# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
# SEDE QUITO

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**TOMO I**

**TEMA:**

**"DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CONFORMADORA SEMIAUTOMÁTICA DE VIGAS DE SECCIÓN ARMADA TIPO I, DESDE 200 mm HASTA 400mm DE PERALTE CON PROCESO DE SOLDADURA FCAW"**

**POR:**

**CHRISTIAN VICENTE CAMPAÑA NENGER y**

**DIEGO RENE LINCANGO CRESPO**

**DIRECTOR:**

**Ing. FERNANDO LARCO**

**Quito, Julio del 2012**

## DECLARACIÓN

Nosotros, CHRISTIAN VICENTE CAMPAÑA NENGER y DIEGO RENÉ LINCANGO CRESPO, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

_____ _____

Christian Vicente Campaña Nenger Diego René Lincango Crespo

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado en su totalidad por los Srs. CHRISTIAN VICENTE CAMPAÑA NENGER y DIEGO RENÉ LINCANGO CRESPO, como requerimiento parcial a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, bajo mi supervisión.

_____

Ing. Fernando Larco

DIRECTOR DEL PROYECTO

## DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mis padres. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar.

**Christian Campaña**

Este proyecto, principalmente lo dedico a mi Papá Luis Alfonso, y a mi abuelita Luz María, por su ayuda constante y decisiva, por ser mi fuente de inspiración.

A mi Hermano Luis Xavier por los años que hemos compartido entre tristezas y alegrías, con su compañía y amistad ha llenado mi vida.

Dedico a toda mi familia y amigos, que de una u otra forma me han brindado su apoyo incondicional y se han preocupado por mi bienestar.

**Diego Lincango**

## AGRADECIMIENTO

Este proyecto es el resultado del esfuerzo conjunto de todos los que formamos el grupo de trabajo. Por esto agradezco a nuestro director de tesis Ing. Fernando Larco, y a mi compañero y amigo Diego Lincango, sin los cuales no hubiese podido salir adelante.

A mis padres quienes a lo largo de toda mi vida han apoyado y motivado mi formación académica, creyeron en mí en todo momento y no dudaron de mis habilidades.

A mis profesores a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza, finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa Universidad por prepararnos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

**Christian Campaña**

En primer lugar a Dios todo poderoso por las bendiciones recibidas y por permitirme culminar esta etapa de mi vida.

A mis padres Luis Alfonso y Laura Nube por haberme dado la vida, especialmente a mi Papá, por ser mi mejor amigo y brindarme el entusiasmo para cumplir los objetivos planteados, a mi madre que falleció ya hace algunos años, pues en mi mente conservo intacta su presencia.

A mi Abuelita Luz María que es el pilar fundamental en varios aspectos de mi existencia, inyectándome amor, optimismo y fortaleza.

Agradezco al Ing. Fernando Larco por su importante aporte a este proyecto y brindarnos su experiencia durante la elaboración del mismo.

**Diego Lincango**

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las construcciones van de la mano al crecimiento de una nación, podemos decir que en los últimos años, se han caracterizado por la masiva utilización del acero en la construcción de todo tipo de estructuras como: edificios, puentes inclusive en la industria automotriz, naval, etc. Sin embargo, la industria de la construcción ecuatoriana no está exenta del crecimiento que se va experimentando, de acuerdo al aumento de población y la competitividad, exige cambios sustanciales en post del progreso; añadiendo materiales versátiles a diseños vanguardistas acordes a la época que vivimos, generando soluciones de vivienda, oficinas entre otros.

Frente al evidente desarrollo de las estructuras metálicas sobre las de hormigón armado
últimamente en nuestro medio, es pertinente modernizar la fabricación de elementos estructurales, en particular las vigas de sección armada tipo “I”, que son las preferidas por los Ingenieros, presentan gran aceptación y confianza por sus características de resistencia, ductilidad, peso por metro menor, entre otras, observando que el armado de la sección actualmente es realizado en forma manual, con número de operarios elevado y costos altos de producción.

En particular, para las edificaciones son designadas vigas de sección armada tipo “I”, presentan diseños estructurales de acero, que van de 30 a 40 Kg/m², a partir de láminas metálicas de acero (flejes), tanto para almas (*web*) y patines (*flang*e) de acuerdo a los diferentes anchos de patines y almas en espesores de 3, 4, 6, 8, 10, 12 mm, según el diseño estructural a ejecutarse.

Esta área productiva carece de una máquina semiautomática fabricada técnicamente en el país, que permita mejorar la producción de la fabricación de vigas de sección armada tipo "I" conjuntamente de un sistema de soldadura que deposite cordones de filete a lo largo de todo la viga, asegurando la calidad bajo normas establecidas AWS D1.1, ASME Sección IX.

## 2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El proyecto de diseño de una máquina conformadora de vigas tipo "I", tiene el propósito de mejorar la producción de vigas tipo "I", puesto que las láminas de acero (fleje) serán previamente punteados en su inicio (patín-alma-patín), se guiará hacia la zona de conformado, sitio propicio para abastecer de ajuste y centrado del alma a los centros longitudinales de los patines y proveer el avance de desplazamiento apropiado, dependiendo de la ubicación correcta de las variables de la soldadura que son: el amperaje, voltaje, espesor del metal base, entre otras.

La viga tipo "I" será armada en la zona de conformado y a la vez depositado el cordón de soldadura dado por el proceso FCAW (Proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo tubular y núcleo de fundente) según la norma AWS D1.1 y AWS D1.3, aplicando *soldadura PJP* (Soldadura en junta con penetración parcial).

Con el diseño de la máquina semiautomática y su futura implementación se buscará mejorar los tiempos de producción y calidad en fabricación de vigas tipo "I" de sección armada para peraltes de 200mm hasta 400mm, para espesores de 3, 4, 6, 8, 10, 12 mm.

La máquina al implementarse busca ahorrar tiempo y dinero, en el armado de vigas tipo "I" proporcionando el aumento de la producción, además el proceso FCAW es semiautomático, no obstante con una máquina apropiada puede automatizarse.

## 3. ALCANCE

El proyecto tiene como finalidad el diseño y la simulación de una conformadora semiautomática de vigas de sección armada tipo “I” para agilitar la fabricación de este producto en la industria de la construcción; para este proyecto las vigas de sección armada que serán conformadas van de 200 mm hasta 400 mm de peralte, con ancho de patines desde 100 mm hasta 200 mm, longitudes desde 2.4 m hasta 12 m y espesores desde 4 mm hasta 10 mm tanto para almas y patines.

La máquina estará dotada de una estructura metálica que aloja a los sistemas constituyentes de la máquina que se encargan del arrastre de la sección mediante un motorreductor. El motorreductor con la ayuda de un variador de velocidad proveerá la inversión de giro para que la sección “I” sea ingresada de acuerdo al sentido de desplazamiento que se necesite y controlará la velocidad de desplazamiento que varía de 0 ha 0.37 m/min según la viga a conformarse.

Dicho equipo posee una capacidad de producción nominal para fabricar vigas de 12 metros de longitud con soldadura longitudinal total por sus filetes en 1h 20min.

Dentro del proceso que realiza esta máquina para el conformado de la viga se detalla a continuación los parámetros más importantes:

- Los flejes estarán ubicados sobre el transportador de rodillos por medio de equipos elevadores de carga.
- Los flejes serán colocados en la zona de pre conformado que tiene como función ensamblar los flejes mediante tecnología neumática con accionamiento eléctrico (solenoides) y proceder a unir el inicio de la viga con soldadura.
- Punteado el inicio de la viga se traslada a la zona de conformado para adaptar al peralte y centrar el alma al patín por tecnología neumática y accionamiento eléctrico (solenoides); se aproxima las cajas conformadoras con rodillos animados de velocidad angular para realizar el arrastre de la sección y facilitar el deposito de soldadura de filete simultánea en los dos filetes.
- La viga de sección armada una vez soldada por un lado es girada con medios de elevación y guiada nuevamente para la soldadura por la otra cara.

- Se usará soldadura por proceso FCAW con protección gaseosa, con alambre tubular núcleo de fundente.
- El autómata programable gobernará la semi automatización de la máquina.

Como complemento dentro de este proyecto se realizarán los planos de despiece y plano general respectivos para visualizar las partes y componentes del mecanismo lo cual servirá de guía para realizar el mantenimiento en ocasiones futuras; el equipo ocupará un espacio en área de alrededor 400 (cuatrocientos) metros cuadrados.

## 5. OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICOS

### 5.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y simular una conformadora semiautomática de vigas de sección armada tipo “I”, desde 200 mm hasta 400mm de peralte con proceso de soldadura FCAW

### 5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

5.2.1 Reducir tiempos de producción de vigas de sección armada tipo "I".

5.2.2 Optimizar la Mano de Obra de armadores y soldadores.

5.2.3 Disminuir los costos de producción de vigas armadas tipo "I".

5.2.4 Elaborar los planos generales y de detalle.

5.2.5 Simular el funcionamiento del sistema.

## 6. HIPÓTESIS

### 6.1 HIPÓTESIS GENERAL

Con el diseño y simulación de la conformadora semiautomática, se comprueba que el funcionamiento propuesto de la misma es adecuado para la fabricación de la sección armada tipo “I”.

### 6.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICA

6.2.1 Con el diseño de esta máquina de armado de vigas tipo “I”, se comprueba que es el más apropiado, para este tipo de trabajo

6.2.2 Con la lógica de control semiautomático de la máquina se podrá armar la sección armada tipo “I” correctamente.

6.2.3 Es posible depositar cordones simultáneos longitudinales de filete con la antorcha estática y trasladándose la viga con el avance apropiado.

## ÍNDICE GENERAL

Declaración ..... I

Certificación ..... II

Dedicatoria ..... III

Agradecimiento ..... IV

1. Planteamiento del problema ..... V

2. Justificación del problema ..... VI

3. Alcance ..... VII

5. Objetivos general y específicos ..... IX

6. Hipótesis ..... IX

6.2 Hipótesis específica ..... IX

Índice de tablas ..... XX

Índice de figuras ..... XXIV

Índice de anexos ..... XXXII

Glosario de términos ..... XXXV

**CAPÍTULO I ..... 1**

**1. El acero estructural en la construcción ..... 1**

1.1 Relaciones esfuerzo-deformación del acero estructural ..... 2

1.2 Clasificación del acero estructural ..... 5

1.2.1 Aceros estructurales al carbono ..... 7

1.2.1.1 Acero astm a36 ..... 8

1.2.2 Aceros de alta resistencia y baja aleación (hsla) ..... 8

1.2.3 Aceros aleados tratados térmicamente para la construcción ..... 10

1.3 Propiedades del acero estructural ..... 11

1.3.1 Propiedades mecánicas ..... 11

1.3.2 Propiedades físicas ..... 12

1.3.3 Propiedades térmicas ..... 12

1.3.4 Propiedades químicas ..... 13

1.3.5 Ventajas del acero estructural ..... 13

1.3.6 Desventajas del acero estructural ..... 14

1.4 Perfiles estructurales de acero ..... 15

1.5 Vigas ..... 21

1.5.1 Clasificación de las vigas por su fabricación ..... 21

1.5.1.1 Vigas laminadas en caliente ..... 21

1.5.1.2 vigas de alma llena soldadas ..... 22

1.6 Procesos para la fabricación de las vigas tipo “I” ..... 25

1.6.1 Ventajas y desventajas de vigas tipo "I" soldadas ..... 28

1.6.1.1 Ventajas ..... 28

1.6.1.2 Desventajas ..... 28

1.7 Distorsiones producidas por la soldadura ..... 28

1.7.1 Esfuerzos residuales en secciones compuestas ..... 29

1.7.2 Distorsión angular de una junta a filete ..... 30

1.7.3 Control de distorsión ..... 31

1.7.4 Tolerancias de fabricación ..... 32

**CAPÍTULO II ..... 33**

**2. Estudio de alternativas ..... 33**

2.1. Consideraciones para el diseño ..... 34

2.2 Parámetros de diseño ..... 35

2.3 Parámetros funcionales ..... 36

2.4 Planteamiento de alternativas ..... 37

2.4.1 Alternativa 1.- Conformadora de vigas tipo "i" con pórtico. ..... 37

2.4.2 Alternativa 2.- Conformadora de vigas tipo "i" con rodillos conformadores. ..... 39

2.5 Criterios de ponderación ..... 42

2.5.1 Valoración de parámetros ..... 43

2.5.2 Evaluación de la alternativa para cada criterio ..... 43

2.5.2 Selección de la alternativa en base a la valoración ..... 45

2.6 Planteamiento de alternativas para el proceso de soldadura ..... 45

2.6.1 Alternativa 1.- Conformadora de vigas tipo I con el sistema de soldadura saw (submerged arc welding) ..... 46
2.6.2 Alternativa 2.- Conformadora de vigas tipo I con el sistema de soldadura fcaw (flux cored arc welding) ..... 47
2.7 Proceso de soldadura a implentar ..... 49
2.7.1 Selección del procedimiento de soldadura ..... 53
**CAPÍTULO III ..... 57**
**3. Diseño de la máquina ..... 57**
Introducción ..... 57
3.1 Parámetros de diseño ..... 58
3.2 Diseño del sistema de conformado ..... 59
3.2.1 Cinemática del sistema ..... 59
3.2.1.1 Cálculo del tiempo de aceleración del motor ..... 62
3.2.2 Momento de torsión en el rodillo ..... 65
3.2.3 Fuerza necesaria para mover el conjunto alma patines ..... 67
3.2.4 Fuerzas generadas en los rodillos ..... 73
3.2.4.1 Fuerza para mover la viga ..... 73
3.2.4.2 Potencia requerida para mover la viga ..... 75
3.2.4.3 Cálculo de la potencia final con corrección de potencia ..... 76
3.2.4.4 Selección del motorreductor para el mecanismo de arrastre ..... 76
3.2.5 Diseño engranajes cónicos ..... 77

3.2.5.2 Dimensionamiento de los engranajes cónicos....78
3.2.5.3 Selección del material del engrane con base al esfuerzo ....80
3.2.5.4 Análisis del engranaje a fatiga por flexión....83
3.2.5.5 Análisis a fatiga por desgaste de la superficie ....86
3.2.5.6 Análisis de fuerzas: engranes cónicos....88
3.2.6 Diseño de ejes ....90
3.2.6.1 Esfuerzo cortante de diseño-esfuerzo cortante vertical invertido ....90
3.2.6.2 Esfuerzo normal de diseño carga por fatiga....91
3.2.6.3 Resistencia a la fatiga real estimada, S´n....92
3.2.6.4 Factor por concentradores de esfuerzos....93
3.2.6.4.2 Ranuras para anillos de seguridad....96
3.2.6.4.3 Chaflanes en escalones....97
3.2.6.4.4 Accesorios de rodamientos: tuercas de fijación con arandela de retención....97
3.2.7 Cojinetes o rodamientos....98
3.2.7.1 Clasificación de los rodamientos ....98
3.2.7.2 Relación entre la carga y la duración....100
3.2.8 Diseño del eje motriz ....104
3.2.8.2 Diseño del eje accionado....115
3.2.8.3 Selección del conjunto cadena y catalinas ....121
3.2.8.3.1 Resumen diseño de catalinas y cadena....124
3.2.8.4 Diseño de caja de conformado....125

3.2.8.4.1 Diseño de soldadura de filete de la placa base ..... 129

3.3 Diseño del sistema de posicionamiento del alma ..... 138

3.3.1 Dimensionamiento de la placa fija ..... 138

3.3.2 Cálculo del diametro de los tornillos ..... 141

3.4 Dimensionamiento del porta rodillo para el centrado del alma ..... 144

3.4.1 Diseño de la placa base para el rodillo de sujeción vertical ..... 144

3.4.2 Diseño del eje para el rodillo ..... 146

3.4.3 Pieza base de centrado del alma ..... 148

3.4.3.1 Diseño de la placa de apoyo del patín ..... 149

3.4 Estructura de la máquina ..... 151

3.4.1 Principios ergonómicos generales para aplicar en el diseño de máquinas seguras ..... 151

3.4.2 Modelación del sistema estructural en el software SAP 2000 v14.0 ..... 153

3.5 Sistema de prearmado ..... 163

3.5.1 Diseño de los rodillos ..... 163

3.5 Selección de transportador de rodillos con accionamiento ..... 167

3.5.1 Requisitos para la selección ..... 167

3.6 Sistema soldadura fcaw-g (flux arc welding-gas shield) ..... 170

3.6.1 Selección de la fuente de alimentación cv 400 Lincoln Electric ..... 171

3.6.1 Selección del alimentador de alambre: ln10 ..... 172

3.6.2 Antorcha Magnum-Pro ..... 172

3.6.3 Alambre tubular primacore LW-71 referencia E71T1-C ..... 173

3.6.4 Gas de protección ..... 174

3.6.5 Precalificación de una WPS (welding procedure specifications) ..... 174

**CAPITULO IV ..... 178**

**4. Simulación y control ..... 178**

Introducción ..... 178

4.1 Descripción general del funcionamiento de la máquina ..... 179

4.2 Tecnología neumática ..... 180

4.2.1 Cilindros neumáticos de doble efecto ..... 181

4.2.1.1 Fuerza del cilindro neumático ..... 181

4.2.1.2 Cálculo de diámetro del émbolo ..... 182

4.2.1.2 Pandeo del cilindro ..... 193

4.2.1.3 Consumo de aire ..... 196

4.2.1.4 Sensor de proximidad magnético reed ..... 198

4.2.2 Selección de la unidad de mantenimiento ..... 198

4.2.3 Pérdida de presión del sistema neumático de la máquina ..... 199

4.2.3 Selección y cálculo de la tubería ..... 203

4.2.4 Selección de la electroválvula ..... 204

4.2.5 Selección del presóstato ..... 205

4.2.6 Diseño del circuito neumático ..... 206

4.2.6.1 Software Fluidsim 3.6 FESTO ..... 206

4.2.6.2 Descripción del circuito neumático....206
4.2.6.2.1 Simulación del circuito ....206
4.3 Sistema eléctrico y control de la máquina....212
4.3.1 Principio de control de los variadores de velocidad....214
4.3.2 Software para la semiautomatización de la máquina ....215
4.3.2.1 PLC logo siemens V 7.0 ....215
4.3.2.2 Módulos de ampliación....216
4.3.2.4 Potenciómetros....217
4.3.4 Diagrama de control de la máquina ....220
4.3.4 Secuencia principal de la automatización ....221
4.3.5 Simulación del diagrama de control....223
4.4 Intouch v 10.0 ....227
4.4.1 Simulación en intouch....228
4.5 Control del proceso de soldadura fcaw ....233
4.5.1 Corriente de soldadura ....233
4.5.2 Voltaje del arco ....234
4.5.3 Extensión del alambre....235
4.5.4 Velocidad del desplazamiento....236
4.5.5 Velocidad de alimentación de alambre tubular....237
4.5.6 Flujo de gas protector....237
4.5.6 Taza y eficiencia de deposición ....238

4.5.7 ÁNGULO DEL ELECTRODO ..... 238

4.6 Cálculo de los parámetros tecnológicos de la soldadura fcaw para la máquina 239

**CAPITULO V ..... 241**

**5. Costos ..... 241**

Introducción ..... 241

5.1 Costos de construcción de la máquina ..... 242

5.1.1 Materiales directos ..... 242

5.4 Costo de maquinaria utilizada y mano de obra. ..... 250

5.5 Costos indirectos ..... 251

5.6 Costo de fabricación ..... 253

**CAPITULO VI ..... 257**

**6. Conclusiones y Recomendaciones ..... 257**

6.1 Conclusiones ..... 257

6.2 Recomendaciones ..... 259

Bibliografía ..... 260

Páginas web consultadas ..... 261

Anexos ..... 262

Manual de operación ..... 263

Instructivo de operación ..... 263

Detalle de mecanismos.....263

Instructivo de mantenimiento.....271

## ÍNDICE DE TABLAS


| | | | |
|---|---|---|---|
| Tabla 1.1 | : | Propiedades mecánicas de los aceros estructurales al carbono…….. | 7 |
| Tabla 1.2 | : | Propiedades del acero ASTM A36……. | 8 |
| Tabla 1.3 | : | Propiedades mecánicas de los aceros de alta resistencia y baja aleación (HSLA)……. | 9 |
| Tabla 1.4 | : | Propiedades mecánicas del acero aleado A514 tratado térmicamente para la construcción……. | 10 |
| Tabla 1.5 | : | Nomenclatura de la AISC…….. | 16 |
| Tabla 1.6 | : | Características de los perfiles estandarizados……. | 17 |
| Tabla 2.1 | : | Rangos mínimos de corte……... | 34 |
| Tabla 2.2 | : | Vigas de sección armada a diseñar……. | 35 |
| Tabla 2.3 | : | Valoración de parámetros para la selección de alternativas... | 43 |
| Tabla 2.4 | : | Evaluación del parámetro costo……. | 44 |
| Tabla 2.5 | : | Evaluación del parámetro manufactura…….. | 44 |
| Tabla 2.6 | : | Evaluación del parámetro operación…….. | 44 |
| Tabla 2.7 | : | Evaluación del parámetro mantenimiento…….. | 44 |
| Tabla 2.8 | : | Evaluación del parámetro calibración…… | 44 |
| Tabla 2.9 | : | Tabla de conclusiones…… | 45 |
| Tabla 2.10 | : | Tamaños mínimos de soldaduras de filete……. | 50 |
| Tabla 2.11 | : | Requisitos generales de materiales……. | 51 |
| Tabla 2.12 | : | Vigas de sección armada a construir y tamaño de soldadura | 52 |

Tabla 2.13 : Evaluación del parámetro costo…….. 54

Tabla 2.14 : Evaluación por fácil calibración……. 54

Tabla 2.15 : Tabla de datos técnicos del sistema SAW (Soldadura arco sumergido)…….. 55

Tabla 2.16 : Tabla de datos técnicos del sistema FCAW-G (Soldadura con núcleo fundente) –Gas protegido…..……... 56

Tabla 3.1 : Parámetros de dimensionamiento……... 58

Tabla 3.2 : Especificación técnicas de la tasa de deposición de soldadura……. 60

Tabla 3.3 : Momento de Inercia del conjunto Rodillo y Eje Porta-rodillo…….. 66

Tabla 3.4 : Características del motorreductor de engranajes helicoidales sin fin corona…….. 77

Tabla 3.5 : Principales dimensiones geométricas de los engranajes cónicos…… 79

Tabla 3.6 : Análisis de fuerzas: engranes cónicos…… 89

Tabla 3.7 : Tabla por comparación de carga entre los tipos de rodamientos…… 99

Tabla 3.8 : Factores de carga radial y de empuje, para rodamientos de una hilera de bolas y ranura profunda…… 102

Tabla 3.9 : Recomendaciones de la vida útil de los rodamientos……. 103

Tabla 3.10 : Especificación de los valores para el eje motriz……. 110

Tabla 3.11 : Especificación de los valores para el eje accionado……... 120

Tabla 3.12 : Hoja de cálculo para diseño de transmisiones de cadena…... 122

Tabla 3.13 : Selección de transportador lineal SKF…….. 136

Tabla 3.14 : Trabajo real para determinar espesor de la placa…….. 140

Tabla 3.15 : Listado de elementos y pesos individuales……. 157

Tabla 3.16 : Designación de elementos estructurales……. 159

Tabla 3.17 : Características de la W 4x13……. 160

Tabla 3.18 : Datos para el fabricante del transportador de rodillos…… 168

Tabla 3.19 : Rangos de corriente típica por diámetro de electrodo…… 171

Tabla 3.20 : Formato de la WPS (*Welding Procedure Specifications*)….. 176

Tabla 3.21 : Formato del Registro de Calificación del Procedimiento de Soldadura (PQR)……. 177

Tabla 4.1 : Cálculo de la cantidad de aire requerida……. 197

Tabla 4.2 : Accesorios de tubería diámetro 8 mm coeficientes de resistencia……... 202

Tabla 4.3 : Conexión de la variante lógica del variador de velocidad, recomendada por el fabricante…… 217

Tabla 4.4 : Dispositivos de entrada al PLC…….. 218

Tabla 4.5 : Dispositivos de salida al PLC……. 219

Tabla 4.6 : Elementos internos del PLC……... 220

Tabla 4.7 : Listado de tags…… 228

Tabla 4.8 : Parámetros tecnológicos del proceso FCAW con protección gaseosa, en función al listado de vigas a ser fabricadas……. 240

Tabla 5.1 : Materiales directos……. 242

Tabla 5.2 : Costo de materiales mecánicos normalizados…… 245

Tabla 5.3 : Costo de materiales eléctricos normalizados…….. 249

Tabla 5.4 : Costos de mecanizado y ensamblaje…….. 250

Tabla 5.5 : Equipos adicionales…… 251

Tabla 5.6 : Costo de Ingeniería y Diseño, Mano de Obra Indirecta……. 252

Tabla 5.7 : Costo total…….. 252

Tabla 5.8 : Determinación de costos en operaciones de soldadura…….. 253

Tabla 5.9 : Estimación de costos…….. 254

Tabla 5.10 : Precio por Kg trabajado……. 256

## ÍNDICE DE FIGURAS


| | | | |
|---|---|---|---|
| Figura 1.1 | : | Diagrama esfuerzo-deformación de un material dúctil…… | 3 |
| Figura 1.2 | : | Diagrama Esfuerzo-Deformación para un material frágil… | 4 |
| Figura 1.3 | : | Estructura metálica del edificio Urban Plaza Quito Av. 12 de Octubre y Coruña…… | 5 |
| Figura 1.4 | : | Las curvas de esfuerzo-deformación típicas para los aceros estructurales…….. | 6 |
| Figura 1.5 | : | Medidas principales del perfil W……. | 15 |
| Figura 1.6 | : | Perfil de sección armada o compuesta……. | 20 |
| Figura 1.7 | : | Perfiles laminados en caliente…….. | 22 |
| Figura 1.8 | : | Perfiles soldados…….. | 22 |
| Figura 1.9 | : | Partes de una viga I soldada…… | 24 |
| Figura 1.10 | : | Diagrama de flujo para la fabricación de vigas de sección armada tipo “I” de manera artesanal…… | 27 |
| Figura 1.11 | : | Patrón de esfuerzo residual de sección armada tipo I soldada……. | 29 |
| Firgura1.12 | : | Distorsión angular de sección armada tipo "I" soldada…... | 30 |
| Figura 1.13 | : | Filete (a) antes de soldar (b) después de soldar……... | 31 |
| Figura 1.14 | : | Soldadura intermitente…… | 32 |
| Figura 2.1 | : | Denominación de una viga “I”……. | 35 |
| Figura 2.2 | : | Conformadora de vigas tipo “I” con pórtico…… | 38 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Figura 2.3 | : | Conformadora de vigas tipo “I” con rodillos…….. | 40 |
| Figura 2.4 | : | Soldadura SAW (*SUBMERGED ARC WELDING)*……... | 46 |
| Figura 2.5 | : | Soldadura FCAW (a) Protección gaseosa (b) Autoprotegido…….. | 48 |
| Figura 3.1 | : | Cajas conformadoras adaptadas al peralte……... | 59 |
| Figura 3.2 | : | Tiempo de arrastre para el conformado de la viga, considerando la aceleración y desaceleración del motor…. | 61 |
| Figura 3.3 | : | Momento de inercia de la placa rectangular delgada…….. | 62 |
| Figura 3.4 | : | Rodillo conformador que hace el apriete alma patín…….. | 65 |
| Figura 3.5 | : | Esquema del rodillo y el eje…… | 66 |
| Figura 3.6 | : | (a) Boceto planteado (b) Diagrama de fuerzas que se realiza en los rodillos superiores y alma de la viga…… | 68 |
| Figura 3.7 | : | Ruta de la lámina de acero estructural…… | 69 |
| Figura 3.8 | : | Diagrama de fuerzas que se realiza en los rodillos inferiores y en el alma de la viga…… | 70 |
| Figura 3.9 | : | (a) Representación inicial (b) Fuerza que realiza la viga sobre el transportador de rodillos y rodillos superiores…. | 71 |
| Figura 3.10 | : | Fuerzas que intervienen en los rodillos principales (vista superior)……... | 74 |
| Figura 3.11 | : | Transmisión y posición de los engranajes cónicos…….. | 78 |
| Figura 3.12 | : | Nomenclatura de los engranajes cónicos……. | 78 |
| Figura 3.13 | : | Fuerzas sobre los dientes de engranajes cónicos rectos…. | 89 |
| Figura 3.14 | : | Tipos de chaveteros (a) chavetero trineo (b) chavetero de perfil…… | 93 |

Figura 3.15 : Disposición de fuerzas en la chaveta (a) perspectiva, (b) frontal…….. 95
Figura 3.16 : Dimensiones de los anillos de seguridad y ranuras……. 97
Figura 3.17 : Dimensiones de tuercas de fijación y ranuras…….. 98
Figura 3.18 : Factores de duración y de velocidad para rodamientos de bolas……. 101
Figura 3.19 : Configuración del eje motriz…… 104
Figura 3.20 : Diagrama de cuerpo libre de la tensión de la cadena …….. 105
Figura 3.21 : Diagrama de cuerpo libre del eje motriz…….. 106
Figura 3.22 : Diagrama de cortante (a) y momento flector (b) en el plano Horizontal del eje motriz…… 107
Figura 3.23 : Diagrama de cortante (a) y momento flector (b) en el plano Vertical del eje motriz…… 108
Figura 3.24 : Configuración del eje accionado……. 115
Figura 3.25 : Diagrama de cuerpo libre del eje accionado…… 116
Figura 3.26 : Diagrama de cortante (a) y momento flector (b) en el plano Horizontal del eje accionado……. 117
Figura 3.27 : Diagrama de cortante (a) y momento flector (b) en el plano Vertical del eje accionado……. 118
Figura 3.28 : Transmisión por cadena de rodillos……. 121
Figura 3.29 : Componente de la caja de conformador a) cubierta b) base 125
Figura 3.30 : Dimensiones principales de la caja de conformado……. 126
Figura 3.31 : Ubicación de fuerzas en la base……... 127
Figura 3.32 : Análisis de desplazamiento en la base…… 127

Figura 3.33 : Análisis de desplazamiento en la cubierta……... 128

Figura 3.34 : Factor de seguridad de la cubierta…… 128

Figura 3.35 : Soldaduras en la caja de conformado…….. 129

Figura 3.36 : Mallado del soporte de rodamiento SKF 7209 BEP…… 134

Figura 3.37 : (a) Teoría de falla de Von Mises (b) Desplazamientos; para el rodamiento SKF 7209 BEP……. 134

Figura 3.38 : (a) Teoría de falla de Von Mises (b) Desplazamientos; para el soporte del rodamiento de bolas SKF 6305……. 135

Figura 3.39 : Transporte y guía lineal SKF……... 136

Figura 3.40 : Fuerzas que actúan sobre el transportador……... 137

Figura 3.41 : Sistema de posicionamiento del alma…….. 138

Figura 3.42 : Diagrama de esfuerzo cortante y de momentos de la placa 139

Figura 3.43 : Diagrama de posicionamiento de los agujeros……. 141

Figura 3.44 : Fuerza en cada tornillo……. 142

Figura 3.45 : Porta rodillo para el centrado del alma…… 144

Figura 3.46 : Dimensiones de la placa base…….. 144

Figura 3.47 : Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flexionantes… 145

Figura 3.48 : Dimensionamiento del eje porta rodillo…….. 146

Figura 3.49 : Diagrama de cortante y momento flector en el plano…….. 147

Figura 3.50 : Dimensionamiento de la placa base……. 149

Figura 3.51 : Diagrama de cortante y momento flector en el plano…….. 149

Figura 3.52 : Altura de plano de trabajo para trabajo pesado…… 152

Figura 3.53 : Obtención de medidas en planta para la estructura…….. 153

Figura 3.54 : Nuevo modelo Grid Only……. 154

Figura 3.55 : Edición de la Grilla, con dimensiones establecidas……. 154

Figura 3.56 : Dibujo de los frames visualización de ejes locales…….. 155

Figura 3.57 : Consola de autoselección de perfiles laminados en caliente 156

Figura 3.58 : Consola de autoselección de perfiles laminados en caliente 156

Figura 3.59 : Asignación de cargas sobre la estructura……. 158

Figura 3.60 : Análisis completo……. 158

Figura 3.61 : Diseño de acero de los elementos estructurales……... 159

Figura 3.62 : Diseño del sistema de prearmado…… 163

Figura 3.63 : (a) Diagrama de corte del rodillo (b) Diagrama de momento flexionante…… 164

Figura 3.64 (a) Diagrama de corte del rodillo (b) Diagrama de momento flexionante (c) Diámetro ideal……. 166

Figura 3.65 Transportador de rodillos con accionamiento……..…... 167

Figura 3.66 : Vista superior de la ubicación de los transportadores de rodillos para el ingreso y salida de la viga……... 169

Figura 3.67 : Mapa para diseño sísmico NEC 2011…….. 170

Figura 3.68 : Diagrama esquemático del proceso FCAW-G……. 171

Figura 3.69 : Fuente CV-400……. 172

Figura 3.70 : Alimentador LN-10…….. 172

Figura 3.71 : Magnum-Pro250…….. 173

Figura 3.72 : Alambre tubular LW-71……... 173

Figura 3.73 : Efecto relativo de $O_2$ vs. $CO_2$ adicionando argón al escudo 174

Figura 4.1 : Vista general de la máquina sin semi-automatizar……... 179

Figura 4.2 : Elementos básicos de tecnología neumática…… 180

Figura 4.3 : Cilindro de doble efecto……... 181

Figura 4.4 : Cilindros de doble efecto para la caja de conformado……. 182

Figura 4.5 : Cilindro de doble efecto para el sistema centrado del alma 185

Figura 4.6 : Cilindro de doble efecto para el sistema estabilizador…… 187

Figura 4.7 : Cilindro de doble efecto para el sistema de prearmado…... 189

Figura 4.8 : Cilindro de doble efecto para el sistema de prearmado centrar el alma…….. 191

Figura 4.9 : Diámetro del vástago en función de la carrera L y de la fuerza F…… 193

Figura 4.10 : Cilindro de doble efecto DNCB 50-320-PPV-A……. 194

Figura 4.11 : Cilindro de doble efecto DNSU 25-80-PPS-A…… 194

Figura 4.12 : Cilindro de doble efecto DNSU 50-200-PPV-A……. 195

Figura 4.13 : Cilindros con guía DFM 63-320-PPV-A……. 195

Figura 4.14 : Cilindros con guía DFM 40-1600-PPV-A DFM 40-1600 PPV-A……. 196

Figura 4.15 : Sensor de proximidad magnético SME-8-K-LED-230…… 198

Figura 4.16 : Unidad de Mantenimiento FRC-1/8-D-MINI……. 199

Figura 4.17 : Diagrama de Moody…… 201

Figura 4.18 : Nomograma para cálculo de tuberías…….. 204

Figura 4.19 : Electroválvula 5/3 vías centro cerrado y su Esquemático… 205

Figura 4.20 : Presóstato PEV-1/4-B-OD…….. 205

Figura 4.21 : Simulación del sistema de prearmado 207

Figura 4.22 : Simulación de pistones armando la sección……. 208

Figura 4.23 : Inversión de giro…….. 209

Figura 4.24 : Simulación de la operación de armado y depósito de cordón en el filete…… 210

Figura 4.25 : Simulación del desajuste de la viga……. 211

Figura 4.26 : Plano del circuito de Potencia…….. 213

Figura 4.27 : Variador de Velocidad (a) G110 Siemens Simatic (b) Esquema de base de un convertidor de frecuencia…….. 214

Figura 4.28 : Software LOGO!Soft Comfort V7.0…… 215

Figura 4.29 : Módulo de ampliación LOGO DM16-24R para 24VDC… 216

Figura 4.30 : Diagrama de proceso de operación de la máquina……... 222

Figura 4.31 : Simulación LOGO!Soft Comfort V7.0 vástagos extendidos…… 224

Figura 4.32 : Simulación LOGO!Soft Comfort V7.0 desplazamientos… 225

Figura 4.33 : Simulación LOGO!Soft Comfort V7.0 señales luminosas 225

Figura 4.34 : Simulación LOGO!Soft Comfort V7.0 conformando y soldando……... 226

Figura 4.35 : Portada del software de simulación InTouch V10.0…… 227

Figura 4.36 : Diseño de la aplicación…… 230

Figura 4.37 : Pistones neumáticos extendidos con luz indicadora encendida……. 231

Figura 4.38 : Panel de control y visualización del proceso……... 232

Figura 4.39 : Ejecutando operación de conformado y soldadura…….. 232

Figura 4.40 : Edición y creación de Scripts……... 233

Figura 4.41 : Posición del electrodo al soldar……... 239

## INDICE DE ANEXOS


Anexo A : Manual de operación

Anexo 1.1 : Valores de **ω** por tamaño de soldadura

Anexo 1.2 : Tolerancias para la sección transversal

Anexo 1.3 : Tolerancia de fabricación de **VIGACERO**

Anexo 2.1 : Tolerancias para cortes de flejes y placas

Anexo 3.1 : Valores típicos de coeficientes de fricción

Anexo 3.2 : Dimensión del motorreductor NRV/MNRV 030/050

Anexo 3.3 : Características del acero AISI 4340 (para engranajes cónicos)

Anexo 3.4 : Tamaño de la chaveta en función del diámetro del eje

Anexo 3.5 : Dimensiones de los anillos de seguridad y ranuras

Anexo 3.6 : Dimensiones de tuercas de fijación y ranuras

Anexo 3.7 : Características del acero AISI 1045 para eje motriz y ejes conducidos

Anexo 3.8 : Selección del rodamientos de bolas SKF 6305 (rodamiento A)

Anexo 3.9 : Selección rodamientos de bolas de contacto angular SKF 7209 BEP (rodamiento B)

Anexo 3.10 : Selección de la unidad de rodamientos soporte SY NT 35L (rodamiento C)

Anexo 3.11 : Factor de servicio

Anexo 3.12 : Cadenas de rodillos ANSI B29.1-1975

Anexo 3.13 : Selección de catalina NK 60; 18 dientes

Anexo 3.14 : Selección de Transportador y guía lineal

Anexo 3.15 : Clases métricas de propiedades mecánicas de pernos, y birlos de acero; Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino (Sistema Internacional)

Anexo 3.16 : CV400; Alimentador LF-74 de 4 rodillos; Pistola Magnum-Pro, Alambre tubular LW-71, Gas de Protección.

Anexo 4.1 : Diagrama Presión-Fuerza de cilindros neumáticos

Anexo 4.2 : Cilindros de doble efecto

Anexo 4.3 : Unidad de Mantenimiento FRC-1/8-D-MINI

Anexo 4.4 : Plano del circuito de potencia

Anexo 4.5 : Plano del circuito neumático y auxiliar

Anexo 4.6 : Diagrama eléctrico en Logo! Soft Comfort

Anexo 4.7 : Plano del circuito de mando

Anexo 4.8 : Líneas de programación del Script en Intouch V10.0

Anexo 5.1 : Cotización de material Eléctrico

Anexo 5.2 : Cotización de material Neumático

Anexo 5.3 : Cotización de rodamientos SKF

Anexo 5.4 : Cotización de Motorreductor tornillo sin fin corona (Motovario)

Anexo 5.5 : Cotización de perfiles e insumos

Anexo 5.6 : Corte de placas de caja de conformado

Anexo 5.7 : Cotización de aceros especiales

Anexo 5.8 : Equipos de soldadura FCAW-G

Anexo 5.9 : Selección del transportador de rodillos motrices

Anexo 5.10 : Tablas para la estimación de costos de soldadura

Anexo 5.11 : Cotización de $CO_2$

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

| | | |
|---|---|---|
| $\sigma$ | : | Esfuerzo |
| $\epsilon$ | : | Deformación |
| $\sigma_{lp}$ | : | Esfuerzo del Límite de proporcionalidad |
| $E$ | : | Módulo de elasticidad del material (adimensional) |
| $\sigma_y$ | : | Esfuerzo de fluencia |
| $\sigma_u$ | : | Resistencia última a la tracción |
| $\sigma_f$ | : | Esfuerzo de rotura |
| $Fu$ | : | Resistencia a la tensión |
| $Fy$ | : | Esfuerzo mínimo de fluencia |
| frt | : | Esfuerzo residual a tensión |
| frc | : | Esfuerzo residual a compresión |
| $\omega_{max}$ | : | Velocidad angular máxima |
| $\omega_{min}$ | : | Velocidad angular mínima |
| $\omega_{prom}$ | : | Velocidad angular promedio |
| t.a. | : | Tiempo de aceleración |
| t.v.c. | : | Tiempo de velocidad constante |
| t.d. | : | Tiempo de desaceleración |
| $\alpha$ | : | Aceleración angular del motor |
| $M_B$ | : | Par acelerador medio |

| | | |
|---|---|---|
| $I$ | : | Momento de inercia en Kgm² reducido al eje del motor |
| $n$ | : | Velocidad del motor 1/min |
| $\theta$ | : | Desplazamiento angular |
| $\omega_o$ | : | Velocidad angular inicial |
| $t$ | : | Tiempo |
| $T$ | : | Torque |
| CM | : | Centro de masa |
| $P$ | : | Potencia |
| Z | : | Número de dientes |
| m | : | Módulo |
| Pd | : | Paso diametral |
| ɣ, Γ | : | Ángulos de paso |
| L | : | Largo del cono |
| F | : | Ancho de cara |
| Dm | : | Diámetro medio |
| $St$ | : | Esfuerzo por flexión |
| $Wt$ | : | Carga tangencial |
| $Pd$ | : | Paso diametral |
| $Ko$ | : | Factor de corrección por sobrecarga. |
| $Kv$ | : | Factor dinámico |
| $Ks$ | : | Factor de tamaño |
| $Km$ | : | Factor de distribución de carga |

| | | |
|---|---|---|
| $J$ | : | Factor geométrico |
| $Sat$ | : | Esfuerzo flexionante permisible |
| HB | : | Dureza Brinell |
| Q | : | Número de calidad |
| $S´_{at}$ | : | Número de esfuerzo flexionante admisible ajustado. |
| FS | : | Factor de seguridad |
| $Y_N$ | : | Factor de ciclos de esfuerzo por resistencia a la flexión |
| $K_R$ | : | Factor de confiabilidad |
| $f_L$ | : | Factor de duración |
| $f_N$ | : | Factor de velocidad |
| $R_n$ | : | Resistencia nominal |
| $F_w$ | : | Resistencia de la soldadura por unidad de área |
| $A_w$ | : | Área de filete de la soldadura |
| $w$ | : | Tamaño de la soldadura |
| $F_{teórica}$ | : | Fuerza teórica del émbolo |
| $p$ | : | Presión de trabajo |
| $A_1$ | : | Superficie útil del émbolo |
| $\dot{V}$ | : | Cantidad de aire |
| $s$ | : | Longitud de carrera |
| $n$ | : | Ciclos por minuto |
| $D$ | : | Diámetro del émbolo |
| $d$ | : | Diámetro del vástago |

# CAPÍTULO I

## 1. EL ACERO ESTRUCTURAL EN LA CONSTRUCCIÓN

## INTRODUCCIÓN

El acero estructural a nivel mundial presenta un impacto tecnológico caracterizado por su resistencia y ductilidad, que día a día va tomando espacio, debido a la versatilidad para producir diseños vanguardistas y la posibilidad de ser reciclado en un 100%, en el Ecuador existen compañías que disponen de hornos para fundir acero y producir perfiles estructurales.

En el presente capítulo se abordará al acero estructural revisando la relación esfuerzo-deformación de un material dúctil y material frágil, la clasificación del acero estructural según la norma ASTM (*American Society for Testíng and Materials),* además se revisará la característica de los perfiles más usados entre ellos la fabricación de las vigas tipo I de sección armada y una explicación breve de las distorsiones producidas por la soldadura.

## 1.1 RELACIONES ESFUERZO-DEFORMACIÓN DEL ACERO ESTRUCTURAL

Los materiales dúctiles como el acero, así como muchas aleaciones de otros metales se caracterizan por fluir a temperaturas normales, que al relacionar esfuerzo-deformación se produce la curva Ingenieril que dota de información del material.

La curva esfuerzo-deformación mostrado en la Figura 1.1 pertenece a una curva típica de un acero dúctil, mostrando las cuatro regiones: elástica, fluencia, endurecimiento por deformación, y de estricción que termina en la ruptura. Se observa el comportamiento elástico (el material deformado por una carga inicial recupera su forma original al ser esta retirada) y el comportamiento plástico (el material deformado por una carga inicial presenta una deformación permanente del material).

"La mayor parte de las estructuras de Ingeniería se diseñan para sufrir deformaciones relativamente pequeñas, que involucran solo la parte recta del diagrama de esfuerzo-deformación correspondiente. Para esta porción inicial del diagrama el esfuerzo $\sigma$ es directamente proporcional a la deformación $\epsilon$ " [1], a esta relación se la conoce como la Ley de Hooke:

$$\sigma = E\,\varepsilon \qquad (Ecuación\ 1.1)$$

Donde:

$\sigma =$ Esfuerzo (N/m² o pascal= Pa)

$E =$ Módulo de elasticidad del material (adimensional)

$\varepsilon =$ Deformación unitaria (deformación por unidad de longitud)

El mayor esfuerzo para el que todavía es válida la Ley de Hooke, o punto más alto de la porción recta del diagrama esfuerzo-deformación se denomina *límite de proporcionalidad*. El mayor esfuerzo que puede soportar el material sin deformarse permanentemente es llamado *límite elástico.* El esfuerzo en el que se presenta un

[1] BEER, Ferdinand, y otros, *Mecánica de Materiales,* $3^{era}$. Edición, Editorial McGraw-Hill, México-México DF 2004, p.56.

incremento brusco en el alargamiento o deformación sin un incremento correspondiente en el esfuerzo, se denomina esfuerzo de fluencia $(\sigma_y)$ [2].

La deformación que ocurre antes del punto de fluencia se conoce como deformación elástica, la deformación que ocurre luego de este punto se conoce como deformación plástica, además la curva esfuerzo-deformación de la Figura 1.1 se supone que es la misma para miembros a tensión y *compresión.*

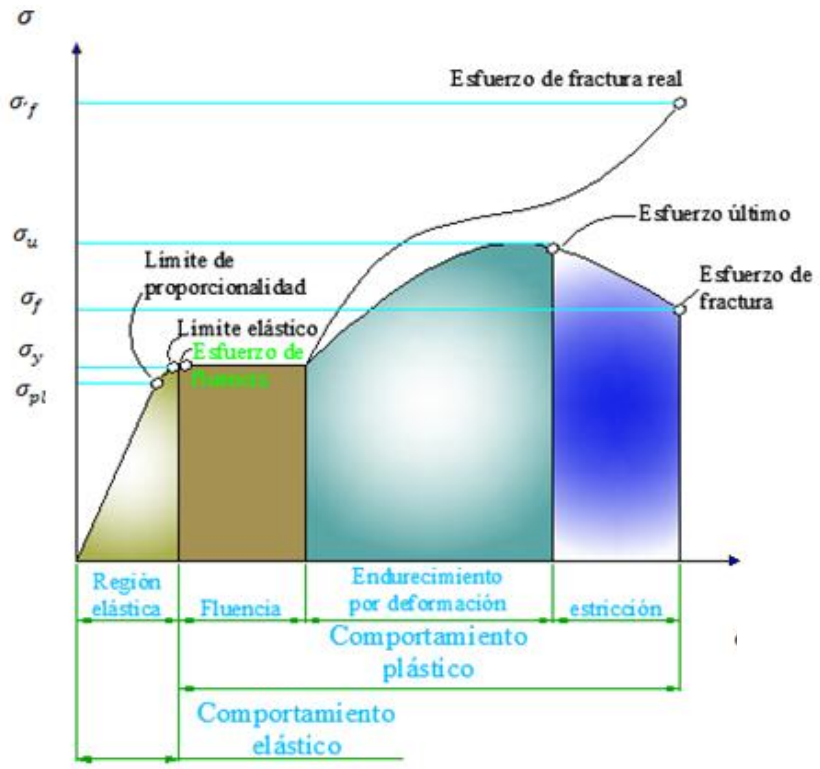



Figura 1.1: Diagrama esfuerzo-deformación de un material dúctil

Donde:

$\sigma_{pl}$ = Esfuerzo de proporcionalidad (elástico)

$\sigma_y$ = Esfuerzo de fluencia

$\sigma_u$ = Resistencia última a la tracción

$\sigma_f$ = Esfuerzo de rotura

[2] McCORMAC, Jack, *Diseño de Estructuras Metálicas Método ASD*, $4^{ta}$. Edición, Editorial Alfaomega, México 1999, p.11.

"Después de la región plástica se tiene una zona llamada *endurecimiento por deformación* en la que se requieren esfuerzos adicionales para producir deformaciones mayores"[3], seguidamente el material llega al *Esfuerzo último o Resistencia a la tracción* $\sigma_u$ luego desciende antes de llegar a la rotura $\sigma_f$ .

La Figura 1.2 muestra la curva típica de un material frágil que presenta claramente ausencia de esfuerzo de fluencia definido, que para efectos de cálculos estructurales independientemente de los aceros sean dúctiles o frágiles es de mucha importancia tener el dato del esfuerzo del fluencia.

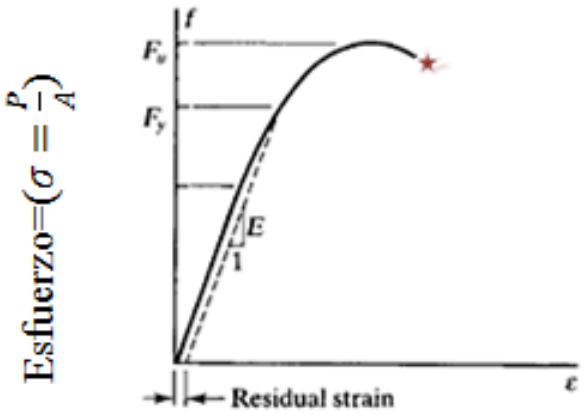



Figura 1.2: Diagrama Esfuerzo-Deformación para un material frágil

Donde:

$Fu =$ Resistencia a la tensión

$Fy =$ Esfuerzo mínimo de fluencia

"Si un miembro de acero dulce se deforma más allá de su límite elástico y luego se descarga, el no retornará a una condición de deformación nula"[4], esto quiere decir que tendrá una deformación residual (*Residual Strain*); al ser descargada no tomará el valor inicial 0 pues tendrá una nueva trayectoria de línea entrecortada paralela a la línea recta inicial. Ver Figura 1.2.

[3] McCORMAC, Jack. Op. Cit. p.13.
[4] Idem., p. 14.

## 1.2 CLASIFICACIÓN DEL ACERO ESTRUCTURAL[5]

En la ciudad de Quito las estructuras metálicas para edificios cada vez van tomando un importante impulso en el crecimiento de la Ciudad metropolitana, El Urban Plaza es una muestra del diseño visionario logrado con el uso del acero estructural, ver Figura 1.3 recibiendo galardones, entre el más importante es la medalla de Oro otorgada en la Bienal de Miami Beach 2009, el más alto entregado en esa categoría.

Figura 1.3: Estructura metálica del edificio Urban Plaza Quito Av. 12 de Octubre y Coruña

Hoy, la demanda de aceros más fuertes, aceros con mayor resistencia a la corrosión, con mejor propiedades de soldabilidad y diversas características, la industria acerera mundial han proporcionado varios grupos de nuevos aceros clasificados por la ASTM (*American Society for Testíng and Materials*).

Aceros para usos estructurales se pueden clasificar por su composición química, propiedades de tracción, y método de fabricación como: los aceros al carbono, los aceros de alta resistencia y baja aleación (HSLA), aceros al carbono tratados térmicamente y aceros aleados tratados térmicamente para la construcción.

[5]BROCKENBROUGH, Roger, *Manual de Diseño de Estructuras de Acero*, $3^{ra}$. Edición, Editorial McGraw Hill 1997, p. 1.1.

En la Figura. 1.4 se ilustra curvas típicas de esfuerzo-deformación para los cuatro principales tipos de acero descritos aquí, observando los niveles de resistencia cada vez mayor, además se aprecia que los dos primeros tipos tienen puntos de fluencia bien definidos, en tanto que los templados y revenidos no lo tienen.

Los aceros tratados térmicamente (templados y revenidos) para proveer dureza y resistencia, tienen fluencias comprendidas entre 70 y 110 klb/plg².

La disponibilidad de esta amplia gama de determinadas intensidades mínimas, así como otras propiedades de materiales, permite al diseñador seleccionar un material económico que llevará a cabo la función requerida para cada aplicación.

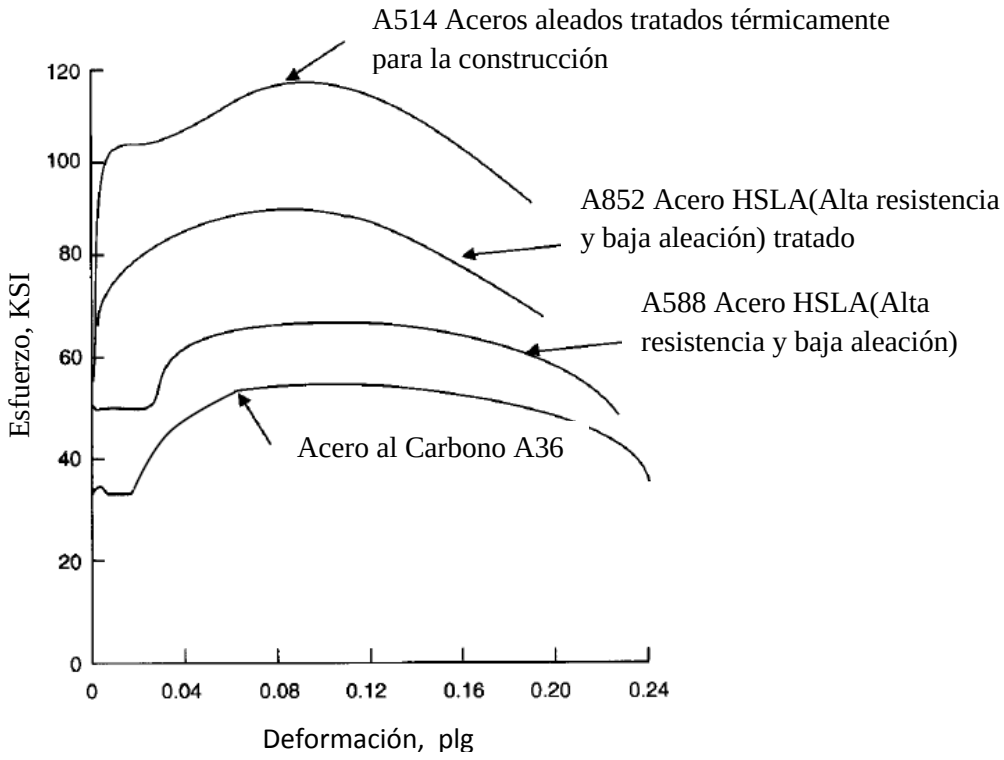



Figura 1.4: Las curvas de esfuerzo-deformación típicas para los aceros estructurales (Las curvas han sido modificadas para reflejar propiedades mínimas especificadas)

### 1.2.1 ACEROS ESTRUCTURALES AL CARBONO[6]

Estos aceros tienen como principales elementos de resistencia al carbono y manganeso en cantidades cuidadosamente dosificadas. Los aceros al carbono son aquellos que tienen los siguientes elementos con cantidades máximas de: 1.7% de carbono, 1.65% de manganeso, 0.60% de Silicio y 0.60% de cobre.

Pueden subdividirse en cuatro categorías basadas en el contenido de carbono: aceros con bajo carbono (menos de 0.15% C); aceros dulces (0.15% a 0.29% C); aceros medio al carbono (0.30% a 0.59% C); y aceros de alto carbono (0.60% a 1.7% C). Los aceros estructurales al carbono quedan en la categoría de los aceros dulces y muestran un marcado punto de fluencia; algunos se pueden ver en la Tabla 1.1.

**Tabla 1.1: Propiedades mecánicas de los aceros estructurales al carbono**

| **Según Norma ASTM** | **Espesor cm** | **Esfuerzo de fluencia** | **Resistencia a la tensión** | **Elongación %** | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | En 5 cm | En 20 cm |
| | | kg/cm² | kg/cm² | | |
| A36 | Hasta 20 | 2530 | 4077-5624 | 23 - 21 | 20 |
| | Mayor a 20 | 2245 | 4077-5624 | 23 | 20 |
| A 573 | | | | | |
| Grado 58 | Hasta 3.9 | 2245 | 4077-4991 | 24 | 21 |
| Grado 65 | Hasta 3.9 | 2461 | 4570-5413 | 23 | 20 |
| Grado 70 | Hasta 3.9 | 2953 | 4921-6327 | 21 | 18 |

Fuente: BROCKENBROUGH, Roger,*Manual de Diseño de Estructuras de Acero*, 1997

[6]VINNAKOTA, Sriramulu, *Estructuras de Acero Comportamiento y LRFD*, $1^{ra}$. Edición, Editorial McGraw Hill 2006, p. 31.

#### 1.2.1.1 ACERO ASTM A36

Es un material que por sus características y propiedades (ver tabla 1.2) se ha convertido en el más utilizado por la industria, es el resultado de la composición de elementos químicos, siendo el más importante el hierro y el de menos presencia el carbón, el cual, no supera el 1,2% en peso, por lo general, alcanza porcentajes entre el 0,2% y el 0,3%, lo que facilita el proceso de moldeo.

**Tabla 1.2: Propiedades del acero ASTM A36**

| PROPIEDAD | VALOR | UNIDADES |
|---|---|---|
| Densidad | 7850 | $Kg/m^3$ |
| Límite de fluencia | 250-280 | MPa |
| Resistencia a la tensión | 400-550 | MPa |
| Módulo de elasticidad | 200 | GPa |
| % de elongación mínimo | 20 | % |
| Punto de fusión | 1538 | $^{\circ}C$ |

Fuente: MANGONON, Pat L, *Ciencia de materiales, Selección y Diseño*, 2002

### 1.2.2 ACEROS DE ALTA RESISTENCIA Y BAJA ALEACIÓN (HSLA)[7]

Contienen cantidades moderadas de elementos de aleación diferentes de carbono. Algunos de los elementos de aleación son cromo, columbio, cobre, manganeso, molibdeno, níquel, vanadio y zirconio, que mejoran las propiedades mecánicas, las características de fabricación y otros atributos del acero.

El término acero de baja aleación se utiliza generalmente para describir aceros cuyo contenido total de elementos de aleación no excede de 5% de la composición total del acero. Los aceros HSLA tienen esfuerzos de fluencia en un rango de 40 ksi a 70 ksi, y algunos de los aceros de alta resistencia ofrecen una resistencia mejorada a la corrosión.

[7] VINNAKOTA, Sriramulu. Op. Cit. p.32.

Los aceros HSLA, como los aceros dulces, tienen puntos de fluencia bien definidos. Se utilizan en las condiciones originales de laminado o normalizado; esto es, sin tratamiento térmico, las propiedades son mostradas en la Tabla 1.3

**Tabla 1.3: Propiedades mecánicas de los aceros de alta resistencia y baja aleación (HSLA)**

| **Según norma ASTM** | **Espesor cm** | **Esfuerzo de fluencia** | **Resistencia a la tensión** | **Elongación %** | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | En 5 cm | En 20 cm |
| | | kg/cm² | kg/cm² | | |
| A242 | Hasta 1,9 | 3515 | 4921 | 21 | 18 |
| | Más de 1,9 a 3,8 | 3234 | 4710 | 21 | 18 |
| | Más de 3,8 a 10 | 2953 | 4423 | 21 | 18 |
| A588 | Hasta10 | 3515 | 4921 | 21 | 18 |
| | Más de 10 a 13 | 3234 | 4710 | 21 | 18 |
| | Más de 13 a 20 | 2953 | 4423 | 21 | - |
| A 572 | | | | | |
| Grado 42 | Hasta15 | 2953 | 4218 | 24 | 20 |
| Grado 50 | Hasta10 | 3515 | 4570 | 21 | 18 |
| Grado 60 | Hasta 3 | 4218 | 5273 | 18 | 16 |
| Grado 65 | Hasta 3 | 4570 | 5624 | 17 | 15 |
| A 992 | | | | | |
| | - | 3515-4570 | 4570 | 21 | 18 |

Fuente: BROCKENBROUGH, Roger, *Manual de Diseño de Estructuras de Acero*, 1997

### 1.2.3 ACEROS ALEADOS TRATADOS TÉRMICAMENTE PARA LA CONSTRUCCIÓN

La especificación ASTM A 514 define diversos tipos de placas de acero aleado, enfriado y templado de calidad estructural apropiada para la soldadura, ver Tabla 1.4.

**Tabla 1.4: Propiedades mecánicas del acero aleado A514 tratado térmicamente para la construcción**

| **Según norma ASTM** | **Espesor cm** | **Esfuerzo de fluencia** | **Resistencia a la tensión** | **Elongación %** | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Kg/cm² | Kg/cm² | En 5 cm | En 20 cm |
| A514 | Hasta 6,4 | 7030 | 7733-9139 | 18 | - |
| | Más de 6,4 a 15 | 6327 | 7030-9139 | 16 | - |

Fuente: BROCKENBROUGH, Roger,*Manual de Diseño de Estructuras de Acero*, 1997

Cabe recalcar que: "Los aceros templados y revenidos no muestran puntos bien definidos de fluencia como lo hacen los aceros al carbono y aceros HSLA. En vista de ello su resistencia a la fluencia se define en función a un esfuerzo asociado a una deformación del 0.2%"[8]

Este tipo de aceros son soldables y tienen resistencia a la corrosión atmosférica equivalente al doble del acero estructural al carbono.

[8] McCORMAC, Jack, Op. Cit. p.18.

## 1.3 PROPIEDADES DEL ACERO ESTRUCTURAL

Los materiales poseen propiedades y características propias que los diferencian entre sí, entre las principales se tiene: eléctricas, magnéticas, mecánicas, químicas físicas y térmicas, como ya se mencionó están en función de su composición.

### 1.3.1 PROPIEDADES MECÁNICAS

- Resistencia: Es la oposición al cambio de forma y a las fuerzas externas que pueden presentarse como cargas de tracción, compresión, cizalle, flexión y torsión.

- Elasticidad: Es la capacidad de un cuerpo para volver a su forma inicial al dejar de actuar la fuerza que lo deformó.

- Plasticidad: Capacidad de deformación de un metal antes que se rompa; si la deformación se produce por alargamiento se denomina ductilidad y por compresión, se llama maleabilidad.

- Tenacidad: Es la resistencia a la rotura por esfuerzos que deforman el metal.

- Dureza: Capacidad que presenta el metal a ser deformado en su superficie por la acción de otro material.

- Resiliencia: Capacidad que presentan los materiales para absorber energía por unidad de volumen en la zona elástica.

- Resistencia a la rotura: Es la resistencia que opone el material a romperse por un esfuerzo mecánico exterior.

- Fusibilidad: Es la facilidad de poder dar forma a los metales, fundiéndolos y colocándolos en moldes.

- Soldabilidad: Facilidad de los metales para que dos piezas en contacto puedan unirse formando un conjunto rígido. Una unión sólida y fuerte es que la soldadura no tenga imperfecciones ni defectos, y debe ser tan resistente como el material base.

### 1.3.2 PROPIEDADES FÍSICAS

- Estructura: Es el orden de las moléculas que varían por el proceso de transformación o fabricación, en ciertos casos se diferencia a simple vista pero en otros es necesario el uso de un microscopio. La estructura interna o cristalina de los aceros es un factor fundamental que define el comportamiento de los materiales, esta se clasifica en función del tamaño de grano.

- Densidad: Es la masa contenida en una unidad de volumen.

- Peso específico: Es el cociente entre el peso del material y el volumen que ocupa en el espacio.

- Punto de fusión: Es un límite en el que las moléculas del material se comienzan a separar y deja de comportarse como sólido.

### 1.3.3 PROPIEDADES TÉRMICAS

- Conductividad eléctrica: Facilidad que presenta un material para dejar pasar a través de él la corriente eléctrica.

- Conductividad térmica: Es la facilidad que presenta un material para dejar pasar a través de él una cantidad de calor.

- Dilatación: Aumento de las dimensiones de un metal al incrementarse la temperatura.

### 1.3.4 PROPIEDADES QUÍMICAS

- Oxidación: La oxidación se produce cuando se combina el oxígeno del aire y el metal. La reacción química produce oxidación superficial.

- Corrosión: Se considera corrosión cuando existe pérdida de material.

### 1.3.5 VENTAJAS DEL ACERO ESTRUCTURAL[9]

**Alta resistencia**: la alta resistencia del acero por unidad de peso, permite estructuras relativamente livianas, lo cual es de gran importancia en la construcción de puentes, edificios altos y estructuras cimentadas en suelos blandos.

**Homogeneidad**: las propiedades del acero no se alteran con el tiempo, ni varían con la localización en los elementos estructurales.

**Elasticidad**: el acero es el material que más se acerca a un comportamiento linealmente elástico (Ley de Hooke) hasta alcanzar esfuerzos considerables.

**Precisión dimensional**: los perfiles laminados están fabricados bajo estándares que permiten establecer de manera muy precisa las propiedades geométricas de la sección.

**Ductilidad**: el acero permite soportar grandes deformaciones sin fallar bajo altos esfuerzos de tensión. Una ventaja adicional de las estructuras dúctiles es que al sobrecargarlos, sus grandes deflexiones ofrecen evidencia visible de la inminencia de la falla.

**Tenacidad**: el acero tiene la capacidad de absorber grandes cantidades de energía en deformación (elástica e inelástica).

**Facilidad de unión con otros miembros**: el acero en perfiles se puede conectar fácilmente a través de remaches, tornillos o soldadura con otros perfiles.

**Rapidez de montaje**: la velocidad de construcción en acero es muy superior al resto de los materiales.

[9] McCORMAC, Jack, Op. Cit. p.1-2.

**Disponibilidad de secciones y tamaños**: el acero se encuentra disponible en perfiles para optimizar su uso en gran cantidad de tamaños y formas.

**Costo de recuperación**: las estructuras de acero de desecho, tienen un costo de recuperación en el peor de los casos como chatarra de acero.

**Reciclable**: el acero es un material 100 % reciclable además de ser degradable por lo que no contamina.

**Ampliaciones de estructuras existentes**: el acero permite modificaciones y/o ampliaciones en proyectos de manera relativamente sencilla. Se pueden prefabricar estructuras: el acero permite realizar la mayor parte posible de una estructura en taller y la mínima en obra consiguiendo mayor exactitud.

### 1.3.6 DESVENTAJAS DEL ACERO ESTRUCTURAL

**Corrosión**: el acero expuesto a intemperie sufre corrosión por lo que deben ser previamente desoxidados y recubrirse con fondo anticorrosivo, exceptuando a los aceros especiales como el inoxidable.

**Calor, fuego**: en el caso de incendios, el calor se propaga rápidamente por las estructuras haciendo disminuir su resistencia hasta alcanzar temperaturas donde el acero se comporta plásticamente, debiendo protegerse con recubrimientos aislantes del calor y del fuego (retardantes) como mortero, concreto, asbesto, etc.

**Pandeo elástico**: debido a su alta resistencia/peso el empleo de perfiles esbeltos sujetos a compresión, los hace susceptibles al pandeo elástico, por lo que en ocasiones no son económicos las columnas de acero.

**Fatiga**: la resistencia del acero (así como del resto de los materiales), puede disminuir cuando se somete a un gran número de inversiones de carga o a cambios frecuentes de magnitud de esfuerzos a tensión (cargas pulsantes y alternativas). Resistencia de plastificación solamente para columnas cortas.

## 1.4 PERFILES ESTRUCTURALES DE ACERO

En la actualidad existen perfiles estructurales que se encuentran estandarizados, aunque sus dimensiones exactas pueden variar un poco de laminadora a laminadora. Los materiales utilizados en estos se conocen como aceros estructurales.

El acero estructural puede laminarse en forma económica en una gran variedad de formas y tamaños sin cambios apreciables en sus propiedades físicas. Generalmente los miembros estructurales más convenientes son aquellos con grandes momentos de inercia en relación con sus áreas.

Por lo general los perfiles de acero estructural se designan por la forma de sus secciones transversales, entre ellos se tienen: los ángulos estándar (perfiles L), canales (perfiles C), vigas de patín ancho (perfiles W), vigas estándar estadounidenses (perfiles S), tubo estructural y tubería. Sin embargo, es necesario hacer una clara distinción entre las vigas S y las vigas W ya que ambas se nombran con frecuencia en las conversaciones generales como "vigas I", porque la forma del corte transversal se parece a la I mayúscula, ver Figura 1.5

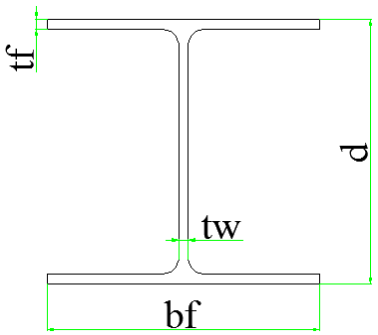



Figura 1.5: Medidas principales del perfil W

Donde:

d= Peralte

tw= Espesor del alma

bf= Ancho de patín

tf= Espesor de patín

Los perfiles se denominan en forma abreviada por medio de un sistema descrito en el Manual LRFD (*Manual of Steel Construction Load and Resistance Factor Design*) publicado por el Instituto Americano de la Construcción en Acero (AISC) para uso en planos, especificaciones y diseños, como muestra la Tabla 1.5. Este sistema se encuentra estandarizado por ejemplo:

- Perfil W27x114; tiene Peralte d= 27 plg y peso de 114 lb/pie,[10]

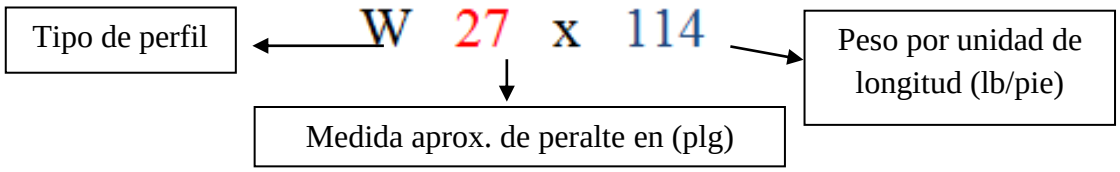



**Tabla 1.5: Nomenclatura de la AISC**

| Denominación | Significado |
|---|---|
| W | Indica que el patín tiene las caras externa e interna casi paralelas, con una pendiente de 1 a 20 en el interior. |
| HP | Indica que el patín tiene las caras externa e interna paralelas pero el espesor del alma es el mismo que el del patín. |
| S y C | Tienen una pendiente de 1 a 6 en el interior de sus patines. |
| M | Designa perfiles que no pueden ser clasificados como W, HP o S. |
| MC | Designa canales que no pueden ser clasificados como C. |
| L | Perfiles angulares que pueden tener lados iguales o desiguales. |
| *Nota:* M y MC son fabricados por un determinado número de productores y no se encuentran frecuentemente disponibles. | |

Fuente: AISC, *Manual of Steel Construction*, New York, 1969

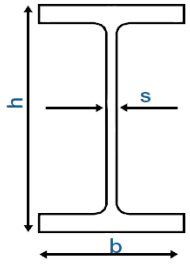
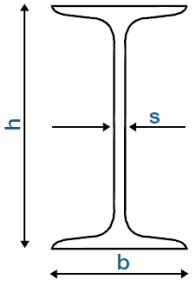
El espesor del patín dado en las Tablas de la AISC para los perfiles S, M, C y MC es el promedio del espesor real de cada patín.

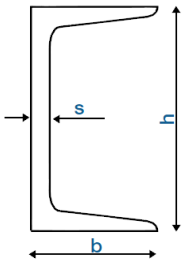
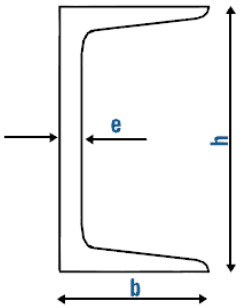
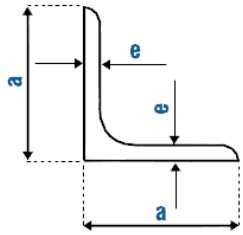
La industria de la construcción ha desarrollado diferentes formas de secciones y tipos de acero que se adaptan más eficientemente a las necesidades de la construcción.

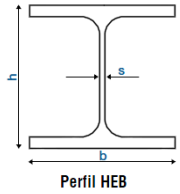
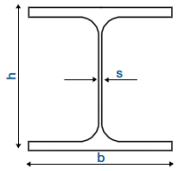
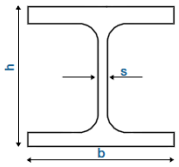
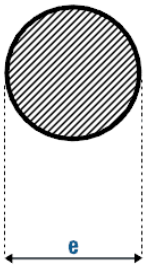
[10] McCORMAC, Jack, Diseño de Estructuras Metálicas, 2002, p. 8-10.

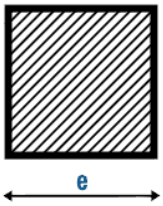
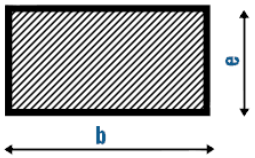
Los perfiles estructurales de acero que se utilizan con mayor frecuencia en la construcción (ver Tabla 1.6), incluyen perfiles de secciones: W, I, L, T, usadas en edificios e instalaciones para industrias, cables para puentes colgantes, atirantados y concreto pre esforzado, varillas y mallas electrosoldadas para el concreto reforzado, láminas plegadas usadas para techos y pisos y pueden unirse fácilmente, mediante soldadura, pernos o remaches.

**Tabla 1.6: Características de los perfiles estandarizados**

| **Nombre** | **Característica** | **Gráfico** |
|---|---|---|
| Perfil IPE | Las caras exteriores e interiores de las alas son perpendiculares al alma, por lo que estas tienen espesor constante (caras paralelas).<br><br>Las uniones entre las caras del alma y las caras interiores de las alas son redondeadas y las aristas de las alas son vivas.<br><br>Estos perfiles se designan por las letras IPE seguidas de un número que indique la altura del perfil (h), expresada en milímetros. |  |
| Perfil I Normal (IPN) | Las caras exteriores de las alas son perpendiculares al alma y las interiores presentan una inclinación del 14% respecto a aquellas, por lo que las alas tienen espesor decreciente hacia los bordes.<br><br>Las uniones entre las caras del alma y las caras interiores de las alas son redondeadas. Estas tienen el borde con arista exterior viva e interior redondeada.<br><br>Estos perfiles se designan por las letras IPN seguidas de un número que indique la altura nominal del perfil (h). |  |

| Nombre | Característica | Gráfico |
|---|---|---|
| Perfil U Normal (UPN) | Las caras exteriores de las alas son perpendiculares al alma y las interiores presentan una inclinación del 8% respecto a aquellas, por lo que las alas tienen espesor decreciente hacia los bordes.<br><br>Las uniones entre la cara interior del alma y las caras interiores de las alas son redondeadas. Estas tienen el borde con la arista exterior viva e interior redondeada.<br><br>Estos perfiles se designan por las letras UPN seguidas por un número que indica la altura nominal del perfil (h) |  |
| Perfil U Comercial (U) | La altura nominal (h) es inferior a 80 mm.<br><br>Las caras exteriores de las alas son perpendiculares al alma y las interiores presentan una inclinación del 8% respecto a aquellas, por lo que las alas tienen espesor decreciente hacia los bordes.<br><br>Las uniones entre las caras del alma y las caras interiores de las alas son redondeadas.<br><br>Estos perfiles se designan por la letra U seguida de los números que indiquen la altura (h) y la anchura (b) nominales, expresadas en milímetros. |  |
| Angular de lados iguales (Li) | Las caras de las alas son paralelas y la unión de sus caras interiores está redondeada.<br><br>Las alas tienen el borde exterior con aristas vivas y el interior redondeado.<br><br>Estos productos se designan por la letra L seguida del número que expresa la longitud de las alas (a) y del espesor (e) |  |

| Nombre | Característica | Gráfico |
|---|---|---|
| Perfil HE | Se denomina perfil HE (o perfil de alas anchas y caras paralelas) al producto cuya sección tiene forma de H.<br><br>Las caras exteriores e interiores de las alas son perpendiculares al alma, por lo que tienen espesor constante (caras paralelas).<br><br>Las uniones entre las alas y el alma son redondeadas y las aristas de las alas son vivas. Para los perfiles de altura nominal del perfil HEB igual o inferior a 300 mm, la anchura de las alas (b) es igual a la altura (h). Para los perfiles de h>300 mm, la anchura de las alas es igual a 300mm.<br><br>Existen tres series de perfiles HE:<br>• Perfil HEB, perfil base.<br>• Perfil HEA, más ligero que el HEB.<br>• Perfil HEM, más pesado que el HEB.<br><br>Estos perfiles se designarán por las letras HEB, HEA o HEM seguidas de un número que indique la altura (h) del perfil base HEB, expresada en milímetros. |  <br>Perfil HEB<br>  <br>Perfil HEA<br>  <br>Perfil HEM |
| Redondo (Rd) | Se denomina diámetro nominal al número convencional respecto al cual se establecen las tolerancias.<br><br>Se denomina diámetro real al obtenido como media de las medidas de dos diámetros a 90° en una misma sección.<br><br>Un redondo se designa por la palabra redondo seguida del diámetro (e). La palabra redondo puede sustituirse por sus formas simplificadas Rd ó Ø. |  |

| Nombre | Característica | Gráfico |
|---|---|---|
| Cuadrado (Cd) | Se denomina cuadrado al producto suministrado en forma recta cuya sección recta trasversal constante es cuadrada.<br>Un cuadrado se designa por la palabra cuadrado seguida del lado (e), expresado en milímetros. La palabra cuadrado puede sustituirse por el símbolo Cd. |  |
| Rectangular (Rc) | Se denomina rectangular al producto suministrado en forma recta, cuya sección recta transversal constante es rectangular.<br>Una barra rectangular se designa por la palabra rectangular o el símbolo Rc seguido de las dimensiones (b) y (e) |  |

**Perfiles Armados**: Se denominan perfiles armados a aquellas vigas y/o columnas que se construyen uniendo placas metálicas mediante soldadura, ilustrado en la Fig.1.6

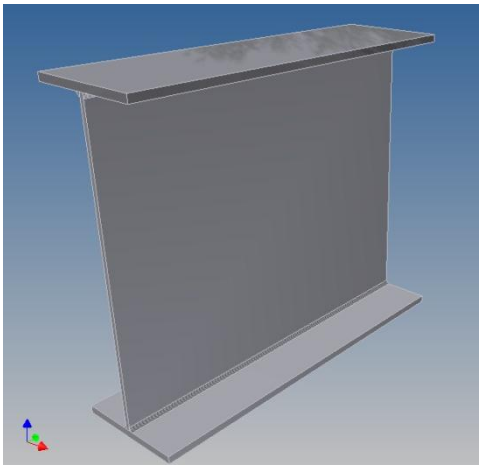


Figura 1.6: Perfil de sección armada o compuesta

## 1.5 VIGAS

Las vigas son miembros que soportan cargas perpendiculares a su eje y trabajan principalmente a flexión.

Entre los muchos tipos de vigas cabe mencionar las siguientes: viguetas, dinteles, vigas de fachada, largueros de puente y vigas de piso. Las *viguetas* son vigas estrechamente dispuestas para soportar los pisos y techos de edificios; los *dinteles* se colocan sobre aberturas en muros de mampostería como puertas y ventanas. Las *vigas de fachada* soportan las paredes exteriores de edificios y también parte de las cargas de los pisos y corredores. Se considera que la capacidad de las vigas de acero para soportar muros de mampostería (junto con la invención de los elevadores) como parte de un marco estructural, permitió la construcción de los rascacielos actuales. Los *largueros* de puente son las vigas en los pisos de puentes que corren paralelas a la superficie de rodamiento, en tanto que las vigas de piso son las vigas que en muchos pisos de puentes corren perpendicularmente a la superficie de rodamiento y se usan para transferir las cargas de piso de los largueros de puente a las trabes o armaduras sustentantes.[11]

### 1.5.1 CLASIFICACIÓN DE LAS VIGAS POR SU FABRICACIÓN

#### 1.5.1.1 VIGAS LAMINADAS EN CALIENTE

Son elaboradas de una sola pieza, que se obtienen por laminación de tochos o palanquillas provenientes del proceso de colada continua.

Los perfiles laminados en caliente facilitan la solución de las conexiones y uniformidad estructural por no presentar soldaduras, costuras e inclusive un bajo nivel de tensiones residuales localizadas.

Estos tipos de perfiles pueden ser laminados con alas paralelas (series I), que siguen la norma ASTM A6/A6M, con nomenclatura de la serie americana WF (wide flange); o perfiles laminados normales de alas inclinadas, cuyas secciones pueden ser en I (doble te), tal como se muestran en la Figura 1.7

[11] McCORMAC, Jack, Op. Cit. p.178.

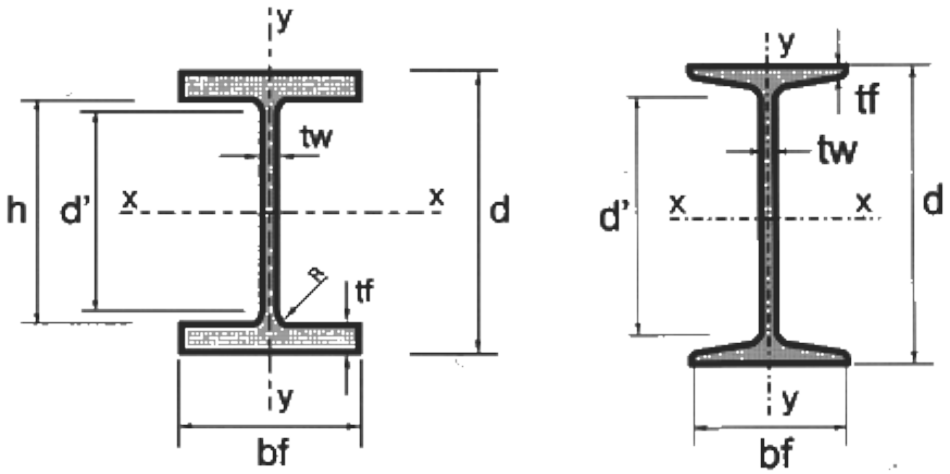



Figura 1.7: Perfiles laminados en caliente

### 1.5.1.2 VIGAS DE ALMA LLENA SOLDADAS

Se fabrican mediante el corte, la composición y soldadura de chapas planas de acero, ver Fig. 1.8, la ventaja que tiene este tipo de perfil es que se adecua perfectamente a los requerimientos de diseño de acuerdo al análisis estructural que se realiza, lo que permite obtener una gran variedad de formas y dimensiones de secciones.

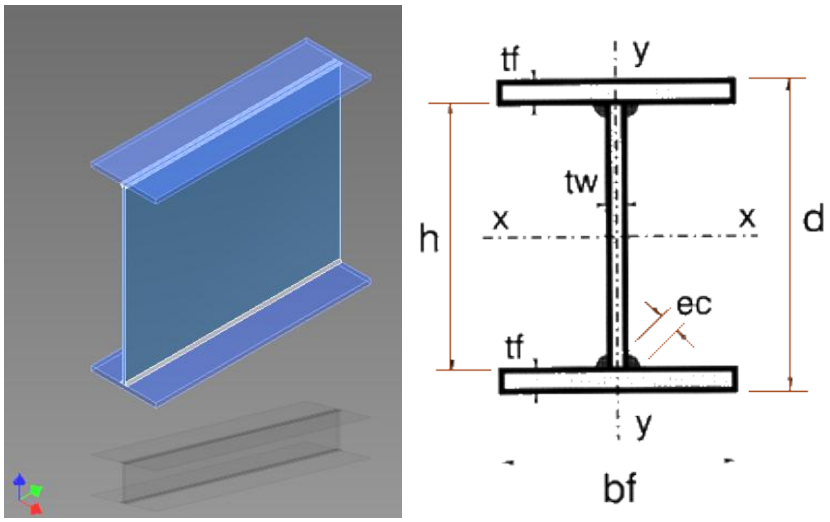



Figura 1.8: Perfiles soldados

Se tiene dos láminas metálicas que tienen dos dimensiones pequeñas en relación con la tercera, construidas para resistir la flexión y el esfuerzo cortante bajo la acción de cargas generalmente perpendiculares a su directriz, a estas se denominan vigas. Los patines están unidos por una pared llena, designada con el nombre de alma.

Las vigas soldadas, durante los últimos años, han anulado casi por completo a las vigas remachadas, siendo aquellas las más utilizadas en la actualidad, dado que han mejorado los electrodos y perfeccionados los diferentes procesos de soldadura.

Los diseños estructurales modernos y estilizados conservan espacios libres con luces grandes con cargas solicitadas importantes, ponen a prueba la capacidad de momento, la rigidez, o en ocasiones, capacidad del alma al corte; como primera solución se designa perfiles laminados que presentan ciertos límites de fabricación y no alcanzan a las características mecánicas necesarias, debido a que no se puede obtener en un haz de laminación, se debe recurrir necesariamente a las vigas de sección armada tipo "I".

En las vigas armadas (Fig.1.9), se puede dar una mejor utilización del acero que en las vigas laminadas. Esto obedece a que tienen un alma de espesor más reducido y además, sus alas (que son las piezas principales) poseen un brazo mecánico alto capaz de admitir los momentos flectores.[12]

La competencia de proveedores de acero a nivel global, hacen de ello plantas flexibles, donde la materia prima es cortada a los anchos requeridos por el cliente, de la misma forma si la materia prima fue importada como bobina, cortan a largos específicos que el cliente requiera.

El ancho de la plancha en el mercado varía comúnmente entre 1220 mm hasta 2500mm y el largo desde 2440 mm hasta 12000 mm; siendo los espesores más comunes: 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20, 25 y 30 mm, que mediante corte con plasma a los anchos requeridos, se obtiene las láminas metálicas para patines y almas.

Las soldaduras alma-patín son soldaduras de filete, se utiliza soldadura con la máxima eficacia y lo suficientemente largo como para justificar el uso de equipos de soldadura automática. "Para soldaduras relativamente pequeñas, tales como 6mm o filetes de 8 mm, una viga puede ser colocado con el alma horizontal para permitir la soldadura de los dos flejes al mismo tiempo. La viga se da la vuelta, y se suelda en el otro lado.

[12] GOMEZ, Narciso, *Construcciones Metálicas*, p.6

Cuando se requiere depositar cantidad importante de soldaduras de filete, la viga dispone a un ángulo de 45° para permitir una soldadura que se depositará en la posición plana. En cualquiera de los métodos, las soldaduras alma-patín se hacen con máquinas de soldadura automáticas que producen uniones de buena calidad a una alta tasa de deposición. Por esta razón, los fabricantes prefieren usar soldaduras de filete continuo en lugar de soldaduras intermitentes, aunque puede satisfacer los requisitos de diseño"[13]

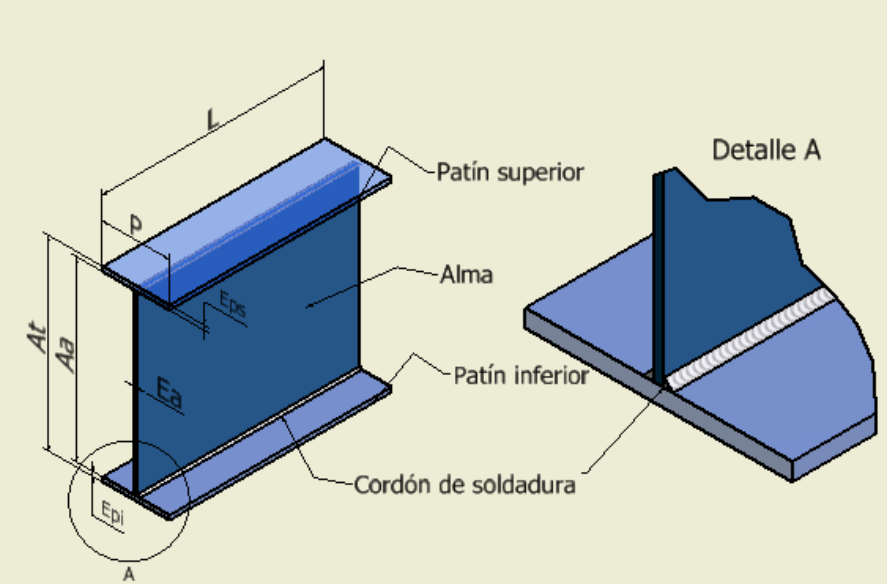



Figura 1.9: Partes de una viga I soldada

**Nomenclatura:**

P: Patín
Aa: Ancho de alma
L: Longitud
At: Altura total de la Viga
Ea: Espesor de alma
Eps: Espesor de patín superior
Epi: Espesor de patín inferior

[13]BROCKENBROUGH, Roger, Op. Cit. p.2.13

## 1.6 PROCESOS PARA LA FABRICACIÓN DE LAS VIGAS TIPO “I”

Para la fabricación de las vigas de sección armada tipo “I” de modo artesanal, se describen los procesos productivos a continuación:

**Almacenamiento de materia prima**

Se solicita al proveedor que proporcione las láminas metálicas de acero cortado de acuerdo a los diferentes anchos de patines, almas en espesores de 4, 6, 8 y 12 mm y una longitud de 6 m a 12 m.

**Preparación del material**

Se realiza básicamente operaciones de trazado y corte transversal de acuerdo a las necesidades.

**Armado de vigas**

El armado de vigas consiste en dos etapas claramente diferenciadas, la primera es el punteado de patines y almas, y la segunda, en el remate o soldadura propiamente dicha.

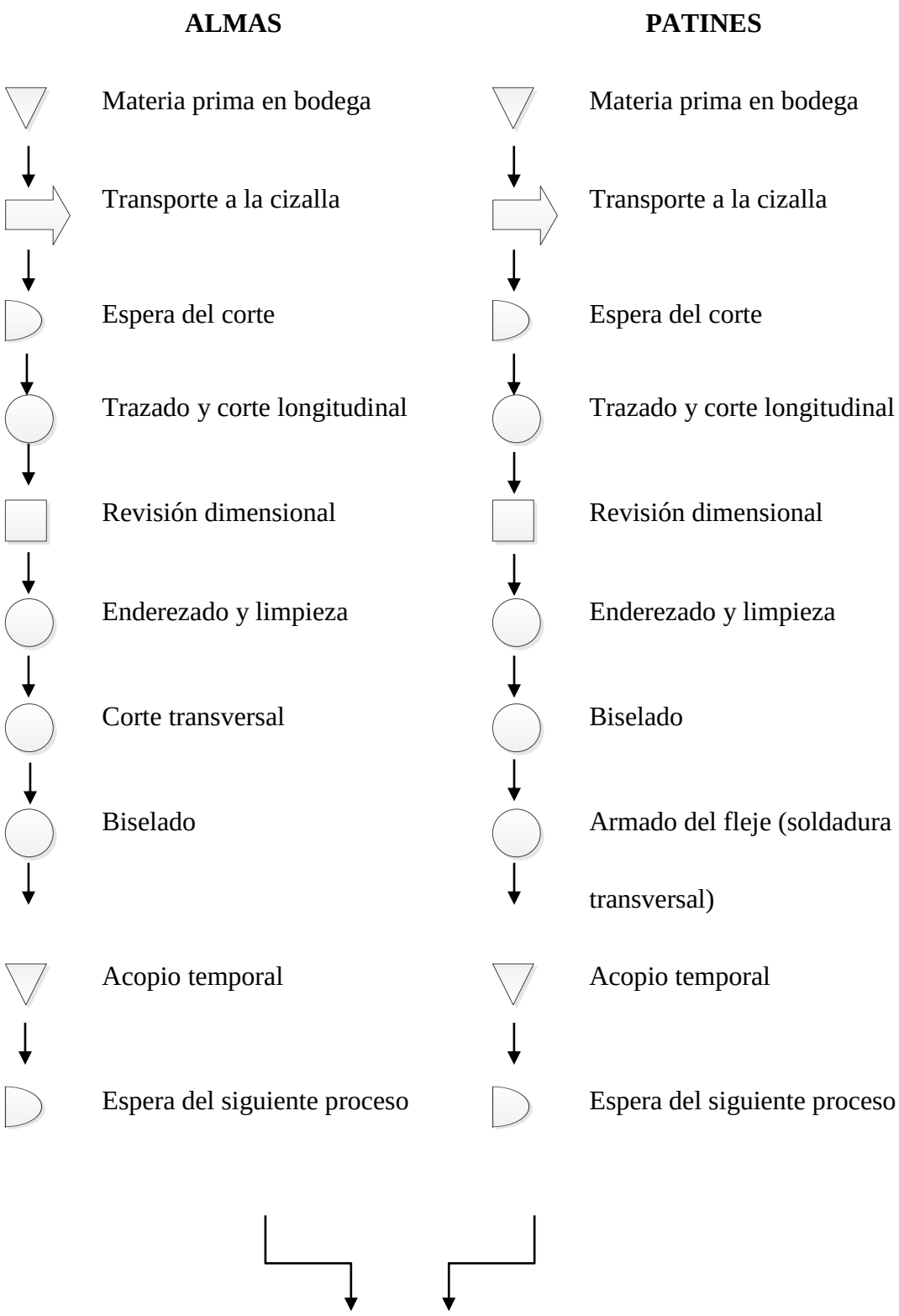
**Punteado patín-alma**

Es una actividad plenamente manual, se realiza el trazado en el centro y a lo largo del patín; se procede al punteado del alma colocándola a tope en la mitad del patín, los puntos de soldadura se realizan cada 200 mm con electrodo E6011x1/8”, se colocan varillas de refuerzo para darle perpendicularidad al alma.

**Soldadura**

Se realiza la soldadura de filete intermitente y/o continúa en ambos lados del alma, se utilizan varios electrodos como E6011 de 1/8” y 5/32” mm de diámetro dependiendo del espesor a soldar; también se utiliza soldadura GMAW, FCAW con $CO_2$ como gas de protección, con alambre sólido o tubular.

