

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**DISEÑO, AUTOMATIZACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO A  
ESCALA DE ASCENSOR OPERADO MEDIANTE PLC PARA FINES  
ACADEMICOS**

Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por los bachilleres:  
**Martínez S., Jesús A.**  
**Motezuma P., Victor M.**  
Para optar por el Título de  
Ingeniero Mecánico

Caracas, Junio 2012

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**DISEÑO, AUTOMATIZACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO A  
ESCALA DE ASCENSOR OPERADO MEDIANTE PLC PARA FINES  
ACADEMICOS**

**Tutor Académico: Hans García**

Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por los bachilleres:  
**Martínez S., Jesús A.**  
**Motezuma P., Victor M.**  
Para optar por el Título de  
Ingeniero Mecánico

Caracas, Junio 2012



Caracas 18 de Junio de 2012

## ACTA

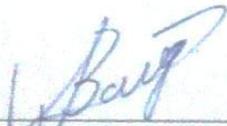
Los abajo firmantes, miembros del jurado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el (los) bachiller (es):

**JESUS MARTINEZ**  
**VICTOR MOTEZUMA**

Titulado:

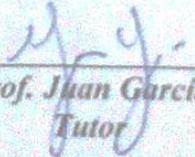
**"DISEÑO, AUTOMATIZACION Y CONSTRUCCION DE UN MODELO A ESCALA DE ASCENSOR OPERADO MEDIANTE PLC PARA FINES ACADEMICOS"**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudio conducente al Título de Ingeniero Mecánico.

  
Prof. Antonio Barragán  
Jurado



  
Prof. José Barriola  
Jurado

  
Prof. Juan García  
Tutor

"50 años de la creación de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, de la Escuela de Ingeniería Mecánica y del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales"

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco ante todo a la Universidad Central de Venezuela por ser un segundo hogar donde obtuve conocimientos intelectuales como grandes relaciones personales.

A nuestro tutor académico Prof. Hans García por su gran apoyo y disposición en la realización de este trabajo,

A los Profesores Pedro Lecue y José Barriola atentos en todo momento para ayudarnos y asesorarnos en cada complicación que tuvimos en este trabajo.

A Carlos Navarro y Juvenal Caraballo por su disposición para ayudarnos a concluir el trabajo.

Al personal técnico del galpón de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Angel Vizcaya, Elis Araque, Manuel Sandoval, Joel De Jesús Vidal, José García, Gustavo Rodríguez, debido a su gran ayuda en la construcción del ascensor.

A mis padres Victor Motezuma y Rosario Pisano de Motezuma por su amor y apoyo total en toda mi vida.

Igualmente a mis hermanos, Nicolás, Rodolfo, José Manuel, Jessica y Luisana por su gran apoyo y amor en todo momento.

A mi compañero de tesis Jesús Martínez,

A nuestro segundo compañero de tesis Angel Briceño siempre dispuesto a ayudar.

A Wisam Ankah, Helmud Del Portillo, Antonio Lopardo, Rafael Farfan, Yoana Gonzalez, Maikel Ordaz, Gabriel Torres, Gabriel Aguilera, Juan Berrios y Jorge Piñango siempre pendientes de nuestro trabajo.

A José Esteban Rivas, Axel Jaen, Raúl Perez, mis amigos que me acompañaron en todo momento de mi carrera universitaria.

Y en general a todos aquellos amigos que en estas palabras no nombro que de una u otra forma dejaron una huella positiva en mi persona y me ayudaron a llegar hasta donde estoy hoy.

Victor Motezuma

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Central de Venezuela, por abrirme las puertas del conocimiento permitiendo mi desarrollo integral como profesional y persona.

A nuestro tutor académico Prof. Hans García, por su asesoría y por colaboración aportada en la toma de decisiones que llevaron a la culminación de este proyecto.

A los Profesores Pedro Lecue y José Barriola, por brindarnos su colaboración siempre que la necesitamos.

A Carlos Navarro, por la ayuda prestada durante la etapa final de este proyecto.

Al personal técnico del galpón de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Angel Vizcaya, Elis Araque, Manuel Sandoval, Joel De Jesús Vidal, José García, por su ayuda y asesoría durante la etapa de construcción del proyecto.

A mis padres Isabel de Martínez y Jesús Martínez, por la confianza que depositaron en mí y por el apoyo brindado a lo largo de mi carrera.

A mi hermana Evelyn Martínez, por todo su cariño y por haberme ayudado siempre que la necesite.

A mi compañero de tesis Victor Motezuma.

A nuestro segundo compañero de tesis Angel Briceño, por toda la ayuda prestada durante la elaboración del proyecto.

A mis amigos Helmud Del Portillo, Wisam Ankah, Yoana Gonzalez, Maikel Ordaz, Antonio Lopardo, Gabriel Torres, Gabriel Aguilera Rafael Farfan, Juan Berrios y Jorge Piñango, por su valiosa colaboración la cual nos ayudó a concluir este trabajo con éxito.

A Jesús Díaz, Shira Pacheco, Minerva Jimenez, Andrea Quintero, mis amigos de toda la vida que siempre estuvieron pendientes de mi trabajo.

Y en general a todos aquellos que de una u otra forma ayudaron con la realización del presente Trabajo Especial de Grado.

Jesús Martínez

# **DISEÑO, AUTOMATIZACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO A ESCALA DE ASCENSOR OPERADO MEDIANTE PLC PARA FINES ACADÉMICOS**

JESÚS MARTÍNEZ Y VÍCTOR MOTEZUMA.

Tutor Académico: Prof. Juan García. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2012.

