





# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**Diseño de un estacionamiento subterráneo automatizado con  
capacidad de tres vehículos**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**Luis Alberto Galiano Vásquez**

**Darío Daniel Martínez Méndez**

**DIRECTOR: Ing. Fernando Olmedo**

**CODIRECTOR: Ing. Telmo Sánchez**

**Sangolquí, 2005-03-03**

## **CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto “**DISEÑO DE UN ESTACIONAMIENTO SUBTERRÁNEO AUTOMATIZADO CON CAPACIDAD DE TRES VEHÍCULOS**” fue realizado en su totalidad por Luis Alberto Galiano Vásconez y Darío Daniel Martínez Méndez, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

---

**Ing. Fernando Olmedo**

**DIRECTOR**

---

**Ing. Telmo Sánchez**

**CODIRECTOR**

**Sangolquí, 2005-03-03**

## LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

### “DISEÑO DE UN ESTACIONAMIENTO SUBTERRÁNEO AUTOMATIZADO CON CAPACIDAD DE TRES VEHÍCULOS”

ELABORADO POR:

---

Luis Alberto Galiano Vásquez

---

Darío Daniel Martínez Méndez

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

---

***EL DECANO***

**Sangolquí, 2005-03-03**

## **DEDICATORIA**

Todo el esfuerzo y dedicación que representa la elaboración de esta tesis, se lo dedico a mis padres y familiares que siempre me apoyaron y alentaron a trabajar cada vez más duro y mejor y a todas aquellas personas que de una u otra forma me brindaron su apoyo y su tiempo para la consecución de esta meta.

**LUIS ALBERTO GALIANO VÁSCONEZ.**

Este proyecto va dedicado a mi familia, especialmente a mis Padres: Marco y Mercedes, a mis hermanos: Diego y Sebas; que juntos somos un equipo a la hora de lograr objetivos.

También a todos mis amigos, y al que me acompañó tres años de mi carrera universitaria mi fiel amigo Enano.

**DARÍO DANIEL MARTÍNEZ MÉNDEZ.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero agradezco a Dios por darme la vida y la inteligencia necesaria para lograr mis metas, a mis padres y hermanas por ser siempre mi apoyo y mi sostén en el transcurso de mi vida y en la elaboración de esta tesis, así como a todas aquellas personas que me acompañaron mientras realizaba el modelo a escala, quiero agradecer de forma especial a la ESPE, a mi director y co-director por brindarme sus conocimientos y su tiempo para realizar esta meta tan importante en mi vida.

**LUIS ALBERTO GALIANO VÁSCONEZ.**

A Dios por su ayuda incondicional en toda mi vida, a toda mi familia, por su apoyo. A mis profesores que han impartido conocimientos durante mi paso por la facultad de Ingeniería Mecánica, a mis amigos que siempre han estado apoyándome, a mi amigo Luis Galiano por permitirme colaborar en este proyecto, a mi director y codirector del presente proyecto por su respaldo.

**DARÍO DANIEL MARTÍNEZ MÉNDEZ.**

# INDICE DE CONTENIDOS

<b>CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO .....</b>	<b>II</b>
<b>LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO.....</b>	<b>III</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>IV</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>V</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>IX</b>
<b>CAPITULO 1: GENERALIDADES .....</b>	<b>1</b>
1.1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.2 ANTECEDENTES.....	4
1.3 OBJETIVOS GENERALES.....	5
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	5
1.5 JUSTIFICACIÓN.....	6
1.6 ALCANCE .....	7
<b>CAPITULO 2: FUNDAMENTO TEÓRICO.....</b>	<b>9</b>
2.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS.....	9
2.1.1 Estructura .....	9
2.1.2 Sistema Estructural .....	9
2.1.3 Seguridad .....	10
2.1.4 Funcionalidad .....	11
2.1.5 Economía .....	11
2.1.6 Fuerzas aplicadas a un cuerpo.....	11
2.1.6.1 Cargas muertas: .....	11
2.1.6.2 Cargas vivas: .....	12
2.1.6.3 Cargas de sismo:.....	13
2.1.6.4 Cargas por presión hidrostática y empuje de tierras .....	14
2.1.7 Combinación de cargas o estados de carga .....	15
2.1.8 Métodos de diseño.....	15
2.1.9 Criterios de falla .....	16
2.2 MECANISMO DE ELEVACIÓN.....	17
2.2.1 Mecánicos (Electro mecánicos):.....	17
2.2.1.1 Poleas:.....	17
2.2.1.2 Tornillo de potencia.....	19
2.2.2 Hidráulicos: .....	19
2.2.2.1 Elevador electro-hidráulico .....	20
2.3 ESTACIONAMIENTOS:.....	21
2.3.1 Inventarios: .....	22
2.3.2 Codificación del área:.....	23
2.3.3 Identificación de los estacionamientos.....	23
2.3.4 Identificación de la demanda.....	24
2.3.5 Análisis de los datos .....	25
2.4 ELEMENTOS PARA EL SISTEMA DE CONTROL.....	25
2.4.1 Control automático .....	25
2.4.2 Control remoto: .....	26
2.4.3 Sensores: .....	26
2.4.3.1 Sensores de Posición:.....	27
2.4.3.2 Inductivos: .....	27
2.4.3.3 Capacitivos:.....	27
2.4.3.4 Ópticos:.....	28
2.4.3.5 Ultrasónicos:.....	29
2.4.4 Actuadores:.....	29
2.4.5 PLC: .....	29
2.5 FOSA.....	30
2.5.1 Excavaciones sin Apuntalar .....	30
2.5.2 Excavaciones Apuntaladas .....	31
2.5.3 Animación de preesfuerzo.....	32

2.5.3.1	Proceso constructivo excavaciones poco profundas .....	33
2.5.3.2	Proceso constructivo excavaciones profundas .....	34
2.5.4	Revestimiento de la excavación.....	36
<b>CAPITULO 3: ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS: .....</b>		<b>37</b>
3.1	FOSA.....	37
3.2.1	Tipo de perfil.....	37
3.2.2	Tipo de unión.....	38
3.2.3	Forma de la estructura.....	39
3.2.4	Otros elementos .....	40
3.2.5	Código de diseño.....	41
3.2.6	Fórmula para mayorar las cargas y cargas aplicadas .....	41
3.3	SISTEMA MECÁNICO .....	42
3.3.1	Cilindro hidráulico .....	43
3.3.2	Piñón Cremallera.....	45
3.3.3	Tornillo de potencia .....	52
3.3.4	Poleas y carretes.....	54
3.3.5	ELABORACIÓN DE LA MATRIZ DE DECISIÓN. ....	55
3.4	SISTEMA DE CONTROL .....	57
3.4.1	Sensores .....	57
3.4.2	Control remoto.....	58
3.4.3	Controlador.....	58
3.4.4	Actuadores .....	59
<b>CAPITULO 4: DISEÑO .....</b>		<b>61</b>
4.1	DISEÑO DE LA FOSA .....	61
4.1.1	Excavación .....	61
4.1.2	Cimentación .....	61
4.1.3	Muros de contención.....	61
4.1.4	Piso .....	62
4.2	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA METÁLICA .....	62
4.2.1	Viga longitudinal de 3 metros .....	63
4.2.2	Viga transversal de 7 metros.....	69
4.2.3	Cálculo de la resistencia y tamaño de la soldadura entre las vigas: .....	75
4.2.4	Cálculo de las columnas móviles: .....	76
4.2.5	Elemento soportante del conjunto formado por las vigas soldado a la columna: .....	81
4.2.6	Viga soporte para subir.....	83
4.2.7	Modelación en software de la estructura .....	89
4.2.7.1	Viga de 7 m. ....	92
4.2.7.2	Columnas de la Estructura.....	93
4.2.7.3	Tubos 1 ½ in cos espesor de 3mm. ....	94
4.2.7.4	Viga de 3m: .....	95
4.2.7.5	Nomenclatura de los gráficos .....	96
11:	ESFUERZO FLECTOR A TENSIÓN. ....	96
4.3	DISEÑO DEL SISTEMA MECÁNICO.....	96
4.3.1	Cables y poleas .....	97
4.3.2	Para el cálculo de la velocidad a la que va a subir el conjunto de la estructura y los vehículos:.....	99
4.3.3	Cálculo de la potencia requerida .....	100
4.3.4	Diseño del eje y la flecha .....	104
4.3.4.1	Diseño del eje.....	104
4.3.4.2	Diseño de la Flecha.....	110
En la sección C	tenemos momentos y torque. ....	115
4.3.5	Selección de rodamientos.....	120
4.3.6	Diseño de las chavetas y chaveteros .....	122
4.3.6.1	Chaveta.....	122
4.3.6.2	Chavetero.....	123
4.3.7	Modelación en software de algunos elementos del sistema mecánico.....	125
4.3.7.1	Diseño de los ejes.....	128
4.3.7.2	Diseño de la flecha que contiene los carretes:.....	138

4.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL .....	148
4.4.1 Programa y lenguaje para la programación del PLC .....	148
4.4.2 Programación del PLC .....	150
4.4.3 Disposición de elementos de control y actuadores .....	161
4.4.4 Conexión de las entradas y salidas en el PLC .....	162
<b>CAPITULO 5: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MODELO A ESCALA .....</b>	<b>165</b>
5.1 DISEÑO .....	165
5.1.1 Estructura .....	166
5.1.2 Cables y poleas .....	166
5.1.3 Potencia requerida .....	168
5.1.4 Ejes y flechas.....	171
5.1.4.1 Eje.....	171
5.1.4.2 Flecha .....	178
5.1.5 Selección de rodamientos .....	188
5.1.6 Fosa .....	190
5.2 CONSTRUCCIÓN.....	190
5.2.1 Fosa .....	190
5.2.2 Estructura .....	191
5.2.3 Sistema de elevación .....	192
5.2.4 Montaje final .....	193
<b>CAPITULO 6: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MODELO A ESCALA .....</b>	<b>195</b>
6.1 PLAN DE PRUEBAS.....	195
6.2 ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	195
<b>CAPITULO 7: EVALUACIÓN ECONÓMICA FINANCIERA .....</b>	<b>201</b>
<b>CAPITULO 8: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>207</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>211</b>

# LISTADO DE FIGURAS

Figura #		Página
Figura 1.1.1	Vista de la disposición de los tres vehículos en el estacionamiento	2
Figura 1.1.2	Sistema colocado en el exterior de una construcción	2
Figura 1.1.3	Sistema colocado en un subsuelo existente	3
Figura 1.1.4	Foto de un sistema existente	3
Figura 2.1.1	Fluctuación de la carga muerta en el tiempo	12
Figura 2.1.2	Fluctuación de la carga viva en el tiempo	13
Figura 2.1.3	Carga por presión hidrostática	14
Figura 2.1.4	Colocación de las cargas vivas	15
Figura 2.2.1	Polea simple	18
Figura 2.2.2	Tornillo de potencia	19
Figura 2.2.3	Sistema hidráulico	20
Figura 2.2.4	Sistema electro-hidráulico	21
Figura 2.4.1	Sensor inductivo	27
Figura 2.4.2	Sensor óptico	28
Figura 2.5.1	Excavación sin apuntalar	31
Figura 2.5.2	Proceso de excavación	31
Figura 2.5.3	Talud de excavación	31
Figura 2.5.4	Excavación apuntalada	32
Figura 2.5.5	Apuntalamiento con ayuda de pingos de madera	32
Figura 2.5.6	Excavación apuntalada con madera	33
Figura 2.5.7	Excavación apuntalada con cerchas metálicas	33
Figura 2.5.8	Cerchas metálicas con puntales	34
Figura 2.5.9	Cercha metálica como modo de apuntalamiento	34
Figura 2.5.10	Muro pantalla apuntalada con cerchas metálicas	35
Figura 3.2.1	Esquema de estructura diseñada	39
Figura 3.3.1	Cilindro hidráulico	44
Figura 3.3.2	Piñón y cremallera	45
Figura 3.3.3	Sistema piñón cremallera acoplado a la estructura	46
Figura 3.3.4	Esquema ilustrativo de un engrane	47
Figura 3.3.5	Tornillo de potencia acoplado a la estructura	53
Figura 3.4.1	Sensor foto-eléctrico que se va a utilizar en el sistema	57
Figura 4.2.1	Esquema indicativo de los diferentes elementos de la estructura	62
Figura 4.2.2	Dimensiones del piso y señalización del área colaborante	63
Figura 4.2.3	Cargas aplicadas sobre la viga de 3m	65
Figura 4.2.4	Carga distribuida a lo largo de la viga de 3m	66
Figura 4.2.5	Diagrama de cortante y momento flector de la viga de 3m	66
Figura 4.2.6	Cargas que se aplican sobre la viga de 7m	71
Figura 4.2.7	Diagrama de cortante de la viga de 7m	72
Figura 4.2.8	Diagrama de momento flector de la viga de 7m	72
Figura 4.2.9	Ensamble entre las vigas de 7 y 3m	75
Figura 4.2.10	Cargas que se aplican en la columna móvil	78
Figura 4.2.11	Estructura comprobada en el programa RISA	79
Figura 4.2.12	Soporte del conjunto de las vigas de 7 y 3m	82

Figura 4.2.13	Localización de los cables y fuerzas en la viga soporte para subir	85
Figura 4.2.14	Diagrama de cortante de la viga soporte para subir	85
Figura 4.2.15	Diagrama de momento flector de la viga soporte para subir	86
Figura 4.3.1	Esquema del sistema de elevación	97
Figura 4.3.2	Esquema explicativo de la velocidad del sistema de elevación	100
Figura 4.3.3	Esquema del eje	104
Figura 4.3.4	Diagrama de fuerzas y momentos del eje	104
Figura 4.3.5	Diagrama de fuerzas del eje en el plano xy	105
Figura 4.3.6	Diagrama de momentos flectores en el plano xy	105
Figura 4.3.7	Diagrama de fuerzas y momentos del eje en el plano xz	106
Figura 4.3.8	Diagrama de momentos del eje en el plano xz	106
Figura 4.3.9	Esquema indicativo de dimensiones del eje	110
Figura 4.3.10	Diagrama de fuerzas y momentos flectores de la flecha	110
Figura 4.3.11	Diagrama de torques de la flecha	111
Figura 4.3.12	Diagrama de fuerzas y reacciones de la flecha en el plano xy	111
Figura 4.3.13	Diagrama de momento flector de la flecha en el plano xy	112
Figura 4.3.14	Diagrama de cargas de la flecha en el plano xz	112
Figura 4.3.15	Diagrama de momentos flectores de la flecha en el plano xz	113
Figura 4.3.16	Esquema explicativo de dimensiones de la flecha	119
Figura 4.3.17	Esquema de la chaveta	125
Figura 4.3.18-27	Figura de modelación en software del eje	129-137
Figura 4.3.28-36	Figura de modelación en software de la flecha	138-148
Figura 4.4.1	Foto del PLC utilizado	149
Figura 4.4.2	Pantalla del programa QuickII	150
Figura 4.4.3	Esquema indicativo de posición de los sensores en la estructura	161
Figura 4.4.4	Conexiones hacia el PLC	164
Figura 5.1.1	Esquema de la estructura a escala	166
Figura 5.1.2	Esquema del eje a escala	171
Figura 5.1.3	Diagrama de fuerzas y momentos del eje a escala plano xy	172
Figura 5.1.4	Diagrama de cuerpo libre plano xy	172
Figura 5.1.5	Diagrama del momento flector del eje a escala plano xy	173
Figura 5.1.6	Diagrama de fuerzas y momentos del eje en el plano xz	173
Figura 5.1.7	Diagrama de momentos del eje en el plano xz	174
Figura 5.1.8	Dimensionamiento del eje a escala	178
Figura 5.1.9	Esquema de la flecha a escala	178
Figura 5.1.10	Diagrama de cuerpo libre de la flecha a escala	179
Figura 5.1.11	Diagrama de torques de la flecha a escala	179
Figura 5.1.12	Fuerzas y reacciones de la flecha a escala en el plano xy	180
Figura 5.1.13	Diagrama de momentos de la flecha a escala en el plano xy	180
Figura 5.1.14	Diagrama de cargas en la flecha a escala en el plano xz	181
Figura 5.1.15	Diagrama de momentos en la flecha a escala en el plano xz	181
Figura 5.1.16	Dimensiones de la flecha a escala	188
Figura 5.2.1	Esquema de la fosa a escala	191
Figura 5.2.2	Esquema de la estructura a escala	192
Figura 5.2.3	Foto del conjunto de eje, flecha, carrete y polea del modelo a Escala	193
Figura 5.2.4	Foto del modelo a escala terminado	193

## NOMENCLATURA UTILIZADA

AISC:	American Institute of Steel Construction Inc.
AISC ASD:	Código de diseño por esfuerzo.
AISC LRFD:	Código de diseño por factor de carga y resistencia.
D:	Carga muerta.
L:	Carga viva.
Lr:	Carga viva de techo.
S:	Carga por nieve.
W:	Carga por viento.
R:	Carga por terremoto.
Zp:	Dientes del piñón.
P:	Paso diametral.
Pc:	Paso circular.
dp:	Diámetro de paso/ diámetro primitivo.
Ø:	Ángulo de presión
a:	Adendo
b:	Dependo
ht:	Altura de trabajo
i:	Relación de transmisión
B:	Ancho del piñón
dep:	Diámetro exterior
dip:	Diámetro interior
hol:	Holgura
Zcre:	Número de dientes de la cremallera
neje:	Velocidad de giro del eje
Vp:	Velocidad en la línea de paso en ft/min
Vpp:	Velocidad en la línea de paso en m/s
Ft:	Fuerza de trabajo
T:	Torque
Psalida:	Potencia de salida
Pentrada:	Potencia de entrada
DC:	Corriente continua
Fy:	Resistencia a la fluencia
Dpl:	Peso de la lámina de acero de 3mm de espesor en el área colaborante
DPL:	Peso de la lámina de acero de 3mm de espesor para todo el piso
psf:	Libras por pie cuadrado
Ac:	Área colaborante
LPC:	Peso utilizado por norma para el cálculo de las vigas en el área colaborante
LPC:	Peso utilizado por norma para el cálculo de las vigas en todo el piso
Pu:	Carga máxima que va a soportar la viga según el diseño; carga mínima que debe soportar el perfil seleccionado.
L:	Longitud real de la viga
Cd:	Carga mayorada distribuida a lo largo de la longitud L
Mu:	Momento mínimo que debe resistir la viga
Mn:	Momento nominal
Mp:	Momento plástico
My:	Momento de fluencia

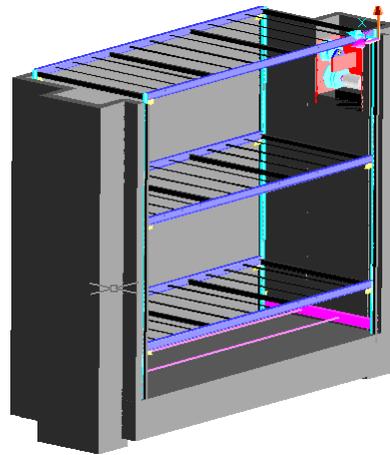
$\emptyset M_n$ :	momento flector de diseño
Zx:	Módulo de la sección plástica
E:	Módulo de elasticidad
Ix:	Inercia en el eje x
rx:	Radio de giro en el eje x
ry:	Radio de giro en el eje y
Sx:	Módulo de la sección elástica
bf:	Ancho del ala del perfil
tf:	Espesor del ala del perfil
$\lambda$ :	Coefficiente para determinar compacidad del perfil
$\Delta m$ :	Deformación que sufre el perfil
Vu:	Cortante requerido
$\emptyset V_n$ :	Cortante de diseño
PPIPE100:	Peso del perfil IPE 100 en Kg/m
PPIPE160:	Peso del perfil IPE 160 en Kg/m
PPIPE200:	Peso del perfil IPE 200 en Kg/m
PPIPE240:	Peso del perfil IPE 240 en Kg/m
PPIPE300:	Peso del perfil IPE 300 en Kg/m
DPV3:	Peso viga longitudinal de 3m
DAPV3:	Peso de la viga de 3m dividido para 2
PTC:	Peso tubo cuadrado
DPT3:	Peso del tubo cuadrado de longitud 3m
C1,2,3,4:	Cargas que se aplican sobre la viga de 7m
Lb:	Distancia que existe entre apoyos
Lp:	Distancia mínima que debe existir entre apoyos
Fe:	Resistencia del electrodo
W:	Altura y ancho del cordón de soldadura
$\emptyset R_n$ :	Resistencia de diseño del cordón de soldadura
Ru:	Valor requerido que soporte la soldadura
Cmc:	Carga mayorada dividida para cuatro
Fs:	Factor de seguridad
Ptest:	Peso total de la estructura
Pcarro:	Peso del carro
Pus:	Peso que soporta cada cable
Fsr:	Coefficiente de seguridad a la rotura de los cables
d:	Diámetro del cable
D:	Diámetro de la polea
rp:	Radio de la polea
rc:	Radio del carrete
g:	Gravedad
Ptra:	Mitad del peso de la estructura y los carros
Mpolea:	Masa de la polea
Mcarrete:	Masa del carrete
Vm:	Velocidad a la que se eleva el conjunto
Ts:	Torque estático
Ic:	Inercia del carrete
Ip:	Inercia de la polea
Iequi:	Inercia equivalente
Tdy:	Torque dinámico
$\alpha$ :	Aceleración angular

Tarranque:	Torque de arranque
P:	Potencia
DA/B/C/D:	Diámetro del eje y la flecha en la sección A
Hp:	Potencia del motor
rpm:	Velocidad de giro del motor
DHombro:	Diámetro del hombro de separación entre los carretes en la flecha
Co:	Capacidad de carga estática
H:	Altura de la cuña
Y:	Altura de la cuerda
S:	Profundidad del cuñero en el eje

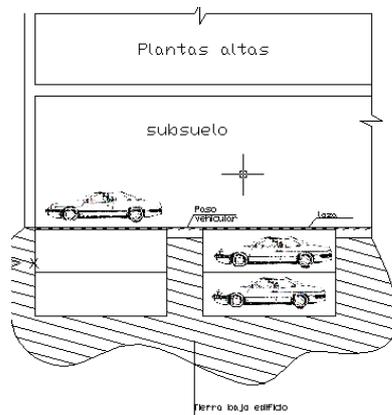
## LISTADO DE ANEXOS

ANEXO A:	Cotización de los motores
ANEXO B:	Cotización de los perfiles
ANEXO C:	Cotización de los aceros para ejes, flechas, carretes
ANEXO D:	Pro forma materia prima para la realización del piñón cremallera
ANEXO E:	Catálogo y características de los aceros utilizados
ANEXO D	en adelante: Copias varias.

## Resumen



En esta sección de la tesis explicaremos la concepción general del asunto implicado, **Diseño de un estacionamiento subterráneo automatizado con capacidad de tres vehículos**, en donde se analiza la forma de diseñar estructuras metálicas y diversas posibilidades de mecanismos elevadores para ésta.

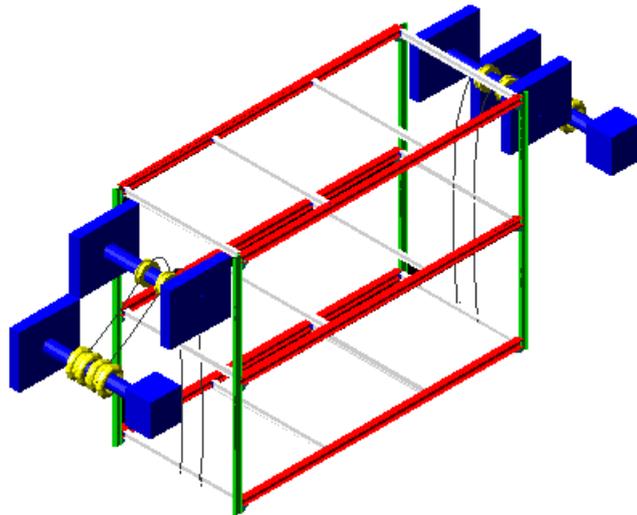


La estructura está diseñada mediante el método AISC LRFD, con perfiles que encontramos en el mercado usados como vigas y columnas, detallado en forma clara y práctica.

También tenemos la construcción de una fosa en donde ingresa y sale la estructura, la misma que se encuentra controlada automáticamente, para lo cual hemos usado sensores y actuadores (motores y mecanismos).

Existen varias alternativas para el sistema de elevación; sin embargo, de todas estas sólo se escogerá la mejor alternativa teniendo en cuenta el costo, velocidad, entre otros aspectos.

Una vez analizado esto aspectos se escogió el sistema por poleas y cables de acero.



El sistema de control del mecanismo consiste en: un conjunto de sensores y actuadores, guiados por un mando (control remoto).

En cuanto a la fosa esta es parte de la obra civil, las dimensiones son 7.80m de largo, 3.70 de ancho y de profundidad 6,60m, las paredes están constituidas de la siguiente forma: doble malla electro-soldada recubierta con concreto; su base es una losa de concreto también, de tal forma que tenga rigidez y consistencia a la vez que permita un correcto anclaje de toda la estructura.

# Capítulo 1: generalidades

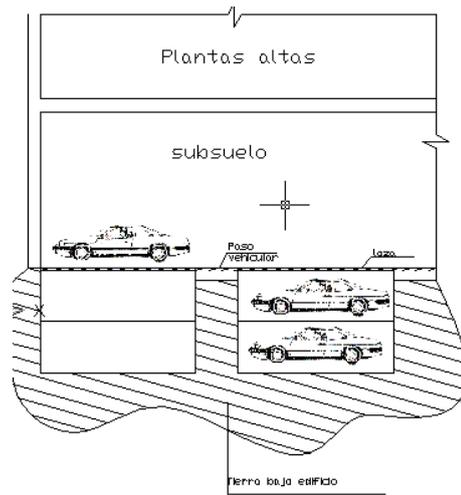
## 1.1 Introducción

En la actualidad existe un gran aumento de vehículos en el país debido a las facilidades que las casas comerciales dan a los compradores, como son: bajos intereses, facilidad para la aprobación del crédito, entre otros; por este motivo una familia de clase media cuenta por lo menos con dos vehículos para su comodidad.

Con el incremento de los vehículos, existe la necesidad de aumentar la cantidad de estacionamientos en los edificios ya sean de vivienda o de oficinas, para que los conductores no se vean forzados a estacionar sus autos en las calles aledañas, con lo cual disminuyen los espacios por los que los vehículos pueden circular con más facilidad, y aumenta la inseguridad debido a los robos de accesorios y de los mismos automotores.

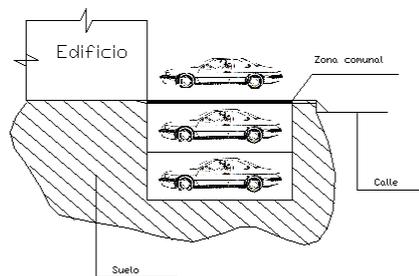
En años anteriores los edificios se planificaban con pocos estacionamientos ya que los vehículos eran más un instrumento de lujo que una necesidad, en la actualidad los edificios se planifican tomando en cuenta por lo menos dos estacionamientos por departamento u oficina, por lo cual se debe realizar excavaciones muy profundas para dos o más subsuelos. Por ello el costo de los departamentos se incrementa debido a la dificultad que representa el trabajo de excavación y los ingresos.

Este proyecto lo que propone es una solución al problema de realizar excavaciones muy profundas, al optimizar el espacio de los estacionamientos ya que sólo se tendría un piso, y en cada estacionamiento se podrán colocar tres vehículos (Figura 1.1.1) ; para ello se debe excavar un agujero para cada estacionamiento ya que este será en forma de ascensor. La ventaja que tiene éste aparte de la que ya se mencionó, es la disminución de paradas en el ascensor para llegar a este piso, el no tener que construir una losa intermedia y además que entrarían tres carros en un agujero de dos pisos.



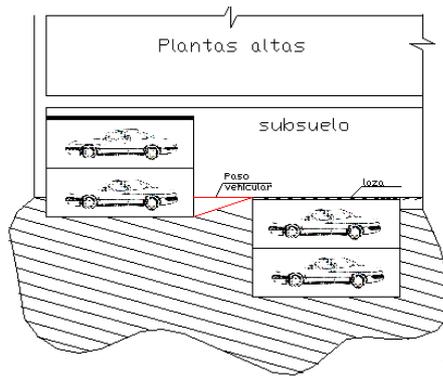
**Figura 1.1.1**

Dependiendo del proyecto del edificio se podría eliminar los subsuelos, supliéndolos con la colocación de este sistema de estacionamiento en las zonas comunales, con lo cual se eliminará la construcción de lozas, paradas de ascensor, etc. (Figura 1.1.2).



**Figura 1.1.2**

Este proyecto además se lo puede aplicar para estacionamientos de edificios ya existentes con limitación de estacionamientos con algunos cambios ligeros en su concepción (Figura 1.1.3).



**Figura 1.1.3**

En algunos otros países se pueden encontrar sistemas similares que sirven para elevar los vehículos y así aumentar la capacidad de los estacionamientos; estos sistemas funcionan levantando el vehículo y permitiendo que otro se ubique en la parte inferior. Todos los sistemas que se pueden encontrar usan este mismo principio, a excepción de los edificios de estacionamientos inteligentes.



**Figura 1.1.4**

El sistema que se está proponiendo presenta varias ventajas sobre los otros sistemas indicados anteriormente, recalando que no se puede comparar con los edificios de estacionamientos inteligentes. Las ventajas son:

- El estacionamiento se planificó para que soporte tres vehículos a la vez, mientras que los sistemas existentes sólo tienen capacidad de

- para dos carros.
- En este proyecto se puede mover cualquiera de los vehículos sin importar su posición, mientras que en el modelo existente si se requiere el vehículo que se encuentra en la parte superior es necesario mover el que se encuentra debajo.
  - En el caso del modelo que ya existe el vehículo es llevado hacia arriba con lo cual se requiere tener espacio adicional, en este proyecto los carros son llevados u ocultos bajo tierra con lo cual se optimiza el espacio.
  - En la parte estética en este proyecto solo se puede ver un vehículo sobre la superficie ya que el resto de la estructura y los vehículos que estén en ella se encuentran bajo tierra, mientras que en los otros los dos vehículos y la estructura se pueden ver.

Al implementar este sistema se logra triplicar la capacidad de los estacionamientos con los cuales dispone un proyecto habitacional si este brinda las facilidades necesarias, o se pueden dar algunos cambios ligeros al proyecto para que solo funcione con dos pisos con lo cual se duplicaría la capacidad de estacionamientos.

## **1.2 Antecedentes**

A inicios de la década de los ochenta en el país una gran cantidad de familias contaban por lo menos con un vehículo para su movilización; pero a mediados de la década de los noventa, la familia promedio contaba con por lo menos dos vehículos ya que más que un lujo se convirtió en una necesidad para poder suplantar el mal servicio de transporte público que tenemos. En los últimos años la adquisición de un vehículo sea vuelto muy sencilla debido a las grandes facilidades que dan las comercializadoras de las diferentes marcas de vehículos.

La planificación de un edificio ya sea de departamentos o de oficinas comienza por ver cuantos estacionamientos se han de construir, para ver la infraestructura que necesitan para tener estos; en la actualidad se planifican los edificios con por

lo menos dos estacionamientos por departamento u oficina con lo cual dependiendo de la cantidad de estos se ve cuantos subsuelos se deben hacer para que quepa todos los estacionamientos.

En la mayoría de los edificios antiguos se planificó con un solo estacionamiento por departamento, lo cual es insuficiente en la actualidad. En estos edificios no es posible excavar para aumentar subsuelos y así poder incrementar el número de estacionamientos, esto puede afectar a la infraestructura y a la resistencia del edificio y puede interferir con los cimientos del mismo.

Es por ello que pensando en una solución para este problema se presenta este proyecto.

### **1.3 Objetivos Generales**

El proyecto pretende:

- ❖ Realizar el diseño de un estacionamiento automatizado (de acuerdo a lo visto en la figura 1.1.1 y 2), para tres carros como máximo, tomando como referencia de peso y tamaño a una Chevrolet Blazer<sup>1</sup> por ser un carro grande y común en el país.
- ❖ Construir un modelo a escala basados en el diseño del estacionamiento automatizado para indicar y comprobar el funcionamiento del mismo.

Con el fin de brindar una solución, ahorro y un “lujo” para los estacionamientos en los edificios conforme a lo presentado en las figuras 1.1.1-2-3.

### **1.4 Objetivos Específicos**

- ❖ Analizar y seleccionar las alternativas, para la solución del problema planteado.

---

<sup>1</sup> Chevrolet Blazer 4x4 de la GMC

- ❖ Diseñar la fosa en la cual se alojará el estacionamiento y el sistema de potencia.
- ❖ Diseñar y modelar con el software adecuado la estructura del estacionamiento.
- ❖ Diseñar y modelar con el software adecuado el sistema mecánico.
- ❖ Diseñar el sistema de control que permita la automatización del estacionamiento.
- ❖ Diseñar y construir el modelo a escala que permita apreciar el funcionamiento.
- ❖ Realizar pruebas del funcionamiento.

## **1.5 Justificación**

Este proyecto servirá para que en los edificios modernos no exista la necesidad que excavar varios pisos de subsuelos para los estacionamientos, con lo cual existirán grandes ahorros en su ejecución, o si es posible eliminar los subsuelos con la incorporación de este proyecto en los exteriores de los edificios en las zonas comunales, si es posible esto dependiendo de cada proyecto, con lo cual se podría incrementar los ahorros en la construcción, lo mismo que abaratará los precios de los departamentos; en los dos casos esto se daría por la disminución o eliminación de las lozas, paradas de los ascensores, instalaciones, y demás cosas que intervienen en una construcción.

Los beneficiarios de este proyecto no solo serían los constructores sino que indirectamente los compradores, y de ser posible en el futuro este proyecto se lo podría aplicar con el fin de convertirse en parqueaderos públicos, incluyendo algunos cambios físicos e incrementando algunos cambios en su sistema de control.

## **1.6 Alcance**

El área de influencia es la ciudad de Quito, en un primer plano; pero posteriormente las demás ciudades del país en las cuales se pueda aplicar este proyecto.



## **Capitulo 2: Fundamento teórico**

Como el título de este capítulo lo dice, se da un fundamento teórico de todos los elementos que fueron considerados para el diseño de este proyecto. Esto nos ayudará a comprender como funciona cada uno de ellos, para que sirvan, porque se los tomo en cuenta como una solución y por que otros fueron descartados.

En este capítulo se indica que es una estructura, que es el elemento básico del proyecto, los diferentes mecanismos de elevación, sistemas de control, entre otros, con lo cual podremos entender con facilidad los capítulos siguientes en donde se describen cada uno de estos elementos con sus respectivos cálculos.

### **2.1 Descripción de las estructuras**

#### **2.1.1 Estructura**

Por definición, una estructura es una “entidad física de carácter unitario, concebida como una organización de cuerpos dispuestos en el espacio de modo que el concepto del todo domina la relación entre las partes”. Su función es conducir hasta el suelo las cargas resultantes del uso o de la existencia de una construcción.

#### **2.1.2 Sistema Estructural**

Es un ensamblaje de miembros o elementos independientes para conformar un cuerpo único y cuyo objetivo es darle solución a un problema civil determinado (puente, torre, edificio, estadio, techo).

La manera de ensamblaje y el tipo de miembro ensamblado definen el comportamiento final de la estructura y constituyen diferentes sistemas estructurales.

El sistema estructural constituye el soporte básico, el armazón o esqueleto de la estructura total y él transmite las fuerzas actuantes a sus apoyos de tal manera que se garantice seguridad, funcionalidad y economía.

### 2.1.3 Seguridad

Se considera que una estructura falla cuando deja de cumplir su función ya sea porque presenta deformaciones excesivas que obligan a que salga de servicio o por rompimiento o separación de alguna de sus partes o de todo el conjunto.

Cuando la falla es por deformaciones, sin presentarse rotura aparente, entonces decimos que la falla es de servicio, en caso contrario catalogamos la falla por resistencia o inestabilidad.

Para que una estructura sea estable debe cumplir con las leyes de equilibrio de Newton. En el caso particular de fuerzas estáticas las ecuaciones generales del equilibrio son:

$$\sum \vec{F} = 0 \quad y \quad \sum \vec{M} = 0$$

El principio de acción y reacción es uno de los conceptos básicos de uso general en las estructuras, encontrar fuerzas actuantes y fuerzas resistentes hace parte del diario de la ingeniería estructural. Este principio dice: “para toda fuerza actuante debe haber algo que produzca una reacción que contrarreste el efecto o en otras palabras para una fuerza actuante existe una reacción de igual magnitud, dirección pero sentido contrario”.

Otra de las condiciones de seguridad es la resistencia a la rotura de los elementos que la componen y de las uniones entre estos. Esta característica depende de las propiedades mecánicas de los materiales utilizados.

### **2.1.4 Funcionalidad**

Esta característica está muy asociada a la economía y a la arquitectura; tiene que ver con la búsqueda de la mayor eficiencia en cuanto a resistencia, duración, utilidad, versatilidad, etc.

### **2.1.5 Economía**

Sobran las palabras para decir que si no hacemos que las estructuras sean económicas no estamos resolviendo ningún problema. En la economía se conjuga la creatividad del ingeniero con su conocimiento.

### **2.1.6 Fuerzas aplicadas a un cuerpo.**

Se distinguen dos tipos de fuerzas: las externas y las internas. Dentro de las externas tenemos las actuantes o aplicadas exteriormente y las reacciones o resistentes que impiden el movimiento.

Las actuantes son aquellas cargas a las que se ve sometida la estructura por su propio peso, por la función que cumple y por efectos ambientales. En primera instancia se pueden subdividir en cargas gravitacionales, debidas al peso propio y a las cargas de uso, se denominan gravitacionales porque corresponden a pesos, fuerzas hidrostáticas y fuerzas ambientales.

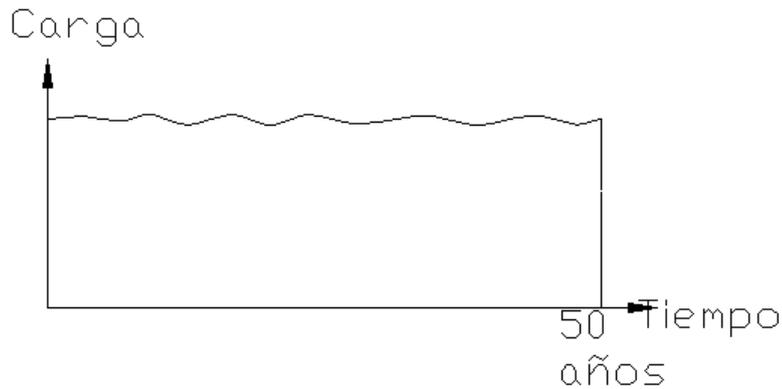
Entre las gravitacionales tenemos las cargas muertas y las cargas vivas:

#### **2.1.6.1 Cargas muertas:**

Las cargas muertas son aquellas que no varía con el tiempo.

Corresponde al peso propio y al peso de los materiales que soporta la estructura tales como acabados, divisiones, fachadas, techos, etc. Dentro de las cargas muertas también se pueden clasificar aquellos equipos permanentes en la

estructura. En general las cargas muertas se pueden determinar con cierto grado de exactitud conociendo las densidades de los materiales.



**Figura 2.1.1**

### **2.1.6.2 Cargas vivas:**

Corresponden a cargas gravitacionales debidas a la ocupación normal de la estructura y que no son permanentes en ella. Debido a la característica de movilidad y no permanencia de esta carga el grado de incertidumbre en su determinación es mayor. La determinación de la posible carga de diseño de una edificación ha sido objeto de estudio durante muchos años y gracias a esto, por medio de estadísticas, se cuenta en la actualidad con una buena aproximación de las cargas vivas de diseño según el uso de la estructura. Las cargas vivas no incluyen las cargas ambientales como sismo o viento.

Para efectos de diseño es el calculista quien debe responder por la seguridad de la estructura en su vida útil, para esto cuenta con las ayudas de las normas y códigos de diseño donde se especifican las cargas vivas mínimas a considerar.

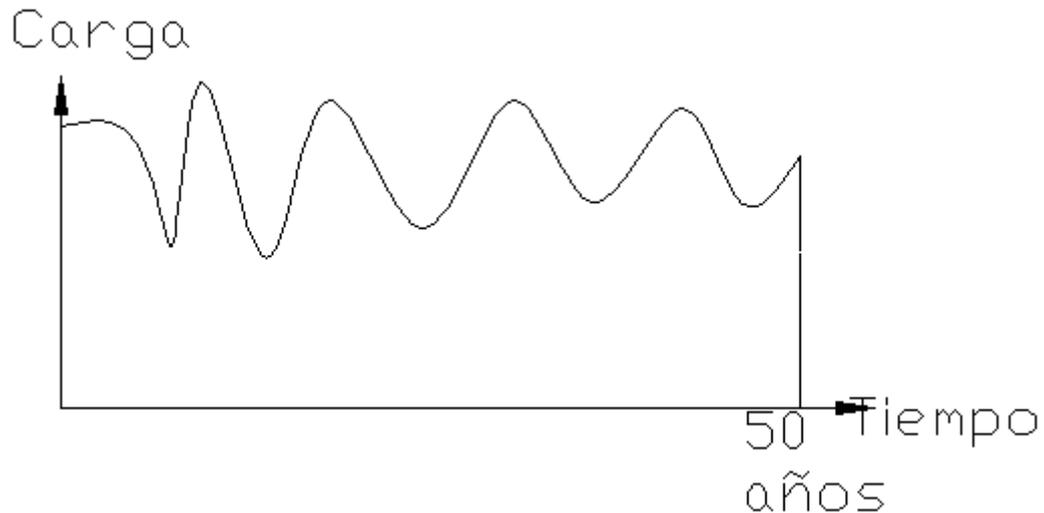


Figura 2.1.2

### 2.1.6.3 Cargas de sismo:

El sismo es una liberación súbita de energía en las capas interiores de la corteza terrestre que produce un movimiento ondulatorio del terreno.

Este movimiento ondulatorio se traduce en una aceleración inducida a la estructura que contando esta con su propia masa y conociendo la 2<sup>da</sup> ley de Newton se convierte en una fuerza inercial sobre la estructura. Es inercial porque depende directamente de la masa de la estructura sometida al sismo.

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

Como mencionamos la magnitud de esta fuerza depende de la masa de la edificación y de la aceleración correspondiente de la estructura. La aceleración de la estructura (es decir la respuesta de esta a una perturbación en la base) depende a su vez de su rigidez ( $K=F/\delta$ ) y de la magnitud y frecuencia de la aceleración del terreno.

La masa y la rigidez determinan el periodo de vibración de la estructura que para una aceleración del terreno produce una aceleración de vibración en ella.

Por medio de un espectro de diseño (grafica de aceleración del terreno vs.

Período de vibración) determina la aceleración de diseño para la estructura y por  $F=ma$  encontramos una fuerza estática equivalente al sismo. A la fuerza total sísmica en la base de la estructura se le conoce como el cortante basal.

$V$  = cortante basal  $\rightarrow$  fuerza total en la base

Este cortante basal se puede determinar por métodos aproximados con la siguiente ecuación:

$$V = W.Sa$$

Donde  $Sa$  es un coeficiente sísmico que depende de la estructura analizada y de la zona donde esté localizada. El coeficiente  $Sa$  representa la aceleración del terreno como una fracción de la gravedad

#### 2.1.6.4 Cargas por presión hidrostática y empuje de tierras

Por la Ley de Pascal sabemos que la presión que ejerce un líquido sobre las paredes que lo contienen es proporcional a la profundidad y al peso específico del líquido contenido. Los suelos ejercen sobre las superficies una presión similar a los líquidos pero de menor magnitud.

La presión se representa entonces como una carga triangular

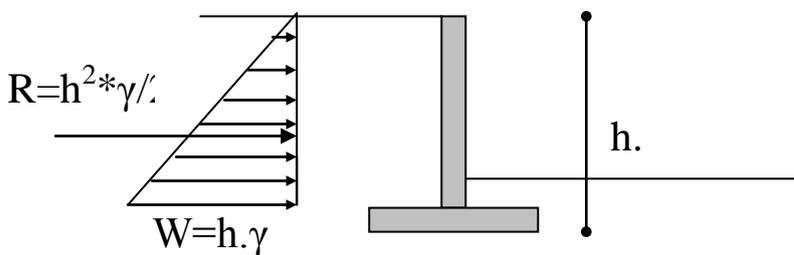


Figura 2.1.3

Donde:

$\gamma$ : peso específico del líquido o del líquido equivalente que representa al suelo.

$\gamma_{equivalente} = k_a \cdot \gamma_{suelo}$ , donde  $k_a$  es menor que 1

$h$ : altura

### 2.1.7 Combinación de cargas o estados de carga

Los estados de carga se definen como las posibles cargas que se presentan durante la vida útil de la estructura. Existen estados de carga del uso normal de la estructura, cargas muertas y vivas; estados de carga temporales como aquellas de viento, sismo, o la misma construcción.

El cómo combinar las cargas bajo ciertas solicitaciones depende de estudios probabilísticos que se basan en la ocurrencia simultánea de estos.

La especificación AISC LRFD estipula combinaciones de carga básicas a tener en cuenta en el análisis.

1.4 D

$1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ o } S \text{ o } R)$

$1.2D + 1.6(L_r \text{ o } S \text{ o } R) + (0.5L \text{ o } 0.8W)$

$1.2D + 1.6W + 0.5L + 0.5(L_r \text{ o } S \text{ o } R)$

$1.2D \pm 1E + 0.5L + 0.25S$

$0.9D \pm (1.6W \text{ o } 1E)$

Como ejemplo podemos ver en la siguiente viga que colocando la carga viva en diferentes posiciones y no en toda la luz podemos producir efectos máximos.

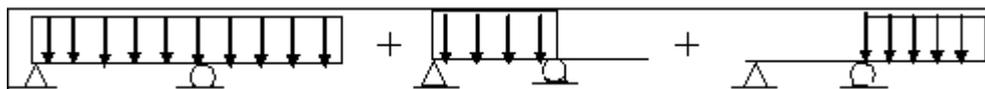


Figura 2.1.4

### 2.1.8 Métodos de diseño

Sabemos que las cargas en sí son probabilísticas y su ocurrencia con otras

también es de naturaleza variable. Esta condición sumada a la condición también probabilística de los materiales, métodos de análisis y de construcción hace que en el diseño existan incertidumbres. Es responsabilidad de los calculistas reducir estas incertidumbres y controlarlas de tal manera que el resultado final cumpla con su cometido (seguridad, funcionalidad y economía).

Como protección a los bienes comunes se dio origen a las normas de construcción en las cuales se aceptan varios métodos de diseño:

Los métodos de diseño se dividen en determinísticos y probabilísticos. Entre los *determinísticos* esta el método de esfuerzos de trabajo y el método de la rotura, y en *probabilísticos* tenemos el método de los estados límites.

Método esfuerzos de trabajo: reduce esfuerzos.

Método de resistencia última o de la rotura: Se llevan los esfuerzos hasta la falla o rotura y se trabaja con cargas últimas o factoradas. (Cargas reales multiplicadas por factores de mayoración)

Método de estados limite: este método tiene en cuenta el efecto probabilístico tanto de las cargas como de las propiedades de los materiales, y por lo tanto trabaja factorando las cargas y reduciendo las resistencias.

### **2.1.9 Criterios de falla**

Una estructura falla cuando deja de cumplir su función. Esto puede ocurrir por desmoronamiento de ella o una de sus partes o por deformación excesiva.

La falla por deformación puede ser por deformación elástica (recupera su forma una vez quitada la carga) o por deformación permanente. Este caso representa aquellas estructuras que producen un sentimiento de inseguridad en el usuario y que por lo tanto dejan de ser funcionales.

Las fallas por desmoronamiento parcial o total son aquellas producidas por inestabilidad o por falta de resistencia de los materiales.

## **2.2 Mecanismo de elevación**

Los elevadores se dividen en dos grandes grupos mecánicos e hidráulicos,

### **2.2.1 Mecánicos (Electro mecánicos):**

Se caracterizan por usar dispositivos y controladores eléctricos para su control y funcionamiento y poseen elementos mecánicos como tornillo de potencia, sistemas de engranes, poleas, etc., los cuales ayudan a cumplir su objetivo.

#### **2.2.1.1 Poleas:**

Sólo con una cuerda y una rueda se puede arreglar el cambio de dirección. Se fija la rueda a un soporte y se pasa una cuerda por la rueda hasta alcanzar la carga. Al tirar desde el otro extremo de la cuerda, se puede elevar la carga hasta la altura en que se halla fija la polea. El propio peso del cuerpo de la persona que tira se constituye en una ayuda.

Una rueda utilizada de esta manera, se convierte en una polea, y el sistema de elevación que realiza es una simple guía.

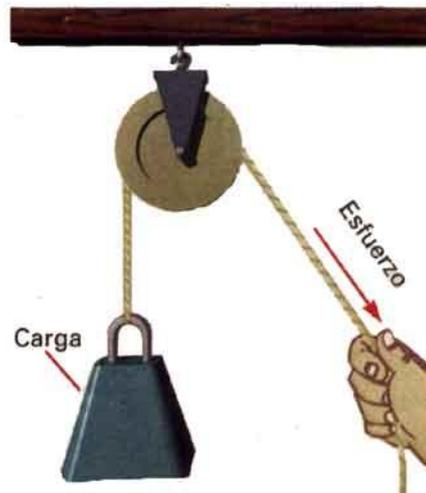
Las poleas simples se usan en máquinas en las que se debe cambiar la dirección del movimiento, como por ejemplo un ascensor.

Aquí, el movimiento ascendente de la cabina debe estar conectado con el movimiento descendente de un contrapeso.

En una polea ideal, la fuerza que se aplica para tirar de la cuerda es igual al peso de la carga. En la práctica, la fuerza es siempre un poco mayor, ya que tiene que vencer la fuerza de fricción en la rueda de la polea y elevar la carga.

Por ello, la fricción induce la eficacia de todas las máquinas.

Una polea simple es una palanca de primera clase. Sirve únicamente para cambiar de dirección o el sentido de la fuerza, ya que es más fácil ejercer tirando la cuerda hacia abajo que hacia arriba.



*Polea simple.*

**Figura 2.2.1**

Si del un lado esta el peso y del otro lado ponemos un motor con un carrete donde se recoja el cable se puede obtener un efecto muy similar a un ascensor.

### 2.2.1.2 Tornillo de potencia

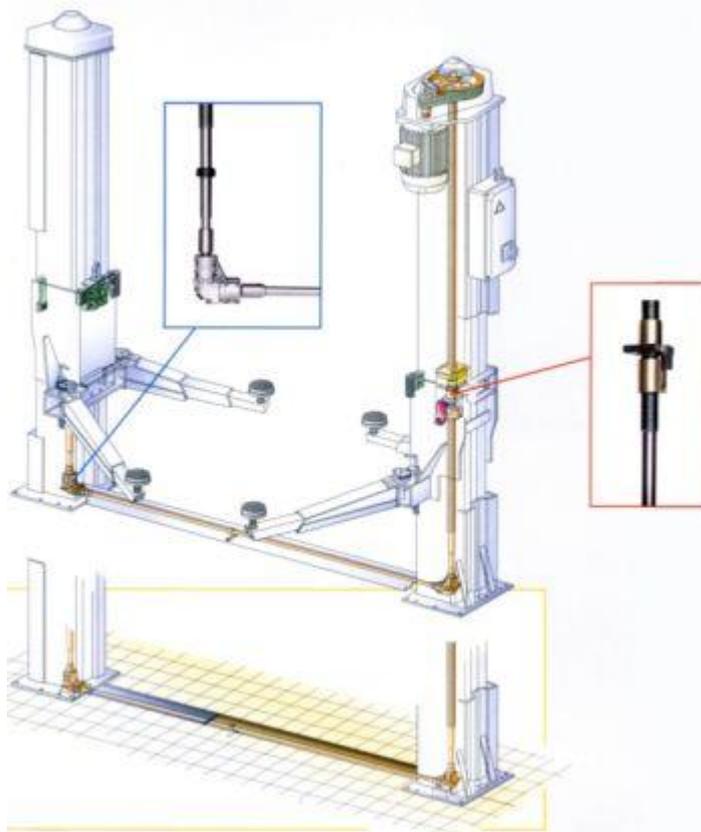


Figura 2.2.2

El sistema de elevación completamente electro-mecánico, en donde un motor hace girar a la tuerca la cual forma parte del sistema de tornillo de potencia el mismo que eleva al auto. Aquí es importante la lubricación de los husillos en donde tiene que automática.

### 2.2.2 Hidráulicos:

Cuando las cargas son elevadas, se usan mecanismos hidráulicos, los mismos que funcionan de la siguiente manera:

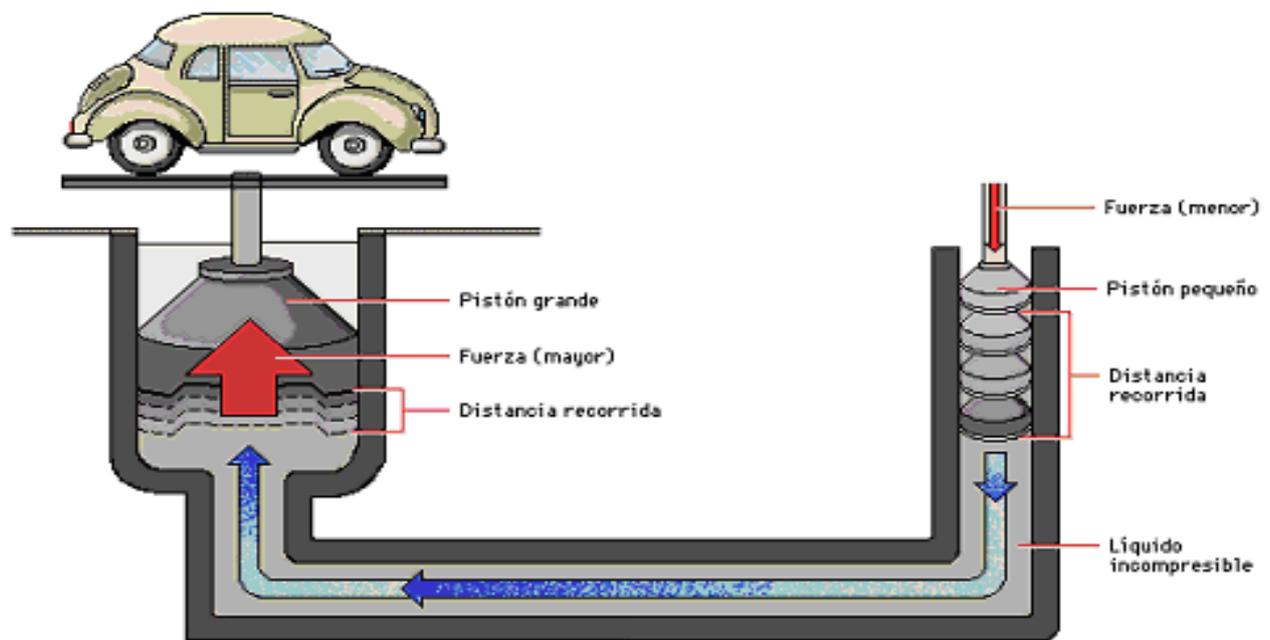


Figura 2.2.3

### 2.2.2.1 Elevador electro-hidráulico

El elevador hidráulico se basa en el principio de que el trabajo necesario para mover un objeto es el producto de la fuerza por la distancia que recorre el objeto. El elevador hidráulico utiliza un líquido incompresible para transmitir la fuerza, y permite que una pequeña fuerza aplicada a lo largo de una gran distancia tenga el mismo efecto que una gran fuerza aplicada a lo largo de una distancia pequeña. Esto hace que pueda emplearse una pequeña bomba de mano para levantar un automóvil.