El proceso de fabricación es representado en un diagrama de flujo según la norma ASME en la figura 1.10, a continuación:



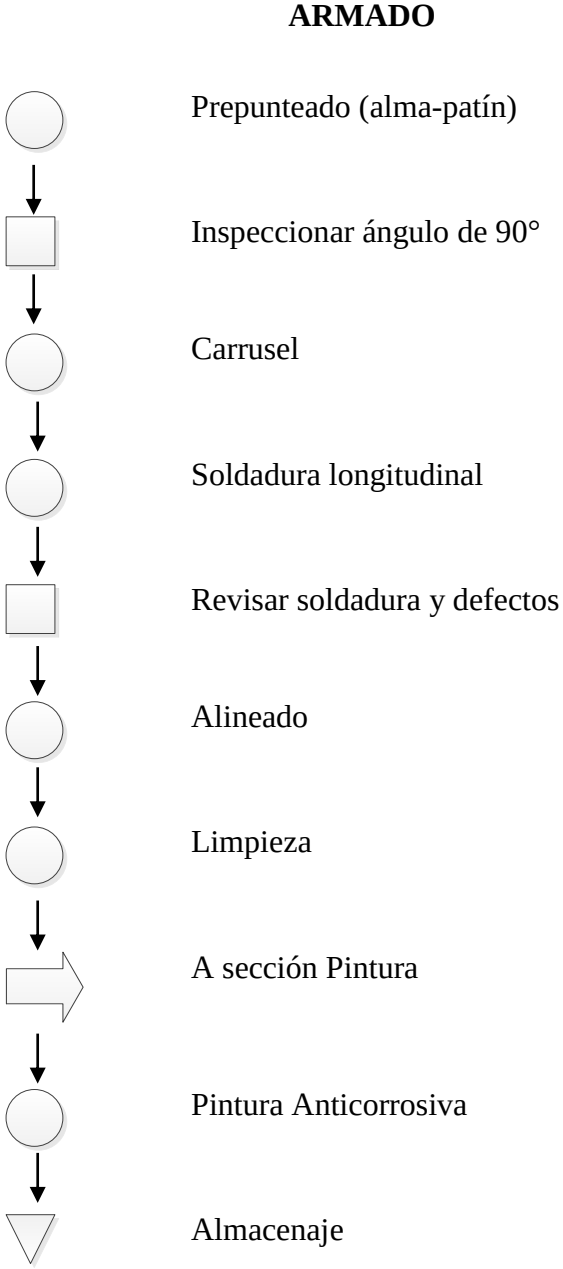



Figura 1.10: Diagrama de flujo para la fabricación de vigas de sección armada tipo "I" de manera artesanal

### 1.6.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE VIGAS TIPO "I" SOLDADAS

#### 1.6.1.1 VENTAJAS

- Optimización en el uso del material.
- Grandes posibilidades de encontrar soluciones adecuadas cuando se cambia o renueva estructuras existentes.
- Total libertad en el diseño para alcanzar áreas con grandes luces, con un ahorro del 30% en costos de cimentación.
- Se emplean cuando se requiere un área o rigidez que no poseen los perfiles laminados en caliente.
- Se puede aprovechar muy bien el material, ya que las secciones pueden irse adaptando a sus correspondientes solicitaciones. Consecuentemente, ofrecen con respecto a los perfiles laminados la ventaja de ahorrar peso.
- La gran resistencia estructural y las formas esbeltas y estilizadas permiten construcciones ligeras de gran alcance.
- Ideal para utilizar como losa colaborante.

#### 1.6.1.2 DESVENTAJAS

- Se necesita mantenimiento para prevenir la corrosión.
- Presentan susceptibilidad al fuego.
- Requiere más mano de obra para fabricar la sección tipo “I”

## 1.7 DISTORSIONES PRODUCIDAS POR LA SOLDADURA

Durante el proceso de soldadura el calentamiento y el enfriamiento en el metal de aporte y metal base adyacente a la soldadura no son uniformes, los cuales causan complejas deformaciones térmicas llamadas distorsiones.

Durante tal ciclo, muchos factores que afectan para la contracción del metal son difíciles de establecer predicciones exactas de la distorsión; las propiedades físicas y mecánicas sobre los cuales los cálculos deben basarse, cambian a medida que el calor es aplicado, de tal forma que a medida que la temperatura aumenta por el depósito de soldadura, el área, límite elástico, módulo de elasticidad y la

conductividad térmica de la placa de acero disminuye, mientras que el coeficiente de expansión térmica y el calor específico aumenta.

Los esfuerzos resultantes de las deformaciones producen fuerzas internas causando contracción del material, lo que se conoce como distorsión de los elementos soldados, es decir, modificaciones en la geometría de los elementos.

### 1.7.1 ESFUERZOS RESIDUALES EN SECCIONES COMPUESTAS[14]

Se desarrollan esfuerzos residuales en las secciones compuestas soldadas como resultado del calor localizado durante la operación de soldadura y las deformaciones plásticas resultantes (ver Figura 1.11).

La distribución de esfuerzos en una sección transversal soldada es bastante diferente que la inducida en un perfil laminado análogo debido al enfriamiento.

Los perfiles tipo "I" soldados, por lo general, tienen esfuerzos residuales de compresión elevados en los extremos del patín, y en la proximidad de la soldadura hay esfuerzos residuales de tensión que se pueden acercar al esfuerzo de fluencia del material sin considerar el tipo de acero.

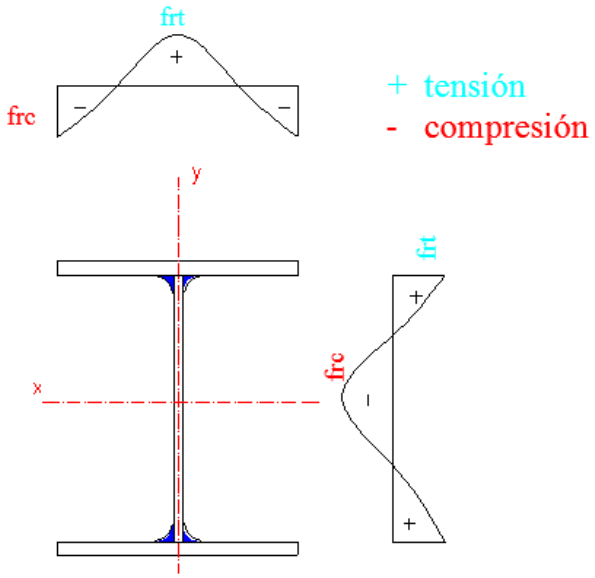



Figura 1.11: Patrón de esfuerzo residual de sección armada tipo I soldada

frt= Esfuerzo residual a tensión; frc= Esfuerzo residual a compresión

[14] VINNAKOTA, Sriramulu. Op. Cit. p.42.

### 1.7.2 DISTORSIÓN ANGULAR DE UNA JUNTA A FILETE

En este tipo de distorsión las fórmulas no son muy exactas para calcular la cantidad de distorsión angular causada por soldadura a filete debido a las muchas variables y las complicadas condiciones. Sin embargo, algunas ecuaciones desarrolladas bajo condiciones particulares como la ecuación 1.2 permiten determinar aproximadamente la distorsión de los elementos soldados.

La distorsión angular varía directamente con el ancho del patín W, el tamaño de la soldadura $\omega$ y el espesor del patín t (Ver fig. 1.12)

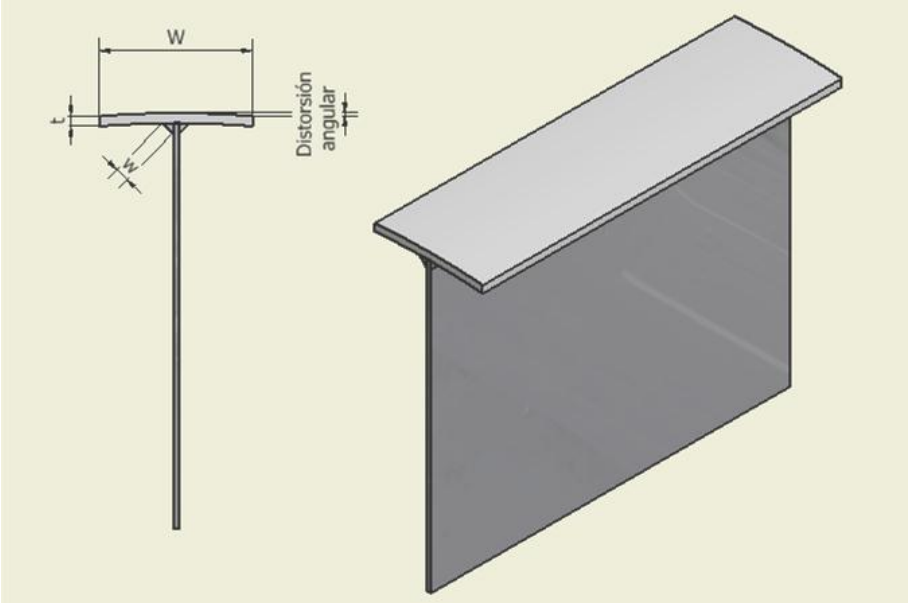



Figura 1.12: Distorsión angular de sección armada tipo "I" soldada

Para valores de $\omega^{1.3}$ (ver Anexo 1.1)

$$Distorsión\ angular = \frac{0.02W\omega^{1.3}}{t^2}(\text{plg}) \qquad (Ecuación\ 1.2)$$

Donde:

W= Ancho del patín [plg]

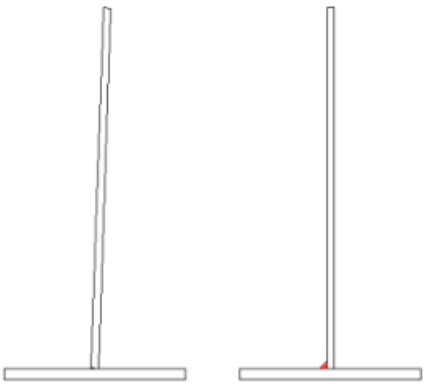
ω= Tamaño del filete [plg]

t = Espesor del patín [plg]

### 1.7.3 CONTROL DE DISTORSIÓN[15]

Para prevenir o minimizar la distorsión de soldadura, los métodos se deben utilizar tanto en el diseño y durante la soldadura para superar los efectos del ciclo de calentamiento y enfriamiento; la contracción no se puede prevenir, pero se puede controlar. Varias maneras para minimizar la distorsión causada por la contracción son analizadas, entre ellas se tiene:

- Reducir al mínimo la entrada de calor y maximizar la eficiencia de fusión, es decir, altas tasas de deposición y mayor velocidad de avance.
- Recurrir a los tamaños mínimos de soldadura, para minimizar la distorsión y ahorrar metal de soldadura y el tiempo, cabe recalcar que el exceso de metal de soldadura en un grado muy convexo no aumenta la fuerza de trabajo admisible, pero sí aumenta las fuerzas de contracción.
- Anticiparse a las fuerzas de contracción, de tal forma que en el trabajo constructivo deformar como la Fig.1.13 (a), conociendo los efectos del ciclo de calentamiento y enfriamiento produce una sección perpendicular, ver Fig. 1.13 (b)



(a) (b)

Figura 1.13: Filete (a) antes de soldar (b) después de soldar

El uso de soldadura intermitente es otra forma de reducir al mínimo el metal de soldadura en lugar de soldadura continua siempre que sea posible, como en la

[15] LINCOL, Electric, *The Procedure handbook of Arc Welding*, $13^{ra}$. Edición, Editorial Lincoln Electric, Ohio 1995, p. 3.1-5

Figura 1.14, también es importante planificar una secuencia de soldadura bien planificada que implica la colocación de metal de soldadura en diferentes puntos del ensamble, como la estructura se contrae en un solo lugar, se contrarresta las fuerzas de la contracción de la soldadura ya realizada, es decir la contracción en el número 1 de soldadura es equilibrada por la reducción en el número de soldadura 2.

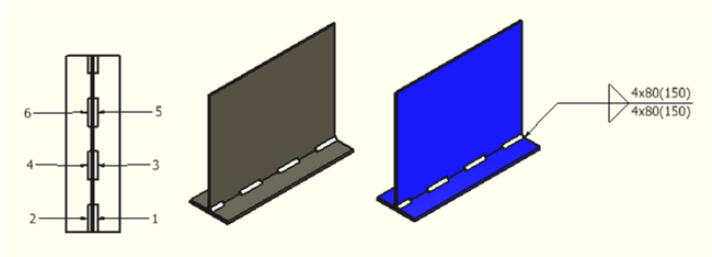



Figura 1.14: Soldadura intermitente

### 1.7.4 TOLERANCIAS DE FABRICACIÓN

Las vigas de sección armada soldadas, obtenidas con procesos de producción semiautomáticos o manuales entregadas al mercado cumplen parámetros de aceptación que se ajustan a las normas internacionales, para establecer las debidas variaciones de dimensiones tanto en la sección como en la longitud de la viga tipo "I" soldada.

Las vigas serán fabricadas a partir de láminas de acero para espesores mayores o iguales a 4mm

**Tolerancias para la sección transversal:** En esto se ve involucrado el parámetro de tolerancias, tanto el peralte como en el ancho del patín admisible según la norma ASTM A-6/A-6M, (ver Anexo 1.2)

Para estos aspectos la empresa Kubiec-Conduit S.A.; ha tomado la norma ASTM A-6/A-6M tabla 1.16 y la ASTM A-6/A-6M Tabla A1.1 para espesores de alma y patín, ha resumido en sus datos técnicos, (ver Anexo 1.3)

**Tolerancias para inclinación o alabeo de patines:** Según la norma AWS D1.1 2002 de la sección C del Párrafo 5.23.8, la norma expresa cuales son los requerimientos mínimos de distorsión por soldadura a deformarse admisiblemente.

# CAPÍTULO II

## 2. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

### INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se abordará en forma general algunas alternativas para conformar las vigas de sección armada tipo "I", realizando un análisis minucioso de las vigas de mayor demanda siendo el punto de partida para establecer el dimensionamiento, estética, seguridad y ergonomía en el diseño de la máquina, tomando en cuenta las especificaciones técnicas de soldadura y elegir el proceso de soldadura más adecuado, haciendo uso de la norma AWS D1.1 (*American Welding Society* ) código de soldaduras para estructuras de acero.

De la alternativa seleccionada se presentará una breve descripción indicando sus características, funcionamiento, etc.

## 2.1. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO

Las vigas de sección armada tipo “I” tienen una gran aceptación en la industria de la construcción a nivel nacional debido a su gran versatilidad, el peso por metro es menor al de hormigón; la posibilidad de prefabricarlos en taller; la rapidez de montaje; facilidad de ampliaciones; disminución en un 30% los costos de cimentaciones, orden y limpieza en las obras, entre otras.

Las vigas son realizadas a partir de láminas de acero, actualmente el Ecuador cuenta con proveedores que despachan flejes a medida en rangos mostrados en la Tabla 2.1. Además ver Anexo 2.1 (tolerancias para cortes de flejes y placas).

**Tabla 2.1: Rangos mínimos de corte**

| **Proceso de Corte** | **Espesores (mm)** | **Ancho (mm)** | **Longitud (mm)** |
|---|---|---|---|
| Cizalla | 3 - 12 | >100 | ≤ 6000 |
| Oxicorte | ≥ 8 | >120 | ≤ 12000 |

Fuente: Kubiec-Conduit, *Agenda técnica*, 2010

Los diseños estructurales en los que son involucradas las vigas de sección armada tipo "I" exigen que el proceso productivo sea eficiente, rápido y que se trabaje secciones variando peraltes y espesores de láminas para patines y almas.

La industria ecuatoriana dedicada a la construcción ensambla vigas manualmente ocasionando un elevado costo de producción; ahora se ve imprescindible disponer de un equipo semiautomático para ensamblar y depositar cordones de alta calidad en los filetes, promoviendo un aumento significativo en la producción de este producto en un menor tiempo posible.

## 2.2 PARÁMETROS DE DISEÑO

Los parámetros de diseño se encuentran acorde a las dimensiones de las vigas tipo "I" de mayor demanda en el mercado, que mantienen un alto índice de producción, para este efecto los peraltes entre 200 a 400 mm; son las vigas comúnmente diseñadas por los Ingenieros, por lo tanto se asume el cuadro mostrado en la tabla 2.2

**Tabla 2.2: Vigas de sección armada a diseñar**

| Peralte At (mm) | Ancho del patín P (mm) | Espesor del alma Ea (mm) | Espesor del patín Ep (mm) | Sección transversal A ($cm^2$) | Peso (kg/m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 200 | 100 | 4 | 6 | 20,00 | 15,70 |
| 200 | 150 | 5 | 8 | 34,00 | 26,69 |
| 250 | 100 | 4 | 6 | 21,52 | 16,89 |
| 250 | 150 | 4 | 8 | 33,36 | 26,19 |
| 250 | 200 | 5 | 8 | 43,70 | 34,30 |
| 300 | 100 | 4 | 8 | 27,36 | 21,48 |
| 300 | 150 | 5 | 8 | 38,2 | 29,99 |
| 300 | 200 | 5 | 10 | 54,00 | 42.39 |
| 350 | 100 | 5 | 8 | 32,7 | 25,67 |
| 350 | 150 | 5 | 10 | 46,5 | 36,50 |
| 350 | 200 | 6 | 10 | 59,80 | 46,94 |
| 400 | 150 | 4 | 8 | 39,36 | 30,90 |
| 400 | 200 | 5 | 8 | 51,20 | 40,19 |

Fuente: Kubiec-Conduit, *Agenda técnica*, 2010

La denominación de la tabla 2.2, está en la figura 2.1

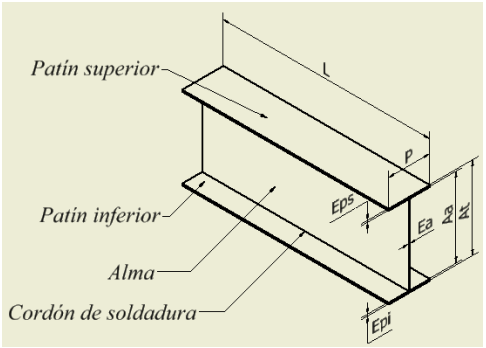



Figura 2.1: Denominación de una viga "I"

## 2.3 PARÁMETROS FUNCIONALES

Para realizar el diseño se debe establecer los parámetros funcionales en que la máquina va a operar, estos se determinan de acuerdo a las necesidades de fabricación.

Entre los destacados requerimientos funcionales se establece lo siguiente:

- Las dimensiones de la máquina no debe superar los 2 metros de largo, 2 metros de ancho y 2 metros de altura con el propósito de que ocupe el menor espacio físico.
- La conformadora de vigas "I" debe trabajar de forma semiautomática.
- Se debe seleccionar un transportador de rodillos para soportar y guiar al elemento estructural.
- Los mecanismos a diseñarse deben ser sencillos.
- La calibración de la máquina debe ser simple.
- El funcionamiento de la máquina debe ser realizada por el menor número de personas posibles.
- El proceso de conformado debe ser realizado en el menor tiempo posible.
- La máquina debe ser de fácil operación, montaje, desmontaje y que el mantenimiento de las partes pueda realizarse con comodidad y rapidez.
- La máquina debe ensamblar vigas tipo I de dimensiones indicadas en la Tabla 2.2.
- El procedimiento de soldadura depositará cordones en los filetes de las vigas.
- Para la parte operativa, se deberá evaluar entre la tecnología neumática o tecnología hidráulica, para que los actuadores se adapten al peralte de las vigas y centren el alma al patín.
- La lógica de programación debe ser sencilla, segura y con protecciones bien dimensionadas para precautelar los equipos electrónicos.
- La parte de Mando debe ser por tecnología programada, PLC (Controlador Lógico programable) por ser el centro del sistema y ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes del sistema automatizado.

## 2.4 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

### 2.4.1 ALTERNATIVA 1.- Conformadora de vigas tipo "I" con pórtico.

Los principales componentes de esta alternativa son los siguientes:

- Mesa fija donde se arma la viga.

- Prensas hidráulicas colocadas a cierta distancia para sujetar la viga armada de forma longitudinal.

- Doble riel por donde se desplaza el pórtico, con las antorchas y el equipo de soldadura.

- Sistema estructural donde se regula el alto de las antorchas dependiendo de la viga a fabricarse.

El principio de funcionamiento de esta alternativa para producir el armado de la sección tipo "I", debe seguir una secuencia establecida, por tal razón es colocado el patín previamente enderezados y recortados a la longitud requerida al espaldar de la guía longitudinal de mayor peralte, que tiene la finalidad no solo de ser guía del pórtico, también hace de base para absorber los choques producto del armado de la sección, seguidamente por medio de rodillos internos se regula la altura del alma; posteriormente entra en funcionamiento prensas hidráulicas que aproximan al patín y es ajustado, para esto las prensas hidráulicas están distribuidas a lo largo de la mesa, en ellas se realiza el ajuste del alma con los patines en toda la longitud de la viga. Ver Figura 2.2.

Las rieles van paralelas a la mesa, una a cada costado y sirven para que se desplace el pórtico a lo largo de la mesa.

En el pórtico va todo el proceso de soldadura, con dos antorchas las mismas que se regulan de forma transversal y vertical dependiendo de las especificaciones de la viga a soldar. El avance del pórtico se da por medio de un motor DC, el cual está conectado a un reductor y a un variador de velocidad, que establece el avance de acuerdo a variables como velocidad de alimentación de alambre, distancia entre la antorcha y el metal base, voltaje, amperaje propios del proceso FCAW.

El parte de Mando se hace por medio de un PLC que gobierna el sistema, para esto se procede regulando el avance del pórtico, el ajuste de las prensas hidráulicas ó neumáticas y la altura de los rodillos internos posicionadores del alma.

El proceso en si consta de tres operaciones. La primera en la que se centra, se coloca y se ajusta el alma con los patines de la viga, la segunda en la que se realiza el proceso de soldadura y la tercera en la que se girar la viga 180° para realizar la soldadura en la cara contraria.

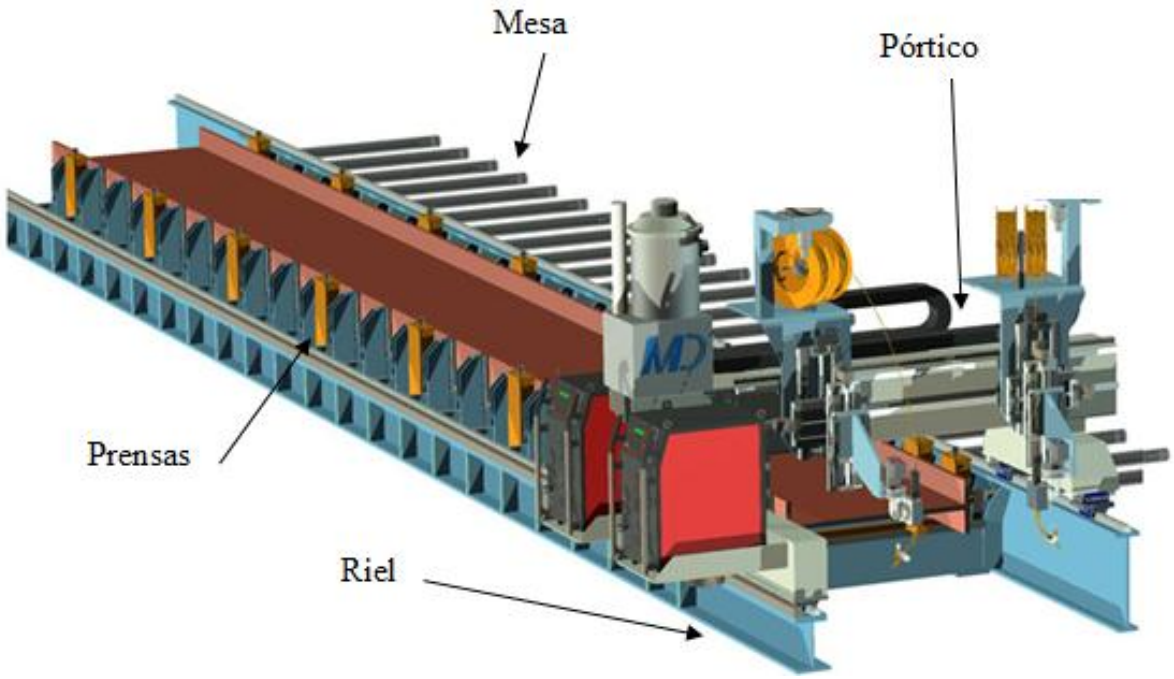



Figura 2.2: Conformadora de vigas tipo “I” con pórtico

#### 2.4.1.1 Ventajas

- La sujeción de la viga se hace de manera independiente permitiendo un libre desplazamiento del pórtico, sin realizar un esfuerzo adicional.

- La calibración es rápida y sencilla.

#### 2.4.1.2 Desventajas

- El pórtico se desplaza a lo largo de la mesa por tanto se debe asignar un espacio grande a la máquina y el sistema de control debe estar lo suficientemente separado para no obstruir en su funcionamiento.

- Gran parte del sistema de soldadura va en el pórtico, añadiendo peso a este.

- Requiere mayor tiempo en mantenimiento.

### 2.4.2 ALTERNATIVA 2.- Conformadora de vigas tipo "I" con rodillos conformadores.

Los componentes característicos de esta alternativa son los siguientes, ver Figura 2.3

- Transportador de rodillos para nivelar y ubicar la sección "I" en el ingreso a la máquina y a la salida cuando ya es ensamblado y soldado.
- Dos pares de rodillos internos guiados en una caja de conformado que se ajustan al peralte de la viga (tabla 2.2), mediante dos cilindros hidráulicos ó neumáticos, para trabajar en rangos de 200 a 400mm.
- Avance de la viga por accionamiento de un motorreductor y variador de velocidad para obtener avances de acuerdo a variables como: espesores de los patines y del alma, voltaje, amperaje, velocidad de alimentación de alambre.
- Pistones hidráulicos que acercan ejes macizos que se disponen al ancho del patín tanto superior como inferior, colocados a cierta distancia para sujetar la viga armada de forma longitudinalmente.
- Rodillos posicionadores del alma y seguidor para el centrado del alma al patín, además guiará a toda la longitud del alma para su correcta ubicación frente a la antorcha de alambre tubular.
- Estructura externa donde se regula el alto de las toberas dependiendo de la viga.
- Proceso de soldadura FCAW; depósito de cordones de forma simultánea.

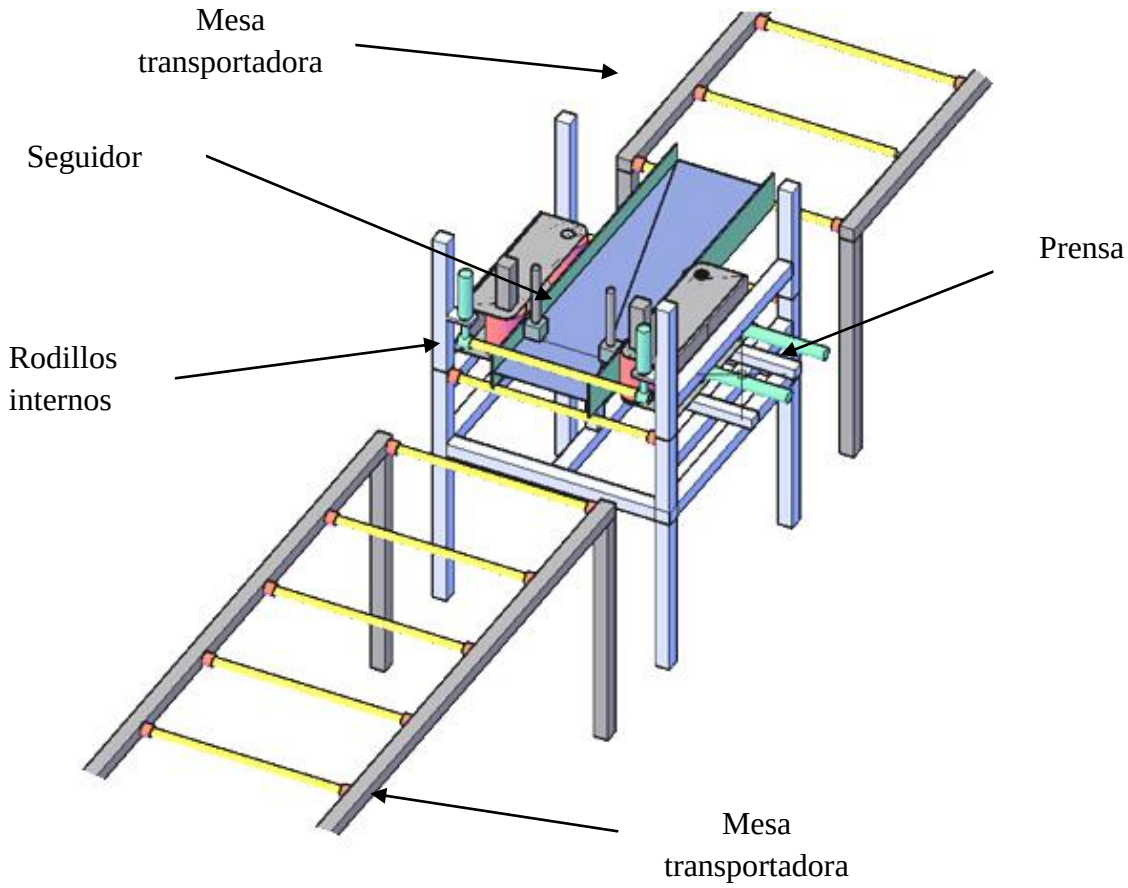



Figura 2.3: Conformadora de vigas tipo “I” con rodillos

#### 2.4.2.1 Principio de Funcionamiento

La viga debe estar previamente punteada y centrada en un extremo, por medio de los rodillos internos se regula la altura del alma, posteriormente entra en funcionamiento dos prensas hidráulicas, con las cuales se realiza el ajuste del alma con los patines en la sección donde se va a realizar la soldadura.

En la soldadura, las dos antorchas se regulan de forma transversal y vertical dependiendo de las especificaciones. El avance de la viga se da por medio de dos rodillos que van conectados al motorreductor.

El control de la máquina se hace atreves de un PLC; con este se regula el avance de los rodillos y el ajuste de las prensas hidráulicas.

El proceso en si consta de tres operaciones. La primera en la que se centra, se coloca y se ajusta el alma con los patines de la viga, la segunda en la que se realiza el proceso de soldadura y la tercera se hace girar la viga 180° para realizar la soldadura en la cara contraria.

#### 2.4.2.2 VENTAJAS

- El proceso de armado y el depósito de cordones de soldadura de filete se lo hace simultáneamente.
- La viga a ser conformada en la máquina tiene la libertad de trabajar longitudes grandes, sin embargo se limita a trabajar longitudes de 2.4 m a 12 m.
- Los componentes de la máquina son de fácil adquisición.
- La máquina tiene la participación activa de un operario calificado, y un ayudante.
- Menor riesgo para el operario de un posible accidente, por la seguridad electrónica y parada de emergencia que dispone la máquina.
- La parte de mando es gobernada por PLC, para que se comunique con los actuadores ya sean neumáticos o hidráulicos, con los variadores de velocidad y el gatillaje del alimentador del proceso de soldadura.

#### 2.4.2.3 DESVENTAJAS

- La máquina deberá tener necesariamente dos transportadores de rodillos de 12m a la entrada y a la salida de la viga, que servirán de soporte y guiado para un correcto funcionamiento.
- Requiere ser unida la sección mediante puntos de soldadura antes de ingresar a la máquina, pues la misma se encarga de armar conforme este avanza por la transmisión mecánica que arrastra la sección y es fijada por el cordón de soldadura total.
- Cuando la viga es terminada por un lado, esta requiere de puente grúa para virar las vigas 180° y proceder a encarrilarla a la conformadora y seguidamente proceder con la soldadura.

- No tiene dispositivo de limpieza mecánica que retire la escoria de protección del cordón, por lo que la limpieza mecánica será manual.

## 2.5 CRITERIOS DE PONDERACIÓN

Los factores de mayor importancia en la selección de la alternativa son los siguientes:

- **Costo.-** Es un parámetro determinante, ya que involucra no solo el costo inicial de la máquina (materiales, accesorios, manufactura, y tecnología), sino también los costos de operación y mantenimiento.

- **Facilidad de manufactura.-** Un diseño sencillo ayuda a una fácil construcción, por lo que los elementos no deben ser complicados en el momento de su manufactura, con materiales disponibles en el mercado y componentes de fácil compra.

- **Fácil calibración.-** Una fácil calibración ayuda a sincronizar y alinear tanto los elementos mecánicos como los dispositivos eléctricos y electrónicos de una manera simple, evitando posibles fallas de operación o imperfecciones en el conformado de las vigas.

- **Facilidad de operación.-** El operario debe ser capaz de maniobrar la máquina facilmente sin confusiones y de una manera ergonómica que de las comodidades necesarias al operario.

- **Mantenimiento.-** En este factor se determina el tipo de mantenimiento, dando lugar a la implementación de la filosofía del TPM (Mantenimiento total productivo) ya que un mejor mantenimiento alarga la vida útil del equipo.

### 2.5.1 VALORACIÓN DE PARÁMETROS

En las alternativas presentadas intervienen diversos aspectos, de manera que se deben establecer prioridades, por lo que se aplicó el "método de criterios ponderados", el cual se basa en tablas donde cada criterio se confronta con los restantes y se asignan valores de 1 si el criterio de las filas es superior que el de las columnas, 0.5 si el criterio de las filas es equivalente al criterio de las columnas y 0 si el criterio de las filas es inferior que el de las columnas.

En la tabla 2.3 se asignan valores según la prioridad más relevante para luego ponderarlos; analizando los resultados de la tabla, se observa que la variable relevante es la "Operación" con 0.27; por tratarse de un trabajo pesado es conveniente que la máquina brinde facilidad de operación y por ende seguridad al Operario y al personal que alrededor del mismo labora, es pertinente no escatimar esfuerzos en dar capacitación en seguridad industrial y tener un área señalizada.

**Tabla 2.3: Valoración de parámetros para la selección de alternativas**

| Parámetro | Costo | Manufactura | Operación | Mantenimiento | Calibración | Σ + 1 | Ponderación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Costo** | | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 1,5 | 0,10 |
| **Manufactura** | 0,5 | | 1 | 0 | 0,5 | 3 | 0,20 |
| **Operación** | 1 | 0 | | 1 | 1 | 4 | 0,27 |
| **Mantenimiento** | 1 | 1 | 0 | | 0,5 | 3,5 | 0,23 |
| **Calibración** | 1 | 0,5 | 0 | 0,5 | | 3 | 0,20 |
| | | | | | Suma | 15 | 1,00 |

### 2.5.2 EVALUACIÓN DE LA ALTERNATIVA PARA CADA CRITERIO

En las tablas 2.4; 2.5; 2.6; 2.7 y 2.8 se evalúan los parámetros, haciendo una comparación entre los sistemas de la alternativa 1: de rodillos y alternativa 2: pórtico asignando valores de la manera anteriormente mencionada.

**Tabla 2.4: Evaluación del parámetro costo**

| Costo | Rodillos | Pórtico | Σ + 1 | Ponderación |
|---|---|---|---|---|
| **Rodillos** | | 1 | 2 | 0,67 |
| **Pórtico** | 0 | | 1 | 0,33 |
| | | Suma | 3 | 1,00 |

**Tabla 2.5: Evaluación del parámetro manufactura**

| Manufactura | Rodillos | Pórtico | Σ + 1 | Ponderación |
|---|---|---|---|---|
| **Rodillos** | | 1 | 2 | 0,67 |
| **Pórtico** | 0 | | 1 | 0,33 |
| | | Suma | 3 | 1,00 |

**Tabla 2.6: Evaluación del parámetro operación**

| Operación | Rodillos | Pórtico | Σ + 1 | Ponderación |
|---|---|---|---|---|
| **Rodillos** | | 1 | 2 | 0,67 |
| **Pórtico** | 0 | | 1 | 0,33 |
| | | Suma | 3 | 1,00 |

**Tabla 2.7: Evaluación del parámetro mantenimiento**

| Mantenimiento | Rodillos | Pórtico | Σ + 1 | Ponderación |
|---|---|---|---|---|
| **Rodillos** | | 0,5 | 1,5 | 0,50 |
| **Pórtico** | 0,5 | | 1,5 | 0,50 |
| | | Suma | 3 | 1,00 |

**Tabla 2.8: Evaluación del parámetro calibración**

| Calibración | Rodillos | Pórtico | Σ + 1 | Ponderación |
|---|---|---|---|---|
| **Rodillos** | | 0 | 1 | 0,33 |
| **Pórtico** | 1 | | 2 | 0,67 |
| | | Suma | 3 | 1,00 |

### 2.5.2 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA EN BASE A LA VALORACIÓN

En la tabla 2.9 se resumen los resultados de la multiplicación de la ponderación de la tabla 2.3 con la ponderación de las tablas 2.4; 2.5; 2.6; 2.7 y 2.8 dando como resultado que la conformadora de vigas "I" de rodillo es la mejor opción.

**Tabla 2.9: Tabla de conclusiones**

| Parámetro | Costo | Manufactura | Operación | Mantenimiento | Calibración | Σ | Prioridad |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Rodillos** | 0,07 | 0,13 | 0,18 | 1,75 | 0,07 | 2,19 | 1 |
| **Pórtico** | 0,03 | 0,07 | 0,09 | 1,75 | 0,13 | 2,07 | 2 |

De la tabla 2.9 de conclusiones es pertinente destacar que la alternativa de adoptar el diseño de la conformadora por rodillos (alternativa 2), representa una inversión importante pero que será justificado por el factor de operación alto que desarrollará la máquina, con un valor agregado de disminución de tiempos muertos en la producción de vigas de sección armada tipo "I" de forma segura y con elementos de máquina de fácil obtención.

## 2.6 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS PARA EL PROCESO DE SOLDADURA

En este subsistema se analizará la selección del proceso de soldadura más idóneo que deberá tener el sistema de soldadura de filete del alma-patín, a implementarse en la conformadora de vigas de sección armada tipo "I", Se plantean las siguientes alternativas:

- Sistema de soldadura SAW (*Submerged Arc Welding*).

- Sistema de soldadura FCAW (*Flux Cored Arc Welding* ).

### 2.6.1 ALTERNATIVA 1.- CONFORMADORA DE VIGAS TIPO I CON EL SISTEMA DE SOLDADURA SAW (*SUBMERGED ARC WELDING*)

#### 2.6.1.1 DESCRIPCIÓN

Es un proceso automático de alta productividad, en el cual, como lo indica la Fig. 2.4, un alambre desnudo es alimentado hacia la pieza. Este proceso se caracteriza porque el arco se mantiene sumergido en una masa de fundente globular que se funde a la vez y forma escoria, provisto desde una tolva, que se desplaza delante del electrodo, de esta manera el arco resulta invisible, lo que constituye una ventaja, pues evita el empleo de elementos de protección contra la radiación infrarrojo y ultravioleta, que son imprescindibles en otros casos, además el propósito de éste es de proteger el metal fundido del oxígeno, nitrógeno, aire y en parte suministrar elementos de aleación a la soldadura, se puede soldar espesores de 5 hasta más de 40 mm, sin embargo cuando se trata de soldar grandes espesores se recurren a varias pasadas de no más de 20mm de espesor cada una.

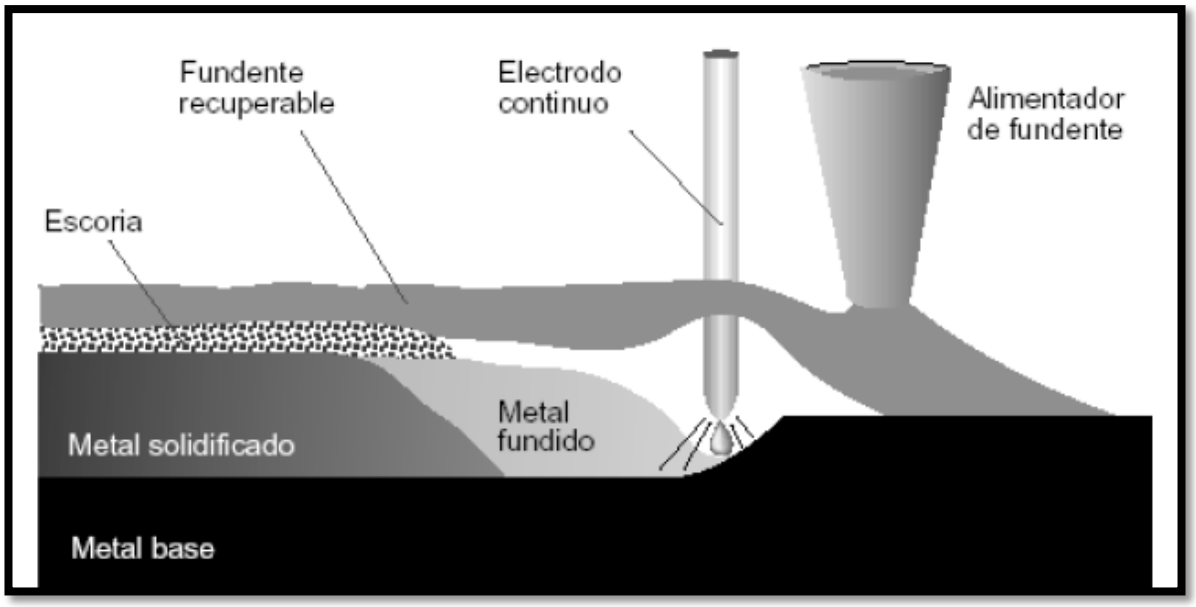



Figura 2.4: Soldadura SAW (*SUBMERGED ARC WELDING)*

#### 2.6.1.2 VENTAJAS

- Alta velocidad y rendimiento: Con alambre de 4,0 mm y 4,8 mm a 800 y 1000 amperes, se logran depositar hasta 15 kg de soldadura por hora. Con alambres de 6,4 mm y 1300 amperes, se depositan hasta 24 kg por hora (tres a cuatro veces más rápido que en la soldadura manual).
- Propiedades de la soldadura: Este proceso permite obtener depósitos de propiedades comparables o superiores a las del metal base.
- Rendimiento: 100%.
- Soldaduras 100% radiográficas.
- Soldaduras homogéneas.
- Soldaduras de buen aspecto y penetración uniforme.
- No se requieren protecciones especiales.

#### 2.6.1.3 DESVENTAJAS

- Inversión inicial alta para implementar en un proceso dado.
- Se puede soldar solamente en posiciones Plana u Horizontal.
- El equipo no es fácil de transportar.
- El consumo de energía eléctrica es mayor que en los otros procesos.
- No se puede usar para montaje o producción en campo.
- Se requieren uniones cerradas
- El fundente es abrasivo y desgastará partes de equipos automáticos.
- El fundente necesita de un buen almacenamiento y protección.

### 2.6.2 ALTERNATIVA 2.- CONFORMADORA DE VIGAS TIPO I CON EL SISTEMA DE SOLDADURA FCAW (*FLUX CORED ARC WELDING)*

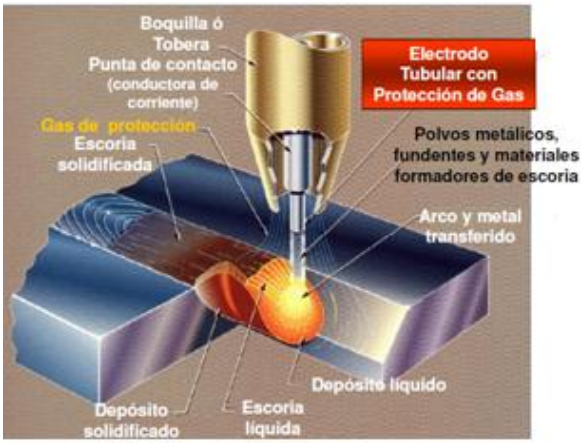
#### 2.6.2.1 DESCRIPCIÓN

El proceso de soldadura FCAW o Soldadura de Arco con Núcleo de Fundente (Fluxed Cored Are Welding) genera un arco eléctrico entre la punta de un alambre tubular continuo y el metal base, este proceso se caracteriza por la inclusión de elementos fundentes dentro de un electrodo de alimentación continua, con este

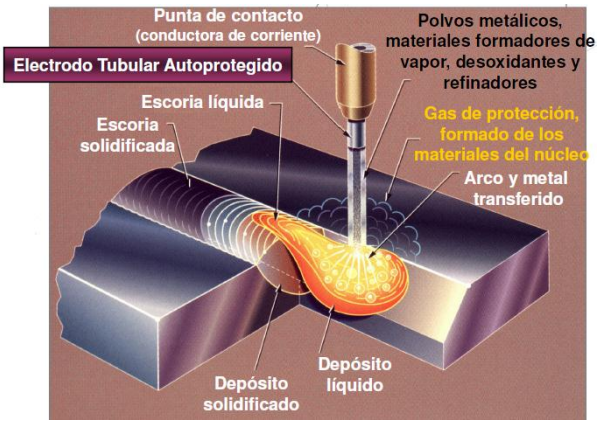
proceso se pueden soldar aceros al carbono y de baja aleación, aceros inoxidables y hierros colados.

Si el proceso usa gas de protección (CO2, CO2- Ar), además de la acción del núcleo fundente, se conoce como Outershield, el cual proporciona soldaduras angostas y penetrantes, ver Fig. 2.5 (a)

Cuando no existe gas de protección y el arco únicamente se protege mediante la descomposición y vaporización del núcleo de fundente, el proceso se conoce como Innershield, el cual proporciona soldaduras angostas y poco profundas lo que hace el proceso ideal para soldar materiales de espesor delgado, ver Fig. 2.5 (b)




(a)




(b)

Figura 2.5: Soldadura FCAW (a) Protección gaseosa (b) Autoprotegido

Este proceso no sirve para pasos de raíz y es únicamente utilizado en pases de relleno, usa corriente directa (DC - o DC +)

#### 2.6.2.2 VENTAJAS

Entre sus principales ventajas se tiene:

- Tasa de deposición alta.
- Las cualidades metalúrgicas que pueden derivarse de un fundente.
- Excelente aspecto de soldadura: lisa y uniforme.
- No requiere tanta limpieza previa como GMAW.
- Produce menor distorsión que SMAW.
- Factor operativo elevado.
- Tasa de deposición hasta 4 veces mayor que SMAW.
- El operador controla la penetración, sin reducir la calidad de la soldadura, minimizando la reparación, retrabajo y rechazo.

#### 2.6.2.3 DESVENTAJAS

- Está limitado a la soldadura de metales ferrosos y aleaciones con base de Níquel.
- El equipo es más costoso y complejo.
- El alimentador de alambre y la fuente de potencia deben estar relativamente cerca del punto de soldadura
- Se genera mayor cantidad de humos y vapores en comparación con GMAW y SMAW.
- Produce una cubierta de escoria que es necesario limpiar.

### 2.7 PROCESO DE SOLDADURA A IMPLENTAR

Para realizar la selección del proceso de soldadura idóneo, se tomará en cuenta el tamaño de soldadura que requiere cada viga tipo "I", tomando en consideración del ASD y LRFD aplicables a la soldadura (Ver Tabla 2.10) que detalla los filetes permisibles mínimos.

Estos tamaños mínimos no se desarrollaron en base a consideraciones de resistencia sino debido al hecho de que los materiales gruesos tienen un efecto de enfriamiento rápido en las soldaduras pequeñas; cuando esto sucede, en las soldaduras se manifiesta una pérdida de ductilidad, además, el material grueso tiende a restringir el acortamiento propio de la soldadura al enfriarse ésta y pueden, en consecuencia, aparecer grietas en los cordones.

**Tabla 2.10: Tamaños mínimos de soldaduras de filete**

| **Espesor del material de la parte unida con mayor espesor (mm)** | **Tamaño mínimo de la soldadura de filete[a] (mm)** |
|---|---|
| Hasta 6 inclusive | 3 |
| Mayor de 6, hasta 13 inclusive | 5 |
| Mayor de 13, hasta 19 inclusive | 6 |
| Mayor de 19 | 8 |

[a] Dimensiones del lado de los filetes. Se deben usar soldaduras de paso sencillo

Fuente: AISC, *Manual of Steel Construction Allowable Stress Design*, 1989

Las vigas de sección armada tipo "I" a fabricarse en la conformadora tendrá soldadura de filete longitudinal de alta productividad, a lo largo del alma-patín, para esto se compara el proceso de soldadura SAW (Submerged Arc Welding) vs. Proceso de soldadura FCAW (Flux Cored Arc Welding) y entregar la decisión de adaptar uno de los procesos descritos a la máquina, en función del costo, rendimiento y altas tasas de deposición de soldadura, cumpliendo con los requisitos estipulados por el:

"*PROYECTO DE REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO DE SOLDADURA ESTRUCTURAL DE ACERO*" que detalla en su artículo 5.3.3 los requisitos de los consumibles para SAW y FCAW, teniendo por referencia la norma internacional AWS (American Society Welding) para abordar el conocimiento de los consumibles para cada proceso. (Ver Tabla 2.11)

**Tabla 2.11: Requisitos generales de materiales**

*5.3.3 Requisitos de los materiales de aporte y/o electrodos y fundentes.*

Los materiales de aporte y/o electrodos y fundentes a utilizarse cumplirán con las especificaciones correspondientes indicadas en la tabla 1. La presentación del certificado de conformidad, emitido por algún organismo acreditado en el país de origen o por el fabricante, si su sistema de gestión de calidad tiene certificación ISO 9001, constituirá suficiente evidencia del cumplimiento del presente requisito.

Tabla 1.- Normas correspondientes a los electrodos y/o materiales de aporte o fundentes.

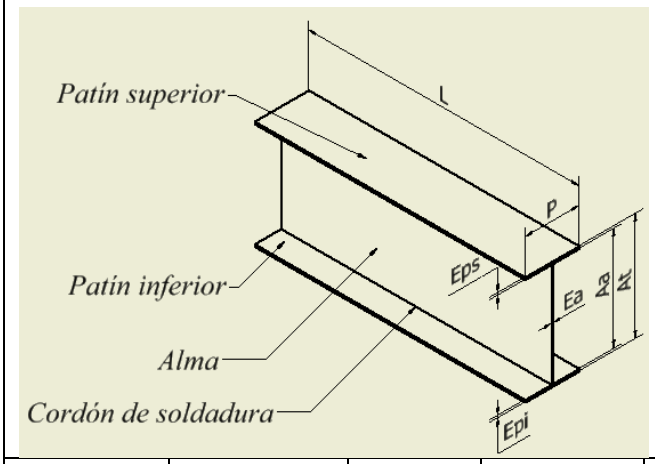
| **Material de aporte y/o electrodo** | **Procesos de soldadura** | **Norma** |
|---|---|---|
| Electrodos revestidos de acero y de acero de baja aleación | SMAW | NTE INEN 1390 |
| Electrodos | GTAW - PAW | AWS A 5.12 |
| Material de aporte de acero | GMAW - GTAW - PAW | AWS A5.18 |
| Material de aporte de acero de baja aleación | GMAW - GTAW - PAW | AWS A 5.28 |
| Electrodos desnudos de acero de baja aleación y sus respectivos fundentes | SAW | AWS A 5.23 |
| Electrodos tubulares de acero al carbono | FCAW | AWS A 5.20 |

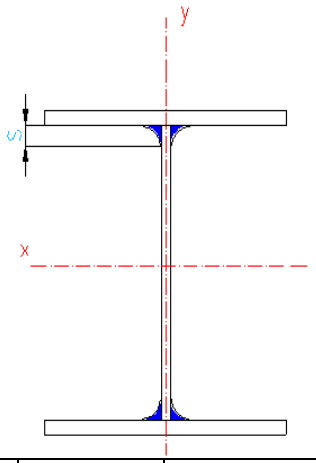
Fuente: CIMEPI, *Documento Soldadura Estructural*, 2007

En base a la tabla 2.10 que especifica el tamaño mínimo de la soldadura de filete, se establece que las vigas enlistadas en la tabla 2.12, en base a los parámetros del diseño establecidos de trabajar peraltes entre 200 mm a 400 mm, el análisis queda limitado a examinar los espesores de patines y almas para las doble junta en "T" y proceder con soldadura a tope con penetración parcial (PJP), que une partes de miembros armados, tales como uniones alma-patín.

**Tabla 2.12: Vigas de sección armada a construir y tamaño de soldadura**

**Nomenclatura**




| Peralte At (mm) | Ancho del patín P (mm) | Espesor del alma Ea (mm) | Espesor del patín Ep (mm) | Sección transversal A ($cm^2$) | Peso kg/m | Tamaño de soldadura automática s (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 200 | 100 | 4 | 6 | 20,00 | 15,70 | 5 |
| 200 | 150 | 5 | 8 | 34,00 | 26,69 | 5 |
| 250 | 100 | 4 | 6 | 21,52 | 16,89 | 5 |
| 250 | 150 | 4 | 8 | 33,36 | 26,19 | 5 |
| 250 | 200 | 5 | 8 | 43,70 | 34,30 | 5 |
| 300 | 100 | 4 | 8 | 27,36 | 21,48 | 5 |
| 300 | 150 | 5 | 8 | 38,2 | 29,99 | 5 |
| 300 | 200 | 5 | 10 | 54,00 | 42.39 | 5 |
| 350 | 100 | 5 | 8 | 32,7 | 25,67 | 5 |
| 350 | 150 | 5 | 10 | 46,5 | 36,50 | 5 |
| 350 | 200 | 6 | 10 | 59,80 | 46,94 | 5 |
| 400 | 150 | 4 | 8 | 39,36 | 30,90 | 5 |
| 400 | 200 | 5 | 8 | 51,20 | 40,19 | 5 |

Fuente: Kubiec-Conduit, *Agenda técnica*, 2010

En el proceso de selección del sistema de soldadura a ser implementado en la conformadora se tomó los datos de tabla de cada uno de los procesos citados, en virtud de esto, para el sistema SAW (*Submerged Arc Welding*) en exclusivo exhibe varias configuraciones en su sistema, de los cuales se consideró el sistema semiautomático (ver Tabla 2.15) , que tiene la particularidad de presentar alta tasa de deposición con velocidad de arco de 45 plg/min y factor de operación en rango de 90 a 100% , requiere una fuente de 500 amp.

Mientras que FCAW-G (Soldadura con núcleo fundente) -Gas Protegido, (ver Tabla 2.16) respecto a SAW (Submerged arc welding) la velocidad de arco es 10 a 11 plg/min con factor de operación de 60 a 90%, requiere gas de protección $CO_2$ para mejorar la profundidad de penetración sobre el filete unión alma-patín.

### 2.7.1 SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

De acuerdo a las bases teóricas anteriores se puede poner en balanza cual es el procedimiento de soldadura apropiado y establecer prioridades, por lo que se aplicó el "método de criterios ponderados", el cual se basa en tablas donde cada criterio se confronta con los restantes y se asignan valores de 1 si el criterio de las filas es superior que el de las columnas, 0.5 si el criterio de las filas es equivalente al criterio de las columnas y 0 si el criterio de las filas es inferior que el de las columnas.

- **Costo.-** Es un parámetro determinante al momento de seleccionar una alternativa ya que involucra no solo el costo inicial de los equipos, sino también los costos de operación y mantenimiento.
- **Fácil calibración.-** Una fácil calibración nos ayuda a sincronizar y alinear tanto los elementos mecánicos como los dispositivos eléctricos y electrónicos de una manera simple, de esta manera evitar posibles fallas de operación o imperfecciones en el conformado de las vigas.

En la tabla 2.13 se puede observar que el proceso SAW es el proceso más costoso por la configuración propia del arco sumergido, y para implementar dos equipos que trabajen en paralelo, es conveniente utilizar la alternativa dos mediante el uso de FCAW-G (Soldadura con núcleo fundente con protección gaseosa)

**Tabla 2.13: Evaluación del parámetro costo**

| Costo | FCAW | SAW | Σ + 1 | Ponderación |
|---|---|---|---|---|
| **FCAW** | | 1 | 2 | 0,67 |
| **SAW** | 0 | | 1 | 0,33 |
| | | Suma | 3 | 1,00 |

La tabla 2.14 evalúa la posibilidad de trabajar simultáneamente, por tal razón el proceso FCAW-G es amigable a la configuración del sistema multiprocesos, facilitando su disposición en trabajar en estado estacionario depositando cordones protegidos con escoria de fácil remoción.

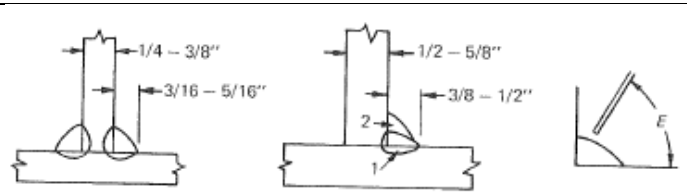
**Tabla 2.14: Evaluación por fácil calibración**

| Manufactura | FCAW | SAW | Σ + 1 | Ponderación |
|---|---|---|---|---|
| **FCAW** | | 1 | 2 | 0,67 |
| **SAW** | 0 | | 1 | 0,33 |
| | | Suma | 3 | 1,00 |

En consecuencia el proceso FCAW–GS es el más adecuado a implementarse en la conformadora de vigas tipo "I" por su bajo costo, su fácil configuración y por el volumen de trabajo que va experimentar; el proceso SAW para este caso particular está sobredimensionado.

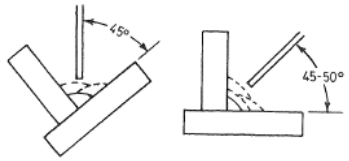
**2.15: Tabla de datos técnicos del sistema SAW (Soldadura arco sumergido)**

**ARCO SUMERGIDO SAW (Semiautomático)**

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Posición de soldadura: Horizontal<br>Nivel de calidad de soldadura: Comercial<br>Soldabilidad del Acero: Buena |  | | | | | | |
| Tamaño de Soldadura (plg) | 3/16 | 1/4 | 5/16 | 3/8 | | 1/2 | |
| Espesor de Placa (plg) | 1/4 | 5/16 | 3/8 | 1/2 | | 5/8 | |
| Pases | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Tamaño de Electrodo | 3/32 | 3/32 | 3/32 | 3/32 | 3/32 | 3/32 | 3/32 |
| Corriente (amp) DC (-) | 450 | 500 | 550 | 500 | 500 | 500 | 500 |
| Voltios | 34 | 36 | 38 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| Velocidad del arco (plg/min) | 45 | 32 | 24 | 28 | 28 | 16.5 | 16.5 |
| Electrodo requerido (lb/pie) | 0.08 | 0.13 | 0.20 | 0.29 | | 0.49 | |
| Flux requerido (lb/pie) | 0.13-0.17 | 0.18-0.23 | 0.24-0.30 | 0.35-0.45 | | 0.60-0.75 | |
| Tiempo total (hr/pie de soldadura) | 0.00445 | 0.00625 | 0.00833 | 0.0143 | | 0.0243 | |
| Electrode Ang.E (deg) | 50 | 50 | 50 | 65 | 40 | 65 | 40 |

Fuente: LINCOLN ELECTRIC, *The Procedure Handbook of Arc Welding*, 1994

**2.16: Tabla de datos técnicos del sistema FCAW-G (Soldadura con núcleo fundente) –Gas de protección**

| Soldadura por arco con núcleo fundente (Semiautomático) Gas Protegido FCAW-G | | | |
|---|---|---|---|
| Posición de soldadura: Horizontal<br>Nivel de calidad de soldadura: Comercial<br>Soldabilidad del Acero: Buena o Regular<br>Shielded gas: CO2 Caudal: 35 -45 cfh |  | | |
| Espesor de Placa (plg) | 1/4+ | 1/4+ | 1/4+ |
| Pases | 1+ | 1+ | 1+ |
| Clase de Electrodo | E71T-1 | E71T-1 | E71T-1 |
| Tamaño | 0.045 | 0.052 | 1/16 |
| Velocidad de alimentación (plg/min) | 340-525 | 250-425 | 275-375 |
| Corriente (amp) DC (+) | 220-280 | 225-300 | 310-365 |
| Voltios | 29-30 | 26-29 | 23-30 |
| Velocidad del arco (plg/min) | 10-11 | 11-12 | 13-14 |
| Electrodo req´d (lb/pie)/pase | 0.1558 | 0.1444 | 0.176 |
| Tiempo (hr/pie de soldadura)/pase | 0.0190 | 0.0174 | 0.0148 |
| Electrical Stickout (plg) | 3/4 | 3/4 | 1 |
| Angulo, A (deg) Drag | 15 | 15 | 15 |

Fuente: LINCOLN ELECTRIC, *The Procedure Handbook of Arc Welding*, 1994

# CAPÍTULO III

## 3. DISEÑO DE LA MÁQUINA

## INTRODUCCIÓN

Este capítulo tratará sobre el diseño mecánico de una conformadora de vigas tipo “I” mediante el proceso de soldadura FCAW.

Se diseñarán sistemas que ejecutan acciones de armado y soldadura de una sección armada tipo “I” formada por tres láminas metálicas de acero, para lo cual se ha identificado sistemas con operaciones definidas que aseguran el paralelismo entre patines, el centrado del alma al patín, estabilizar la viga ajustando a la máquina, adaptar el proceso de soldadura, verificando que la estructura soporte las respectivas cargas.

Cabe destacar que el armado de las vigas es progresivo, con soldadura simultánea en los filetes; a medida que se va conformando a través de rodillos que arrastran la sección por transmisión de potencia de un motorreductor, se deposita soldadura de filete con sistema de soldadura FCAW con protección gaseosa.

## 3.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

Las vigas de sección armada tipo "I" a conformarse en la máquina con sistema de soldadura automática FCAW con la viga móvil, en función a la alternativa evaluada del capítulo anterior, se muestra en la tabla 3.1

**Tabla 3.1: Parámetros de dimensionamiento**

| Denominación | Dimensiones (mm) |
|---|---|
| Ancho de alma | 200 a 400 |
| Espesor de alma | 3 a 6 |
| Ancho de patín | 100 a 200 |
| Espesor de patín | 4 a 10 |
| Longitud de viga | 2400 a 12000 |
| La velocidad de desplazamiento | Hasta 0.355 m/min |
| Material | Acero estructural soldable |

Fuente: Kubiec-Conduit, *Agenda técnica,* 2010

La máquina debe garantizar la seguridad, facilidad de manufactura, operación óptima, flexibilidad de servicio, remplazo de componentes, uso de materiales y elementos de compra factible con disponibilidad en el mercado.

Por tales razones, el diseño será abordado analizando estos sistemas por separado ejecutando un trabajo específico, siendo los siguientes:

- De Conformado.
- De posicionamiento del alma.
- Estabilizador.
- De prearmado.
- De soldadura.
- Sistema de la estructura de soporte de elementos.

## 3.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONFORMADO

El sistema de conformado consiste en el armado de la sección "I", inicialmente identificando las fuerzas cinemáticas existentes, teniendo en cuenta las condiciones de perpendicularidad patín-alma y el centrado del alma con los patines superior e inferior; para esto se diseñarán los rodillos que garantizarán la perpendicularidad del armado y avance por el accionamiento de un motorreductor.

Además, el sistema indicado tendrá la capacidad de adaptarse a los peraltes de las vigas, que van desde 200 mm a 400 mm, para este propósito se diseñarán dos cajas de conformado una fija y otra móvil cada una con un par de rodillos; para el par de rodillos móviles se diseñarán guías que permitirán adaptarse al peralte de la sección "I" deseada. Ver figura 3.1

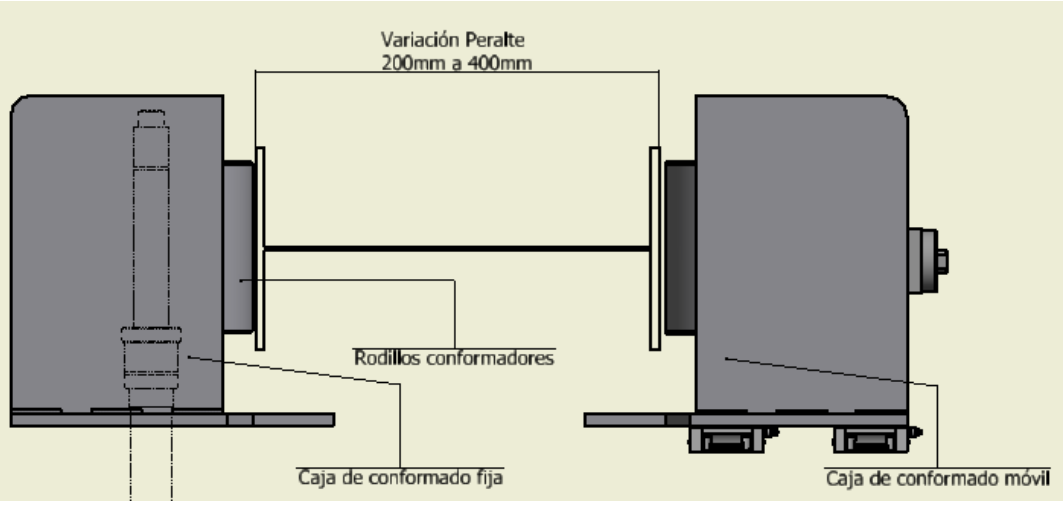


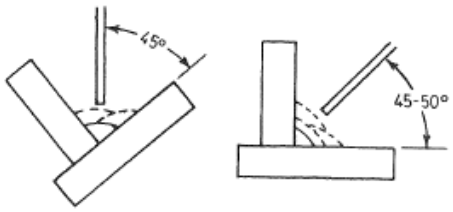

Figura 3.1: Cajas conformadoras adaptadas al peralte

### 3.2.1 CINEMÁTICA DEL SISTEMA

Para determinar la velocidad angular de los rodillos conformadores, se necesita conocer la rapidez del avance de la soldadura, para los diferentes espesores de la viga.

En el análisis cinemático del sistema se considera inicialmente que no existe aceleración, es decir la viga va a velocidad constante, de esta manera se obtiene la velocidad de soldadura de la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2: Especificación técnicas de la tasa de deposición de soldadura**

| Soldadura por arco con núcleo fundente (Semiautomático) Gas Protegido FCAW-GS | | | |
|---|---|---|---|
| Posición de soldadura: Horizontal<br>Nivel de calidad de soldadura: Comercial<br>Soldabilidad del Acero: Buena o Regular<br>Shielded gas: CO2 Caudal: 35 -45 cfh |  | | |
| Espesor de Placa (plg) | 1/4+ | 1/4+ | 1/4+ |
| Pases | 1+ | 1+ | 1+ |
| Clase de Electrodo | E71T-1 | E71T-1 | E71T-1 |
| Tamaño (plg) | 0.045 | 0.052 | 0.0625 |
| Velocidad del arco (plg/min) | 10-11 | 11-12 | 13-14 |

Fuente: LINCOLN ELECTRIC, *The Procedure Handbook of Arc Welding*, 1.994

A partir de la tabla 3.2 se han obtenido los siguientes datos:

Velocidad mínima del arco:

$$V_{min} = 10\ \frac{plg}{min} = 0.004233\frac{m}{s}$$

Velocidad máxima del arco:

$$V_{max} = 14\ \frac{plg}{min} = 0.005927\frac{m}{s}$$

La velocidad angular con la que giran los rodillos está dada por:

$$\omega = \frac{V}{r} \qquad (Ecuación\ 3.1)$$

Donde:

$\omega =$ Velocidad angular de los rodillos [rad/s]

$V =$ Velocidad lineal de la viga [m/s]

$r =$ Radio del rodillo [m]

Se asume el diámetro del rodillo 200mm, por ser óptimo con un perímetro de 628.32mm, por tanto:

$$\omega_{max} = \frac{0.005927\ {}^{m}/_{s}}{0.1\ m} = 0.05926\ \frac{rad}{s} = 0.566\ rpm$$

$$\omega_{min} = \frac{0.004233\ {}^{m}/_{s}}{0.1\ m} = 0.04233\ \frac{rad}{s} = 0.4042\ rpm$$

$$\omega_{prom} = \frac{\omega_{max} + \omega_{min}}{2} = 0.05079\ \frac{rad}{s} = 0.48\ rpm$$

Por lo tanto, en promedio, los rodillos deben girar a 0.48 rpm. Para lograr esta velocidad se utilizará un motorreductor de tornillo sin fin. Existe en el mercado un motorreductor con relación de transmisión (i) estándar, con una velocidad aproximada de 0.6 rpm, a una velocidad nominal del motor de 540 rpm (56.55 rad/s), torque de 145 Nm. Para aproximarse a la velocidad indicada es necesario adicionar un variador de frecuencia para aumentar o disminuir la velocidad del motor, de esta manera también se controla el tiempo de aceleración y desaceleración del mismo.

Considerando la aceleración y desaceleración del motor se comprueba el número de revoluciones del motor, para esto la figura 3.2 indica un diagrama Velocidad vs. Tiempo; el tiempo de la rampa de aceleración t.a. requerido para que el motor llegue a la velocidad constante t.v.c. y un tiempo de desaceleración t.d. para desacelerar el motorreductor.

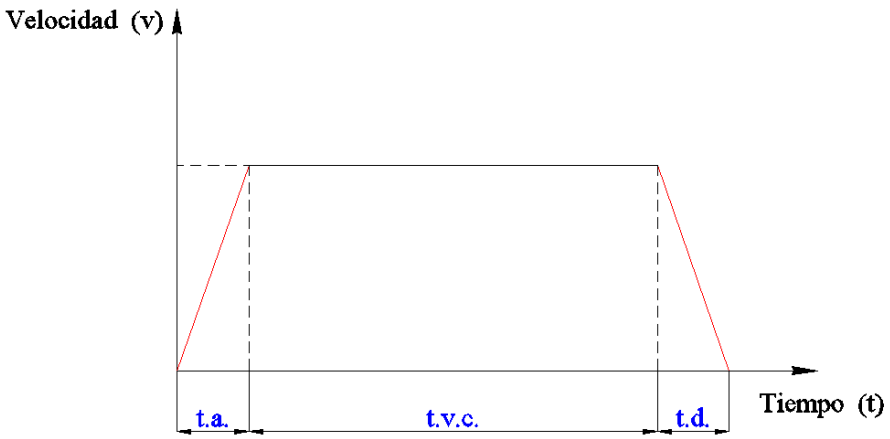



Figura 3.2: Tiempo de arrastre para el conformado de la viga, considerando la aceleración y desaceleración del motor

### 3.2.1.1 CÁLCULO DEL TIEMPO DE ACELERACIÓN DEL MOTOR

El tiempo de aceleración t.a. puede determinarse con la ecuación 3.2, si se conoce el par acelerador medio $M_B$, tomando en cuenta el momento de inercia $I$ , de la viga de sección armada que tiene: 200x8mm de patín superior e inferior; 384x4 mm de alma y longitud de 12 m, con el propósito de controlar el incremento del nivel de la tensión del motor. Este valor dice cuán rápido el motor llegará a la velocidad constante t.v.c, normalmente se ajusta en función a la carga.

$$\text{t. a.} = \frac{I \cdot n \cdot 2\pi}{60 \cdot M_B} \qquad (\textit{Ecuación } 3.2)^{16}$$

Donde:

$M_B =$ Par acelerador medio [N.m]

$I \;=$ Momento de inercia reducido al eje del motor [Kg.m²]

$n \;=$ Velocidad del motor [1/min]

Datos: Momento de inercia calculado para la viga de sección armada tipo "I"; patines: 200x8x12000mm alma: 400x4x12000mm, en función a la geometría de la Figura 3.3

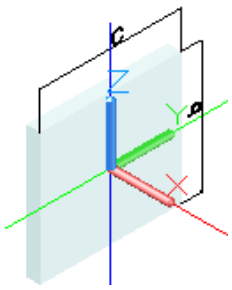


Figura 3.3: Momento de inercia de la placa rectangular delgada

$$I = 2 \cdot \left[\frac{1}{12} \cdot m \cdot (b^2 + c^2)\right]_{patin} + \left[\frac{1}{12} \cdot m \cdot (b^2 + c^2)\right]_{alma}$$

$$I = 2 \cdot \left[\frac{1}{12} \cdot 150.72kg \cdot (0.2m^2 + 12m^2)\right] + \left[\frac{1}{12} \cdot 144.69kg \cdot (0.004m^2 + 12m^2)\right]$$

$$I = 5354.57\ Kg.m^2$$

[16]ROCKWELL, Automation, *Conceptos básicos sobre el uso de los motores de inducción trifásicos, http://bit.ly/JPAO7h*

Se conoce que: $n = 0.6\ \frac{1}{min}$; $M_B = 145\ Nm$, se remplaza en la ecuación 3.2

$$\text{t. a.} = \frac{5354.57\ kg \cdot m^2 \cdot 0.6\ (1/min) \cdot 2 \cdot \pi}{60 \cdot 145\ Nm} = 2.3\ seg$$

A medida que las vigas tipo "I" son conformadas, son arrastradas por el accionamiento de un motorreductor, a continuación se va realizar un cálculo cinemático del sistema:

Aceleración angular del motor:

$$\alpha = \omega/t \qquad (Ecuación\ 3.3)$$

Donde:

$\alpha$ = Aceleración angular del motor [rad/s$^2$]

$\omega_{motor}$ = Velocidad angular del eje del motor [rad/s]

$t$ = Tiempo de aceleración [seg]

Por cuestiones de diseño se considera t=2.3seg, que es el tiempo configurado como rampa de aceleración para evitar el desgaste en el motorreductor y los engranajes por arranques repentinos, se puede configurar el tiempo de la rampa de aceleración y desaceleración en el variador de frecuencia.

Datos: Existe en el mercado un motorreductor con: 540 $(1/min)$ ( $\omega_{motor} = 56.55\ rad/seg$) y velocidad de salida del motorreductor 0.6 $(1/min)$.

Remplazando en la ecuación 3.3

$$\alpha_{motor} = \frac{56.55\ rad/seg}{2.3seg} = 24.59\ \ rad/s^{\,2}$$

Relación de reducción,

$$i = \frac{n_{motor}}{n_{reductor}} = \qquad (Ecuación\ 3.4)$$

$$i = \frac{540}{0.6} = 900$$

Aceleración angular del reductor,

$$\alpha_{reductor} = \frac{\alpha_{motor}}{i} \qquad (Ecuación\ 3.5)$$

$$\alpha_{reductor} = \frac{24.59 rad/s^2}{900} =$$

$$\alpha_{reductor} = 0.027\ rad/s^2$$

Por lo tanto la aceleración del reductor es igual a la aceleración del rodillo de conformado: $\alpha_{reductor} = \alpha_{rodillo}$

$$\alpha_{rodillo} = 0.020 rad/s^2$$

El cuerpo parte del reposo, por lo que su velocidad angular inicial ($\omega_o$) es cero, por tanto, reduce a:

$$\theta = \omega_o \cdot t + \frac{1}{2}\alpha_{rodillo} t^2 \qquad (Ecuación\ 3.6)$$

Donde:

$\theta$ = Desplazamiento angular [rad]

$\omega_o$ = Velocidad angular inicial [rad/seg]

$t$ = Tiempo en segundos en que se efectuó el desplazamiento angular [seg]

$$\theta = \frac{1}{2}\alpha_{rodillo} t^2$$

$$\theta = \frac{1}{2} \cdot 0.020 rad/s^2 \cdot (2.3\ seg)^2$$

$$\theta = 0.054 rad$$

Considerando el aspecto lineal, la distancia desplazada durante la aceleración, para t = 2.3 seg ; $r = 0.1m$

$$\theta = \frac{y}{r} \qquad (Ecuación\ 3.7)$$

Donde:

$\theta$ = Desplazamiento angular en [rad]

$y$ = Distancia desplazada [mm]

$r$ = Radio del rodillo [mm]

Despejando "$\boldsymbol{y}$" de la ecuación 3.7:

$$y = 0.054rad \cdot 100mm = 5.4mm$$

La relación de reducción de $i = 900$; cumple satisfactoriamente con los requerimientos, trabajando a una velocidad de salida de 0.6 rpm da la posibilidad al variador de frecuencia, transformar la velocidad en función a las variables como el: amperaje, voltaje, espesor de material base, velocidad de aportación de alambre tubular.

### 3.2.2 MOMENTO DE TORSIÓN EN EL RODILLO

Para determinar el momento torsor, es necesario calcular la inercia de las masas para mover el conjunto eje-rodillo. Partiendo del diagrama de cuerpo libre mostrado en la figura 3.4 se determina el torque para mover los ejes.

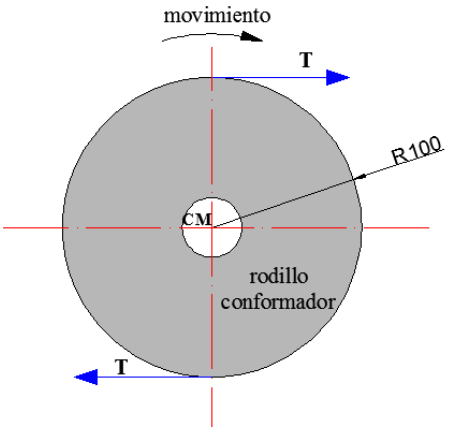



Figura 3.4: Rodillo conformador que hace el apriete alma patín

El torque se calcula a partir de la siguiente ecuación 3.8:

$$T = I_1 \cdot \alpha \qquad (Ecuación\ 3.8)$$

Donde:

$T$ = Torque necesario para girar el rodillo [N.m]

$I_1$ = Momento de Inercia rotacional del rodillo incluido el eje [Kg.m$^2$]

$\alpha$ = Aceleración angular del conjunto [rad/s$^2$]

La Figura 3.5 presenta un dibujo aproximado del rodillo conformador y el eje conductor (porta-rodillo) que más adelante se analizará su dimensionamiento y designación de material.

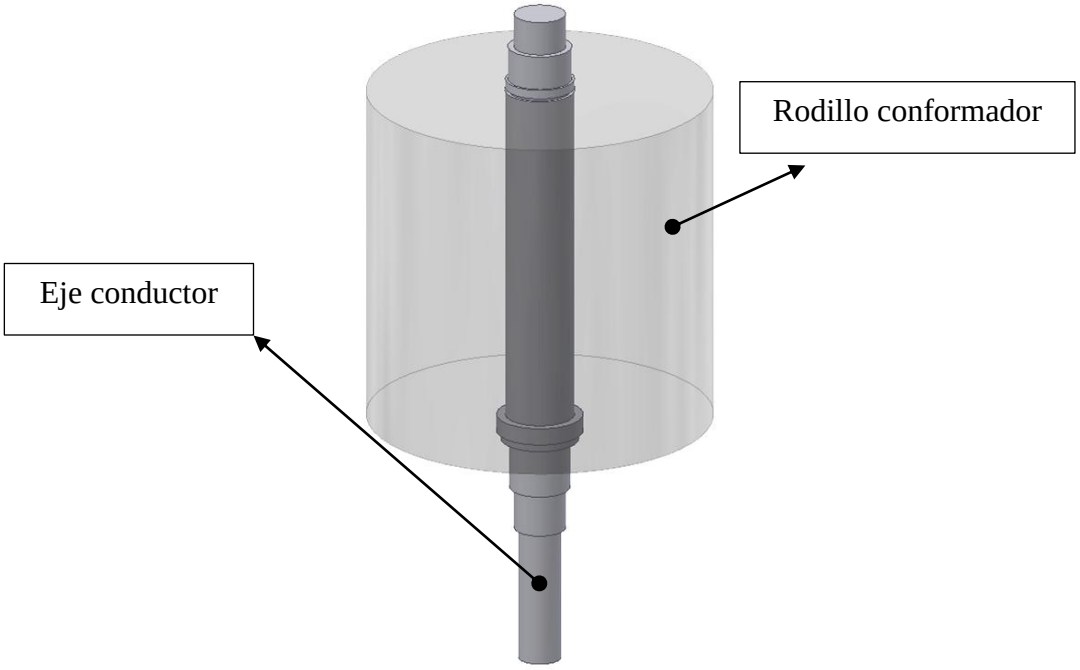



Figura 3.5: Esquema del rodillo y el eje

El momento de inercia del rodillo conformador y el eje conductor se determinó con la ayuda del software de diseño Inventor profesional 2011. En la siguiente Tabla 3.3 se presentan los resultados obtenidos.

**Tabla 3.3: Momento de Inercia del conjunto Rodillo y Eje Porta-rodillo**

| **Elemento** | **Cant.** | **Masa [kg]** | **Momento de Inercia [kg.m$^2$]** | **Momento de Inercia total [kg.m$^2$]** |
|---|---|---|---|---|
| Rodillo conformador | 4 | 39.145 | 0.2046 | 0.818 |
| Eje conductor | 1 | 6.517 | 0.1925 | 0.192 |
| Eje conducido | 3 | 2.841 | 0.0203 | 0.061 |
| | **Momento de Inercia [kg.m$^2$]; $I_1$** | | | 1.072 |

Fuente: Software de Diseño Mecánico, Inventor Profesional 2011

Elaborado: Campaña Christian, Lincango Diego

Con el valor del momento de inercia de masas calculado en la tabla 3.3, se aplica la ecuación 3.8 y se establece el torque necesario para mover el conjunto.

$T = 1.072\ kg.m^2 \cdot 0.020 rad/s^2$

$T = 0.02144\ Nm$

Cálculo de la potencia para mover el sistema:

$$P_1 = \frac{T \cdot n}{9550} \qquad (Ecuación\ 3.9)$$

Donde:

$P =$ Potencia [kw]

$T =$ Torque para mover el conjunto [N.m]

$n =$ Velocidad nominal del motor [1/min]

Aplicando la ecuación 3.9

$$P_1 = \frac{0.02144\ N.m \cdot 0.6\ \ 1/min}{9550} =$$

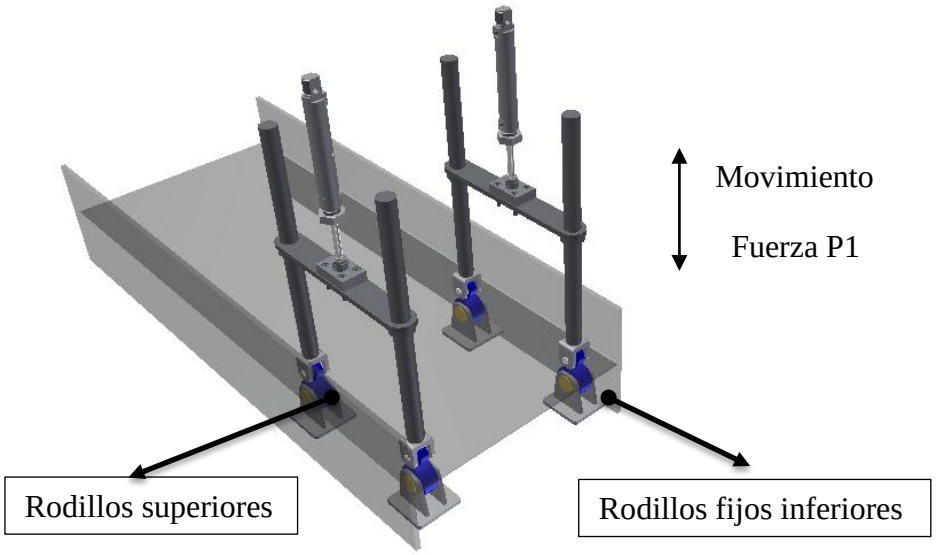
$P_1 = 1.38x10^{-6}\ kw$

### 3.2.3 FUERZA NECESARIA PARA MOVER EL CONJUNTO ALMA PATINES

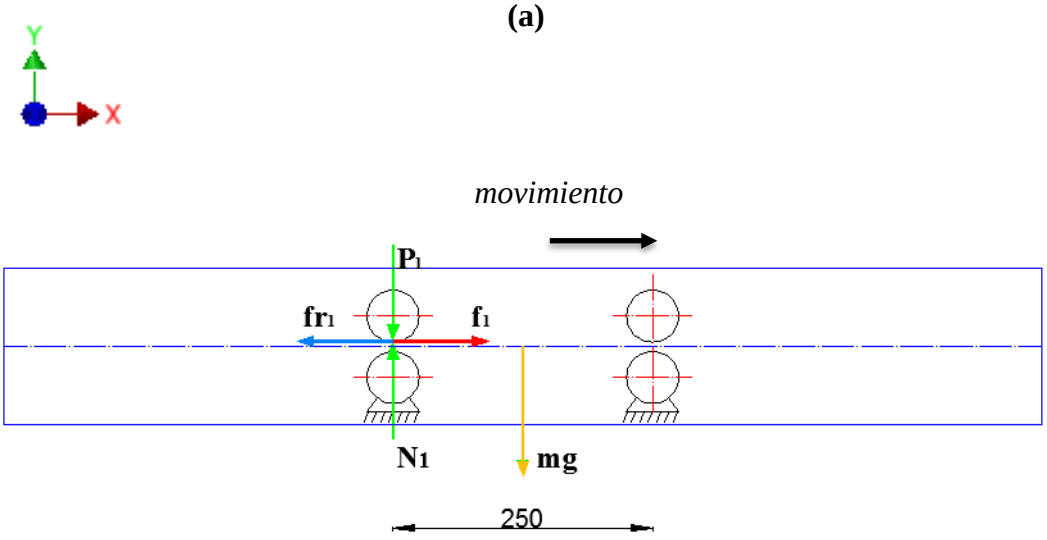
Se identifican las fuerzas en los puntos de contacto que intervienen durante el proceso de conformado de la sección armada tipo "I", considerando los coeficientes de rozamiento por rodadura meta-metal.

Partiendo de la Fig. 3.6 (a), indica la disposición de los elementos para centrar el alma y la Fig. 3.6 (b) muestra el diagrama de cuerpo libre de las fuerzas que intervienen directamente en el alma de la sección, tomando en cuenta que los rodillos inferiores son fijos, mientras que los rodillos superiores mediante un mecanismo que más adelante será diseñado cumplirá la función de aplicar la fuerza P1 a manera de seguidor, para ajustar el alma contra los rodillos inferiores y

garantizar el centrado del alma con los patines, mientras que la transmisión mecánica arrastra la sección, en definitiva cumple acciones de guiado del alma.




**(a)**




**(b)**

Figura 3.6: (a) Boceto planteado (b) Diagrama de fuerzas que se realiza en los rodillos superiores y alma de la viga

La normal $P_1$ se caracteriza por ser la fuerza que mantiene el alma de la viga alineada y centrada con los patines, se considera las características físicas y geométricas de la lámina de acero que ingresa al sistema, procurando que la lámina describa un lugar geométrico semejante a la tanh (x) para evitar que se formen esfuerzos internos por irregularidad en las láminas por radios menores a 500mm. La figura 3.7 hace una descripción de la ruta a seguir por la lámina de acero (alma).

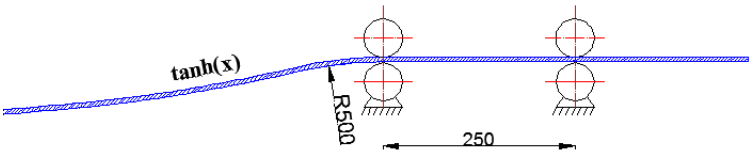



Figura 3.7: Ruta de la lámina de acero estructural

Es evidente, los rodillos superiores ejercen fuerza a la sección de alma, cuya fuerza aplicada es vertical a un diferencial de lámina de acero que se encuentra en la zona de alineación del alma, se establece dimensiones de: ancho de 384 mm; espesor 6 mm; longitud 1800 mm, con una masa de 32.55 kg, por lo tanto la fuerza aplicada resulta multiplicando por la aceleración gravitacional: 32.55 kg · 9.8 m/s² = 319.04 N divido para cuatro rodillos P1= 80 N.

A continuación será analizado un rodillo con referencia al D.C.L de la Fig. 3.6 (b) con las leyes fundamentales de la estática.

$P_1 = 80N$

$$\sum Fy = 0$$

$$P_1 = N_1$$

$$N_1 = 80\ N$$

$$\sum Fx = 0$$

$$f_1 = N_1 \times \mu$$

El coeficiente de rozamiento por rodadura metal-metal es de 0.30

$\mu = 0.30$ (Ver Anexo 3.1 valores típicos de coeficientes de fricción)

$$f_1 = 24\ N$$

El contacto se hace en 4 puntos como se indica en la figura 3.5 (a), por tanto:

$$f_{T1} = f_1 \cdot 4 = 96\ N$$

Realizando el análisis de esfuerzos del rodillo inferior de la Figura 3.8, se considera que un tramo de lámina de acero establece dimensiones de ancho 384 mm; espesor

6mm; longitud 950mm, con una masa de 17.53 Kg, que multiplicado por la aceleración gravitacional resulta: 172 N, entonces el alma de la viga descansa en 4 rodillos y el peso se divide entre ellos, resulta:

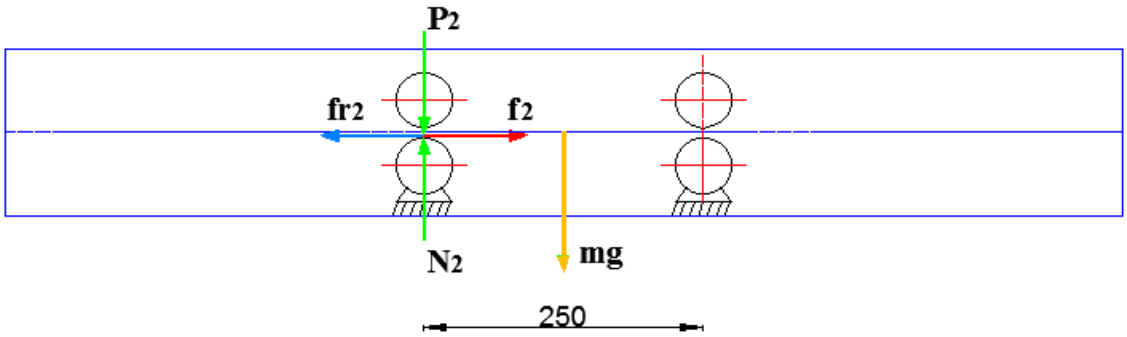



Figura 3.8: Diagrama de fuerzas que se realiza en los rodillos inferiores y en el alma de la viga

$W_{sección} = 17.53kg = 172N$

$W = \frac{172N}{4} = 43N$

Si: $P_2 = W + P_1 = 43N + 80N = 123N$

$\sum Fy = 0$

$P_2 = N_2$

$N_2 = 123N$

$\sum Fx = 0$

$f_2 = N_2 \times \mu$

$\mu = 0.30$ (Ver Anexo 3.1: valores típicos de coeficientes de fricción)

$f_2 = 36.90\ N$

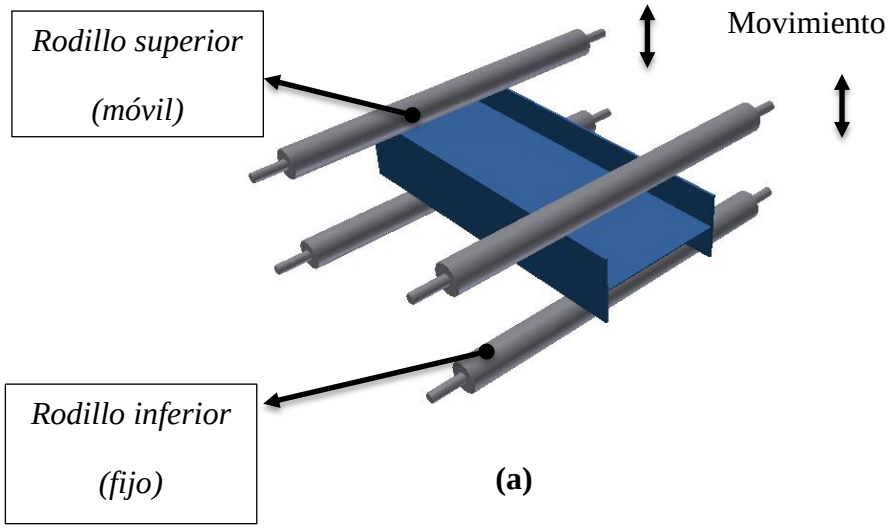
El contacto se hace en 4 rodillos con una fuerza $\boldsymbol{f_2}$, la sumatoria de la fuerza en estos puntos es el necesario para mover el alma de la viga

$$f_{T2} = f_2 \cdot 4$$

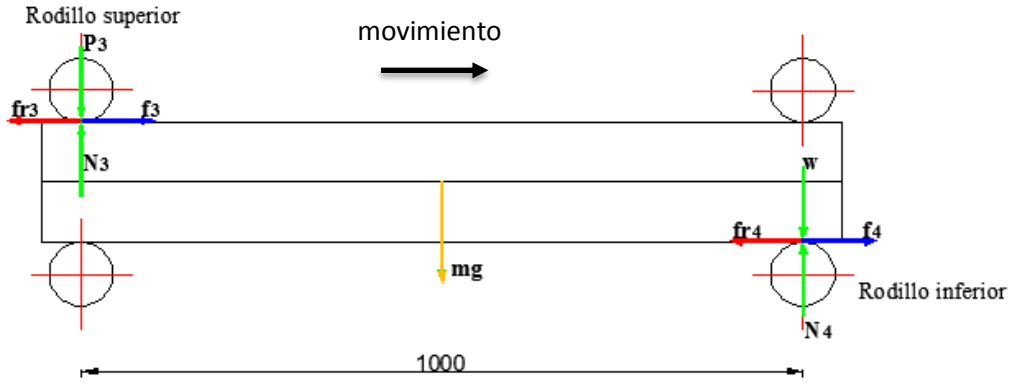
$$f_{T2} = 147.60\ N$$

La Figura 3.9 (a), indica los rodillos inferiores que soportan el peso de una longitud de 1000 mm, que corresponde a una fracción de longitud de la viga que se apoya en esta zona, lo restante se apoya en el transportador de rodillos.

El par de rodillos superiores ayudan a fijar los patines de filo y ajustar la sección "I" a la máquina, para asegurar la correcta nivelación de la viga y por probables tendencias de que la sección tienda a ingresar de manera incorrecta.