## **RESUMEN**

En este trabajo especial de grado se desarrolló la construcción y automatización de un modelo de ascensor que servirá como equipo de prácticas en el laboratorio de automatización aplicando el método de diseño, igualmente realizándose todos los planos y cálculos que verificaron el buen desempeño del banco de pruebas. El trabajo se realizó apegado a la normativa venezolana de elevadores dictada por las normas COVENIN, para ello se realizaron investigaciones previas plasmadas en el marco teórico, luego se realizó el proceso de selección de materiales y de esta manera se escogió el diseño más adecuado para este banco de pruebas. Los componentes mecánicos del modelo de ascensor constan de una cabina, un contrapeso y una sala de máquinas todos ensamblados a un bastidor de acero que sirve como pozo del ascensor. Para realizar la automatización y el control del banco se realizaron investigaciones previas y luego se instaló un conjunto de sensores e interruptores controlados por un PLC los cuales indicarán el estado en el que se encuentra el sistema por medio de luces pilotos. Finalmente se realizaron pruebas del sistema verificando así su correcto funcionamiento, se dejó un programa modelo como ejemplo de la funcionalidad del banco y se propusieron un conjunto de prácticas de laboratorios que puedan ser usadas en las materias de PLC y Automatización.

Palabras Claves: Máquinas de elevación y transporte, Guías, PLC, Variador de frecuencia, Sensores, Interfaz humano-máquina.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	VII
LISTA DE TABLAS .....	XVI
LISTA DE FIGURAS.....	XVIII
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: ANTEPROYECTO.....	2
1.1- MOTIVACIÓN.....	2
1.2- ANTECEDENTES .....	2
1.3- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	4
1.4- OBJETIVOS .....	5
1.4.1- Objetivo General.....	5
1.4.2- Objetivos Específicos .....	5
1.5- RECURSOS DISPONIBLES .....	6
1.6- ALCANCES Y LIMITACIONES .....	7
1.6.1- Alcances.....	7
1.6.2- Limitaciones.....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	8
2.1- CONCEPTOS BÁSICOS.....	8
2.1.1- Ascensor.....	8
2.1.2- Clasificación de los Ascensores.....	8
2.1.2.1- Según su función.....	8
2.1.2.2- Según su tipo de accionamiento.....	8
2.1.2.3- Según su sistema de tracción.....	9
2.1.2.4- Según su tipo de transmisión.....	9
2.1.3- Partes de un Ascensor.....	10
2.1.3.1- Pozo.....	10
2.1.3.2- Foso.....	10

2.1.3.3- Espacio superior.....	10
2.1.3.4- Cabina. ....	10
2.1.3.5- Puertas de pasillo. ....	11
2.1.3.6- Puertas de cabina. ....	11
2.1.3.7- Botonera de Cabina.....	11
2.1.3.8- Botonera de Piso. ....	11
2.1.3.9- Contrapeso. ....	11
2.1.3.10- Guías de cabina y contrapeso.....	11
2.1.3.11- Guiadores del carro.....	12
2.1.3.12- Máquina. ....	12
2.1.3.13- Sala de máquinas. ....	12
2.1.3.14- Sala de poleas.....	12
2.1.3.15- Cables de tracción.....	12
2.1.3.16- Carga de balanceo.....	12
2.1.3.17- Carga mínima de rotura del cable.....	13
2.1.3.18- Carga nominal.....	13
2.1.3.19- Mecanismo de freno.....	13
2.1.3.20- Amortiguadores. ....	13
2.1.3.21- Limitador de velocidad.....	14
2.1.3.22- Paracaídas. ....	14
2.1.3.23- Cuadro de Maniobra. ....	14
2.1.3.24- Cable viajero.....	14
2.2- DISPOSITIVOS DE ACCIONAMIENTO. ....	14
2.2.1- Motores eléctricos.....	14
2.2.2- Motor de inducción.....	14
2.2.3- Partes de un Motor Eléctrico. ....	15
2.2.3.1- Rotor. ....	15
2.2.3.2- Estator. ....	15
2.3- SECCIONAMIENTO Y PROTECCIÓN CONTRA CORTOCIRCUITO.....	16
2.3.1- Seccionamiento.....	16

2.3.2- Interruptor. ....	16
2.3.3- Contactor.....	16
2.3.4- Bobina. ....	16
2.3.5- Contactos. ....	17
2.3.6- Relés térmicos.....	17
2.3.7- Relés magnéticos. ....	17
2.3.8- Relés magneto-térmicos.....	17
2.3.9- Arrancadores. ....	17
2.3.10- Disyuntor o interruptor automático. ....	18
2.3.11- Variadores de Velocidad.....	18
2.3.12- Arranque directo. ....	19
2.3.13- Arranque a tensión reducida, método estrella-triángulo. ....	20
2.4- DISPOSITIVOS DE AUTOMATIZACIÓN.....	21
2.4.1- Controlador Lógico Programable. ....	21
2.4.2- Entradas/Salidas.....	22
2.4.3- Sensores. ....	23
2.4.4- Final de carrera o sensor de contacto.....	23
2.4.5- Sensores Fotoeléctricos.....	24
2.4.6- Sensores Inductivos. ....	24
2.4.7- Sensores Capacitivos. ....	25
2.5- DISEÑO DE ELEMENTOS MECÁNICOS .....	25
2.5.1- Correa dentada. ....	25
2.5.2- Polea. ....	25
2.5.3- Acoples. ....	25
2.5.4- Cuñas de unión. (Chaveta).....	26
2.5.5- Pernos Prisioneros. ....	26
2.5.6- Cojinete.....	26
2.5.7- Chumacera. ....	27
2.5.8- Perno. ....	27
2.5.9- Tornillo. ....	27

