación de

distancias y fuerzas entre dichas guías, se realiza sumatoria de fuerzas y momentos obteniendo las expresiones siguientes:

$$F_1 = F_T \left( \frac{d_2}{d_1} \right) \quad (3.31)$$

$$F_2 = -F_T \left( \frac{d_2}{d_1} \right) \quad (3.32)$$

$$F_{1s} = F_{2s} = F_T$$

La fuerza total aplicada es igual a la suma del peso de la estructura que soporta (sistema eje Z) más el peso del husillo y la fuerza de corte.

$$F_T = F_e + F_h + F_c$$

$$F_e(N) = 120.5 \left[ \begin{array}{l} \text{Peso de la estructura acoplada al} \\ \text{sistema eje X} \end{array} \right]$$

$$F_h(N) = 85 \text{ [Peso del husillo de corte]}$$

$$F_c(N) = 150.5 \text{ [Fuerza de corte]}$$

$$F_T = 120.5 N + 85 N + 150.5 N = 356 N$$

$$d_1(mm) = 600$$

$$d_2(mm) = 182.5$$

[Dimensiones puntos de contacto,  
sistema mecánico eje X]

$$F_1 = 356 N \left( \frac{182.5 mm}{600 mm} \right) = 108.2 N$$

$$F_2 = -356 N \left( \frac{182.5 mm}{600 mm} \right) = -108.2 N$$

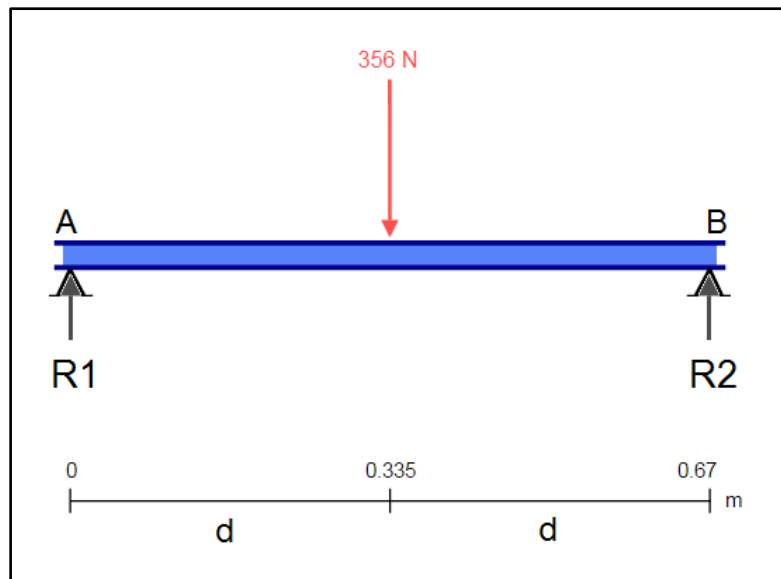
$$F_{1s} = F_{2s} = 356 N$$

Se escoge como carga máxima:  $F = 356 N$  generada en el sistema mecánico eje X.

### **Ejes guías coordenada X:**

Para las guías de la coordenada X se van a utilizar ejes redondos de acero AISI – SAE 1045. Para realizar los cálculos correspondientes se establece que la carga máxima aplicada en cada eje guía va a estar ubicada en la mitad de la longitud total de las mismas, por lo que se dispone la distancia:  $d = 335 mm$ , en donde estará aplicada dicha fuerza y que corresponde a  $F = 356 N$ , carga máxima a resistir por dichos ejes guías en el sistema de transmisión descrito.





**FIGURA 3.19. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE, EJE GUÍA  
COORDENADA X**

Con el diagrama de cuerpo libre mostrado en la figura 3.19, se realizan los cálculos correspondientes para obtener las reacciones generadas. Utilizando sumatoria de momentos y sumatoria de fuerzas se obtiene:

$$\sum M_A = 0$$

$$-(F * d) + R_2 * (d + d) = 0$$

$$R_2 = \frac{F * d}{2d} = \frac{F}{2}$$

$$R_2 = \frac{356 N}{2} = 178 N$$

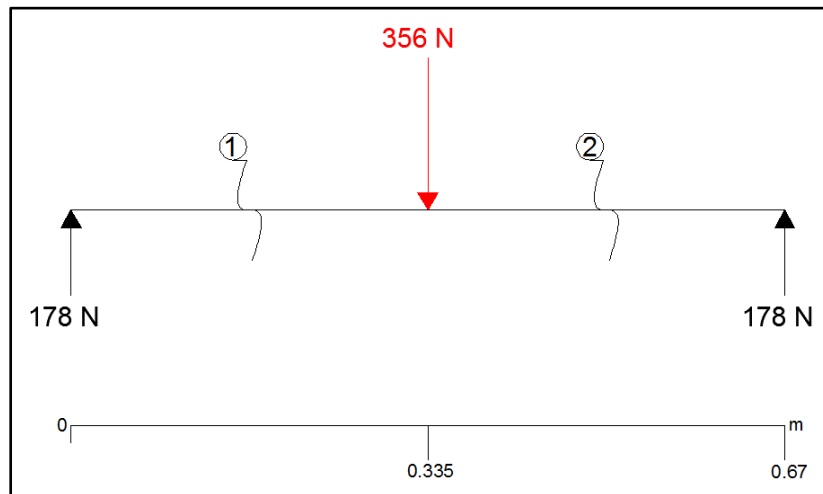
$$\sum F_y = 0$$

$$R_1 - F + R_2 = 0$$

$$R_1 = F - R_2$$

$$R_1 = 356 N - 178 N = 178 N$$

Con los valores obtenidos se procede a realizar los cálculos y diagramas de fuerza cortante y momento flector correspondientes.



**FIGURA 3.20. PUNTOS DE CORTE EN DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE, EJE GUÍA COORDENADA X**

En la figura 3.20, se muestra el diagrama de cuerpo libre del eje guía coordenada X con los puntos donde se van a realizar los cortes para el análisis de fuerzas y momentos respectivo.

**Corte 1:**

$$V = 178 \text{ N}$$

$$M = 178(x); \quad x = 0.335 \text{ m}$$

$$M = 178(0.335) = 59.6 \text{ N.m}$$

**Corte 2:**

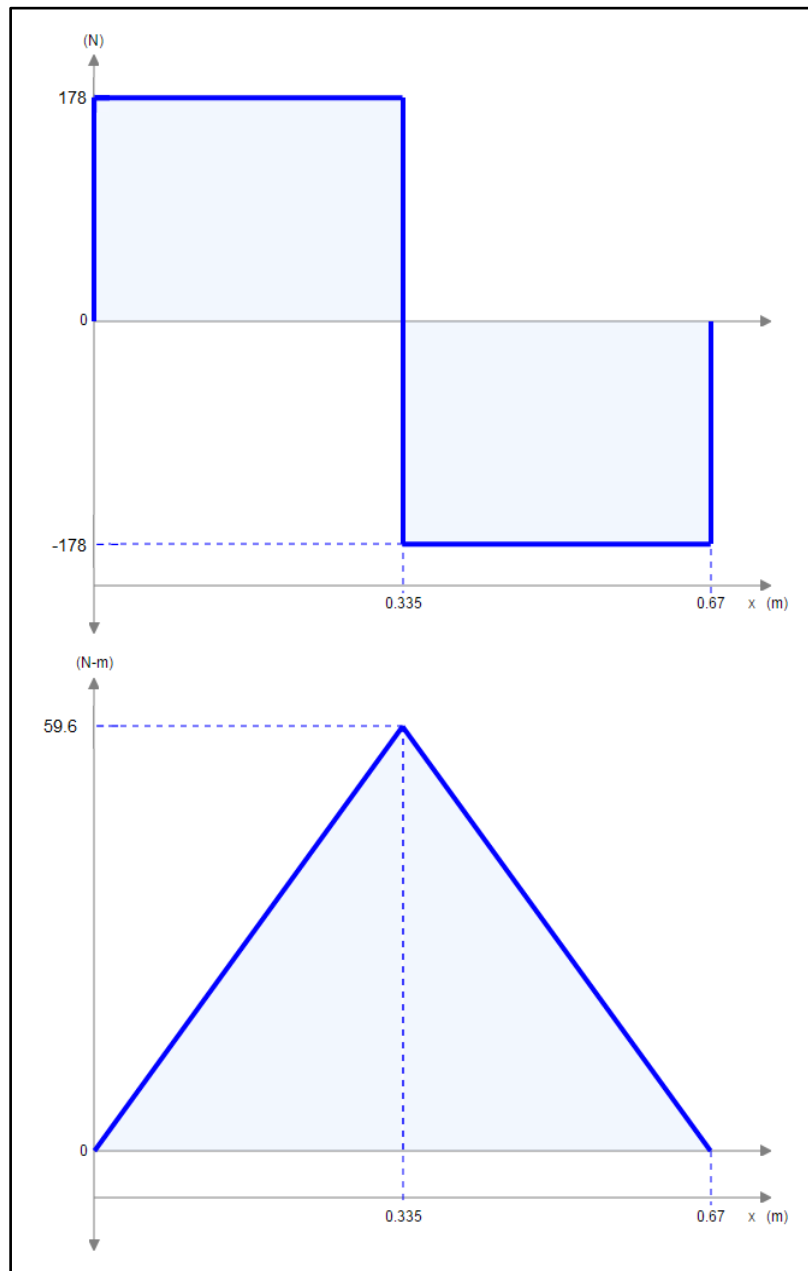
$$V = 178 - 356 = -178 \text{ N}$$

$$M = 178(x) - 356(x - 0.335)$$

$$M = -178(x) + 119.3; \quad x = 0.67 \text{ m}$$

$$M = -178(0.67) + 119.3 = 0 \text{ N.m}$$

Con los resultados obtenidos se realizan los diagramas de fuerza cortante y momento flector correspondientes y de estas gráficas se seleccionan los valores críticos a soportar por los ejes guías durante su funcionamiento.



**FIGURA 3.21. DIAGRAMAS FUERZA CORTANTE Y  
MOMENTO FLECTOR, GUÍA COORDENADA X**

De la figura 3.21, se selecciona el valor máximo de momento flector producido en los ejes guías:  $M = 59.6 \text{ N.m}$ .

El esfuerzo normal máximo soportado por el material de los ejes guías y calculado en la sección 3.5.1 es igual a:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 155 \frac{N}{mm^2}$$

El módulo de resistencia del material seleccionado se calcula con la fórmula:

$$S = \frac{M}{\sigma_{m\acute{a}x}} \quad (3.20)$$

$$M(N.m) = 59.6 \text{ [Momento flector máximo generado]}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} \left( \frac{N}{mm^2} \right) = 155 \text{ [Esfuerzo normal máximo del material]}$$

$$S = \frac{59.6 \text{ N.m} * \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}}}{155 \frac{N}{mm^2}} = 384.5 \text{ mm}^3$$

El diámetro del eje guía se lo determina con la expresión:

$$D_G = \sqrt[3]{\frac{32 * S}{\pi}} \quad (3.21)$$

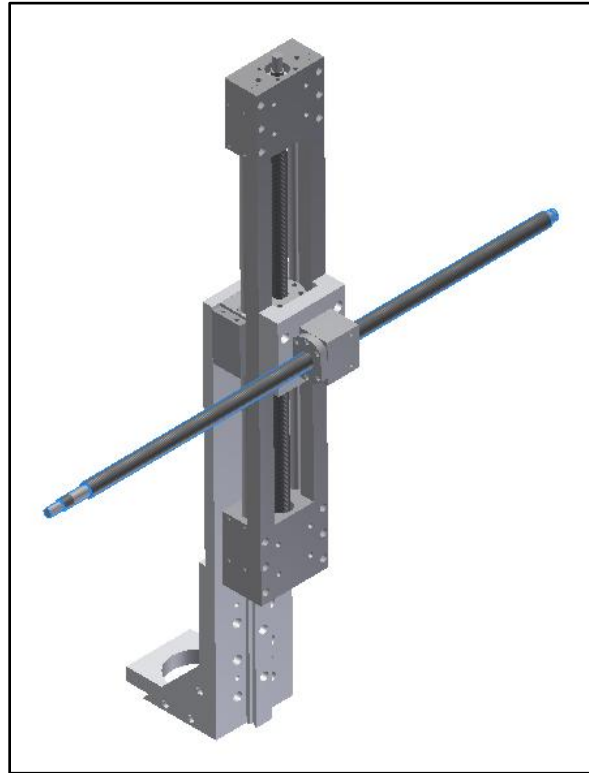
$$S(\text{mm}^3) = 634.8 [\text{Módulo de resistencia del material}]$$

$$D_G = \sqrt[3]{\frac{32 * 384.5 \text{ mm}^3}{\pi}} = 15.8 \text{ mm}$$

Por facilidad de adquisición se selecciona un diámetro próximo disponible de 20 mm.

#### **Cálculo del tornillo de potencia coordenada X:**

Para el diseño del tornillo de potencia, se considera que el material empleado en su construcción es el acero AISI - SAE 1045.



**FIGURA 3.22. TORNILLO DE POTENCIA, SISTEMA DE TRANSMISIÓN EJE X**

La fuerza total con el cuál será cargado el tornillo de potencia es igual a:

$$F_T = F_e + F_h + F_c$$

$$F_e(N) = 126.8 \left[ \begin{array}{l} \text{Peso de la estructura acoplada al} \\ \text{tornillo de potencia, eje X} \end{array} \right]$$

$$F_h(N) = 85 \text{ [Peso del husillo de corte]}$$

$$F_c(N) = 150.5 \text{ [Fuerza de corte]}$$



$$F_T = 126.8 N + 85 N + 150.5 N = 362.3 N$$

El área transversal del tornillo de potencia se la calcula despejando de la siguiente fórmula:

$$\frac{\sigma}{n} = \frac{F_T}{A} \quad (3.22)$$

$$F_T(N) = 362.3 \text{ [Fuerza total de carga]}$$

$$\sigma \left( \frac{Lb}{in^2} \right) = 1000 \left[ \begin{array}{l} \text{Esfuerzo admisible del material,} \\ \text{acero AISI - SAE 1045} \end{array} \right]$$

$$n = 3 \text{ [Factor de seguridad seleccionado]}$$

$$A = \frac{F_T * n}{\sigma} = \frac{(362.3 N * \frac{1 Lb}{4.448 N}) * 3,5}{1000 \frac{Lb}{in^2}} = 0.285 in^2$$

El diámetro del tornillo de potencia se lo calcula con la expresión:

$$D_T = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} \quad (3.23)$$

$$A(in^2) = 0.285 \text{ [Area transversal del tornillo de potencia]}$$

$$D_T = \sqrt{\frac{4 * 0.285 \text{ in}^2}{\pi}} = 0.60 \text{ in}$$

$$D_T = 0.60 \text{ in} * \frac{25.4 \text{ mm}}{1 \text{ in}} = 15.2 \text{ mm}$$

Por facilidad de adquisición, se selecciona un diámetro cercano de 16 mm.

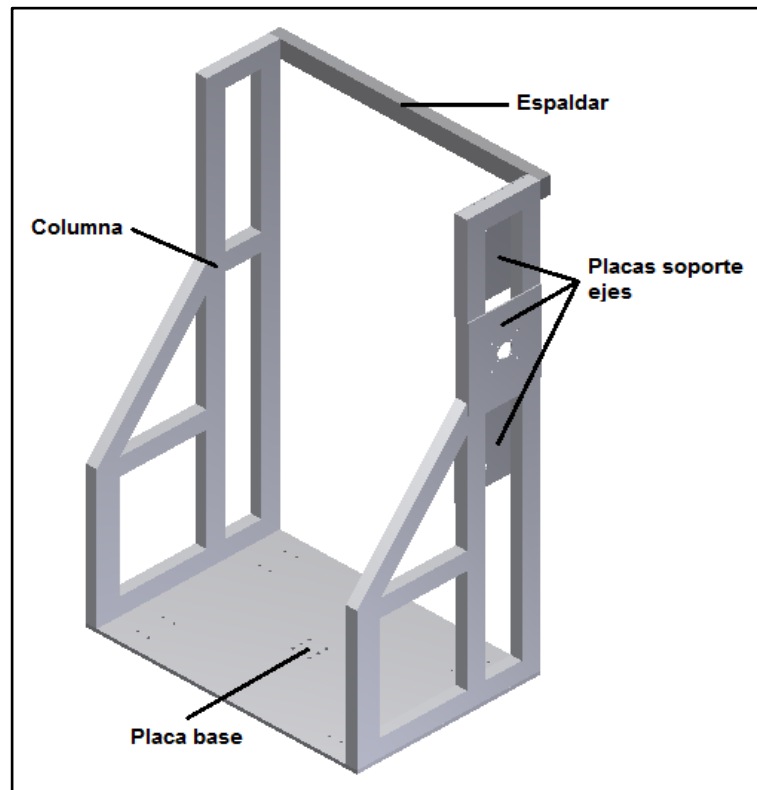
El husillo de bolas escogido para el sistema de transmisión - coordenada X, tiene las siguientes características dimensionales:

<b>L<sub>t</sub>:</b> 790 mm (Longitud total)
<b>L<sub>d</sub>:</b> 630 mm (Longitud desplazamiento carro)
<b>d<sub>e</sub>:</b> 16 mm (Diámetro exterior)
<b>p:</b> 5 mm (Paso estándar para H.B. de 16 mm de diámetro)

### **Diseño de las columnas soporte para el sistema eje X:**

Las columnas constituyen los pilares en los que se soporta todo el sistema mecánico del eje Z y sobre los cuales funciona el sistema eje X, por lo que deben ser resistentes y contar la forma adecuada que brinde firmeza sin que sean muy robustos ni pesados.

La forma de las columnas se muestra en la figura 3.23, constan de una base ancha haciendo que el centro de gravedad se encuentre en la parte más baja posible, lo que brinda mayor estabilidad; están construidas de perfiles rectangulares, dispuestos de tal manera que forman una estructura sólida, de bajo peso y con el espacio suficientes para acoplar placas en las que estarán soportados los diferentes elementos de los sistemas ejes Z y X, las columnas estarán vinculadas entre si por una placa base, en su parte inferior y un espaldar construido del mismo perfil rectangular en la parte superior.



**FIGURA 3.23. ESTRUCTURA COLUMNAS SOPORTE,  
SISTEMA EJE X**

Para el diseño de las columnas y el espaldar se utiliza un perfil rectangular de acero ASTM A36, con dimensiones de sección, largo: 50 mm, ancho: 30 mm y espesor: 2.5 mm, para la placa base de las columnas y las placas soporte de los ejes se utilizan planchas de acero ASTM A36 de 6 mm y 4 mm de espesor respectivamente, todo el sistema de las columnas será unido por medio de soldadura tipo MIG con alambre de  $\varnothing = 0.8$  mm y designación ER70S-6, las dimensiones y especificaciones de

las diferentes partes de la estructura descrita se encuentran adjuntadas en la sección de APÉNDICES.

**Análisis de esfuerzos de la estructura columnas soporte:**

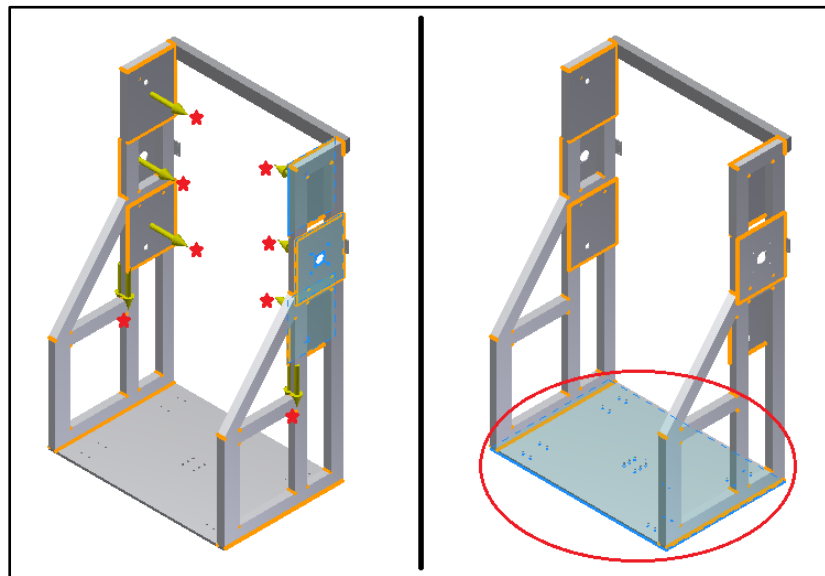
Para realizar el análisis de esfuerzos que va a resistir la estructura de columnas se utiliza la función Stress Analysis del software para diseño mecánico Autodesk Inventor Professional, en dónde se coloca dicha estructura con las especificaciones de material y uniones de soldadura ya descritas, se la somete a las fuerzas que serán aplicadas durante su funcionamiento y se realiza la simulación de la misma.

Para el análisis a realizar se utilizan los parámetros siguientes de la estructura columnas soporte:

**TABLA 8.**  
**PARÁMETROS DEL ANÁLISIS DE ESFUERZOS,**  
**ESTRUCTURA COLUMNAS SOPORTE**

<b>Parámetro</b>	<b>Detalle</b>
Carga total (sistemas Z y X + fuerza de corte)	401.5 N
Material estructura	ASTM A36
Espesor perfil rectangular	2.5 mm
Espesor placa base	6 mm
Espesor placas soporte	4 mm
Soldadura	MIG, ER70S-6

La carga total aplicada en la estructura estará distribuida entre las dos columnas y las placas soporte de los ejes, es decir que dicha carga será dividida para 8 elementos, la restricción de movimiento se la coloca en la placa base.



**FIGURA 3.24. DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS Y  
RESTRICCIÓN DE MOVIMIENTO, ESTRUCTURA  
COLUMNAS SOPORTE**

**INFORME DE RESULTADOS:**

**Material:**

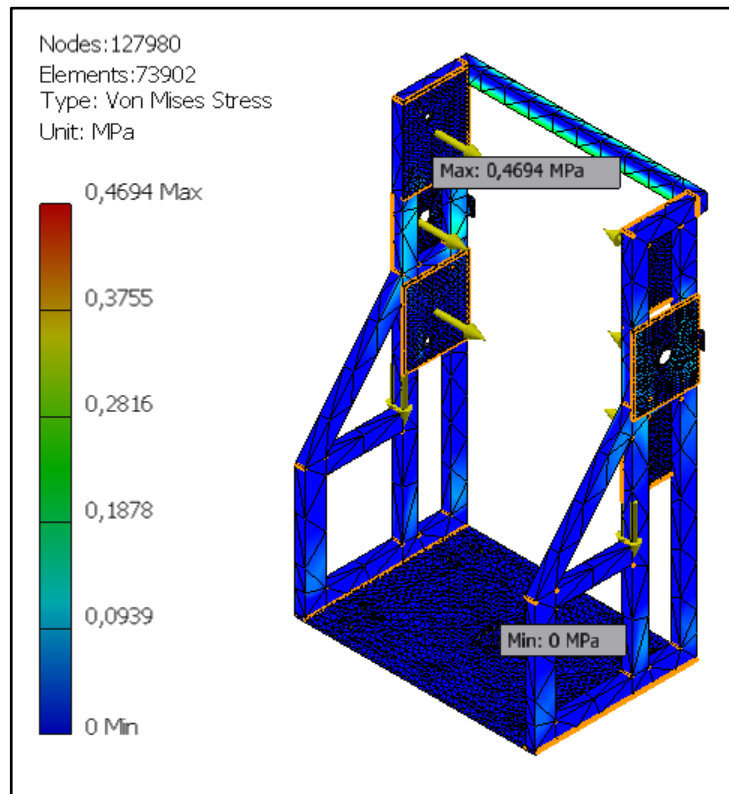
<b>Nombre de la pieza:</b> Estructura columnas soporte
<b>Material:</b> ASTM A36
<b>Masa:</b> 146.602 Kg
<b>Volumen:</b> 18653800 mm <sup>3</sup>
<b>Límite de tracción:</b> 4.2051*10 <sup>8</sup> N/m <sup>2</sup>
<b>Límite elástico:</b> 2.5*10 <sup>8</sup> N/m <sup>2</sup>
<b>Soldadura:</b> 70 ksi

**Parámetros del estudio:**

<b>Tipo de simulación:</b> Análisis estático
<b>Tipo de malla:</b> Elementos sólidos triangulares
<b>Tamaño promedio de elementos:</b> 0.1 mm
<b>Tamaño mínimo de elementos:</b> 0.2 mm
<b>Factor de calificación:</b> 1.5
<b>Máximo ángulo de giro:</b> 60°
<b>Malla de elementos curvos:</b> Activado
<b>Número de elementos:</b> 73905
<b>Número de nodos:</b> 127983

**Resultados:**

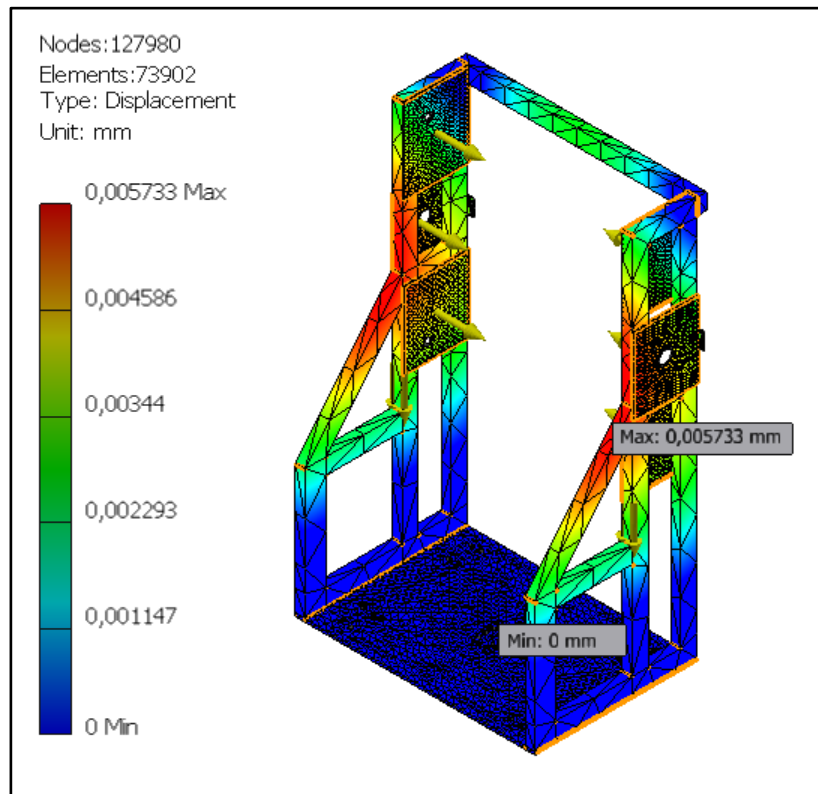
<b>Tensión de Von Mises</b>	<b>Mínimo (MPa)</b>	<b>Máximo (MPa)</b>
	0,00000000775893	0,46941



**FIGURA 3.25. TENSIÓN DE VON MISES, ESTRUCTURA  
 COLUMNAS SOPORTE**

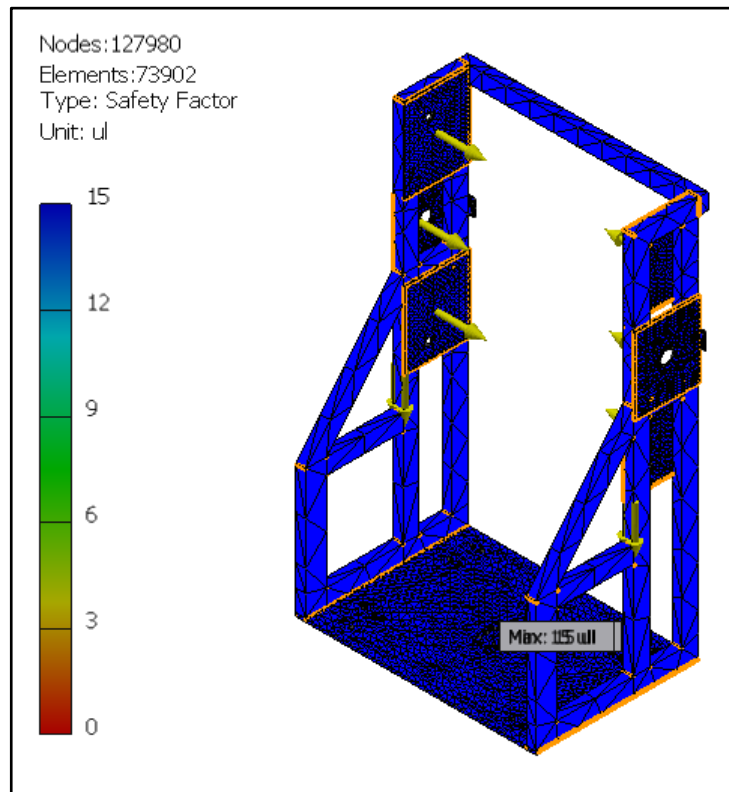
Desplazamiento	Mínimo (mm)	Máximo (mm)
	0	0,005733





**FIGURA 3.26. DEFORMACIÓN DE LA ESTRUCTURA  
 COLUMNAS SOPORTE**

Factor de seguridad	Mínimo	Máximo
	15	15



**FIGURA 3.27. FACTOR DE SEGURIDAD, ESTRUCTURA COLUMNAS SOPORTE**

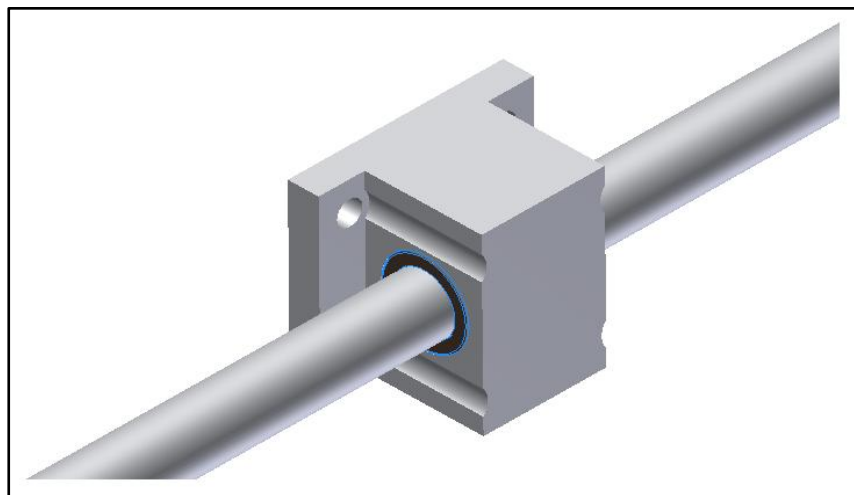
Con el análisis de esfuerzos realizado se determina que la estructura de las columnas soporte experimenta una tensión de Von Mises máxima de 0,46941 MPa y presenta una deformación máxima de 0,00573277 mm, lo que resulta en un factor de seguridad igual a 15, verificando que el diseño de la estructura está correctamente realizado.

**Selección de rodamientos:**

Los elementos que van a utilizar rodamientos son los ejes guías y el husillo de bolas en sus extremos mecanizados, sobre los cuales se soporta y gira.

**Ejes guías:**

Para los ejes guías se van a utilizar rodamientos de tipo lineal, uno para cada eje, como se muestra en la figura 3.28, deben contar con un diámetro interior de 20 mm y poder soportar la fuerza máxima que se ejerce sobre dichos ejes guías,  $F = 356$  N.



**FIGURA 3.28. DISPOSICIÓN RODAMIENTO LINEAL, EJE GUÍA, COORDENADA X**

Para la selección de los rodamientos se va a emplear el catálogo de rodamientos lineales de bolas NTN.

La capacidad de carga estática se la calcula con la fórmula:

$$C_o = f_s * F_{om\acute{a}x} \quad (3.26)$$

$$f_s = 3 \left[ \begin{array}{l} \text{Coeficiente de seguridad est\acute{a}tico, para} \\ \text{condiciones de choques y vibraciones de} \\ \text{baja intensidad, Tabla recomendaciones} \\ \text{de coeficiente est\acute{a}tico en distintas con-} \\ \text{diciones de funcionamiento, Cat\acute{a}logo de} \\ \text{Rodamientos Lineales de Bolas NTN} \end{array} \right]$$

$$F_{om\acute{a}x}(N) = 356 [\text{Carga m\acute{a}xima aplicada}]$$

$$C_o = 3 * 356 N = 1068 N$$

La capacidad de carga estática requerida en los rodamientos lineales es de 1068 N.

La capacidad de carga dinámica se determina con la expresión:

$$C = \frac{L * F * f_w}{f_h * f_t * f_c * 50} \quad (3.27)$$

$$F(N) = 356 \text{ [Máxima carga aplicada]}$$

$$f_h = 0.08 \left[ \begin{array}{l} \text{Factor de dureza del eje, Tabla factor de} \\ \text{dureza, interpolando para una dureza de} \\ \text{4 HRC, Catálogo de Rodamientos Lineales} \\ \text{de Bolas NTN} \end{array} \right]$$

$$f_t = 1 \left[ \begin{array}{l} \text{Factor de temperatura, Tabla de condiciones} \\ \text{de temperatura, Para una rango de tempe-} \\ \text{ratura de } -20^{\circ}\text{C a } 80^{\circ}\text{C, Catálogo de} \\ \text{Rodamientos Lineales de Bolas NTN} \end{array} \right]$$

$$f_c = 1 \left[ \begin{array}{l} \text{Factor de contacto, Tabla número de ro-} \\ \text{damientos lineales de bolas montados juntos,} \\ \text{Para 1 rodamiento, Catálogo de} \\ \text{Rodamientos Lineales de Bolas NTN} \end{array} \right]$$

$$f_w = 1.25 \left[ \begin{array}{l} \text{Factor de carga, Tabla de condiciones de} \\ \text{funcionamiento - velocidad } V, \text{ para con-} \\ \text{diciones normales, } V \leq 0.25 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \text{ Catálogo de} \\ \text{Rodamientos Lineales de Bolas NTN} \end{array} \right]$$

Para calcular la vida nominal (L) se utiliza la siguiente fórmula:

$$L = L_h * 2 * s * n_s * 60 \quad (3.28)$$

$$L_h = 25000 \left[ \begin{array}{l} \text{Vida nominal en horas, Valor} \\ \text{máximo para máquinas de 8} \\ \text{horas de trabajo diario} \end{array} \right]$$

$$s(m) = 0.67 \text{ [Longitud de carrera]}$$

$$n_s(\text{min}^{-1}) = 0.0021 \left[ \begin{array}{l} \text{frecuencia de carrera, valor para} \\ \text{8 horas de trabajo diario} \end{array} \right]$$

$$L = 25000 * 2 * 0.67 \text{ m} * 0.0021 \text{ min}^{-1} * 60 = 4221 \text{ m}$$

$$C = \frac{4.22 \text{ Km} * 356 \text{ N} * 1.25}{0.08 * 1 * 1 * 50} = 469.5 \text{ N}$$

La capacidad de carga dinámica requerida en los rodamientos lineales es de 469.5 N.

De acuerdo a los resultados obtenidos y para un diámetro de 20 mm se seleccionan rodamientos lineales de bolas estándar, cerrados, de la marca NTN, modelo: BBE20 (jaula de plástico) con una capacidad de carga estática: 1370 N y una capacidad de carga dinámica: 877 N.

El plano y especificaciones de dichos rodamientos se encuentran adjuntados en la sección de APÉNDICES.

#### **Tornillo de potencia:**

Para el tornillo de potencia, dispuesto en sentido horizontal, se van a colocar rodamientos que puedan resistir una carga radial igual a la suma del peso de la estructura que sostiene, más la fuerza de corte ejercida durante el mecanizado, es decir  $F_1 = 211.8 + 150.5 = 362.3 \text{ N}$ , además una carga axial debido a la reacción producida por la fuerza de corte cuando es aplicada en

ese sentido y transmitida por el tornillo a los rodamientos, es decir  $F_2 = 150.5 \text{ N}$ .

En husillos de bolas de diámetro exterior 16 mm, sus extremos tienen un diámetro de 12 mm.

Para la selección de rodamientos se va a utilizar el catálogo general de la marca SKF.

Por motivo del tipo de fuerzas que van a ser aplicadas y su disposición (radial y axial) se van a utilizar rodamientos rígidos de una hilera de bolas.

De acuerdo a la carga ejercida en los apoyos se determina que:

$$F_r = \frac{F_1}{2} = \frac{362.3 \text{ N}}{2} = 181.2 \text{ N}$$

$$F_a = F_2 = 150.5 \text{ N}$$

Donde:

$$F_r = \text{Carga radial}$$

$$F_a = \text{Carga axial}$$

La capacidad de carga estática ( $C_o$ ) se la calcula con la expresión:

$$C_o = S_o * P_o \quad (3.29)$$

La carga total estática ejercida sobre los rodamientos se calcula con la fórmula:

$$P_o = 0.6F_r + 0.5F_a \quad (3.33)$$

$$F_r(N) = 181.2 \text{ [Máxima carga radial aplicada]}$$

$$F_a(N) = 150.5 \text{ [Máxima carga axial aplicada]}$$

$$P_o = 0.6(181.2 \text{ N}) + 0.5(150.5 \text{ N}) = 184 \text{ N}$$

$$S_o = 3 \left[ \begin{array}{l} \text{Factor de seguridad estático, casos de} \\ \text{exigencia alta y funcionamiento con} \\ \text{cargas de choque para rodamientos} \\ \text{de bolas, TABLA 10 (Catálogo General} \\ \text{SKF), adjuntada en APÉNDICES} \end{array} \right]$$

$$C_o = 3 * 184 \text{ N} = 552 \text{ N}$$



La capacidad de carga estática requerida en los rodamientos rígidos de bolas es de 552 N.