**(a)**




**(b)**

Figura 3.9: (a) Representación inicial (b) Fuerza que realiza la viga sobre el transportador de rodillos y rodillos superiores

Se procede analizar el rodillo superior, netamente la fuerza necesaria P3 que estabiliza y nivela la sección.

$P_3 = 245$ N

$$\sum Fy = 0$$

$$P_3 = N_3$$

$$N_3 = 245N$$

$$\sum Fx = 0$$

$$f_3 = N_3 \times \mu$$

Coeficiente de rozamiento por rodadura es de 0.30

$\mu = 0.30$ (Ver Anexo 3.1: valores típicos de coeficientes de fricción)

$$f_3 = 73.50\ N$$

El contacto se hace en 4 partes, según la figura 3.9 (a), resulta:

$$f_{T3} = f_3 \cdot 4$$

$$f_{T3} = 294\ N$$

Como indica la figura 3.9 (b), se realiza el análisis de esfuerzos del rodillo inferior. Considerando que la viga de 563.3 kg se apoya en 15 rodillos del transportador separados entre sí 0.8m

$$W_T = 563.3\ kg\ /\ 12m\ =\ 46.94\ kg/m$$

$$W_{sección} = 46.94\frac{kg}{m} \times 0.8m = 37.55kg = 368.01N$$

Este peso de la sección se distribuye en cuatro rodillos por tanto:

$$W_{distribuido} = 92N$$

$$\sum Fy = 0$$

$$W_{distribuido} + P_3 = N_1$$

$$N_1 = 337\ N$$

$$\sum Fx = 0$$

$$f_4 = N_1 \times \mu$$

Coeficiente de rozamiento por rodadura es de 0.30

$$\mu = 0.30$$

$$f_4 = 101.1\ N$$

El contacto se hace en los 2 rodillos:

$$f_{T4} = f_4 \cdot 2$$

$$f_{T4} = 202.2\ \ N$$

La fuerza necesaria para mover la viga es la suma de las fuerzas totales

$$F = f_{T1} + f_{T2} + f_{T3} + f_{T4}$$

$$F = (96 + 147.60 + 294 + 202.20)\ N$$

$$F = 739.80\ N$$

### 3.2.4 FUERZAS GENERADAS EN LOS RODILLOS

La ubicación de las fuerzas en un plano de vista superior, hace posible observar la interacción de las fuerzas sobre la viga tipo "I" y hallar fuerzas complementarias que actúan cuando se encuentran en posición de producción.

#### 3.2.4.1 FUERZA PARA MOVER LA VIGA

Los rodillos estan distribuidos como se indica en la Fig.3.10; los rodillos 1 y 2 proporcionan el torque necesario para mover la viga, los rodillos 3 y 4 realizan el ajuste que provoca el rozamiento permitiendo que la viga se desplaze en el sentido de la fuerza F = 739.80 N

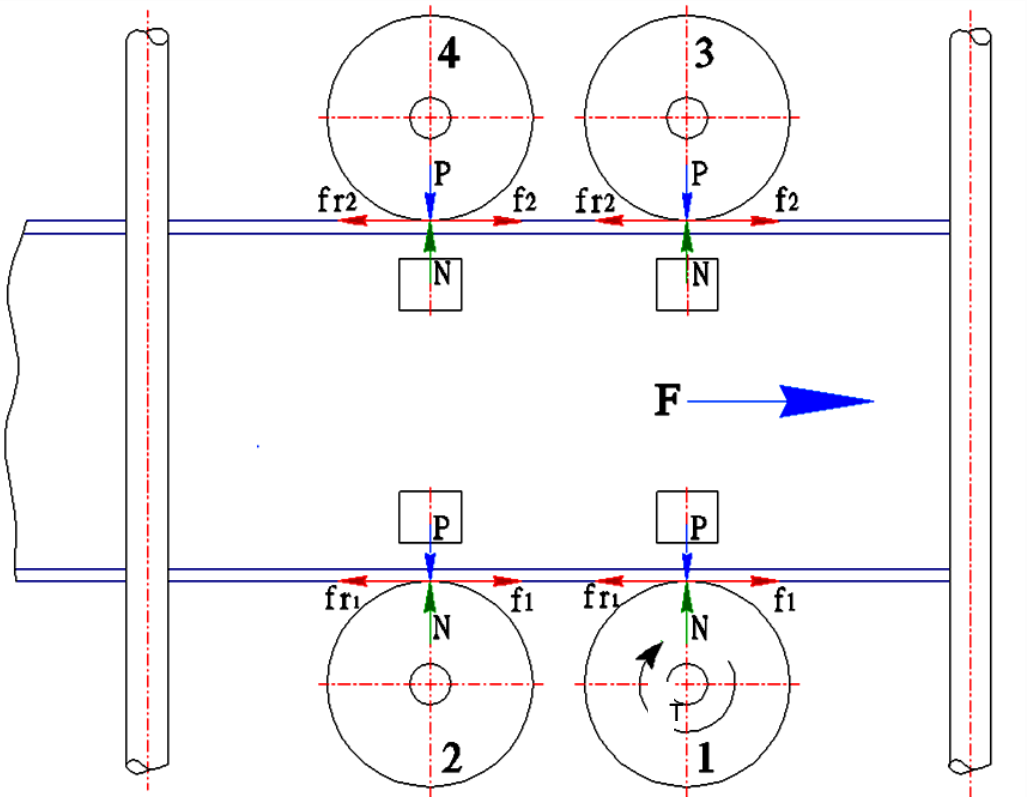



Figura 3.10: Fuerzas que intervienen en los rodillos principales (vista superior)

Se analiza el rodillo 1 de la figura 3.10, determinando las fuerzas que actúan en este elemento.

Es conocido la fuerza $F = 739.80\ N$ se determina que $f_1 = F/2\ rodillos\ \therefore$ $f_1 = 369.90\ N$

$$\sum Fx = 0$$

$$f_1 = f_{r1}$$

$$f_{r1} = 369.90\ N$$

$$\sum Fy = 0$$

$$\mu \cdot P = f_1$$

$$P = \frac{f_1}{\mu}$$

Si: $\mu = 0.30$

$P = 1233\ N$

$P = N$

$P = 1233\ N$

Estas fuerzas se aplican para el rodillo 1 y 2

Para el rodillo 3 y 4 la presión y la normal son las mismas a las calculadas anteriormente

El torque en el rodillo motriz es equivalente a la fuerza total para mover la viga multiplicado por el radio del rodillo.

$$T = F * r_{rodillo} \qquad (Ecuación\ 3.10)$$

Donde:

$T$ = Torque [N.m]

$F$ = Fuerza requerida [N]

$r_{rodillo}$ = Radio del rodillo [m]

Remplazando en la ecuación 3.10:

$T = 739.8\ N\ * 0.1m$

$T = 73.98\ N.m$

### 3.2.4.2 POTENCIA REQUERIDA PARA MOVER LA VIGA

Realizamos el cálculo a partir de la ecuación 3.9, resulta:

$$P_2 = \frac{73.98\ N.m \cdot 0.6\ (1/min)}{9550}$$

$P_2 = 4.65x10^{-3}kw$

### 3.2.4.3 CÁLCULO DE LA POTENCIA FINAL CON CORRECCIÓN DE POTENCIA

Considerando un factor de servicio de 1.5 dado a los varios arranques por hora que realizara el motor y por trabajar a bajas velocidades un rendimiento de 45%. La potencia requerida:

$$P = \frac{(P_1 + P_2)Fs}{n} \qquad (Ecuación\ 3.11)$$

$$P = \frac{(1.38x10^{-6} + 4.65x10^{-3})1.5}{0.45}$$

$$P = 0.015kw = 0.026\ HP$$

Como se observa, la potencia calculada es muy baja debido a que la velocidad de operación de la máquina se ajusta a la velocidad de arco del proceso de soldadura FCAW.

### 3.2.4.4 SELECCIÓN DEL MOTORREDUCTOR PARA EL MECANISMO DE ARRASTRE

Realizar una correcta selección del equipo reductor resulta de vital importancia a fin de obtener todas las ventajas que se requiere del mismo, por lo que se deben observar y tomar muy en cuenta los siguientes parámetros:

1. Par o Torque, a la salida del mismo en Nm (Newton – metro), siendo el dato más importante para una selección, recordemos que el trabajo mecánico que deseamos obtener lo da el par.
2. Velocidad, en [rpm], de entrada (motor) y de salida (carga).
3. Potencia, en [ kw], de entrada y de salida
4. Relación de reducción: índice que detalla la relación entre las rpm de entrada y rpm salida (i)

Con las características determinadas anteriormente, se selecciona un motorreductor marca MOTOVARIO de origen Italiano de tornillo sin fin. Ver tabla 3.4

**Tabla 3.4: Características del motorreductor de engranajes helicoidales sin fin corona**

| | |
|---|---|
| TIPO DE MOTORREDUCTOR: | MOTOVARIO Tornillo sin Fin |
| MODELO: | NRV/MNRV 030/050 |
| POTENCIA: | 0.02 kw |
| VELOCIDAD DE SERVICIO: | 0.6 rpm |
| TORQUE DE SERVICIO: | 145 Nm |
| DIAM. DE AGUJERO DE SERVICIO: | Ø 25mm |
| RELACIÓN DE REDUCCIÓN; Ir: | 900 |
| VOLTAJE: | 220-400 v, 60Hz, Trifásico |
| Contactos para Importación: | COMREPSA |
| Dirección:<br>Teléfono: | Avda. Juan Molineros y Psje. B, Quito-Ecuador(02)2805365 |
| Web:<br>Mail: | www.comrepsa.com<br>comrepsa@uio.satnet.net |

Fuente: *Catálogo Motovario métrico*, (Italia).

Ver Anexo 3.2: Dimensión del motorreductor de tornillo sin fin NRV/MNRV 030/050

El motorreductor tiene capacidad de sobra para afrontar el caso de exigencia máxima de potencia y por tanto también se bastará para las configuraciones y requerimientos menos exigentes.

### 3.2.5 DISEÑO ENGRANAJES CÓNICOS

#### 3.2.5.1 DISEÑO ENGRANAJES CÓNICOS RECTOS

La potencia del motorreductor es transmitida por medio de un reductor de velocidad y este transmite movimiento a través de engranajes cónicos con una relación de velocidad i=1:1 El movimiento se transmite a 90° de la forma mostrada en la figura 3.11

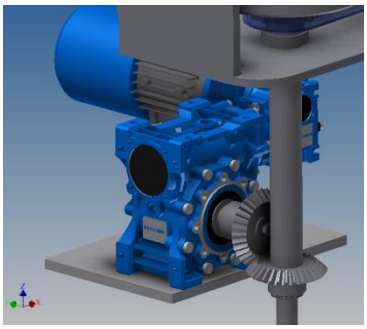


Figura 3.11: Transmisión y posición de los engranajes cónicos

### 3.2.5.2 DIMENSIONAMIENTO DE LOS ENGRANAJES CÓNICOS

Los engranajes cónicos son iguales, construidos con un ángulo de presión de 20°, módulo 3 y 30 dientes en la conductora y en la conducida, con estos datos se determina las propiedades geométricas que se presenta en la Tabla 3.5, apoyado en la referencia de la figura 3.12, que indica los nombres de las partes constituyentes de los piñones cónicos y la disposición geométrica de los engranajes a 90° para la transmisión horizontal a vertical.

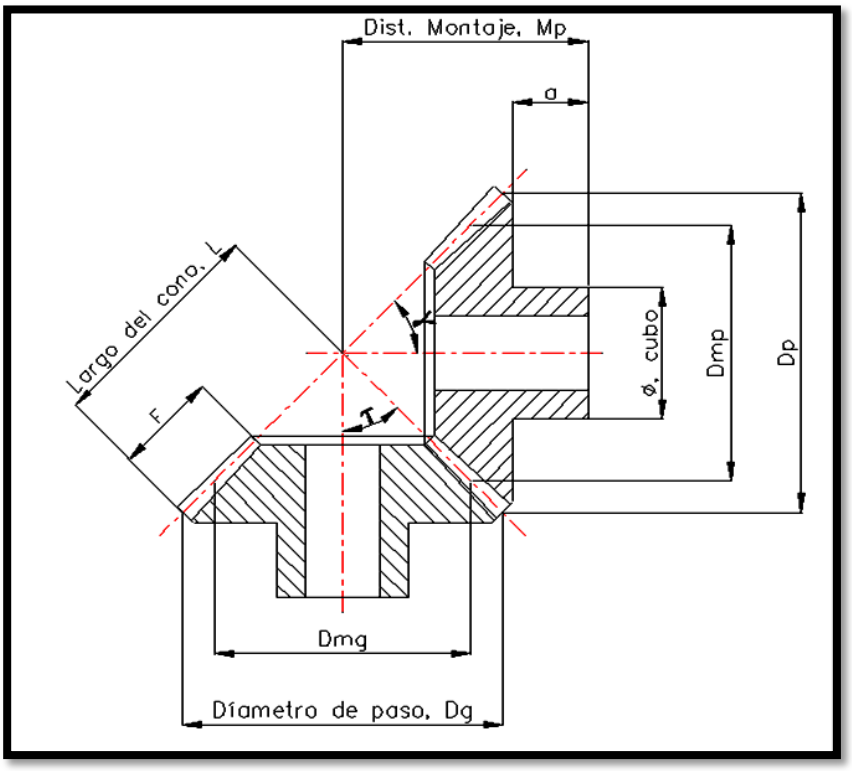



Figura 3.12: Nomenclatura de los engranajes cónicos

**Tabla 3.5: Principales dimensiones geométricas de los engranajes cónicos**

| Relación de Transmisión, i | Piñón (p) – Engrane (g) |
|---|---|
| **Dónde:**<br>$Z_p$: Número de dientes del piñón.<br>$Z_g$: Número de dientes del engrane. | $i = \frac{Z_g}{Z_p}$ $(Ecuación\ 3.12)$<br>$i = \frac{30}{30} = 1$ |
| **Paso diametral, Pd**<br>**Donde:**<br>$D_p$: Diámetro de paso del piñón.<br>$D_g$: Diámetro de paso del engrane. | $Pd = \frac{Z_p}{D_p} = \frac{Z_g}{D_g}$ $(Ecuación\ 3.13)$<br>$Dp = Dg = 90mm = 3.543plg$<br>$Pd = \frac{30}{3.543plg} = 8.5\ dientes/plg$ |
| **Diámetro de paso, D**<br>**Dónde:**<br>Z: Número de dientes.<br>m: Módulo [mm].<br>Pd: Paso diametral [dte/pulg]. | $D = \frac{Z_p}{P_p} = \frac{Z_g}{P_g} = m \cdot Z$ $(Ecuación\ 3.14)$<br>$D_p = D_g = 3 \times 30 = 90mm = 3.543\ plg$<br>$D_p = D_g = 3.543\ plg$ |
| **Ángulos de paso ɣ, Γ**<br>**Donde:**<br>$Zp$: Número de dientes del piñón.<br>$Zg$: Número de dientes del engrane. | $\gamma = tan^{-1}\frac{Zp}{Zg}$ ; $\Gamma = tan^{-1}\frac{Zg}{Zp}$ $(Ecuación\ 3.15)$<br>$\gamma = tan^{-1}\frac{30}{30}\ 45°$ ; $\Gamma = \ 45°$ |
| **Largo del cono, L** | $L = \frac{Dg}{2sen\Gamma}$ $(Ecuación\ 3.16)$<br>$L = \frac{3.54plg}{2sen45°} = 2.505\ plg$ |
| **Anchura de cara, F** | $F = \frac{L}{3}$ $(Ecuación\ 3.17)$<br>$F = \frac{2.505plg}{3} = 0.835\ plg$ |
| **Diámetro medio, Dm** | $Dm = D - F \cdot sen\ \Gamma$ $(Ecuación\ 3.18)$<br>$Dm = 3.54plg - 0.835plg \cdot sen\ 45°$<br>$Dm = 2.95\ plg$ |

Fuente: MOTT, Robert, *"Diseño de elementos de máquinas"*, p. 463

### 3.2.5.3 SELECCIÓN DEL MATERIAL DEL ENGRANE CON BASE AL ESFUERZO

**ECUACIONES A UTILIZAR**[17]

El esfuerzo flexionarte máximo ocurre en la raíz del diente, justo en el chaflán. Este esfuerzo se calcula con:

$$St = \frac{Wt \cdot Pd}{F \cdot J} \cdot \frac{Ks \cdot Ko \cdot Km}{Kv} \qquad (Ecuación\ 3.19)$$

Donde:

$St$ = Esfuerzo por flexión [Psi]

$Wt$ = Carga tangencial [lb]

$Pd$ = Paso diametral [dte/plg]

$F$ = Anchura de cara [plg]

$Ko$ = Factor de corrección por sobrecarga.

$Kv$ = Factor dinámico.

$Ks$ = Factor de tamaño.

$Km$ = Factor de distribución de carga.

$J$ = Factor geométrico.

Para calcular la carga tangencial, se utiliza el diámetro de paso que es el diámetro del engranaje en su extremo grande.

$$Wt = \frac{2T}{D} \qquad (Ecuación\ 3.20)$$

Donde:

$D$ = Diámetro de paso [plg]

$T$ = Torque [lb.plg]

$Wt$ = Carga tangencial [lb]

[17] MOTT, Robert, *Diseño de Elementos de Máquinas*, 4ta edición, Editorial PEARSON, p.470

- **El factor de sobrecarga Ko,** considera la probabilidad de las variaciones de carga, vibraciones, choques, cambios de velocidad, entre otras condiciones que puedan causar cargas máximas mayores que Wt (fuerza tangencial), aplicadas a los dientes del engrane durante el funcionamiento.

- **El factor de tamaño, Ks.** La AGMA indica que se puede suponer este factor como 1 para la mayoría de los engranes. Pero para engranes grandes o grandes anchos de caras es recomendable manejar un valor mayor que 1.

- **El factor de distribución de carga, Km.** Estos valores dependen mucho de la forma de montaje tanto el piñón como el engrane. Los montajes que se pueden presentar son cuando ambos engranes están montados entre rodamientos, cuando un engrane está montado entre rodamientos y cuando ningún engrane está montado entre rodamientos.

- **El factor dinámico, Kv.** Entre los aspectos que afectan al factor dinámico incluyen la exactitud de manufactura de los dientes del engrane (número de calidad), la velocidad de la línea de paso Vt, la carga en el diente y la rigidez del mismo. La Asociación Americana de Fabricantes de Engranajes, AGMA por sus siglas en inglés, recomienda el siguiente procedimiento para determinar el factor dinámico para engranes cónicos.

$$Kv = \left[\frac{Kz}{Kz + \sqrt{Vt}}\right]^{u} \qquad (Ecuación\ 3.21)$$

$$u = \frac{8}{(2)^{0.5Q}} - Sat\left[\frac{125}{Ep + Eg}\right]$$

$$Kz = 85 - 10u \qquad (Ecuación\ 3.22)$$

$$Vt = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{12} \qquad (Ecuación\ 3.23)$$

Donde:

$Vt =$ Velocidad en la línea de paso [pie/seg.]

$D =$ Diámetro de paso [plg]

$n =$ Velocidad angular [1/min]

$Sat =$ Esfuerzo flexionante permisible [Psi], para engranes de acero grado 1, con templado total.

HB = Dureza Brinell (decisión de diseño aproximada).

Q = Número de calidad (para engranes, los valores de 5, 6 o 7).

Para que el funcionamiento sea seguro, es necesario especificar un material que tenga un esfuerzo flexionante admisible, *Sat*, mayor que el valor calculado.

$$St < Sat$$

Si se espera que los dientes del engrane a analizar tengan un número de ciclos diferente de $10^7$, debe hacerse un ajuste en el número de esfuerzo flexionante admisible.

El esfuerzo admisible ajustado considera las incertidumbres en el análisis del diseño, las características del material, tolerancias de manufactura, o bien para tener una medida adicional de seguridad, está dado por la ecuación:

$$S'_{at} = \frac{Sat \cdot Y_N}{FS \cdot K_g} \qquad (Ecuación\ 3.24)$$

Donde:

$S'_{at}$ = Número de esfuerzo flexionante admisible ajustado.

$S_{at}$ = Esfuerzo flexionante permisible [Psi]

$FS$ = Factor de seguridad.

$Y_N$ = Factor de ciclos de esfuerzo por resistencia a la flexión.

$K_g$ = Factor de confiabilidad.

- **Factor por ciclos de esfuerzo, $Y_N$**: Este factor se determina a partir del número de ciclos de carga esperado, el cual se determina mediante la ecuación.

$$Nc = 60 \cdot L \cdot n \cdot q \qquad (Ecuación\ 3.25)$$

Donde:

$Nc$ = Número de ciclos de carga esperado.
$L$ = Vida de diseño [horas]
$n$ = Velocidad de giro del engrane [rpm]
$q$ = Número de aplicaciones de carga por revolución.

Si este valor es mayor que $10^7$ ciclos, necesariamente se debe hacer el ajuste en el número de esfuerzo admisible.

- **El factor de confiabilidad, $K_R$.** Es una cifra que ajusta la confiabilidad del diseño, basándose en análisis estadísticos de datos de fallas.

### 3.2.5.4 ANÁLISIS DEL ENGRANAJE A FATIGA POR FLEXIÓN

Se determina el esfuerzo flexionante que está determinado por la ecuación 3.19:

$$St = \frac{Wt \cdot Pd}{F \cdot J} \cdot \frac{Ks \cdot Ko \cdot Km}{Kv}$$

Con las características del motorreductor se obtiene:

T = 145 N.m (1.280,66 lb.plg), H = 0.02hp; i = 900 (540rpm a 0.6rpm),

El eje motriz recibe el torque de servicio del motorreductor y se lo divide para los dos ejes transversales mediante los engranajes cónicos, por lo tanto el torque transmitido $T_1 = T/2$ ; se conoce el diámetro de paso ya calculado $D = 3.54\ plg$

$$Wt = \frac{2T_1}{D}$$

$$Wt = \frac{2(640.33\ lb \cdot plg)}{3.54\ plg} = 361.43\ lb$$

**Datos para la ecuación 3.19:**

Ko = 1.25[18] (Potencia uniforme y máquina impulsada con choque ligero)

Ks = 1 (Pd>5) [19]

Km = 1.32[20] (Un engranaje montado en pórtico, acero comercial de alta calidad)

Jp = Jg = 0.22[21]

Kv= Se calcula con la ecuación 3.21, para Q = 6, engranes de acero AISI 4340, dureza de 310 HB de ambos con un módulo de elasticidad de E = 30x10$^6$ Psi

$$Kv = \left[\frac{Kz}{Kz + \sqrt{Vt}}\right]^u \qquad (Ecuación\ 3.21)$$

Donde:

$Vt = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{12}$ ; n = $Velocidad\ angular\ \ del\ eje\ motriz.$ $n = 0.6\ (1/\text{min})$

$$Vt = \frac{\pi \cdot 3.54 \cdot 0.6(1/\text{min})}{12} = 0.556\ pie/min$$

$$Sat = 36000\ psi$$

$$u = \frac{8}{(2)^{0.5Q}} - Sat\left[\frac{125}{Ep + Eg}\right]$$

$$u = \frac{8}{(2)^{0.5(6)}} - 36000\left[\frac{125}{60\text{x}10^6}\right] = 0.925$$

$$Kz = 85 - 10u = 75.75$$

$$\text{Kv} = \left[\frac{75.75}{75.75 + \sqrt{0.55}}\right]^{0.925} = 1.37$$

[18] MOTT, Robert, Op. Cit. p.389
[19] Idem., p.389
[20] Idem., p.471
[21] Idem., p.472

Remplazando los valores obtenidos en la ecuación 3.19, se tiene:

$$S_t = \frac{361.43 \cdot 8.47}{0.835 \cdot 0.22} \cdot \frac{1 \cdot 1.25 \cdot 1.32}{1.37} = 20023.48\, psi$$

Se estima un vida útil de 10 años, para este tiempo el número de ciclos de carga en los engranes está dado por la ecuación 3.25

Datos para la ecuación 3.25:

$L$ = 200000 [horas]

$n = 0.6$ [rpm]

$q$ = 1

$$Nc = 60 \cdot 20000 \cdot 0.6 \cdot 1 = 7.20x10^{6}$$

El número de ciclos calculado es superior a $10^7$ ciclos, el esfuerzo calculado se modifica mediante la ecuación 3.24

Datos para la ecuación 3.24:

$Sat$ = 77.3 (320) + 12800 = 37536

$FS$ = 1.5

$Y_N$ = 0.98[22]

$K_g$ = 0.85[23]

$$S'_{at} = \frac{37536 \cdot 0.98}{1.5 \cdot 0.85} = 28851.2\, psi$$

$S_t < S'_{at}$

$20057.04 < 28851.2\ [psi]$ $Satisfactorio$

Se observa que el valor de $S'_{at}$ es mayor que $S_t$ ; por tanto los dientes del engranaje resistirán los esfuerzos flexionante, sin embargo es necesario realizar el análisis de fatiga por desgaste.

[22] ROBERT Mott, Op. Cit., p.395
[23] Idem., p.396

### 3.2.5.5 ANÁLISIS A FATIGA POR DESGASTE DE LA SUPERFICIE

El cálculo del esfuerzo flexionante está determinado por la ecuación:

$$Sc = Cp \cdot Cb \sqrt{\frac{Wt \cdot Co \cdot Cm}{F \cdot D \cdot I \cdot Cv}} \qquad (Ecuación\ 3.26)$$

Donde:

$Sc =$ Esfuerzo por contacto [Psi]

$Cp =$ Coeficiente elástico.

$Cb =$ Constante que permite el uso del mismo esfuerzo de contacto que en los engranajes rectos.

$Wt =$ Carga tangencial [lb]

$D =$ Diámetro de paso [pulg]

$F =$ Anchura de cara [pulg]

$I =$ Factor de contacto geométrico.

$Co =$ Factor de corrección por sobrecarga.

$Cv =$ Factor dinámico.

$Cm =$ Factor de distribución de carga

Datos:

$Cp =$ 2300 (Engranes de acero) [24]

$Cb =$ 0.634

$Wt =$ 361.43 lb

$D =$ 3.54 plg

$F =$ 0.835 plg

$I =$ 0.067[25]; Ng=30, Np=30 dientes.

$Co =$ Ko=1.25

$Cv =$ Kv=0.9891

$Cm =$ Km=1.32

[24] MOTT, Robert, Op. Cit. p.400
[25] Idem., p.474

Remplazando en la ecuación 3.26, se tiene:

$$Sc = 2300 \cdot 0.634 \sqrt{\frac{361.43\ lb \cdot 1.25 \cdot 1.32}{0.835 \cdot 3.54 \cdot 0.067 \cdot 0.9891}}$$

$$Sc = 80420.46\ Psi$$

El esfuerzo por contacto admisible modificado está dado por la ecuación 2.20:

$$S'_{ac} = \frac{Sac \cdot Z_N.C_H}{FS \cdot K_R} \qquad (Ecuación\ 3.27)$$

Donde:

$Sac$ = Esfuerzo por contacto admisible

$Z_N$ = Factor se resistencia a la picadura por número de ciclos de esfuerzo

$C_H$ = Factor de relación de durezas

$K_R$= Factor de confiabilidad

Datos:

$Sac$ = 322HB + 29100; $Sac$ = 132140 psi

$Z_N$ = 0.95[26]

$C_H$ = 1[27]

$K_R$= 0.85

$$S'_{at} = \frac{132140 \cdot 0.95 \cdot 1}{1.5 \cdot 0.85} = 98457.25psi$$

80420.46 < 98457.25 [psi] por lo que un acero AISI 4340, con una dureza igual o superior a 250 HB, es adecuado para la construcción de los engranes.

Ver Anexo 3.3: Características del acero AISI 4340 (para engranajes cónicos)

[26] MOTT, Robert, Op. Cit. p.403
[27] Idem, p.404

### 3.2.5.6 ANÁLISIS DE FUERZAS: ENGRANES CÓNICOS

Al determinar las cargas en el eje y en los cojinetes para aplicaciones de engranes cónicos, la práctica usual consiste en utilizar la carga tangencial o transmitida que ocurriría si todas las fuerzas estuvieran concentradas en el punto medio del diente, aunque la real resultante ocurre en algún punto entre el punto medio y el extremo mayor del diente; sólo hay un pequeño error al hacer esta suposición[28].

Debido a la forma cónica de éstos engranes, y debido a la forma involuta del diente, sobre los dientes de los engranes cónicos actúa un conjunto de fuerzas con tres componentes, la fuerza tangencial, Wt, la fuerza radial, Wr y la fuerza axial, Wa, Ver Figura 3.13

La fuerza tangencial es fuerza que produce el par de torsión sobre el piñón y sobre el engrane. Se puede calcular el par torsional a partir de la potencia transmitida conocida, y de la velocidad de giro.

$$T = \frac{63000 \cdot P}{n} \qquad (Ecuación\ 3.28)$$

Donde:

T= Par torsional [lb.plg]

P= Potencia transmitida [hp]

n= Velocidad angular [rpm]

La cara transmitida está dada por:

$$w_t = \frac{2T}{D_m} \qquad (Ecuación\ 3.29)$$

Dónde:

$D_m$ = Diámetro medio [plg]

$T$ = Torque [lb.plg]

[28] SHIGLEY, Joseph, "*Diseño en Ingeniería Mecánica*", $6^{ta}$ Edición, Mc Graw Hill, p.871

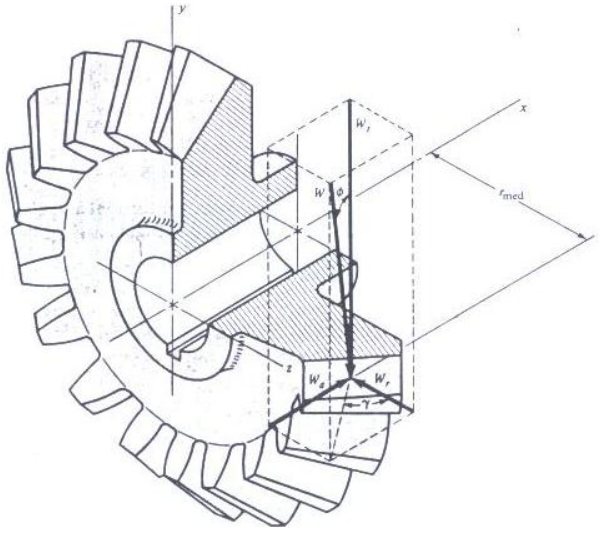


Figura 3.13: Fuerzas sobre los dientes de engranajes cónicos rectos

El eje motriz recibe el torque de servicio del motorreductor y lo divide para los dos ejes por medio de los engranajes cónicos, el torque transmitido es:
T2=T1/2=640.77lb.plg se obtiene las fuerzas calculadas, mostradas en la Tabla 3.6

**Tabla 3.6: Análisis de fuerzas: engranes cónicos**

| **Piñón** | |
|---|---|
| $\tan\gamma = \frac{Dp}{Dg} = \frac{Np}{Ng}$ | $\tan\gamma = \frac{90}{90}; \gamma = \emptyset = 45°$ |
| **Diámetro medio, Dm** | $Dm = D - F \cdot sen\,\gamma$<br>$Dm = 3.54plg - 0.835plg \cdot sen\,45°$<br>$Dm = 2.95plg$ |
| **Componente tangencial**<br>$w_t = \frac{2T}{D_m}$ $(Ecuación\ 3.30)$ | $w_t = \frac{2(640.77\text{lb.plg})}{2.95\text{plg}}$<br>$w_t = 434.01lb = 1934.66N$ |
| **Componente radial**<br>$W_r = W_t\ tan\emptyset\ cos\gamma$ $(Ecuación\ 3.31)$ | $W_r = 306.89lb = 1368.01N$ |
| **Componente axial**<br>$W_a = W_t\ tan\emptyset\ sen\gamma$ $(Ecuación\ 3.32)$ | $W_a = 306.89lb = 1368.01N$ |

**Fuente:** SHIGLEY, Joseph, "*Diseño en Ingeniería Mecánica*", $6^{ta}$Edición, Mc Graw Hill, p.871

### 3.2.6 DISEÑO DE EJES

Los ejes o árboles son elementos de máquinas que trabajan como ejes de transmisión o solamente como ejes, con el fin de transferir movimiento y par de torsión rotatorio de un sitio a otro; en una máquina proporciona como mínimo un par de torsión proveniente de un impulsor (motor, generador, etc); además en muchos casos sirven como soporte a otros elementos, tales como: catalinas, rodamientos, ruedas dentadas, etc. Estos elementos ejercen cargas de flexión, tensión, compresión o torsión que actúan de forma individual o combinado.

El esfuerzo a utilizar para el diseño, depende de la situación particular del punto de interés (sección crítica). En muchos casos es necesario efectuar cálculos en varios puntos, para examinar por completo la variedad de condiciones de carga y condiciones geométricas que existan a lo largo del eje.

#### 3.2.6.1 ESFUERZO CORTANTE DE DISEÑO-ESFUERZO CORTANTE VERTICAL INVERTIDO

Los puntos sobre un eje donde no se aplica par torsional, y donde los momentos flexionantes son igual a cero o muy bajos, con frecuencia están sujetos a fuerzas cortantes verticales importantes, que son las que gobiernan el diseño.

Considerando la teoría de la energía de la distorsión, que es el mejor indicador de falla en materiales dúctiles; para este caso el factor de seguridad está dado por:

$$N = \frac{0{,}577\ S'n\ (3A)}{Kt\ (4V)} \qquad (Ecuación\ 3.33)$$

Donde:

$S'n$ = Resistencia a la fatiga estimada [Psi]

$A$ = Área de la sección transversal [plg²]

$V$ = Fuerza cortante [lb]

$Kt$ = Factor por concentrador de esfuerzos

El objetivo normal del diseño de ejes es determinar el diámetro requerido por cada sección de interés, por lo que la ecuación anterior al sustituir el área se obtiene:

Despejo $A$, de la ecuación 3.33:

$$A = \frac{Kt \cdot (V) \cdot N}{0.433 \cdot S'n}$$

El objetivo normal es el diseño del eje para determinar el diámetro requerido, por sustitución de:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

Por tanto:

$$D = \sqrt{\frac{2{,}94\ .\ Kt\ .\ V\ .\ N}{S'n}} \qquad (Ecuación\ 3.34)$$

Donde:

$D =$ Diámetro mínimo de la sección de eje [plg]

$Kt =$ Factor por concentrador de esfuerzos

$V =$ Fuerza cortante [lb]

$S'n =$ Límite resistencia a la fatiga modificado [Psi]

$N =$ Factor de seguridad

### 3.2.6.2 ESFUERZO NORMAL DE DISEÑO CARGA POR FATIGA

Cuando los ejes están sometidos a flexión y a torsión es necesario preparar los diagramas de momentos flexionantes en los planos perpendiculares, para determinar el momento flexionante resultante en cada punto de interés.

Para este caso y para el caso de flexión o torsión pura se aplica la siguiente ecuación:

$$D = \left[\frac{32\,N}{\pi}\sqrt{\left(\frac{Kt.M}{S'n}\right)^2 + \frac{3}{4}\left(\frac{T}{Sy}\right)^2}\right]^{1/3} \qquad (Ecuación\ 3.35)$$

Donde:

$D$ = Diámetro mínimo de la sección de eje [plg]

$N$ = Factor de seguridad

$Kt$ = Factor por concentrador de esfuerzos

$M$ = Momento flexionante [lb.plg]

$S'n$ = Límite resistencia a la fatiga modificado [Psi]

$T$ = Par torsional [lb.plg]

$Sy$ = Resistencia de fluencia del material [Psi]

### 3.2.6.3 RESISTENCIA A LA FATIGA REAL ESTIMADA[29], S´n

La resistencia a la fatiga real estimada implica, aplicar varios factores de corrección a la resistencia a la fatiga básica de un material.

Los principales factores que afectan la resistencia a la fatiga son:

- Acabado superficial
- Factor de material, Cm
- Factor de tipo de esfuerzo, Cst
- Factor de confiabilidad, $C_R$
- Factor de tamaño, Cs

De esta manera la resistencia a la fatiga real estimada queda definida por la ecuación:

$$S'n = Sn * Cm * Cst * C_R * Cs \qquad (Ecuación\ 3.36)$$

[29] MOTT, Robert, Op. Cit. p.175

Dónde:

$Sn =$ Resistencia a la fatiga en función de la resistencia a la tensión y considerando la condición de la superficie

### 3.2.6.4 FACTOR POR CONCENTRADORES DE ESFUERZOS

Los concentradores de esfuerzos son discontinuidades geométricas encontradas comúnmente en los ejes de transmisión de potencia: chaveteros, escalones, ranuras para anillos de seguridad.

**3.2.6.4.1 Chaveteros:** Son ranuras longitudinales (Ver Figura 3.14) que se cortan en un eje, para montar una chaveta que permita la transferencia del par torsional del eje al elemento transmisor de potencia, o viceversa. Los valores usuales de Kt, manejados en diseño son de 1.6 a 2.

Se aplica estos valores al cálculo del esfuerzo flexionante en el eje tomando como base su diámetro total.

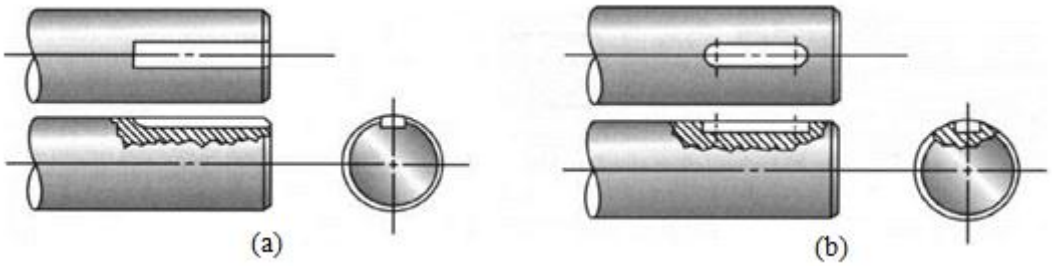



Figura 3.14: Tipos de chaveteros (a) chavetero trineo (b) chavetero de perfil

**Análisis de los esfuerzos para determinar la longitud de las chavetas.**

Existen dos modos básicos de falla potencial de las cuñas que transmiten potencia:

1. Corte a través de la interface eje/cubo.
2. Falla por compresión, debido a la acción del empuje entre los lados de la chaveta y el material del eje o del cubo.

Para analizar cada uno de estos modos de falla es necesario comprender las fuerzas que actúan sobre la chaveta, la (Figura 3.15) muestra el caso idealizado, donde el par torsional crea una fuerza sobre la cara izquierda de la chaveta, a su vez, la cuña ejerce una fuerza sobre la cara derecha del chavetero del cubo.

La fuerza de reacción del chavetero, de regreso hacia la chaveta, produce entonces un conjunto de fuerzas opuestas que someten a la cuña a un cortante directo a través de su sección transversal, $W = L$.

La magnitud de la fuerza cortante se puede calcular con:

$$F = \frac{T}{D/2} \qquad (Ecuación\ 3.37\ )$$

Entonces el esfuerzo cortante es:

$$\tau = \frac{F}{A_s} = \frac{T}{(\frac{D}{2})(WL)} = \frac{2T}{DWL}$$

En los diseños se puede igualar el esfuerzo cortante y el esfuerzo de diseño al cortante, para la teoría de falla por esfuerzo cortante máximo:

$$\tau_d = \frac{0.5S_y}{N}$$

Entonces la longitud necesaria de la cuña es:

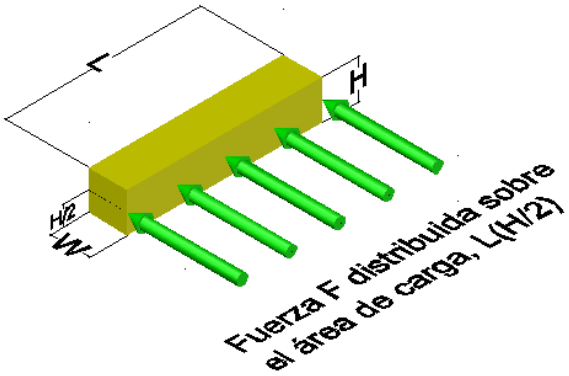
$$L = \frac{2T}{\tau_d DW} \qquad (Ecuación\ 3.38)$$

Donde:

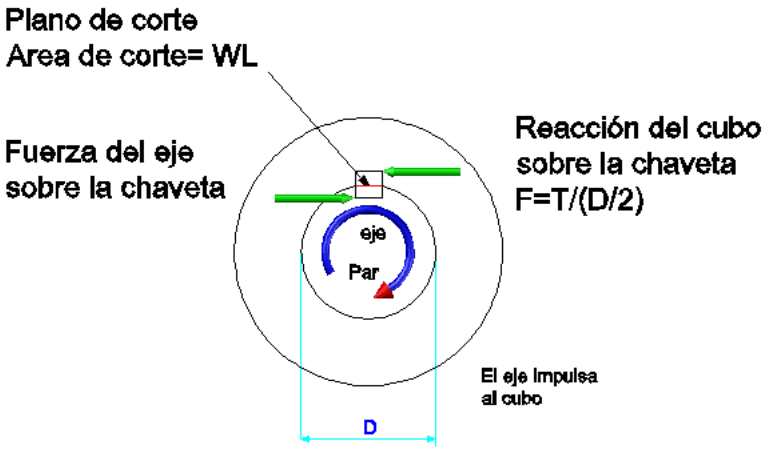
$T$ = Torque

$D$= Diámetro del eje

$W$= Ancho de la chaveta




**(a)**




**(b)**

Figura 3.15: Disposición de fuerzas en la chaveta (a) perspectiva, (b) frontal

La falla por empuje se relaciona con el esfuerzo de compresión en el lado de la chaveta, el lado del chavetero en el eje, o el lado del chavetero en el cubo.

El área a la compresión es igual para cualquiera de esas zonas, $L \cdot \left(\frac{H}{2}\right)$. Así, la falla en la superficie que tenga la menor resistencia a la fluencia por compresión. Defina un esfuerzo de diseño para compresión como sigue:

$$\sigma_d = S_y/N$$

Entonces, el esfuerzo de compresión es:

$$\sigma = \frac{F}{A_c} = \frac{T}{(\frac{D}{2})(L)(\frac{H}{2})} = \frac{4T}{DLH}$$

Si se iguala este esfuerzo al esfuerzo de diseño para compresión, se puede calcular la longitud necesaria de la chaveta, para este modo de falla:

$$L = \frac{4T}{\sigma_d DH} \qquad (Ecuación\ 3.39)$$

En aplicaciones industriales, N=3 es adecuado.

Para diseñar una cuña cuadrada con menor resistencia de su material que la resistencia del eje o del cubo, con las ecuaciones (3. 37) y (3.38) se obtiene el mismo resultado. Al sustituir el esfuerzo de diseño en cualquiera de ellas se obtiene:

$$L = \frac{4TN}{DHS_y} \qquad (Ecuación\ 3.40)$$

Si el eje o el cubo tienen una resistencia de fluencia menor que la chaveta, se asegura evaluando la longitud con la ecuación 3.38

Ver Anexo 3.4: Tamaño de la chaveta en función del diámetro del eje

#### 3.2.6.4.2 Ranuras para anillos de seguridad

Los anillos de seguridad se usan en muchas funciones de localización en los ejes. Estos anillos se insertan en unas ranuras en el eje, después de colocar en su lugar el elemento que se va a asegurar. La geometría queda determinada por el fabricante del anillo. Para el diseño preliminar el factor es 3. El valor estimado del diámetro calculado es el de la base de la ranura por lo que se debe aumentar en 6 % aproximadamente para obtener el diámetro de la sección. Ver fig. 3.16

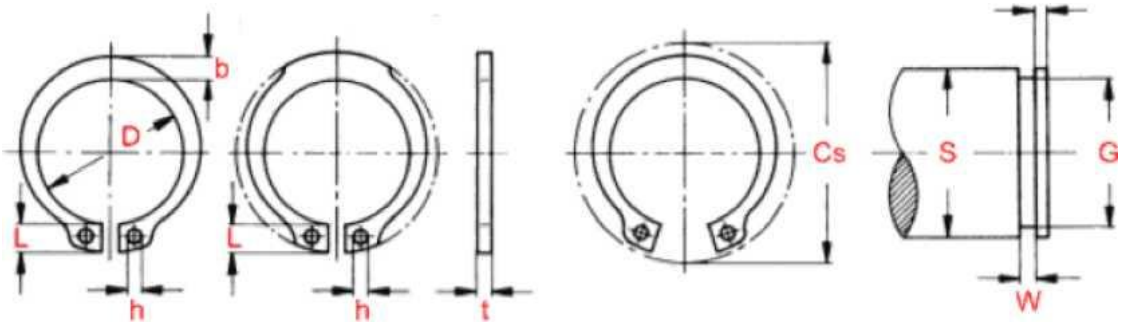



Figura 3.16: Dimensiones de los anillos de seguridad y ranuras. (Ver Anexo 3.5)

### 3.2.6.4.3 Chaflanes en escalones

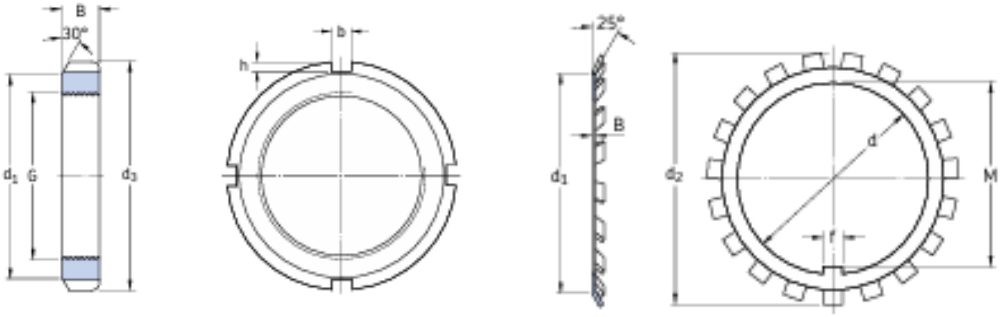
Cuando en un eje se presenta un cambio de diámetro, forma un escalón y el concentrador de esfuerzo se sitúa justo en la esquina por lo que siempre debe existir un chaflán para minimizar la concentración de esfuerzos. Los chaflanes son de dos tipos agudos y bien redondeados.

Los chaflanes agudos se construyen cuando se desea situar elementos topados contra el escalón como rodamientos, poleas, engranajes, etc. Mientras que los chaflanes bien redondeados se utilizan para realizar cambios de sección necesarios para introducir cualquier elemento y fijarlo en la sección mayor. El valor del factor de esfuerzo para un chaflán agudo es 2.5 y para un chaflán bien redondeado es 1.5

### 3.2.6.4.4 Accesorios de rodamientos: tuercas de fijación con arandela de retención

Las tuercas de fijación SKF con una arandela de retención o un seguro de fijación tienen cuatro u ocho ranuras respectivamente, equidistantes entre sí, alrededor del diámetro exterior (figura 3.17 a) para una llave de gancho o de impacto. Las designaciones de las llaves adecuadas se muestran en las tablas de productos.

La tuerca y el mecanismo de fijación deberán pedirse por separado. La arandela de retención (figura 3.17 b) o seguro de fijación apropiado se muestran en las tablas de productos.




(a) (b)

Figura 3.17: Dimensiones de tuercas de fijación y ranuras. (Ver Anexo 3.6)

### 3.2.7 COJINETES O RODAMIENTOS

Son elementos mecánicos cuyo propósito es soportar carga y al mismo tiempo permitir el movimiento relativo entre dos elementos de una máquina.

Las cargas radiales actúan hacia el centro del cojinete, estas cargas son comúnmente causadas por elementos de transmisión de potencia, como los engranes rectos, las poleas para bandas en V y las transmisiones por cadena. Las cargas de empuje son aquellas que actúan paralelas a la línea central del eje.

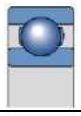
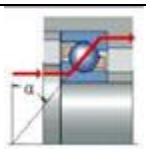
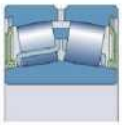
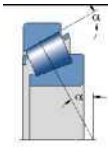
Los componentes axiales de las fuerzas sobre engranajes helicoidales, coronas-sinfines, engranajes cónicos, son cargas de empuje. También, los rodamientos que sostienen ejes verticales están sujetos a cargas de empuje causadas por el peso del eje y por los elementos en el eje, así como también las fuerzas axiales de operación.

#### 3.2.7.1 Clasificación de los rodamientos

Los rodamientos se clasifican según la carga que soporten.

A continuación en la Tabla 3.7 se establece una comparación de los tipos de rodamientos.

**Tabla 3.7: Tabla por comparación de carga entre los tipos de rodamientos**

| Tipo de rodamiento | Gráfico | Capacidad de carga radial | Capacidad de carga de empuje |
|---|---|---|---|
| Una hilera de bolas con ranura profunda |  | Buena | Regular |
| Doble hilera de bolas, ranura profunda | | Excelente | Buena |
| Contacto angular |  | Buena | Excelente |
| Rodillos cilíndricos | | Excelente | Mala |
| Agujas | | Excelente | Mala |
| Rodillos esféricos |  | Excelente | Regular a Buena |
| Rodillos cónicos |  | Excelente | Excelente |
| Axiales | | Mala | Excelente |

Fuente: SKF, *Catálogo General*, 2006

### 3.2.7.2 Relación entre la carga y la duración

A pesar de usar aceros de muy alta resistencia, todos los rodamientos tienen una duración finita, y terminarán por fallar debido a la fatiga causada por altos esfuerzos de contacto. Mientras menor sea la carga, la duración será mayor, y viceversa. La relación entre la carga P y la duración L se determina, para los cojinetes con contacto de rodadura, con:

$$\frac{L_2}{L_1} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^k \qquad (Ecuación\ 3.41)$$

Donde:

$k = 3$ Para rodamientos de bolas

$k = 10/3$ Para rodamientos de rodillo

### 3.2.7.3 Selección de rodamientos

La selección de un rodamiento, con la ayuda de un catálogo de un fabricante, implica determinar la capacidad de carga y la geometría del rodamiento. Para facilitar los cálculos, algunos fabricantes proporcionan gráficas o tablas de factores de duración y factores de velocidad, como indica la Fig. 3.18

La capacidad de carga dinámica básica $C$, para un rodamiento que soporte una carga P de diseño se determina con la ecuación:

$$C = \frac{P \cdot f_L}{f_N} \qquad (Ecuación\ 3.42)$$

Donde:

$f_L =$ Factor de duración

$f_N =$ Factor de velocidad

$C =$ Capacidad de carga dinámica

$P =$ Carga

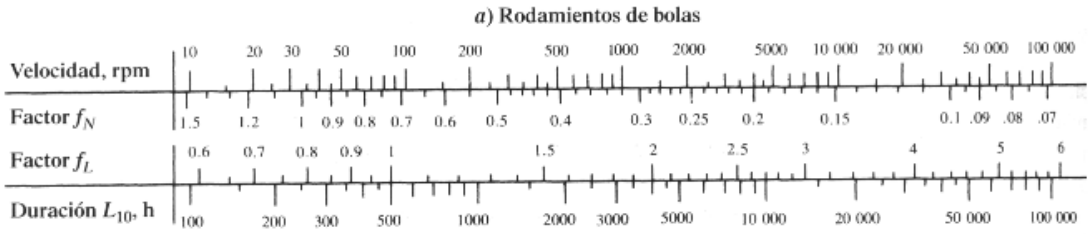



Figura 3.18: Factores de duración y de velocidad para rodamientos de bolas

La selección de rodamiento se da después de haber diseñado el eje, hasta el punto donde se ha determinado el diámetro mínimo de la sección.

Existen dos procedimientos para la selección de un rodamiento, el primero para cuando el rodamiento soporta únicamente carga radial y el otro para cuando el rodamiento soporta una combinación de cargas, radial y de empuje.

En el primer caso es necesario especificar la carga de diseño sobre el rodamiento, a la cual se le conoce como carga equivalente.

$$P = V \cdot R \qquad (Ecuación\ 3.43)$$

Donde:

$V =$ Factor de rotación, tiene el valor de 1 si lo que gira es la pista interior del rodamiento, y 1.3 si lo que gira es la pista exterior.

$R =$ Carga radial.

Cuando sobre un rodamiento se ejercen, al mismo tiempo, cargas radiales y de empuje, el cálculo de la carga equivalente P, que se presenta en los catálogos y tiene la forma siguiente:

$$P = VXR + YT \qquad (Ecuación\ 3.44)$$

Donde:

$P =$ Carga equivalente

$V =$ Factor por rotación

$R =$ Carga radial aplicada

$T =$ Carga de empuje aplicada

$X =$ Factor radial

$Y =$ Factor de empuje.

Los valores de $X$ y $Y$ varían con el diseño específico de rodamiento y con la magnitud de la carga de empuje en relación con la carga radial.

Para indicar la carga límite de empuje, los fabricantes mencionan un factor llamado $e$. Si la relación $T/R > e$, se debe emplear la ecuación 3.43 para calcular la carga equivalente. Si $T/R < e$, se emplea la ecuación 3.44

La tabla 3.8 muestra un conjunto de datos para un rodamiento de una hilera de bolas y ranura profunda.

**Tabla 3.8: Factores de carga radial y de empuje, para rodamientos de una hilera de bolas y ranura profunda**

| e | T/Co | Y |
|---|---|---|
| 0.19 | 0.014 | 2.30 |
| 0.22 | 0.028 | 1.99 |
| 0.26 | 0.056 | 1.71 |
| 0.28 | 0.084 | 1.55 |
| 0.30 | 0.110 | 1.45 |
| 0.34 | 0.170 | 1.31 |
| 0.38 | 0.280 | 1.15 |
| 0.42 | 0.420 | 1.04 |

Nota: X=0.56, Para todos los valores de Y, X=0.56

Fuente: Robert Mott, Diseño de Elementos de Maquinas, 4ta. Edición 2006 p. 614

La vida útil se estima según el cuadro de recomendaciones; el cálculo de la vida útil es dependiente del rodamiento en particular. Esto lo convierte en un cálculo iterativo en el cual se escoge un rodamiento y se comprueba su vida útil. Si el resultado es satisfactorio, la selección ha terminado, pero si la vida es menor o mucho mayor de lo recomendado, debe escogerse otro rodamiento y recalcular la vida.

Las tablas siguientes entregan recomendaciones para la vida útil que debería tener un rodamiento, para las aplicaciones que se detallan, este es el punto de partida, ver Tabla 3.9

**Tabla 3.9: Recomendaciones de la vida útil de los rodamientos**

| Aplicación | Vida en Horas |
|---|---|
| Instrumentos y aparatos de uso poco frecuente | Hasta 500 |
| Máquinas de poca operación o intermitentes interrupción poca importante | 4000-8000 |
| Máquinas de operación intermitentes funcionamiento de confiabilidad importante | 8000-14000 |
| Máquina con 8h no siempre utilizada | 14000-20000 |
| Máquina con 8h utilizada en jornadas enteras | 20000-30000 |
| Máquina con servicio 24h | 50000-60000 |
| Máquina con servicio 24h confiabilidad importante | 100000-20000 |

Fuente: CORTIZO RODRIGUEZ, José L, *"Elementos de máquinas",2004*

### 3.2.8 DISEÑO DEL EJE MOTRIZ

El eje motriz del sistema de conformado, como se advirtió tiene un accionamiento de un motorreductor de potencia baja, reducción de velocidad mínima para proporcionar el avance que requiere el sistema de soldadura FCAW-G (*Flux Cored Arc Welding-Gas*), por tal razón el eje motriz accionado debe alojar dos rodamientos, catalina, piñón cónico y el rodillo de conformado, (Ver la figura 3.19)

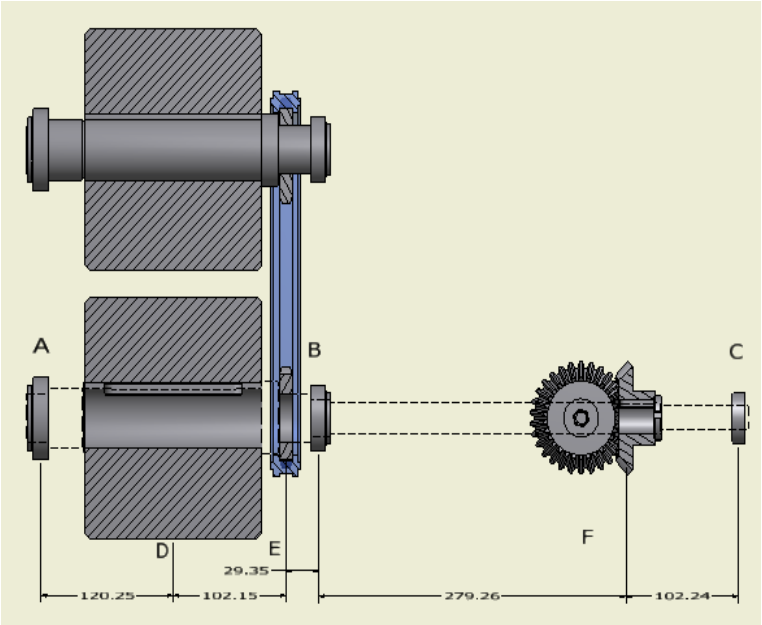



Figura 3.19: Configuración del eje motriz

Las fuerzas se calculará por separado, e indicaremos las fuerzas componentes en los planos vertical y horizontal, partiendo de la Figura 3.21 que involucra las fuerzas minuciosamente obtenidas.

**Fuerzas sobre el engrane punto F:** Las fuerzas del engrane: tangencial, radial y axial producidas en el engrane cónico, fueron previamente calculados, se tiene:

$$W_t = 434.01\ lb = 1934.66\ N$$

$$W_r = 306.89\ lb = 1368.01\ N$$

$$W_a = 306.89\ lb = 1368.01\ N$$

**Fuerza sobre catalina punto E:** muestra un par de ruedas *catalinas* con cadena que transmiten potencia según, Figura 3.20. La parte superior de la cadena está a tensión,

y produce el par torsional en cada catalina. El tramo inferior de la cadena, llamado lado *flojo*, no ejerce fuerzas sobre la catalina. En consecuencia, la fuerza flexionante total sobre el eje que sostiene la catalina es igual a la tensión en el lado tenso de la cadena, Si se conoce el par torsional es una catalina.

$$F_c = \frac{T}{D/2} \qquad (Ecuación\ 3.45)$$

Donde: $D =$ diámetro de paso de esa Catarina

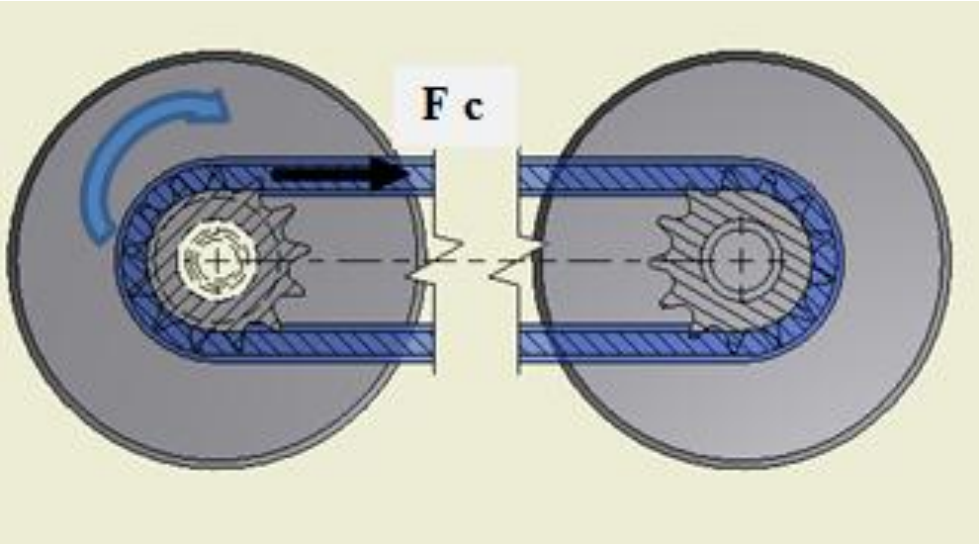



Figura 3.20: Diagrama de cuerpo libre de la tensión de la cadena

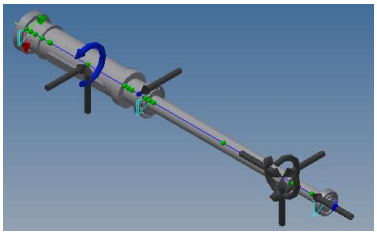
Debido a que la transmisión es 1:1, el ángulo entre estas dos es 0º, aplicando la ecuación 3.34 se tiene:

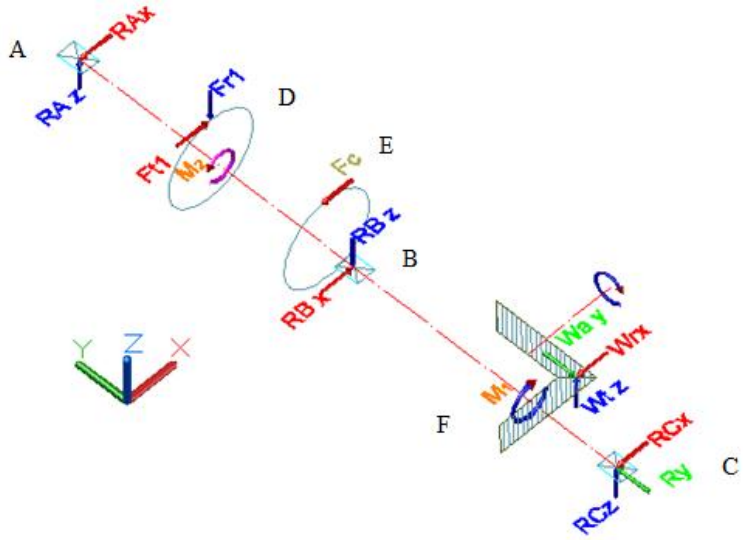
T=145 [Nm]; $D = 0.079m$

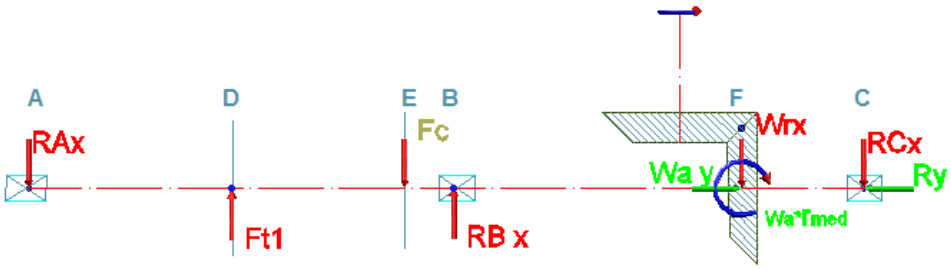
Por lo tanto Fc= 3.643,12 [N]

**Fuerzas sobre rodillo de conformado punto D:** En este punto la fuerza originada por el trabajo de ajuste al peralte de la viga más exigente, se estima fuerza radial provista por el cilindro neumático que proporciona fuerza teórica de avance $F_1 = 1178N\ (Fuerza\ teórica\ con\ 6bar\ de\ presión)$, además una fuerza tangencial de $Ft_1 = 300.5N$ por el desplazamiento de la viga tangencial al rodillo.

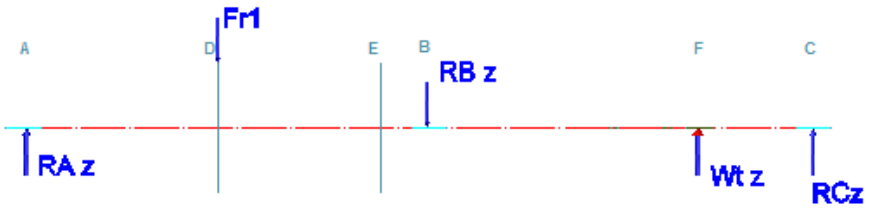
Las fuerzas estudiadas se detallan en la figura 3.21

| **Esquema:** | **Datos técnicos:** |
|---|---|
|  | Referencia : Eje motriz<br>Longitud : 655mm<br>Masa : 6.51 kg<br>Cantidad : 1u |



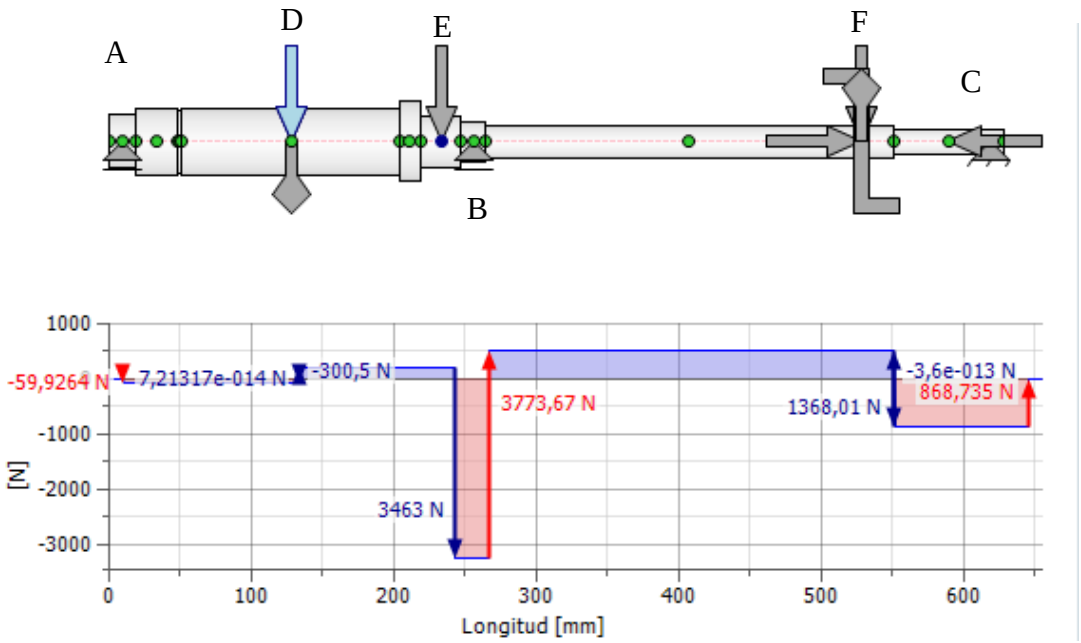

Plano XY (Horizontal)



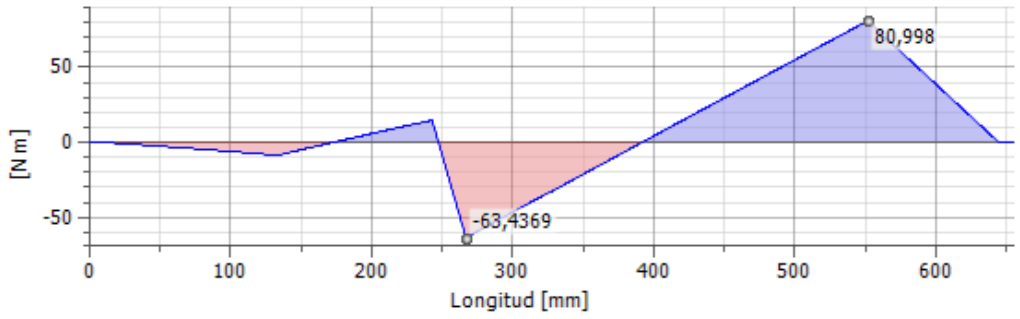

Plano YZ (Vertical)

Figura 3.21: Diagrama de cuerpo libre del eje motriz

La Figura 3.22 y 3.23 muestra las fuerzas que actúan sobre el eje, en cada elemento, así como las reacciones en los rodamientos y los diagramas de fuerza cortante y momento flexionante, para los planos horizontal y vertical resultante. En esa figura también se muestran los cálculos del momento flexionante resultante en los Puntos D, E, F




(a)




(b)

Figura 3.22: Diagrama de cortante (a) y momento flector (b) en el plano Horizontal del eje motriz[30]

[30] Autodesk Inventor Profesional, "*Generador de componentes de eje*", 2011

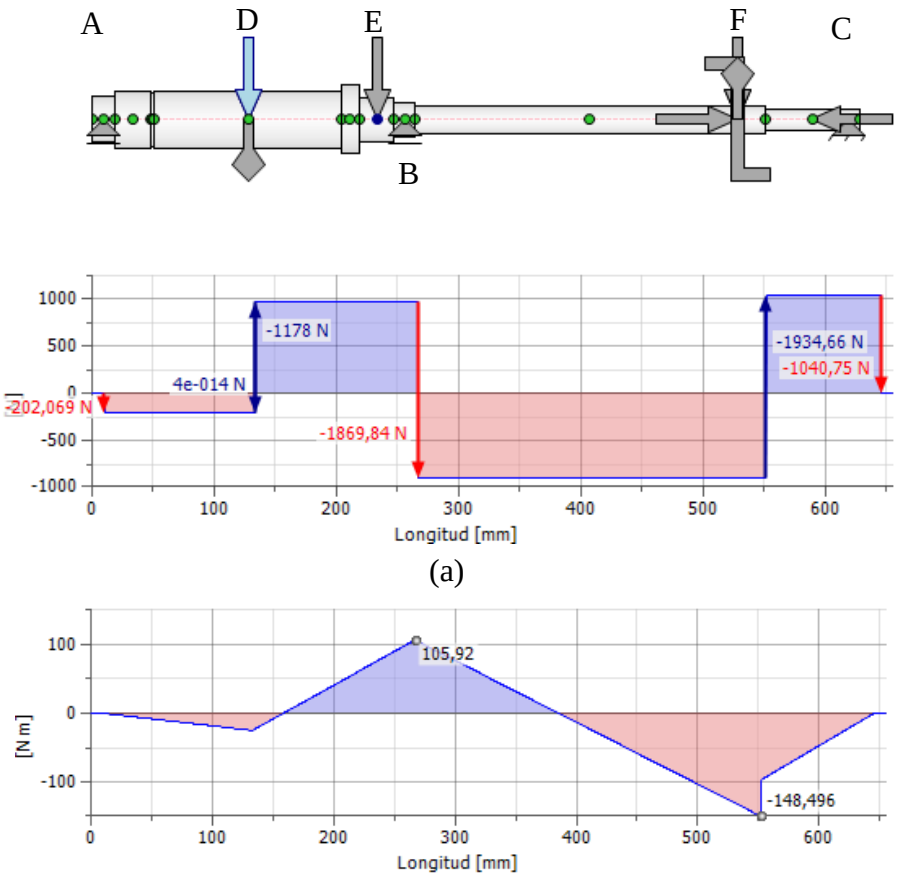



Figura 3.23: Diagrama de cortante (a) y momento flector (b) en el plano Vertical del eje motriz[31]

**MATERIAL:** AISI 1045, Sut: 565 Mpa (81.90Kpsi) Sy: 310 MPa(45Kpsi)

Ver Anexo 3.7: AISI 1045

La resistencia a la fatiga real estimada es

$$S'n = Sn * Cm * Cst * C_R * Cs \qquad Ecuación\ 3.46$$

Donde:

$Sn$ = 32 Kpsi[32] maquinado

Confiabilidad de 0.99

$C_R$ =0.81Factor de tamaño; Cs= 0.85

S´n = 32 (0.81) (0.85) = 22 Kpsi

[31] Autodesk Inventor Profesional, "*Generador de componentes de eje*", 2011
[32] MOTT, Robert, Op. Cit. p.175

**Sección D:** El rodillo de conformado ubicado en este punto transmite un par de torsión 145Nm (1281.53 lb.plg), se ubica un chavetero de perfil Kt=2; $M = \sqrt{235.71 + 93.41^2} = 253.55\ lb.plg$

$$Dd = \left[\frac{32 \cdot 2}{\pi} \cdot \sqrt{\left(\frac{2 \cdot 253.55}{22000}\right)^2 + \frac{3}{4}\left(\frac{1281.53}{45000}\right)^2}\right]^{1/3} = 0.88plg = 22.42mm$$

Por norma hay que aumentar 6% del diámetro para considerar la profundidad característica de las ranuras y determinar el tamaño nominal del eje, por lo tanto.

$$Dd = 1.06 * 0.88plg = 0.94\ plg = 23.76mm$$

**Sección E:** La Catarina ubicada en este punto, tiene par torsional 145Nm (1281.53lb.plg), se ubica un chavetero de trineo Kt=1.6; $M = \sqrt{111.80^2 + 689.55^2} = 698.55\ lb.plg$

$$De = \left[\frac{32 \cdot 2}{\pi} \cdot \sqrt{\left(\frac{1.6 \cdot 698.55}{22000}\right)^2 + \frac{3}{4}\left(\frac{1281.53}{45000}\right)^2}\right]^{1/3} = 1.05\ plg = 26.61mm$$

Por norma hay que aumentar 6% del diámetro para considerar la profundidad característica de las ranuras y determinar el tamaño nominal del eje, por lo tanto.

$$Dd = 1.06 * 1.05plg = 1.11plg = 28.21mm$$

**Sección F:** El engrane cónico ubicado en este punto transmite un par de torsión 145Nm (1281.53lb.plg) a la derecha, se ubica un escalón agudo, Kt = 2.5, con un momento flexionante calculado; $M = \sqrt{639.79^2 + 1177.06^2} = 1339.71lb.plg$

$$Df = \left[\frac{32 \cdot 2}{\pi} \cdot \sqrt{\left(\frac{2.5 \cdot 1339.71}{22000}\right)^2 + \frac{3}{4}\left(\frac{1281.53}{45000}\right)^2}\right]^{1/3} = 1.46plg = 37.18mm$$

**Sección A:** En este punto se ubica el rodamiento A, transmite un par de torsión 145Nm (1281.53lb.plg) a la derecha, se ubica un escalón agudo, Kt = 2.5, con un momento flexionante calculado; $M = \sqrt{6.70^2 + 21.83^2} = 22.83\ lb.plg$

$$Da = \left[\frac{32 \cdot 2}{\pi} \cdot \sqrt{\left(\frac{2.5 \cdot 22.83}{22000}\right)^2 + \frac{3}{4}\left(\frac{1281.53}{45000}\right)^2}\right]^{1/3} = 0.79plg = 20.23mm$$

**Sección B:** En este punto se ubica el rodamiento B, transmite un par de torsión 145Nm (1281.53lb.plg) a la derecha, se ubica un escalón agudo, Kt = 2.5, con un momento flexionante calculado; $M = \sqrt{109.41^2 + 700.86^2} = 709.35lb.plg$

$$Db = \left[\frac{32 \cdot 2}{\pi} \cdot \sqrt{\left(\frac{2.5 \cdot 709.35}{22000}\right)^2 + \frac{3}{4}\left(\frac{1281.53}{45000}\right)^2}\right]^{1/3} = 1.19plg = 30.41mm$$

**Sección C:** En este punto se ubica el rodamiento C, transmite un par de torsión 145Nm (1281.53lb.plg) a la derecha, se ubica un escalón agudo, Kt = 2.5, con un momento flexionante calculado; $M = \sqrt{139.38^2 + 167.08^2} = 217.59lb.plg$

$$Dc = \left[\frac{32 \cdot 2}{\pi} \cdot \sqrt{\left(\frac{2.5 \cdot 217.59}{22000}\right)^2 + \frac{3}{4}\left(\frac{1281.53}{45000}\right)^2}\right]^{\frac{1}{3}} = 0.89plg = 22.68mm$$

En la Tabla 3.10 se muestra el resumen del cálculo de diámetros obtenidos, en cada una de las secciones propuestas.

**Tabla 3.10: Especificación de los valores para el eje motriz**

| Parte Compañera | Referencia | Diámetro mínimo [mm] | Diámetro especificado [mm] |
|---|---|---|---|
| Rodamiento | A | 20.23 | 25 |
| Rodillo conformado | D | 23.76 | 35 |
| Catarina | E | 28.21 | 47 |
| Rodamiento | B | 30.41 | 45 |
| Engrane | F | 37.18 | 42 |
| Rodamiento | C | 22.68 | 31.75 |

### 3.2.8.1 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS PARA EL EJE MOTRIZ.

**Rodamiento A:** Se considera que el rodamiento soporta carga radial, por lo tanto se emplea la ecuación 3.40 para determinar la carga equivalente de un rodamiento de bolas:

| | | |
|---|---|---|
| $R$ | Carga radial, $R = \sqrt{RAx^2 + RAz^2}$ | $R = \sqrt{59.92^2 + 202.06^2}$= 210.76N=47.32lbf |
| $V$ | Factor por rotación | 1 |
| $P$ | Carga equivalente P=V·R | 210.76N=47.32lb |
| $f_L$ | Factor por duración, 50 khoras | 4.6 |
| $f_N$ | Factor por velocidad 0.5rpm, Figura 3.14 | 1.5 |
| $C$ | Capacidad de carga, $C = \frac{P \cdot f_L}{f_N}$ | $C = 653.38N = 146.67$lb |
| Selección: Con esta carga selecciono un rodamiento de una hilera de bolas y ranura profunda SKF 6305 (Ver Anexo 3.8) | | |

**Chaveta D**: De acuerdo al anexo 3.4, la dimensión estándar de una chaveta para un eje de diámetro 35mm (1.377plg) sería cuadrada 9.52mm (3/8plg). La selección del material es una decisión de diseño, escojo AISI 1020 CD, con $S_y$ =51000psi

Para la longitud de la chaveta se aplica la ecuación 3.37

$$L = \frac{4TN}{DHS_y} = \frac{4 \cdot 1281.53\ lb.plg \cdot 3}{1.377\ plg \cdot 0.375\ plg \cdot 51000\ lb/plg^2} = 0.583plg = 15mm$$

Esta longitud es bastante menor que el ancho del cubo del rodillo de conformado, por lo tanto, se especificará que la longitud de la chaveta es de 100mm

En resumen, la chaveta tiene las siguientes características:

Material: acero AISI 1020 CD

Ancho = 9.52mm; Altura = 9.52mm; Longitud =100mm

**Rodamiento B:** Se considera que el rodamiento soporta carga radial, y carga de empuje por lo tanto se emplea la ecuación 3.41 para determinar la carga equivalente de un rodamiento de bolas:

| | | |
|---|---|---|
| $R$ | Carga radial, $R = \sqrt{RBx^2 + RBz^2}$ | $R = \sqrt{3773.6^2 + 1869.8^2}$= 4211.52N=945.44 lb |
| $T$ | Carga de empuje | 1419.95N=318.76 lb |
| $Y$ | Factor de empuje | Se supone 1.50 |
| $X$ | Tabla 3.8 | 0.56 |
| $V$ | Factor por rotación | 1 |
| $P$ | Carga equivalente P=VXR+YT | 1007.59N=4488.38 lb |
| $f_L$ | Factor por duración, 50 khoras | 4.6 |
| $f_N$ | Factor por velocidad 0.5rpm, Figura 3.14 | 1.5 |
| $C$ | Capacidad de carga, $C = \frac{P \cdot f_L}{f_N}$ | $C$ = 13913.96N=3123.54 lb |
| **Selección:** Con esta carga selecciono un rodamiento de una hilera de bolas con contacto angular 7209 BEP $C = 35.8KN$ $Co = 26KN$ (Ver Anexo 3.9) | | |
| $T/Co$ | | 0.05 |
| $e$ | Interpolando de la Tabla 3.8 | 0.26 |
| $T/R$ | Si $T/R > e$ aplicamos: $P = VXR + YT$ | $0.34 > e$ |
| $Y$ | Interpolando de la Tabla 3.8 | 1.71 |
| $X$ | Tabla 3.8 | 0.56 |
| $P$ | $P = VXR + YT$ | $4786.56N = 1074.53\ lb$ |
| $C$ | $C = \frac{P \cdot f_L}{f_N}$ | $14838.35N = 3331.06\ lb$ |
| Se comprueba que el rodamiento de una hilera de bolas con contacto angular 7209 BEP cumple satisfactoriamente. | | |

**Rodamiento C:** Se considera que el rodamiento soporta carga radial, y carga de empuje producto de la transmisión de potencia por parte del motorreductor, por lo tanto se emplea la ecuación 3.41 para determinar la carga equivalente de un rodamiento de bolas:

| | | |
|---|---|---|
| $R$ | Carga radial, $R = \sqrt{RCx^2 + RCz^2}$ | $R = \sqrt{868.7^2 + 1040.7^2}$= 1355.6N=304.34 lb |
| $T$ | Carga de empuje | 1368.01N=307.10 lb |
| $Y$ | Factor de empuje | Se supone 1.50 |
| $X$ | Tabla 3.8 | 0.56 |
| $V$ | Factor por rotación | 1 |
| $P$ | Carga equivalente P=VXR+YT | 2811.19N=631.08 lb |
| $f_L$ | Factor por duración, 50 khoras | 4.6 |
| $f_N$ | Factor por velocidad 0.5rpm, Figura 3.14 | 1.5 |
| $C$ | Capacidad de carga, $C = \frac{P \cdot f_L}{f_N}$ | $8714.70N = 1956.36lb$ |
| **Selección:** Con esta carga selecciono una chumacera SKF SY1.1/4TF/VA201 | | |
| $T/Co$ | | 0.0894 |
| $e$ | Interpolando de la Tabla 3.8 | 0.3 |
| $T/R$ | Si $T/R > e$ aplicamos: $P = VXR + YT$ | 1.01 |
| $Y$ | Interpolando de la Tabla 3.8 | 1.53 |
| $X$ | Tabla 3.8 | 0.56 |
| $P$ | $P = VXR + YT$ | 2852.23N = 640.30 lb |
| $C$ | $C = \frac{P \cdot f_L}{f_N}$ | $8841.93N = 1984.92\ lb$ |
| Se comprueba que la chumacera SKF SY1.1/4TF/VA201 cumple satisfactoriamente (Ver Anexo 3.10) | | |

**Chaveta F**: De acuerdo al anexo 3.4, la dimensión estándar de una chaveta para un eje de diámetro 38 mm (1.49 plg) sería cuadrada 9.52mm (0.375 plg). La selección del material es una decisión de diseño, escojo AISI 1020 CD, con $S_y$ =51000psi

Para la longitud de la chaveta se aplica la ecuación 3.40

$$L = \frac{4TN}{DHS_y} = \frac{4 \cdot 1281.53\ lb.plg \cdot 3}{1.49\ plg \cdot 0.375\ plg \cdot 51000\ lb/plg^2} = 0.53\ plg = 13.65mm$$

Esta longitud es bastante menor que el ancho del cubo del rodillo de conformado, por lo tanto, se especificará que la longitud de la chaveta es de 32mm

En resumen, la chaveta tiene las siguientes características:

Material: acero AISI 1020 CD

Ancho: 9.52mm; Altura: 9.52mm Longitud: 28mm

**Chaveta E**: De acuerdo al anexo 3.4, la dimensión estándar de una chaveta para un eje de diámetro 52 mm (2 plg) sería cuadrada 12 mm (0.5 plg). La selección del material es una decisión de diseño, escojo AISI 1020 CD, con $S_y$ =51000psi

Para la longitud de la chaveta se aplica la ecuación 3.40

$$L = \frac{4TN}{DHS_y} = \frac{4 \cdot 1281.53\ lb.plg \cdot 3}{2\ plg \cdot 0.5\ plg \cdot 51000\ lb/plg^2} = 0.3\ plg = 7.65\ mm$$

Esta longitud es bastante menor que el ancho del cubo del rodillo de conformado, por lo tanto, se especificará que la longitud de la chaveta es de 32mm

En resumen, la chaveta tiene las siguientes características:

Material: acero AISI 1020 CD

Ancho: 9.52mm

Altura: 9.52mm

Longitud: 28mm

### 3.2.8.2 DISEÑO DEL EJE ACCIONADO

El eje a diseñarse recibe la transmisión por cadena y Catalina "E", en el punto "D" se sitúa el rodillo de conformado, tiene dos rodamientos en A y B, Ver Figura 3.24

Fuerza por el lado tenso de la cadena Fc=3643.12 [N], Torque=145Nm

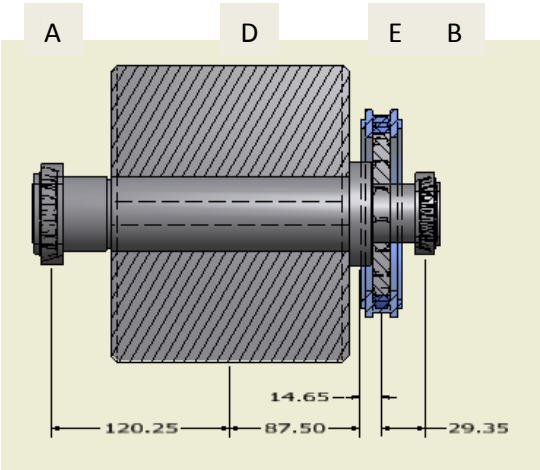



Figura 3.24: Configuración del eje accionado

**MATERIAL:** AISI 1045, Sut: 565 Mpa (81.90 Kpsi) Sy: 310 MPa (45 Kpsi)

Ver Anexo 3.7: AISI 1045

La resistencia a la fatiga real estimada es:

$$S'n = Sn * Cm * Cst * C_R * Cs \qquad (Ecuación\ 3.33)$$

Donde:

$Sn$ = 32 Kpsi[33] maquinado

Confiabilidad de 0.99

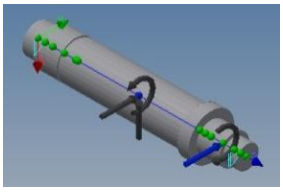
$C_R$ =0.81

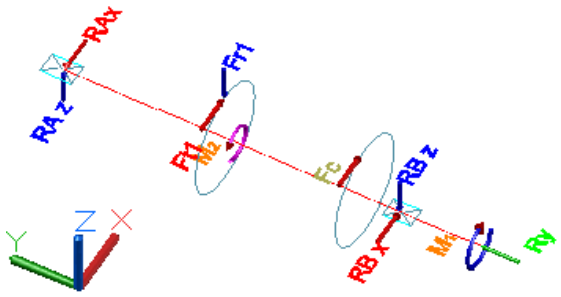
Factor de tamaño Cs= 0.85,

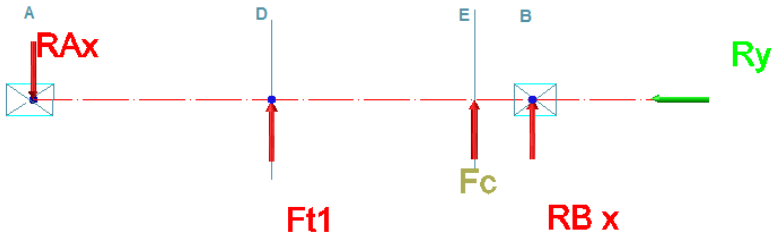
$S'n = 32 \cdot 0.81 \cdot 0.85 = 22Kpsi$

En la figura 3.25 se halla el diagrama de cuerpo libre del eje accionado.

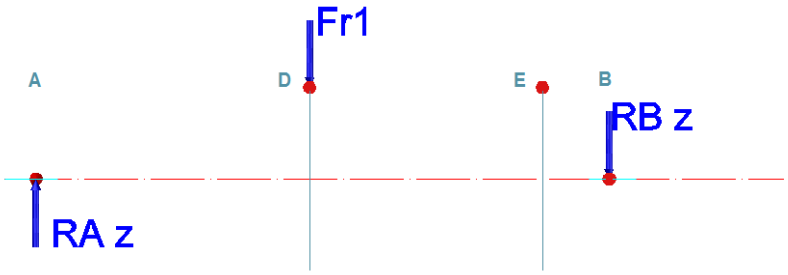
[33] MOTT, Robert, Op. Cit. p.175

| **Esquema:** | **Datos técnicos:** |
|---|---|
|  | Referencia : Eje accionado<br>Longitud : 394 mm<br>Masa : 2.885 kg<br>Cantidad : 3u |



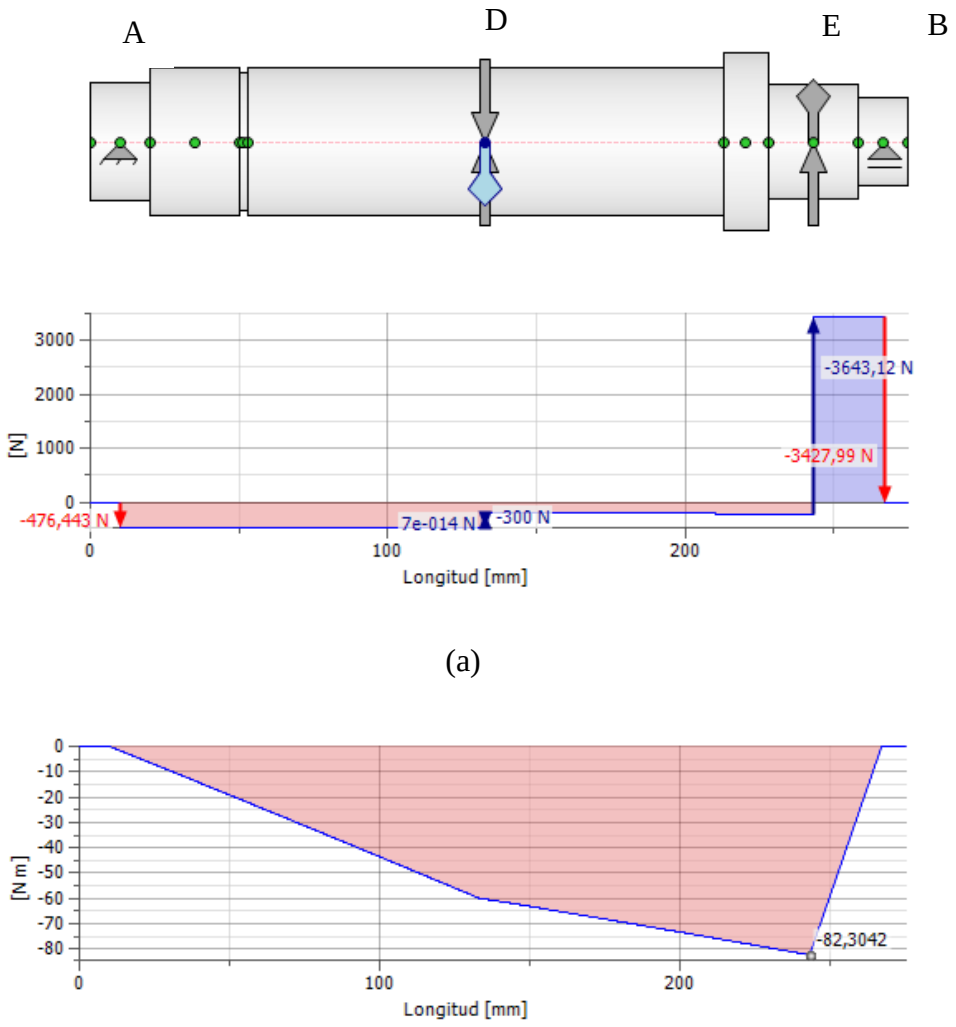

Plano XY (Horizontal)




Plano YZ (Vertical)

Figura 3.25: Diagrama de cuerpo libre del eje accionado

La Figura 3.26 y Figura 3.27 determinado las fuerzas que involucran en el eje accionado, es analizado su diagrama de corte y diagrama de momentos, para obtener los valores a lo largo del eje, y proceder a dimensionar.