**Figura 2.2.4**

Características principales:

- Pistón de elevación completamente protegido al interior de la plataforma fija.
- Poleas de gran diámetro con casquillos autolubricantes exentos de mantenimiento.
- Dispositivo de seguridad mecánicos, hidráulicos y eléctricos
- Dispositivos de apoyo mecánico. (cada 100 mm de recorrido) para no dejar el peso sobre los cables en las fases de trabajo.
- Dispositivo contra caída con intervención inmediata en caso de rotura de un cable de acero.
- Funciona con energía eléctrica con circuito de mando de baja tensión (24V).
- Dispositivo de señalización acústica en la parte final del movimiento de bajada.

### **2.3 Estacionamientos:**

El sistema de transporte urbano está formado básicamente por tres elementos: la red, los vehículos y el terminal. El diseño y ordenamiento de cada uno de ellos influye en la situación del sistema, por lo tanto, la problemática de los estacionamientos (terminales) está íntimamente relacionada con los problemas

del flujo vehicular y con las características de los vehículos.

El estacionamiento en una calle es un ejemplo clásico, ya que debemos determinar como aprovechar el espacio disponible para mantener un flujo vehicular con ciertas características y ofrecer una parte de éste para los vehículos que han llegado a su terminal.

Esta situación que aparentemente es tan sencilla, realmente no lo es, ya que los criterios a seguir para la justa solución dependen de las metas que las comunidades se hayan fijado y estas metas pueden variar de una comunidad a otra.

Los estacionamientos afectan a distintos grupos de personas y por lo tanto, a sus intereses. Algunas de ellas son: comerciantes, propietarios de bienes raíces, taxistas, vehículos de emergencia, locomoción colectiva, estacionamientos privados, autoridad del tránsito, planificadores, etc.

Los estacionamientos pueden dividirse en dos grandes grupos: estacionamientos en la vía pública y estacionamientos fuera de ella. Estos últimos representados por playas y edificios de estacionamientos.

Los estudios sobre estacionamientos determinan la relación entre la oferta y la demanda del espacio asignado y de esa forma poder proponer recomendaciones para maximizar la utilización de los espacios disponibles y/o planificar nuevas áreas de estacionamientos.

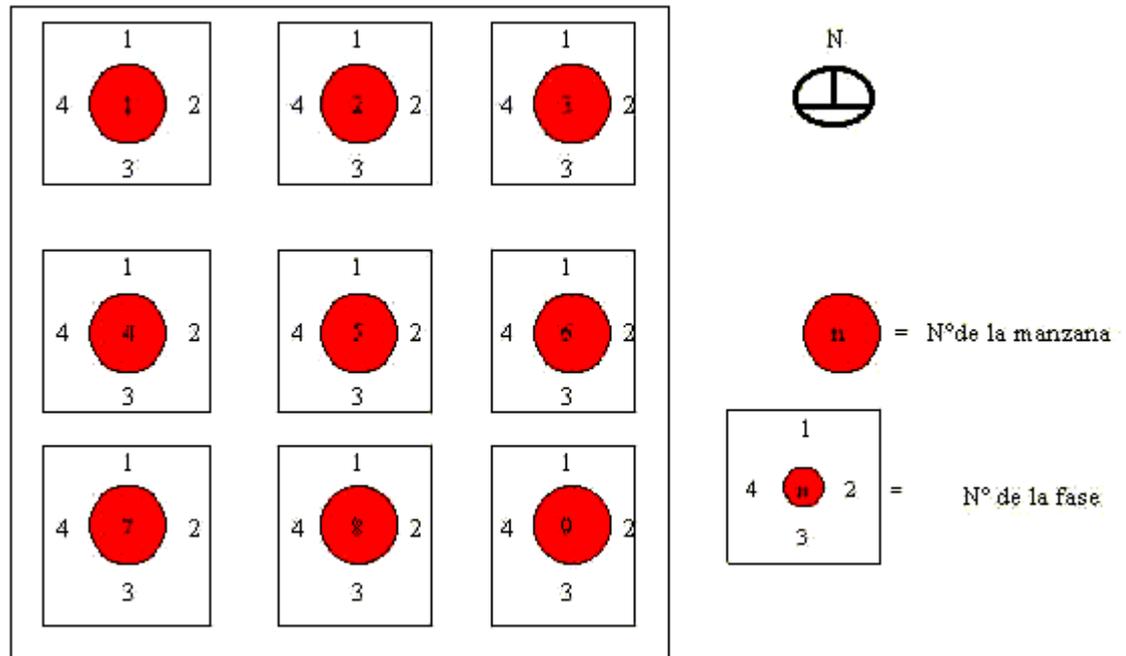
### **2.3.1 Inventarios:**

Primeramente se establecerá el área del estudio delimitándola claramente y se efectuará zonificación cuando sea necesario.

Se determinará la capacidad del área y las restricciones horarias si las hubiera.

### 2.3.2 Codificación del área:

A cada sector del área de estudio se le asignará un número y a cada fase de ésta un segundo número.



### 2.3.3 Identificación de los estacionamientos

Se deberá establecer el tipo de estacionamiento de acuerdo al ángulo que éstos forman con la dirección del flujo de la vía, la demarcación de los espacios y al uso de parquímetros cuando corresponda. La identificación nos permitirá determinar la oferta de espacio. La oferta está relacionada con el área unitaria de estacionamiento y con las disposiciones vigentes. Esta oferta recibe el nombre de capacidad y la podemos expresar como:

$$N = (L - A) / Lu;$$

Donde:

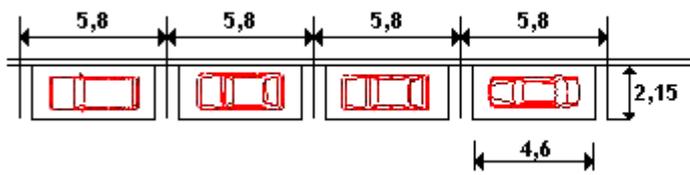
N = Capacidad

L = Longitud disponible

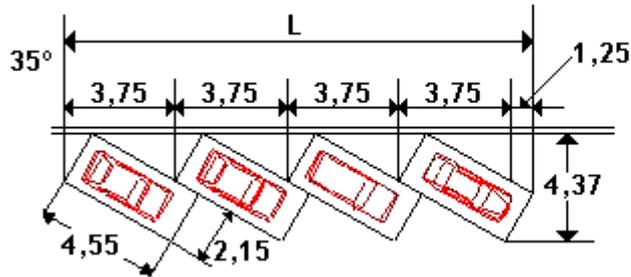
A = Factor de corrección por estacionamiento en ángulo

Lu = Largo unitario

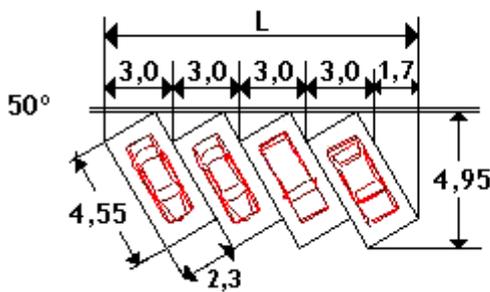
Valores de A según ángulo:



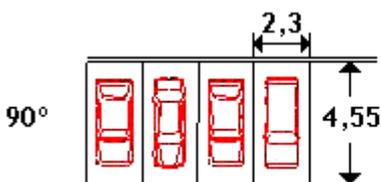
$$N = \frac{L}{5,8}$$



$$N = \frac{L - 1,25}{3,75}$$



$$N = \frac{L - 1,7}{3,0}$$



$$N = \frac{L}{2,3}$$

### 2.3.4 Identificación de la demanda

La demanda se determina por medio del método de las patentes que consiste en tomar nota de las patentes de los vehículos estacionados en el área de estudio a las distintas horas de un día típico. Esta identificación se efectuará con la hoja denominada Formato de medición de estacionamiento. La permanencia nos permite establecer un aspecto general de la demanda, ya que no nos permite conocer el destino del viaje del usuario y ello significa que no sabemos el grado de satisfacción lograda. Ello se soluciona, si paralelamente efectuamos una

encuesta sobre el destino de los usuarios.

### **2.3.5 Análisis de los datos**

Coeficiente de rotación vehicular: si calculamos el cociente vehículos diferentes estacionados en un lugar y la capacidad de éste, podremos determinar el coeficiente de rotación vehicular que es inversamente proporcional al tiempo de permanencia de los vehículos.

Si la rotación media o coeficiente de rotación vehicular de una zona es de 3,5, significa que 3,5 vehículos ocuparon cada espacio en un tiempo dado, por lo tanto, dividiendo el tiempo observado por 3,5 se obtendrá el tiempo medio que cada vehículo permaneció.

## **2.4 Elementos para el sistema de control**

### **2.4.1 Control automático**

Las aplicaciones de control automático son sinónimos de la tecnología moderna, se pueden encontrar desde la robótica hasta en un tostador. El control moderno aborda el problema de obtener el comportamiento deseado de un sistema dinámico que trabaja por si solo.

Entendemos por sistema dinámico: un conjunto de cantidades que dependen del tiempo, las cuales identifican a los objetos de interés.

Las aplicaciones del control automático son infinitas, ya que casi cualquier sistema dinámico puede ser controlado.

El objetivo de la teoría de control automático es obtener una regulación o control sin que tenga que intervenir un ser humano en el lazo de control. Para lograr el control automático se deben llevar a cabo mediciones referente al estado del sistema y esta información se utiliza para generar la acción de control que nos

permita alcanzar el estado deseado. Para realizar las mediciones se utilizan dispositivos llamados sensores, para efectuar la acción de control se emplean actuadores. El conjunto de sensores actuadores y dispositivos lógicos utilizados para implementar la acción de control constituyen el controlador.

En los procesos continuos, las condiciones de proyecto, normalmente calculadas por balances estáticos conducen a definir las condiciones operativas deseadas. Estas pretenden ser mantenidas "frente a" las perturbaciones y es tarea del sistema de control hacer retornar a la variable a la condición especificada. A esta forma de controlar se la suele llamar "modo regulador", clasificación que aunque arbitraria, ayuda a ubicar una actitud u objetivo del sistema de control.

### **2.4.2 Control remoto:**

Actualmente, el control remoto de aparatos es algo habitual. El extendido uso del mando a distancia en televisión, video y equipos de música está siendo ampliado al usarse en aparatos de aire acondicionado, para la apertura de puertas, control de reproductores portátiles y también como en nuestro caso levantar y descender una estructura.

Se necesita un dispositivo que convierta información emitida que puede ser una señal de frecuencia, puede ser una señal infrarroja, en un formato que el receptor sea capaz de entender.

En el caso nuestro particularmente el control remoto va a funcionar como un interruptor o como un relee, conociendo que un interruptor es un elemento que permite abrir o cerrar un circuito, cortando o permitiendo el paso de corriente.

### **2.4.3 Sensores:**

Los sensores que vamos a usar nosotros son los de posición a los que describiremos a continuación.

### 2.4.3.1 Sensores de Posición:

Por lo general se trata de sensores con respuesta “todo o nada”, con cierta histéresis en la distancia de detección, con salida de interruptor estático (transistor, tiristor, triac). Algunos pueden dar una salida analógica proporcional a la distancia.

### 2.4.3.2 Inductivos:

Sirven para detectar la proximidad de piezas metálicas en un rango desde 1 mm a 30 mm, con resolución del orden de la décima de milímetro, desde el punto de vista mecánico las formas de este tipo de sensor están normalizadas y aparecen en la figura 2.4.1.

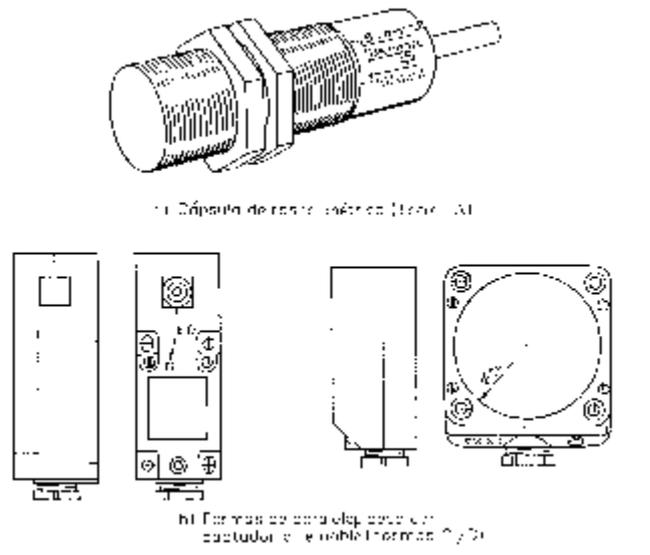


Figura 2.4.1 formas constructivas detectores de proximidad

El campo de aplicación más importante de este tipo de detectores es como final de carrera con ventajas sobre los electromagnéticos como la ausencia de contacto, la robustez mecánica, la resistencia a ambientes agresivos y su bajo costo.

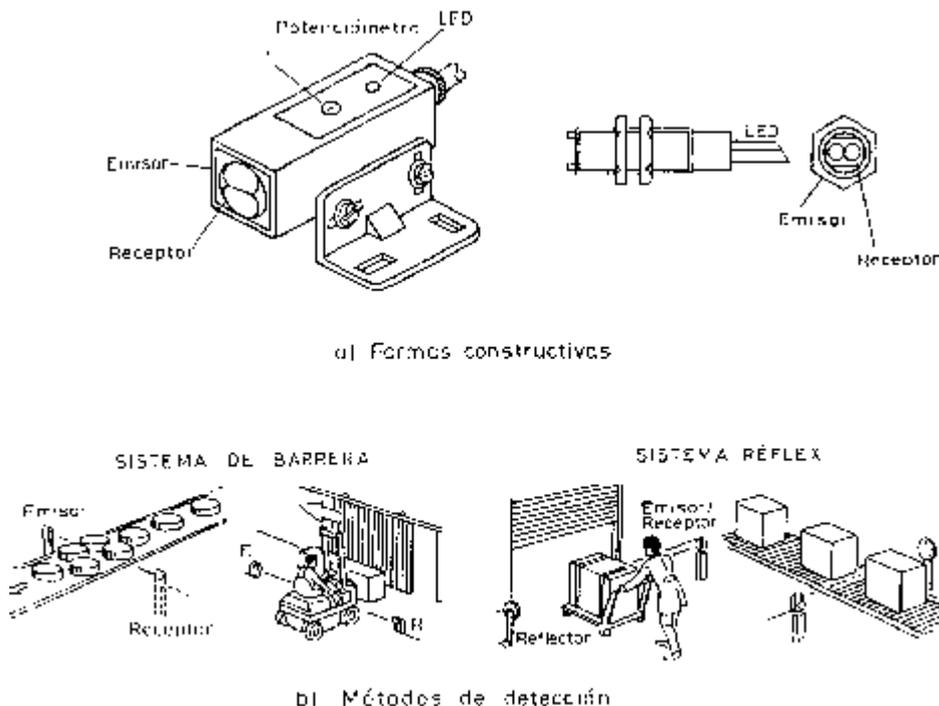
### 2.4.3.3 Capacitivos:

El principio de funcionamiento, y las características constructivas son muy similares a las descritas para los inductivos, la diferencia radica en que en este

caso el elemento sensible es el condensador del circuito oscilador, formado por dos aros metálicos concéntricos situados en la cara sensible, y cuyo dieléctrico es el material de la zona sensible. Este tipo de sensores permite detectar materiales metálicos o no, pero su sensibilidad se ve muy afectada por el tipo de material y grado de humedad ambiental del cuerpo a detectar. Las aplicaciones típicas son en la detección de materiales no metálicos como vidrio, cerámica, plástico, madera, agua, aceite, cartón, papel, etc.

#### 2.4.3.4 Ópticos:

Emplean fotocélulas como elementos de detección. A veces disponen de un cabezal que contiene un emisor de luz y la fotocélula de detección del haz reflejado sobre el objeto. Otros trabajan en modo barrera (figura 2.4.2) y se utilizan para cubrir mayores distancias, con fuentes luminosas independientes del detector. Ambos tipos suelen trabajar con frecuencias en la banda de infrarrojos.



**Figura 2.4.2 Detectores de proximidad ópticos**

Las ventajas de este tipo de detectores son la inmunidad a perturbaciones electromagnéticas, las distancias de detección grandes, alta velocidad de respuesta, identificación de colores y detección de pequeños objetos. Una

variante importante son los construidos de fibra óptica que permite separar el punto emisor y el detector de la unidad principal del sensor con las ventajas de accesibilidad que ello proporciona.

#### **2.4.3.5 Ultrasónicos:**

Están basados en la emisión-recepción de ondas ultrasónicas. Cuando un objeto interrumpe el haz, el nivel de recepción varía y el receptor lo detecta, la gran ventaja frente a las fotocélulas está en la detección de objetos transparentes, como cristal, plásticos, etc. Sin embargo no podrán ser usados en ambientes en los que el aire circule con flujo muy turbulento o con contaminación acústica elevada dada su dependencia de este medio para la transmisión de la onda de ultrasonido.

#### **2.4.4 Actuadores:**

Los actuadores son elementos, los cuales llevan a cabo una acción. Los actuadores son motores, válvulas, pistones, o elementos que hacen que un motor funcione.

Los actuadores funcionan una vez que reciben una señal de que ejecuten una acción; en algunos casos permitiendo el paso de energía para que pueda funcionar el motor, en otros casos simplemente dejando que funcione el motor, permitiendo el paso de aire para que funcione el motor, entre otros.

Los actuadores reciben su señal de trabajo proveniente de un PLC, o un circuito de control.

#### **2.4.5 PLC:**

El control lógico programable o PLC es el dispositivo más utilizado en la automatización ya que constituye una alternativa conveniente tanto en costo como en rendimiento, ya que la utilización de este a parte de las características antes mencionadas, es muy flexible para emplearse en el campo, es modular y ocupa

un espacio reducido.

El PLC es la manera más útil para la automatización ya que realiza el control en tiempo real de procesos secuenciales, funciones lógicas, temporizaciones, conteos, entre otras que son muy útiles a nivel industrial.

El PLC consta con un CPU con su respectiva memoria en la que almacena tanto el programa como la adquisición de datos, en este se realizan las operaciones necesarias de acuerdo a la programación y a los datos que se tengan de entradas que son recopilados en las entradas del PLC; para posteriormente determinar una acción que estará controlada y se emitirá por las salidas del PLC.

## **2.5 Fosa**

Como primer paso en la construcción de cimentaciones, se encuentra la excavación del suelo o roca que yace bajo la superficie y por encima del nivel de dicha cimentación. Por lo tanto las excavaciones tienen como función preparar el terreno para la futura construcción del sistema de cimentación propuesto. Generalmente el proceso constructivo y método de excavación son elegidos por el Ingeniero Contratista, aunque en algunos casos se recomienda directamente por el diseñador.

### **2.5.1 Excavaciones sin Apuntalar**

Estas excavaciones son de poca profundidad y en lugar de sostener el material circundante con elementos externos, se sostiene por medio de taludes diseñados en la misma excavación. Los taludes deben ser diseñados con todas las normas que rigen la estabilidad de taludes.

La excavación se realiza generalmente con máquina, puesto que es común encontrar anchos considerables y grandes volúmenes de material a mover.

Excavación sin Apuntalar



**Figura 2.5.1**

Proceso de Excavación



**Figura 2.5.2**

Perfeccionamiento del Talud de Excavación



**Figura 2.5.3**

## **2.5.2 Excavaciones Apuntaladas**

Cada uno de los tipos de excavación (Profundas y Poco Profundas) tiene un método de apuntalamiento, por esta razón se considera que un buen método es aquel que reduce al máximo las deformaciones y protege lo mejor posible las construcciones y estructuras vecinas a la excavación e inclusive el interior de la misma excavación.

Son consideradas excavaciones “poco profundas”, aquellas que se encuentran entre 1 y 5m, por lo tanto las Profundas son aquellas mayores de 5 m



**Figura 2.5.4**

El apuntalamiento consiste en sostener el material adyacente a la excavación con el fin de reducir al máximo los efectos inevitables que una intervención de este tipo conlleva. Estos efectos se producen debido al cambio de esfuerzo en el suelo y comúnmente se presentan en forma de hundimientos y deformaciones.

Dentro de las funciones del Ingeniero se encuentra la de estar completamente familiarizado con los métodos y procesos utilizados en las excavaciones y apuntalamientos con el fin de evitar errores que pueden ser desastrosos.



**Figura 2.5.5**

Una de las recomendaciones que se hace comúnmente en cuanto al apuntalamiento es la de preesforzar cada puntal durante su colocación.

### **2.5.3 Animación de preesfuerzo**

El método de preesforzar los puntales consiste en colocar con anterioridad al puntal definitivo dos puntales auxiliares equipados con gatos hidráulicos encargados de separar los largueros, para luego insertar y acuar el puntal

definitivo. Una vez colocado este, se retiran los gatos y puntales auxiliares transmitiéndole esfuerzos de varias toneladas al puntal definitivo.

## **Excavaciones apuntaladas**

### **2.5.3.1 Proceso constructivo excavaciones poco profundas**

Debido a condiciones de linderos y reducción en las áreas de trabajo para las construcciones, es común encontrar frentes de excavaciones verticales en los cuales es recomendable apuntalar. En el caso de excavaciones poco profundas se utilizan tablonces alrededor de la excavación unidos por medio de vigas perimetrales denominadas largueros soportadas entre ellas por los puntales. Estos puntales pueden ser metálicos, en madera o inclusive si la excavación es muy ancha se utilizan cerchas.

Excavación Apuntalada con Madera



**Figura 2.5.6**

Excavación Apuntalada con Cerchas Metálicas



**Figura 2.5.7**

### Cerchas Metálicas con Puntales



**Figura 2.5.8**

### Cercha Metálica como modo de Apuntalamiento



**Figura 2.5.9**

### **2.5.3.2 Proceso constructivo excavaciones profundas**

Para este caso, es común la utilización de las tablestacas, pilotes metálicos en forma de "H" e inclusive muros pantalla en concreto. El proceso más común en estos casos es el de hincar las tablestacas y trabarlas para luego retirar el material del interior. A medida que se va profundizando, se van colocando los largueros y puntales.

En el caso de utilizar pilotes, el procedimiento es el mismo y la diferencia radica en que una vez retirado el material del área de los pilotes se colocan tablas acañadas entre ellos para luego ubicar los largueros y puntales.

Las Tablestacas son elementos metálicos generalmente de acero que se hincan y se traban entre ellos para formar un muro o pared.

Los tipos más conocidos son los siguientes:

a) De alma plana: Utilizadas en excavaciones que se acercan a poco profundas.

b) De alma curva: Utilizadas en excavaciones que se acercan a poco profundas.

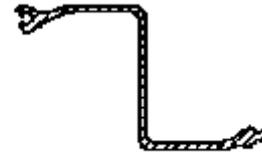
c) Con forma de Z: Utilizadas en excavaciones profundas donde se soporten presiones muy altas.



(a)



(b)



(c)

Muro pantalla apuntalado con cerchas metálicas



Figura 2.5.10

Excavación Apuntalada con Madera



Figura 2.5.11

En el caso de los muros pantalla, el procedimiento a seguir consiste en la excavación y lleno con bentonita, donde luego se va vaciando el concreto por medio de un tubo en la parte inferior de la excavación. Cuando el concreto

comienza a entrar, la bentonita comienza a salir y puede ser captada nuevamente o reutilizada en una excavación siguiente.

#### **2.5.4 Revestimiento de la excavación.**

Luego de que está hecha la excavación será necesario un recubrimiento con hormigón.

Pudiendo usarse las siguientes técnicas de construcción:

Para los muros y el suelo, se vierte entre los encofrados de madera o de hierro y madera que se hayan construido, y éstos se eliminan cuando el hormigón se ha secado.

También el hormigón puede aplicarse por inyección. Con este método el hormigón se pulveriza a presión con máquinas neumáticas sin necesidad de utilizar encofrados. Así se elimina todo el trabajo de los moldes de hierro y madera y se puede aplicar hormigón en lugares donde los métodos convencionales serían difíciles o imposibles de emplear.

## **Capítulo 3: Análisis y selección de alternativas:**

### **3.1 Fosa**

El primer paso que se va a seguir es la excavación de la fosa; la cual es una excavación considerada profunda ya que es superior a los 5 metros; para determinar si es o no necesario el apuntalamiento de las paredes se debe realizar primero una verificación del suelo en el que se va a realizar los trabajo así como verificar lo que se encuentre a su alrededor que pueda provocar un posible caída de las paredes.

Para las paredes de contención se va a utilizar malla electro-soldada para formar el alma de la pared que tendrá 15cm de espesor; en el suelo se procederá a fundir una pequeña loza de 5cm de espesor una vez que estén echas las cimentaciones de las columnas guía.

Las medidas que se tienen para la construcción de los muros de contención y el suelo de la fosa, son las necesarias para que resistan en condiciones normales del terreno el trabajo y el peso de la estructura y los vehículos.

### **3.2 Sistema estructural**

#### **3.2.1 Tipo de perfil**

En el mercado existe gran cantidad de tipos de perfiles como son los perfiles HEB, IPE, UPN, T, U, etc. que son los que se encuentran en el país; sin embargo, también se pueden encontrar otros perfiles con otras denominaciones como son las americanas, entre ellas encontramos los perfiles W, M, S, HP, C, MC, L, WT, etc. Algunos de estos son muy similares a los que se encuentran en el mercado ecuatoriano.

Para la selección del tipo de perfil que se va a utilizar se tomaron en cuenta varios

factores como el costo, peso, facilidad de comprarlos, entre otros.

Para empezar vamos a utilizar cualquiera de los perfiles tipo: W, M, S, HP, HEB, IPE, que son los que forma una H ya que estos nos proporcionan una inercia elevada y módulos de sección alta; por lo cual resisten con facilidad los momentos a los que serán sometidos al instante de trabajar; además son los que mayor facilidad presentan para acoplarse entre sí.

El siguiente parámetro que se tiene que tener en cuenta es si se los puede conseguir con facilidad; los perfiles W, M, S, HP son los que se trabajan con norma americana; estos se los puede conseguir en Estados Unidos, mientras que los HEB y los IPE son los que se encuentran en el país; es por ello que se utilizarán estos últimos, a pesar que se podrían importar los otros perfiles, pero el proceso de importación incrementa el costo de los perfiles.

Por último hay que tomar en cuenta el peso, entre los perfiles HEB y los IPE, los últimos son más livianos que los HEB, y al hacer todos los cálculos se ve que los IPE sobrepasan los requerimientos que se presentan en el diseño y es por ello que se utilizan estos.

### **3.2.2 Tipo de unión**

Se puede escoger entre dos tipos de uniones que son las empernadas y las soldadas.

Para la selección del tipo de unión se tomo en cuenta cuatro parámetros que son:

El primer parámetro que se puede tener en cuenta es la funcionalidad del sistema, que no tendrá la necesidad de ser desarmado para moverlo de un lugar a otro; es por ello que se utiliza la suelda como método de unión.

El siguiente parámetro es la velocidad, ya que para poner pernos es necesario hacer agujeros y placas de unión para todos los elementos que van unidos; mientras que con la suelda tan solo se debe realizar los cordones en los

lugares necesarios para que los elementos queden unidos entre si.

Como tercer parámetro tenemos la facilidad, se puede ver por lo expuesto anteriormente que el hacer los cordones es mucho más fácil que poner pernos, además que el aumentar todos los elementos que serían necesarios para los pernos incrementarían un poco el peso del sistema estructural.

El cuarto parámetro que se tomó en cuenta es el costo; ya que un cordón de suelda es mucho más barato que el poner los pernos y todos sus elementos adicionales, esto se puede ver con facilidad tan solo en la utilización de los equipos, por ejemplo para soldar asumiendo que ya están los acabados necesarios solo se requiere de la soldadora, mientras que para los pernos se requiere de un taladro, una cortadora para hacer las placas entre otras.

### 3.2.3 Forma de la estructura

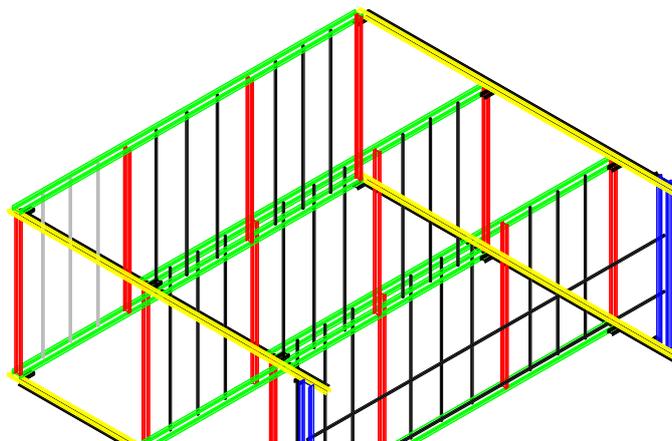


Figura 3.2.1

Para la selección de la forma de la estructura se tomó el modelo más elemental que es las cuatro columnas, para el conjunto formado por las vigas transversales

y longitudinales se eligió poner dos vigas longitudinales de siete metros para que estas sean las que se apoyen en las columnas, y cuatro vigas transversales de poco menos de tres metros para que en estas se distribuya el peso de los vehículos; ya que si en vez de utilizar las cuatro vigas transversales se utilizaban solo dos y se ponían varillas con el uso estas se podrían doblar y ocasionar dificultades y posteriormente accidentes. Se decidió que las vigas transversales se recorten unos pocos centímetros (8,7cm) y se asienten sobre el patín interno inferior de la viga longitudinal para que posteriormente sean soldadas. Sobre ellas se asientan las planchas de metal que también se recortarán la misma cantidad, ya que si se las asienta sobre el patín superior de la viga longitudinal, se aumenta la altura de toda la estructura en casi 300mm más.

La viga soporte se la soldará hacia las partes exteriores y por debajo de los patines para ayudar a que los cables puedan quedar lo más recto posible con relación a las poleas.

Para hacer la columna carril se va a utilizar un perfil que entre su ala en el alma de la columna móvil; este perfil se va a fijar al piso y a las paredes de la fosa; en la columna fija se van a colocar seis ruedas de caucho, colocándolas de tal manera que las ruedas toquen una a cada del alma de la columna móvil.

### **3.2.4 Otros elementos**

Entre estos tenemos:

Los tubos que se utilizan para proporcionar apoyo lateral a las vigas; en este caso se escogió los tubos cuadrados ya que proporcionan una mayor inercia que los circulares, son más fáciles para soldar y en estos se puede apoyar también las planchas metálicas; no se utilizan varillas ya que los tubos producen el mismo efecto y no son tan pesados.

Los electrodos para las soldaduras; se utilizan electrodos E6011 ya que no es necesario soldaduras especiales y dentro de la familia de los electrodos E60xx

estos son los más económicos.

Para los patines que son los soportes para el conjunto de las vigas y para la viga que soportará los cables; para este elemento se pueden considerar varias formas como son ángulos, placas metálicas o la utilización de un pedazo de perfil. La mejor solución que se puede dar es el utilizar un pedazo del perfil, ya que al utilizar un ángulo este se podría doblar, por lo cual debería tener un espesor muy grande y este no se puede conseguir en el mercado y tocaría fabricarlo, al utilizar una placa se tiene el mismo problema primero el grosor y sus dimensiones y luego su fabricación; mientras que con el pedazo de perfil no hace falta fabricarlo, su forma lo hace resistente para que no se doble ni se rompa y tiene suficiente espacio para soldarlo y que esta suelda soporte la carga a la que se lo va a someter; y por último se puede utilizar sobrantes de las vigas ya que no sería necesario poner un pedazo mayor a los 10cm. El perfil más óptimo sería el mismo que se utilice en las columnas móviles para que se pueda soldar con facilidad y no interfiera con otros elementos.

### **3.2.5 Código de diseño**

Se tienen dos códigos de diseño que son los que se podrían utilizar para este proyecto, ya que son los que se utilizan en el país; estos códigos son el AISC<sup>2</sup> ASD<sup>3</sup> () y el AISC LRFD<sup>4</sup> (diseño por factor de resistencia y de carga).

La utilización del código LRFD implica utilizar todas sus normas y recomendaciones, para poder tener un diseño adecuado.

### **3.2.6 Fórmula para mayorar las cargas y cargas aplicadas**

Existen varias combinaciones de las cargas de trabajo, como son:

---

<sup>2</sup> American Institute of Steel Construction, Inc

<sup>3</sup> AISC ASD esfuerzos

<sup>4</sup> AISC LRFD factor de carga y resistencia

1.4 D

$1.2D+1.6L+0.5 (Lr \text{ o } S \text{ o } R)$

$1.2D+1.6 (Lr \text{ o } S \text{ o } R)+ (0.5L \text{ o } 0.8W)$

$1.2D+1.6W+0.5L+0.5 (Lr \text{ o } S \text{ o } R)$

$1.2D\pm 1E+0.5L+0.25S$

$0.9D\pm (1.6W \text{ o } 1E)$

Donde:

D = carga muerta

L = carga viva

Lr = carga viva de techo

S = nieve

W = viento

R = terremoto

En este proyecto por sus características sólo se va a tener cargas vivas (L) y cargas muertas (D); ya que las demás no afectan a la estructura.

Conociendo las cargas que afectan a la estructura podemos determinar cual de las combinaciones es la más adecuada por medio de inspección buscando cual de las combinaciones nos produce la mayor carga. Una vez que tenemos esto la combinación que se utilizará es:

**1.2D+1.6L**

### **3.3 Sistema mecánico**

Para este proyecto es necesario un sistema mecánico que permita levantar la estructura sin tener cables u otros implementos en la parte superior debido a su concepción y a la finalidad a la que está dirigido el proyecto; por esto no se puede utilizar un polipasto u otro sistema que utilice cables u otros implementos exteriores, ya que la idea principal del proyecto es poder utilizar la parte superior para optimizar los espacios como se puede apreciar en la figura 1.1.1. Como se tiene esta limitación solo se puede elevar la estructura y lo que se encuentre en

su interior ya sea subiéndola desde abajo o desde los lados.

La alternativa más conveniente fue la de utilizar poleas y cables debido a los costos que tienen estos en comparación de los otros sistemas que se exponen a continuación, de cada sistema se expondrán algunos cálculos que nos darán una idea de las dimensiones que estos tenían para mover la estructura, además los problemas que estos presentan por los cuales no fueron considerados como la solución final.

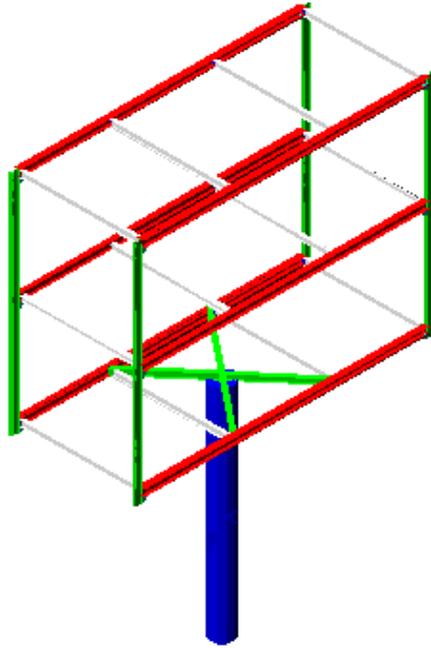
### **3.3.1 Cilindro hidráulico**

En los sistemas hidráulicos y neumáticos la energía es transmitida a través de tuberías. Esta energía es función del caudal y presión del aire o aceite que circula en el sistema.

El cilindro es el dispositivo mas comúnmente utilizado para conversión de la energía antes mencionada en energía mecánica.

La presión del fluido determina la fuerza de empuje de un cilindro, el caudal de ese fluido es quien establece la velocidad de desplazamiento del mismo. La combinación de fuerza y recorrido produce trabajo, y cuando este trabajo es realizado en un determinado tiempo produce potencia.

Ocasionalmente a los cilindros se los llama "motores lineales".



**Figura 3.3.1**

Este sistema consiste en un cilindro que empuja a todo el peso de la estructura y los vehículos desde la parte inferior.

El cilindro hidráulico sirve para levantar grandes pesos como es el caso del proyecto.

### **Conclusión:**

Este sistema no es viable para el proyecto debido:

- ❖ A la excavación que se debe hacer adicional a la que utiliza la estructura, en donde ingresa el pistón.
- ❖ Cuando se trabaja con pistones hidráulicos, si estos deben elevar a más de dos metros los costos de estos son muy elevados y pierden eficiencia frente a otros sistemas.
- ❖ La velocidad de operación del pistón hidráulico es baja.
- ❖ Para la implementación de este sistema los costos son elevados ya que se tiene los pistones, la bomba y un recipiente para el almacenamiento del aceite.

- ❖ Se requiere de un gran espacio adicional ya que se tiene que poner la bomba y el recipiente para almacenar el aceite.
- ❖ El costo de los cilindros debido a las dimensiones con las que se trabajan son muy elevados.
- ❖ Ya que se debe elevar más de dos metros nos enfrentamos al problema del pandeo que se puede dar ya que el cilindro hace las veces de una columna, y para evitar esto el cilindro debería tener diámetros muy grandes con lo cual se incrementa su costo.

### 3.3.2 Piñón Cremallera

El mecanismo piñón cremallera se utiliza para transformar un movimiento de rotación en un movimiento rectilíneo

Este mecanismo está formado por una rueda dentada, el piñón que engrana con una barra también dentada, llamada cremallera.

Cuando gira el piñón la cremallera se desplaza en línea recta. Se usa, por tanto, para transformar el movimiento rotatorio en rectilíneo.

Si el piñón gira sin desplazamiento también puede conseguirse el efecto inverso; es decir, al desplazar la cremallera se hace que gire el piñón.

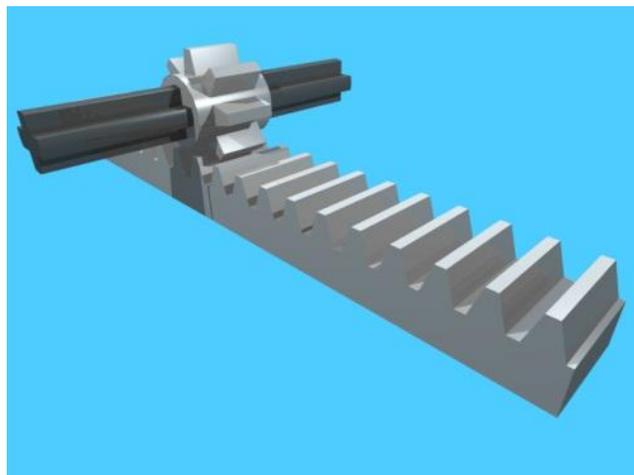
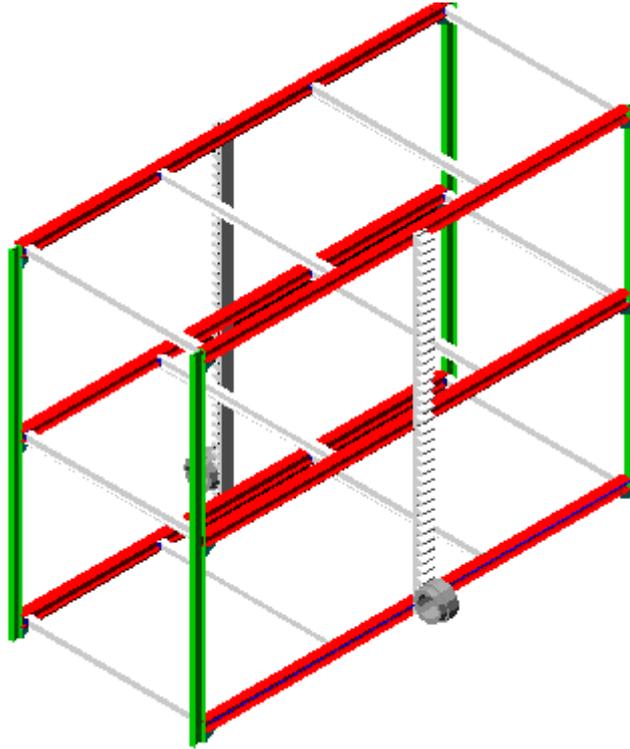


Figura 3.3.2



**Figura 3.3.3**

Para la utilización de este sistema se divide la carga para dos ya que se utilizaría uno sistema piñón cremallera por lado con su respectivo motor.

Los siguientes son los cálculos de los tamaños tanto del piñón como de la cremallera. Se hicieron los cálculos necesarios para saber cual es el material tanto del piñón como de la cremallera; a demás la potencia del motor, y su velocidad.

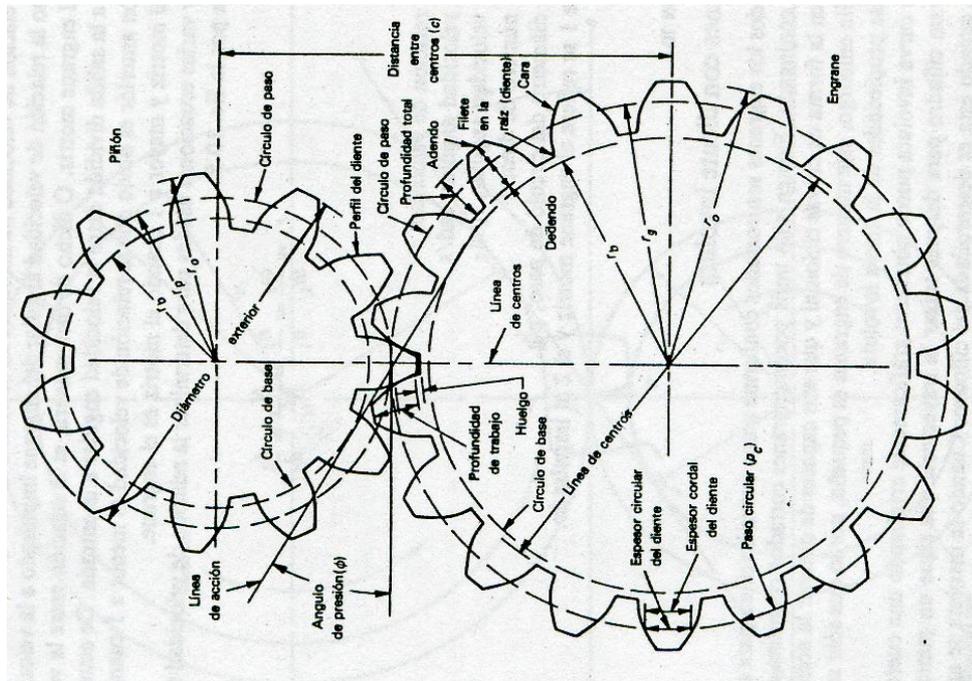


Figura 3.3.4

### Cálculo del piñón cremallera

#### Piñón

$Z_p := 12$			dientes del piñón
$P := 2$			paso diametral
$P_c := \frac{\pi}{P}$	$P_c = 1.571$	in [40 mm]	paso circular
$d_p := \frac{Z_p}{P}$	$d_p = 6.000$	in [152.4 mm]	diametro de paso
$\phi := 25$			ángulo de presión
$a := \frac{1}{P}$	$a = 0.500$	in [12.7 mm]	adendo
$b := \frac{1.25}{P}$	$b = 0.625$	in [15.3 mm]	dedendo

$ht := \frac{2}{P}$	$ht = 1.000$	in	[25.4 mm]	altura de trabajo
$i := \frac{125}{12}$	$i = 10.417$			
$B := \frac{8}{P}$	$B = 4.000$	in	[101.6 mm]	ancho del piñón
$dep := dp + 2 \cdot a$	$dep = 7.000$	in	[117.8 mm]	diámetro exterior
$dip := dp - 2 \cdot b$	$dip = 4.750$	in	[120.6 mm]	diámetro interior
$hol := \frac{0.25}{P}$	$hol = 0.125$	in	[3.1 mm]	holgura

Calculamos cuantos dientes va a tener la cremallera:

$Zcre := \frac{196.850}{Pc}$	$Zcre = 125.319$	
	$Zcre := 125$	dientes que debe tener la cremalla

Se debe calcular la velocidad a la que va a moverse la cremallera en función de la velocidad a la que gira el motor

$neje := 15$		velocidad del eje
$Vp := \frac{\pi \cdot neje \cdot dp}{12}$	$Vp = 23.562$	$\frac{ft}{min}$ velocidad en la línea de paso en pies por minuto
$Vpp := Vp \cdot \frac{0.3048}{60}$	$Vpp = 0.120$	$\frac{m}{s}$ velocidad en la línea de paso en metros por segundo, es la velocidad de la puerta.

Una vez que tenemos esto podemos calcular la potencia que se requiere para mover todo el conjunto de la estructura y los vehículos.

La fuerza que se desea mover es de 4536Kgf (10000 lb) a partir de esta se determina la potencia del motor que se va a utilizar.

$$F_t := 10000 \quad \text{lb} \quad [44482.2 \text{ N}]$$

$$T := \frac{F_t \cdot d_p}{2} \quad T = 3.000 \times 10^4 \quad \text{lb}\cdot\text{in} \quad [0.338 \text{ N m}]$$

$$P_{\text{salida}} := T \cdot \frac{\text{neje}}{63000} \quad P_{\text{salida}} = 7.143 \quad \text{Hp} \quad [5.32 \text{ KW}]$$

$$P_{\text{entrada}} := \frac{P_{\text{salida}}}{0.939} \quad P_{\text{entrada}} = 7.607 \quad \text{Hp} \quad [5.67 \text{ KW}]$$

Conocida la potencia y las dimensiones se procede ver que material es el que resiste para el trabajo al que se va a someter tanto el piñón como la cremallera.

Cálculo de la resistencia mecánica del engrane recto del piñón

Por el método de AGMA

$k_o := 1.5$  factor de sobrecarga, choque ligero en la fuente y choque moderado en la máquina impulsada

$k_s := 1.5$  factor de tamaño

$k_m := 1.4$  factor de distribución de carga

$k_v := 0.835$  factor dinámico

$J := 0.27$  se toma este considerando la carga aplicada en la parte más alta del diente

Se utiliza un motor de 15HP que es el que se puede encontrar en el mercado; esta es la potencia nominal del motor pero se debe considerar la eficiencia y tenemos:

Los 7.512Hp sale de multiplicar la potencia del motor (8Hp) por la eficiencia

$$T := \frac{63000 \cdot 7.512}{\text{neje}} \quad T = 3.155 \times 10^4 \quad \text{lb}\cdot\text{in} \quad [3564.67 \text{ N m}]$$

$$F_t := \frac{2 \cdot T}{d_p} \quad F_t = 1.052 \times 10^4 \quad \text{lb} \quad [46795.29 \text{ N}]$$

$$\sigma_b := \frac{F_t \cdot P \cdot k_o \cdot k_m \cdot k_s}{B \cdot J \cdot k_v} \quad \sigma_b = 7.347 \times 10^4 \quad \text{psi} \quad [506.55 \text{ MPa}]$$

$$S_{ad} := \sigma_b$$

$$k_a := 1.1$$

Ka: para mas de  $1 \cdot 10^6$  ciclos

$$k_b := 1$$

Kb: para una falla en 100

$$k_c := 1$$

Kc: temperatura menor que 250°F

$$S_a := \frac{S_{ad} \cdot k_b \cdot k_c}{k_a}$$

$$S_a = 6.679 \times 10^4 \text{ psi} \quad [460.50 \text{ MPa}]$$

Se busca en el mercado un material que tenga esta resistencia o mayor; con esto podemos ver un acero AISI 4340 templado y revenido a 1000°F con 360BHN y 156Ksi.

A demás de estos cálculos se debe realizar un cálculo por desgaste superficial, para ver si este material es lo suficientemente resistente como para que soporte; por ello tenemos:

$$c_p := 2300$$

coeficiente de propiedades elasticas de los materiales

$$c_o := 1.5$$

factor de sobrecarga

$$c_s := 1$$

factor de tamaño

$$c_m := 1.35$$

factor de distribución de la carga

$$c_f := 1.1$$

factor de la condición de superficie

$$c_v := 0.915$$

factor dinámico

$$l := 0.15$$

factor geométrico

$$\sigma_c := c_p \cdot \sqrt{\frac{F_t \cdot c_o \cdot c_s \cdot c_m \cdot c_f}{B \cdot d_p \cdot c_v \cdot l}}$$

$$\sigma_c = 1.940 \times 10^5 \text{ psi} \quad [1337.58 \text{ MPa}]$$

$cl := 1.4$	para $1 \cdot 10^6$ ciclos
$ch := 1$	factor de dureza
$ct := 1$	factor de temperatura (< a 250°F en la operación)
$cr := 1$	factor de confiabilidad
$Sacd := \sigma_c$	$Sacd = 1.940 \times 10^5$ psi [1337.58 MPa]
$Sac := \frac{Sacd \cdot ct \cdot cr}{cl \cdot ch}$	$Sac = 1.385 \times 10^5$ psi [955 MPa]

Para esta resistencia se puede utilizar el mismo material pero cambiando el tratamiento térmico que se le va a dar. Teniendo en cuenta esto tenemos que utilizar un acero AISI 4030 templado y revenido a 600°F con dureza de 486BHN y 230 Ksi.

Con todo esto se puede ver cual es la fuerza de los engranes y tenemos:

$$F_t = 1.052 \times 10^4 \quad \text{lb} \quad [46795 \text{ N}]$$

$$F_r := F_t \cdot \tan\left(\phi \cdot \frac{\pi}{180}\right) \quad F_r = 4.904 \times 10^3 \quad \text{lb} \quad [21814 \text{ N}]$$

### Conclusiones:

- ❖ Este sistema sería adecuado para el proyecto ya que cumple con todos los requisitos planteados como la velocidad y su fiabilidad.
- ❖ La disposición que tendría en el proyecto sería la adecuada para que tenga un buen funcionamiento y no ocuparía demasiado espacio como con otros sistemas.

Este sistema no sería viable debido:

- ❖ Las herramientas con las que se debe realizar tanto los piñones como las cremalleras no son fáciles de encontrar por sus tamaños; ya que mientras más grandes sean los dientes del piñón, menor es la cantidad de dientes en la cremallera.

- ❖ El costo de la materia prima para hacer la cremallera es muy elevado debido al tipo de material que se debe utilizar; haciendo una comparación el comprar el material para uno de los lados cuesta un poco más de la mitad que toda la estructura metálica, solo la materia prima para una cremallera costaría \$1612, para el piñón se necesitaría \$82.07, como se puede ver en los anexos.
- ❖ Los costos de fabricación tanto del piñón como de la cremallera son muy altos, debido a las herramientas y maquinarias especiales con las que se debe trabajar, teniendo un costo aproximado de 25 dólares por diente.
- ❖ No se puede hacer el piñón y la cremallera en cualquier metal mecánica debido a que no se encuentra con facilidad las maquinarias adecuadas para su manufactura.

### **3.3.3 Tornillo de potencia**

Los tornillos de potencia son un dispositivo para cambiar movimiento rotativo en movimiento lineal y usualmente para transmitir potencia. En forma más específica los tornillos de potencia se usan:

1. Para obtener una ventaja mecánica mayor con objeto de levantar pesos, como es el caso de los gatos tipo tornillos de los automóviles.
2. Para ejercer fuerzas de gran magnitud, como en los compactadores caseros o en una prensa.
3. Para obtener un posicionamiento preciso de un movimiento axial, como en el tornillo de un micrómetro o en el tornillo de avance de un torno.

En cada una de estas aplicaciones se utiliza un par de torsión en los extremos de los tornillos por medio de conjuntos de engranajes, creando de esta forma una carga sobre el dispositivo.

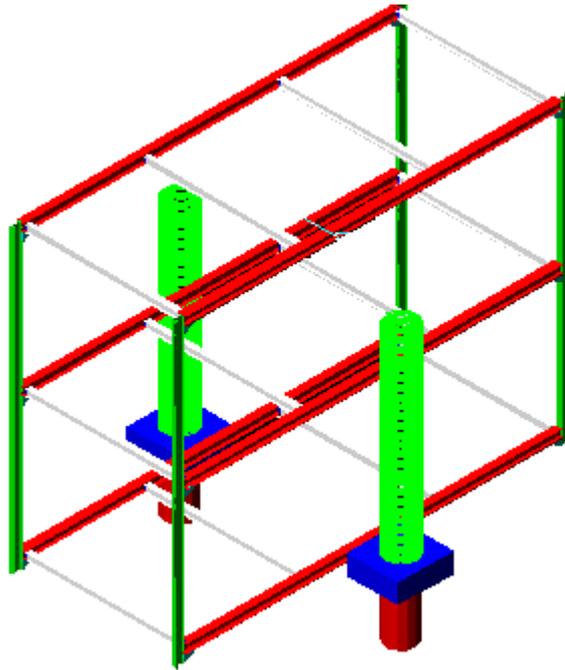


Figura 3.3.5

Para este sistema no se realizaron los cálculos correspondientes debido a que por un simple análisis se puede ver que no es una solución adecuada por las dimensiones con las que se debe trabajar; aunque su construcción es muy sencilla, debido a sus dimensiones y al tipo de acero con el que se debe manufacturar, ya que su costo es muy elevado y no lo convierte en una solución muy adecuada.

### 3.3.4 Poleas y carretes

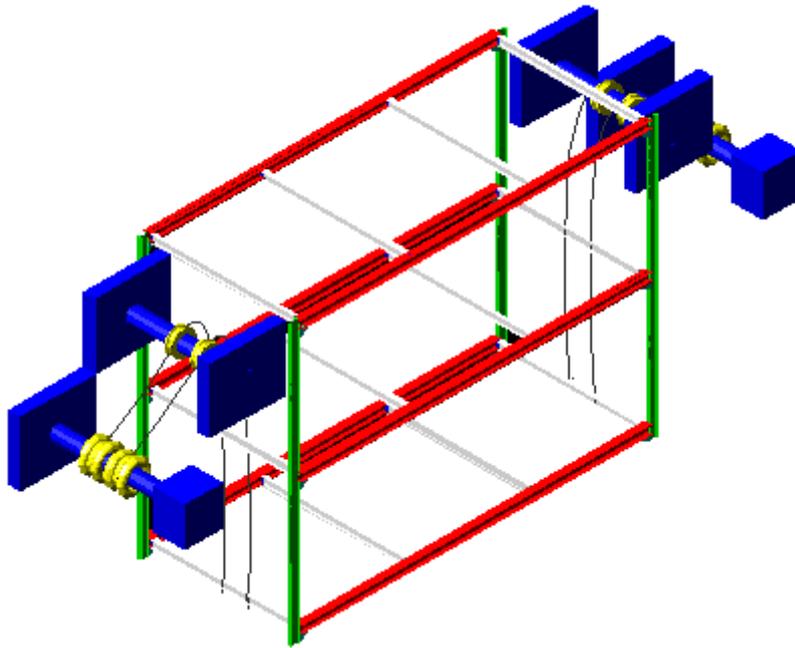


Figura 3.3.6

Este sistema es el más opciones tiene, ya que ocupa poco espacio, no es muy costoso, es fácil para su montaje y todos sus componentes son fáciles de conseguir; todo esto se ve expresado en la siguiente matriz de decisión.