2.5.10- Remache.....	27
2.5.11- Soldadura.....	28
2.6- DEFINICIONES DE DISEÑO CONCEPTUAL .....	28
2.6.1- Método de diseño de Pahl & Beitz .....	28
2.6.2- Diseño Conceptual.....	29
2.6.3- Tormentas de ideas.....	29
2.6.4- Matriz Morfológica.....	29
2.6.5- Criterios de Selección.....	29
2.7- TEORÍAS UTILIZADAS EN CÁLCULOS DE DISEÑO .....	31
2.7.1- Diseño de ejes.....	31
2.7.2- Diseño de vigas.....	33
2.7.3- Diseño de uniones atornilladas .....	33
2.7.4- Diseño de uniones soldadas .....	34
CAPÍTULO III: DISEÑO CONCEPTUAL.....	35
3.1- SISTEMA MECÁNICO .....	36
3.1.1- Fase de generación de ideas.....	36
3.1.2- Matriz Morfológica.....	37
3.1.3- Alternativas de diseño.....	42
3.1.4- Factores a tomar en cuenta al evaluar los diseños: .....	45
3.1.5- Matriz de evaluación.....	46
3.2- AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA .....	48
3.2.1- Fase de generación de ideas.....	48
3.2.2- Matriz Morfológica.....	48
3.2.3- Alternativas de diseño.....	50
3.2.4- Factores a tomar en cuenta al evaluar los diseños: .....	52
3.2.5- Matriz de evaluación.....	53
CAPÍTULO IV: DISEÑO BÁSICO .....	55
4.1- DESCRIPCIÓN SUPERFICIAL DEL CONJUNTO .....	55
4.2- CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN.....	56
4.2.1- Sensor inductivo: .....	56

4.2.2- Interruptores de final de carrera:.....	56
4.2.3- Microswitches:.....	56
4.2.4- Luces.....	57
4.2.5- Pulsadores.....	57
4.2.6- Cuadro de maniobras (Gabinete).....	57
4.3- CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO.....	57
4.4- INVENTARIO DE LOS MATERIALES Y ELEMENTOS A UTILIZAR.....	58
CAPÍTULO V: DISEÑO DE DETALLES.....	61
5.1- ANÁLISIS DINÁMICO.....	61
5.1.1- Reducción al eje motor (Cabina en ascenso).....	61
5.1.1.2- Ecuaciones de movimiento ascendente de la cabina.....	65
5.1.2- Reducción al eje motor (Cabina en descenso).....	66
5.1.2.1- Ecuaciones de movimiento descendente de la cabina.....	66
5.1.3- Cálculo de la Velocidad de giro y frecuencia del motor.....	67
5.1.4- Cálculo del par del motor.....	68
5.1.5- Cálculo de tensiones y reacciones del sistema.....	70
5.2- ESTUDIO SOBRE LOS EJES:.....	71
5.2.1- Cálculo del eje motor (Caso acelerado carga subiendo).....	71
5.2.2- Cálculo del eje del contrapeso.....	83
5.3- ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	88
5.3.1- Cálculo de tornillos de guías.....	88
5.3.2- Cálculo de pernos del carro del contrapeso.....	90
5.3.2.1- Cálculo de los tornillos de unión entre la parte inferior y superior del carro del contrapeso.....	91
5.3.2.2- Cálculo de los tornillos de unión entre las chumaceras y sus bases.....	92
5.3.3- Cálculo estructural de la sala de máquinas.....	93
5.3.4- Cálculo del bastidor que corresponde al pozo del ascensor.....	99
5.3.5- Cálculos de soldadura.....	104
5.3.5.1- Carro del contrapeso.....	104
5.3.5.2- Unión de las bases de las chumaceras al carro del contrapeso.....	106

5.3.5.3- Carro de la cabina .....	107
CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	109
6.1- ANÁLISIS DINÁMICO.....	109
6.1.1- Velocidad de giro y frecuencia del motor.....	109
6.1.2- Par motor. ....	109
6.1.3- Tensiones y reacciones del sistema. ....	109
6.2- ESTUDIO SOBRE LOS EJES .....	110
6.2.1- Eje motor.....	110
6.2.2- Cálculo del eje del contrapeso. ....	110
6.3- ANÁLISIS ESTRUCTURAL .....	110
6.3.1- Tornillos de las guías. ....	110
6.3.2- Tornillos del carro del contrapeso. ....	110
6.3.3- Tornillos de unión de la parte inferior y superior del carro del contrapeso....	111
6.3.4- Tornillos de unión entre las chumaceras y sus bases.....	111
6.3.5- Sala de máquinas. ....	111
6.3.6- Pozo. ....	111
6.3.7- Soldadura. ....	111
6.3.7.1- Carro del contrapeso. ....	112
6.3.7.2- Bases de las chumaceras. ....	112
6.3.7.3- Carro de la cabina. ....	112
CAPÍTULO VII: CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN .....	113
7.1- PROCURA DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION.....	113
7.2- CONSTRUCCIÓN DE LOS EQUIPOS MECÁNICOS .....	113
7.2.1- Torneado. ....	114
7.2.1.1- Eje motor.....	114
7.2.1.2- Eje del contrapeso.....	114
7.2.1.3- Acople Flexible.....	114
7.2.2- Corte. ....	114
7.2.3- Taladrado. ....	116
7.2.4- Doblado.....	116