La capacidad de carga dinámica se la obtiene con la siguiente expresión:

$$C = P(L_{10})^{1/p} \quad (3.34)$$

Donde la carga dinámica equivalente se la obtiene mediante:

$$\frac{F_a}{C_o} = \frac{150.5 \text{ N}}{552 \text{ N}} = 0.27 \left[ \begin{array}{l} \text{Relación entre la carga axial y} \\ \text{la capacidad de carga estática} \end{array} \right]$$

Con el valor obtenido de la relación entre la carga axial y la capacidad de carga estática: 0.27, se determina el factor de cálculo (e), de la TABLA 5 para rodamientos rígidos de bolas del Catálogo General SKF, interpolando para un Juego Normal, se tiene que:

$$e = 0.21$$

Se obtiene el valor de la relación entre la fuerza axial y la fuerza radial:

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{150.5 \text{ N}}{181.2 \text{ N}} = 0.83$$

Y se determina que:

$$\frac{F_a}{F_r} > e$$

Por lo tanto:

$$P = X(F_r) + Y(F_a) \quad (3.35)$$

$$F_r(N) = 181.2 \text{ [Carga radial aplicada]}$$

$$F_a(N) = 150.5 \text{ [Carga axial aplicada]}$$

$$X = 0.56 \left[ \begin{array}{l} \text{Factor radial, TABLA 5 para rodamientos} \\ \text{rígidos de bolas del Catálogo General SKF,} \\ \text{interpolando para un Juego Normal,} \\ \text{adjuntado en APÉNDICES} \end{array} \right]$$

$$Y = 2.15 \left[ \begin{array}{l} \text{Factor axial, TABLA 5 para rodamientos} \\ \text{rígidos de bolas del Catálogo General SKF,} \\ \text{interpolando para un Juego Normal,} \\ \text{adjuntado en APÉNDICES} \end{array} \right]$$

$$P = 0.56(181.2 \text{ N}) + 2.15(150.5 \text{ N}) = 425 \text{ N}$$

La vida nominal del rodamiento en millones de revoluciones se la calcula de la fórmula:

$$L_{10} = \frac{L_{10h}(60*n)}{10^6} \quad (3.36)$$

$$L_{10h} = 25000 \left[ \begin{array}{l} \text{Vida nominal del rodamiento, 90\% de} \\ \text{fiabilidad, horas de funcionamiento,} \\ \text{máx. valor para máquinas de 8 horas} \\ \text{de trabajo diario,} \\ \text{TABLA 8 (Catálogo General SKF),} \\ \text{adjuntada en APÉNDICES} \end{array} \right]$$

$$n(\text{RPM}) = 100 \text{ [Velocidad rotacional de trabajo]}$$

$$L_{10} = \frac{25000(60 * 100 \text{ RPM})}{10^6} = 150$$

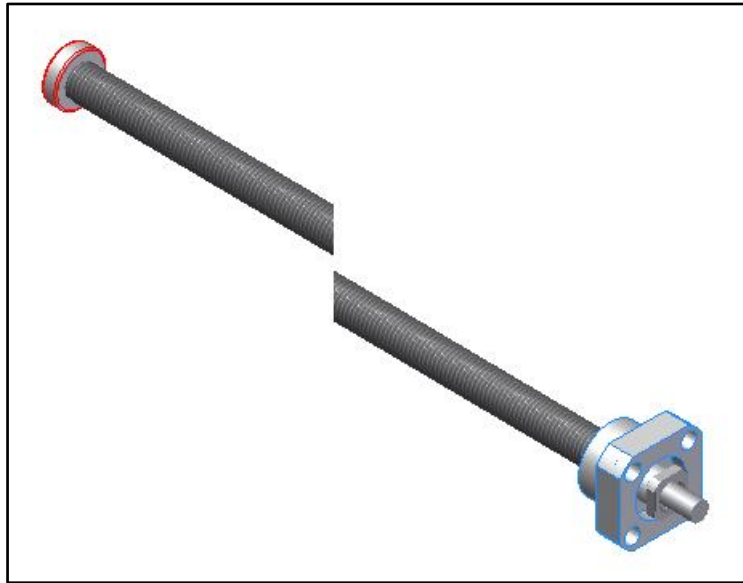
$$p = 3 \left[ \begin{array}{l} \text{Exponente de la ecuación de la vida,} \\ \text{para los rodamientos de bolas,} \\ \text{Catálogo General SKF} \end{array} \right]$$

$$C = 425 \text{ N}(150)^{1/3} = 2257.8 \text{ N}$$

La capacidad de carga dinámica requerida en los rodamientos rígidos de bolas es de 2257.8 N.

Con los resultados obtenidos y para un diámetro interior de 12 mm se seleccionan rodamientos rígidos de una hilera de bolas SKF modelo: Explorer 6201 con una capacidad de carga

estática: 3100 N y una capacidad de carga básica dinámica: 7280 N.



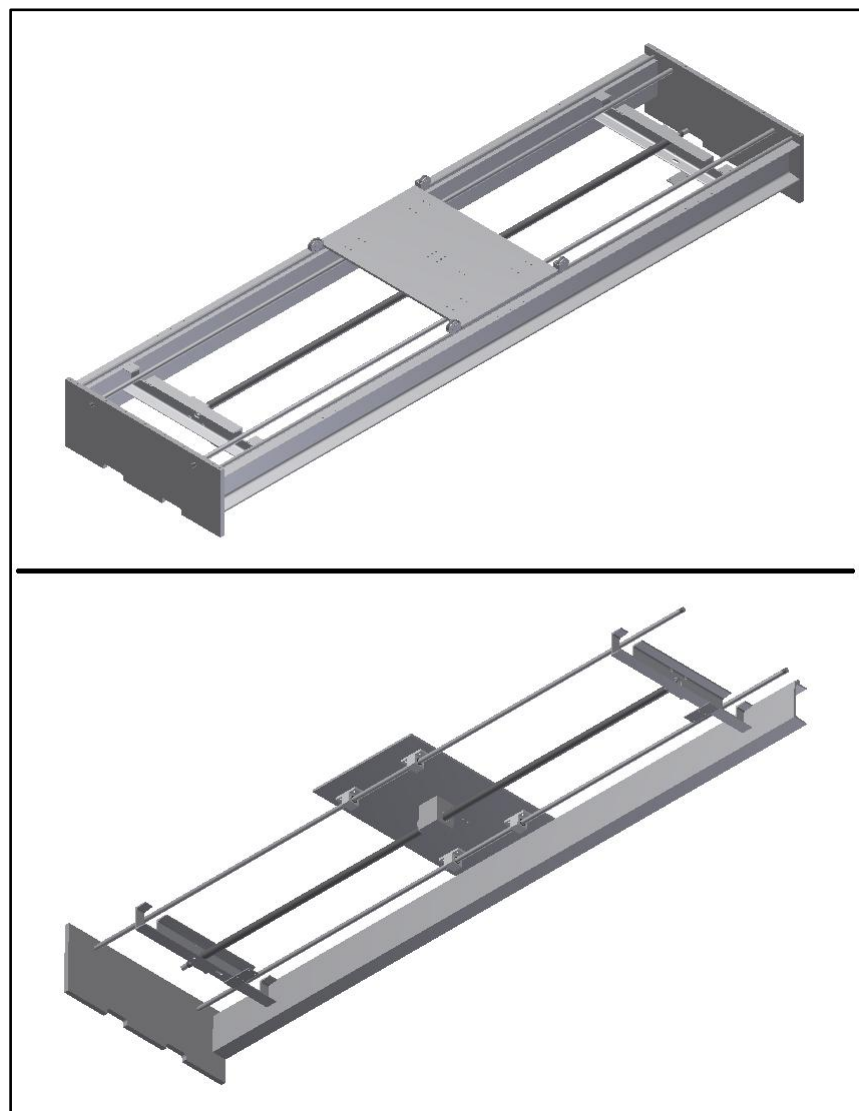
**FIGURA 3.29. DISPOSICIÓN RODAMIENTOS - CHUMACERAS, TORNILLO DE POTENCIA, EJE X**

Los rodamientos se encuentran soportados por chumaceras tipo brida para el diámetro correspondiente, el plano y especificaciones de dichos rodamientos junto con las chumaceras, se encuentran adjuntadas en la sección de APÉNDICES.

### **3.5.3. Diseño del sistema horizontal eje Y**

El sistema mecánico que constituye el eje Y se muestra en la figura 3.30, las medidas de los elementos que forman parte de

dicho sistema se establecen de acuerdo a los requerimientos dimensionales de la máquina para esta coordenada y de manera proporcional al tamaño de los elementos ya diseñados para los sistemas Z y X, los planos de cada pieza para este sistema se encuentran adjuntados en la sección de APÉNDICES.

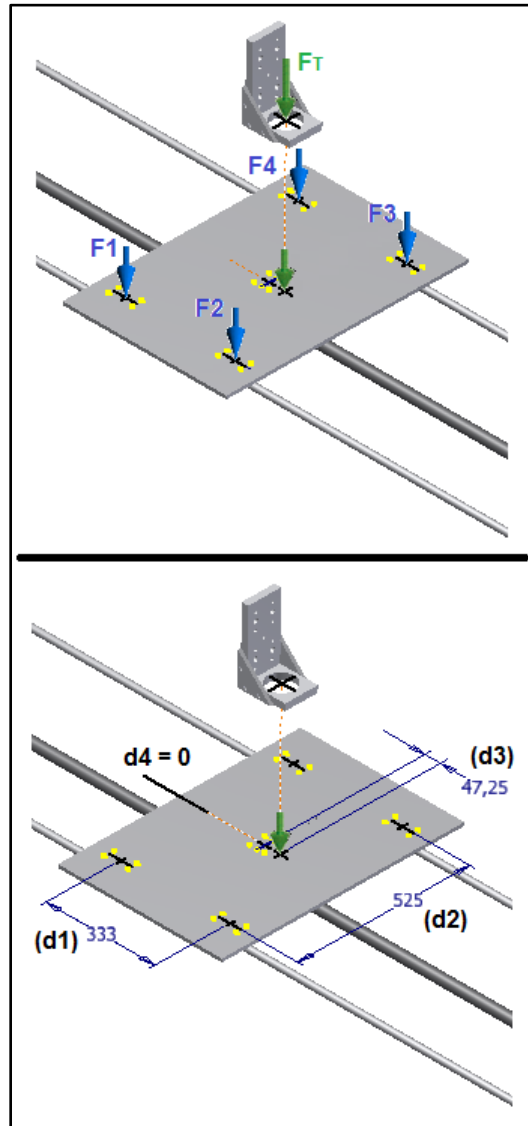


**FIGURA 3.30. SISTEMA MECÁNICO EJE Y**

**Diseño del sistema de transmisión de potencia:**

El sistema de transmisión de potencia funciona en sentido horizontal, posee un carro soporte que se traslada por medio de un tornillo sin fin y se encuentra orientado por dos guías ubicadas una a cada lado de dicho tornillo, además las guías tendrán como apoyo en soporte un sistema de rieles ubicados a lo largo de las dos vigas primarias de la estructura principal, un riel en cada viga.

El máximo largo de los prototipos a construir es de 2000 mm más una distancia adicional para que los elementos de los sistemas mecánicos ejes Z y X puedan moverse y trabajar adecuadamente, por lo que para el diseño se establece una longitud total de 2960 mm.



**FIGURA 3.31. SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA,  
EJE Y**

La fuerza total aplicada en el sistema de transmisión de potencia es igual a la suma del peso de la estructura que soporta (sistema eje Z y X) más el peso del husillo y la fuerza de corte.

$$F_T = F_e + F_h + F_c$$

$$F_e(N) = 616.4 \left[ \begin{array}{l} \text{Peso de la estructura soportada por} \\ \text{el sistema eje Y} \end{array} \right]$$

$$F_h(N) = 85 \text{ [Peso del husillo de corte]}$$

$$F_c(N) = 150.5 \text{ [Fuerza de corte]}$$

$$F_T = 616.4 \text{ N} + 85 \text{ N} + 150.5 \text{ N} = 852 \text{ N}$$

Debido a que los ejes guías van a contar con el apoyo de dos rieles soporte, la carga aplicada en los mismos va a ser la mitad de la fuerza total calculada.

$$F_{T'} = \frac{F_T}{2}$$

$$F_{T'} = \frac{852}{2} = 426 \text{ N}$$

En el sistema mostrado en la figura 3.31, se van a presentar cargas normales, una en cada punto de contacto, debido al peso de la estructura que deben soportar y la fuerza de corte aplicada durante el funcionamiento de la máquina, para calcular dichas cargas generadas, conservando la relación de distancias



y fuerzas entre los puntos de contacto, se realiza sumatoria de fuerzas y momentos obteniendo las siguientes expresiones:

$$F_1 = F_4 = \frac{F_{T'}}{4} - \frac{F_{T'}}{2} \left( \frac{d_3}{d_1} + \frac{d_4}{d_2} \right) \quad (3.37)$$

$$F_2 = F_3 = \frac{F_{T'}}{4} + \frac{F_{T'}}{2} \left( \frac{d_3}{d_1} - \frac{d_4}{d_2} \right) \quad (3.38)$$

$$d_1(mm) = 333$$

$$d_2(mm) = 525$$

$$d_3(mm) = 47.25$$

$$d_4(mm) = 0$$

[Dimensiones puntos de contacto,  
sistema mecánico eje Y]

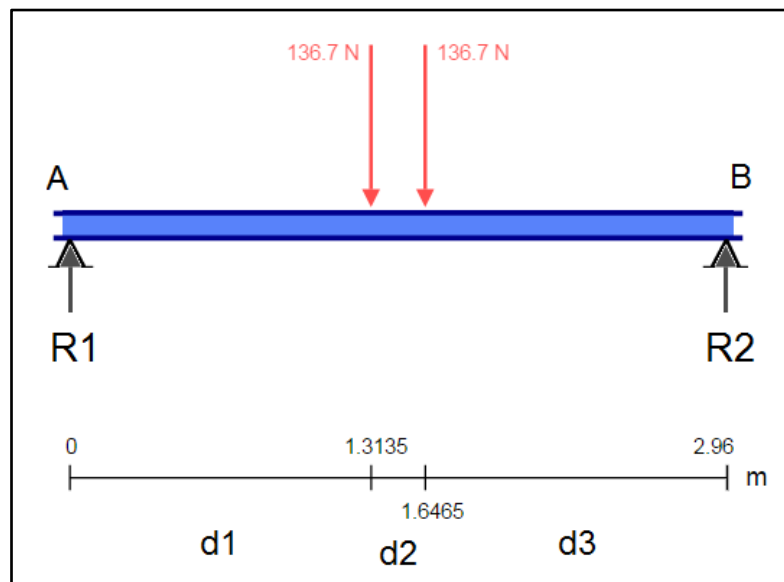
$$F_1 = F_4 = \frac{426}{4} - \frac{426}{2} \left( \frac{47.25}{333} + \frac{0}{525} \right) = 76.3 \text{ N}$$

$$F_2 = F_3 = \frac{426}{4} + \frac{426}{2} \left( \frac{47.25}{333} - \frac{0}{525} \right) = 136.7 \text{ N}$$

Se escoge como carga máxima:  $F = 136.7 \text{ N}$  generada en el sistema mecánico eje Y.

### Ejes guías coordenada Y:

Para las guías de la coordenada Y se utilizan ejes redondos de acero AISI – SAE 1045, la carga aplicada en cada eje guía va a estar ubicada en los puntos de contacto, por lo que se disponen las distancias:  $d1 = d3 = 1313.5 \text{ mm}$  y  $d2 = 333 \text{ mm}$ , en donde estarán aplicadas dichas fuerzas que corresponden a  $F = 136.7 \text{ N}$ , carga máxima a resistir por dichos ejes guías.



**FIGURA 3.32. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE, EJE GUÍA COORDENADA Y**

La figura 3.32 muestra el diagrama de cuerpo libre del eje guía coordenada Y, utilizando sumatoria de momentos y sumatoria de fuerzas se obtiene:

$$\sum M_A = 0$$

$$-(F * d_1) - (F * (d_1 + d_2)) + R_2 * (d_1 + d_2 + d_3) = 0$$

$$R_2 = \frac{(F * d_1) + (F * (d_1 + d_2))}{(d_1 + d_2 + d_3)}$$

$$R_2 = \frac{(136.7 \text{ N} * 1313.5 \text{ mm}) + (136.7 * (1313.5 \text{ mm} + 333 \text{ mm}))}{(1313.5 \text{ mm} + 333 \text{ mm} + 1313.5 \text{ mm})}$$

$$R_2 = 136.7 \text{ N}$$

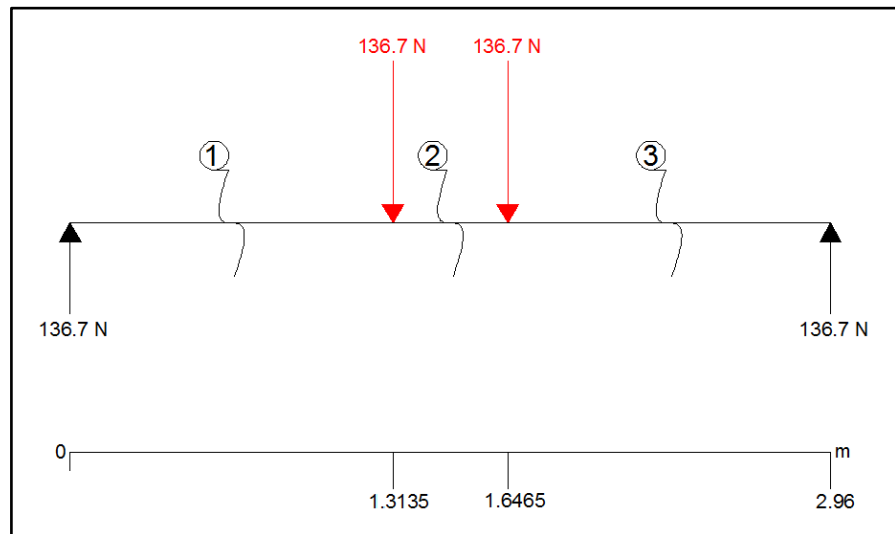
$$\sum F_y = 0$$

$$R_1 - F - F + R_2 = 0$$

$$R_1 = 2F - R_2$$

$$R_1 = 2(136.7 \text{ N}) - 136.7 \text{ N} = 136.7 \text{ N}$$

Con los resultados obtenidos se procede a realizar los cálculos y diagramas de fuerza cortante y momento flector correspondientes.



**FIGURA 3.33. PUNTOS DE CORTE EN DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE, EJE GUÍA COORDENADA Y**

La figura 3.33 muestra el diagrama de cuerpo libre para el eje guía de la coordenada Y, con los puntos donde se van a realizar los cortes para el análisis de fuerzas y momentos respectivo.

**Corte 1:**

$$V = 136.7 \text{ N}$$

$$M = 136.7(x); \quad x = 1.3135 \text{ m}$$

$$M = 136.7(1.3135) = 179.6 \text{ N.m}$$

**Corte 2:**

$$V = 136.7 - 136.7 = 0 \text{ N}$$

$$M = 136.7(x) - 136.7(x - 1.3135)$$

$$M = 136.7(x) - 136.7(x) + 179.6$$

$$M = 179.6 \text{ N.m}$$

**Corte 3:**

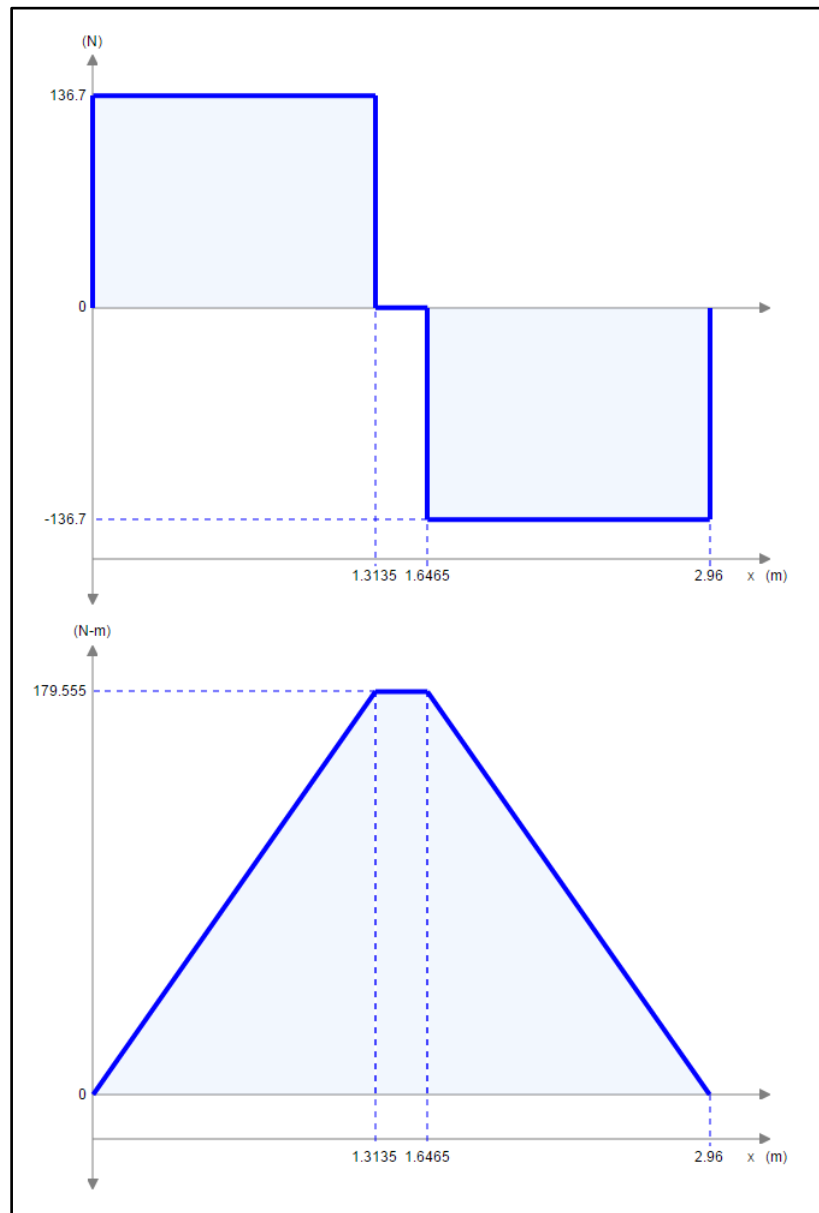
$$V = 136.7 - 136.7 - 136.7 = -136.7 \text{ N}$$

$$M = 136.7(x) - 136.7(x - 1.3135) - 136.7(x - 1.6465)$$

$$M = -136.7(x) + 404.7; \quad x = 2.96 \text{ m}$$

$$M = -136.7(2.96) + 404.7 = 0 \text{ N.m}$$

Con los resultados calculados se realizan los diagramas de fuerza cortante y momento flector correspondientes y se seleccionan los máximos valores a soportar por los ejes guías durante su funcionamiento.



**FIGURA 3.34. DIAGRAMAS FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR, GUÍA COORDENADA Y**

De la figura 3.34, se selecciona el valor máximo de momento flector producido en los ejes guías:  $M = 179.6 \text{ N.m.}$

El esfuerzo normal máximo soportado por el material de los ejes guías y calculado en la sección 3.5.1 es igual a:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 155 \frac{N}{mm^2}$$

El módulo de resistencia del material se calcula con la expresión:

$$S = \frac{M}{\sigma_{m\acute{a}x}} \quad (3.20)$$

$$M(N.m) = 179.6 \text{ [Momento flector máximo generado]}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} \left( \frac{N}{mm^2} \right) = 155 \text{ [Esfuerzo normal máximo del material]}$$

$$S = \frac{179.6 \text{ N.m} * \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}}}{155 \frac{N}{mm^2}} = 1158.7 \text{ mm}^3$$

El diámetro del eje guía se lo determina con la expresión:

$$D_G = \sqrt[3]{\frac{32 * S}{\pi}} \quad (3.21)$$

$$S(\text{mm}^3) = 1158.7 \left[ \begin{array}{l} \text{Módulo de resistencia} \\ \text{del material} \end{array} \right]$$

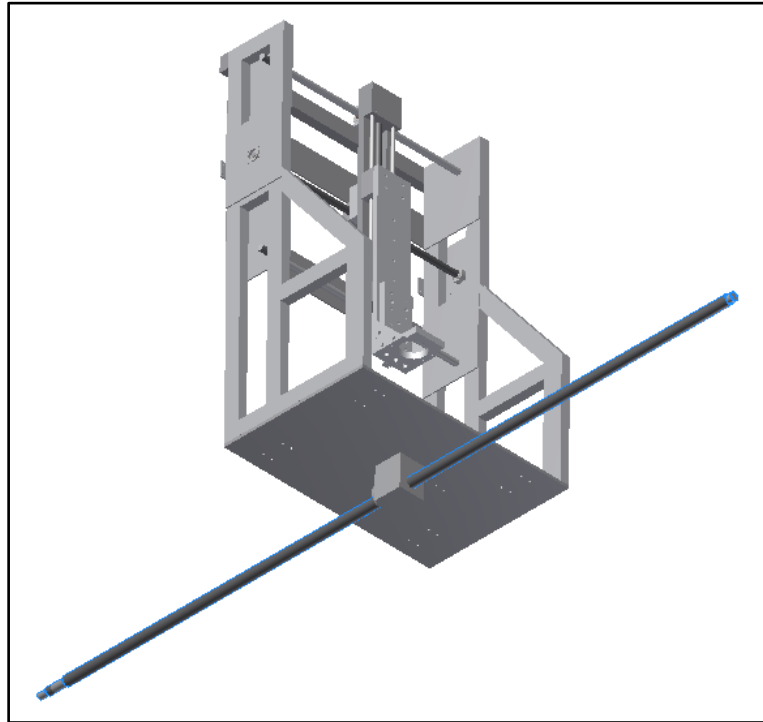
$$D_G = \sqrt[3]{\frac{32 * 1158.7 \text{ mm}^3}{\pi}} = 23 \text{ mm}$$

Por facilidad de adquisición se selecciona un diámetro cercano disponible de 25 mm.

#### **Cálculo del tornillo de potencia coordenada Y:**

Para el diseño del tornillo de potencia, se considera que el material empleado en su construcción es el acero AISI - SAE 1045.





**FIGURA 3.35. TORNILLO DE POTENCIA, SISTEMA DE TRANSMISIÓN EJE Y**

La fuerza total con el cuál será cargado el tornillo de potencia es igual a:

$$F_T = F_e + F_h + F_c$$

$$F_e(N) = 714.3 \left[ \begin{array}{l} \text{Peso de la estructura acoplada al} \\ \text{tornillo de potencia, eje Y} \end{array} \right]$$

$$F_h(N) = 85 \text{ [Peso del husillo de corte]}$$

$$F_c(N) = 150.5 \text{ [Fuerza de corte]}$$

$$F_T = 714.3 \text{ N} + 85 \text{ N} + 150.5 \text{ N} = 949.8 \text{ N}$$

El área transversal del tornillo de potencia se la calcula despejando de la siguiente expresión:

$$\frac{\sigma}{n} = \frac{F_T}{A} \quad (3.22)$$

$$F_T(N) = 949.8 \text{ [Fuerza total de carga]}$$

$$\sigma \left( \frac{Lb}{in^2} \right) = 1000 \left[ \begin{array}{l} \text{Esfuerzo admisible del material,} \\ \text{acero AISI - SAE 1045} \end{array} \right]$$

$$n = 3.5 \text{ [Factor de seguridad seleccionado]}$$

$$A = \frac{F_T * n}{\sigma} = \frac{(949.8 \text{ N} * \frac{1 \text{ Lb}}{4.448 \text{ N}}) * 3.5}{1000 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}} = 0.747 \text{ in}^2$$

El diámetro del tornillo de potencia se lo calcula con la fórmula:

$$D_T = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} \quad (3.23)$$

$$A(\text{in}^2) = 0.747 \text{ [Area transversal del tornillo de potencia]}$$

$$D_T = \sqrt{\frac{4 * 0.747 \text{ in}^2}{\pi}} = 0.98 \text{ in}$$

$$D_T = 0.98 \text{ in} * \frac{25.4 \text{ mm}}{1 \text{ in}} = 24.9 \text{ mm}$$

Por facilidad de adquisición, se selecciona un diámetro de 25 mm.

El husillo de bolas seleccionado para el sistema de transmisión - coordenada Y, tiene las siguientes características dimensionales:

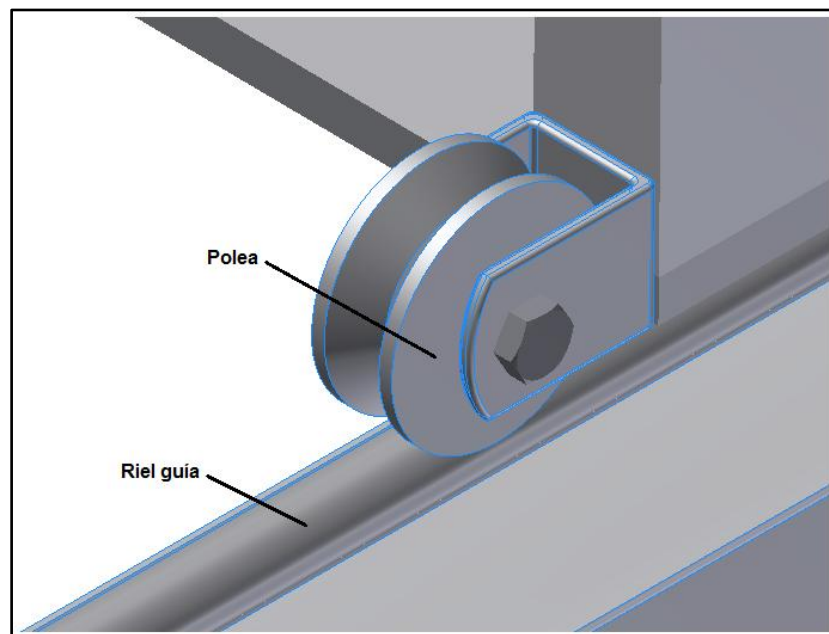
<b>L<sub>t</sub></b> : 2500 mm (Longitud total)
<b>L<sub>d</sub></b> : 2200 mm (Longitud desplazamiento carro)
<b>d<sub>e</sub></b> : 25 mm (Diámetro exterior)
<b>p</b> : 5 mm (Paso estándar para H.B. de 25 mm de diámetro)

### **Diseño de los rieles soporte para el sistema eje Y:**

Para el sistema de rieles soporte se va a utilizar como riel guía un eje redondo de diámetro:  $\emptyset = 5/8"$ , de acero AISI - SAE 1018, y como elemento de rodadura, una polea de diámetro:  $\emptyset = 51 \text{ mm}$ , con canal en V, de acero AISI - SAE 1018 y recubierto de cobre por medio de galvanoplastia.

Este sistema de riel va a brindar mayor soporte y precisión al trasladar la estructura de las columnas por todo el recorrido del

eje Y, además tiene un bajo costo en comparación a emplear sistemas de rieles más especializados.



**FIGURA 3.36. SISTEMA RIEL SOPORTE, COORDENADA Y**

Las partes que forman el sistema riel soporte mostrado en la figura 3.36, van a ser unidas por medio de soldadura tipo MIG con alambre de  $\varnothing = 0.8$  mm y designación ER70S-6, las dimensiones y especificaciones de los diferentes elementos de dicho sistema se encuentran adjuntadas en la sección de APÉNDICES.

### **Análisis de esfuerzos del sistema rieles soporte:**

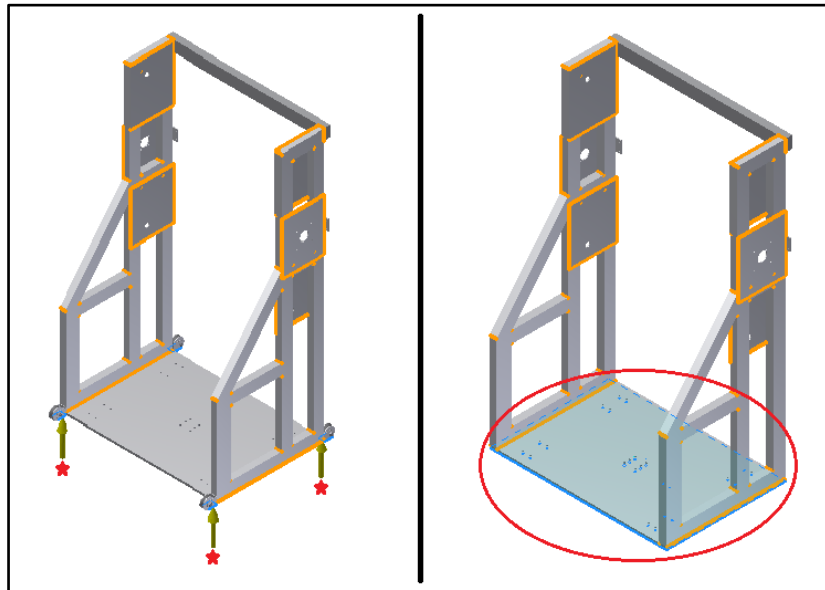
Para realizar el análisis de esfuerzos en el sistema rieles soporte, se utiliza la función Stress Analysis del software Autodesk Inventor Professional, se define que los elementos que van a resistir la carga total aplicada son las poleas, debido a que los rieles guías se encuentran fijos en las vigas primarias, que pertenecen a la estructura principal y por consiguiente las partes que reaccionan a la fuerza generada por el peso de los sistemas Z, X y estructura de las columnas, así como de la ejercida durante el funcionamiento de la máquina (fuerza de corte) son dichas poleas.

Para el análisis a realizar se utilizan los siguientes parámetros:

**TABLA 9.**  
**PARÁMETROS DEL ANÁLISIS DE ESFUERZOS, SISTEMA**  
**RIELES SOPORTE**

<b>Parámetro</b>	<b>Detalle</b>
Carga total (sistemas Z, X, estructura columnas + fuerza de corte)	426 N
Material poleas	AISI - SAE 1018
Soldadura	MIG, ER70S-6

La carga total aplicada estará distribuida entre las 4 poleas, y la restricción de movimiento se la coloca en la placa base.



**FIGURA 3.37. DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS Y  
RESTRICCIÓN DE MOVIMIENTO, SISTEMA RIELES  
SOPORTE**

### INFORME DE RESULTADOS:

#### Material:

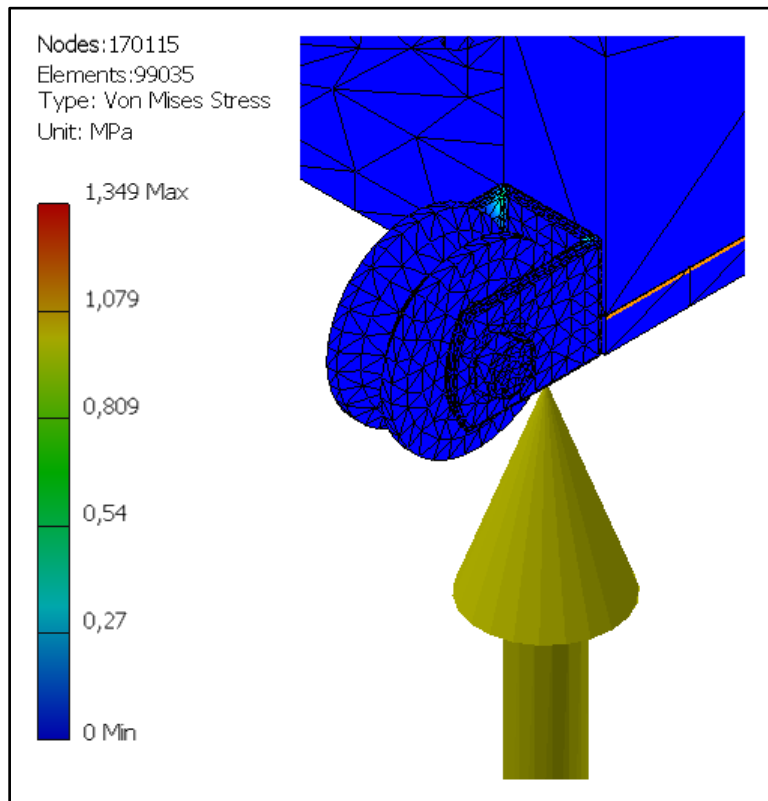
<b>Nombre de la pieza:</b> Sistema rieles soporte
<b>Material:</b> Acero AISI - SAE 1018
<b>Masa:</b> 18.749 Kg
<b>Volumen:</b> 18663000 mm <sup>3</sup>
<b>Límite de tracción:</b> 4.40*10 <sup>8</sup> N/m <sup>2</sup>
<b>Límite elástico:</b> 3.70*10 <sup>8</sup> N/m <sup>2</sup>
<b>Soldadura:</b> 70 ksi

**Parámetros del estudio:**

<b>Tipo de simulación:</b> Análisis estático
<b>Tipo de malla:</b> Elementos sólidos triangulares
<b>Tamaño promedio de elementos:</b> 0.1 mm
<b>Tamaño mínimo de elementos:</b> 0.2 mm
<b>Factor de calificación:</b> 1.5
<b>Máximo ángulo de giro:</b> 60°
<b>Malla de elementos curvos:</b> Activado
<b>Número de elementos:</b> 99035
<b>Número de nodos:</b> 170115

**Resultados:**

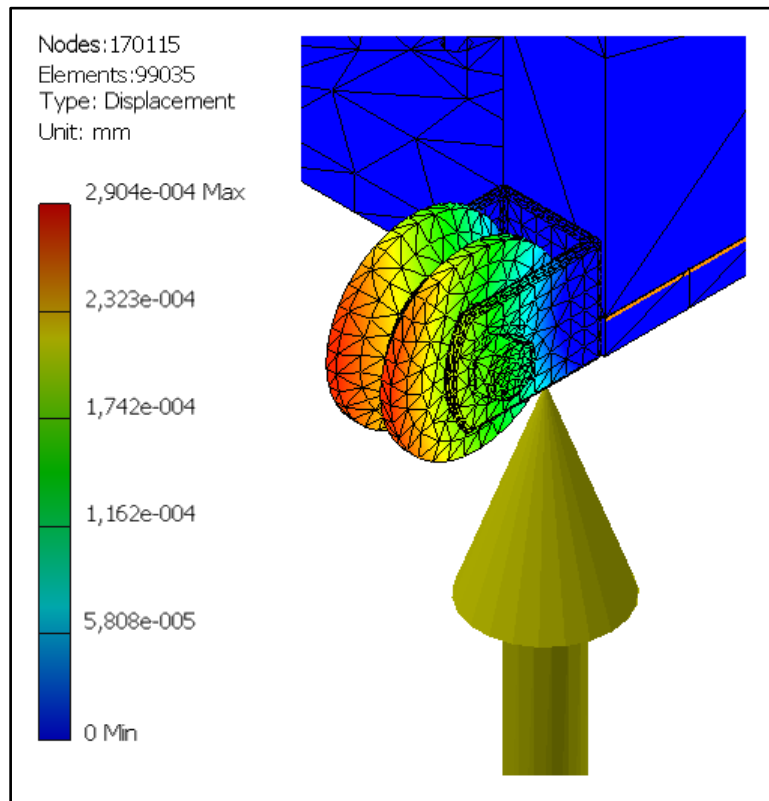
<b>Tensión de Von Mises</b>	<b>Mínimo (MPa)</b>	<b>Máximo (MPa)</b>
	0,0000000000332679	1,34912



**FIGURA 3.38. TENSIÓN DE VON MISES, SISTEMA RIELES SOPORTE**

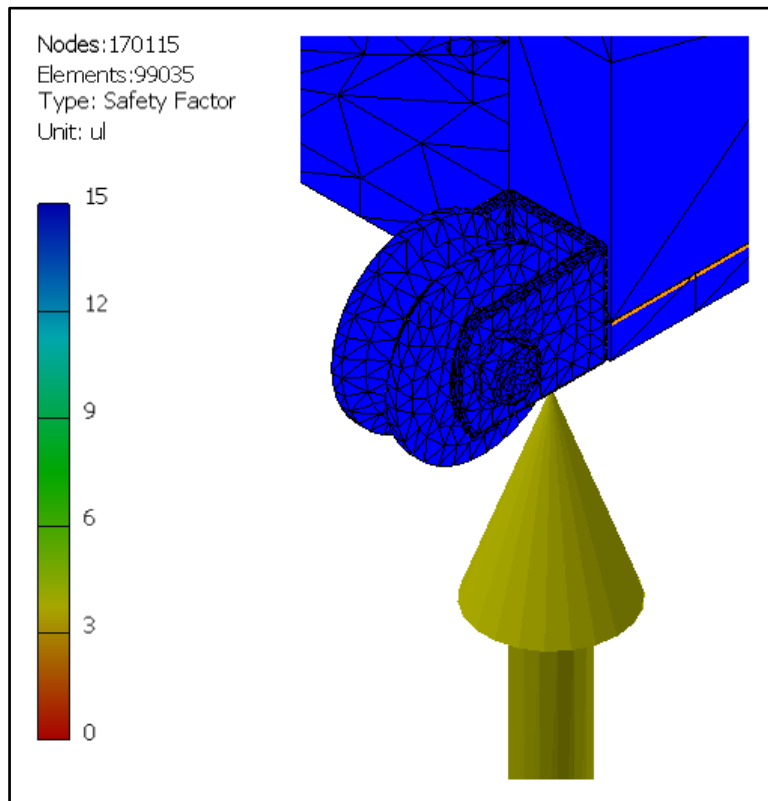
Desplazamiento	Mínimo (mm)	Máximo (mm)
	0	0,000290395





**FIGURA 3.39. DEFORMACIÓN DE LA POLEA, SISTEMA RIELES SOPORTE**

Factor de seguridad	Mínimo	Máximo
	15	15



**FIGURA 3.40. FACTOR DE SEGURIDAD, SISTEMA RIELES SOPORTE**

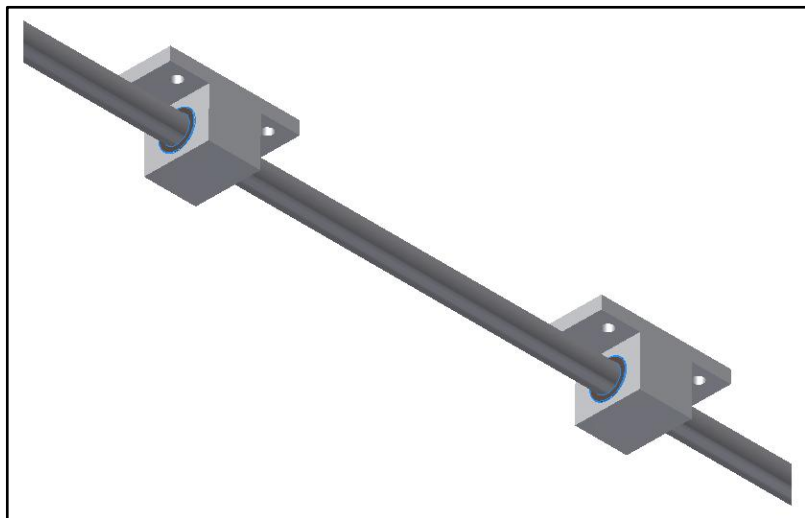
Con el análisis de esfuerzos realizado se determina que las poleas del sistema de rieles soporte experimenta una tensión de Von Mises máxima de 1,34912 MPa y presenta una deformación máxima de 0,000290395 mm, lo que resulta en un factor de seguridad igual a 15, confirmando que el diseño de dicho sistema está correctamente realizado.