Todos los cálculos de este sistema se pueden ver en el capítulo 4 en la parte de diseño del sistema de elevación.

### 3.3.5 ELABORACIÓN DE LA MATRIZ DE DECISIÓN.

Para la elaboración de esta matriz, se construye una matriz de valor, la misma que permite determinar los FACTORES DE PONDERACIÓN, jerarquizando los criterios de evaluación.

Tiene las siguientes condiciones:

Para:

Mayor Valor = 1

Igual Valor = 1/ 2.

Menor Valor = Casillero en Blanco.

Criterios de Evaluación	Análisis de Valor							Puntos	%	% Suavizado	FP
	1	2	3	4	5	6	7				
Fiabilidad	-	0,5	1	1	1	1	1	5,5	26,19	26	0,26
Costo del desarrollo	0,5	-	1	1	1	1	1	5,5	26,19	26	0,26
Simplicidad del mecanismo			-	1	1	1	1	4,0	19,05	19	0,19
Mantenibilidad				-	1	1	1	3,0	14,29	14	0,14
Costos de Instalación					-	1	1	2,0	9,52	10	0,1
Costos Energéticos de funcionamiento						-	1	1,0	4,76	5	0,05
								21,0	100,00	100	1

Una vez que se tienen los factores de ponderación (FP) se procede a la realización de la matriz de decisión:

## Matriz De Decisión.

		Mecanismo 1		Mecanismo 2		Mecanismo 3		Mecanismo 4		
ord	Criterios de Evaluación	F.P	Puntaje	PC	Puntaje	TSF	Puntaje	Sistema H	Puntaje	Sistema de Poleas.
1	Fiabilidad	0,26	10	2,6	10	2,6	10	2,6	10	2,6
2	Costo del desarrollo del mecanismo	0,3	4	1,04	5	1,3	4	1,04	8	2,08
3	Simplicidad del mecanismo	0,19	8	1,52	8	1,52	10	1,9	8	1,52
4	Mantenibilidad	0,14	10	1,4	10	1,4	8	1,12	8	1,12
5	Costos de Instalación	0,10	10	1	7	0,7	5	0,5	10	1
6	Costos energéticos de funcionamiento	0,05	8	0,4	8	0,4	6	0,3	8	0,4
<b>Sumatoria</b>		1,00		<b>7,96</b>		<b>7,92</b>		<b>7,46</b>		<b>8,72</b>

Donde:

FP: factor de ponderación

PC: piñón cremallera

TSF: tornillo sin fin corona

Sistema H: sistema hidráulico

## 3.4 Sistema de control

### 3.4.1 Sensores

Para la selección de los sensores que se van a utilizar se puede tener en cuenta el siguiente criterio:

Para seleccionar de entre los diferentes tipos de detectores de proximidad, deberán tenerse en cuenta los siguientes criterios. Las detecciones de distancias cortas ( $< 50$  mm) pueden realizarse con captadores inductivos o capacitivos, (que resultan ser los de menor costo) el empleo de unos u otros dependerá de la naturaleza metálica o no del material a detectar. Para las distancias largas ( $> 50$  mm) se hace necesario irse a ultrasónicos u ópticos, teniendo presentes las limitaciones que ofrecen los primeros en ambientes ruidosos y de los segundos con materiales a detectar transparentes.

En base a esto el tipo de sensor que se va a utilizar es uno óptico o foto-eléctrico; además que lo que queremos lograr es tener un funcionamiento como el que se ve en un ascensor, para que el sensor detecte la presencia ya sea de una puerta abierta, una persona u otro objeto que corte el haz de luz, con lo cual el sensor emitirá una señal y no permitirá que el mecanismo funcione haciendo que suba o baje la estructura y lo que se encuentre en su interior.

Los sensores foto-eléctricos que se utilizarán son los mostrados a continuación:



Figura 3.4.1

### **3.4.2 Control remoto**

Para poder utilizar un control remoto para el proyecto, sería necesario diseñar y construir tanto el receptor como el emisor de la señal de frecuencia, lo cual sería largo e incrementaría el costo del proyecto; también se puede comprar este sistema o uno parecido, pero de igual forma es muy costoso.

La otra alternativa que tenemos para el control remoto son los receptores universales de frecuencia que se utilizan con los motores eléctricos para las puertas de garajes; los cuales funcionan receptando la honda con una frecuencia determinada, este aparato hace las veces de un pulsador inalámbrico. Junto con este receptor hay que colocar un relee ya sea de 12 o 24 voltios DC, con el cual se controlará el pulso que debe ser de 110V para el PLC que se seleccionó, siendo el voltaje con el que trabaja este receptor entre 0 y 30V; con el paso de la corriente de 110V que el PLC tomará como pulso, este mismo hará que se realice la acción que tenga programada para dicha entrada.

### **3.4.3 Controlador**

Para el controlador existen dos alternativas que son el utilizar un PLC o hacer una caja de controles con reles; puesto que los sensores que se van a utilizar así lo permiten.

Para nuestro caso vamos a utilizar un PLC ya que este nos presenta más beneficios que una caja de control de reles; con el PLC es más veloz la instalación ya que solo procedemos a su programación y los costos no son tan diferentes; siendo que se puede conseguir PLC's genéricos cuyos costos son muy inferiores a los de marca.

Se requiere de un PLC con 12 entradas digitales para los sensores y para el control remoto, y las respectivas salidas para que controle los actuadores.

### 3.4.4 Actuadores

Como actuadores se va a utilizar arrancadores suaves que van conectados a las salidas del PLC y que hacen como su nombre lo indica que el motor tenga un arranque suave con lo cual los picos de corriente que se tienen en los arranques no son tan grandes, además ayuda a que al iniciar la subida esta sea lenta hasta alcanzar la velocidad a la que se desea que esta suba y también hace lo mismo antes de detenerse.

Las otras alternativas que se tienen son:

- ❖ Arranque estrella triangulo; este no se utiliza ya que no tiene la función de hacer un arranque suave, sino que ayuda en el arranque a que el pico de corriente sea menor. El precio que tiene este es de aproximadamente unos \$690 para controlar los dos motores.
- ❖ La otra alternativa es un electro variador de frecuencia que es un dispositivo electrónico que cumple con las mismas funciones que el arrancador suave, con la diferencia que es más eficiente y en caso de daño solo se reemplaza la parte dañada, mientras que en el arrancador suave sería necesario cambiarlo todo; la desventaja es el costo que es de \$2700.



## **Capitulo 4: Diseño**

El diseño tanto de la fosa como de la estructura tienen sus respectivos planos en la sección de planos más adelante.

### **4.1 Diseño de la fosa**

#### **4.1.1 Excavación**

Se procede a excavar una fosa de 7800mm de largo por 3700mm de ancho y 6600mm de profundidad, como se muestra en los planos; además en los lugares donde van las columnas carril se realiza una excavación adicional de 400x400x500mm, donde se realiza la cimentación de las columnas carril.

Dependiendo de donde se va a poner el estacionamiento la excavación se deberá realizar de forma manual o con maquinarias.

#### **4.1.2 Cimentación**

En el perfil de la columna carril, se suelda una placa de metal y se introduce en el agujero de la cimentación y se procede a fundir con concreto para que queden bien sujetadas al suelo, cuidando que quede completamente recta, como se ve en los planos.

#### **4.1.3 Muros de contención**

Para la construcción de este se colocan dos mallas electro-soldadas de coqueado de 4.5mmx15x15cm a 8cm de separación entre ambas; se procede a colocar el encofrado del lado que da hacia adentro de la fosa a 1cm de la malla para posteriormente fundir el muro de contención con concreto; es decir que el muro quedará de 10cm de espesor.

#### 4.1.4 Piso

Para el piso se procede a fundir una pequeña losa de 5cm de espesor, para lo cual se coloca una malla pegada al suelo de tierra y posteriormente se arroja y extiende el concreto sobre esta. No es necesario que esta losa sea de gran espesor, ya que el peso de la estructura y los vehículos no van a estar soportados sobre este sino en la columna carril y en los cables que conforman el mecanismo de elevación.

#### 4.2 Diseño de la estructura metálica

Para todos los cálculos de la estructura se utiliza acero A36, y perfiles IPE con una resistencia a la fluencia de 36 Ksi.<sup>5</sup>

$$F_y := 36 \text{ Ksi}$$

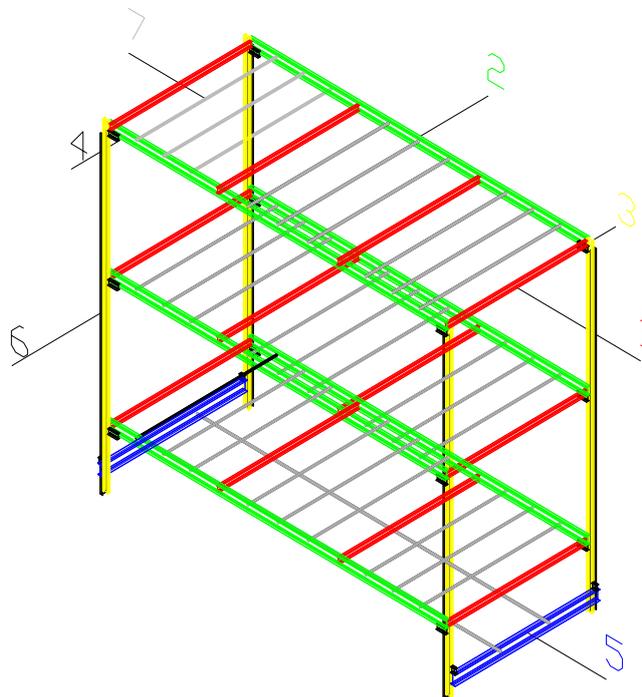


Figura 4.2.1

<sup>5</sup> Dado que los cálculos se realizan en unidades del sistema ingles, se coloca al lado entre paréntesis los valores más importantes en el sistema internacional.

- 1 Viga longitudinal
- 2 Viga transversal de 7m
- 3 Columna móvil
- 4 Elemento soportante conjunto Vigas columna
- 5 Viga soportante para subir
- 6 Columna fija
- 7 Tubo cuadrado de 1 1/2"

### 4.2.1 Viga longitudinal de 3 metros

Se utiliza una lámina de acero A36 de 3mm de espesor con un peso de 23,55Kg/m<sup>2</sup>

$$Dpl := 3 \cdot 23.55 \cdot 2.5 \quad Dpl = 176.625 \quad Kg$$

$$Dpl := 389.39 \quad Lb$$

$$DPL := 3 \cdot 23.55 \cdot 7 \quad DPL = 494.55 \quad Kg$$

$$DPL := 1090.30 \quad Lb$$

Dpl: peso de la lámina en el área colaborante.

DPL: peso de la lámina de acero para todo el piso.

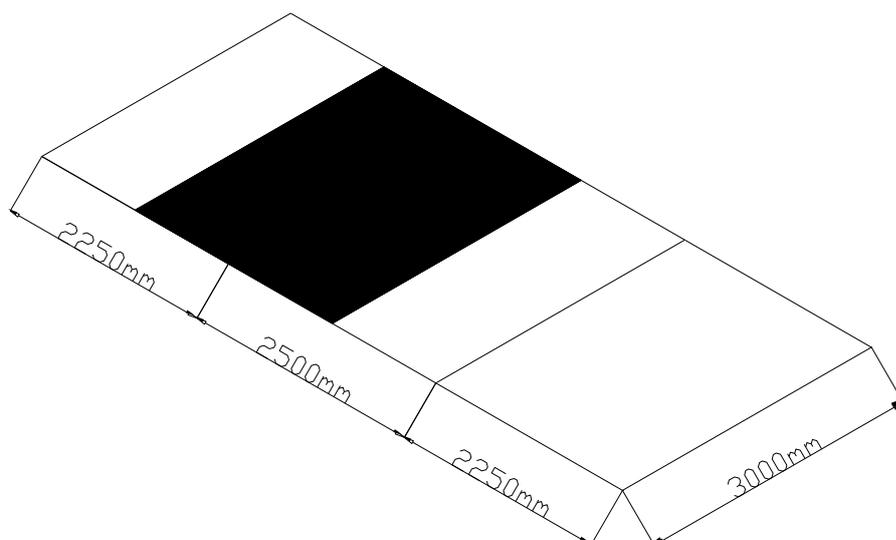


Figura 4.2.2

Para el cálculo de parqueaderos se tiene que utilizar por norma<sup>6</sup> y por seguridad el valor de 40psf como peso para todos los cálculos

Donde  $A_c$  es el área colaborante. Esta área colaborante se puede apreciar en la siguiente figura, siendo esta la zona pintada.

$$A_c := 2.5 \cdot 3$$

$$A_c = 7.5 \quad m^2$$

$$A_c := 80.73 \quad ft^2$$

$$LP_c := A_c \cdot 40 \quad LP_c = 3.229 \times 10^3 \quad lb$$

$$LPC := 40 \cdot 226.04 \quad LPC = 9.042 \times 10^3 \quad lb$$

$$LP_c = 1.464 \times 10^3 \text{ Kg.}$$

$$LPC = 4.101 \times 10^3 \text{ Kg.}$$

Donde  $LP_c$  es el peso que se utiliza por norma para el cálculo de la viga de 3m considerando el área colaborante; y  $LPC$  es el peso según norma considerando todo el piso, este valor se utilizará en posteriores cálculos.

Se procede a mayorar las cargas

$$P_u := 1.2 \cdot D_{pl} + 1.6 \cdot LP_c \quad P_u = 5.634 \times 10^3 \quad lb$$

$$P_u := \frac{P_u}{1000} \quad P_u = 5.634 \quad \text{Kip} \quad (P_u=25.04\text{KN})$$

Donde  $P_u$  es la carga mínima que debe soportar la viga, además en el conjunto de las vigas este es el valor que se aplica en las vigas intermedias y es el utilizado para los cálculos de la viga de 3m.

---

<sup>6</sup> ASCE 7-C2 “Minimum Design Loads For Buildings and Other Structures.”



**Figura 4.2.3**

Toda la carga mayorada es dividida para 2 y se obtienen los valores de las dos vigas de los extremos:

$$\frac{P_u}{2} = 2.817 \text{ kip} \quad (P_u/2=12.54\text{KN})$$

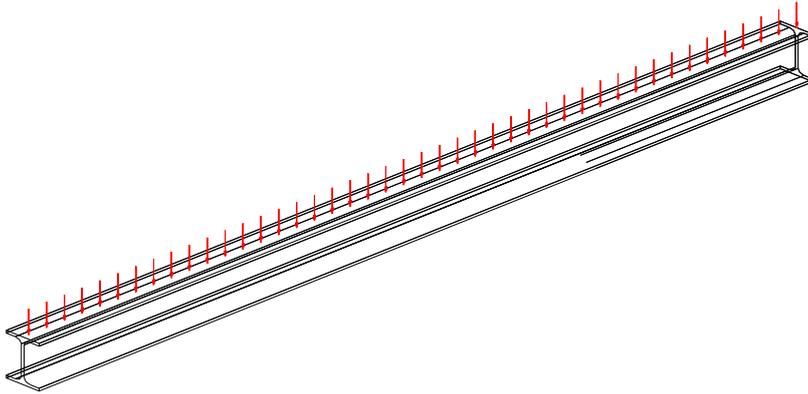
Por efecto de la plancha metálica toda la carga que se aplica en cada viga se distribuye a lo largo de los tres metros y se tiene:

$$L := 3\text{m} \quad L := 9.84 \text{ ft}$$

$$C_d := \frac{P_u}{L} \quad C_d = 0.573 \frac{\text{Kip}}{\text{ft}}$$

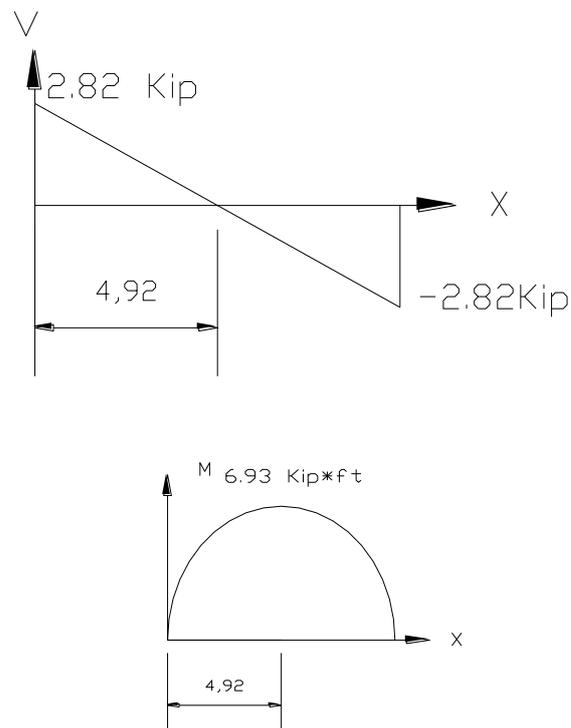
Donde: L es la longitud de la viga (2.999 m)

C<sub>d</sub> es la carga mayorada distribuida a lo largo de L ( 8.363KN/m)



**Figura 4.2.4**

Los siguientes gráficos representan los diagramas de cortante y momento de la viga.



**Figura 4.2.5**

$$M_u := \frac{C_d \cdot L^2}{8} \quad M_u = 6.93 \quad \text{Kip} \cdot \text{ft}$$

$$M_u := M_u \cdot 12 \quad M_u = 83.158 \quad \text{Kip} \cdot \text{in}$$

Mu: Momento mínimo que debe resistir la viga (9.396 KN\*m)

Se asume que es un perfil compacto ya que es lo más óptimo para los cálculos ya que  $M_n = M_p \leq 1.5 M_y$

Donde  $M_n$  es el momento nominal,  $M_p$  es el momento plástico y  $M_y$  es el momento de fluencia.

$$\phi := 0.9$$

$$\phi M_n := M_u$$

Momento de diseño

$$M_p := Z_x \cdot F_y$$

$$Z_x := \frac{M_u}{\phi \cdot F_y} \quad Z_x = 2.567$$

Módulo de la sección plástica

En el mercado existen gran cantidad de perfiles con diferentes nominaciones como son los

W, norma americana que lastimosamente no se encuentra en el país, en el mercado nacional existen HEB, IPE. Para este diseño se va a utilizar los perfiles IPE ya que son los más óptimos para los requerimientos que tenemos.

Tomamos un perfil IPE 100 que tiene un  $Z_x = 2.68$

$$Z_x := 2.68 \quad r_x := 2.56 \quad r_y := 0.25$$

$$E := 29000 \quad S_x := 2 \quad I_x := 3.93$$

Donde: E es el módulo de elasticidad del metal.

$r_y$  es el radio de giro del perfil por la sección débil.

$r_x$  es el radio de giro del perfil por la sección gruesa.

$I_x$  es la inercia del perfil por la sección gruesa.

$S_x$  Módulo de la sección elástica.

Se procede a comprobar que sea un perfil compacto:

$$b_f := 2.17$$

Ancho ala

$$t_f := 0.22$$

Espesor ala

$$\lambda := \frac{b_f}{2t_f} \quad \lambda_p := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda = 4.932$$

$$\lambda_p = 10.785$$

Coefficientes para determinar si es un

perfil compacto

$$\lambda < \lambda_p \quad \text{El perfil es de sección compacta}$$

$$M_p := Z_x \cdot F_y \quad M_p = 96.48 \quad \text{Kip} \cdot \text{in}$$

$$M_n := M_p \quad \text{Por ser perfil compacto}$$

$$M_y := F_y \cdot S_x \quad M_y = 72$$

$$(M_p = 10.98 \text{ KN} \cdot \text{m})$$

$$1.5 \cdot M_y = 108$$

$$M_n < 1.5M_y$$

$$\phi \cdot M_n = 86.832 \quad \text{Kip} \cdot \text{in} \quad (\phi M_n = 9.81 \text{ KN} \cdot \text{m})$$

$$M_u < \phi \cdot M_n \quad \text{ya que cumple esto este es el perfil que se utiliz}$$

La plancha de acero de 3mm de espesor proporciona el apoyo lateral constante a las vigas, por lo cual no hace falta hacer el análisis de resistencia a la flexión.

Se debe realizar un análisis para la deflexión que puede presentar el perfil, calculando la deflexión máxima por medio de la fórmula que se adapta a lo que presenta este problema en el "Manual de construcción en Acero de la AISC" página 2-114 y comparándola con la longitud dividida para 360:

$$\Delta m := \frac{5 \cdot C_d \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_x} \quad \Delta m = 6.133 \times 10^{-4}$$

$$\frac{L}{360} = 0.027 \quad \Delta m < \frac{L}{360} \quad \text{se puede ver que la viga cumple con esta condici por lo cual no falla por deflexión.}$$

Donde:  $\Delta m$  es la deflexión máxima al centro de la viga

A demás se debe ver si la viga no falla por cortante ya que esta va a estar apoyada sobre otra viga transversal. Esto se logra calculando el cortante máximo que puede soportar el perfil con las fórmulas antes indicadas del manual AISC y comparándola con el peso que dividido para dos.

$$V_u := \frac{P_u}{2} \quad V_u = 2.817 \quad \text{Kip} \quad (V_u = 12.54 \text{ KN})$$

Cortante

requerido

$$\phi V_n := 0.9 \cdot 0.6 \cdot F_y \cdot 3.94 \cdot 0.16$$

$$\phi V_n = 12.255 \quad \text{Kip} \quad (\phi V_n = 54.51 \text{ Kn})$$

Cortante de

diseño

$$V_u < \phi V_n$$

Dado que el cortante requerido es menor que el cortante de diseño se puede ver que el perfil resiste por cortante

Una vez terminados todos cálculos se puede ver que el perfil IPE 100 es el necesario para que soporte el peso de 40psf

#### 4.2.2 Viga transversal de 7 metros

Para esta viga se utiliza también un perfil IPE ya que para la anterior se utilizó este tipo.

Se procede a colocar "tubos cuadrados" de una pulgada paralelos a las vigas de 3m que sirven tanto para dar apoyo lateral torsional, como soporte para la plancha; se colocan tres tubos entre cada viga de 3m como se muestra en la figura.

A la carga mayorada que se tenía en el cálculo de la viga de 3m se le debe sumar el peso mayorado de esta viga y de los tubos cuadrados.

Peso viga de 3m:

$PPIPE100 := 8.1$	Kg	
	m	Peso del perfil IPE 100
$DPv3 := 3 \cdot PPIPE100$	$DPv3 = 24.3$	Kg
		Peso de la viga longitudinal de 3m
$DPv3 := 53.57$	lb	
$DAPv3 := \frac{DPv3}{2000}$	$DAPv3 = 0.027$	Kip
		Este es el peso de cada viga dividido para 2
$DAPV3=0.120$	KN	

Peso de los tubos cuadrados:

$PTC := 3.42$	Kg	
	m	Peso del tubo cuadrado de 1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> ``
$DPt3 := 3 \cdot PTC$	$DPt3 = 10.26$	Kg
		Peso de los tubos longitudinales de 3m
$DPt3 := 22.62$	lb	
$DAPt3 := \frac{DPt3}{2000}$	$DAPt3 = 0.011$	Kip

Este es el peso de cada tubo, para obtener cuanto peso se aplica se multiplica por 9 tubos que se tienen y se divide para 4; y este valor para 2. ( $DAPt3=0.049$  KN)

Se mayoran las cargas:

$$P_{uv7} := 1.2 \cdot [DAP_{v3} \cdot 4 + (9 \cdot DAP_{t3})]$$

$$P_{uv7} = 0.251 \quad \text{Kip}$$

$$(P_{uv7} = 1.117 \text{ KN})$$

Este valor que se obtiene se le suma a cada uno de los valores que se tenían para cada una de las cuatro vigas; y se procede a diseñar; los valores con los que se diseñan son los siguientes:

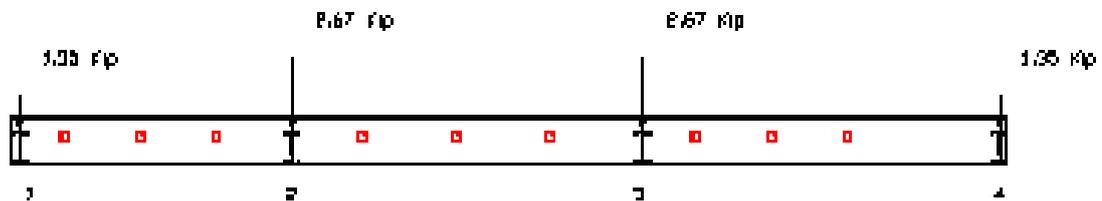


Figura 4.2.6

El valor para el punto 1 y 4 es:

$$C1 := \frac{P_u}{4} + P_{uv7} \quad C1 = 1.659 \quad \text{Kip}$$

$$C4 := C1 \quad C4 = 1.659 \quad \text{Kip}$$

C1,2,3,4 son las cargas que se aplican sobre la viga transversal de 7m

$$(C1, C2 = 7.379 \text{ KN})$$

El valor para el punto 2 y 3 es:

$$C2 := \frac{P_u}{2} + P_{uv7} \quad C2 = 3.068 \quad \text{Kip}$$

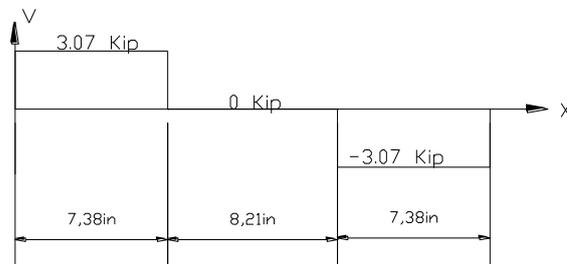
$$C3 := C2 \quad C3 = 3.068 \quad \text{Kip}$$

(C3, C4 = 13.647 KN)

Se debe hacer los cálculos para cortante y de momento para obtener los datos que nosotros requerimos.

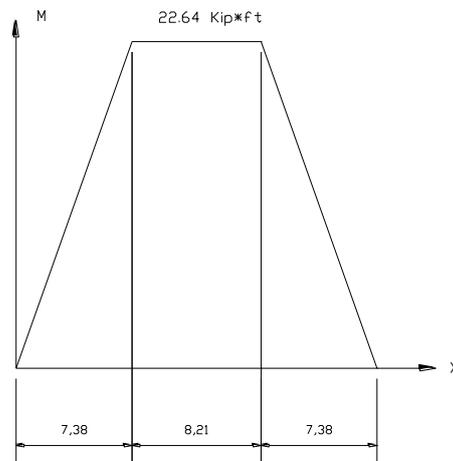
Las reacciones 1 y 2 son:  $R1 := 4.028$   $R2 := 4.028$  Kip

La gráfica del cortante es:



**Figura 4.2.7**

Con este se puede obtener el Gráfico del momento flector y de este el máximo momento que debe soportar la viga con lo que se comienzan los cálculos.



**Figura 4.2.8**

$$M_u := 22.64 \quad \text{Kip} \cdot \text{ft}$$

$$M_u := 271.68 \quad \text{Kip} \cdot \text{in} \quad (M_u = 30.7 \text{KN} \cdot \text{m}) \quad \text{este es el valor que debe resistir con m\u00ednimo}$$

Se asume que es un perfil compacto ya que es lo m\u00e1s \u00f3ptimo para los c\u00e1lculos ya que  $M_n = M_p \leq 1.5 M_y$

$$\phi := 0.9$$

$$\phi M_n := M_u$$

$$M_p := Z_x \cdot F_y$$

$$Z_x := \frac{M_u}{\phi \cdot F_y} \quad Z_x = 8.385$$

Tomamos un perfil IPE 160 que tiene un  $Z_x = 8.63$

$$Z_x := 8.63 \quad r_x := 6.64 \quad r_y := 0.54$$

$$E := 29000 \quad S_x := 6.36 \quad I_x := 20.05$$

Se procede a comprobar que sea un perfil compacto:

$$b_f := 3.23$$

Ancho ala

$$t_f := 0.29$$

Espesor ala

$$\lambda := \frac{b_f}{2t_f} \quad \lambda_p := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda = 5.569 \quad \lambda_p = 10.785$$

$$\lambda < \lambda_p$$

Dado que se cumple esto el perfil es

compacto

$$M_p := Z_x \cdot F_y \quad M_p = 310.68 \quad \text{Kip} \cdot \text{in} \quad (M_p = 35.03 \text{KN} \cdot \text{m})$$

$$M_n := M_p \quad \text{Por ser perfil compacto}$$

$$M_y := F_y \cdot S_x \quad M_y = 228.96$$

$$1.5 \cdot M_y = 343.44$$

$$M_n < 1.5M_y$$

$$(M_p = 35.102 \text{KN} \cdot \text{m})$$

$$\phi \cdot M_n = 279.612 \quad \text{Kip} \cdot \text{in} \quad (\phi M_n = 31.59 \text{Kn} \cdot \text{m})$$

$$M_u < \phi \cdot M_n \quad \text{ya que cumple esto este es el perfil que se utiliz}$$

Se procede a hacer los cálculos de resistencia a la flexión de la viga compacta:

$$L_b := 24.61 \quad \text{in}$$

Esta distancia es la más lejana que existe tanto entre las vigas de 3m y los tubos cuadrados entre sí

$$L_p := 1.76 \cdot r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad L_p = 26.975 \quad \text{in}$$

Donde:  $L_b$  es la distancia entre apoyos laterales en pulgadas

$L_p$  es la distancia mínima que debe existir para estar en la zona de resistencia.

$$L_b < L_p$$

Ya que esto se cumple tenemos que

$$M_n = M_p < 1.5M_y$$

$$M_p = 310.68 \quad \text{Kip} \cdot \text{in}$$

$$M_n := M_p \quad M_n = 310.68 \text{Kip} \cdot \text{in}$$

$$1.5 \cdot M_y = 343.44$$

$$M_n < 1.5M_y$$

$$M_u = 271.68 \quad \text{Kip} \cdot \text{in}$$

$$\phi \cdot M_n = 279.612$$

$$M_u < \phi \cdot M_n$$

Con esto se comprueba que este perfil es el que se va a utilizar para la viga de 7m.

### 4.2.3 Cálculo de la resistencia y tamaño de la soldadura entre las vigas:

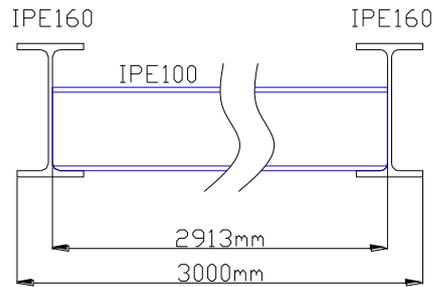


Figura 4.2.9

Se utiliza un electrodo E60-10, de 5mm de ancho

$$F_e := 60 \quad \text{Ksi}$$

(MPa)

Esta es la resistencia del electrodo ( $F_e=413.685$

$$W := 0.2 \quad \text{in}$$

Altura y ancho del cordón de soldadura (0.005m)

$$F_w := F_e \cdot 0.6 \quad F_w = 36 \quad \text{Ksi} \quad (F_w=248.211\text{MPa})$$

$$\phi R_n := 0.75 \cdot 0.707 \cdot F_w \cdot W$$

$$\phi R_n = 3.818 \quad \begin{matrix} \text{Kip} \\ \text{in} \end{matrix}$$

Este valor es la resistencia de diseño de la soldadura ( $\phi R_n=668.634$  KN/m)

$$R_u := V_u \quad R_u = 2.817 \quad \text{Kip}$$

Este valor es la resistencia que se requiere que soporte la soldadura ( $R_u=493.332$  KN/m)

Teniendo estos dos valores se puede calcular una longitud mínima del cordón de suelda.

$$l := \frac{R_u}{\phi R_n} \quad l = 0.738 \quad \text{in}$$

Esta es la longitud mínima de suelda necesaria para que resista al cortante.  
(l=0.019m)

Se procede a recalculer la resistencia de diseño de l suelda ya que sabemos la longitud total que podemos soldar; el valor que obtenemos lo comparamos con el valor obtenido anteriormente.

$$l := 14.02 \quad \text{in} \quad \text{Esta es la longitud que se puede soldar}$$

(l=0.365m)

$$\phi R_n := 0.75 \cdot 0.707 \cdot F_w \cdot W \cdot l$$

$$\phi R_n = 53.526 \quad \text{Kip} \quad (\phi R_n = 238.096 \text{ KN})$$

Este valor es más alto que el que se tenía antes; esto nos indica que la suelda resiste aun más que lo necesario.

#### 4.2.4 Cálculo de las columnas móviles:

Para empezar el cálculo de la columna móvil se deben calcular los pesos de las vigas longitudinales y transversales así como todos sus otros elementos:

$$\text{PPIPE160} := 15.8 \quad \begin{matrix} \text{Kg} \\ \text{m} \end{matrix} \quad \text{Peso del perfil IPE160}$$

$$\text{DPv7} := 7 \cdot \text{PPIPE160}$$

$$\text{DPv7} = 110.6 \quad \text{Kg}$$

$$\text{DPv7} := 243.83 \quad \text{Lb} \quad \text{Peso de la viga transversal de 7m}$$

$$\text{DPv3} = 53.57 \quad \text{Lb} \quad \text{Peso de la viga longitudinal de 3m}$$

$$\text{DPv3} = 24.299 \quad \text{Kg.}$$

$DPt3 = 22.62$  Lb      Peso del tubo cuadrado longitudinal de  
3m

$DPt3 = 10.260$  Kg.

$LPC = 9.042 \times 10^3$  Lb

$DPL = 1.09 \times 10^3$  Lb

Una vez que se conocen todos estos pesos se procede a determinar cuales son cargas vivas y cuales son muertas para posteriormente mayorarlas:

$$D := \frac{DPL + 2 \cdot DPv7 + 4 \cdot DPv3 + 9 \cdot DPt3}{1000}$$

$D = 1.996$  Kip      Esta es la carga muerta ( $D=8.879$   
KN)

$$L := \frac{LPC}{1000}$$

$L = 9.042$  Kip      Esta es la carga viva ( $L=40.221$   
KN)

$$Puc := 1.2 \cdot D + 1.6 \cdot L$$

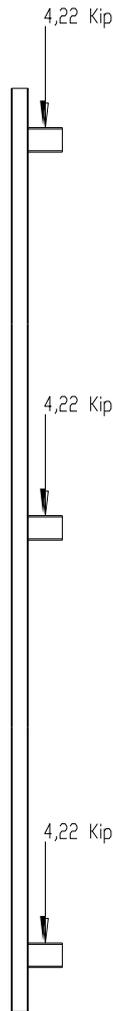
$$Puc = 16.862 \quad \text{Kip}$$

Esta es la carga que se aplica sobre cada piso ( $Puc=75.006$  KN)

Este valor es el mismo para los tres pisos; a este se le divide para 4 para tener cuanto de esta carga se aplica en cada columna, como se muestra en la siguiente figura:

$$Cmc := \frac{Puc}{4} \quad Cmc = 4.215$$

Este valor es la carga mayorada dividida para cuatro ( $Cmc = 18.749$  KN)

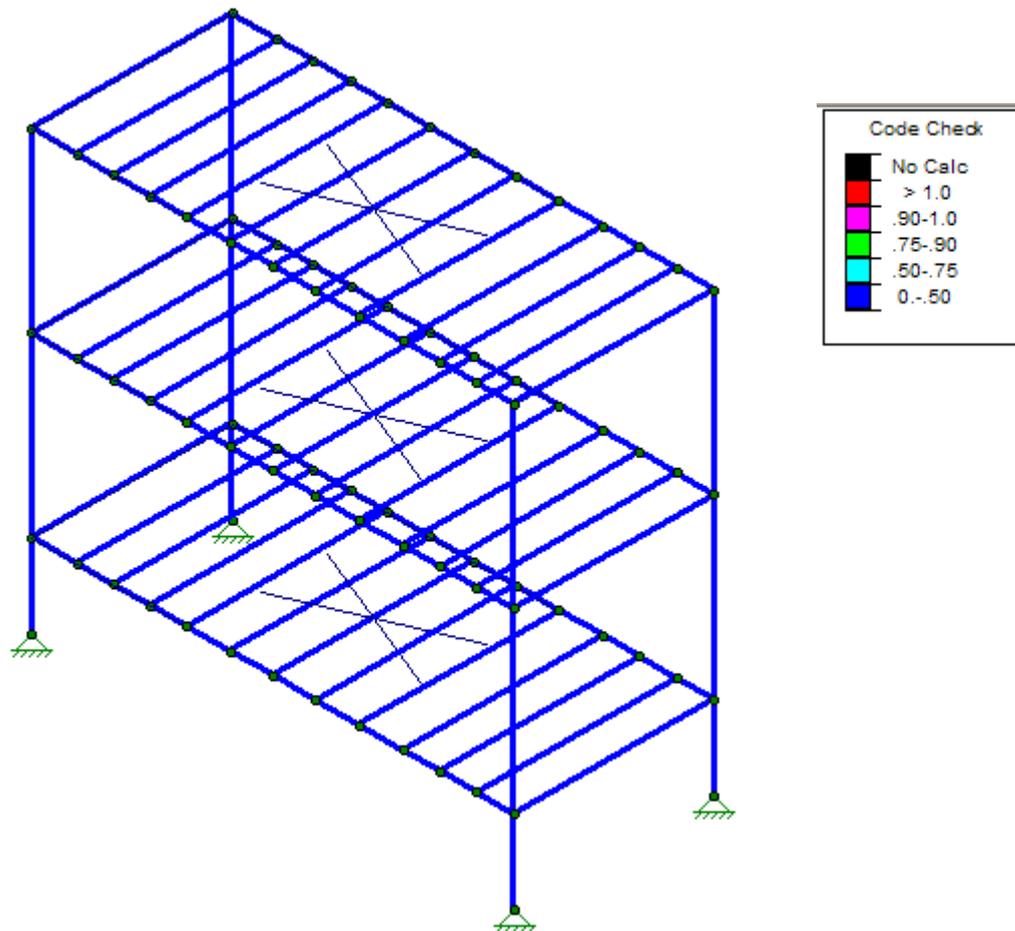


**Figura 4.2.10**

Este cálculo previo nos permite saber cuanta carga se aplica sobre la columna cuando está cargada; en este caso este dato nos sirve solo para información, ya que en este caso el diseño de este elemento se realizó con la ayuda del software, para demostrar que se pueden utilizar varios métodos para diseño de estructuras.

Se debe ingresar un dibujo de la estructura completa, con las cargas de diseño, como se puede apreciar más adelante en la “modelación en software de la estructura”.

Para determinar cual es el perfil que se va a utilizar en la columna se realizó un proceso iterativo; después de realizar este proceso se determinó que el perfil necesario es el IPE300, como se puede ver en las siguientes figuras.



**Figura 4.2.11**

En la figura 4.2.11 se ve la estructura de forma unifilar; la misma que es corrida en el programa RISA 3D y se obtiene esta figura en la cual se aprecia que todos los elementos que están pintados en azul resisten las cargas que se ingresan sobre la estructura; tomando en cuenta esto se ve que las columnas con dicho perfil si resiste las cargas.

Para corroborar que el elemento mencionado resista se verifica con los siguientes gráficos en los cuales se aprecian los parámetros que se calculan en los elementos calculados previo a la columna móvil; esto se da ya que el programa trabaja con las mismas normas con las que se realizaron los cálculos anteriores.

Column: **M9**

Shape: **IPE 300**

Material: **A36**

Length: **6.42 m**

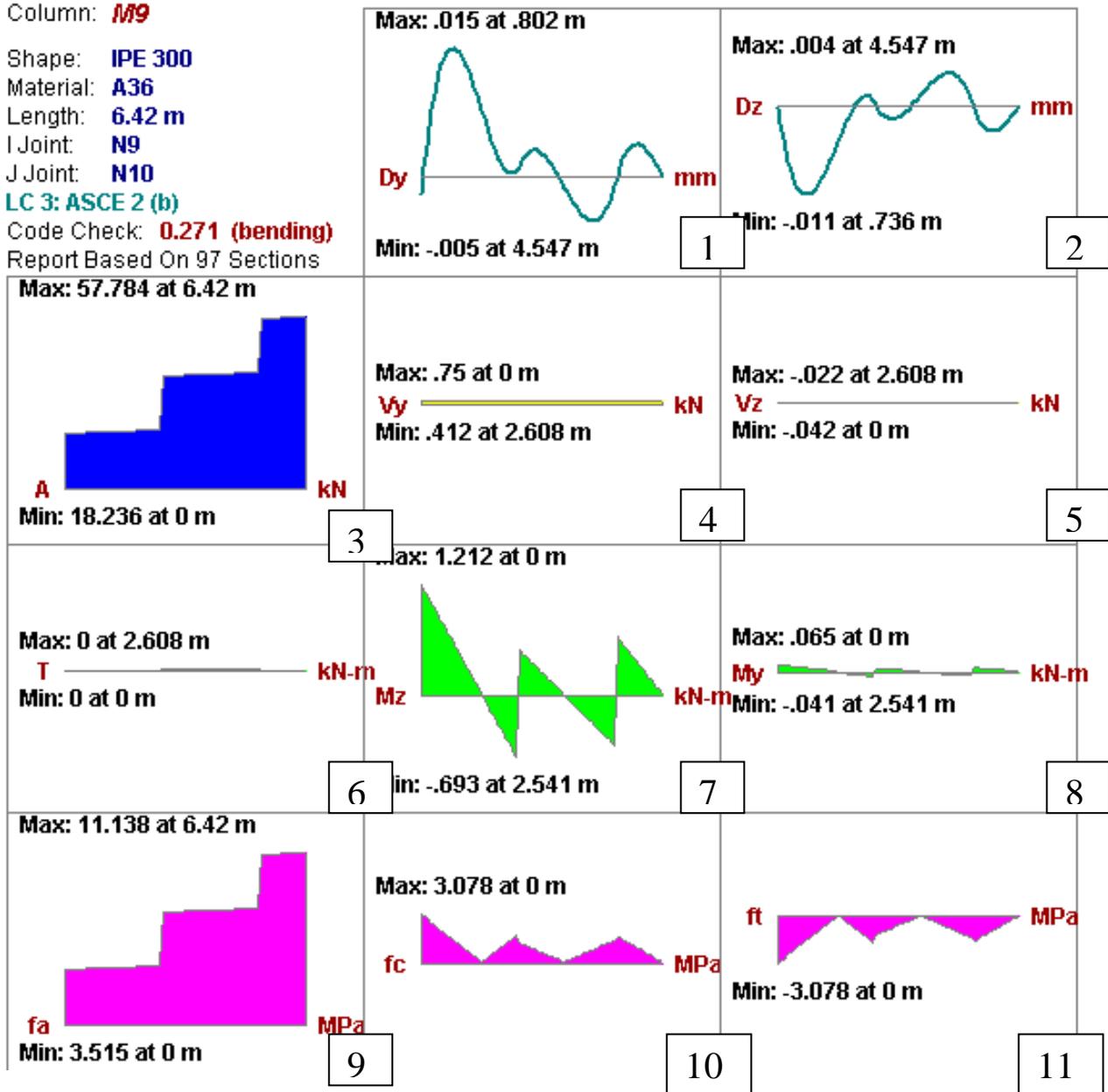
I Joint: **N9**

J Joint: **N10**

**LC 3: ASCE 2 (b)**

Code Check: **0.271 (bending)**

Report Based On 97 Sections



Donde:

- 1: Diagrama de deflexión en el eje Y.
- 2: Diagrama de deflexión en el eje Z.
- 3: Fuerza Axial.
- 4: Fuerza Cortante en Y.
- 5: Fuerza Cortante en Z.
- 6: Torque.
- 7: Momento alrededor del eje Z-Z.
- 8: Momento alrededor del eje Y-Y.
- 9: Esfuerzo axial.
- 10: Esfuerzo flector a compresión.
- 11: Esfuerzo flector a tensión.

Datos arrojados por el programa para la columna móvil:

**AISC LRFD 3rd Ed. Code Check**

Max Bending Check	<b>0.271</b>	Max Shear Check	<b>0.003 (y)</b>
Location	<b>5.216 m</b>	Location	<b>2.541 m</b>
Equation	<b>H1-1a</b>	Max Defl Ratio	<b>L/10000</b>

**Compact**

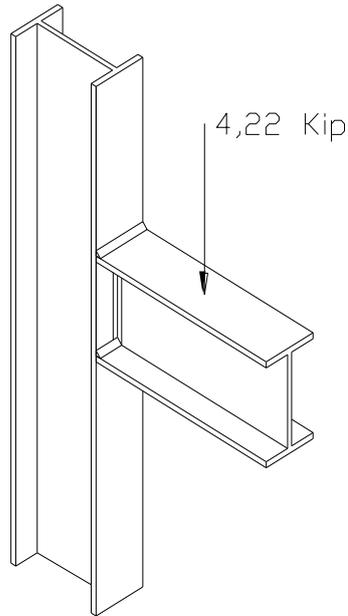
Fy	<b>248.21 MPa</b>	Y-Y	Z-Z
phi*Pnc	<b>215.114 kN</b>	Lb	<b>6.42 m</b>
phi*Pnt	<b>1158.956 kN</b>	KL/r	<b>188.358</b>
phi*Mny	<b>26.928 kN-m</b>	Sway	<b>No</b>
phi*Mnz	<b>134.502 kN-m</b>	L Comp Flange	<b>6.42 m</b>
phi*Vny	<b>285.491 kN</b>	Torque Length	<b>6.42 m</b>
phi*Vnz	<b>430.248 kN</b>		
Cb	<b>2.3</b>		

Tomando en cuenta todos estos gráficos y datos arrojados por el programa, se concluye que el perfil IPE 300 es el más apropiado para los fines a los que va a ser sometido.

**4.2.5 Elemento soportante del conjunto formado por las vigas soldado a la columna:**

Para este se va a utilizar un pedazo de 20cm perfil IPE100, el cual va a estar soldado perpendicular a la columna, soldando tanto las alas y los lados del alma de este al ala del perfil que forma la columna. Sobre este elemento se procederá a suspender el conjunto de las vigas, para posteriormente soldar este tanto a la columna como al elemento que lo sostendrá por debajo; se debe verificar que la suelda del elemento con la columna sea capaz de soportar todo el peso del conjunto de las vigas y el automóvil.

En la siguiente figura se muestra la disposición del elemento soportante y la columna:



**Figura 4.2.12**

Se chequea que la suelda soporte la carga que se le va a poner; en este caso la totalidad del peso que se transmite a la columna actuará como cortante en la suelda; como seguridad se suelda también el conjunto de las vigas a la columna para que la carga se divida entre las dos sueldas.

Para el cálculo de esta suelda se utiliza el mismo criterio que se utilizó para la suelda de unión entre las vigas. En este caso además de la seguridad que se menciona antes se utiliza un factor de seguridad de 3 ya que esta es una parte crítica del diseño en este proyecto.

$$F_s := 3$$

Factor de seguridad

$$R_u := C_{mc} \cdot F_s \quad R_u = 12.646 \quad \text{Kip}$$

$$\phi R_n := 0.75 \cdot 0.707 \cdot F_w \cdot W$$

$$\phi R_n = 3.818 \quad \text{Kip}$$

$$(\phi R_n = 16.983 \text{ KN})$$

Conociendo estos valores se puede calcular una longitud mínima de soldadura tal que resista la carga a la que se va a someter.

$$l := \frac{R_u}{\phi R_n} \quad l = 3.312 \quad \text{in} \quad (l=0.084\text{m})$$

La longitud que se puede soldar del perfil con la columna es:

$$l := 15.28 \quad \text{in} \quad (l=0.388\text{m})$$

Con esta longitud se logra una resistencia del cordón de:

$$\phi R_n := 0.75 \cdot 0.707 \cdot F_w \cdot W \cdot l$$

$$\phi R_n = 58.336 \quad \text{Kip} \quad (\phi R_n = 259.492 \text{ KN})$$

$$R_u < \phi R_n$$

Como se da esto, se puede concluir que el cordón de soldadura es suficiente para resistir la carga; y al comparar el valor que tenemos de la resistencia de diseño con la calculada anteriormente, podemos ver que es mayor por lo cual tenemos una mayor resistencia que la que es necesaria.

#### 4.2.6 Viga soporte para subir

Se calcula cual es el peso total de la estructura para a partir de esto saber cuanta carga deben soportar esta viga; para este caso se utiliza el peso de los vehículos que van a ingresar en el estacionamiento.

$$DPL = 1.09 \times 10^3 \quad \text{lb}$$

$$DPv3 = 53.57 \quad \text{lb}$$

$$DPv7 = 243.83 \quad \text{lb}$$

$$DPt3 = 22.62 \quad \text{lb}$$

Todos estos pesos son ya conocidos por los cálculos anteriores.

$$\text{PPIPE300} := 42.2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}}$$

$$\text{DPcol} := 6.5 \cdot \text{PPIPE300}$$

$$\text{DPcol} = 274.3 \text{ Kg}$$

$$\text{DPcol} := 604.73 \text{ lb} \quad \text{Peso de la columna móvil}$$

$$\text{Ptest} := \text{DPL} \cdot 3 + \text{DPv3} \cdot (4 \cdot 3) + \text{DPv7} \cdot (2 \cdot 3) + \text{DPt3} \cdot (9 \cdot 3) + \text{DPcol} \cdot 4$$

$$\text{Ptest} = 8.406 \times 10^3 \text{ lb} \quad \text{Peso total de la estructura}$$

$$(\text{Ptest}=3812.897 \text{ Kg.})$$

$$\text{carro} := 5511.56 \text{ lb}$$

$$\text{Pcarro} := 3 \cdot \text{carro}$$

$$\text{Pcarro} = 1.653 \times 10^4 \text{ lb}$$

Peso de los tres carros que pueden ingresar como máximo en el estacionamiento

$$(\text{Pcarro}=7497.882 \text{ Kg.})$$

Se van a utilizar cuatro cables dos adelante y dos a tras; por lo cual la carga se divide en cuatro y se aplica dos en la una viga y dos en la otra.

$$\text{Lt} := \frac{\text{Pcarro}}{4}$$

$$\text{Dt} := \frac{\text{Ptest}}{4}$$

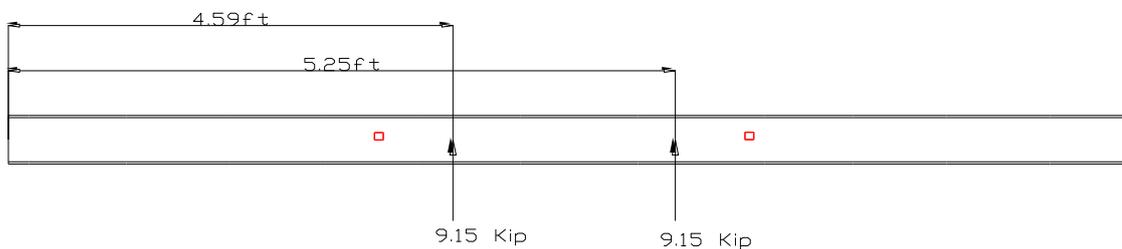
Para este cálculo ya no se utilizan los 40psf que por norma se utilizan en el cálculo de estructuras para estacionamientos; ya que este viga no forma parte en el soporte del estacionamiento; sino que se utiliza el peso real que interviene en la estructura es decir los 2500Kg de cada carro.

Se procede a mayorar las cargas:

$$P_{us} := \frac{1.2 \cdot Dt + 1.6 \cdot Lt}{1000}$$

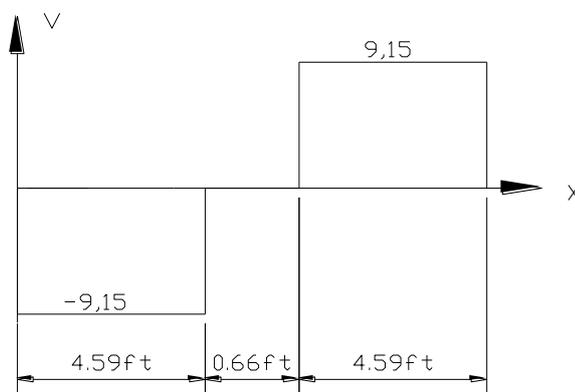
$$P_{us} = 9.136 \quad \text{kip}$$

Este valor es la carga que va a soportar cada cable y que se transmite a la viga para subir toda la estructura ( $P_{us}=40.638 \text{ KN}$ ).



**Figura 4.2.13**

Se procede a calcular el cortante y el momento flector al que esta sometido la viga



**Figura 4.2.14**

Con este se puede obtener el Gráfico del momento flector y de este el máximo

momento que debe soportar la viga con lo que se comienzan los cálculos.