7.2.5- Soldadura.....	116
7.3- INTEGRACIÓN DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS ...	117
7.4- INSTALACIÓN FINAL DEL BANCO DE PRUEBA.....	117
7.4.1- Armado de los equipos mecánicos.....	117
7.4.2- Instalación de los sensores al sistema mecánico.....	119
7.4.3- Instalación de los sensores al sistema eléctrico.....	119
7.4.4- Instalación final.....	120
MANUAL DE USO.....	121
PRÁCTICAS PROPUESTAS.....	123
CONCLUSIONES.....	126
RECOMENDACIONES.....	128
BIBLIOGRAFÍA.....	129
ANEXOS.....	131
ANEXO 1. TABLAS.....	131
Constantes físicas de los materiales.....	131
Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga.....	131
Factor de superficie $k_a$ .....	132
Factor de tamaño $k_b$ .....	132
Factor de carga $k_c$ .....	132
Factor de temperatura $k_d$ .....	132
Factor de efectos diversos $k_e$ .....	133
Factor de concentración de esfuerzo $k_f$ .....	133
Cortante, momento y deflexión de vigas.....	134
Propiedades de perfiles angulares de acero estructural.....	135
Catálogo Ferrum (perfiles L).....	136
Propiedades a la flexión de uniones de soldaduras de filete.....	137
Especificaciones SAE para pernos de acero.....	138
Secciones de la estructura del pozo.....	139
Método de diseño de Pahl y Beitz.....	140
ANEXO 2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	141

ANEXO 3. PROGRAMA PREFIJADO AL PLC .....	147
ANEXO 4. DIAGRAMAS DE CONEXIÓN .....	159
DIAGRAMA DE POTENCIA.....	159
DIAGRAMA DE ENTRADAS .....	160
DIAGRAMA DE SALIDAS .....	161
ANEXO 5. PLANOS DEL SISTEMA .....	162
Vista general del modelo.....	PLANO A
Explosión del modelo de ascensor .....	PLANO EXP. A
Guías de la cabina y del contrapeso 1 .....	PLANO A.5
Guías de la cabina y del contrapeso 2 .....	PLANO A.6
Conjunto cabina .....	PLANO B
Explosión conjunto cabina .....	PLANO EXP. B
Piso de la cabina.....	PLANO B.1
Techo de la cabina.....	PLANO B.2
Pestaña guiadora de la puerta.....	PLANO B.3
Frente de la cabina .....	PLANO B.4
Guía superior cabina .....	PLANO B.5
Puerta de la cabina .....	PLANO B.6
Soporte para fijación de cables de tracción.....	PLANO B.11
Guiador del carro de la cabina .....	PLANO C
Explosión del guiador de la cabina .....	PLANO EXP. C
Base rueda de goma derecha .....	PLANO C.2
Base rueda de goma izquierda.....	PLANO C.3
Base rueda acanalada derecha.....	PLANO C.4
Base rueda acanalada izquierda .....	PLANO C.5
Conjunto contrapeso.....	PLANO D
Explosión del conjunto contrapeso .....	PLANO EXP. D
Viga lateral carro contrapeso .....	PLANO D.3
Vigas de unión parte inferior del carro .....	PLANO D.4
Vigas de unión parte superior del carro .....	PLANO D.5

Base chumacera contrapeso .....	PLANO D.8
Guiador del contrapeso .....	PLANO E
Explosión guiador del contrapeso .....	PLANO EXP. E
Base rueda de goma .....	PLANO E.1
Conjunto sala de máquinas.....	PLANO F
Explosión sala de máquinas .....	PLANO EXP. F
Unión 1 de las bases de la sala de máquinas.....	PLANO F.1
Unión 2 de las bases de la sala de máquinas.....	PLANO F.2
Base frontal de la sala de máquinas .....	PLANO F.3
Base posterior de la sala de máquinas.....	PLANO F.4
Base para los apoyos del eje motor .....	PLANO F.6
Eje motor.....	PLANO F.7

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1- Jerarquía de los criterios de selección .....	30
Tabla 3.1- Matriz Morfológica. Parte 1 .....	38
Tabla 3.2- Matriz Morfológica. Parte 2 .....	39
Tabla 3.3- Matriz Morfológica. Parte 3. ....	40
Tabla 3.4- Matriz Morfológica. Parte 4. ....	41
Tabla 3.5- Matriz de Evaluación.....	46
Tabla 3.6- Matriz de Evaluación según jerarquía. ....	47
Tabla 3.7- Matriz morfológica automática.....	49
Tabla 3.8- Matriz de Evaluación.....	54
Tabla 3.9- Matriz de Evaluación según jerarquía. ....	54
Tabla 4.1- Longitud de vigas utilizadas .....	59
Tabla 5.1- Resultados de par en ascenso con carga útil.....	69
Tabla 5.2- Resultados de par en descenso sin carga útil.....	70
Tabla 5.3- Cabina en movimiento ascendente (con carga útil).....	70
Tabla 5.4- Cabina en movimiento descendente (sin carga útil).....	70
Tabla 5.5- Resultados de los cálculos del eje motor .....	83
Tabla 5.6- Resultados de los cálculos de tornillos de sujeción de las chumaceras.....	93
Tabla 5.7- Resultados de reacciones para $R_c$ , Tramo 2-3.....	101
Tabla 5.8- Resultados de reacciones para $R_c'$ , Tramo 2-3 .....	102
Tabla 5.9- Resultados de reacciones por superposición, Tramo 2-3.....	102
Tabla 5.10- Resultados de Reacciones, tramo 3-4 .....	103
Tabla 5.11- Resultados $R_b'$ , Tramo 4-1 .....	103
Tabla 5.12- Resultados $R_b$ , Tramo 4-1 .....	104
Tabla 5.13- Resultados Superposición, Tramo 4-1 .....	104
Tabla 5.14- Resultados de soldadura carro de la cabina .....	108
Tabla 7.1- Materiales Adquiridos .....	113
Tabla 7.2- Número de cortes del perfil 25x25x3 .....	115