**Selección de rodamientos:**

Los elementos que van a utilizar rodamientos son los ejes guías y el husillo de bolas.

**Ejes guías:**

Para los ejes guías se van a utilizar rodamientos de tipo lineal, dos para cada eje, como se muestra en la figura 3.41, deben contar con un diámetro interior de 25 mm y soportar una carga  $F = 136.7 \text{ N}$ .



**FIGURA 3.41. DISPOSICIÓN RODAMIENTOS LINEALES,  
EJE GUÍA, COORDENADA Y**

Para la selección de los rodamientos se va a utilizar el catálogo de rodamientos lineales de bolas NTN.

La capacidad de carga estática se la calcula con la siguiente expresión:

$$C_o = f_s * F_{om\acute{a}x} \quad (3.26)$$

$$f_s = 4 \left[ \begin{array}{l} \text{Coeficiente de seguridad est\acute{a}tico, para} \\ \text{condiciones de choques y vibraciones de} \\ \text{baja intensidad, Tabla recomendaciones} \\ \text{de coeficiente est\acute{a}tico en distintas con} - \\ \text{diciones de funcionamiento, Cat\acute{a}logo de} \\ \text{Rodamientos Lineales de Bolas NTN} \end{array} \right]$$

$$F_{om\acute{a}x}(N) = 136.7 \text{ [Carga m\acute{a}xima aplicada]}$$

$$C_o = 4 * 136.7 \text{ N} = 546.8 \text{ N}$$

La capacidad de carga est\acute{a}tica requerida en los rodamientos lineales es de 546.8 N.

La capacidad de carga din\´amica se la determina con la f\´ormula:

$$C = \frac{L * F * f_w}{f_h * f_t * f_c * 50} \quad (3.27)$$

$$F(N) = 136.7 \text{ [Máxima carga aplicada]}$$

$$f_h = 0.08 \left[ \begin{array}{l} \text{Factor de dureza del eje, Tabla factor de} \\ \text{dureza, interpolando para una dureza de} \\ \text{4 HRC, Catálogo de Rodamientos Lineales} \\ \text{de Bolas NTN} \end{array} \right]$$

$$f_t = 1 \left[ \begin{array}{l} \text{Factor de temperatura, Tabla de condiciones} \\ \text{de temperatura, Para una rango de tempe-} \\ \text{ratura de } -20^{\circ}\text{C a } 80^{\circ}\text{C, Catálogo de} \\ \text{Rodamientos Lineales de Bolas NTN} \end{array} \right]$$

$$f_c = 1 \left[ \begin{array}{l} \text{Factor de contacto, Tabla número de ro-} \\ \text{damientos lineales de bolas montados juntos,} \\ \text{Para 1 rodamiento, Catálogo de} \\ \text{Rodamientos Lineales de Bolas NTN} \end{array} \right]$$

$$f_w = 1.25 \left[ \begin{array}{l} \text{Factor de carga, Tabla de condiciones de} \\ \text{funcionamiento - velocidad } V, \text{ para con-} \\ \text{diciones normales, } V \leq 0.25 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \text{ Catálogo de} \\ \text{Rodamientos Lineales de Bolas NTN} \end{array} \right]$$

Para calcular la vida nominal (L) se utiliza la expresión:

$$L = L_h * 2 * s * n_s * 60 \quad (3.28)$$

$$L_h = 25000 \left[ \begin{array}{l} \text{Vida nominal en horas, Valor} \\ \text{máximo para máquinas de 8} \\ \text{horas de trabajo diario} \end{array} \right]$$

$$s(m) = 2.8 \text{ [Longitud de carrera]}$$

$$n_s(\text{min}^{-1}) = 0.0021 \left[ \frac{\text{frecuencia de carrera, valor para}}{8 \text{ horas de trabajo diario}} \right]$$

$$L = 25000 * 2 * 2.8 \text{ m} * 0.0021 \text{ min}^{-1} * 60 = 17640 \text{ m}$$

$$C = \frac{17.64 \text{ Km} * 136.7 \text{ N} * 1.25}{0.08 * 1 * 1 * 50} = 753.6 \text{ N}$$

La capacidad de carga dinámica requerida en los rodamientos lineales es de 753.6 N.

De acuerdo a los resultados obtenidos y para un diámetro de 25 mm se seleccionan rodamientos lineales de bolas estándar, cerrados, de la marca NTN, modelo: BBE25 (jaula de plástico) con una capacidad de carga estática: 1570 N y una capacidad de carga dinámica: 908 N.

El plano y especificaciones de dichos rodamientos se encuentran adjuntados en la sección de APÉNDICES.

**Tornillo de potencia:**

Para el tornillo de potencia, dispuesto de forma horizontal, se van a colocar rodamientos que puedan resistir una carga radial igual a la suma del peso de la estructura total que sostiene, más la fuerza de corte ejercida durante el funcionamiento de la máquina, es decir  $F_1 = 799.3 + 150.5 = 949.8$  N, también una carga axial producida por la reacción a la fuerza de corte cuando es generada en ese sentido y transmitida por el tornillo a los rodamientos, es decir  $F_2 = 150.5$  N.

En husillos de bolas de diámetro exterior 25 mm, sus extremos tienen un diámetro de 17 mm.

Para la selección de rodamientos se va a utilizar el catálogo general de la marca SKF.

Debido al tipo de fuerzas aplicadas y su disposición (radial y axial) se van a emplear rodamientos rígidos de una hilera de bolas.

De acuerdo a la carga ejercida en los apoyos se determina que:

$$F_r = \frac{F_1}{2} = \frac{949.8 \text{ N}}{2} = 475 \text{ N}$$

$$F_a = F_2 = 150.5 \text{ N}$$

Donde:

$$F_r = \text{Carga radial}$$

$$F_a = \text{Carga axial}$$

La capacidad de carga estática ( $C_o$ ) se la calcula con la expresión:

$$C_o = S_o * P_o \quad (3.29)$$

La carga total estática ejercida sobre los rodamientos se calcula con la fórmula:

$$P_o = 0.6F_r + 0.5F_a \quad (3.33)$$

$$F_r(N) = 475 \text{ [Máxima carga radial aplicada]}$$

$$F_a(N) = 150.5 \text{ [Máxima carga axial aplicada]}$$



$$P_o = 0.6(475 \text{ N}) + 0.5(150.5 \text{ N}) = 360.3 \text{ N}$$

$$S_o = 3 \left[ \begin{array}{l} \text{Factor de seguridad est\u00e1tico, casos de} \\ \text{exigencia alta y funcionamiento con} \\ \text{cargas de choque para rodamientos} \\ \text{de bolas, TABLA 10 (Cat\u00e1logo General} \\ \text{SKF), adjuntada en AP\u00c9NDICES} \end{array} \right]$$

$$C_o = 3 * 360.3 \text{ N} = 1081 \text{ N}$$

La capacidad de carga est\u00e1tica requerida en los rodamientos r\u00edgidos de bolas es de 1081 N.

La capacidad de carga din\u00e1mica se la obtiene con la siguiente expresi\u00f3n:

$$C = P(L_{10})^{1/p} \quad (3.34)$$

Donde la carga din\u00e1mica equivalente se la obtiene mediante:

$$\frac{F_a}{C_o} = \frac{150.5 \text{ N}}{1081 \text{ N}} = 0.14 \left[ \begin{array}{l} \text{Relaci\u00f3n entre la carga axial y} \\ \text{la capacidad de carga est\u00e1tica} \end{array} \right]$$

Con el valor obtenido de la relaci\u00f3n entre la carga axial y la capacidad de carga est\u00e1tica: 0.14, se determina el factor de

cálculo (e), de la TABLA 5 para rodamientos rígidos de bolas del Catálogo General SKF, interpolando para un Juego Normal, se tiene que:

$$e = 0.15$$

Se obtiene el valor de la relación entre la fuerza axial y la fuerza radial:

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{150.5 \text{ N}}{475 \text{ N}} = 0.32$$

Y se determina que:

$$\frac{F_a}{F_r} > e$$

Por lo tanto:

$$P = X(F_r) + Y(F_a) \quad (3.35)$$

$$F_r(N) = 475 \text{ [Carga radial aplicada]}$$

$$F_a(N) = 150.5 \text{ [Carga axial aplicada]}$$

$$X = 0.56 \left[ \begin{array}{l} \text{Factor radial, TABLA 5 para rodamientos} \\ \text{rígidos de bolas del Catálogo General SKF,} \\ \text{interpolando para un Juego Normal,} \\ \text{adjuntado en APÉNDICES} \end{array} \right]$$

$$Y = 2.85 \left[ \begin{array}{l} \text{Factor axial, TABLA 5 para rodamientos} \\ \text{rígidos de bolas del Catálogo General SKF,} \\ \text{interpolando para un Juego Normal,} \\ \text{adjuntado en APÉNDICES} \end{array} \right]$$

$$P = 0.56(475 \text{ N}) + 2.85(150.5 \text{ N}) = 695 \text{ N}$$

La vida nominal del rodamiento en millones de revoluciones se la calcula de la fórmula:

$$L_{10} = \frac{L_{10h}(60*n)}{10^6} \quad (3.36)$$

$$L_{10h} = 25000 \left[ \begin{array}{l} \text{Vida nominal del rodamiento, 90\% de} \\ \text{fiabilidad, horas de funcionamiento,} \\ \text{máx. valor para máquinas de 8 horas} \\ \text{de trabajo diario,} \\ \text{TABLA 8 (Catálogo General SKF),} \\ \text{adjuntada en APÉNDICES} \end{array} \right]$$

$$n(\text{RPM}) = 65 \text{ [Velocidad rotacional de trabajo]}$$

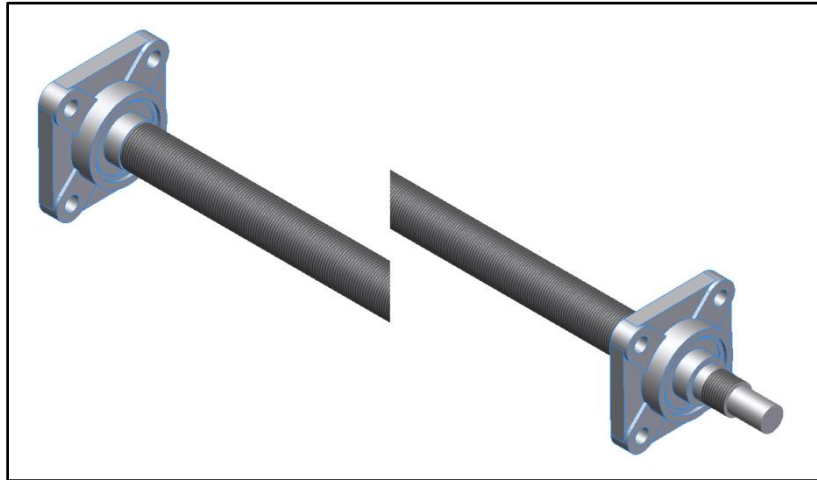
$$L_{10} = \frac{25000(60 * 65 \text{ RPM})}{10^6} = 97.5$$

$$p = 3 \left[ \begin{array}{l} \text{Exponente de la ecuación de la vida,} \\ \text{para los rodamientos de bolas,} \\ \text{Catálogo General SKF} \end{array} \right]$$

$$C = 695 \text{ N}(97.5)^{1/3} = 3198.8 \text{ N}$$

La capacidad de carga dinámica requerida en los rodamientos rígidos de bolas es de 3198.8 N.

De acuerdo a los resultados obtenidos y para un diámetro interior de 17 mm se seleccionan rodamientos rígidos de una hilera de bolas SKF modelo: 61903 con una capacidad de carga estática: 2550 N y una capacidad de carga básica dinámica: 4620 N.



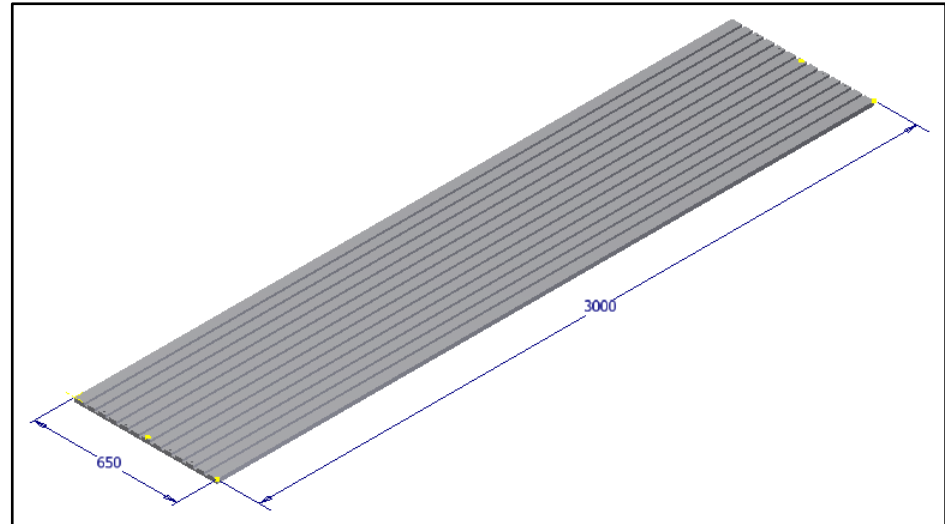
**FIGURA 3.42. DISPOSICIÓN RODAMIENTOS -  
CHUMACERAS, TORNILLO DE POTENCIA, EJE Y**

Los rodamientos se encuentran alojados en chumaceras tipo brida F203, el plano junto con las especificaciones de dichos rodamientos y chumaceras, se encuentran adjuntados en la sección de APÉNDICES.

### **3.6. Diseño de la estructura principal y mesa de trabajo**

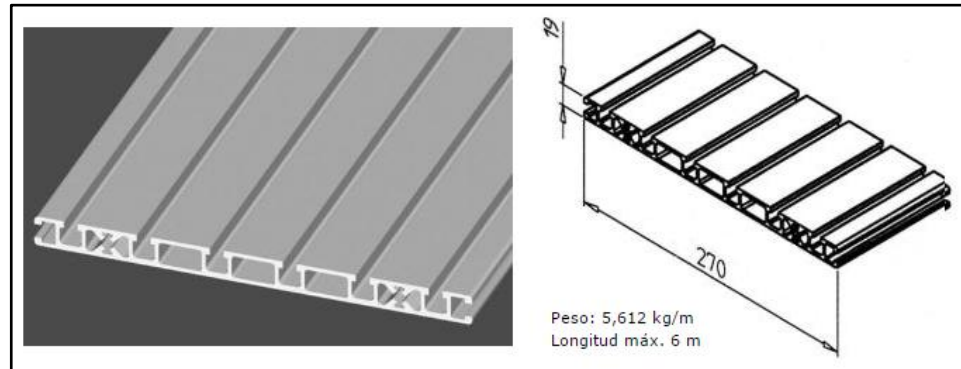
#### **Diseño de la mesa de trabajo:**

Para el diseño de la mesa de trabajo en la sección 3.1.1, se establecen las dimensiones más adecuadas de acuerdo a las máximas medidas de los prototipos que se requieren mecanizar, dichas dimensiones son, largo: 3000 mm y ancho: 650 mm.



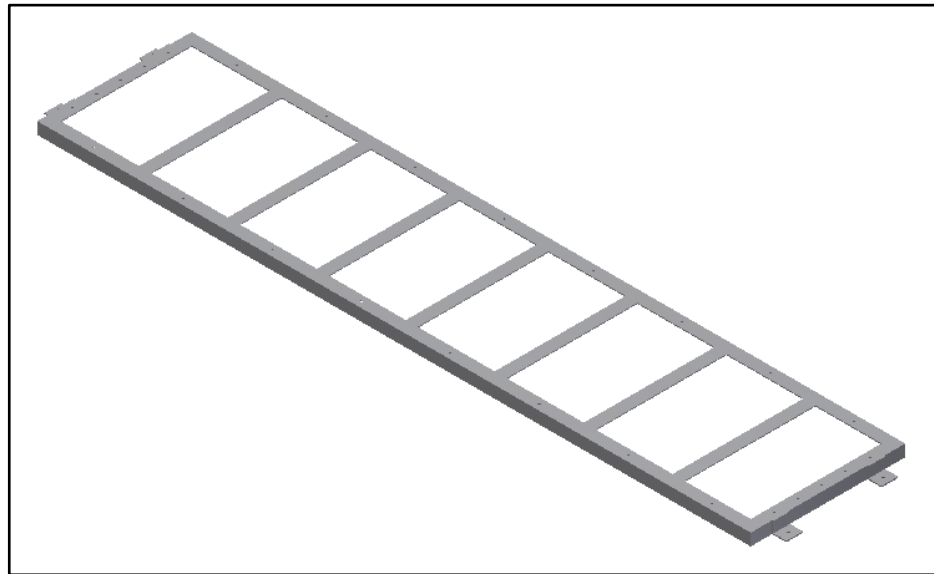
**FIGURA 3.43. MESA DE TRABAJO**

Existen perfiles de aluminio fabricados en forma de placas con canales para sujeción, funcionan como mesas de trabajo para fresadoras CNC, dichos perfiles vienen en medidas estándar de acuerdo al fabricante que los construye y se compran por planchas, se las junta y corta hasta llegar a las medidas requeridas.



**FIGURA 3.44. PERFIL DE ALUMINIO DISPONIBLE EN EL  
MERCADO**

Como soporte adicional para la mesa de trabajo, se la fija mediante pernos a lo largo de una base que le brindará mayor rigidez y estabilidad, la misma está formada por ángulos de acero ASTM A36 (ancho: 40 mm, espesor: 6 mm), soldados y dispuestos de tal manera que forman una estructura sobre la que se asienta la mesa de trabajo, convirtiéndose en un solo cuerpo.

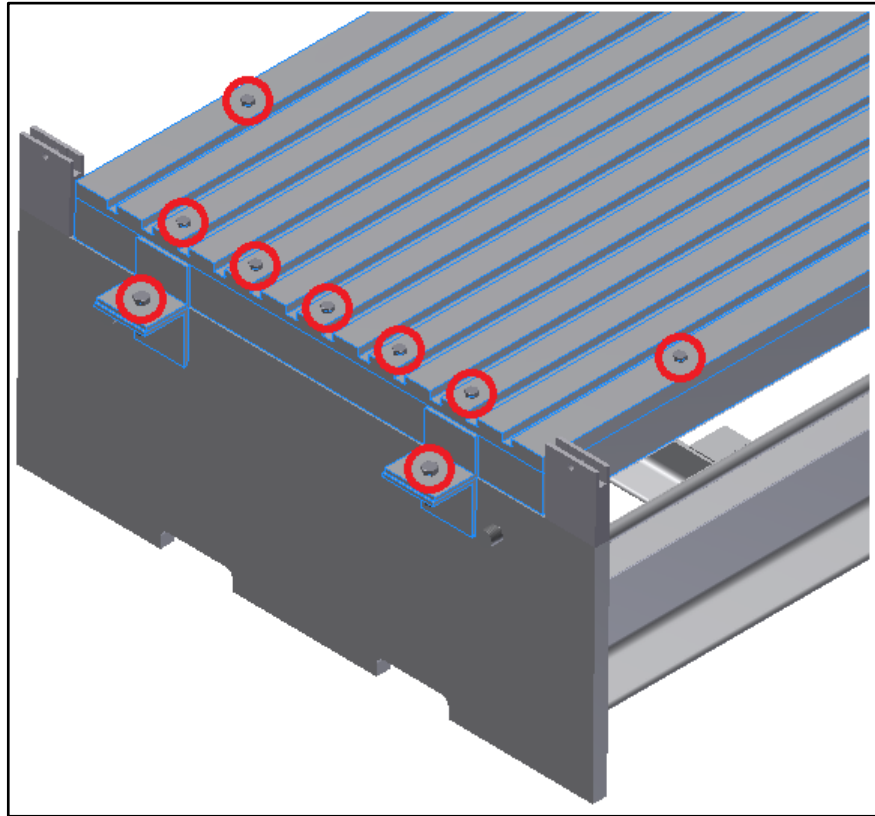


**FIGURA 3.45. ESTRUCTURA BASE, MESA DE TRABAJO**

El plano con las dimensiones y disposición de la estructura base para la mesa de trabajo se encuentran adjuntado en la sección de APÉNDICES.

La estructura base en conjunto con la mesa de trabajo van a fijarse al cuerpo de la máquina utilizando pernos, por medio de platinas de 6 mm de espesor en forma de L, soldadas en las placas base de la estructura principal y en la estructura base de la mesa de trabajo respectivamente, como se muestra en la figura 3.46, lo que permitirá su fácil instalación y desmontaje cuando se requiera realizar algún tipo de mantenimiento en las mismas.





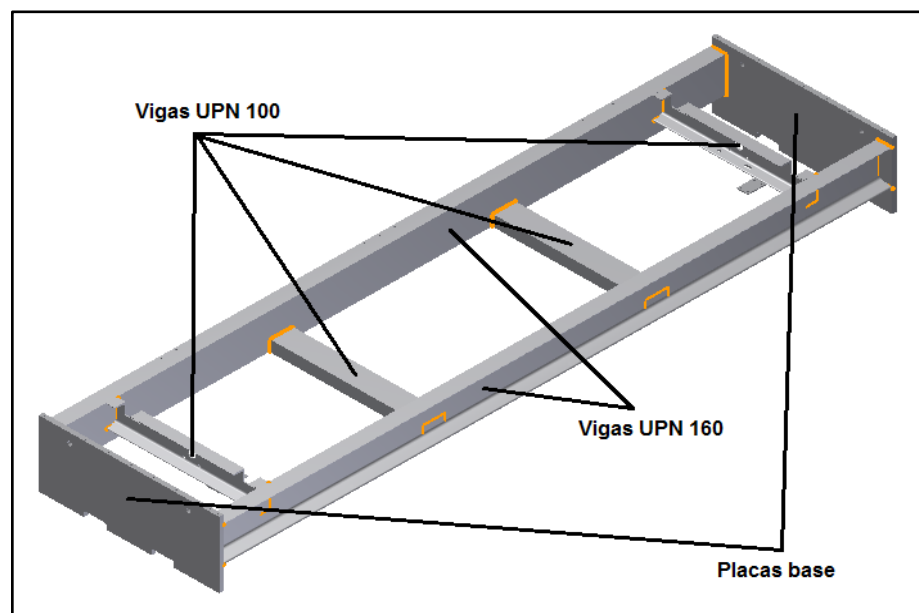
**FIGURA 3.46. SUJECIÓN MESA DE TRABAJO Y ESTRUCTURA  
BASE**

**Diseño de la estructura principal:**

La estructura principal debe ser robusta, fuerte y brindar mucha estabilidad durante el funcionamiento de todos los sistemas mecánicos que se soportan sobre la misma, debido a la longitud que se requiere, para su diseño se van a utilizar dos vigas UPN 160 que serán colocadas a lo largo y cuatro vigas UPN 100 ubicadas de forma transversal, soportadas por dos placas de acero ASTM A36, como se muestra en la figura 3.47.

Todo el sistema va a ser unido por medio de soldadura tipo MIG con alambre de  $\varnothing = 0.8$  mm y designación ER70S-6.

La forma, dimensiones y disposición de las vigas utilizadas ofrecen una estructura sólida con muy buena estabilidad.



**FIGURA 3.47. ESTRUCTURA PRINCIPAL**

#### **Análisis de esfuerzos de la estructura principal:**

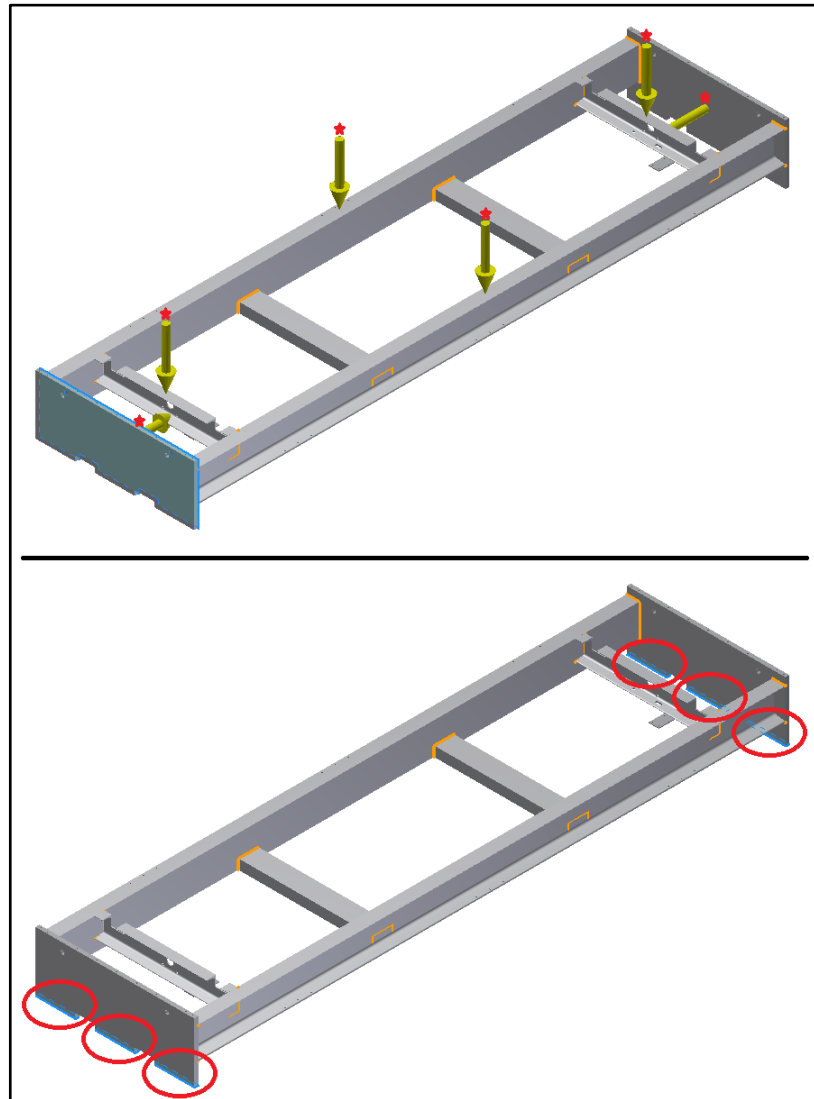
Para realizar el análisis de esfuerzos en la estructura principal, se utiliza la función Stress Analysis del software para diseño mecánico Autodesk Inventor Professional, se define que los elementos que van a resistir la fuerza aplicada son las dos vigas UPN 160, las dos

vigas UPN 100 que soportan el tornillo de potencia del eje Y y las dos placas base de soporte, dicha carga total va a ser igual al peso de los sistemas mecánicos Z, X, Y más el peso de la estructura columnas y la fuerza de corte.

**TABLA 10.**  
**PARÁMETROS DEL ANÁLISIS DE ESFUERZOS, ESTRUCTURA PRINCIPAL**

<b>Parámetro</b>	<b>Detalle</b>
Carga total (sistemas Z, X, Y, estructura columnas + fuerza de corte)	1034.4 N
Material vigas UPN y placas base	AISI - SAE 1018, ASTM A36
Soldadura	MIG, ER70S-6

La carga total aplicada estará distribuida entre las vigas UPN y las placas base por lo que será dividida para 6 elementos y la restricción de movimiento se la coloca en las placas base.



**FIGURA 3.48. DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS Y RESTRICCIÓN DE MOVIMIENTO, ESTRUCTURA PRINCIPAL**

**INFORME DE RESULTADOS:**

**Material:**

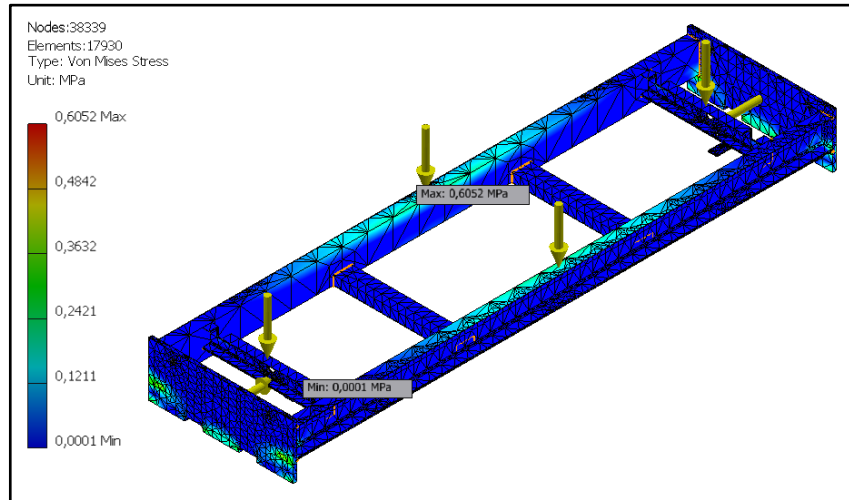
<b>Nombre de la pieza:</b> Estructura principal
<b>Material:</b> Acero AISI - SAE 1018, Acero ASTM A36
<b>Masa:</b> 195.515 Kg
<b>Volumen:</b> 24906400 mm <sup>3</sup>
<b>Límite de tracción:</b> 4.40*10 <sup>8</sup> N/m <sup>2</sup> , 4.10*10 <sup>8</sup> N/m <sup>2</sup>
<b>Límite elástico:</b> 3.70*10 <sup>8</sup> N/m <sup>2</sup> , 2.50*10 <sup>8</sup> N/m <sup>2</sup>
<b>Soldadura:</b> 70 ksi

**Parámetros del estudio:**

<b>Tipo de simulación:</b> Análisis estático
<b>Tipo de malla:</b> Elementos sólidos triangulares
<b>Tamaño promedio de elementos:</b> 0.1 mm
<b>Tamaño mínimo de elementos:</b> 0.2 mm
<b>Factor de calificación:</b> 1.5
<b>Máximo ángulo de giro:</b> 60°
<b>Malla de elementos curvos:</b> Activado
<b>Número de elementos:</b> 17930
<b>Número de nodos:</b> 38339

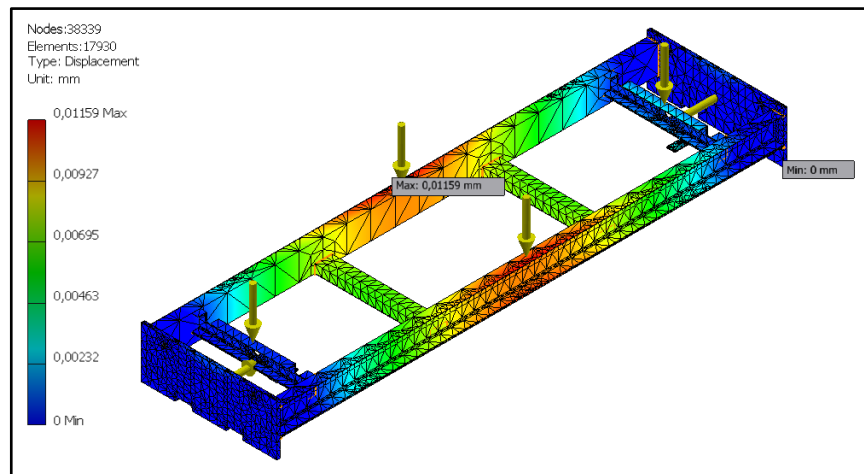
**Resultados:**

<b>Tensión de Von Mises</b>	<b>Mínimo (MPa)</b>	<b>Máximo (MPa)</b>
	0,0000644322	0,605219



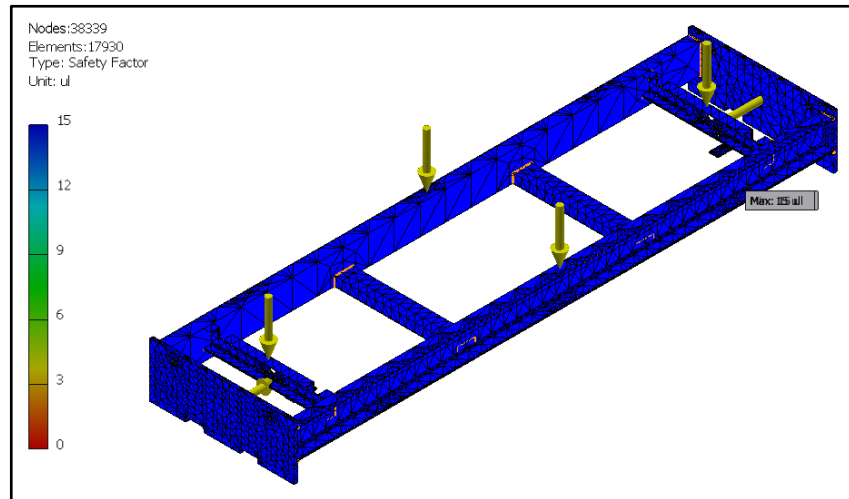
**FIGURA 3.49. TENSIÓN DE VON MISES, ESTRUCTURA PRINCIPAL**

Desplazamiento	Mínimo (mm)	Máximo (mm)
	0	0,0115852



**FIGURA 3.50. DEFORMACIÓN DE LA ESTRUCTURA PRINCIPAL**

Factor de seguridad	Mínimo	Máximo
		15



**FIGURA 3.51. FACTOR DE SEGURIDAD, ESTRUCTURA PRINCIPAL**

Con el análisis de esfuerzos realizado se determina que la estructura principal experimenta una tensión de Von Mises máxima de 0,605219 MPa y presenta una deformación máxima de 0,0115852 mm, lo que resulta en un factor de seguridad igual a 15, confirmando que el diseño de dicha estructura está correctamente realizado.

### 3.7. Sistema de sujeción del material base

Para la fijación de la materia prima se van a utilizar bridas, descritas en la sección 2.2.6, que dependiendo de las necesidades de

sujeción utilizarán placas planas o curvas, con tornillos de varias longitudes para sujetar a diferentes alturas.



**FIGURA 3.52. BRIDAS DE SUJECIÓN**

### **3.8. Sistema de protección y extracción de viruta**

#### **Sistema de protección:**

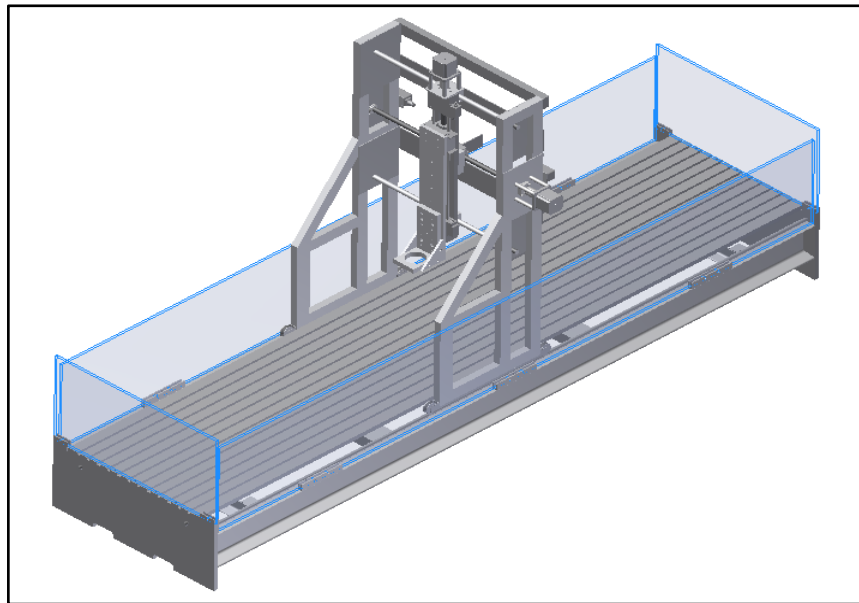
Se selecciona la barrera de protección fija, descrita en la sección 2.2.7, las dimensiones de dicha barrera deben proporcionar la suficiente protección en toda el alrededor del área de trabajo, procurando la seguridad física del operador en el exterior de la misma.