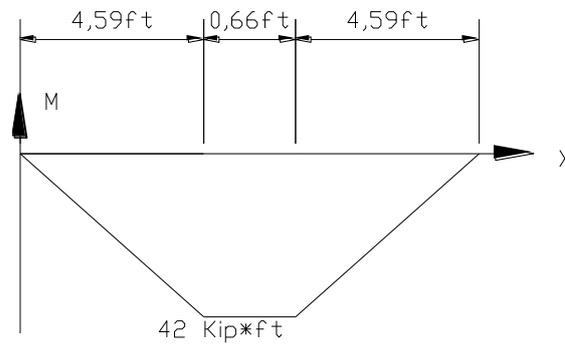


Figura 4.2.15

$$M_u := 42 \quad \text{Kip} \cdot \text{ft}$$

$$M_u := 504 \quad \text{Kip} \cdot \text{in}$$

este es el valor que debe resistir con mínimo

$$(M_u = 56.944 \text{ KN})$$

Se asume que es un perfil compacto ya que es lo más óptimo para los cálculos ya que  $M_n = M_p \leq 1.5 M_y$

$$\phi := 0.9$$

$$\phi M_n := M_u$$

$$M_p := Z_x \cdot F_y$$

$$Z_x := \frac{M_u}{\phi \cdot F_y} \quad Z_x = 14.341$$

Tomamos un perfil IPE 200 que tiene un  $Z_x = 15.09$

$$Z_x := 15.09 \quad r_x := 10.47 \quad r_y := 0.81$$

$$E := 29000 \quad S_x := 11.14 \quad I_x := 43.85$$

Se procede a comprobar que sea un perfil compacto:

$$b_f := 3.94 \quad \text{Ancho ala}$$

$$t_f := 0.33 \quad \text{Espesor ala}$$

$$\lambda := \frac{b_f}{2t_f} \quad \lambda_p := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\lambda = 6.051 \quad \lambda_p = 10.785 \quad \lambda < \lambda_p$$

$\lambda < \lambda_p$  Dado que se cumple esto el perfil es de sección compacta.

$$M_p := Z_x \cdot F_y \quad M_p = 899.28 \quad \text{Kip} \cdot \text{in}$$

$$M_n := M_p \quad \text{Por ser perfil compacto}$$

$$M_y := F_y \cdot S_x \quad M_y = 675.36$$

$$1.5 \cdot M_y = 1.013 \times 10^3$$

$$M_n < 1.5M_y$$

$$\phi \cdot M_n = 809.352 \quad \text{Kip} \cdot \text{in}$$

$$M_u < \phi \cdot M_n \quad \text{Ya que cumple esto este es el perfil que se utiliz}$$

Se procede a hacer los cálculos de resistencia a la flexión de la viga compacta; en este caso también se utilizan los tubos cuadrados de una pulgada colocados cada metro y que van de la una viga a la otra, para que estos sean los que proporcionan apoyo lateral a las vigas.

$$L_b := 39.37 \quad \text{in} \quad \text{Esta distancia es la más lejana que existe tanto entre vigas de 3m y los tubos cuadrados entre sí}$$

$$L_p := 1.76 \cdot r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad L_p = 59.444 \quad \text{in}$$

$$L_b < L_p \quad \text{Ya que esto se cumple tenemos que } M_n = M_p < 1.5M_y$$

$$M_p = 899.28 \quad \text{Kip} \cdot \text{in}$$

$$M_n := M_p \quad M_n = 899.28 \quad \text{Kip} \cdot \text{in}$$

$$1.5 \cdot M_y = 1.013 \times 10^3$$

$$M_n < 1.5M_y$$

$$M_u = 504 \quad \text{Kip} \cdot \text{in} \quad (M_u = 56.944 \text{ KN} \cdot \text{m})$$

$$\phi \cdot M_n = 809.352$$

$M_u < \phi \cdot M_n$  Con esto se comprueba que este el perfil que se va utilizar para la viga.

Se debe realizar un análisis para la deflexión que puede presentar el perfil, calculando la deflexión máxima por medio de la fórmula que se adapta a lo que presenta este problema en el "Manual de construcción en Acero de la AISC" Pág. 2-114 y comparándola con la longitud dividida para 360:

$$a := 3.94 \quad \text{ft} \quad \text{Distancia desde el extremo de la viga hasta donde se aplica la carga}$$

$$L := 9.84 \quad \text{ft}$$

$$\Delta m := \frac{P_u \cdot a}{24 \cdot E \cdot I_x} \cdot (3 \cdot L^2 - 4 \cdot a^2) \quad \Delta m = 1.333 \times 10^{-4}$$

$$\frac{L}{360} = 0.027 \quad \Delta m < \frac{L}{360}$$

Se puede ver que la viga cumple con esta condición por lo cual no falla por deflexión.

A demás se debe ver si la viga no falla por cortante ya que esta va a estar apoyada sobre otra viga transversal. Esto se logra calculando el cortante máximo que puede soportar el perfil con las fórmulas antes indicadas del manual AISC y comparándola con el peso que dividido para dos.

$$V_u := P_{us} \quad V_u = 9.136 \quad \text{Kip}$$

$$\phi V_n := 0.9 \cdot 0.6 \cdot F_y \cdot 7.87 \cdot 0.22$$

$$\phi V_n = 33.658 \quad \text{Kip}$$

$$V_u < \phi V_n$$

Se puede ver que el perfil resiste para el cortante que se le va a someter.

Una vez terminados todos cálculos se puede ver que el perfil IPE 200 es el que se va a utilizar.

#### 4.2.7 Modelación en software de la estructura

El programa que se va a utilizar para esta modelación es el "RISA 3D" que es un programa más avanzado y más amistoso que el SAP y que utiliza las normas de la AISC LRFD como base para los cálculos, la misma norma que se utilizó para los cálculos realizados a mano; además este programa tiene algunas funciones que resultan de utilidad, por ejemplo este permite apreciar los perfiles en tres dimensiones y otros elementos que conforman la estructura, otra es la posibilidad que da de sugerir un perfil si una vez corrido el programa la estructura falla, esta recomienda un perfil que pueda resistir el funcionamiento en conjunto de los elementos, o los perfiles que sean más óptimos para dicha estructuras.

Este programa se va a utilizar para comprobar que los perfiles escogidos individualmente en el capítulo anterior, resistan la carga que se utilizó para el cálculo de los elementos cuando estos trabajan en conjunto.

A continuación se indican algunos parámetros que se ingresaron en el programa los mismos que fueron obtenidos de los cálculos previos; los mismos que se muestran a continuación:

- 1) La carga viva por norma para estacionamientos son 40 psf, que su equivalente es 196 Kg./m<sup>2</sup>. En cada piso.

2) Los perfiles usados son:

IPE 300 Para las columnas.

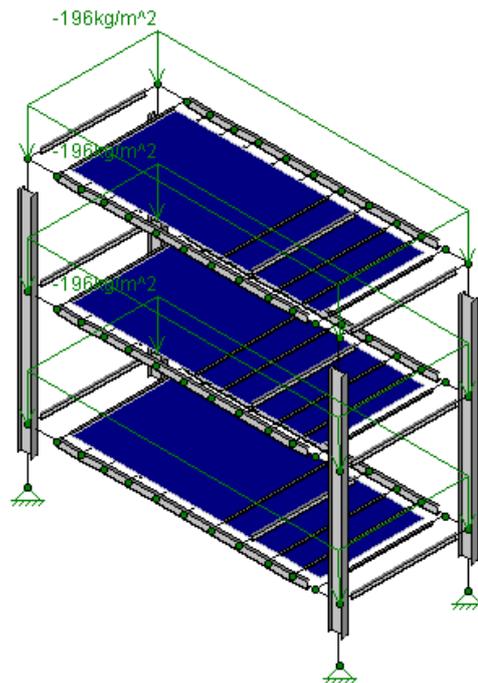
IPE 160 Para las vigas transversales de 7000 mm.

IPE 100 Para las vigas que soportan la plancha metálica.

Tubos de 1 ½ de pulgada y espesor de 3 mm para dar apoyo lateral torsional y soportar la plancha metálica.

3) Fijamos los extremos inferiores de las columnas.

La siguiente figura muestra los datos antes mencionados ingresados en el programa:

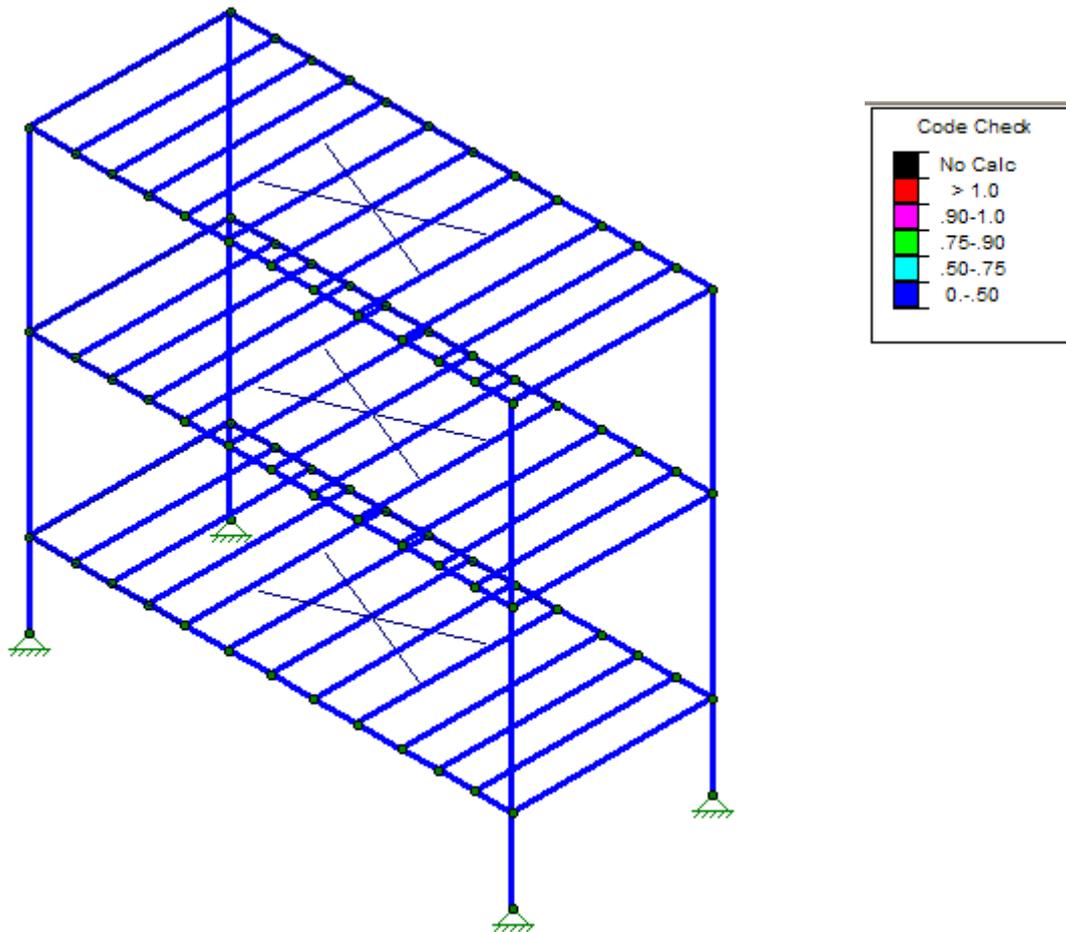


Una vez que están ingresados los datos en el programa se procede a correrlo con lo cual se obtienen los siguientes resultados:

Según AISC LRFD:

$$\frac{R_u}{\phi \cdot R_n} \leq 1$$

El chequeo de código muestra que el diseño es seguro, ya que todos los elementos de la estructura se pintan en azul, con lo cual se ve que los elementos seleccionados en el diseño manual son correctos.

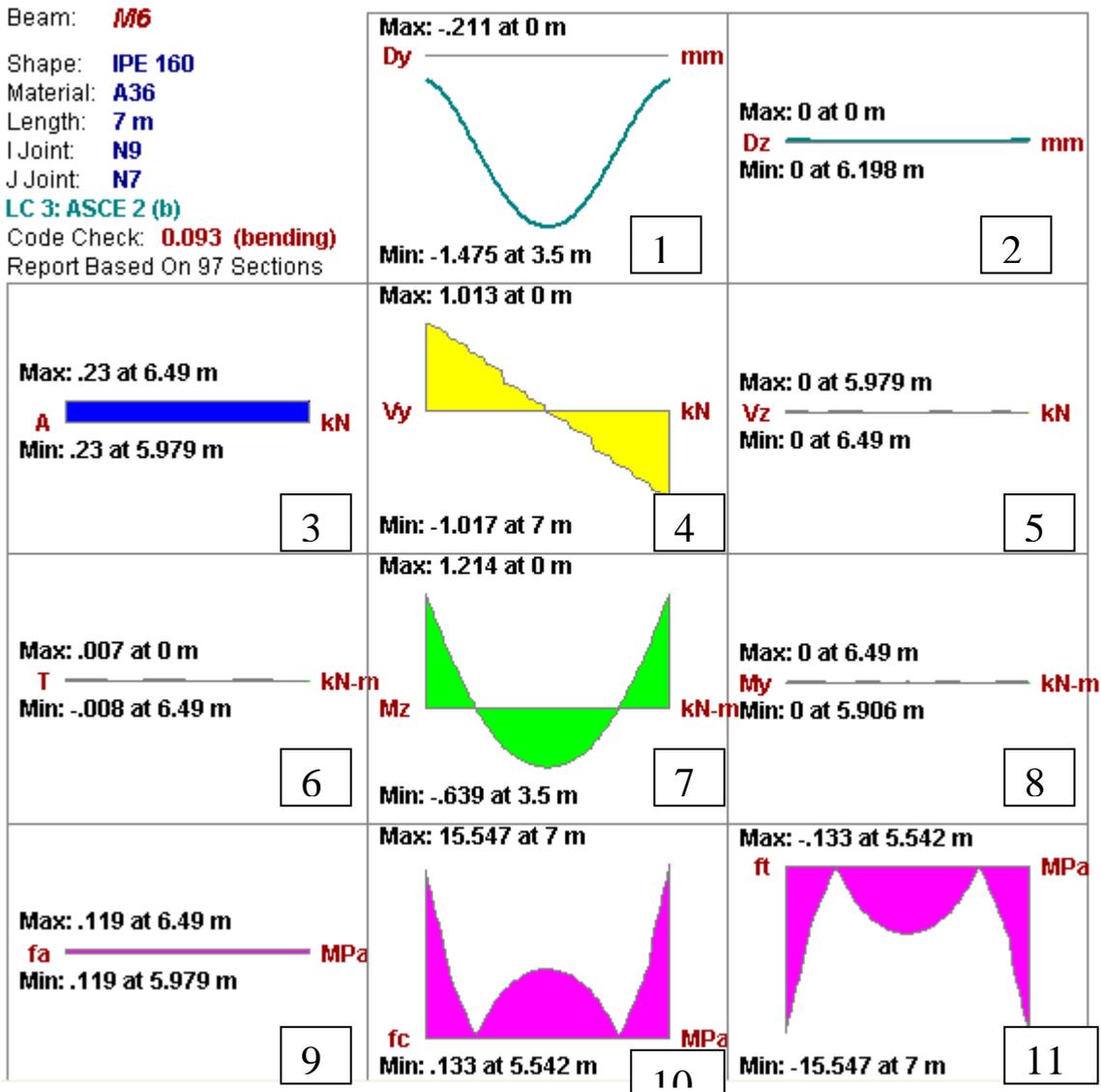


El programa presenta información individual de cada una de los elementos que conforman la estructura, los mismos que se presentan de la siguiente manera:

- ❖ Indica que la sección es compacta, la máxima deflexión se produce a los 3,5 m es decir justo en el centro de la viga, y su valor es de -1.475 mm, permite ver los valores del mayor esfuerzo cortante, y diagramas de momentos con los valores más representativos.

- ❖ Nos indica la relación de esbeltez, distancia entre los apoyos.
- ❖ También nos muestra algunos datos de la capacidad nominal de la viga.

#### 4.2.7.1 Viga de 7 m.



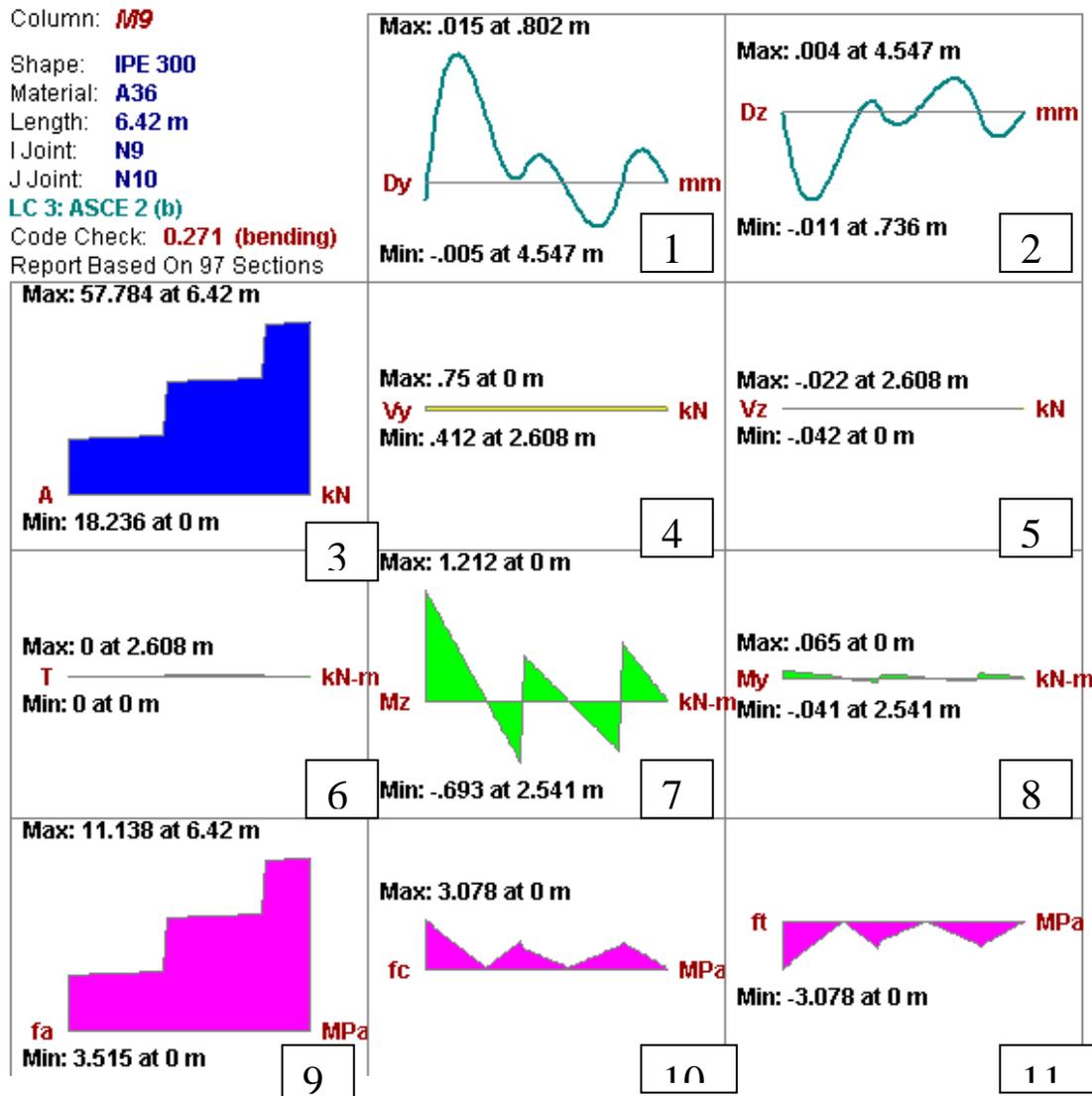
**AISC LRFD 3rd Ed. Code Check**

Max Bending Check	<b>0.093</b>	Max Shear Check	<b>0.018 (y)</b>
Location	<b>7 m</b>	Location	<b>1.75 m</b>
Equation	<b>H1-1b</b>	Max Defl Ratio	<b>L/5537</b>

**Compact**

Fy	<b>248.21 MPa</b>	Y-Y	Z-Z
phi*Pnc	<b>20.461 kN</b>	Lb	<b>7 m</b>
phi*Pnt	<b>433.286 kN</b>	KL/r	<b>373.431</b>
phi*Mny	<b>5.57 kN-m</b>	Sway	<b>No</b>
phi*Mnz	<b>15.922 kN-m</b>	L Comp Flange	<b>7 m</b>
phi*Vny	<b>107.227 kN</b>	Torque Length	<b>7 m</b>
phi*Vnz	<b>162.663 kN</b>		
Cb	<b>2.265</b>		

**4.2.7.2 Columnas de la Estructura.**



**AISC LRFD 3rd Ed. Code Check**

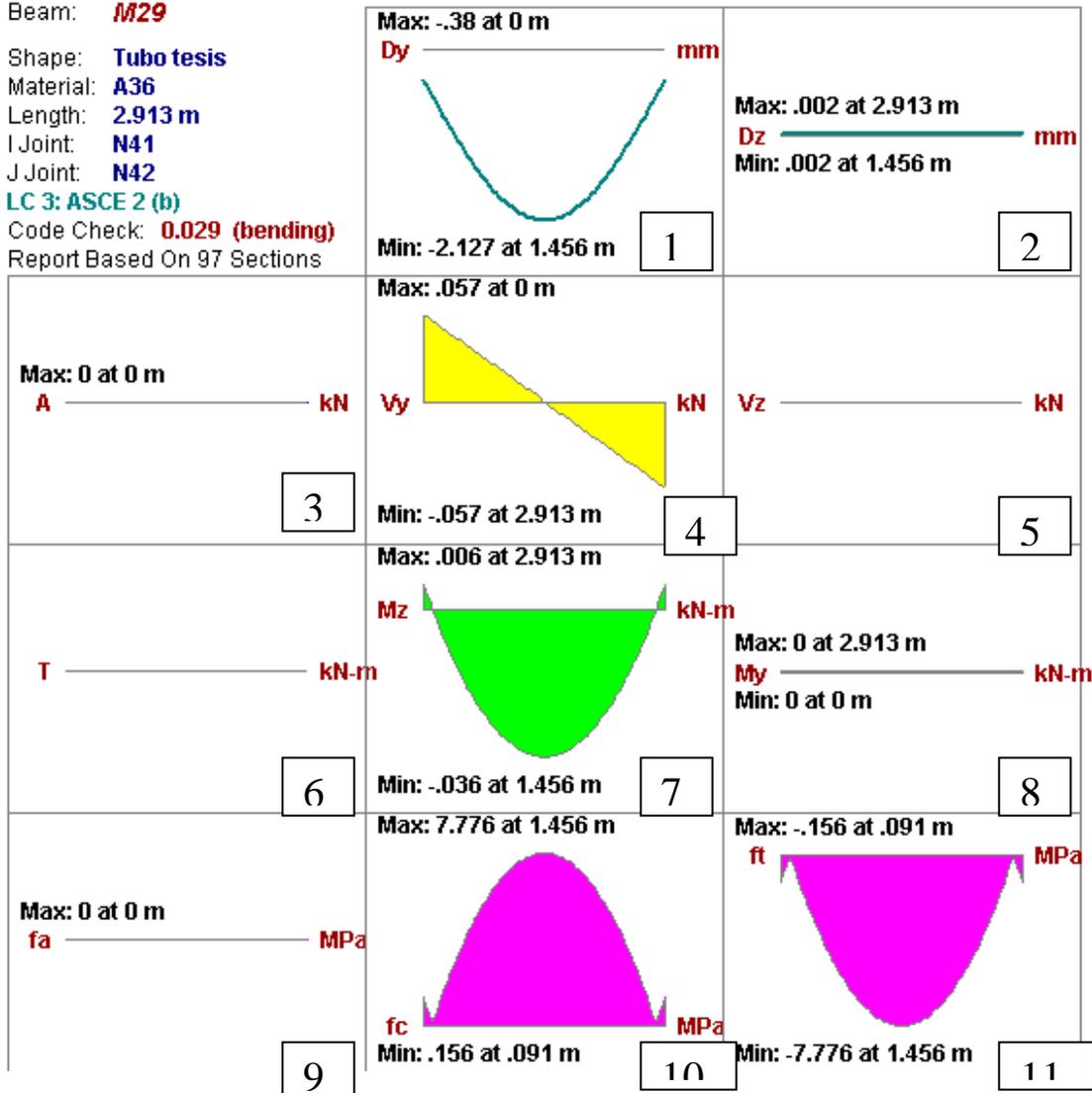
Max Bending Check	<b>0.271</b>	Max Shear Check	<b>0.003 (y)</b>
Location	<b>5.216 m</b>	Location	<b>2.541 m</b>
Equation	<b>H1-1a</b>	Max Defl Ratio	<b>L/10000</b>

**Compact**

Fy	<b>248.21 MPa</b>	Y-Y	Z-Z
phi*Pnc	<b>215.114 kN</b>	Lb	<b>6.42 m      6.42 m</b>
phi*Pnt	<b>1158.956 kN</b>	KLr	<b>188.358      51.704</b>
phi*Mny	<b>26.928 kN-m</b>	Sway	<b>No              No</b>
phi*Mnz	<b>134.502 kN-m</b>	L Comp Flange	<b>6.42 m</b>
phi*Vny	<b>285.491 kN</b>	Torque Length	<b>6.42 m</b>
phi*Vnz	<b>430.248 kN</b>		
Cb	<b>2.3</b>		

**4.2.7.3 Tubos 1 1/2 in cos espesor de 3mm.**

Beam: **M29**  
 Shape: **Tubo tesis**  
 Material: **A36**  
 Length: **2.913 m**  
 I Joint: **N41**  
 J Joint: **N42**  
 LC 3: **ASCE 2 (b)**  
 Code Check: **0.029 (bending)**  
 Report Based On 97 Sections



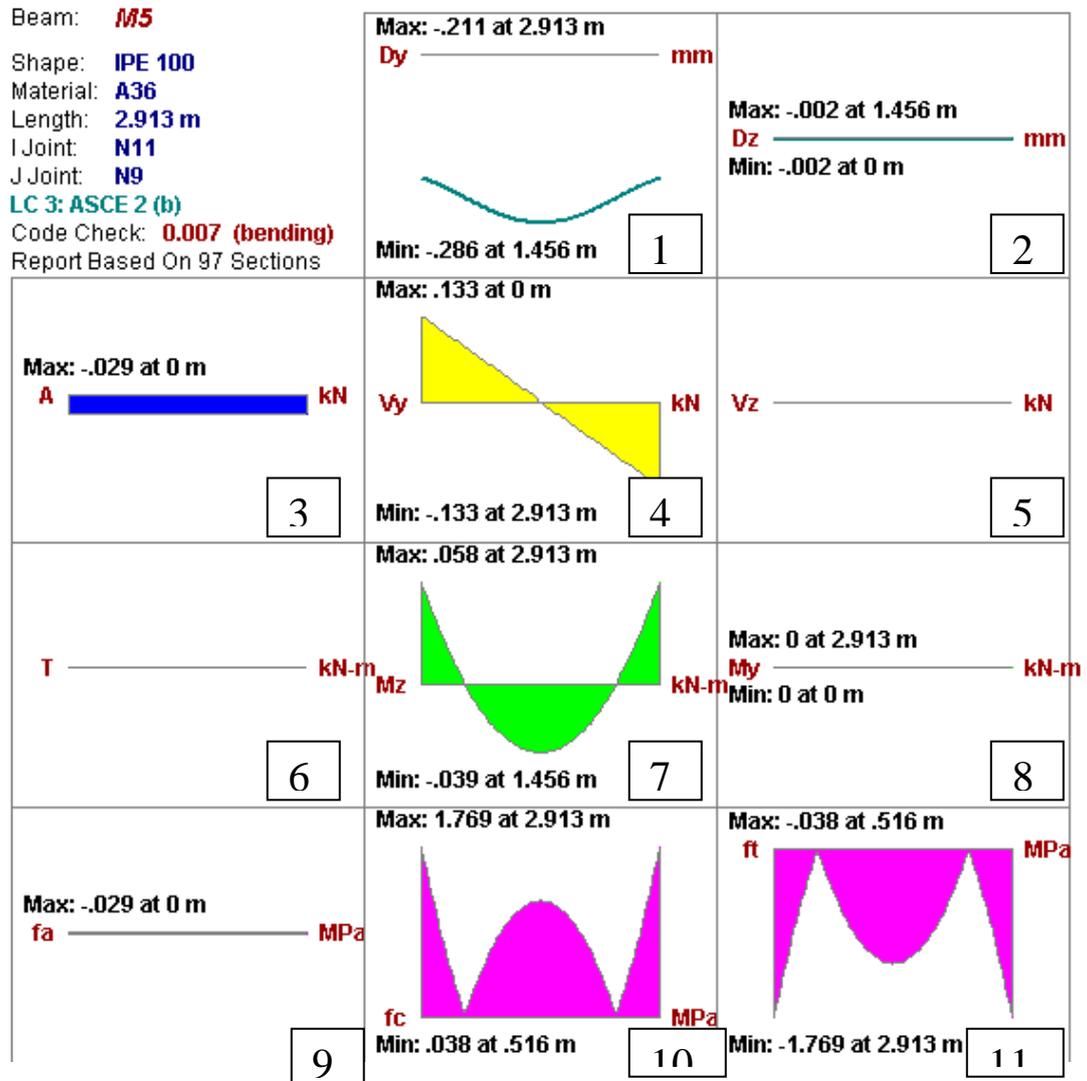
**AISC LRFD 3rd Ed. Code Check**

Max Bending Check	<b>0.029</b>	Max Shear Check	<b>0.002 (y)</b>
Location	<b>1.456 m</b>	Location	<b>2.913 m</b>
Equation	<b>HSS 7.1-2</b>	Max Defl Ratio	<b>L/1668</b>

**Compact**

Fy	<b>248.21 MPa</b>	Y-Y	Z-Z
phi*Pnc	<b>15.103 kN</b>	Lb	<b>2.913 m</b>
phi*Pnt	<b>94.092 kN</b>	KL/r	<b>202.548</b>
phi*Mny	<b>1.241 kN-m</b>	Sway	<b>No</b>
phi*Mnz	<b>1.241 kN-m</b>	L Comp Flange	<b>2.913 m</b>
phi*Vny	<b>30.64 kN</b>	Torque Length	<b>NC</b>
phi*Vnz	<b>30.64 kN</b>		
phi*Tn	<b>.977 kN-m</b>		
Cb	<b>1.162</b>		

**4.2.7.4 Viga de 3m:**



### **AISC LRFD 3rd Ed. Code Check**

Max Bending Check	<b>0.007</b>	Max Shear Check	<b>0.002 (y)</b>
Location	<b>2.913 m</b>	Location	<b>2.913 m</b>
Equation	<b>H1-1b</b>	Max Defl Ratio	<b>L/10000</b>

### **Compact**

Fy	<b>248.21 MPa</b>	Y-Y	Z-Z
phi*Pnc	<b>27.489 kN</b>	Lb	<b>2.913 m</b>
phi*Pnt	<b>221.213 kN</b>	KL/r	<b>230.203</b>
phi*Mny	<b>1.932 kN-m</b>	Sway	<b>No</b>
phi*Mnz	<b>8.402 kN-m</b>	L Comp Flange	<b>2.913 m</b>
phi*Vny	<b>54.954 kN</b>	Torque Length	<b>2.913 m</b>
phi*Vnz	<b>84.039 kN</b>		
Cb	<b>1.843</b>		

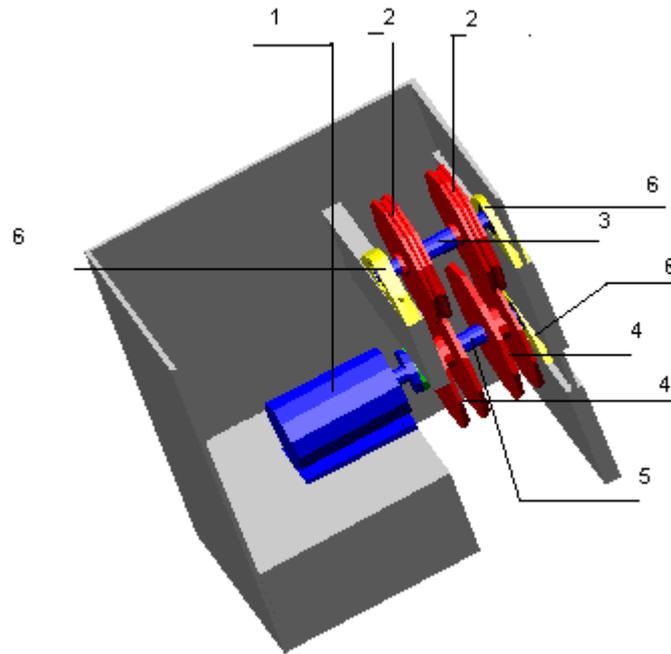
### **4.2.7.5 Nomenclatura de los gráficos**

Los gráficos aquí mostrados indican los valores máximos y mínimos.

- 1: Diagrama de deflexión en el eje Y.
- 2: Diagrama de deflexión en el eje Z.
- 3: Fuerza Axial.
- 4: Fuerza Cortante en Y.
- 5: Fuerza Cortante en Z.
- 6: Torque.
- 7: Momento alrededor del eje Z-Z.
- 8: Momento alrededor del eje Y-Y.
- 9: Esfuerzo axial.
- 10: Esfuerzo flector a compresión.
- 11: Esfuerzo flector a tensión.

### **4.3 Diseño del sistema mecánico**

La alternativa que se tomó para proporcionar la elevación de la estructura es mediante el uso de cables, poleas y dos motores dispuestos tanto en la parte delantera como trasera de la fosa.



**Figura 4.3.1**

La figura mostrada es un esquema del sistema mecánico, en el cual se encuentran los diferentes elementos enumerados a continuación, todos montados en una pequeña fosa que estará en los dos extremos de la estructura.

- 1 Motor del un lado
- 2 Polea
- 3 Eje
- 4 Carrete
- 5 Flecha
- 6 Rodamientos o chumaceras

La alternativa que se tomó para proporcionar la elevación de la estructura es mediante el uso de cables, poleas y dos motores dispuestos tanto en la parte delantera como trasera de la fosa.

### **4.3.1 Cables y poleas**

Para la selección del cable y las poleas tenemos:

En estos cálculos nos regimos en el Prontuario de Máquinas y Herramientas.

Según el mismo estamos trabajando dentro del grupo III lo cual nos da:

$F_{sr} := 8$	Coeficiente de seguridad a la rotura de los cables
$F_s := 1$	Factor de seguridad a la carga que va a resistir los cables
$k := 0.37$	Coeficiente

Como se utilizan dos motores el peso total se debe dividir para dos

$P_{PIPE240} := 30.7$	Kg	
	m	Peso perfil IPE200
$P_{vs} := P_{PIPE240} \cdot 3$		
$P_{vs} = 92.1$	Kg	Peso viga soporte para subir
$P_{ts} := P_{TC} \cdot 2 \cdot 7$		
$P_{ts} = 47.88$	Kg	Peso del tubo cuadrado que se utiliza en las vigas soporte
$P_{test} := P_{test} \cdot 0.4536$		
$P_{Test} := P_{test} + P_{vs} \cdot 2 + P_{ts}$		
$P_{Test} = 4.045 \times 10^3$	Kg	Peso total de la estructura
$P_{carro} := P_{carro} \cdot 0.4536$		
$P_{carro} = 7.5 \times 10^3$	Kg	Peso total de los tres carros que se pueden introducir en la estructura
$P_{tra} := \frac{P_{Test} + P_{carro}}{4}$		
$P_{tra} = 2.886 \times 10^3$	Kg	Peso de trabajo para cada cable

Se considera el factor de seguridad para la carga de 1 ya que este se consideró en el momento de aplicar las cargas con los pesos de los vehículos; estos valores son los suficientes en caso de cualquier eventualidad.

$T := P_{tra} \cdot F_{sr} \quad T = 2.309 \times 10^4 \quad \text{Kg}$       Esta es la carga total o tracción a la que está sometido el cable

$d := k \cdot \sqrt{P_{tra}} \quad d = 19.878 \quad \text{mm}$       Diámetro del cable

En el mercado se cuenta con el cable de 20mm de diámetro y 180 Kg./mm<sup>2</sup> de 25400 Kg. de resistencia a la rotura.

Se procede a ver la polea que se necesita:

$D := F_{sr} \cdot \sqrt{P_{tra}} \quad D = 429.797 \quad \text{mm}$       Diámetro de la polea

En el mercado se puede conseguir una polea y un tambor de 400mm de diámetro.

#### **4.3.2 Para el cálculo de la velocidad a la que va a subir el conjunto de la estructura y los vehículos:**

Para comenzar nos debemos imponer un tiempo que sería en el que sube toda la estructura con los vehículos en su interior; este tiempo no debe ser muy alto por lo cual nos imponemos que cada piso debería subir en 19 segundos es decir los dos en 38 segundos, para lo cual necesitamos una velocidad lineal de 0,13m/s, que son nuestros datos de partida.

El carrete en el que se va a envolver el cable mide 200mm de diámetro exterior; con este se procede a realizar los demás cálculos.

### 4.3.3 Cálculo de la potencia requerida

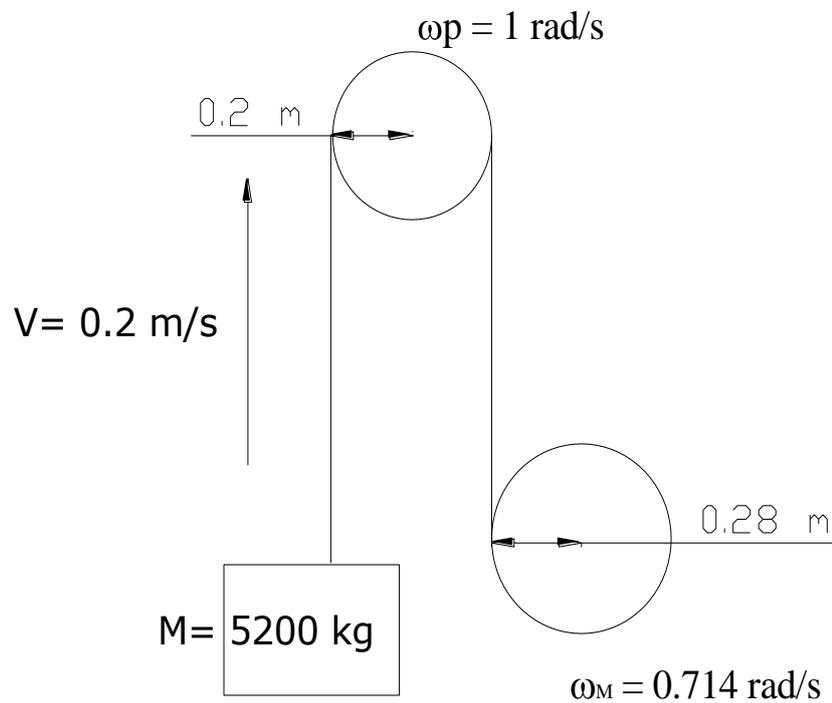


Figura 4.3.2

La fuerza que se desea mover es de 5200Kgf a partir de esta se determina la potencia del motor que se va a utilizar.

Para el cálculo de la potencia tenemos los siguientes datos:

$$\begin{aligned} r_p &:= 0.2 \quad \text{m} \\ r_c &:= 0.1 \quad \text{m} \\ g &:= 9.8 \quad \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \end{aligned}$$

$$P_{tra} := 5780 \quad \text{Kg}$$

$$M_{polea} := 18.14 \quad \text{Kg}$$

$$M_{carrete} := 70.17 \quad \text{Kg}$$

Donde:  $r_p$  es el radio de la polea.

$r_c$  es el radio del carrete.

$g$  es la gravedad.

$P_{tra}$  es el peso con el que se debe trabajar que es la mitad del peso total de la estructura y de los carros.

$M_{polea}$  es la masa de la polea.

$M_{carrete}$  es la masa del carrete.

$$V_m := 0.13 \frac{m}{s}$$

Velocidad a la que se

elevará la masa.

La velocidad tangencial tanto en la polea como en el carrete serán iguales:

$$\text{Entonces } V_p = V_c \quad V_p = \omega_p \cdot r_p$$

$$\omega_p \cdot r_p = \omega_m \cdot r_c$$

Y conociendo el radio del carrete ya se puede hallar la velocidad angular a la que debe mover el motor

$$\frac{V_m}{r_c} = \omega_m$$

$$\omega_m := 1.3 \frac{\text{rad}}{s}$$

$$\omega_p := \frac{\omega_m \cdot r_c}{r_p}$$

$$\omega_p = 0.65 \frac{\text{rad}}{s}$$

Cálculo del torque estático:

$$T_s := \frac{P_{tra} \cdot g \cdot V_m}{\omega_m}$$

$$T_s = 5.664 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Cálculo del torque dinámico:

Para poder comenzar con esto se deben obtener las inercias tanto de la polea como del carrete.

$I_c$  = Inercia del carrete.

$$I_c := \frac{M_{\text{carrete}} \cdot r_c^2}{2} \quad I_c = 0.351 \quad \text{Kg} \cdot \text{m}^2$$

$I_p$  = Inercia de la Polea.

$$I_p := \frac{M_{\text{polea}} \cdot r_p^2}{2} \quad I_p = 0.363 \quad \text{Kg} \cdot \text{m}^2$$

Conociendo las inercias de cada uno de los elementos se procede a calcular una inercia equivalente, la misma que se obtiene de la siguiente manera:

$$I_{\text{equi}} := I_c + I_p \cdot \left( \frac{\omega_p}{\omega_m} \right)^2 + \frac{P_{\text{tra}} \cdot V_m^2}{\omega_m^2}$$

$$I_{\text{equi}} = 58.242 \quad \text{Kg} \cdot \text{m}^2$$

El Torque Dinámico ( $T_{dy}$ ) es: El producto de la Inercia equivalente del sistema por la aceleración angular a la que gira el motor. Sabiendo que parte del reposo, por lo tanto  $\omega_i = 0$ , Considerando un tiempo de arranque igual a 2, que es lo que se suele asignar.

$$\alpha := \frac{(\omega_m - 0)}{2}$$

$$\alpha = 0.65 \quad \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

Aceleración angular

$$T_{dy} := I_{\text{equi}} \cdot \alpha$$

$$T_{dy} = 37.857 \quad \text{N} \cdot \text{m}$$

$$T_{\text{arranque}} := T_s + T_{dy}$$

$$T_{\text{arranque}} = 5.702 \times 10^3 \quad \text{N} \cdot \text{m}$$

El torque de arranque es la suma del torque dinámico y estático.

Conocido el torque de arranque, procedemos a calcular la potencia de salida del motor; para obtener la potencia de entrada se debe dividir la potencia obtenida para un factor de eficiencia de todo el sistema como se muestra a continuación:

$$P := \text{Tarranque } \omega m$$

$$P = 7.413 \times 10^3 \quad \text{Watts}$$

$$\eta_b := 0.99$$

$$\eta_e := 0.934$$

$$\eta_r := 0.99$$

$$k := 2$$

Donde:

$\eta_b$  = Rendimiento de la transmisión por cable.

$\eta_e$  = Rendimiento eléctrico del motor.

$\eta_r$  = Rendimiento de los Rodamientos

$K$  = Número de Pares de rodamientos.

$$\eta_{\text{general}} := \eta_b \cdot \eta_r^k \cdot \eta_e$$

$$\eta_{\text{general}} = 0.906$$

$$\text{Potencia} := \frac{\frac{P}{1000}}{\eta_{\text{general}}}$$

$$\text{Potencia} = 8.18 \quad \text{KWatts}$$

Lo cual equivale a un motor de 10.96 HP

Se puede trabajar con un motor de 12 HP lo cual nos entregaría una potencia de salida de:

$$\text{Potencia} := 8.95 \quad \text{Kw}$$

$$P_{\text{salida}} := \text{Potencia} \cdot \eta_{\text{general}}$$

$$P_{\text{salida}} = 8.111 \quad \text{Kw}$$

Por lo cual podemos saber que se utilizará un moto reductor de 12HP, que gire a 15rpm

### 4.3.4 Diseño del eje y la flecha

#### 4.3.4.1 Diseño del eje

Primero se debe realizar un diseño sin dimensiones del eje

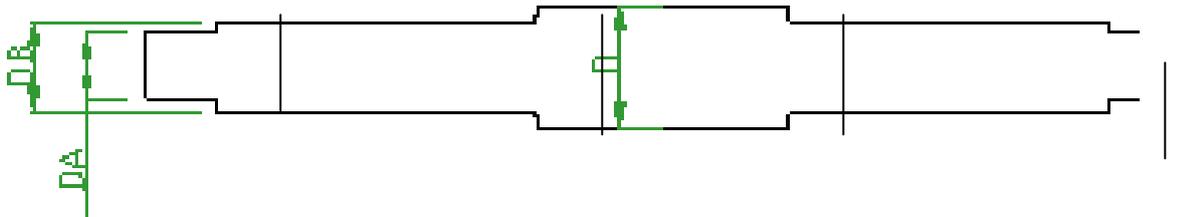


Figura 4.3.3

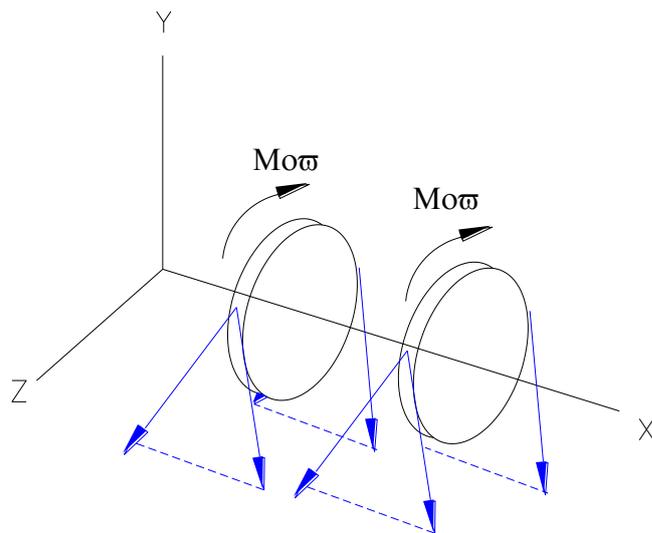


Figura 4.3.4

Plano XY

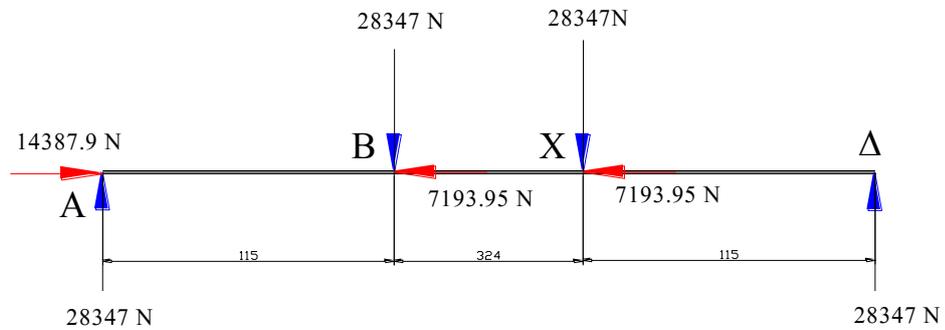


Figura 4.3.5

Las fuerzas que cargan al eje son las que se ven en el grafico y resultan del análisis estático previo.

Con éstas fuerzas se calcula de máximo y mínimo momento flector y para ello se realiza un grafico:

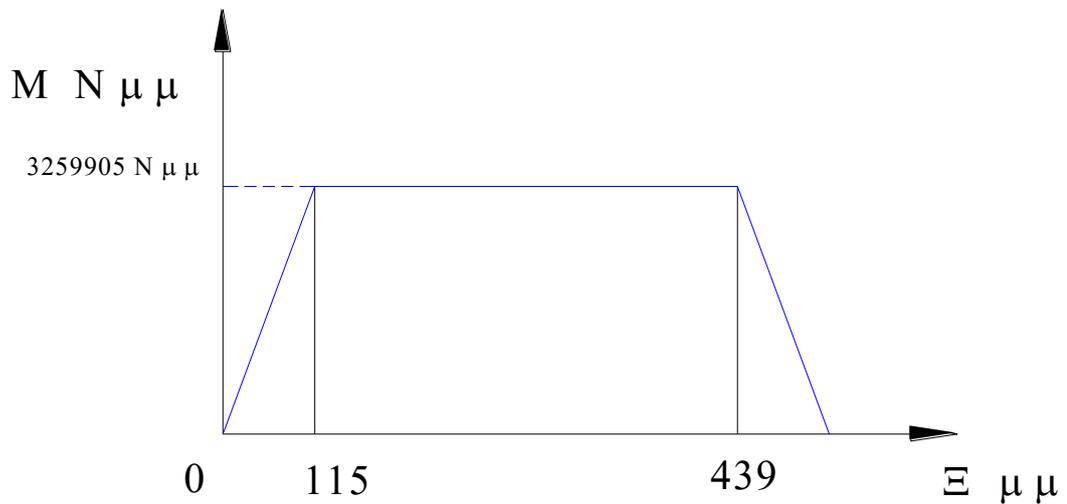


Figura 4.3.6

Plano XZ.

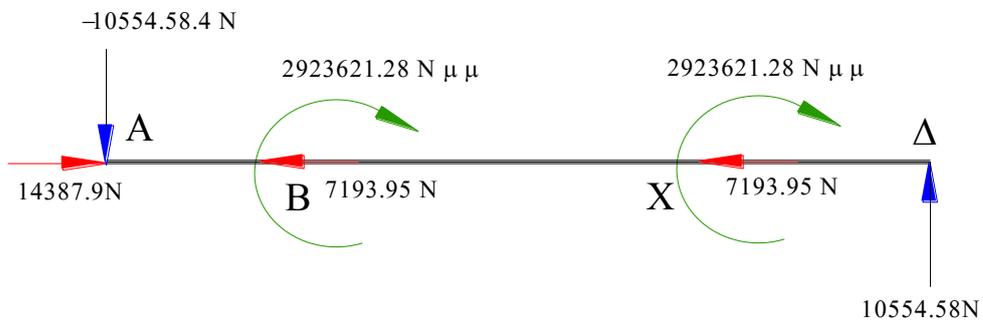


Figura 4.3.7

Diagrama de momentos:

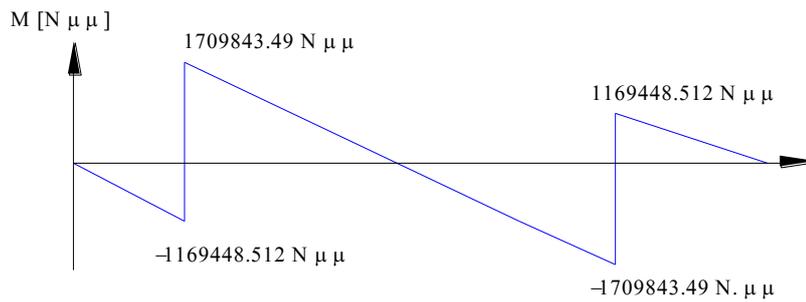


Figura 4.3.8

Para todo el diseño del eje se va a utilizar acero A36, ya que sus propiedades son las necesarias para nuestros requerimientos; sabiendo que el acero A36 tiene las siguientes propiedades y considerando un FS (Factor de seguridad de 3):

$$S_u := 400 \text{ Mpa} \quad S_y := 248$$

$$FS := 3$$

**Diámetro en la sección A (cuyas condiciones son las misma que la sección D):**

Debido a que en ésta sección no hay ni momentos ni torque el análisis se lo hace con la Fuerza cortante resultante:

$$\tau_d := 0.557 \cdot \frac{S_y}{FS} \quad \tau_d = 46.045 \quad \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$V_x := 14387.9 \quad \text{N} \quad V_y := 28347 \quad \text{N} \quad V_z := 10554.58 \quad \text{N}$$

$$V_r := \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$$

$$V_r = 3.35 \times 10^4 \quad \text{N}$$

La tensión por esfuerzo de corte vertical para un eje circular sólido es:

$$\tau_d = \frac{4 \cdot V_r}{3 \cdot A}$$

Donde el área A es:

$$A := 969.935 \quad \text{mm}^2$$

Conociendo el área de un Círculo y despejando su diámetro tenemos:

$$DA := \sqrt{4 \cdot \frac{A}{\pi}} \quad DA = 35.142 \quad \text{mm}$$

**Diámetro en la sección B:**

Análisis a fatiga para la sección B que es la misma que C.

Plano xy:

$$M_{\max\_xy} := 3259905 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{\min\_xy} := -3259905 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{m\_xy} := \frac{M_{\max\_xy} + M_{\min\_xy}}{2}$$

$$M_{m\_xy} = 0 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{a\_xy} := \frac{M_{\max\_xy} - M_{\min\_xy}}{2}$$

$$M_{a\_xy} = 3.26 \times 10^6 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

Plano xz:

$$M_{\max\_xz} := 1709843.49 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{\min\_xz} := -1169448.52 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{m\_xz} := \frac{M_{\max\_xz} + M_{\min\_xz}}{2}$$

$$M_{m\_xz} = 2.702 \times 10^5 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{a\_xz} := \frac{M_{\max\_xz} - M_{\min\_xz}}{2}$$

$$M_{a\_xz} = 1.44 \times 10^6 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

Momentos resultantes:

$$M_{mr} := \sqrt{M_{m\_xy}^2 + M_{m\_xz}^2} \quad M_{mr} = 2.702 \times 10^5 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{ar} := \sqrt{M_{a\_xy}^2 + M_{a\_xz}^2} \quad M_{ar} = 3.564 \times 10^6 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

**Los siguientes son los factores utilizados para el cálculo de una resistencia de diseño:**

Ka = Factor de Superficie

Kb = Factor de Tamaño.

Kc = Factor de Confiabilidad,

Kd = Factor de Temperatura.

Ke = Factor de Carga.

$$K_a := 0.8$$

$$K_b := 0.76$$

$$K_c := 0.753$$

$$K_d := 1$$

$$K_e := 0.8$$

$$S_e := 0.5 \cdot S_u \cdot K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e$$

$$S_e = 73.252$$

Para este caso  $T_m = 0$  y  $T_a = 0$  Porque no se transmite torque

$$T_m := 0 \quad T_a := 0$$

El factor  $K_f = 2.5$ . Se asume un chaflán con bordes cortantes

$$K_f := 2.5 \quad \text{Considerando } D/d = 1.15 \quad \text{y } r/d = 0.2$$

$$D_B := \sqrt[3]{\frac{32 \cdot F_s}{\pi \cdot S_u} \cdot \left[ \left( M m r^2 + 4 \cdot T_m^2 \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{S_u}{S_e} \left[ (K_f \cdot M a r)^2 + 4 (K_t \cdot T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right]}$$

$$D_B = 155.184 \quad \text{mm}$$

Se debe considerar un cambio de sección para el hombro de separación entre las poleas el cual es el diámetro D.

$$D := 177 \quad \text{mm}$$

### Observaciones:

DA = DD, es muy pequeño si se compara con otros diámetros que se han calculado y, por lo regular, así será. En realidad, el diámetro DA quizá se haga mucho más grande que este valor calculado debido al tamaño del cojinete para que soporte las cargas a las que esta sometida la flecha. Se considera un cambio de sección con respecto de DB con respecto a la sección D.