Tabla 7.3- Número de cortes del perfil 30x30x4 .....	115
Tabla 7.4- Número de cortes del perfil 40x40x4 .....	115
Tabla 7.5- Número de cortes del perfil 40x40x4 .....	116

## LISTA DE FIGURAS

Figura 5.1- Diagramas de cuerpo libre del conjunto cabina contrapeso, cabina en ascenso .....	62
Figura 5.2- Velocidad de la polea del contrapeso .....	63
Figura 5.3- Polea del contrapeso .....	64
Figura 5.4- Polea de tracción .....	65
Figura 5.5- Diagramas de cuerpo libre del conjunto cabina contrapeso, cabina en descenso. ....	66
Figura 5.6- Gráfico de velocidad vs tiempo.....	69
Figura 5.7- Diagrama de cuerpo libre del eje motor .....	72
Figura 5.8- Diagrama flexión sección a-a .....	74
Figura 5.9- Diagrama flexión sección b-b.....	74
Figura 5.10- Diagrama flexión sección c-c .....	75
Figura 5.11- Diagrama flexión sección d-d.....	75
Figura 5.12- Diagrama flexión sección e-e .....	76
Figura 5.13- Diagrama flexión sección f-f.....	76
Figura 5.14- Gráfica fuerza cortante vs longitud. ....	77
Figura 5.15- Gráfica momento flector vs longitud.....	77
Figura 5.16- Gráfica esfuerzo por flexión vs longitud.....	78
Figura 5.17- Diagrama Torsión sección a-a.....	78
Figura 5.18- Diagrama Torsión sección b-b .....	79
Figura 5.19- Diagrama Torsión sección c-c .....	79
Figura 5.20- Diagrama Torsión sección d-d .....	79
Figura 5.21- Diagrama Torsión sección e-e.....	80
Figura 5.22- Gráfica momento torsor vs longitud.....	80
Figura 5.23- Gráfica esfuerzo por torsión vs longitud. ....	80
Figura 5.24- Diagrama de cuerpo libre del eje del contrapeso. ....	84
Figura 5.25- Gráfica fuerza cortante vs longitud. ....	85

Figura 5.26- Gráfica momento flector vs longitud.....	86
Figura 5.27- Fijación de las guías al Pozo .....	88
Figura 5.28- Soporte de guía al pozo .....	89
Figura 5.29- Unión de la parte inferior y superior del carro del contrapeso.....	91
Figura 5.30- Sujeción de las chumaceras.....	92
Figura 5.31- DCL Sala de máquinas.....	94
Figura 5.32- DCL sección A-A.....	95
Figura 5.33- DCL sección B-B .....	96
Figura 5.34- DCL sección C-C .....	96
Figura 5.35- DCL sección D-D.....	96
Figura 5.36- DCL sección E-E.....	97
Figura 5.37- DCL sección F-F .....	97
Figura 5.38- Gráfica de fuerza cortante .....	98
Figura 5.39- Gráfica de momento flector.....	98
Figura 5.40- DCL Estructura del pozo.....	100
Figura 5.41- DCL Tramo 2-3 .....	101
Figura 5.42- DCL Tramo 3-4.....	102
Figura 5.43- DCL Tramo 4-1 .....	103
Figura 5.44- DCL Base del lastre del contrapeso .....	105
Figura 5.45- DCL Columnas.....	106
Figura 5.46- DCL Bases de las chumaceras.....	106
Figura 5.47- DCL base soporte de los cables de tracción .....	108

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad la automatización y los controles lógicos son campos de gran interés para cualquier estudiante de Ingeniería Mecánica, debido a que el accionamiento de los componentes mecánicos se hace más preciso al estar controlado mediante equipos electrónicos de última tecnología.

En el campo de la elevación y transporte vertical la unión entre la electrónica y componentes mecánicos se evidencia claramente, ya que se puede ver cómo ha variado la disposición de las salas de máquinas y control para los ascensores en los últimos años.

Tiempo atrás la sala de control estaba compuesta por grandes gabinetes llenos de relés que eran activados por los sensores o interruptores, dependiendo de la lógica establecida. Actualmente esa tecnología cae en desuso al entrar el control computarizado en vigencia, de esta manera es más preciso el control de las máquinas de elevación y transporte, además de ser mucho menor el espacio destinado a las salas de máquinas y de control en las edificaciones.

De esta manera, surge la necesidad de formar mayor cantidad de personal calificado y adiestrado en estas áreas de automatización y control para monitorear estos dispositivos.

Este trabajo presenta la realización de un banco de pruebas para el laboratorio de automatización de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UCV, capaz de adiestrar a los estudiantes en los temas de PLC y Automatización.

## CAPÍTULO I: ANTEPROYECTO

### 1.1- MOTIVACIÓN

Para la Escuela de Ingeniería Mecánica es de suma importancia la actualización del laboratorio de automatización industrial, ya que la misma pertenece a un campo de la ingeniería el cual se encuentra en constante desarrollo. De esta manera surge esta propuesta de proyecto de trabajo especial de grado que se basa en la construcción y puesta en operación de un banco de pruebas que contenga componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos de última generación.

Considerando lo anteriormente dicho la actualización del laboratorio será de utilidad a futuros estudiantes de esta escuela para prácticas de controles lógicos programables y automatización.