Las barreras serán construidas con planchas de policarbonato, que es un termoplástico de ingeniería muy conocido por ser transparente como el vidrio y resistente como el acero, además ofrece claridad, durabilidad, seguridad, versatilidad, resistencia al calor y a la fragmentación.

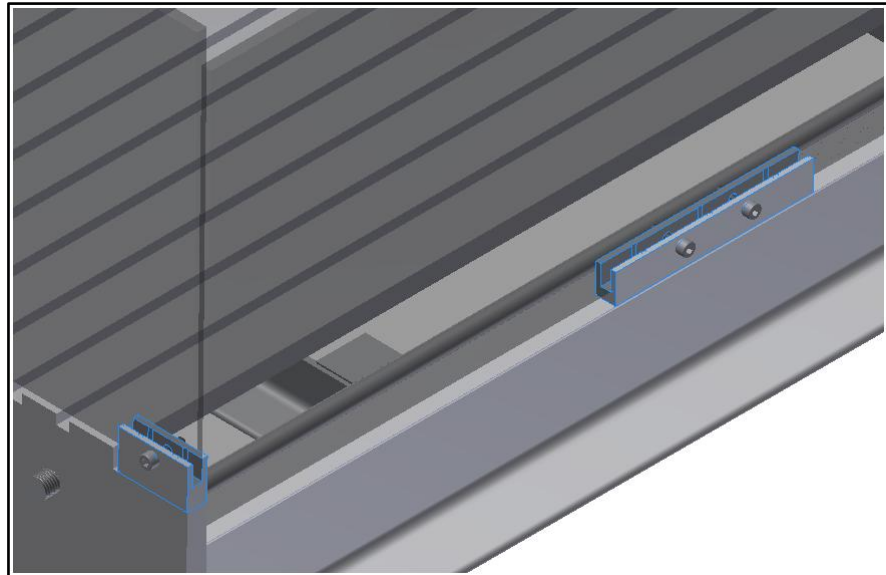
Las dimensiones de las planchas de policarbonato utilizadas para las barreras de protección son las siguientes:

- **Barreras frontal y trasera:** 800 mm X 400 mm X 10 mm
- **Barreras laterales:** 2950 mm X 400 mm X 10 mm



**FIGURA 3.53. BARRERAS DE PROTECCIÓN FIJA**

Dichas barreras estarán sujetas por soportes en forma de canales en U empernadados a la estructura principal y aseguradas mediante pernos a dichos canales.



**FIGURA 3.54. SOPORTES PARA BARRERAS DE PROTECCIÓN**

#### **Sistema de extracción de viruta:**

Para la extracción de viruta se selecciona el sistema portátil, descrito en la sección 2.2.7, por su facilidad de movilización, trabajo eficiente en espacios pequeños y bajo costo en relación a otros sistemas más complejos.

Se establece un valor para flujo de extracción de 500 CFM (pie<sup>3</sup>/min), recomendado para fresadoras CNC y de acuerdo a las

características de la viruta, se necesita una velocidad de transporte de 4000 pie/min (aserrín pesado).

Para determinar el área de extracción necesaria se utiliza la siguiente expresión:

$$A_d = \frac{Q}{V_t} \quad (3.39)$$

$$Q \left( \frac{\text{pie}^3}{\text{min}} \right) = 500 \left[ \begin{array}{l} \text{Flujo de extracción recomendado} \\ \text{para fresadoras CNC} \end{array} \right]$$

$$V_t \left( \frac{\text{pie}}{\text{min}} \right) = 4000 \left[ \begin{array}{l} \text{Velocidad de transporte máxima} \\ \text{para aserrín pesado} \end{array} \right]$$

$$A_d = \frac{500 \frac{\text{pie}^3}{\text{min}}}{4000 \frac{\text{pie}}{\text{min}}} = 0.125 \text{ pie}^2$$

El diámetro del ducto para extracción se lo calcula con la fórmula:

$$D_d = \sqrt{\frac{4 \cdot A_d}{\pi}} \quad (3.40)$$

$$A_d(\text{pie}^2) = 0.125 \text{ [Area de extracción]}$$

$$D_d = \sqrt{\frac{4 * 0.125 \text{ pie}^2}{\pi}} = 0.40 \text{ pie}$$

$$D_d = 0.40 \text{ pie} * \frac{304.8 \text{ mm}}{1 \text{ pie}} = 122 \text{ mm}$$

El flujo de extracción necesario en m<sup>3</sup>/h es igual a:

$$Q = 500 \frac{\text{pie}^3}{\text{min}} * \frac{0.028 \text{ m}^3}{1 \text{ pie}^3} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 840 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

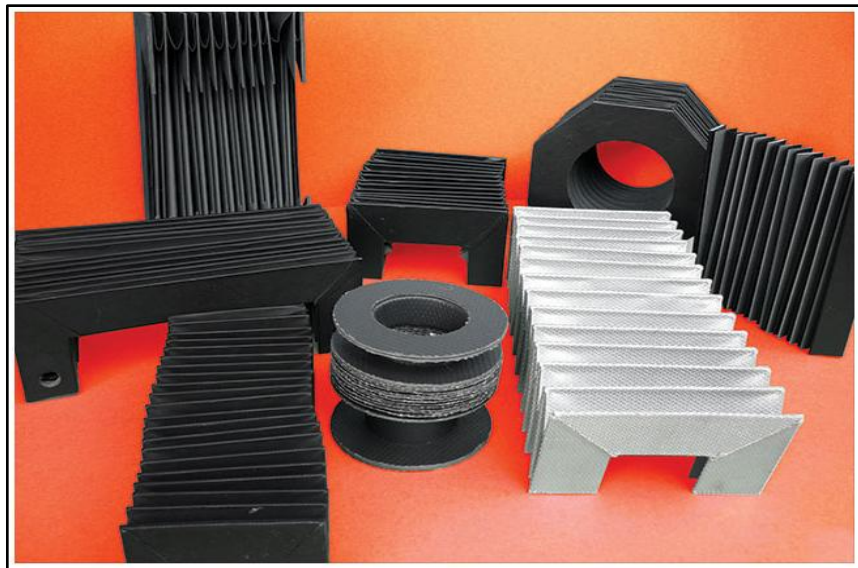
Se requiere un sistema de extracción para viruta con un flujo de extracción mínimo de 840 m<sup>3</sup>/h y una manguera de succión con un diámetro de 122 mm.

#### **Fuelle de protección flexible:**

Es un protector para las partes móviles de la máquina en zonas de atrapamiento o acumulación de residuos y aumentar la seguridad en el funcionamiento de las mismas, además protege las zonas más sensibles de la máquina de agresiones externas causadas por aceite, virutas, polvo, etc. Y aumentar su vida útil.

Los fuelles de protección están hechos de metal, con tela de nylon, de plástico o caucho sintético, en forma de acordeón o plegado, pueden ser de forma circular, cuadrada, rectangular, hexagonal o de cortina.

Las cubiertas en acordeón se utilizan para impulsores lineales, equipos de trabajo en madera y máquinas de corte por láser o por chorro de agua.



**FIGURA 3.55. FUELLES DE PROTECCIÓN**

Para los tornillos de potencia y ejes guías se seleccionan fuelles de protección tipo acordeón, de forma circulares y hechos en caucho sintético.

Las características de los fuelles para cada sistema de eje coordinado se encuentran especificadas en la TABLA 11.

**TABLA 11.**  
**CARACTERÍSTICAS DE LOS FUELLES DE PROTECCIÓN**

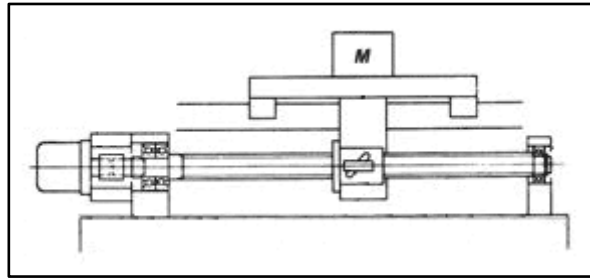
<b>Eje</b>	<b>Modo trabajo</b>	<b>Agresión externa</b>	<b>Diámetro interior</b>	<b>Diámetro exterior</b>	<b>Longitud máxima</b>	<b>Longitud mínima</b>
<b>Z</b>	Vertical	Viruta madera	15 mm	50 mm	420 mm	45 mm
<b>X</b>	Horizontal	Viruta madera	16 mm	60 mm	660 mm	45 mm
<b>Y</b>	Horizontal	Viruta madera	25 mm	60 mm	2290 mm	45 mm

### **3.9. Selección de Actuadores**

Para realizar la selección de los actuadores más adecuados para los sistemas mecánicos X e Y, se calcula primero el torque necesario para lograr mover dichos sistemas, el elemento que va a realizar el accionamiento de potencia en dichos sistemas es el tornillo sin fin.

Del cálculo de torques a realizar para cada sistema mecánico, se analizará el correspondiente al eje Y, ya que soporta la mayor carga de entre los dos sistemas horizontales de la máquina.

El sistema de transmisión del movimiento se asemeja al mostrado en la figura 3.55, en donde la carga es movida en forma horizontal.



**FIGURA 3.56. TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO EN SENTIDO HORIZONTAL**

Para el cálculo del torque requerido en el tornillo de potencia del eje Y se necesita determinar: la inercia debida al peso de las estructuras que soporta y las fuerzas aplicadas durante el funcionamiento de la misma, la inercia del tornillo sin fin y la inercia del motor que acciona el sistema.

La inercia por motivo de la carga total aplicada en el tornillo de potencia se calcula con la siguiente expresión:

$$I_c = \left(\frac{W}{p^2}\right) \left(\frac{1}{2\pi}\right)^2 \quad (3.41)$$

$$W(N) = 949.8 \text{ [Fuerza total aplicada]}$$

$$p(\text{mm}) = 5 \text{ [Paso husillo de bolas, eje Y]}$$

$$I_c = \left( \frac{949.8 \text{ N} * \frac{1 \text{ Lb}}{4.448 \text{ N}}}{\left( \frac{25.4 \text{ mm}}{5 \text{ mm}} \right)^2} \right) \left( \frac{1}{2\pi} \right)^2 = 1.08 \text{ Lb. in}^2$$

La inercia del tornillo sin fin utilizado se lo determina con la siguiente expresión:

$$I_t = \frac{D^4 * L}{36} \quad (3.42)$$

$$D(\text{mm}) = 25 \text{ [Diámetro del tornillo sin fin, eje Y]}$$

$$L(\text{mm}) = 2385 \text{ [Longitud roscada del tornillo sin fin eje Y]}$$

$$I_t = \frac{\left( 25 \text{ mm} * \frac{1 \text{ in}}{25.4 \text{ mm}} \right)^4 * \left( 2385 \text{ mm} * \frac{1 \text{ in}}{25.4 \text{ mm}} \right)}{36} = 2.41 \text{ Lb. in}^2$$

La inercia del rotor en el actuador utilizado se lo asume en base a las características técnicas de un motor DC NEMA 34 que es comúnmente utilizado en sistemas CNC.



$$I_m = 0.35 \text{ Lb. in}^2$$

La inercia total va a ser igual a:

$$I_T = I_c + I_t + I_m$$

$$I_c(\text{Lb. in}^2) = 1.08 \text{ [Inercia de la carga total]}$$

$$I_t(\text{Lb. in}^2) = 2.41 \text{ [Inercia del tornillo sin fin]}$$

$$I_m(\text{Lb. in}^2) = 0.35 \text{ [Inercia del motor]}$$

$$I_T = 1.08 \text{ Lb. in}^2 + 2.41 \text{ Lb. in}^2 + 0.35 \text{ Lb. in}^2 = 3.84 \text{ Lb. in}^2$$

La velocidad angular del carro en el tornillo de potencia se obtiene de la siguiente fórmula:

$$W = \frac{V_l * spr * p}{60} \quad (3.43)$$

$$V_l \left( \frac{\text{mm}}{\text{min}} \right) = 10900 \text{ [Velocidad lineal máxima del carro, recomendada para máquinas CNC]}$$

$$spr = 240 \text{ [Pasos por revolución para encoders comerciales]}$$

$$p(\text{hpp}) = 5.08 \text{ [Paso del tornillo en hilos por pulgada]}$$

$$w = \frac{\left(10900 \frac{mm}{min} * \frac{1 in}{25.4 mm}\right) * 240 * 5.08 hpp}{60} = 8720 sps$$

Los pasos incrementales en grados para un encoder comercial se calcula con la siguiente expresión:

$$\theta = \frac{360^\circ/rev}{spr} \quad (3.44)$$

$$spr = 240 [Pasos por revolución]$$

$$\theta = \frac{360^\circ/rev}{240} = 1.5^\circ/paso$$

El torque necesario para romper la inercia total y mover la carga aplicada se determina con la siguiente fórmula:

$$T_T = \frac{2I_T * w * \pi \theta}{(24)(180)t} \quad (3.45)$$

$$I_T(Lb.in^2) = 3.84 [Inercia total]$$

$$w(sps) = 8720 [Velocidad angular del carro en el tornillo sin fin]$$

$$\theta(^\circ/paso) = 1.5 [Pasos incrementales para un encoder comercial]$$

$$t(s) = 0.12 \text{ [Tiempo de aceleración para un motor NEMA 34]}$$

$$T_T = \frac{2(3.84 \text{ Lb. in}^2) * 8720 \text{ sps} * \pi(1.5^\circ/\text{paso})}{(24)(180)(0.12 \text{ s})} = 608.8 \text{ Onz. in}$$

$$T_T = 608.8 \text{ Onz. in} * \frac{1 \text{ Lb}}{16 \text{ Onz}} * \frac{1 \text{ Kg}}{2.2 \text{ Lb}} * \frac{9.8 \text{ N}}{1 \text{ Kg}} * \frac{25.4 \text{ mm}}{1 \text{ in}} * \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}}$$

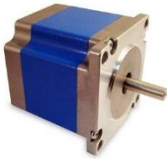
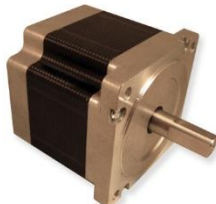
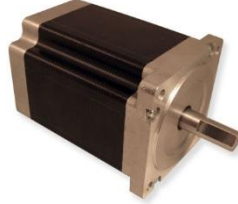
$$T_T = 4.31 \text{ N.m}$$

Del cálculo realizado se obtuvo un torque total de  $T_T = 4.31 \text{ N.m}$ , que es el requerido para que el tornillo de potencia del sistema eje Y logre mover la carga total en cualquier sentido de movimiento durante su funcionamiento.

Los actuadores que se van a utilizar para la máquina fresadora CNC son los motores paso a paso que cuentan con una alta precisión de movimiento y una gran fuerza de torque.

Se seleccionan actuadores de la empresa PROBOTIX y que serán especificados de acuerdo a los datos de torques necesarios para cada sistema mecánico Z, X, Y.

**TABLA 12.**  
**CARACTERÍSTICAS DE LOS MOTORES PASO A PASO**  
**SELECCIONADOS**

Datos	Sistema eje Z	Sistema eje X	Sistema eje Y
			
<b>Modelo</b>	HT23-180-8	HT34-600-8	HT34-1150-8
<b>Pasos por revolución</b>	1.8 deg / 200	1.8 deg / 200	1.8 deg / 200
<b>Factor de forma</b>	NEMA 23	NEMA 34	NEMA 34
<b>Torque (Oz.in)</b>	185	600	1150
<b>Corriente nominal (Amps/fase)</b>	2.5	6.0	6.0
<b>Resistencia (ohm/fase +-10%)</b>	0.62	0.35	0.55
<b>Inductancia (mH/fase +-20%)</b>	2.4	3.0	5.5
<b>Peso motor (Lbs)</b>	1.54	4.55	8.25
<b>Longitud motor (Pulg)</b>	2.2	3	4.5
<b>Número de cables</b>	8	8	8

La TABLA 12 muestra las características de los motores paso a paso seleccionados para cada sistema mecánico de la máquina

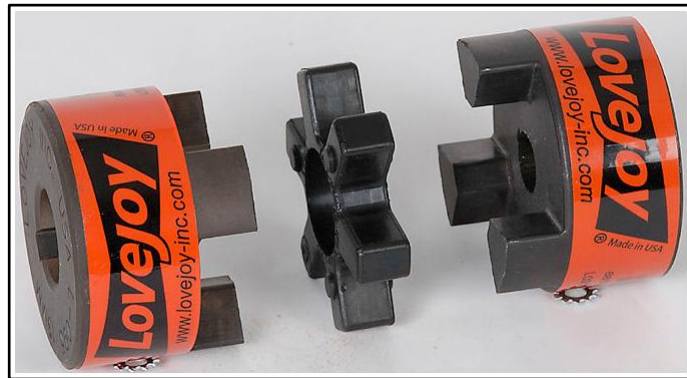
fresadora CNC, las dimensiones y demás especificaciones técnicas de cada motor estarán adjuntadas en la sección de APÉNDICES.

### **3.10. Selección de acoples para actuadores – transmisión de potencia**

Para realizar el acople de los ejes mecanizados de los tornillos sin fin de cada sistema mecánico con los ejes de los motores paso a paso correspondientes y lograr una transmisión de potencia eficiente se seleccionan acoplamientos flexibles tipo mordaza de la marca Lovejoy.

Los acoples tipo mordaza de Lovejoy cuentan con una gran variedad en combinaciones de diámetros interiores y chavetas, no requieren lubricación, prestan un excelente y confiable funcionamiento en aplicaciones de motores eléctricos de todo tamaño y transmisiones de potencia de diferente clase.


Como se muestra en la figura 3.56, consta de dos cubos que pueden ser en metal sinterizado, aluminio, bronce, acero, acero inoxidable o hierro dúctil y de un elemento intermedio elástico conocido como amortiguador, disponible en goma de NBR SOX, uretano, hytrel y bronce.



**FIGURA 3.57. ACOPLER TIPO MORDAZA LOVEJOY**

Se presentan en 24 tamaños diferentes, desde un par mínimo de 3,5 pulg.lb (0,4 N.m) hasta un par máximo de 170 pulg.lb (19.209 N.m), y una variedad de diámetros interiores desde 0,125 pulgadas (4,45 mm) hasta 7 pulgadas (178 mm).

**TABLA 13.  
ESPECIFICACIONES PARA LOS ACOPLER LOVEJOY TIPO  
MORDAZA**

	Diámetro eje tornillo sin fin	Diámetro eje motor paso a paso	Torque a transmitir
<b>Eje Z</b>	10 mm	6.35 mm	1.3 N.m
<b>Eje X</b>	10 mm	12.7 mm	4.2 N.m
<b>Eje Y</b>	15 mm	12.7 mm	8.1 N.m

La TABLA 13 muestra las especificaciones necesarias para los acopler Lovejoy en cada eje de la máquina fresadora CNC, el

torque a transmitir para cada eje se lo debe multiplicar por un factor de servicio de 1.75, para la adecuada selección de dichos acoples.

Las características técnicas de los acoples Lovejoy tipo mordaza estarán adjuntados en la sección de APÉNDICES.

### **3.11. Selección de tarjetas electrónicas y controladores**

Para el sistema de control de la fresadora CNC se requieren de las siguientes tarjetas electrónicas:

- Controlador de la herramienta o Spindle.
- Tarjeta de interface principal (Breakout Board).
- Tarjeta de control para los motores a pasos (Stepper Drives).

En la sección de APÉNDICES se adjunta un diagrama de conexiones de los diferentes elementos electrónicos descritos en esta sección, pero además se puede consultar la forma de conectar dichos dispositivos en sus respectivos manuales o páginas web de las marcas correspondientes.


#### **Controlador de la herramienta o Spindle:**

Este dispositivo abastece de la energía necesaria y controla el funcionamiento del motor o Spindle que da movimiento a la

herramienta de corte, por lo general el sistema de control para dicho Spindle viene incluido en la tarjeta de interface principal.

Para la alimentación de poder y control del Spindle se selecciona un variador para husillo de alta frecuencia que incluye driver para el mismo, de la marca DELTA Products.

**TABLA 14.**  
**CARACTERÍSTICAS DEL VARIADOR DE ALTA FRECUENCIA**  
**CON DRIVER**

<b>Delta VFD-M / Inverter 2.2kW 220V 1 - 3 Phase</b>	
Auto Torque Boost & Slip Compensation	
<b>Modelo:</b> VFD022M21A	
<b>Voltaje nominal:</b> 240V AC 50 / 60 Hz 1 or 3 Phase	
<b>Rango voltaje entrada:</b> 200~240V AC	
<b>Potencia:</b> 2.2kW (3 HP)	
<b>Corriente entrada:</b> 3 Phase 12.5A	
<b>Salida:</b> 3 Phase 0-240V 10A 3.8kVA	
<b>Rango frecuencia salida:</b> 0.1~400Hz	
<b>Controles operación:</b> Keypad Included	

La TABLA 14 muestra las características del variador de frecuencia seleccionado para el Spindle de la máquina fresadora CNC, las dimensiones y demás especificaciones técnicas de dicho dispositivo estarán adjuntadas en la sección de APÉNDICES.




### Tarjeta de interface principal (Breakout Board):

La interface principal o Breakout Board es la que conecta la PC con los diversos controles de motores, relés y otros dispositivos que se desea controlar en una máquina CNC, en general dicha tarjeta cumple dos funciones:

- ✓ Traducir las señales utilizadas para ejecutar una máquina CNC enviadas desde una PC.
- ✓ Aislar la mainboard del PC de algún problema eléctrico que pudiera provocar algún daño en la misma.

Se selecciona una Breakout Board de la empresa PROBOTIX.

**TABLA 15.**  
**CARACTERÍSTICAS DE LA TARJETA DE INTERFACE PRINCIPAL**

<b>PBX-RF RF Isolated Parallel Port CNC Breakout Board</b>	
Diseño flexible	
Regulador dual para fuente de 1.5 A lógicos basado en LM-137 incorporado	
Conector DB25 hembra	
Todos los conectores descubiertos	
Entrada con resistencias Pull-up habilitada por Jumper	
Regulador para fuente de 5V para lógica, integrado	
Pines tipo PBX y terminales de enganche por tornillo	
Fuente lógica alimentada por USB para Pc	

El PBX-RF es una tarjeta de interface con puerto en paralelo aislado, diseñada específicamente para máquinas CNC, es compatible con una variedad de software para control de puerto paralelo. La capa de aislamiento protege el PC de posibles daños debido a los picos o cortocircuitos en los controladores para motores de alta tensión utilizados en CNC.

Las dimensiones y demás especificaciones técnicas de la Breakout Board descrita en la TABLA 15, estarán adjuntadas en la sección de APÉNDICES.

**Tarjeta de control para los motores a pasos (Stepper Drivers):**

Se seleccionan controladores de la marca MondoStep, distribuidos por la misma empresa de los motores a pasos ya elegidos, las características de las tarjetas de control elegidas se describen en la TABLA 16.

**TABLA 16.**  
**CARACTERÍSTICAS DE LOS DRIVERS PARA LOS MOTORES A PASOS**

<b>Driver, motor a paso eje Z: MondoStep 4.2 Bi-Polar Driver</b>	<b>Driver, motores a pasos eje X e Y: MondoStep 7.8 Bi-Polar Driver</b>
	
Motores estándar NEMA 23	Motores estándar NEMA 34
Alimentación de voltaje hasta +50VDC	Alimentación de voltaje hasta +80VDC
Corriente de salida hasta 4.2 A	Corriente de salida hasta 7.8 A
Entrada de frecuencia de pulso hasta 300 KHz. Entrada compatible y ópticamente aislado TTL	Entrada de frecuencia de pulso hasta 300 KHz. Entrada compatible y ópticamente aislado TTL
15 resoluciones seleccionables, hasta 25.600 pasos/rev	16 resoluciones seleccionables, hasta 51200 pasos/rev
Paso/Dirección y modos CW / CCW	Paso/Dirección y modos CW / CCW

Las dimensiones y demás especificaciones técnicas de los Drivers descritos estarán adjuntadas en la sección de APÉNDICES.

### **3.12. Selección de sensores, elementos de mando y protección**

Los sensores, elementos de mando y protección, son dispositivos que se utilizan para controlar el funcionamiento y proteger de fallas eléctricas en la máquina CNC.

En la sección de APÉNDICES se adjunta un diagrama de conexiones de los diferentes elementos electrónicos descritos, pero además se puede consultar la forma de conectar dichos dispositivos en sus respectivos manuales o páginas web de las marcas correspondientes.

**Selección de sensores:**

En la máquina fresadora CNC se van a emplear sensores binarios (fines de carrera) o Limit Switch, descritos en la sección 2.3.3, se colocan dos para cada eje de tal forma, que controlen el límite de recorrido del carro de los tornillos de dichos ejes.

Se seleccionan Limit Switches de la marca HANYOUNG NUX, disponibles en el mercado y se toma como referencia de elección, el espacio disponible para su colocación en cada sistema mecánico de los ejes de la máquina CNC.

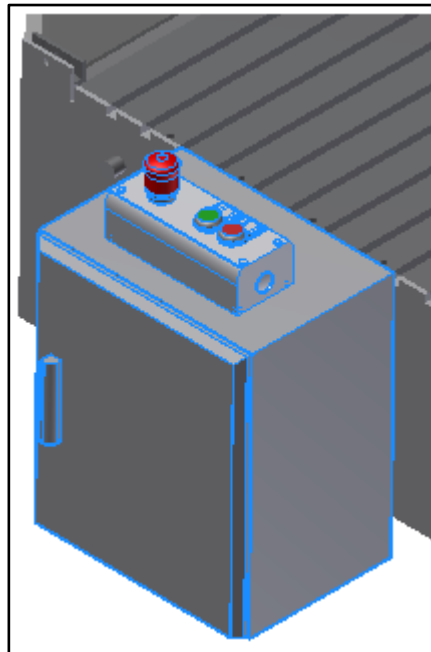
**TABLA 17.**  
**CARACTERÍSTICAS DE FINES DE CARRERA PARA LA**  
**MÁQUINA CNC**

Datos		Limit Switch, eje Z	Limit Switch, eje X e Y
			
<b>Modelo</b>		PLUNGER LS-803N	RODILLO PLUNGER M902
<b>Frecuencia</b>	<b>Mecánica</b>	120 veces/minuto	120 veces/minuto
	<b>Eléctrica</b>	30 veces/minuto	30 veces/minuto
<b>Resistencia del contacto</b>		Máx. 25M $\Omega$ (inicial)	Máx. 25M $\Omega$
<b>Contacto</b>		NA/NC	-
<b>Vibración</b>	<b>Falla</b>	10 ~ 55 Hz, amplitud doble	10 ~ 55 Hz, amplitud doble
<b>Golpe</b>	<b>Durabilidad</b>	1000m/s <sup>2</sup> min.	1000m/s <sup>2</sup> min.
	<b>Falla</b>	300m/s <sup>2</sup> min.	300m/s <sup>2</sup> min.
<b>Vida</b>	<b>Mecánica</b>	1 millón de operaciones min.	5 millones de operaciones min.
	<b>Eléctrica</b>	100,000 operaciones min.	0.75 millones de operaciones min.

La TABLA 17 muestra las características de los fines de carrera seleccionados para cada eje de la máquina fresadora CNC, las dimensiones y demás especificaciones técnicas de dichos sensores estarán adjuntadas en la sección de APÉNDICES.

**Elementos de mando y protección:**

Los elementos de mando para la fresadora CNC son los botones de encendido, apagado y paro de emergencia, el último descrito en la sección 2.3.3, son muy comunes en máquinas industriales, dichos botones están colocados en un panel de control que debe estar ubicado en un espacio cercano a la máquina y de rápido alcance para el operador.



**FIGURA 3.58. PANEL DE CONTROL CON  
ELEMENTOS DE MANDO PARA LA MÁQUINA  
FRESADORA CNC**

Los elementos de protección son para cuando ocurren fallas de tipo eléctrica que puedan provocarse durante el funcionamiento de la fresadora CNC, dicha máquina va a consumir un nivel de potencia relativamente bajo, por lo que se colocan fusibles en cada tarjeta de control o driver y un interruptor termomagnético para protección general.



**FIGURA 3.59. FUSIBLE E INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO**


**Fuente de poder:**

La fuente de poder debe abastecer el suficiente voltaje y corriente necesarios para alimentar a los componentes eléctricos de control, como son los motores de pasos, sensores y drivers seleccionados.

De acuerdo a los motores y demás elementos de tipo eléctrico elegidos para la máquina CNC, se requiere de un voltaje nominal de 40 V y una corriente mínima de 10 A.

Se selecciona una fuente de poder de la marca MEAN WELL que abastece de un voltaje ajustable de 32 V a 40 V y una corriente máxima de 16.6 A.

Las características de la fuente elegida se describen a continuación:

<b>MEAN WELL 600W Single Output Power Supply</b>	
<b>SE-600 series</b>	
<b>Modelo:</b> SE-600-36	
<b>Voltaje DC:</b> 36 V	
<b>Corriente nominal:</b> 16.6 A	
<b>Rango de corriente:</b> 0 ~ 16.6 A	
<b>Potencia nominal:</b> 600 W	
<b>Rango ajustable voltaje:</b> 32 ~ 40 V	
<b>Tolerancia de voltaje:</b> $\pm 1.0\%$	

Las dimensiones y demás especificaciones técnicas de la fuente de poder seleccionada estarán adjuntadas en la sección de APÉNDICES.

### **3.13. Selección del software libre para control**

Para el funcionamiento y control de la máquina fresadora CNC, se van a utilizar tres tipos de software:

- Software de diseño 3D o CAD.
- Software de generación del código G o CAM.
- Software de interpretación, envío y control del código G.



**Software de diseño 3D o CAD:**

Para el diseño 3D de los prototipos de barcos a mecanizar, en Ingeniería Naval se utiliza el software RHINOCEROS, especializado en crear, editar, analizar, renderizar y traducir curvas, superficies y sólidos sin límite de complejidad, grado o tamaño; sin embargo para la adecuada interpretación del modelo dibujado, se puede pasar dicho diseño a un software más especializado como AUTODESK INVENTOR, para su edición o preparación previa a ser ingresado en un software CAM.

Para el paso o vínculo de un dibujo desde un software CAD a otro, sin perder ninguna propiedad de forma o dimensiones del mismo, se lo realiza mediante la extensión .STEP que es genérica en la gran mayoría de programas de diseño 3D.

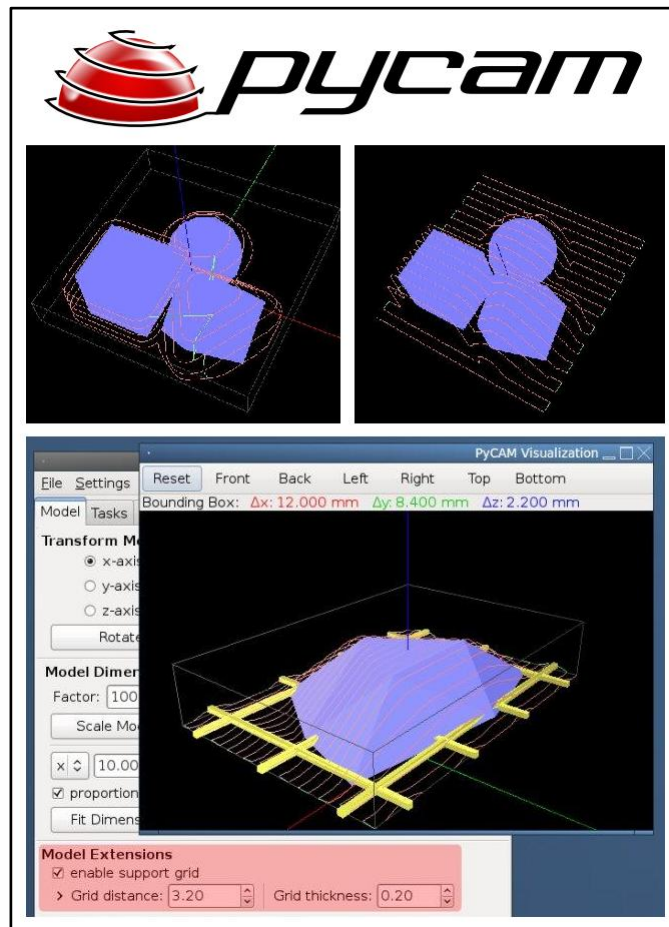


**FIGURA 3.60. RHINOCEROS – AUTODESK INVENTOR**

#### **Software de generación del código G o CAM:**

Para la generación del código G se va a utilizar un software libre para sistemas CNC llamado PyCAM.

PyCAM es un generador de trayectoria para mecanizado de 3 ejes en CNC, trabaja con modelos 3D en formato STL, modelos de contorno 2D en DXF y archivos SVG, el Gcode resultante se lo puede utilizar con cualquier controlador de la máquina CNC, es compatible con una amplia gama de estrategias para trayectoria en modelos 3D y contornos 2D.

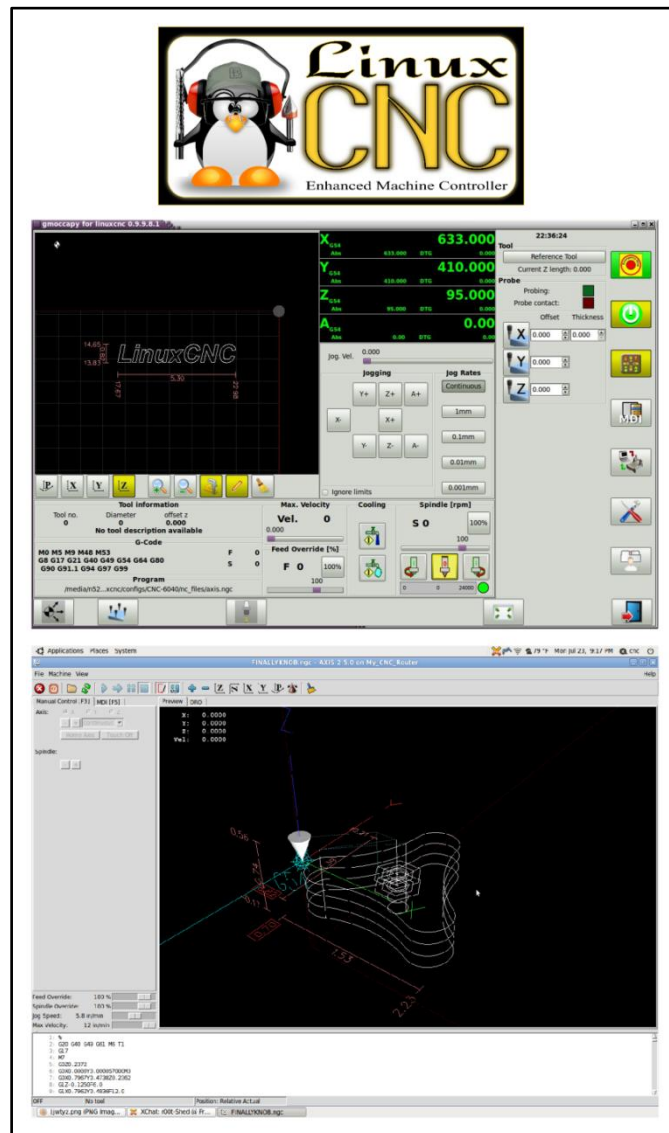


**FIGURA 3.61. SOFTWARE PYCAM**

### **Software de interpretación, envío y control del código G:**

Para la interpretación de los códigos G generados, el envío de comandos a los motores a pasos y control del proceso de mecanizado en la máquina CNC, se va a utilizar un software libre especializado en dichas funciones llamado LinuxCNC.

LinuxCNC es un programa que permite el control de máquinas con sistemas CNC o cualquier otro tipo de máquina de hasta 9 ejes, proporciona una interface gráfica, un intérprete para código G y un planeador de movimientos en tiempo real, además ofrece operación de sensores y controladores para motores a paso o servomotores, se ejecuta en el sistema Linux usando exenciones de tiempo real.



**FIGURA 3.62. SOFTWARE LINUXCNC**

LinuxCNC ofrece en su página web una guía paso a paso de la configuración a realizar para ingresar los datos de los componentes que se van a controlar (características de la máquina, ejes, drivers, motor husillo, motores ejes, limit switches, etc.).

# CAPÍTULO 4

## 4. ANÁLISIS ECONÓMICO

Para el análisis económico se cotiza el precio de todos los materiales y componentes necesarios para la construcción de la máquina CNC, dicha cotización se va a realizar de la manera más precisa posible, sin embargo se debe aclarar que es una estimación del costo total, debido a que los precios de algunos elementos o materia prima pueden variar de un día a otro, además para el costo de la mano de obra se considera el salario de los obreros según la zona económica a la que corresponden y algunas piezas tendrán que ser elaboradas por técnicos calificados.

Además se va a comparar el costo total de elaboración de la fresadora CNC con el precio en el mercado de máquinas similares traídas del exterior, a fin de establecer la rentabilidad de construir este tipo de maquinaria en el medio.

#### **4.1. Costo de materiales y mano de obra**

Al costo total de materiales y mano de obra es necesario agregar el monto por la realización del diseño, dicho valor será calculado de acuerdo al número de horas empleadas para el desarrollo del mismo, se establece un precio por hora de \$ 200 y un tiempo de trabajo total aproximado en 150 horas, obteniendo un costo por diseño de \$ 30000.

El valor calculado se lo divide para un número aproximado de máquinas a construir, si se pronostica una producción inicial de 1000 unidades a partir del diseño elaborado, entonces se obtiene un costo por máquina igual a \$ 30.

En la TABLA 18, se encuentra detallado todos los materiales y elementos requeridos para la construcción de la máquina fresadora CNC de acuerdo al sistema mecánico que conforma cada uno de sus ejes, además se indica la cantidad de cada pieza y su respectivo precio.

TABLA 18.