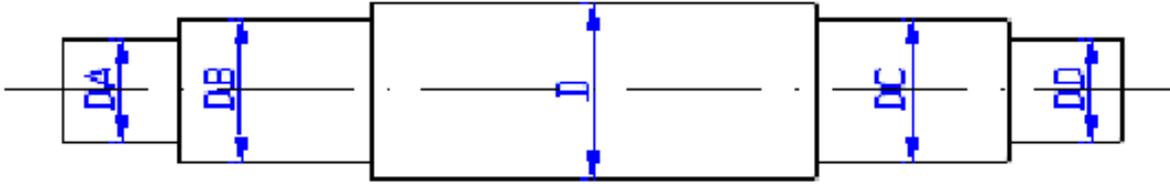


Figura 4.3.9

Los Diámetros que se van a utilizar son

$$D_A := 133 \text{ mm}$$

$$D_B := 156 \text{ mm}$$

$$D := 177 \text{ mm}$$

$$D_C := 134 \text{ mm}$$

$$D_D := 133 \text{ mm}$$

#### 4.3.4.2 Diseño de la Flecha

Para el diseño de la flecha se considera un acero AISI 4340 con las siguientes propiedades y un factor de seguridad de 3

$$S_u := 1720 \text{ Mpa} \quad S_y := 1590$$

$$FS := 3$$



Figura 4.3.10

### Cálculo del Torque:

$$Hp := 12$$

$$RPM := 15$$

$$T := \frac{63000 \cdot Hp}{RPM} \quad T = 5.04 \times 10^4 \text{ Lb} \cdot \text{in}$$

$$T := 5694435.38 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

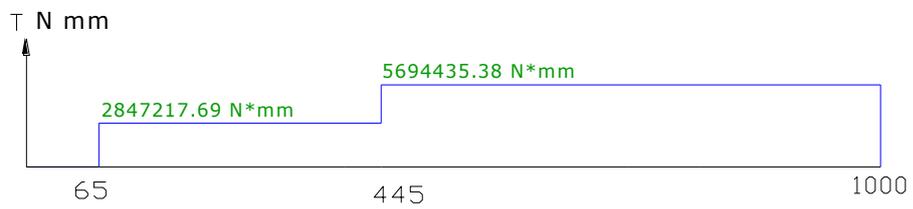


Figura 4.3.11

### Fuerzas y reacciones en el plano xy:

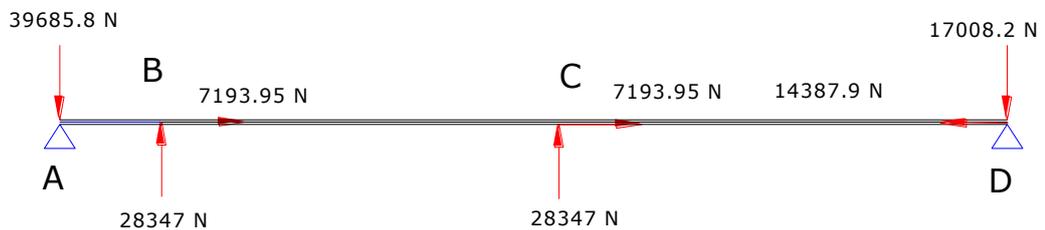
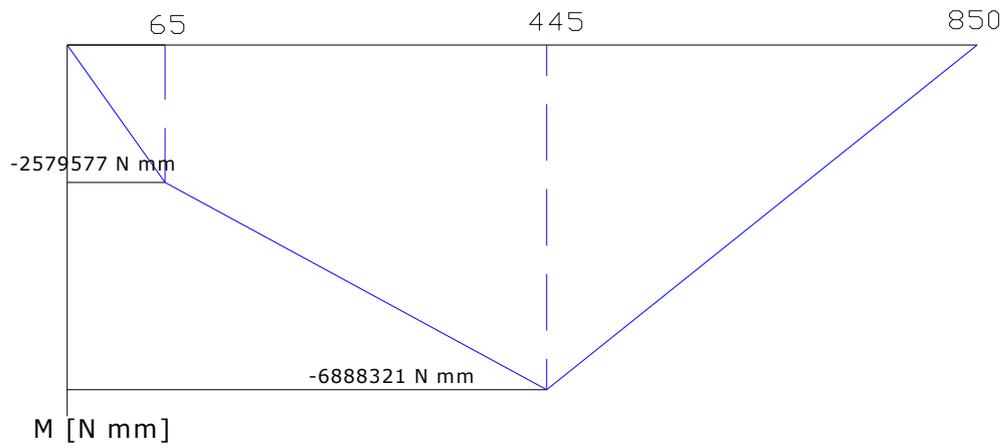


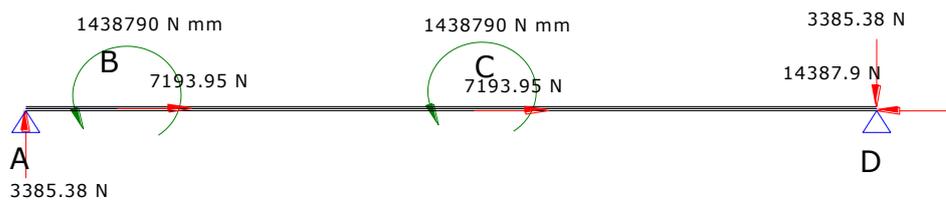
Figura 4.3.12

**Diagrama de momentos Plano xy:**



**Figura 4.3.13**

**Diagrama de cargas en el plano XZ:**



**Figura 4.3.14**

### Diagrama de Momentos en el Plano xz:

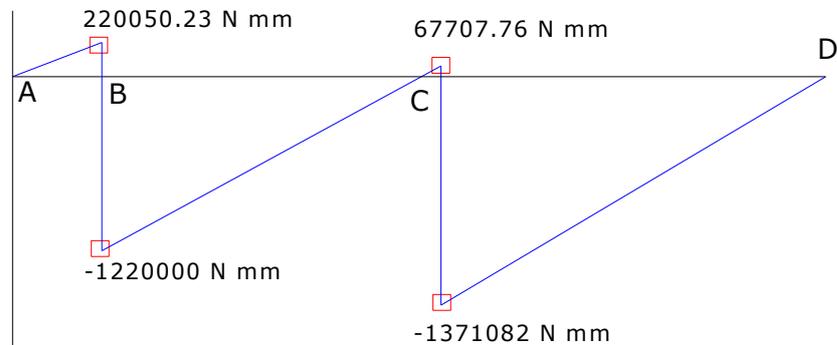


Figura 4.3.15

### Diametro D:

$$T = 5.694 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

En esta sección no existe momento, pero si tenemos torq

$$T_{\max} = 5.694 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$T_{\min} = 5.694 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$T_m := \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2}$$

$$T_a := \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2}$$

$$T_m = 5.694 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad T_a = 0 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

**Los siguientes son los factores utilizados para el cálculo de una resistencia de diseño:**

Ka = Factor de Superficie

Kb = Factor de Tamaño.

Kc = Factor de Confiabilidad,

Kd = Factor de Temperatura.

Ke = Factor de Carga (en este caso está sometido a un esfuerzo de corte por torsión)

$$\begin{aligned}
K_a &:= 0.8 \\
K_b &:= 0.76 \\
K_c &:= 0.89 \\
K_d &:= 1 \\
K_e &:= 0.58
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_e &:= 0.5 \cdot S_u \cdot K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \\
S_e &= 228.363
\end{aligned}$$

**Fuerzas cortantes:**

$$V_{Dx} := 14387.9 \text{ N} \quad V_{Dz} := 3385.38 \text{ N} \quad V_{Dy} := 17008.2 \text{ N}$$

$$V_r := \left( \sqrt{V_{Dx}^2 + V_{Dy}^2 + V_{Dz}^2} \right)$$

$$V_r = 2.253 \times 10^4 \text{ N}$$

La tensión por esfuerzo de corte vertical para un eje circular sólido es:

$$\tau_d = \frac{4 \cdot V_r}{3 \cdot A} \quad \text{Finca}$$

$$A := 652.497 \text{ mm}^2$$

Donde A es el área circular.

$$\tau_{nom} := \tau_d \quad \tau_{max} := \frac{4 \cdot V_r}{3 \cdot A}$$

$$K_t := \frac{\tau_{max}}{\tau_{nom}}$$

$$K_t = 1$$

$$D_D := \sqrt[3]{\frac{32 \cdot F_s}{\pi \cdot S_u} \cdot \left[ \left( 4 \cdot T_m^2 \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{S_u}{S_e} \left[ 4 \cdot (K_t \cdot T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right]}$$

$$D_D = 58.707 \text{ mm}$$

### Diámetro en la sección C:

En la sección C tenemos momentos y torque.

Plano xy:

$$M_{\max\_xy} := 6888321 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{\min\_xy} := -6888321 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{m\_xy} := \frac{M_{\max\_xy} + M_{\min\_xy}}{2}$$

$$M_{m\_xy} = 0 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{a\_xy} := \frac{M_{\max\_xy} - M_{\min\_xy}}{2}$$

$$M_{a\_xy} = 6.888 \times 10^6 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

Plano xz:

$$M_{\max\_xz} := 67707.76 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{\min\_xz} := -1371082.23 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{m\_xz} := \frac{M_{\max\_xz} + M_{\min\_xz}}{2}$$

$$M_{m\_xz} = -6.517 \times 10^5 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{a\_xz} := \frac{M_{\max\_xz} - M_{\min\_xz}}{2}$$

$$M_{a\_xz} = 7.194 \times 10^5 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

Momentos resultantes:

$$M_{mr} := \sqrt{M_{m\_xy}^2 + M_{m\_xz}^2} \quad M_{mr} = 6.517 \times 10^5 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{ar} := \sqrt{M_{a\_xy}^2 + M_{a\_xz}^2} \quad M_{ar} = 6.926 \times 10^6 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

## Factores:

Ka = Factor de Superficie

Kb = Factor de Tamaño.

Kc = Factor de Confiabilidad,

Kd = Factor de Temperatura.

Ke = Factor de Carga.

$$K_a := 0.8$$

$$K_b := 0.76$$

$$K_c := 0.753$$

$$K_d := 1$$

$$K_e := 0.8$$

$$S_e := 0.5 \cdot S_u \cdot K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e$$

$$S_e = 314.983$$

El factor Kf = 2.5. Se asume un chaflán con bordes cortantes y el chavetero.

$$K_f := 2.5$$

Kt := 1 Kt no influye debido a que hay un torque constante, por lo tanto Ta = 0

$$D_C := \sqrt[3]{\frac{32 \cdot F_s}{\pi \cdot S_u} \cdot \left[ \left( M m r^2 + 4 \cdot T m^2 \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{S_u}{S_e} \left[ (K_f \cdot M a r)^2 + 4 (K_t \cdot T a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right]}$$

$$D_C = 123.473 \text{ mm}$$

## Diámetro en B:

En la sección B tenemos momentos y torque.

Plano xy:

$$M_{\max\_xy} := 2579577 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{\min\_xy} := -2579577 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{m\_xy} := \frac{M_{\max\_xy} + M_{\min\_xy}}{2}$$

$$M_{m\_xy} = 0 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{a\_xy} := \frac{M_{\max\_xy} - M_{\min\_xy}}{2}$$

$$M_{a\_xy} = 2.58 \times 10^6 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

Plano xz:

$$M_{\max\_xz} := 220050.23 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{\min\_xz} := -1220000 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{m\_xz} := \frac{M_{\max\_xz} + M_{\min\_xz}}{2}$$

$$M_{m\_xz} = -5 \times 10^5 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{a\_xz} := \frac{M_{\max\_xz} - M_{\min\_xz}}{2}$$

$$M_{a\_xz} = 7.2 \times 10^5 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

Momentos resultantes:

$$M_{mr} := \sqrt{M_{m\_xy}^2 + M_{m\_xz}^2} \quad M_{mr} = 5 \times 10^5 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{ar} := \sqrt{M_{a\_xy}^2 + M_{a\_xz}^2} \quad M_{ar} = 2.678 \times 10^6 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

**Factores:**

Ka = Factor de Superficie

Kb = Factor de Tamaño.

Kc = Factor de Confiabilidad,

Kd = Factor de Temperatura.

Ke = Factor de Carga. (Para este caso es por esfuerzo de corte por torsión).

$$K_a := 0.8$$

$$K_b := 0.76$$

$$K_c := 0.753$$

$$K_d := 1$$

$$K_e := 0.58$$

$$S_e := 0.5 \cdot S_u \cdot K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e$$

$$S_e = 228.363$$

$$T_{\max} := 2610000 \quad \text{N} \cdot \text{mm} \quad T_{\min} := 2610000 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$T_a := \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} \quad T_m := \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2}$$

El factor Kf = 2.5. Se asume un chaflán con bordes cortantes y el chavetero.

$$K_f := 2.5 \quad K_t := 1 \quad \text{Kt no influye debido a que hay un torque constante, por lo tanto } T_a = 0$$

$$D_B := \sqrt[3]{\frac{32 \cdot F_s}{\pi \cdot S_u} \cdot \left[ \left( M m r^2 + 4 \cdot T m^2 \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{S_u}{S_e} \left[ (K_f \cdot M a r)^2 + 4 (K_t \cdot T a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right]}$$

$$D_B = 99.635 \quad \text{mm}$$

### **Diámetro en la Sección A:**

Debido a que en ésta sección no hay ni momentos ni torque el análisis se lo hace con la Fuerza cortante resultante:

$$\tau_d := 0.557 \cdot \frac{S_y}{FS} \qquad \tau_d = 295.21 \frac{N}{mm^2}$$

$$V_x := 0 \text{ N} \qquad V_y := 39685.8 \text{ N} \qquad V_z := 3385.38 \text{ N}$$

$$V_r := \sqrt{V_y^2 + V_z^2}$$

$$V_r = 3.983 \times 10^4 \text{ N}$$

La tensión por esfuerzo de corte vertical para un eje circular sólido es:

$$\tau_d = \frac{4 \cdot V_r}{3 \cdot A}$$

$$A := 179.894 \text{ mm}^2 \qquad \text{Donde } A \text{ es el área circular.}$$

Conociendo el área de un Círculo y despejando su diámetro tenem

$$D_A := \sqrt{4 \cdot \frac{A}{\pi}}$$

$$D_A = 15.134 \text{ mm}$$

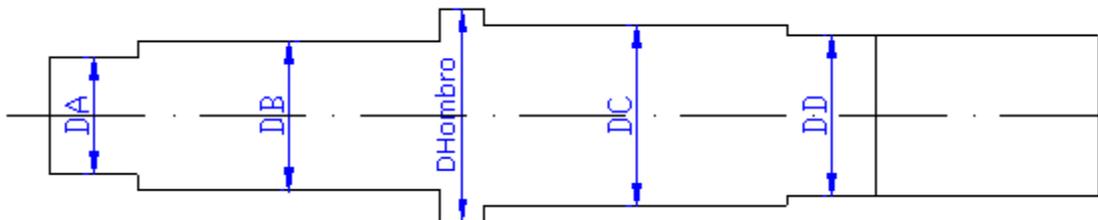


Figura 4.3.16

### Resultados

$$D_A = 15.134 \text{ mm}$$

$$D_B = 99.635 \text{ mm}$$

$$D_C = 123.473 \text{ mm}$$

$$D_D = 58.707 \text{ mm}$$

Conociendo los resultados, diseñamos los diámetros teniendo en cuenta los obtenidos anteriormente como base para los nuevos; de esta manera tenemos

que:

$$D_A := 100 \quad \text{mm}$$

$$D_B := 124 \quad \text{mm}$$

$$D_C := 124 \quad \text{mm}$$

$$D_D := 100 \quad \text{mm}$$

$$DHombro := 140 \quad \text{mm}$$

#### 4.3.5 Selección de rodamientos

El rodamiento que se seleccionará a continuación es el rodamiento base a partir de este cualquiera que se escoja de mayor capacidad funcionará de igual manera y brindando una mayor seguridad; el cambio es debido a el diseño del eje y de la flecha.

Para obtener  $F_r$  es la multiplicación del peso de trabajo por la gravedad y dividido para dos ya que este valor es el que se aplica sobre cada rodamiento:

$$P_{tra} := 5200 \quad \text{Kg}$$

$$F_r := P_{tra} \cdot \frac{9.8}{2000}$$

$$F_r = 25.48 \quad \text{KN}$$

$F_a := 6.5 \quad \text{KN}$  Es la carga axial que para nuestro caso no existe.

$sf := 2$  Es un factor de servicio de acuerdo a las exigencias de trabajo.

$$P_{o1} := 0.6 \cdot F_r + 0.5 \cdot F_a \quad P_{o1} = 18.538$$

$$P_{o2} := F_r \quad P_{o2} = 25.48$$

$$P_o := P_{o2}$$

$$C_o := sf \cdot P_o \quad C_o = 152.88$$

Donde Po1 y Po2 son las diferentes formas de mayorar las cargas que se están aplicando; de estas se elige la mayo para trabajar.

Con el valor de Co que se obtiene, que es la capacidad de carga estática, elegimos preliminarmente un rodamiento que en nuestro caso es un **UN2210EC**.

Para comprobar que este sea el rodamiento necesario para nuestro trabajo se procede a calcular la capacidad de carga dinámica requerida:

n := 20            rpm  
 thd := 2            horas diarias  
 meses := 24            antes del cambic  
 dias := 30            por mes

$$L1 := thd \cdot dias \cdot meses \cdot 60 \cdot n \quad L1 = 1.728 \times 10^6$$

$$L := \frac{L1}{10^6} \quad L = 1.728$$

$$\frac{Fa}{Co} = 0.043$$

$$P := Fr$$

$$m := 3$$

$$a1 := 1 \quad \text{a 90\%}$$

$$a23 := 1.4 \quad \text{combinados a2 y a}$$

Donde:

a1 es el factor por fiabilidad

a23 es un factor combinado tanto por maquinabilidad y por lubricación.

$$C := P \cdot \left( \frac{L}{a1 \cdot a23} \right)^{\frac{10}{m}}$$

$$C = 51.395 \text{ KN}$$

Con este valor de C elegimos el mismo rodamiento que tiene un C = 78100N con lo cual comprobamos que este rodamiento es lo que necesitamos.

## 4.3.6 Diseño de las chavetas y chaveteros

### 4.3.6.1 Chaveta

Para este caso se va a utilizar chavetas ahusadas ya que no solo queremos transmitir un torque sino que nos van a ayudar a que no tenga movimiento lateral a causa de la fuerza axial.

Las cuñas se fabrican casi siempre con AISI 1020 Rolado en caliente.

Tenemos dos clases de análisis que determinaran la longitud mínima de la chaveta (cuña), que son el análisis por cortante y por aplastamiento.

#### Por Cortante:

Para el diseño, se establece que la tensión por esfuerzo de corte es igual a una tensión de diseño en corte que corresponde a la teoría de falla por tensión máxima por esfuerzo de corte.

$$N := 3$$

Donde N es un factor de seguridad.

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

$$\tau_d = 34.5 \quad \text{MPa}$$

La longitud que se necesita para la cuña es:

$$T := 5694436 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$D := 100 \quad \text{mm}$$

$$W := 22.225 \quad \text{mm}$$

$$L := \frac{2 \cdot T}{\tau_d \cdot D \cdot W}$$

$$L = 148.532 \quad \text{mm}$$

Donde:

T es el torque,

D es el diámetro de la flecha,

W es el espesor.

Entonces la longitud necesaria para transmitir el torque como podemos ver aquí es de 148.5 mm.

### **Por aplastamiento:**

Considerando que la falla en condición de apoyo se relaciona con la tensión o esfuerzo por compresión:

$$\sigma_d := \frac{S_y}{N}$$

Por lo tanto la longitud se obtiene de la siguiente manera.

$$H := 22.225 \quad \text{mm}$$

$$L_d := \frac{4 \cdot T}{\sigma_d \cdot D \cdot H}$$

$$L_d = 148.532 \quad \text{mm}$$

Donde H es la altura de la cuña.

### **4.3.6.2 Chavetero.**

$$Y := \frac{D - \sqrt{D^2 - W^2}}{2}$$

$$Y = 1.251 \text{ mm}$$

Donde Y es la altura de la cuerda.

$$S := D - Y - \frac{H}{2}$$

$$S = 87.637 \quad \text{mm}$$

Donde S es la profundidad del cuñero en el eje.

$$C := 0.508 \quad \text{mm}$$

$$T := D - Y + \frac{H}{2} + C$$

$$T = 110.37 \quad \text{mm}$$

Donde:

T es la profundidad del cuñero en la masa.

C es la tolerancia de interferencia para cuñas ahusadas.

### **La longitud en el tipo de cuña ahusada:**

El ahusado tiene que extenderse cuando menos por toda la longitud de la masa y la altura H, medida en el extremo de la maza, es la misma que para la cuña paralela.

### **Las Chavetas para el caso de la sección de los carretes:**

Aquí se transmite menos torque que en la sección anterior. Pero cuando la cuña es ahusada la longitud de ésta por lo menos es a lo largo de toda la masa (en este caso el carrete). Así que escogemos por el diámetro de eje en esas secciones.

Dimensiones de la cuña:

$$W := 31.75 \quad \text{mm} \quad (\text{Espesor } 1 \frac{1}{4} \text{ de pulgada})$$

$$H := 31.75 \quad \text{mm} \quad (\text{Altura } 1 \frac{1}{4} \text{ de pulgada})$$

$$\text{Longitud} = 340 \text{ mm} \quad \text{El ahusado es de } 1/8" \text{ por cada } 333.3 \text{ m}$$

### **Chavetero para la sección de los carretes:**

$$Y := \frac{D - \sqrt{D^2 - W^2}}{2}$$

$$Y = 2.067 \quad \text{mm}$$

$$S := D - Y - \frac{H}{2}$$

$$S = 106.058 \text{ mm}$$

$$C := 0.508 \text{ mm}$$

$$T := D - Y + \frac{H}{2} + C$$

$$T = 138.316 \text{ mm}$$

Como podemos observar que este diseño proporciona una pequeña área de apoyo, debe calcularse y comprobarse que sea suficiente para soportar la tensión aplicada.

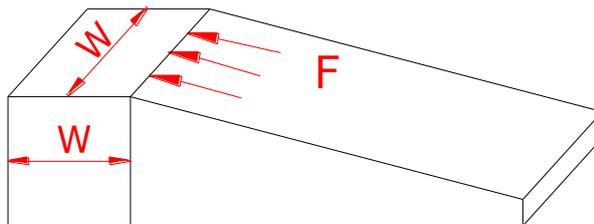


Figura 4.3.17

#### 4.3.7 Modelación en software de algunos elementos del sistema mecánico

Para la realización de la modelación o comprobación de los elementos que son más propensos a fallas, que en este caso son los ejes y las flechas, se utilizará el programa Cosmos Works; que nos permite ver las diferentes deformaciones que sufrirían estos elementos sujetos a las cargas que deben soportar.

La modelación solo se realiza sobre estos elementos ya que los demás elementos son estandarizados, lo cual quiere decir que ya han sido probados para que no presenten fallas inminentes.

*Los análisis siguientes se realizan mediante análisis de elementos finitos, a continuación se detallan algunos parámetros los cuales permitirán entender de mejor manera los resultados que nos arroja el programa y de los cuales se determina si los elementos resisten a las cargas a las que son sometidos.*

Cuando se aplican cargas a un sólido, el sólido se deforma y el efecto de las cargas se transmite a través del mismo. Las cargas externas inducen fuerzas internas y reacciones para renderizar el sólido a un estado de equilibrio.

El análisis estático lineal calcula los desplazamientos, las deformaciones unitarias, las tensiones y las fuerzas de reacción bajo el efecto de cargas aplicadas.

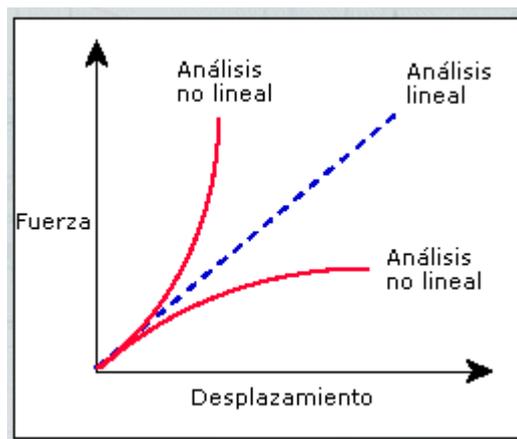
El análisis estático lineal realiza las siguientes suposiciones:

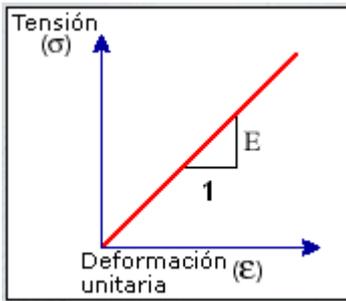
- ❖ **Suposición estática.** Todas las cargas se aplican lenta y gradualmente hasta que alcanzan sus magnitudes completas. Una vez que alcanzan sus magnitudes completas, las cargas permanecen constantes (sin variación en el tiempo). Esta suposición nos permite ignorar las fuerzas inerciales y de amortiguación debido a pequeñas aceleraciones y velocidades poco significativas. Las cargas que varían con el tiempo y que inducen fuerzas inerciales y/o de amortiguación significativa pueden garantizar el análisis dinámico. Las cargas dinámicas cambian con el tiempo y en muchos casos inducen fuerzas inerciales y de amortiguación considerables que no pueden ser descuidadas.

#### **Notas:**

- ❖ Es importante verificar la suposición estática ya que una carga dinámica puede generar tensiones de hasta  $1/2(\xi)$  veces las tensiones generadas por las cargas estáticas de la misma magnitud, donde  $\xi$  es la tasa crítica de amortiguación. En el caso de una estructura ligeramente amortiguada con un 5% de amortiguación, las tensiones dinámicas son 10 veces mayores que las tensiones estáticas. El peor de los escenarios de casos se presenta en la resonancia.

- ❖ Se usa el análisis estático para calcular la respuesta estructural de los sólidos que giran a velocidades constantes o se trasladan con aceleraciones constantes, ya que las cargas generadas no cambian con el tiempo.
  
- ❖ Suposición de linealidad: La relación entre cargas y respuestas inducidas es lineal. Por ejemplo, si duplica las cargas, la respuesta del modelo (desplazamientos, deformaciones unitarias y tensiones) también se duplica. Puede realizar la suposición de linealidad si:
  - Todos los materiales del modelo cumplen con la Ley de Hook, esto es, la tensión es directamente proporcional a la deformación unitaria.
  
  - Los desplazamientos inducidos son lo suficientemente pequeños como para ignorar el cambio en la rigidez causado por la carga.
  
  - Las condiciones de contorno no varían durante la aplicación de las cargas. Las cargas deben ser constantes en cuanto a magnitud, dirección y distribución. No deben cambiar mientras se deforma el modelo.





#### 4.3.7.1 Diseño de los ejes

El siguiente análisis estático permite observar el comportamiento de este elemento en las condiciones reales a las que estará sometido, es analizado mediante elementos finitos.

#### Estudio estático:

El presente análisis presenta un estudio estático del comportamiento del elemento, se determina experimentalmente las tensiones máximas a las que llega el elemento y verifica si es capaz de soportar.

El análisis estático lineal de este elemento toma en cuenta las mismas suposiciones y características del análisis estático para el elemento anterior.

#### Materiales

Nº	Nombre de pieza	Material	Masa	Volumen
1	Eje de poleas	Acero A 36	231.775 lb.	817.263 in <sup>3</sup>

Resultados de esfuerzos

Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Trazado1	VON: Tensión de von Mises	0.0823913	(311.99 mm,	1943.69 psi	(53.8268 mm,
		psi	-66.51 mm,	Nodo:	-124.75 mm,
		Nodo: 2041	-0.0100992 mm)	15366	-33.6306 mm)

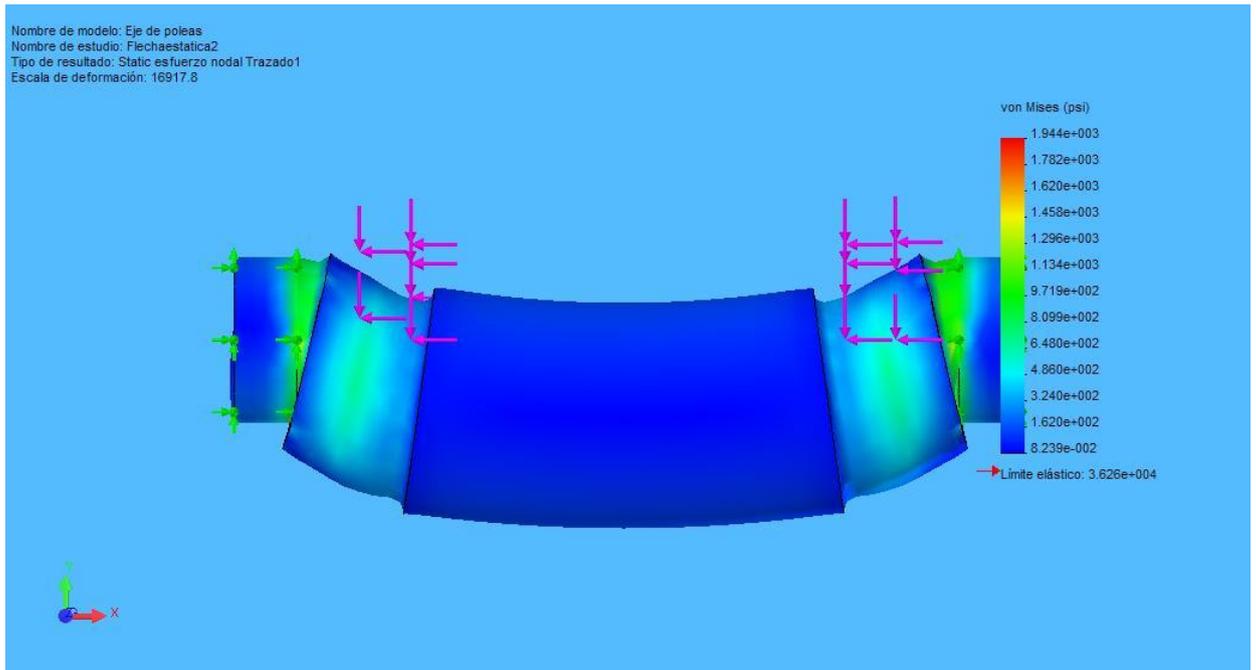


Figura 4.3.18

### Resultados de deformaciones unitarias

Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Trazado1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1.96285e-008	(215.539 mm,	3.89289e-005	(55.4314 mm,
		Elemento:	-68.7783 mm,	Elemento:	-125.91 mm,
		1056	6.77673 mm)	8486	-22.1007 mm)

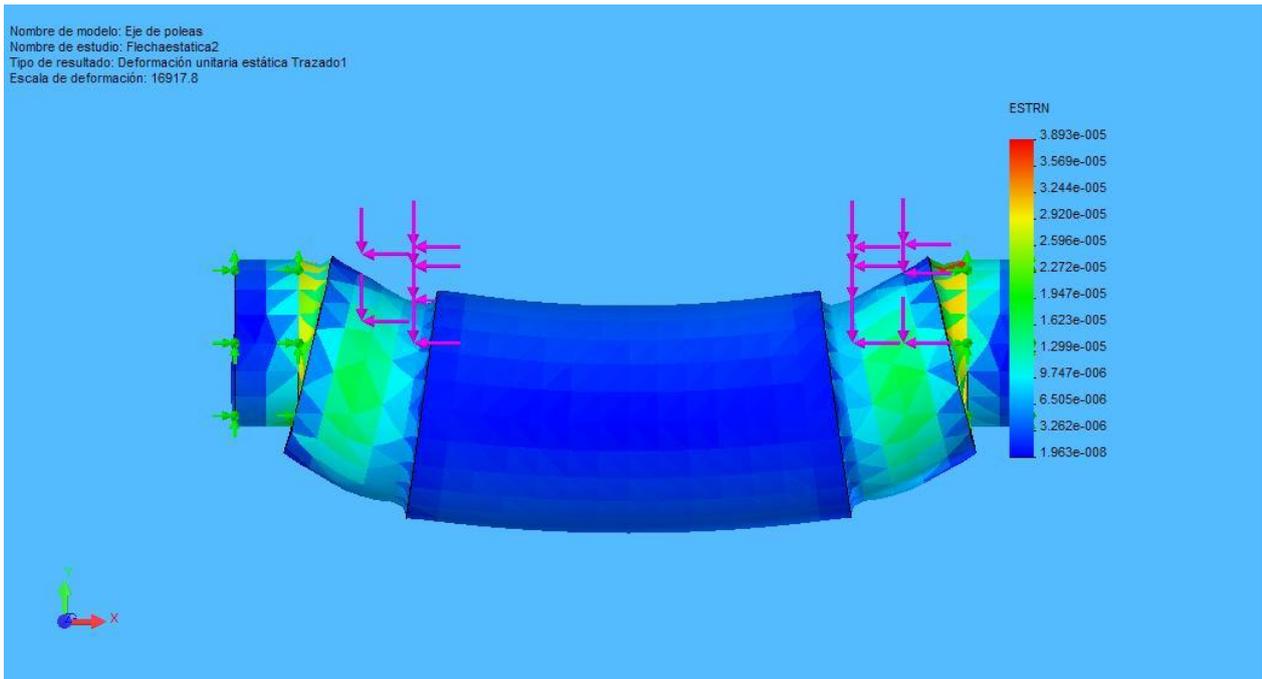


Figura 4.3.19

### Resultados de desplazamientos

Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Trazado1	URES: Desplazamientos resultantes	0 m	(50 mm, -8.90931 mm, -33.25 mm)	3.69354e-006 m	(312 mm, -66.5 mm, 90 mm)
		Nodo: 1		Nodo: 293	

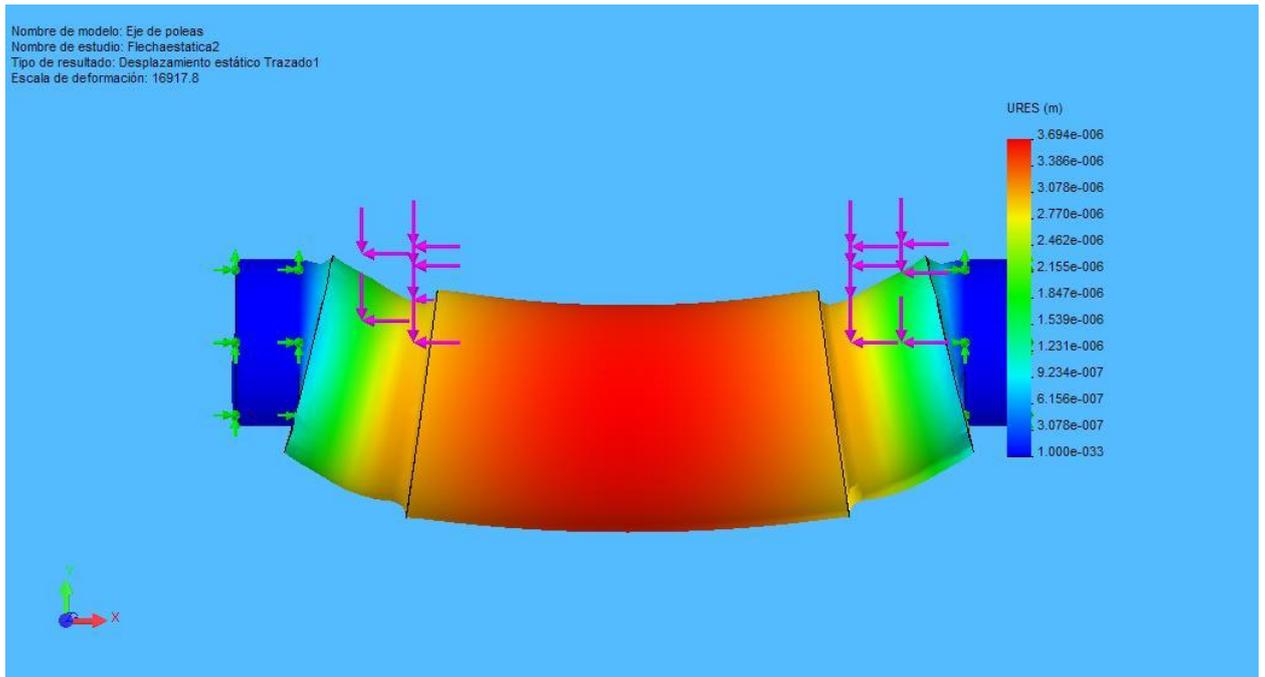


Figura 4.3.20

### Resultados de deformadas

Nº de trazado	Factor de escala
1	16918

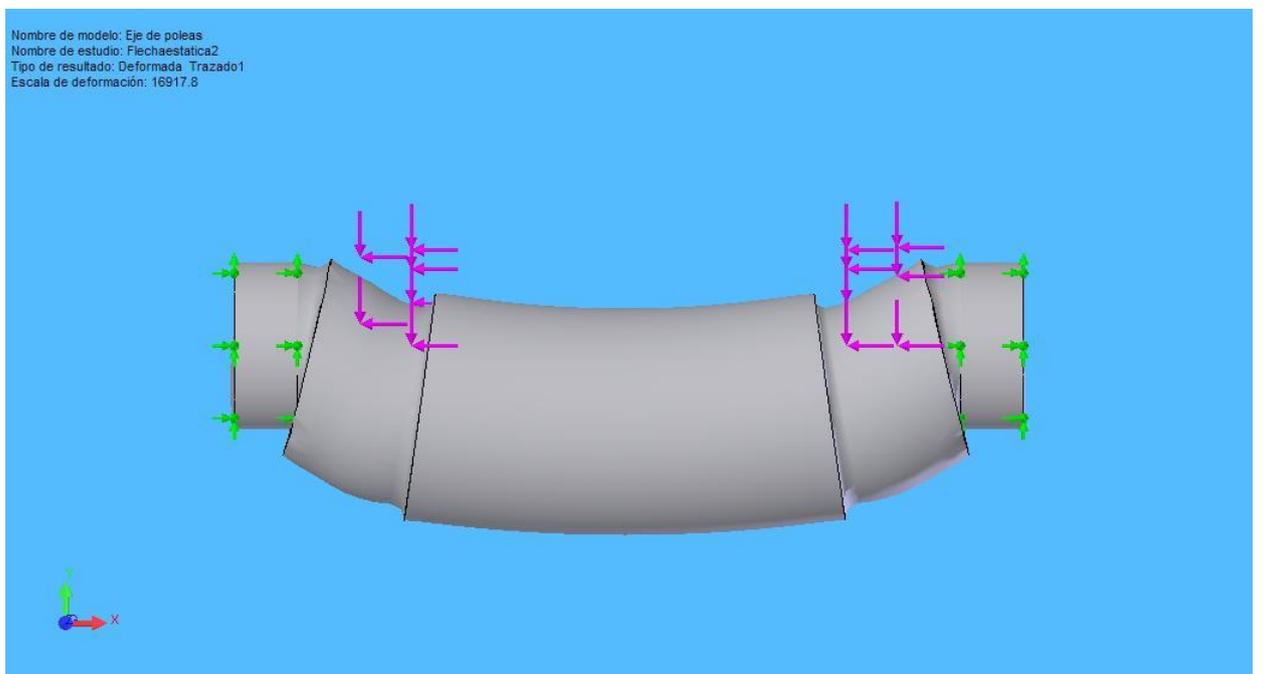


Figura 4.3.21

## Resultados de verificación de diseño

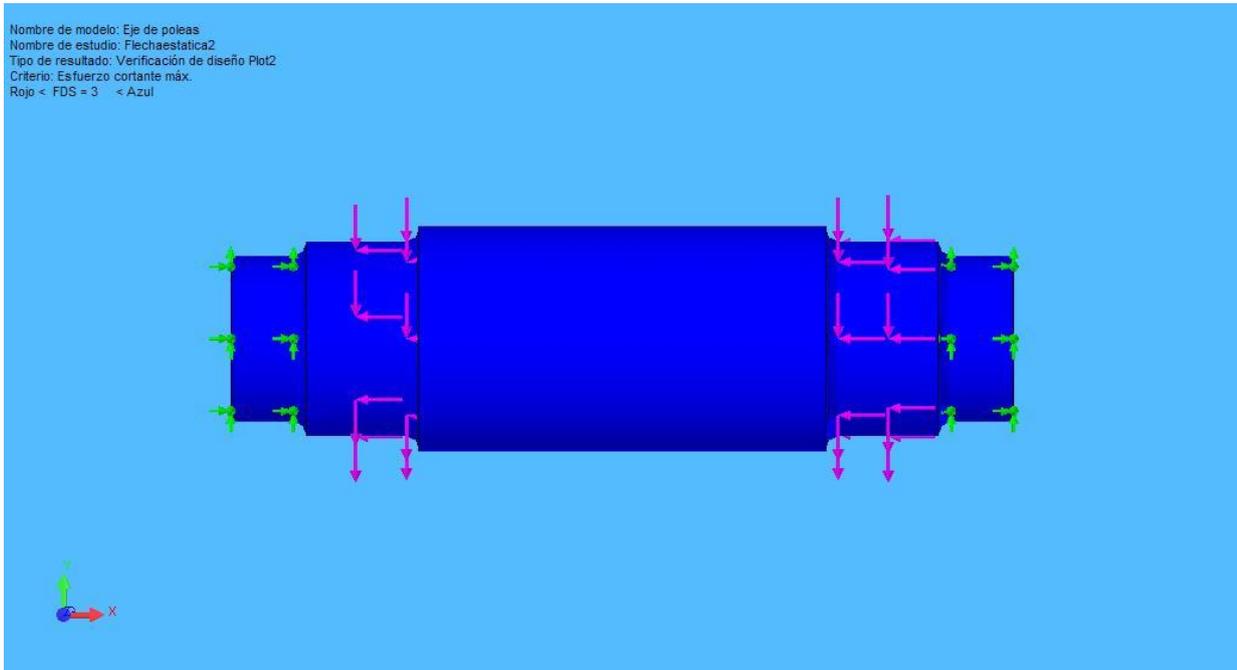


Figura 4.3.22

## Apéndice

Nombre de material:	A36
Descripción:	Acero
Origen del material:	Introducir
Tipo de modelo del material:	Isotrópico elástico lineal

Nombre de propiedad	Valor	Unidades	Tipo de valor
Módulo elástico	2.9008e+007	psi	Constante
Coefficiente de Poisson	0.26	NA	Constante
Módulo cortante	1.1502e+007	psi	Constante
Densidad	0.2836	lb/in <sup>3</sup>	Constante
Límite de tracción	58015	psi	Constante
Límite elástico	36259	psi	Constante

## Conclusión:

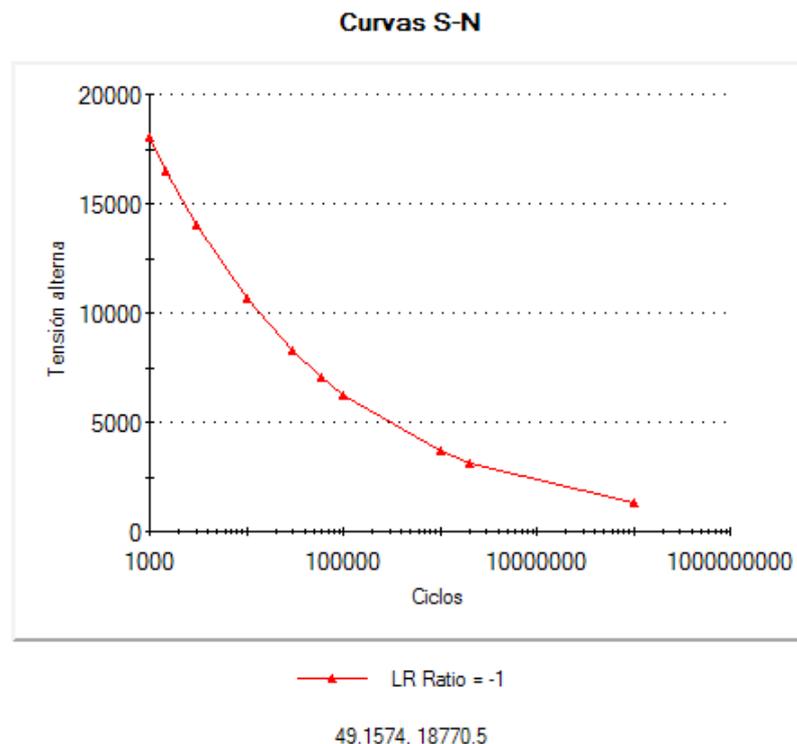
El diseño del elemento demuestra que es confiable, por las siguientes conclusiones:

- 1) En el análisis de tensiones dado por el programa se muestra que el material del elemento no alcanza el límite elástico en ningún sitio. Lo que garantiza que el elemento esta en una zona segura en cuanto a material se refiere.
- 2) La verificación de diseño por factor de seguridad demuestra que todo el elemento como conjunto esta bajo la confiabilidad del factor de seguridad impuesto y según la teoría de falla tomada (Teoría del esfuerzo cortante máximo).

## Estudio a fatiga:

El análisis que se realiza para este caso también es similar al realizado para el caso del eje anterior.

### Curvas S-N



**Figura 4.3.23**

### Cargas:

Sucesos			
Nombre	Nº de ciclos	Relación de carga( RC )	Estudio(s)
Suceso-1	1000	-1	Flechaestatica2

### Propiedad del estudio:

Interacción entre sucesos	Aleatoria
Componente de esfuerzo para el cómputo de esfuerzos alternos	Tensiones equivalentes (de von Mises)
Interpolación de curva S-N	Semi-log
Factor de reducción de resistencia a la fatiga (Kf)	0.9
Cara de lámina	Superior

### Resultados:

Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Plot1	Daño acumulado	1e-005 Nodo: 2	(50 mm, -23.7546 mm, -50.942 mm)	6.47464e-005 Nodo: 15366	(53.8268 mm, -124.75 mm, -33.6306 mm)
Plot2	Vida total	1.54449e+007 ciclo Nodo: 15366	(53.8268 mm, -124.75 mm, -33.6306 mm)	1e+008 ciclo Nodo: 2	(50 mm, -23.7546 mm, -50.942 mm)
Plot3	Factor de seguridad	8.36175 Nodo: 15366	(53.8268 mm, -124.75 mm, -33.6306 mm)	197262 Nodo: 2041	(311.99 mm, -66.51 mm, -0.0100992 mm)
Plot4	Trazado de indicador	-0.999832 Nodo: 14756	(119.785 mm, -72.5646 mm,	0.973638 Nodo:	(119.789 mm,

	de biaxialidad		-66.8587 mm)	14844	-123.678 mm, -53.0535 mm)
--	-------------------	--	-----------------	-------	------------------------------------

- ❖ **Trazado de daños.** Este trazado muestra el porcentaje de vida de la estructura consumido por los sucesos de fatiga definidos. Un factor de daño de 0.2 en una ubicación indica que los sucesos de fatiga consumen el 20% de la vida de la estructura.

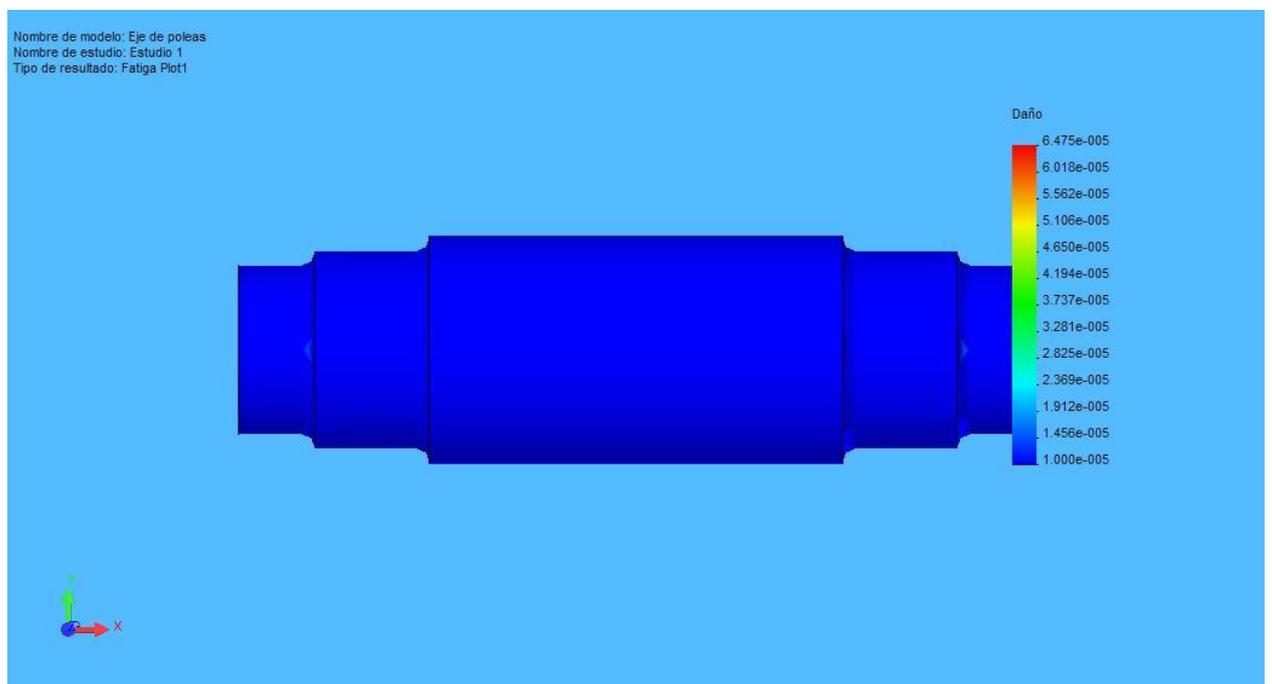
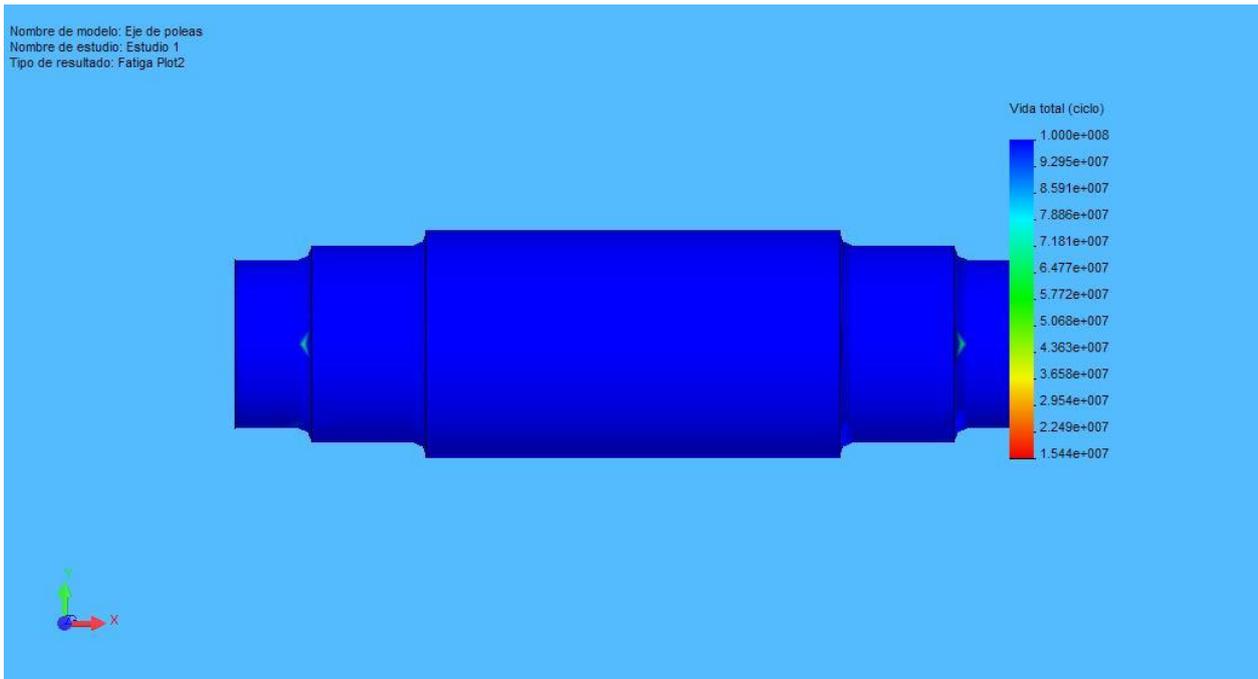


Figura 4.3.24

Los resultados del factor de daño indican que el suceso especificado consume cerca del 0.00647% de la vida del modelo.

- ❖ **Trazado de vida.** Muestra el número de ciclos que causan fallos de fatiga para cada ubicación. El trazado se basa en las curvas S-N y en la tensión alterna de cada ubicación.



**Figura 4.3.25**

El trazado de vida muestra que el fallo provocado por la fatiga puede ser luego de 15440000 ciclos, aproximadamente.

- ❖ **Trazado de factor de seguridad.** Muestra el factor de carga de seguridad para los fallos de fatiga en cada ubicación. Un factor de carga de seguridad de 8.36 en la ubicación indica que el suceso de fatiga definido ocasionará un fallo de fatiga en esta ubicación si se multiplican por 8.36 todas las cargas definidas para el estudio estático.

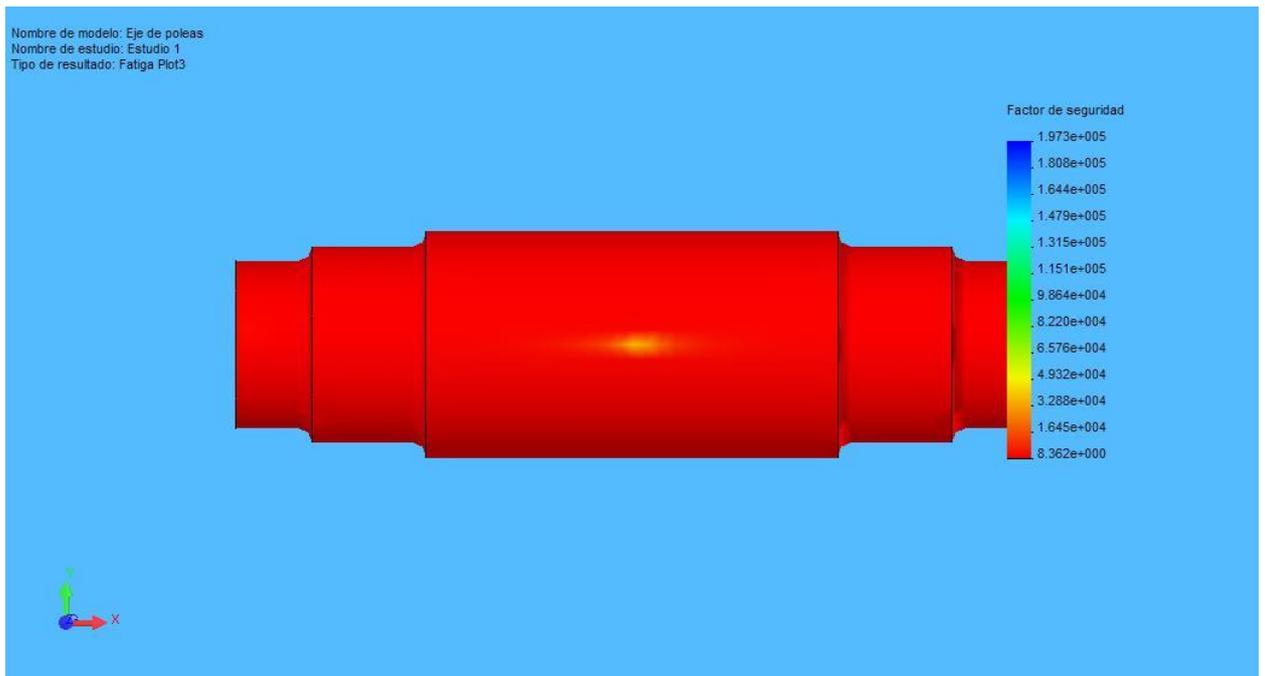


Figura 4.3.26

❖ **Indicador de biaxialidad.** Un valor de  $-1.0$  indica estado cortante puro.