### 1.2- ANTECEDENTES

En este proyecto se realizan diversas revisiones bibliográficas de trabajos de investigación anteriores, las cuales presentan similitudes directas o indirectas con este trabajo de investigación y de esta manera podrán ser tomadas como punto de referencia. Entre los documentos y bibliografía anterior, relacionada a este trabajo se tiene:

En el año 2008 Sergio Fava y Dani Gómez presentaron el trabajo de grado titulado ***“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA CINTA TRANSPORTADORA PARA LA SIMULACIÓN MECÁNICA DE UN PROCESO INDUSTRIAL”*** ante la Universidad Central de Venezuela para la obtención del título de ingeniero mecánico.

En este trabajo especial de grado se desarrolló el diseño y selección de un sistema de transporte por cadena, se realizaron los cálculos y planos necesarios para su construcción. El sistema se encuentra sobre unas vías de acero inoxidable, el

movimiento del mismo se genera gracias a un piñón acoplado mediante un eje al motor. Las vías se encuentran apoyadas sobre unos soportes de madera que le dan la altura necesaria para acoplarse al eje del motor directamente.

Para accionar el motor se instaló un gabinete de potencia, el cual está conformado por un variador de frecuencia, que tienen la finalidad de controlar la velocidad de la cinta transportadora, así como el tipo de arranque del sistema, según se desee. En este también se encuentran un disyuntor seccionador el cual proporciona protección al sistema.

Para controlar el sistema se colocó un PLC dentro de un gabinete, que contiene en su tapa frontal un interfaz humano-máquina, este consta de pulsadores y luces pilotos las cuales se programaron con la finalidad de realizar diferentes prácticas de automatización, como cambio de sentido de giro, joggin y configuración del sistema de arranque. También se colocaron, a lo largo de la vía, unos sensores de diferentes características los cuales se programaron para realizar simulaciones de procesos que involucran la utilización de cintas transportadoras.

Después de la instalación física de cada uno de los componentes se procedió a cablear eléctricamente todos los dispositivos, incluyendo el PLC y los sensores, para su funcionamiento en conjunto. Así mismo se realizaron los ajustes necesarios con el fin de poner en marcha el sistema.

Se proponen un conjunto de prácticas de laboratorio que pueden ser usadas en la materia de PLC, para mejorar la comprensión de los conceptos teóricos impartidos en las clases.

En el año 1992 Santiago Antón y Elizabeth Di Silvestri presentaron el trabajo de grado titulado ***“PROYECTO Y CONSTRUCCION DE UN MODELO EXPERIMENTAL DE CONTROL DE NIVEL PARA EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA”*** ante la Universidad Central de Venezuela para la obtención del título de ingeniero mecánico. En este trabajo especial de grado se estudiaron los principios teóricos en los que se basa el funcionamiento de los controles empleados en la mayoría de los procesos

industriales y se elaboraron unas guías prácticas donde se detallan los lazos de control de nivel, flujo, control en cascada y cuando el sistema se somete a entradas representadas por dos funciones típicas: rampa y escalón unitario.

En el año 2004 Pedro Mesa Centeno presento el trabajo de grado titulado ***“IMPLEMENTACIÓN DE UN PLC EN UN SISTEMA DE REGULACIÓN PID PARA EL CONTROL DE PROCESOS DE NIVEL DE PRESIÓN, TEMPERATURA Y VELOCIDAD”*** ante la Universidad Central de Venezuela para la obtención del título de ingeniero mecánico.

En este trabajo de grado se sustituyó un controlador modelo Micon P-200 del fabricante Powell Industries Inc., por un PLC TSX Micro 3721001 del fabricante Telemecanique. Para ello se desarrolló la programación y conexiones acordes con los requerimientos de los diferentes lazos de control.

Se elimina la ubicación de los instrumentos de control (gabinete de control) colocándolos en bases metálicas independientes y estas a su vez se fijaron sobre una mesa-soportes móviles. Se hizo el mantenimiento y los ajustes necesarios para poner operativos los distintos elementos constitutivos de los lazos de control. Después de su instalación física se procedió a cablear eléctricamente todos los dispositivos, incluido al PLC, para su funcionamiento continuo.

Se propone un conjunto de prácticas de laboratorio que puedan ser usadas en varias de las materias del departamento de automática para mejor comprensión de los conceptos teóricos impartidos en dichas materias.

Se simuló el proceso de temperatura mediante un programa computacional para ayudarnos a conseguir los valores que permitan controlar, en forma estable, el proceso.

### 1.3- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La automatización es un campo en constante evolución, por tal motivo vemos como cada día aumenta su implementación en diferentes procesos, tal es el caso de los sistemas de transporte vertical, cuya principal función es la movilización de carga.

Por lo tanto, se entiende que es de gran importancia para la Escuela de Ingeniería Mecánica contar con bancos de prueba que simulen estos procesos.

Se plantea la construcción de un prototipo de ascensor a escala capaz de ser automatizado por medio de un PLC, para fines didácticos de apoyo a las asignaturas Automatización Industrial y Máquinas de Elevación. De esta manera, futuros estudiantes de dichas asignaturas podrán recibir entrenamiento en dichas áreas de forma que al salir al campo laboral, estén en capacidad de detectar fallas, averías o llevar a cabo mejoras de los procesos automatizados arriba mencionados.

#### 1.4- OBJETIVOS

##### 1.4.1- Objetivo General

Calcular, diseñar y construir un modelo a escala de ascensor operado mediante controles lógicos programables, para ser utilizado como equipo de prácticas en el Laboratorio de Automatización.