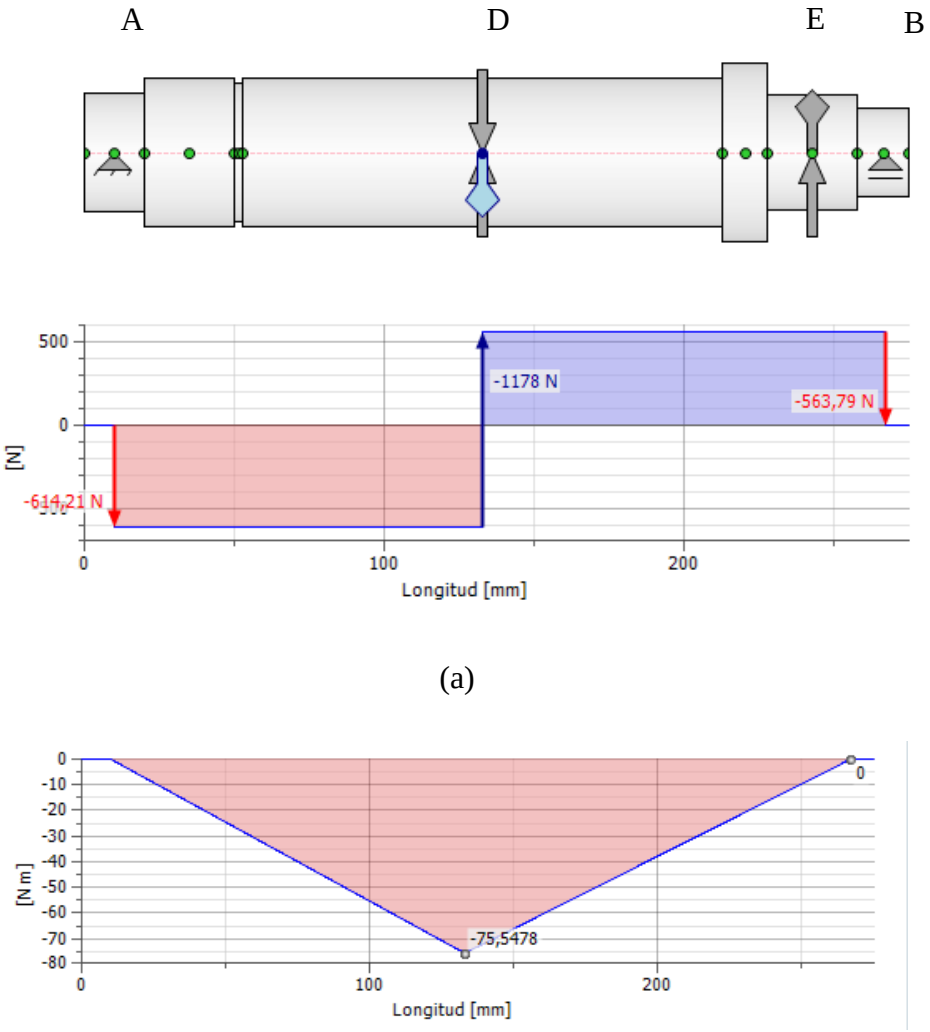

(a)




(b)

Figura 3.26: Diagrama de cortante (a) y momento flector (b) en el plano Horizontal del eje accionado[34]

[34] Autodesk Inventor Profesional, "*Generador de componentes de eje*", 2011




(a)

(b)

Figura 3.27: Diagrama de cortante (a) y momento flector (b) en el plano Vertical del eje accionado[35]

**Sección D:** El rodillo de conformado ubicado en este punto transmite un par de torsión 145Nm (1281.53lb.plg), se ubica un chavetero de perfil Kt=2; $M = \sqrt{61.37^2 + 77.12^2} = 871.07\ lb.plg$

[35] Autodesk Inventor Profesional, "*Generador de componentes de eje*", 2011

$$Dd = \left[\frac{32 \cdot 2}{\pi} \cdot \sqrt{\left(\frac{2 \cdot 871.07}{22000}\right)^2 + \frac{3}{4}\left(\frac{1281.53}{45000}\right)^2}\right]^{1/3} = 1.19plg = 30.24mm$$

Por norma hay que aumentar 6% del diámetro para considerar la profundidad característica de las ranuras y determinar el tamaño nominal del eje, por lo tanto.

$$Dd = 1.06 * 1.19plg = 1.26plg = 32.039mm$$

**Sección E:** La Catarina ubicada en este punto, tiene par torsional 145Nm (1281.53lb.plg), se ubica un chavetero de trineo Kt=1.6; $M = \sqrt{82.52^2 + 13.6^2} = 739.16lb.plg$

$$De = \left[\frac{32 \cdot 2}{\pi} \cdot \sqrt{\left(\frac{1.6 \cdot 739.16}{22000}\right)^2 + \frac{3}{4}\left(\frac{1281.53}{45000}\right)^2}\right]^{1/3} = 1.06plg = 27.02mm$$

Por norma hay que aumentar 6% del diámetro para considerar la profundidad característica de las ranuras y determinar el tamaño nominal del eje, por lo tanto.

$$Dd = 1.06 * 1.06plg = 1.12plg = 28.53mm$$

**Sección A:** En este punto se ubica el rodamiento A, transmite un par de torsión 145 [Nm] (1281.53 lb.plg) a la derecha, se ubica un escalón agudo, Kt = 2.5, con un momento flexionante calculado; $M = \sqrt{2.32^2 + 2.46^2} = 29.88lb.plg$

$$Da = \left[\frac{32 \cdot 2}{\pi} \cdot \sqrt{\left(\frac{2.5 \cdot 29.88}{22000}\right)^2 + \frac{3}{4}\left(\frac{1281.53}{45000}\right)^2}\right]^{1/3} = 0.79plg = 20.26mm$$

**Sección B:** En este punto se ubica el rodamiento B, transmite un par de torsión 145Nm (1281.53lb.plg) a la derecha, se ubica un escalón agudo, Kt = 2.5, con un momento flexionante calculado; $M = \sqrt{2.87^2 + 1.62^2} = 29.12lb.plg$

$$Db = \left[\frac{32 \cdot 2}{\pi} \cdot \sqrt{\left(\frac{2.5 \cdot 29.12}{22000}\right)^2 + \frac{3}{4}\left(\frac{1281.53}{45000}\right)^2}\right]^{1/3} = 0.79plg = 20.25mm$$

En la Tabla 3.11 se muestra el resumen del cálculo de diámetros obtenidos, en cada una de las secciones propuestas.

**Tabla 3.11: Especificación de los valores para el eje accionado**

| Parte Compañera | Referencia | Diámetro mínimo [mm] | Diámetro especificado [mm] |
|---|---|---|---|
| Rodamiento | A | 20.26 | 25 |
| Rodillo de Conformado | D | 32.04 | 35 |
| Catalina | E | 28.53 | 47 |
| Rodamiento | B | 20.25 | 45 |

Fuente: Propia

Elaborado: Campaña Christian, Lincango Diego

Los rodamientos ubicados en la sección A y B, se tomó como referencia la selección de rodamientos del eje motriz, por cuestiones de simetría y cargas afines que son semejantes con la misma intensidad de fuerza y sentido.

**Chaveta E**: De acuerdo al Anexo 3.4, la dimensión estándar de una chaveta para un eje de diámetro 52 mm (2 plg) sería cuadrada 12 mm (0.5 plg). La selección del material es una decisión de diseño, escojo AISI 1020 CD, con $S_y$ =51000 psi

Para la longitud de la chaveta se aplica la ecuación 3.40

$$L = \frac{4TN}{DHS_y} = \frac{4 \cdot 1281.53\ lb.plg \cdot 3}{2\ plg \cdot 0.5\ plg \cdot 51000\ lb/plg^2} = 0.3\ plg = 7.65\ mm$$

Esta longitud es bastante menor que el ancho del cubo del rodillo de conformado, por lo tanto, se especificará que la longitud de la chaveta es de 32mm

En resumen, la chaveta tiene las siguientes características:

Material: acero AISI 1020 CD

Ancho: 12 mm; Altura: 12 mm; Longitud: 8 mm

### 3.2.8.3 SELECCIÓN DEL CONJUNTO CADENA Y CATALINAS

La transmisión de potencia se realiza a través de cadenas.

Una cadena es un elemento de transmisión de potencia, formado por una serie de eslabones unidos con pernos. Este diseño permite tener flexibilidad, y permite además que la cadena transmita grandes fuerzas de tensión. Cuando se transmite potencia entre ejes giratorios, la cadena entra en ruedas dentadas correspondientes llamadas catarinas. La Figura 3.28 muestra una transmisión típica de cadena. El tipo de cadena más común es la cadena de rodillos en la que el rodillo sobre cada perno permite tener una fricción baja entre la cadena y catarinas.

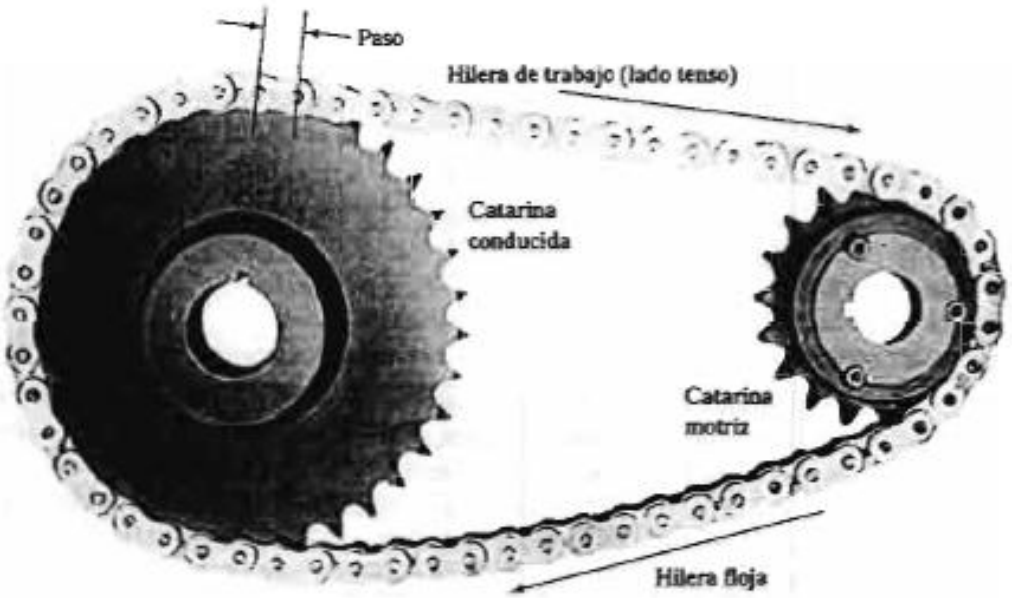



Figura 3.28: Transmisión por cadena de rodillos

La conformadora de vigas de sección armada tipo "I" trabajará 16 horas diarias siendo movido por un motorreductor de 0.02 HP con una transmisión a cadena. La velocidad del motor es de 0.6 rpm, y la de los rodillos de conformado no debe superar las 0.566rpm con una tolerancia permisible de ±0.02 rpm. Es conocida la distancia entre los centros de los ejes 250mm, además la relación de velocidades entre las catarinas conducida y motriz es de 1:1, en la Tabla 3.12 se detallan los cálculos con las fórmulas obtenidas del Libro de Mott, Robert, Diseño de Elementos de máquinas, Capítulo 7, p283-297

**Tabla 3.12: Hoja de cálculo para diseño de transmisiones de cadena**

| | | | |
|---|---|---|---|
| **DISEÑO DE TRANSMISIONES POR CADENA:** | | | |
| Datos iniciales | | | |
| Aplicación: | Conformadora de vigas de sección armada tipo "I" | | |
| Fuente/Tipo: | Motor eléctrico | | |
| Máquina movida: | Transportador choque moderado | | |
| Entrada de Potencia: | 0.02 hp | | |
| Factor de servicio: | 1.3 (Ver Anexo 3.11:Factor de servicio) | | |
| Velocidad de entrada: | 0.6 rpm | | |
| Velocidad de salida: | 0.5 rpm | | |
| **DATOS CALCULADOS:** | | | |
| Potencia de diseño: | 0.033 hp | | |
| Relación de velocidades: | 1:1 ≈ 1 | | |
| **DECISIONES DE DISEÑO Tipo de cadena y números de dientes:** | | | |
| Cantidad de hileras: | 1 | 1 2 3 4 | |
| Factor por hileras: | 1 | 1 1.7 2.5 3.3 | |
| Potencia requerida por hileras: | 0.33/1 = 0.33hp | | |
| Número de cadena: | 60 | | |
| Paso de la cadena: | 0.75plg de paso | | |
| Número de dientes-catalina motriz N1: | 18 | | |
| Numero de dientes calculado-Catarina conducida: | $N2 = N1 * i$ ; $N2 = 18 * 1 = 18$ | | |

| | |
|---|---|
| Ingrese el número de dientes elegido N2: | 18 |
| **DATOS CALCULADOS** | |
| Velocidad real de salida: | 0.48 rpm |
| Diámetro de Paso-Catarina motriz:<br>$D_1 = \frac{P}{sen\left(\frac{180}{N1}\right)}$ $(Ecuación\ 3.47)$ | $4.31plg = 109.70mm$ |
| Diámetro de paso-Catarina conducida:<br>$D_2 = \frac{P}{sen\left(\frac{180}{N2}\right)}$ $(Ecuación\ 3.48)$ | $4.31plg = 109.70mm$ |
| **Distancia entre centros, longitud de cadena, ángulo de contacto** | |
| Ingrese distancia nominal entre centros | 13 |
| Longitud nominal de cadena, calculada en pasos:<br>$Lt = 2C + \frac{N2 + N1}{2} + \frac{(N2 - N1)^2}{4\pi^2 C}$<br>$(Ecuación\ 3.49)$ | $Lt = 2(13) + \frac{N2 + N1}{2} + \frac{(N2 - N1)^2}{4\pi^2(13)}$<br>$Lt = 44\ pasos$ |
| Ingrese el número de pasos específico: | 44 pasos Se recomienda un No. par |
| Longitud real de la cadena: | $44\ pasos * 0.75 = 33plg = 838.20mm$ |

| | |
|---|---|
| Distancia calculada real entre centros:<br><br>$(Ecuación\ 3.50)$ | $C = \frac{1}{4}\left[L - \frac{N2+N1}{2} + \sqrt{\left[L - \frac{N2+N1}{2}\right]^2 - \frac{8(N2-N1)^2}{4\pi^2}}\right]$<br><br>$C = 13pasos * (0.75plg) = 9.75plg$ |
| Distancia real entre centros: | 9.75 plg = 247.65 mm |
| Angulo de contacto-Catarina motriz:<br><br>$(Ecuación\ 3.51)$ | $\theta = 180° + 2sen^{-1}[(D2 - D1)/2C]$<br><br>$\theta = 180° > 120°\ OK$ |
| Angulo de contacto-Catarina conducida $(Ecuación\ 3.52)$ | $\theta = 180° + 2sen^{-1}[(D2 - D1)/2C]$<br><br>$\theta = 180° > 120°\ OK$ |

Fuente: Mott, Robert, *Diseño de Elementos de Máquinas*, p.297

### 3.2.8.3.1 RESUMEN DISEÑO DE CATALINAS Y CADENA

El sistema de rodillos que se utiliza tiene catalina incorporada, por lo que los requerimientos necesarios de ésta son los siguientes:

- Catalinas: Número 60, 19.05 mm de paso, 18 dientes, D1=D2 = 109.70 mm (Ver Anexo 3.12).
- Longitud total de cadena a utilizar para la transmisión de potencia entre rodillos: 838.20 mm ANSI B29. 1-1975
- Distancia entre centros extremos: 247.65 mm.

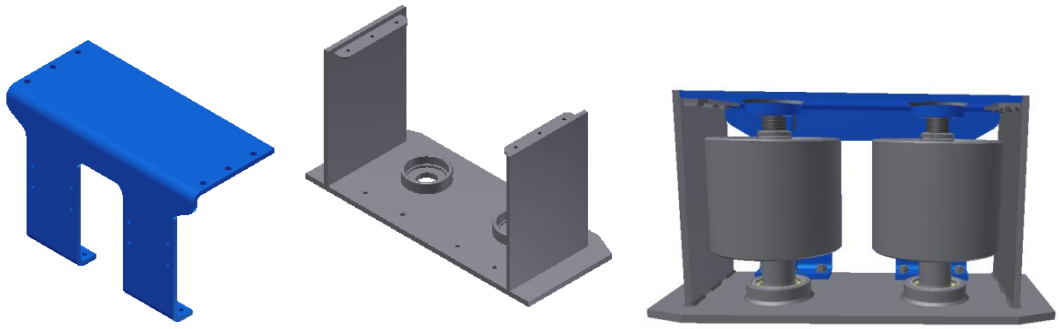
Por lo tanto, del (Anexo 3.13), se escoge la catalina que reúne los requerimientos necesarios como son:

- Piñón simple con Z = 18.
- Paso = 19.05 mm.
- Diámetro de paso [$D_p$] = 109.70 mm.

### 3.2.8.4 DISEÑO DE CAJA DE CONFORMADO

El uso de dos elementos independientes base y cubierta, que forman la caja de conformado permite el montaje de los dos rodillos que en su interior tendrán la libertad de girar y transportar las láminas de acero para su ensamblado.

La base de la caja de conformado, figura 3.29 (b), tiene guiados los rodamientos que permite que los rodillos de conformado puedan girar por el accionamiento del motorreductor y soportar carga radial y axial. La cubierta figura 3.29 (a), guía rodamientos y sobre este será ensamblado el sistema de centrado del alma, que más adelante será diseñado.



( a ) ( b )

Figura 3.29: Componente de la caja de conformador a) cubierta b) base

Los criterios considerados para la base son los siguientes:

- La placa base debe proveer espacio para dos rodillos de diámetro 200mm, intereje: 250 mm y holgura a los costados para su libre rotación alrededor de su propio eje, por lo tanto la longitud mínima $X_1$= 500mm y $X_3$= 600mm que proporcionará superficie de ensamblado sobre la bancada; para las dimensiones del ancho se considera que los rodillos queden expuestos para incidir lateralmente al patín, por lo tanto $X_2$= 225mm y $X_4$= 250mm según figura 3.30

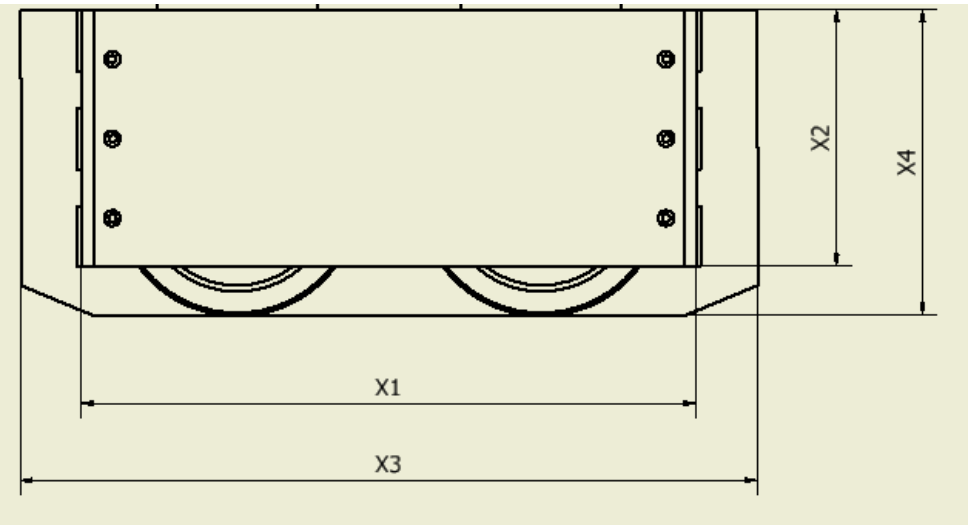



Figura 3.30: Dimensiones principales de la caja de conformado

- La base alojará rodamiento de una hilera de bolas con contacto angular SKF 7209 BEP que soporta carga radial y de empuje, también dos rodillos de conformado con un peso estimado de: 414.22 N cada uno.

El programa usado es Algor Simulator, Inventor Profesional 2011 que trae incorporado una versión por elementos finitos FEM, debido a que las restricciones en cuanto a la fijación de la base y cubierta no son complejas, y su geometría tampoco, se determinó que la utilización de esta herramienta es la adecuada y suficiente para conocer si el elemento puede fallar o no.

Independientemente se procede analizando la base, para esto se ubica el material que lo compone ASTM A36, la restricción fija por debajo de la base en los puntos de apoyo donde será ensamblado a la bancada de la máquina, según figura 3.31.

Se agrega las cargas de rodamientos en los bujes donde se ubica los rodamientos de contacto angular de bolas SKF 7209 BEP con fuerza radial de 4211.52N; Fuerza axial 412.22 N y momentos que intervienen por las paredes laterales 13.12 Nm producto del momento que genera en la cubierta el sistema de centrado del alma.

Ingresado todas las fuerzas se procede a realizar el mallado del elemento, se refine la malla en los puntos de interés y se procede con la simulación para que proporcione los resultados para proceder a la interpretación y crítica de los resultados obtenidos por el software.

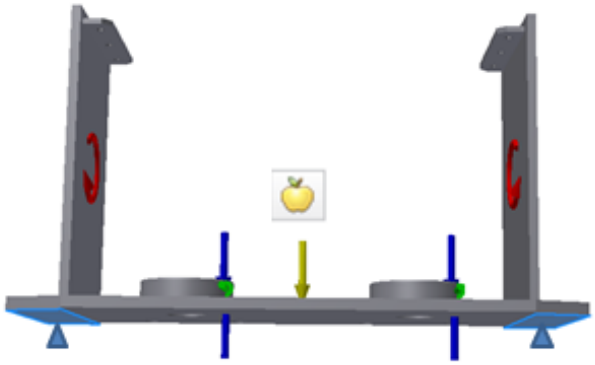


Figura 3.31: Ubicación de fuerzas en la base

La deformación es la cantidad de estiramiento que sufre un objeto debido a la carga que experimenta, como se puede observar en la figura 3.32, la deformación en el punto medio da una cota de 0.245 mm para una placa de espesor 10 mm, se considera aceptable

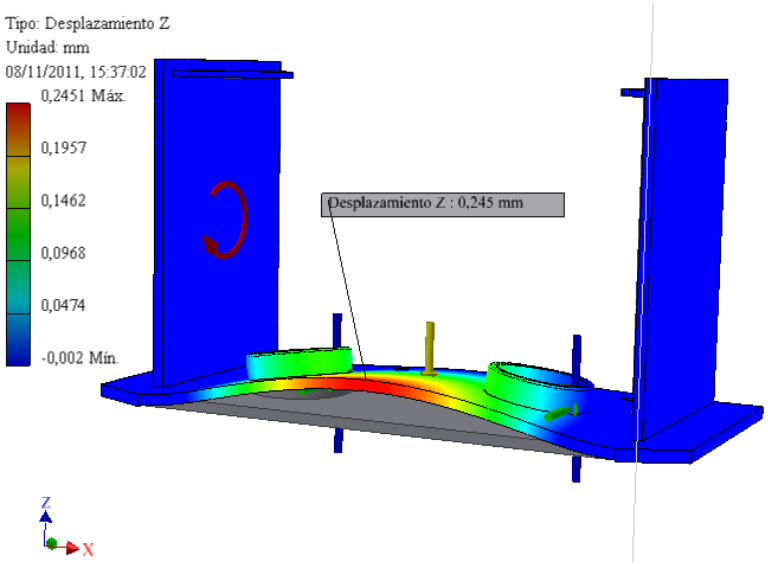



Figura 3.32: Análisis de desplazamiento en la base

Mientras que la cubierta de la caja de conformado alojará a los rodamientos de bolas SKF 6305 para absorver carga radial y sobre el descansará el sistema de centrado del alma que tiene un peso estimado de 133 N, adicional existe un momento de 160N·0.16m=26.24 Nm producto del centrado del alma al patín por parte de una palanca de 160 N por la distancia de 0.164m; las fuerzas que interactúan en la caja se visualiza en la figura 3.33, el material de la cubierta es Acero ASTM A36.

$Fy = 36ksi\ (límite\ de\ fluencia);\ Fu = 58ksi\ (límite\ de\ rotura)$

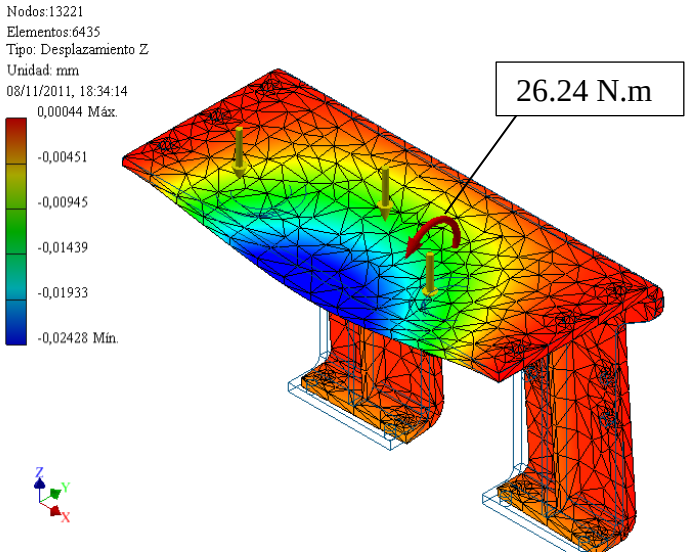



Figura 3.33: Análisis de desplazamiento en la cubierta

Cuando el programa ejecuta el análisis, el primer resultado importante es el factor de seguridad, cuyo valor es 4.7 para la cubierta, se considera adecuado para la placa de espesor 10 mm, que satisface los requerimientos de la zona en estudio, ver Fig. 3.34

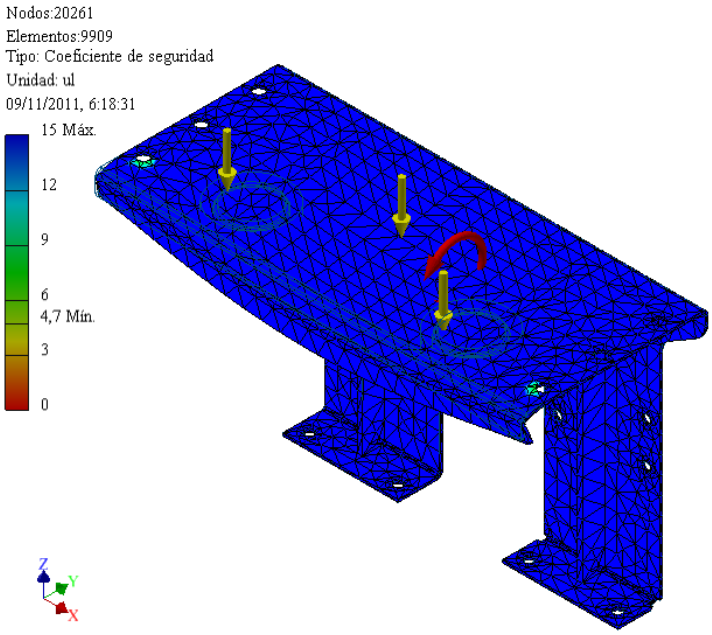



Figura 3.34: Factor de seguridad de la cubierta

### 3.2.8.4.1 DISEÑO DE SOLDADURA DE FILETE DE LA PLACA BASE

Las pruebas han demostrado que las soldaduras de filete son más resistentes a la tensión y a la compresión que al corte, de manera que los esfuerzos determinantes en soldaduras de filete que se establecen en las especificaciones para soldadura, son esfuerzos de corte, cuando la soldadura de filete se prueba a la ruptura, parecen fallar por corte en ángulos aproximado de 45° a través de la garganta[36]

La placa base presenta dos placas verticales que forman la caja de conformado, según Fig. 3.35 que muestra la distribución de los componentes de dicha caja.

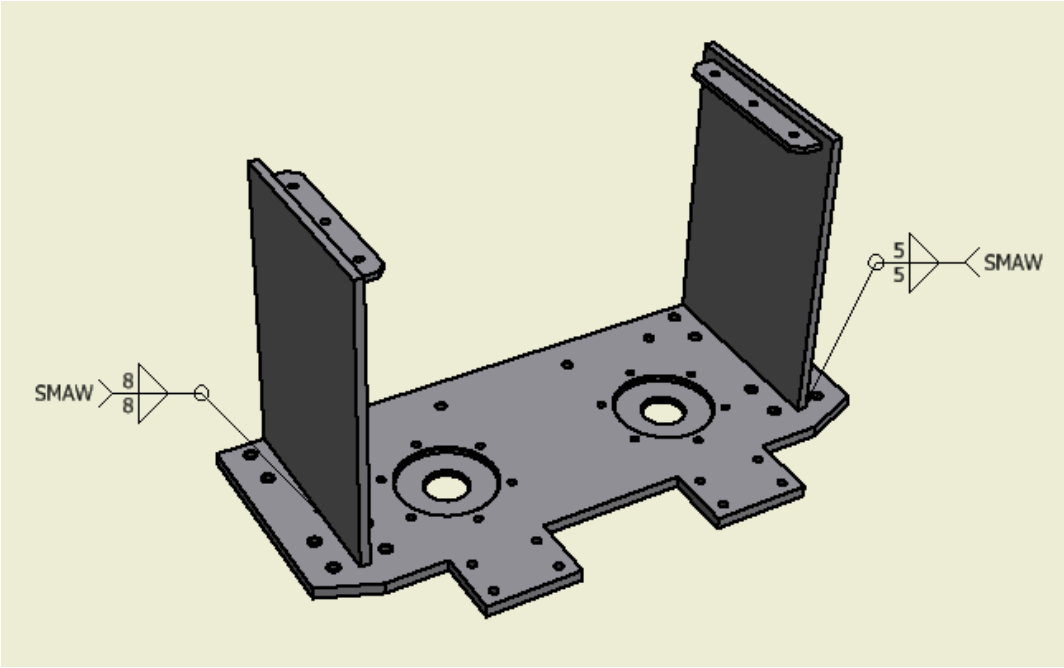



Figura 3.35: Soldaduras en la caja de conformado

Según AISC (Instituto Americano de construcciones de acero), la resistencia de la soldadura de filete está dada por el menor valor entre los siguientes aspectos:

- Resistencia de la soldadura.
- Revisión de fluencia a tracción de placa.
- Revisión de resistencia a la tracción de los elementos conectados

De los tres análisis se obtiene el menor valor, que será la resistencia de la unión, a continuación se procede al análisis del cordón depositado.

[36] McCORMAC, Jack. Op. Cit. p.372

#### 3.2.8.4.1.1 Resistencia de la soldadura según AISC

$$R_n = F_w \cdot A_w \qquad (Ecuación\ 3.53)^{37}$$

$$F_w = 0.60 \cdot F_{Exx}; \quad A_w = 0.707 \cdot w \cdot L$$

Donde:

$R_n =$ Resistencia nominal

$F_w =$ Resistencia de la soldadura por unidad de área.

$A_w =$ Área de filete de la soldadura.

$F_{Exx} =$ Electrodo

$w =$ Tamaño de la soldadura

$L =$ Longitud total de la soldadura

Datos:

$F_{Exx} =$ E6011x1/8" = 60 Ksi

$w =$ 3/16 plg

$L =$ 17.71 plg

Remplazando en la ecuación 3.53:

$$R_n = (0.60 * 60)\left(0.707 \cdot \frac{3}{16} plg \cdot 17.71 plg\right) = 82.67 Klb$$

Revisión de la relación según AISC J2-2b: longitud/tamaño de la soldadura $(L/w)$∴

$L = L$ ; Si> 100 $\beta = 1.2 - 0.002\left(\frac{L}{w}\right) \therefore L = \beta \cdot L$

$$Relación \frac{L}{w} = \frac{8.85}{3/16} = 47.2$$

$$< 100\ ok\ (no\ se\ reduce\ la\ resistencia\ de\ la\ soldadura)$$

[37] AISC, *Manual of Steel Construction*, $13^{th}$. Edición, Editorial the Institute, Chicago, p 16.1-100

**Resistencia de diseño LRFD**

$$LRFD\ \emptyset = 0.75\ ;\ \emptyset R_n \qquad (Ecuación\ 3.54)^{38}$$

$$LRFD\ \ \emptyset R_n = 0.75 * (82.67\ Klb) = 62\ Klb$$

**Resistencia de diseño ASD**

$$ASD = \Omega = 2.00\ ;\ R_n/\Omega$$

$$ASD = \frac{82.67}{2} = 41.33\ Klb$$

**3.2.8.4.1.2 Revisión de fluencia a tracción de placa 3/8 plg x 9.44 plg de sección transversal**

$$R_n = F_y \cdot A_g \qquad (Ecuación\ 3.55)$$

$F_y =$ Acero ASTM A36

$A_g =$ Área de sección transversal de la placa menor.

Datos:

$F_y =$ Acero A 36 Fy=36 Ksi

$A_g = \frac{3}{8}plg \cdot 9.44plg$

$$(36Ksi)\left(\frac{3}{8}plg \cdot 9.44plg\right) = 127.44Klb$$

Resistencia de diseño LRFD de la placa

$$LRFD = \emptyset R_n$$

$\emptyset =$ Factor de seguridad a tracción 0.90

$$(0.90) \cdot 127.44Klb = 114.69\ Klb$$

[38] AISC, *Manual of Steel Construction*, Op. Cit. , p. 16.1-100

Resistencia admisible ASD

$$\frac{R_n}{\Omega} \qquad (Ecuación\ 3.56)$$

Donde:

$R_n$ =Resistencia nominal

$\Omega$ = Factor de seguridad a tracción 1.67

$$\frac{127.44Klb}{1.67} = 76.31Klb$$

**3.2.8.4.1.3 Revisión de resistencia a la tracción de los elementos conectados**

$$A_u = 23.62plg \cdot \frac{1}{2}plg = 11.81plg^2$$

$$R_n = F_u \cdot A_u \qquad (Ecuación\ 3.57)$$

Donde:

$R_n$ =Resistencia nominal a tracción de las placas conectadas

$A_u$ =Area efectiva de la placa más gruesa.

$F_u$ = Esfuerzo de rotura Fu=58Ksi

Datos:

$A_u = 11.81plg^2$

$F_u$ = 58Ksi

Remplazando en la ecuación 3.57, se tiene:

$$R_n = (58Ksi) * 11.81plg^2$$

$$R_n = 684.98\ Klb$$

Comprobación:

Resistencia de diseño LRFD[39]

$$LRFD\ \ \emptyset R_n = (0.75) \cdot 684.98Klb = 513.73\ Klb$$

Resistencia admisible ASD

$$\frac{R_n}{\Omega} = \frac{684.98\ Klb}{2} = 342.49Klb$$

**Resumen:**

Se revisa los tres análisis se utiliza el menor valor de cada análisis, tanto para el método de diseño ASD y LRFD.

Resistencia de diseño LRFD= 62.00 [Klb] = 276.18 [KN]

Resistencia admisible ASD = 41.33 [Klb] = 184.10 [KN]

Analizado la resistencia de la soldadura, resistencia de las placas y la resistencia de la junta podemos constatar de que la soldadura depositada para formar la caja de conformado para un valor a tracción 40 KN, satisface la junta soldada.

### 3.2.8.4.2 SOPORTE DE RODAMIENTO SKF 7209 BEP

Este análisis se lo realiza con el fin de verificar que el soporte donde se alojará el rodamiento 7209 BEP, resista la carga radial resultante de 4211.52 [N] y la carga de empuje 1419.95 [N]; Autodesk Inventor 2011 realiza el análisis de tensión usando la

[39] AISC, *Manual of Steel Construction*, Op. Cit. , p. 16.1-100

hipótesis de falla de Von Mises; para esto se introduce el tipo de material (AISI 1045), las restricciones y la carga de rodamientos, después el programa comprueba contactos y se ejecuta el mallado del elemento, (Ver figura 3.36)

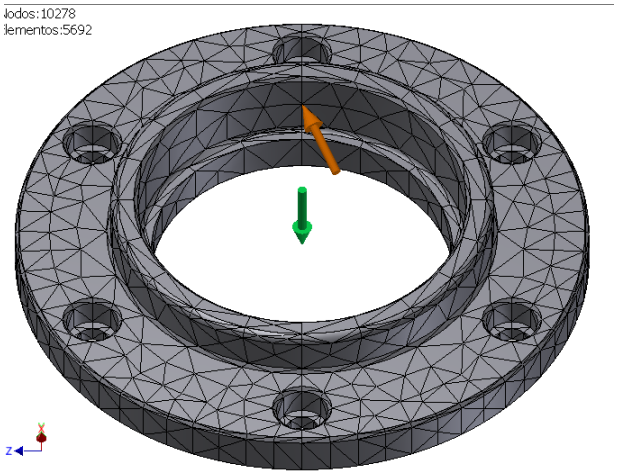



Figura 3.36: Mallado del soporte de rodamiento SKF 7209 BEP

Se observar en la figura 3.37 (a) que la mayor parte del soporte es estable, según la teoría de Von Mises tiene un valor de 48.36 [MPa] y no hay evidencia de una deformación de alto riesgo (0.004 mm) en la zona donde las cargas se concentran por el trabajo de conformado de la sección armada tipo "I" según la figura 3.37 (b)

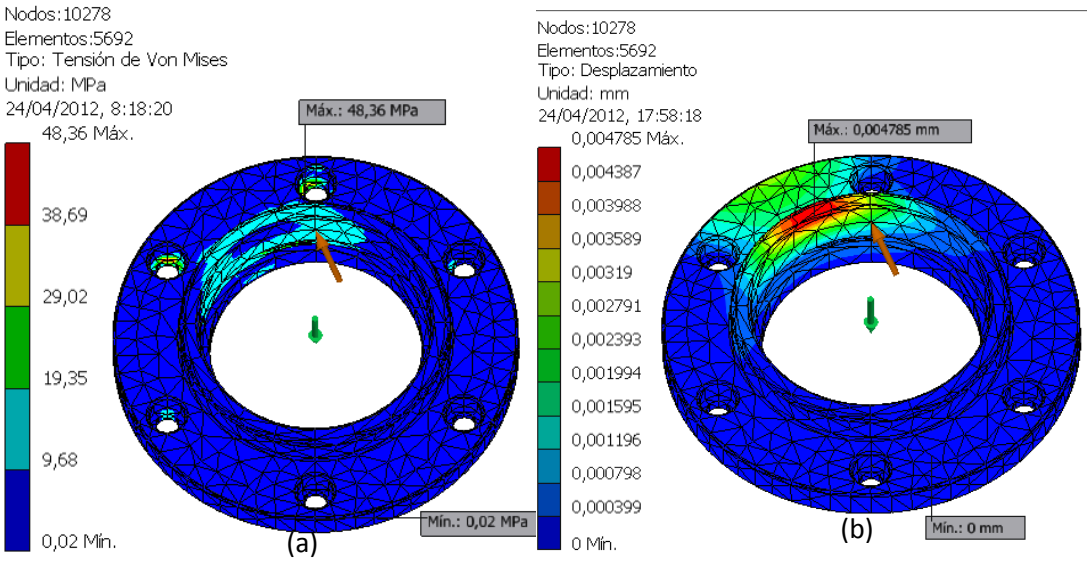



Figura 3.37: (a) Teoría de falla de Von Mises (b) Desplazamientos; para el rodamiento SKF 7209 BEP

Los resultados de esfuerzos no afectan al diseño dado que el cambio de coloración significa en qué lugar los esfuerzos deben ser analizados para el cambio del diseño, pero en este caso no existe ningún problema con el diseño y el material escogido para la fabricación de este soporte es el correcto.

### 3.2.8.4.3 SOPORTE PARA EL RODAMIENTO SKF 6305

El modelo tridimensional del soporte de acero AISI 1045 para que se aloje el rodamiento de bolas tiene una carga radial resultante de 210.76 [N], valor obtenido del diagrama de cortes del eje motriz de la figura 3.22 y figura 3.23

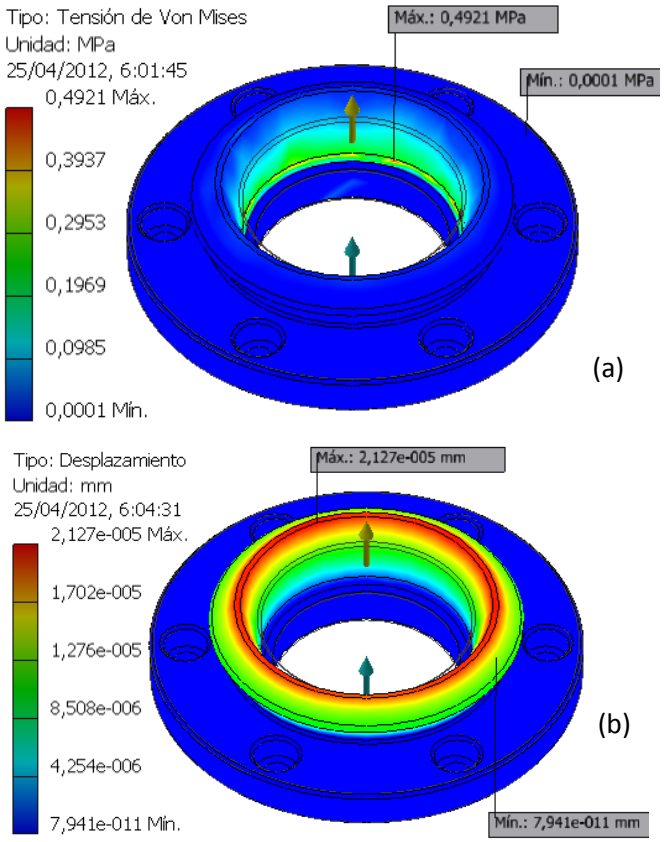



Figura 3.38: (a) Teoría de falla de Von Mises (b) Desplazamientos; para el soporte del rodamiento de bolas SKF 6305

La figura 3.38 (a) se caracteriza por ser un diseño estable, según la teoría de falla de Von Mises se tiene 0.4921 MPa y no hay evidente deformación figura 3.38 (b), por lo que se considera hasta sobredimensionado, pero el rodamiento por su geometría provee las dimensiones del soporte y también por el aspecto de fijación a la caja de conformado le da mayor volumen al soporte por lo cual se ratifica el diseño.

### 3.2.8.5 SELECCIÓN DE GUÍA LINEAL SKF

Guías con patines SKF son sistemas precisos de rodadura para rodamientos de movimiento lineal, que ofrece un movimiento ilimitado. Todas las guías de los rieles de perfil de SKF utiliza componentes modulares: cada carril, el transporte y / o accesorios del mismo tamaño se pueden combinar entre sí, ofreciendo así una fácil adaptación a las demandas de aplicaciones diferentes, ver Fig. 3.39

Para la selección de la guía de la muela móvil se considera el peso del sistema de conformado de la viga, más el peso del sistema de posicionamiento del alma que suman $1411.98\ N$ (Ver tabla 3.13)

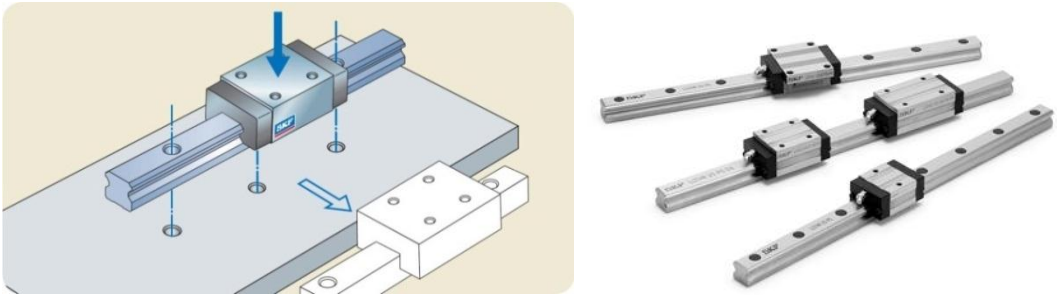


Figura 3.39: Transporte y guía lineal SKF

**Tabla 3.13: Selección de transportador lineal SKF**

| | | |
|---|---|---|
| $R$ | Carga radial, $R = 1411.98\ N/4$ | 353N=79.24lb |
| $V$ | Factor por rotación | 1 |
| $P$ | Carga equivalente P=V·R | 353N=79.24lb |
| $f_L$ | Factor por duración, 50 khoras | 4.6 |
| $f_N$ | Factor por velocidad 0.5rpm, Figura 3.14 | 1.5 |
| $C$ | Capacidad de carga, $C = \frac{P \cdot f_L}{f_N}$ | $C = 1094.28N = 245.66$lb |
| Selección: Transporte: LLTHC 15 A T1 P5; C=8400N Co=15400[N] Cant.= 4u transporte y 2 rieles de LLTHR 15 P5 (Ver Anexo 3.14) | | |
| Fuente: Hivimar | | |

El coeficiente de fricción entre el transportador y la riel es aproximadamente 0.003 para ello la Fig. 3.40, indica la interacción de las fuerzas producto del peso de los elementos montados sobre el transportador.

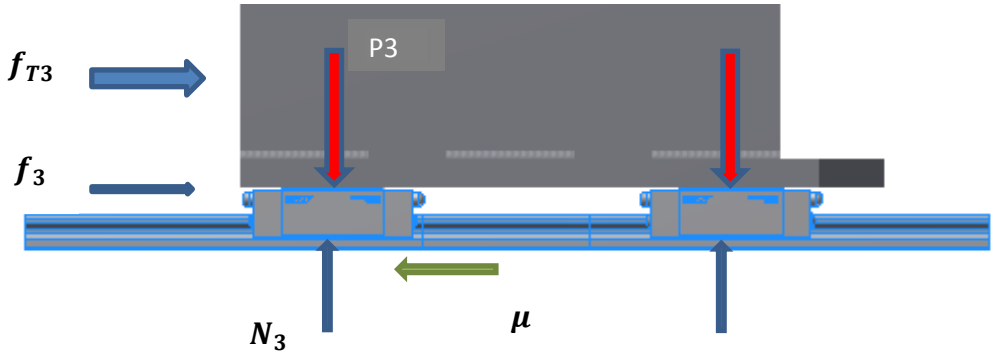



Figura 3.40: Fuerzas que actúan sobre el transportador

Sumado el sistema de conformado móvil más el sistema de centrado del alma, suman 1411.98 $N$ divido para cuatro transportadores, da una fuerza de 353N sobre cada transportador, entonces P3=353 N

$P_3 = 353N$

$$\sum Fy = 0$$

$$P_3 = N_3$$

$$N_3 = 353N$$

$$\sum Fx = 0$$

$$f_3 = N_3 \times \mu$$

Coeficiente de rozamiento por rodadura es de $\mu = 0.003$

$$f_3 = 353N \cdot 0.003 = 1.059N$$

El contacto se hace en 4 partes entre el transportador y la riel.

$$f_{T3} = 4.236N$$

Fuerza requerida para ajuste de sección armada tipo “I” en la conformadora, valor ya calculado; $P = 1170.38N$

$$f_{total} = 1174.61N$$

Se requiere de dos pistones neumáticos, para proveer estabilidad al avance y retroceso de la caja de conformado, por lo tanto la fuerza teórica de trabajo a 6 bar= 600 Kpa; Fuerza del émbolo 1174.61 N, longitud de extensión 320mm

## 3.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO DEL ALMA

Figura 3.41: Sistema de posicionamiento del alma

El sistema de posicionamiento estabiliza el alma de la viga y regula la altura con referencia a los patines. Dispone de dos ejes y cada uno de ellos va unido a rodillos que permiten el desplazamiento del alma. El movimiento está dado por un cilindro neumático el mismo que garantiza la presión necesaria para impedir algún movimiento no deseado del alma como indica la Figura 3.41

### 3.3.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA PLACA FIJA

Esta placa es la encargada de soportar la presión generada por el cilindro neumático, también sirve como guía y estabilizador de los ejes que realizan el ajuste en el alma de la viga, mostrado en la figura 3.42

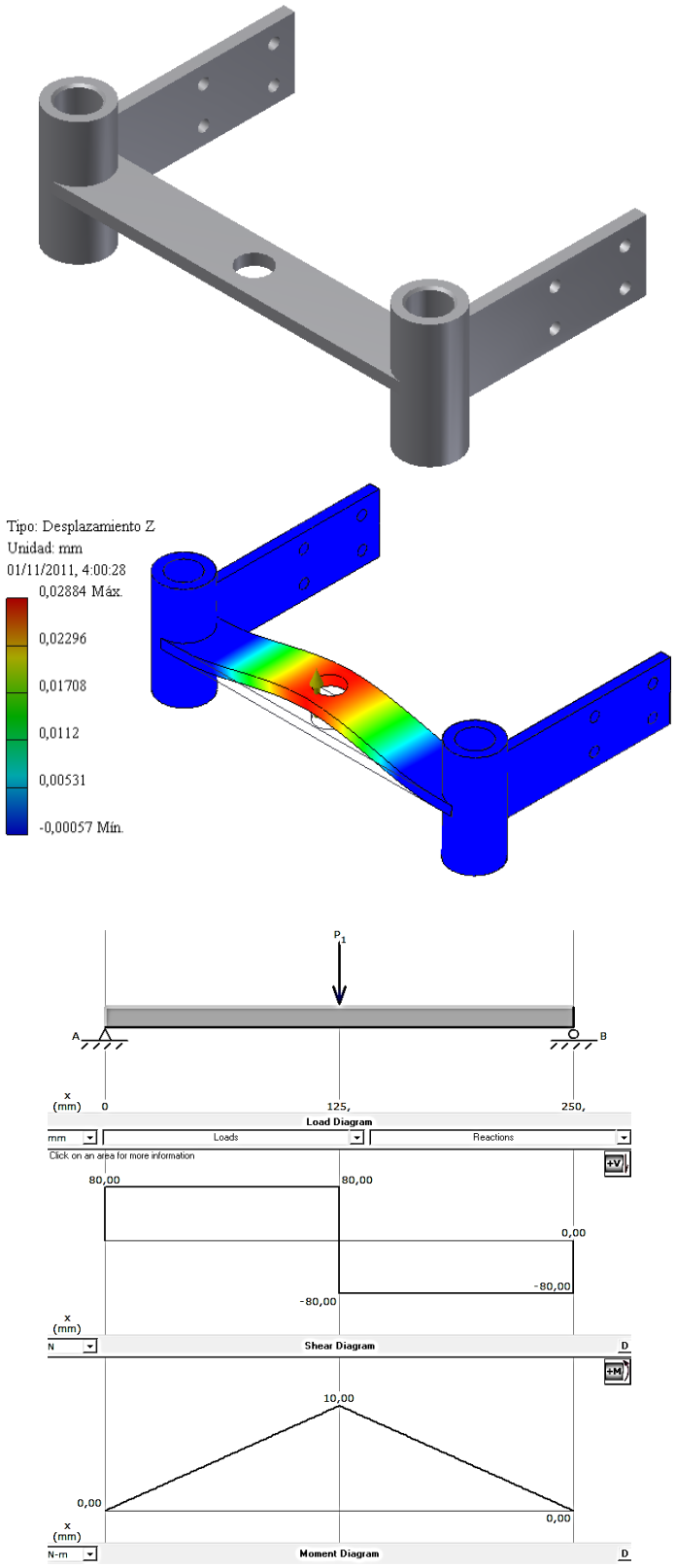



Figura 3.42: Diagrama de esfuerzo cortante y de momentos de la placa

Se procede a calcular el espesor de la placa, para este caso se emplea acero: ASTM A36

$Fy = 36ksi$ (Límite de fluencia)

$Fu =$ 58ksi (Límite de rotura)

$Mmax = 10Nm = 1.02kg \cdot m$

$Fy = 2530kg/cm^2$

$Fb = 0.75Fy = 1900kg/cm^3$

Calculo de deflexiones por deflexiones permisibles

El cálculo del espesor de la placa se realiza por el método de trabajo real, Ver tabla 3.14

**Tabla 3.14: Trabajo real para determinar espesor de la placa**

| ***Tramo o sección*** | $x = 0$ | ***x aumenta de*** | ***M*** |
|---|---|---|---|
| $AC$ | $A$ | $A \rightarrow C$ | $80x$ |
| $BC$ | $B$ | $B \rightarrow C$ | $80x$ |

$$\frac{P \cdot \Delta}{2} = \int_0^L \frac{M^2 dx}{2EI} \qquad (Ecuación\ 3.57)^{40}$$

$$\Delta = \frac{1}{P}\int_0^L \frac{M^2 dx}{EI}$$

$$\int M^2 dx = \int_0^{12.5} (80x)^2 dx + \int_0^{12.5} (80x)^2 dx$$

$$\int M^2 dx = 2\frac{80^2}{3}|x^3|_0^{12.5}$$

[40] STERLING, Kinney, Análisis de Estructuras Indeterminadas, $16^{th}$. Edición, Editorial Continental, p. 105.

$$\int M^2 dx = 8333333.3 N^2 cm^3 = 86769.40 kg^2 cm^3$$

$$\Delta = \frac{1}{(16.32kg)(I)\left(2100000\frac{kq}{cm^2}\right)} \cdot 86769kg \cdot cm^3$$

$$\Delta = \frac{L}{500} \Rightarrow Deflexión\ permisible$$

$$\Delta = \frac{25cm}{500} = 0.05cm$$

$$I = 0.0506\frac{kg^2 cm^3}{\frac{kg^2}{cm}} = 0.050635cm^4$$

Se obtine h:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{12\ I}{b}} = \sqrt[3]{\frac{12(0.050635cm^4)}{5cm}} = 0.496cm = 4.9mm \approx 5mm$$

### 3.3.2 CÁLCULO DEL DIAMETRO DE LOS TORNILLOS

La vista lateral de la figura 3.43, muestra a detalle la distribución de agujeros en la placa extendida que tiene como soporte un bocín guiado en ejes para que tenga libertad de bajar y subir para el posicionamiento del centrado del alma.

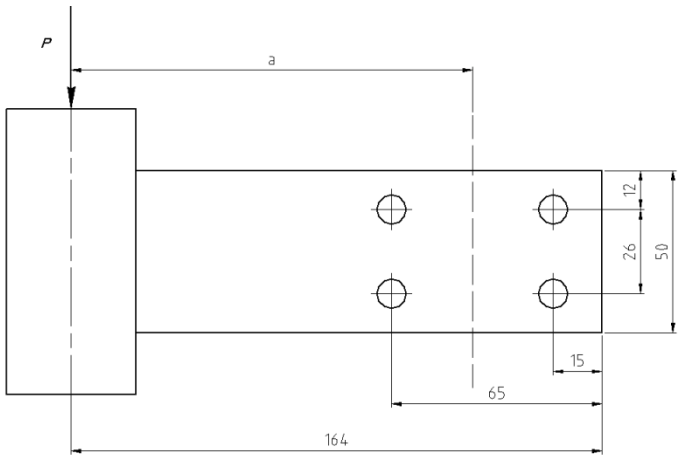



Figura 3.43: Diagrama de posicionamiento de los agujeros

**Fuerza cortante directa:** Para determinar la fuerza en cada tornillo producida por la fuerza cortante vertical directa P = 80N, cada uno de los tornillos soporta una parte igual de la carga. Por consiguiente la carga en cada tornillo $R_P$ es:

$$R_p = \frac{P}{4} = \frac{80N}{4} = 20N$$

**Fuerzas que resisten el momento:** Se usan las ecuaciones 3.61 y 3.62 para calcular las fuerzas que actúan en el tornillo sometido a mayor esfuerzo

$$R_{ix} = \frac{My_i}{\sum r^2} = \frac{My_i}{\sum(x^2 + y^2)} \qquad (Ecuación\ 3.58)$$

$$R_{iy} = \frac{Mx_i}{\sum r^2} = \frac{Mx_i}{\sum(x^2 + y^2)} \qquad (Ecuación\ 3.59)$$

Donde:

$y_i$ = distancia vertical al tornillo *i* a partir del centroide

$x_i$ = distancia horizontal al tornillo *i* a partir del centroide

$L(x^2+y^2)$ = suma de las distancias horizontales y verticales elevadas al cuadrado de todos los tomillos que integran el arreglo. Figura 3.44.

$$\sum(x^2 + y^2) = 4(25mm)^2 + 4(13mm)^2 = 152mm^2$$

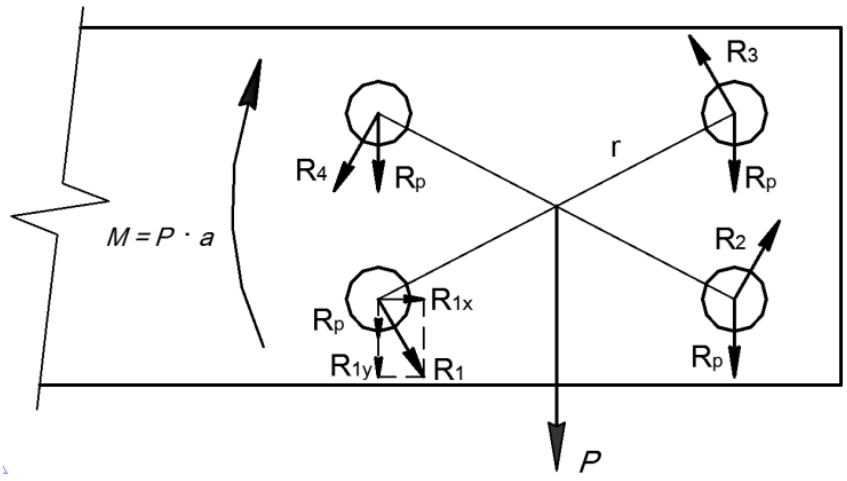



Figura 3.44: fuerzas en cada tornillo

El momento de la junta es:

$$M = P \cdot a = 160N(0.124m) = 19.84\ Nm$$

$$R_{1x} = \frac{M_{y1}}{\sum(x^2 + y^2)} = \frac{19.840Nm(13mm)}{152mm^2} \cdot \frac{10^3 mm}{m} = 1611.3N$$

$$R_{1x} = 1.6113kN \quad \rightarrow (actua\ hacia\ la\ derecha)$$

$$R_{1x} = \frac{M_{x1}}{\sum(x^2 + y^2)} = \frac{19.840Nm(25mm)}{152mm^2} \cdot \frac{10^3 mm}{m} = 3263\ N$$

$$R_{1x} = 3.263kN \quad \downarrow (actua\ hacia\ abajo)$$

Como se determinó $R_P$ y $R_{1y}$ actúan en la misma dirección

$$R_P + R_{1y} = 3.263kN + 0.020kN = 3.283kN$$

La resultante en el tornillo 1, se denomina $Rt_1$:

$$R_{t1} = \sqrt{1.6113^2 + 3.283^2} = 6.66kN$$

Investigando en los tres tornillos de la misma manera se demuestra que el tornillo 1 es el que soporta el mayor esfuerzo. Por consiguiente se determina el diámetro limitando el esfuerzo cortante a 121 MPa para tornillos ASTM A325.

$$\tau = \frac{R_{t1}}{A} \qquad (Ecuación\ 3.60)$$

$$A = \frac{R_{t1}}{\tau_a} = \frac{6660N}{121\ N/mm^2} = 55mm^2 = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(55)mm^2}{\pi}} = 8.37mm$$

El tamaño métrico más aproximado es de 10 mm de diámetro.

Ver anexo 3.15: Clases métricas de propiedad mecánica de pernos, tornillos y birlos de acero

## 3.4 DIMENSIONAMIENTO DEL PORTA RODILLO PARA EL CENTRADO DEL ALMA

Este mecanismo es el encargado de trasmitir la presión provocada por el cilindro neumático y permite el desplazamiento del alma de la viga. Ver Figura 3.45

Figura 3.45: Porta rodillo para el centrado del alma

### 3.4.1 DISEÑO DE LA PLACA BASE PARA EL RODILLO DE SUJECIÓN VERTICAL

Se procede a calcular el espesor de la placa, para este caso se emplea acero: ASTM A36.

Los valores a calcular son los espesores de las placas, de acuerdo a la necesidad de diseño se tiene la siguiente geometría. Figura 3.46

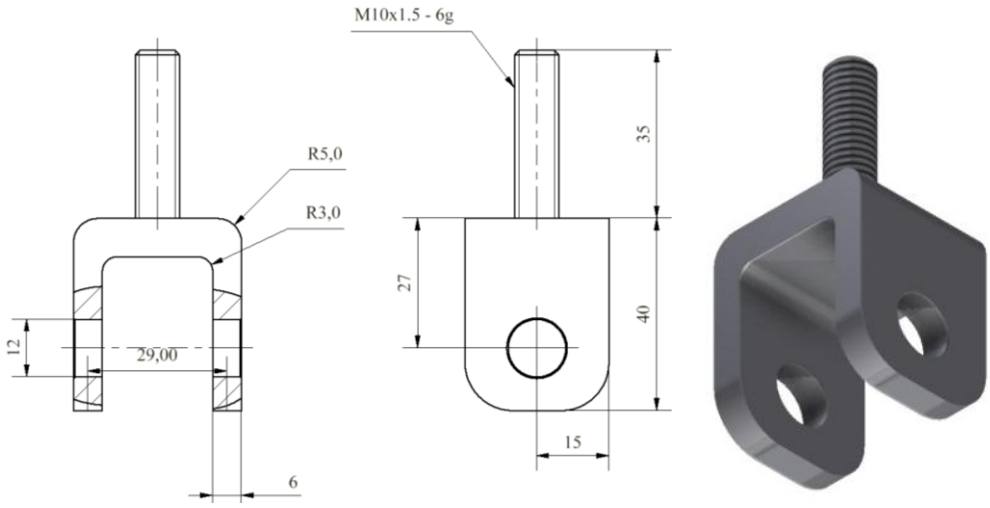



Figura 3.46: Dimensiones de la placa base

Para este diseño de toma en cuenta la presión P1=85N ejercida por el cilindro neumático y se procede a obtener el diagrama de cuerpo libre con la carga simétrica como se indica en la figura 3.47

Diagrama de equilibrio, Ver Fig. 3.47

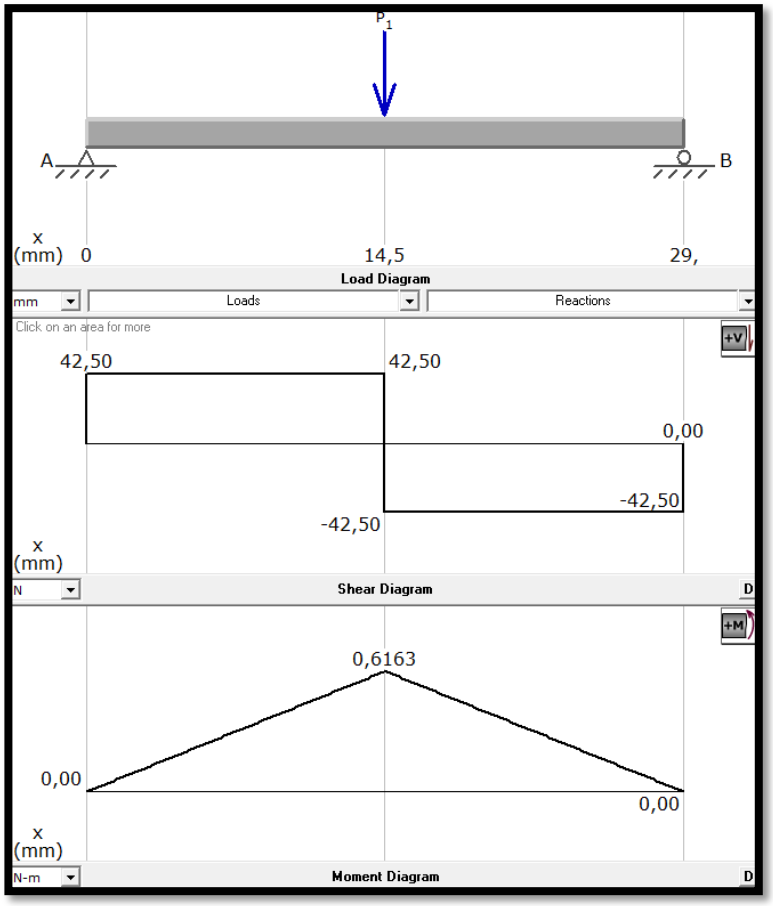



Figura 3.47: Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flexionantes

Se procede a calcular el espesor de la placa, en este caso se emplea un acero ASTM A-36

$Sy = 36ksi$ (Límite de fluencia)

$Fu =$ 58ksi (Límite de rotura)

$Mmax = 0.6163Nm = 0.063\ kg \cdot m$

$Sy = 2530kgf/cm^2$

El esfuerzo permisible es:

$\sigma p \leq Sy$

$$\sigma p = \frac{Sy}{FS}$$

$$\sigma p = \frac{2530 kgf/cm^2}{4} = 632.5 kgf/cm^2$$

$$\sigma p = \frac{M \times \frac{h}{2}}{\frac{b \times h^3}{12}} \qquad (Ecuación\ 3.61)$$

Se despeja h de la ecuación 3.61 y remplazando los datos se tiene:

$$h = \sqrt{\frac{6 \times 0.63}{3 \times 632.5}}$$

$$h = 0.09 cm$$

$$h = 1 mm$$

Se utiliza una placa de 6mm de espesor, por motivos constructivos y proporcionales.

### 3.4.2 DISEÑO DEL EJE PARA EL RODILLO

Longitudes del eje para el rodillo del patín inferior.

**MATERIAL:** AISI 1045, Sut= 565 MPa (81.90 Kpsi) Sy=310 MPa (45 Kpsi)
Los valores a calcular es el diámetro del eje, pues su geometría se da de acuerdo a la necesidad del diseño y se indica en la figura 3.48

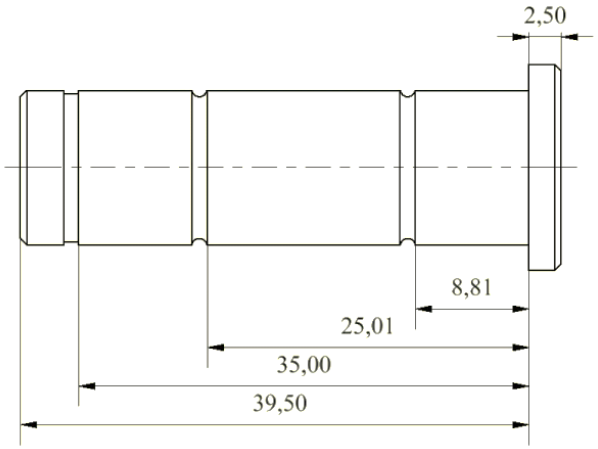



Figura 3.48: Dimensiones del eje porta rodillo

Para calcular el diámetro del eje, se agrega la carga $P_1$ =85N, como se muestra en la figura 3.49

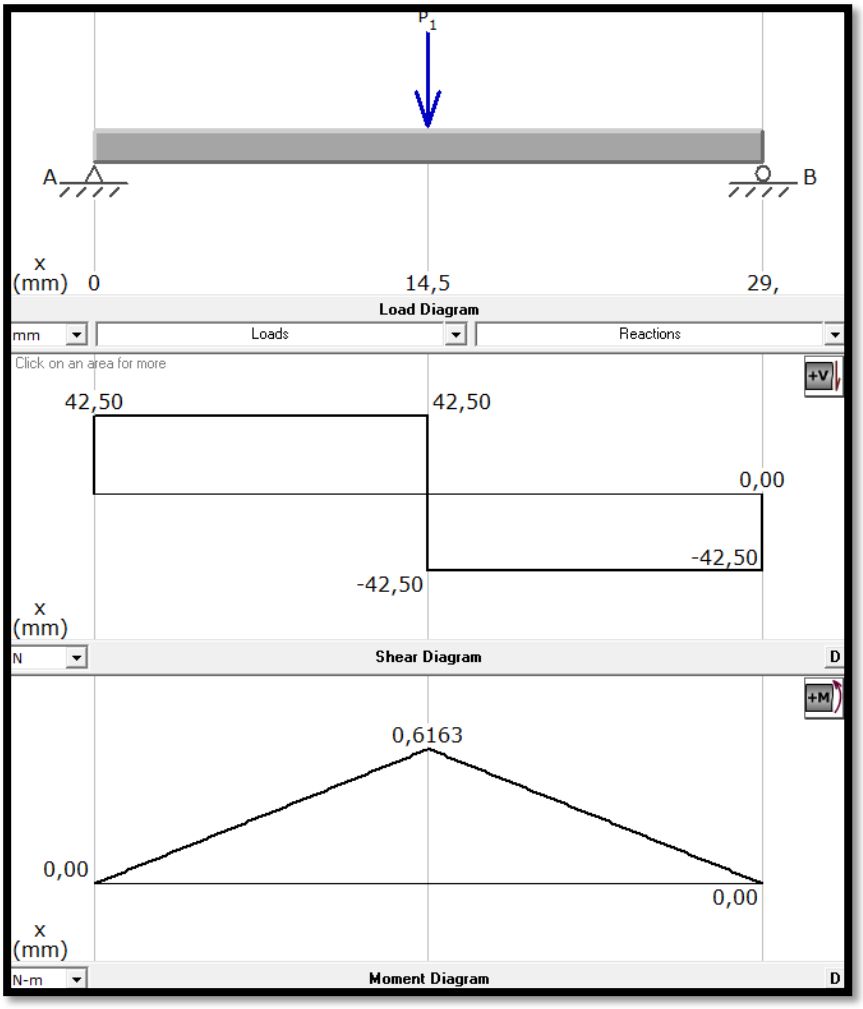



Figura 3.49: Diagrama de cortante y momento flector en el plano

Las reacciones, fuerza cortante y momento flexionante son:

$P_1$ = 85 N

$R_A$ = 42.5N

$R_B$ = 42.5N

$V$ = 42.50N

$M\ max = 0.6163Nm = 5.45\ lb/plg$

Para obtener el diámetro del eje se aplica la ecuación 3.35

$$D = \left[\frac{32\,N}{\pi}\sqrt{\left(\frac{Kt.M}{S'n}\right)^2 + \frac{3}{4}\left(\frac{T}{Sy}\right)^2}\right]^{1/3}$$

No se necesita el factor de concentración de esfuerzos en el término de esfuerzo cortante torsional, ya que se supone constante

$$D = \left[\frac{32\,N}{\pi}\sqrt{\frac{3}{4}\left(\frac{T}{Sy}\right)^2}\right]^{1/3} \qquad (ecuación\ 3.62\ )$$

Dónde:

$D$ = Diámetro mínimo de la sección de eje [plg]

$N$ = Factor de seguridad

$T$ = Par torsional [lb.plg]

$Sy$ = Resistencia de fluencia del material [Psi]

Remplazando los datos en la ecuación

$$D = \left[\frac{32\ \times 3}{\pi}\sqrt{\frac{3}{4}\left(\frac{5.45}{45000}\right)^2}\right]^{1/3}$$

$D = 0.15plg$

$D = 5mm$

El diámetro calculado para el eje es de 5mm, pero el diámetro interior del rodamiento existente es de 12mm, por tanto el diámetro exterior del eje es de 12mm.

### 3.4.3 PIEZA BASE DE CENTRADO DEL ALMA

Este elemento sirve como apoyo y da la altura correspondiente al alma de la viga. Como se observa en la figura 3.50; por facilidad en el ensamble se han colocado dos apoyos inferiores en una placa. En cada apoyo inferior hay un rodillo y un pasador.

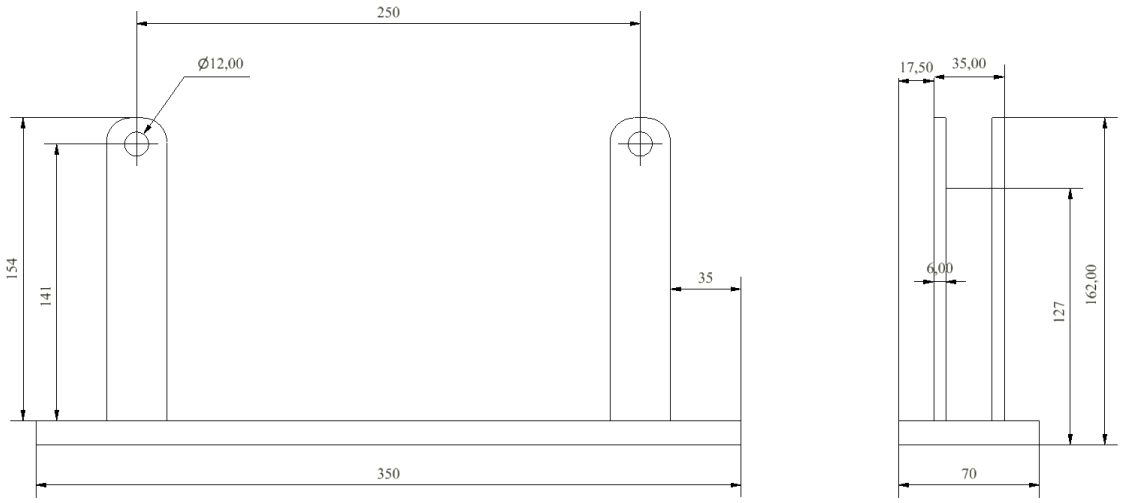



Figura 3.50: Dimensionamiento de la placa base

### 3.4.3.1 DISEÑO DE LA PLACA DE APOYO DEL PATÍN

En el diseño de este elemento se considera la carga $P_1$=160N, Ver Figura 3.51

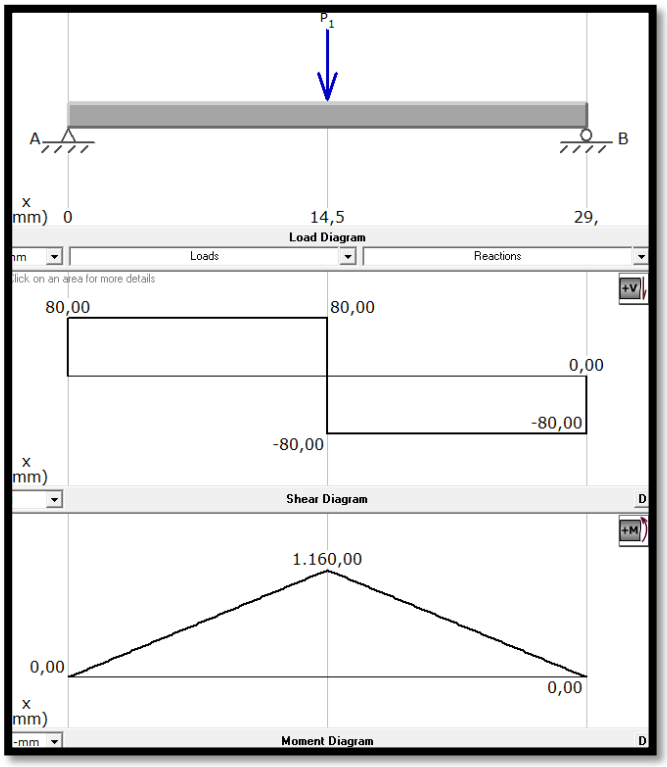



Figura 3.51: Diagrama de cortante y momento flector en el plano

Es conocido que se aplican las mismas fuerzas que en el grafico anterior, por tanto se conoce las reacciones y la carga critica

Dónde:

$P_1$ = 160N

$R_1$ = 80N

$R_2$ = 80N

Per =80N

Se tiene que:

$$I = \frac{b \times h^3}{12} \quad ; \quad A = b \times h$$

$$I = \left[0.282 \times \left(\frac{b \times h \times E}{Pcr}\right)^{1/2}\right] K \qquad (ecuacion\ 3.63)$$

$$K = \sqrt{\frac{b \times h^3}{12 \times b \times h}} = \frac{h}{\sqrt{12}} \qquad (ecuacion\ 3.64)$$

Remplazando la ecuación 3.63 en la ecuación 3.64

$$I = \left[0.282 \times \left(\frac{b \times h \times E}{Pcr}\right)^{1/2}\right] \frac{h}{\sqrt{12}}$$

Se despeja h y se tiene:

$$h = \sqrt[3]{\frac{12 \times l^2 \times Per}{0.282^2 \times b \times E}} \qquad (ecuacion\ 3.65)$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{12 \times (27)^2 \times 80}{0.282^2 \times 30 \times 5256352.30}}$$

$h = 0.40mm$

Se utiliza una placa de 6mm de espesor, por motivos constructivos y proporcionales, además se ha soldado una placa de 4mm para darle estabilidad.

La chapa inferior donde van apoyadas las placas verticales, tiene un espesor de 8mm y sirve para mantener alineadas y centradas las placas de apoyo del patín

## 3.4 ESTRUCTURA DE LA MÁQUINA

La estructura que servirá de soporte de elementos constituyentes de la máquina, debe brindar seguridad y salud, por esta razón las consideraciones de estudios ergonómicos para el diseño de máquinas seguras, es la base de los bocetos iniciales de acuerdo a la dinámica del operador.

### 3.4.1 PRINCIPIOS ERGONÓMICOS GENERALES PARA APLICAR EN EL DISEÑO DE MÁQUINAS SEGURAS

La aplicación de los principios de ergonomía al diseñar máquinas contribuye a aumentar la seguridad, reduciendo el estrés y los esfuerzos físicos del operador, mejorando así la eficacia y la fiabilidad del funcionamiento, reduciendo la probabilidad de errores en todas las fases de la utilización de la máquina. Se deben observar los siguientes principios en el diseño al asignar funciones al operador y a la máquina:

- Dimensiones del cuerpo
- Movimientos y posturas forzadas en la utilización de la máquina.
- Magnitud de los esfuerzos y amplitud de movimientos.
- Ruido, vibraciones y efectos térmicos. Ritmos de trabajo repetitivos.
- Iluminación localizada en las zonas de trabajo.
- Diseñar órganos de accionamiento visibles, identificables, y maniobrables con seguridad.
- Diseñar y colocar las señales, cuadrantes y visualizadores de tal forma que la presentación de la información pueda ser detectada, identificada e interpretada convenientemente desde el puesto de mando.

En definitiva, los sistemas de trabajo diseñados de manera ergonómica favorecen la seguridad y la eficacia, mejoran las condiciones de trabajo y de vida, y compensan los efectos adversos sobre la salud y el rendimiento del ser humano.

Todos nos hemos preguntado alguna vez ¿qué es un producto ergonómico? Se puede decir que un producto ergonómico es aquel que se ajusta perfectamente a las necesidades del hombre, usuario u operario, dentro de un ambiente de trabajo

determinado y que la acción para la que está destinado podrá ser desempeñada por el usuario eficientemente.

El Diseño de la Conformadora tiene como base fundamental la antropometría y la biomecánica aplicarse con el fin de lograr la estrecha relación persona-herramienta, para esto se ha considerado:

- La altura de utilización de la conformadora de vigas de sección armada tipo "I" desde el piso al centro de los rodillos de la mesa transportadora será de 900mm por consideraciones de trabajo pesado con respecto al plano de la mesa debe ser algo menor que la altura de los codos del operario, según la figura 3.52

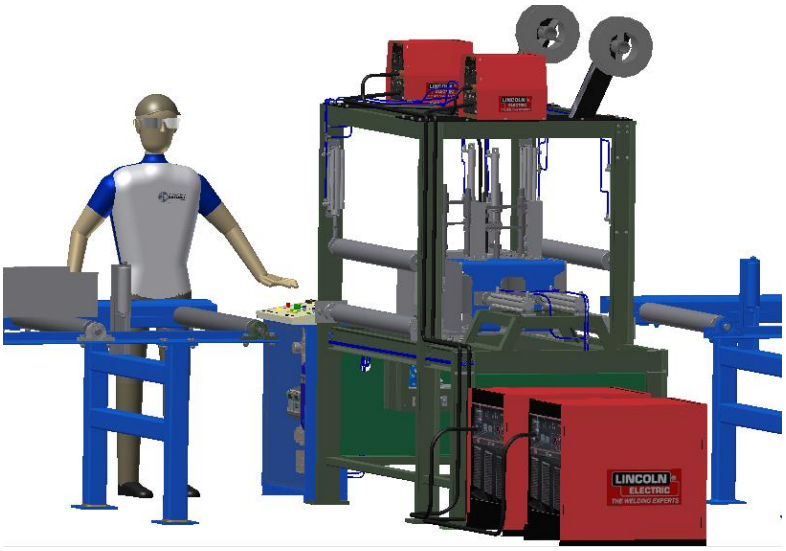



Figura 3.52: Altura de plano de trabajo para trabajo pesado

- En lo que respecta a movimientos del cuerpo el trabajo no obligará al operador a permanecer inmóvil durante su uso, además se evitarán movimientos repetitivos que puedan provocar lesiones o enfermedades.
- Respecto a esfuerzos físicos excesivos, se preverá el uso de medios mecánicos auxiliares, como puentes grúa para ubicar las láminas de acero sobre el transportador de rodillos.
- Colocación del dispositivo de información para codificación visual, para esto se distingue dos tipos diferentes de tareas visuales: las tareas de detección, tareas de control.

La idea fundamental del diseño de la estructura radica en servir de soporte, el cual debe ser resistente al trabajo provisto por el sistema de conformado y también al sistema estabilizador que es el que ajusta a la viga contra el rodillo inferior conservando la línea de acción de la fuerza vertical del pistón.

### 3.4.2 MODELACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL EN EL SOFTWARE SAP2000 V14.0

Para la modelación del sistema estructural se establece el diseño que reciba los elementos de la máquina que está compuesto por dos pisos, el ingreso de la geometría del modelo en el software de análisis se lo hace mediante las herramientas básicas de dibujo que dispone el SAP2000.

Pasos para generar el modelo de la estructura de la máquina en SAP2000:

1. Imponer una distribución de planta para los elementos de la máquina propuesto para el estudio. Como se indica en la figura 3.53

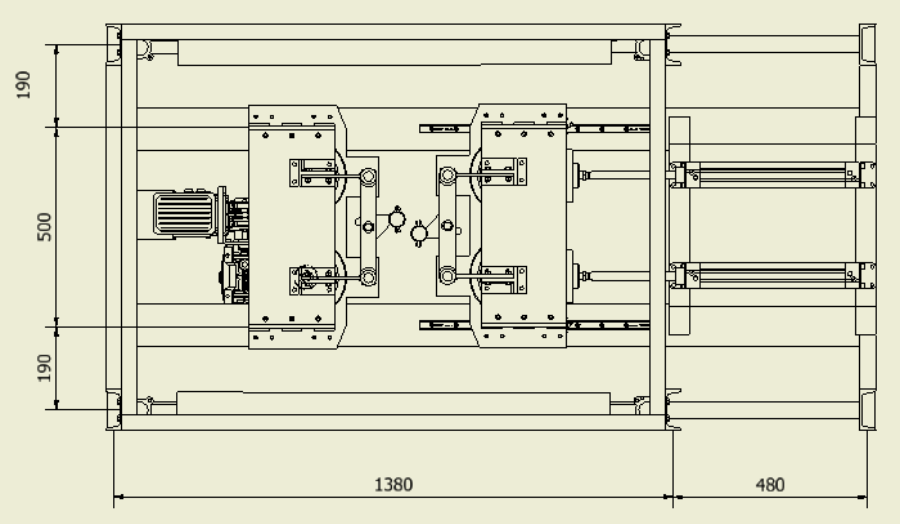



Figura 3.53: Obtención de medidas en planta para la estructura

**Paso 1:**

2. Abrir un nuevo documento, seleccionar *Grid Only* y las respectivas unidades [N, m, C] para poder ingresar de manera más fácil las distancias del modelo a generar, como se indica en la figura 3.54

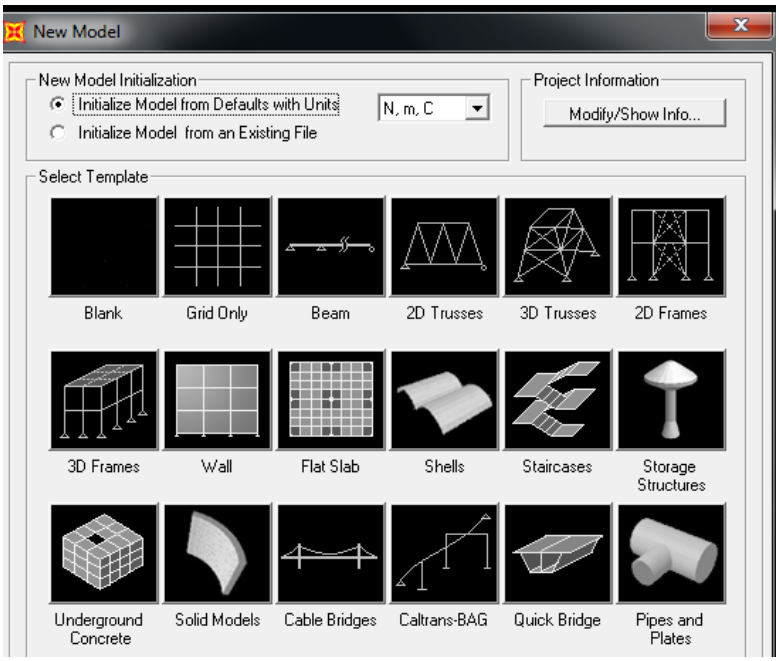



Figura 3.54: Nuevo modelo Grid Only

3. Se edita la grilla y se colocan los valores de acuerdo al modelo establecido, y a las unidades seleccionadas, de tal manera que el cuadro de diálogo queda lleno como se presenta en la figura 3.55

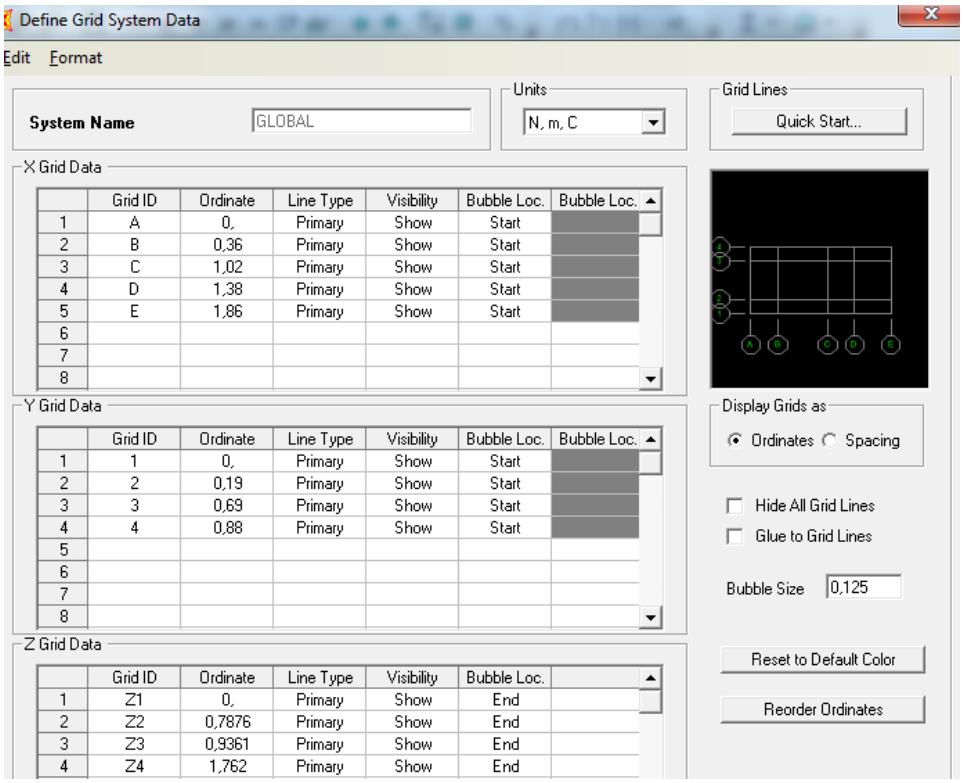



Figura 3.55: Edición de la grilla, con dimensiones establecidas

4. Se procede a dibujar en la grilla 3D, los elementos estructurales que componen la máquina con líneas, usando *Draw Frame,* con la regla de dibujo para las líneas de izquierda a derecha, y de abajo hacia arriba por la disposición de los ejes locales 1, 2, 3 que coincidan con los ejes globales x, y, z como muestra en la figura 3.56

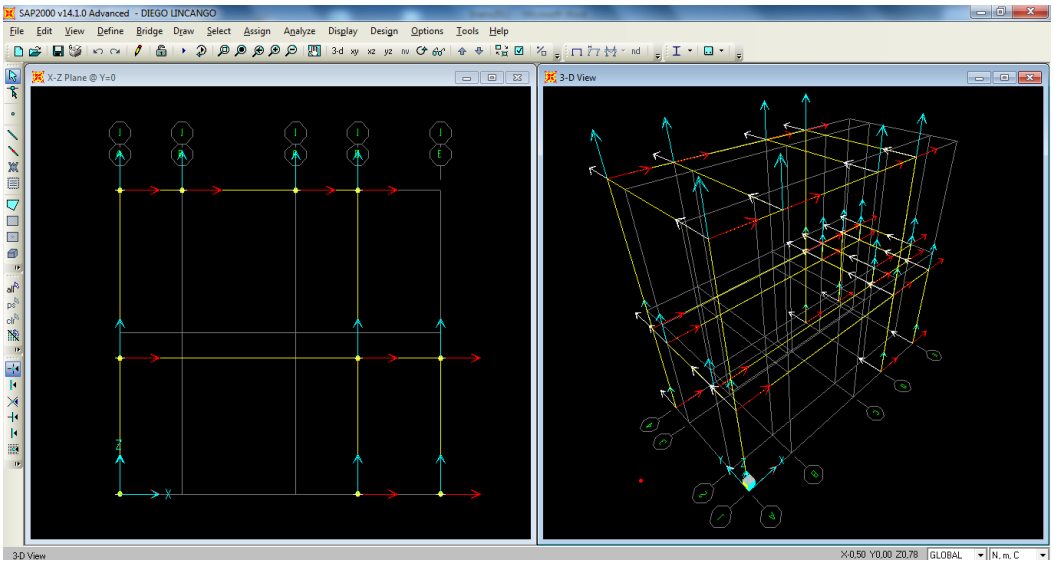



Figura 3.56: Dibujo de los frames visualización de ejes locales

**Paso 2: Definir secciones**

5. Para definir el material con el cual se va a construir la estructura de la máquina se selecciona en el menú: define, materiales, se escoge la opción "*Add new quick material*", tipo: "*Steel*" y especificación: A36.

6. Para definir las diferentes secciones a usar se escoge el menú: Define, *"Frame sections"*, en el cuadro de diálogo se selecciona: "*Add new Property*", seguidamente "*Import New Property"*, escogemos *AISC* para perfiles laminados en caliente *W y C.*

**Paso 3: Designar elementos del Grid**

*7.* Se adiciona una nueva propiedad "*Add New Property*" y señalo *"Auto Select List"* para que el programa realice un diseño iterativo en acero estructural,

seleccione el mejor perfil estructural de una lista de perfiles importados de la biblioteca central, ver Fig. 3.57

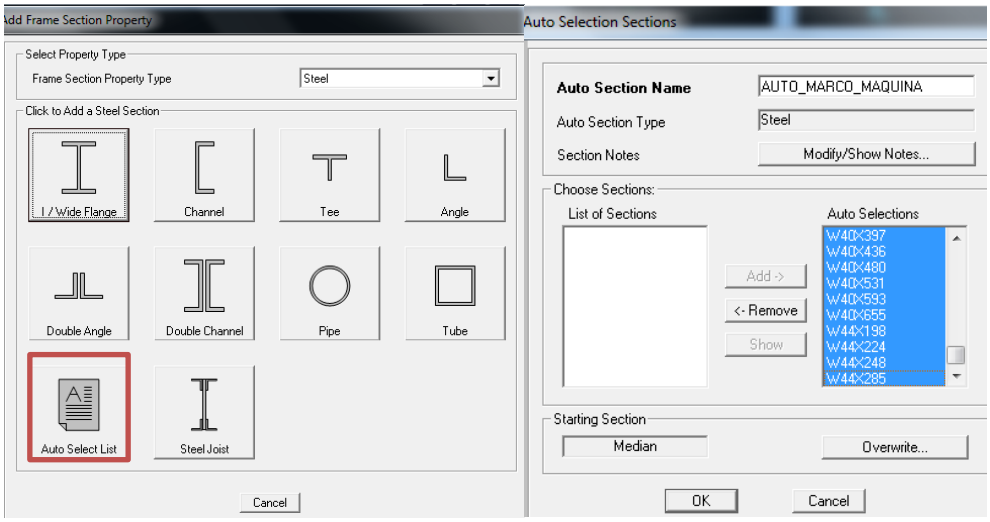



Figura 3.57: Consola de autoselección de perfiles laminados en caliente

**Paso 4: Asignación de apoyos**

8. La ubicación de los apoyos de la estructura consiste en situarse en el plano X-Y Plane @Z=0, se selecciona los nodos manualmente, correspondiente a las patas apoyadas al suelo, se procede asignar "*Joint restraints*" se elige el apoyo, ver Fig. 3.58

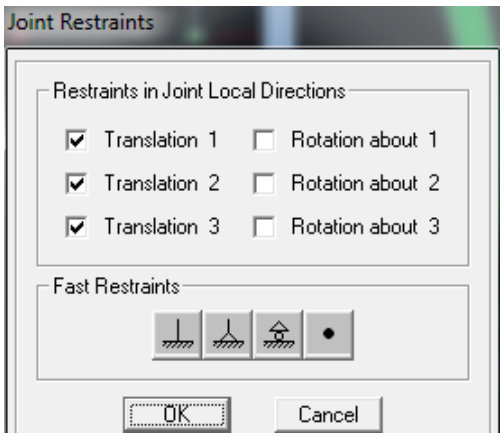



Figura 3.58: Consola de autoselección de perfiles laminados en caliente

Se consideró apoyo fijo que instituye estabilidad externa, restringiendo la rotación.

**Paso 5: Asignación de cargas**

9. Las cargas son introducidas de acuerdo a la estimación de los pesos de los sistemas estudiados, para esto se enlista en la Tabla 3.15 los pesos de cada una de los sistemas y obtener así la carga muerta.

**Tabla 3.15: Listado de elementos y pesos individuales**

| Elemento | masa kg | peso (N) | cantidad | peso total (N) |
|---|---|---|---|---|
| Caja de conformado fija | 129,81 | 1.272,18 | 1 | 1.272,18 |
| Caja de conformado móvil | 130,81 | 1.281,98 | 1 | 1.281,98 |
| Sistema de centrado del alma | 13,52 | 132,52 | 2 | 265,03 |
| Peso estimado de viga | 320,00 | 3.136,00 | 1 | 3.136,00 |
| Peso de pistones | 2,93 | 28,67 | 1 | 28,67 |
| | | | ∑ Carga Muerta | 5.983,86 |

Fuente: Los autores

El peso de 5.983,86 N será dividido para dos vigas de longitud 2 m, que para efectos de introducción al software se considera carga distribuida sobre cada viga, por tal razón la carga distribuida 1500N/m sobre las vigas principales azules de la Fig. 3.59 perteneciente al plano X-Y Plane @ Z=0.78.

Adicional a esto los dos alimentadores LN10 son montados sobre el plano X-Y Plane @ Z=1.76 (Ver Figura 3.49); agregando 400 N/m sobre las vigas de carga color plomo.

Por último las columnas de nodo a nodo: ab, cd, ef, gh reciben a pistones neumáticos, como muestra la figura 3.59, específicamente al sistema estabilizador de sección, en este sector se genera compresión debido a que los pistones van en las columnas y aprietan a la sección contra la estructura de la máquina, por tal razón es pertinente añadir 1000N de fuerza a cada nudo en sentido contrario para que la sección que diseña el software considere y realice la iteración para el caso.