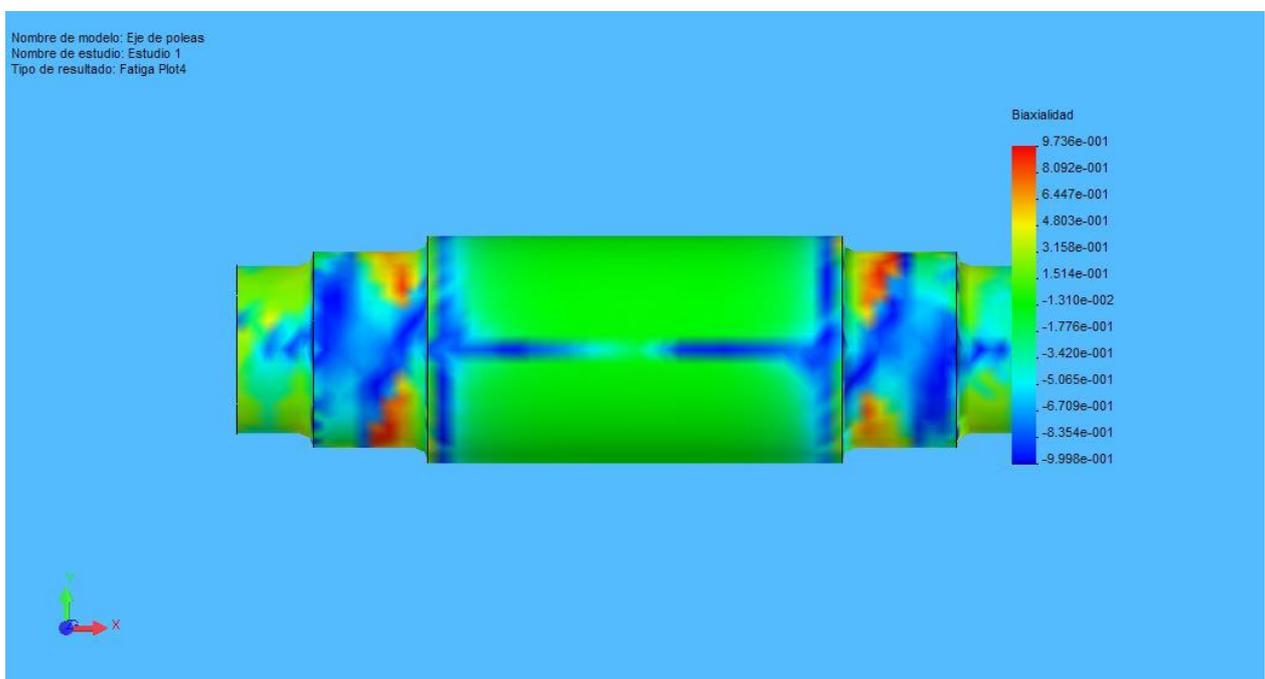


Figura 4.3.27

#### 4.3.7.2 Diseño de la flecha que contiene los carretes:

Análisis del comportamiento del elemento a escala real, mediante el siguiente, se determina si el elemento resistirá las cargas a las que se somete a escala real.

#### Materiales:

Nº	Nombre de pieza	Material	Masa	Volumen
1	Part2	AISI 4340	90.8587 Kg.	0.0115011 m <sup>3</sup>

#### Resultados de esfuerzos:

Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Trazado1	VON:		(687.5 mm,		(911.075 mm,
	Tensión	114418 N/m <sup>2</sup>	10.9955 mm,	1.33415e+008	-0.765543 mm,
	de von	Nodo: 13102	11.115 mm)	N/m <sup>2</sup>	-8.71598 mm)
	Mises			Nodo: 14570	

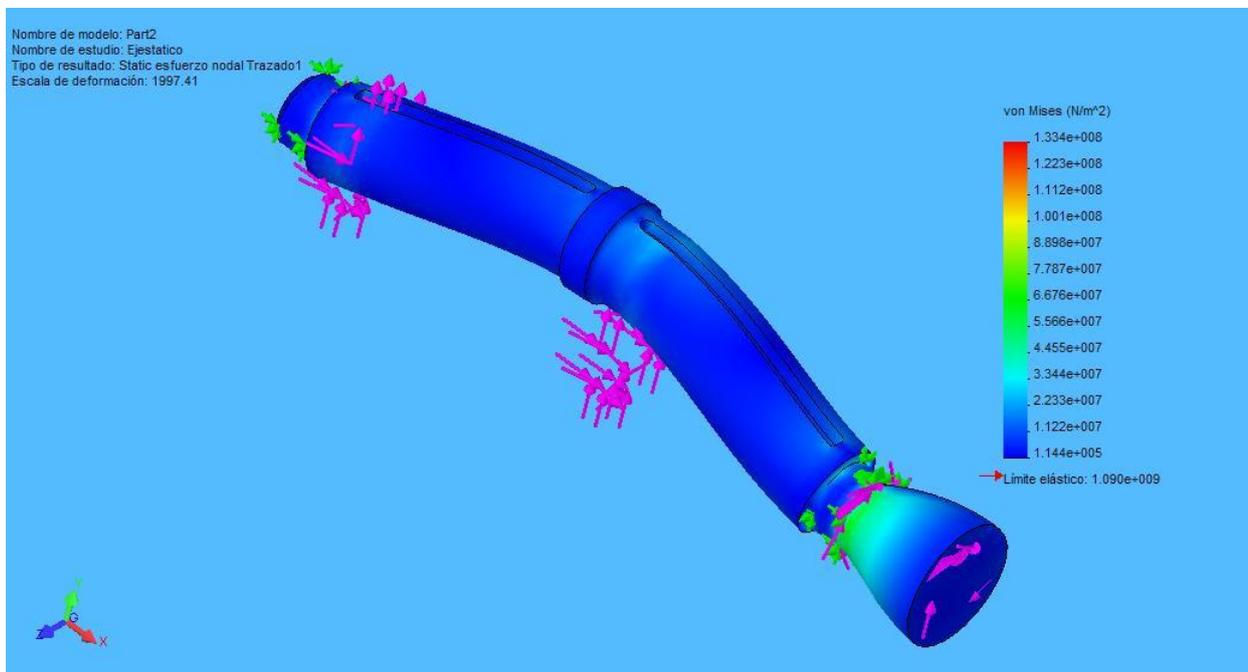
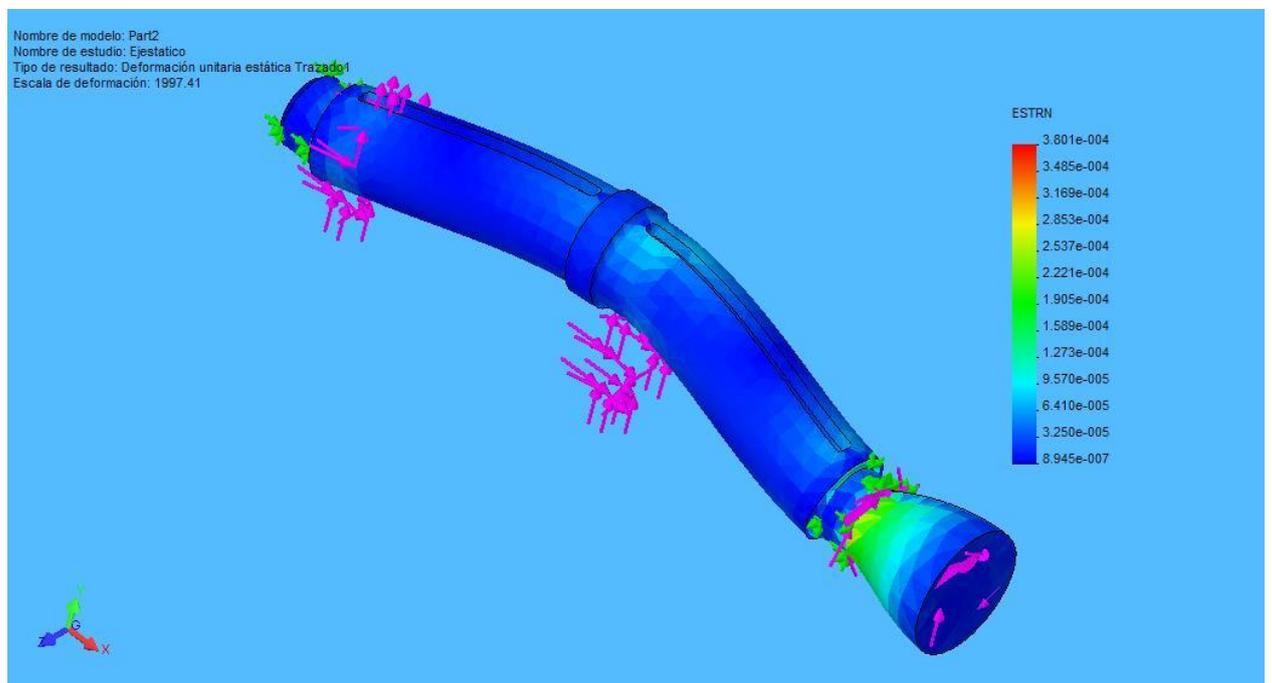


Figura 4.3.28

**Resultados de deformaciones unitarias:**

Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación	
Trazado1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	8.94471e-007	(854.375 mm,	0.000380123	(910.733 mm,	
		Elemento: 5144	-45.0254 mm,		Elemento: 4225	-3.96013 mm,
			59.2123 mm)			-12.588 mm)



**Figura 4.3.29**

**Resultados de desplazamientos:**

Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación	
Trazado1	URES: Desplazamientos resultantes	0 m	(868 mm,	5.3472e-005 m	(525 mm,	
		Nodo: 126	-93.3013 mm,		Nodo: 16702	-55.8452 mm,
			-25 mm)			-61.7238 mm)

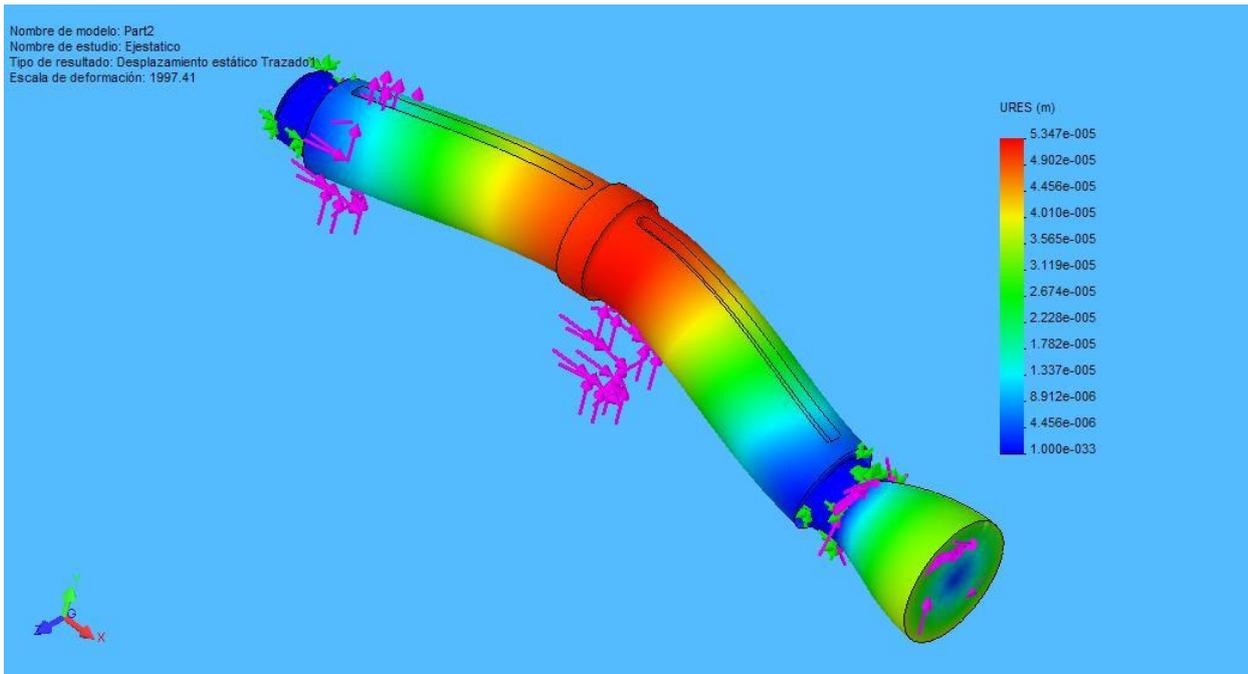


Figura 4.3.30

**Resultados de deformadas:**

Nº de trazado	Factor de escala
1	1997.4

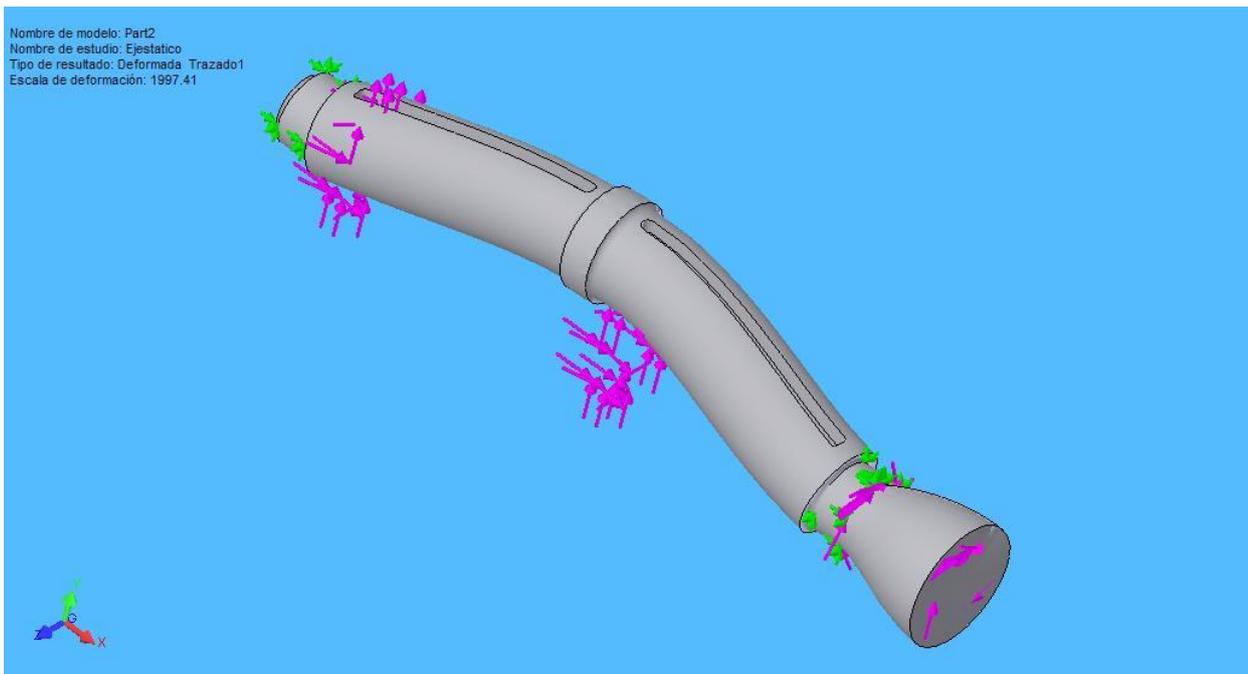


Figura 4.3.31

## Resultados de verificación de diseño:

La Verificación de diseño evalúa el factor de seguridad en cada nodo, según un criterio de fallos en este caso la teoría del esfuerzo cortante máximo. Al realizar el trazado de la distribución del factor de seguridad en todo el modelo. No se muestran zonas en donde el factor de seguridad sea inferior a 3, lo cual indica que el diseño realizado es seguro.

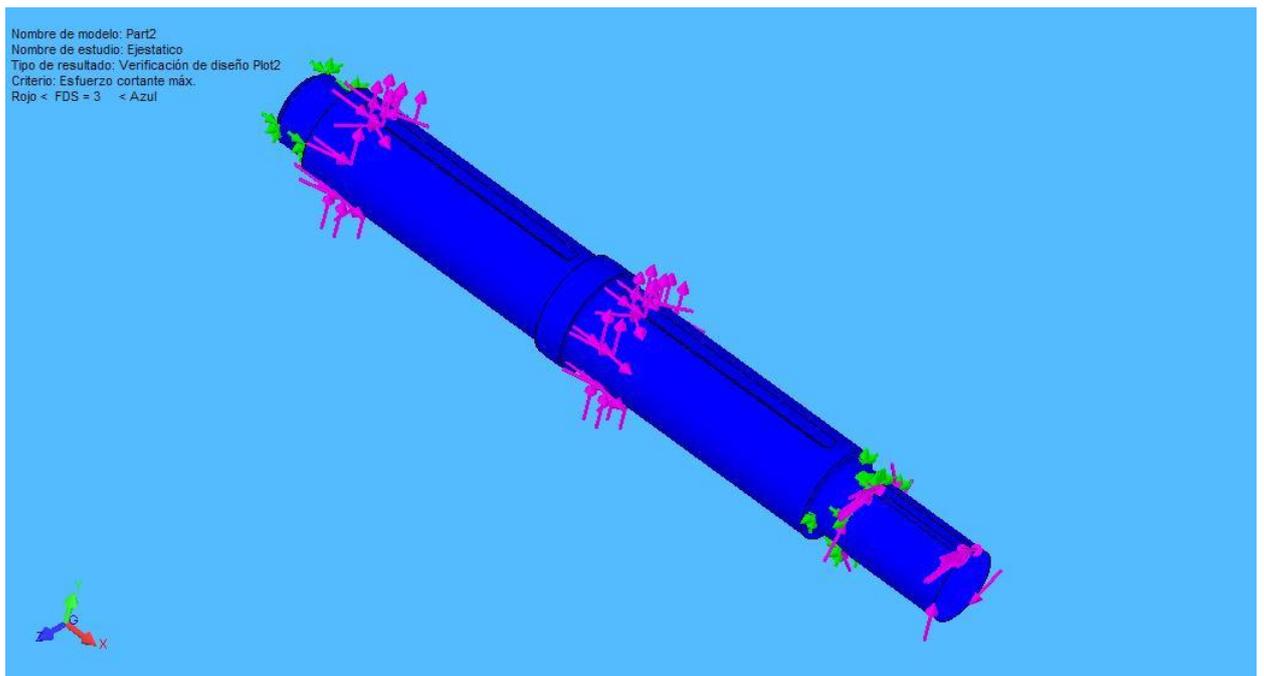


Figura 4.3.32

## Conclusión:

Lo resultados de la verificación de diseño muestran que el diseño es confiable ya que todos los sectores del elemento están bajo la distribución del factor de seguridad.

Además podemos ver en los resultados de esfuerzos que el material del elemento no supera el límite elástico.

## Apéndice:

Nombre de material:	AISI 4340
Descripción:	Acero T&R
Origen del material:	Introducir
Tipo de modelo del material:	Isotrópico elástico lineal

Nombre de propiedad	Valor	Unidades	Tipo de valor
Módulo elástico	2e+011	N/m <sup>2</sup>	Constante
Coefficiente de Poisson	0.29	NA	Constante
Módulo cortante	7.7e+010	N/m <sup>2</sup>	Constante
Densidad	7900	Kg./m <sup>3</sup>	Constante
Límite de tracción	1.18e+009	N/m <sup>2</sup>	Constante
Límite de compresión	0	N/m <sup>2</sup>	Constante
Límite elástico	1.09e+009	N/m <sup>2</sup>	Constante
Coefficiente de dilatación térmica	1.5e-005	/Kelvin	Constante
Conductividad térmica	47	W/(m.K)	Constante
Calor específico	420	J/(kg.K)	Constante

## Análisis de fatiga

Se observa que la carga y la descarga repetidas debilitan los objetos a lo largo del tiempo, incluso cuando las tensiones inducidas son considerablemente inferiores a los límites de tensión permitidos. Este fenómeno es conocido como fatiga. Cada ciclo de fluctuación de tensión debilita al objeto hasta cierto punto. Después de una cantidad de ciclos, el objeto está tan débil que falla. La fatiga es la causa fundamental de error en muchos objetos, especialmente en aquéllos hechos de

metal. Algunos ejemplos de error por fatiga son las maquinarias giratorias, los tornillos, las alas de los aviones, los productos de consumo, las plataformas flotantes, los buques, los ejes de los vehículos, los puentes y los huesos.

Los estudios estructurales lineales y no lineales no predicen fallos originados por la fatiga, sino que calculan la respuesta de un diseño sujeto a un entorno específico de restricciones y cargas. Si se consideran las suposiciones de análisis y las tensiones calculadas están dentro de los límites permitidos, los estudios concluyen que el diseño es seguro en este entorno independientemente de cuántas veces se aplique la carga.

Los resultados de las cargas estáticas se utilizan como base para definir un estudio de fatiga. El número de ciclos requeridos para la falla de fatiga que ocurrirán en una ubicación depende del material y de las fluctuaciones de tensión. Esta información, para un material en particular, es proporcionada por una curva denominada curva S-N.

### **Curvas S-N**

Una curva S-N de un material define los valores de tensión alternos frente a la cantidad de ciclos requerida para causar fallos en un factor de tensión dado. La figura muestra una curva S-N típica. El eje Y representa la tensión alterna (S) y el eje X representa la cantidad de ciclos (N). Una curva S-N se basa en un factor de tensión o en una tensión media. Puede definir curvas S-N múltiples con factores de tensión diferentes para un material.

Las curvas S-N se basan en el ciclo de vida medio de la fatiga o en una probabilidad de fallo determinada. La generación de una curva S-N para un material requiere muchas pruebas para modificar estadísticamente la tensión alterna, la tensión media (o factor de tensión) y contar la cantidad de ciclos.

Las pruebas para generar curvas S-N se realizan bajo un entorno de carga controlado. Comúnmente se utiliza la carga uní axial. Puede ser necesaria una corrección debido a que el entorno de carga real es generalmente multiaxial.

Curva S-N para el Acero AISI4340

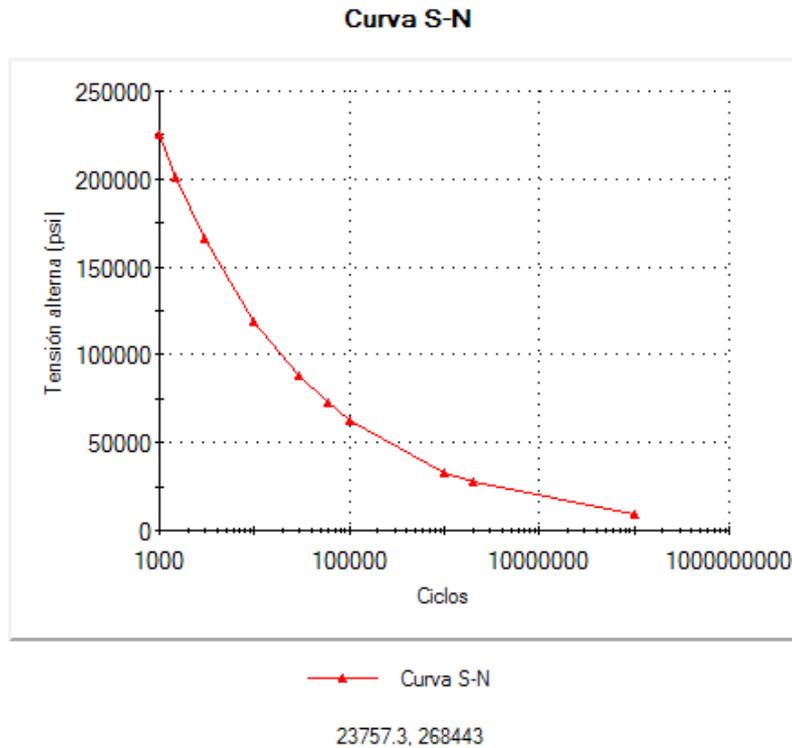


Figura 4.3.33

**Cargas:**

Sucesos			
Nombre	Nº de ciclos	Relación de carga( RC )	Estudio(s)
Suceso-1	1000	-1	Ejestatico

**Propiedad del estudio:**

Interacción entre sucesos	Aleatoria
Componente de esfuerzo para el cómputo de esfuerzos alternos	Tensiones equivalentes (de von Mises)
Interpolación de curva S-N	Semi-log
Factor de reducción de resistencia a la fatiga (Kf)	0.99
Cara de lámina	Superior

**Resultados:**

Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Plot1	Daño acumulado	1e-005 Nodo: 1	(433 mm, -50 mm, 62 mm)	9.16987e-005 Nodo: 14570	(911.075 mm, -0.765543 mm, -8.71598 mm)
Plot2	Vida total	1.09053e+007 ciclo Nodo: 14570	(911.075 mm, -0.765543 mm, -8.71598 mm)	1e+008 ciclo Nodo: 1	(433 mm, -50 mm, 62 mm)
Plot3	Trazado de indicador de biaxialidad	-1 Nodo: 12409	(1033.06 mm, -22.9422 mm, -26.9865 mm)	0.956082 Nodo: 9586	(867.39 mm, -35.0288 mm, 17.8776 mm)
Plot4	Factor de seguridad	11.5136 Nodo: 14570	(911.075 mm, -0.765543 mm, -8.71598 mm)	13425.2 Nodo: 13102	(687.5 mm, 10.9955 mm, 11.115 mm)

- ❖ **Trazado de daños.** Este trazado muestra el porcentaje de vida de la estructura consumido por los sucesos de fatiga definidos. Un factor de daño de 0.2 en una ubicación indica que los sucesos de fatiga consumen el 20% de la vida de la estructura.

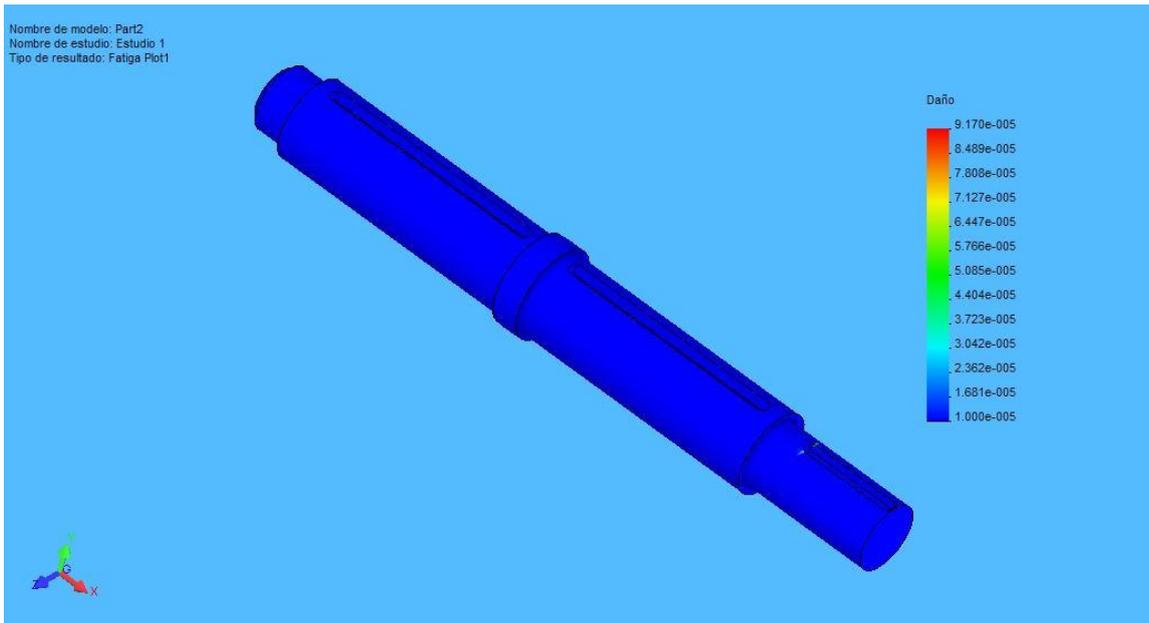


Figura 4.3.34

Los resultados del factor de daño indican que el suceso especificado consume cerca del 0.00917% de la vida del modelo.

- ❖ **Trazado de vida.** Muestra el número de ciclos que causan fallos de fatiga para cada ubicación. El trazado se basa en las curvas S-N y en la tensión alterna de cada ubicación.

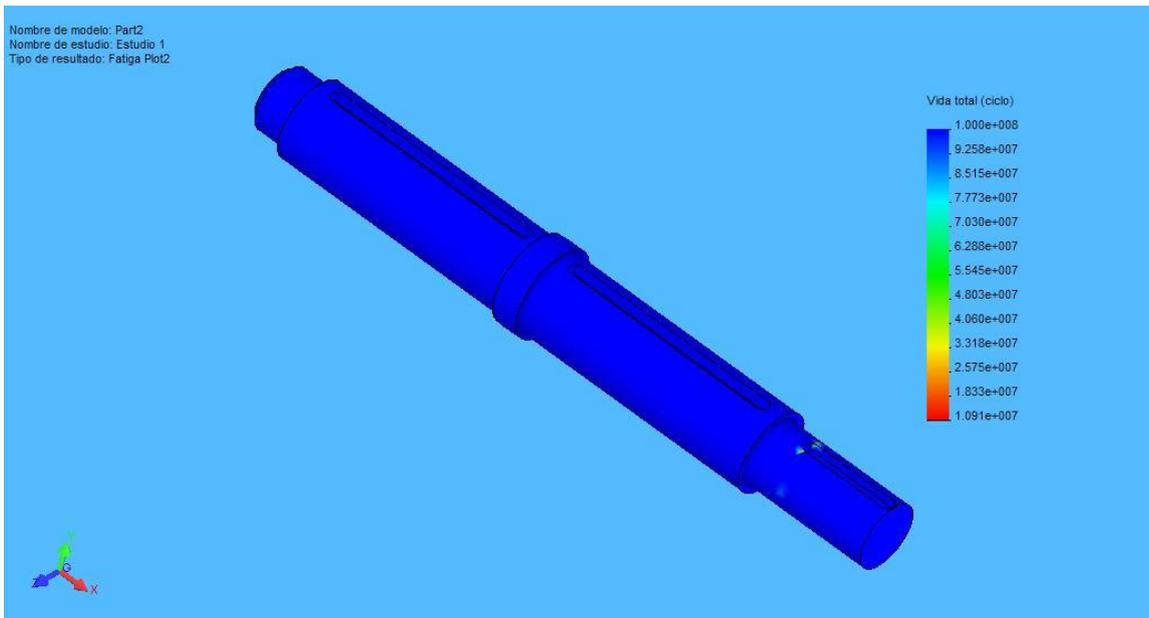


Figura 4.3.35

El trazado de vida muestra que el fallo provocado por la fatiga puede ser luego de 10910000 ciclos, aproximadamente.

- ❖ **Indicador de biaxialidad.** Efectúa el trazado de la relación de la tensión alterna principal menor (ignorando la tensión principal alterna más cercana a cero) dividida por la tensión principal alterna mayor. Un valor de  $-1.0$  indica estado cortante puro.

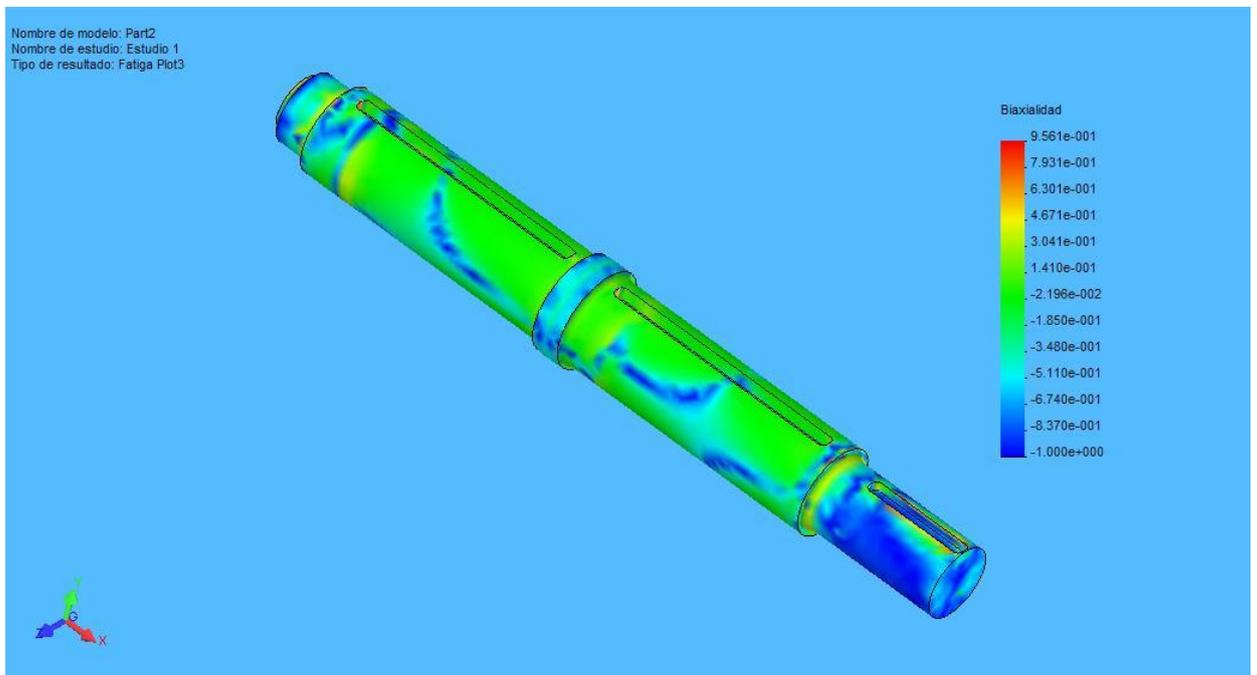
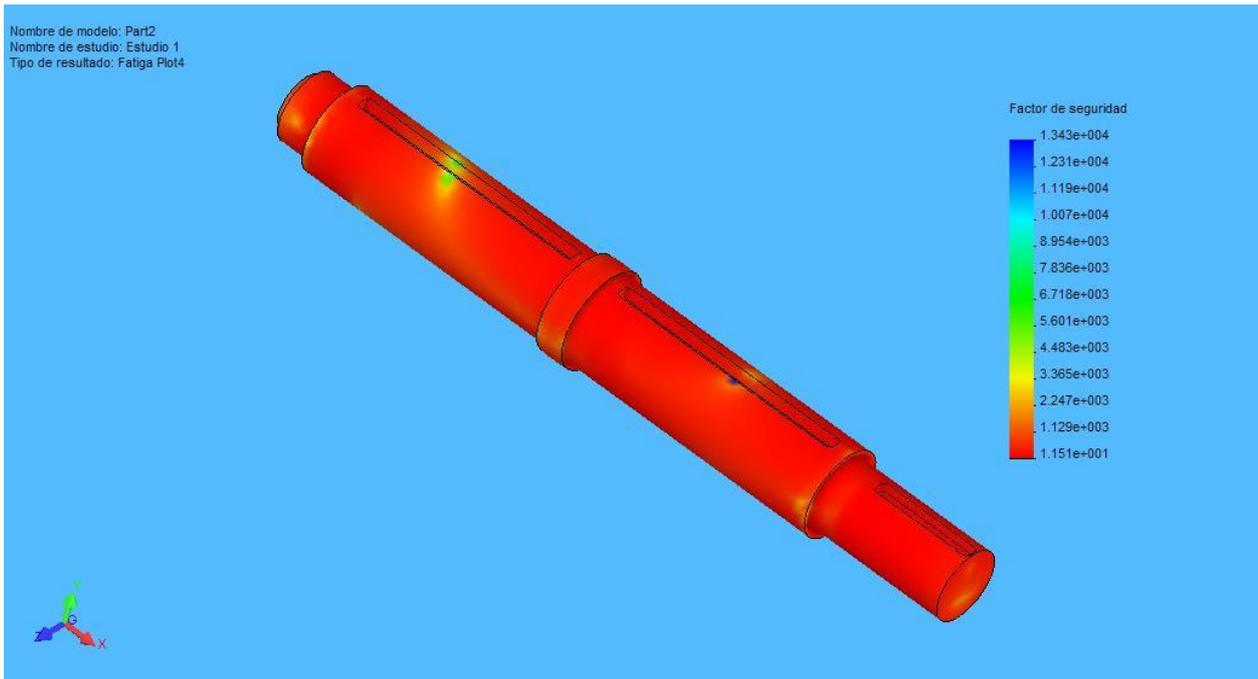


Figura 4.3.36

Este trazado puede ayudar a determinar un factor de reducción de resistencia a la fatiga para el estudio.

- ❖ **Trazado de factor de seguridad.** Muestra el factor de carga de seguridad para los fallos de fatiga en cada ubicación.



**Figura 4.3.36**

Un factor de carga de seguridad de 11.5 en la ubicación indica que el suceso de fatiga definido ocasionará un fallo de fatiga en esta ubicación si se multiplican por 11.5 todas las cargas definidas para el estudio estático.

## **4.4 Diseño del sistema de control**

### **4.4.1 Programa y lenguaje para la programación del PLC**

Se va a utilizar un PLC de marca ARRAY de 12 entradas y 8 salidas que funciona con 110 voltios AC el mismo que se muestra a continuación:



**Figura 4.4.1**

Este PLC viene con el programa QuickII que es un programador para la computadora, o se lo puede programar con el módulo de interfase.

Para nuestro caso se utilizó el programa y el cable para transferir la programación hacia el PLC.

El programa QuickII es muy sencillo de manejar ya que es amigable y su programación es fácil de realizar; al decir que es compleja nos referimos al tipo de programación utiliza lenguaje de bloques, ya que por el tipo de entradas todas digitales resultaría más sencillo programar con lenguaje estructurado.

La siguiente es la pantalla principal del programa QuickII:

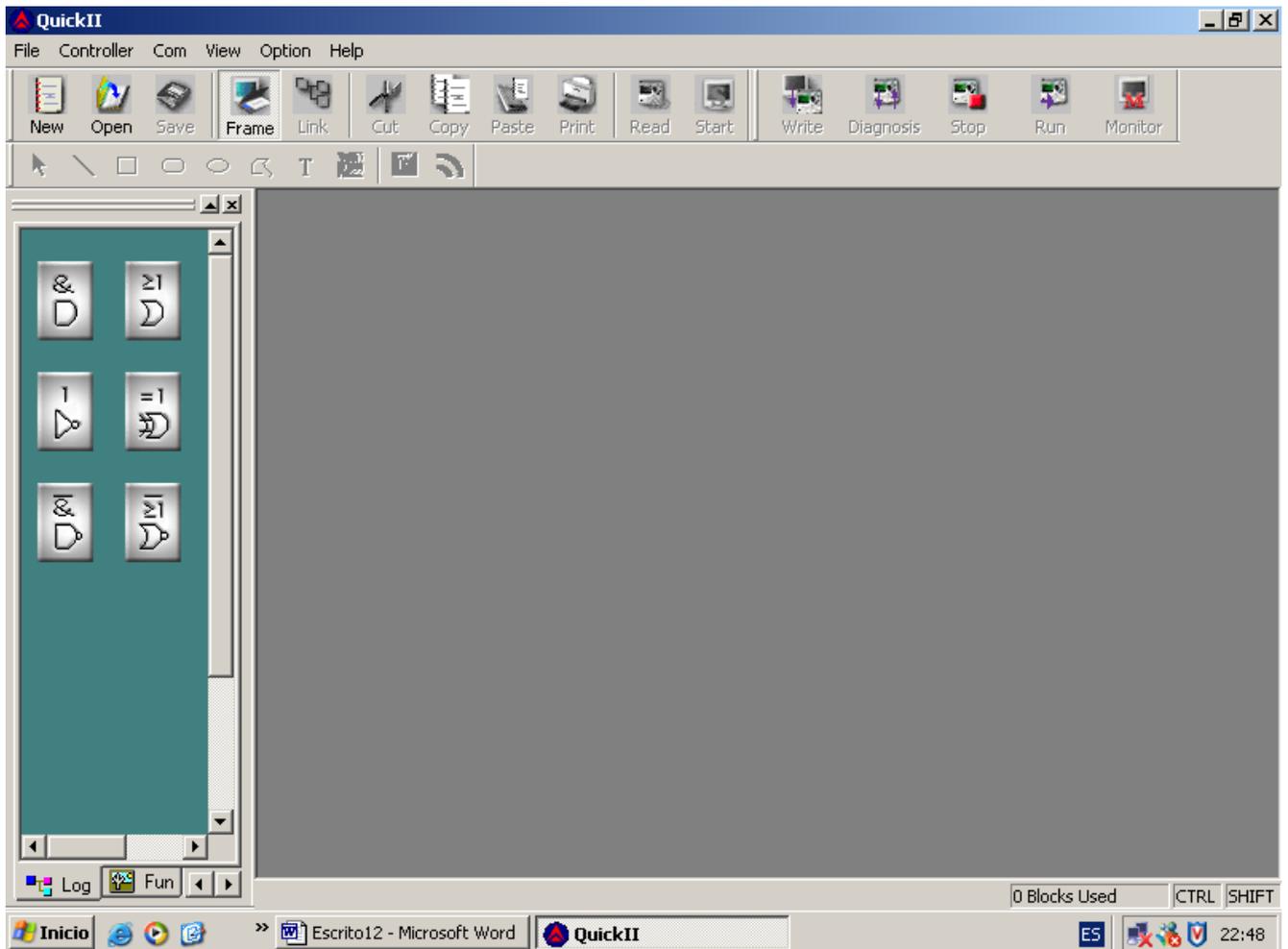


Figura 4.4.2

## 4.4.2 Programación del PLC

Cada una de las entradas de 110V que tiene el PLC recibió una asignación o es la encargada de uno de los elementos que forman parte del sistema de control.

Para las entradas tenemos:

- I1: Control remoto o pulsador segundo piso
- I2: Control remoto o pulsador primer piso
- I3: Control remoto o pulsador tercer piso
- I4: Sensor de fin de carrera ubicado en la parte inferior del sistema para detener al momento que baja para guardarse el sistema.
- I5: Sensor de fin de carrera ubicado estratégicamente a continuación del I4 para

la detención del sistema cuando sube el segundo piso.

I6: Sensor de fin de carrera ubicado estratégicamente a continuación del I5 para la detención del sistema cuando sube el tercer piso.

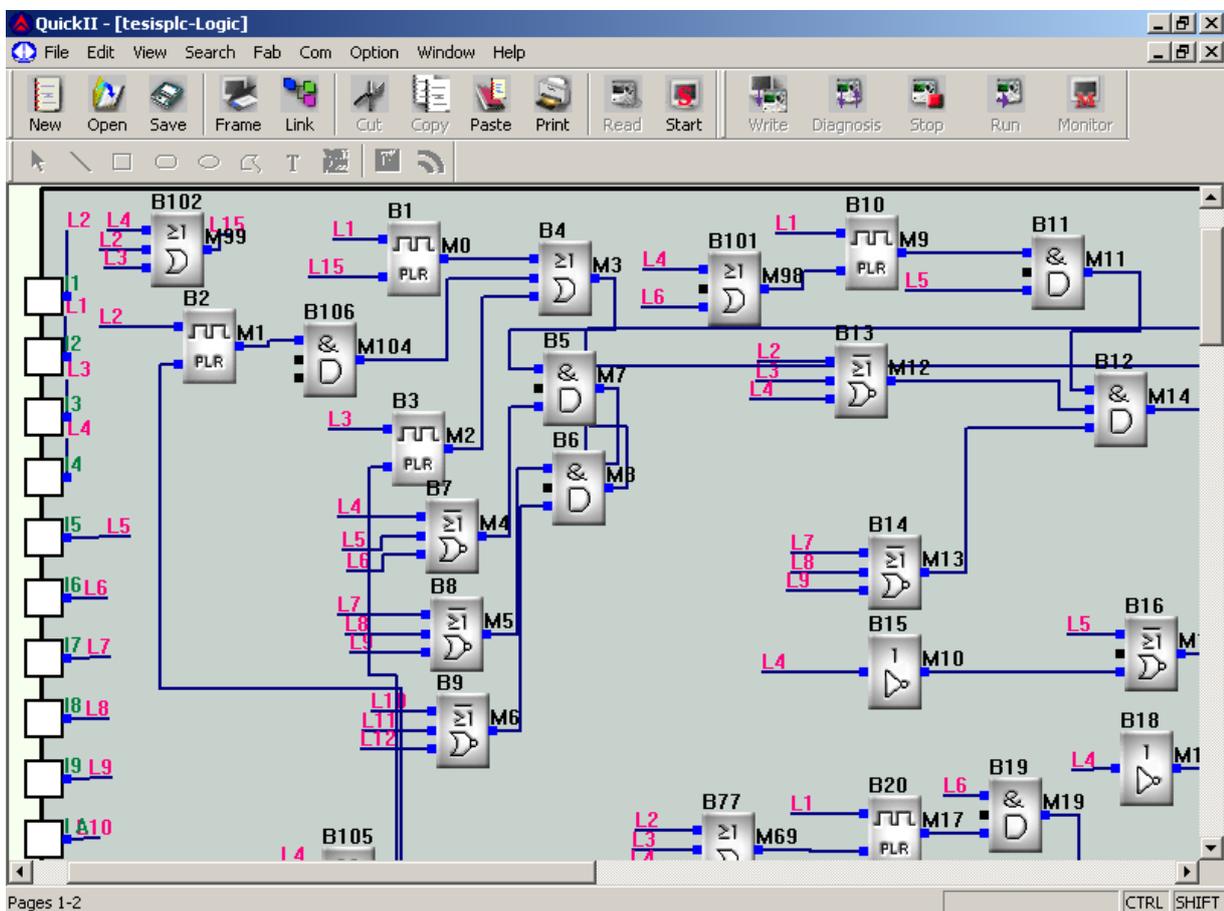
I7, I8, I9: Sensores foto-eléctricos del segundo piso, que no permitirán que baje el sistema si uno de ellos se encuentra activado.

IA, IB, IC: Sensores foto-eléctricos del tercer piso, que no permitirán que baje el sistema si uno de ellos se encuentra activado.

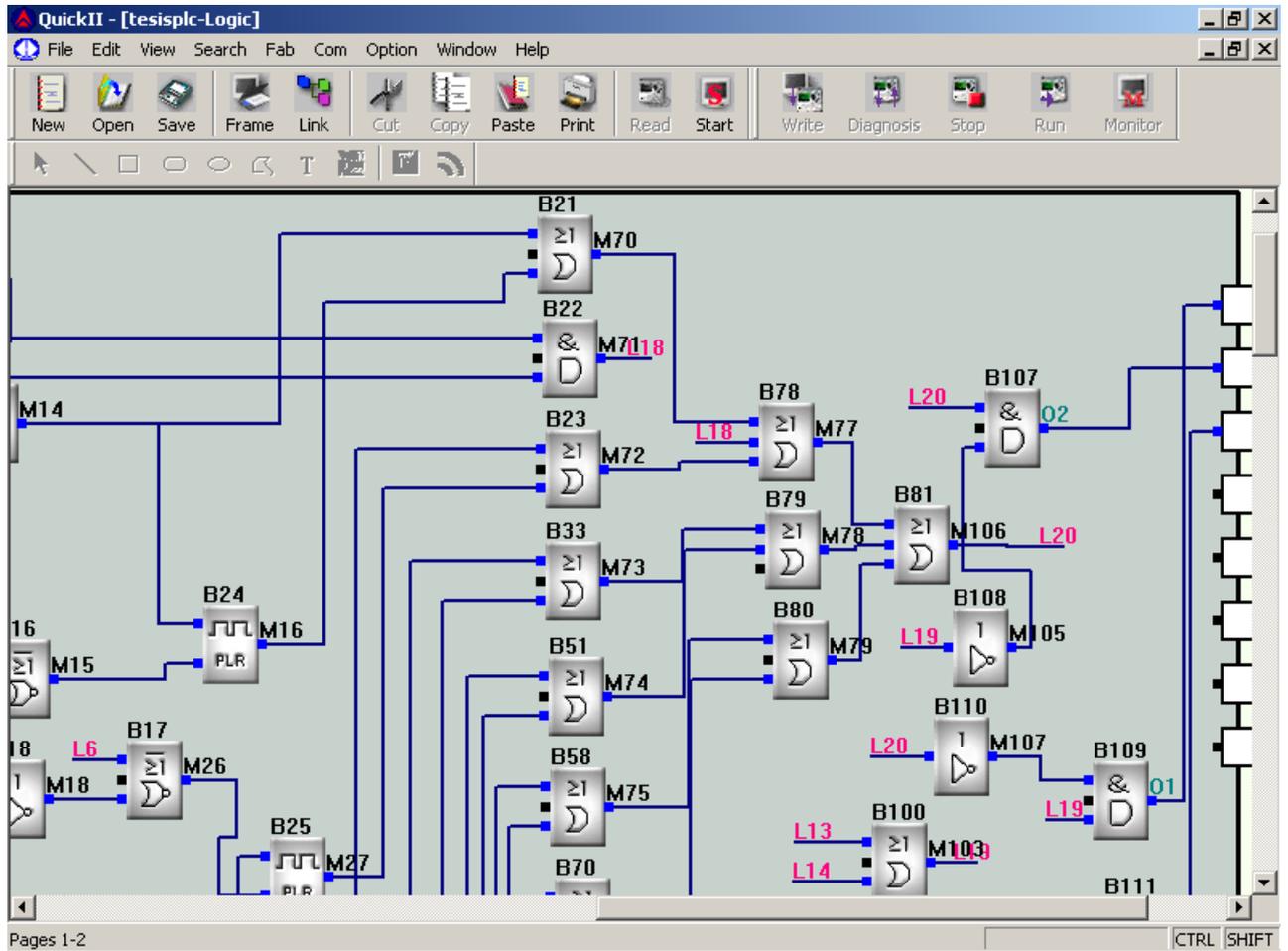
El PLC tiene programada varias funciones las mismas que son:

- ❖ En un caso fortuito que se quede el sistema parado en medio de un piso por causa de falla eléctrica y que el PLC no lo pueda reconocer, al pulsar el control remoto de cualquiera de los pisos el sistema bajará hasta que el primer piso quede a ras de suelo.
- ❖ Si el sistema está operando correctamente y se encuentra completamente abajo, con los controles o pulsadores de los pisos dos y tres, el sistema sube hasta el piso correspondiente y se detiene; si el usuario desea detener al sistema mientras sube, solo tiene que volver a pulsar su control y para que vuelva a subir solo tiene que pulsar nuevamente su control.
- ❖ En caso que uno de los usuarios que utiliza uno de los pisos bajos, hizo subir el sistema pero no lo hizo bajar, cualquiera de los otros usuarios con su control lo puede bajar hasta el piso más bajo.
- ❖ Si uno de los usuarios subió el sistema e ingresó su vehículo, pero dejó una puerta abierta e intenta posteriormente bajar, el programa no lo permite gracias a los sensores foto-eléctricos; esto también sucede con el caso anterior, con la diferencia que si el otro usuario pulsa su control, el sistema no bajará hasta que el sensor que está activo se desactive y solo entonces procederá a bajar.
- ❖ En caso de una falla con los sensores de fin de carrera o de los controles, se encenderá una luz y el sistema no funcionará.

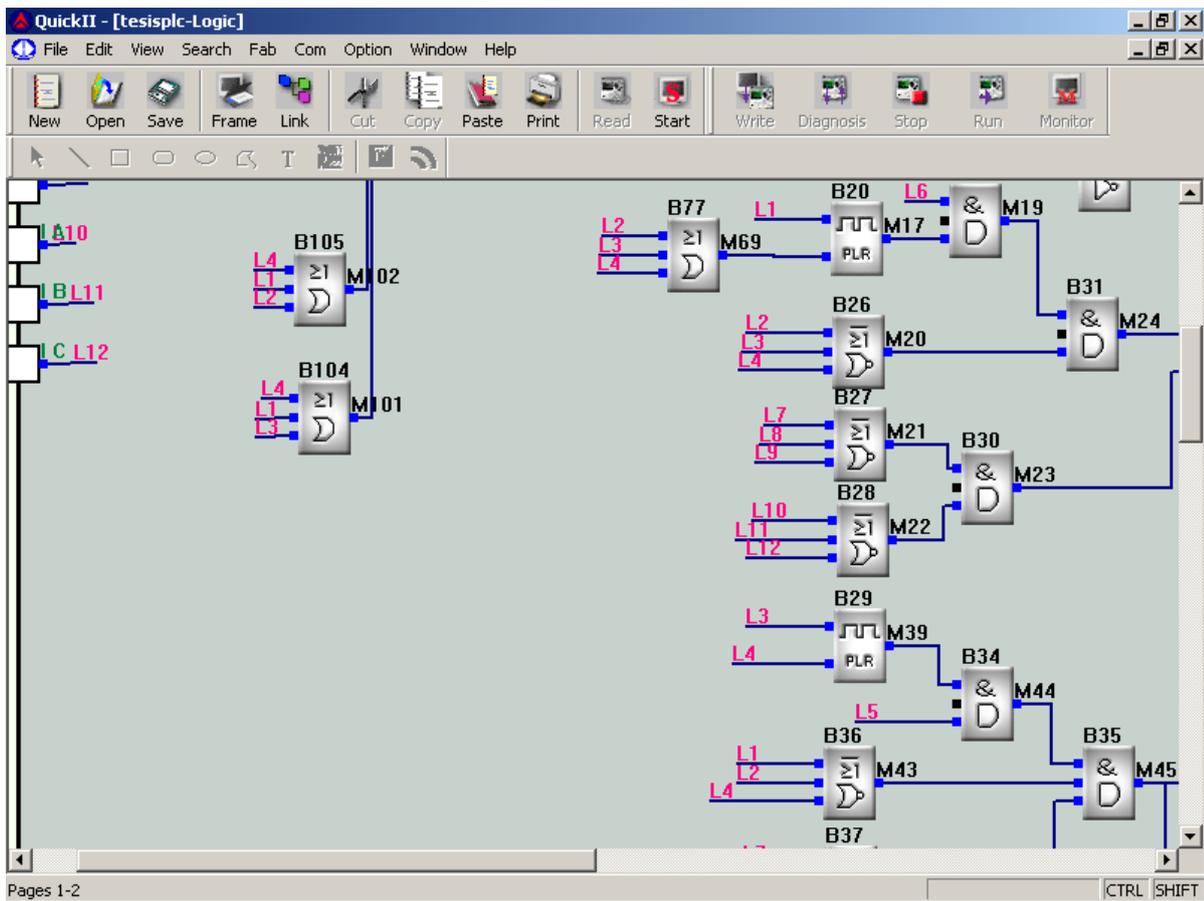
Una vez que se conoce que es lo que debe controlar el PLC, procedemos a mostrar el programa por partes ya que a causa del lenguaje es muy grande; las pantallas mostradas a continuación van a estar ubicadas como se indicará bajo cada una de ellas.