##### 1.4.2- Objetivos Específicos

- Investigar sobre teoría y antecedentes de ascensores y máquinas elevadoras.
- Investigar normas sobre diseño, construcción, seguridad e instalación de ascensores.
- Realizar una investigación sobre controles lógicos programables.
- Realizar un inventario de los equipos que se utilizarán en la construcción del modelo a escala, para de esta manera conocer los instrumentos que están ya disponibles en el laboratorio.
- Establecer metodología que conduzca al diseño y la construcción del modelo a escala de ascensor para el laboratorio de automatización.
- Realizar estudio mecánico de la estructura que servirá como bastidor.
- Realizar planos del sistema.

- Diseñar y construir la estructura mecánica del ascensor, que comprenda el bastidor, las guías, el foso, la cabina, las guayas y contrapeso y el accionamiento (motor).
- Seleccionar el método que se utilizará para realizar la reducción y variación de la velocidad de giro del accionador (motor de inducción trifásico)
- Diseñar el programa que contendrá el PLC para el control del ascensor.
- Instalar un tablero de forma didáctica que facilite la operación de los pulsadores, contactores y demás dispositivos del modelo a escala de ascensor.
- Integrar al PLC los sensores, de peso, de maniobras y de apertura de puertas, instalados en el sistema.
- Instalar, cablear, programar y poner a punto el PLC con el programa correspondiente.
- Probar el funcionamiento correcto de la máquina.
- Elaborar un manual de uso del equipo.
- Proponer un conjunto de prácticas para el laboratorio de automatización.

#### 1.5- RECURSOS DISPONIBLES

Entre los recursos y materiales disponibles para la realización de este trabajo se cuenta con:

- Motor trifásico de inducción de 1/3 hp @ 1800rpm.
- Estructura de acero que servirá como pozo del modelo a escala del ascensor.
- Controlador lógico programable con 12 entradas y 8 salidas digitales.
- Variador de frecuencia.
- Sensor fotoeléctrico.
- Sensor inductivo.
- Dos sensores de final de carrera.
- Cables eléctricos No 18.

Por otra parte, también se cuenta con el software del modelo del fabricante del controlador necesario para realizar su programación.

Igualmente, están disponibles los recursos bibliográficos de la Biblioteca Central de la Universidad Central de Venezuela, así como también de la Biblioteca de la Escuela de Mecánica de la Universidad Central de Venezuela.

## 1.6- ALCANCES Y LIMITACIONES

### 1.6.1- Alcances.

- Partiendo de los equipos disponibles en el laboratorio se estudiarán las posibilidades de diseño con el propósito de lograr una buena integración de los componentes, y así ensamblar un modelo a escala de ascensor.
- Luego de comprobar el buen funcionamiento de los equipos e instrumentos involucrados se procederá al montaje físico y definitivo del modelo de ascensor.
- Igualmente se procederá a realizar la instalación, el cableado y programación del controlador lógico programable.
- Una vez comprobado el funcionamiento de los equipos mecánicos, PLC y demás componentes se realizarán una serie de pruebas de funcionamiento del modelo a escala de ascensor.

### 1.6.2- Limitaciones.

- Adquisición de los componentes eléctricos, componentes mecánicos y otros materiales necesarios para la instalación y puesta en funcionamiento del modelo a escala de ascensor.
- Disponibilidad del personal técnico para la construcción de las piezas mecánicas necesarias.
- Disponibilidad de espacio físico amplio, y del mismo modo, evitar incomodar las prácticas de laboratorio de instrumentación.
- Buscar recursos económicos que ofrece la Universidad Central de Venezuela, mediante el Rectorado, la Facultad de Ingeniería y otros medios.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1- CONCEPTOS BÁSICOS.

#### 2.1.1- Ascensor.

Es un sistema cuyo mecanismo de ascenso y descenso está equipado con un carro o plataforma que se mueve entre guías metálicas rígidas que se mueven en una dirección vertical. Se utiliza este sistema para el transporte de personas o cargas a través de los diferentes niveles de una edificación. (COVENIN 621-1, 1993)

#### 2.1.2- Clasificación de los Ascensores.

##### 2.1.2.1- Según su función.

- Ascensor de Pasajeros: Es aquel cuya función principal es el transporte de pasajeros. (COVENIN 621-1, 1993)
- Ascensor de Carga: Es aquel cuya función principal es el transporte de carga. (COVENIN 621-1, 1993)

##### 2.1.2.2- Según su tipo de accionamiento.

- Ascensor Eléctrico: Es aquel en el cual la energía es suministrada por un motor eléctrico acoplado directamente a una máquina de tracción. (COVENIN 621-1, 1993) Los grupos tractores de los ascensores eléctricos están normalmente formados por un grupo motor, acoplado a un reductor de velocidad, en cuyo eje de salida va montada la polea acanalada que arrastra los cables por adherencia, o bien un tambor en el que se enrollan los cables, aunque este último sistema ya prácticamente no se utiliza. Los motores eléctricos más utilizados son de corriente alterna, de una o dos velocidades y con variador de frecuencia, aunque también se

utilizan los motores de corriente continua con convertidor continua-alterna. (OTIS, 1998)

- Ascensor Hidráulico: Es aquel en el cual la energía es suministrada por medio de un embolo o pistón accionado por líquido a presión, de un cilindro. Están compuestos por una central hidráulica, cilindro, pistón, cabina y cuarto de máquinas. A diferencia del ascensor eléctrico, este tipo de elevador no incorpora contrapeso. (COVENIN 621-1, 1993)