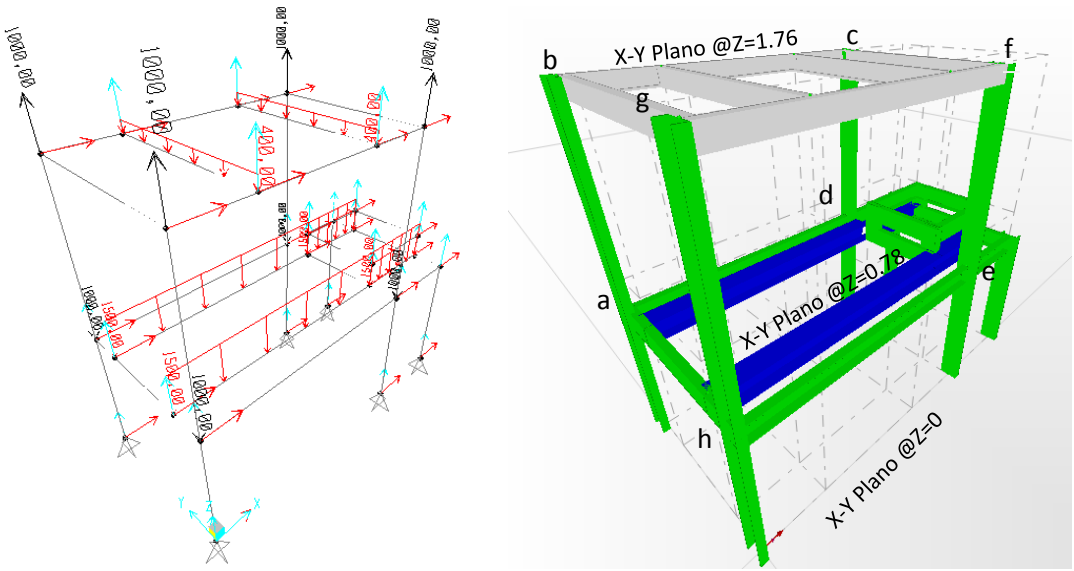



Figura 3.59: Asignación de cargas sobre la estructura

**Paso 6: Condiciones de estudio, realización de análisis e interpretación.**

10. Se procede a verificar las constantes físicas: índice de elasticidad, límite de rotura, coeficiente de Poison, en función a las unidades que se esté trabajando.
11. Ejecución del análisis, se procede: (*analyze / RUN*). Tras finalizar el proceso, aparece una ventana que contiene los datos del proceso. Caso de haber algún problema, nos generará un mensaje de error, en otro caso, se suele ver la frase "*elements saved*". se presiona OK, genera (si todo va bien), una imagen de la deformación ficticia producida por las cargas antes descritas y enunciadas para proceder a su análisis. (Ver figura 3.60)

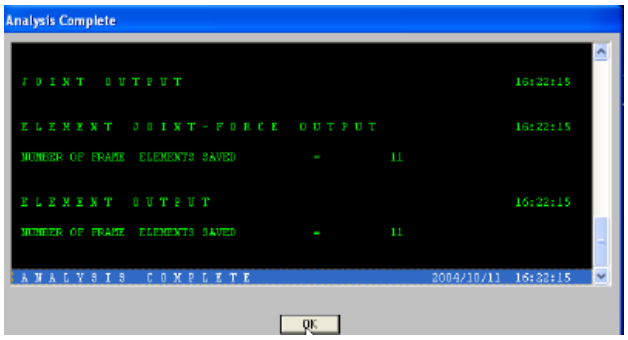



Figura 3.60: Análisis completo

12. Como primera instancia se inicia el diseño de acero , para que el proceso iterativo del programa seleccione el mejor perfil en base a los perfiles ubicados en la biblioteca de autoselección de los perfiles como muestra la Fig. 3.61 , resulta:

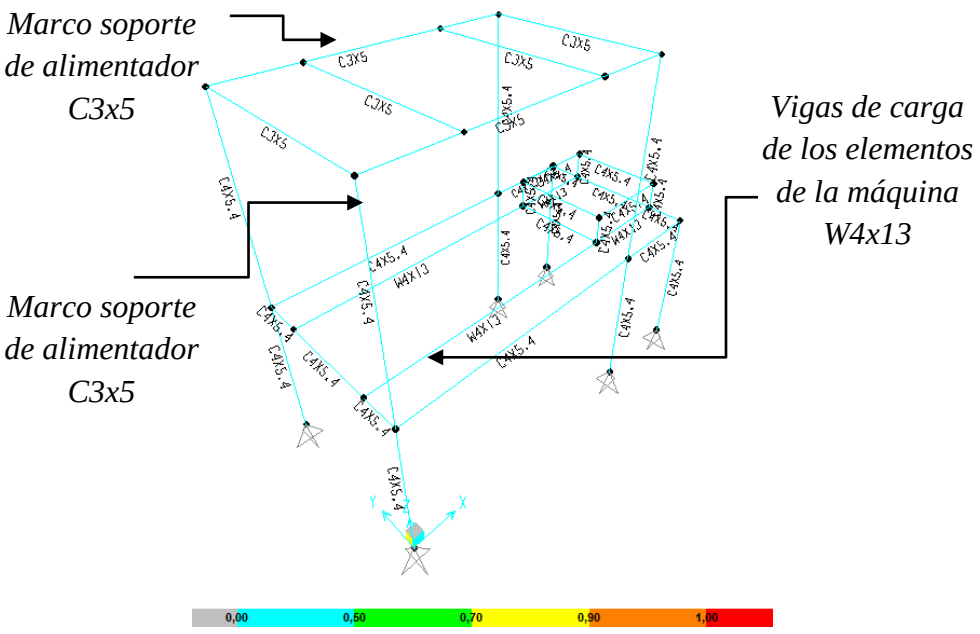



Figura 3.61: Diseño de acero de los elementos estructurales

Perfiles de autoselección para componentes de la estructura, de la simulación obtenida se recaba lo en la tabla 3.16:

**Tabla 3.16: Designación de elementos estructurales**

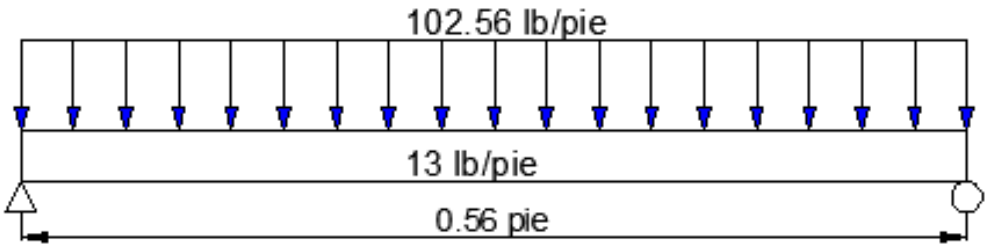
| UBICACIÓN | SECCIÓN | En el mercado |
|---|---|---|
| Marco principal | C4x5.4 | UPN 100 |
| Marco soporte de alimentador | C 3x5 | UPN 80 |
| Vigas de carga de elementos de máquina | W4x13 | HEB 100 |

Fuente: Propia

Elaborado por: Campaña Christian, Lincango Diego

**Comprobación de la W4x13**

Revisar si la sección W 4x13 es adecuada para la estructura de la máquina, de acuerdo a las especificaciones AISC, el acero es A36




**Carga muerta:**

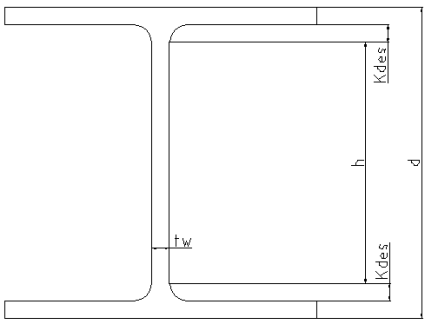
$D = W4x13 = 13lb/pie + 102.56\ lb/pie = 115.56\ \ lb/pie$

**Carga viva:**

$L = 3\ klb/pie$

De la tabla de perfiles; AISC se obtiene las características de la $W4x13$, Ver tabla 3.17

**Tabla 3.17: Características de la W 4x13**




| ***Area,*** ***A*** | ***Peralte,*** ***d*** | ***Espesor de alma,*** ***tw*** | ***Distancia,*** $k_{des}$ |
|---|---|---|---|
| $plg^2$ | $plg$ | $plg$ | $plg$ |
| 3.83 | 4.16 | 0.28 | 0.595 |

Fuente: Manual AISC "*American Institute of Steel construction*", p. 1-26

En base a los datos obtenidos del manual de la AISC; en la tabla 3.17, se obtiene h:

$h = d - 2k_{des}$

$h = 4.16 - 2(0.595) = 2.97\ plg$

Relación entre el tramo recto del alma y el espesor del alma $\frac{h}{t_w}$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{2.97}{0.28} = 10.61$$

$$2.24 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.24 \cdot \sqrt{\frac{29000\ ksi}{36\ ksi}} = 63.57$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 2.24 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$10.61 \leq 63.57$$

$$C_v = 1$$

Resistencia nominal al corte $V_n$:

$$V_n = 0.6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v$$

$$V_n = 0.6 \cdot 36\ ksi \cdot (4.16plg \cdot 0.28plg) \cdot 1$$

$$V_n = 25.15\ Klb$$

**Resistencia requerida a corte**

Comprobación por el método LRFD

$$W_u = 1.2W_D + 1.6\ W_L$$

Donde:

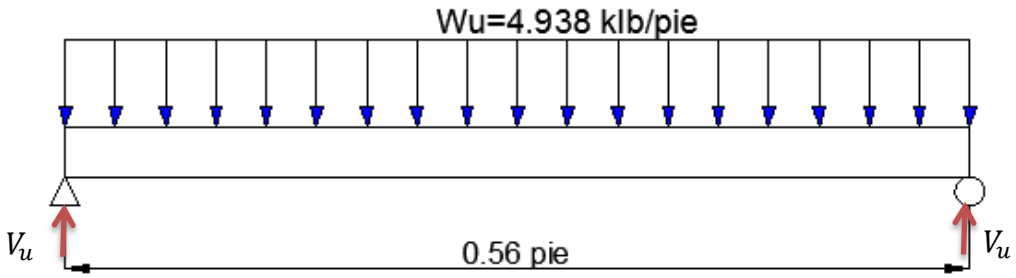
$W_u$ = Carga uniforme última

$W_D$ = Carga muerta

$W_L$ = Carga viva

$$W_u = 1.2(\ 0.115\ klb/pie) + 1.6\ (3\ klb/pie\ )$$

$$W_u = 4.938\ klb/pie$$




$$V_u = W_u \cdot L/2$$

$$V_u = 4.938\frac{klb}{pie} \cdot 0.56pie/2 = 1.38\ klb$$

Resistencia de diseño a corte:

$$\emptyset_v V_n > V_u$$

$$\emptyset_v V_n = 1 \cdot 25.15klb = 25.15klb$$

$$\mathbf{25.15}\boldsymbol{klb} > \mathbf{1.38}\ \boldsymbol{klb}\ (\boldsymbol{Es\ satisfactorio})$$

Comprobación por el método ASD con la combinación de carga:

$$W_a = W_D + W_L$$

$$W_a = 0.115\ klb/pie + 3\ klb/pie$$

$$W_a = 3.115\ klb/pie$$

$$V_a = W_a \cdot L$$

$$V_a = 3.115klb/pie \cdot 0.56pie = 1.74klb$$

Resistencia admisible a corte:

$$\frac{V_n}{\Omega_v} = \frac{25.15\ klb}{1.50} = 16.76klb$$

$$\frac{V_n}{\Omega_v} > V_a$$

$$\mathbf{16.76}\boldsymbol{klb} > \mathbf{1.74}\boldsymbol{klb}\ (\boldsymbol{Es\ satisfactorio})$$

## 3.5 SISTEMA DE PREARMADO

El sistema de prearmado tiene la finalidad de realizar el ensamble de los tres flejes para proceder a puntear el inicio de la viga antes del ingreso a la zona de conformado, para esto la figura 3.62 indica la disposición de los actuadores neumáticos guiados en ejes para que manualmente sea ubicado en el sitio deseado para centrar el alma al patín por accionamiento neumático

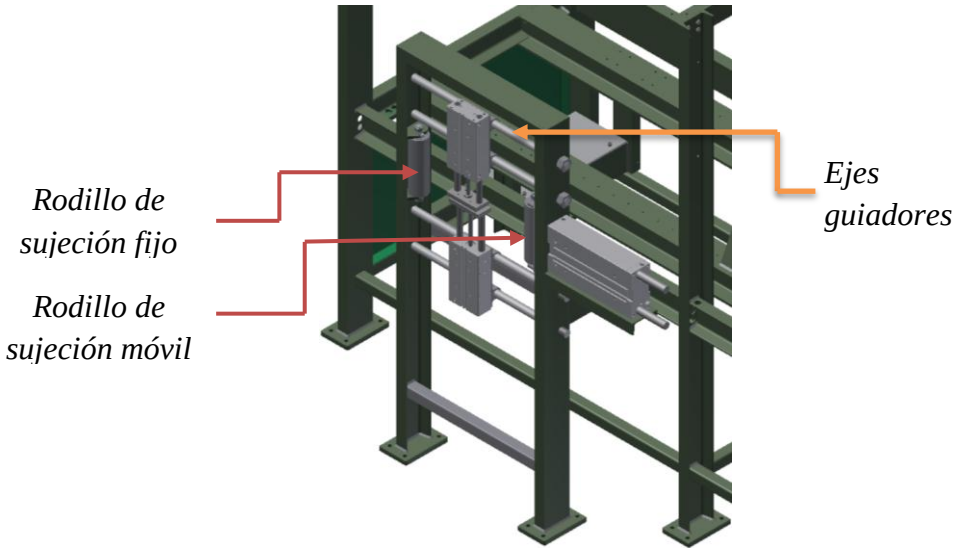


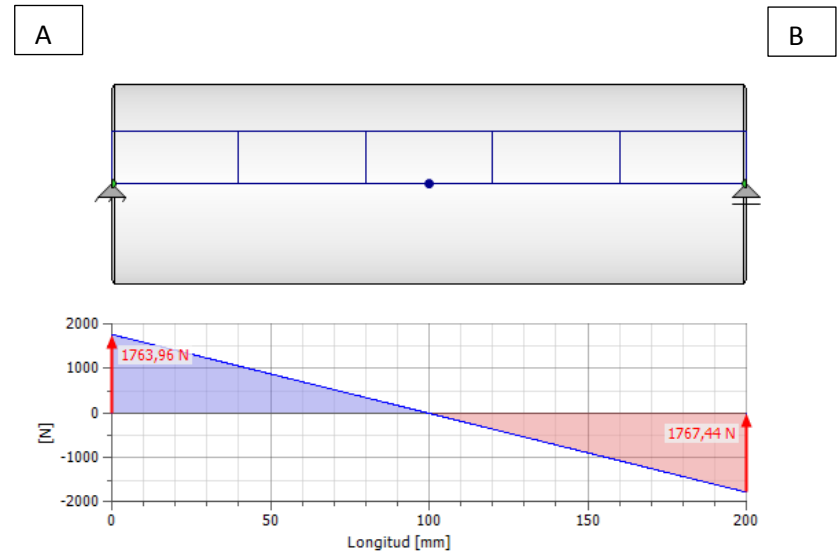

Figura 3.62: Diseño del sistema de prearmado

Para proveer fijeza para realizar el punteado en el inicio de la sección se dispone para esto rodillos de sujeción fijo guiados en el marco estructural; rodillo móvil empernado al actuador neumático con el fin de ajustar el peralte de la viga.

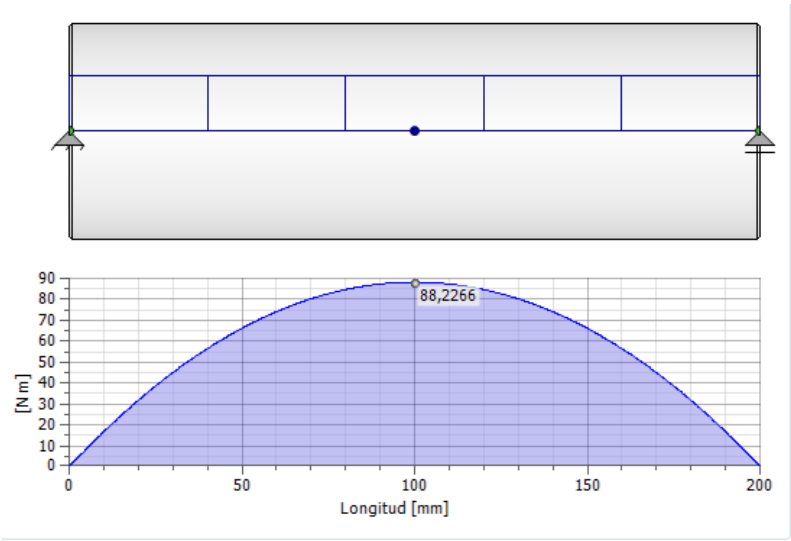
### 3.5.1 DISEÑO DE LOS RODILLOS

Para calcular el diámetro del eje, primero determinamos la carga que va soportar el eje con una viga tipo "I" más pesada de la tabla 2.10; que será posicionado en la zona de prearmado, para esto se considera la fuerza de 1750 N que el actuador neumático suministra. Se considera carga distribuida de 17.50 N/mm.

La Figura 3.63 (a) muestra la carga distribuida que actúan sobre el rodillo, en cada elemento, así como las reacciones en los rodamientos y los diagramas de fuerza cortante y la figura 3.63 (b) el momento flexionante.




(a)




(b)

Figura 3.63: (a) Diagrama de corte del rodillo (b) Diagrama de momento flexionante[41]

[41] Autodesk Inventor Profesional, "*Generador de componentes de eje*", 2011

**Cálculo del diámetro del rodillo:** En este punto se ubica el rodamiento A, transmite un par de torsión 145 [Nm] (1281.53 lb.plg) a la derecha, se ubica un escalón agudo, Kt = 2.5, con un momento flexionante calculado; $M = 88.22\ Nm$ (779.53 lb.pulg)

$$Da = \left[\frac{32 \cdot 2}{\pi} \cdot \sqrt{\left(\frac{2.5 \cdot 779.53}{22000}\right)^2 + \frac{3}{4}\left(\frac{1281.53}{45000}\right)^2}\right]^{1/3} = 1.23plg = 31.3\ mm$$

El diámetro obtenido es de 31.3 mm, pero el diámetro interior del rodamiento existente es de 40 mm, por tanto el diámetro exterior del eje es de 50 mm.

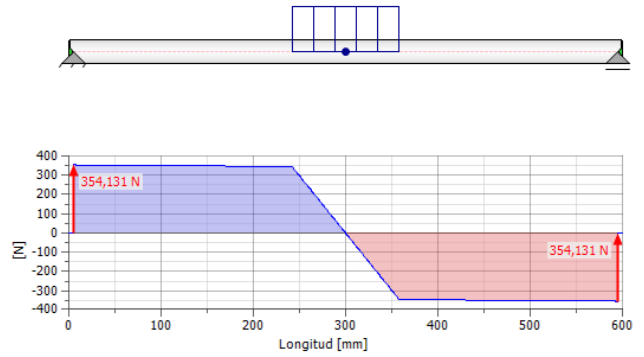
**Selección del rodamiento en A y B:** Se considera que el rodamiento soporta carga radial, por lo tanto se emplea la ecuación 3.40 para determinar la carga equivalente de un rodamiento de bolas:

| | | |
|---|---|---|
| $R$ | Carga radial, $R = \sqrt{RAx^2 + RAz^2}$ | 2000 N=449.2 lbf |
| $V$ | Factor por rotación | 1 |
| $P$ | Carga equivalente P=V·R | 2000 N= 449.2 lbf |
| $f_L$ | Factor por duración, 50 khoras | 4.6 |
| $f_N$ | Factor por velocidad 0.5rpm, Figura 3.14 | 1.5 |
| $C$ | Capacidad de carga, $C = \frac{P \cdot f_L}{f_N}$ | $C = 1377.55N = 309.3$ lbf |
| Selección: Con esta carga selecciono un rodamiento de una hilera de bolas y ranura profunda SKF 6303 (Ver Anexo 3.8) | | |

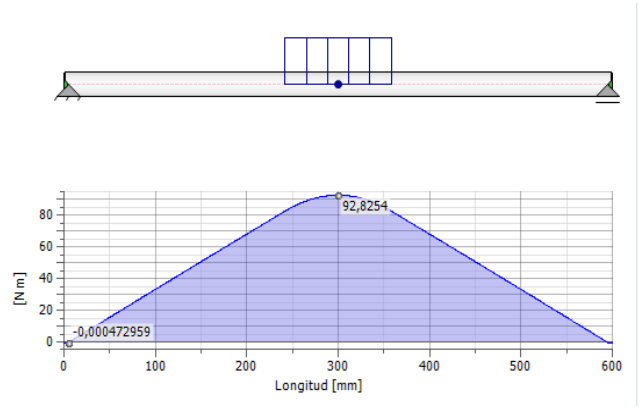
### 3.5.2 DISEÑO DEL EJE GUÍA DEL SISTEMA DE PREARMADO

El actuador neumático *cilindro con guía* se desplaza transversalmente en una longitud de 116 mm de forma manual hasta el sitio de interés para hallar los valores del diámetro del eje se considera la carga vertical que produce por el centrado del alma al patín con una carga distribuida de 5.91 N/mm.

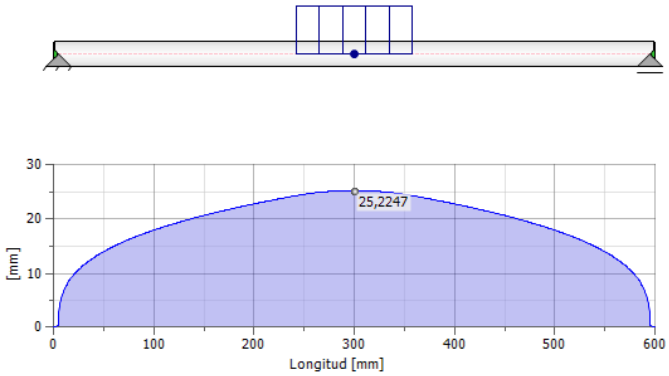
La figura 3.64 (a) muestra el diagrama de corte, (b) momento flexionante y el (c) diámetro ideal para el eje guía.




(a)




(b)




(c)

Figura 3.64: (a) Diagrama de corte del rodillo (b) Diagrama de momento flexionante (c) Diámetro ideal[42]

[42] Autodesk Inventor Profesional, "*Generador de componentes de eje*", 2011

Mediante el software Inventor 2011, el diámetro ideal para el eje guiador es de 25 mm

## 3.5 SELECCIÓN DE TRANSPORTADOR DE RODILLOS CON ACCIONAMIENTO

Los transportadores de rodillo Fig. 3.65 (caminos de rodillos) se emplean para transportar diversas cargas envasadas y por piezas, es decir, conjuntos y piezas de las máquinas y mecanismos, moldes de fundición, cajas, vigas laminadas, maderas, tubos, planchas metálicas, cargas a granel en envases de saco, etc. Los transportadores de este tipo se emplean ampliamente en los talleres de preparación y mecánicos de las fábricas de construcción de maquinaria, en los talleres de laminado de las fábricas metalúrgicas, en las empresas de industria ligera, alimentaría, en los almacenes de transporte y de mercancía.

Figura 3.65: Transportador de rodillos con accionamiento

### 3.5.1 REQUISITOS PARA LA SELECCIÓN

La conformadora de vigas tipo “I” desde el punto de vista operacional en una planta, requiere de un transportador de rodillos, debido a que existe una secuencia anterior al conformado; que es la preparación de materiales (enderezado de flejes, recorte a longitud establecida), adicional a esto, en el instante de conformado de la “I” proporciona soporte longitudinal a la entrada como a la salida y el transporte a la zona de conformado; básicamente los parámetros técnicos a considerar son el

material a transportar, capacidad requerida, trayectoria de los rodillos, longitud de los rodillos, (Ver Tabla 3.18)

**Tabla 3.18: Datos para el fabricante del transportador de rodillos**

| Requisitos | Valores |
|---|---|
| Material a trasportar | Acero A36 - A588 |
| Capacidad requerida | 1 ton/h |
| Peso de viga a considerar: | 46.94 kg/m<br>460.012 N/m |
| Longitud de cada tramo | 13000 mm |
| Longitud del rodillo | 1000 mm |
| Distancia entre rodillos (centros) | 764 mm |
| Altura de trabajo | 900 mm |
| Transportador de : | 1 fila |

Fuente: Propia

Elaborado por: Campaña Christian, Lincango Diego

La selección de un transportador óptimo, nivelado y adecuadamente accionado es decisiva; para esta selección se tomó la viga que presenta el peso por metro más elevado y una carga adicional que el fabricante considera por diseño para esta clase de transportadores.

Las longitudes de las vigas que van a ser trasladadas varían de 2.4 m a 12 m, pero por motivo de prever su buen funcionamiento adoptará una longitud de 13 m de longitud para proporcionar mayor superficie de apoyo, entonces el peso de la viga sobre los rodillos de acero es 508.68 kg.

La Figura 3.66, es un boceto de aclaración de la ubicación de los transportadores de rodillos respecto a la máquina; como se observa a cada lado se sitúa un transportador de 13 m de longitud que sirve de apoyo para el ingreso y salida de las vigas, para

esto se dispone con un accionamiento de motorreductor que permita la inversión de giro con el fin de que permanezca operativo para los dos sentidos de desplazamiento.

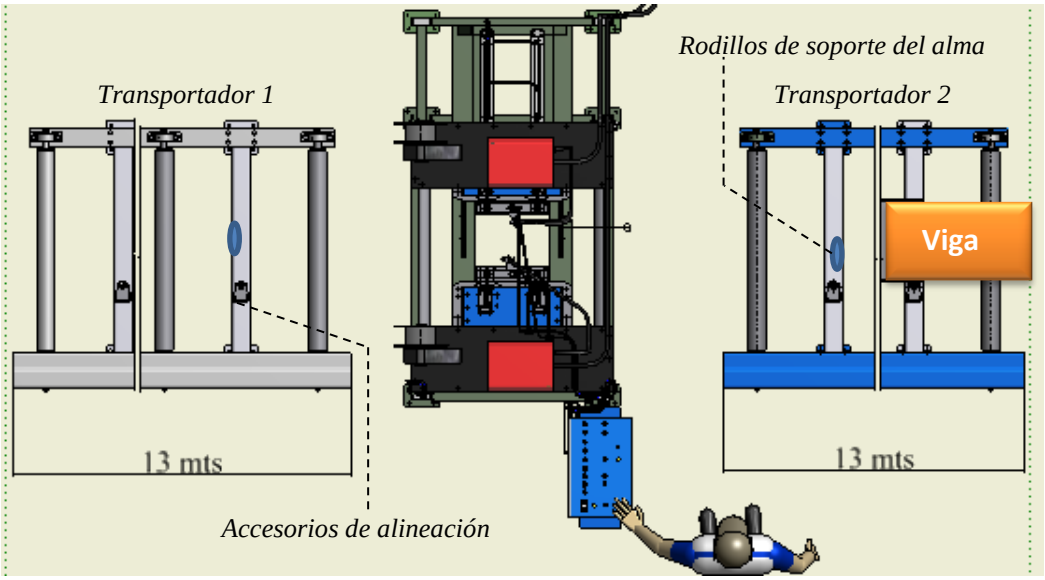



Figura 3.66: Vista superior de la ubicación de los transportadores de rodillos para el ingreso y salida de la viga.

La respuesta del fabricante, a continuación:

- Estructura de ángulo 100x10 mm y ángulo 50x6 mm, soldada y dividida en tres módulos de 4333 mm.
- El transportador tiene 18 rodillos motrices Ø 89; longitud 1000; separados 764 mm entre centros, con eje de acero y chumaceras de piso a los extremos.
- Cada rodillo tiene 2 piñones y transmiten movimiento con cadena paso ¾".
- El sistema de piñones y cadena tiene una tapa de protección, de tool antideslizante.
- El transportador tendrá 9 patas o soportes con tornillos de nivelación.
- El rodillo central tiene el eje para acople de un motorreductor.
- Los rodillos están calculados para soportar el peso de 151 Kg, correspondiente al doble del peso por metro de la viga más grande.
- Accesorios de alineación respecto a los rodillos de conformado.
- Accesorios de soporte del alma.

Ver Anexo 5.9: Cotización y especificación provista por BEECONS

## 3.6 SISTEMA SOLDADURA FCAW-G (Flux Arc Welding-Gas Shield)

Las vigas de sección armada tipo "I" para factor sísmico IV que cubre peligrosamente la extensión del territorio ecuatoriano ver Fig. 3.67, para esto debe ser soldado los cuatro filetes longitudinalmente que se producen por la fabricación del elemento estructural, es decir, los patines al alma, deben diseñarse para resistir la fuerza cortante horizontal resultante de la fuerzas de flexión.

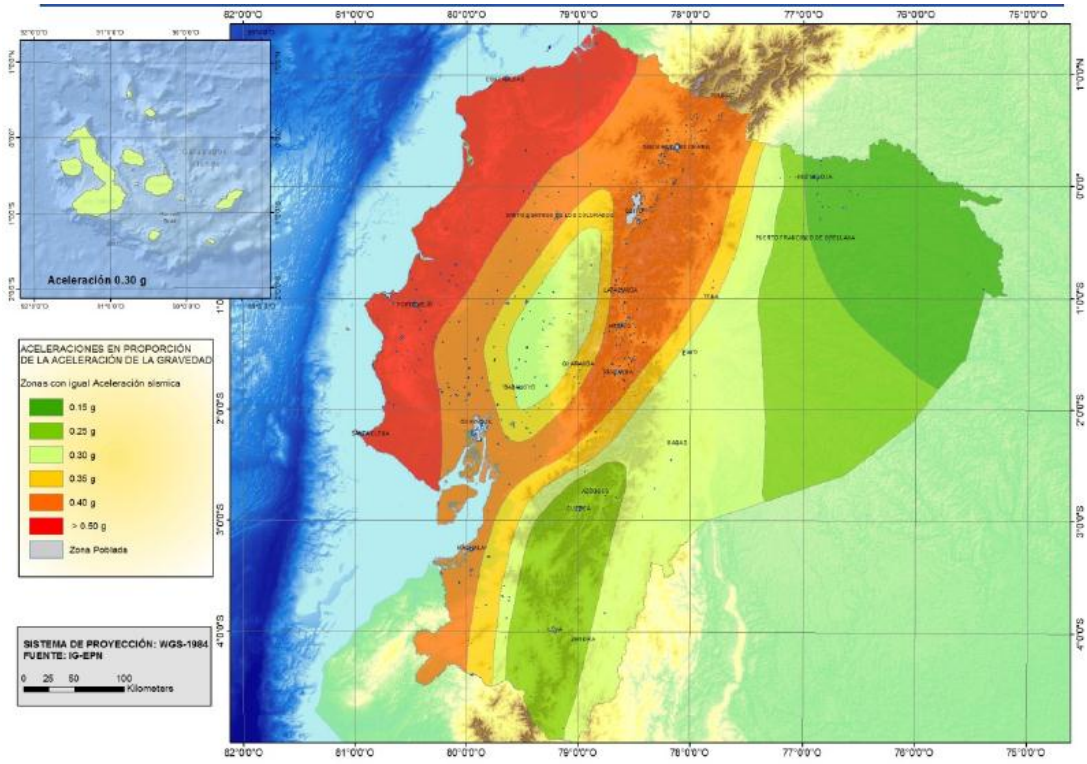



Figura 3.67: Mapa para diseño sísmico NEC 2011

Por ello según la Tabla 2.10 del capítulo 2, se hace referencia al tamaño de soldadura de filete en función al espesor de las láminas de acero a intervenir en la junta, para este filete se aplicará soldadura PJP soldadura en junta con penetración parcial (*Partial Joint Penetration*) ubicando rangos de corriente acorde al diámetro de consumible a ser aplicado como detalla la tabla 3.19 que hace referencia a la corriente necesaria para fundir los electrodos.

**Tabla 3.19: Rangos de corriente típica por diámetro de electrodo**

| Diámetro del electrodo (plg) | Rango de corriente (amp) |
|---|---|
| 1/16, 5/64 | 150 a 450 |
| 3/32 | 300 a 550 |
| 7/64, 1/8 | 400 a 650 |
| 5/32 | 500 a 750 |

Fuente: LINCOLN ELECTRIC, *The Procedure Handbook of Arc Welding*, 1994

La figura 3.68, indica un diagrama esquemático del proceso FCAW-G, para que el lector se familiarice con el sistema y por ende comprender la selección de cada uno de los elementos que más adelante se detalla.

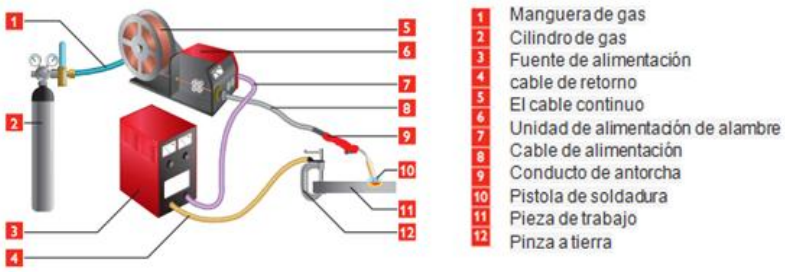



Figura 3.68: Diagrama esquemático del proceso FCAW-G

### 3.6.1 SELECCIÓN DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN CV 400 LINCOLN ELECTRIC

Para el trabajo que demanda un factor de operación alto se requiere un soldadura robusta que satisfaga el rango de corriente de 145 a 450 amp, para fundir alambre tubular diámetro 1.2mm; según tabla 3.15, para esto, la CV-400 cumple con las características deseadas, recomendadas para aplicaciones industriales en talleres de montaje a medida y alta fabricación, optimizadas para procesos de tensión constante, diseñadas para utilizar con una amplia variedad de alimentadores de alambre, y lo más importante un ciclo de trabajo 100%.

La CV-400 de Lincoln Electric representa el perfecto balance entre poder, rendimiento y versatilidad. Diseñada primordialmente para aplicaciones de soldadura MIG y Alambre Tubular / FCAW, la CV-400 de la Fig. 3.69 garantiza un

excelente arco eléctrico y para obtener soldaduras óptimas. Con sus 400 amperios permite soldar espesores gruesos de aceros al carbono, aceros inoxidables, aluminio y otros materiales aleados. Se recomienda para soldadura MIG, alambres tubulares Innershield y Outershield

Figura 3.69: Fuente CV 400 (Ver Anexo 3.16)

### 3.6.1 SELECCIÓN DEL ALIMENTADOR DE ALAMBRE: LN10

El alimentador LN-10 puede ser seleccionado en versión de base fija y brazo colgante. Su diseño modular creativo y único, da una gran versatilidad con su novedoso sistema de alimentación de 4 rodillos para cubrir una amplia gama de aplicaciones de soldadura a nivel industrial. Además, con su versátil panel de control permite fácilmente establecer los parámetros de operación en el propio LN-10, en las versiones de brazo colgante puede elegirse donde ubicar su caja de control y su sistema de alimentación de alambre, recomendado para proceso MIG, Alambre Tubular FCAW. Ver Fig. 3.70

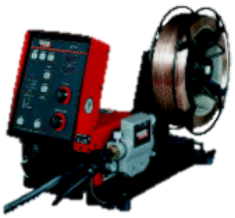


Figura 3.70: Alimentador LN-10 (Ver Anexo 3.16)

### 3.6.2 ANTORCHA MAGNUM-PRO

Las pistolas Magnum® PRO para soldadura MIG y con alambre tubular están diseñadas y probadas específicamente para aplicaciones de soldadura en ambientes extremos. Estas pistolas están construidas para aplicaciones de alta corriente y alto ciclo de trabajo, en las que la resistencia al calor y la posibilidad de reparación rápida son fundamentales. Ver figura 3.71

Figura 3.71: Magnum-Pro250 (Ver Anexo 3.16)

### 3.6.3 ALAMBRE TUBULAR PRIMACORE LW-71 REFERENCIA E71T1-C

Es un alambre tubular de núcleo fundente protegido con gas. Posee un excelente control de charco de soldadura, incluso soldando fuera de posición. La relación de aporte de este alambre es de 15% adicional sobre la mayoría de los electrodos clasificados como E71T-1. Este electrodo ha sido diseñado para aplicaciones que requieran moderados niveles de resistencia pero excelente resistencia al impacto. El gas de protección recomendado para utilizar este alambre es 100% Dióxido de Carbono.

El alambre tubular protegido con gas, LW-71 LINCOLN Clasificación AWS - E71T-1, tiene las siguientes características:

- Código 386551
- Referencia COELW71P21
- Diámetro 0.045"(1.2mm)
- Carrete plástico ABS 15kg
- Diseñado para soldar en todas posiciones para acero dulce en aplicaciones que requieren moderados niveles de resistencia y muy buena resistencia al impacto. Puede utilizarse con gas de protección del 100% de CO2. Cantidad de flujo de 40 a 45 ft3/h o 20 L/min. Ver Fig. 3.72

Figura 3.72: Alambre tubular LW-71 (Ver Anexo 3.16)

### 3.6.4 GAS DE PROTECCIÓN

Dióxido de carbono es el gas protector más utilizado para FCAW-GS, porque sus características de arco de bajo costo y profunda penetración.

El proceso FCAW utiliza el gas de protección, además del núcleo de fundente. En la Figura 3.70 se indica la penetración que se obtiene con la mezcla de gases y sol con $CO_2$, para esto los gases de protección suelen incluir $CO_2$ o una mezcla de argón, por ejemplo, 75% Argón 25% $CO_2$, 90% de $CO_2$ Argón 10%.[43]

La elección exacta y la mezcla de gas de protección puede variar dependiendo de la composición del electrodo y las características deseadas de arco, sin embargo para nuestra aplicación particular se usará 100% CO2 como escudo de protección por la variable de costo y penetración. (Ver Figura 3.73)

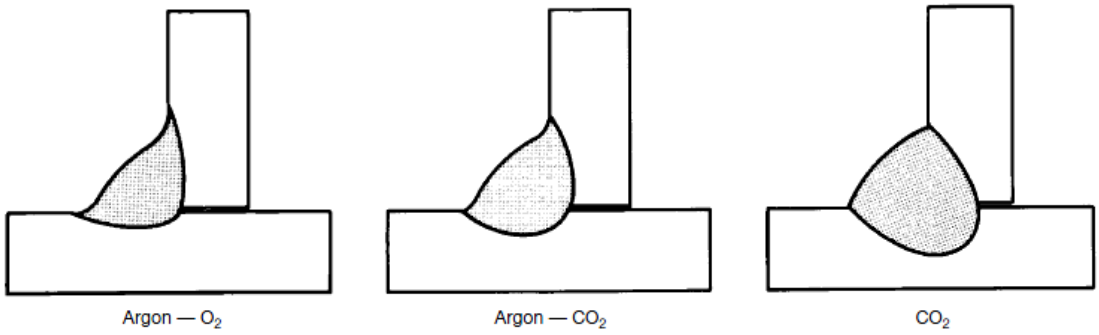



Figura 3.73: Efecto relativo de $O_2$ vs. $CO_2$ adicionando argón al escudo

### 3.6.5 PRECALIFICACIÓN DE UNA WPS (*Welding Procedure Specifications*)

El WPS es un documento preparado y calificado por un departamento técnico o de Ingeniería, el cual sirve de guía al personal; con esto se produce e inspecciona las soldaduras de producción, en este caso las vigas de sección armada debe calificar un procedimiento, por ser un documento de Ingeniería, es de obligatorio cumplimiento en todas sus partes por los diferentes departamentos de la empresa involucrados con la soldadura está en preparar un procedimiento escrito (WPS) con las indicaciones para ejecutar soldaduras de producción.

[43] LINCOLN, Electric, "*FCAW: Descripción alambres tubulares",* ***http://bit.ly/lFejSR***

También debe figurar el PQR (Registro de Calificación del Procedimiento de soldadura) o calificación que le sirve de soporte. Se puede incluir otra información adicional que pueda ayudar a producir soldaduras de calidad.

De existir cambios en el WPS, se pueden hacer en las variables no esenciales sin recalificar el procedimiento, pero documentando el cambio con una revisión con el WPS, y con respecto a las variables esenciales y esenciales suplementarias requieren rectificar el WPS o emitir un nuevo WPS en el que se consignen las nuevas variables, también se pueden calificar un nuevo PQR conteniendo las variables de cambio.

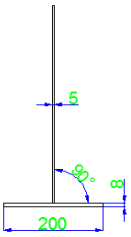
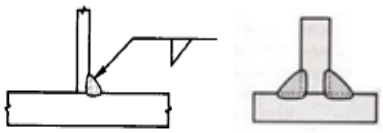
El propósito de la WPS (Especificación de Procedimiento de Soldadura) y PQR (Registro de Procedimiento de Calificación), es determinar que la soldadura propuesta para la fabricación es capaz de tener las propiedades requeridas para su pretendida aplicación, en definitiva es un método detallado probado y analizado por el cual soldaduras sanas con apropiadas propiedades mecánicas pueden ser producidas.

El código da la libertad para diseñar formatos, pero exige que se listen las variables esenciales, no esenciales y suplementarias cuando apliquen, cabe recalcar que un WPS sin su calificación o PQR no pasa de ser una hoja sin valor alguno.

La calificación de soldador WPQR para trabajar soldadura con máquina, es aquella que ejecuta la soldadura, bajo la constante de observación y el control del operario, para el aseguramiento de la calidad de la unión soldada de las vigas de sección armada tipo “I”, de tal modo que el criterio de la calificación está en determinar la habilidad mecánica para operar el equipo.

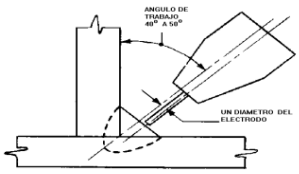
La tabla 3.20 y 3.21, está diseñado el formato de la WPS y PQR de acuerdo a la Norma ASME SECCIÓN IX,

**Tabla 3.20: Formato de la WPS (*Welding Procedure Specifications*)**

<table>
<tr><td colspan="8">ESPECIFICACIONES PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA WPS ASME SECCIÓN IX</td></tr>
<tr><td colspan="2">COMPAÑÍA:<br>N/A</td><td colspan="2">WPS N°:<br>001</td><td colspan="2">REVISIÓN:<br>1</td><td colspan="2">FECHA:<br>14/01/2012</td></tr>
<tr><td colspan="8">PROYECTO: Vigas de sección armada tipo “I” de 200 a 400 mm de peralte para edificios.</td></tr>
<tr><td colspan="4">PROCESO DE SOLDADURA: FCAW-G</td><td colspan="4">TIPO: Semiautomático</td></tr>
<tr><td colspan="8">NÚMERO DE OPERADORES: 1</td></tr>
<tr><td colspan="4">DISEÑO DE LA JUNTA: FILETE A 90°</td><td colspan="4">POSICIÓN: 2F (Según ASME IX)</td></tr>
<tr><td colspan="4"><u>DISEÑO DE LA JUNTA:</u><br> 
</td><td colspan="4"><u>UNIÓN SOLDADA:</u><br>  </td></tr>
<tr><td colspan="4"><u>MATERIAL BASE:</u><br>MATERIAL: A36<br>TIPO: FLEJE<br>ESPESORES: 5 mm patín; 8 mm alma</td><td colspan="4"><u>MATERIAL DE APORTE:</u><br>ALAMBRE: LW71<br>DIÁMETRO: 1.2mm<br><u>GAS DE PROTECCIÓN:</u><br>100% CO2 Globular</td></tr>
<tr><td colspan="4"><u>TEMPERATURAS:</u><br>PRECALENTAMIENTO: N/A</td><td colspan="4"><u>LIMPIEZA ENTRE PASES:</u><br>- MANUAL: N/A<br>- MECÁNICAMENTE: Grata de disco Ø7”</td></tr>
<tr><td colspan="4"><u>TÉCNICA DE SOLDADURA:</u><br>CORDONEADO U OSCILADO: Cordoneado</td><td colspan="4"><u>VARIABLES ELÉCTRICAS:</u><br>- INTENSIDAD: 250amp<br>- VOLTAJE : 29-30 Voltios</td></tr>
<tr><td rowspan="2">No. de Pases Proceso</td><td colspan="2">Material de aporte</td><td colspan="2">CORRIENTE</td><td rowspan="2">Voltios</td><td rowspan="2">Velocidad de avance</td><td rowspan="2">Entrada de calor</td></tr>
<tr><td>Clase</td><td>Diámetro</td><td>Polaridad</td><td>Amperaje</td></tr>
<tr><td>1 FCAW-G</td><td>E71T1</td><td>1.2 mm</td><td>CD-PI</td><td>250</td><td>29-30</td><td>279.4mm/min</td><td>1350°C</td></tr>
<tr><td colspan="4">Elaborado por:</td><td colspan="4">Aprobado por:</td></tr>
</table>

Fuente: Laboratorio de Soldadura EPN, *Soldadura de Filete FCAW-G*, 2011

**Tabla 3.21: Formato del Registro de Calificación del Procedimiento de Soldadura (PQR)**

| **REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA *PQR ASME SECCIÓN IX*** | | | |
|---|---|---|---|
| **COMPAÑÍA:** **XX** | **PQR N°:** **001** | **REVISIÓN:** **0** | **FECHA:** **14/03/2012** |
| **PROCESO DE SOLDADURA:** FCAW | | **SISTEMA DE SOLDADURA:** Semiautomático | |
| **NOMBRE DEL OPERADOR:** | | | |
| **DISEÑO DE LA JUNTA:** Filete a 90° | | | |
| **UNION SOLDADA:**   | | | |
| **MATERIAL BASE:** **MATERIAL:** A36 **TIPO:** Fleje **ESPESOR:** 5mm patín; 8mm alma | | **MATERIAL DE APORTE:** **CONSUMIBLE: E71T-1** **DIÁMETRO: 1.2mm** **N° F:** | |
| **VARIABLES ELÉCTRICAS:** - INTENSIDAD: - CORRIENTE : | | **POSICIÓN:** 2F (Según ASME IX) | |
| **INSPECCIÓN VISUAL** | | | |
| **Apariencia:** | | **Número de pasadas:** | |
| **Socavación:** | | **Tamaño máximo de pierna:** | |
| **Convexividad:** | | | |
| **PRUEBA DE DOBLEZ A LAS PLATINAS** | | | |
| **MARCA** | **RESULTADO** | **OBSERVACIONES** | |
| | | | |
| **Elaborado por:** | | **Aprobado por:** | |

Fuente: Laboratorio de Soldadura EPN, *Soldadura de Filete FCAW-G*, 2011

# CAPITULO IV

## 4. SIMULACIÓN Y CONTROL

## INTRODUCCIÓN

En este capítulo se realiza la simulación de la lógica de control de la conformadora de vigas de sección armada tipo “I”. Para el armado de la sección se usa la estructura de los sistemas neumáticos con directrices de seguridad para su operación y del proceso de soldadura FCAW-G que presenta las variables a controlar como son: el amperaje, voltaje y la velocidad de salida del alambre tubular con el avance accionado por motorreductor que dependiendo de los espesores se regula mediante un variador de velocidad; todo está gobernado por un PLC (*Controlador Lógico Programable*).

Además se detalla la visualización del proceso mediante el software de simulación Intouch.

## 4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA

El funcionamiento de la máquina como se muestra en la Figura 4.1; consiste en realizar un prearmado de la sección ajustando al peralte entre 200 a 400 mm mediante dos pistones neumáticos, empujando a la caja de conformado móvil simultáneamente, luego se coloca el alma en el centro del patín con el pistón neumático que tiene el sistema de centrado del alma, por último el tren delantero y el tren posterior ajusta la viga con dos pistones neumáticos en cada tren para ajustar la viga a los rodillos y garantizar la estabilidad.

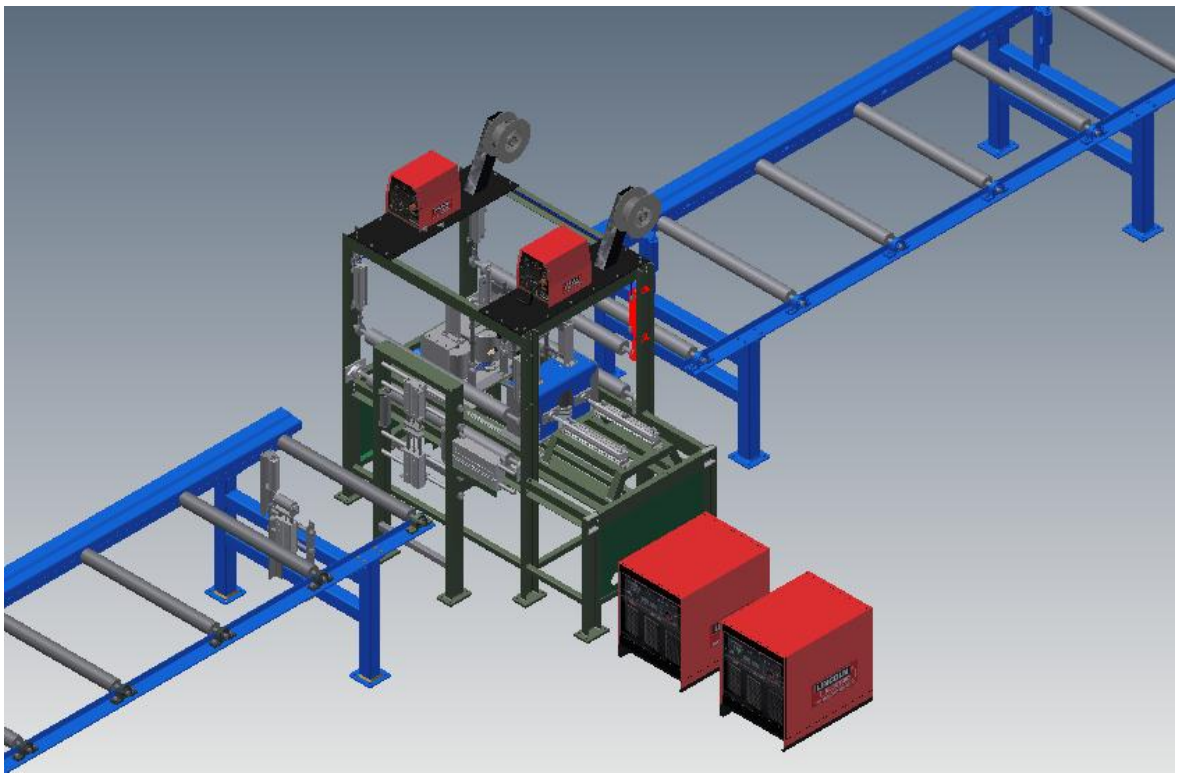


Figura 4.1: Vista general de la máquina sin semi-automatizar

Las tres láminas de acero perfectamente alineadas y centradas, son trasladadas por la transmisión de potencia del motorreductor a los rodillos de conformado que impulsan a la sección armada con el avance adecuado y simultáneamente depositar el cordón longitudinal en los dos filetes; para este control tiene los siguientes dispositivos principales:

1) PLC Logo de Siemens, ubicado en el interior del panel eléctrico.
2) Motorreductor de la Conformadora de vigas tipo “I”.
3) Variador de frecuencia Siemens G110.
4) Potenciómetro.
5) Electroválvulas.
6) Sensores de proximidad.
7) Presóstato.
8) Botón de emergencia.
9) Relés.
10) Botonera.
11) Conexión a tierra.

## 4.2 TECNOLOGÍA NEUMÁTICA

Se basa en el uso de aire comprimido y otros elementos como válvulas distribuidoras, detectores, cilindros, pulsadores y pilotos neumáticos (figura 4.2). La ventaja principal de este método es que no se ve afectado por las interferencias electromagnéticas, pero necesita mucho espacio, crea un ruido importante y requiere de mantenimiento importante.

El aire comprimido se obtiene por medio de un compresor que se distribuye a las máquinas que lo utilizan.

Esta tecnología se utiliza mayormente en ambientes explosivos ya que no tiene contactos eléctricos y no produce chispas.

Figura 4.2: Elementos básicos de tecnología neumática

### 4.2.1 CILINDROS NEUMÁTICOS DE DOBLE EFECTO

Un cilindro de doble efecto es un ejemplo de un componente neumático que convierte la energía potencial de la presión de aire en trabajo mecánico, como se muestra en la figura 4.3, el aire comprimido ejerce su acción en las dos cámaras del cilindro, de esta forma puede realizar trabajo en los dos sentidos.

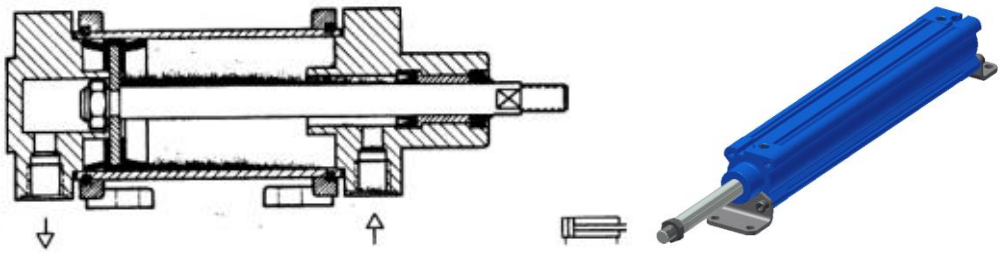


Figura 4.3: Cilindro de doble efecto

#### 4.2.1.1 FUERZA DEL CILINDRO NEUMÁTICO

La transmisión de potencia mediante aire comprimido se basa en el principio de Pascal *"Toda presión ejercida por un fluido se transmite íntegramente en todas direcciones"*

Por lo tanto, la fuerza ejercida por un émbolo es igual al producto de la presión por la superficie, en los cilindros de doble efecto debe reducirse en la carrera de retroceso el área del vástago del área total del émbolo. La fuerza teórica del émbolo se calcula con la siguiente ecuación:

$$F_{teórica} = A \cdot p \qquad (Ecuación\ 4.1)$$

Donde:

$F_{teórica}$ = Fuerza teórica del émbolo
$p$ = Presión de trabajo.
$A_1$ = Superficie útil del émbolo.

Los principales criterios para elegir los actuadores neumáticos son la fuerza y los recorridos a superar. La fuerza del émbolo se emplea en un pequeño tanto por ciento en superar la fricción y el resto en la carga. Sólo pueden darse valores indicativos,

puesto que la fuerza de fricción depende de muchos factores (lubricación, presión de funcionamiento, contrapresión, forma de la junta, etc.). La contrapresión genera una fuerza que actúa en sentido contrario y anula parte de la fuerza útil y se presenta particularmente cuando se estrangula el aire de escape[44].

Ver anexo 4.1: Diagrama Presión-Fuerza.

#### 4.2.1.2 CÁLCULO DE DIÁMETRO DEL ÉMBOLO

Para el cálculo de diámetro del émbolo se utiliza el manual de estudio de la industria FESTO el cual contiene una serie de tablas y fórmulas.

Para trasladar el sistema de conformado móvil, según la Figura 4.4, se requiere dos pistones neumáticos que impulsen la caja de conformado; para efecto de cálculo se nombra como émbolo número 1

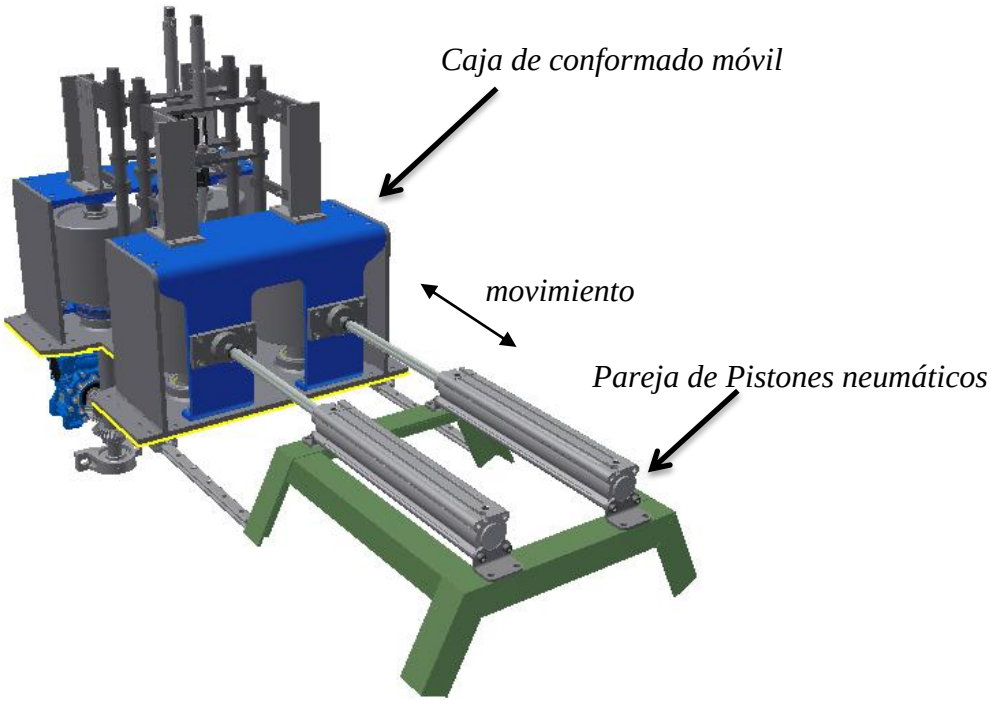



Figura 4.4: Cilindros de doble efecto para la caja de conformado

[44] FESTO Colombia, "*Información técnica*", 2010, *http://bit.ly/Jycchd*

**Émbolo 1:**

$$F_{teórica} = A \cdot p \qquad (Ecuación\ 4.1)$$

Determinación de la superficie útil del émbolo

$$A = \left(\frac{{D_1}^2 \cdot \pi}{4}\right) \qquad (Ecuación\ 4.2)$$

Donde:

$D_1 =$ Diámetro del émbolo

Datos:

$F_{teórica\ 1} = 1233.00$ N (Valor obtenido en el análisis de fuerzas del Cap. 3 p. 65)

$p$ = 600.00 KPa (Presión de trabajo)

La ecuación 4.2 remplazar en ecuación 4.1

$$F_{teórica} = \left(\frac{{D_1}^2 \cdot \pi}{4}\right) \cdot p$$

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{teórica}}{p \cdot \pi}}$$

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 1233.00\text{N}}{600KPa \cdot \pi}}$$

$$D_1 = 0.051m \approx 51\ mm$$

El diámetro calculado del émbolo 1 es de 51 mm; pero en el catálogo de accesorios neumáticos de la industria FESTO Anexo 3.1; existe un diametro de 50mm, por lo tanto se usa dos cilindros neumáticos de 50 mm.

Fuerza de avance del émbolo 1

$$F_{n1} = A_1 \cdot p - F_{R1} \qquad (Ecuación\ 4.3)$$

Donde:

$F_{n1}$ =Fuerza efectiva o real del émbolo 1

$F_{R1}$ =Fuerza de rozamiento 1 (3-20%)

$p$ =Presión de trabajo

$D_1$ =Diámetro del émbolo 1

Datos:

$F_{R1}$ = 1233 N·5%=123.30 N

$p$ = 600.00 KPa

$D_1$ = 0.05 m

Se remplaza en la ecuación 4.3, se tiene:

$$F_{n1} = \frac{0.050^2 m^2 \cdot \pi}{4} \cdot 600x10^3 \frac{N}{m^2} - 61.15\ N$$

$$F_{n1} = 1116.24\ N$$

El émbolo 1 posee un factor de seguridad del 1 % para evitar cualquier sobrecarga.

Para centrar el alma al patín se utiliza dos pistones neumáticos que va uno en cada sistema de centrado del alma como muestra la figura 4.5, para efecto de cálculo se lo denominará émbolo número 2

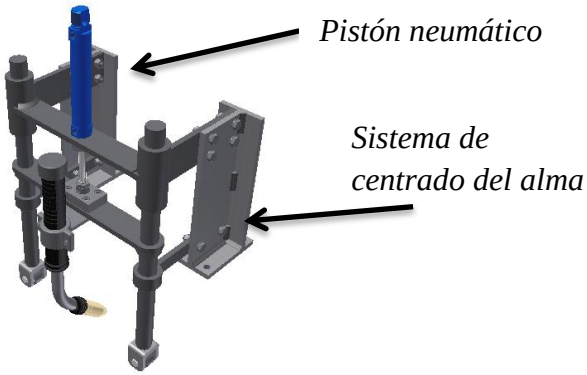



Figura 4.5: Cilindro de doble efecto para el sistema centrado del alma

**Émbolo 2:**

$$D_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{teórica}}{p \cdot \pi}}$$

$F_{teórica\ 2}$ = Fuerza teórica del émbolo 2

$p$ = Presión de trabajo.

$A_2$ = Superficie útil del émbolo.

Datos:

$F_{teórica\ 2}$ = 160 N (Valor obtenido en el análisis de fuerzas del Cap. 3)

$p$ = 600.00 KPa

$$D_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 160\ \text{N}}{600KPa \cdot \pi}}$$

$$D_2 = 0.18\,m \approx 18\,mm$$

El diámetro calculado del émbolo 2 es de 18 mm pero en el catálogo de accesorios neumáticos de la industria FESTO Anexo 3.1 existe un diametro de 20 mm.

Fuerza de avance del émbolo 2

Donde

$F_{n2}$ =Fuerza efectiva o real del émbolo 2

$F_{R2}$ =Fuerza de rozamiento 2 (3-20%)

$p$ =Presión de trabajo

$D_2$ =Diámetro del émbolo 2

Datos:

$F_{R2}$ = 18 N

$p$ = 600 KPa

$D_2$ = 0.02 m

Se remplaza en la ecuación 4.3

$$F_{n2} = \frac{0.020^2 m^2 \cdot \pi}{4} \cdot 600x10^3 \frac{N}{m^2} - 18N$$

$$F_{n1} = 170.49\ N$$

Factor de seguridad de carga

$$f_s = \frac{F_{n2} - F_{teórica}}{F_{n2}} \qquad (Ecuación\ 4.4)$$

$$f_s = \frac{170.49 - 160}{170.79} = 6.15\ \%$$

El émbolo 2 posee un factor de seguridad del 6.15 % para evitar cualquier sobrecarga.

El sistema estabilizador es el encargado de proveer la fuerza necesaria para que la sección sea ajustada a la mesa transportadora, por tal razón el cilindro neumático debe fijarse vertical y sujetar al rodillo estabilizador como muestra la figura 4.6

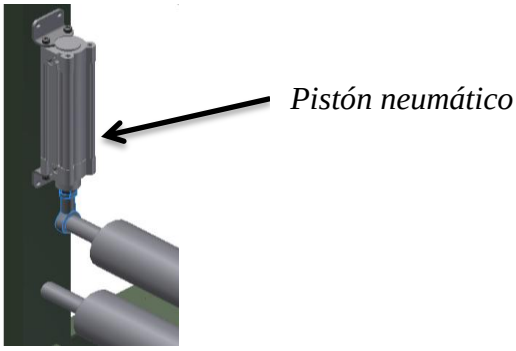



Figura 4.6: Cilindro de doble efecto para el sistema estabilizador

**Embolo 3:**

$$D_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{teórica}}{p \cdot \pi}}$$

$F_{teórica\ 3}$ = Fuerza teórica del émbolo 3

$p$ = Presión de trabajo.

$A_3$ = Superficie útil del émbolo.

Datos:

$F_{teórica\ 3}$ = 1000 N

$p$ = 600.00 KPa

$$D_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot 1000\ \text{N}}{600KPa \cdot \pi}}$$

$$D_3 = 0.46m \approx 46mm$$

El diámetro calculado del émbolo 3 es de 46mm, en el catálogo de accesorios neumáticos de la industria FESTO Anexo 3.1 existe un diámetro de 50mm.

Fuerza de avance del émbolo 3

Donde

$F_{n3}$ =Fuerza efectiva o real del émbolo 2

$F_{R3}$ =Fuerza de rozamiento 2 (3-20%)

$p$ =Presión de trabajo

$D_3$ =Diámetro del émbolo 2

Datos:

$F_{R3} = 100\text{N}$

$p = 600$ KPa

$D_3 = 0.050$ m

Se remplaza en la ecuación 4.3, se tiene:

$$F_{n1} = \frac{0.050^2 m^2 \cdot \pi}{4} \cdot 600x10^3 \frac{N}{m^2} - 100N$$

$$F_{n1} = 1078.1N$$

Factor de seguridad de carga

$$f_s = \frac{F_{n1} - F_{teórica}}{F_{n1}}$$

$$f_s = \frac{1078.1 - 1000}{1078.1} = 7.24\%$$

El émbolo 3 posee un factor de seguridad del 7.24% para evitar cualquier sobrecarga.

El sistema de prearmado es el encargado de proveer la fuerza necesaria para que la sección sea ensamblada sobre la mesa transportadora, por tal razón el cilindro neumático debe fijarse horizontal y sujetar al rodillo estabilizador como indica la figura 4.7

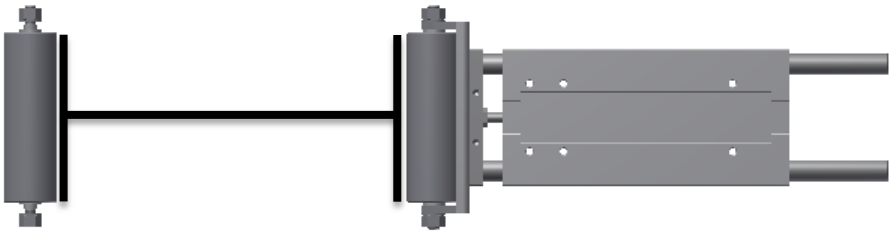


Figura 4.7: Cilindro de doble efecto para el sistema de prearmado

**Embolo 4:**

$$D_4 = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{teórica}}{p \cdot \pi}}$$

$F_{teórica\ 3}$ = Fuerza teórica del émbolo 3

$p$ = Presión de trabajo.

$A_4$ = Superficie útil del émbolo.

Datos:

$F_{teórica\ 4}$ = 1750 N

$p$ = 600 KPa

$$D_4 = \sqrt{\frac{4 \cdot 1750\ \text{N}}{600KPa \cdot \pi}}$$

$$D_4 = 0.060m \approx 60\ mm$$

El diámetro calculado del émbolo 3 es de 60 mm, en el catálogo de accesorios neumáticos de la industria FESTO, Anexo 3.1 existe un diámetro de 63 mm.

Fuerza de avance del émbolo 4

Donde

$F_{n4}$ =Fuerza efectiva o real del émbolo 4

$F_{R4}$ =Fuerza de rozamiento 2 (3-20%)

$p$ =Presión de trabajo

$D_4$ =Diámetro del émbolo 4

Datos:

$F_{R4} = 87.5\text{N}$

$p = 600$ KPa

$D_4 = 0.063$ m

Se remplaza en la ecuación 4.3, se tiene:

$$F_{n1} = \frac{0.063^2 m^2 \cdot \pi}{4} \cdot 600x10^3 \frac{N}{m^2} - 100N$$

$$F_{n1} = 1782.84\ N$$

Factor de seguridad de carga

$$f_s = \frac{F_{n1} - F_{teórica}}{F_{n1}}$$

$$f_s = \frac{1782.84 - 1750}{1782.84} = 1\%$$

El émbolo 3 posee un factor de seguridad del 1% para evitar cualquier sobrecarga.

El sistema de prearmado es el encargado de proveer la fuerza necesaria para que la sección sea ensamblada sobre la mesa transportadora, por tal razón el cilindro neumático debe fijarse horizontal y sujetar al rodillo estabilizador como indica la figura 4.8

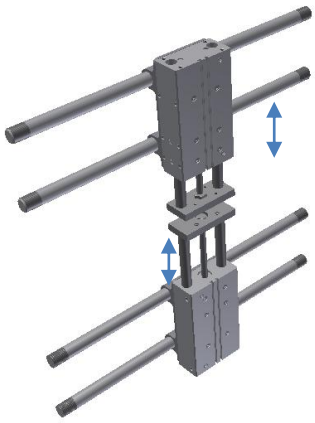


Figura 4.8: Cilindro de doble efecto para el sistema de prearmado centrar el alma

**Embolo 5:**

$$D_5 = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{teórica}}{p \cdot \pi}}$$

$F_{teórica\ 5}$ = Fuerza teórica del émbolo 5

$p$ = Presión de trabajo.

$A_5$ = Superficie útil del émbolo.

Datos:

$F_{teórica\ 5}$ = 600 N

$p$ = 600 KPa

$$D_5 = \sqrt{\frac{4 \cdot 600\ \text{N}}{600KPa \cdot \pi}}$$

$$D_5 = 0.035m \approx 35\ mm$$

El diámetro calculado del émbolo 5 es de 35 mm pero en el catálogo de accesorios neumáticos de la industria FESTO Anexo 3.1 existe un diametro de 40 mm.

Fuerza de avance del émbolo 5

Donde

$F_{n5}$ =Fuerza efectiva o real del émbolo 5

$F_{R5}$ =Fuerza de rozamiento 2 (3-20%)

$p$ =Presión de trabajo

$D_5$ =Diámetro del émbolo 5

Datos:

$F_{R5} = 90$ N

$p = 600$ KPa

$D_5 = 0.040$ m

Se remplaza en la ecuación 4.3, se tiene:

$$F_{n1} = \frac{0.040^2 m^2 \cdot \pi}{4} \cdot 600x10^3 \frac{N}{m^2} - 90N$$

$$F_{n1} = 663.98\ N$$

Factor de seguridad de carga

$$f_s = \frac{F_{n1} - F_{teórica}}{F_{n1}}$$

$$f_s = \frac{663.98 - 600}{663.98} = 9\%$$

El émbolo 5 posee un factor de seguridad del 9 % para evitar cualquier sobrecarga.

### 4.2.1.2 PANDEO DEL CILINDRO

Está relacionado con la longitud de carrera del cilindro, con la ayuda del diagrama de pandeo de la figura 4.9, donde se busca seleccionar un diámetro del vástago.

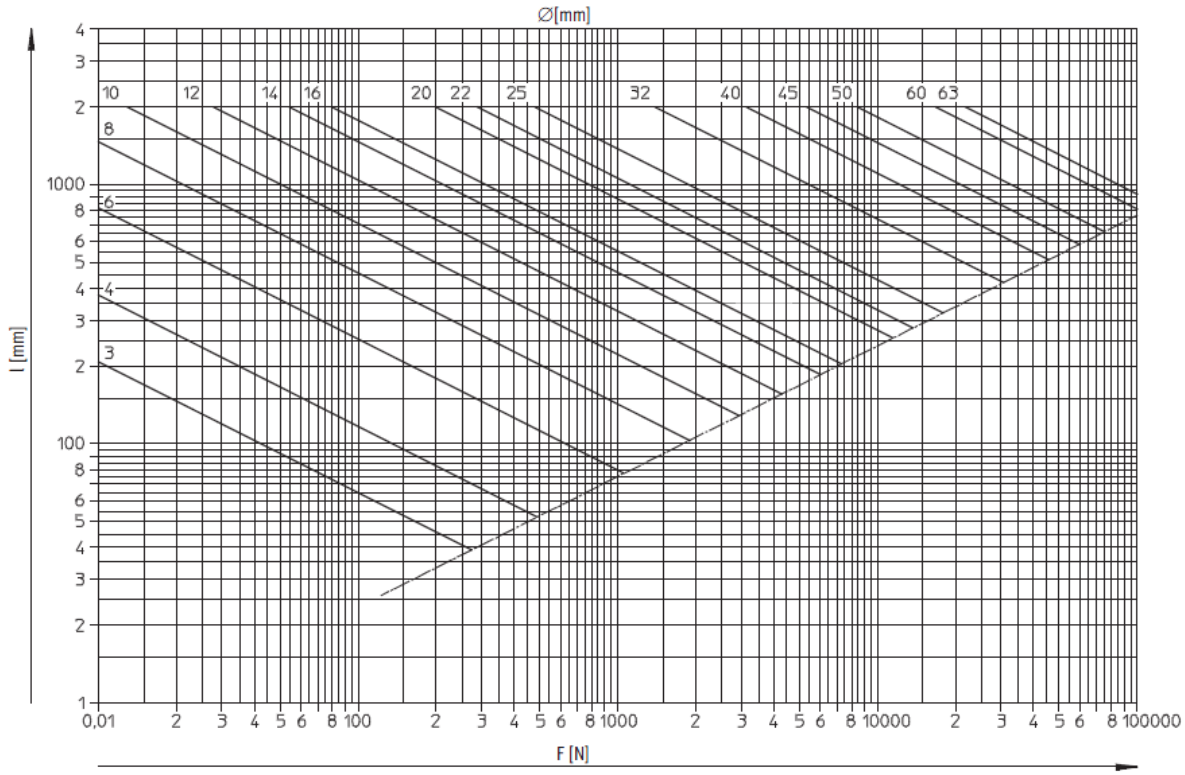



Figura 4.9: Diámetro del vástago en función de la carrera L y de la fuerza F

Valores conocidos para el émbolo 1:

Carga de: 1223 N
Carrera de: 320 mm
Diámetro del émbolo 50 mm

Con los valores conocidos y la ayuda de la figura 4.8 se obtiene el diámetro del vástago que es de 16 mm. El cilindro normalizado DNC-50-320 PPV-A tiene un vástago de diámetro de 16 mm que resulta suficiente para esta carrera, y se indica en la figura 4.10

Figura 4.10: Cilindro de doble efecto DNCB 50-320-PPV-A, Ver Anexo 4.2

Valores conocidos para el émbolo 2:

| | | |
|---|---|---|
| Carga de: | 160 | N |
| Carrera de: | 80 | mm |
| Diámetro del émbolo: | 25 | mm |

Con los valores conocidos y la ayuda de la figura 4.8 se obtiene el diámetro del vástago que es de 10 mm. El cilindro normalizado DSNU-25-80-PPS-A tiene un vástago de diámetro de 10 mm que resulta suficiente para esta carrera, y se indica en la figura 4.11

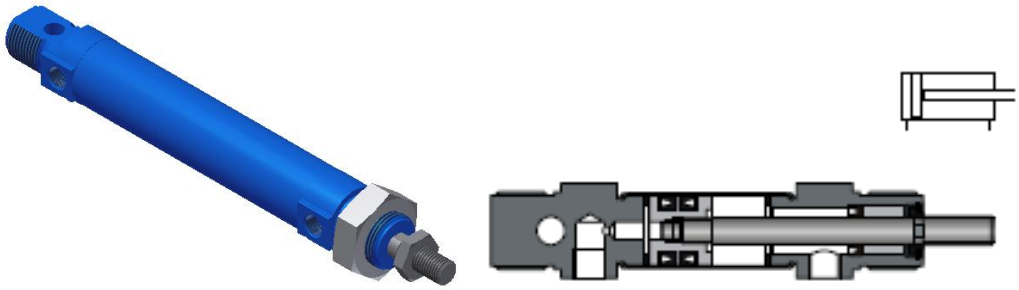


Figura 4.11: Cilindro de doble efecto DNSU 25-80-PPS-A, Ver Anexo 4.2

Valores conocidos para el émbolo 3:

| | | |
|---|---|---|
| Carga de: | 1000 | N |
| Carrera de: | 200 | mm |
| Diámetro del émbolo | 50 | mm |

Con los valores conocidos y la ayuda de la figura 4.8 se obtiene el diámetro del vástago que es de 16 mm; el cilindro normalizado 50-200-PPV-A tiene un vástago de diámetro de 16 mm que resulta suficiente para esta carrera, y se indica en la figura 4.12

Figura 4.12: Cilindro de doble efecto DNSU 50-200-PPV-A, Ver Anexo 4.2

Valores conocidos para el émbolo 4:

| | | |
|---|---|---|
| Carga de: | 1750 | N |
| Carrera de: | 320 | mm |
| Diámetro del émbolo | 63 | mm |

Con los valores conocidos y la ayuda de la figura 4.8 se obtiene el diámetro del vástago que es de 12 mm; el cilindro con guía normalizado DFM 63-430-PPV-A tiene un vástago de diámetro de 16 mm que resulta suficiente para esta carrera, y se indica en la figura 4.13

Figura 4.13: Cilindros con guía DFM 63-320-PPV-A, Ver Anexo 4.2

Valores conocidos para el émbolo 5:

| | | |
|---|---|---|
| Carga de: | 686 | N |
| Carrera de: | 160 | mm |
| Diámetro del émbolo | 40 | mm |

El diámetro del vástago inmediatamente superior: 12 mm; el cilindro normalizado DFM 40-1600-PPV-A tiene un vástago de diámetro de 16 mm que resulta suficiente para esta carrera, y se indica en la figura 4.14

Figura 4.14: Cilindros con guía DFM 40-1600-PPV-A DFM 40-1600-PPV-A, Ver Anexo 4.2

#### 4.2.1.3 CONSUMO DE AIRE

Otra característica importante es la cantidad de aire necesario para el funcionamiento de un cilindro. La energía del aire comprimido que alimenta los cilindros se consume transformándose en trabajo y, una vez utilizado, se expulsa a la atmósfera por el escape durante la carrera de retroceso.

Se entiende por consumo teórico de un cilindro, al volumen de aire consumido en cada ciclo de trabajo, pues un ciclo de trabajo se refiere al desplazamiento del émbolo desde su posición inicial hasta el final de su carrera de trabajo, más el retorno a su posición inicial, para calcular el consumo se necesita la relación de compresión, el área del émbolo y la carrera; la relación de compresión se halla mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{101.3 + Presión\ de\ trabajo}{101.3}\ KPa\ (nivel\ del\ mar) \qquad (Ecuación\ 4.5)$$

Presión de trabajo: 6 bares = 600KPa

$$Relación\ de\ compresión = \frac{101.3 + 600KPa}{101.3} = 6.9$$

Cilindro 1 de doble efecto:

$$\dot{V} = \left[ s_1 \cdot \frac{{D_1}^2 \cdot \pi}{4} + s_1 \cdot \frac{\left({D_1}^2 - {d_1}^2\right) \cdot \pi}{4} \right] \cdot n \cdot Rel.compresión \quad (Ecuación\ 4.6)$$

Donde

$\dot{V}$ = Cantidad de aire (l/min)

$s$ = Longitud de carrera

$n$ = Ciclos por minuto (1/min)

$D$ = Diámetro del émbolo

$d$ = Diámetro del vástago

Mediante la tabla 4.1 se ingresa los datos para obtener el consumo de aire de los actuadores neumáticos, en base a la ecuación 4.6

**Tabla 4.1: Cálculo de la cantidad de aire requerida**

| **Cilindro** | $\boldsymbol{D_1}$ **(cm)** | $\boldsymbol{d_1}$ **(cm)** | $\boldsymbol{s_1}$ **(cm)** | $\boldsymbol{n}$ **(1/min)** | $\boldsymbol{Rel.comp.}$ | $\boldsymbol{\dot{V}}$ **litros/min** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 5 | 1.6 | 32 | 2 | 6.9 | 8.23 |
| 2 | 2.5 | 1 | 8 | 2 | 6.9 | 1.00 |
| 3 | 5 | 1.6 | 20 | 2 | 6.9 | 10.28 |
| 4 | 6.3 | 1.2 | 32 | 2 | 6.9 | 27.03 |
| 5 | 4 | 1.2 | 16 | 2 | 6.9 | 5.30 |

Elaborador por: Campaña Christian / Lincango Diego

Fuente: Propia

Por lo tanto el consumo de la instalación es:

Cilindro1·2u+ Cilindro2·2u+ Cilindro3·4u+ Cilindro4·1u+ Cilindro4·4u = 124.27 litros/min

#### 4.2.1.4 SENSOR DE PROXIMIDAD MAGNÉTICO REED

Los sensores identifican el campo magnético generado por un imán permanente montado en el embolo del cilindro y, por lo tanto, detectan indirectamente la posición del vástago.

Los sensores tienen que estar adaptados necesariamente al tipo de imán, a la distancia hasta el imán, a la geometría de la ranura y a las tolerancias de sus dimensiones. Festo, líder en soluciones neumáticas, puede solucionar todas estas tareas de modo eficiente y fiable. El sensor de posición se fija mecánicamente en la ranura, en la posición de conmutación deseada. Una vez que el embolo del actuador llega a esa posición, cambia el estado de conmutación del sensor. La señal binaria estandarizada se transmite, por ejemplo, a un control lógico programable (PLC), donde se procesa para aprovecharla para el control de los procesos. Ver figura 4.15

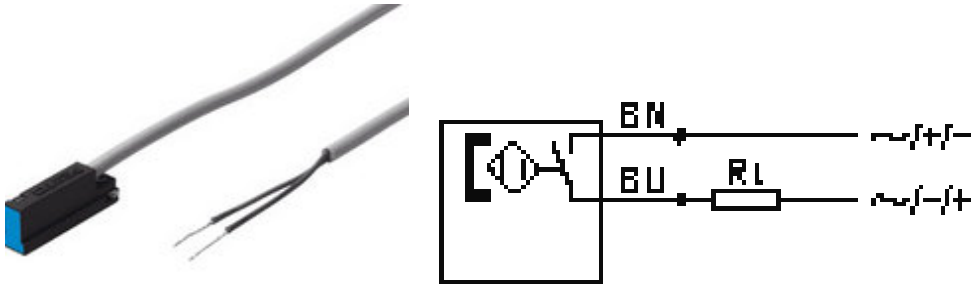



Figura 4.15: Sensor de proximidad magnético SME-8-K-LED-230

En la selección del sensor inductivo existen diferentes tipos según su aplicación, para la máquina a implementarse de utilizará un sensor inductivo Tipo SME-8-K-LED-230

### 4.2.2 SELECCIÓN DE LA UNIDAD DE MANTENIMIENTO

Está compuesto por un filtro, un regulador con manómetro y un lubricador, su función principal es la de acondicionar una corriente de aire determinada para su uso en una máquina.

El filtro sirve para eliminar algunos contaminantes de tipo sólido, el regulador se encarga de disminuir la presión y el lubricador dosifica una cantidad de aceite requerida algunas veces por el equipo. La unidad de mantenimiento representa una combinación de elementos, como es el filtro de aire comprimido, regulador de presión y el lubricador de aire comprimido. (Ver figura 4.16)

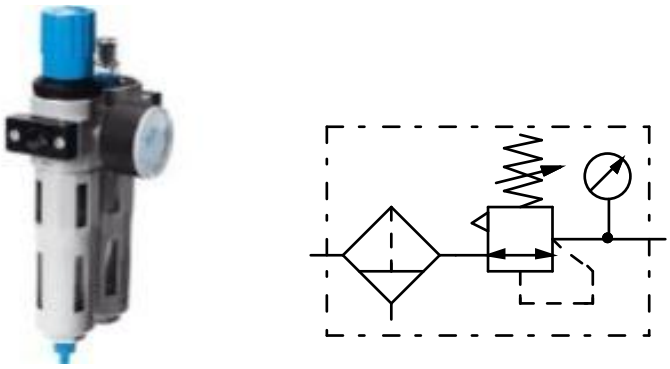


Figura 4.16: Unidad de Mantenimiento FRC-1/8-D-MINI, Ver Anexo 4.3

Establecido todos estos parámetros se procede a seleccionar la unidad de mantenimiento cuyo caudal de consumo de la máquina es de 124.27 litros/min, en el mercado existe una unidad de mantenimiento Tipo FRC-1/8-D-MINI, con una presión máxima de 600 lt/min.

### 4.2.3 PÉRDIDA DE PRESIÓN DEL SISTEMA NEUMÁTICO DE LA MÁQUINA

La máquina por su diseño consta de una serie componentes neumáticos para sujetar la viga, en la selección del diámetro de la tubería las perdidas deben ser mínimas para conseguir que la presión de trabajo de 6 bar logre llegar a todos los actuadores.

Para calcular la pérdida de presión del sistema neumático, es necesario establecer la distancia de la tubería, el número de estrangulamientos y caudal de flujo para controlar los cilindros neumáticos.

$$N_{Reynolds} = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D \cdot v} \qquad (Ecuación\ 4.7)$$

Donde:

$Q$ =Caudal circulante [$m^3/s$]

$\rho$ = Densidad del fluido [$kg/m^3$]

$V$ = Velocidad media [m/s]

$D$ = Diámetro de la tubería [m]

$\mu$ = Viscosidad dinámica o absoluta del fluido [N seg/m²]

$v$ = Viscosidad cinemática del fluido [$m^2/s$]

Para estudios técnicos, el régimen de flujo en tuberías se considera como laminar si el número de Reynolds es menor que 2 000 y turbulento si el número de Reynolds es superior a 4 000. Entre estos dos valores está la zona denominada "crítica" donde el régimen de flujo es impredecible, pudiendo ser laminar, turbulento o de transición, dependiendo de muchas condiciones con posibilidad de variación. La experimentación cuidadosa ha determinado que la zona laminar puede acabar en números de Reynolds tan bajos como 1200 o extenderse hasta los 40000, pero estas condiciones no se presentan en la práctica.

Datos

$Q$ =76.64 [l/min] = 0.00127 [$m^3/s$]

$D$ = 0.01 [m]

$v$ = 15.7x10 $^{-6}$ [$m^2/s$]

$$N_R = \frac{4 \cdot 0.00127\ m^3/s}{\pi \cdot 0.01\ m \cdot 15.7x10^{-6}\ m^2/s}$$

$$N_R = 10299.45 > 4000\ (fluido\ turbulento)$$

Se obtiene la rugosidad relativa:

$$Rugosidad\ relativa = \frac{\varepsilon}{D} \qquad (Ecuación\ 4.8)$$

Donde:

$\varepsilon =$ Rugosidad de la tubería [mm]

$D =$ Diámetro de la tubería [mm]

Para el plástico la rugosidad relativa es de 0.0015mm; se remplaza en la ecuación 4.8

$$Rugosidad\ relativa = \frac{0.0015\ mm}{10\ mm} = 1.5x10^{-4}$$

En la figura 4.17 se ingresa el número de Reynolds y el valor de la rugosidad relativa; se procede a ubicar el número de Reynolds en el diagrama; se proyecta una línea vertical hasta que se interseque con la curva de la rugosidad relativa; se obtiene el factor de fricción proyectando una horizontal, cuyo valor es $\boldsymbol{f} = 0.029$

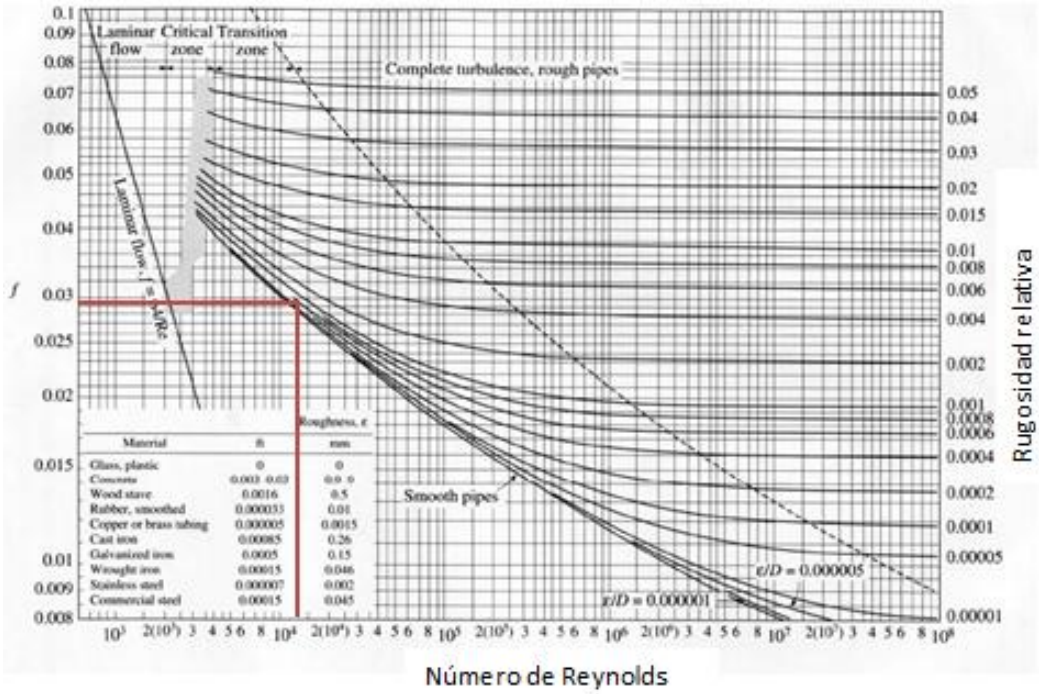



Figura 4.17: Diagrama de Moody

Se determinó el factor de fricción, ahora se procede a calcular el coeficiente de resistencia " $K$ ", para la tubería que tiene los accesorios que están en la tabla 4.2

**Tabla 4.2: Accesorios de tubería diámetro 8 mm coeficientes de resistencia**

| **Accesorio tubería** | **Cant.** | **Factor $K$** | $K_T = cant * K$ | **Designación FESTO** |
|---|---|---|---|---|
| Entrada | 1 | 0.78 | 0.78 | PAL-5-1/4-4 |
| Regulador de caudal | 26 | 30* $f$=***0.87*** | 22.62 | GRLA-1/4-QS-8-D |
| Codos a 90$^o$ | 13 | 30* $f$=***0.87*** | 11.31 | QSL-1/4-8 |
| Unión en T | 12 | 60* $f$=***1.74*** | 20.88 | QST-8 |
| Tubería recta | 1 | $f\left(\frac{L}{D}\right) = 0.029\left(\frac{16\text{m}}{0.008}\right)$ **= 58** | 58.00 | PUN-8x1.25 BL |
| | | $K_T$ | 113.51 | |

Fuente: CRANE, "*Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías",* Apéndice A-49

Calculado el coeficiente total de rozamiento $K_T$ **,** se procede a calcular la pérdida de presión ($\Delta P$) de la tubería de la máquina.

$$\Delta P = \frac{0.00225 \cdot K \cdot \rho \cdot Q^2}{d^4} \qquad (Ecuación\ 4.9)$$

Donde:

$K =$ Coeficiente de rozamiento

$\rho =$ Densidad del aire [kg/m$^3$]

$Q =$ Caudal de flujo [l/min]

$d =$ Diámetro interno del tubo [mm]

Datos:

$K = 113.51$

$\rho = 1.2045$ [kg/m$^3$]

$Q = 76.04$ [l/min]

$d = 8$ [mm]

Se remplaza en la ecuación 4.9, se tiene:

$$\Delta P = \frac{0.00225 \cdot 113.51 \cdot 1.2045\ kg/m^3 \cdot 76.04^2 l/min}{(8\ mm)^4}$$

$$\Delta P = 0.43\ bar$$

La pérdida de presión calculada es de 0.43 bar; este valor se encuentra dentro de rango de presión permisible que no supera el 10% de la presión de salida de 7.2 bares.

### 4.2.3 SELECCIÓN Y CÁLCULO DE LA TUBERÍA

Para el cálculo de la tubería, existe varios métodos, entre ellos el uso del nomograma de la figura 4.18, de lo cual se obtuvo diámetro de 10mm para conexiones de la caja y diámetro 8mm para las conexiones hacia los actuadores.

La industria Festo para el traslado de aire, para diámetro 10 mm es seleccionado tubo de poliuretano PUN-10x1.5 BL y para diámetro 8 mm es seleccionado tubo de poliuretano PUN-8x1.25 BL

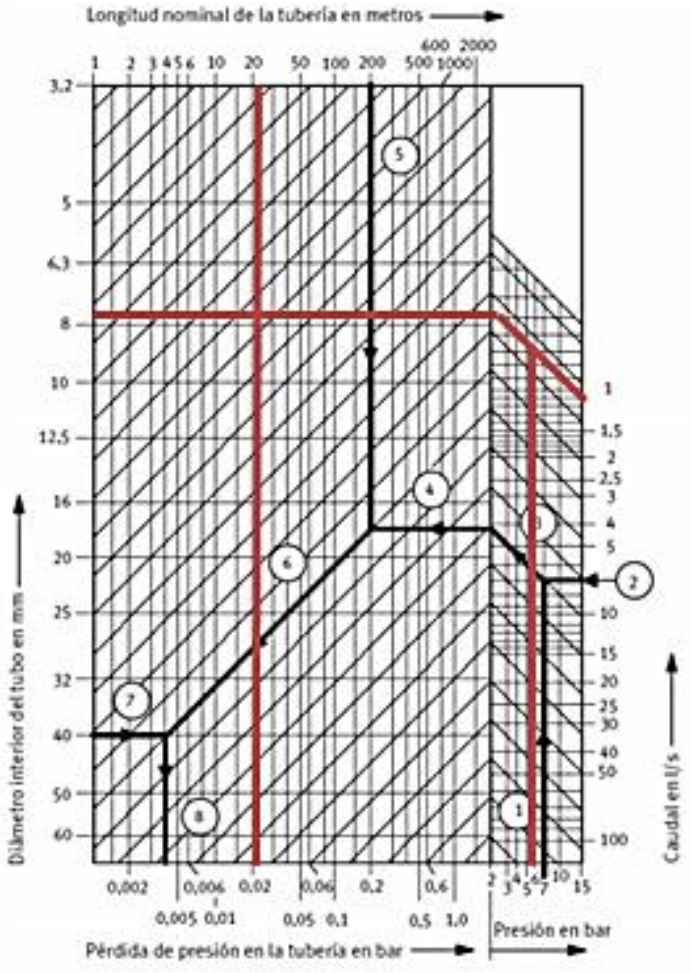



Figura 4.18: Nomograma para cálculo de tuberías

### 4.2.4 SELECCIÓN DE LA ELECTROVÁLVULA

Las electroválvulas son elementos que mandan o regulan la puesta en marcha, el paro y la dirección, así como la presión o el caudal del aire comprimido y son comandados por señales eléctricas.

Estas válvulas son utilizadas cuando la señal proviene de un temporizador eléctrico, un final de carrera eléctrico, presóstatos o mandos electrónicos. En general, de elige el accionamiento eléctrico para mandos con distancias extremadamente largas y cortos tiempos de conexión.

Las electroválvulas o válvulas electromagnéticas se dividen en válvulas de mando directo o indirecto. Las de mando directo solamente se utilizan para un diámetro de luz pequeño, puesto que para diámetros mayores los electroimanes necesarios resultarían demasiado grandes.

La figura 4.19, indica una válvula distribuidora 5/3 con retorno de resorte de mando electromagnético.

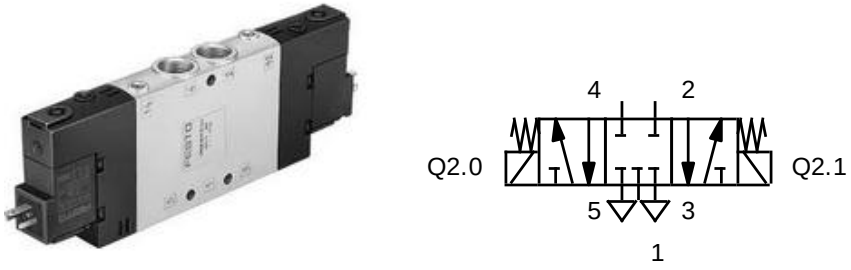



Figura 4.19: Electroválvula 5/3 vías centro cerrado y su Esquemático CPE18-M1H-5/3G-1/4

Las electroválvulas utilizadas en la estación neumática son: CPE18-M1H-5/3G-1/4

Se tiene seleccionado tres tipos de cilindros neumáticos de doble efecto y se tendrá que escoger electroválvula más adecuada, de acuerdo a su caudal nominal, cada electroválvula controla dos cilindros neumáticos.