## COSTOS DE MATERIALES PARA LA FRESADORA CNC

Sistema mecánico eje Z		
Cantidad	Descripción	Precio
1	GMT Air Cooled CNC Spindle: SFM4653C-18/2.20TMP High Torque S	\$1193.60
1	Delta VFD-M / Inverter 2.2kW 220V 1 - 3 Phase	\$475
1	180 OzIn 8-Wire Stepper Motor	\$45
1	MondoStep 4.2 Bi-Polar Driver	\$100
2	Limit Switch LS-803N, tipo PLUNGER	\$16
1	Husillo de bolas: $\varnothing = 15$ mm, $p = 10$ mm, $L = 690$ mm	\$162
3	Rodamiento axial de bolas SKF, modelo: 51201	\$90
1	Acople tipo mordaza, Lovejoy	\$20
1	BASE SOPORTE MOTOR HUSILLO (0.44 Kg, PRODAX)	\$10.55
1	PLACA SEC. SOPORTE MOTOR HUSILLO (1.01 Kg, PRODAX)	\$24.25
2	NERVIO SOPORTE MOTOR HUSILLO (0.26 Kg, PRODAX)	\$6.25
1	PLACA PRI. SOPORTE MOTOR HUSILLO (2.85 Kg, PRODAX)	\$68.40
1	COLA DE MILANO (0.42 Kg, PRODAX)	\$10
2	SOPORTE PRINCIPAL, COLUMNAS (1.40 Kg, PRODAX)	\$33.60
1	SOPORTE CARRITO H.B. (1.18 Kg, PRODAX)	\$28.35
1	SOPORTE PRINCIPAL BLOQUE 1 (1.10 Kg, PRODAX)	\$26.40
1	SOPORTE PRINCIPAL BLOQUE 2 (1.39 Kg, PRODAX)	\$33.35
2	SOPORTE PRINCIPAL, GUÍAS (Eje, $\varnothing = 10$ mm, $L = 530$ mm, SAE 1045)	\$2.80
4	Rodamiento lineal de bolas NTN, modelo: BBE10	\$80
2	BASE SOPORTE MOTOR DE PASO (0.30 Kg, PRODAX)	\$7.20
4	EJE SOPORTE MOTOR DE PASO ( $\varnothing = 16$ mm, $L = 55$ mm, DURALON)	\$5



<b>Sistema mecánico eje X</b>		
<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio</b>
1	600 OzIn 8-Wire Stepper Motor	\$130
1	MondoStep 7.8 Bi-Polar Driver	\$150
2	Limit Switch M902, tipo RODILLO PLUNGER	\$26
1	Husillo de bolas: Ø = 16 mm, p = 5 mm, L = 790 mm	\$100
2	Rodamiento radial de una hilera de bolas SKF, modelo: 6201	\$40
2	Chumacera tipo brida para Ø = 12 mm	\$30
1	Acople tipo mordaza, Lovejoy	\$20
1	BASE SOPORTE CARRITO H.B. (0.64 Kg, PRODAX)	\$15.35
1	SOPORTE CARRITO H.B. (0.22 Kg, PRODAX)	\$5.25
2	SOPORTE RODAMIENTO LINEAL (0.57 Kg, PRODAX)	\$13.65
2	Rodamiento lineal de bolas NTN, modelo: BBE20	\$60
2	GUÍA (Eje, Ø = 20 mm, L = 740 mm, SAE 1045)	\$3.60
2	COLUMNA (Perfil rectangular, longitud:, espesor: 2.5 mm, ASTM A36)	\$100
1	BASE COLUMNAS (Plancha, largo: 240 mm , ancho: 200 mm, espesor: 6 mm, ASTM A36)	\$30
1	ESPALDAR (Perfil rectangular, longitud:, espesor: 2.5 mm, ASTM A36)	\$5
6	PLACAS SOPORTE (Plancha, largo: 740 mm , ancho: 500 mm, espesor: 4 mm, ASTM A36)	\$10
4	EJE SOPORTE MOTOR DE PASO (Ø = 16 mm, L = 88 mm, DURALON)	\$8

<b>Sistema mecánico eje Y</b>		
<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio</b>
1	1150 OzIn 8-Wire Stepper Motor	\$170
1	MondoStep 7.8 Bi-Polar Driver	\$150

2	Limit Switch M902, tipo RODILLO PLUNGER	\$26
1	Husillo de bolas: $\varnothing = 25$ mm, p = 5 mm, L = 2500 mm	\$400
2	Rodamiento radial de una hilera de bolas SKF, modelo: 61903	\$60
2	Chumacera F203 NTN	\$40
1	Acople tipo mordaza, Lovejoy	\$25
1	Soporte motor de paso (Plancha 4 mm espesor, ASTM A36)	\$20
1	SOPORTE CARRITO H.B. (1.46 Kg, PRODAX)	\$35
4	SOPORTE RODAMIENTOS (1.06 Kg, PRODAX)	\$25.45
4	Rodamiento lineal de bolas NTN, modelo: BBE25	\$160
2	RIEL (Eje, $\varnothing = 16$ mm, L = 2960 mm, SAE 1018)	\$35
4	POLEAS (Perfil redondo, Bronce)	\$100

<b>Estructura principal</b>		
<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio</b>
2	VIGA PRIMARIA (Viga UPN 160, Longitud: 3000 mm)	\$141
4	VIGA SECUNDARIA (Viga UPN 100, Longitud: 670 mm )	\$77
2	PLACAS SOPORTE (Plancha, largo: 800 mm , ancho: 300 mm, espesor: 20 mm, ASTM A36)	\$75
1	MESA DE TRABAJO (Perfil con canales de sujeción, largo: 3000 mm , ancho: 650 mm, aluminio)	\$120

<b>Sistema de control general</b>		
<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio</b>
1	PANEL DE CONTROL (Caja de control eléctrico, contactores y protector)	\$100
1	PBX-RF RF Isolated Parallel Port CNC Breakout Board	\$63.70
1	MEAN WELL 600W Single Output Power Supply	\$108
4	Placa soporte cableado (Plancha, largo: 740 mm , ancho: 100 mm,	\$10

	espesor: 4 mm, ASTM A36)	
-	Cables de conexión y tubos flexibles de protección	\$95

<b>Protección y extracción de viruta</b>		
<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio</b>
4	SOPORTE PROTECTOR 1 (0.416 Kg, PRODAX)	\$10
6	SOPORTE PROTECTOR 2 (1.26 Kg, PRODAX)	\$30.25
2	PROTECTOR 1 (Plancha, largo: 800 mm , ancho: 400 mm, espesor: 10 mm, POLICARBONATO)	\$110
2	PROTECTOR 2 (Plancha, largo: 2950 mm , ancho: 400 mm, espesor: 10 mm, POLICARBONATO)	\$220
2	Fuelle de protección para eje Z	\$15
2	Fuelle de protección para eje X	\$25
2	Fuelle de protección para eje Y	\$90
1	Sistema de extracción viruta portátil	\$250

<b>Elementos e insumos varios</b>		
<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio</b>
10	PERNO M10 X 40 Hexagonal	\$6
80	PERNO M8 X 40 Allen	\$25
95	PERNO M6 X 40 Allen	\$20
50	PERNO M5 X 40 Allen	\$9
10	PERNO M4 X 30 Allen	\$2
2	Galón Thinner	\$10
2	Galón de pintura anticorrosiva	\$40
2	Galón de pintura	\$60
1	Juego de fresas (macho - hembra)	\$40

<b>Subtotal</b>	\$6183
<b>Varios</b>	\$200
<b>Total</b>	<b>\$6383</b>

En la TABLA 19, se especifica el costo de la mano de obra, incluido el precio de maquinado, ensamblaje y dirección técnica.

**TABLA 19.**  
**COSTO MANO DE OBRA PARA LA FRESADORA CNC**

	<b>Cantidad horas/hombre</b>	<b>Precio \$/hora</b>	<b>Subtotal</b>
<b>Maquinado</b>	32	40	\$1280
<b>Ensamblaje</b>	20	35	\$700
<b>Dirección técnica</b>	8	50	\$400
		<b>Total</b>	<b>\$2380</b>

El precio de diseño sumado al costo de los materiales y elementos para la máquina fresadora CNC más la mano de obra para su construcción y ensamblaje dan un total de **\$8793**.

#### **4.2. Rentabilidad del proyecto**

Para establecer la rentabilidad del proyecto, se procede a efectuar un análisis comparativo entre la máquina realizada y tres máquinas de diferentes marcas, pero con características semejantes a la del equipo desarrollado.

Las características de las máquinas a ser analizadas, se especifican en la TABLA 20, hay que considerar que al precio calculado para el proyecto realizado se le aumenta un 20%, como utilidad del mismo.

**TABLA 20.**  
**CUADRO COMPARATIVO, MÁQUINAS FRESADORAS CNC**  
**SIMILARES**

	<b>Proyecto realizado</b>	<b>FRESADORA CNC 1325</b>	<b>MECANICAM (MX 1000 1325)</b>	<b>FRESADORA CNC, PANTÓGRAFO</b>
<b>Ejes</b>	3	3	3	3
<b>Largo máximo (mm)</b>	2200	2500	2500	2500
<b>Ancho máximo (mm)</b>	630	1250	1300	1300
<b>Altura máxima (mm)</b>	550	200	120	190
<b>Motores XYZ</b>	Paso a Paso	Paso a Paso	Paso a Paso	Paso a Paso
<b>Velocidad de giro máxima Spindle (RPM)</b>	24000	24000	18000	24000
<b>Velocidad de avance máx. (m/min)</b>	25	25	25	25
<b>Peso aprox. (Kg)</b>	575	950	1100	1500
<b>Precio (USD \$)</b>	\$10552	\$15839	\$15013	\$19281

Al comparar la máquina realizada, con otras máquinas similares, se puede indicar que el diseño desarrollado posee buenas características en relación a diseños establecidos de marcas comerciales.

Se concluye que la fresadora CNC diseñada es rentable por las siguientes características:

- Posee un diseño versátil, que permite su fácil construcción, además de poder ser trasladada y ensamblada de manera sencilla en cualquier lugar (con el espacio físico necesario) que se requiera.
- Las características de la máquina en potencia o torque de los diferentes motores y dimensiones máximas que puede mecanizar, se ajustan a los requerimientos del trabajo que debe ejecutar.
- Consta de elementos o partes construidos específicamente para máquinas CNC, lo que garantiza una gran precisión y eficiencia en el desempeño general de la máquina.
- Posee el precio más económico del mercado, ya que es construida dentro del país y no traída del exterior.

# CAPÍTULO 5

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones:

- El presente proyecto de grado tuvo como objetivo principal hacer el diseño de una máquina fresadora CNC para mecanizar prototipos de barcos en madera, que sea sencilla, de fácil instalación, mantenimiento y sobre todo económica; con el fin de que la máquina desarrollada ejecute su función sin fallas, su diseño se realizó bajo las condiciones más críticas de funcionamiento (madera dura), asegurando que pueda resistir las máximas fuerzas que pudieran producirse por defectos del material (madera) al momento de realizar el proceso de mecanizado.
- Por ser un sistema CNC en el que se emplean software CAD/CAM se puede mecanizar todo lo que sea diseñado en dichos

programas, la única limitación es la facilidad del proceso de manufactura por el número de ejes disponibles, la máquina fresadora CNC diseñada posee 3 ejes, con lo que se puede construir modelos en relieve solo hasta dos ejes y medio (pieza no puede rotar), es decir el diseño completo en los ejes X e Y y la mitad del mismo en el eje Z, que para la construcción de prototipos de barcos es adecuado y suficiente.

- La máquina fresadora CNC facilita la fabricación de forma individual o en serie de un número infinito de modelos de barcos que puedan ser diseñados en un programa CAD, con una alta precisión, disminuyendo el tiempo de manufactura y desperdicio de material como residuo, haciendo el proceso de construir un prototipo de barco mucho más eficiente y exacto.
- De acuerdo al diseño realizado, la máquina fresadora CNC puede mecanizar prototipos de barcos de hasta: 2000 mm de largo, 350 mm de ancho y 400 mm de altura; posee para cada eje un sistema de transmisión de potencia por medio de husillos de bolas, orientado por ejes guías y como actuadores, motores a paso.



- Las estructuras soporte diseñadas para la máquina CNC, como son la estructura de columnas y estructura de soporte principal, tienen una forma que da mucha resistencia y estabilidad, dichas armaduras fueron analizadas por medio de elementos finitos utilizando la función Stress Analysis del software Autodesk Inventor Professional, con el que se obtuvieron factores de seguridad hasta 15 para cada estructura correspondientemente.
- El empleo de rodamientos de tipo lineal para el deslizamiento sobre las guías de los 3 ejes de la máquina, permiten una calibración en el movimiento muy buena, ya que por las características de dichos rodamientos, se ajustan perfecto a los ejes guías, haciendo que las estructuras montadas en los mismos se desplacen con gran facilidad, reduciendo al mínimo los esfuerzos por rodamiento.
- El sistema de control seleccionado, tanto dispositivos como software de control por ser de tipo estándar, ofrecen una gran facilidad de instalación, compatibilidad y manejo, además poseen un alto grado de confiabilidad en su funcionamiento, por ser elementos contruidos específicamente para sistemas CNC.

- El sistema de protección y los elementos de mando elegidos para la máquina CNC, como son las barreras protectoras, sistema extracción de viruta y el panel de control, garantizan la seguridad del operador en el exterior de la misma, permitiendo la visibilidad en todo el alrededor de la mesa de trabajo (barreras), protección contra los residuos generados (extracción de viruta) y el fácil encendido o apagado total del equipo (botones de mando).
- Según el diseño desarrollado, todas las partes y dispositivos que forman la máquina fresadora CNC, se las puede construir y adquirir en el mercado nacional o ser traídas del exterior con mucha facilidad.
- La forma final de la máquina ofrece una apariencia atractiva a la vista, con un diseño rentable y factible de construir, con costos bajos de mantenimiento y operación, a un precio de venta que compite ampliamente con otras máquinas similares importadas, además la generación de este tipo de tecnología contribuye bastante al desarrollo industrial del país.

**Recomendaciones:**

- En la selección de actuadores se pueden cambiar los motores a pasos por servomotores, estos tipos de motores poseen un control de lazo cerrado ya que tienen incorporado un sensor de posición en su estructura interna, haciéndolos más precisos, además poseen una gran fuerza de torque, alta velocidad y baja inercia, la utilización de servomotores puede mejorar la eficiencia y precisión de la máquina CNC en general, sin embargo su costo es más elevado que el de los motores paso a paso.
- Para el sistema de transmisión de potencia, específicamente para los elementos empleados como guías, en vez de ejes de acero y rodamientos lineales, se pueden utilizar sistemas especializados de guiado, que vienen ya armados y se seleccionan de acuerdo a la carga a resistir, el espacio disponible para su colocación y la máxima longitud que se deben deslizar, dichos sistemas incrementarían la precisión y soporte en el desplazamiento de los 3 ejes de la máquina, pero su costo de adquisición es bien elevado, en especial para grandes distancias, además no se encuentran fácilmente en el mercado nacional por lo que habría que importarlos.

- En el diseño de la estructura principal se podría utilizar una bancada de una sola pieza homogénea construida por fundición, con los espacios y alojamientos necesarios para acoplar todas las partes que forman la fresadora CNC, dicha bancada gracias a su peso y robustez brindaría mayor soporte a las fuerzas ejercidas durante el funcionamiento de la máquina.
- Para el diseño de la mesa de trabajo se puede realizar un análisis más profundo de su comportamiento (elementos finitos) frente a las fuerzas que van a interactuar en la misma y determinar si con la longitud de dicha mesa y los apoyos dispuestos para su soporte, sufre algún tipo de ruptura o deformación que puedan afectar su adecuado funcionamiento.
- En el diseño de la estructura principal como análisis adicional para lograr un desempeño más óptimo de la misma, se podría desarrollar un estudio del tipo de superficie o cimentación sobre la cual debería estar asentada, y que le ayudaría a cumplir su función con mayor seguridad y eficiencia.

- Para el movimiento o transmisión de torque entre los actuadores y los ejes de los tornillos de potencia (husillos de bolas), se puede utilizar bandas dentadas con poleas dentadas, que por el hecho de poseer dientes para el acople entre ellos, ofrecen una gran precisión al transmitir movimiento, pero también cambiando el diámetro de las poleas permiten modificar características como la velocidad y en consecuencia la fuerza que puede desarrollar, además si se produjera algún tipo de sobrecarga durante el funcionamiento de la máquina, que puede ser transmitido por el tornillo de potencia al eje del actuador, dicho sistema brindaría mayor seguridad, ya que las bandas funcionan como fusibles o disipadores, mientras que en una conexión eje a eje donde cualquier sobrecarga se transmite de forma directa, puede afectar el mecanismo interno del actuador, provocando daños.
- Se recomienda utilizar un software CAM y de control CNC con licencia, como InventorCAM y FANUC, que al ser programas especializados para este tipo de sistemas, brindan en cada caso, más opciones de procesos para mecanizado y una mejor interface de manejo y control de la máquina.

- Para cuando se vaya a poner en funcionamiento la máquina fresadora CNC, antes de realizar el proceso de mecanizado, se deben tomar muy en cuenta el uso del equipo de protección personal para el operador y las normas de seguridad a seguir previo y durante el manejo de máquinas herramientas.
- Manipular correctamente los elementos de control y protección de la máquina CNC, tener mucho cuidado con las conexiones eléctricas, para evitar ruptura de cables o posibles cortos, las tarjetas de control o drivers se deben mantener siempre en un lugar libre de humedad, polvo o residuos de viruta, previniendo algún tipo de daño por corrosión y alargando el tiempo de vida útil de los mismos, revisar el estado de los elementos de protección eléctrica, como fusibles e interruptor termomagnético, con motivo de que se encuentren en orden y funcionales, para ser usados en cualquier momento.
- La persona encargada de operar la máquina debe estar correctamente capacitada para el manejo de sistemas CNC y dominar el software de control utilizado, con la finalidad de que pueda obtener la mayor eficiencia de la máquina durante su funcionamiento.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ENRIQUE ZANNI, Patología de la Madera: degradación y rehabilitación de estructuras de madera - 1° ed., Editorial Brujas.
2. MARKS, Manual del Ingeniero Mecánico, Tercera edición en español, Editorial Mc-Graw Hill.
3. NICOLAS LARBURU, Prontuario de Máquinas Herramientas, Sexta edición, Editorial Paraninfo S.A.
4. MIKELL P. GROOVER, Fundamentos de manufactura moderna, Tercera edición, Editorial Mc-Graw Hill.
5. RICHARD G. BUDYNAS y J. KEITH NISBETT, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, Octava edición, Editorial McGraw-Hill.
6. MOTT ROBERT, Diseño de elementos de máquinas, Cuarta edición, Editorial PEARSON Prentice Hall.
7. RAMON PIEDRAFITA MORENO, Ingeniería de la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL, Segunda edición, Editorial Ra-Ma.
8. FERDINAND P. BEER; E. RUSSELL JOHNSTON, JR.; DAVID F. MAZUREK; ELLIOT R. EISENBERG, Mecánica Vectorial para Ingenieros: Estática, Novena edición, Editorial McGraw-Hill.
9. IVAN BOHMAN C.A., Manual de aceros especiales.
10. NTN, Catálogo de Rodamientos lineales de bolas.

11. SKF, Catálogo General de Rodamientos.
12. HOLGUER FABIAN GUANOLUISA PILATÁSIG y FREDDY EDUARDO YÁNEZ TAPIA, Diseño y Construcción de un Sistema Automático de Corte por Plasma mediante Control Numérico Computarizado CNC, Tesis de grado ESPE – SEDE LATACUNGA.
13. TYRONE CRISTÓBAL PAZMIÑO FRANCO, Diseño de una Máquina para Cepillar y Machihembrar Madera, Tesis de grado ESPOL.
14. Proyecto Menorquín Yacht (2008), Métodos de producción y construcción de barcos. (Disponible en:  
<http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/34/13/11-Metodos%20de%20construcci%C3%B3n.pdf>. Consultado el: 5 de Octubre de 2014)
15. Construcción naval: Madera. (Disponible en:  
<http://www.mgar.net/mar/tecnica.htm>. Consultado el: 5 de Octubre de 2014)
16. Investigación e Ingeniería de la Madera (2011). (Disponible en:  
<http://www.fitecma.umich.mx/attachments/article/99/%28Investigaci%C3%B3n%20e%20Ingenier%C3%ADa%20de%20la%20Madera%202011%20Vol.%207%20No.%201%29.pdf>. Consultado el: 5 de Octubre de 2014)



17. Materiales de uso técnico - La Madera (2013). (Disponible en:  
[https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2013/02/materiales\\_madera.pdf](https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2013/02/materiales_madera.pdf). Consultado el: 5 de Octubre de 2014)
18. Propiedades Mecánicas de la Madera Estructural. (Disponible en:  
[http://www.infomadera.net/uploads/productos/informacion\\_general\\_40\\_mecanicaEstructural.pdf](http://www.infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_40_mecanicaEstructural.pdf). Consultado el: 5 de Octubre de 2014)
19. Fresar madera. (Disponible en:  
<http://www.bricotodo.com/fresar.htm>. Consultado el: 5 de Octubre de 2014)
20. Brocas para madera (2012). (Disponible en:  
<https://micarpinteria.wordpress.com/2012/01/30/brocas-para-router/>. Consultado el: 5 de Octubre de 2014)
21. Fresas HSS de metal para madera (2010). (Disponible en:  
<http://foro.metalaficion.com/index.php?topic=1759.0>. Consultado el: 5 de Octubre de 2014)
22. Revoluciones de la fresadora en madera (2005). (Disponible en:  
<http://es.rec.bricolaje.narkive.com/5WgUJQTc/revoluciones-de-la-fresadora>. Consultado el: 5 de Octubre de 2014)
23. Tutorial: Control Numérico Computacional (CNC) (2004). (Disponible en: [electronica.li2.uchile.cl/new/documentacion/CNC/tutorial\\_CNC.doc](http://electronica.li2.uchile.cl/new/documentacion/CNC/tutorial_CNC.doc). Consultado el: 4 de Noviembre de 2014)

24. Máquinas CNC (2009). (Disponible en:  
<http://maquinascontrolnumerico.blogspot.com/>. Consultado el: 4 de  
Noviembre de 2014)
25. ¿Cómo funciona la Fresadora CNC? (2013). (Disponible en:  
<http://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/fresadoras-cnc>. Consultado el: 4 de Noviembre de 2014)
26. Fabricación asistida por ordenador (CAM) (2013). (Disponible en:  
<http://www.iat.es/2013/07/fabricacion-asistida-ordenador-cam/>.  
Consultado el: 4 de Noviembre de 2014)
27. Qué es un Spindle. (Disponible en:  
<http://fabricatupropioroutercnc.com/blog/que-es-un-spindle.html>.  
Consultado el: 4 de Noviembre de 2014)
28. Tornillos de Potencia (2010). (Disponible en:  
[http://www2.ula.ve/dsiportal/dmdocuments/elementos/TORNILLOPO  
TENCIA.pdf](http://www2.ula.ve/dsiportal/dmdocuments/elementos/TORNILLOPO TENCIA.pdf). Consultado el: 4 de Noviembre de 2014)
29. Servoaccionamientos (Control de Ejes). (Disponible en:  
<http://www.etitudela.com/celula/downloads/servoaccionamientos.pdf>.  
Consultado el: 4 de Noviembre de 2014)
30. Servomotores. (Disponible en:  
<http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/Servomotores.pdf>.  
Consultado el: 4 de Noviembre de 2014)

31. Encoders: Información Técnica (2005). (Disponible en:  
<http://www.forosdeelectronica.com/f16/encoders-informacion-tecnica-25/>. Consultado el: 4 de Noviembre de 2014)
32. Descripción general de motores paso a paso. (Disponible en:  
<http://www.orientalmotor.com.mx/productos/motores-paso-a-paso.html>. Consultado el: 2 de Diciembre de 2014)
33. Motores Paso a Paso (Stepper) (2004). (Disponible en:  
<http://www.olimex.cl/tutorial/tutorial6.pdf>. Consultado el: 2 de Diciembre de 2014)
34. Utilizar sistemas de sujeción o fijación con el fin de que la operación de mecanizado sea estable, segura y eficiente. (Disponible en:  
[http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/Guias\\_Ev\\_Riesgos/ComprobacionErgonomica/SeguridadMaquinaria/50.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/Guias_Ev_Riesgos/ComprobacionErgonomica/SeguridadMaquinaria/50.pdf). Consultado el: 2 de Diciembre de 2014)
35. Cabezal Universal Divisor – Fresadora. (Disponible en:  
<http://www.monografias.com/trabajos35/cabezal-divisor-fresadora/cabezal-divisor-fresadora.shtml>. Consultado el: 2 de Diciembre de 2014)
36. Sensores. (Disponible en:  
<http://www.isa.cie.uva.es/~maria/sensores.pdf>. Consultado el: 2 de Diciembre de 2014)

37. Sistema de Extracción de Partículas de Madera (Viruta, Aserrín, etc.) (2011). (Disponible en: <https://prezi.com/tkuxe69icieu/sistema-de-extraccion-de-particulas-de-madera-viruta-aserrin-etc/>. Consultado el: 2 de Diciembre de 2014)
38. Recomendaciones para el mejoramiento de los sistemas de extracción neumática de residuos de madera. (Disponible en: <http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=1734> . Consultado el: 2 de Diciembre de 2014)
39. Prevención de riesgos en la protección de máquinas – FISO. (Disponible en: <http://www.fiso-web.org/imagenes/publicaciones/archivos/3974.pdf>. Consultado el: 2 de Diciembre de 2014)
40. Recomendaciones de seguridad para la prevención de riesgos laborales en máquinas herramienta. (Disponible en: <http://www.uji.es/bin/serveis/prev/docum/notas/ferrame.pdf>. Consultado el: 2 de Diciembre de 2014)
41. Duraluminio. (Disponible en: <http://www.ecured.cu/index.php/Duraluminio>. Consultado el: 5 de Enero de 2015)
42. Propiedades mecánicas – Pernos. (Disponible en: [http://www.epidor.com/documentos/ApTecnico\\_PropiedadesMecanicas.pdf](http://www.epidor.com/documentos/ApTecnico_PropiedadesMecanicas.pdf). Consultado el: 5 de Enero de 2015)

43. Perfilería de Aluminio. (Disponible en:

[http://www.cnc-](http://www.cnc-robotica.com/product_info.php?products_id=333&osCsid=516e8ed8f55e06e4fd215b1a66bf4a26)

[robotica.com/product\\_info.php?products\\_id=333&osCsid=](http://www.cnc-robotica.com/product_info.php?products_id=333&osCsid=516e8ed8f55e06e4fd215b1a66bf4a26)

[516e8ed8f55e06e4fd 215b1a66bf4a26](http://www.cnc-robotica.com/product_info.php?products_id=333&osCsid=516e8ed8f55e06e4fd215b1a66bf4a26). Consultado el: 5 de Enero de 2015)

44. Fuelles de protección. (Disponible en:

[http://www.directindustry.es/cat/equipos-maquinas-](http://www.directindustry.es/cat/equipos-maquinas-herramientas/fuelles-proteccion-AV-300.html)

[herramientas/fuelles-proteccion-AV-300.html](http://www.directindustry.es/cat/equipos-maquinas-herramientas/fuelles-proteccion-AV-300.html). Consultado el: 5 de Enero de 2015)

45. Controlador de dispositivo (Driver). (Disponible en:

<http://www.alegsa.com.ar/Dic/controlador%20de%20dispositivo.php>.

Consultado el: 5 de Enero de 2015)

46. Stepper Motors. (Disponible de:

[http://www.probotix.com/stepper\\_motors](http://www.probotix.com/stepper_motors). Consultado el: 5 de Enero de 2015)

47. Jaw Type Couplings. (Disponible en:

<http://www.lovejoy-inc.com/jaw-type-couplings.aspx>. Consultado el: 5 de Enero de 2015)

48. Air Cooled Spindles. (Disponible en:

<http://ugracnc.com/AIR-COOLED-CNC-SPINDLES/View-all-products.html>. Consultado el: 5 de Enero de 2015)

49. CNC Breakout Boards. (Disponible en:  
<http://www.cnccookbook.com/CCBreakoutBoards.htm>. Consultado el:  
5 de Enero de 2015)
50. Breakout Boards. (Disponible en:  
[http://www.probotix.com/breakout\\_boards/](http://www.probotix.com/breakout_boards/). Consultado el: 3 de  
Febrero de 2015)
51. Stepper Motor Drivers. (Disponible en:  
[http://www.probotix.com/stepper\\_motor\\_drivers/](http://www.probotix.com/stepper_motor_drivers/). Consultado el: 3 de  
Febrero de 2015)
52. Finales de carrera / Switches. (Disponible en:  
[http://www.nammisa.com/fina\\_carr.htm](http://www.nammisa.com/fina_carr.htm). Consultado el: 3 de Febrero  
de 2015)
53. Single Output Power Supply. (Disponible en:  
<http://www.meanwell.com/webapp/product/search.aspx?prod=se-600>.  
Consultado el: 3 de Febrero de 2015)
54. Software libre. (Disponible en:  
[http://www.monografias.com/trabajos33/software-libre/software-  
libre.shtml](http://www.monografias.com/trabajos33/software-libre/software-libre.shtml). Consultado el: 3 de Febrero de 2015)
55. PyCAM (2011). (Disponible en:  
<http://pycam.sourceforge.net/>. Consultado el: 3 de Febrero de 2015)
56. LinuxCNC. (Disponible en:  
[http://linuxcnc.org/docs/html/common/Getting\\_EMG\\_es.html](http://linuxcnc.org/docs/html/common/Getting_EMG_es.html))

# APÉNDICES

## TABLA 21. RECOMENDACIONES DE AVANCE EN FRESAS COROMILL PLURA, SANDVIK




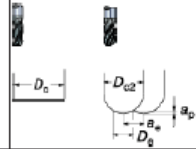
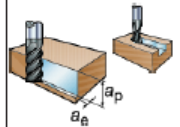
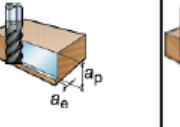
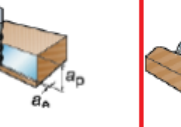
Metales no-férricos, plástico, madera

### Calidades complementarias

**H10F (HW)** – N20 (N15 – N25)

Calidad de metal duro sin recubrimiento adecuada para el fresado de aleaciones de aluminio con aristas de corte "agudas".

### Recomendaciones de avance








 GC1620 GC1630 H10F								
	$D_c$ o $D_{c2}$ mm	$f_z$ mm/diente	$f_z$ mm/diente	$f_z$ mm/diente	$f_z$ mm/diente	$f_z$ mm/diente		
$n = \frac{1000 \times v_c}{\pi \times D_c}$ (rpm)  $v_f = n \times f_z \times z_n$ (mm/min)  $D_e = 2 \times \sqrt{a_p \times (D_{c2} - a_p)}$ (mm)	Gula Plura							
0.5								
1	0.002	0.002	0.013	0.023				
2	0.004	0.003	0.032	0.056				
3	0.006	0.007	0.039	0.07				
3.175	0.006	0.008	0.040	0.072				
4	0.008	0.014	0.045	0.08				
4.76	0.010	0.019	0.046	0.078				
5	0.011	0.021	0.046	0.078				
6	0.014	0.03	0.055	0.099				
6.35	0.015	0.031	0.056	0.102				
8	0.020	0.033	0.063	0.114				
9.525	0.025	0.050	0.069	0.124				
10	0.027	0.055	0.071	0.127				
12	0.036	0.071	0.077	0.139				
12.7	0.039	0.074	0.079	0.143				
15.875	0.054	0.089	0.089	0.160				
16	0.055	0.09	0.089	0.161				
19.05	0.073	0.105	0.097	0.175				
20	0.078	0.11	0.1	0.18				
25	0.11	0.11	0.11	-				



## TABLA 22. CLASES MÉTRICAS DE PROPIEDAD MECÁNICA DE PERNOS, SHIGLEY

**Tabla 8-11**

Clases métricas de propiedad mecánica de pernos, tornillos y birlos de acero\*

Clase de propiedad	Intervalo de tamaños, inclusive	Resistencia de prueba mínima,† MPa	Resistencia mínima a la tensión,† MPa	Resistencia mínima a la fluencia,† MPa	Material	Marca en la cabeza
4.6	M5-M36	225	400	240	Acero de bajo o medio carbono	
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Acero de bajo o medio carbono	
5.8	M5-M24	380	520	420	Acero de bajo o medio carbono	
8.8	M16-M36	600	830	660	Acero de medio carbono, T y R	
9.8	M1.6-M16	650	900	720	Acero de medio carbono, T y R	
10.9	M5-M36	830	1 040	940	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
12.9	M1.6-M36	970	1 220	1 100	Acero aleado, T y R	

## TABLA 23. CONSTANTE DE CONDICIÓN DE EXTREMOS PARA COLUMNAS, SHIGLEY

**Tabla 4-2**

Constantes de condiciones finales de las columnas de Euler

Condiciones de extremos de columnas	Constante C de condición de extremos		
	Valor teórico	Valor conservador	Valor recomendado*
Empotrado-libre	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$
Articulado-articulado	1	1	1
Empotrado-articulado	2	1	1.2
Empotrado-empotrado	4	1	1.2

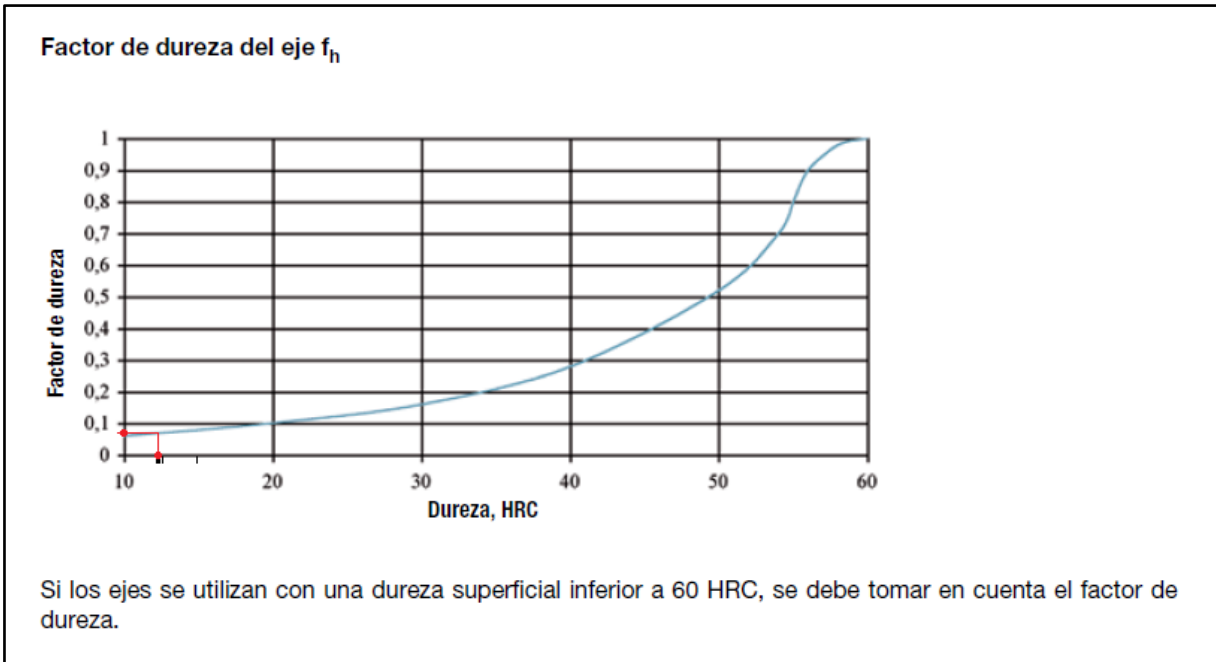
\*Para usarse sólo con factores de seguridad amplios cuando la carga de la columna se conozca con exactitud.

## TABLA 24. RECOMENDACIONES PARA EL COEFICIENTE DE SEGURIDAD ESTÁTICO, NTN

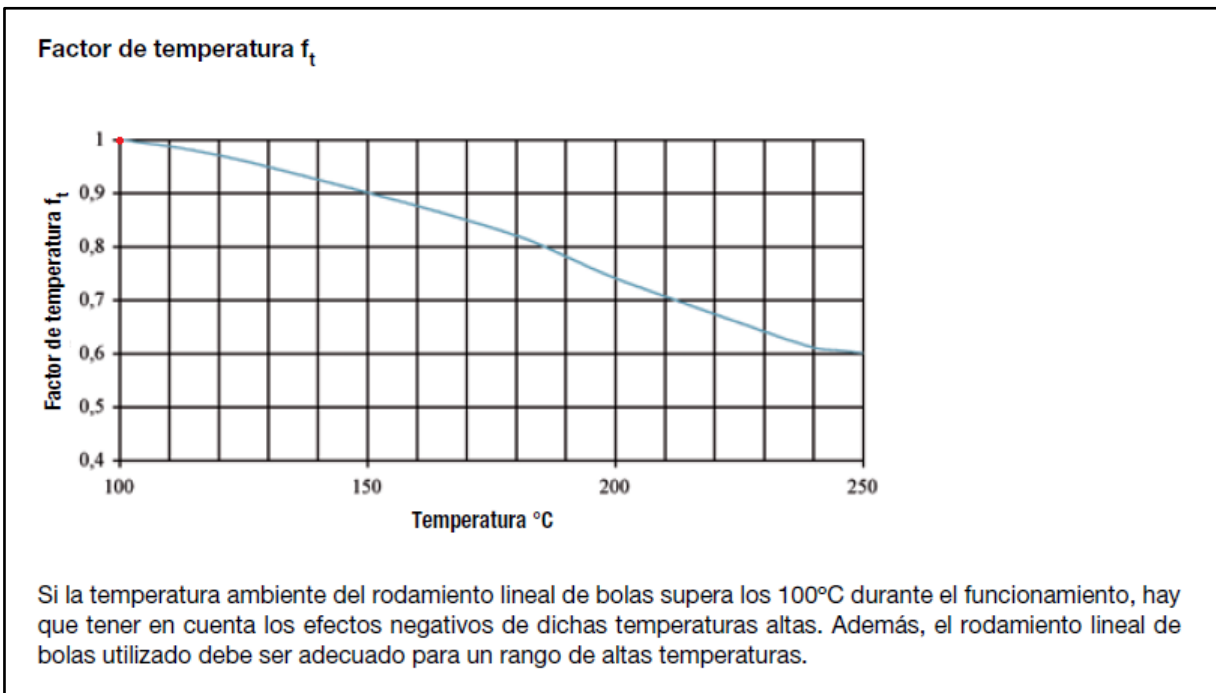
Recomendaciones para el coeficiente de seguridad estático en distintas condiciones de funcionamiento:

Condiciones de funcionamiento	fS
Condiciones de funcionamiento normales	1 ... 2
Condiciones de choques y vibraciones de baja intensidad	2 ... 4
Condiciones de choques y vibraciones de media intensidad	3 ... 5
Condiciones de choques y vibraciones de gran intensidad	4 ... 6
Parámetros de carga desconocidos	6 ... 15

**FIGURA 1. FACTOR DE DUREZA DEL EJE, NTN**



**FIGURA 2. FACTOR DE TEMPERATURA, NTN**



**TABLA 25. FACTOR DE CONTACTO, NTN****Factor de contacto  $f_c$** 

Si se utilizan varios rodamientos lineales de bolas con una separación prácticamente nula entre ellos, el desplazamiento está influenciado por los pares y la precisión del montaje. Por lo tanto, resulta difícil obtener una distribución homogénea de las cargas. En dicho caso, se deberá tener en cuenta un factor de contacto.