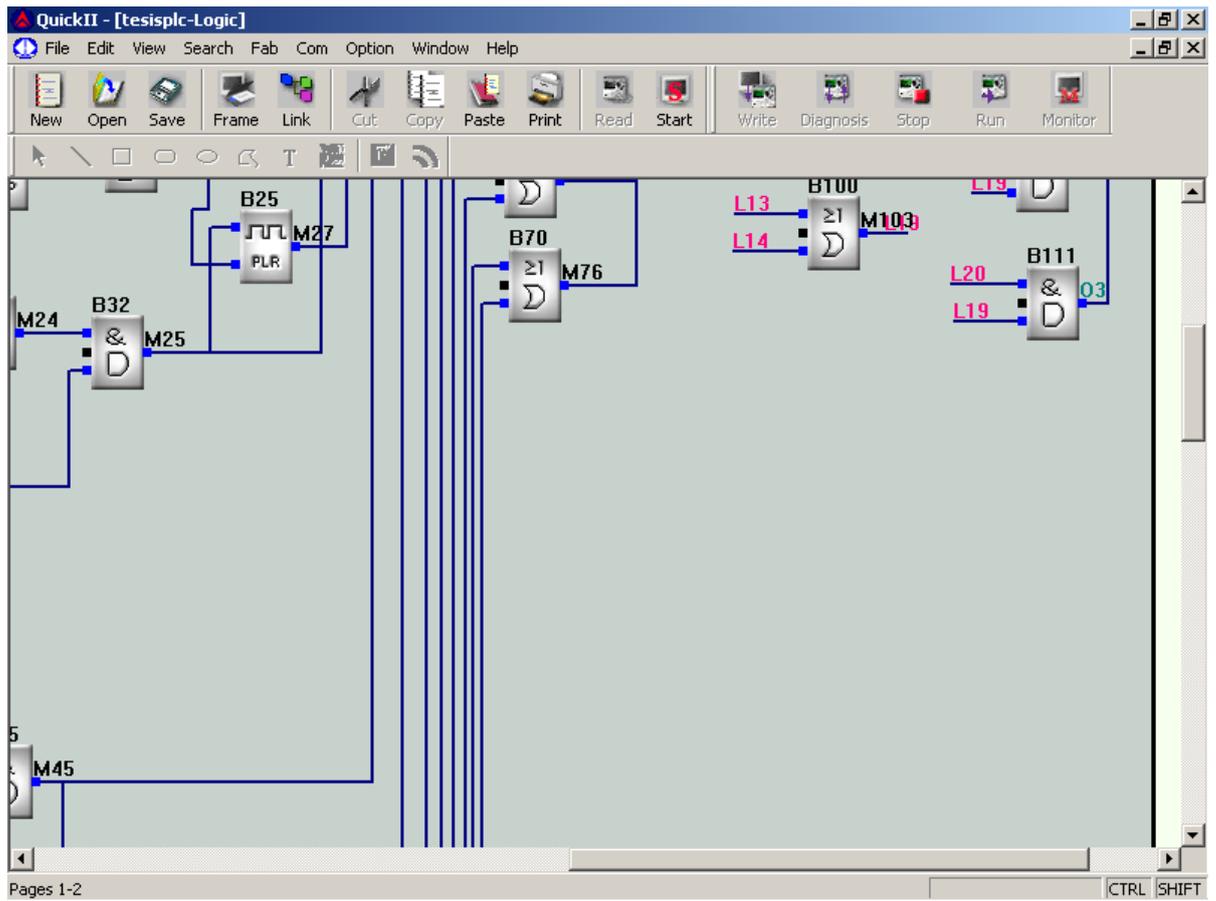
1 izquierda



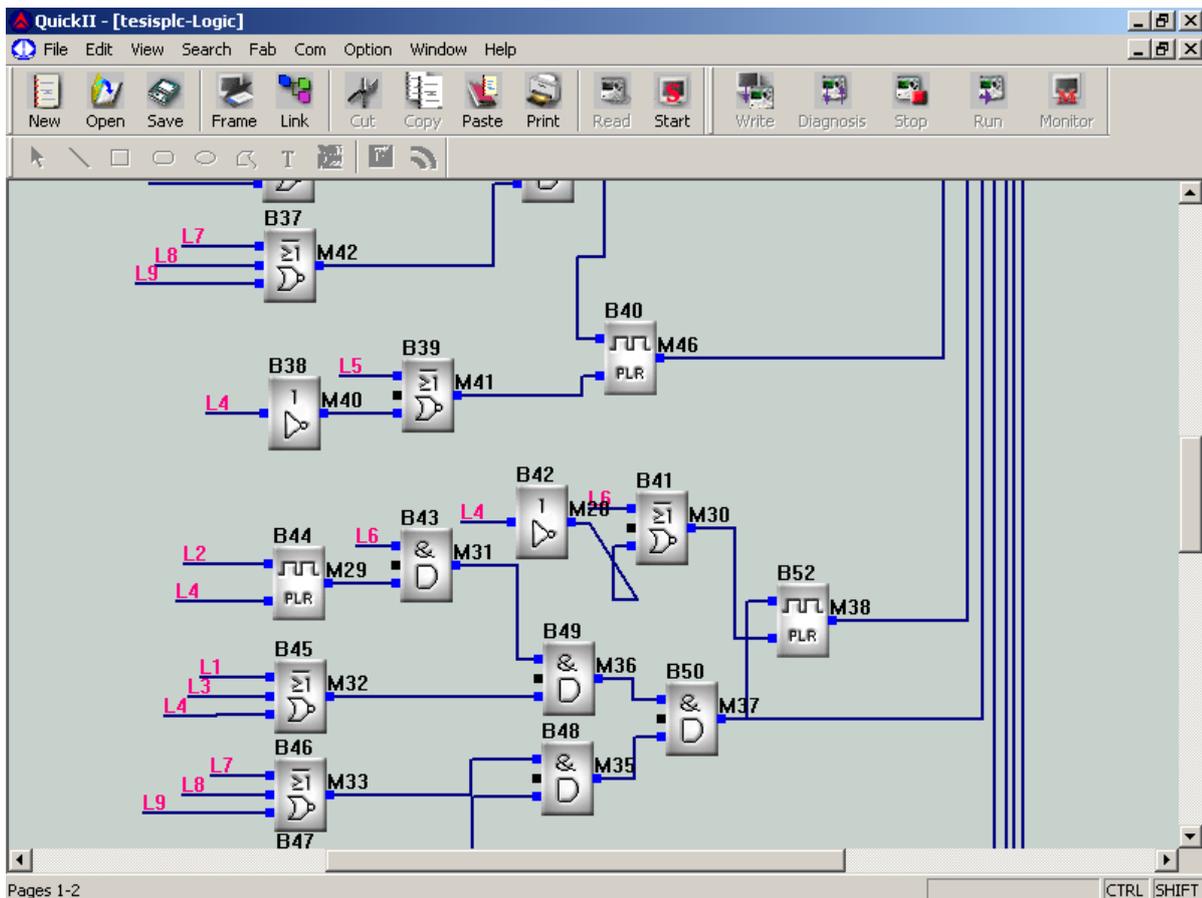
1 Derecha



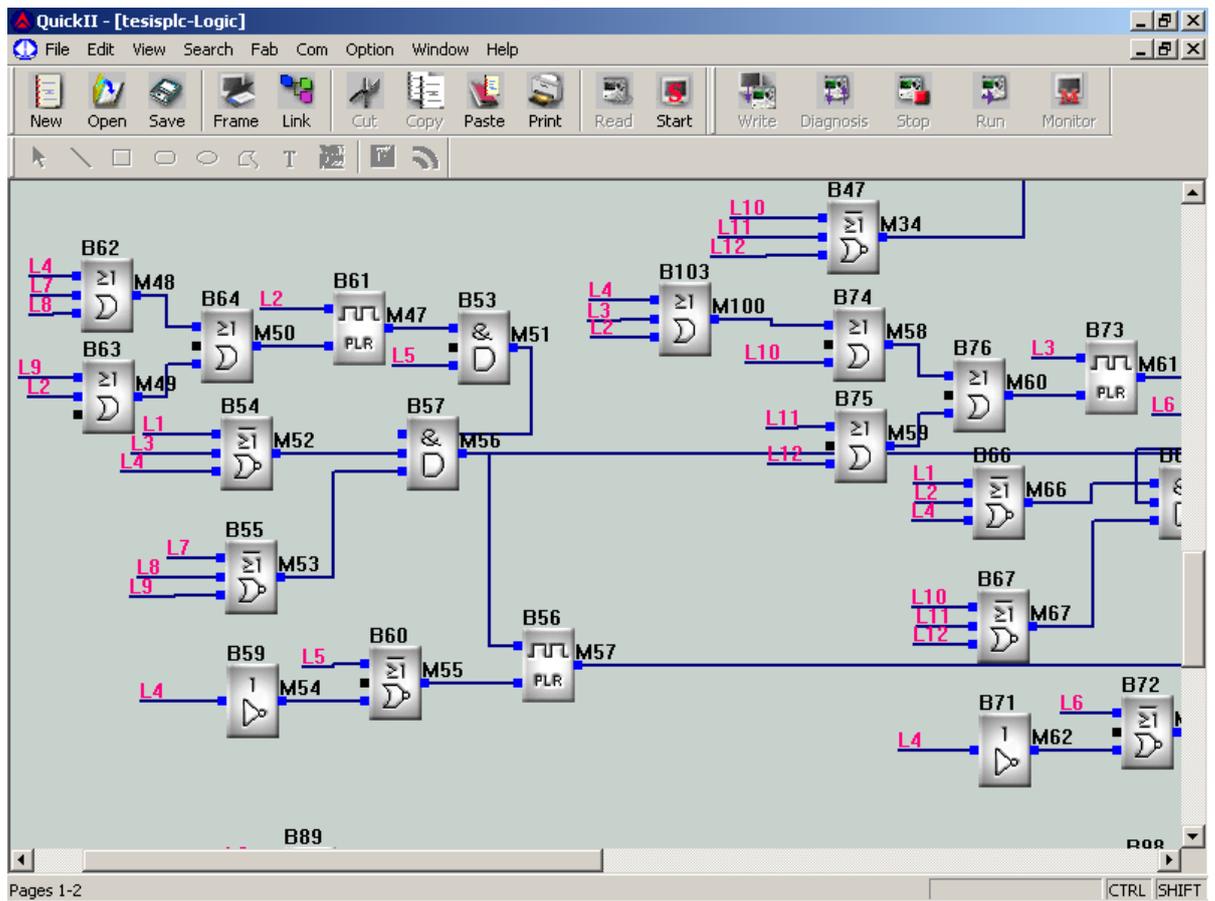
2 Izquierda



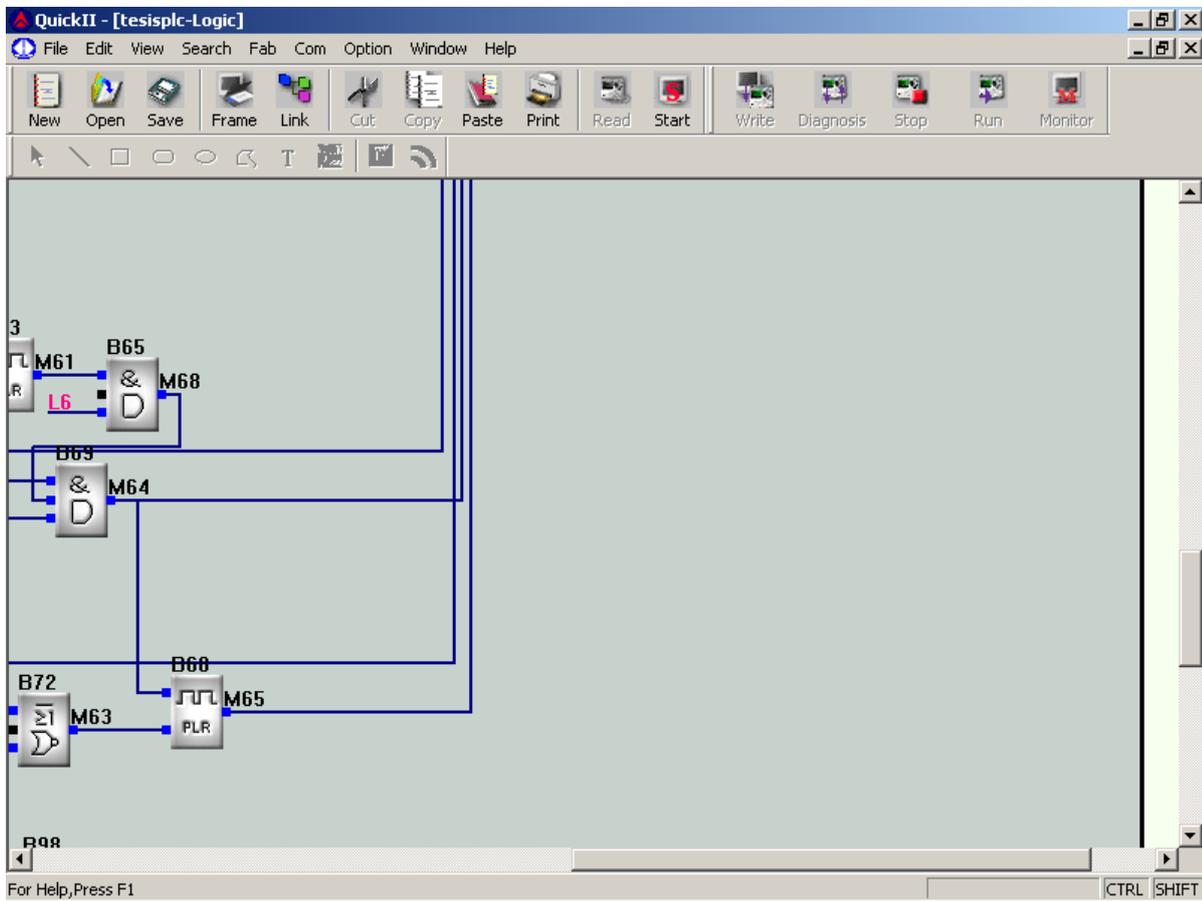
2 Derecha



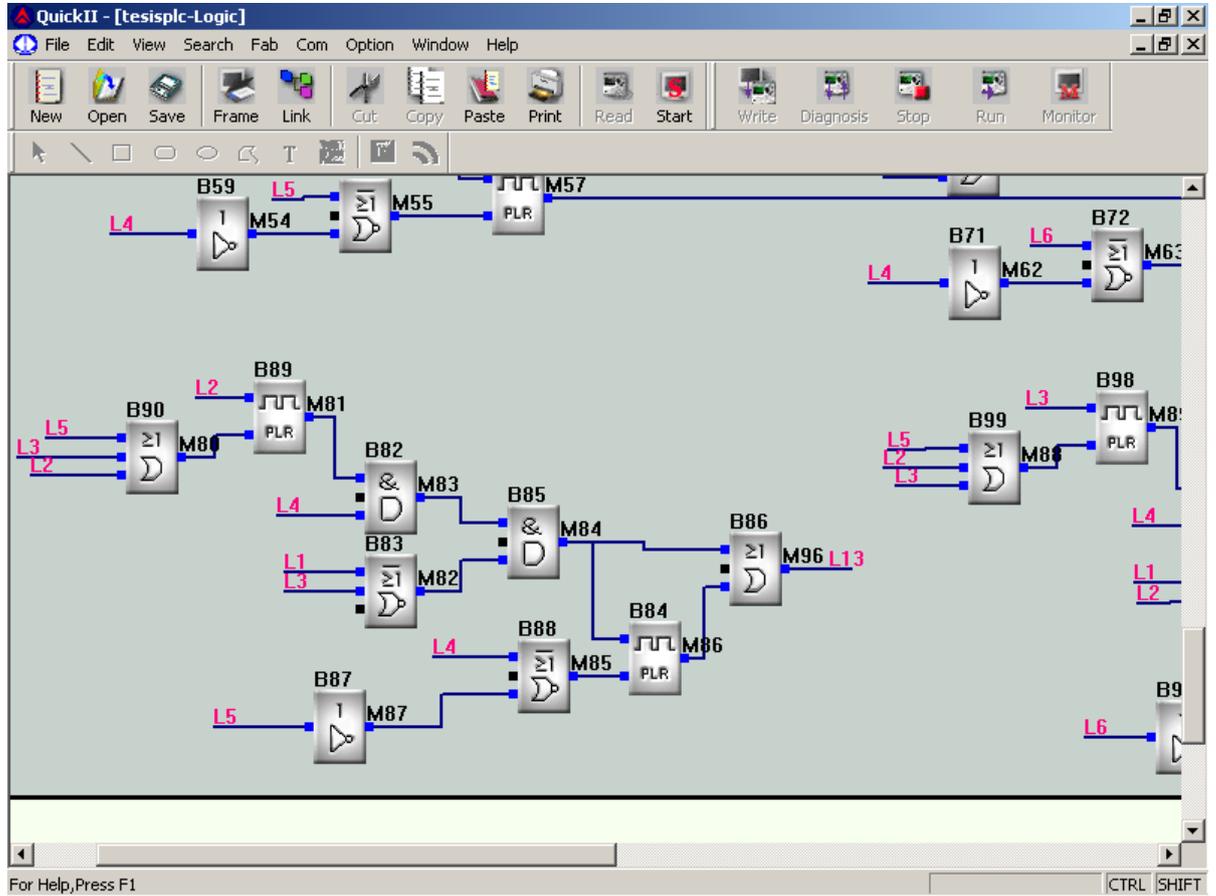
3 bajo la anterior al centro



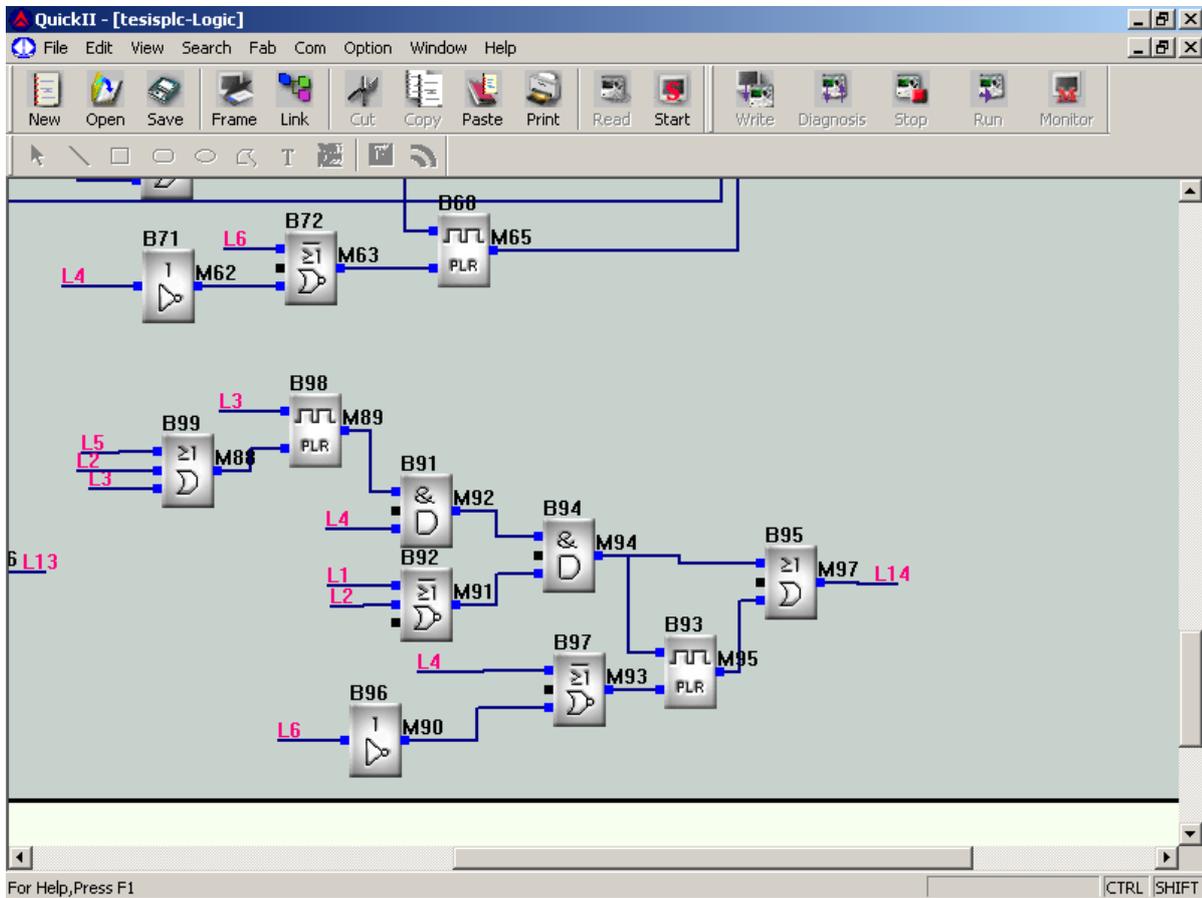
4 Izquierda



4 Derecha



5 Izquierda



5 Derecha.

Este programa es cargado al PLC por medio de un cable que se conecta al PLC y al computador por una de los puertos de salida.

#### 4.4.3 Disposición de elementos de control y actuadores

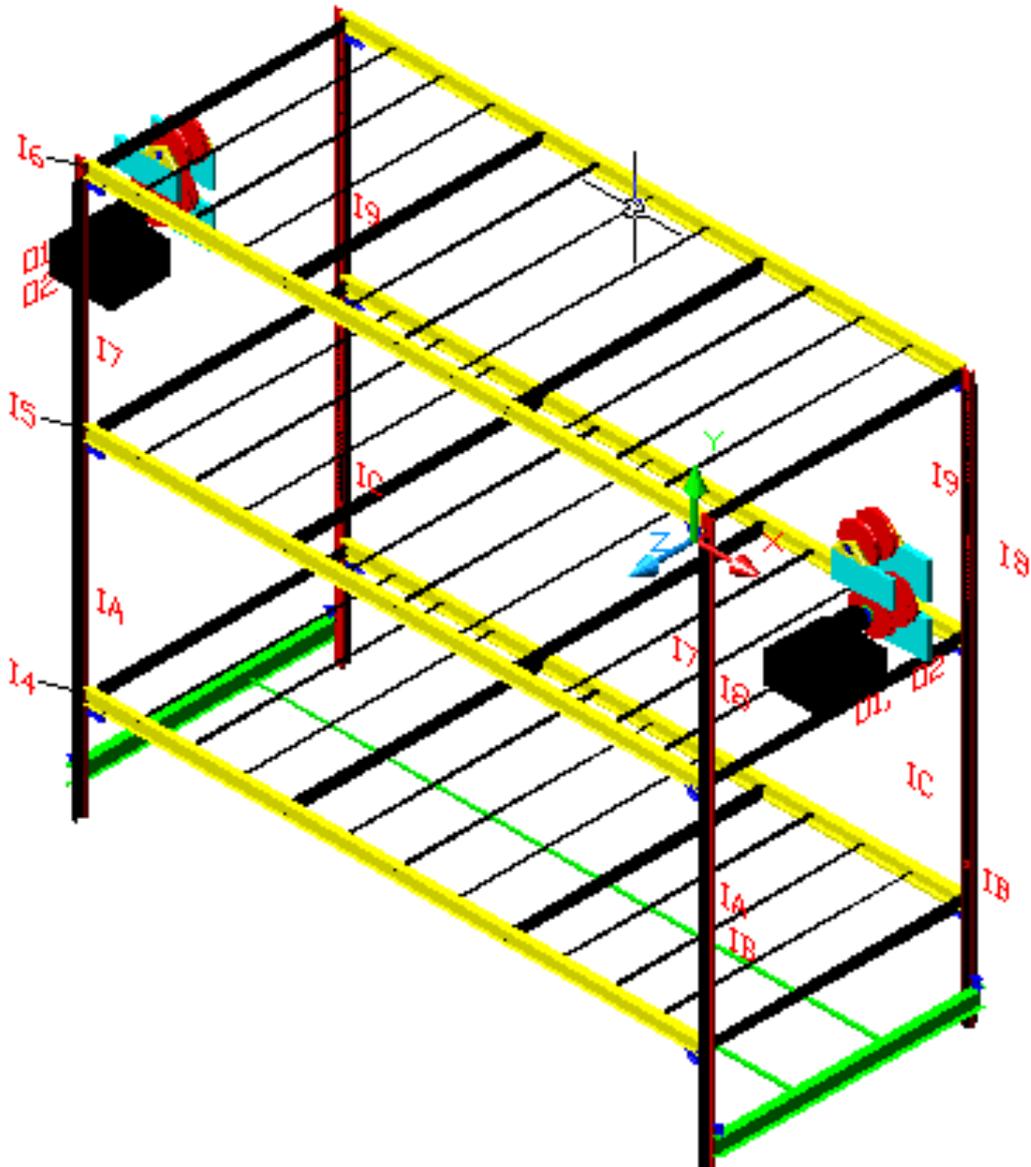


Figura 4.4.3

Como se puede ver en la Figura 4.4.3 todas las entradas que van montadas en la estructura están marcadas con la letra I; así tenemos que I7, I8, I9, IA, IB, IC son los sensores foto-eléctricos (S4-9) que están montados en las posiciones que se indican, se observa que están marcados dos veces uno frente del otro, esto es porque estos sensores constan de dos partes un emisor y un receptor como se puede apreciar en la Figura 3.4.1; estos están montados a 700mm desde la base de cada piso. Estos sensores tienen la finalidad de detectar si algo se atraviesa

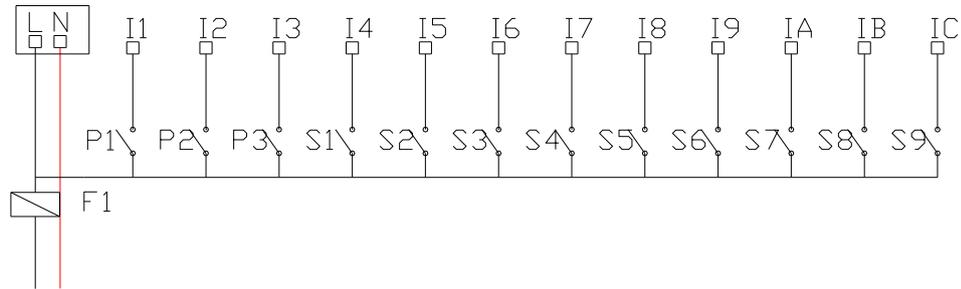
en su haz de luz como puede ser una persona, una puerta, etc. con la finalidad de que el sistema no pueda moverse y causar algún tipo de daño.

En la Figura 4.4.3 también se pueden apreciar las entradas I4, I5, I6 que son sensores de fin de carrera (S1-3) con los cuales se controla cuando debe detenerse el sistema dependiendo de las otras entradas que no se indican en la figura ya que son los controles remotos o los pulsadores (P1-3); estas entradas son I1, I2, I3. Además se puede ver al lado de los motores las salidas señaladas con Q, que son Q1, Q2 las cuales son conectadas al arrancador suave para indicarle cuando debe subir y cuando debe bajar el sistema; se utiliza además una tercera salida que no se indica que sirve para que se encienda una luz que indicaría una posible falla del sistema o una detención del mismo por parte de uno de los usuarios.

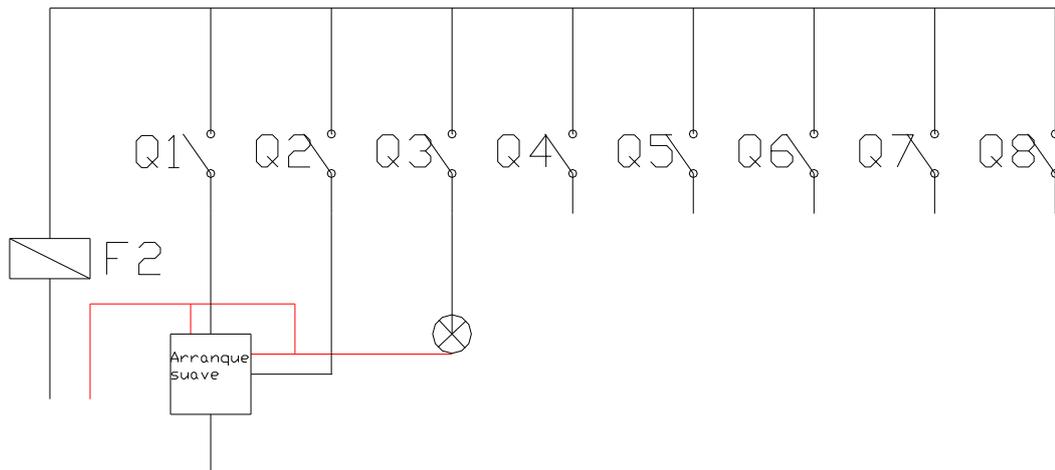
#### **4.4.4 Conexión de las entradas y salidas en el PLC**

Como punto de partida vale la pena recalcar que todos los sensores funcionan como un contacto normalmente abierto y mandan una señal de tipo digital.

Para la alimentación de corriente del PLC se debe verificar cual es la entrada de corriente o fase y cual es el neutro; una vez que se tiene verificado esto, se puede hacer una sola regleta de conexión de la fase para cada uno de los sensores y controles o pulsadores que tenemos, colocando un fusible antes de dicha regleta, con lo cual las conexiones quedaría de la siguiente manera:

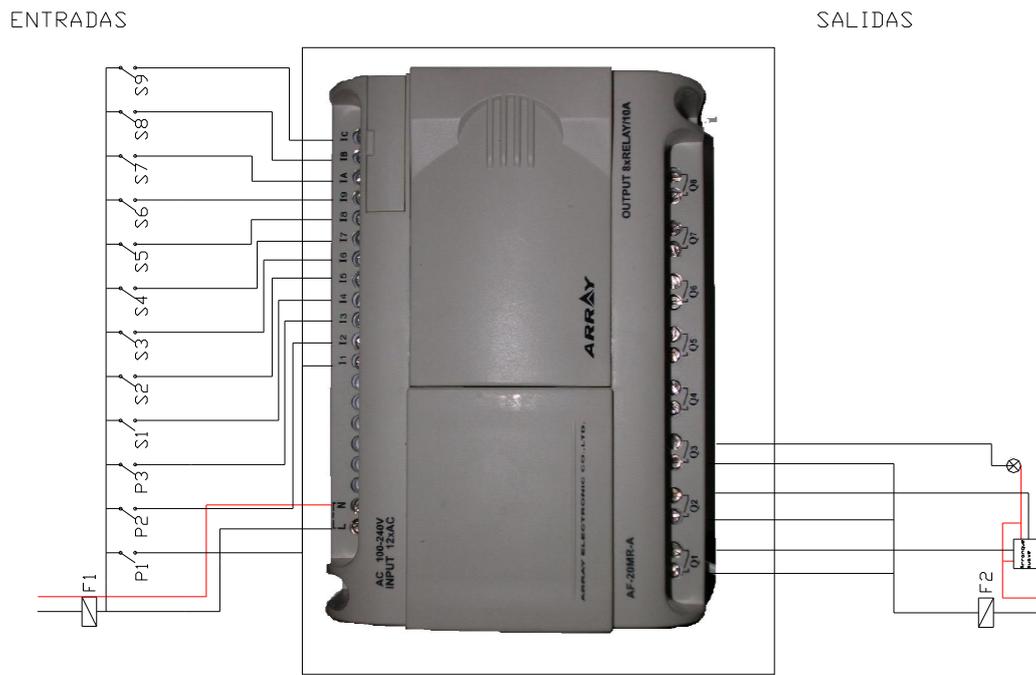


Esto en cuanto a las entradas; las salidas del PLC son del tipo rele, por lo cual la conexión es muy similar y tenemos:



Se utiliza un fusible, antes de la entrada de la fase que va a pasar por el PLC que hará las veces de los relees, para posteriormente conectarse al arranque suave que hará que gire dependiendo de cual salida envié la señal en un sentido o en el otro, y en caso que la salida que se prenda sea la Q3 se encenderá una luz.

La siguiente figura muestra como es la conexión al PLC.



**Figura 4.4.4**

En la instalación de las salidas además del arranque suave se debe poner un guarda-motor y los respectivos fusibles.

# Capítulo 5: Diseño y construcción del modelo a escala

## 5.1 Diseño

Se decidió que la mejor escala a la que se podía construir el modelo era 1:10 ya que es un tamaño que nos permitiría observar con claridad como sería el sistema en la realidad.

Como es sabido sería muy complicado hacer un modelo a escala que conserve también la misma relación con el peso ya que los materiales con los que se trabaja son muy diferentes; por esta razón este factor no es tomado en cuenta.

Para el modelo a escala es necesario diseñar los ejes que soportarán a la estructura a escala, el cálculo del motor, su velocidad, el carrete, poleas, cable y la fosa.

Lo primero que se hizo fue el construir la estructura a escala que se explicará en el capítulo de construcción del modelo; el motivo por el cual se inició con dicha construcción es para saber cual es su peso para proceder a diseñar con este dato los posteriores elementos. El peso de la estructura es de 22Kg y se trabaja con un peso de 40Kg, esto se hace para simular el peso de los vehículos.

### 5.1.1 Estructura

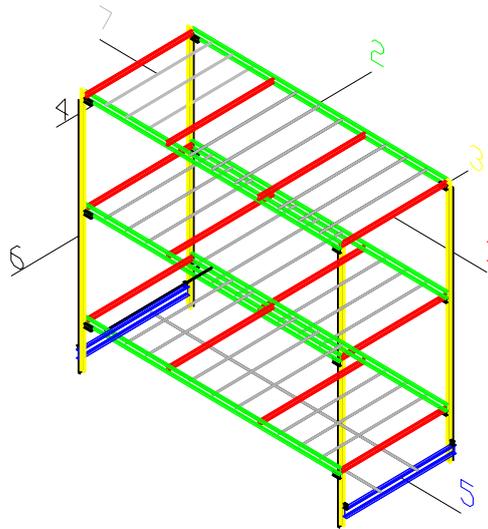


Figura 5.1.1

- 1 Viga longitudinal de 300mm
- 2 Viga transversal de 700mm
- 3 Columna móvil
- 4 Elemento soportante conjunto Vigas columna
- 5 Viga soportante para subir
- 6 Columna fija 700mm

Para la construcción del modelo se utilizó perfiles tipo "T" utilizado para carpintería metálica, para unirlos de dos en dos con el fin de simular la apariencia de un perfil IPE; con este fin para que no todos sean iguales las uniones tienen diferentes espaciados entre los patines de los dos perfiles T.

Se puede apreciar por ejemplo la diferencia que existe entre los que serían los perfiles IPE100 y los IPE160, que se los puede distinguir por su tamaño.

### 5.1.2 Cables y poleas

Para este diseño tomamos las mismas consideraciones que las que tomamos para el modelo real y es por ello que tenemos los siguientes cálculos:

La alternativa que se tomó para proporcionar la elevación de la estructura es mediante el uso de cables, poleas y dos motores dispuestos tanto en la parte delantera como trasera de la fosa.

Para la selección del cable y las poleas tenemos:

Según el Prontuario de Máquinas y Herramientas estamos trabajando dentro del grupo III lo cual nos da:

$F_{sr} := 9$                       Coeficiente de seguridad a la rotura de los cables

$k := 0.38$                       Coeficiente

Tenemos un peso de trabajo de 40Kg que viene dado de lo explicado anteriormente.

$P_{tra} := 40$                       Kg

$P_{tra} := \frac{P_{tra}}{4}$                        $P_{tra} = 10$                       Kg

$T := P_{tra} \cdot F_{sr}$                        $T = 90$                       Kg

$d := k \cdot \sqrt{P_{tra}}$                        $d = 1.202$                       mm

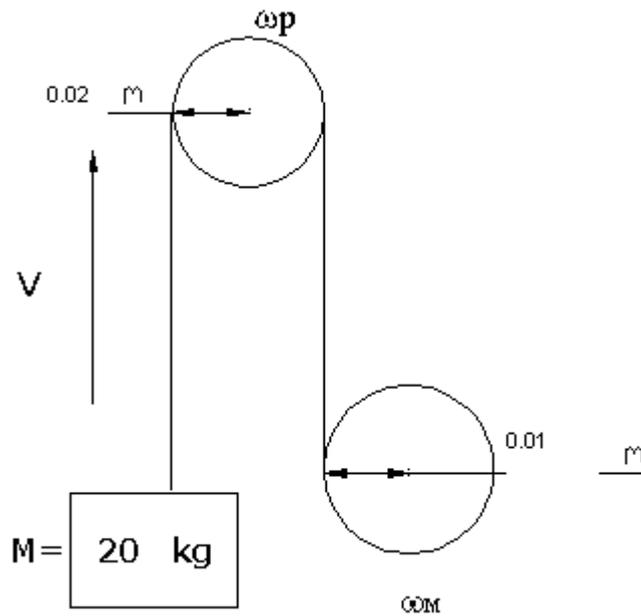
En el mercado se cuenta con el cable de 2mm de diámetro que son los utilizados para las bicicletas.

Se procede a ver la polea que se necesita:

$D := F_{sr} \cdot \sqrt{P_{tra}}$                        $D = 28.46$                       mm

Procedemos a construir una polea de 40mm de diámetro que es lo necesario para que cumpla con las condiciones impuestas.

### 5.1.3 Potencia requerida



$$\begin{aligned} r_p &:= 0.02 \text{ m} \\ r_c &:= 0.01 \text{ m} \\ g &:= 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \end{aligned}$$

Donde:

$r_p$  es el radio de la polea.

$r_c$  es el radio del carrete.

$g$  es la gravedad.

Masas:

$$P_{tra} := 20 \quad \text{Kg}$$

$$M_{polea} := 0.5 \quad \text{Kg}$$

$$M_{carrete} := 0.7 \quad \text{Kg}$$

Donde:

$P_{tra}$  es la mitad del peso de la estructura a escala.

$M_{polea}$  es el peso de la polea.

$M_{carrete}$  es el peso del carrete.

Velocidad a la que se elevará la masa:  $V_m$

$$V_m := 0.13 \quad \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La velocidad tangencial tanto en la polea como en el carrete serán iguales.

Entonces:

$$V_p = V_c \quad V_p = \omega_p \cdot r_p$$

$$\omega_p \cdot r_p = \omega_m \cdot r_c$$

$$\frac{V_m}{r_c} = \omega_m$$

$$\omega_m := 1.3 \quad \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\omega_p := \frac{\omega_m \cdot r_c}{r_p}$$

$$\omega_p = 0.65 \quad \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Calculo del torque estático:

$$T_s := \frac{P_{tra} \cdot g \cdot V_m}{\omega_m}$$

$$T_s = 19.6 \quad \text{N} \cdot \text{m}$$

Cálculo del torque dinámico:

$I_c$  es la Inercia del carrete.

$$I_c := \frac{M_{carrete} \cdot r_c^2}{2} \quad I_c = 3.5 \times 10^{-5} \quad \text{Kg} \cdot \text{m}^2$$

$I_p$  es la Inercia de la Polea.

$$I_p := \frac{M_{polea} \cdot r_p^2}{2} \quad I_p = 1 \times 10^{-4} \quad \text{Kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{equi} := I_c + I_p \cdot \left( \frac{\omega_p}{\omega_m} \right)^2 + \frac{P_{tra} \cdot V_m^2}{\omega_m^2}$$

$$I_{equi} = 0.2 \quad \text{Kg} \cdot \text{m}^2$$

El Torque Dinámico (Tdy) es: El producto de la Inercia equivalente del sistema por la aceleración angular  $\alpha$  a la que gira el motor. Sabiendo que parte del reposo, por lo tanto  $\omega_i = 0$ , Considerando un tiempo de arranque igual a 2, que es lo que se suele asignar.

$$\alpha := \frac{(\omega_m - 0)}{2}$$

$$\alpha = 0.65 \quad \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

$$T_{dy} := I_{equi} \cdot \alpha$$

$$T_{dy} = 0.13 \quad \text{N} \cdot \text{m}$$

$$T_{arranque} := T_s + T_{dy}$$

$$T_{arranque} = 19.73 \quad \text{N} \cdot \text{m}$$

Potencia que necesita el motor P

$$P := T_{arranque} \cdot \omega_m$$

$$P = 25.649 \quad \text{Watts}$$

Para la selección del motor es necesario tomar en cuenta el rendimiento en general del mecanismo:

Tomando en cuenta:

$\eta_b$  = Rendimiento de la transmisión por cable.

$\eta_e$  = Rendimiento eléctrico del motor.

$\eta_r$  = Rendimiento de los Rodamientos

K = Número de Pares de rodamientos.

$$\eta_b := 0.99$$

$$\eta_e := 0.934$$

$$\eta_r := 0.99$$

$$k := 2$$

$$\eta_{general} := \eta_b \cdot \eta_r^k \cdot \eta_e$$

$$\eta_{general} = 0.906$$

Potencia necesaria es:

$$\text{Potencia} := \frac{P}{\eta_{\text{general}}}$$

$$\text{Potencia} = 28.302 \quad \text{Watts}$$

Para el modelo a escala se utiliza un motor de 30 o más watts que gire en lo posible alrededor de 15 a 25rpm.

Para este modelo se utilizará un motor que gira a 22.5rpm; que funciona con corriente continua a 12 voltios.

## 5.1.4 Ejes y flechas

### 5.1.4.1 Eje

Para el diseño del eje se va a utilizar acero A36 o de transmisión, ya que es el más óptimo para nuestras condiciones con las que vamos a trabajar; además es el más fácil de maquinar.

Lo primero que se debe hacer es imponerse una geometría base que para este caso es la siguiente:

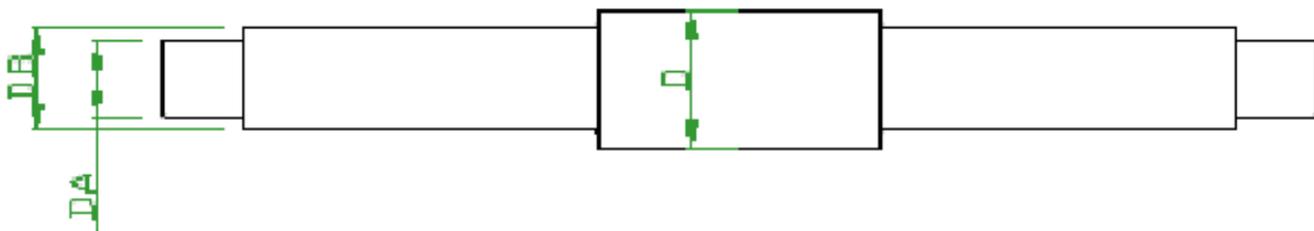


Figura 5.1.2

Plano XY

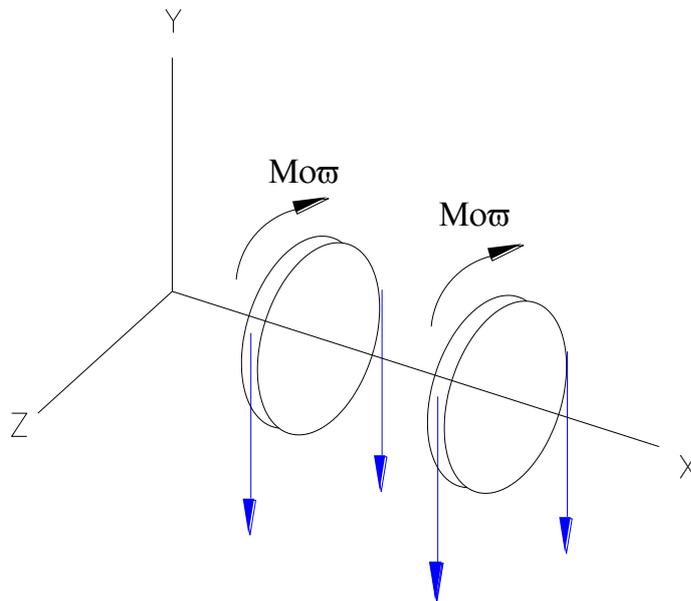


Figura 5.1.3

DCL

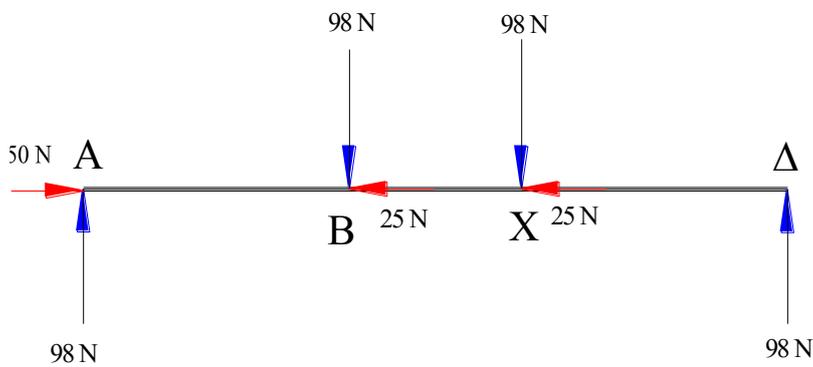


Figura 5.1.4

Las fuerzas que cargan al eje son las que se ven en el grafico y resultan del análisis estático previo.

Con éstas fuerzas se calcula de máximo y mínimo momento flector y para ello se realiza un grafico:

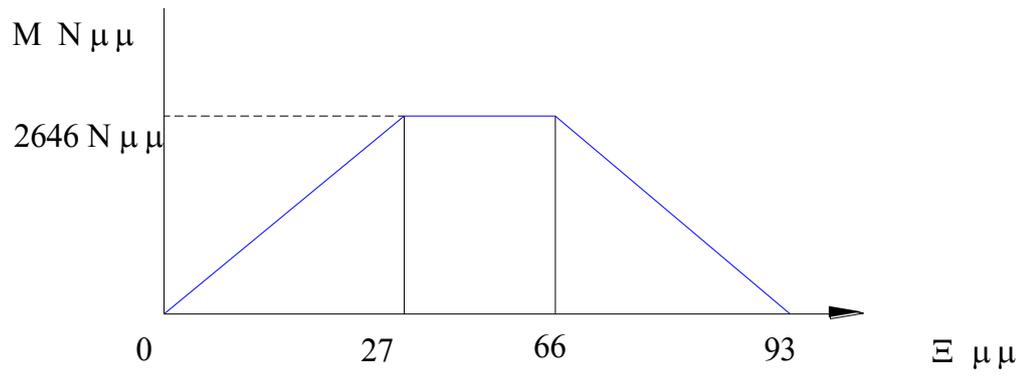


Figura 5.1.5

Plano XZ.

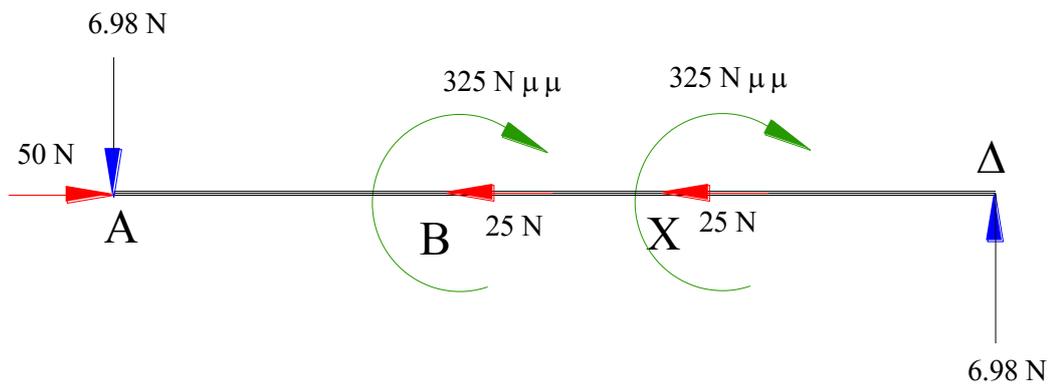


Figura 5.1.6

Diagrama de momentos:

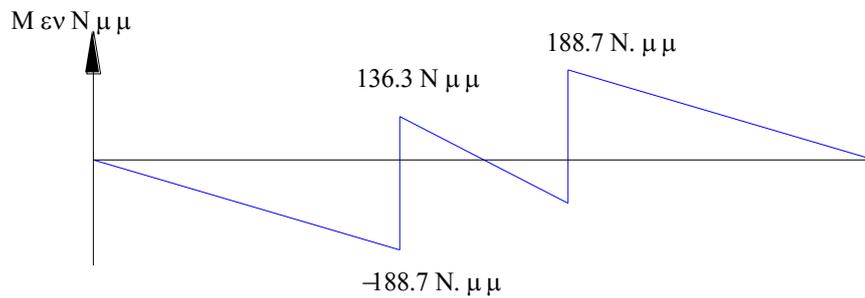


Figura 5.1.7

**Diámetro en la sección A (cuyas condiciones son las mismas que la sección D):**

Debido a que en ésta sección no hay ni momentos ni torque el análisis se lo hace con la fuerza cortante resultante:

Para los cálculos se utiliza el acero A36 y considerando un Factor de seguridad de 3 tenemos que:

$$S_u := 400 \quad S_y := 248 \quad \text{Mpa}$$

$$FS := 3$$

$$\tau_d := 0.557 \cdot \frac{S_y}{FS} \quad \tau_d = 46.045 \quad \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$V_x := 50 \quad V_y := 98 \quad V_z := 6.98 \quad \text{N}$$

$$V_r := \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$$

$$V_r = 110.239 \quad \text{N}$$

La tensión por esfuerzo de corte vertical para un eje circular sólido es:

$$\tau_d = \frac{4 \cdot V_r}{3 \cdot A}$$

Donde A es igual:

$$A := 3.192 \quad \text{mm}^2$$

Conociendo el área de un Círculo y despejando su diámetro tenemos:

$$DA := \sqrt{4 \cdot \frac{A}{\pi}}$$

$$DA = 2.016 \quad \text{mm}$$

### **Diámetro en la sección B:**

Análisis a fatiga que es la misma tanto para la sección B como para la C.

Plano xy:

$$M_{\max\_xy} := 2646 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{\min\_xy} := -2646 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{m\_xy} := \frac{M_{\max\_xy} + M_{\min\_xy}}{2}$$

$$M_{m\_xy} = 0 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{a\_xy} := \frac{M_{\max\_xy} - M_{\min\_xy}}{2}$$

$$M_{a\_xy} = 2.646 \times 10^3 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

Plano xz:

$$M_{\max\_xz} := 136.3 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{\min\_xz} := -188.70 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_m\_xz := \frac{M_{\max\_xz} + M_{\min\_xz}}{2}$$

$$M_m\_xz = -26.2 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_a\_xz := \frac{M_{\max\_xz} - M_{\min\_xz}}{2}$$

$$M_a\_xz = 162.5 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

Obteniendo un momento resultante de:

$$M_{mr} := \sqrt{M_{m\_xy}^2 + M_{m\_xz}^2} \quad M_{mr} = 26.2$$

$$M_{ar} := \sqrt{M_{a\_xy}^2 + M_{a\_xz}^2} \quad M_{ar} = 2.651 \times 10^3$$

Se deben considerar algunos factores que intervienen en los cálculos, los mismos que son:

$$K_a := 0.8$$

$$K_b := 0.76$$

$$K_c := 0.753$$

$$K_d := 1$$

$$K_e := 0.8$$

Donde:

$K_a$  = Factor de Superficie

$K_b$  = Factor de Tamaño.

$K_c$  = Factor de Confiabilidad,

Kd = Factor de Temperatura.

Ke = Factor de Carga.

Se procede a calcular con estos factores una resistencia real con la que se va a contar para el diseño de la flecha:

$$Se := 0.5 \cdot Su \cdot Ka \cdot Kb \cdot Kc \cdot Kd \cdot Ke$$

$$Se = 73.252$$

Para este caso  $T_m = 0$  y  $T_a = 0$  porque no se transmite torque

El factor  $K_f = 2.5$  ya que se asume un chaflán con bordes cortantes

$$K_f := 2.5 \quad \text{Considerando } D/d = 1.15 \quad \text{y } r/d = 0.25$$

$$K_t := 0$$

$$D_B := \sqrt[3]{\frac{32 \cdot F_s}{\pi \cdot Su} \cdot \left[ \left( Mm r^2 + 4 \cdot Tm^2 \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{Su}{Se} \left[ (K_f \cdot Mar)^2 + 4 (K_t \cdot Ta)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right]}$$

$$D_B = 14.039 \quad \text{mm}$$

Para los cambios de sección es recomendado un incremento hasta de un 30%; sin embargo este valor es menor, ya que de esta forma ponemos medidas que sean más fáciles y rápidas de maquinar; estos diámetros obtenidos son diámetros bases; a partir de estos se pueden incrementar según sea nuestra conveniencia.

Es así que tenemos los siguientes diámetros:

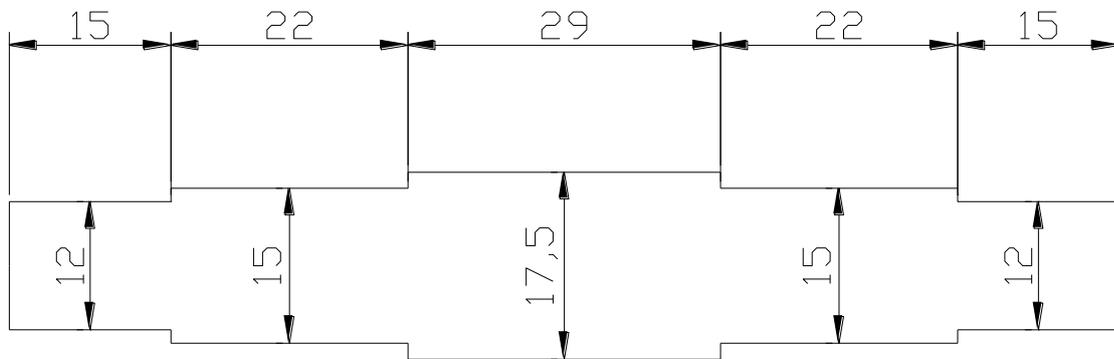
$$D_a = 12\text{mm}$$

$$D_b = 15\text{mm}$$

$$D = 17.5\text{mm}$$

$$D_c = 15\text{mm}$$

$$D_d = 12\text{mm}$$

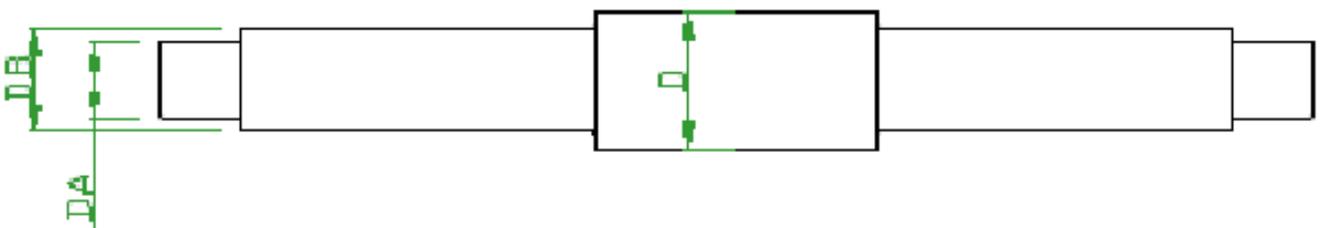


**Figura 5.1.8**

En esta figura se pueden apreciar los diámetros y las medidas de cada sección; en la primera y última sección se colocarán los rodamientos, en la segunda y cuarta se colocarán las poleas, la sección del medio es solo un separador entre las poleas.