### 4.2.5 SELECCIÓN DEL PRESÓSTATO

El presóstato de la figura 4.20, tiene la función de dar una señal que garantiza que el actuador llegó a la presión de trabajo deseado.

Figura 4.20: Presóstato PEV-1/4-B-OD

### 4.2.6 DISEÑO DEL CIRCUITO NEUMÁTICO

En la selección de cilindros neumáticos se utiliza el catálogo de productos neumáticos de la industria FESTO, diseñada en el programa FluidSim 3.6 Versión educativa.

#### 4.2.6.1 SOFTWARE FluidSim 3.6 FESTO

Programa informático para entrenamiento en el sistema neumático FluidSIM-P, ayuda a visualizar la neumática. Los componentes neumáticos son explicados por medio de breves descripciones, imágenes y presentaciones de principios de accionamiento; los ejercicios y vídeos didácticos ayudan a conocer las conexiones más importantes para el uso de componentes neumáticos.

#### 4.2.6.2 DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO NEUMÁTICO

El circuito neumático tiene la particularidad de que funcionan cuatro parejas de pistones que actúan en el siguiente orden:

1. Sistema de prearmado
2. Adaptación al peralte de la viga 200 a 400mm
3. Centrado del alma experimentando una variación en recorrido de 50 a 100mm
4. Sujeción del tren delantero
5. Sujeción del tren posterior

Cabe recalcar que la pareja de pistones que realizarán la adaptación al peralte de la viga y el centrado del alma, tienen sensor de proximidad magnético y presóstato para establecer que el ajuste de la sección es óptimo, para proceder con la activación del depósito de cordones en los filetes.

##### 4.2.6.2.1 SIMULACIÓN DEL CIRCUITO

El sistema de prearmado de la figura 4.21, se caracteriza por recibir los flejes que son ubicados sobre el transportador, el ajuste de la sección se lo realiza en su inicio ubicando el alma en el centro del patín con la actuación de los cilindros con guía; DMF 5.1 y DMF 5.2 trabajan simultáneamente en el peralte de la viga, mientras que

DMF 5.3 y DMF 5.4 actúan centrando el alma y por último DMF 5.5 trabaja como apoyo del alma.

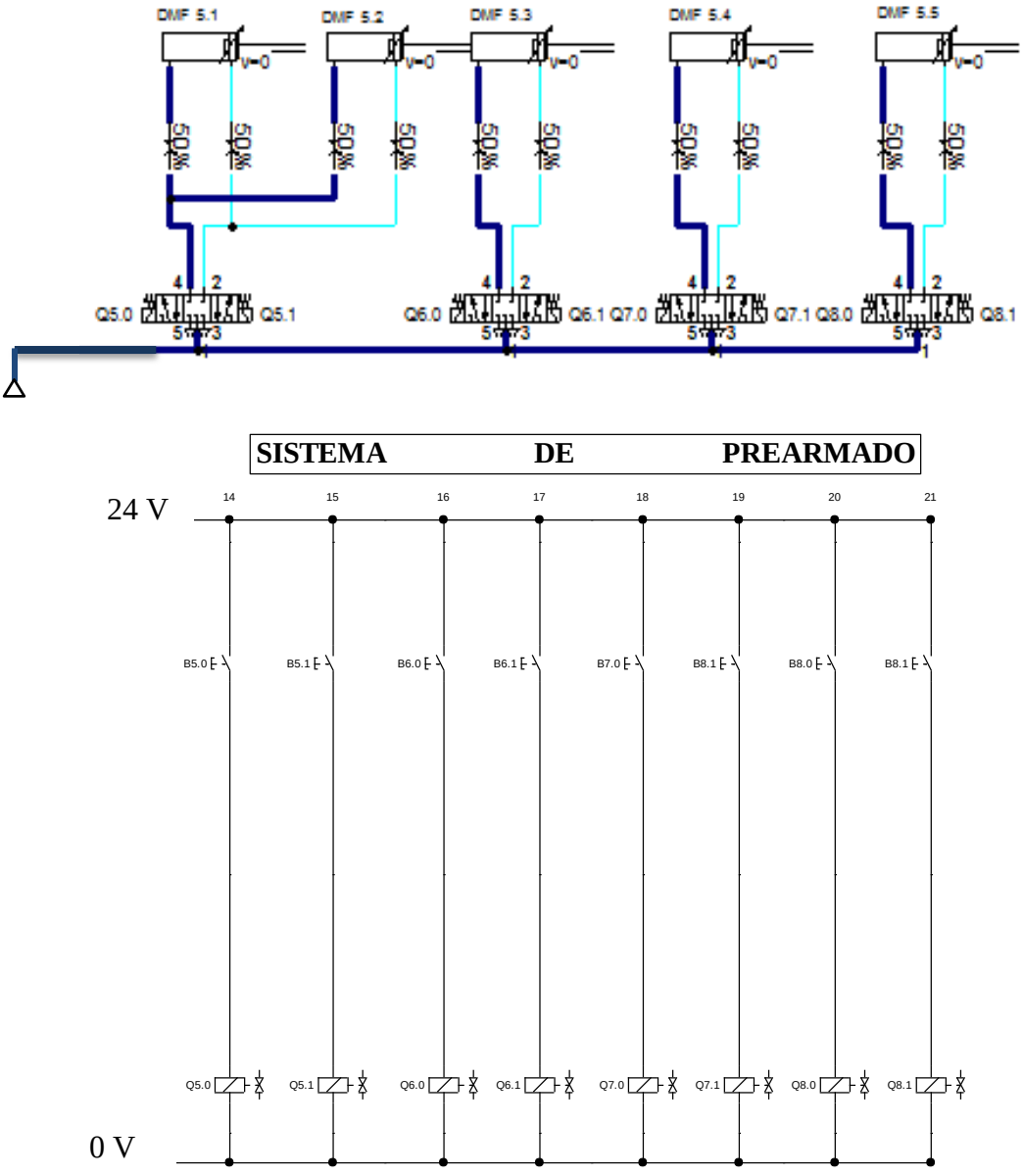



Figura 4.21: Simulación del sistema de prearmado

La sección llega a la zona de conformado, se procede armar la "I" según el orden establecido, los pistones fueron extendidos de manera sincronizada, las luces indicadoras del variador de velocidad se activa con el valor de avance.

La figura 4.22 muestra los pistones extendidos que han llegado a su presión de trabajo.

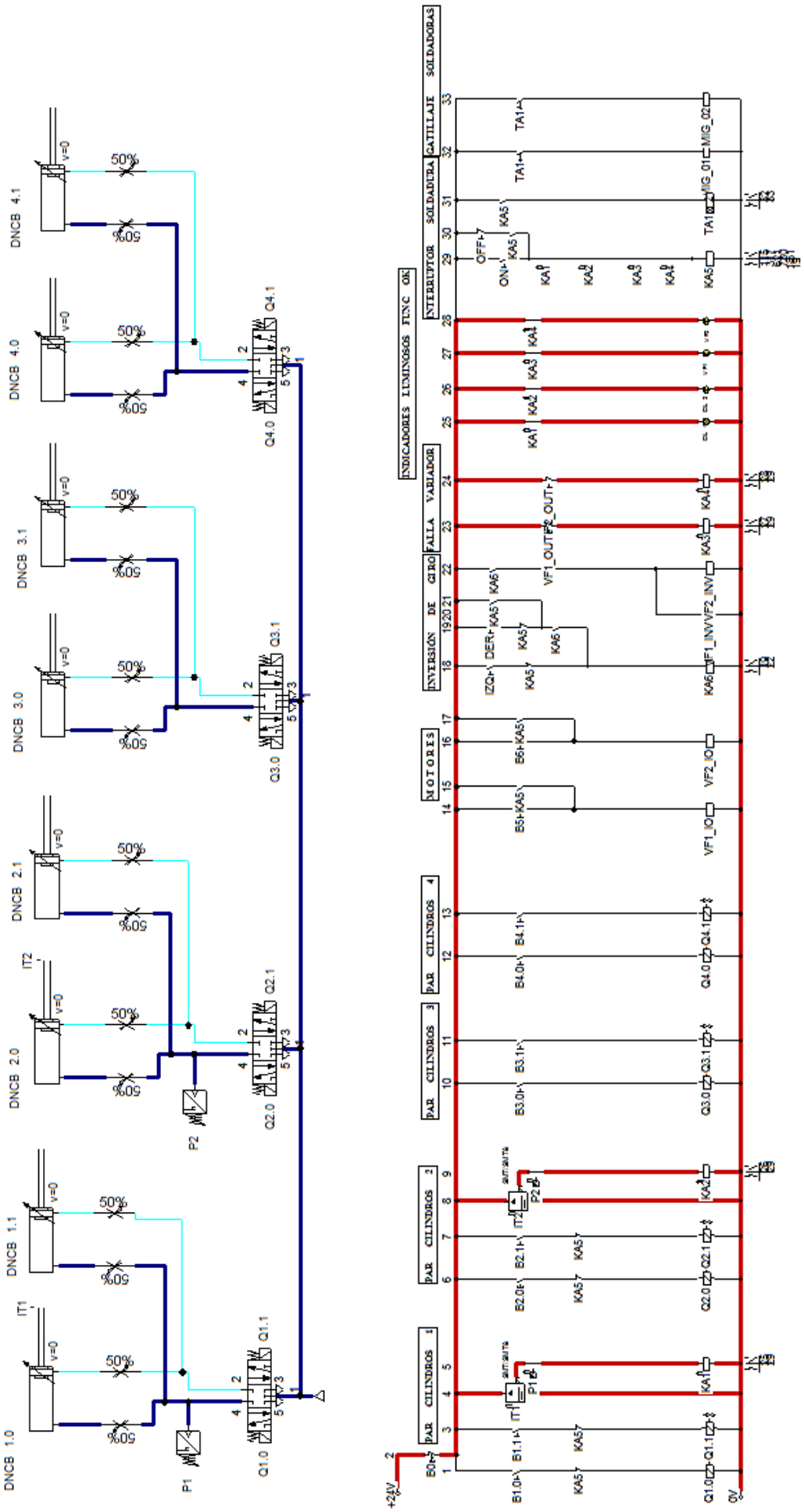



Figura 4.22: Simulación de pistones armando la sección

Como segunda instancia verificamos el sentido de giro del motorreductor dependiendo de la posición de la viga pulsante IZQ o DER. (Ver figura 4.23)

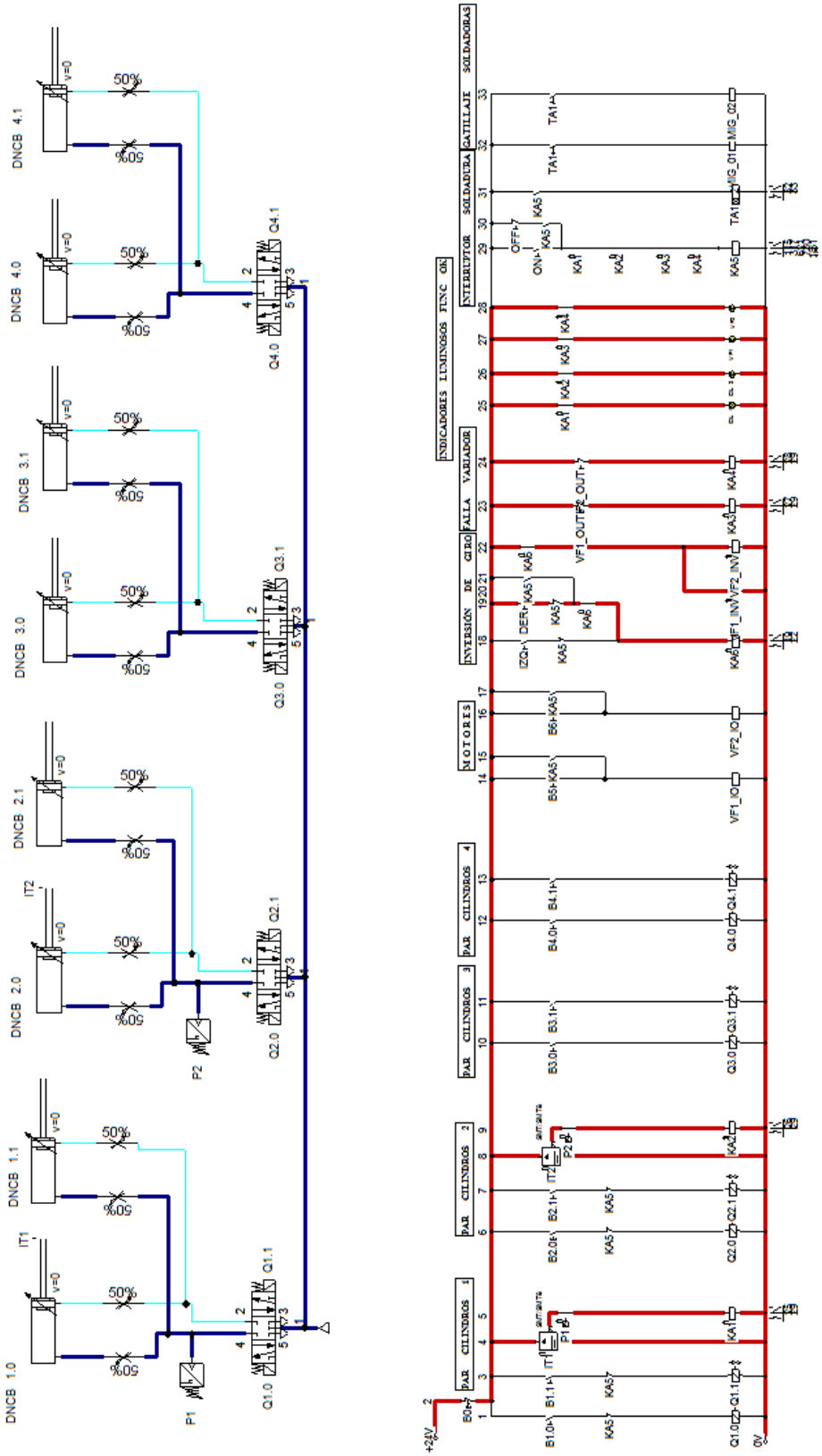


Figura 4.23: Inversión de giro

Se enciende los motorreductores de los dos transportadores y de la conformadora, luego de 5 segundos temporizados, se enciende las dos fuentes CV-400; se activa directo el gatillaje de las dos antorchas y depositan el cordón de soldadura en los filetes de manera simultánea. Ver figura 4.24, durante el depósito de los cordones DNCB 1.0 y DNCB 2.0 son enclavados no podrán retroceder.

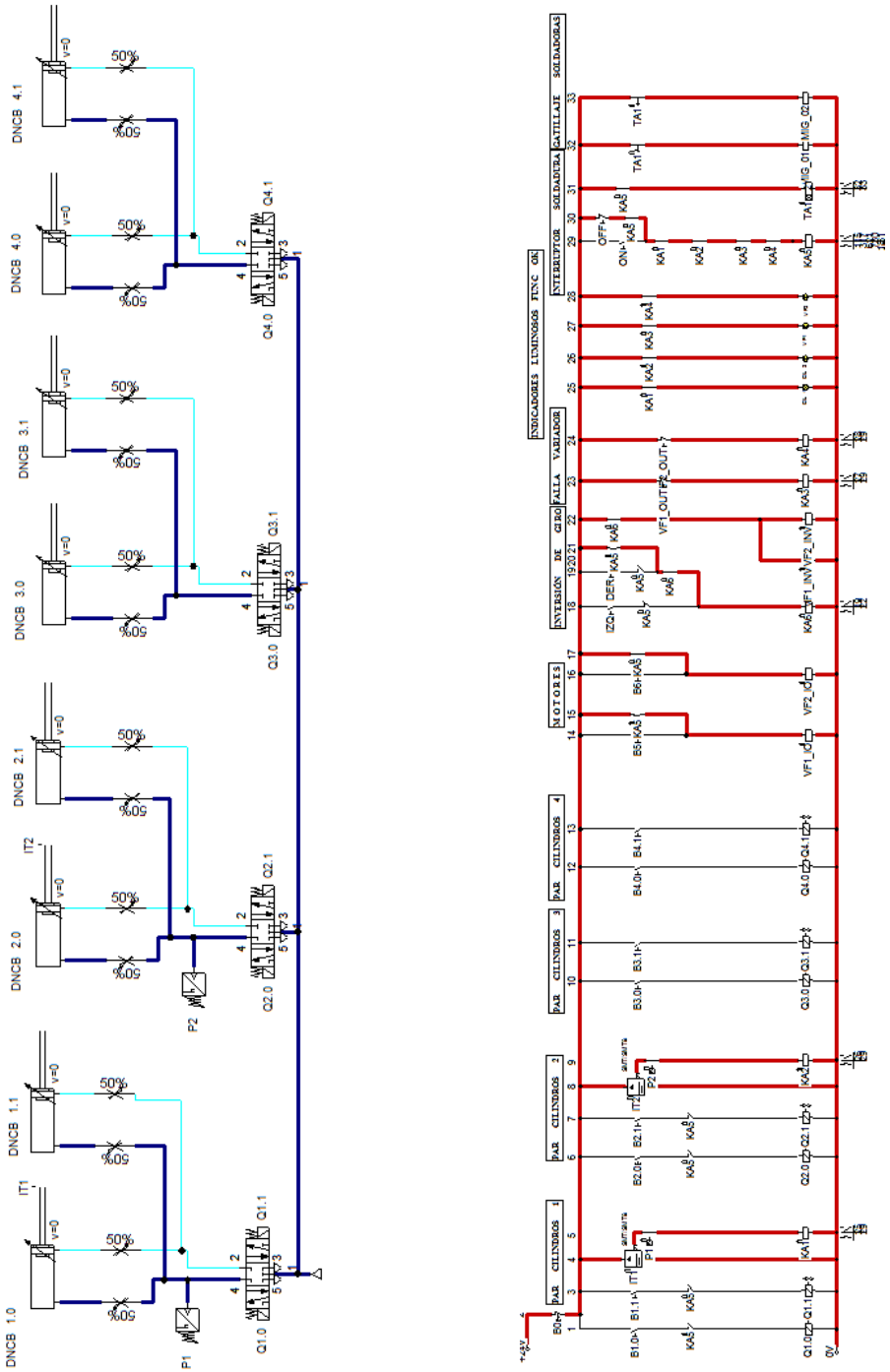



Figura 4.24: Simulación de la operación de armado y depósito de cordón en el filete

Para el desajuste de la viga ya soldada por su primera cara; se debe ubicar en OFF el interruptor de soldadura para que la máquina se ponga en estado estacionario y poder retroceder la pareja de vástagos del sistema de conformado y centrado del alma, de esta forma la máquina nuevamente se encuentra en el estado inicial. Ver figura 4.25

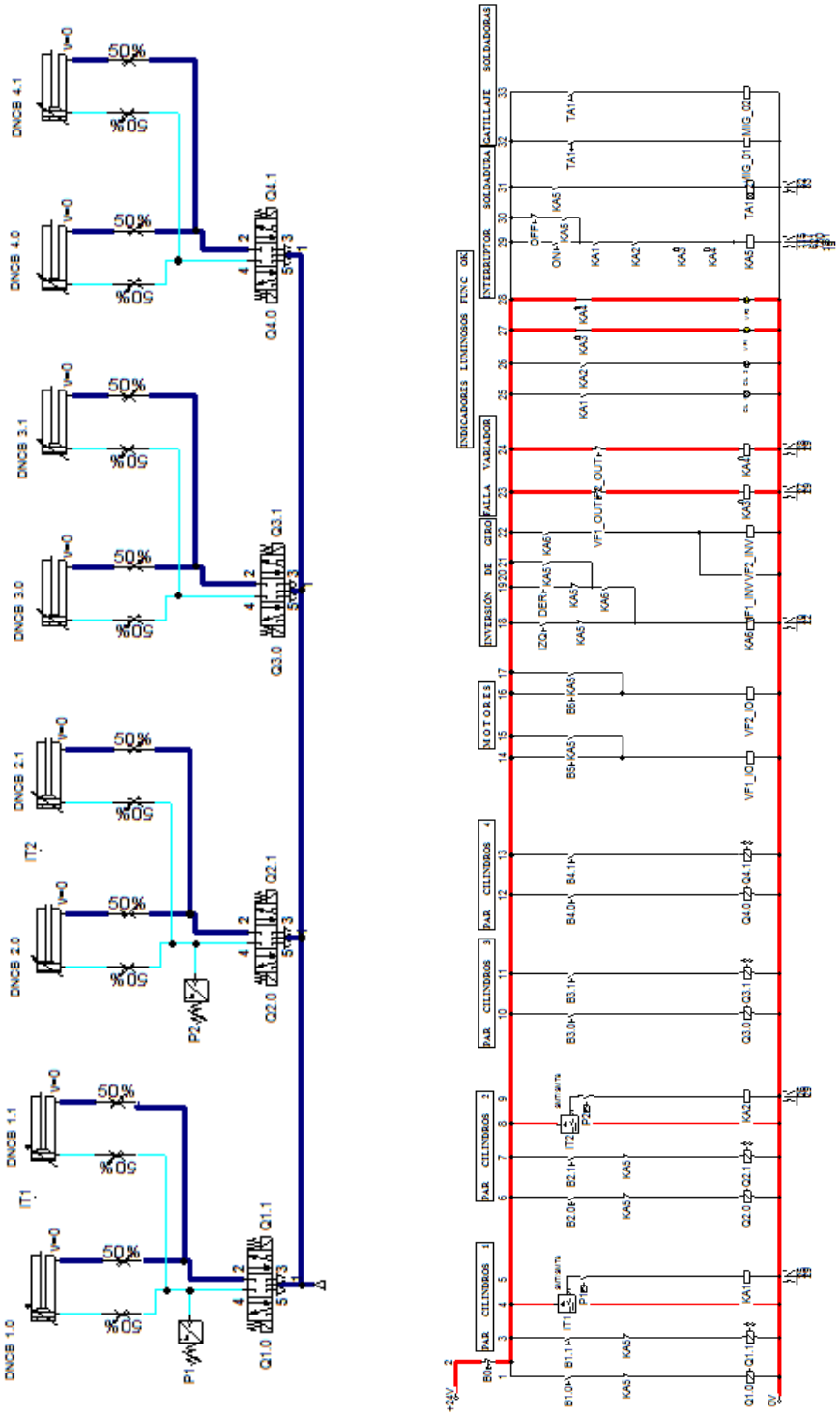


Figura 4.25: Simulación del desajuste de la viga

## 4.3 SISTEMA ELÉCTRICO Y CONTROL DE LA MÁQUINA

Para realizar el programa de control de la máquina es necesario conocer el ciclo de funcionamiento de la máquina y representar en un diagrama eléctrico Ladder (escalera).

En el sistema eléctrico consta de varios elementos básicos para el accionamiento normal de la conformadora de vigas tipo "I", son:

- Motorreductores
- Variador de frecuencia
- Relés térmicos
- Fusibles
- Fuente de alimentación
- PLC (Controlador lógico programable)

Para la puesta en marcha del motorreductor se ha seleccionado un arranque directo, debido a la potencia del mismo que es de 0.02 Kw y para el transportador de rodillos se necesita que la potencia sea superior a los 0.02 Kw.

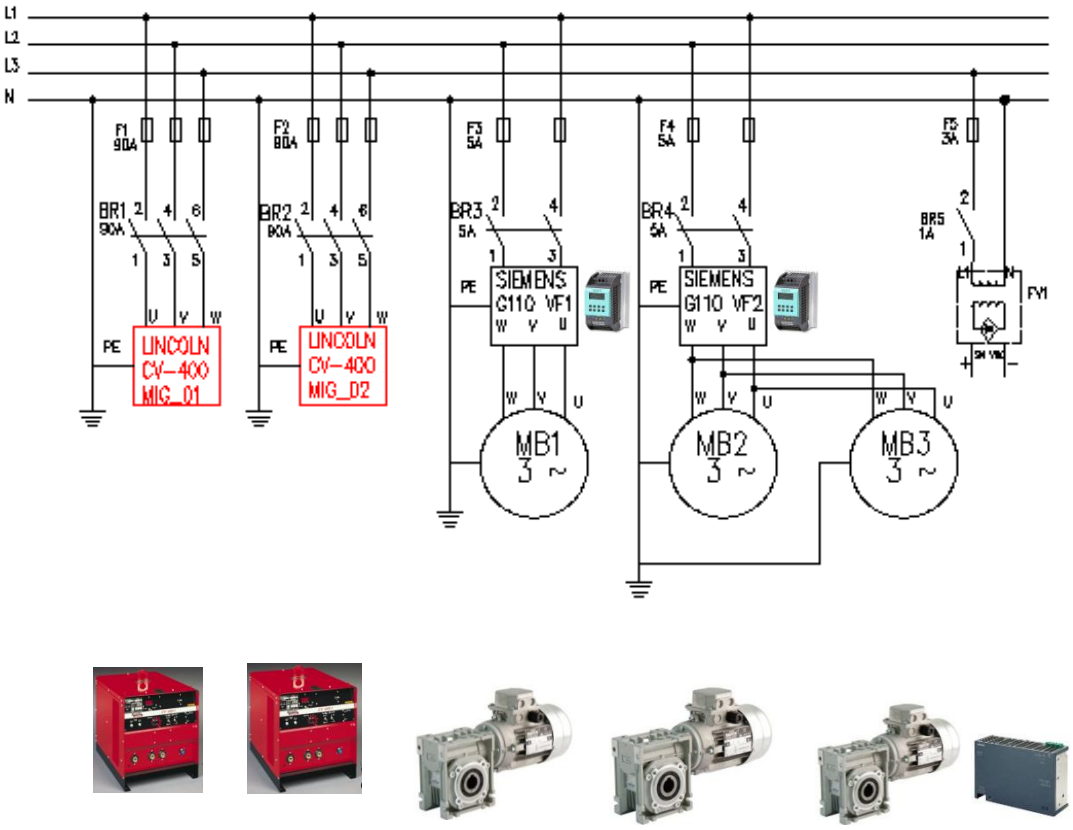
Los motorreductores deberán girar en ambos sentidos, ya que es la principal característica de la máquina, además el tipo de arranque directo es ideal para motores de baja potencia y tensión.

Para la inversión de giro se lleva a cabo en el variador de velocidad, que tiene implementada esta función. La inversión de la secuencia de fases de alimentación del motor se realiza automáticamente o por inversión de la consigna de entrada, o por una orden lógica en un borne, o por la información transmitida mediante una red.

Este circuito se trata de un procedimiento de puesta en marcha de tres motores trifásicos, con inversión de giro.

En la Figura 4.26 se muestra el circuito de potencia para el arranque de motores indicado.

**CIRCUITO DE POTENCIA PARA EL ARRANQUE DE 3 MOTORREDUCTORES, 2 FUENTES DE SOLDADURA CV-400 Y UNA FUENTE DE 24 VDC**




VF = Variador de frecuencia Siemens G110 0.12HP

MB= Motor trifásico para movimiento de vigas

F = Fusible

BR = Breaker Magnetotérmico

FV= Fuente de 24VDC

Figura 4.26: Plano del circuito de Potencia, Ver anexo 4.4

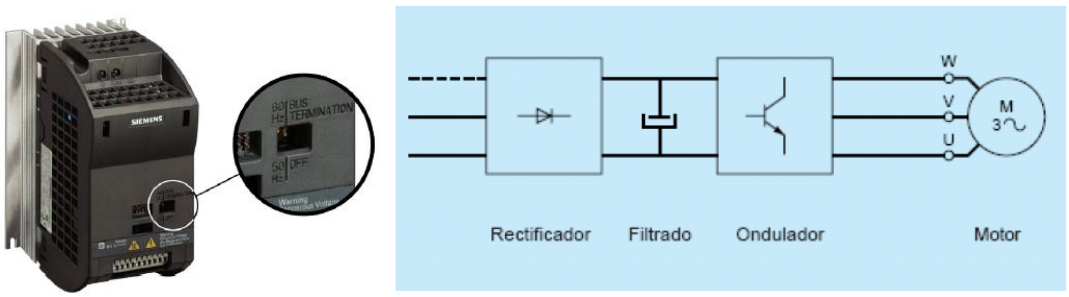
### 4.3.1 PRINCIPIO DE CONTROL DE LOS VARIADORES DE VELOCIDAD

Los variadores de velocidad *(drives)*, mostrado en la figura 4.27 (a), son dispositivos que permiten variar la velocidad en un motor controlando electrónicamente el voltaje y la frecuencia entregada al motor, manteniendo el torque constante (hasta la velocidad nominal).

La figura 4.27 (b), muestra un esquema de base de un convertidor de frecuencia, que está compuesto de un *puente rectificador* de corriente trifásica que rectifica la tensión de CA en tensión CC; *filtrado* por condensador que suaviza la tensión del circuito intermedio; *ondulador* convierte la tensión de CC en tensión de CA variable con una frecuencia también variable; tensión de *motor* que presenta tensión de CA variable, 0-100% de la tensión de red.

Los convertidores de frecuencia rectifican la tensión de CA de la red en tensión de CC y después la convierten de nuevo en tensión de CA con amplitud y frecuencia variables.

Así, el motor recibe una tensión y frecuencia variables, lo cual permite un control infinitamente variable de la velocidad de motores de CA trifásicos estándar.




(a) (b)

Figura 4.27: Variador de Velocidad (a) G110 Siemens Simatic (b) Esquema de base de un convertidor de frecuencia

### 4.3.2 SOFTWARE PARA LA SEMIAUTOMATIZACIÓN DE LA MÁQUINA

El software que se eligió para elaborar el diseño semiautomático, procede de la casa SIEMENS LogoSoft Comfort, utilizando típicamente lógica de escalera, gráficos de funciones secuenciales y/o texto estructurado.

#### 4.3.2.1 PLC LOGO Siemens V 7.0 [45]

El programa que se utilizó para la programación del PLC es el: *PLC LOGO Siemens Versión 7.0*; este software es recomendado por el fabricante, y su versión es la más actualizada, la figura 4.28 indica la portada del programa.

Figura 4.28: Software LOGO!Soft Comfort V7.0

Este software LOGO!Soft Comfort ofrece dos métodos para crear programas:

- Esquema de contactos (KOP): es la representación gráfica de las tareas de control con símbolos (norma DIN 19239)
- Diagrama de funciones (FUP): para los usuarios familiarizados con los cuadros lógicos del álgebra booleana utilizan FUP (normas DIN 19239 y DIN 40 700)

Los programas KOP hacen que el programa emule la circulación de corriente eléctrica desde una fuente de alimentación, a través de una serie de condiciones lógicas de entrada que, a su vez, habilitan condiciones lógicas de salida, la lógica se divide en segmentos (“networks”), el programa ejecuta un segmento tras otro, además da la posibilidad de convertir de KOP a FUP o viceversa.

[45] Ayuda del Software *LOGO!Soft Comfort V7.0*

De acuerdo a los argumentos mencionados, se empleará el esquema de contactos (KOP), para la programación del PLC, la cual se la desarrollará en el software LOGO!Soft Comfort el cual permite programar y compilar para encontrar posibles errores.

### 4.3.2.2 MÓDULOS DE AMPLIACIÓN

Se puede adicionar entradas y salidas al LOGO con los módulos de ampliación como
por ejemplo:

LOGO módulos digitales DM8... para 12 VDC. 24 VAC/DC y 115...240 VAC/DC con
4 entradas y 4 salidas.

LOGO módulos digitales DM16... para 24 VDC y 115...240 VAC/DC con 8 entradas
y 8 salidas.

LOGO módulos analógicos para 24 VDC y en parte para 12 VDC, con 2 entradas analógicas o con 2 entradas Pt100 ó con 2 salidas analógicas.

Los módulos digitales y analógicos están integrados en 2 ó 4 TE y disponen de dos interfaces de ampliación respectivamente, de modo que se puede conectar otro módulo a cada uno de ellos.

Para la máquina se agregó dos módulos de ampliación, LOGO módulos digitales DM16... para 24 VDC y 115...240 VAC/DC con 8 entradas y 8 salidas. Ver figura 4.29

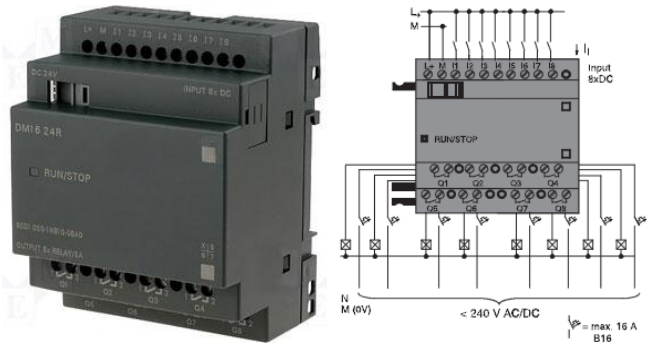



Figura 4.29: Módulo de ampliación LOGO DM16-24R para 24VDC

#### 4.3.2.4 POTENCIÓMETROS

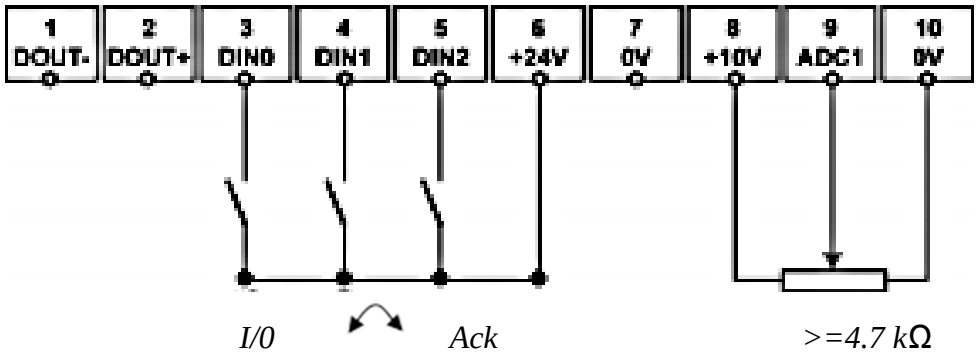
Los potenciómetros pueden ser encontrados en circuitos electrónicos en un amplio espectro de aplicaciones. La mayoría de las veces se utilizan como divisores de tensión para ejecutar distintos tipos de tareas, tales como controlar niveles y ajustes de ganancias y desplazamiento.

En la automatización de la máquina, los potenciómetros ejecutan el ajuste de la velocidad de desplazamiento de la viga por la conexión de la variante analógica en los bornes del variador de velocidad como se indica en la tabla 4.3, recomienda potenciómetro >=4.7 kΩ

**Tabla 4.3: Conexión de la variante lógica del variador de velocidad, recomendada por el fabricante[46]**

| Entrada/Salida | Bornes | Parámetro | Ajuste por defecto | Activo |
|---|---|---|---|---|
| Fuente de órdenes | 3, 4, 5 | P0700 = 2 | Entrada digital | Sí |
| Fuente de consignas | 9 | P1000 = 2 | Entrada analógica | Sí |
| Entrada digital 0 | 3 | P0701 = 1 | ON / OFF1 (I/O) | Sí |
| Entrada digital 1 | 4 | P0702 = 12 | Inversión de giro (↶↷) | Sí |
| Entrada digital 2 | 5 | P0703 = 9 | Acuse de fallo (Ack) | Sí |

**Esquema:**




Ver anexo 4.5: Plano del circuito neumático y auxiliar

[46]SIEMENS, Industry, "*Manual del Variador de velocidad G110*" http://fur.ly/839t , p. 6

### 4.3.3 SIMULACIÓN EN LOGO SOFT COMFORT

El PLC controla varios dispositivos, se dividen en dos categorías principales: dispositivos de entrada y dispositivos de salida; en la tabla 4.4 y 4.5 son presentados.

**Tabla 4.4: Dispositivos de entrada al PLC**

| LOGO | COMENTARIO | FUNCIÓN |
|---|---|---|
| I 1 | B 0 Apagado gen. | Switch principal de la máquina |
| I 2 | B 1.0 | Pulsador obturador avance del vástago CIL 1.0 |
| I 3 | B 1.1 | Pulsador obturador retorno del vástago CIL 1.0 |
| I 4 | IND 1 | Señal del sensor inductivo de proximidad |
| I 5 | PRESÓSTATO 1 | Señal del presóstato (presión de trabajo) |
| I 6 | B 2.0 | Pulsador obturador avance del vástago CIL 2.0 |
| I 7 | B 2.1 | Pulsador obturador retorno del vástago CIL 2.0 |
| I 8 | IND 2 | Señal del sensor inductivo de proximidad |
| I 9 | PRESÓSTATO 2 | Señal del presóstato (presión de trabajo) |
| I 10 | B 3.0 | Pulsador obturador avance del vástago CIL 3.0 |
| I 11 | B 3.1 | Pulsador obturador retorno del vástago CIL 3.0 |
| I 12 | B 4.0 | Pulsador obturador avance del vástago CIL 4.0 |
| I 13 | B 4.1 | Pulsador obturador retorno del vástago CIL 4.0 |
| I 14 | B 5 | Pulsador obturador |
| I 15 | B 6 | Pulsador obturador |
| I 16 | B 7 IZQ | Selector de giro en sentido antihorario |
| I 17 | B 8 DER | Selector de giro en sentido horario |
| I 18 | VF1_OUT B9 | Falla variador de velocidad 1; máquina |
| I 19 | VF1_OUT B10 | Falla variador de velocidad 2; transportadores |
| I 20 | B11 ON | Encendido general |
| I 21 | B12 OFF | Apagado general |

**Tabla 4.5: Dispositivos de salida al PLC**

| LOGO | COMENTARIO | FUNCIÓN |
|---|---|---|
| Q 1 | CIL 1.0 | Cilindro *DNCB 50-320-PPV-A*; ajuste al peralte Solenoide de válvula 5/3 vías |
| Q 2 | CIL 1.1 | Cilindro *DNCB 50-320-PPV-A*; ajuste al peralte Solenoide de válvula 5/3 vías |
| Q 3 | CIL 2.0 | Cilindro *DNSU 25-80-PPS-A*; centrado del alma Solenoide de válvula 5/3 vías |
| Q 4 | CIL 2.1 | Cilindro *DNSU 25-80-PPS-A*; centrado del alma Solenoide de válvula 5/3 vías |
| Q 5 | CIL 3.0 | Cilindro *DNCB 50-200-PPV-A*; tren delantero Solenoide de válvula 5/3 vías |
| Q 6 | CIL 3.1 | Cilindro *DNCB 50-200-PPV-A*; tren delantero Solenoide de válvula 5/3 vías |
| Q 7 | CIL 4.0 | Cilindro *DNCB 50-200-PPV-A*; tren posterior Solenoide de válvula 5/3 vías |
| Q 8 | CIL 4.1 | Cilindro *DNCB 50-200-PPV-A*; tren posterior Solenoide de válvula 5/3 vías |
| Q 9 | VF2_IO | Motorreductor de la máquina |
| Q 10 | VF1_IO | Motorreductor del transportador |
| Q 11 | VF_INV | Transportador |
| Q 12 | LUZ CIL 1 | Luz indicadora cilindro 1 OK |
| Q 13 | LUZ CIL 2 | Luz indicadora cilindro 2 OK |
| Q 14 | LUZ VF1 | Luz indicadora variador frecuencia 1 OK |
| Q 15 | LUZ VF2 | Luz indicadora variador frecuencia 2 OK |
| Q 16 | MIG_01_02 | Salida para soldadora (2 Fuentes CV-400) |

Elaborado por: Campaña Christian /Lincango Diego

Fuente: Logo soft confort V7.0, FluidSIM-P 3.6

El PLC tiene una estructura interna que permite el uso de temporizadores, marcas, los cuales están detallados en la tabla 4.6

**Tabla 4.6: Elementos internos del PLC**

| LOGO | COMENTARIO | FUNCIÓN |
|---|---|---|
| M 1 | AUX 1 | Sensor inductivo y presóstato |
| M 2 | AUX 2 | Sensor inductivo y presóstato |
| M 3 | AUX 3 | Señal falla de variador de velocidad 1 |
| M 4 | AUX 4 | Señal falla de variador de velocidad 2 |
| M 5 | AUX 5 | Encendido y apagado general |
| M 6 | AUX 6 | Cambio giro |
| T 001 | ON DELAY | Temporizador retardo a la conexión t=5seg |

Elaborado por: Campaña Christian /Lincango Diego

Fuente: Logo soft confort V7.0, FluidSIM-P 3.6

### 4.3.4 DIAGRAMA DE CONTROL DE LA MÁQUINA

El diagrama eléctrico hace referencia a la estructura programada del sistema mediante el uso de los dispositivos internos del PLC.

El lenguaje gráfico LD (*Ladder Diagram*), es sin duda el más utilizado para programar autómatas programables, ya que la simbología utilizada, es parecida a los esquemas eléctricos empleados en instalaciones eléctricas con relevadores o contactores.

La utilización de entornos gráficos, hace que la programación se pueda "enriquecer" con textos complementarios explicativos.

La línea vertical representa la potencia o conductor energizado. Los elementos de salida representan el neutro o trayectoria de retorno del circuito (se omite la línea vertical derecha).

Los diagramas de escalera se leen de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo.[47]

Ver anexo 4.6: El diagrama eléctrico realizado en el programa LOGO!Soft Comfort V7.0.

### 4.3.4 SECUENCIA PRINCIPAL DE LA AUTOMATIZACIÓN

La secuencia principal de la máquina, consta de cuatro etapas fundamentales, que son las siguientes:

- Recepción
- Sujeción
- Conformado de la sección y soldadura
- Salida

#### 4.3.4.1 Recepción

Etapa inicial referida a la recepción de las láminas de acero que son trasladadas hacia la máquina.

#### 4.3.4.2 Sujeción

Tiene el objetivo de centrar y sujetar las láminas de acero a la máquina.

#### 4.3.4.3 Conformado de la sección y soldadura

La viga es conformada y soldada por sus dos filetes por medio del accionamiento del motorreductor de la máquina y del transportador.

#### 4.3.4.4 Desajuste

En esta última etapa se desajusta la viga tipo "I" para proceder a dar la vuelta a la viga y proceder nuevamente con las cuatro etapas identificadas.

Para mejor apreciación se presenta la figura 4.30 con el fin de esquematizar las etapas.

[47] GARCÍA, Emilio, *Automatización de procesos industriales*, Edición, Editorial Alfaomega, México, p.177

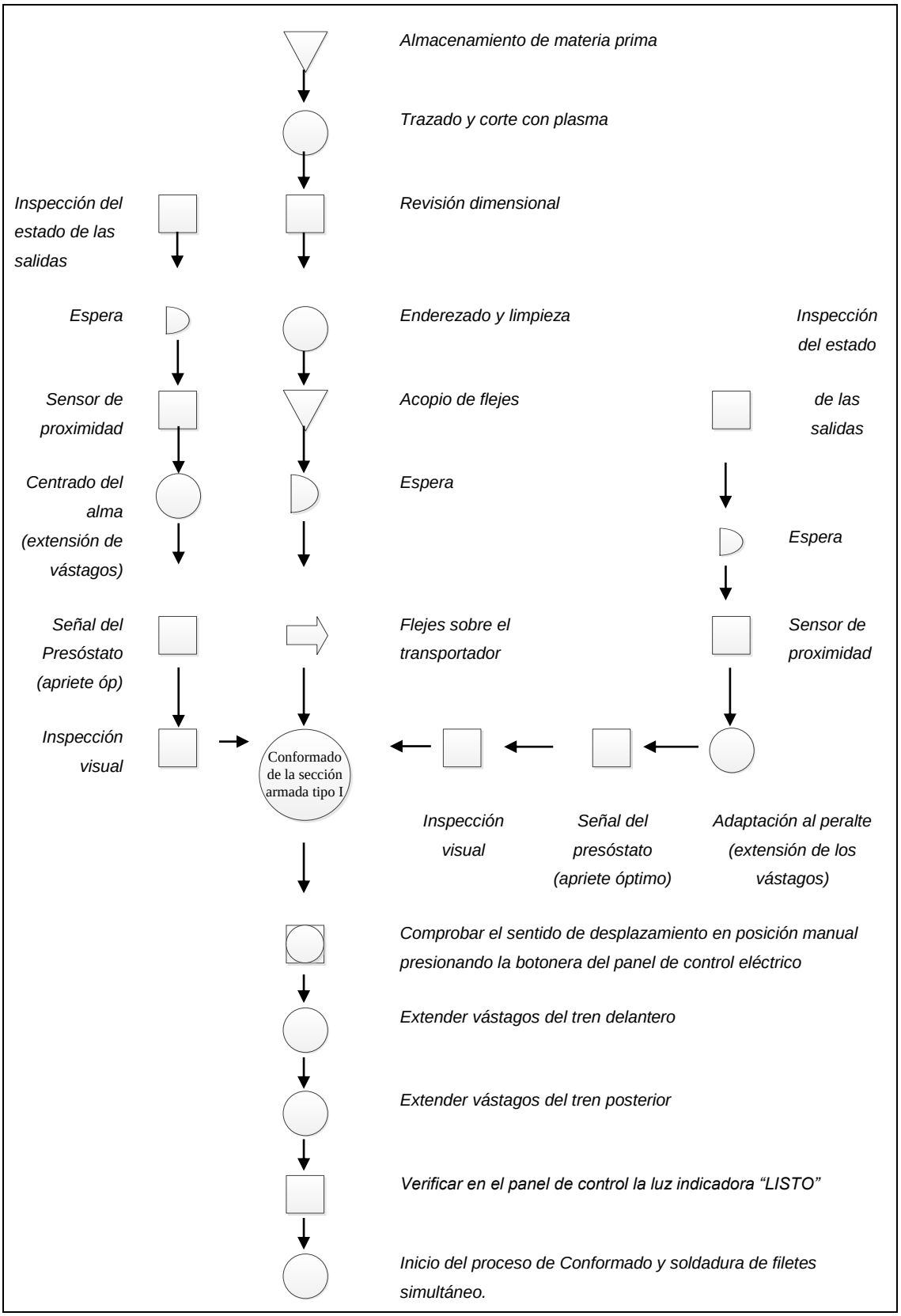



Figura 4.30: Diagrama de proceso de operación de la máquina

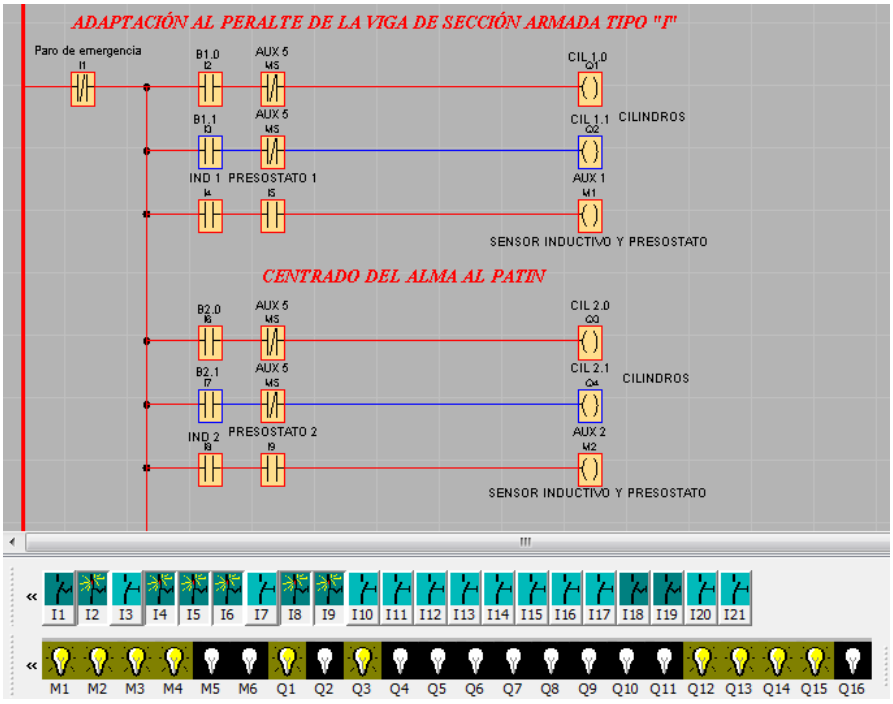
### 4.3.5 SIMULACIÓN DEL DIAGRAMA DE CONTROL

La simulación del diagrama eléctrico en el programa LOGO!Soft Comfort V7.0, en función a lo establecido en la secuencia de la automatización de la máquina, está relacionado de la siguiente forma:

- Ajuste de la viga
- Desplazamiento de la viga
- Depósito de soldadura

#### 4.3.5.1 Ajuste de la viga

En la primera instancia se considera un paro de emergencia I1 para precautelar ante cualquier evento desafortunado; es iniciado el proceso con el traslado de los flejes por la mesa transportadora hacia la zona de conformado, el cual mediante la pulsación de I2, I6 envía la señal a la electroválvula Q1, Q3 para extender la pareja de cilindros del sistema de conformado y centrado del alma, hasta que los sensores M1, M2 den la señal de paro, una vez que tomen contacto con la viga y lleguen a la presión de trabajo. I10, I12 son pulsados para sujetar la viga a la máquina. Ver figura 4.31



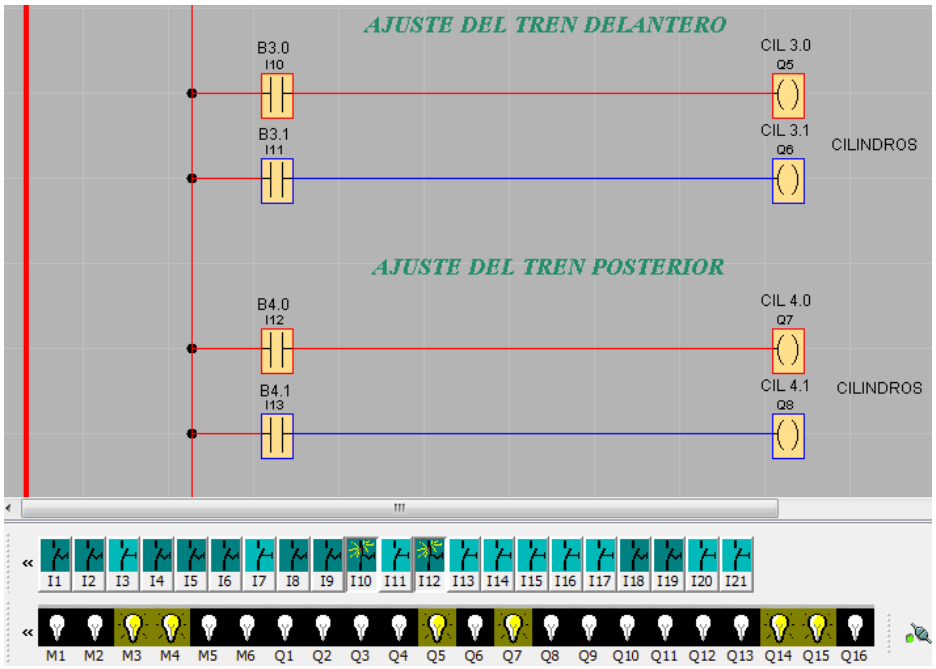
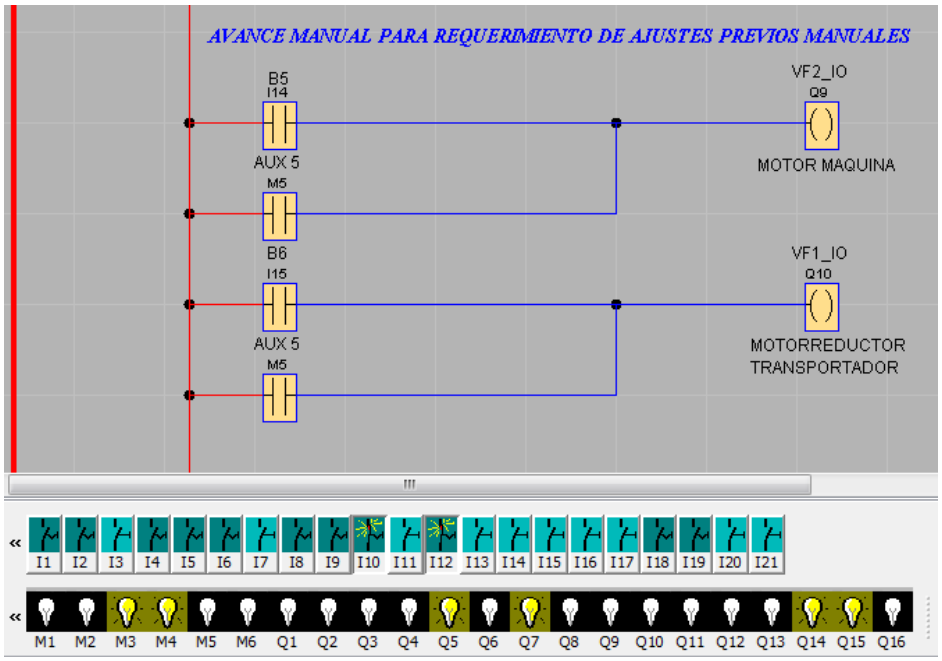



Figura 4.31: Simulación LOGO!Soft Comfort V7.0 vástagos extendidos

### 4.3.5.2 Desplazamiento de la viga

Presionando I14, I15 se obtiene el accionamiento en modo manual del motorreductor de la conformadora Q9 y de la mesa transportadora Q10, con el fin de hacer precisiones por parte del operador; ya cumplida esta operación manual se establece el sentido que se desplazará la viga para esto I16 a la izquierda, I17 hacia la derecha, depende de la ubicación de la viga. Ver figura 4.32



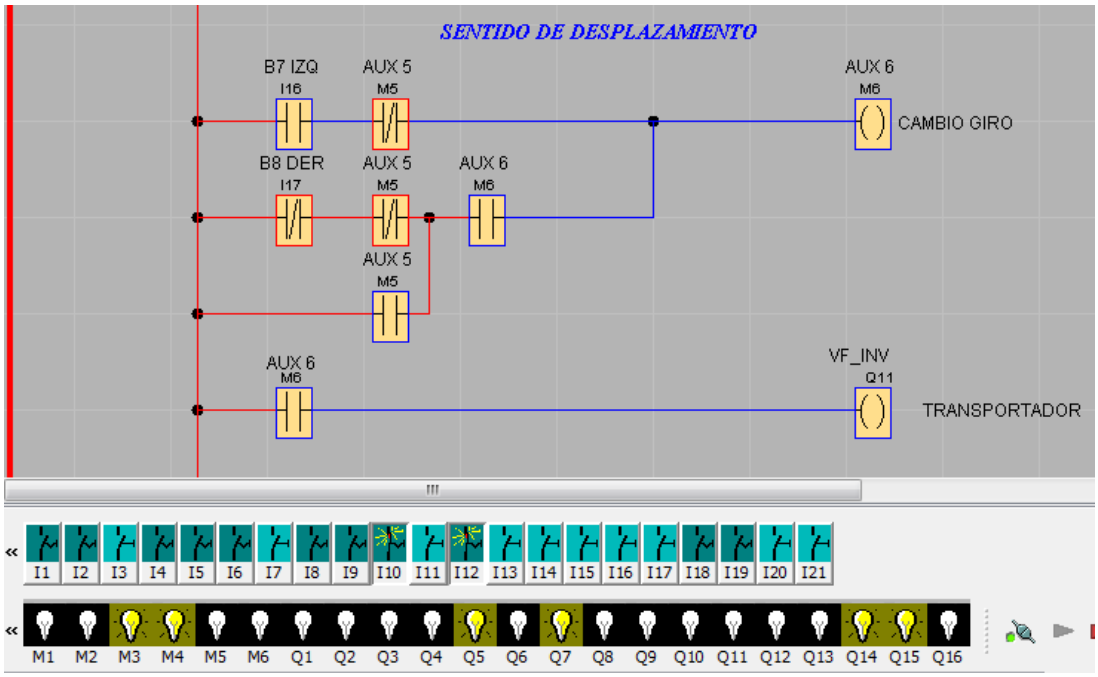



Figura 4.32: Simulación LOGO!Soft Comfort V7.0 desplazamientos

La figura 4.33 indica el estado de los dispositivos, asegurando el buen funcionamiento de la operación previo al encendido del proceso total.

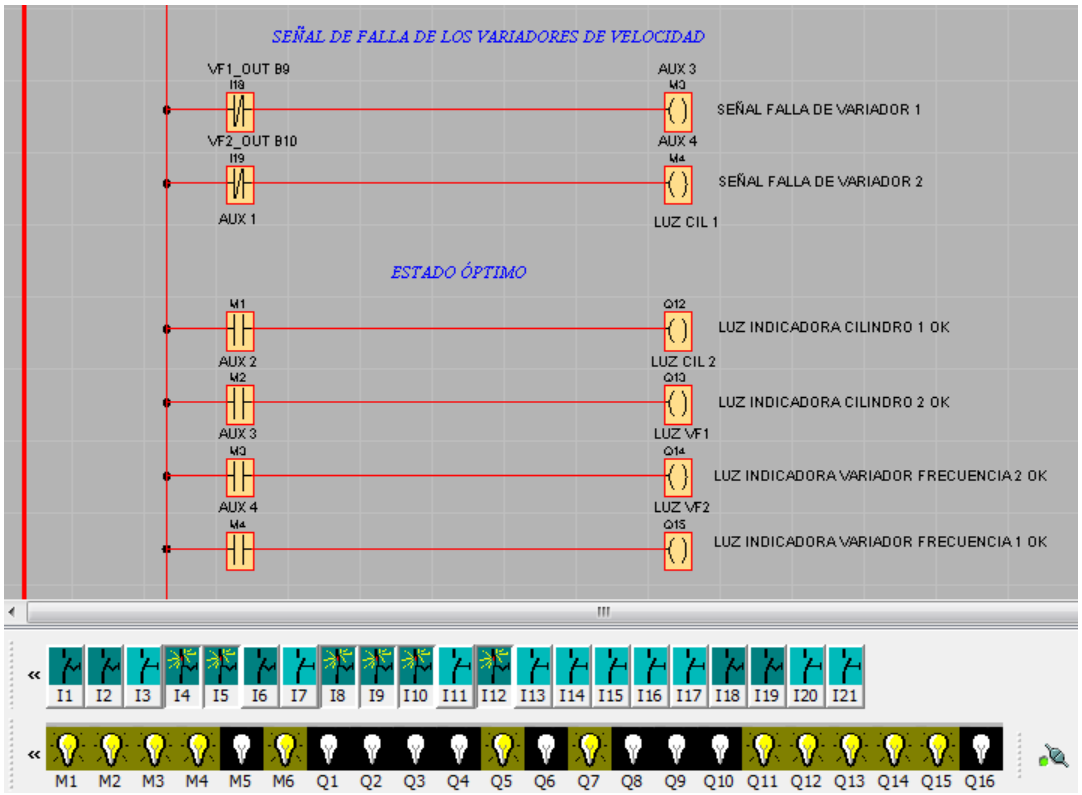



Figura 4.33: Simulación LOGO!Soft Comfort V7.0 señales luminosas

### 4.3.5.3 Depósito de soldadura

Aquí se reúne todas las operaciones anteriores, de tal forma que a medida que fue asegurada la sección “I”, las marcas M1, M2, M3, M4, son ubicadas en serie para activar M5 con el pulsante I20 en posición de encendido ya que indirectamente la marca M5 activa el contacto abierto cerrándolo, suministrando paso a la energía para que sea energizado el temporizador T001 on delay con retardo a la conexión, para un tiempo t=5seg; este tiempo tiene la finalidad de activar Q16 cuando ya transcurrido 5seg que corresponde al tiempo que demora en vencer la inercia para el desplazamiento constante de la viga, para evitar la acumulación de soldadura en su inicio. (Ver figura 4.34)

Ver anexo 4.7: Plano del circuito de mando

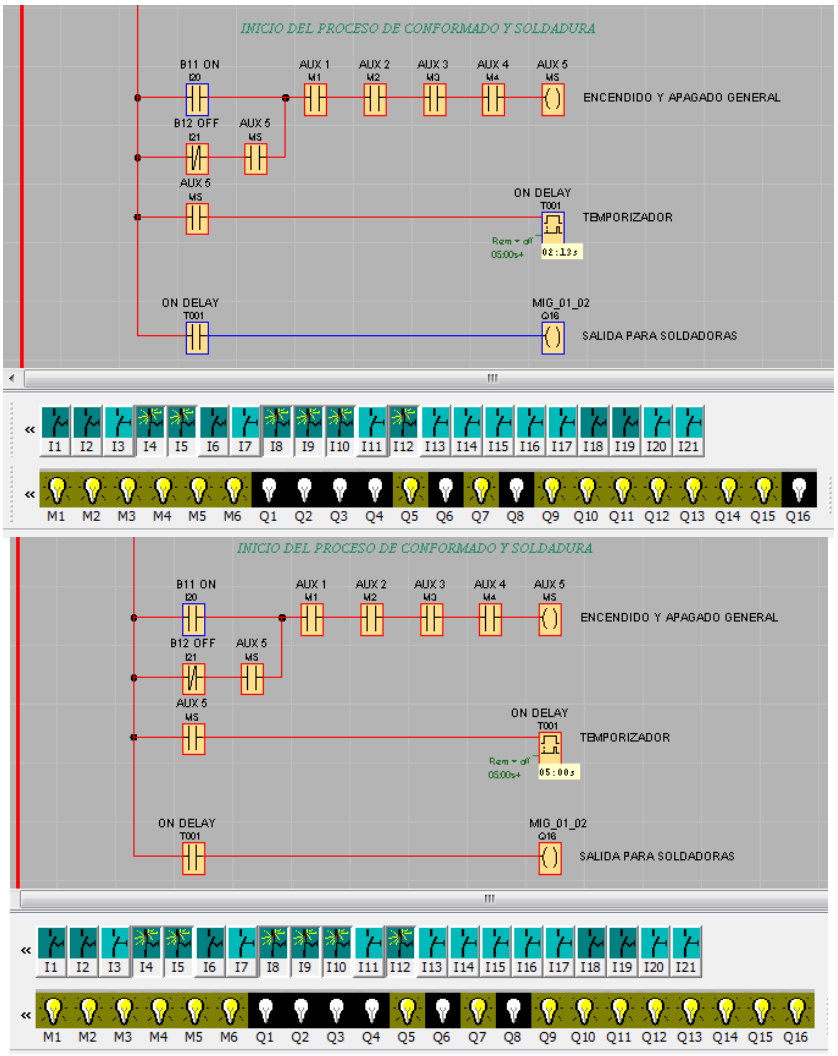



Figura 4.34: Simulación LOGO!Soft Comfort V7.0 conformando y soldando

## 4.4 InTouch V 10.0

InTouch es un paquete de software utilizado para crear aplicaciones de interface hombre máquina bajo entorno *PC.*

El software InTouch proporciona una visualización para los procesos industriales demostrando las capacidades HMI (Interfaz Hombre Máquina), que pueden llevar las operaciones a un nuevo nivel de rendimiento, con la integración de dispositivos y conectividad sin igual, prácticamente a todos los dispositivos y sistemas como PLC, base de datos, entre otros.

La figura 4.35 indica la portada del programa que proviene de la casa Wonderware; con un repaso podemos admirar la bondad del software y la calidad de presentación para la visualización del proceso.

Figura 4.35: Portada del software de simulación InTouch V10.0

El personal administrativo y de producción puede ver información de la fábrica en tiempo real desde su escritorio o desde sus oficinas centrales. Lo anterior significa que los usuarios pueden darle seguimiento a las operaciones, el uso de equipo, los índices de producción y más desde todas sus ubicaciones remotas vía Internet. Además de visualizar datos desde diferentes puntos dentro de cada planta y verlos en la pantalla del computador en una variedad de formas: gráficas, tablas y gráficos de proceso.

### 4.4.1 SIMULACIÓN EN INTOUCH

La aplicación creada con el software Intouch V10.0 tiene la finalidad de proporcionar información clara y precisa en tiempo real del proceso, para esto el software cuenta con dos elementos: *windowmaker* y *windowviewer*. *Windowmaker* permite todas las funciones necesarias para crear ventanas animadas interactivas conectadas a sistemas de E/S externos a otras aplicaciones de Windows, cuenta con una librería completa de gráficos llamada *simbol Factory*, que se encuentra en los *wizards* (elementos inteligentes) o se crea objetos independientes con el uso de la barra de herramientas de dibujo, que permite una edición rápida de cualquier elemento. *Windowviewer* es el sistema *runtime* utilizado para rodar las aplicaciones creadas por *windowmaker*.

Es importante conocer la función que desempeñan el *tagname dictionary* que es el corazón de Intouch. Durante el runtime, este diccionario contiene todos los valores de los elementos en la base de datos. Para crear esa base de datos, InTouch necesita saber qué elementos la van a componer, por lo tanto, se crea una base de datos con todos aquellos datos que necesita la aplicación. A cada uno de estos datos (tags) se asigna un nombre. Al final, se dispone de un diccionario con todos los *tagnames* o datos que han sido creados; existen diversos tipos de *tagnames* según su función o características. Los tags creados para la máquina se indican en la tabla 4.7

**Tabla 4.7: Listado de tags**

| Tagname | Tag Type | Comentario |
|---|---|---|
| CIL1_DOWN | Memory discrete | Pulsante para el avance del vástago 1 |
| CIL1_UP | Memory discrete | Pulsante para la retracción del vástago 1 |
| CIL2_ LEFT | Memory discrete | Pulsante para el avance del vástago 2 a la derecha |
| CIL2_ RIGHT | Memory discrete | Pulsante para la retracción del vástago 2 |
| CIL2_UP | Memory discrete | Pulsante para el avance del vástago 2 hacia abajo |
| CIL3_ DOWN | Memory discrete | Pulsante para el avance del vástago 3 |
| CIL3_UP | Memory discrete | Pulsante para la retracción del vástago 3 |

| | | |
|---|---|---|
| CIL4_ DOWN | Memory discrete | Pulsante para el avance del vástago 4 |
| CIL4_ UP | Memory discrete | Pulsante para la retracción del vástago 4 |
| Giro_banda | Memory real | Accionamiento del transportador |
| Giro_transport | Memory real | Accionamiento de los rodillos de conformado. |
| Giro_var_banda | Memory discrete | Viga transportada hacia el conformado |
| LIGHT_CIL1 | Memory discrete | Llega a la presión de trabajo el vástago 1 |
| LIGHT_CIL2 | Memory discrete | Llega a la presión de trabajo el vástago 2 |
| LIGHT_LISTO | Memory discrete | Todos los dispositivos en estado óptimo |
| LIGHT_SOLD | Memory discrete | Animación de soldadura |
| Reg_banda | Memory real | Potenciómetro para regular la velocidad de los transportadores |
| Reg_transport | Memory real | Potenciómetro para regular la velocidad de los rodillos conformadores |
| SOLD_ON | Memory discrete | Activación del conformado y soldadura |
| Var_banda | Memory discrete | Pulsante del avance manual del transportador |
| VAR_CIL1 | Memory real | Avance y retroceso del cilindro 1 |
| VAR_CIL2 | Memory real | Avance y retroceso del cilindro 2 |
| VAR_CIL3 | Memory real | Avance y retroceso del cilindro 3 |
| VAR_CIL4 | Memory real | Avance y retroceso del cilindro 4 |
| Var_transport | Memory discrete | Avance manual |
| Var_transport1 | Memory discrete | Avance manual |
| Viga_mov_banda | Memory real | Viga de sección armada tipo “I” |

Fuente: Software Intouch V10.0

Los tags de memoria definen constantes y variables internas del sistema dentro de las aplicaciones de intouch; para la simulación es usada la *memory discrete* y *memory real*

La *memory discrete*, es aquel que puede disponer un valor 0 ó 1/ Falso o Verdadero / On or Off/ alto o bajo

*Memory real* es un tagname en coma flotante. Su valor va entre -3.4 x $10^{38}$ y 3.4 x $10^{38}$. Todos los cálculos son hechos en 64 bits de resolución, pero el resultado se almacena en 32 bits.

La figura 4.36, indica la representación visual de los sistemas que realizan las operaciones de adaptarse al peralte, de centrar el alma al patín y el sistema estabilizador que ajusta la viga a la máquina mediante tecnología neumática, además la aplicación cuenta con el panel de control para que los operadores pueden interactuar con el interfaz de aplicación gráfica para monitorear y administrar el proceso.

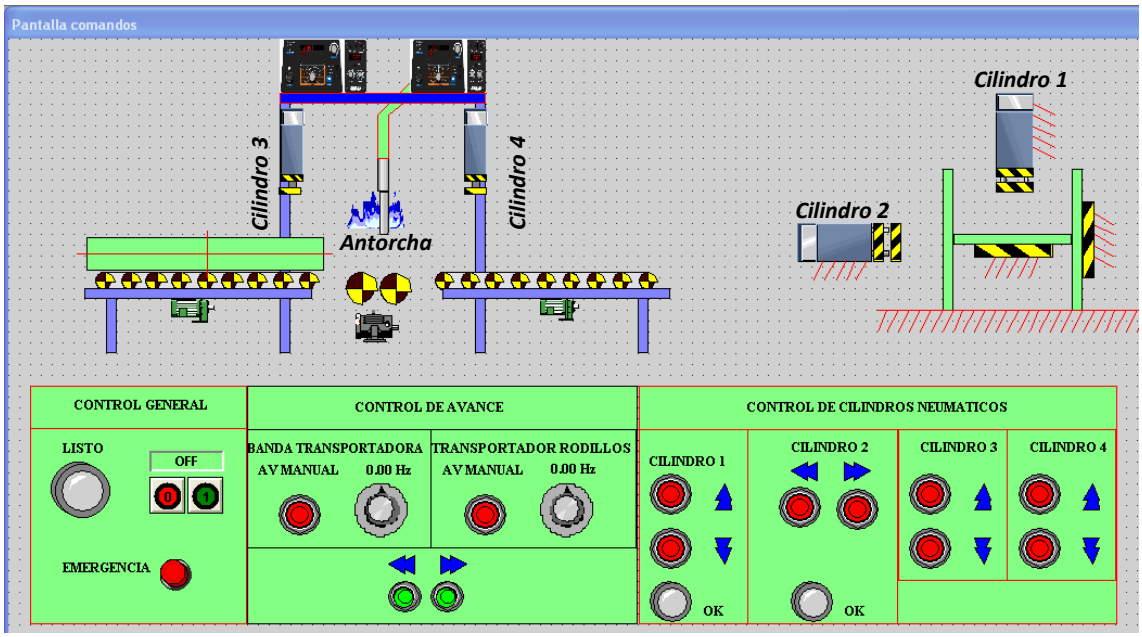



Figura 4.36: Diseño de la aplicación

Cabe recalcar que la aplicación es diseñada en función a enlaces de animación que pueden ser utilizados solos o en combinación para dar tamaños complejos, movimientos de color y/o cambio de posición, desplazamientos horizontales y verticales, rotación y parpadeo; se reúne estas condiciones para simular el diseño de la aplicación para extender los vástagos y que la viga se desplace sobre el transportador.

En la figura 4.37 se puede observar que los vástagos fueron extendidos, adaptándose al peralte de la viga y ubicando al centro del patín; una señal luminosa confirma que los pistones llegaron a la presión de trabajo, los cilindros 3 y cilindros 4 sujetan la viga a la máquina.

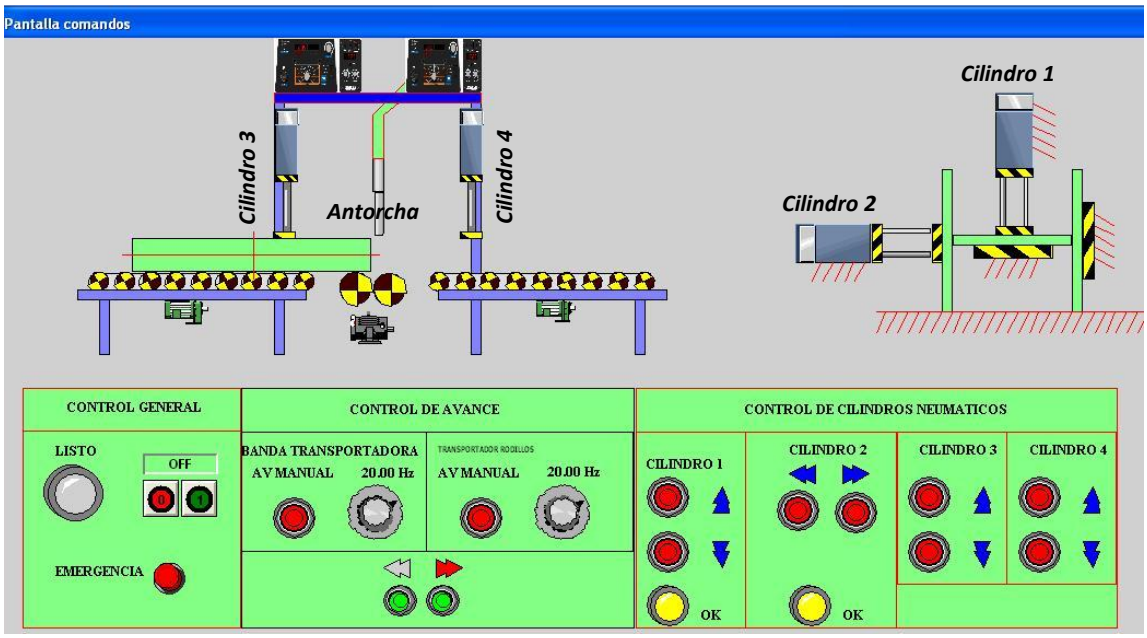



Figura 4.37: Pistones neumáticos extendidos con luz indicadora encendida

El avance manual acerca la viga a la antorcha encendiendo la luz indicadora “Listo” es colocada la velocidad de avance entre 0 a 60 hz. (Ver figura 4.38)

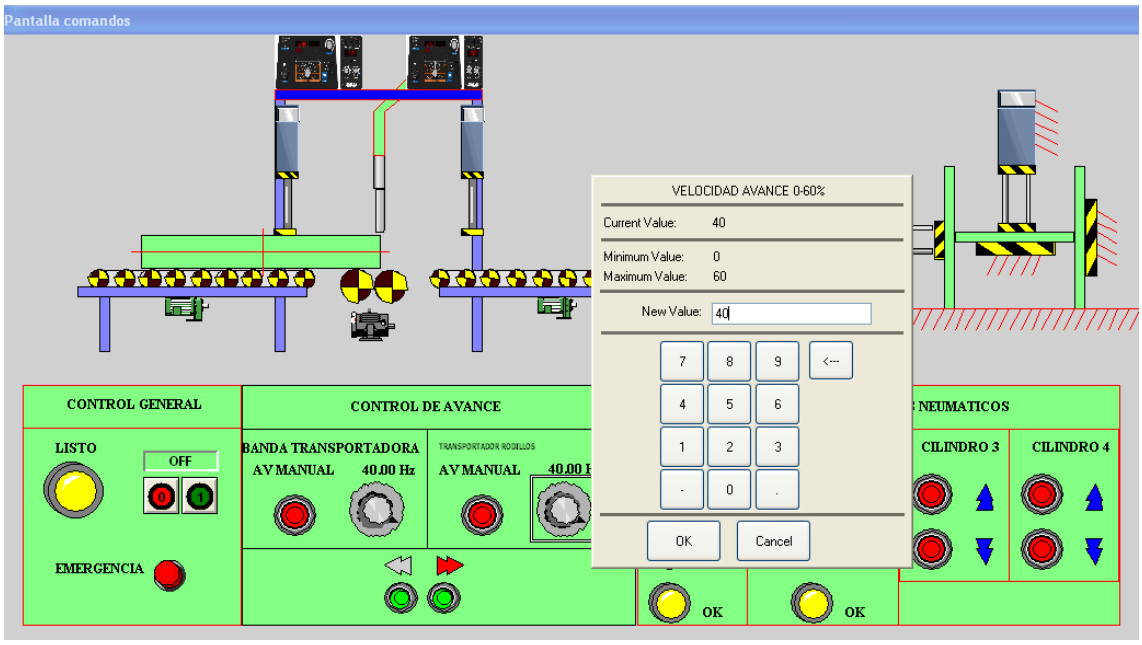



Figura 4.38: Panel de control y visualización del proceso

La operación está en proceso, depositando cordones simultáneos en los filetes longitudinales en la figura 4.39

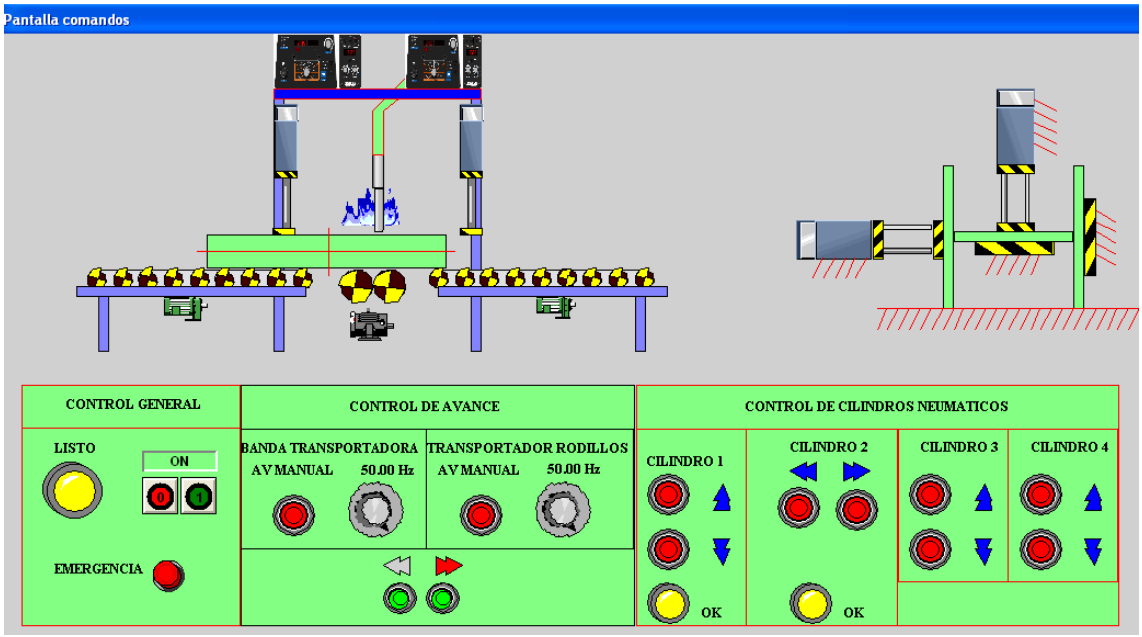



Figura 4.39: Ejecutando operación de conformado y soldadura

Los *Scripts* es un lenguaje de Intouch que se basa en un conjunto de instrucciones que dirigen una aplicación, es tan potente, flexible y realizable la creación de scripts, simplemente apuntando y haciendo clic, sin necesidad de tocar el teclado. También es posible escribir sus propias funciones de script. (Ver figura 4.40)

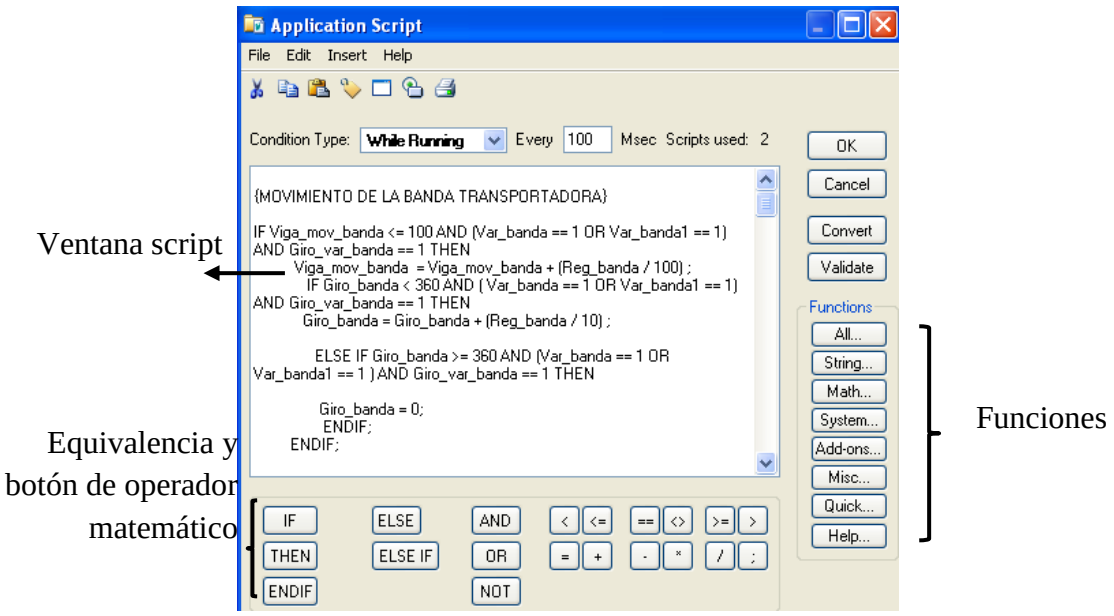



Figura 4.40: Edición y creación de Scripts

Ver anexo 4.8: Líneas de programación del script en Incotuch V10.0 para la máquina

## 4.5 CONTROL DEL PROCESO DE SOLDADURA FCAW

A continuación se dará un detalle de las distintas variables esenciales del proceso FCAW y la forma de controlarlos.

### 4.5.1 CORRIENTE DE SOLDADURA[48]

La corriente de soldadura es proporcional a la velocidad de alimentación del alambre considerando su diámetro, composición y extensión específicos, para esto se emplea una fuente de potencia de voltaje constante del tamaño apropiado para fundir el electrodo con una rapidez tal que se mantenga el voltaje de salida (longitud de arco) preestablecido. Si las demás variables de soldadura se mantienen constantes para un

[48] AWS, "*Welding Handbook, Ingeniería, costos, calidad, y seguridad*", $7^{ma}Vm$ 5. Edición, Editorial W.H. Kearns, Miami 1999, p.175.

electrodo de cierto diámetro, la modificación de la corriente de soldadura tendrá los siguientes efectos preponderantes:

- Un incremento en la corriente incrementa la velocidad de deposición del electrodo.
- Un aumento en la corriente aumenta la penetración.
- Una corriente insuficiente produce transferencia de gota grande y demasiadas salpicaduras.
- Una corriente insuficiente puede causar una absorción.

Cuando se incrementan o reduce la corriente de soldadura modificando la velocidad de alimentación del electrodo, conviene ajustar el voltaje de salida de la fuente de potencia de modo que se mantenga la relación óptima entre el voltaje de arco y la corriente.

Para una velocidad de alimentación de electrodo dada, la corriente de soldadura medida varía con la extensión del electrodo. Al aumentar la extensión del electrodo, la corriente de soldadura se reduce, y viceversa.

La intensidad de la corriente eléctrica está dada por:

$$I_s = -67d_e^2 \quad + 370d_e - 78 \qquad (Ecuacion\ 4.7)^{49}$$

Donde:

$I_s$ = Intensidad de la corriente [A]

$d_e$ = Diámetro del alambre tubular [mm]

### 4.5.2 VOLTAJE DEL ARCO[50]

El voltaje y la longitud del arco están íntimamente relacionados. El voltaje que indica el medidor de la fuente de potencia es la suma de las caídas de voltaje en todo el circuito de soldadura.

[49] FRAILE, Francisco, "Diseño, cálculo y comprobación de unión soldada en viga de puente grúa de alma doble" 2010. *bit.ly/I6QK4y*
[50] AWS, Op. Cit. p.175.

Esto incluye la caída a través del cable de soldadura, la extensión del electrodo, el arco, la pieza de trabajo y el cable conectado al trabajo. Por tanto, el voltaje del arco será proporcional a la lectura del medidor si los demás elementos del circuito (y sus temperaturas) se mantienen constantes.

El voltaje del arco puede afectar el aspecto, la integridad y las propiedades de las soldaduras hechas con alambre de núcleo de fundente. Un voltaje de arco excesivo (arco demasiado largo) puede producir demasiadas salpicaduras y franjas de soldadura ancha y de forma irregular; un voltaje de arco insuficiente (arco demasiado corto) produce franjas angostas y convexas con demasiadas salpicaduras y penetración somera.

El voltaje del arco eléctrico está dado por:

$$U_a = 15 + 0.05\, I_s \qquad (Ecuación\ 4.8)^{51}$$

Donde:

$U_a =$ Voltaje del arco eléctrico [V]

$I_s =$ Intensidad de la corriente [A]

### 4.5.3 EXTENSIÓN DEL ALAMBRE

El tramo de alambre no fundido que sobresale del tubo de contacto durante la soldadura se calienta por resistencia en proporción a su longitud, siempre que las otras variables se mantienen constantes.

Este calentamiento afecta la energía del arco, la velocidad de deposición del electrodo y la penetración de la soldadura, esto también puede afectar la sanidad y la estabilidad del arco. El efecto de la extensión del electrodo es un factor operativo en FCAW que introduce nuevas variables que ayudan en el balance con las condiciones de protección y las variables de soldadura relacionadas.

Una extensión demasiado larga produce un arco inestable con excesivo salpicado. Una extensión demasiado corta puede causar una excesiva longitud de arco para el

[51] FRAILE, Francisco, "Diseño, cálculo y comprobación de unión soldada en viga de puente grúa de alma doble" 2010. *bit.ly/I6QK4y*

voltaje seleccionado. Con protección gaseosa esto puede causar excesivo salpicado delante de la antorcha que interfiere con el flujo de gas de protección, generando porosidad en el metal de soldadura y excesiva oxidación.

Muchos fabricantes recomiendan una extensión de 19 a 38 mm para electrodos protegidos con gas y de 19 a 95 mm para autoprotegidos, dependiendo de la aplicación.

### 4.5.4 VELOCIDAD DEL DESPLAZAMIENTO

La velocidad de desplazamiento influye en la penetración y el perfil de la franja de soldadura. Si los demás factores permanecen constantes, la penetración a velocidades de recorrido bajas es mayor que a velocidades altas. Si la velocidad de desplazamiento es baja y la corriente es elevada, el metal de soldadura puede sobrecalentarse y producir una soldadura de aspecto áspero que tal vez atrape escoria mecánicamente, o atravesar de lado a lado el metal base. Si la velocidad de desplazamiento es excesiva, la franja de soldadura tiende a ser irregular y acordonada.

Velocidad del desplazamiento del proceso de soldeo, está dado por:

$$V_s = \frac{100 \cdot A_d}{6 \cdot F_t \cdot \rho} \qquad (Ecuación\ 4.9)$$

Donde:

$V_s =$ Velocidad del desplazamiento [cm/min]

$A_d =$ Taza de metal fundido en una pasada [kg/hora]

$F_t =$ Área de una pasada [$cm^2$]

$\rho =$ La densidad del metal fundido [$g/cm^3$]

### 4.5.5 VELOCIDAD DE ALIMENTACIÓN DE ALAMBRE TUBULAR

El reglaje de la velocidad del alambre es una de las partes más importantes de la operación de la soldadura. Esto debe hacerse antes de comenzar cada trabajo de soldadura o cada vez que se cambia el ajuste de la temperatura, el diámetro del alambre o tipo de alambre.

La velocidad de suministro de alambre por el alimentador, está dado por:

$$V_e = 400\frac{F_t \cdot V_s}{\pi \cdot {d_e}^2} \qquad (Ecuación\ 4.10)$$

Donde:

$V_e =$ Velocidad de alimentación de alambre [cm/min]

$V_s =$ Velocidad del desplazamiento [cm/min]

$F_t =$ Área de una pasada [$cm^2$]

$d_e =$ Diámetro del alambre tubular [mm]

### 4.5.6 FLUJO DE GAS PROTECTOR

Si se emplean electrodos con gas de protección, la tasa de flujo del gas es una variable que afecta la calidad de la soldadura. Un flujo insuficiente no protege bien el charco de soldadura, y el resultado es una soldadura porosa y oxidada. Si el flujo es excesivo puede haber turbulencia y mezcla con el aire; el efecto sobre la calidad de la soldadura será el mismo que el de un flujo insuficiente. Los dos extremos incrementan el contenido de impurezas del metal de soldadura. El flujo de gas correcto depende, principalmente, del tipo y diámetro de la boquilla de la pistola, así como también la distancia entre la boquilla, el trabajo y los movimientos del aire en las inmediaciones de la operación de eficiencia de deposición es la razón entre el peso de metal de soldadura depositado y el peso de electrodo consumido.

### 4.5.6 TAZA Y EFICIENCIA DE DEPOSICIÓN

La velocidad de deposición es el peso de material depositado por unidad de tiempo, depende de variables de soldadura tales como: diámetro, composición y extensión del electrodo y corriente de soldadura. Los proveedores de consumibles suministran gráficos que vinculan, la velocidad de deposición en función de la corriente de soldadura para electrodos de varios diámetros y en distintas posiciones de soldadura.

Para electrodos FCAW protegidos con gas la eficiencia en la deposición está en el rango de 80 a 90%, mientras que para los autoprotegidos es de 78 a 87%. Eficiencia de deposición es la relación entre peso de metal depositado sobre peso de metal consumido.

La taza de metal depositado, está dado por:

$$A_d = 3x10^{-5} \cdot {I_s}^2 + 10^{-3} \cdot I_s + 0.5 \qquad (Ecuación\ 4.11)$$

Donde:

$A_d$ = Velocidad del desplazamiento [cm/min]

$I_s$ = Intensidad de la corriente [A]

### 4.5.7 ÁNGULO DEL ELECTRODO

El ángulo con el que se sostiene el alambre durante la soldadura determina la dirección en que la fuerza del arco se aplica al charco de metal fundido. Este ángulo de desplazamiento, definido como ángulo de arrastre, se mide a partir de una línea vertical en el plano del eje de la soldadura.

El ángulo de arrastre correcto depende del método de FCAW empleado, del espesor del metal base y de la posición de la soldadura. Con el método de protección gaseosa el ángulo de arrastre debe ser pequeño, habitualmente de 2 a 15$^o$, pero nunca más de 25$^o$, si el ángulo es excesivo, se perderá la efectividad del escudo de gas.

Al hacer soldaduras de filete en la posición horizontal el charco de soldadura tiende a fluir tanto en la dirección del recorrido como en dirección perpendicular a ella. A fin de contrarrestar el flujo lateral, el alambre deberá apuntar hacia la placa de abajo cerca de la esquina de la unión. Además de su ángulo de arrastre el alambre deberá

tener un ángulo de trabajo de $40^o$ a $50^o$ respecto al miembro vertical. La figura 4.41 muestra cuanto debe apartarse el electrodo de la línea que apunta hacia la esquina de la unión y cuál debe ser el ángulo de trabajo al soldar filetes horizontales.

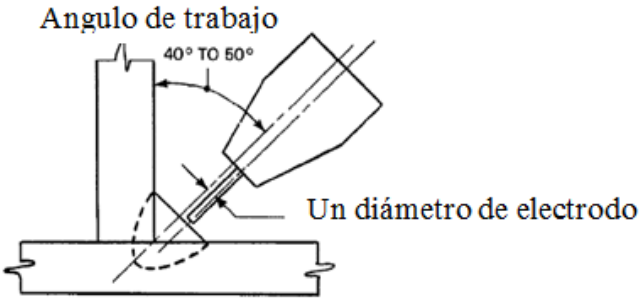



Figura 4.41: Posición del electrodo al soldar

## 4.6 CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS TECNOLÓGICOS DE LA SOLDADURA FCAW PARA LA MÁQUINA

a) Teniendo en consideración el espesor de las láminas de acero; para el soldeo de la viga se elige como gas de protección 100% $CO_2$, por ser económico y penetración más profunda en el acero.
b) La polaridad de la corriente eléctrica $DC^+$ (polaridad inversa del corriente eléctrico) es utilizada para la mayoría de los alambres protegidos por gas; emplean DCEP (Invertida o $DC^+$), produce una mejor penetración.
c) El diámetro del alambre tubular para la pasada longitudinal, se elige un hilo Primancore LW71 de diámetro de=1.2 mm
d) En base a las ecuaciones 4.7; 4.8; 4.9; 4.10; 4.11 se calcula las variables de la soldadura FCAW; se procede a ubicar en la tabla 4.8 que detalla el listado de vigas a ser fabricadas en la máquina.
e) El tamaño de la soldadura de filete en base a las consideraciones de la AISC 2005 J3-2; está determinado por la más gruesa entre el patín y el alma, pero no es necesario que exceda el grueso de la parte más delgada. El objeto de este requisito es evitar cambios perjudiciales en la estructura cristalina del acero.

**Tabla 4.8: Parámetros tecnológicos del proceso FCAW con protección gaseosa, en función al listado de vigas a ser fabricadas**

| Ancho de alma ***At*** [mm] | Ancho de patín ***P*** [mm] | Espesor del alma ***Ea*** [mm] | Espesor del patín ***Ep*** [mm] | Area de una pasada ***Ft*** [cm²] | Diámetro almabre ***de*** [mm] | Amperaje ***Is*** [amp] | Voltaje ***Ua*** [V] | Velocidad de alimentación * ***Ve*** [i.p.m] | CO2 [lt/min] | Velocidad de avance ***Vs*** [cm/min] | potenciómetro panel de control [0-60 Hz] | Taza de deposición ***Ad*** [kg/h] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 200 | 100 | 4 | 6 | 0,18 | 1,2 | 270 | 28,5 | 231 | 18-20 | 34,88 | 48 | 2,96 |
| 200 | 150 | 5 | 8 | 0,18 | 1,2 | 270 | 28,5 | 231 | 18-20 | 34,88 | 48 | 2,96 |
| 250 | 100 | 4 | 6 | 0,18 | 1,2 | 270 | 28,5 | 231 | 18-20 | 34,88 | 48 | 2,96 |
| 250 | 150 | 4 | 8 | 0,18 | 1,2 | 270 | 28,5 | 231 | 18-20 | 34,88 | 48 | 2,96 |
| 300 | 100 | 4 | 8 | 0,18 | 1,2 | 270 | 28,5 | 231 | 18-20 | 34,88 | 48 | 2,96 |
| 300 | 150 | 5 | 8 | 0,18 | 1,2 | 270 | 28,5 | 231 | 18-20 | 34,88 | 48 | 2,96 |
| 350 | 100 | 5 | 8 | 0,18 | 1,2 | 270 | 28,5 | 231 | 18-20 | 34,88 | 48 | 2,96 |
| 350 | 150 | 5 | 10 | 0,18 | 1,2 | 270 | 28,5 | 231 | 18-20 | 34,88 | 48 | 2,96 |
| 400 | 150 | 4 | 8 | 0,18 | 1,2 | 270 | 28,5 | 231 | 18-20 | 34,88 | 48 | 2,96 |

* Velocidad de alimentación de alambre es un valor sólo para el arranque y puede ser ajustado mientras se suelda

Fuente: Propia

Elaborado por: Campaña Christian, Lincango Diego

# CAPITULO V

## 5. COSTOS

## INTRODUCCIÓN

Una vez diseñada la máquina conformadora de vigas de sección armada tipo “I”, se procede a cuantificar los costos que se requieren para la finalización del proyecto.