Número de rodamientos lineales de bolas montados juntos	$f_c$
1	1,0
2	0,81
3	0,72
4	0,66
5	0,61

**TABLA 26. FACTOR DE CARGA, NTN****Factor de carga  $f_w$** 

En general, las máquinas generan vibraciones y choques debido a los movimientos oscilatorios que se producen durante el funcionamiento. Por lo general, resulta difícil determinar con precisión las vibraciones y las cargas de choque causadas por una sucesión de arranques y paradas. Durante el funcionamiento a alta velocidad, si las cargas realmente aplicadas en el rodamiento lineal de bolas no pueden medirse o si la velocidad y las cargas de choque tienen gran influencia, deberá aplicarse el factor de carga correspondiente.

Condiciones de funcionamiento, velocidad V	$f_w$
Condiciones de funcionamiento normales, $V \leq 0,25$ m/s	1,0...1,5
Condiciones de funcionamiento normales con vibraciones/choques de baja intensidad, $0,25 < V \leq 1,0$ m/s	1,5...2,0
Condiciones de funcionamiento con vibraciones/choques de gran intensidad, $V > 2,0$ m/s	2,0...3,5

**TABLA 27. VIDA NOMINAL EN HORAS PARA DIFERENTES CLASES DE MÁQUINAS**

Guía de valores requeridos de vida nominal L10h para diferentes clases de máquinas	
Clases de máquinas	L10h horas de servicio
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, aparatos para uso médico.	300 a 3 000
Máquinas usadas intermitente o por cortos períodos: Máquinas-herramienta portátiles, aparatos elevadores para talleres, máquinas para la construcción.	3 000 a 8 000
Máquinas para trabajar con alta fiabilidad de funcionamiento por cortos períodos o intermitentemente: Ascensores, grúas para mercancías embaladas.	8 000 a 12 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario no totalmente utilizadas: Transmisiones por engranajes para uso general, motores eléctricos para uso industrial, machacadoras giratorias.	10 000 a 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario totalmente utilizadas: Máquinas-herramientas, máquinas para trabajar la madera, máquinas para la industria mecánica general, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas	20 000 a 30 000

**TABLA 28. VALORES PARA EL FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO, SKF**

Tabla 10

Valores orientativos para el factor de seguridad estático  $s_0$

Tipo de funcionamiento	Rodamientos rotativos						Rodamientos estacionarios	
	Requisitos en cuanto a funcionamiento silencioso						Rodtos. bolas	Rodtos. rodillos
	no importante		normal		alto			
Rodtos. bolas	Rodtos. rodillos	Rodtos. bolas	Rodtos. rodillos	Rodtos. bolas	Rodtos. rodillos	Rodtos. bolas	Rodtos. rodillos	
Suave, sin vibraciones	0,5	1	1	1,5	2	3	0,4	0,8
Normal	0,5	1	1	1,5	2	3,5	0,5	1
Cargas de choque notables <sup>1)</sup>	$\geq 1,5$	$\geq 2,5$	$\geq 1,5$	$\geq 3$	$\geq 2$	$\geq 4$	$\geq 1$	$\geq 2$

Para los rodamientos axiales de rodillos a rótula es aconsejable utilizar  $s_0 \geq 4$

<sup>1)</sup> Cuando se desconoce la magnitud de la carga de choque, deben usarse valores de  $s_0$  por lo menos iguales a los arriba indicados. Si las magnitudes de las cargas de choque son exactamente conocidas, se pueden aplicar valores de  $s_0$  menores



**TABLA 29. VALORES DE VIDA NOMINAL EN HORAS PARA DIFERENTES CLASES DE MÁQUINAS, SKF**

Tabla 8

Valores orientativos de vida nominal requeridos para diferentes clases de máquinas

Clase de máquinas	Vida nominal Horas de funcionamiento
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, equipos técnicos de uso médico	300 ... 3 000
Máquinas usadas intermitentemente o por cortos períodos: herramientas eléctricas portátiles, aparatos elevadores en talleres, máquinas y equipos para la construcción	3 000 ... 8 000
Máquinas para trabajar con alta fiabilidad de funcionamiento por cortos períodos o intermitentemente: ascensores (elevadores), grúas para mercancías embaladas o eslingas de tambores, etc.	8 000 ... 12 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario, no siempre totalmente utilizadas: transmisiones por engranajes para uso general, motores eléctricos de uso industrial, machacadoras rotativas	10 000 ... 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario totalmente utilizadas: máquinas herramientas, máquinas para trabajar la madera, máquinas para la industria de ingeniería, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipos para imprentas, separadores y centrifugas	20 000 ... 30 000
Máquinas para trabajo continuo, 24 horas al día: cajas de engranajes para laminadores, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil	40 000 ... 50 000
Máquinas para la industria de energía eólica, esto incluye el eje principal, la orientación, los engranajes, los rodamientos del generador	30 000 ... 100 000
Maquinaria para el abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas cableadoras, maquinaria de propulsión para transatlánticos	60 000 ... 100 000
Maquinaria eléctrica de gran tamaño, centrales eléctricas, bombas y ventiladores para minas, rodamientos para la línea de ejes de transatlánticos	> 100 000

**TABLA 30. FACTORES DE CÁLCULO PARA RODAMIENTOS RÍGIDOS DE BOLAS, SKF**

Tabla 5

Factores de cálculo para los rodamientos rígidos de una hilera de bolas

$f_0 F_a/C_0$	Juego Normal			Juego C3			Juego C4		
	e	X	Y	e	X	Y	e	X	Y
0,172	0,19	0,56	2,30	0,29	0,46	1,88	0,38	0,44	1,47
0,345	0,22	0,56	1,99	0,32	0,46	1,71	0,40	0,44	1,40
0,689	0,26	0,56	1,71	0,36	0,46	1,52	0,43	0,44	1,30
1,03	0,28	0,56	1,55	0,38	0,46	1,41	0,46	0,44	1,23
1,38	0,30	0,56	1,45	0,40	0,46	1,34	0,47	0,44	1,19
2,07	0,34	0,56	1,31	0,44	0,46	1,23	0,50	0,44	1,12
3,45	0,38	0,56	1,15	0,49	0,46	1,10	0,55	0,44	1,02
5,17	0,42	0,56	1,04	0,54	0,46	1,01	0,56	0,44	1,00
6,89	0,44	0,56	1,00	0,54	0,46	1,00	0,56	0,44	1,00

Los valores intermedios se obtienen mediante la interpolación lineal

**SKF**

**TABLA 31. RODAMIENTOS LINEALES DE BOLAS ESTÁNDAR CERRADOS, DIMENSIONES ISO, NTN**

## Rodamientos lineales de bolas Dimensiones ISO

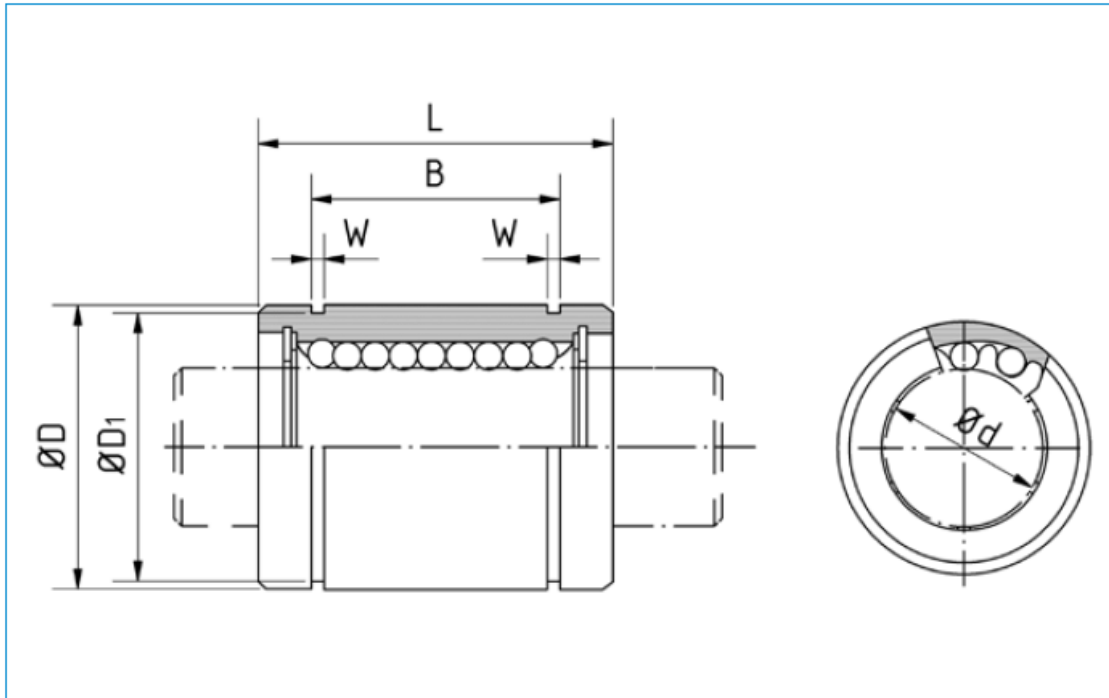
### Rodamientos lineales de bolas estándar, cerrados

Los rodamientos lineales de bolas cerrados de la serie ejecución cilíndrica precisa cumplen con la norma ISO 10285. Pueden utilizarse en muchas aplicaciones gracias a su ejecución precisa y a su buena calidad.



Los rodamientos lineales de bolas cerrados están disponibles con dos retenes. Las combinaciones de estanquidades deben precisarse en la designación.





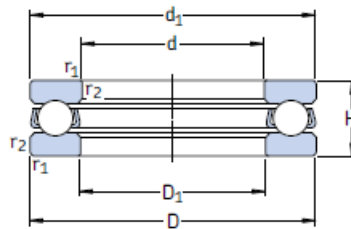
Referencia				Dimensiones [mm]								
Estándar		Resistente a la corrosión		Ød	Tolerancia	ØD	Tolerancia	L	Tolerancia	B	Tolerancia	
Jaula de plástico	Jaula de acero	Jaula de plástico	Jaula de acero inox									
BBE3	BBE3A	BBES3	BBES3A	3	+0,008 0	7	0 -0,008	10	0 -0,012	-	-	
BBE4	BBE4A	BBES4	BBES4A	4		8		12		-	-	
BBE5	BBE5A	BBES5	BBES5A	5		12		22	14,5 16,5 22 22,9	0 -0,2	0 -0,2	
BBE8	BBE8A	BBES8	BBES8A	8		16	25					
BBE10	BBE10A	BBES10	BBES10A	10		19	29					
BBE12	BBE12A	BBES12	BBES12A	12		22	32					
BBE16	BBE16A	BBES16	BBES16A	16		+0,009 -0,001	26	0 -0,009	36	24,9	-	
BBE20	BBE20A	BBES20	BBES20A	20		32	45		31,5			
BBE25	BBE25A	BBES25	BBES25A	25		+0,011 -0,001	40	0 -0,011	58	0 -0,3	44,1 52,1	0 -0,3
BBE30	BBE30A	BBES30	BBES30A	30		47	68		60,6			
BBE40	BBE40A	BBES40	BBES40A	40	+0,013 -0,002	62	0 -0,013	80	101,7 77,6	-	-	
BBE50	BBE50A	BBES50	BBES50A	50		75		100				60,6
BBE60	BBE60A	BBES60	BBES60A	60	+0,016 -0,004	90	0 -0,015	125	0 -0,4	101,7 133,7	0 -0,4	
-	BBE80A	-	-	80		120		165				133,7



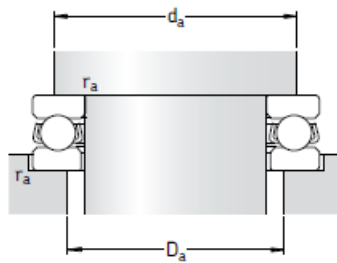
W	Ø D1	Número de circuitos de bolas	Excentricidad máx. [µm]	Juego radial máx. [µm]	Capacidad de carga dinámica [N]	Capacidad de carga estática [N]	Peso [g]	Referencia			
								Estándar		Resistente a la corrosión	
								Jaula de plástico	Jaula de acero	Jaula de plástico	Jaula de acero inox
-	-	4	10	-3	44	105	1,4	BBE3	BBE3-A	BBES3	BBES3-A
-	-	4			55	127	2	BBE4	BBE4-A	BBES4	BBES4-A
1,1	11,5	4	12		159	265	11	BBE5	BBE5-A	BBES5	BBES5-A
1,1	15,2	4			195	402	22	BBE8	BBE8-A	BBES8	BBES8-A
1,3	18	4		-4	286	549	36	BBE10	BBE10-A	BBES10	BBES10-A
1,3	21	4			416	784	45	BBE12	BBE12-A	BBES12	BBES12-A
1,3	24,9	4			432	892	60	BBE16	BBE16-A	BBES16	BBES16-A
1,6	30,3	5		15	-6	877	1.370	102	BBE20	BBE20-A	BBES20
1,85	37,5	6	908			1.570	235	BBE25	BBE25-A	BBES25	BBES25-A
1,85	44,5	6	-8		1 584	2.740	360	BBE30	BBE30-A	BBES30	BBES30-A
2,15	59	6		17	2 357	4.020	770	BBE40	BBE40-A	BBES40	BBES40-A
2,65	72	6	-13		4 702	7.940	1.250	BBE50	BBE50-A	BBES50	BBES50-A
3,15	86,5	6			20	6 085	9.800	2.220	BBE60	BBE60-A	BBES60
4,15	116	6	-20	9 465		16.000	5.140	BBE80	-	-	-

**TABLA 32. RODAMIENTOS AXIALES DE BOLAS, SKF**

Rodamientos axiales de bolas de simple efecto  
d 3 – 30 mm



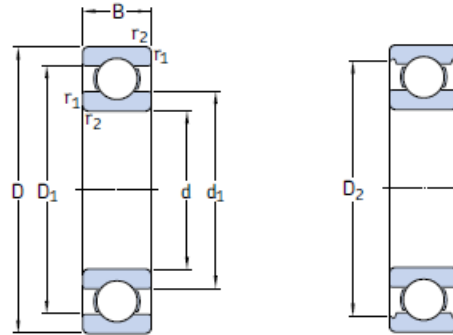
Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga $P_u$	Factor de carga mínima A	Velocidades		Masa	Designación
d	D	H	dinámica C	estática $C_0$			Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	-	rpm		kg	-
3	8	3,5	0,806	0,72	0,027	0,000003	26 000	36 000	0,0009	<b>BA 3</b>
4	10	4	0,761	0,72	0,027	0,000003	22 000	30 000	0,0015	<b>BA 4</b>
5	12	4	0,852	0,965	0,036	0,000005	20 000	28 000	0,0021	<b>BA 5</b>
6	14	5	1,78	1,92	0,071	0,000019	17 000	24 000	0,0035	<b>BA 6</b>
7	17	6	2,51	2,9	0,108	0,000044	14 000	19 000	0,0065	<b>BA 7</b>
8	19	7	3,19	3,8	0,143	0,000075	12 000	17 000	0,0091	<b>BA 8</b>
9	20	7	3,12	3,8	0,143	0,000075	12 000	16 000	0,010	<b>BA 9</b>
10	24	9	9,95	15,3	0,56	0,0012	9 500	13 000	0,020	<b>51100</b>
	26	11	12,7	18,6	0,70	0,0018	8 000	11 000	0,030	<b>51200</b>
12	26	9	10,4	16,6	0,62	0,0014	9 000	13 000	0,022	<b>51101</b>
	28	11	13,3	20,8	0,77	0,0022	8 000	11 000	0,034	<b>51201</b>
15	28	9	10,6	18,3	0,67	0,0017	8 500	12 000	0,023	<b>51102</b>
	32	12	16,5	27	1	0,0038	7 000	10 000	0,046	<b>51202</b>
17	30	9	11,4	21,2	0,78	0,0023	8 500	12 000	0,025	<b>51103</b>
	35	12	17,2	30	1,1	0,0047	6 700	9 500	0,053	<b>51203</b>
20	35	10	15,1	29	1,08	0,0044	7 500	10 000	0,037	<b>51104</b>
	40	14	22,5	40,5	1,53	0,0085	6 000	8 000	0,083	<b>51204</b>
25	42	11	18,2	39	1,43	0,0079	6 300	9 000	0,056	<b>51105</b>
	47	15	27,6	55	2,04	0,015	5 300	7 500	0,11	<b>51205</b>
	52	18	34,5	60	2,24	0,018	4 500	6 300	0,17	<b>51305</b>
	60	24	55,3	96,5	3,6	0,048	3 600	5 000	0,34	<b>51405</b>
30	47	11	19	43	1,6	0,0096	6 000	8 500	0,063	<b>51106</b>
	52	16	25,5	51	1,9	0,013	4 800	6 700	0,13	<b>51206</b>
	60	21	37,7	71	2,65	0,026	3 800	5 300	0,26	<b>51306</b>
	70	28	72,8	137	5,1	0,097	3 000	4 300	0,52	<b>51406</b>



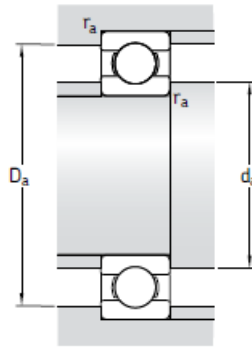
Dimensiones				Dimensiones de acuerdos y resaltes		
d	d <sub>1</sub> ~	D <sub>1</sub> ~	r <sub>1,2</sub> min	d <sub>a</sub> min	D <sub>a</sub> máx	r <sub>a</sub> máx
mm				mm		
3	7,8	3,2	0,15	5,8	5	0,15
4	9,8	4,2	0,15	7,5	6,5	0,15
5	11,8	5,2	0,15	8	9	0,15
6	13,8	6,2	0,2	11	9,5	0,2
7	16,8	7,2	0,2	12,5	11	0,2
8	18,8	8,2	0,3	14,5	12,5	0,3
9	19,8	9,2	0,3	15,5	13,5	0,3
10	24	11	0,3	19	15	0,3
	26	12	0,6	20	16	0,6
12	26	13	0,3	21	17	0,3
	28	14	0,6	22	18	0,6
15	28	16	0,3	23	20	0,3
	32	17	0,6	25	22	0,6
17	30	18	0,3	25	22	0,3
	35	19	0,6	28	24	0,6
20	35	21	0,3	29	26	0,3
	40	22	0,6	32	28	0,6
25	42	26	0,6	35	32	0,6
	47	27	0,6	38	34	0,6
	52	27	1	41	36	1
	60	27	1	46	39	1
30	47	32	0,6	40	37	0,6
	52	32	0,6	43	39	0,6
	60	32	1	48	42	1
	70	32	1	54	46	1

**TABLA 33. RODAMIENTOS RÍGIDOS DE BOLAS, SKF**

Rodamientos rígidos de una hilera de bolas  
d 12 – 22 mm



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga $P_u$	Velocidades		Masa	Designación
d	D	B	dinámica C	estática $C_0$		Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	rpm	kg	-	
<b>12</b>	21	5	1,43	0,67	0,028	70 000	43 000	0,0063	<b>61801</b>
	24	6	2,25	0,98	0,043	67 000	40 000	0,011	<b>61901</b>
	28	8	5,4	2,36	0,10	60 000	38 000	0,022	<b>*6001</b>
	30	8	5,07	2,36	0,10	56 000	34 000	0,023	<b>16101</b>
	32	10	7,28	3,1	0,132	50 000	32 000	0,037	<b>*6201</b>
	37	12	10,1	4,15	0,176	45 000	28 000	0,060	<b>*6301</b>
<b>15</b>	24	5	1,56	0,8	0,034	60 000	38 000	0,0074	<b>61802</b>
	28	7	4,36	2,24	0,095	56 000	34 000	0,016	<b>61902</b>
	32	8	5,85	2,85	0,12	50 000	32 000	0,025	<b>*16002</b>
	32	9	5,85	2,85	0,12	50 000	32 000	0,030	<b>*6002</b>
	35	11	8,06	3,75	0,16	43 000	28 000	0,045	<b>*6202</b>
	42	13	11,9	5,4	0,228	38 000	24 000	0,082	<b>*6302</b>
<b>17</b>	26	5	1,68	0,93	0,039	56 000	34 000	0,0082	<b>61803</b>
	30	7	4,62	2,55	0,108	50 000	32 000	0,018	<b>61903</b>
	35	8	6,37	3,25	0,137	45 000	28 000	0,032	<b>*16003</b>
	35	10	6,37	3,25	0,137	45 000	28 000	0,039	<b>*6003</b>
	40	9	9,56	4,75	0,2	38 000	24 000	0,048	<b>98203</b>
	40	12	9,95	4,75	0,2	38 000	24 000	0,065	<b>*6203</b>
	40	12	11,4	5,4	0,228	38 000	24 000	0,064	<b>6203 ETN9</b>
	47	14	14,3	6,55	0,275	34 000	22 000	0,12	<b>*6303</b>
	62	17	22,9	10,8	0,455	28 000	18 000	0,27	<b>6403</b>
	<b>20</b>	32	7	4,03	2,32	0,104	45 000	28 000	0,018
37		9	6,37	3,65	0,156	43 000	26 000	0,038	<b>61904</b>
42		8	7,28	4,05	0,173	38 000	24 000	0,050	<b>*16004</b>
42		9	7,93	4,5	0,19	38 000	24 000	0,051	<b>98204 Y</b>
42		12	9,95	5	0,212	38 000	24 000	0,069	<b>*6004</b>
47		14	13,5	6,55	0,28	32 000	20 000	0,11	<b>*6204</b>
47		14	15,6	7,65	0,325	32 000	20 000	0,096	<b>6204 ETN9</b>
52		15	16,8	7,8	0,335	30 000	19 000	0,14	<b>*6304</b>
52		15	18,2	9	0,38	30 000	19 000	0,14	<b>6304 ETN9</b>
72		19	30,7	15	0,64	24 000	15 000	0,40	<b>6404</b>
<b>22</b>	50	14	14	7,65	0,325	30 000	19 000	0,12	<b>62/22</b>
	56	16	18,6	9,3	0,39	28 000	18 000	0,18	<b>63/22</b>



Dimensiones					Dimensiones de acuerdos y resaltes			Factores de cálculo		
d	d <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	r <sub>1,2</sub> min	d <sub>a</sub> min	D <sub>a</sub> máx	r <sub>a</sub> máx	k <sub>r</sub>	f <sub>0</sub>	
mm					mm			-		
<b>12</b>	15	18,2	-	0,3	14	19	0,3	0,015	9,7	
	15,5	20,6	21,4	0,3	14	22	0,3	0,02	9,7	
	17	23,2	24,8	0,3	14	26	0,3	0,025	13	
	16,7	23,4	24,8	0,3	14,4	27,6	0,3	0,025	13	
	18,5	25,7	27,4	0,6	16,2	27,8	0,6	0,025	12	
	19,5	29,5	31,5	1	17,6	31,4	1	0,03	11	
<b>15</b>	17,9	21,1	-	0,3	17	22	0,3	0,015	10	
	18,4	24,7	25,8	0,3	17	26	0,3	0,02	14	
	20,2	27	28,2	0,3	17	30	0,3	0,02	14	
	20,5	26,7	28,2	0,3	17	30	0,3	0,025	14	
	21,7	29	30,4	0,6	19,2	30,8	0,6	0,025	13	
	23,7	33,7	36,3	1	20,6	36,4	1	0,03	12	
<b>17</b>	20,2	23,2	-	0,3	19	24	0,3	0,015	10	
	20,4	26,7	27,8	0,3	19	28	0,3	0,02	15	
	22,7	29,5	31,2	0,3	19	33	0,3	0,02	14	
	23	29,2	31,4	0,3	19	33	0,3	0,025	14	
	24,5	32,7	-	0,6	21,2	35,8	0,6	0,025	13	
	24,5	32,7	35	0,6	21,2	35,8	0,6	0,025	13	
	23,9	33,5	-	0,6	21,2	35,8	0,6	0,03	12	
	26,5	37,4	39,7	1	22,6	41,4	1	0,03	12	
	32,4	46,6	-	1,1	23,5	55,5	1	0,035	11	
	<b>20</b>	24	28,3	-	0,3	22	30	0,3	0,015	15
		25,6	31,4	32,8	0,3	22	35	0,3	0,02	15
		27,3	34,6	-	0,3	22	40	0,3	0,02	15
27,4		36	36,2	0,6	23,2	38,8	0,6	0,025	14	
27,2		34,8	37,2	0,6	23,2	38,8	0,6	0,025	14	
28,8		38,5	40,6	1	25,6	41,4	1	0,025	13	
28,2		39,6	-	1	25,6	41,4	1	0,025	12	
30,4		41,6	44,8	1,1	27	45	1	0,03	12	
30,2		42,6	-	1,1	27	45	1	0,03	12	
37,1		54,8	-	1,1	29	63	1	0,035	11	
<b>22</b>		32,2	41,8	44	1	27,6	44,4	1	0,025	14
		32,9	45,3	-	1,1	29	47	1	0,03	12

**FIGURA 3. ALAMBRE MIG/MAG DE INDURA, AWS ER 70S-6**

## FIGURA 4. VELOCIDADES RECOMENDADAS PARA DIFERENTES PARTÍCULAS, SISTEMA EXTRACCIÓN DE VIRUTA

Las velocidades recomendadas para diferentes partículas se localizan en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Velocidades recomendadas de acuerdo a los materiales.**

<b>Material</b>	<b>Ámbitos de velocidad recomendados</b>	
	<b>m/seg</b>	<b>pies/min.</b>
Polvo de madera	7,62 - 10,80	1500 - 2000
Aserrín seco, liviano	10,80 - 15,24	2000 - 3000
Aserrín húmedo, pesado	15,24 - 20,33	3000 - 4000
Viruta seca, liviana	10,80 - 15,24	2000 - 3000
Recortes madera verde	17,78 - 22,87	3500 - 4500
Madera triturada	17,78 - 22,87	3500 - 4500
Polvo de esmeril	15,24 - 20,33	3000 - 4000

Para el diseño de tuberías en las fábricas de elaboración de productos de madera, es usual la utilización de una velocidad de 19.3 m/s (3800 pies/min). No es conveniente permitir velocidades menores a 17.8 m/s (3500 pies/min).

**FIGURA 5. HUSILLO DE CORTE, GMT SPINDLE**



**FIGURA 6. MOTOR DE PASO EJE Z, PROBOTIX**

**FIGURA 7. MOTOR DE PASO EJE X, PROBOTIX**

**FIGURA 8. MOTOR DE PASO EJE Y, PROBOTIX**

**TABLA 34. FACTOR DE SERVICIO, ACOPLER TIPO MORDAZA, LOVEJOY**

	Service Factors				
	Electric Motor w/ Standard Torque	Electric Motor w/ High Torque	Steam Turbines & En- gines w4 or more Cyl*	Reciprocating Engines*	
				1-Cyl	2-Cyl
<b>Feeders</b>					
Belt, Screw .....	1.00	1.25	1.00	1.7	1.3
Reciprocating .....	2.50	2.75	2.50	3.2	2.8
<b>Filter, Press-oil</b> .....	1.50	1.75	1.50	2.2	1.8
<b>Generators</b>					
Not Welding .....	1.00	1.25	1.00	1.7	1.3
Welding.....	2.00	2.25	2.00	2.7	2.3
Holst .....	1.50	1.75	1.50	2.2	1.8
<b>Hammermills</b> .....	2.00	2.25	2.00	2.7	2.3
<b>Kilns</b> .....	1.50	1.75	1.50	2.2	1.8
<b>Laundry Washers —</b>					
Reversing .....	2.00	2.25	2.00	2.7	2.3
<b>Lumber Machinery</b>					
Barkers, Edger Feeder, Live Roll.....	2.00	2.25	2.00	2.7	2.3
Planer, Slab Conveyor..	2.00	2.25	2.00	2.7	2.3
<b>Machine Tools</b>					
Punch Press-gear Driven, Plate Planer .....	2.00	2.25	2.00	2.7	2.3
Tapping Machinery, Bending Roll .....	2.00	2.25	2.00	2.7	2.3
<b>Main Drive</b> .....	1.50	1.75	1.50	2.2	1.8
<b>Auxiliary Drives</b> .....	1.00	1.25	1.00	1.7	1.3

**TABLA 35. TORQUE NOMINAL, ACOPLER TIPO MORDAZA, LOVEJOY**

*Jaw Nominal Rated Torque Data*

Size	Max Bore		Spider Material							
	In	mm	SOX (NBR) Torque		Urethane Torque		Hytre Torque		Bronze Torque	
			In-lbs	Nm	In-lbs	Nm	In-lbs	Nm	In-lbs	Nm
L035	0.375	9	3.5	0.4	—	—	—	—	—	—
L/AL050	0.625	16	26.3	3.0	39	4.5	50	5.60	50	5.60
L/AL070	0.750	19	43.2	4.9	65	7.3	114	12.90	114	12.90
L/AL075	0.875	22	90.0	10.2	135	15.3	227	25.60	227	25.60
L/AL090	1.000	25	144.0	16.3	216	24.4	401	45.30	401	45.30
L/AL095	1.125	28	194.0	21.9	291	32.9	561	63.40	561	63.40
L/AL099	1.188	30	318.0	35.9	477	53.9	792	89.50	792	89.50
L/AL100	1.375	35	417.0	47.1	626	70.7	1,134	128.00	1,134	128.00
L/AL110	1.625	42	792.0	89.5	1,188	134.0	2,268	256.00	2,268	256.00
L150	1.875	48	1,240.0	140.0	1,860	210.0	3,708	419.00	3,708	419.00
AL150	1.875	48	1,450.0	163.8	—	—	—	—	—	—
L190	2.125	55	1,728.0	195.0	2,592	293.0	4,680	529.00	4,680	529.00
L225	2.625	65	2,340.0	264.0	3,510	397.0	6,228	704.00	6,228	704.00
L276	2.875	73	4,716.0	533.0	—	—	—	—	12,500	1,412.00
C226	2.500	64	2,988.0	338.0	—	—	5,940	671.00	5,940	671.00
C276	2.875	73	4,716.0	533.0	—	—	9,432	1,066.00	—	—
C280	3.000	76	7,560.0	854.0	—	—	13,866	1,567.00	—	—
C285	4.000	102	9,182.0	1,038.0	—	—	16,680	1,882.00	—	—
C295	3.500	89	11,340.0	1,281.0	—	—	22,680	2,563.00	22,680	2,563.00
C2955	4.000	102	18,900.0	2,136.0	—	—	37,800	4,271.00	37,800	4,271.00
H3067	4.500	114	33,395.0	3,774.0	—	—	47,196	5,333.00	47,196	5,333.00
H3567	5.000	127	46,632.0	5,269.0	—	—	63,000	7,119.00	63,000	7,119.00
H3667	5.629	143	64,812.0	7,323.0	—	—	88,200	9,966.00	88,200	9,966.00
H4067	6.250	159	88,224.0	9,969.0	—	—	126,000	14,237.00	126,000	14,237.00
H4567	7.000	178	119,700.0	13,525.0	—	—	170,000	19,209.00	170,000	19,209.00

**TABLA 36. ACOPLER TIPO MORDAZA, LOVEJOY**



**Jaw**

**L Type Inch Bore / Keyway  
Item Selection**

The L Type coupling consists of two standard L Type hubs and one spider. Refer to pages JW-10, JW-12, and JW-10.



**L Type Hub - Metric Bore and Keyway UPC Number Selection Table**

Bore	Keyway	L035	L050	L070	L075	L090	L095	L099	L100	L110	L150	L190	L225	L276
1/8	No Keyway	10124	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3/16	No Keyway	10126	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1/4	No Keyway	10127	10206	10416	10680	10766	—	—	—	—	—	—	—	—
1/4	1/8 x 1/16	—	—	—	35744	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5/16	No Keyway	10128	10207	10417	10681	26209	—	—	—	—	—	—	—	—
3/8	No Keyway	24687	10208	10418	10682	10767	—	—	—	—	—	—	—	—
3/8	3/32 x 3/64	—	46121	41985	37234	37235	—	—	—	—	—	—	—	—
3/8	1/8 x 1/16	—	44136	48829	35745	37236	—	—	—	—	—	—	—	—
7/16	No Keyway	—	10209	10419	10683	10768	11082	31297	11505	—	—	—	—	—
7/16	3/32 x 3/64	—	44713	44007	28089	28877	27613	38198	37237	—	—	—	—	—
7/16	1/8 x 1/16	—	—	44066	28875	28878	28879	38199	37238	—	—	—	—	—
1/2	No Keyway	—	10210	10420	10684	10769	11083	11333	11506	—	—	—	—	—
1/2	1/8 x 1/16	—	10211	10421	10685	26087	26088	11334	26089	—	—	—	—	—
9/16	No Keyway	—	10212	52338	10686	24976	37239	11335	11508	—	—	—	—	—
9/16	1/8 x 1/16	—	10213	10423	10687	28876	11084	38200	11509	—	—	—	—	—
5/8	No Keyway	—	10214	24771	44322	46052	41911	44174	44291	11733	12101	—	—	—
5/8	5/32 x 5/64	—	—	51104	37240	37241	37242	38201	37243	37244	37245	—	—	—
5/8	3/16 x 3/32	—	—	10424	10688	10771	11085	11336	11510	26211	26212	—	—	—
11/16	3/16 x 3/32	—	—	10425	10689	10772	11086	11337	11511	11734	12102	—	—	—
3/4	No Keyway	—	—	46116	56140	54282	56887	49705	45212	—	—	12285	12422	—
3/4	1/8 x 1/16	—	—	51719	35881	37246	37074	38202	37247	37248	37249	37250	—	—
3/4	3/16 x 3/32	—	—	10426	10690	10773	11087	11338	11512	11735	12103	38468	35882	—
13/16	3/16 x 3/32	—	—	—	10691	10774	11088	11339	11513	11736	12104	37252	37255	—
7/8	No Keyway	—	—	—	56941	—	—	59063	—	—	—	—	—	12582
7/8	3/16 x 3/32	—	—	—	10692	10775	11089	11340	11514	11737	12105	12286	12423	12585
7/8	1/4 x 1/8	—	—	—	—	38188	35747	38203	35686	35749	35750	37256	35753	54883
15/16	1/4 x 1/8	—	—	—	—	32332	11090	11341	11515	11738	12160	12287	12424	—
1	1/4 x 1/8	—	—	—	—	31296	11091	11342	11516	11739	12107	12288	12425	12586

**FIGURA 9. DELTA VFD-M / INVERTER**

# Delta VFD-M / Inverter

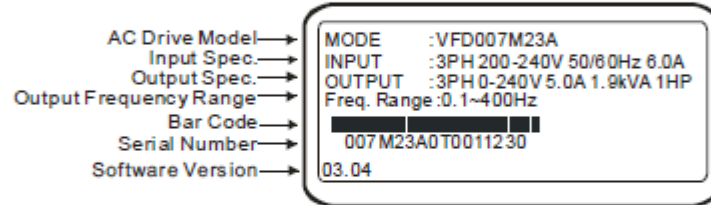
## 1.1 Receiving and Inspection

This VFD-M AC motor drive has gone through rigorous quality control tests at the factory before shipment. After receiving the AC motor drive, please check for the following:

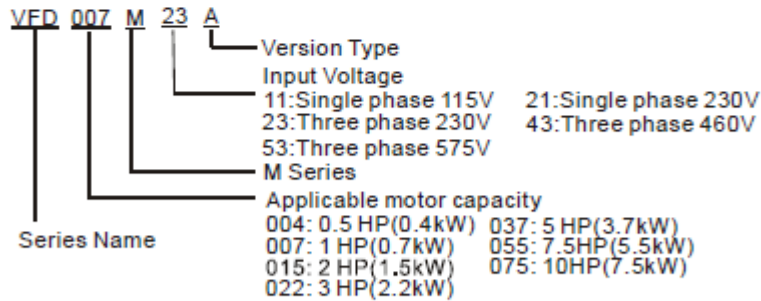
- Check to make sure that the package includes an AC motor drive, the User Manual/Quick Start and CD, and rubber bushings.
- Inspect the unit to assure it was not damaged during shipment.
- Make sure that the part number indicated on the nameplate corresponds with the part number of your order.

### 1.1.1 Nameplate Information

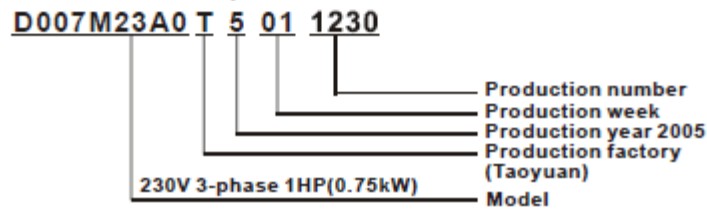
Example of 1HP 230V AC motor drive



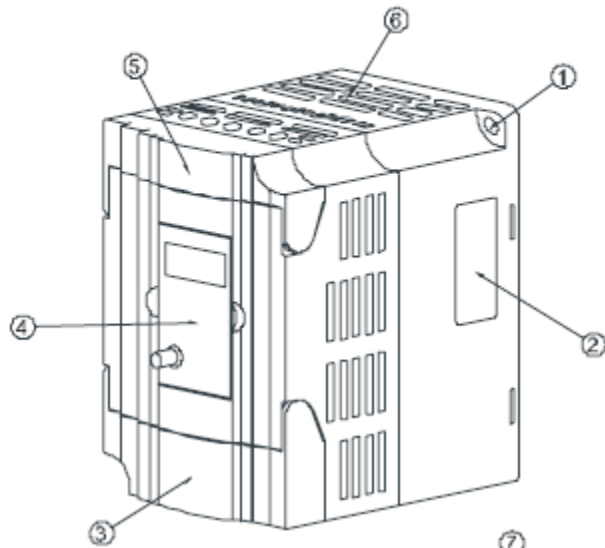
### 1.1.2 Model Explanation



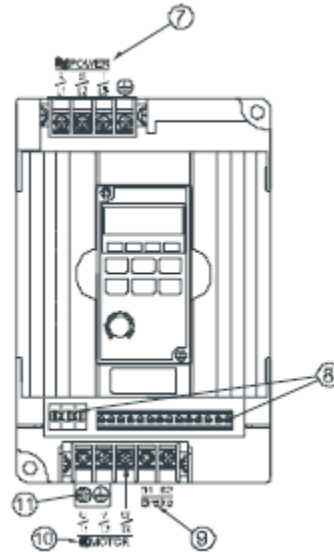
### 1.1.3 Series Number Explanation



### 1.1.4 External Parts and Labels



- ① :Mounting Screw Holes
- ② :Nameplate Label
- ③ :Bottom Cover
- ④ :Digital Keypad
- ⑤ :Upper Cover
- ⑥ :Ventilation Hole
- ⑦ :Input Terminals
- ⑧ :Control Input/Output Terminals
- ⑨ :External Brake Resistor
- ⑩ :Output Terminals
- ⑪ :Grounding





### 1.1.5 Remove Instructions

#### Remove Keypad

---



#### Remove Front Cover

---

RST Side

UVW Side



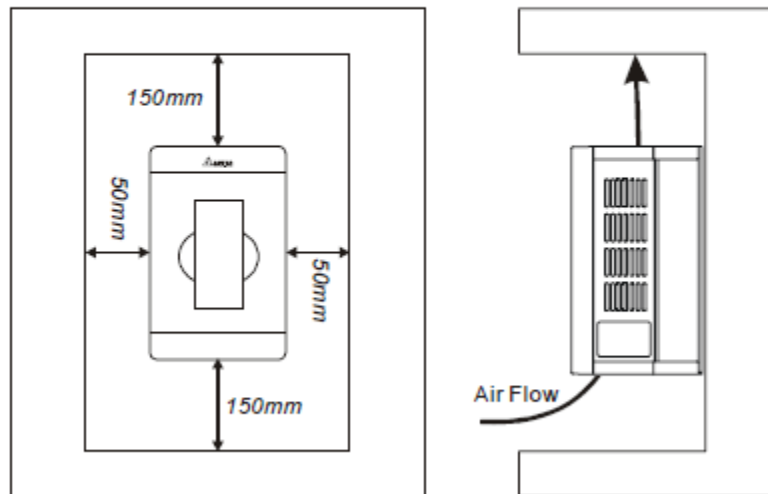
## 1.2 Preparation for Installation and Wiring

### 1.2.1 Ambient Conditions

Install the AC motor drive in an environment with the following conditions:

Operation	Air Temperature:	-10 ~ +50°C (14 ~ 122°F) for UL & cUL -10 ~ +40°C (14 ~ 104°F) for 5.5kw models and above
	Relative Humidity:	<90%, no condensation allowed
	Atmosphere pressure:	86 ~ 106 kPa
	Installation Site Altitude:	<1000m
	Vibration:	<20Hz: 9.80 m/s <sup>2</sup> (1G) max 20 ~ 50Hz: 5.88 m/s <sup>2</sup> (0.6G) max
Storage Transportation	Temperature:	-20°C ~ +60°C (-4°F ~ 140°F)
	Relative Humidity:	<90%, no condensation allowed
	Atmosphere pressure:	86 ~ 106 kPa
	Vibration:	<20Hz: 9.80 m/s <sup>2</sup> (1G) max 20 ~ 50Hz: 5.88 m/s <sup>2</sup> (0.6G) max
Pollution Degree	2: good for a factory type environment.	