#### 5.1.4.2 Flecha

Al igual que para el eje para el caso de la flecha también nos imponemos una geometría base que es la siguiente:



**Figura 5.1.9**

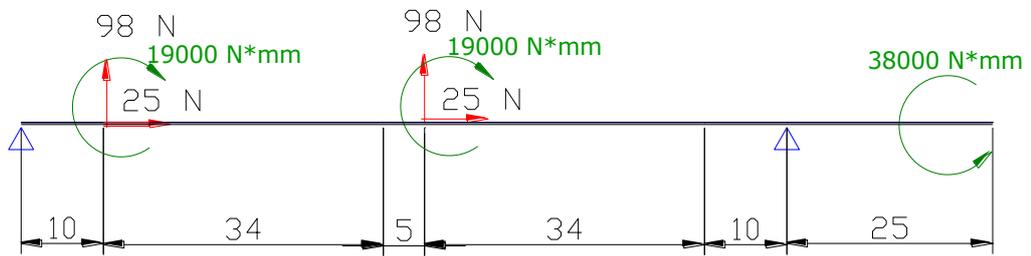


Figura 5.1.10

**Cálculo del Torque:**

Hp := 0.08

RPM := 15

$$T := \frac{63000 \cdot \text{Hp}}{\text{RPM}} \quad T = 336 \quad \text{Lb} \cdot \text{in} \quad T := 38000 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

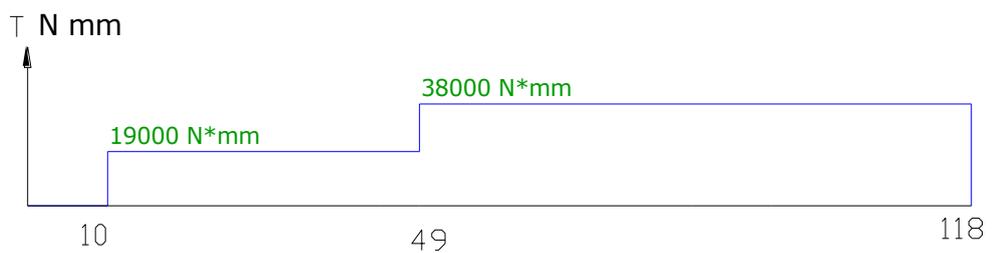
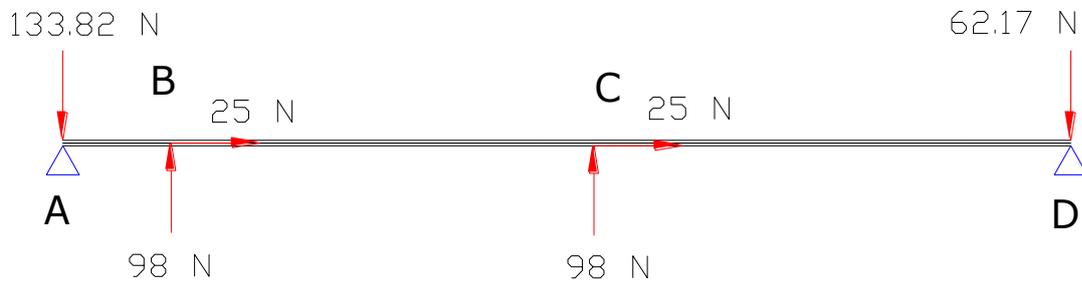


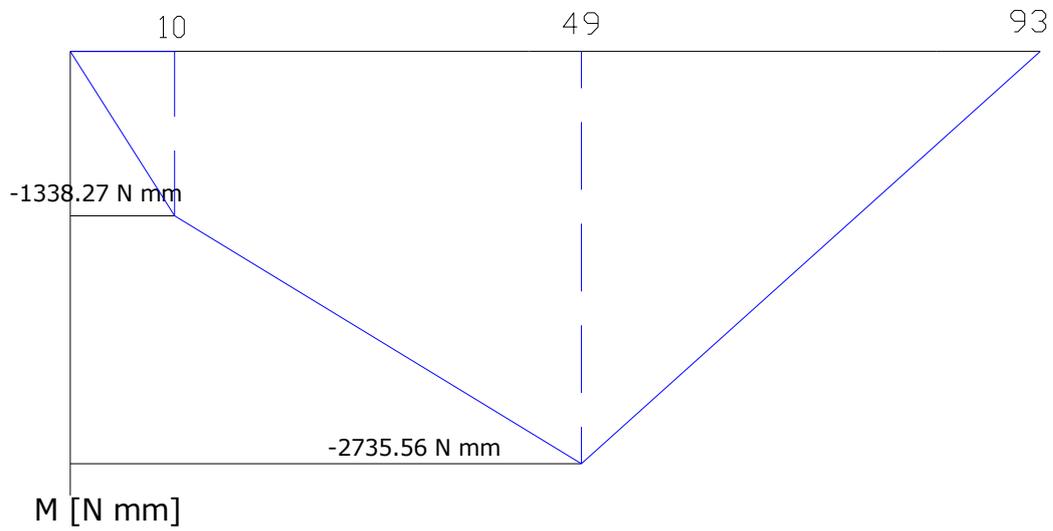
Figura 5.1.11

**Fuerzas y reacciones en el plano xy:**



**Figura 5.1.12**

**Diagrama de momentos Plano xy**



**Figura 5.1.13**

### Diagrama de cargas en el plano XZ

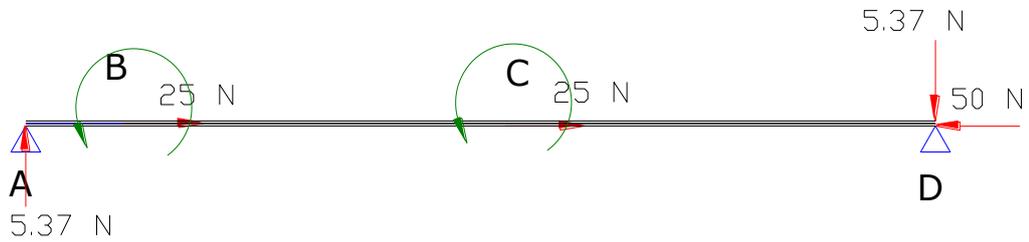


Figura 5.1.14

### Diagrama de Momentos en el Plano xz.

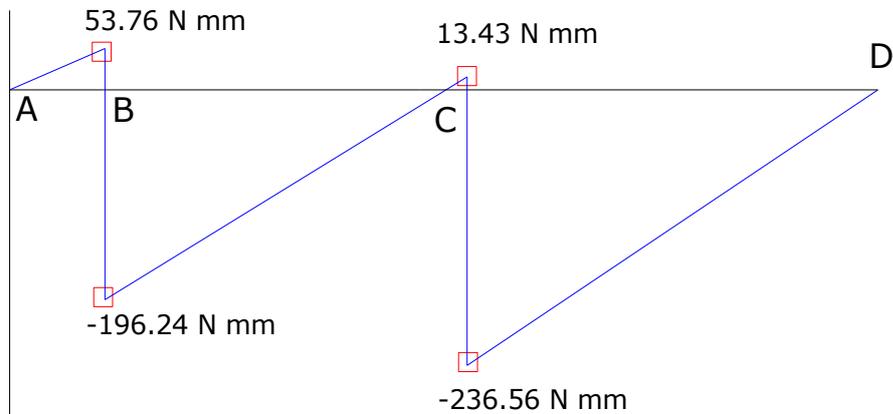


Figura 5.1.15

Se procede a calcular el diámetro de la sección D

$$T = 3.8 \times 10^4 \quad \text{Nmm}$$

En esta sección no existe momento, pero si tenemos torq

$$T_{\max} := 38000 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$T_{\min} := 38000 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$T_m := \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \quad T_a := \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} \quad F_s = 3$$

$$T_m = 3.8 \times 10^4 \quad \text{N} \cdot \text{mm} \quad T_a = 0 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{mr} := 0 \quad M_{ar} := 0$$

Dado que el torque máximo y mínimo son iguales,  $T_a$  es 0.

Se deben considerar algunos factores que intervienen en los cálculos, los mismos que son:

$K_a$  = Factor de Superficie

$K_b$  = Factor de Tamaño.

$K_c$  = Factor de Confiabilidad,

$K_d$  = Factor de Temperatura.

$K_e$  = Factor de Carga. (En este caso está sometido a un esfuerzo de corte por torsión)

$$K_a := 0.8$$

$$K_b := 0.76$$

$$K_c := 0.753$$

$$K_d := 1$$

$$K_e := 0.58$$

$$S_e := 0.5 \cdot S_u \cdot K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e$$

$$S_e = 53.108$$

Fuerzas cortantes:

$$V_{Dx} := 50 \quad V_{Dz} := 5.37 \quad V_{Dy} := 62.17 \quad \text{N}$$

$$V_r := \left( \sqrt{V_{Dx}^2 + V_{Dy}^2 + V_{Dz}^2} \right)$$

$$V_r = 79.962 \quad \text{N}$$

La tensión por esfuerzo de corte vertical para un eje circular sólido es:

$$\tau_d = \frac{4 \cdot V_r}{3 \cdot A}$$

Donde A es:

$$A := 2.315 \quad \text{mm}^2$$

$$\tau_{\text{nom}} := \tau_d \quad \tau_{\text{max}} := \frac{4 \cdot V_r}{3 \cdot A}$$

$$K_t := \frac{\tau_{\text{max}}}{\tau_{\text{nom}}}$$

$$K_t = 1$$

$$D_D := \sqrt[3]{\frac{32 \cdot F_s}{\pi \cdot S_u} \cdot \left[ \left( 4 \cdot T_m^2 \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{S_u}{S_e} \left[ 4 (K_t \cdot T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right]}$$

$$D_D = 17.973 \quad \text{mm}$$

Diámetro de la sección C:

En la sección C tenemos momentos y torque.

Plano xy:

$$M_{\text{max\_xy}} := 2735.56 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{\text{min\_xy}} := -2735.56 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{\text{m\_xy}} := \frac{M_{\text{max\_xy}} + M_{\text{min\_xy}}}{2}$$

$$M_{\text{m\_xy}} = 0 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{\text{a\_xy}} := \frac{M_{\text{max\_xy}} - M_{\text{min\_xy}}}{2}$$

$$M_{\text{a\_xy}} = 2.736 \times 10^3 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

Plano xz:

$$M_{\max\_xz} := 13.43 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{\min\_xz} := -236.56 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{m\_xz} := \frac{M_{\max\_xz} + M_{\min\_xz}}{2}$$

$$M_{m\_xz} = -111.565 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{a\_xz} := \frac{M_{\max\_xz} - M_{\min\_xz}}{2}$$

$$M_{a\_xz} = 124.995 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

Se calculan los momentos resultantes:

$$M_{mr} := \sqrt{M_{m\_xy}^2 + M_{m\_xz}^2} \quad M_{mr} = 111.565 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{ar} := \sqrt{M_{a\_xy}^2 + M_{a\_xz}^2} \quad M_{ar} = 2.738 \times 10^3 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

Se deben considerar algunos factores que intervienen en los cálculos, los mismos que son:

$$K_a := 0.8$$

$$K_b := 0.76$$

$$K_c := 0.753$$

$$K_d := 1$$

$$K_e := 0.8$$

Donde:

$K_a$  = Factor de Superficie

$K_b$  = Factor de Tamaño.

$K_c$  = Factor de Confiabilidad,

$K_d$  = Factor de Temperatura.

$K_e$  = Factor de Carga.

$$S_e := 0.5 \cdot S_u \cdot K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e$$

$$S_e = 73.252$$

$$F_s := 3$$

El factor  $K_f = 2.5$ . Se asume un chaflán con bordes cortantes

$$K_f := 2.5$$

$K_t$  no influye debido a que hay un torque constante, por lo tanto  $T_a = 0$

$$D_C := \sqrt[3]{\frac{32 \cdot F_s}{\pi \cdot S_u} \cdot \left[ \left( M_m r^2 + 4 \cdot T_m^2 \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{S_u}{S_e} \left[ (K_f \cdot M_{ar})^2 + 4 (K_t \cdot T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right]}$$

$$D_C = 20.537 \quad \text{mm}$$

Diámetro de la sección B:

En la sección B tenemos momentos y torque.

Plano xy:

$$M_{\max\_xy} := 1338.27 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{\min\_xy} := -1338.27 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{m\_xy} := \frac{M_{\max\_xy} + M_{\min\_xy}}{2}$$

$$M_{m\_xy} = 0 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{a\_xy} := \frac{M_{\max\_xy} - M_{\min\_xy}}{2}$$

$$M_{a\_xy} = 1.338 \times 10^3 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

Plano xz:

$$M_{\max\_xz} := 53.76 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{\min\_xz} := -196.24 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{m\_xz} := \frac{M_{\max\_xz} + M_{\min\_xz}}{2}$$

$$M_{m\_xz} = -71.24 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{a\_xz} := \frac{M_{\max\_xz} - M_{\min\_xz}}{2}$$

$$M_{a\_xz} = 125 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

Cálculo de los momentos resultantes:

$$M_{mr} := \sqrt{M_{m\_xy}^2 + M_{m\_xz}^2} \quad M_{mr} = 71.24 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{ar} := \sqrt{M_{a\_xy}^2 + M_{a\_xz}^2} \quad M_{ar} = 1.344 \times 10^3 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

Se siguen utilizando los factores para el cálculo de la resistencia de diseño:

$$K_a := 0.8$$

$$K_b := 0.76$$

$$K_c := 0.753$$

$$K_d := 1$$

$$K_e := 0.8$$

$$S_e := 0.5 \cdot S_u \cdot K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e$$

$$S_e = 73.252$$

$$F_s := 3$$

Cálculo de torque:

$$T_{\max} := 19000 \quad T_{\min} := 19000 \quad \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$T_a := \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} \quad T_m := \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2}$$

El factor  $K_f = 2.5$ . Se asume un chaflán con bordes cortantes

$$K_f := 2.5$$

$K_t$  no influye debido a que hay un torque constante, por lo tanto  $T_a = 0$

$$D_B := \sqrt[3]{\frac{32 \cdot F_s}{\pi \cdot S_u} \cdot \left[ \left( M_{mr}^2 + 4 \cdot T_m^2 \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{S_u}{S_e} \left[ (K_f \cdot M_{ar})^2 + 4 (K_t \cdot T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right]}$$

$$D_B = 16.267 \quad \text{mm}$$

Diámetro de la sección A:

Debido a que en ésta sección no hay ni momentos ni torque el análisis se lo hace con la Fuerza cortante resultante:

$$FS := 3$$

$$\tau_d := 0.557 \cdot \frac{Sy}{FS} \quad \tau_d = 46.045 \quad \frac{N}{mm^2}$$

$$V_x := 0 \quad V_y := 133.82 \quad V_z := 5.37 \quad N$$

$$V_r := \sqrt{V_y^2 + V_z^2}$$

$$V_r = 133.928 \quad N$$

La tensión por esfuerzo de corte vertical para un eje circular sólido es:

$$\tau_d = \frac{4 \cdot V_r}{3 \cdot A}$$

Donde A es:

$$A := 3.878 \quad mm^2$$

Conociendo el área de un Círculo y despejando su diámetro tenemos:

$$D_A := \sqrt{4 \cdot \frac{A}{\pi}}$$

$$D_A = 2.222 \quad mm$$

Para los cambios de sección es recomendado un incremento hasta de un 30%; sin embargo este valor es menor, ya que de esta forma ponemos medidas que sean más fáciles y rápidas de maquinar; estos diámetros obtenidos son diámetros bases; a partir de estos se pueden incrementar según sea nuestra conveniencia.

Es así que tenemos los siguientes diámetros:

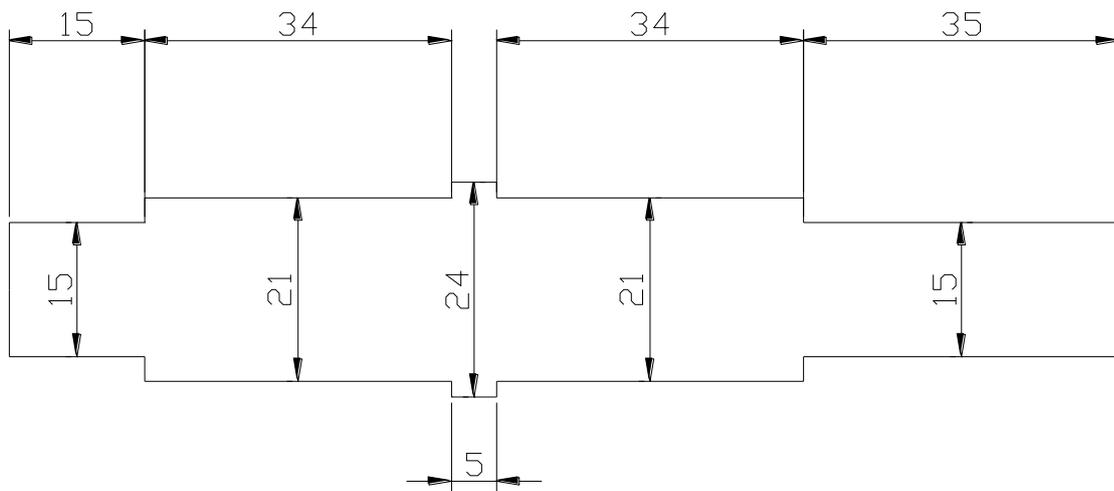
$$D_a = 15mm$$

$$D_b = 21mm$$

$$D = 24mm$$

$$D_c = 21mm$$

$$D_d = 15mm$$



**Figura 5.1.16**

En esta figura se pueden apreciar los diámetros y las medidas de cada sección; en la primera y última sección se colocarán los rodamientos, en la segunda y cuarta se colocarán los carretes, la sección del medio es solo un separador entre las poleas. Para el caso del modelo no hacen falta las chavetas ya que solo con el ajuste que se le da entre el eje y los elementos es suficiente para evitar su movimiento sobre la flecha.

### 5.1.5 Selección de rodamientos

$F_r := 0.098$  KN

$F_a := 0$

$sf := 6$

Ya que tenemos rigurosas exigencias de funcionamiento

$$Po1 := 0.6 \cdot Fr + 0.5 \cdot Fa \quad Po1 = 0.059$$

$$Po2 := Fr \quad Po2 = 0.098$$

$$Po := Po2$$

$$Co := sf \cdot Po \quad Co = 0.588$$

Se toma un rodamiento que cumpla con el Co que puede ser el 635 que es un rodamiento de bolas.

$$n := 20 \quad \text{rpm}$$

$$thd := 12 \quad \text{horas diarias}$$

$$meses := 48 \quad \text{antes del cambio}$$

$$dias := 30 \quad \text{por mes}$$

$$L1 := thd \cdot dias \cdot meses \cdot 60 \cdot n \quad L1 = 2.074 \times 10^7$$

$$L := \frac{L1}{10^6} \quad L = 20.736$$

$$\frac{Fa}{Co} = 0$$

ya que Fa/Co es cero ya que solo hay carga radial,

$$P = Fr$$

$$P := Fr$$

$$m := 3$$

$$a1 := 1 \quad \text{a 90\%}$$

$$a23 := 1.4 \quad \text{combinados a2 y a3}$$

$$C := P \cdot \left( \frac{L}{a1 \cdot a23} \right)^{\frac{1}{m}}$$

$$C = 0.241$$

El rodamiento más pequeño que se puede seleccionar es el 635 que cumple con

los dos requerimientos; aunque este diámetro puede variar dependiendo de los requerimientos del eje y de la flecha.

El rodamiento seleccionado para el eje es un rodamiento de bolas 6201 de 12mm de diámetro interior.

Para la flecha el rodamiento seleccionado es un 6202, que también es un rodamiento de bolas pero de 15mm de diámetro interior.

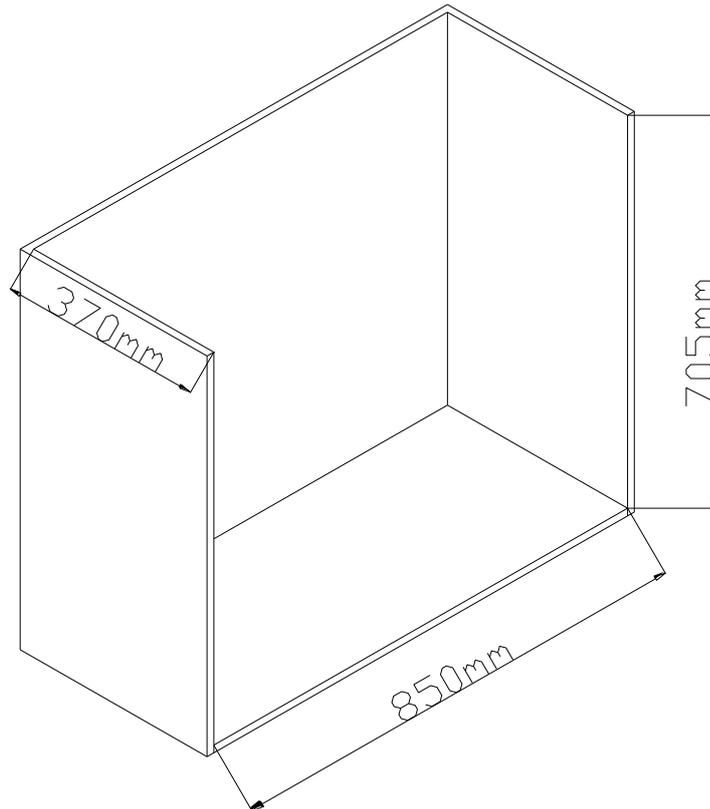
### **5.1.6 Fosa**

AL igual que todas las demás partes del sistema hay que hacer una fosa a escala; para lo cual se debe hacer una caja de 850x370x705mm, para ello se utilizó madera triplex de 12mm de espesor.

## **5.2 Construcción**

### **5.2.1 Fosa**

Para la construcción de la fosa, se utilizan las medidas antes mencionadas; se construye la caja sin dos lados uno frontal y sin la tapa para permitir que se observe el funcionamiento del sistema a escala.



**Figura 5.2.1**

En esta figura se ve un esquema de cómo será la fosa a escala.

### **5.2.2 Estructura**

Para la construcción del modelo a escala se utiliza perfiles T de carpintería metálica, la cual es cortada de acuerdo a las dimensiones que se indicaron en el diseño de la estructura del modelo; una vez que se tienen cortados los perfiles T, se procede a unirlos de dos en dos.

Los perfiles se unen de dos en dos para dar la impresión de ser un perfil IPE; para que se pueda notar la diferencia entre los diferentes perfiles IPE que se utilizan en el modelo real, los perfiles T unidos, tienen diferentes separaciones entre los patines, para unirlos se sueldan las dos almas. Una vez que se tienen estas uniones, se procede a ensamblar el modelo a escala con el fin de formar el sistema de la estructura como el que se muestra en la figura 5.2.2.

En el modelo a escala no hace falta la colocación de los tubos cuadrados que proporcionan apoyo lateral torsional, además que no se puede encontrar tubos tan pequeños que calcen con las dimensiones del modelo a escala.

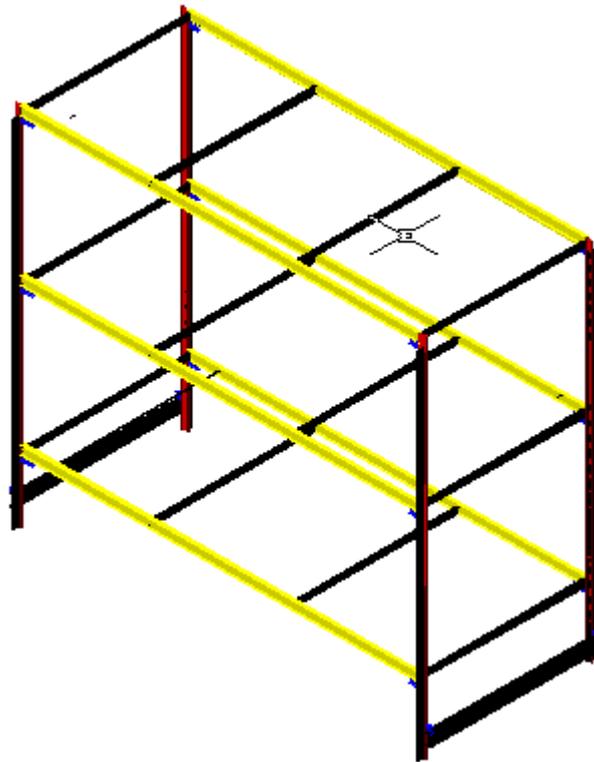


Figura 5.2.2

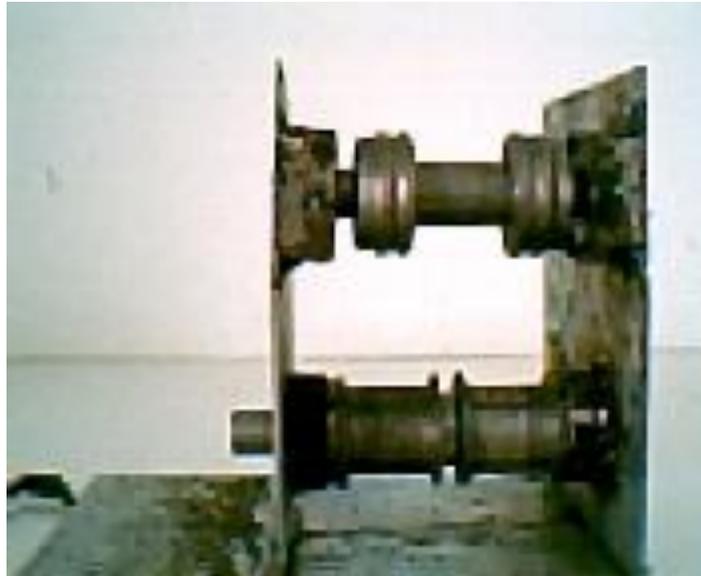
### 5.2.3 Sistema de elevación

Para la construcción del sistema de elevación se procede a construir los ejes y las flechas en acero A36, así mismo se construyen los carretes y las poleas. Una vez que se tienen todos los elementos se procede a ensamblarlos; todos los elementos calzan a presión, por lo cual no hace falta la utilización de chavetas o prisioneros; también se procede a colocar los rodamientos en los ejes y flechas.

Con láminas de metal de 3mm de espesor se procede a hacer una caja en la cual se colocarán los ejes y las flechas; dado que para el tamaño de los rodamientos no existen cajas o chumaceras, se procede a hacerlas con tobos del mismo diámetro o menor que se lo pueda ajustar para impedir que el rodamiento se mueva; estos tubos son soldados a la caja en la posición que corresponden. En la posición de la flecha, se hace un agujero en la caja del diámetro de la flecha para

permitir que esta sobresalga, esto se hace para allí conectar el motor a la flecha por medio de un acople hecho a medida tanto para el motor como para la flecha.

En la siguiente figura se puede ver como quedará todo el sistema de elevación ya ensamblado.



**Figura 5.2.3**

#### **5.2.4 Montaje final**

Una vez que se tienen todos los elementos terminados por separados y que han sido probados que funcionen correctamente; se procede a ensamblarlos juntos.

El primer paso es unir la fosa con la estructura a escala, para lo cual se procede a centrar la estructura en la fosa, se marca la posición de las columnas fijas y se retira la estructura; se hacen agujeros en la fosa y se ajustan las columnas fijas a estos agujeros. Una vez que está esto, se comprueba que la estructura calce y se la puede retirar de este nuevo conjunto si se desea.

Como ya tenemos puesta la estructura en la fosa, procedemos a colocar el sistema de elevación en la fosa, para lo cual centramos este sistema entre las columnas fijas y procedemos a cortar en los dos lados de la fosa, el tamaño de

este sistema con tal de que calce. Una vez realizado se procede a ensamblar y ajustar este sistema por medio de pernos a la fosa.

Con los tres elementos ensamblados se pasa el cable desde el carrete hacia la viga soporte para subir, pasando por las respectivas poleas. Una vez que ya están instalados los cables podemos proceder a colocar el sistema de control, es decir colocar los sensores tanto foto-eléctricos como los de final de carrera en las posiciones preestablecidas con anterioridad; con el montaje del sistema de control se termina el montaje del modelo a escala y lo único que queda por hacer es probar que todo funcione correctamente.

# **Capitulo 6: Pruebas de funcionamiento del modelo a escala**

## **6.1 Plan de pruebas**

Estas pruebas se realizarán sobre los elementos que intervienen en el modelo a escala; es decir que se realizan pruebas sobre los sensores, PLC, programación, estructura, sistema armado.

El siguiente es el plan de pruebas que se utilizará para el sistema en estudio:

1. Prueba de funcionamiento de sensor de fin de carrera.
2. Prueba de funcionamiento de sensor foto eléctrico.
3. Prueba de funcionamiento del programa.
4. Prueba de funcionamiento del PLC.
5. Prueba de funcionamiento del control remoto.
6. Prueba de funcionamiento de la estructura.
7. Prueba de funcionamiento del sistema total.

## **6.2 Análisis y resultados**

### **1. Prueba de funcionamiento de sensor de fin de carrera.**

Para comprobar que el sensor funcione correctamente, se realizó un a conexión fuera del sistema. Para la prueba se procede a conectar cada uno de los sensores a una lámpara, con lo cual se puede comprobar que el sensor está permitiendo un correcto paso de corriente en cualquiera de los dos estados, normalmente abierto y normalmente cerrado.

Al conectar la fase a la entrada del sensor y la salida del sensor con uno de los polos del conector de la lámpara, y el neutro al otro polo del conector, la lámpara

debe permanecer apagada si se realizo la conexión de forma normalmente abierto, o prendida si se conectó de forma normalmente cerrado, al pulsar el sensor dependiendo de la forma de conexión la lámpara deberá prenderse o apagarse. Si se comprueba que esto pasa, quiere decir que el sensor se encuentra en buen estado, por lo cual se puede utilizar en el proyecto.

Una vez realizadas las pruebas, se vio que todos los sensores adquiridos funcionaron correctamente, y se procede a colocarlos en el sistema final.

## **2. Prueba de funcionamiento de sensor foto eléctrico.**

El funcionamiento de los sensores foto-eléctricos, es muy similar a los sensores de fin de carrera; en estos en vez de tener un pulsador se tiene un emisor y un receptor del haz de luz. Se tiene dos estados el normalmente cerrado y el normalmente abierto; los sensores funcionan con 110 voltios; la prueba que se realizó es la misma que para los sensores de fin de carrera; los resultados obtenidos son los mismos es decir que la lámpara este encendida o apagada dependiendo el estado en el que se conectó.

Con los sensores que adquirimos para nuestro modelo se realizaron esta prueba y se determino que los sensores están en buen funcionamiento, debido a esto se los utilizará en la construcción del modelo a escala.

## **3. Prueba de funcionamiento del programa.**

El programa Quick II permite correr la programación allí mismo, con el fin de comprobar su correcto funcionamiento.

Una vez finalizada la programación se realiza la corrida del mismo para ver el correcto funcionamiento; en el programa se puede ver las entradas y las salidas, al dar clic con el mouse en una de las entradas, esta se pone de color rojo ya que asume que está encendida, dependiendo de la entrada encendida, también se enciende una salida o se apague una salida.

Para la prueba se tomaron todas las posibilidades tanto de funcionamiento correcto como de fallas, es decir que se trata de hacer que el PLC tenga una falla.

Al realizar las pruebas se detectó una falla, la cual se daría si uno de los pulsadores o de los controles remotos se quedarían pulsados, con lo cual se encendían las salidas que vendrían a ser la encendida de los motores en los dos sentidos, con lo cual se contradicen. Luego de buscar una solución se llegó a determinar la más óptima que es que se apaguen las dos luces y que se prenda una tercera salida que en el modelo prenderá una luz que indicará un daño en uno de los componentes del sistema de control.

#### **4. Prueba de funcionamiento del PLC.**

Cargado el programa en el PLC, se conectan todas las entradas es decir los pulsadores y sensores, y en las salidas se conectan los motores; una vez que se tienen hechas estas conexiones provisionales, hay dos formas para comprobar su correcto funcionamiento.

Las dos maneras de comprobación son una visual viendo el funcionamiento de los motores y de las entradas, y al mismo tiempo el programa Quick II permite revisar el funcionamiento del PLC si este está conectado al computador por medio del cable que también sirve para cargar el programa.

Cada vez que uno de los pulsadores es encendido, o uno de los sensores es accionado, en el PLC suena su activación, y en la pantalla se enciende la entrada que corresponde, y dependiendo que entrada es la activada se enciende tanto el motor y en la pantalla se enciende también la salida correspondiente, hasta que se pulse el sensor que la apague.

Al hacer esta prueba se comprobó que el PLC y el programa están en correcto funcionamiento, y que todos los elementos que forman parte del sistema de control también ya que no solo se comprobó de forma individual sino también en forma global.

## **5. Prueba de funcionamiento del control remoto.**

El dispositivo que se utiliza como control remoto hace las veces de un contactor o pulsador que al recibir la señal que viene del control remoto hace que se cierre el contacto y por ende que se encienda el dispositivo al que está conectado. Este dispositivo solo permite una salida de máximo 30 voltios de corriente directa.

Para las pruebas de este se conectó un relee de 12 voltios; esto a la entrada ya que se conectó un transformador de este voltaje, la una fase al dispositivo y la otra directo al relee, y a la salida de este la fase de 110 voltios, que se conectó a una lámpara.

Al pulsar el control remoto se cierra el circuito y la lámpara se enciende; como esto sucedió se comprobó que el dispositivo funciona y se procede a conectar la salida del relee al PLC para que funcione como un pulsador.

## **6. Prueba de funcionamiento de la estructura.**

Una vez que la estructura a escala está armada se procede a probar que resista un peso determinado; en este caso se le puso primero un peso de 40Kg lo cual resistió sin inconvenientes; al ver esto la siguiente prueba fue subirse una persona y ver si soporta el peso, esto también fue soportado por la estructura.

También se debe probar que la estructura corra sobre las columnas carril; para esto primero se instaló toda la estructura en la caja que hará las veces de fosa y posteriormente se subió y bajo la estructura sobre las columnas carril y se comprobó que si corre la estructura por lo cual se procede a poner el sistema de elevación.

## **7. Prueba de funcionamiento del sistema total.**

Una vez que se probaron por separado los diferentes elementos que forman parte de este proyecto y se comprobó su correcto funcionamiento, se procede a ensamblar los sensores, el PLC como un sistema de control, el sistema de elevación y la estructura; terminado su ensamblaje se procede a probar su funcionamiento.

La prueba consiste en hacer funcionar el sistema varias veces y ver que todos los elementos antes probados de forma individual, funcionen en forma correcta de forma colectiva es decir que en conjunto realicen su función correctamente, aquí se prueba si la estructura sube y baja correctamente ya con el sistema de elevación.



## Capítulo 7: Evaluación económica financiera

En la evaluación económica del proyecto se toma en cuenta solo la construcción del sistema que se está presentando.

En las siguientes tablas se indican los costos para cada uno de los subsistemas con los que cuenta el proyecto como son: la estructura, la fosa, sistema de elevación, sistema de control e instalación; en los costos de la construcción de la fosa el costo de mano de obra está prorrateado a cada uno de los rubros que en esta intervienen.

<b>Estructura metálica</b>				
<b>Cant.</b>	<b>Artículo</b>	<b>Unid.</b>	<b>V. unit.</b>	<b>V. total</b>
8	Perfil IPE 100	12 m	\$ 90,39	\$ 723,12
4	Perfil IPE 160	12 m	\$ 176,33	\$ 705,32
1	Perfil IPE 200	12 m	\$ 300,00	\$ 300,00
16	Tubo cuadrado de 1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> in	6 m	\$ 8,62	\$ 137,92
16	Ruedas de caucho para 5 ton	1	\$ 15,80	\$ 252,80
27	Tol de 3mm de espesor de 1,22x2,44m	1	\$ 50,00	\$ 1.350,00
1	Mano de obra	1	\$ 400,00	\$ 400,00
1	Otros	1	\$ 200,00	\$ 100,00
			<b>Total</b>	<b>\$ 3.969,16</b>

<b>Sistema de elevación</b>				
<b>Cant.</b>	<b>Artículo</b>	<b>Unid.</b>	<b>V. unit.</b>	<b>V. total</b>
2	Moto reductor de 10HP y freno electro-magnético	1	\$ 3.400,00	\$ 6.800,00
2	Eje de 5 in de diámetro AISI 4340	m	\$ 300,00	\$ 600,00
2	Eje de 5,5 in de diámetro A36	m	\$ 200,00	\$ 400,00
4	Carrete de 200mm de diámetro AISI1045	0,4 m	\$ 50,00	\$ 200,00
4	Poleas	1	\$ 50,00	\$ 200,00
4	Cable de acero de 3/4 in	8 m	\$ 4,01	\$ 16,04
4	Chumaceras de 100mm de diámetro	1	\$ 80,00	\$ 320,00
4	Chumaceras de 90mm de diámetro	1	\$ 60,00	\$ 240,00
1	Mano de obra	1	\$ 350,00	\$ 350,00
1	Otros	1	\$ 100,00	\$ 100,00
			Total	\$ 9.226,04

<b>Fosa y cimentación</b>				
<b>Cant.</b>	<b>Artículo</b>	<b>Unid.</b>	<b>V. unit.</b>	<b>V. total</b>
191	Excavación de la fosa y la cimentación	m ^3	\$ 3,05	\$ 582,55
1,28	Losa de 5cm de espesor	m^3	\$ 74,12	\$ 94,87
296	Malla electro-soldada de 4,5mm*15*15cm	m^2	\$ 2,10	\$ 621,60
15	Paredes de hormigón de 10cm	m^3	\$ 74,12	\$ 1.111,80
0,32	Cimentación de la columna fija	m^3	\$ 74,12	\$ 23,72
144	Encofrados	m^2	\$ 4,12	\$ 593,28
			Total	\$ 3.027,82

<b>Sistema de control</b>				
<b>Cant.</b>	<b>Artículo</b>	<b>Unid.</b>	<b>V. unit.</b>	<b>V. total</b>
1	PLC, programa y cable	1	\$ 182,94	\$ 182,94
3	Sensor de fin de carrera	1	\$ 25,00	\$ 75,00
6	Sensor foto-eléctrico	1	\$ 56,00	\$ 336,00
3	Receptor del control remoto	1	\$ 25,00	\$ 75,00
3	Control remoto	1	\$ 34,00	\$ 102,00
3	Relay de 12 voltios	1	\$ 1,00	\$ 3,00
1	Guarda motor de 20 HP	1	\$ 185,00	\$ 185,00
1	Arranque suave de 20 HP	1	\$ 1.500,00	\$ 1.500,00
1	Fusible ultrarrápido	1	\$ 106,00	\$ 106,00
1	Porta-fusible	1	\$ 20,00	\$ 20,00
1	Caja metálica	1	\$ 14,00	\$ 14,00
1	Otros	1	\$ 30,00	\$ 30,00
			<b>Total</b>	<b>\$ 2.628,94</b>

Teniendo estas tablas sabemos que el costo total para la implementación de este sistema es de \$18152, si tomamos en cuenta que este es un sistema que en un principio se implementará en edificios de lujo en donde el costo de un estacionamiento está entre los \$5000 y \$10000 por cada uno es un proyecto viable ya que el costo por cada parqueadero será de \$6051, sin contar los múltiples beneficios que este sistema proporcionará como es la de triplicar la capacidad de estacionamientos optimizando los espacios.

### **Análisis Financiero:**

Una inversión es una operación financiera definida por una serie de desembolsos que se estima que van a generar una corriente futura de ingresos. Existen diferentes métodos para valorar el atractivo de un proyecto de inversión, entre los que vamos a usar son los siguientes:

VAN: Valor actual neto.

TIR: Tasa interna de retorno.

## VAN

Mide el valor actual de los desembolsos y de los ingresos, actualizándolos al momento inicial y aplicando un tipo de descuento en función del riesgo que conlleva el proyecto.

Por ejemplo: no se asume el mismo riesgo invirtiendo en Deuda del Estado, en una compañía eléctrica o en una nueva empresa de Internet. Por lo tanto, para valorar estos tres proyectos hay que utilizar tasas de descuentos diferentes que reflejen los distintos niveles de riesgo.

Como las inversiones son normalmente a largo plazo, para actualizar los distintos flujos al momento inicial se utiliza la ley de descuento compuesto.

Si el VAN obtenido es positivo el proyecto es interesante de realizar. Por el contrario, si el VAN es negativo, el proyecto hay que descartarlo.

A continuación realizamos los análisis:

<b>Trimestres</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Rubros</b>							
Ventas producción		210000	235200	263424	370091,75	582346,54	612052,06
Venta de Activos		-	-	-	-	-	
<b>Costos</b>							
Costos de fabricación	188519,6	- 180519,6	- 200000	- 250000	-290000	-300000	-500000
Costos Administrativos	-6000	-6000	-6000	-6000	-6000	-7000	-8000
Costos de promoción y ventas	-2000	-300	-100	-100	-100	-100	-200
Flujo neto del proyecto	- 180519,6	23180,4	29100	7324	73991,75	275246,54	103852,06

Nuestro proyecto de inversión exige un desembolso inicial de 181519.60 dólares y se espera que vaya a generar beneficios entre el 1º y el 6º semestre. El tipo de descuento que se aplica a proyectos de inversión con riesgos similares es del 10%. Calcular el VAN:

Trimestres	Desembolso	Ingresos	VAN
0	-180519,6	-180519,60	-180519,60
1	0	23180,40	21073,09
2	0	29100,00	24049,58
3	0	7324,00	5502,62
4	0	73991,75	50537,36
5	0	275246,50	170906,44
6	0	103852,10	58621,78
			<b>150171,29</b>

El VAN es positivo (150171,29), luego la inversión es aceptable.

El criterio VAN es poco operativo, ya que no mide la rentabilidad obtenida por cada dólar invertido.

### TASA DE RENDIMIENTO INTERNO (TIR).

Este método consiste en calcular la tasa de descuento que hace cero el VAN. Un proyecto es interesante cuando su tasa TIR es superior al tipo de descuento exigido para proyectos con ese nivel de riesgo.

Ahora calculamos el TIR de nuestro proyecto y vemos si supera la tasa de descuento del 10% exigible a proyectos con ese nivel de riesgo.

Given

$$-180520 + \frac{21073.09}{(1+x)} + \frac{24049.58}{(1+x)^2} + \frac{5502.62}{(1+x)^3} + \frac{50573.36}{(1+x)^4} + \frac{170906.44}{(1+x)^5} + \frac{58621.78}{(1+x)^6} = 0$$

Find(x) = 0.148

Vemos que la tasa TIR de esta operación es el 14,8%, superior al 10%, luego

este proyecto de inversión es interesante de realizar.

Es interesante notar que si aumentamos el nivel de riesgo de la inversión al 12% nuestro proyecto sigue siendo viable.

Como lo muestran el cálculo del VAN y el cálculo del TIR a continuación:

Trimestres	Desembolso	Ingresos	VAN
0	-180519,6	-180520,00	-180520
1	0	23180,40	20696,79
2	0	29100,00	23198,34
3	0	7324,00	5213,07
4	0	73991,75	47023,09
5	0	275246,50	156182,3
6	0	103852,10	52614,69
			<b>124408,7</b>

El TIR es:

Given

$$-180520 + \frac{20696.74}{(1+v)} + \frac{23198.34}{(1+v)^2} + \frac{5213.08}{(1+v)^3} + \frac{47023.09}{(1+v)^4} + \frac{156182.3}{(1+v)^5} + \frac{52614.69}{(1+v)^6} = 0$$

$$\text{Find}(v) = 0.128$$

Como vemos el TIR es 12.8% y es mayor que el VAN por lo tanto el proyecto es viable.

## Capítulo 8: Conclusiones y recomendaciones

### Conclusiones:

- ❖ Este sistema de estacionamientos, cumple en su totalidad con los objetivos previstos en los capítulos iniciales del proyecto en curso.
- ❖ Todos los cálculos realizados en este diseño cumplen con las normas de diseño tanto estructural como de los demás elementos que intervienen, con esto nos estamos asegurando un correcto funcionamiento del sistema desde el punto de vista teórico.
- ❖ Con la construcción del modelo a escala, que también cumple con las normas de diseño antes mencionadas, nos aseguramos que el sistema tendrá un correcto funcionamiento ya de forma práctica.
- ❖ Se realizó una selección entre varias alternativas que se pueden utilizar y que brindan un funcionamiento similar; la alternativa seleccionada es la que más factibilidad nos brinda, teniendo como principal factor en consideración el factor económico que en nuestro medio es el más preponderante al momento de realizar un diseño.
- ❖ La correcta utilización de las herramientas con las que contamos para realizar los diseños como son los paquetes computacionales como AUTOCAD, SOLIDWORKS, COSMOS WORKS, entre otros utilizados, ayudan a que el diseño de los diferentes sistemas se realicen de manera más veloz y eficiente, ya que se puede optimizar el tiempo y se puede ir probando que los diferentes sistemas o sus partes funcionen correctamente.
- ❖ Con la implementación de este proyecto en cualquier lugar que se lo desee colocar, se logrará triplicar la capacidad de los estacionamientos, además

que brinda gran seguridad ya que solo la persona que tenga el control remoto tendrá acceso a su vehículo, con lo cual se protege de posibles robos parciales o totales.

- ❖ La construcción de la estructura, fosa y sistema de elevación son muy sencillos, tan solo se deben seguir los planos de fabricación, para el sistema de control se debe tener conocimiento de la programación de PLC y de la conexión eléctrica para que pueda funcionar correctamente.
- ❖ Para el sistema de control se pueden utilizar reles, actuadores, es decir hacer una caja de control; pero con la utilización de un PLC no hace falta estar armando dicha caja, la única complicación que se tiene es la programación, pero esta complicación se ve superada con la facilidad de conexión, y la facilidad de reprogramación.
- ❖ El costo de implementación de este sistema de estacionamiento no es muy elevado en la actualidad al adquirir un departamento el costo de cada estacionamiento oscila entre los \$5000 y \$8000 dólares, el costo de los tres parqueaderos está bajo los \$18500 por lo cual es muy conveniente su implementación.
- ❖ Este proyecto con ligeras modificaciones puede ser utilizado con otros fines como son estacionamientos públicos, incremento de estacionamientos en lugares que ya su capacidad es insuficiente, entre otros.
- ❖ Con la utilización del arranque suave se logra que el pico que se genera al encender un motor eléctrico de gran tamaño sea muy pequeño con lo cual el costo de operación del sistema no será muy elevado.
- ❖ El diseño del sistema está sobre dimensionado para precautelar el correcto funcionamiento en caso de que exista un sobre peso por parte de los usuarios, por lo cual para todos los cálculos se tomaron en cuenta un peso de 7.5 toneladas.

## Recomendaciones:

- ❖ El sistema no debe ser sobre cargado sobre el factor que fue considerado ya que si esto se da, el sistema puede colapsar.
- ❖ Se debe realizar un correcto mantenimiento, tomando en cuenta todos los elementos que intervienen en el sistema para evitar posibles daños.
- ❖ Para los diseños se debe considerar un correcto factor de seguridad a fin de garantizar que el sistema diseñado pueda funcionar correctamente aún en condiciones extremas.
- ❖ La implementación de este sistema ayudaría disminuir la falta de estacionamientos que se tiene en la actualidad a causa de la excesiva adquisición de vehículos nuevos.
- ❖ Teniendo como base este diseño se pueden realizar innumerables modificaciones a fin de brindar con la misma idea soluciones a diversos problemas que generan la falta de estacionamientos en el país y en otras partes del mundo.
- ❖ Se debe siempre tomar en cuenta las herramientas con las que contamos en el momento de realizar diseños, como son los programas, que nos ayudan a optimizar el tiempo y la utilización de los diferentes materiales; es por ello que se debe aprender a manejarlos correctamente ya que con ello tenemos una poderosa herramienta en nuestras manos.
- ❖ Con el fin de abaratar costos se puede realizar cálculos tomando en cuenta los pesos reales de los automóviles que van a utilizar estos estacionamientos, ya que como se puede apreciar en la evaluación económica del sistema los elementos más costosos y que se pueden variar son los motores, que mientras más pequeños sean menor es su costo.

- ❖ Si se implementa este sistema se debe también colocar una planta eléctrica para que el sistema pueda seguir funcionando aún cuando falte electricidad.
  
- ❖ El mantenimiento de este tipo de sistemas deberá ser realizado por una persona que esté bien capacitada y que cuente con las herramientas necesarias para poder brindar este servicio, entre las principales herramientas con las que debe contar es un sistema para elevar todo el estacionamiento, aún cuando se encuentre utilizado en su totalidad.

## Bibliografía

Mott, Robert L., Diseño de Elementos de Máquinas, Segunda Edición. Editorial Prentice Hall.

Shigley, Joseph E., Diseño en Ingeniería Mecánica, Traducido por Javier León Cárdenas. Sexta edición, MacGraw Hill.

Riley, William F, Mecánica de Materiales, Primera Edición. Editorial Limusa Wiley.

Beer, Ferdinand P, Mecánica de Materiales, Segunda Edición. Editorial McGraw-Hill

The CROSBY group inc, Catálogo de Pastecas y Accesorios para Cables y Cadenas, Edición año 2000

IPAC, Especificaciones y soporte técnico de productos.

American Institute of Steel Construction Inc, Manual of Steel Construction, Eighth edition.

SKF, Catálogo General.

INEN, Código de Dibujo Técnico Americano, Quito, Ecuador 1981.

<http://www.duplexchile.cl/MontaAutos/estint.htm>

[http://www.duplexchile.cl/MontaAutos/pro\\_duplex6.htm](http://www.duplexchile.cl/MontaAutos/pro_duplex6.htm)

<http://www.monografias.com/trabajos12/rosytor/rosytor.shtml#MM>

RCANICA

<http://www.araucaria2000.cl/maquinas/maquinas.htm>

<http://www.cnice.mecd.es/recursos/bachillerato/tecnologia/manual/mecanism/ruedas.htm>

# **Anexos**

## **Anexo 1: falta de estacionamientos y otros problemas en Guayaquil**

### **Tránsito: en busca de coherencia**



**La deficiente distribución del tránsito es el mayor problema que se vive en las calles. En total se han levantado 36 viaductos como solución**

En Guayaquil los primeros buses fueron de madera; hoy son de fibra de vidrio y hojalata. Sin embargo, muy poco ha cambiado el sistema de transportación urbana.

En 1970, cuando se comprobó la ineficacia del servicio, se analizaron varias propuestas: tren eléctrico elevado, trolebuses, tren urbano (monorriel), buses articulados y transporte fluvial. Ninguna cubría más que el 20% de las necesidades y fueron descartadas, debido a su alta inversión económica y, además, el costo de los pasajes no estaba al alcance popular.

Ya en 1983, el problema de la ciudad no era la falta de vías, sino la mala distribución del tráfico y el desorden que los peatones y conductores ocasionaban en el uso de calles y avenidas. Así lo determinó el ya fallecido Eduardo Moncayo, ex alcalde, cuando ejerció la dirección del Fondo de Desarrollo Urbano (Fodur).

Pero las variables muestran armonía entre ellas: población, parque automotriz y superficie del sistema vial, al igual que otras ciudades de América Latina y Europa. Entonces, ¿por qué se produce el congestionamiento vehicular? Baches

de las calles, falta de tapas en alcantarillas y sistemas de mantenimiento telefónico, sincronización inapropiada del sistema de semáforos, desorganización para sancionar a los conductores en medio del tráfico, según las fuentes.

A esto se suma la falta de educación vial de los peatones, la descoordinación interinstitucional para ejecutar los programas, falta de obras de infraestructura, irrespeto de los conductores a los máximos y mínimos de velocidad, falta de estacionamientos, descontrol en las paradas.

Las dificultades son evidentes, a pesar de que desde la década del 80 empezaron las construcciones de los grandes pasos a desnivel. Hoy Guayaquil tiene ya 36.

Y son dos entidades las que controlan el tránsito urbano: el Municipio y la Comisión de Tránsito del Guayas. Pero "debería hacerlo una sola entidad", dice Tony Zambrano, presidente de la Federación de Transportistas Urbanos de Guayaquil (Fetug).

"El Municipio debe manejar el tránsito urbano, construir calles, pasos a desnivel y peatonales elevados, colocar semáforos y diseñar obras. La CTG tiene que controlar el tráfico vehicular y nada más", dice Zambrano.

Su criterio lo comparten funcionarios municipales, que prefirieron el anonimato. Pero el alcalde León Febres Cordero niega que el Cabildo pretenda asumir el manejo del transporte.

"Coordinamos con la CTG esta labor. Buscamos un reordenamiento de las vías. Hay muchos buses que pasan por una sola calle, por ejemplo el Malecón. Graduando este esquema en la medida que avancen los trabajos tendremos los primeros frutos en el sistema vial", dice el alcalde.

Y toda la inversión efectuada en grandes edificaciones, ¿es justificada? "Sí. Si el Municipio no hubiese construido las obras viales, Guayaquil sería un caos, estaría 'ahogada' de tráfico", responde Mario Semiglia, de la unidad coordinadora del Programa de Desarrollo Municipal Técnico. (AM)

## **Largo listado de las posibles soluciones**

El Municipio de Guayaquil aprobó la creación de la Unidad Técnica del Transporte Urbano. El fin: desarrollar un proyecto de transporte público, mejorar los corredores municipales, semaforización, mantenimiento vehicular y seguridad vial.

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) ofreció 50 millones de dólares, pero el ofrecimiento no se concretó, pues el Municipio no aseguró los 22 millones de dólares de la contraparte nacional.

Sin esta alternativa, surgieron otras: cambiar las rutas de los buses norte-sur, este-oeste, construir tres puentes para enlazar el Puerto con las provincias de la Sierra, mejorar el uso de la vía Perimetral.

Además: una carretera entre Guayaquil (La Aurora) y Babahoyo de 70 km, pasos a desnivel en las avenidas Quito-Machala, prolongación de la Francisco de Orellana, actualmente en construcción (desde La Alborada hasta Pascuales).

Y la lista continúa: túneles en los cerros Santa Ana y El Carmen (próximos a construirse), pavimentación de calles (90% terminada), evitar 'interferencias' entre entidades, prohibir estacionamientos en áreas congestionadas, racionalizar parqueaderos, dotar de señales de tránsito peatonal y vehicular, revisión de calles unidireccionales, división de rutas, carriles solo para buses.

La interminable lista se justifica, pues además de la Municipalidad, las Naciones Unidas y el BID han demandado esfuerzos para la formación de políticas y estratégicas sectoriales por medio de estudios. (AM).