Una evaluación económica requiere de un análisis del costo total del proyecto, para lo cual es indispensable mostrar detalladamente aquellos que intervienen en el proyecto.

## 5.1 COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA

Para determinar los costos de construcción de la máquina, se ha procedido a desglosar de la siguiente forma:

1. Materiales directos
2. Materiales mecánicos normalizados
3. Materiales eléctricos normalizados
4. Mano de obra
5. Equipos adicionales
6. Mano de obra indirecta

### 5.1.1 MATERIALES DIRECTOS

Los materiales a utilizarse, por facilidad fueron divididos en unidades; se encuentra detallado en la tabla 5.1

**Tabla 5.1: Materiales directos**

| ITEM | MATERIAL | DIMENSIONES [mm] | Cant. | Unidad | C. Unit. [usd] | C. Total [usd] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | UPN 100; DIN 17100 | 100x50x8x6000mm | 3 | u | 84,30 | 252,90 |
| 2 | UPN 80; DIN 17100 | 80x45x8x6000mm | 1 | u | 75,95 | 75,95 |
| 3 | HEB100; DIN 17100 | 100X10mm (patín)<br>100X 6mm (alma) | 4 | m | 27,35 | 109,40 |
| 4 | Tubo cuadrado ASTM A 500 | 40x40x3x6000mm | 1 | u | 27,65 | 27,65 |
| 5 | Plancha galvanizado | 1220x2440x1,1mm | 1 | u | 31,35 | 31,35 |

| ITEM | MATERIAL | DIMENSIONES [mm] | Cant. | Unidad | C. Unit. [usd] | C. Total [usd] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | Ángulo ASTM A36 | 50x50x6x6000mm | 3 | m | 4,43 | 13,29 |
| 7 | Placa ASTM A36 | 200x300x6mm | 4 | u | 6,32 | 25,28 |
| 8 | Plancha ASTM A36 | 1800x600x4mm | 33,91 | kg | 1,00 | 33,91 |
| 9 | Plancha ASTM A36 | 1200x320x12mm | 36,17 | kg | 1,00 | 36,17 |
| 10 | Plancha ASTM A36 | 840x314x10mm | 20,70 | kg | 1,00 | 20,70 |
| 11 | Plancha ASTM A36 | 1128x480x10mm | 42,50 | kg | 1,00 | 42,50 |
| 13 | Barra redonda de acero AISI 1045 | Ø25X370mm | 6,59 | kg | 4,16 | 27,41 |
| 14 | Platina ASTM A36 | 40x8x600mm | 0,60 | m | 2,68 | 1,60 |
| 15 | Placa ASTM A36 | 100x8x1100mm | 6,90 | kg | 1,00 | 6,90 |
| 16 | Barra redonda de acero AISI 4340 | Ø95X36mm | 2,00 | kg | 5,08 | 25,40 |
| 17 | Barra redonda de acero AISI 4340 | Ø100X53mm | 3,23 | kg | 5,08 | 16,40 |

| ITEM | MATERIAL | DIMENSIONES [mm] | Cant. | Unidad | C. Unit. [usd] | C. Total [usd] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 18 | Barra redonda de acero AISI 4140 | Ø35X180 | 1,37 | kg | 4,35 | 5,95 |
| 19 | Barra redonda de acero AISI 1045 | Ø63,5X700 | 17,36 | kg | 4,16 | 72,21 |
| 20 | Barra redonda de acero AISI 1045 | Ø63,5X880 | 21,80 | kg | 4,16 | 90,68 |
| 21 | Barra redonda de acero AISI 1045 | Ø200X720 | 180,07 | kg | 4,16 | 749,09 |
| 22 | Barra redonda de acero AISI 1045 | Ø125X30 | 23,11 | kg | 4,16 | 96,13 |
| 23 | Barra perforada redonda AISI 1045 | Øe=125 Øi=71; long=250mm | 16,55 | kg | 4,16 | 68,48 |
| 24 | Barra redonda de acero AISI 1045 | Ø25X600 mm | 23,11 | kg | 4,16 | 96,13 |
| | | | | | SUBTOTAL | 1.829,35 |

En el caso de los materiales normalizados, se realiza una división en materiales mecánicos y eléctricos, en esta clase de materiales se incluyen aquellos que cumplen una determinada función y no necesitan ser modificados. Ver tabla 5.2

**Tabla 5.2: Costo de materiales mecánicos normalizados**

| ITEM | MATERIAL | DIMENSIONES [mm] | Cant. | C. Unit. [usd] | C. Total [usd] |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | MOTOREDUCTOR ORTOGONAL MOTOVARIO | Pot=1/6 HP; 0.6rpm; relación de reducción: 900; T=140Nm | 1,00 | 800,00 | 800,00 |
| 2 | Rodamiento rígido de una hilera de bolas | SKF 6305 | 4,00 | 9,36 | 37,44 |
| 3 | Rodamientos de una hilera de bolas con contacto angular | SKF 7209 BEP | 4,00 | 34,39 | 137,56 |
| 4 | Unidades de rodamientos Y | SY 1 ¼ TF/VA 201 | 1,00 | 72,36 | 72,36 |
| 5 | Brida de cojinete de rodillos, SKF, para ejes métricos | FYNT 35L | 4 | 65,30 | 261,20 |
| 6 | Transportador | LLTHC 15 A T1 P5 | 4 | 95,50 | 382,00 |
| 7 | Riel | LLTHR 15 P5 long=600mm | 2 | 85,50 | 171,00 |
| 8 | Catalinas de una hilera | z=18 dientes Ø 122 PASO 3/4 | 2 | 32,00 | 64,00 |
| 9 | Cadena una hilera | N 60; PASO 3/4; long= 1000mm | 1 | 32,00 | 32,00 |

| ITEM | MATERIAL | DIMENSIONES [mm] | Cant. | C. Unit. [usd] | C. Total [usd] |
|---|---|---|---|---|---|
| 10 | Candado simple 3/4 paso cadena | No. 60 | 1 | 2,30 | 2,30 |
| 11 | DIN 6885A Chaveta | 10x8 long= 100 | 1 | 11,91 | 2,98 |
| 12 | DIN 6885A Chaveta | 10x8 long= 22 | 0,25 | 11,91 | 2,98 |
| 13 | UNI 6604 Chaveta | 8X7 long= 32 | 0,05 | 11,91 | 0,59 |
| 14 | DIN 6885A Chaveta | 8X7 long= 36 | 0,14 | 11,91 | 1,66 |
| 15 | DIN 6885A Chaveta | 16X7 long= 45 | 0,15 | 11,91 | 1,78 |
| 16 | Tuerca de fijación SKF | M35x1.5; KM 7 | 9 | 6,42 | 57,78 |
| 17 | Tuerca de fijación CNS 4465 | M52x1.5 | 2 | 7,96 | 15,92 |
| 18 | Cilindro de doble efecto | DNCB 50-320 PPV-A | 2 | 189,83 | 379,66 |
| 19 | Cilindro de doble efecto | DNCB 50-200 PPV-A | 4 | 177,32 | 709,28 |
| 20 | Cilindro de doble efecto | DSNU-25-80-PPS-A | 2 | 117,73 | 223,46 |
| 21 | Cabezal artic | SGS-M16x1,5 | 4 | 70,11 | 280,44 |
| 22 | Fijación por pies | HNC-50 | 6 | 23,17 | 139,02 |
| 23 | Unidad de mantenimiento | FRC-1/2-D-MIDI | 1 | 124,01 | 124,01 |
| 24 | Electroválvula | CPE18-M1H-5/3G-1/4 | 4 | 199,13 | 796,52 |

| ITEM | MATERIAL | DIMENSIONES [mm] | Cant. | C. Unit. [usd] | C. Total [usd] |
|---|---|---|---|---|---|
| 25 | Conector | MSSD-EB | 8 | 3,05 | 24,40 |
| 26 | Sensor Magnéticos | SME-8-K-LED-230 | 4 | 47,15 | 188,60 |
| 27 | Presóstato | PEV-1/4-B-OD | 4 | 148,04 | 592,16 |
| 28 | Conector | MSSD-C-4P | 4 | 4,06 | 16,24 |
| 29 | Regulador de Caudal | GRLA-1/4-QS-8-D | 12 | 21,15 | 253,80 |
| 30 | Listón distribuidor | PAL-5-1/4-4 | 1 | 73,07 | 73,07 |
| 31 | Tornillo Hueco | VT-1/4-2 | 4 | 8,45 | 33,80 |
| 32 | Racor L orientable | QSL-1/4-8 | 8 | 3,14 | 25,12 |
| 33 | Silenciador | UC-1/4 | 8 | 6,68 | 53,44 |
| 34 | Racor L orientable | QSL-3/8-10 | 1 | 5,38 | 5,38 |
| 35 | Racor rápido recto | QS-1/2-10 | 2 | 6,40 | 12,80 |
| 36 | Tubo Poliuretano | PUN 8X1.25BL | 20 | 1,71 | 34,20 |
| 37 | Tubo Poliuretano | PUN 10X1.5BL | 4 | 3,64 | 14,56 |
| 38 | Pasamuro | QSS-8 | 8 | 6,80 | 54,40 |
| 39 | Derivación T | QST-8 | 8 | 4,57 | 35,56 |
| 40 | Regulador de caudal | GRLA-1/8-QS-8-D | 4 | 22,24 | 88.96 |
| 41 | Perno cabeza hexagonal | M8x12 | 1 | 0,21 | 0,21 |

| ITEM | MATERIAL | DIMENSIONES [mm] | Cant. | C. Unit. [usd] | C. Total [usd] |
|---|---|---|---|---|---|
| 42 | Perno allen | M8x1.25x12 | 18 | 0,21 | 3,78 |
| 43 | Perno allen | M10x1,5 x 25 | 8 | 0,36 | 2,88 |
| 44 | Perno allen | M10x1,5 x 30 | 8 | 0,38 | 3,04 |
| 45 | Perno allen | M8x14 | 24 | 0,21 | 5,04 |
| 46 | Perno allen | M8x1,25 x 16 | 18 | 0,21 | 3,78 |
| 47 | Anillo seeger | Ø32x1,5 | 2 | 0,25 | 0,50 |
| 48 | Perno allen | M6x1 x 16 | 16 | 0,20 | 3,20 |
| 49 | Tuerca | M10 x 1,5 | 16 | 0,10 | 1,60 |
| 50 | Arandela plana | 5/16 | 1 | 0,07 | 0,07 |
| 51 | Arandela de presión | M10 | 8 | 0,10 | 0,80 |
| | | | | SUBTOTAL | 6.138,37 |

Fuente: Comercializadoras ciudad de Quito.

Elaborado por: Campaña Christian/ Lincango Diego

El otro grupo de materiales normalizados incluyen todos los elementos eléctricos necesarios para la lógica del PLC, en la tabla 5.3 se presentan estos.

**Tabla 5.3: Costo de materiales eléctricos normalizados**

| ITEM | Material | Cant. | C. Unit. [usd] | C. Total [usd] |
|---|---|---|---|---|
| 1 | PLC Logo 24V CC de 8I 4Q con cable Ethernet | 1 | 270,00 | 270,00 |
| 2 | Modulo Auxiliar 24V CC de 8I;8Q | 1 | 123,08 | 123,08 |
| 3 | NA Botón 24V 5Amp | 12 | 8,54 | 8,54 |
| 4 | NC Botón 24V 5Amp | 5 | 8,54 | 8,54 |
| 5 | Luces 24V | 4 | 4,17 | 4,17 |
| 6 | Relés entra 24V sale 24V | 4 | 13,91 | 13,91 |
| 7 | Potenciómetros 4,7KΩ para 24 V | 2 | 62,61 | 62,61 |
| 8 | Variadores Siemens G110 0,12HP con panel de visualización | 2 | 199,15 | 199,15 |
| 9 | Caja eléctrica | 1 | 80,00 | 80,00 |
| 10 | Portafusibles trifásicos para 90Amp con fusibles | 2 | 215,38 | 215,38 |
| 11 | Portafusibles bifásicos para 5 Amp con fusibles | 2 | 8,33 | 8,33 |
| 12 | Portafusibles monofásicos para 5 Amp con fusibles | 2 | 4,17 | 4,17 |
| 13 | Canaleta 25x50x6000mm | 4 | 4,92 | 4,92 |
| 14 | Brakers trifásico 90 amp CAJA NOLDEADA | 2 | 110,77 | 110,77 |
| 15 | Brakers trifásico 5 Amp RIEL DIN | 2 | 25,38 | 25,38 |
| 16 | Brakers trifásico 1 Amp | 1 | 31,00 | 31,00 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | RIEL DIN | | | |
| 17 | Switch para 24V de 5 Amp | 1 | 8,70 | 8,70 |
| | | | SUBTOTAL | 1.178,65 |

Fuente: Ingelcom.

Elaborado por: Campaña Christian/ Lincango Diego

## 5.4 COSTO DE MAQUINARIA UTILIZADA Y MANO DE OBRA.

La tabla 5.4 se indica el costo de la maquinaria utilizada y mano de obra.

**Tabla 5.4: Costos de mecanizado y ensamblaje**

| Operación | Tiempo empleado [horas] | Costo normal [usd/horas] | Costo total [usd] |
|---|---|---|---|
| Torneado | 40 | 12,00 | 480,00 |
| Fresado | 8 | 10,00 | 80,00 |
| Soldado | 40 | 10,00 | 400,00 |
| Oxicorte | 12 | 10,00 | 120,00 |
| Amolado | 5 | 8,00 | 40,00 |
| Taladro manual | 8 | 6,00 | 48,00 |
| Machuelado | 5 | 3,50 | 17,50 |
| Montaje | 80 | 4,00 | 320,00 |
| Varios | 10 | 3,50 | 35,00 |
| Mecanizado de chaveteros en catarinas y piñones cónicos | | | 40,00 |
| | | SUBTOTAL | 1.580,50 |

Fuente: Maquinarias Cialmaco Cia. Ltda.

La tabla 5.5 señala los equipos que requiere la máquina para su funcionamiento.

**Tabla 5.5: Equipos adicionales**

| Accesorios | Cantidad | Costo unitario [USD] | Costo total [USD] |
|---|---|---|---|
| Transportador de rodillos | 2 | 7.814,42 | 15.628,84 |
| CV-400 | 2 | 6.430,00 | 12.860,00 |
| Alimentador LN-10 | 2 | 3.330,00 | 6.660,00 |
| Antorcha Magnum-Pro | 2 | 225,00 | 450,00 |
| | | Total | 35.598,84 |

Fuente: INABRAS

Elaborado por: Campaña Christian/ Lincango Diego

## 5.5 COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos son aquellos que no intervienen de forma directa en la construcción de la máquina. Estos costos se derivan de los materiales indirectos, mano de obra indirecta y otros costos producto del pago de servicios básicos, personal administrativo, depreciación de los equipos, entre otros. Estos últimos no pueden asignarse con precisión; por lo tanto se necesita una base de prorrateo.

En la Tabla 5.6, se presenta detalladamente los costos de mano de obra indirecta.

**Tabla 5.6: Costo de Ingeniería y Diseño, Mano de Obra Indirecta**

| Detalle | Tiempo empleado [h] | Costo unitario [usd/horas] | Costo total [usd] |
|---|---|---|---|
| Ingeniería y Diseño | 150 | 6.5 | 975 |
| Dibujo de planos | 100 | 4 | 400 |
| Supervisión | 20 | 3.20 | 64 |
| | | SUBTOTAL | 1.439,00 |

Fuente:Propia

Elaborado por: Campaña Christian/ Lincango Diego

## 5.5 COSTO TOTAL.

Un resumen del costo total se presenta en la tabla 5.7

**Tabla 5.7 Costo total**

| Rubro | Costo (USD) |
|---|---|
| Costo de materiales a ser transformados | 1.829,35 |
| Costo de materiales normalizados (mecánicos) | 6.138,37 |
| Costo de materiales normalizados (eléctricos) | 1.178,65 |
| Costo de maquinaria utilizada y mano de obra | 1.580,50 |
| Equipos adicionales | 35.598,84 |
| Costo de Ingeniería de diseño | 1.439,00 |
| SUBTOTAL | $ 47.764,71 |

## 5.6 COSTO DE FABRICACIÓN

A modo de justificar en forma más clara el costo de soldadura con alambre tubular, se proporciona el siguiente ejemplo:

*Se desea establecer el costo de fabricación de una viga de sección armada que tiene de alma 400x4 mm, patines 150x8 mm y longitud de 12000 mm*

Para esto en la Tabla 5.8 se intenta enfocar el problema con un equilibrio justo entre la exactitud y la simplicidad, es decir proponiendo fórmulas de costos de fácil aplicación teniendo como base de cálculo el metro lineal (m.l.)

**Tabla 5.8: Determinación de costos en operaciones de soldadura**

| FÓRMULAS Base de Cálculo: metro lineal (ml) | | |
|---|---|---|
| 5.8.1 | Costo electrodo | $\frac{(\$)}{m.l.} = \frac{\text{Pmd (kg/ml) x Valor electrodo (\$/kg)}}{\text{Eficiencia deposición (\%)}}$ |
| 5.8.2 | Costo M.O. y G. Grales. | $\frac{(\$)}{m.l.} = \frac{\text{Pmd (kg/ml) x Valor M.O. y G.G. (\$/hr)}}{\text{Velocidad deposición (kg/hr) x F. operación (\%)}}$ |
| 5.8.3 | Costo gas | $\frac{(\$)}{m.l.} = \frac{\text{Pmd (kg/ml) x Flujo gas (m}^3\text{/hr) x Valor gas (\$/m}^3\text{)}}{\text{Velocidad deposición (kg/hr)}}$ |

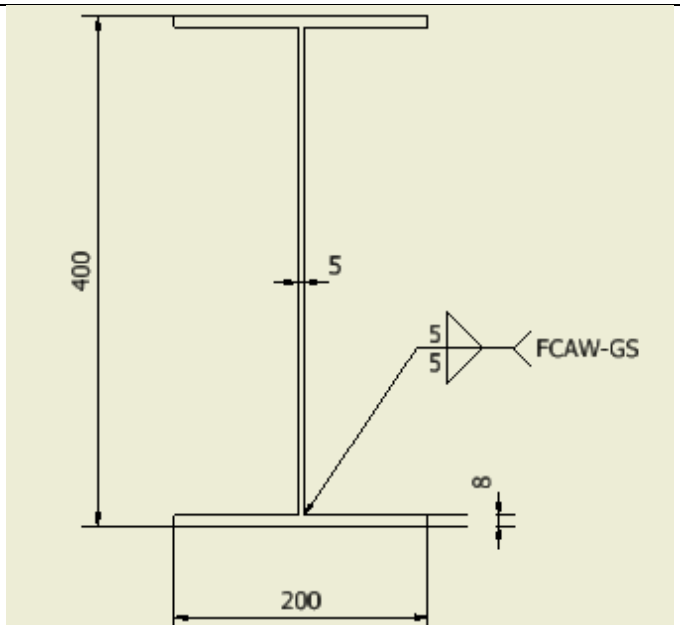
Fuente: Manual de sistemas y materiales de soldadura, Indura Ecuador

Donde:

- **Peso del metal depositado (*Pmd*)**: Cantidad de metal de aporte necesario para completar una unión soldada. Relación para determinar peso metal depositado.
- **Eficiencia de aportación o deposición**: Relación entre el metal efectivamente depositado y la cantidad en peso de electrodos requeridos para efectuar ese depósito.
- **Velocidad de deposición**: Cantidad de material de aporte depositado en una unidad de tiempo.
- **Factor de operación:** Se define como la relación entre el tiempo en que ha existido arco y el tiempo real o tiempo total pagado.
- **Flujo gas:** Cantidad de gas necesario para protección por unidad de tiempo. Ver anexo 5.10

En la tabla 5.9 en base al ejemplo planteado se estima los costos con las fórmulas de la tabla 5.8

**Tabla 5.9: Estimación de costos**

| **Costo de fabricación de viga de sección armada tipo "I"** | | |
|---|---|---|
| **Esquema:** |  | |
| **Proceso** | : | FCAW-GS |
| **Método de aplicación** | : | Semiautomático |
| **Tipo de electrodo** | : | LW-71 LINCOLN**,** clasificación AWS E71T-1 |
| **Diámetro del electrodo** | : | 1.2 mm (0.045 plg) |
| **Corriente de soldadura, $Is$ $(amp)$** | : | 270 amp |
| **Voltaje de soldadura, $Ua$ $(V)$** | : | 28.5 V |
| **Velocidad de alimentación de alambre, (ipm)** | : | 231 |
| **Gas de protección** | : | 100% $CO_2$ |
| **Tasa de deposición, $Ad$ $(kg/h)$** | : | 2.96 kg/h |
| **Velocidad de avance, $Vs$ $(cm/min)$** | : | 34.88 cm/min |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Peso del metal depositado Pmd kg/m.l.** | : | 0.117 kg/m.l. (Anexo 5.10) | **Fórmula 5.8.1 Costo electrodo ($/m.l.)** **0.58** |
| **Eficiencia de deposición** | : | 83% (Anexo 5.10) | |
| **Valor del electrodo $/kg** | : | 4.11 $/kg (Anexo 5.8) | |
| **Valor de Mano de obra y Gastos generales ($/h)** | : | 5,00 $/h | **Fórmula 5.8.2 Costo de Mano de obra y gastos generales ($/m.l.)** **0.33** |
| **Tasa de deposición, $Ad\ (kg/h)$** | : | 2.96 kg/h | |
| **Factor de operación** | : | 60 % (Anexo 5.10) | |
| **Flujo de gas, $m^3/h$** | : | 1.2 $m^3$/h (Anexo 5.10) | **Fórmula 5.8.3 Costo gas ($/m.l.)** **0.15** |
| **Valor gas, $/$m^3$** | : | 3.11 $/$m^3$ (Anexo 5.11) | |
| **Tasa de deposición, $Ad\ (kg/h)$** | : | 2.96 kg/h (Anexo 5.10) | |
| **Energía eléctrica, Kw-h** **Para t=0.5 h** | : | $\frac{Ua \cdot Is \cdot F\ Op \cdot tiempo(h)}{1000}$ 2.308 Kw-h | **Costo de la energía eléctrica ($/m.l.)** **0.03** |
| **Precio de la energía eléctrica ($/Kw-h)** | | 0.15 $ / Kw-h | |
| | | **Precio por: $/m.l.** | **1.09** |

## 5.7 ESTIMACIÓN DEL COSTO DE FABRICACIÓN POR Kg

El ejemplo planteado de la fabricación de una viga que tiene de alma 400x4 mm, patines 150x8 mm y longitud de 12000 mm, para obtener el costo por Kg se ha considerado el precio del material actual (ver Tabla 5.10) adicionando el costo de soldadura por metro lineal calculado en la Tabla 5.9

**Tabla 5.10: Precio por Kg trabajado**

| ITEM | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | UNIDAD | PRECIO UNITARIO USD/unidad | PRECIO TOTAL USD |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ACERO ASTM A36 *Viga tipo I long=12mts; Alma 400x5mm Patín 200x8mm* | 482,28 | kg | 1,25 | 602,85 |
| 2 | Costo de soldadura | 48,00 | m.l. | 1.09 | 52,32 |
| | | | | TOTAL | $ 655,17 |
| | | | | Precio $/kg | 1,35 |

No contempla este costo los traslados de la materia prima y corte de las planchas.

Un costo referencial, considerando la fabricación manual y artesanal pues así se trabaja en los talleres, es de USD 2,00.

Por lo tanto hay un ahorro de USD 0.65/kg que equivale a un 32.5%.

# CAPITULO VI

## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 CONCLUSIONES

1. Se cumple con el objetivo principal de diseñar y simular una máquina conformadora de vigas tipo "I" semiautomática con proceso de soldadura FCAW, de acuerdo a los requerimientos del mercado.

2. El diseño desarrollado permite reducir el tiempo de fabricación y soldadura de las vigas.

3. Un variador de frecuencia da la oportunidad de trabajar con el motorreductor a distintas velocidades e inversión de giro, con lo cual solo consume la potencia que necesita para determinado momento, volviéndose así dinámico y eficaz dentro de la industria.

4. La programación del PLC tiene varias etapas que va desde lo más sencillo, activar o desactivar un actuador por medio de bobinas y contactos hasta una gama de complejas combinaciones de operaciones que conforman un solo programa para controlar un proceso dado.

5. La visualización del proceso se obtiene por medio del HMI realizado en el Intouch, ingresando correctamente las variables de programación en la aplicación, para esto los Tagname deben tener sus propias condiciones de funcionamiento y deben ser declaradas si son I/O discretas, reales, enteras entre otras, para que el Intouch 10.0 ejecute la orden indicada y la visualización sea la esperada.

6. El control de las variables de soldadura es la base fundamental del buen funcionamiento del prototipo, porque se asegura la calidad tanto en penetración y dimensión correcta de la pierna de soldadura depositada en los filetes, además las variables no son completamente independientes porque el cambio en el valor de alguna de ellas generalmente requiere el ajuste de otra para producir los resultados esperados, para esto se requiere habilidad del operador de la máquina.

7. El cálculo por el método por elementos finitos dado por el entorno FEM de Autodesk Inventor se presta para realizar análisis exhaustivos a una gran cantidad de elementos sin importar su complejidad y forma.

## 6.2 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que las láminas de acero (alma y patín) se corten con plasma porque tiene mejor calidad de corte, mayor capacidad de producción y no produce ondulaciones, además es un requisito fundamental que las láminas de acero sean perfectamente alineadas y tengan medidas uniformes en el ancho, previo el ingreso a la máquina.

2. Tomar en consideración el listado de vigas propuesto y transmitir a profesionales del cálculo estructural para que en sus diseños las consideren.

3. Se recomienda utilizar máquinas de elevación y transporte de carga para ser utilizado en procesos que implican almacenamiento o bien en todo lo relativo a la fabricación.

4. Se recomienda estudiar el PLC, el software y su programación para tener un perfecto control del proceso, además tomar todas las medidas de seguridad necesarias cuando se pruebe un nuevo programa dentro del mismo.

5. Se recomienda precalificar las especificaciones del procedimiento de soldadura (WPS) con el soporte del registro del procedimiento de soldadura (PQR) y calificar al operador.

6. Inspeccionar el tamaño, penetración y calidad de soldadura conforme al WPS calificado por un laboratorio especializado para la operación de soldadura con alambre tubular con protección gaseosa simultánea que la máquina realiza.

7. Para el manejo de la máquina conformadora de vigas de sección armada tipo “I”, se debe seguir cuidadosamente los pasos detallados en el manual de operación del usuario.

## BIBLIOGRAFÍA


- BEER, Ferdinand, y otros, *Mecánica de Materiales*, $3^{era}$. Edición, Editorial McGraw-Hill, México-México DF, 2004.
- MOTT, Robert; *Diseño de elementos de máquinas*, $4^{ta}$. Edición, Editorial PEARSON, México DF, 2006.
- SHIGLEY, Joseph, *Manual de diseño mecánico*; $4^{ta}$. Edición, Editorial McGraw Hill, México DF, 1989.
- SHIGLEY. Joseph y MISCHKE, Charles., *Diseño en Ingeniería Mecánica*, $6^{ta}$Edición, Editorial McGraw Hill, México DF, 2004.
- NORTON, Robert, *Diseño de máquinas*, $3^{era}$. Edición, Editorial Prentice Hall, México DF, 2006.
- BEER, Ferdinand P y JOHNSTON, Russell E., *Mecánica Vectorial para Ingenieros Dinámica*, , $8^{va}$. Edición, Editorial McGraw Hill, México, 2007.
- McCORMAC, Jack, *Diseño de Estructuras Metálicas Método ASD*, $4^{ta}$. Edición, Editorial Alfaomega, México, 1999.
- BROCKENBROUGH, Roger, *Manual de Diseño de Estructuras de Acero*, $3^{ra}$. Edición, Editorial McGraw Hill, 1997.
- VINNAKOTA, Sriramulu, *Estructuras de Acero Comportamiento y LRFD*, $1^{ra}$. Edición, Editorial McGraw Hill, 2006.
- LINCOL, Electric, *The Procedure handbook of Arc Welding*, $13^{ra}$. Edición, Editorial Lincoln Electric, Ohio 1995.
- AWS, *Welding Handbook, Ingeniería, costos, calidad, y seguridad*, $7^{ma}$. Edición, vol. 5, Editorial W.H. Kearns, Miami, 1999.
- AISC, *Manual of Steel Construction*, $13^{th}$. Edición, Editorial the Institute, Chicago, 2007.

- LARBURU, Nicolás; *Prontuario de máquinas,* $13^{th}$. Edición, Editorial Paraninfo, Madrid, 2006.
- CRANE, *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*, Edición, Editorial McGraw Hill, México, 2006.
- GARCÍA, Emilio, *Automatización de procesos industriales*, Edición, Editorial Alfaomega, México, 2000.
- STERLING, Kinney, Análisis de Estructuras Indeterminadas, $16^{th}$. Edición, Editorial Continental, México, Mayo de 1981.
- FRAILE, Francisco, Diseño, cálculo y comprobación de unión soldada en viga de puente grúa de alma doble, Tesis U.P.M E.T.S de Ingenieros de caminos, canales y puertos, Madrid, Junio de 2010.
- ANDRANGO, Miguel, Diseño y simulación de una máquina posicionadora de vigas tipo "I" semiautomática Fabsteel, Tesis U.P.S. Facultad de Ingenierías, Quito, 2009
- SKF, *Catalogo General de Rodamientos*, 2006
- BOHMAN, Ivan, *Manual de Acero Especiales*, Quito-Ecuador, 2007.


**PÁGINAS WEB CONSULTADAS**


http://www.festo.com

http://www.motovario.com

http://www.ivanbohman.com.ec

http://fur.ly/839t

http://bit.ly/I6QK4y

http://bit.ly/JPAO7h

# ANEXOS

# ANEXO A

## MANUAL DE OPERACIÓN

Cómo característica fundamental del diseño de la máquina, para que durante todo el proceso de conformado y soldadura de los filetes sea semiautomática, desde el ingreso de la viga tipo "I" hasta la salida de la misma, para lo cual es pertinente cumplir los siguientes requerimientos:

## INSTRUCTIVO DE OPERACIÓN

La Instalación de la máquina debe ser en un lugar iluminado con el piso a nivel, de ser necesario realizar el trazado y marcado en lugar de ubicación; según el lay-out de la planta.

Comprobar y analizar las indicaciones contenidas en los planos y documentos técnicos, para montar e instalar correctamente la maquinaria y equipos.

Se requiere fuente de alimentación trifásica (220V) con neutro y conexión a tierra.

Es necesario que la máquina posea un compresor que abastezca para todo su ciclo de trabajo; las fuentes energéticas utilizadas en redes de aire comprimido son compresores helicoidales o compresores de émbolo. Estos compresores entregan una presión de salida desde 700 hasta 800 kPa (7 hasta 8 bar). De esta manera se tiene la seguridad de disponer de una presión de funcionamiento suficiente de mínimo 600 kPa (6 bar) en los actuadores aunque se produzcan fugas (zonas con defectos, en las que se escapa involuntariamente el aire) o disminuya la presión en la red de tubos.

## DETALLE DE MECANISMOS:

La máquina tiene un motorreductor para la transmisión de potencia para hacer girar una pareja de rodillos de la caja de conformado fija, transmitidos entre ellos con catalina y cadena, como se indica en la Figura A1

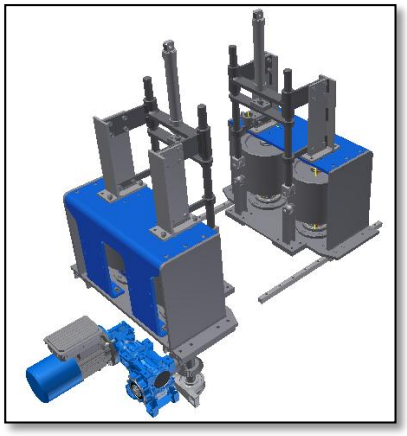


Figura A1: Detalle de mecanismos de las cajas de conformado

**Características:**

- El mecanismo gira a 0.6 rev/min, el cual se obtuvo de su respectivo cálculo.

- El motorreductor es de tipo tornillo sin fin NRV/NMRV POWER que representan hoy la respuesta más innovadora a las exigencias del mercado en cuanto a eficiencia y flexibilidad.

- Transmisión de potencia por eje macizo, guiado en la caja de conformado mediante rodamientos y exteriormente por una chumacera; su movimiento se obtiene con engranes cónico que transmiten movimiento de rotación entre ejes que se intersecan.

- Los rodillos conformadores arrastran a la sección con cuatro rodillos, dos en cada caja de conformado, de tal forma que propician la alineación respecto a la máquina y el armado de la sección.

- La caja de conformado móvil es guiado sobre transportadores con riel fija anclado sobre la estructura de la máquina.

- Los sistemas de centrado del alma trabajan verticalmente, ajustando el alma a los rodillos fijos de base.

El aire comprimido es un fluido rápido. Con él, los émbolos ejecutan movimientos muy veloces y los tiempos de conmutación son muy cortos, por ello la máquina posee sistema neumático en todo lo que respecta el conformado de la sección; tiene una serie de elementos neumáticos que desplazan a elementos mecánicos, como se muestra en la Figura A2.

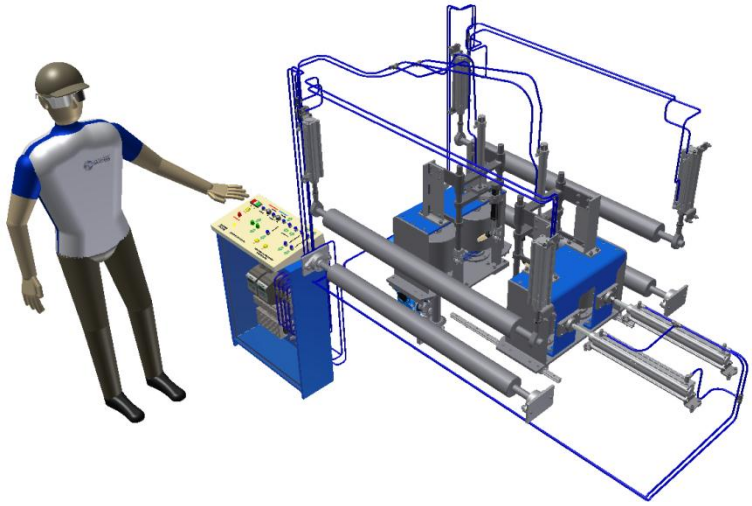


Figura A2: Disposición de elementos neumáticos en la máquina

**Características:**

- La adaptación al peralte, el centrado del alma y la sujeción de la viga a la máquina tiene como principal asistencia al sistema neumático encargado de armar la sección impulsando los elementos mecánicos al sitio de interés.
- Todos los cilindros de doble efecto poseen regulador de caudal.
- El sistema de sujeción está controlado por cuatro electroválvulas solenoide-solenoide para abrir o bloquear la alimentación de aire comprimido y permitir que los cilindros avance y retrocedan; cada una controla dos cilindros y funcionan sincronizadamente con los sensores de proximidad y presóstato.
- El sensor de proximidad inductivo cumple la función de detección de posición del vástago de los cilindros que ajustan al peralte y centran el alma; los detectores de proximidad montados a ras en la ranura. Por lo tanto es posible prescindir de elementos de fijación adicionales y, además, los detectores están más protegidos.

**PANEL DE CONTROL:**

El panel de control cuenta con las facilidades visuales y lógicas para la comprensión del operador, como se muestra en la Figura A3.

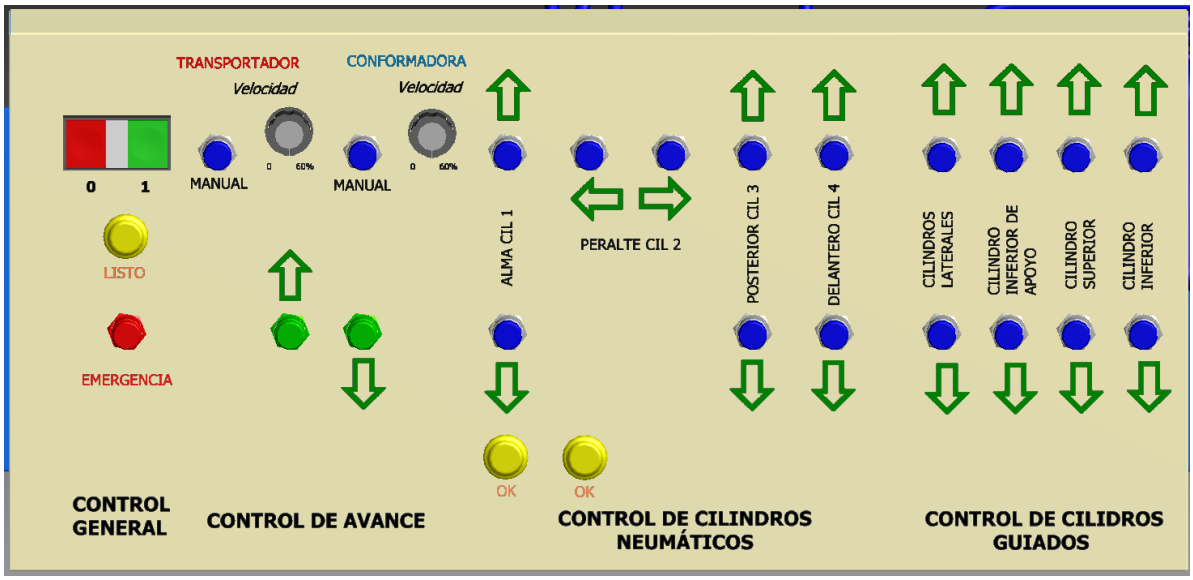



Figura A3: Panel de control

La Figura A4 se observa la distribución de los controles sobre el tablero de control para la operación de la máquina.

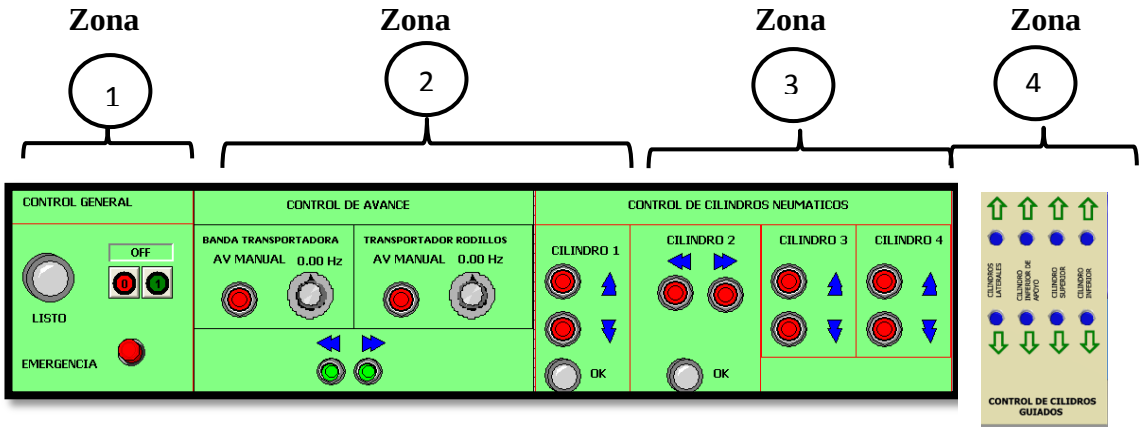



Figura A4: Distribución de los pulsantes, potenciómetros sobre el panel de control

La Tabla A1 se indica la descripción de los controles en el panel de control constituido por cuatro zonas identificadas en la Figura A4

**Tabla A1: Descripción de cada zona**

| ZONA | DESCRIPCIÓN |
|---|---|
| ① | **Control general,** tiene una luz indicadora "*Listo*" que es encendida cuando todos los ajustes previos del armado de la sección tipo "I" son operativos, además esta zona del panel de control tiene una botonera principal, tanto para el encendido (1) como para el apagado (0) y en especial un botón "*Emergencia*" de enclavamiento para la parada de emergencia para prevenir malas maniobras y accidentes. |
| ② | **Control de avance,** se caracteriza por reunir variables para el control del avance ajustando la velocidad de desplazamiento y el sentido de operación. Da la posibilidad de realizar ajustes previos pulsando el AV MANUAL tanto del transportador como de los rodillos de conformado. Esta zona es importante porque tiene la regulación de la velocidad de avance que el operador ubica minuciosamente en base a los estudios de las variables de soldadura. |

| | |
|---|---|
| | **Control de cilindros neumáticos**, botoneras para ajustar al peralte de la viga, centrado del alma al patín y estabilizar la viga que se va armando mediante el tren delantero y el tren posterior. |
| | **Control de cilindros guiados**, En esta zona se ubica los controles de la zona de prearmado y se realiza el punteado manual en el inicio de la viga. |

## PASOS A SEGUIR PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA

Los siguientes pasos son para la correcta manipulación y puesta en marcha de la máquina:

1. Verificar que los cilindros de recepción de la viga se encuentren en su posición original con sus respectivos sensores activados, además comprobar tanto el manómetro del compresor y del módulo tengan la presión de trabajo (6 bar).

2. Colocar los flejes sobre el transportador y ubicarlos en la zona de prearmado, realizar los ajustes necesarios dirigirse al panel de control y sobre la zona 3 (control de cilindros neumáticos) presionar el pulsante; se extienda los vástagos para ensamblar y puntear el inicio de la viga manualmente.

3. Colocar la viga de sección armada previamente punteado en su inicio sobre el transportador de rodillos para nivelar y acercar a la máquina.

4. Ingresar la viga aproximadamente unos 500 mm para ajustes previos.

5. Dirigirse al panel de control y sobre la zona 3 (control de cilindros neumáticos) presionar el pulsante para el cilindro **2**; que extiende los vástagos horizontalmente para adaptarse al peralte de la viga y alinearlo longitudinal.

6. Dirigirse al panel de control, sobre la zona 3 (control de cilindros neumáticos) presionar el pulsante para el cilindro **1**; que extiende los vástagos verticalmente para centrar el alma al patín.

7. Dirigirse al panel de control, sobre la zona 3 (control de cilindros neumáticos) presionar el pulsante para el cilindro **3**; que extiende los vástagos verticalmente para estabilizar la sección ajustando la viga a la máquina.

8. Dirigirse al panel de control, sobre la zona 3 (control de cilindros neumáticos) presionar el pulsante para el cilindro **4**; que extiende los vástagos verticalmente para estabilizar la sección ajustando la viga a la máquina.

9. Verificar que sobre el panel de control las señales luminosas estén encendidas.

10. Ubicarse en las fuentes CV400 y colocar las variables de amperaje, voltaje; en los alimentadores LN10 ubicar la velocidad de alimentación.

11. Ubicarse en el panel de control, sobre la zona 2 (control de avance), girar los potenciómetros para colocar la velocidad de avance de la conformadora y del transportador en base a las variables de soldadura y ubicar el desplazamiento.

12. Verificar que sobre el panel de control, sobre la zona 1 (control general) la señal luminosa esté encendida "LISTO".

13. Verificar que las antorchas tengan la *extensión del alambre* de 3/4" y el ángulo de trabajo de $40^{o}$ a $50^{o}$ respecto al metal base.

14. Ubicarse en el panel de control, sobre la zona 1 (control general) y poner en marcha la máquina presionando la botonera en posición **1** para iniciar la operación de conformado y soldadura longitudinal simultánea automáticamente.

15. Durante el desplazamiento de la viga verificar que todos los mecanismos de la máquina funcionen correctamente, el depósito de cordones de filete sea óptimo.
16. Ubicarse en el panel de control, sobre la zona 1 (control general); colocar en parada del motor presionando la botonera en posición **0**
17. Retracción de vástagos de toda la máquina para liberar la viga y proceder a girarla para proceder desde el paso número 1 de este listado.

**INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO**

| **PLAN DE MANTENIMIENTO DE CILINDROS DE DOBLE EFECTO** | | |
|---|---|---|
| **Matto.** | **Trabajo** | **Observaciones:** |
| Semanal | 1. Control general de: Fugas en el propio cilindro y su conexionado.<br>2. Ajuste y alineación de montaje del cilindro.<br>3. Regulación de amortiguadores. | - Eliminar por ajuste todas las posibles fugas.<br>-En caso de persistir, programar el remplazo de la guarnición correspondiente a la brevedad posible.<br>- El montaje defectuoso y/o la inadecuada regulación de las amortiguaciones pueden conducir a un deterioro prematuro del actuador.<br>- Asegurar que los movimientos pueden realizarse libremente sin ocasionar esfuerzos secundarios sobre el mismo, es preferible sobre amortiguar ligeramente cada movimiento. |
| Mensual | Desarme parcial, limpieza y control de desgaste. | Lavar por inmersión las partes esenciales, no es necesario desarmar el conjunto vástago –émbolo |
| Semestre | Desarme total, limpieza y recambio preventivo de partes | - Deberán ser remplazadas preventivamente las siguientes partes:<br>Vástago<br>Culata delantera y posterior<br>Anillo de fricción<br>- Lubricar, armar y probar su óptimo funcionamiento. |

## MATRIZ DE ACTIVIDADES

| SISTEMA NEUMÁTICO | | RECURSOS | | | | Nomenclatura |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Matto.** | **Actividad a desarrollar** | **Repuesto** | **Herr.** | **Tiempo estimado (min)** | **Personal** | |
| S | Control general de: Fugas en el propio cilindro y su conexionado. | - | Llave boca No.14 | 15 | 1 Mecánico | |
| S | Ajuste y alineación de montaje del cilindro. | - | Hex. M8 | 5 | 1 Mecánico | |
| S | Regulación de amortiguadores | - | Llave boca No.24 | 5 | 1 Mecánico | |
| M | Desarme parcial, limpieza y control de desgaste. | - | Hex. M8, Nafta, cepillo | 30 | 1Mecánico | |
| SM | Desarme total, limpieza y recambio preventivo de partes | Vástago M8x25 Culata delantera posterior, amorti-guador | Hex. M8, Llave boca 14, Lubricador Hyspin AWS32 | 80 | 1Mecánico, 1 Ayudante | |

| PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE ELECTROVÁLVULAS | | |
|---|---|---|
| **Matto.** | **Trabajo** | **Observaciones:** |
| Semanal | 1. Control general de: Fugas por la válvula o su conexionado, en los mandos, vibración y calentamiento de solenoides | - Eliminar por ajuste todas las posibles fugas.<br>- En caso de persistir realizar el recambio.<br>- En caso de ruido, vibración y calentamiento del solenoide reparar de inmediato la avería consultando la guía de detección y solución de fallas. |

**MATRIZ DE ACTIVIDADES**

| **SISTEMA NEUMÁTICO ELECTROVÁLVULA** | | **RECURSOS** | | | | **Nomenclatura** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Matto.** | **Actividad a desarrollar** | **Repuesto** | **Herr.** | **Tiempo estimado (min)** | **Personal** | |
| S | Control general de: Fugas por la válvula o su conexionado, en los mandos, vibración y calentamiento de solenoides | Reparación: no posible recambio CPE18-M1H-5/3G-1/4 | Llave boca 14<br>Corta-tubos | 15 | 1 Mecánico | |

| PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LA UNIDAD DE MANTENIMIENTO | | |
|---|---|---|
| **Matto.** | **Trabajo** | **Observaciones:** |
| Diaria | 1. Controlar el nivel de lubricante.<br>2. Control de la regulación de presión<br>3. Purgar condensados | - Reponer lubricante cuando este se haya agotado.<br>- Verificar ajustes<br>- Esta actividad desarrollar con el operario de la máquina. |
| Semanal | 1. Reponer aceite en el lubricador | - Completar la carga de lubricante.<br>- Esta actividad desarrollar con el operario de la máquina. |
| Mensual | 1. Limpiar elementos filtrantes de >5 µm | - Lavar vaso y deflectores plásticos con agua y jabón neutro.<br>-Remplazar filtros micrónicos si presenta obstrucción.<br>- Realizar el recambio de piezas deterioradas. |
| Anual | 1 Desarme total, limpieza y recambio preventivo de partes<br>2. Lubricación | - Despresurizar la unidad de mantenimiento.<br>-Desarmar la unidad de mantenimiento y cambiar filtros y lubricadores.<br>- Revisar el manual del fabricante. |
| **Notas:**<br>- La unidad de mantenimiento de la máquina dependiendo de donde sea su destino de trabajo, este puede ser en climas húmedos, instalaciones de generación y distribución viejas y poco mantenimiento la frecuencia del purgado es considerablemente superior. | | |

## MATRIZ DE ACTIVIDADES

| **SISTEMA NEUMÁTICO Unidad de Matto.** | | **RECURSOS** | | | | **Nomenclatura** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Matto.** | **Actividad a desarrollar** | **Repuesto** | **Herr.** | **Tiempo estimado (min)** | **Personal** | |
| D | Controlar el nivel de lubricante. | - | visual | 2 | 1 Mecánico | |
| D | Control de la regulación de presión | Diafragma | manual | 15 | 1 Mecánico | |
| D | Purgar condensados | - | manual | 10 | 1 Mecánico | |
| S | Reponer aceite en el lubricador | Aceite Hyspin AWS32 | manual | 3 | 1 Mecánico | |
| M | Limpiar elementos filtrantes de >5 µm | Filtro micrónico | manual | 5 | 1 Mecánico | |
| A | Desarme total, limpieza y recambio preventivo de partes Lubricación | Filtro micrónico, Aceite Hyspin AWS32 | Desarmador plano | 30 | 1 Mecánico | |

**Nota**: Mantenga un stock mínimo indispensable para garantizar el servicio y repuestos legítimos del fabricante.

| PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE RODAMIENTOS | | |
|---|---|---|
| **Matto.** | **Trabajo** | **Observaciones:** |
| Mensual | 1. Engrasado de rodamientos | - Engrasar los rodamientos de la caja fija y móvil, SKF 6305, 7209 BEP<br>- Verificar ajustes<br>- Esta actividad desarrollar con el operario de la máquina. |
| 50Khors | 1. Cambiar rodamientos de la caja fija y móvil | - Detener la operación<br>- Esta actividad desarrollar con el operario de la máquina. |
| **Notas:**<br>- La importancia de usar la grasa correcta para los rodamientos, así como su correcta aplicación, nunca debe ser subestimada. | | |

**MATRIZ DE ACTIVIDADES**

| **SISTEMA DE CONFORMADO: Rodamientos** | | **RECURSOS** | | | | **Nomenclatura** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Matto.** | **Actividad a desarrollar** | **Repuesto** | **Herr.** | **Tiempo estimado (min)** | **Personal** | |
| D | Engrasado de rodamientos | Grasa SKF GRA-TM2 | HexM8 Bomba hidrau | 15 | 1 Mecánico | |
| 50Kh | Control de la regulación de presión | SKF 6305, 7209 BEP SY1.1 4TF | Llave gancho, Santiagp | 120 | 1 Mecánico, 1 Ayudante | |

| PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE GUÍAS LINEALES SKF | | |
|---|---|---|
| **Matto.** | **Trabajo** | **Observaciones:** |
| Mensual | 1. Engrasado del transportador<br>2. Ajuste del riel sobre la estructura. | - Engrasar el transportador LLTHS 20 A por el grasero posterior.<br>- Verificar ajustes de la Riel sobre la estructura de la máquina.<br>- Esta actividad desarrollar con el operario de la máquina.<br>-Limpiar las guías. |
| 50Khors | 3. Cambiar rodamientos de la caja fija y móvil | - Detener la operación<br>- Esta actividad desarrollar con el operario de la máquina. |
| **Notas:**<br>- SKF transportador y guía lineal están engrasados y son así listos para su uso. | | |

**MATRIZ DE ACTIVIDADES**

| **Guías Lineales: SKF** | | **RECURSOS** | | | | **Nomenclatura** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Matto.** | **Actividad a desarrollar** | **Repuesto** | **Herr.** | **Tiempo estimado (min)** | **Personal** | |
| D | Engrasado del transportador | Aceite Hyspin AWS32 | Bomba hidrau | 15 | 1 Mecánico | |
| D | Ajuste del riel | M6x16 | Hex M6 | 30 | 1 Mecánico | |
| 50Kh | Cambio de la riel y transportador | LLTHS 20 A | Hex M6 | 100 | 1 Mecánico, 1 Ayudante | |

## MANTENIMIENTOS COMPLEMENTARIOS

Mantenimientos complementarios también requiere de un plan de mantenimiento, el cual constará de:

### - VERIFICAR AJUSTE DE UNIONES EMPERNADAS

La verificación de uniones empernadas se lo realizará cada 6 meses, con esto se garantizará que los pernos tengan precarga, las herramientas a utilizar serán llaves tipo Allen de 3, 5, 6, 8 y 10 mm

### - MANTENIMIENTO EN EL CABLEADO DEL LOGO

Para efectuar el mantenimiento del cableado en el LOGO, se debe realizar un reajuste de los terminales eléctricos los mismos que si no están debidamente ajustados provocarán aumento en la temperatura de los terminales desencadenando en recalentamiento sobre los conductores y con ello futuras fallas eléctricas como es el corto circuito, para ello en el ajuste de dichos terminales utilice un destornillador con un ancho de hoja de 3 mm (destornillador de horneras). Para los bornes no se requiere casquillos terminales, pudiendo utilizarse conductores con secciones de hasta: 1 x 2.5 $mm^2$, 1 x 1.5 $mm^2$

### - ASPECTO DE LA MÁQUINA

Verificar el aspecto de la máquina, esto se lo realizará semanalmente. Con este proceso se garantizará mantener a la máquina en buenas condiciones visuales.

## AVERÍAS QUE PUEDEN OCURRIR

De existir algún problema durante la regulación, instalación y puesta en marcha de la máquina, recurrir siempre al **"*Instructivo de operación y Mantenimiento*"**

### Motorreductor

- Uso del reductor/variador no conforme con las normas vigentes en materia de seguridad y prevención de accidentes.
- Operaciones efectuadas por personal no cualificado.
- Instalación errónea.
- Alteración voluntaria del producto.
- Error o inobservancia de las instrucciones señaladas en el manual.
- Suministro erróneo de alimentación eléctrica (motorreductores).

### Tecnología Neumática

- Desgaste de componentes y conductos debido a efectos de:
- El medio ambiente.
- La calidad del aire comprimido.
- Movimiento relativo de los componentes.
- Componentes sometidos a esfuerzos indebidos.
- Mantenimiento deficiente.
- Montaje deficiente.
- Obturación de las tuberías.
- Endurecimiento de los elementos, roturas, fugas y caídas de presión, funciones
  equivocadas.

**Control eléctrico**

- Falta de amperaje y voltaje necesario para el motor.
- Falla de algún elemento de protección como fusibles, reles, etc.

**Bobina de electroválvula**

- Falta de amperaje y voltaje necesario para el funcionamiento.
- Mala conexión de equipos.

**PLC**

- Dimensionamiento inapropiado para el sistema.
- Protección incorrecta  para el equipo.
- Cables sueltos o rotos.
- Existe polvo sobre los elementos.
- Tornillos insuficientemente apretados.

## MANUAL DE SEGURIDAD

- Información de seguridad
- Aprenda a manejar la máquina, no permita que nadie opere sin haber leído el instructivo
- Utilice ropa apretada

## INDICADORES DE SEGURIDAD[52]

La señalización es la técnica que suministra una indicación relativa a la seguridad de personas y/o bienes. La correcta señalización resulta eficaz como técnica de seguridad complementaria, pero por sí misma, no elimina el riesgo.

## SEÑALES DE PROHIBICIÓN

| | |
|---|---|
| Entrada prohibida a personas no autorizadas | |
| Prohibido fumar | |
| Prohibido apagar con agua | |

[52] Norma INEN 439, *Colores señales y símbolos de seguridad*

**SEÑALES DE ADVERTENCIA**

| | |
|---|---|
| Riesgo de Tropezar | |
| Riesgo Eléctrico | |
| Cargas suspendidas | |
| Peligro en general | |

**SEÑALES DE OBLIGATORIEDAD**

| | |
|---|---|
| Protección obligatoria de la vista | |

| | |
|---|---|
| Protección obligatoria de la cabeza | |
| Protección obligatoria del oído | |
| Protección obligatoria de los pies | |
| Protección obligatoria del cuerpo | |
| Protección obligatoria de las manos | |
| Vía obligatoria para peatones | |

| | |
|---|---|
| Extintor | |
| Alarma sirena de incendios | |

**SEÑALES INFORMATIVAS**

| | |
|---|---|
| Primeros auxilios | |
| Indicación general de dirección a …… | |
| Indicación de dirección a primeros auxilios | |
| Timbre localización | |

**Nota:** Durante los trabajos de mantenimiento es imprescindible comprender la tarea a realizar, asegurar de que tiene a su alcance los repuestos y herramientas para hacer en el menor tiempo posible, de manera segura acatando la señalización de su entorno, manteniendo en buen estado las piezas y correctamente instaladas.

# ANEXO 1.1

VALORES DE $\omega$ POR TAMAÑO DE SOLDADURA

| Tamaño de la soldadura<br><br>ω (plg) | Valor<br><br>$\omega^{1.3}$ |
|---|---|
| 3/16 | 0.144 |
| 1/4 | 0.165 |
| 5/16 | 0.220 |
| 3/8 | 0.280 |
| 7/16 | 0.342 |
| 1/2 | 0.406 |
| 9/16 | 0.474 |
| 5/8 | 0.543 |
| 3/4 | 0.688 |
| 7/8 | 0.841 |
| 1 | 1.00 |

Fuente: LINCOLN, Electric, *The Procedure Handbook Of Arc Welding*, 1995

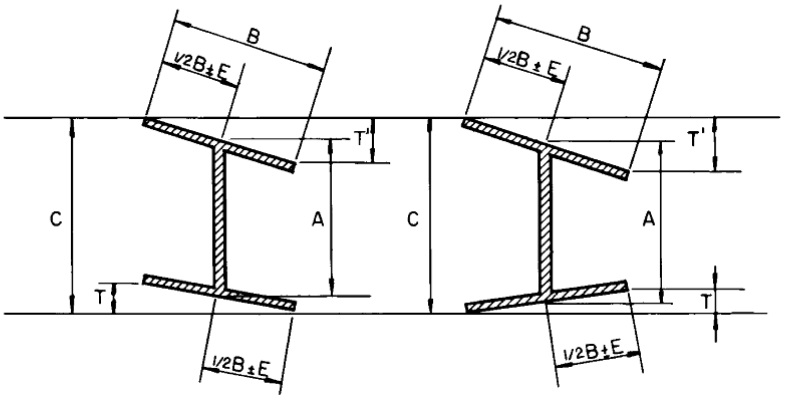
# ANEXO 1.2

TOLERANCIAS PARA LA SECCIÓN TRANSVERSAL

**TABLE 16 Permitted Variations in Cross Section for W, HP, S, M, C, and MC Shapes**

NOTE 1—*A* is measured at center line of web for S, M, and W and HP shapes; at back of web for C and MC shapes. Measurement is overall for C shapes under 3 in. *B* is measured parallel to flange. *C* is measured parallel to web.

NOTE 2—Where "..." appears in this table, there is no requirement.




| Shape | Section Nominal Sizes, in. | Permitted Variations in Sectional Dimensions Given, in. | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *A*, Depth | | *B*, Flange Width | | $T + T'$ [A] Flanges Out-of-Square[B] | *E*, Web off Center[C] | *C*, Maximum Depth at any Cross Section over Theoretical Depth, in. | Permitted Variations Over or Under Theoretical Web Thickness for Thicknesses Given in Inches, in. | |
| | | Over Theoretical | Under Theoretical | Over Theoretical | Under Theoretical | | | | 3/16 and under | Over 3/16 |
| W and HP | Up to 12, incl | 1/8 | 1/8 | 1/4 | 3/16 | 1/4 | 3/16 | 1/4 | ... | ... |
| | Over 12 | 1/8 | 1/8 | 1/4 | 3/16 | 5/16 | 3/16 | 1/4 | ... | ... |
| S and M | 3 to 7, incl | 3/32 | 1/16 | 1/8 | 1/8 | 1/32 | 3/16 | ... | ... | ... |
| | Over 7 to 14, incl | 1/8 | 3/32 | 5/32 | 5/32 | 1/32 | 3/16 | ... | ... | ... |
| | Over 14 to 24, incl | 3/16 | 1/8 | 3/16 | 3/16 | 1/32 | 3/16 | ... | ... | ... |
| C and MC | 1½ and under | 1/32 | 1/32 | 1/32 | 1/32 | 1/32 | ... | ... | 0.010 | 0.015 |
| | Over 1½ to 3, excl | 1/16 | 1/16 | 1/16 | 1/16 | 1/32 | ... | ... | 0.015 | 0.020 |
| | 3 to 7, incl | 3/32 | 1/16 | 1/8 | 1/8 | 1/32 | ... | ... | ... | ... |
| | Over 7 to 14, incl | 1/8 | 3/32 | 1/8 | 5/32 | 1/32 | ... | ... | ... | ... |
| | Over 14 | 3/16 | 1/8 | 1/8 | 3/16 | 1/32 | ... | ... | ... | ... |

[A] $T + T'$ applies when flanges of channels are toed in or out. For channels 5/8 in. and under in depth, the permitted out-of-square is 3/64 in./in. of depth.

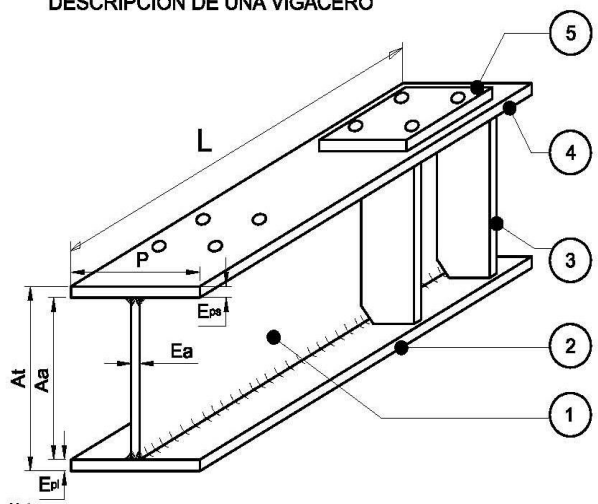
[B] Permitted variation is per inch of flange width for S, M, C, and MC shapes.

[C] Permitted variation of 5/16 in. max for sections over 426 lb/ft.

# ANEXO 1.3

TOLERANCIAS DE FABRICACIÓN DE VIGACERO

## DESCRIPCIÓN DE UNA VIGACERO®




COMPONENTES DE VIGAS SOLDADAS:
1: Alma
2: Patin inferior
3: Rigidizador (**)
4: Patin superior
5: Placas de anclaje con perforaciones (**)

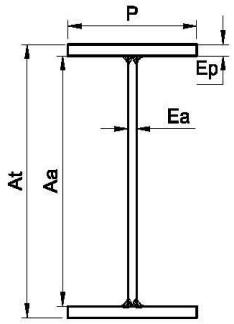
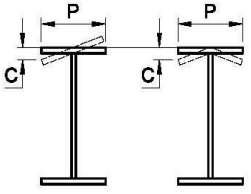
NOMENCLATURA :
P: Patin
Aa: Ancho de alma
L: Longitud
At: Altura total de la Viga
Ea: Espesor de alma
Eps: Espesor de patin superior
Epi: Espesor de patin inferior

Nota:
1.- Las vigas soldadas no incluyen cortes especiales en sus extremos, estos cortes deberán ser consultados por el Dpto. de Ingeniería y Programación de la producción, para coordinación de tiempos de entrega y costos adicionales

2.- (**) Las vigas que contengan elementos estructurales como rigidizadore, placas de anclaje perforadas, o perforaciones o tolerancias especiales en sus componentes principales no indicadas en este manual deberán ser consultadas con los Dptos. de Ingeniería y Programación de KUBIEC, para coordinación de tiempos de entrega y costos adicionales

3.- Perforaciones mayores o iguales a 30mm se realizarán por oxicorte o plasma con su correspondiente acabado
4.- En vigas que sean fabricadas bajo pedido especial con espesore menores a los indicados en esta tabla, podrían presentar oleamientos en sus componentes, esto no será motivo de rechazo o no conformidad.

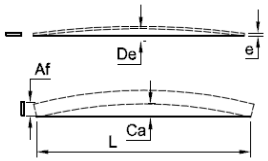
KUBIEC ... más que un buen acero

| Variables para Vigacero<br>Todas las medidas en mm | | Parámetros | | Tolerancias (mm) | Referencia |
|---|---|---|---|---|---|
| Sección transversal |  | Altura total de viga | At≤300 | +4, -3 | ASTM A-6 /A-6M TABLA A1.16 |
| | | | At>300 | +At/100 (Máx 12) -3 | NORMA INTERNA KUBIEC |
| | | Ancho de Patin | P | ±3.0 | ASTM A-6 /A-6M TABLA A1.16 |
| | | Longitud | L ≤ 6000 | ≤2 + 1mm/m | NORMA INTERNA KUBIEC |
| | | L>6000 | At≤600 | ≤2 + 1mm/m | |
| | | | At>600 | ≤5 + 1mm/m | |
| | | Ea y Ep<br>Espesor de alma y patin | | Ver Pag 6/6 | ASTM SA6/A6M TABLA A1.1 |
| Inclinación o Alabeo de patines |  | C | P≤200 | ≤3.0 | AWS D1.1 SECCIÓN C Fig. C 5.7. Parrafo C 5.23.8 |
| | | | P≥200 | 3 <C ≤6 | |

Espesor mínimo para fabricación de vigas: 4mm

# ANEXO 2.1

TOLERANCIAS PARA CORTE DE FLEJES Y PLACAS

| **TOLERANCIA PARA FLEJES Y PLACAS** | | | | | | | | | Referencia |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Proceso de corte | ANCHO | | | | LONGITUD | | | | |
| | Cizalla | | | Oxicorte | Cizalla | | | Oxicorte | |
| Espesores | 100-300 | 300 - 500 | >500 | >150 | L<1000 | 1000 <L<3000 | 3000 <L <6000 | 3000 <L <6000 | |
| e<6 | ±3 | -3, +4 | ±3 | ±3 | ± 1 | ±2 | -3, +4 | ±3 | |
| 6<c <12 | -3, +4 | | -3, +4 | -3, +4 | ±2 | ±3 | -4, +5 | -3 +5 | |
| e>12 | | | ±4 | ±4 | ±3 | -3, +5 | -4, +6 | -4 *+5* | NORMA INTERNA KUBIEC |
| Camber y deformación en flejes |  | | | | Af<=200 ancho de fleje | De | <=3*(L/1525) | | |
| | | | | | | Ca | | | |
| | | | | | Af>200 | De | <=3*(L/3050) | | |
| | | | | | | Ca | | | |

Fuente: Agenda técnica Kubiec-Conduit, 2010

# ANEXO 3.1

VALORES TÍPICOS DE COEFICIENTES DE FRICCIÓN POR DESLIZAMIENTO Y RODADURA EN DIFERENTES MECANISMOS Y CONDICIONES DE LUBRICACIÓN

## Coeficiente de fricción

| Metal-metal $f_{mm}$ | | Sólido $f_s$ | | Mixto $f_m$ | | | | | | Fluido $f_f$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Desliz. $f_{mmd}$ | Rod. $f_{mmr}$ | Mineral $f_{sd}$ | Sintético $f_{sd}$ | $EP_1$ 1ra Generación | | $EP_2$ 2da Generación | | $EP_3$ 3ra Generación | | Mineral $f_{fd}$ | Sintético $f_{fr}$ |
| | | | | Mineral $f_{md}$ | Sintético $f_{mr}$ | Mineral $f_{md}$ | Sintético $f_{mr}$ | Mineral $f_{md}$ | Sintético $f_{mr}$ | | |
| Mecanismo | | | | | | | | | | | |
| Rodamiento rígido de bolas | | | | | | | | | | | |
| | 0,33 | 0,015 | 0,013 | 0,011 | 0,010 | 0,009 | 0,008 | 0,008 | 0,007 | 0,0085 | 0,0076 |
| Rodamiento de bolas de contacto angular | | | | | | | | | | | |
| | 0,37 | 0,020 | 0,018 | 0,014 | 0,012 | 0,012 | 0,011 | 0,011 | 0,010 | 0,009 | 0,008 |
| Rodamiento de bolas a rótula | | | | | | | | | | | |
| | 0,28 | 0,010 | 0,009 | 0,009 | 0,008 | 0,008 | 0,007 | 0,007 | 0,006 | 0,008 | 0,0072 |
| Rodamiento axial de bolas | | | | | | | | | | | |
| | 0.30 | 0,013 | 0,011 | 0,010 | 0,009 | 0,009 | 0,008 | 0,008 | 0,007 | 0,0083 | 0,0074 |
| Rodamiento de rodillos cilíndricos | | | | | | | | | | | |
| | 0,28 | 0,011 | 0,009 | 0,009 | 0,008 | 0,008 | 0,007 | 0,007 | 0,006 | 0,0081 | 0,0072 |
| Rodamiento de rodillos cónicos, esféricos y a rótula | | | | | | | | | | | |
| | 0,34 | 0,018 | 0,016 | 0,013 | 0,012 | 0,011 | 0,010 | 0,010 | 0,009 | 0,0088 | 0,0079 |
| Rodamiento de aguijas | | | | | | | | | | | |
| | 0,40 | 0,022 | 0,019 | 0,015 | 0,013 | 0,013 | 0,012 | 0,012 | 0,011 | 0,0095 | 0,0085 |
| Engranajes cilíndricos de dientes rectos y helicoidales | | | | | | | | | | | |
| | 0,42 | 0,045 | 0,040 | 0,027 | 0,024 | 0,024 | 0,022 | 0,022 | 0,020 | 0,010 | 0,009 |
| Engranajes sinfín-corona | | | | | | | | | | | |
| 0,27 | | 0,065 | 0,058 | 0,042 | 0,038 | 0,038 | 0,034 | 0,036 | 0,032 | 0,020 | 0,018 |
| Cojinetes lisos | | | | | | | | | | | |
| 0,45 | | 0,060 | 0,054 | 0,034 | 0,030 | 0,030 | 0,027 | 0,028 | 0,025 | 0,008 | 0,0072 |

*Notas:*

*(1) Por lo regular los engranajes sinfín-corona no trabajan bajo condiciones de lubricación fluida sino EHL.*

*(2) En cojinetes lisos el coeficiente de fricción fluida se calcula más exactamente por la ecuación de Sommerfeld*

*(3) El coeficiente de fricción equivalente $f_e$ para aceite salpicado es de 0,010 y para aceite aplicado a presión es de 0,005.*

(4) $f_{mmd}$ y $f_{mmr}$ son los coeficientes de fricción metal-metal por deslizamiento y rodadura respectivamente.

(5) $f_{sd}$ y $f_{sr}$ son los coeficientes de fricción sólida por deslizamiento y rodadura respectivamente.

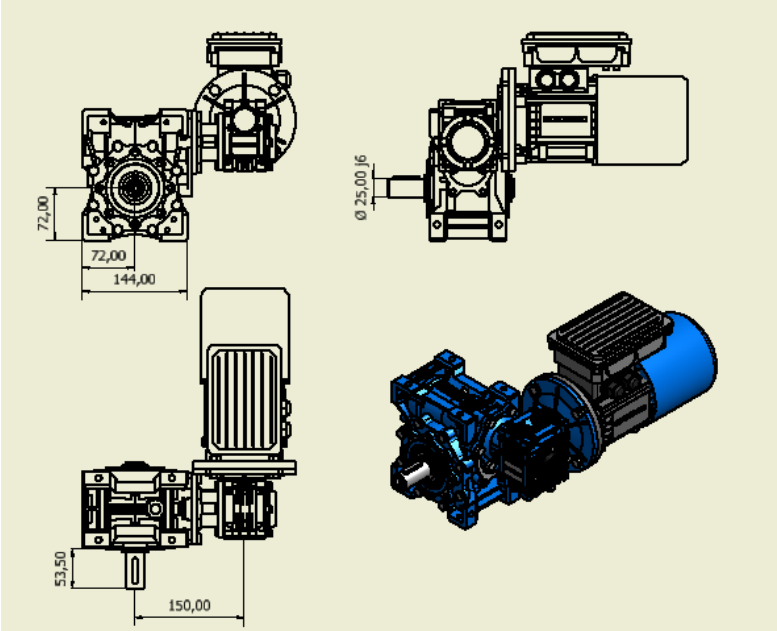
(6) $f_{md}$ y $f_{mr}$ son los coeficientes de fricción mixta por deslizamiento y rodadura respectivamente.

(7) $f_f$ y $f_f$ son los coeficientes de fricción fluida por deslizamiento y rodadura respectivamente.

# ANEXO 3.2

DIMENSIONES DE MOTORREDUCTOR DE TORNILLO SIN FIN-CORONA "NRV030/050"

## NRV/NMRV - Prestazioni / Performance / Performances / Leistungen / Prestaciones / 性能 (n1=500 rpm)




### NRV030/050

| M2 [Nm] | i | P1 [kW] | n2 [1/min] | Fr2 [N] | Fr1 [N] |
|---|---|---|---|---|---|
| 137 | 100 | 0,12 | 5,0 | 3800 | 210 |
| 135 | 150 | 0,08 | 3,3 | 4350 | 210 |
| 120 | 200 | 0,06 | 2,5 | 4788 | 210 |
| 110 | 250 | 0,05 | 2,0 | 4840 | 210 |
| 145 | 300 | 0,05 | 1,7 | 4840 | 210 |
| 124 | 400 | 0,04 | 1,3 | 4840 | 210 |
| 120 | 500 | 0,03 | 1,0 | 4840 | 210 |
| 145 | 600 | 0,03 | 0,8 | 4840 | 210 |
| 145 | 750 | 0,03 | 0,7 | 4840 | 210 |
| 145 | 900 | 0,02 | 0,6 | 4840 | 210 |
| 145 | 1200 | 0,02 | 0,4 | 4840 | 210 |
| 145 | 1500 | 0,02 | 0,33 | 4840 | 210 |
| 145 | 1800 | 0,02 | 0,28 | 4840 | 210 |
| 124 | 2400 | 0,01 | 0,21 | 4840 | 210 |
| 120 | 3000 | 0,01 | 0,17 | 4840 | 210 |
| 82 | 4000 | 0,01 | 0,13 | 4840 | 210 |
| 79 | 5000 | 0,00 | 0,10 | 4840 | 210 |

# ANEXO 3.3

CARACTERÍSTICAS DEL ACERO AISI 4340

(PARA ENGRANAJES CÓNICOS)

IBCA
IVAN BOHMAN C.A.
Sirviendo al País desde 1935

# 705=AISI 4340
# Acero bonificado para maquinaria

## ANÁLISIS TÍPICO %

| | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 705 | 0.36 | 0.25 | 0.70 | -- | -- | 1.40 | 1.40 | 0.20 |
| AISI 4340 | 0.35-0.40 | 0.20-0.35 | 0.60-0.80 | 0.04 | | 1.65-2.00 | 0.70-0.90 | 0.20-0.30 |

## EQUIVALENCIAS

| | |
|---|---|
| AISI/SAE | 4340 |
| DIN | 34CrNiMo6 |
| W.Nr | 1.6582 |
| JIS | SNCM1 |
| AFNOR | 35NCD6 |

## PROPIEDADES MECÁNICAS EN CONDICIÓN DE SUMINISTRO

| Resistencia a la Tracción | 90-110kg/mm² |
|---|---|
| Esfuerzo de cedencia | 70kg/mm² |
| Resistencia al impacto,kU | aprox.20 J |
| Elongación, A5 | min12% |
| Reducción de área,Z | min 45% |
| Dureza | 270-330HB |

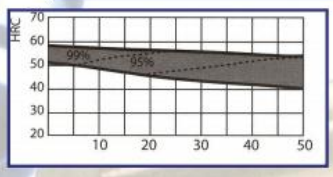
De acuerdo a DIN 17200 resp. SEW 550. Tolerancia DIN 1013 resp. DIN 7527 / 6

**Nota:** Esta propiedades se garantizan hasta Ø250 mm. Medidas mayores, favor consultarmos.

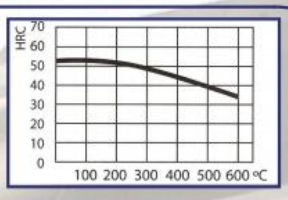
## TRATAMIENTO TÉRMICO:

**Recocido blando:** (650-700ºC): Mantener a la temperatura por 2 horas. Enfriar en el horno con una velicidad de 15ºC/h hasta 600ºC y luego libremente al aire.
**Alivio de tensiones:** (450-650ºC): El acero templado tenaz deberá ser calentado hasta aproximadamente 50ºC por debajo de la temperatura usada para el revenido (como standard el 705 es suministro revenido a 600ºC).
Mantenerlo a esta temperatura durante 1/2 a 2 horas. Enfriar en el horno hasta los 450ºC y luego libremente al aire.
**Temple:** (830-850ºC), Con enfriamiento en aceite: El manatenimiento del tiempo en minutos cuando la superficie ha alcanzado la temperatura de temple es 0.7x espesor o diámetro en milímetros. Interrumpir el enfriamiento a los 125ºC y luego revenir inmediatamente.
**Revenido:** (500-700ºC): El tiempo de mantenimiento a la temperatura de revenido podría se 1-2 horas o una hora por pulgada de grueso. Partes de máquinas que requieran una resistencia alta, como por ej. engranajes, deberán ser revenidos a temperatura más bajas, es decir a 200 a 250 ºC, lo que dará una dureza de aproximadamente 500HB.
**Nitruración:** Se puede lograr durezas de alrededor de 53-55HRC. El proceso durá entre 48 y 72 horas por lo cual la palneación del tratamiento debe hacerse con el tiempo necesario.

## CURVAS PARA TEMPLE Y REVENIDO




DISTANCIA DESDE EL EXTREMO TEMPLADO, mm




TEMPERATURA DE REVENIDO ºC

# ANEXO 3.4

TAMAÑO DE LA CHAVETA EN FUNCIÓN DEL DIÁMETRO DEL EJE

Tamaño de la chaveta en función al diámetro del eje.

| Tamaño nominal del eje | | Tamaño nominal de la chaveta | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Altura, *H* | |
| Más de | Hasta (incl.) | Ancho, W | Cuadrada | Rectangular |
| 5/16 | 7/16 | 3/32 | 3/32 | 3/32 |
| 7/16 | 9/16 | 1/8 | 1/8 | 1/8 |
| 9/16 | 7/8 | 3/16 | 3/16 | 3/16 |
| 7/8 | 1 1/4 | 1/4 | 1/4 | 1/4 |
| 1 1/4 | 1 3/8 | 5/16 | 5/16 | 5/16 |
| 1 3/8 | 1 3/4 | 3/8 | 3/8 | 1/4 |
| 1 3/4 | 2 1/4 | 1/2 | 1/2 | 3/8 |
| 2 1/4 | 2 3/4 | 5/8 | 5/8 | 7/16 |
| 2 3/4 | 3 1/4 | 3/4 | 3/4 | 1/2 |
| 3 1/4 | 3 1/2 | 7/8 | 7/8 | 5/8 |
| 3 1/2 | 4 1/2 | 1 | 1 | 3/4 |
| 4 1/2 | 5 1/2 | 1 1/4 | 1 1/4 | 7/8 |
| 5 1/2 | 6 1/2 | 1 1/2 | 1 1/2 | 1 |
| 6 1/2 | 7 1/2 | 1 3/4 | 1 3/4 | 1 1/2 |
| 7 1/2 | 9 | 2 | 2 | 1 1/2 |
| 9 | 11 | 2 1/2 | 2 1/2 | 1 3/4 |
| 11 | 13 | 3 | 3 | 2 |
| 13 | 15 | 3 1/2 | 3 1/2 | 2 1/2 |
| 15 | 18 | 4 | | 3 |
| 18 | 22 | 5 | | 3 1/2 |
| 22 | 26 | 6 | | 4 |
| 26 | 30 | 7 | | 5 |

Fuente: Reimpreso de la Norma ANSI B17.1-1967 (R98) con autorización de la American Society of Mechanical Engineers.