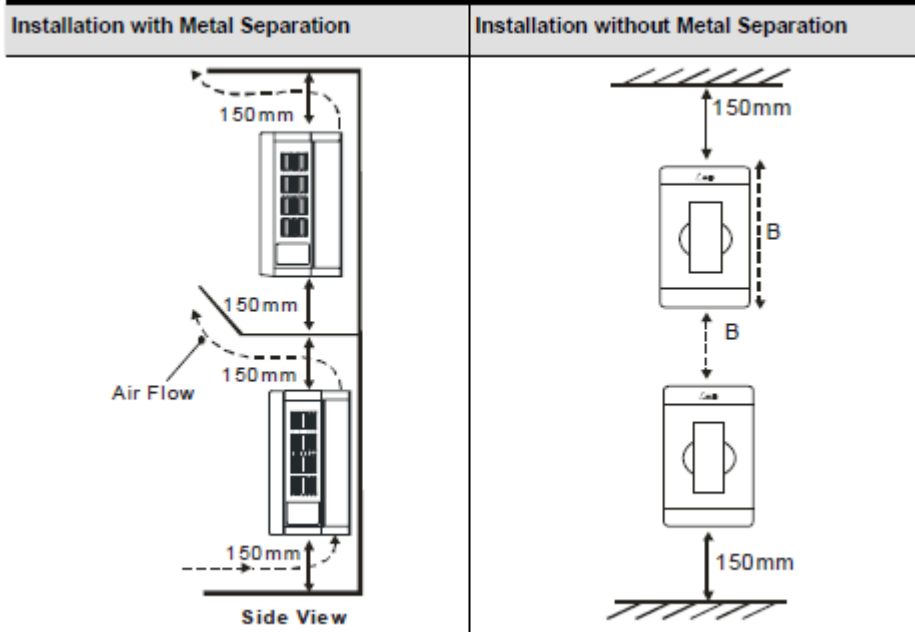
### 1.2.2 Minimum Mounting Clearances



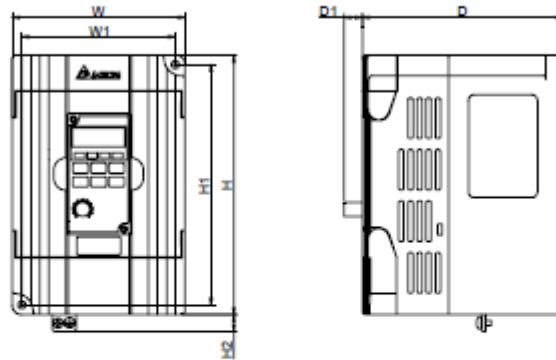


## CAUTION!

1. Operating, storing or transporting the AC motor drive outside these conditions may cause damage to the AC motor drive.
2. Failure to observe these precautions may void the warranty!
3. Mount the AC motor drive vertically on a flat vertical surface object by screws. Other directions are not allowed.
4. The AC motor drive will generate heat during operation. Allow sufficient space around the unit for heat dissipation.
5. The heat sink temperature may rise to 90°C when running. The material on which the AC motor drive is mounted must be noncombustible and be able to withstand this high temperature.
6. When AC motor drive is installed in a confined space (e.g. cabinet), the surrounding temperature must be within 10 ~ 40°C with good ventilation. DO NOT install the AC motor drive in a space with bad ventilation.
7. Prevent fiber particles, scraps of paper, saw dust, metal particles, etc. from adhering to the heatsink.
8. When installing multiple AC more drives in the same cabinet, they should be adjacent in a row with enough space in-between. When installing one AC motor drive below another one, use a metal separation between the AC motor drives to prevent mutual heating.

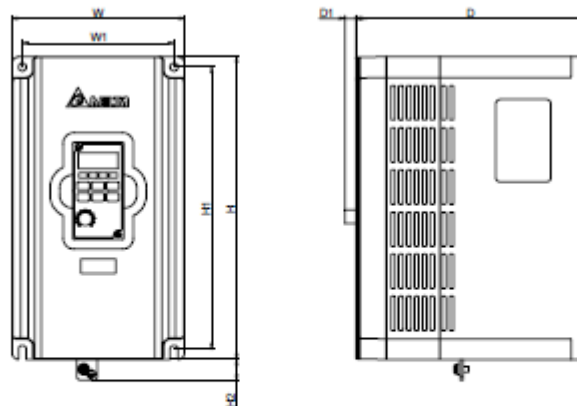


### 1.3 Dimensions



Unit: mm [inch]

Model Name	W	W1	H	H1	H2	D	D1
VFD004M21A/23A, VFD007M21A/23A, VFD015M21A/23A	85.0 [3.35]	74.0 [2.91]	141.5 [5.57]	130.5 [5.14]	10.0 [0.39]	113.0 [4.45]	10.0 [0.39]
VFD002M11A, VFD004M11A/21B, VFD007M11A/21B/43B/53A, VFD015M21B/43B/53A, VFD022M23B/43B/53A	100.0 [3.94]	89.0 [3.50]	151.0 [5.94]	140.0 [5.51]	10.0 [0.39]	116.5 [4.59]	10.5 [0.41]



Unit: mm [inch]

Model Name	W	W1	H	H1	H2	D	D1
VFD022M21A, VFD037M23A/43A/53A, VFD055M23A/43A/53A, VFD075M43A/53A	125.0 [4.92]	110.0 [4.33]	220.0 [8.66]	205.0 [8.07]	15.0 [0.59]	166.3 [6.55]	8.2 [0.32]







**FIGURA 10. PBX-RF ISOLATED PARALLEL PORT CNC BREAKOUT BOARD,  
PROBOTIX**

**FIGURA 11. MONDOSTEP 4.2, BI-POLAR STEPPER MOTOR DRIVER,  
PROBOTIX**


**FIGURA 12. MONDOSTEP 7.8, HIGH PERFORMANCE MICROSTEPPING DRIVER, PROBOTIX**



**TABLA 37. LIMIT SWITCH EJE X E Y, HANYOUNG NUX**

Model	Roller plunger	Top ball plunger	Variable roller lever	Variable ROD	Roller lever	Spring wire
	M902/LM902	M903/LM903	M904/LM904	M907/LM907	M908/M908	M909/LM909
Appearance						
Contact structure	M4 screw tightening terminal, 2 circuits double type (1a1b)					
Contact material	AgNi					
Protective structure	IP67 (Only when using our company product HYC-M2 in the wire opening)					
Operation indicator	a.c : Neon lamp, d.c : LED (only with the HY-LM series)					
Rated current(Ie)	6 A 250 V a.c (AC-15, DC-13)					
Dielectric strength	2,000 V a.c 50/60 Hz for 1 min (between the terminal and non-recharging metal part)					
Insulation resistance	Min 100 MΩ (500 V d.c insulated ohmmeter)					
Contact resistance	Max 50 MΩ (default value)					
Rated voltage(Ue)	250 V a.c, 30 V d.c					
Actuator intensity	5 times larger than O.F (force required to operate) 1min to the, operating direction					
Vibration	Double amplitude 1.5mm, frequency 10 ~ 55 Hz, continuously 2 hour					
Shock	1,000 $\mu\text{s}$ (durability), 300 $\mu\text{s}$ (malfunction)					
Allowable operation speed	0.1 ~ 1 $\mu\text{s}$ (without damaging the actuator)					
Life expectancy	Mechanical	Min 1million times (open/close frequency 120 times/min)				
	Electrical	Min 300 thousand times (open/close frequency 20 times/min)				
Ambient temperature	-10 ~ 70 °C					
Ambient humidity	45 ~ 95 % R.H.					
Weight	Approx 350 g (included the box with HY-M904)					

**TABLA 38. LIMIT SWITCH EJE Z, HANYOUNG NUX**

Type	Roller Plunger	Cross Roller Plunger	Top Plunger	Roller Adjustable Lever	Adjustable Rod Lever	Roller Lever	Coil spring
Model	HY-L802	HY-L802C	HY-L803	HY-L804	HY-L807	HY-L808	HY-L809
Appearance							
Contact structure	M3 screw tightening terminal, 2 circuits double type (1a1b)						
Contact material	AgNi						
Protective structure	IP 54						
Rated current(Ie)	6 A 250 V a.c (AC-12, AC-13)						
Dielectric strength	2,000 V a.c 50/60 Hz for 1 min (between the terminal and non-recharging metal part)						
Insulation resistance	Min 100 MΩ (500 V d.c insulated ohmmeter)						
Contact resistance	Max 20 MΩ (default value)						
Rated voltage(Ue)	250 V a.c						
Case material	Zinc die-casting and plastic body and plastic cover						
Vibration	Double amplitude 1.5 mm, frequency 10 ~ 55 Hz, continuously 2 hour						
Shock	300 $\mu\text{s}$ (durability), 100 $\mu\text{s}$ (malfunction)						
Max opening/ closing frequency	Max 120 times / min						
Life expectancy	Mechanical	Min 1 million times (less than open / close frequency 120 times/min)					
	Electrical	Min 100 thousand times (less than open / close frequency 30 times/min)					
Ambient temperature	-10 ~ 70 °C						
Ambient humidity	45 ~ 95 % R.H.						
Weight	Approx 157g (HY-LS804 standard)						

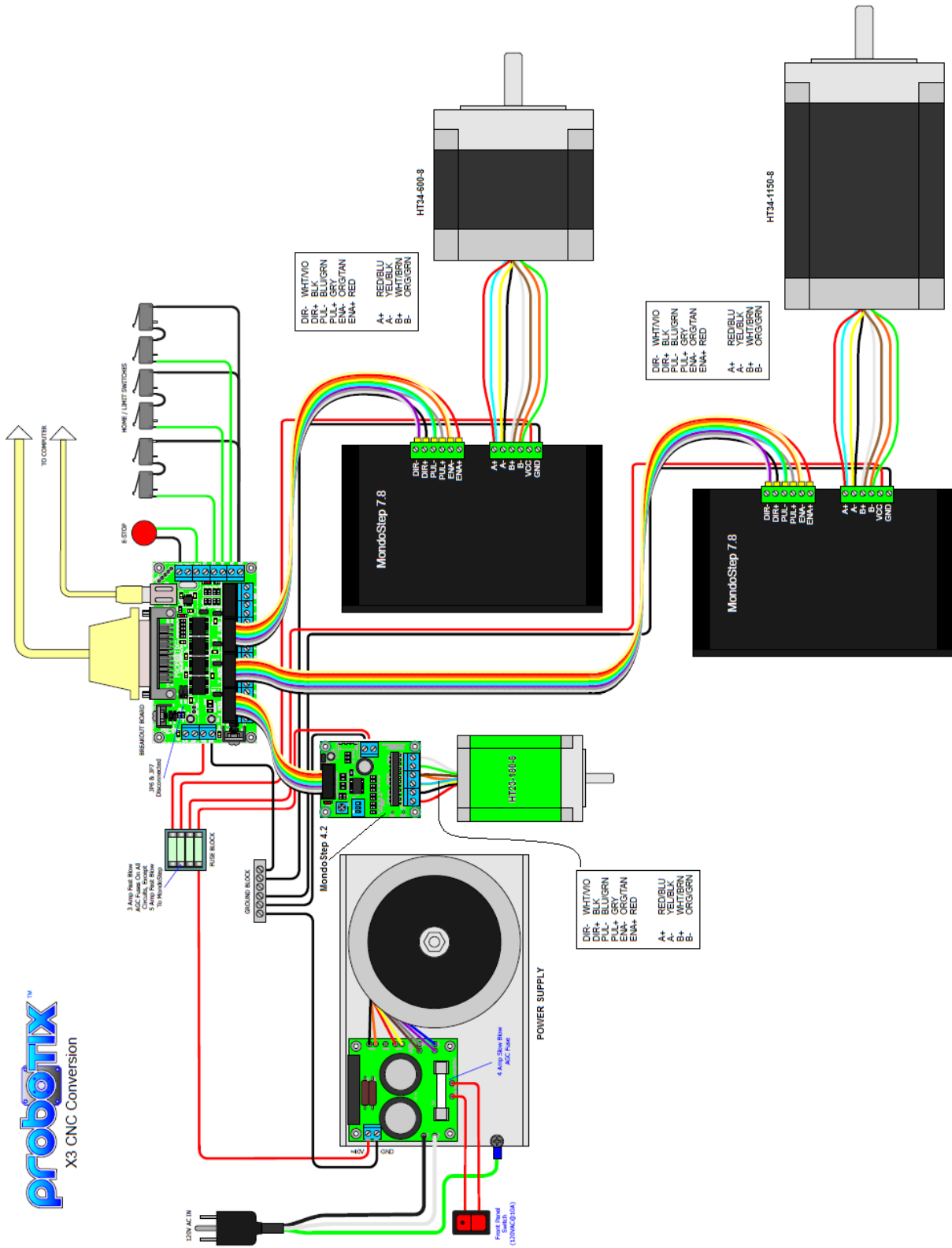


**FIGURA 13. 600W SINGLE OUTPUT POWER SUPPLY, MEAN WELL**

**FIGURA 14. 3X CNC CONEXIONES, PROBOTIX**

# Probotix™

X3 CNC Conversion



DIR- WHT/WO  
 DIR+ BLK  
 PUL- BLU/GRN  
 PUL+ GRN/TAN  
 ENA+ RED  
 A+ YEL/BLK  
 B+ WHT/BRN  
 B- OR/GRN

DIR- WHT/WO  
 DIR+ BLK  
 PUL- BLU/GRN  
 PUL+ GRN/TAN  
 ENA+ RED  
 A+ YEL/BLK  
 B+ WHT/BRN  
 B- OR/GRN

DIR- WHT/WO  
 DIR+ BLK  
 PUL- BLU/GRN  
 PUL+ GRN/TAN  
 ENA+ RED  
 A+ YEL/BLK  
 B+ WHT/BRN  
 B- OR/GRN

2 Amp Silver Filter  
 40V DC Output  
 4 Amp Silver Filter  
 40V DC Output  
 To MondoStep

GROUND BLOCK

FUSE BLOCK

3PS B 3P7  
 Disconnected

RESCOUT BOARD

E-STOP

HOME / LIMIT SWITCHES

TO COMPUTER

40V

GND

4 Amp Silver Filter  
 40V DC Output

POWER SUPPLY

120V AC IN

Fuse Block

3PS B 3P7

RESCOUT BOARD

E-STOP

HOME / LIMIT SWITCHES

TO COMPUTER

40V

GND

4 Amp Silver Filter  
 40V DC Output

POWER SUPPLY

120V AC IN

Fuse Block

3PS B 3P7

RESCOUT BOARD

E-STOP

HOME / LIMIT SWITCHES

TO COMPUTER

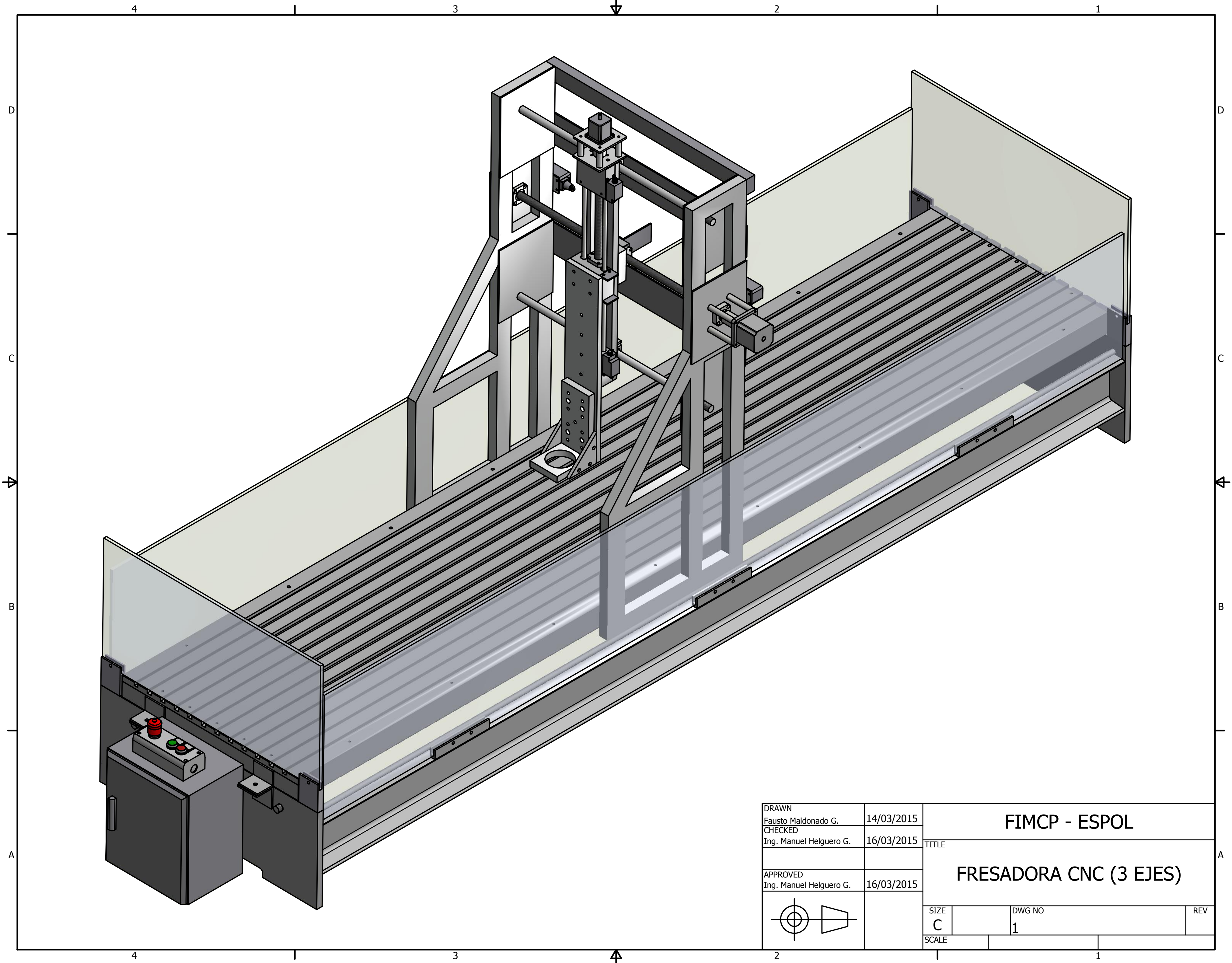
40V

GND

4 Amp Silver Filter  
 40V DC Output

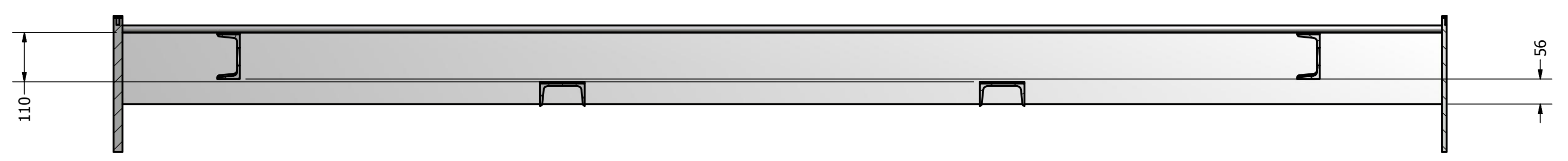
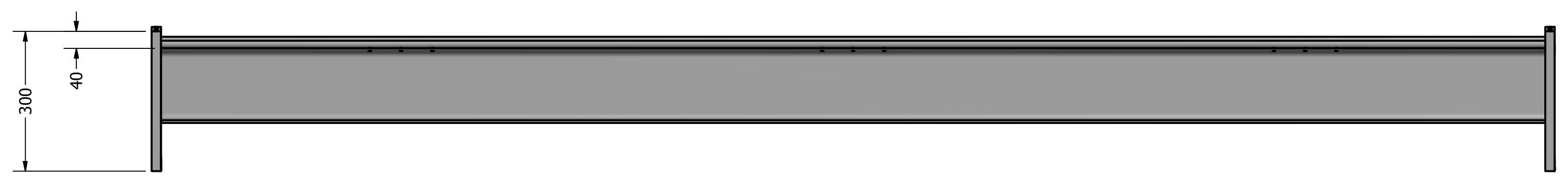
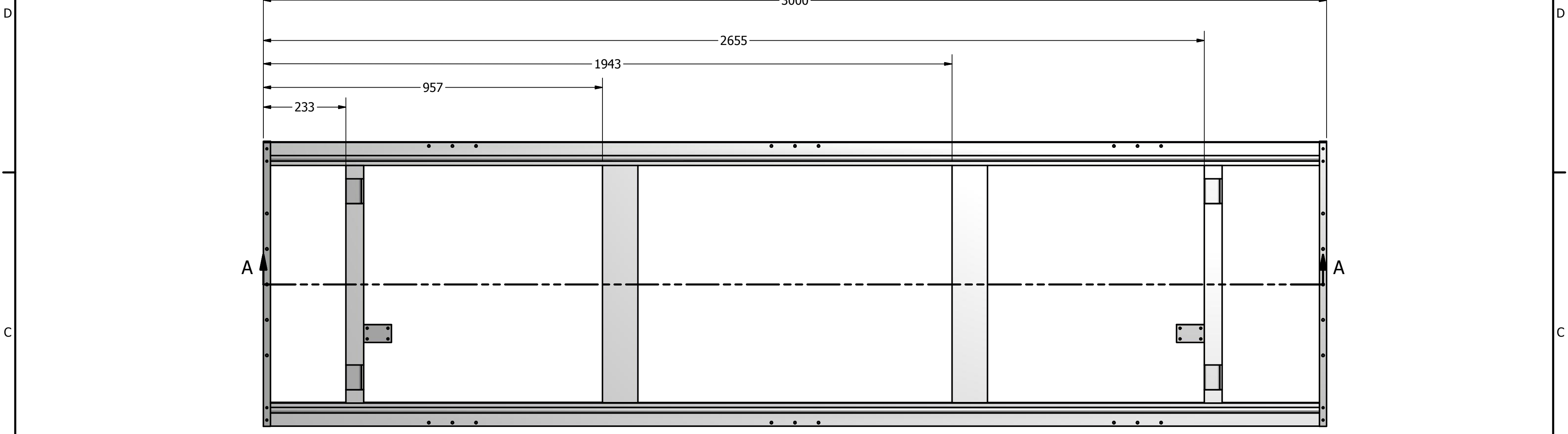
POWER SUPPLY

# PLANOS



DRAWN Fausto Maldonado G. 14/03/2015 CHECKED Ing. Manuel Helguero G. 16/03/2015	TITLE <b>FIMCP - ESPOL</b> <b>FRESADORA CNC (3 EJES)</b>
APPROVED Ing. Manuel Helguero G. 16/03/2015	SIZE <b>C</b> SCALE
	DWG NO <b>1</b> REV

4 3 2 1

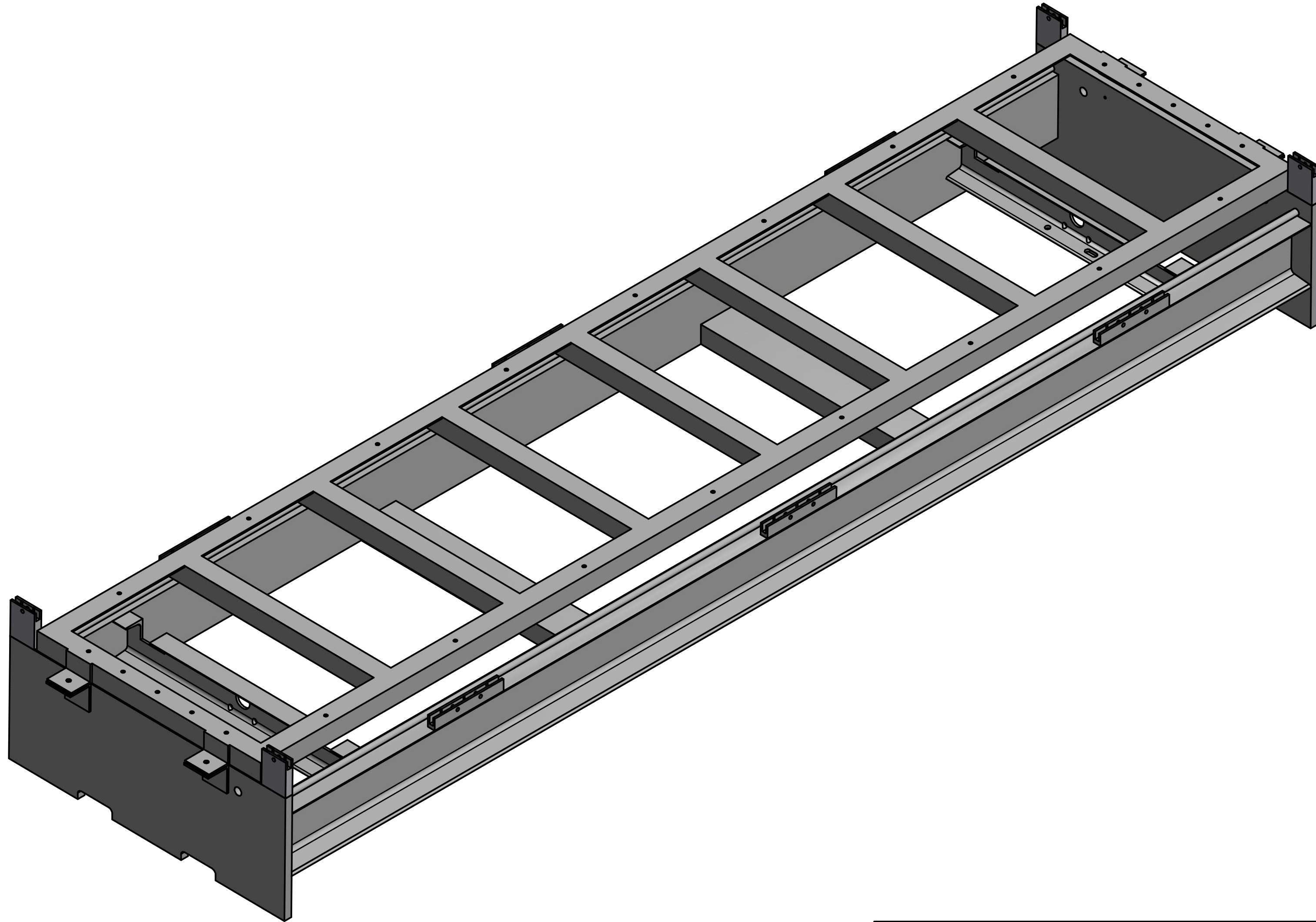


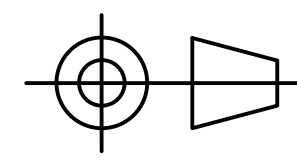
SECTION A-A

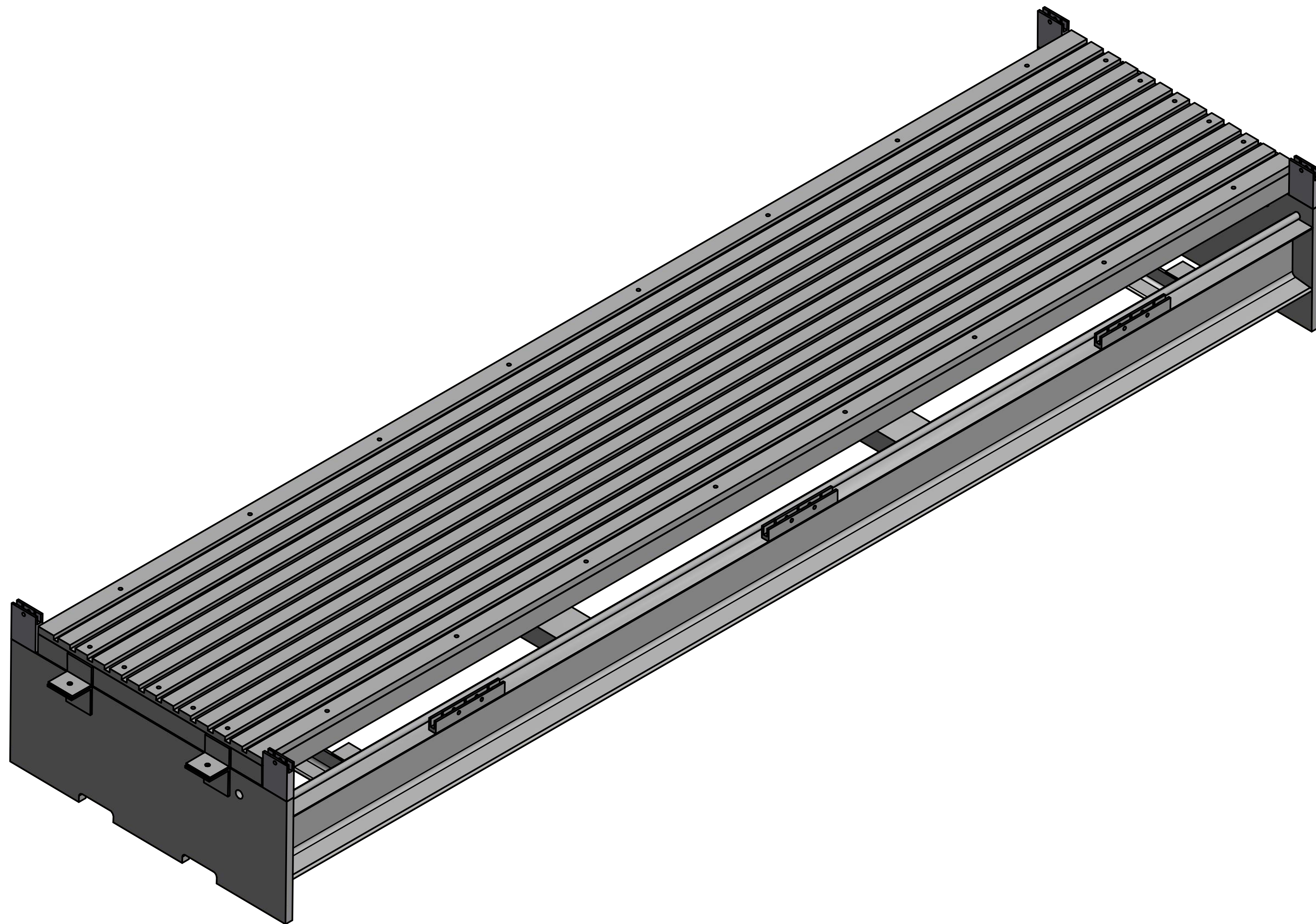
DRAWN Fausto Maldonado G. 14/03/2015	CHECKED Ing. Manuel Helguero G. 16/03/2015	TITLE <b>FIMCP - ESPOL</b>		
APPROVED Ing. Manuel Helguero G. 16/03/2015		<b>ESTRUCTURA PRINCIPAL (Dimensiones Generales)</b>		
		SIZE <b>C</b>	DWG NO <b>10</b>	REV
		SCALE		

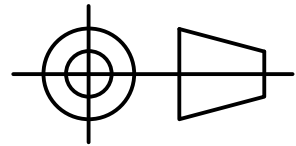
4 3 2 1



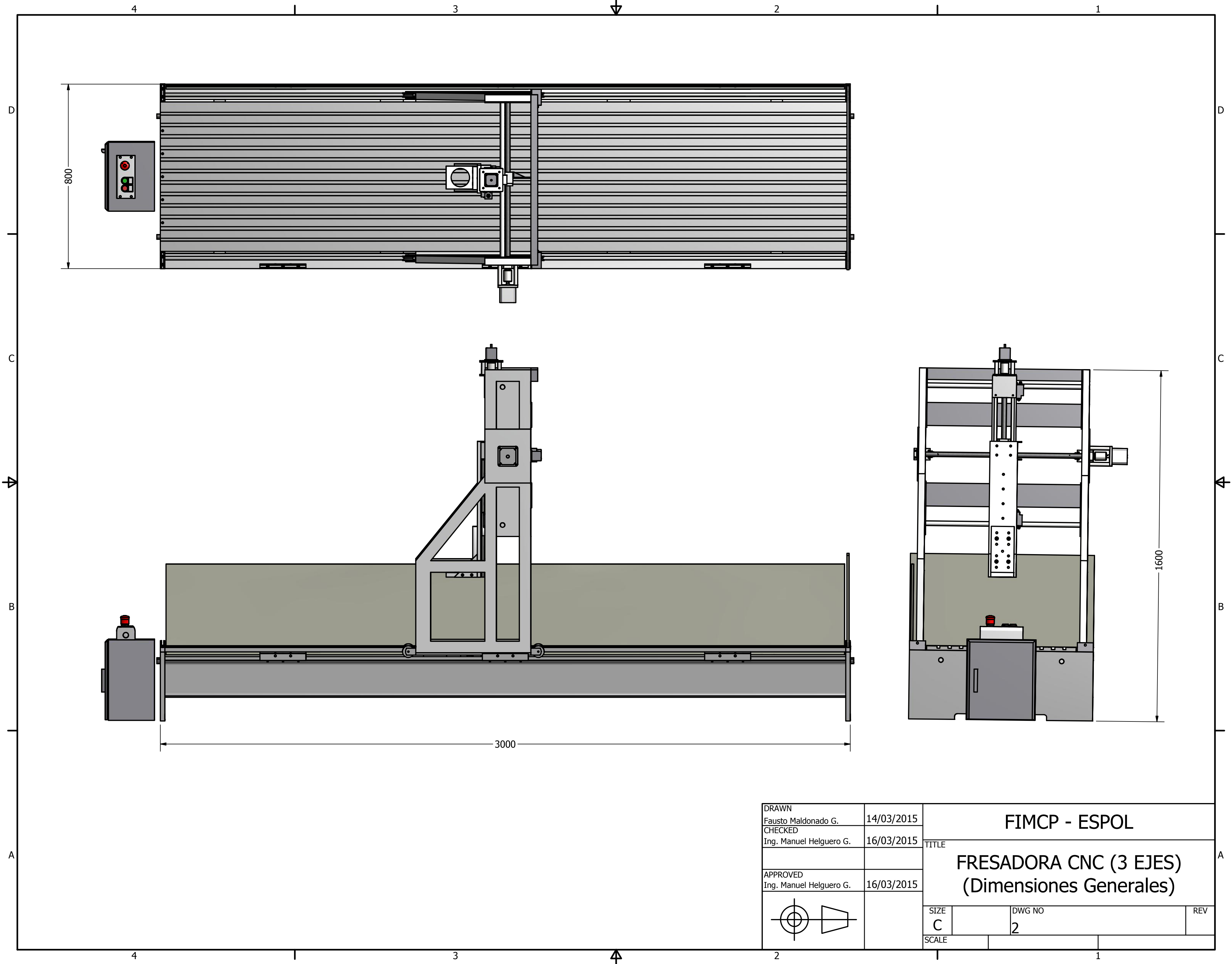


DRAWN Fausto Maldonado G.		14/03/2015	TITLE <b>FIMCP - ESPOL</b> <b>ESTRUCTURA PRINCIPAL</b> <b>(Estructura base - mesa de</b> <b>trabajo)</b>	
CHECKED Ing. Manuel Helguero G.		16/03/2015		
APPROVED Ing. Manuel Helguero G.		16/03/2015	SIZE <b>C</b>	DWG NO <b>11</b>
		SCALE	REV	

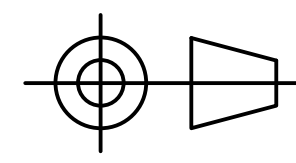


DRAWN Fausto Maldonado G.		14/03/2015	TITLE <b>FIMCP - ESPOL</b>		
CHECKED Ing. Manuel Helguero G.		16/03/2015			
APPROVED Ing. Manuel Helguero G.		16/03/2015	<b>ESTRUCTURA PRINCIPAL</b> <b>(Mesa de trabajo)</b>		
					