*Nota: Se prefiere los valores en las áreas no sombreadas.*

# ANEXO 3.5

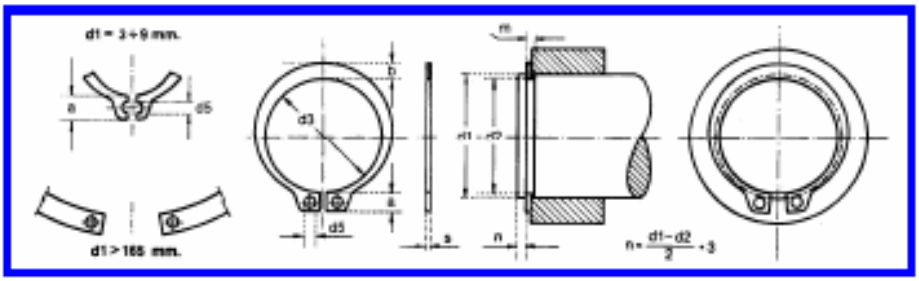
DIMENSIONES DE LOS ANILLOS DE SEGURIDAD Y RANURAS

Anillo seguer para el eje motriz

Ruiemanes de Mayo

## ANILLOS SEEGER PARA EJES
Anillos de Retención

DIN 471

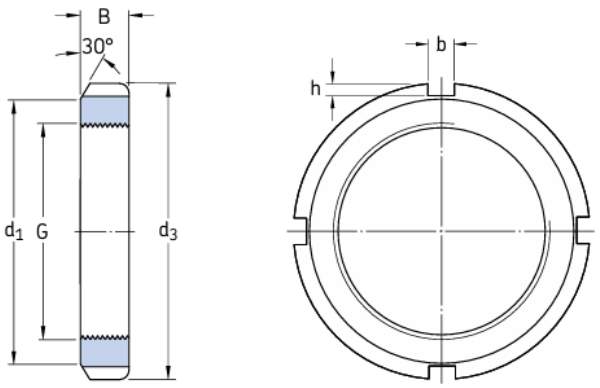



| Med.Nom. | ANILLO | | | | | | RANURA | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| d1 | s h 11 | d3 | Tolerancia d3 | a ≈ | b ≈ | d5 Min. | d2 | Tolerancia d2 | m Min. |
| 3 | 0,4 | 2,7 | +0,04 -0,15 | 1,9 | 0,8 | 1,0 | 2,8 | -0,04 | 0,50 |
| 4 | | 3,7 | | 2,2 | 0,9 | | 3,8 | | |
| 5 | 0,6 | 4,7 | | 2,5 | 1,1 | | 4,8 | | 0,70 |
| 6 | 0,7 | 5,6 | | 2,7 | 1,3 | 1,2 | 5,7 | | 0,80 |
| 7 | 0,8 | 6,5 | +0,06 -0,18 | 3,1 | 1,4 | | 6,7 | -0,06 | 0,90 |
| 8 | | 7,4 | | 3,2 | 1,5 | | 7,6 | | |
| 9 | 1,0 | 8,4 | | 3,3 | 1,7 | | 8,6 | | 1,10 |
| 10 | | 9,3 | +0,10 -0,36 | | 1,8 | 1,5 | 9,6 | -0,11 | |
| 11 | | 10,2 | | | | | 10,5 | | |
| 12 | | 11,0 | | | | 1,7 | 11,5 | | |
| 13 | | 11,9 | | 3,4 | 2,0 | | 12,4 | | |
| 14 | | 12,9 | | 3,5 | 2,1 | | 13,4 | | |
| 15 | | 13,8 | | 3,6 | 2,2 | | 14,3 | | |
| 16 | | 14,7 | | 3,7 | | | 15,2 | | |
| 17 | | 15,7 | | 3,8 | 2,3 | | 16,2 | | |
| 18 | 1,2 | 16,5 | | 3,9 | 2,4 | | 17,0 | | 1,30 |
| 19 | | 17,5 | | | 2,5 | | 18,0 | | |
| 20 | | 18,5 | +0,13 -0,42 | 4,0 | 2,6 | | 19,0 | -0,15 | |
| 21 | | 19,5 | | 4,1 | 2,7 | | 20,0 | | |
| 22 | | 20,5 | | 4,2 | 2,8 | | 21,0 | | |
| 23 | | 21,5 | | 4,3 | 2,9 | | 22,0 | | |
| 24 | | 22,2 | | | | | 22,9 | | |
| 25 | | 23,2 | | 4,4 | 3,0 | 2,0 | 23,9 | | |
| 26 | | 24,2 | | 4,5 | | | 24,8 | | |
| 27 | | 24,9 | +0,21 -0,42 | 4,6 | 3,1 | | 25,6 | -0,21 | |
| 28 | 1,5 | 25,9 | | 4,7 | 3,2 | | 26,6 | | 1,60 |
| 29 | | 26,9 | | 4,8 | 3,3 | | 27,6 | | |
| 30 | | 27,9 | | 5,0 | 3,4 | | 28,6 | | |
| 31 | | 28,6 | | | 3,5 | 2,5 | 29,3 | | |
| 32 | | 29,6 | | 5,2 | 3,6 | | 30,3 | -0,25 | |
| 33 | | 30,5 | +0,25 -0,50 | | 3,7 | | 31,3 | | |
| 34 | | 31,5 | | 5,4 | 3,8 | | 32,3 | | |
| 35 | | 32,2 | | 5,6 | 3,9 | | 33,0 | | |
| 36 | 1,75 | 33,2 | | | 4,0 | | 34,0 | | 1,85 |
| 37 | | 34,2 | | 5,7 | 4,1 | | 35,0 | | |
| 38 | | 35,2 | | 5,8 | 4,2 | | 36,0 | | |

# ANEXO 3.6

DIMENSIONES DE TUERCAS DE FIJACIÓN Y RANURAS

Tuerca de fijación KM (L) con arandela de retención M10x0.75-M200x3




| Dimensiones | | | | | | Capacidad de carga axial | Masa | Designaciones | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| G | $d_1$ | $d_3$ | B | b | h | estática | | Tuerca de fijación | Arandela de retención adecuada | Llave |
| mm | | | | | | kN | kg | – | | |
| **M 10×0,75** | 13,5 | 18 | 4 | 3 | 2 | 9,8 | 0,004 | **KM 0** | MB 0 | – |
| **M 12×1** | 17 | 22 | 4 | 3 | 2 | 11,8 | 0,006 | **KM 1** | MB 1 | HN 1 |
| **M 15×1** | 21 | 25 | 5 | 4 | 2 | 14,6 | 0,009 | **KM 2** | MB 2 | HN 2 |
| **M 17×1** | 24 | 28 | 5 | 4 | 2 | 19,6 | 0,012 | **KM 3** | MB 3 | HN 3 |
| **M 20×1** | 26 | 32 | 6 | 4 | 2 | 24 | 0,025 | **KM 4** | MB 4 | HN 4 |
| **M 25×1,5** | 32 | 38 | 7 | 5 | 2 | 31,5 | 0,028 | **KM 5** | MB 5 | HN 5 |
| **M 30×1,5** | 38 | 45 | 7 | 5 | 2 | 36,5 | 0,039 | **KM 6** | MB 6 | HN 6 |
| ✓ **M 35×1,5** | 44 | 52 | 8 | 5 | 2 | 50 | 0,059 | **KM 7** | MB 7 | HN 7 |
| **M 40×1,5** | 50 | 58 | 9 | 6 | 2,5 | 62 | 0,078 | **KM 8** | MB 8 | HN 8 |
| **M 45×1,5** | 56 | 65 | 10 | 6 | 2,5 | 78 | 0,11 | **KM 9** | MB 9 | HN 9 |
| **M 50×1,5** | 61 | 70 | 11 | 6 | 2,5 | 91,5 | 0,14 | **KM 10** | MB 10 | HN 10 |
| **M 55×2** | 67 | 75 | 11 | 7 | 3 | 91,5 | 0,15 | **KM 11** | MB 11 | HN 11 |
| **M 60×2** | 73 | 80 | 11 | 7 | 3 | 95 | 0,16 | **KM 12** | MB 12 | HN 12 |
| **M 65×2** | 79 | 85 | 12 | 7 | 3 | 108 | 0,19 | **KM 13** | MB 13 | HN 13 |

Fuente: SKF

# ANEXO 3.7

CARACTERÍSTICAS DEL ACERO AISI 1045

PARA EJE MOTRIZ Y EJES CONDUCIDOS

IBCA
IVAN BOHMAN C.A.
Sirviendo al País desde 1935

# 760=ASI 1045
# Acero al carbono para maquinaria

## ANALISIS TIPICO %

| | C | Si | Mn | P | S |
|---|---|---|---|---|---|
| 760 | 0.50 | 0.30 | 0.60 | -- | 0.04 |
| AISI 1045 | 0.43-0.50 | -- | 0.60-0.90 | 0.040 | 0.050 |

## EQUIVALENCIAS:

| | |
|---|---|
| **AISI** | 1045 |
| **SAE** | C1045 |
| **W.Nr** | 1.1820 |

| | |
|---|---|
| **DIN** | CK45 |
| **UDDEHOLM** | UHB11 |

## PROPIEDADES MECÁNICAS:

| Resistencia a la Tracción | 65kg/mm² |
|---|---|
| Esfuerzo de cedencia | 32kg/mm² |
| Elongación, A5 | min 10% |
| Reducción de area | 40% |
| Dureza | 220-235 |

## APLICACIONES:

Componentes sencillos, como por ej:

- Pernos
- Chavetas
- Piezas de mediana resistencia para aplicación automotriz
- Ejes

## TRATAMIENTO TÉRMICO:

| | |
|---|---|
| Forjado | 800-1050 °C |
| Normalizado | 830-850 °C |
| Temple (agua) | 770-810 °C |
| Temple (aceite) | 790-830 °C |
| Revenido(herramientas de corte) | 100-300 °C |
| Revenido de bonificación | 550-650 °C |

***Propiedades mecánicas:*** Dureza 163 HB (84 HRb)
Esfuerzo de fluencia 310 MPa (45000 PSI)
Esfuerzo máximo 565 MPa (81900 PSI)
Elongación 16% (en 50 mm)
Reducción de área (40%)
Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)
Maquinabilidad 57% (AISI 1212 = 100%)

***Propiedades físicas:*** Densidad 7.87 g/cm³ (0.284 lb/in³)

| | |
|---|---|
| 2 1/2 | 24.8 |
| 2 3/4 | 30.0 |
| 3 | 35.8 |
| 3 1/2 | 48.7 |

Nota: Tolerancia h9 - h11

| mm | APROX. PULGADAS | PESO APROX. Kg/m |
|---|---|---|
| 10x40 | 3/8x1 9/16 | 3.2 |
| 10x150 | 3/8x6 | 11.8 |
| 12x40 | 15/32x1 9/16 | 3.9 |
| 12x60 | 1/2x2 3/8 | 5.7 |
| 15x100 | 19/32x3 15/16 | 11.9 |
| 15x150 | 19/32x6 | 18.5 |
| 20x50 | 25/32x1 31/32 | 8.0 |
| 20x70 | 25/32x2 3/4 | 11.0 |
| 20x80 | 25/32x3 35/32 | 12.6 |
| 20x100 | 25/32x3 15/16 | 15.8 |
| 20x120 | 25/32x4 3/4 | 18.8 |
| 20x150 | 25/32x6 1/6 | 23.6 |
| 25x50 | 1x1 31/32 | 9.9 |
| 25x80 | 1x3 5/32 | 15.7 |
| 25x250 | 1x9 27/32 | 49.1 |
| 30x50 | 13/16 x 2 | 11.8 |
| 30x70 | 1 3/16x2 3/4 | 16.6 |
| 30x80 | 1 3/16x3 5/32 | 18.8 |
| 30x90 | 1 3/16x3 17/32 | 21.3 |
| 60x100 | 2 3/8x3 15/16 | 47.5 |

Nota: Laminado en caliente

Fuente: Ivan Bohman

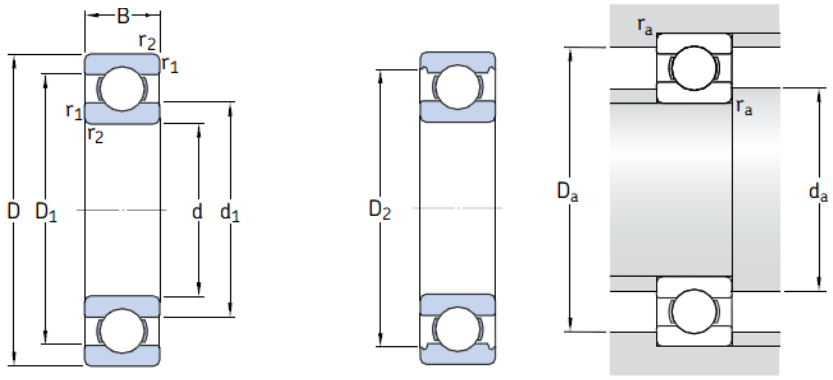
# ANEXO 3.8

SELECCIÓN DEL RODAMIENTO DE BOLAS

SKF 6305 (RODAMIENTO A)

**RODAMIENTO A**

RODAMIENTO RÍGIDO DE UNA HILERA DE BOLAS D 25 -35mm



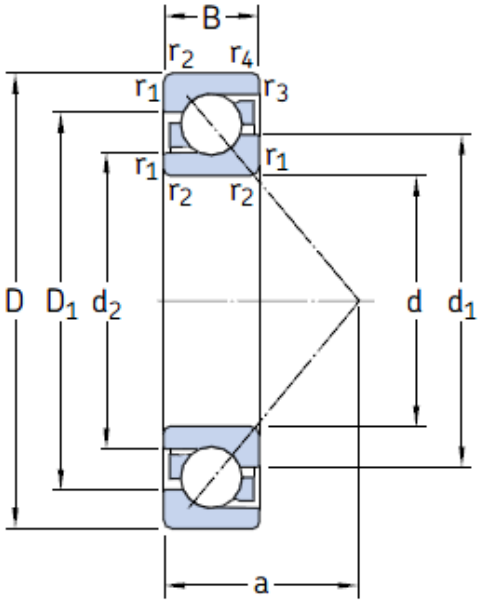

| Dimensiones principales | | | Capacidad de carga básica | | Carga límite de fatiga | Velocidades | | Masa | Designación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| d | D | B | dinámica C | estática $C_0$ | $P_u$ | Velocidad de referencia | Velocidad límite | | |
| mm | | | kN | | kN | rpm | | kg | – |
| **25** | 37 | 7 | 4,36 | 2,6 | 0,125 | 38 000 | 24 000 | 0,022 | **61805** |
| | 42 | 9 | 7,02 | 4,3 | 0,193 | 36 000 | 22 000 | 0,045 | **61905** |
| | 47 | 8 | 8,06 | 4,75 | 0,212 | 32 000 | 20 000 | 0,060 | * **16005** |
| | 47 | 12 | 11,9 | 6,55 | 0,275 | 32 000 | 20 000 | 0,080 | * **6005** |
| | 52 | 9 | 10,6 | 6,55 | 0,28 | 28 000 | 18 000 | 0,078 | **98205** |
| | 52 | 15 | 14,8 | 7,8 | 0,335 | 28 000 | 18 000 | 0,13 | * **6205** |
| | 52 | 15 | 17,8 | 9,8 | 0,40 | 28 000 | 18 000 | 0,12 | **6205 ETN9** |
| | 62 | 17 | 23,4 | 11,6 | 0,49 | 24 000 | 16 000 | 0,23 | * **6305** |
| | 62 | 17 | 26 | 13,4 | 0,57 | 24 000 | 16 000 | 0,21 | **6305 ETN9** |
| | 80 | 21 | 35,8 | 19,3 | 0,82 | 20 000 | 13 000 | 0,53 | **6405** |

# ANEXO 3.9

SELECCIÓN RODAMIENTOS DE BOLAS DE CONTACTO ANGULAR SKF 7209 BEP (RODAMIENTO B)

**RODAMIENTO B**

## RODAMIENTOS DE UNA HILERA DE BOLAS CON CONTACTO ANGULAR D 30 – 45 mm




| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 45 | 85 | 19 | 38 | 28,5 | 1,22 | 10 000 | 10 000 | 0,42 | * 7209 BECBP | – |
| | 85 | 19 | 35,8 | 26 | 1,12 | 9 000 | 9 000 | 0,42 | – | 7209 BEP |
| | 85 | 19 | 37,7 | 28 | 1,2 | 9 000 | 9 000 | 0,43 | 7209 BECBY | 7209 BEY |
| | 85 | 19 | 38 | 28,5 | 1,22 | 10 000 | 10 000 | 0,44 | * 7209 BECBM | – |
| | 100 | 25 | 61 | 40,5 | 1,73 | 9 000 | 9 000 | 0,82 | * 7309 BECBP | – |
| | 100 | 25 | 55,9 | 37,5 | 1,73 | 8 000 | 8 000 | 0,82 | – | 7309 BEP |
| | 100 | 25 | 60,5 | 41,5 | 1,73 | 8 000 | 8 000 | 0,86 | 7309 BECBY | 7309 BEY |
| | 100 | 25 | 61 | 40,5 | 1,73 | 9 000 | 9 000 | 0,90 | * 7309 BECBM | – |

# ANEXO 3.10

SELECCIÓN DE LA UNIDAD DE RODAMIENTOS SOPORTE SY NT 35L (RODAMIENTO C)

**RODAMIENTO C**

**Unidades de rodamientos Y para altas temperaturas, las unidades de Soportes**

**Unidades de rodamientos Y para altas temperaturas, las unidades de Soportes**

Información del producto

| Dimensiones | | | | | Capacidad de carga estático | Masa | Designaciones Teniendo unidad | Viviendas | Cojinete |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| d | A | H | $H_1$ | L | $C_0$ | | | | |
| mm | | | | | kN | kg | - | | |
| **19,05** | 32 | 64 | 33,3 | 127 | 6,55 | 0,57 | **SY 4.3 TF/VA201** | SY 504 U/VA228 | YAR 204-012-2FW/VA201 |
| **19,05** | 32 | 64 | 33,3 | 127 | 6,55 | 0,57 | **SY 4.3 TF/VA228** | SY 504 U/VA228 | YAR 204-012-2FW/VA228 |
| **20** | 32 | 64 | 33,3 | 127 | 6,55 | 0,57 | **SY 20 TF/VA201** | SY 504 U/VA228 | YAR 204-2FW/VA201 |
| **20** | 32 | 64 | 33,3 | 127 | 6,55 | 0,57 | **SY 20 TF/VA228** | SY 504 U/VA228 | YAR 204-2FW/VA228 |
| **25** | 36 | 70 | 36,5 | 130 | 7,8 | 0,72 | **SY 25 TF/VA201** | SY 505 U/VA228 | YAR 205-2FW/VA201 |
| **25** | 36 | 70 | 36,5 | 130 | 7,8 | 0,72 | **SY 25 TF/VA228** | SY 505 U/VA228 | YAR 205-2FW/VA228 |
| **25,4** | 36 | 70 | 36,5 | 130 | 7,8 | 0,72 | **SY 1. TF/VA201** | SY 505 U/VA228 | YAR 205-100-2FW/VA201 |
| **25,4** | 36 | 70 | 36,5 | 130 | 7,8 | 0,72 | **SY 1. TF/VA228** | SY 505 U/VA228 | YAR 205-100-2FW/VA228 |
| **30** | 40 | 82 | 42,9 | 152 | 11,2 | 1,10 | **SY 30 TF/VA201** | SY 506 U/VA228 | YAR 206-2FW/VA201 |
| **30** | 40 | 82 | 42,9 | 152 | 11,2 | 1,10 | **SY 30 TF/VA228** | SY 506 U/VA228 | YAR 206-2FW/VA228 |
| **30.163** | 40 | 82 | 42,9 | 152 | 11,2 | 1,10 | **SY 1.3/16 TF/VA201** | SY 506 U/VA228 | YAR 206-103-2FW/VA201 |
| **30.163** | 40 | 82 | 42,9 | 152 | 11,2 | 1,10 | **SY 1.3/16 TF/VA228** | SY 506 U/VA228 | YAR 206-103-2FW/VA228 |
| **31,75** | 45 | 93 | 47,6 | 160 | 15,3 | 1,45 | **SY 1.1 / 4 TF/VA201** | SY 507 U/VA228 | YAR 207-104-2FW/VA201 |
| **31,75** | 45 | 93 | 47,6 | 160 | 15,3 | 1,45 | **SY 1.1 / 4 TF/VA228** | SY 507 U/VA228 | YAR 207-104-2FW/VA228 |
| **35** | 45 | 93 | 47,6 | 160 | 15,3 | 1,50 | **SY 35 TF/VA201** | SY 507 U/VA228 | YAR 207-2FW/VA201 |
| **35** | 45 | 93 | 47,6 | 160 | 15,3 | 1,50 | **SY 35 TF/VA228** | SY 507 U/VA228 | YAR 207-2FW/VA228 |
| **38,1** | 48 | 99 | 49,2 | 175 | 19 | 1,85 | **SY 1.1 / 2 TF/VA201** | SY 508 U/VA228 | YAR 208-108-2FW/VA201 |
| **38,1** | 48 | 99 | 49,2 | 175 | 19 | 1,85 | **SY 1.1 / 2 TF/VA228** | SY 508 U/VA228 | YAR 208-108-2FW/VA228 |
| **40** | 48 | 99 | 49,2 | 175 | 19 | 1,80 | **SY 40 TF/VA201** | SY 508 U/VA228 | YAR 208-2FW/VA201 |
| **40** | 48 | 99 | 49,2 | 175 | 19 | 1,80 | **SY 40 TF/VA228** | SY 508 U/VA228 | YAR 208-2FW/VA228 |
| **44,45** | 48 | 107 | 54 | 187 | 21,6 | 2,25 | **SY 1.3 / 4 TF/VA201** | SY 509 U/VA228 | YAR 209-112-2FW/VA201 |
| **44,45** | 48 | 107 | 54 | 187 | 21,6 | 2,25 | **SY 1.3 / 4 TF/VA228** | SY 509 U/VA228 | YAR 209-112-2FW/VA228 |
| **45** | 48 | 107 | 54 | 187 | 21,6 | 2,20 | **SY 45 TF/VA201** | SY 509 U/VA228 | YAR 209-2FW/VA201 |
| **45** | 48 | 107 | 54 | 187 | 21,6 | 2,20 | **SY 45 TF/VA228** | SY 509 U/VA228 | YAR 209-2FW/VA228 |
| **49.212** | 54 | 114 | 57,2 | 203 | 23,2 | 2,70 | **SY 1.15/16 TF/VA201** | SY 510 U/VA228 | YAR 210-115-2FW/VA201 |

# ANEXO 3.11

FACTOR DE SERVICIO

Anexo 3.11: Factores de servicio para transmisiones por cadenas

| Tipo de carga | Tipo de impulsor | | |
|---|---|---|---|
| | Impulsor hidráulico | Motor eléctrico o turbina | Motor de combustión interna con transmisión mecánica |
| Uniforme (agitadores, ventiladores, transportadores con carga ligera y uniforme) | 1.0 | 1.0 | 1.2 |
| Choque moderado (máquinas herramienta, grúas, transportadores pesados, mezcladoras de alimento y molinos) | 1.2 | 1.3 | 1.4 |
| Choque pesado (prensas de troquelado, molinos de martillos, transportadores alternos, accionamientos de molino de rodillos) | 1.4 | 1.5 | 1.7 |

# ANEXO 3.12

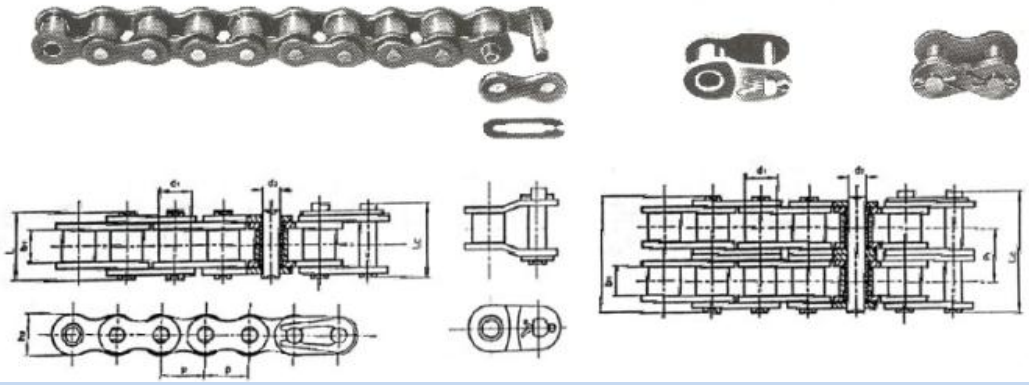
CADENAS DE RODILLOS ANSI B29.1-1975

Cadena ANSI No.60; Paso 3/4

IBCA
IVAN BOHMAN C.A.
Sirviendo al País desde 1935

# ROLLER CHAINS ANSI B29. 1-1975

Rollenketten DIN 8188
Chainnes á rouleaux ISO/R606
Cadenas de rodillos ISO/R606



| Cadena | | Paso | | Ancho entre placas interiores | | Diámetros del rodillo | | Diámetros del perno | | Longitud del perno | | Paso transversal | | Carga de ruptura | | Peso | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ANSI | DIN ISO | P | | W max | | R max | | D max | | L max | | C | | min | min | | |
| N°. | Nr. | in | mm | in | mm | in | mm | in | mm | in | mm | in | mm | Lg | Kg | Lb/ft | Kg/m |
| 25 | | 1/4 | 6.35 | 0.125 | 3.18 | 0.130 | 3.30 | 0.091 | 2.31 | 0.339 | 8.60 | | | 990 | 450 | 0.09 | 0.14 |
| 35 | | 3/8 | 9.525 | 0.188 | 4.78 | 0.200 | 5.08 | 0.141 | 3.59 | 0.510 | 12.95 | | | 2420 | 1100 | 0.22 | 0.33 |
| 40 | 08A | 1/2 | 12.70 | 0.313 | 7.95 | 0.312 | 7.92 | 0.156 | 3.97 | 0.691 | 17.45 | | | 4290 | 1950 | 0.41 | 0.62 |
| 41 | 08S | 1/2 | 12.70 | 0.251 | 6.38 | 0.306 | 7.77 | 0.141 | 3.59 | 0.567 | 14.40 | | | 2640 | 1200 | 0.27 | 0.41 |
| 50 | 10A | 5/8 | 15.875 | 0.375 | 9.53 | 0.400 | 10.16 | 0.200 | 5.09 | 0.856 | 21.75 | | | 7040 | 3200 | 0.71 | 1.06 |
| 60 | 12A | 3/4 | 19.05 | 0.500 | 12.70 | 0.469 | 11.91 | 0.234 | 5.96 | 0.059 | 26.90 | | | 9680 | 4400 | 1.01 | 1.50 |
| 80 | 16A | 1 | 25.40 | 0.625 | 15.88 | 0.625 | 15.87 | 0.312 | 7.94 | 1.390 | 35.30 | | | 16500 | 7500 | 1.68 | 2.50 |
| 100 | 20A | 1 1/4 | 31.75 | 0.750 | 19.05 | 0.750 | 19.05 | 0.375 | 9.54 | 1.699 | 43.15 | | | 25300 | 11500 | 2.55 | 3.80 |
| 120 | 24A | 1/2 | 38.40 | 1.000 | 25.40 | 0.875 | 22.22 | 0.437 | 11.11 | 2.122 | 53.90 | | | 35200 | 16000 | 3.76 | 5.60 |
| 140 | 28A | 1 3/4 | 44.45 | 1.000 | 25.40 | 1 | 25.40 | 0.500 | 12.71 | 2.303 | 58.50 | | | 45100 | 20500 | 5.10 | 7.60 |
| 160 | 32A | 2 | 50.80 | 1.250 | 31.75 | 1.125 | 28.57 | 0.562 | 14.29 | 2.742 | 69.65 | | | 59400 | 27000 | 6.38 | 9.50 |
| 200 | 40A | 2 1/2 | 63.50 | 1.250 | 38.10 | 1.562 | 39.67 | 0.781 | 19.85 | 3.398 | 86.30 | | | 99000 | 45000 | 11.02 | 16.40 |

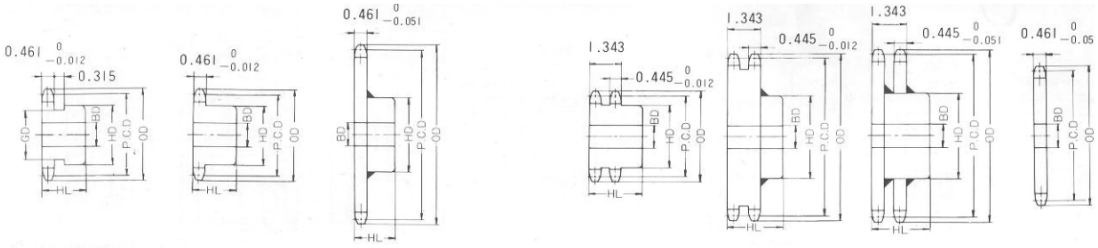
# ANEXO 3.13

Selección de catalina NK 60; 18 dientes

## Catarina NK 60; 18 dientes

IBCA
IVAN BOHMAN C.A.
Sirviendo al País desde 1935

# NK 60 ANSI(ASA) STANDAR SPORCKETS




| No. of Teeth | Pitch Dia. (P.C.D) | Outside Dia. (OD) | SINGLE B TYPE | | | | | | SINGLE B TYPE | | | | | | SINGLE ATYPE | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Bore (OD) | | Hub | | Approx. Weight (kg) | Materials | Bore (OD) | | Hub | | Approx. Weight (kg) | Materials | Bore (BD) | Approx. Weight (kg) | Materials | Te |
| | | | Stock | Max. | HD | HL | | | Stock | Max. | HD | HL | | | Stock | | | |
| 9 | 2.193 | 2.51 | 0.47 | 0.98 | *1.693 | 1.260 | 0.40 | | | | | | | | 0.472 | 0.22 | | |
| 10 | 2.427 | 2.76 | 0.59 | 1.18 | *1.929 | 1.260 | 0.49 | | 0.63 | 0.79 | 1.378 | 1.969 | 0.90 | | 0.591 | 0.27 | | |
| 11 | 2.662 | 3.01 | 0.59 | 1.26 | *2.008 | 1.260 | 0.60 | | 0.63 | 0.98 | 1.732 | 1.969 | 1.00 | | 0.591 | 0.30 | | |
| 12 | 2.898 | 3.25 | 0.59 | 1.26 | 2.008 | 1.260 | 0.69 | | 0.63 | 1.18 | 1.969 | 1.969 | 1.20 | | 0.591 | 0.38 | | |
| 13 | 3.134 | 3.49 | 0.59 | 1.38 | 2.244 | 1.260 | 0.81 | | 0.71 | 1.50 | 2.362 | 1.969 | 1.40 | | 0.591 | 0.45 | | |
| 14 | 3.371 | 3.74 | 0.67 | 1.57 | 2.241 | 1.260 | 0.96 | | 0.71 | 1.77 | 2.598 | 2.205 | 1.80 | | 0.669 | 0.50 | | |
| 15 | 3.607 | 3.98 | 0.67 | 1.77 | 2.677 | 1.260 | 1.10 | | 0.71 | 1.89 | 2.835 | 2.205 | 2.10 | | 0.669 | 0.60 | | |
| 16 | 3.844 | 4.22 | 0.67 | 1.89 | 2.874 | 1.260 | 1.30 | | 0.71 | 2.01 | 3.071 | 2.205 | 2.50 | | 0.669 | 0.65 | | |
| 17 | 4.082 | 4.46 | 0.67 | 1.89 | 2.874 | 1.260 | 1.40 | | 0.71 | 2.17 | 3.228 | 2.205 | 2.60 | | 0.669 | 0.75 | | |
| 18 | 4.319 | 4.70 | 0.67 | 2.17 | 3.268 | 1.575 | 2.00 | | 0.71 | 2.36 | 3.543 | 2.205 | 3.20 | | 0.669 | 0.84 | | |
| 19 | 4.557 | 4.95 | 0.67 | 2.17 | 3.268 | 1.575 | 2.10 | | 0.71 | 2.48 | 3.701 | 2.205 | 3.70 | | 0.669 | 0.93 | | |
| 20 | 4.794 | 5.19 | 0.67 | 2.17 | 3.268 | 1.575 | 2.20 | | 0.91 | 2.60 | 3.937 | 2.205 | 4.20 | | 0.669 | 1.05 | | |
| 21 | 5.032 | 5.43 | 0.67 | 2.17 | 3.268 | 1.575 | 2.30 | | 0.91 | 2.60 | 3.937 | 2.205 | 4.40 | | 0.669 | 1.15 | | |
| 22 | 5.270 | 5.67 | 0.67 | 2.17 | 3.268 | 1.575 | 2.50 | | 0.91 | 2.60 | 3.937 | 2.205 | 4.90 | | 0.669 | 1.25 | | |
| 23 | 5.507 | 5.91 | 0.67 | 2.17 | 3.268 | 1.575 | 2.50 | | 0.91 | 2.60 | 3.937 | 2.205 | 4.70 | | 0.669 | 1.40 | | |
| 24 | 5.746 | 6.15 | 0.67 | 2.17 | 3.268 | 1.575 | 2.60 | | 0.91 | 3.50 | 4.724 | 2.205 | 6.00 | | 0.669 | 1.50 | | |
| 25 | 5.984 | 6.39 | 0.67 | 2.17 | 3.268 | 1.575 | 2.70 | | 0.91 | 3.50 | 4.724 | 2.205 | 6.40 | | 0.669 | 1.62 | | |

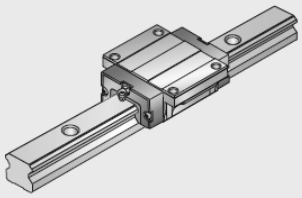
SAE1040 (single B type)
SAE1040 (single B type)

# ANEXO 3.14

SELECCIÓN DE TRANSPORTADOR Y GUÍA LINEAL

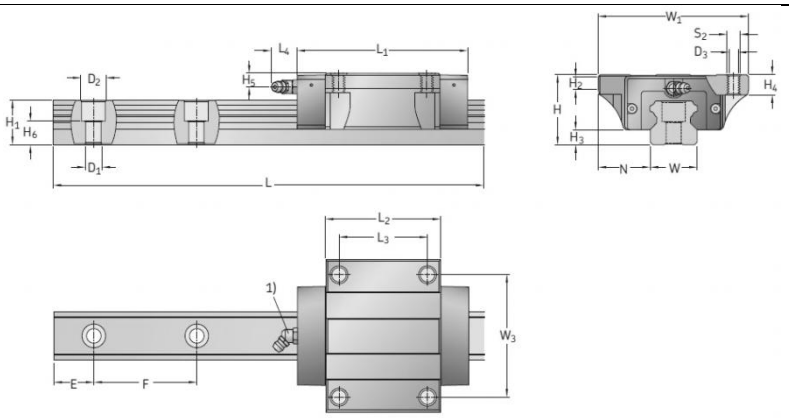
LLTHC Carro con bridas, longitud estándar, altura estándar

**LLTHC ... A**
Flanged carriage, standard length, standard height



| Size[1] | Load ratings C | $C_0$ |
|---|---|---|
| – | N | |
| **15** | 8 400 | 15 400 |
| **20** | 12 400 | 24 550 |
| **25** | 18 800 | 30 700 |
| **30** | 26 100 | 41 900 |
| **35** | 34 700 | 54 650 |
| **45** | 59 200 | 91 100 |

Riel lineal




| Size | Rail dimensions W | $H_1$ | $H_6$ | F | $D_1$ | $D_2$ | $E_{min}$ −0,75 | $E_{max}$ −0,75 | $L_{max}$ −1,5 | Weight carriage | rail | Load ratings[2] dynamic C | static $C_0$ | Moments[2] dynamic $M_C$ | static $M_{C0}$ | dynamic $M_{A/B}$ | static $M_{A0/B0}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| – | mm | | | | | | | | | kg | kg/m | N | | Nm | | | |
| **15** | 15 | 14 | 8,5 | 60 | 4,5 | 7,5 | 10 | 50 | 3 920 | 0,21 | 1,4 | 8 400 | 15 400 | 56 | 103 | 49 | 90 |
| **20** | 20 | 18 | 9,3 | 60 | 6 | 9,5 | 10 | 50 | 3 920 | 0,4 | 2,3 | 12 400 | 24 550 | 112 | 221 | 90 | 179 |
| **25** | 23 | 22 | 12,3 | 60 | 7 | 11 | 10 | 50 | 3 920 | 0,57 | 3,3 | 18 800 | 30 700 | 194 | 316 | 155 | 254 |
| **30** | 28 | 26 | 13,8 | 80 | 9 | 14 | 12 | 70 | 3 944 | 1,1 | 4,8 | 26 100 | 41 900 | 329 | 528 | 256 | 410 |
| **35** | 34 | 29 | 17 | 80 | 9 | 14 | 12 | 70 | 3 944 | 1,6 | 6,6 | 34 700 | 54 650 | 535 | 842 | 388 | 611 |
| **45** | 45 | 38 | 20,8 | 105 | 14 | 20 | 16 | 90 | 3 917 | 2,7 | 11,3 | 59 200 | 91 100 | 1215 | 1869 | 825 | 1270 |

# ANEXO 3.15

Clases métricas de propiedad mecánica de pernos, tornillos y birlos de acero

Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino (sistema internacional)

| 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 | 1040 | 940 | Acero martensítico de bajo carbono, T y R | |
| 12.9 | M1.6–M36 | 970 | 1220 | 1100 | Acero aleado, T y R | |

- Fuente: SHIGLEY. Joseph y MISCHKE, Charles., *Diseño en Ingeniería Mecánica*, $6^{ta}$ Edición, Editorial McGraw Hill, México DF, 2004. p

| Diámetro mayor nominal d, mm | Serie de paso grueso: Paso p, mm | Área de esfuezo de tensión $A_t$, mm² | Área del diámetro menor $A_r$, mm² | Serie de paso fino: Paso p, mm | Área de esfuerzo de tensión $A_t$, mm² | Área del diámetro menor $A_r$, mm² |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.6 | 0.35 | 1.27 | 1.07 | | | |
| 2 | 0.40 | 2.07 | 1.79 | | | |
| 2.5 | 0.45 | 3.39 | 2.98 | | | |
| 3 | 0.5 | 5.03 | 4.47 | | | |
| 3.5 | 0.6 | 6.78 | 6.00 | | | |
| 4 | 0.7 | 8.78 | 7.75 | | | |
| 5 | 0.8 | 14.2 | 12.7 | | | |
| 6 | 1 | 20.1 | 17.9 | | | |
| 8 | 1.25 | 36.6 | 32.8 | 1 | 39.2 | 36.0 |
| 10 | 1.5 | 58.0 | 52.3 | 1.25 | 61.2 | 56.3 |
| 12 | 1.75 | 84.3 | 76.3 | 1.25 | 92.1 | 86.0 |
| 14 | 2 | 115 | 104 | 1.5 | 125 | 116 |
| 16 | 2 | 157 | 144 | 1.5 | 167 | 157 |
| 20 | 2.5 | 245 | 225 | 1.5 | 272 | 259 |
| 24 | 3 | 353 | 324 | 2 | 384 | 365 |
| 30 | 3.5 | 561 | 519 | 2 | 621 | 596 |
| 36 | 4 | 817 | 759 | 2 | 915 | 884 |
| 42 | 4.5 | 1120 | 1050 | 2 | 1260 | 1230 |
| 48 | 5 | 1470 | 1380 | 2 | 1670 | 1630 |
| 56 | 5.5 | 2030 | 1910 | 2 | 2300 | 2250 |
| 64 | 6 | 2680 | 2520 | 2 | 3030 | 2980 |
| 72 | 6 | 3460 | 3280 | 2 | 3860 | 3800 |
| 80 | 6 | 4340 | 4140 | 1.5 | 4850 | 4800 |
| 90 | 6 | 5590 | 5360 | 2 | 6100 | 6020 |
| 100 | 6 | 6990 | 6740 | 2 | 7560 | 7470 |
| 110 | | | | 2 | 9180 | 9080 |

# ANEXO 3.16

CV400; Alimentador LF-74 de 4 rodillos; Pistola Magnum-Pro, Alambre tubular LW-71, Gas de Protección.

# CV 400

# Idealarc® CV-400, CV500-I

**Processes**
MIG, Flux-Cored

**Product Number**
K1346-13 CV-400 230/460/3/60
K1346-22 CV-400 230/460/575/3/60
K2439-2 CV-400/LF-72 Ready-Pak®
K2496-2 CV-400/LF-74 Ready-Pak®
K1347-2 CV500-I 220/380/440/3/50/60

*See back for complete specs*

**Input Power**
CV-400: 230/460/3/60
230/460/575/3/60
CV500-I: 220/380/440/3/50/60

**Input Current at Rated Output**
77/39A

**Rated Output**
400A/36V/100% Duty Cycle

**Output Range**
60-500A, 12-42V

**Weight/Dimensions (H x W x D)**
383 Lbs. (174 Kg)

27.5 x 22.2 x 32 in.
(699 x 564 x 813 mm)

## Rugged, Proven Construction for Wire Welding.

The rugged CV-400 and CV500-I are ready to tackle MIG and cored wire fabrication and production work in a variety of industries: transportation, heavy equipment, structural steel, railroad, furniture, appliances and sheet metal fabrication. Simple fixed inductance, time-proven technology and heavy-duty construction will deliver years of reliable performance.

### *FEATURES*

- **Lincoln Electric unique fixed inductance design** - Delivers exceptional

*Shown K1346-13*

### *PRODUCT SPECIFICATIONS*

| Product Name | Product Number | Input Power | Rated Output Current/Voltage/Duty Cycle | Input Current @ Rated Output | Output Range | H x W x D inches (mm) | Net Weight lbs. (kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CV-400 | K1346-13 (w/meters) | 230/460/3/60 | 400A/36V/100% (450A/38A/60%) | 77/39A (80/40A) | 60-500A 12-42V | 27.5 x 22.2 x 32 (699 x 564 x 813) | 383 (174) |
| | K1346-22 (w/meters) | 230/460/575/3/60 | | 77/39/31A (80/40/32A) | | | |
| CV-400/LF-72 Ready-Pak® | K2439-2 | 230/460/3/60 | | 77/39A | | | |
| CV-400/LF-74 Ready-Pak® | K2496-2 | | | | | | |
| CV500-I | K1347-22 | 220/380/440/3/50/60 | 500A/40V/50% | 83/48/42A | | | |

# Alimentador LN-10

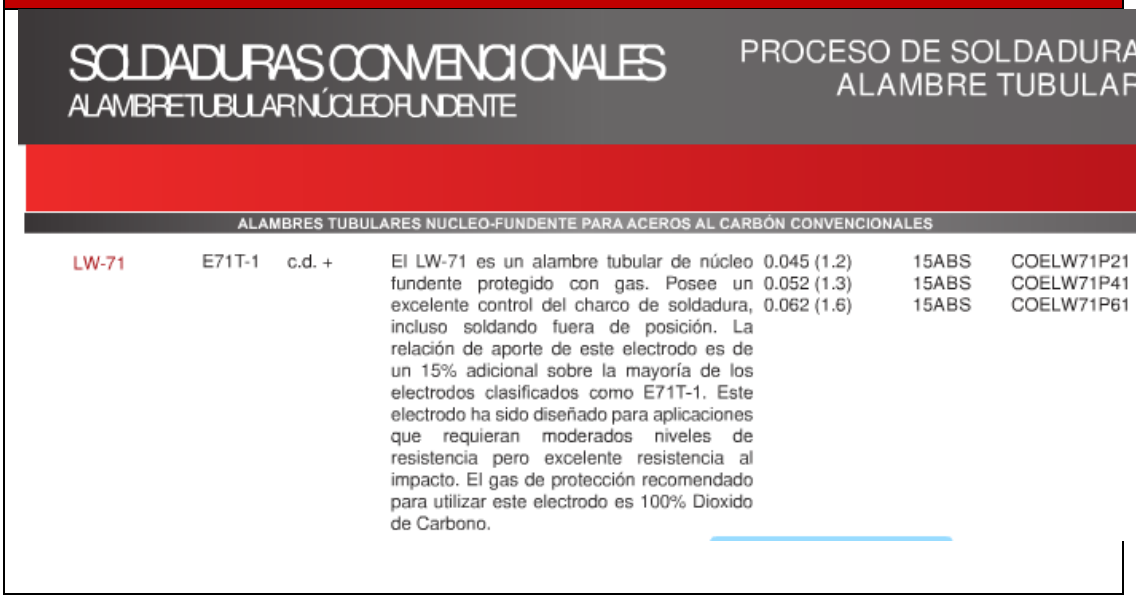
**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:**

| Nombre del Producto: | Referencia Lincoln: | Rango de Velocidad de Alimentación i.p.m.(m/min): | Rango Ødel Alambre: Pulgadas(mm) Sólido: | Rango Ødel Alambre: Pulgadas(mm) Tubular: | Alimentación Eléctrica: | Peso Neto en Kg.: |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **LN-10 Bench** Modelo Estándar | **K1559-3.** | **Vel. Estándar:** Baja Relación: 35 - 500 i.p.m | **0,023" a 3/32"** (0,6 - 2,4 mm) | **0,035" a ,120"** (0,9 - 3,0 mm) | 42 V AC 50/60 Hz 6 amp. | 33,6 Kg. |
| **LN-10 Bench** (Alta Velocidad) | **K1559-4.** | Alta Relación: 50 - 750 i.p.m. | **0,023" a 1/16"** (0,6 - 1,6 mm) | **0,035" a 5/64"** (0,9 - 2,0 mm) | | |
| **DH-10 Bench** Modelo Estándar | **K1499-3.** | **Alta Veloc.;** Baja Relación: 50 - 825 i.p.m | **0,023" a 1/16"** (0,6 - 1,6 mm) | **0,035" a 5/64"** (0,9 - 2,0 mm) | | 52,6 Kg. |
| **DH-10 Bench** (Alta Velocidad) | **K1499-4.** | Alta Relación: 75 - 1.250 i.p.m. | **0,023" a 0,045"** (0,6 - 1,2 mm) | **,035" a 0,045"** (0,9 - 1,2 mm) | | |
| Nombre del Producto: | Referencia Lincoln: | Rango de Velocidad de Alimentación i.p.m.(m/min): | Rango Ødel Alambre: Pulgadas(mm): Sólido: | Rango Ødel Alambre: Pulgadas(mm): Tubular: | Alimentación Eléctrica: | Peso Neto en Kg.: |

# MAGNUM-PRO 250

| Tipo de pistola | *Número del producto* | *Corriente nominal (A) Ciclo de trabajo 100%* $CO_2$ | *Mezclado* | *Rango de diámetros de alambre pulg.* | *(mm)* | *Longitud del cable pies (m)* | *Conector de pistola* | *Revestimiento de pistola* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Magnum® PRO 250** | K2651-1 | 250 | 250 | 0.035 - 5/64 | (0.9 - 2.0) | 10 (3.0) | | |
| **Magnum® PRO 250** | K2651-2 | 250 | 250 | 0.035 - 5/64 | (0.9 - 2.0) | 15 (4.5) | Pídalo por separado | Pídalo por separado |
| **Magnum® PRO 350** | K2652-1 | 350 | 285 | 0.035 - 5/64 | (0.9 - 2.0) | 10 (3.0) | | |
| **Magnum® PRO 350** | K2652-2 | 350 | 285 | 0.035 - 5/64 | (0.9 - 2.0) | 15 (4.5) | | |
| **Magnum® PRO 450** | K2653-1 | 450 | 325 | 0.035 - 5/64 | (0.9 - 2.0) | 10 (3.0) | | |
| **Magnum® PRO 450** | K2653-2 | 450 | 325 | 0.035 - 5/64 | (0.9 - 2.0) | 15 (4.5) | | |
| **Magnum® PRO 450** | K2653-4 | 450 | 325 | 0.035 - 5/64 | (0.9 - 2.0) | 25 (7.6) | | |
| **Magnum® PRO 550** | K2655-1 | 550 | 375 | 0.035 - 1/8 | (0.9 - 3.2) | 10 (3.0) | | |
| **Magnum® PRO 550** | K2655-2 | 550 | 375 | 0.035 - 1/8 | (0.9 - 3.2) | 15 (4.5) | | |
| **Magnum® PRO 550** | K2655-4 | 550 | 375 | 0.035 - 1/8 | (0.9 - 3.2) | 25 (7.6) | | |
| **Magnum® PRO 250 Ready-Pak®** | K2651-2-6-45 | 250 | 250 | 0.035 - 0.045 | (.09 - 1.2) | 15 (3.0) | K466-6 | KP44-3545-15 |
| **Magnum® PRO 350 Ready-Pak®** | K2652-2-10-45 | 350 | 285 | 0.035 - 0.045 | (.09 - 1.2) | 15 (3.0) | K466-10 | KP44-3545-15 |
| **Magnum® PRO 450 Ready-Pak®** | K2653-2-10-45 | 450 | 325 | 0.035 - 0.045 | (.09 - 1.2) | 15 (3.0) | K466-10 | KP44-3545-15 |

# Alambre tubular LW-71



SOLDADURAS CONVENCIONALES
ALAMBRE TUBULAR NÚCLEO FUNDENTE

PROCESO DE SOLDADURA
ALAMBRE TUBULAR

ALAMBRES TUBULARES NUCLEO-FUNDENTE PARA ACEROS AL CARBÓN CONVENCIONALES

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| LW-71 | E71T-1 | c.d. + | El LW-71 es un alambre tubular de núcleo fundente protegido con gas. Posee un excelente control del charco de soldadura, incluso soldando fuera de posición. La relación de aporte de este electrodo es de un 15% adicional sobre la mayoría de los electrodos clasificados como E71T-1. Este electrodo ha sido diseñado para aplicaciones que requieran moderados niveles de resistencia pero excelente resistencia al impacto. El gas de protección recomendado para utilizar este electrodo es 100% Dioxido de Carbono. | 0.045 (1.2)<br>0.052 (1.3)<br>0.062 (1.6) | 15ABS<br>15ABS<br>15ABS | COELW71P21<br>COELW71P41<br>COELW71P61 |

# ANEXO 4.1

DIAGRAMA PRESIÓN-FUERZA DE CILINDROS NEUMÁTICOS.

# Diagrama presión-fuerza

FESTO

| Fuerza del émbolo [N] | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ∅ | Presión de funcionamiento [bar] | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 2,5 | 0,4 | 0,9 | 1,3 | 1,8 | 2,2 | 2,7 | 3,1 | 3,5 |
| 3,5 | 0,9 | 1,7 | 3,8 | 3,5 | 4,3 | 5,2 | 6,1 | 6,9 |
| 5,35 | 2 | 4 | 6,1 | 8,1 | 10,1 | 12,1 | 14,2 | 16,2 |
| 6 | 2,5 | 5,1 | 7,6 | 10,2 | 12,7 | 15,3 | 17,8 | 20,4 |
| 8 | 4,5 | 9 | 13,6 | 18,1 | 22,6 | 27,1 | 31,7 | 36,2 |
| 10 | 7,1 | 14,1 | 21,2 | 28,3 | 35,3 | 42,4 | 49,5 | 56,5 |
| 12 | 10,2 | 20,4 | 30,5 | 40,7 | 50,9 | 61,0 | 71,3 | 81,4 |
| 16 | 18,1 | 36,5 | 54,3 | 72,4 | 90,5 | 109 | 127 | 145 |
| 20 | 28,3 | 56,5 | 84,8 | 113 | 141 | 170 | 198 | 226 |
| 25 | 44,2 | 88,4 | 133 | 177 | 221 | 265 | 309 | 353 |
| 32 | 72,4 | 145 | 217 | 290 | 362 | 434 | 507 | 579 |
| 40 | 113 | 226 | 339 | 452 | 565 | 679 | 792 | 905 |
| 50 | 177 | 353 | 530 | 707 | 884 | 1 060 | 1 240 | 1 410 |
| 63 | 281 | 561 | 842 | 1 120 | 1 400 | 1 680 | 1 960 | 2 240 |
| 80 | 452 | 905 | 1 360 | 1 810 | 2 260 | 2 710 | 3 170 | 3 620 |
| 100 | 707 | 1 410 | 2 120 | 2 830 | 3 530 | 4 240 | 4 950 | 5 650 |
| 125 | 1 100 | 2 210 | 3 310 | 4 420 | 5 520 | 6 630 | 7 730 | 8 840 |
| 160 | 1 810 | 3 620 | 5 430 | 7 240 | 9 050 | 10 900 | 12 700 | 14 500 |
| 200 | 2 830 | 5 650 | 8 480 | 11 300 | 14 100 | 17 000 | 19 800 | 22 600 |
| 250 | 4 420 | 8 840 | 13 300 | 17 700 | 22 100 | 26 500 | 30 900 | 35 300 |
| 320 | 7 240 | 14 500 | 21 700 | 29 000 | 36 200 | 43 400 | 50 700 | 57 900 |

# ANEXO 4.2

CILINDROS DE DOBLE EFECTO

DNSU 25-80-PPS-A

DNCB 50-320-PPV-A

DNCB 50-200-PPV-A

Cilindros con guía DFM-63

Cilindros con guía DFM-40

# Cilindro de doble efecto DNSU 25-80-PPS-A

| Caracter. | Propiedades |
|---|---|
| Carrera | 80 mm |
| Diámetro del émbolo | 25 mm |
| Rosca del vástago | M10x1,25 |
| Amortiguación | PPS: amortiguación de fin de recorrido neumática autorregulable |
| Posición de montaje | Indistinto |
| Corresponde a la norma | CETOP RP 52 P<br>ISO 6432 |
| Extremo del vástago | Rosca exterior |
| Construcción | Émbolo<br>Vástago<br>Camisa del cilindro |
| Detección de la posición | Para detectores de posición |
| Variantes | vástago simple |
| Presión de funcionamiento | 1 ... 10 bar |
| Forma de funcionamiento | De efecto doble |
| Fluido | Aire comprimido según ISO8573-1:2010 [7:4:4] |
| Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando | Opción de funcionamiento con lubricación (necesaria en otro modo de funcionamiento) |
| Clase de resistencia a la corrosión KBK | 2 |
| Temperatura ambiente | -20 ... 80 °C |
| Energía del impacto en las posiciones finales | 0,3 J |
| Carrera de amortiguación | 17 mm |
| Fuerza teórica con 6 bar, retroceso | 247,4 N |
| Fuerza teórica con 6 bar, avance | 294,5 N |
| Masa móvil con carrera de 0 mm | 71 g |
| Peso adicional por 10 mm de carrera | 11 g |
| Peso básico con carrera de 0 mm | 238 g |
| Masa adicional por 10 mm de carrera | 6 g |
| Tipo de fijación | con accesorios |
| Conexión neumática | G1/8 |
| Indicación sobre el material | Conforme con RoHS |
| Información sobre el material de la tapa | Aleación forjable de aluminio<br>Anodizado incoloro |
| Información sobre el material del vástago | Acero inoxidable de aleación fina |
| Información sobre el material de la camisa del cilindro | Acero inoxidable de aleación fina |

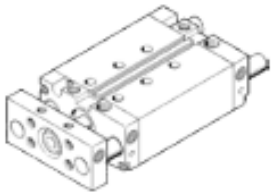
# Cilindro de doble efecto DNCB 50-320-PPV-A

| Caracter. | Propiedades |
|---|---|
| Carrera | 320 mm |
| Diámetro del émbolo | 50 mm |
| Rosca del vástago | M16x1,5 |
| Amortiguación | PPV: Amortiguación neumática regulable a ambos lados |
| Posición de montaje | Indistinto |
| Corresponde a la norma | ISO 15552 (hasta ahora también VDMA 24652, ISO 6431, NF E49 003.1, UNI 10290) |
| Extremo del vástago | Rosca exterior |
| Construcción | Émbolo<br>Vástago<br>Tubo perfilado |
| Detección de la posición | Para detectores de posición |
| Variantes | vástago simple |
| Presión de funcionamiento | 0,6 ... 12 bar |
| Forma de funcionamiento | De efecto doble |
| Fluido | Aire comprimido según ISO8573-1:2010 [7:4:4] |
| Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando | Opción de funcionamiento con lubricación (necesaria en otro modo de funcionamiento) |
| Clase de resistencia a la corrosión KBK | 2 |
| Temperatura ambiente | -20 ... 80 °C |
| Energía del impacto en las posiciones finales | 1 J |
| Carrera de amortiguación | 22 mm |
| Fuerza teórica con 6 bar, retroceso | 990 N |
| Fuerza teórica con 6 bar, avance | 1.178 N |
| Masa móvil con carrera de 0 mm | 363 g |
| Peso adicional por 10 mm de carrera | 56 g |
| Peso básico con carrera de 0 mm | 1.225 g |
| Masa adicional por 10 mm de carrera | 25 g |
| Tipo de fijación | con rosca interior<br>con accesorios |
| Conexión neumática | G1/4 |
| Indicación sobre el material | Conforme con RoHS |
| Información sobre el material de la tapa | Fundición inyectada de aluminio<br>recubierto |
| Información sobre el material de las juntas | TPE-U(PU) |
| Información sobre el material del vástago | Acero de aleación fina |
| Información sobre el material de la camisa del cilindro | Aleación forjable de aluminio |

# Cilindro de doble efecto DNCB 50-200-PPV-A

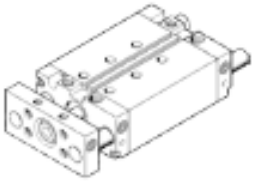
| Caracter. | Propiedades |
|---|---|
| Carrera | 200 mm |
| Diámetro del émbolo | 50 mm |
| Rosca del vástago | M16x1,5 |
| Amortiguación | PPV: Amortiguación neumática regulable a ambos lados |
| Posición de montaje | Indistinto |
| Corresponde a la norma | ISO 15552 (hasta ahora también VDMA 24652, ISO 6431, NF E49 003.1, UNI 10290) |
| Extremo del vástago | Rosca exterior |
| Construcción | Émbolo<br>Vástago<br>Tubo perfilado |
| Detección de la posición | Para detectores de posición |
| Variantes | vástago simple |
| Presión de funcionamiento | 0,6 ... 12 bar |
| Forma de funcionamiento | De efecto doble |
| Fluido | Aire comprimido según ISO8573-1:2010 [7:4:4] |
| Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando | Opción de funcionamiento con lubricación (necesaria en otro modo de funcionamiento) |
| Clase de resistencia a la corrosión KBK | 2 |
| Temperatura ambiente | -20 ... 80 °C |
| Energía del impacto en las posiciones finales | 1 J |
| Carrera de amortiguación | 22 mm |
| Fuerza teórica con 6 bar, retroceso | 990 N |
| Fuerza teórica con 6 bar, avance | 1.178 N |
| Masa móvil con carrera de 0 mm | 363 g |
| Peso adicional por 10 mm de carrera | 56 g |
| Peso básico con carrera de 0 mm | 1.225 g |
| Masa adicional por 10 mm de carrera | 25 g |
| Tipo de fijación | con rosca interior<br>con accesorios |
| Conexión neumática | G1/4 |
| Indicación sobre el material | Conforme con RoHS |
| Información sobre el material de la tapa | Fundición inyectada de aluminio<br>recubierto |
| Información sobre el material de las juntas | TPE-U(PU) |
| Información sobre el material del vástago | Acero de aleación fina |
| Información sobre el material de la camisa del cilindro | Aleación forjable de aluminio |

# Hoja de datos: Cilindros con guía DFM-63- -B – #534770



| Caracter. | Propiedades |
|---|---|
| Carrera | 25 ... 400 mm |
| Diámetro del émbolo | 63 mm |
| Tipo de accionamiento del actuador | Yunque |
| Amortiguación | P: Amortiguación por tope elástico/placa a ambos lados<br>PPV: Amortiguación neumática regulable a ambos lados<br>YSRW: amortiguador, mapa característico para amortiguac<br>blanda |
| Posición de montaje | indistinto |
| Guía | Guía deslizante<br>guía con rodamiento de bolas |
| Construcción | Guía |
| Detección de la posición | Para detectores de posición |
| Variantes | Juntas termorresistentes hasta máx. 120 °C |
| Presión de funcionamiento | 1 ... 10 bar |
| Forma de funcionamiento | De efecto doble |
| Categoría ATEX para gas | II 2G |
| Tipo de protección contra explosión de gas | c T4 |
| Temperatura ambiente explosiva | -20°C <= Ta <= +70°C |
| Fluido | Aire comprimido según ISO8573-1:2010 [7:4:4] |
| Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando | Opción de funcionamiento con lubricación (necesaria en ot<br>modo de funcionamiento) |
| Clase de resistencia a la corrosión KBK | 0<br>2 |
| Temperatura ambiente | -20 ... 120 °C |
| Fuerza teórica con 6 bar, retroceso | 1.750 N |
| Fuerza teórica con 6 bar, avance | 1.750 N |
| Conexiones de alternativa | ver dibujo técnico del producto |
| Conexión neumática | G1/4 |
| Información sobre el material de la tapa | Aleación forjable de aluminio |
| Información sobre el material de las juntas | NBR |
| Información sobre el material del cuerpo | Aleación forjable de aluminio |
| Información sobre el material del vástago | Acero inoxidable de aleación fina |

# Hoja de datos: Cilindros con guía DFM-40- -B – #532319



| Caracter. | Propiedades |
|---|---|
| Carrera | 25 ... 400 mm |
| Diámetro del émbolo | 40 mm |
| Tipo de accionamiento del actuador | Yunque |
| Amortiguación | P: Amortiguación por tope elástico/placa a ambos lados<br>PPV: Amortiguación neumática regulable a ambos lados<br>YSRW: amortiguador, mapa característico para amortiguación blanda |
| Posición de montaje | Indistinto |
| Guía | Guía deslizante<br>guía con rodamiento de bolas |
| Construcción | Guía |
| Detección de la posición | Para detectores de posición |
| Variantes | Juntas termorresistentes hasta máx. 120 °C |
| Presión de funcionamiento | 1,5 ... 10 bar |
| Forma de funcionamiento | De efecto doble |
| Categoría ATEX para gas | II 2G |
| Tipo de protección contra explosión de gas | c T4 |
| Temperatura ambiente explosiva | -20°C <= Ta <= +70°C |
| Fluido | Aire comprimido según ISO8573-1:2010 [7:4:4] |
| Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando | Opción de funcionamiento con lubricación (necesaria en otro modo de funcionamiento) |
| Clase de resistencia a la corrosión KBK | 0<br>2 |
| Temperatura ambiente | -20 ... 120 °C |
| Fuerza teórica con 6 bar, retroceso | 686 N |
| Fuerza teórica con 6 bar, avance | 686 N |
| Conexiones de alternativa | ver dibujo técnico del producto |
| Conexión neumática | G1/8 |
| Información sobre el material de la tapa | Aleación forjable de aluminio |
| Información sobre el material de las juntas | NBR |
| Información sobre el material del cuerpo | Aleación forjable de aluminio |
| Información sobre el material del vástago | Acero inoxidable de aleación fina |

# ANEXO 4.3

UNIDAD DE MANTENIMIENTO

# UNIDAD DE MANTENIMIENTO FRC-1/8-D-5M-MINI

| | 1 Producto de serie |
|---|---|
| Tamaño | mini |
| Serie | D |
| Asegurar el accionamiento | Botón giratorio con enclavamiento |
| Posición de montaje | vertical +/- 5° |
| Grado de filtración | 5 µm |
| Evacuación del condensado | giro manual |
| Construcción | Filtro regulador con manómetro<br>Lubricador proporcional estándar |
| Cantidad máxima de condensado | 22 cm3 |
| Funda de protección | funda protectora metálica |
| Indicación de la presión | con manómetro |
| Presión de funcionamiento | 1 ... 16 bar |
| Margen de regulación de la presión | 0,5 ... 12 bar |
| Histérisis máxima de la presión | 0,2 bar |
| Caudal nominal normal | 600 l/min |
| Fluido | Aire comprimido según ISO8573-1:2010 [-:-:-] |
| Clase de resistencia a la corrosión KBK | 2 |
| Temperatura del medio | -10 ... 60 °C |
| Temperatura ambiente | -10 ... 60 °C |
| Homologación | Germanischer Lloyd |
| Peso del producto | 660 g |
| Tipo de fijación | Montaje del conducto<br>con accesorios |
| Conexión neumática 1 | G1/8 |
| Conexión neumática 2 | G1/8 |
| Información sobre el material del cuerpo | Fundición inyectada de cinc |
| Información sobre el material del depósito del filtro | PC |

# ANEXO 4.4

PLANO DEL CIRCUITO DE POTENCIA

# ANEXO 4.5

PLANO DEL CIRCUITO NEUMÁTICO Y AUXILIAR

# ANEXO 4.6

DIAGRAMA ELÉCTRICO EN LOGO!Soft Comfort

# ANEXO 4.7

PLANO DEL CIRCUITO DE MANDO

# ANEXO 4.8

LÍNEAS DE PROGRAMACIÓN DEL SCRIPT EN INCOTUCH V10.0 PARA LA MÁQUINA

**{MOVIMIENTO DE LA BANDA TRANSPORTADORA}**

```
IF Viga_mov_banda <= 100 AND (Var_banda == 1 OR Var_banda1 == 1)  AND
Giro_var_banda == 1 THEN

        Viga_mov_banda  = Viga_mov_banda + (Reg_banda / 100) ;

         IF Giro_banda < 360 AND ( Var_banda == 1 OR Var_banda1 == 1) AND
Giro_var_banda == 1 THEN

        Giro_banda = Giro_banda + (Reg_banda / 10) ;

         ELSE IF Giro_banda >= 360 AND (Var_banda == 1 OR  Var_banda1 ==
1 ) AND Giro_var_banda == 1 THEN

            Giro_banda = 0;

             ENDIF;

       ENDIF;

ENDIF;

IF Viga_mov_banda >= 0 AND (Var_banda == 1 OR Var_banda1 == 1) AND
Giro_var_banda == 0 THEN

  Viga_mov_banda  = Viga_mov_banda - (Reg_banda / 100) ;

       IF Giro_banda > 0 AND (Var_banda == 1 OR Var_banda1 == 1)  AND
Giro_var_banda == 0 THEN

        Giro_banda = Giro_banda - ( Reg_banda / 10 );

        ELSE IF Giro_banda <= 0 AND (Var_banda == 1 OR Var_banda1 == 1 )
AND Giro_var_banda == 0 THEN

        Giro_banda = 360;

        ENDIF;

   ENDIF;

   ENDIF;
```

**{MOVIMIENTO DEL TRANSPORTADOR CENTRAL}**

```
   IF Giro_transport  <360 AND ( Var_transport == 1 OR  Var_transport1 == 1 )
```

```
AND Giro_var_banda == 1 THEN

        Giro_transport  = Giro_transport  + (Reg_transport/ 10) ;

          ELSE IF Giro_transport >= 360 AND ( Var_transport == 1 OR
Var_transport1 == 1 ) AND Giro_var_banda == 1  THEN

           Giro_transport = 0;

           ENDIF;

      ENDIF;

IF Viga_mov_banda <= 90 AND Giro_transport  <360 AND ( Var_transport == 1
OR Var_transport1 == 1 ) AND Giro_var_banda == 1 AND VAR_CIL2 >= 90
THEN

 Viga_mov_banda  = Viga_mov_banda + (Reg_banda/ 100) ;

ENDIF;

      IF Giro_transport > 0 AND  ( Var_transport == 1 OR Var_transport1 == 1 )
AND Giro_var_banda == 0 THEN

        Giro_transport = Giro_transport - ( Reg_transport/ 10 );

        ELSE IF Giro_transport <= 0 AND ( Var_transport == 1 OR
Var_transport1== 1 ) AND Giro_var_banda == 0 THEN

        Giro_transport = 360;

        ENDIF;

   ENDIF;

IF Viga_mov_banda >= 10 AND Giro_transport > 0 AND ( Var_transport == 1
OR Var_transport1 == 1 ) AND Giro_var_banda == 0 AND  VAR_CIL2 >= 90
THEN

 Viga_mov_banda  = Viga_mov_banda - (Reg_banda/ 100) ;

ENDIF;
```

***{MOVIMIENTO DEL CILINDRO 1}***

*IF VAR_CIL1 <= 100 AND CIL1_DOWN == 1 AND SOLD_ON == 0 THEN*

*VAR_CIL1 = VAR_CIL1 + 10;*

*ENDIF;*

*IF VAR_CIL1 >= 0 AND CIL1_UP == 1 AND SOLD_ON == 0 THEN*

*VAR_CIL1 = VAR_CIL1 - 10;*

*ENDIF;*

***{MOVIMIENTO DEL CILINDRO 2}***

*IF VAR_CIL2 <= 100 AND CIL2_LEFT == 1 AND SOLD_ON == 0 THEN*

*VAR_CIL2 = VAR_CIL2 + 10;*

*ENDIF;*

*IF VAR_CIL2 >= 0 AND CIL2_RIGHT == 1 AND SOLD_ON == 0 THEN*

*VAR_CIL2 = VAR_CIL2 - 10;*

*ENDIF;*

**{MOVIMIENTO DEL CILINDRO 3}**

*IF VAR_CIL3 <= 100 AND CIL3_DOWN == 1 THEN*

*VAR_CIL3 = VAR_CIL3 + 10;*

*ENDIF;*

*IF VAR_CIL3 >= 0 AND CIL3_UP == 1 THEN*

*VAR_CIL3 = VAR_CIL3 - 10;*

*ENDIF;*

**{MOVIMIENTO DEL CILINDRO 4}**

*IF VAR_CIL4 <= 100 AND CIL4_DOWN == 1 THEN*

*VAR_CIL4 = VAR_CIL4 + 10;*

*ENDIF;*

*IF VAR_CIL4 >= 0 AND CIL4_UP == 1 THEN*

*VAR_CIL4 = VAR_CIL4 - 10;*

*ENDIF;*

**{CONTROL DE SOLDADURA}**

*IF SOLD_ON == 1 AND VAR_CIL1 >= 100 AND VAR_CIL2 >= 100 AND Viga_mov_banda >= 18 AND Viga_mov_banda <= 88 THEN*

*Var_banda1 = 1;*

*Var_transport1 = 1;*

*LIGHT_SOLD = 1;*

*ELSE*

*Var_banda1 = 0;*

*Var_transport1 = 0;*

*LIGHT_SOLD = 0;*

*SOLD_ON = 0;*

*ENDIF;*

**{CONTROL DE LUZ INDICADORA DE CILINDRO 1}**

*IF VAR_CIL1 >= 100 THEN*

*LIGHT_CIL1 = 1;*

*ELSE*

*LIGHT_CIL1 = 0;*

*ENDIF;*

**{CONTROL DE LUZ INDICADORA DE CILINDRO 2}**

*IF VAR_CIL2 >= 100 THEN*

*LIGHT_CIL2 = 1;*

*ELSE*

*LIGHT_CIL2 = 0;*

*ENDIF;*

**{CONTROL DE LUZ INDICADORA DE ESTADO LISTO}**

*IF VAR_CIL1 >= 100 AND VAR_CIL2 >= 100 AND Viga_mov_banda >= 18 AND Viga_mov_banda <= 88 THEN*

*LIGHT_LISTO = 1;*

*ELSE*

*LIGHT_LISTO = 0;*

*ENDIF;*

# ANEXO 5.1

COTIZACIÓN DE MATERIAL ELÉCTRICO

# COTIZACIÓN PROVISTA POR INGELCOM

Quito, 16 de Diciembre de 2011

Estimado Diego Lincango buen día:

Me permito enviarle los precios de la lista solicitada, la oferta válida es inmediata.

| ITEM | Detalle | Unidad | Cant | Precio unitario (usd) | Precio Total (usd) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | PLC Logo 24V CC de 8I 4Q con cable Ethernet | 1 | u | 270,00 | 270,00 |
| 2 | Modulo Auxiliar 24V CC de 8I;8Q | 1 | u | 123,08 | 123,08 |
| 3 | NA Botón 24V 5Amp | 12 | u | 8,54 | 8,54 |
| 4 | NC Botón 24V 5Amp | 5 | u | 8,54 | 8,54 |
| 5 | Luces 24V | 4 | u | 4,17 | 4,17 |
| 6 | Relés entra 24V sale 24V | 4 | u | 13,91 | 13,91 |
| 7 | P tenciómetros 4,7KΩ ara 24 | 2 | u | 62,61 | 62,61 |
| 8 | Variadores Siemens G110 0,12HP con panel de visualización | 2 | u | 199,15 | 199,15 |
| 9 | Caja eléctrica | 1 | u | 80,00 | 80,00 |
| 10 | Portafusibles trifásicos pa a 90Amp con fusibles | 2 | u | 215,38 | 215,38 |
| 11 | Portafusibles bifásicos para 5 Amp con fusibles | 2 | u | 8,33 | 8,33 |
| 12 | Portafusibles monofásicos para 5 Amp con fusibles | 2 | u | 4,17 | 4,17 |
| 13 | Canaleta 25x50x6000mm | 4 | u | 4,92 | 4,92 |
| 14 | Brakers trifásico 90 Amp CAJA NOLDEADA | 2 | u | 110,77 | 110,77 |
| 15 | Brakers trifásico 5 Amp RIEL DIN | 2 | u | 25,38 | 25,38 |
| 16 | Brakers trifásico 1 Amp RIEL DIN | 1 | u | 31,00 | 31,00 |
| 17 | Switch para 24V de 5 Amp | 1 | u | 8,70 | 8,70 |
| | | | | SUBTOTAL | 1.178,65 |
| | | | | IVA 12% | 141,44 |
| | | | | TOTAL | 1.320,09 |

Son: Mil trescientos veinte con 09/100 Dólares Americanos

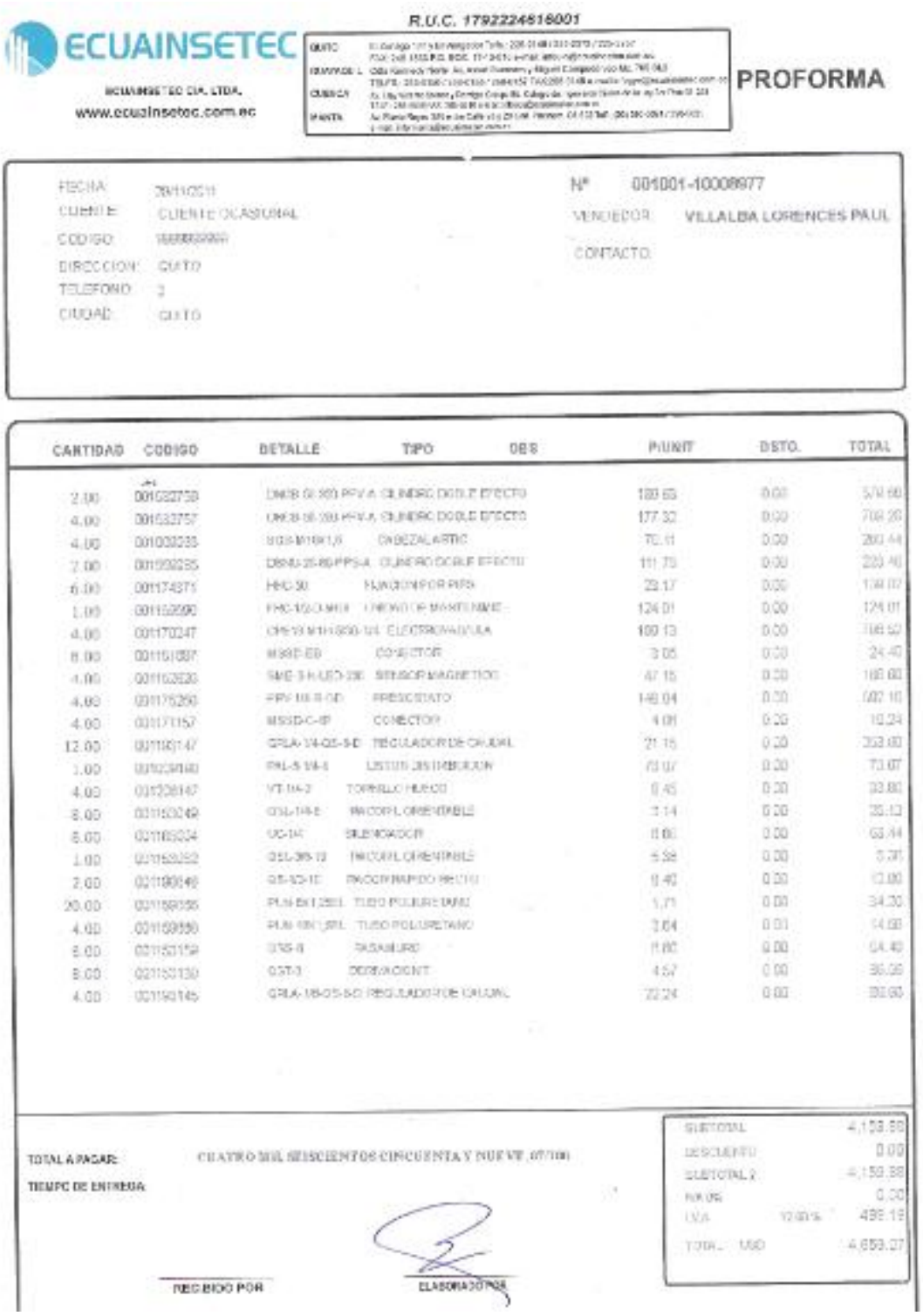
Atentamente,

***Ing. José Guevara Suárez***
**INGELCOM Cïa. Ltda.**
2 416 996, **Ext 28**
095 270 595

# ANEXO 5.2

COTIZACIÓN DE MATERIAL NEUMÁTICO

# COTIZACIÓN PROVISTA POR ECUAINSETEC



ECUAINSETEC

ECUAINSETEC CIA. LTDA.
www.ecuainsetec.com.ec

R.U.C. 1792224818001

QUITO
[illegible]
CUENCA
[illegible]
MANTA
[illegible]

**PROFORMA**

FECHA: 28/11/2011
CLIENTE: CLIENTE OCASIONAL
CODIGO: [illegible]
DIRECCION: QUITO
TELEFONO: 2
CIUDAD: QUITO

Nº 001001-10008977
VENDEDOR: VILLALBA LORENCES PAUL
CONTACTO:

| CANTIDAD | CODIGO | DETALLE | TIPO | OBS | P/UNIT | DSTO. | TOTAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.00 | 001532758 | DNCB 50-200 PFV-A | CILINDRO DOBLE EFECTO | | 189.65 | 0.00 | 379.60 |
| 4.00 | 001532757 | DNCB 50-200 PFV-A | CILINDRO DOBLE EFECTO | | 177.32 | 0.00 | 709.28 |
| 4.00 | 001009235 | SGS-M10X1,5 | CABEZAL ARTIC | | 70.11 | 0.00 | 280.44 |
| 2.00 | 001599235 | DSNU-25-80-PPS-A | CILINDRO DOBLE EFECTO | | 111.75 | 0.00 | 223.46 |
| 6.00 | 001174371 | HHC-30 | FIJACION POR PIPS | | 23.17 | 0.00 | 139.02 |
| 1.00 | 001159590 | FHC-1/2-D-MINI | UNIDAD DE MANTENIMIE | | 124.01 | 0.00 | 124.01 |
| 4.00 | 001170247 | CPE18-M1H-5/3G-1/4 | ELECTROVALVULA | | 109.13 | 0.00 | 708.52 |
| 8.00 | 001151687 | MSSD-EB | CONECTOR | | 3.05 | 0.00 | 24.40 |
| 4.00 | 001162620 | SME-8-K-LED-230 | SENSOR MAGNETICO | | 47.15 | 0.00 | 188.60 |
| 4.00 | 001175250 | PFV-10-R-GD | PRESOSTATO | | 148.04 | 0.00 | 592.16 |
| 4.00 | 001171157 | MSSD-C-IP | CONECTOR | | 4.08 | 0.00 | 16.24 |
| 12.00 | 001193147 | GRLA-1/4-QS-8-D | REGULADOR DE CAUDAL | | 21.15 | 0.00 | 253.80 |
| 1.00 | 001039160 | PAL-5-1/4-4 | LISTOS DISTRIBUCION | | 73.07 | 0.00 | 73.07 |
| 4.00 | 001208147 | VT-1/4-2 | TORNILLO HUECO | | 8.45 | 0.00 | 33.80 |
| 8.00 | 001153249 | QSL-1/4-8 | RACOR L ORIENTABLE | | 3.14 | 0.00 | 25.12 |
| 8.00 | 001165024 | UC-1/4 | SILENCIADOR | | 8.06 | 0.00 | 63.44 |
| 1.00 | 001153252 | QSL-3/8-10 | RACOR L ORIENTABLE | | 5.38 | 0.00 | 5.38 |
| 2.00 | 001190646 | QS-3/8-10 | RACOR RAPIDO RECTO | | 6.40 | 0.00 | 12.80 |
| 20.00 | 001159555 | PUN-8X1,25BL | TUBO POLIURETANO | | 1.71 | 0.00 | 34.20 |
| 4.00 | 001159550 | PUN-10X1,5BL | TUBO POLIURETANO | | 3.64 | 0.00 | 14.56 |
| 8.00 | 001153159 | GRS-8 | PASAMURO | | 8.80 | 0.00 | 64.40 |
| 8.00 | 001153130 | GST-3 | DERIVACION T | | 4.57 | 0.00 | 36.56 |
| 4.00 | 001193145 | GRLA-1/8-QS-8-D | REGULADOR DE CAUDAL | | 22.24 | 0.00 | 89.60 |

TOTAL A PAGAR: CUATRO MIL SEISCIENTOS CINCUENTA Y NUEVE (07/100)

TIEMPO DE ENTREGA:

| | | |
|---|---|---|
| SUBTOTAL | | 4,159.88 |
| DESCUENTO | | 0.00 |
| SUBTOTAL 2 | | 4,159.88 |
| N/A 0% | | 0.00 |
| IVA | 12.00 % | 499.19 |
| TOTAL USD | | 4,659.07 |

RECIBIDO POR

ELABORADO POR

# COTIZACIÓN PROVISTA POR ECUAINSETEC

ECUAINSETEC

ECUAINSETEC CIA. LTDA.
www.ecuainsetec.com.ec

R.U.C. 1792224616001

| | |
|---|---|
| QUITO | [illegible] |
| GUAYAQUIL | [illegible] |
| CUENCA | [illegible] |
| MANTA | [illegible] |

# PROFORMA

FECHA: 28/11/2011
CLIENTE: CLIENTE OCASIONAL
CODIGO: [illegible]
DIRECCION: QUITO
TELEFONO: 2
CIUDAD: QUITO

N° 001001-10008979
VENDEDOR: VILLALBA LORENCES PAUL
CONTACTO

| CANTIDAD | CODIGO | DETALLE | TIPO | OBS | P/UNIT | DSTO. | TOTAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.00 | 001001802 | 24VDC 5 Barra | FUENTE DE PODER 100-220 VAC | | 189.17 | 0.00 | 189.17 |

TOTAL A PAGAR: DOSCIENTOS ONCE 87/100
TIEMPO DE ENTREGA:

| | | |
|---|---|---|
| SUBTOTAL | | 189.17 |
| DESCUENTO | | 0.00 |
| SUBTOTAL 0 | | 189.17 |
| IVA 0% | | 0.00 |
| IVA | 12.00% | 22.70 |
| TOTAL USD | | 211.87 |

RECIBIDO POR

ELABORADO POR

# ANEXO 5.3

COTIZACIÓN DE RODAMIENTOS SKF

# COTIZACIÓN PROVISTA POR HIVIMAR S.A.

**HIVIMAR S.A.**

**Número:** 000001
**Fecha Emisión:** 23.01.2011

**RUC:**

**Tiempo de Entrega:**
12 dias laborables (IMP)

**Cliente:** METALMEC
**Validez hasta:** 15 DIAS
**Atención:** DIEGO RENE LINCANGO CRESPO

| Cod. Sap | Marca | Descripcion | Cant. | P/Unitario | Total |
|---|---|---|---|---|---|
| 107332 | SKF | 6305 (STOCK) | 4 | 9,36 | $ 37,44 |
| 108357 | SKF | 7209 BEP (STOCK) | 4 | 34,39 | $ 137,56 |
| | SKF | SY 1 1/4 TF/VA201 (IMP) | 1 | 72,36 | $ 72,36 |
| | | | | | $ - |
| | | | | | $ - |
| | | | | | $ - |
| | | | Subtotal: | | $ 247,36 |
| | | | Impuesto 12%: | | $ 29,68 |
| | | | Total: | | $ 277,04 |


**Ronald Sotomayor T.**
**Ventas Industriales**

**HIVIMAR S.A.**
**Telf: 2681100 ext. 354**
**1-700-HIVIMAR**
**Fax: 2681450**
**email: rst@hivimar.com**


STOCK= DISPONIBILIDAD INMEDIATA
IMP= IMPORTACION

HIVIMAR
LIDER EN MOVIMIENTO
Componentes y servicios automotrices e industriales

# COTIZACIÓN PROVISTA POR HIVIMAR S.A.

**COTIZACIÓN**

**HIVIMA R S.A.**

**Número:** 000920
**Fecha Emisión:** 08.02.20 12

**RUC:**
**PROCEDENCIA:** VARIOS
**Tiempo de Entrega:** INMEDIATA

**Cliente:** DIEGO RENE LINCANGO
**Validez hasta:**
**Atencion:**

**Tiempo de llegada:**

| Cod. Sap | Marca | Descripcion | UNIDADES | PRECIO | Total |
|---|---|---|---|---|---|
| 112418 | SKF | KM 7 (STOCK) M 35x1.5 | 9 | 6,42 | 57,78 |
| 112395 | SKF | KM 10 (STOCK) M 50x1.5 | 2 | 7,96 | 15,92 |
| | | | Subtotal: | | 73,70 |
| | | | Impuesto 12%: | | 8,84 |
| | | | Total: | | 82,54 |

**Ronald Sotomayor T.**
**Ventas Industriales**

**HIVIMAR S.A.**
**Telf: 2681100 ext. 354**
**1-700-HIVIMAR**
**Fax: 2681450**
**email: rst@hivimar.com**

STOCK= DISPONIBILIDAD INMEDIATA

IMP= IMPORTACION

HIVIMAR
LIDER EN MOVIMIENTO
Componentes y servicios automotrices e industriales

# ANEXO 5.4

COTIZACIÓN DE MOTORREDUCTOR

TORNILLO SIN FIN CORONA (MOTOVARIO)

# Cotización provista por COMREPSA

COMREPSA®

TRANSPORTE

R&M MATERIALS HANDLING INC.

Tractel Group

HU-LIFT

Puentes grùa, Tecles eléctricos y mecánicos a cable y cadena.
Sistemas de electrificación.
Tirfor - malacates - winches - trolleys
Carretillas y aplicadores hidráulicos
Montacargas eléctricos

POTENCIA

MOTOVARIO

ABB

FUJI

Motorreductores coaxiales y ortogonales,
motovariadores de velocidad.
Variadores electrónicos (inverters)

PESAJE

Transcell Technology inc.

TEDEA-HUNTLEIGH DIBAL

Balanzas mecánicas,
electrónicas de piso y pedestal
Sistemas industriales de
pesaje y dosificación.
Balanzas tipo supermercado.

MAQUINAS

HU-LIFT

PROMAN

Taladros, fresadores de banda y engranajes.
Tornos paralelos automáticos.
Fresadoras universales y de torreta
Cortadoras de sierra - dobladoras
Accesorios en general.

Telf. 084160610/ 2246772

Email: alinmetalmecanica@hotmail.com

Quito, 24 de Noviembre de 2011

Señores:
**SR. DIEGO R LINCANGO C.**
Presente.-

Nos es grato poner a su conocimiento la siguiente cotización de acuerdo a lo requerido por Ud. (s):

MOTOVARIO

| **CANT.** | **DESCRIPCIÓN** | |
|---|---|---|
| **1** | **MOTORREDUCTOR ORTOGONAL** | |
| | MARCA: | MOTOVARIO (ITAL) |
| | TIPO: | TORNILLO SIN FIN CORONA |
| | MODELO: | NRV/MNRV 030/050 |
| | RELACION DE REDUCCION | i: 900 |
| | POTENCIA: | 1/6 HP / 4POLOS |
| | VELOCIDAD DE SERVICIO: | 0.6 RPM |
| | TORQUE DE SERVICIO: | 140 Nm |
| | VOLTAJE: | 220/380/440 V TRIFASICO |
| | DIÁMETRO DE AGUJERO DE SERVICIO: | 25 mm |
| | PROTECCION: IP 55 / AISLAMIENTO: | CLASE F |
| | FACTOR DE SERVICIO | 0.2 |

**PRECIO UNIT: $ 800 + IVA**
FORMA DE PAGO: Contado

TIEMPO DE ENTREGA: 2-3 día aprox. Una vez recibida la orden de compra.

VALIDEZ DE LA OFERTA: 15 Días

GARANTIA: Un año contra defectos de fabricación.

Atentamente,

ING DIEGO CORDONEZ
VENTAS

**OFICINA Y PLANTA: Juan Molineros Lote 3 y Eloy Alfaro Telfs.: 2805364 – 2805365 Fax: 2805328**
**E-mail: comrepsa@uio.satnet.net diego.cordonez@comrepsa.com - QUITO-ECUADOR**

# ANEXO 5. 5

COTIZACIÓN DE PERFILES E INSUMOS

# COTIZACIÓN PROVISTA POR PROVIACEROS CIA. LTDA.

| Cotización No. 16880 | PROVIACEROS CIA. LTDA. |
|---|---|

**Ruc: 1792180147001 Tumbaco Fco. Salas e Interoceánica Telf: 2376663**

| | |
|---|---|
| Cliente: Consumidor Final Quito | Teléfono: 2246772 Oferta válida: 8días |
| Atención: Lincango Diego | Ruc:1700755620001 |
| Dirección: Psje. Alisos E13-56 y Av. El Inca | Vendedor: Arellano Fecha: 01/02/2012 |

| CÓD | DESCRIPCIÓN | CANT. | P.V.P | P.V.P. Und | P.V. Total |
|---|---|---|---|---|---|
| **820100** | UPN 100; 100X50X8X6000mm | 2,00 | 84,30 | 84,30 | 168,60 |
| **820080** | UPN 80; 80X45X8X6000mm | 1,00 | 75,95 | 75,95 | 75,95 |
| | HEB100; 100X10mm (patín) 100X 6mm (alma) | 1,00 | 164,10 | 164,10 | 164,10 |
| **604030** | T. cuadra; 40x40x3x6000mm | 1,00 | 27,65 | 27,65 | 27,65 |
| **380110** | Plancha galv. e=1,1mm | 1,00 | 31,35 | 31,35 | 31,35 |
| **411833** | Placa 200x300x6mm | 2,00 | 6,32 | 6,32 | 12,64 |
| **410400** | Plancha 1220x2400x4 | 1,00 | 91,85 | 91,85 | 91,85 |
| **411000** | Plancha 1220x2400x10 | 1,00 | 233,70 | 233,70 | 233,70 |
| **411200** | Plancha 1220x2400x12 | 1,00 | 280,44 | 280,44 | 280,44 |
| **190301** | Elect AGA E6011x1/8" (kg) | 2,00 | 3,35 | 3,35 | 6,70 |
| **190321** | Elect AGA E7018x1/8" (kg) | 3,00 | 4,10 | 4,10 | 12,30 |
| **272510** | Lija Hierro | 2,00 | 0,40 | 0,40 | 0,80 |
| **211002** | Fondo Multiprimer gris galón | 1,00 | 19,50 | 19,50 | 19,50 |
| **276001** | Thiñer | 10,00 | 1,50 | 1,50 | 3,00 |
| **276702** | Envase para thiñer | 2,00 | 0,20 | 0,20 | 0,40 |
| **210607** | Sintético Automotriz | 1,00 | 17,30 | 17,30 | 17,30 |
| **180114** | Discos de corte Ø14" | 1,00 | 4,91 | 4,91 | 4,91 |
| **180102** | Discos de corte Ø7" | 2,00 | 2,90 | 2,90 | 5,80 |
| **180307** | Discos desbaste Ø7" | 1,00 | 2,68 | 2,68 | 2,68 |
| **271705** | Desoxidante Litro | 1,00 | 2,85 | 2,85 | 2,85 |
| **Son:** | Mil trescientos dos con 02/100 Dólares Americanos. | | | Subtotal: | 1.162,52 |
| | | | | 12% IVA | 139,50 |
| | | | | Total | 1.302,02 |

**Ing. Lorena Arellano**
**Ventas Quito**

# ANEXO 5.6

CORTE DE PLACAS DE CAJA DE CONFORMADO

# COTIZACIÓN PROVISTA POR PROVIACEROS CIA. LTDA.

**OXICORTES**

**TODAS LAS FORMAS DEL ACERO**

Matriz: Dir.: Monteserrin - Av. De las Palmeras N48-80 y Av. Eloy Alfaro
(sector El Inca) Telefax: 2275 163 Quito - Ecuador

VENTA Y CORTE DE PLANCHAS DE ACERO DESDE 0,7 A 150. mm DE ESPESOR,
CORTAMOS CON PLASMA HASTA 25mm. ACEROINOXIDABLE - ALUMINIO BRONCE, ETC.
PANTOGRAFO DE OJO ELECTRONICO CUALQUIER FIGURA
VENTA DE PLANCHAS PERFORADAS Y EXPANDIDAS
SERVICIO DE GUILLOTINA HASTA 10 mm. Y PLEGADORA HASTA 6 mm. DE ESPESOR

PROFORMA
0001364

Fecha: 02-02-2017
Cliente: Sr. Diego Limcango
Dirección: Telf.:

| CANT. | D E T A L L E | V. UNIT. | V. TOTAL |
|---|---|---|---|
| 2 Tg. | 1180 x 304 x 10 mm | 21,01 | 42,02 |
| 2 Tg. | 600 x 320 x 12 mm | 33,17 | 66,34 |
| 4 PH. | 210 x 314 x 10 mm | 9,50 | 38,00 |
| | OXICORTES Esthely FIRMA AUTORIZADA | | |
| | | SUBTOTAL | 146,36 |
| | | IVA. .....% | 17,56 |
| | | TOTAL USD $ | 163,92 |

RECIBI CONFORME

FIRMA AUTORIZADA

***Srita. Esthely Rodriguez***
**022275163**

# ANEXO 5. 7

COTIZACIÓN DE ACEROS ESPECIALES

# COTIZACIÓN PROVISTA POR ACEROS HGB

**Hugo Gerardo Guerrero Barreno**
RUC: 1801252170001
Los Pinos E7-30 e Ines de Medina

**PROFORMA**
**No.: 0002300**

Quito, 08 de Febrero del 2012

**Señor (es):**
***CONSUMIDOR FINAL***
Dirección: S/D
Telf.: 3806610 G C

**Tiempo de Entrega:** 0 **día(s) laborables** **Forma de pago:** Efectivo
**Lugar de Entrega:** **Validez:** 0 **días** **Vendedor:** WILSON GRIJALVA
**Observación:**

**De mi consideración:**
Reciba un cordial saludo de , ACEROS INDUSTRIALES al mismo tiempo pongo a su consideración la siguiente PROFORMA.

| Código | Descripción | Cantidad | P.V.P. | Precio Total |
|---|---|---|---|---|
| 1.1.100 | AC. 705/4340 RED. 100 MMx36mm 1p | 2.47 | 5.08000 | 10.29 |
| 1.1.100 | AC. 705/4340 RED. 100 MMx53mm 1p | 3.52 | 5.08000 | 14.66 |
| 26.1.35 | AC. 709/4140 RED. 35 MMx180mm 1p | 1.40 | 4.35000 | 4.99 |
| 4.1.200 | AC. 760/1045 RED. 200 MMx180mm 4 | 181.56 | 4.16850 | 613.04 |
| 4.4.8 | AC. 760/1045 CHAV. 8 MMx100mm 4p | 0.25 | 11.91750 | 2.98 |

**La Cantidad de:**
SETECIENTOS VEINTITRES DOLARES CON 48 CTVS

**Atentamente,**

WILSON GRIJALVA
/ 2408731
**ACEROS INDUSTRIALES**

| | |
|---|---|
| Descuento: | 150.37 |
| Subtot Exento: | 0.00 |
| Subtot Gravado: | 645.96 |
| Iva 12 % | 77.52 |
| **Total:** | **723.48** |

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

# ANEXO 5.8

EQUIPOS DE SOLDADURA FCAW- G

# COTIZACIÓN PROVISTA POR INABRAS

INGENIERIA EN ABRASIVOS Y SERVICIOS INABRAS S.A.
Panamericana Norte Km 6 1/2 PARKENOR A-15
Telf: (02) 2473-892 / 2802-128 Fax: (02) 2802-137
RUC: 0992146303001

**PROFORMA**
**13953**

**Servicio Técnico AUTORIZADO para: LINCOLN ELECTRIC, METABO Y BUGO**

**SEÑOR:** DIEGO LINCANGO

**Atención:**

**REFERENCIA**

| | |
|---|---|
| FECHA | 22/12/2011 |
| VALIDA POR | 15 DIAS |
| FORMA DE PAGO | CONTADO |

| ITEM | NUM. PARTE | DESCRIPCION | ENTREGA | CANT | Unid. Med | P/UNI | TOTAL |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | LI1-K2613-5 | LN-10 Alimentadora de alambre modelo de banco | 4 SEMANAS | 1.00 | U | 3,300.00 | 3,300.00T |
| 2 | LI1-K2439-2 | SOLDADORA CV-400 | 4 SEMANAS | 1.00 | U | 6,430.00 | 6,430.00T |
| 3 | TUB-LW71.2 | TUBULAR LW-71 1.2mm LINCOLN (SH) (15 kg) | | 15.00 | KG | 3.67 | 55.05T |
| 4 | GA-REC-CO2-20 | RECARGA DE CO2 -20 KG | | 20.00 | KG | 1.50 | 30.00T |

OBSERVACIONES: ESTA OFERTA NO GARANTIZA STOCK.

| | |
|---|---|
| **SUMAN** | $9,815.05 |
| **IVA (12.0%)** | $1,177.81 |
| **TOTAL** | **$10,992.86** |

**ING. WILLAM VALENCIA**
RESPONSABLE

# ANEXO 5. 9

SELECCIÓN Y COTIZACIÓN DEL TRANSPORTADOR DE RODILLOS MOTRICES

# COTIZACIÓN PROVISTA POR BEECONS

Beecons
Ing. Wilson Cueva A.

¡ Desde 1988 estamos en la mayoría de campos petroleros !

- OBRAS CIVILES Y ESTRUCTURAS: Tanques de almacenamiento API-650 y API-653 - Puentes grúa DIN 15018 - Aislamientos térmicos - Gratings ASTM A123
- CONVEYORS: De banda, de rodillos estandarizados en acero, Inox, PVC, Al, Tornillo sinfín, Elevadores para Transporte de bultos, cajas y productos al granel, según CEMA

Quito, 05 de agosto del 2011

**COTIZACIÓN Nº 6315**

Señor: Diego Lincango Crespo
Email: godierene@hotmail.com
Dirección: Quito Teléfono: 084160610

De nuestras consideraciones.-
(Todas las medidas en milímetros)
**OBJETO:** TRANSPORTADORES DE RODILLOS MOTRICES

**DETALLES TÉCNICOS:**

- Las medidas son: Longitud=13000, Ancho=1000, Altura de trabajo= 900
- Estructura de ángulo 100x10 y 50x6, soldada y dividida en tres módulos de 4333.
- El transportador tiene 18 rodillos motrices Ø 89 longitud 1000 separados **764** mm entre centros, con eje de acero y chumaceras de piso a los extremos.
- Cada rodillo tiene 2 piñones y transmiten movimiento con cadena paso ¾".
- El sistema de piñones y cadena tiene una tapa de protección, de tol antideslizante.
- El transportador tendrá 9 patas o soportes con tornillos de nivelación.
- El rodillo central tiene el eje para acople de un motorreductor. No incluye el motorreductor.
- Los rodillos están calculados para soportar el peso de 151 Kg, correspondiente al doble del peso de la viga más grande.
- Accesorios de alineación y rodillos para el centrado del alma.

**PRECIO**: Cada transportador: $ 7814.42 + IVA, total dos transportadores: $ 15628.84 + IVA
Llevamos 22 años produciendo y diseñando estructuras metálica, rejillas, sistema de transporte de bultos de materiales para empresas como: IAA, Ideal Alambrec, Techint, ADELCA, Conduto, AGIP, ARB, Procopet, Tectotal, Edesa, Chaide y Chaide, Paraíso, Santos CMI, Omnibus, Duquematriz, Aymesa, Cima, Esacero, DHL, René Chardón, Petrobell, Equipenínzula, AZUL, Harbert, etc.

**CONDICIONES DE LA OFERTA:**

1. Validez de la oferta: 5 días
2. Forma de pago: 50% de anticipo; 50% a la entrega de los transportadores previa inspección a satisfacción del cliente en cheque nacional a nombre de BEECONS.
3. Plazo de entrega: 21 **DÍAS LABORABLES**, a partir de la aceptación oferta y recepción del anticipo. Si la orden de compra se recibe los días viernes o previo a feriado, el plazo cuenta desde el próximo día laborable
4. Lugar de entrega: Planta BEECONS.

Atentamente,

Ing. Wilson Cueva A.
Gerente- BEECONS
*WC/VP*

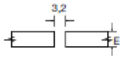
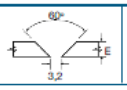
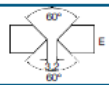
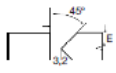
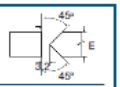
# ANEXO 5.10

TABLAS PARA LA ESTIMACIÓN DE COSTOS DE SOLDADURA

Anexo 5.10: Estimación de costos de soldadura

## *Peso de metal depositado*

Pmd = Área seccional x longitud x densidad aporte.

| Unión de soldadura | |  |  |  |  |  |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Espesor (E) mm | METAL DEPOSITADO (kg/ml) (acero) | | | | | |
| 3,2 | 0,045 | 0,098 | | | | |
| 6,4 | 0,177 | 0,190 | 0,380 | | 0,358 | |
| 9,5 | 0,396 | | 0,638 | | 0,605 | |
| 12,5 | 0,708 | | 1,168 | | 1,066 | |
| 16 | 1,103 | | 1,731 | | 1,707 | 1,089 |
| 19 | 1,592 | | 2,380 | 1,049 | 2,130 | 1,449 |
| 25 | 2,839 | | 3,987 | 2,578 | 3,554 | 2,322 |
| 32 | | | | 3,768 | | 3,380 |
| 37,5 | | | | 5,193 | | 4,648 |
| 51 | | | | 8,680 | | 7,736 |
| 63,5 | | | | 13,674 | | 11,617 |
| 76 | | | | 18,432 | | 16,253 |

## *Eficiencia de deposición*

| Proceso | Eficiencia deposición (%) |
|---|---|
| Electrodo manual | 60-70 |
| MIG sólido | 90 |
| MIG tubular c/protección | 83 |
| MIG tubular s/protección | 79 |
| TIG | 95 |
| Arco sumergido | 98 |

## *Factor de operación*

| Proceso | Factor de Operación (%) |
|---|---|
| Electrodo manual | 5- 30 |
| MIG sólido | 10- 60 |
| MIG tubular | 10- 60 |
| TIG | 5- 20 |
| Arco sumergido | 50-100 |

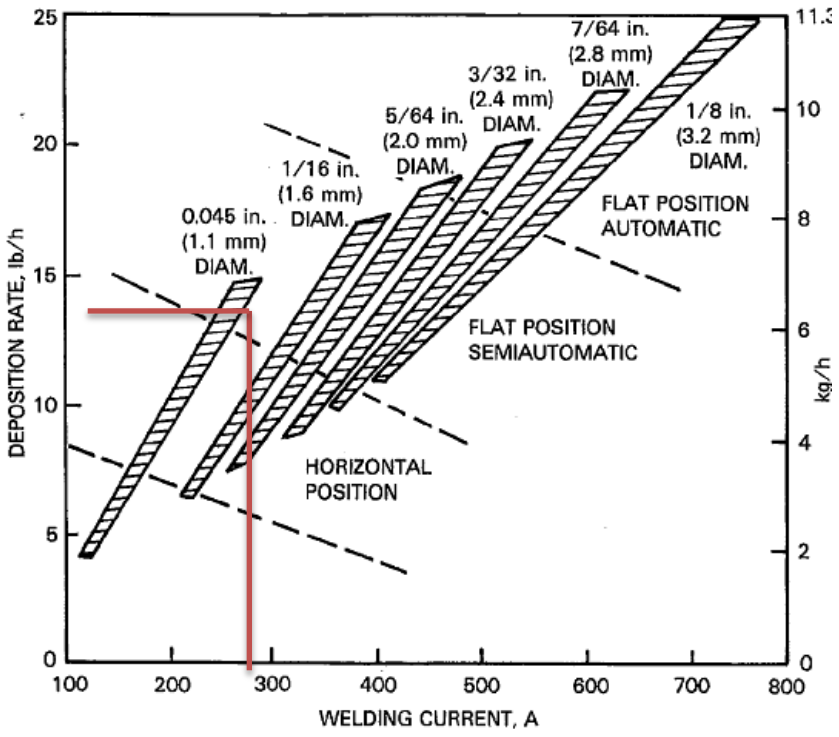
## *Flujo de gas*

| Proceso | Flujo gas ($m^3$/hr) |
|---|---|
| MIG sólido | 0,8-1,2 |
| MIG tubular | 1,0-1,4 |
| TIG | 0,5-1,0 |

Fuente: Indura Ecuador

Anexo 5.10: Estimación de costos de soldadura

**Tasa de deposición**




Fuente: AWS, *Welding Handbook, Ingeniería, costos, calidad, y seguridad*, $7^{ma}$. Edición, vol. 5, Editorial W.H. Kearns, Miami, 1999. p.179

# ANEXO 5.11

Cotización de $CO_2$

Cotización provista por Solequip

Quito, 20 de Febrero de 2012

Estimado Diego Lincango buen día:

Me permito enviarle el precio del gas carbónico, oferta válida es inmediata.

| *REF* | *Detalle* | *Unidad* | *Cant* | *Precio unitario (usd)* | *Precio Total (usd)* |
|---|---|---|---|---|---|
| *1* | *Gas carbónico de 20 kg* | *1* | *u* | *25,00* | *25,00* |
| | | | | | |
| | | | | *SUBTOTAL* | *25,00* |
| | | | | *IVA 12%* | *3,00* |
| | | | | *TOTAL* | *28,00* |

Son: Veinte y ocho con 00/100 Dólares Americanos

Atentamente,

***SOLEQUIP solequip@andinanet.net***

2532244 / 2532429

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
# SEDE QUITO

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**TOMO II**

**TEMA:**

**"DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CONFORMADORA SEMIAUTOMÁTICA DE VIGAS DE SECCIÓN ARMADA TIPO I, DESDE 200 mm HASTA 400mm DE PERALTE CON PROCESO DE SOLDADURA FCAW"**

**POR:**

**CHRISTIAN VICENTE CAMPAÑA NENGER y**

**DIEGO RENE LINCANGO CRESPO**

**DIRECTOR:**

**Ing. FERNANDO LARCO**

**Quito, Julio del 2012**

# ANEXO 6.1

PLANOS DE LA MÁQUINA