SIZE <b>C</b>	DWG NO <b>12</b>		REV		
SCALE					

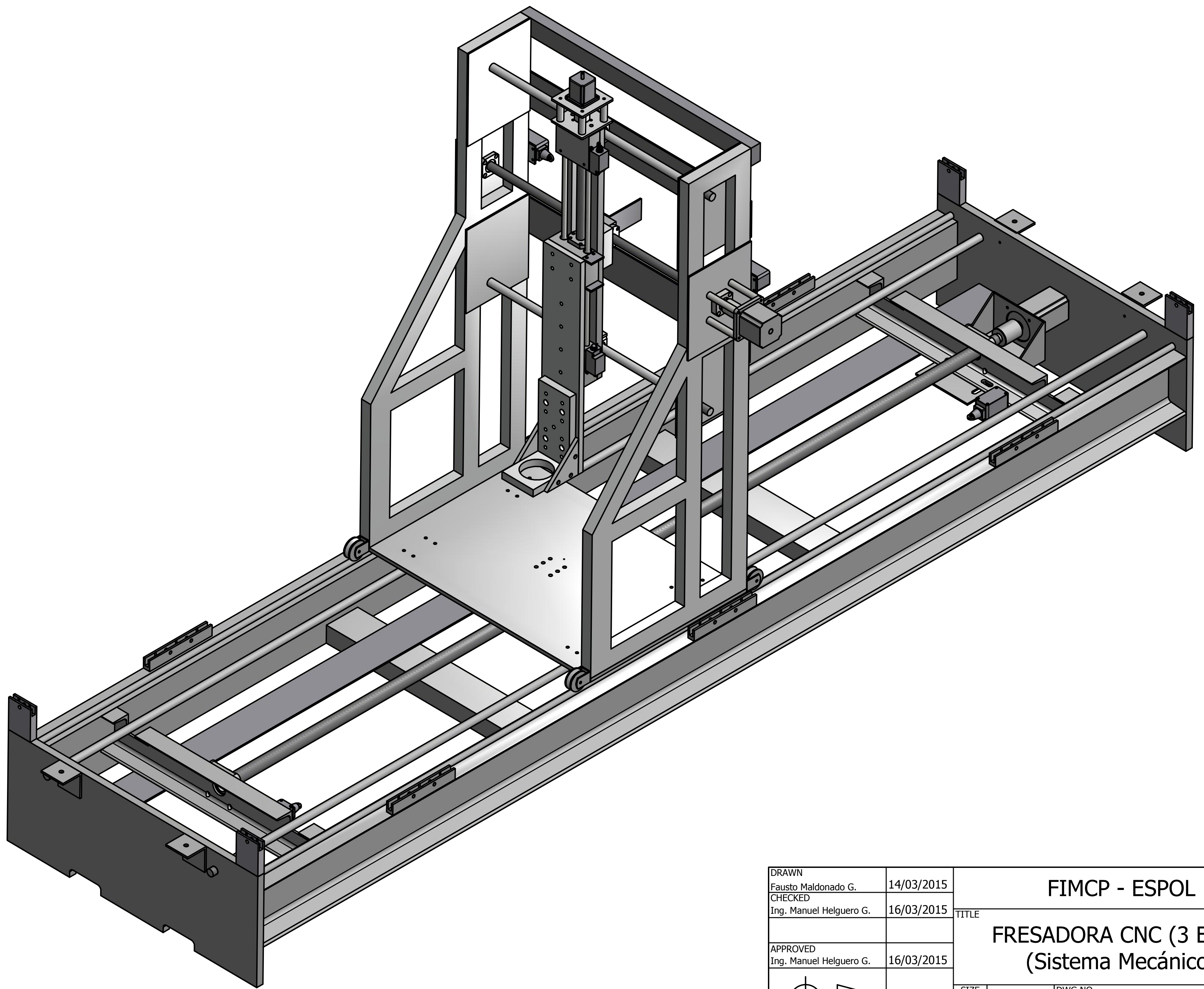


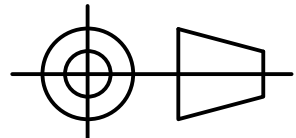


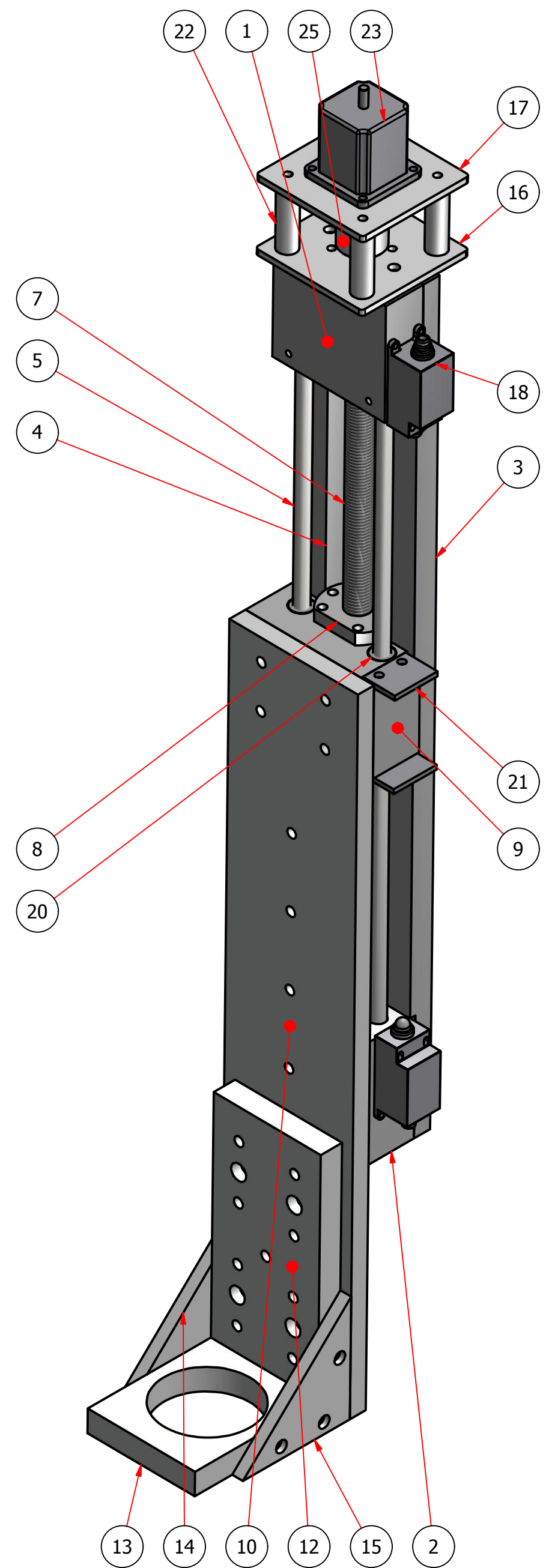
DRAWN	
Fausto Maldonado G.	14/03/2015
CHECKED	
Ing. Manuel Helguero G.	16/03/2015
APPROVED	
Ing. Manuel Helguero G.	16/03/2015



<b>FIMCP - ESPOL</b>			
TITLE			
<b>FRESADORA CNC (3 EJES)</b>			
<b>(Dimensiones Generales)</b>			
SIZE	DWG NO	REV	
<b>C</b>	<b>2</b>		
SCALE			



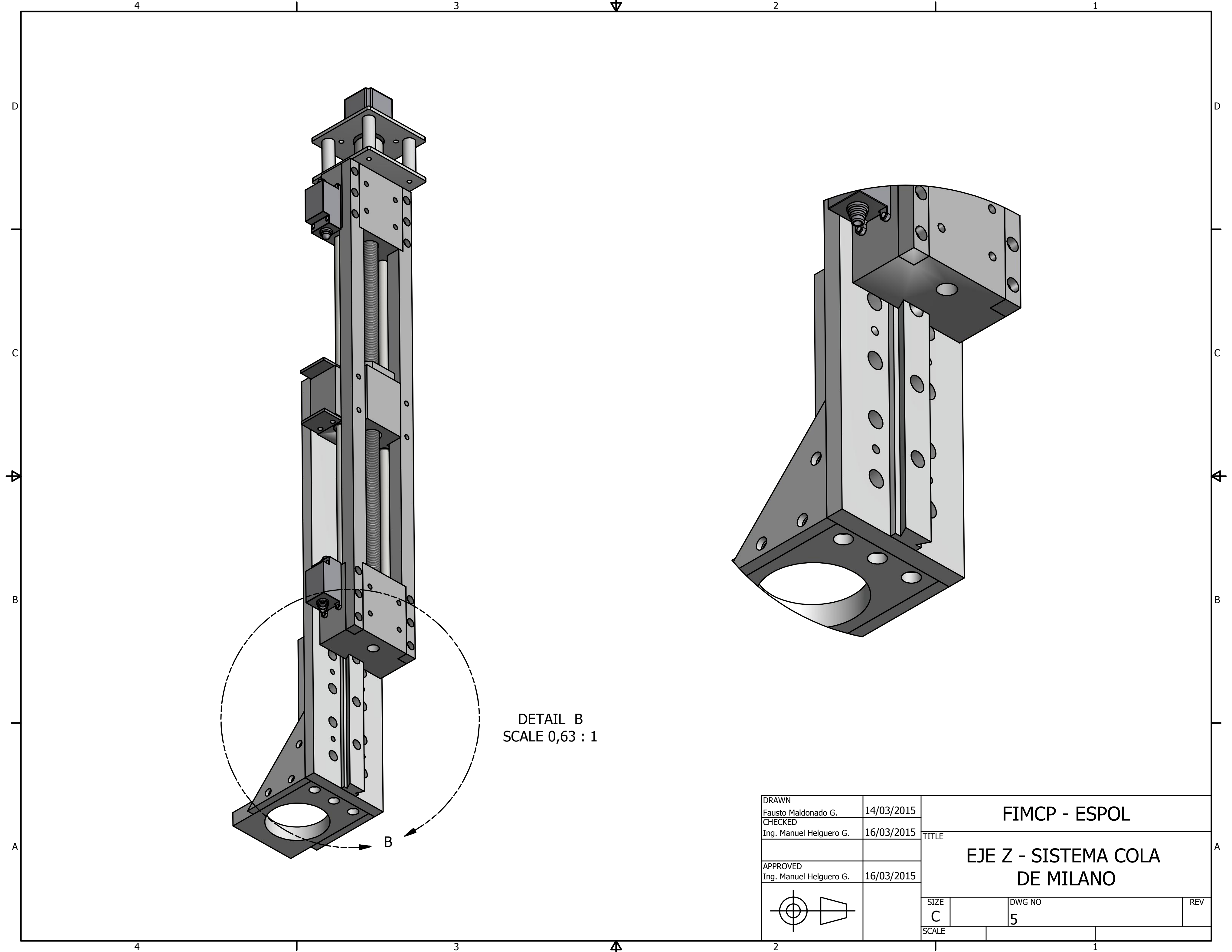
DRAWN Fausto Maldonado G.		14/03/2015	TITLE <b>FIMCP - ESPOL</b>		
CHECKED Ing. Manuel Helguero G.		16/03/2015			
APPROVED Ing. Manuel Helguero G.		16/03/2015	TITLE <b>FRESADORA CNC (3 EJES)</b> <b>(Sistema Mecánico)</b>		
					
SIZE <b>C</b>	DWG NO <b>3</b>		REV		
SCALE					



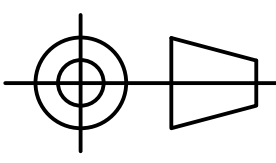
SISTEMA MECÁNICO EJE Z			
ITEM	CANT.	NOMBRE DE PARTE	MATERIAL
1	1	EJE Z - BLOQUE 1	DURALUMINIO
2	1	EJE Z - BLOQUE 2	DURALUMINIO
3	1	EJE Z - BARRA1	DURALUMINIO
4	1	EJE Z - BARRA2	DURALUMINIO
5	2	GUÍA EJE Z	ACERO AISI SAE 1045
7	1	EJE Z - HUSILLO DE BOLAS	ACERO AISI SAE 1045
8	1	CARRITO H.B. EJE Z	ACERO AISI SAE 1045
9	1	EJE Z - SOPORTE CARRITO HUSILLO DE BOLAS	DURALUMINIO
10	1	EJE Z - PLACA SOPORTE	DURALUMINIO
12	1	BASE MOTOR HUSILLO1	DURALUMINIO
13	1	BASE MOTOR HUSILLO2	DURALUMINIO
14	1	NERVIO 1	DURALUMINIO
15	1	NERVIO 2	DURALUMINIO
16	1	BASE SOPORTE Motor de Paso EJE Z	DURALUMINIO
17	1	BASE SOPORTE Motor de Paso EJE Z 2	DURALUMINIO
18	2	LIMIT SWITCH EJE Z	
20	4	RODAMIENTO LINEAL EJE GUÍA Z	
21	2	PLACA LIMIT SWITCH EJE Z	ACERO
22	4	CILINDRO SOPORTE Motor de Paso EJE Z	DURALÓN
23	1	MOTOR POSICIONAMIENTO EJE Z	
25	1	ACOPLE LOVEJOY	ACERO

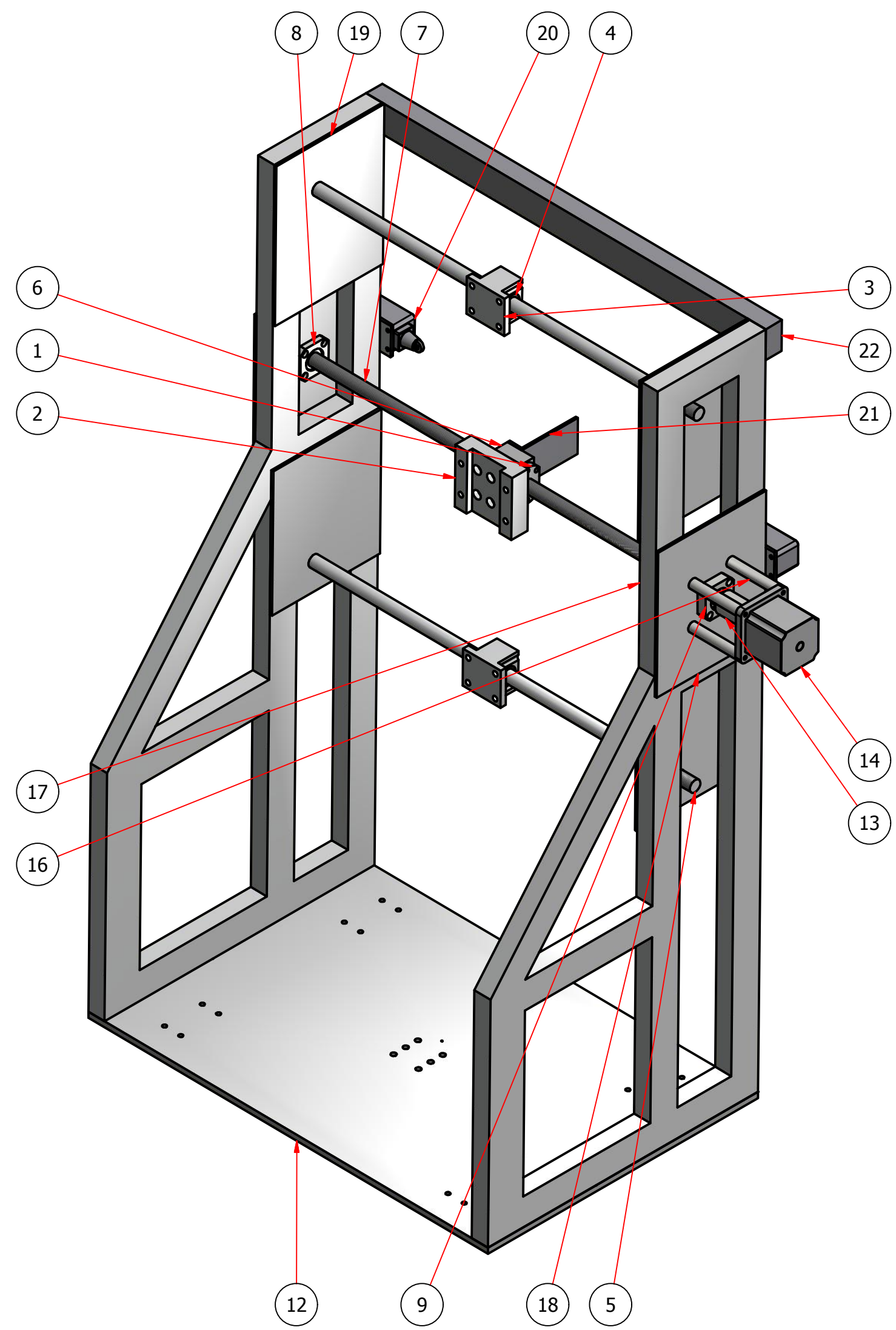
DRAWN Fausto Maldonado G. 14/03/2015 CHECKED Ing. Manuel Helguero G. 16/03/2015	TITLE <b>FIMCP - ESPOL</b>
APPROVED Ing. Manuel Helguero G. 16/03/2015	<b>SISTEMA MECÁNICO EJE Z</b>
	SIZE <b>C</b>
SCALE	DWG NO <b>4</b>
	REV





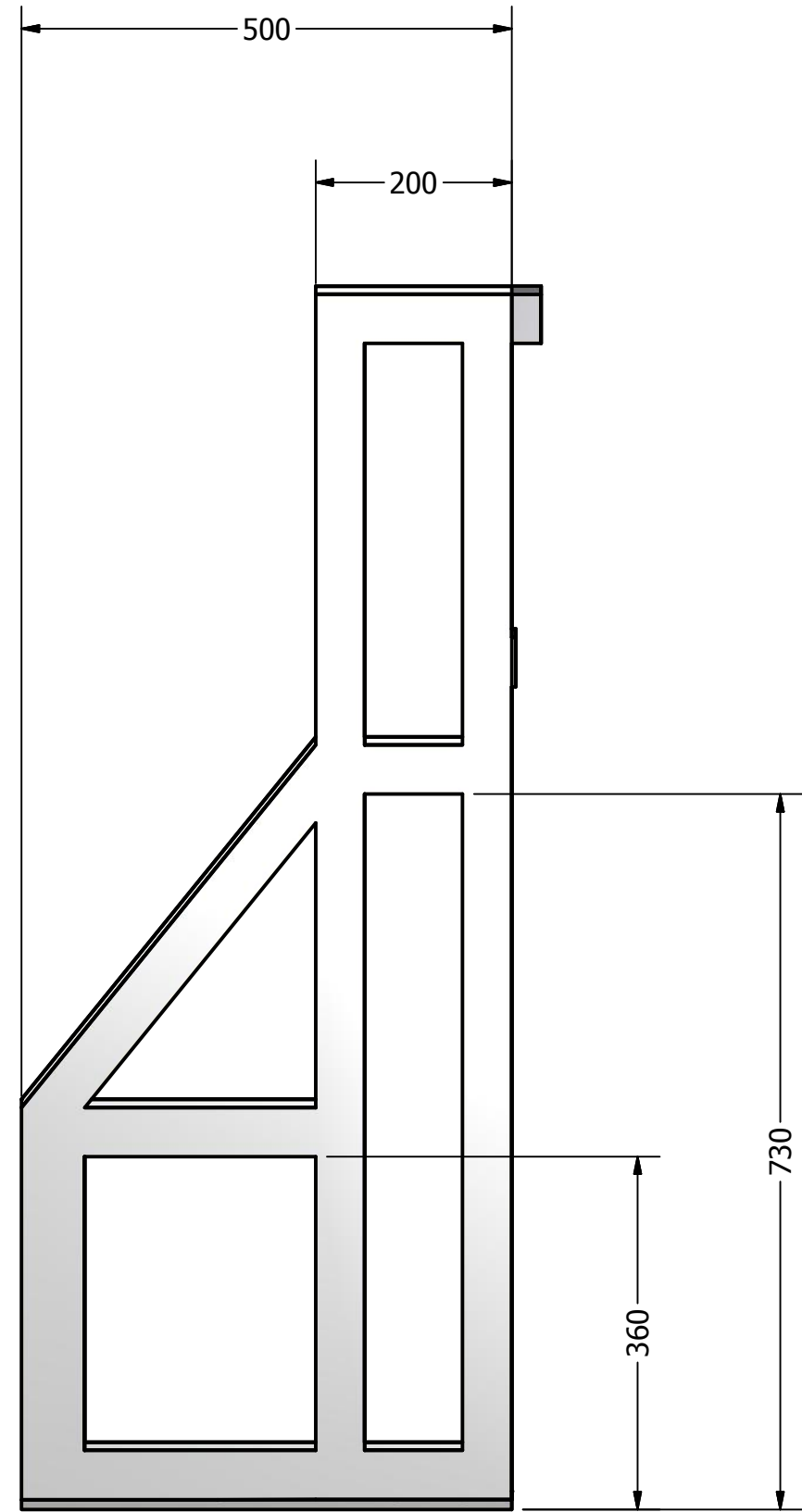
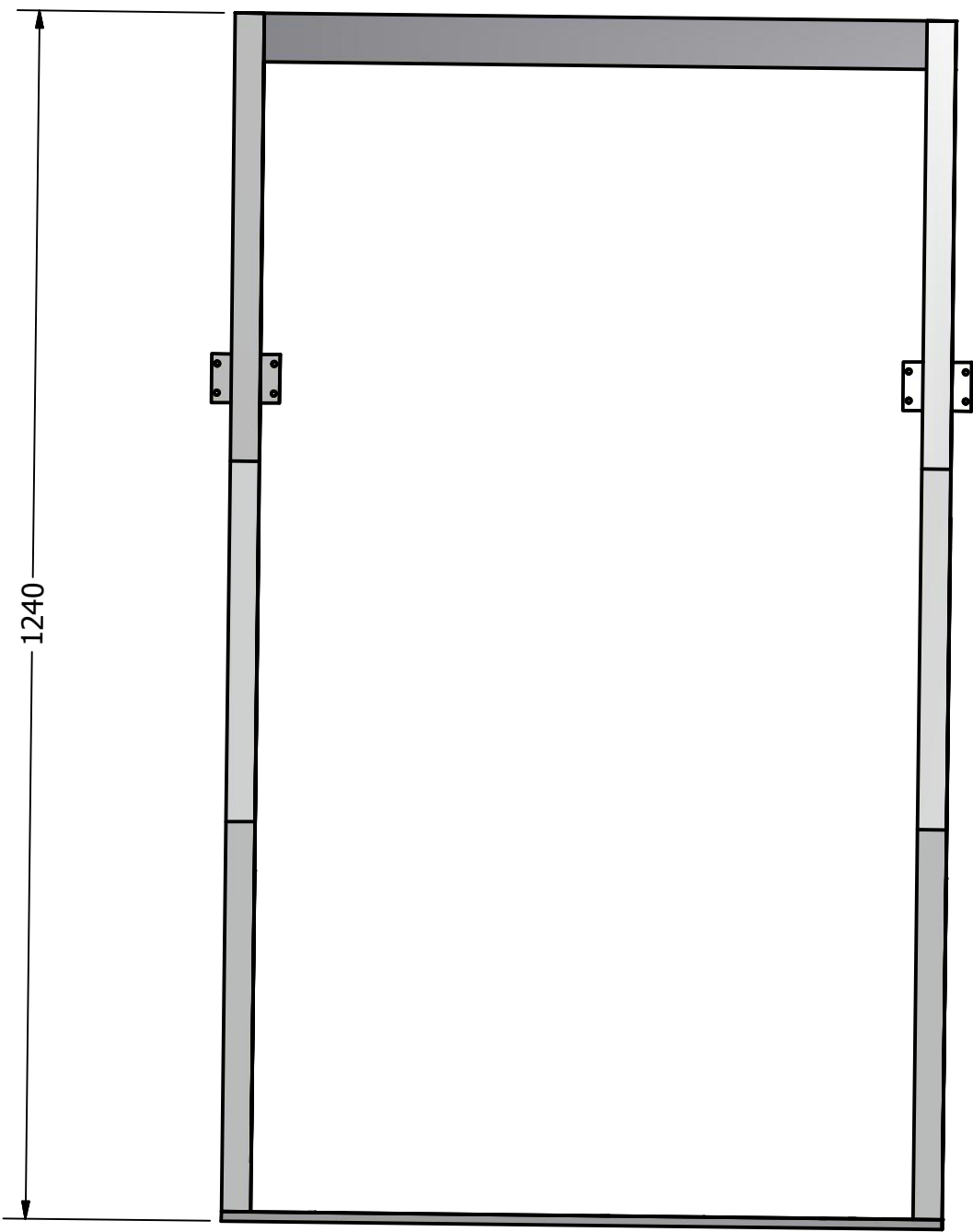
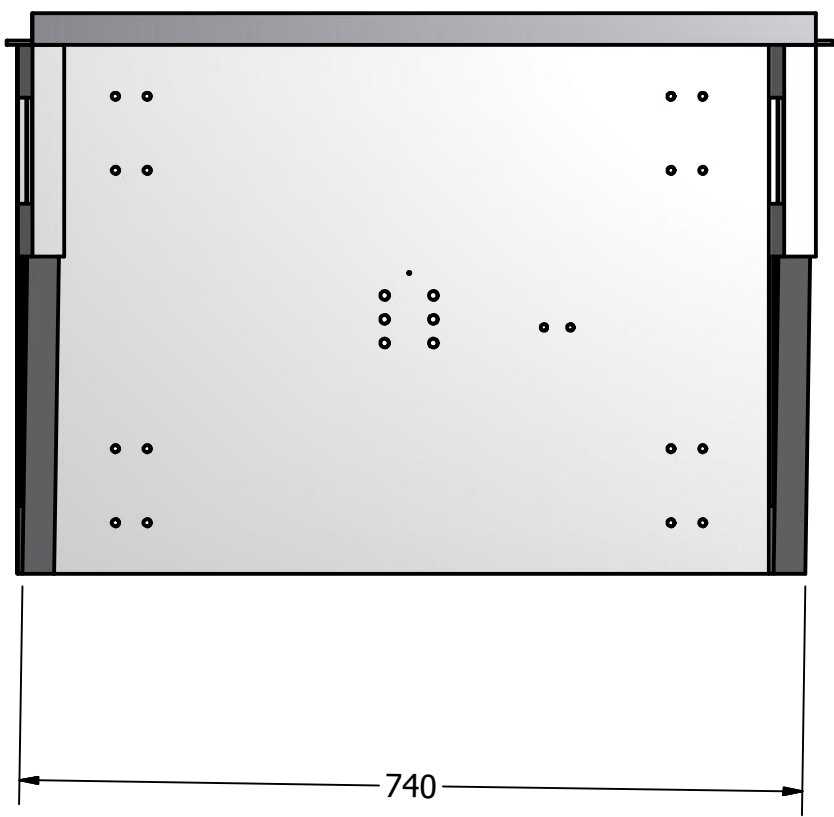
DETAIL B  
SCALE 0,63 : 1

DRAWN Fausto Maldonado G. 14/03/2015		TITLE <b>FIMCP - ESPOL</b>		
CHECKED Ing. Manuel Helguero G. 16/03/2015				
APPROVED Ing. Manuel Helguero G. 16/03/2015		TITLE <b>EJE Z - SISTEMA COLA DE MILANO</b>		
				
SIZE <b>C</b>	DWG NO <b>5</b>	REV		
SCALE				



SISTEMA MECÁNICO EJE X			
ITEM	CANT.	NOMBRE DE PARTE	MATERIAL
1	1	CARRITO H.B. EJE X	ACERO AISI SAE 1045
2	1	EJE X - PLACA SOPORTE CARRITO H.B.	DURALUMINIO
3	2	SOPORTE Rodamiento Lineal EJE X	DURALUMINIO
4	2	RODAMIENTO LINEAL EJE GUÍA X	
5	2	GUÍA EJE X	ACERO AISI SAE 1045
6	1	EJE X - SOPORTE CARRITO HUSILLO DE BOLAS	DURALUMINIO
7	1	EJE X - HUSILLO DE BOLAS	ACERO AISI SAE 1045
8	1	Chumacera1	ACERO
9	1	Chumacera2	ACERO
12	1	BASE COLUMNAS	ACERO ASTM A36
13	1	ACOPLE LOVEJOY	ACERO
14	1	MOTOR POSICIONAMIENTO EJE X	
16	4	CILINDRO SOPORTE Motor de Paso EJE X	DURALÓN
17	2	COLUMNA	ACERO ASTM A36
18	1	PLACAS SOPORTE	ACERO ASTM A36
19	1	PLACAS SOPORTE 2	ACERO ASTM A36
20	2	LIMIT SWITCH EJE X	
21	1	PLACA LIMIT SWITCH EJE X	ACERO
22	1	ESPALDAR	ACERO ASTM A36

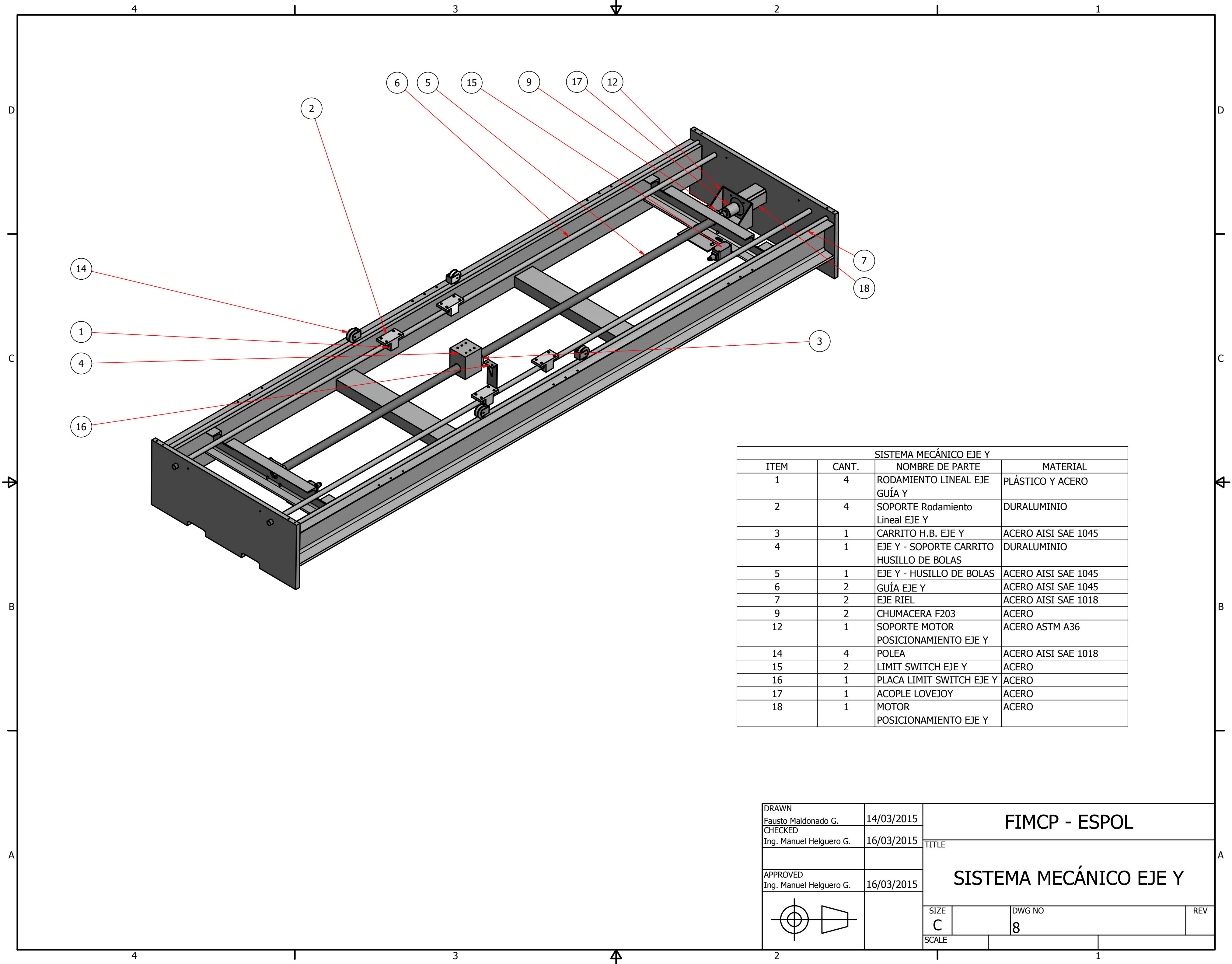
DRAWN Fausto Maldonado G. 14/03/2015 CHECKED Ing. Manuel Helguero G. 16/03/2015	TITLE <b>FIMCP - ESPOL</b> <b>SISTEMA MECÁNICO EJE X</b>
APPROVED Ing. Manuel Helguero G. 16/03/2015	DWG NO <b>6</b>
	SCALE <b>C</b>



DRAWN	
Fausto Maldonado G.	14/03/2015
CHECKED	
Ing. Manuel Helguero G.	16/03/2015
APPROVED	
Ing. Manuel Helguero G.	16/03/2015

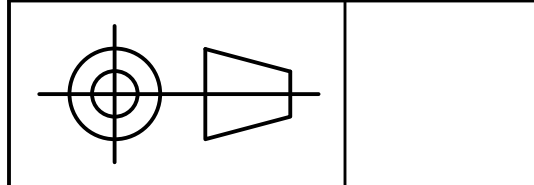
<b>FIMCP - ESPOL</b>		
<b>ESTRUCTURA COLUMNAS SOPORTE (Dimensiones Generales)</b>		
SIZE	DWG NO	REV
C	7	
SCALE		



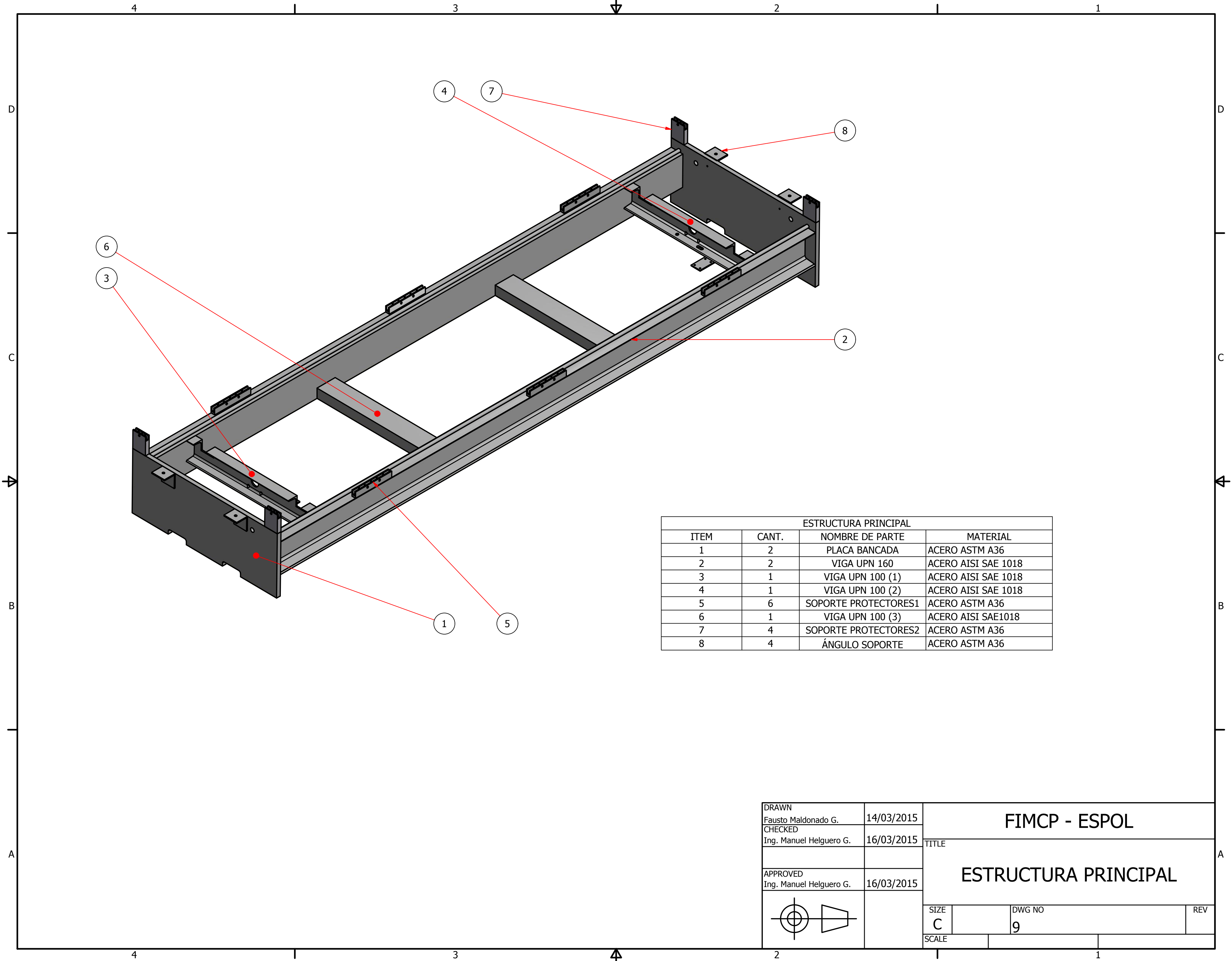


SISTEMA MECÁNICO EJE Y			
ITEM	CANT.	NOMBRE DE PARTE	MATERIAL
1	4	RODAMIENTO LINEAL EJE GUÍA Y	PLÁSTICO Y ACERO
2	4	SOPORTE Rodamiento Lineal EJE Y	DURALUMINIO
3	1	CARRITO H.B. EJE Y	ACERO AISI SAE 1045
4	1	EJE Y - SOPORTE CARRITO HUSILLO DE BOLAS	DURALUMINIO
5	1	EJE Y - HUSILLO DE BOLAS	ACERO AISI SAE 1045
6	2	GUÍA EJE Y	ACERO AISI SAE 1045
7	2	EJE RIEL	ACERO AISI SAE 1018
9	2	CHUMACERA F203	ACERO
12	1	SOPORTE MOTOR POSICIONAMIENTO EJE Y	ACERO ASTM A36
14	4	POLEA	ACERO AISI SAE 1018
15	2	LIMIT SWITCH EJE Y	ACERO
16	1	PLACA LIMIT SWITCH EJE Y	ACERO
17	1	ACOPLE LOVEJOY	ACERO
18	1	MOTOR POSICIONAMIENTO EJE Y	ACERO

DRAWN Fausto Maldonado G.	14/03/2015
CHECKED Ing. Manuel Helguero G.	16/03/2015
APPROVED Ing. Manuel Helguero G.	16/03/2015

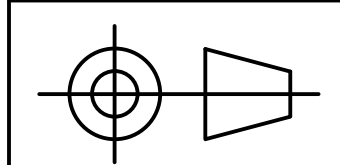


FIMCP - ESPOL			
TITLE			
SISTEMA MECÁNICO EJE Y			
SIZE C	DWG NO 8	REV	
SCALE			



ESTRUCTURA PRINCIPAL			
ITEM	CANT.	NOMBRE DE PARTE	MATERIAL
1	2	PLACA BANCADA	ACERO ASTM A36
2	2	VIGA UPN 160	ACERO AISI SAE 1018
3	1	VIGA UPN 100 (1)	ACERO AISI SAE 1018
4	1	VIGA UPN 100 (2)	ACERO AISI SAE 1018
5	6	SOPORTE PROTECTORES1	ACERO ASTM A36
6	1	VIGA UPN 100 (3)	ACERO AISI SAE1018
7	4	SOPORTE PROTECTORES2	ACERO ASTM A36
8	4	ÁNGULO SOPORTE	ACERO ASTM A36

DRAWN Fausto Maldonado G.	14/03/2015
CHECKED Ing. Manuel Helguero G.	16/03/2015
APPROVED Ing. Manuel Helguero G.	16/03/2015



FIMCP - ESPOL		
TITLE		
ESTRUCTURA PRINCIPAL		
SIZE C	DWG NO 9	REV
SCALE		