#### 2.1.2.3- Según su sistema de tracción.

- Ascensor de tracción a Tambor: Es aquella en la cual los cables de tracción están fijados a un tambor ranurado sobre el cual se enrollan.
- Ascensor de tracción por Engranaje: Es aquella que esta provista de un engranaje reductor entre el motor eléctrico y la polea de tracción. Siendo la corona y sinfín el más utilizado.
- Ascensor de tracción sin Engranaje: Es aquella en la cual la polea de tracción se encuentra colocada directamente en el eje del motor eléctrico sin ningún mecanismo intermedio. (COVENIN 621-1, 1993)

#### 2.1.2.4- Según su tipo de transmisión.

- Ascensores de Tracción Indirecta: Se emplea una caja reductora. Utilizan un engranaje reductor para impulsar la polea motriz. Un motor de corriente alterna o continua de elevada velocidad angular esta acoplado a una caja reductora, corona sinfín, que actúa sobre la polea de tracción consiguiéndose una velocidad reducida y un par elevado. Este tipo de sistema se utiliza para ascensores de carga variable y velocidades reducidas de 0.1 a 2.50 m/s.
- Ascensores de Tracción Directa: para la tracción directa la máquina esta acoplada directamente a la polea de tracción sin empleo de una caja reductora. Este sistema se emplea para ascensores de altas velocidad y recorrido, por encima de 2.50 m/s. (MIZHANI, 2000)

### 2.1.3- Partes de un Ascensor.

#### 2.1.3.1- Pozo.

Es el espacio destinado al desplazamiento vertical de la cabina a través de los distintos niveles de la edificación que se extiende desde el piso del foso hasta el techo. En el recorrido del pozo se encuentran las puertas de acceso correspondiente a los diferentes pisos que permiten la entrada y salida de los pasajeros a la cabina. Incluye el foso y el espacio superior. (COVENIN 621-1, 1993)

#### 2.1.3.2- Foso.

Es el espacio del pozo que se extiende desde la parada de nivel del primer piso inferior hasta el fondo en el cual se ubican los amortiguadores, poleas, cables de compensación, etc. (COVENIN 621-1, 1993)

#### 2.1.3.3- Espacio superior.

Parte del pozo ubicado entre el nivel más alto servido por la cabina y el techo del pozo. (COVENIN 621-1, 1993)

#### 2.1.3.4- Cabina.

Es el elemento portante de la carga del ascensor y está formado por dos elementos principales: un bastidor y una caja. El bastidor es un armazón que resiste todas las fuerzas que actúan sobre la cabina, a él se fijan los cables de suspensión y el mecanismo de paracaídas. El bastidor debe ser robusto y de acero, calculado para resistir cargas normales y las que puedan producirse al entrar en funcionamiento el paracaídas y quedar acuñada bruscamente la cabina. La caja fijada sobre el bastidor es el elemento portante de la carga, debe estar totalmente cerrada por paredes, piso y techo de superficie continua o llena salvo las aberturas de ventilación, debe estar constituido por materiales preferiblemente metálicos o por otros materiales de resistencia mecánica equivalente que sean incombustibles y que puedan conservar su

resistencia mecánica en caso de incendio sin producir gases y humos. (MIZHANI, 2000)

#### 2.1.3.5- Puertas de pasillo.

Son las puertas que dan acceso a los usuarios en los diferentes pasillos de cada nivel de la edificación. (CAVIA, 2001)

#### 2.1.3.6- Puertas de cabina.

Se instalan en la cabina de los ascensores para que de esta manera los usuarios no tengan acceso a las paredes del recinto del pozo y se pueda aumentar la seguridad del servicio del tráfico.

#### 2.1.3.7- Botonera de Cabina.

Permite a los usuarios del ascensor dar la orden al cuadro de maniobras del destino deseado. (CAVIA, 2001)

#### 2.1.3.8- Botonera de Piso.

Se encuentra en los diferentes pasillos de cada piso de la edificación al lado de las puertas de pasillo y permiten realizar la solicitud del servicio. (CAVIA, 2001)

#### 2.1.3.9- Contrapeso.

Es el conjunto formado por el bastidor y el lastre destinado a balancear el peso propio de la cabina, más un porcentaje de la carga nominal comprendida entre un 40 % y 50 % de la misma. De esta forma se reduce considerablemente el peso que debe arrastrar el grupo tractor, disminuyendo así la potencia necesaria para elevar la cabina. (MIRAVETE & LARROLDE, 1998)

Los contrapesos están constituidos por materiales de fundición o con bloques de hormigón unidos a un bastidor. (COVENIN 621-3, 1997)

#### 2.1.3.10- Guías de cabina y contrapeso.

Son perfiles estructurales metálicos destinados a mantener el movimiento de la cabina y el contrapeso en una trayectoria vertical a lo largo del pozo y sirven de apoyo en caso de rotura de los cables de suspensión. (COVENIN 621-1, 1993)

#### 2.1.3.11- Guiadores del carro.

Son los elementos de deslizamiento del carro sobre sus guías. (COVENIN 621-1, 1993)

#### 2.1.3.12- Máquina.

Conjunto tractor que produce el movimiento y la parada del ascensor. Usualmente es un conjunto motor eléctrico de corriente alterna – polea de tracción. (COVENIN 621-1, 1993)

#### 2.1.3.13- Sala de máquinas.

Lugar donde se encuentran las máquinas y los equipamientos asociados tanto eléctricos como mecánicos, necesarios para el funcionamiento del ascensor: grupos tractores, cuadro de maniobras, poleas, etc. (COVENIN 621-1, 1993)

#### 2.1.3.14- Sala de poleas.

Local que no contiene la máquina pero si las poleas y eventualmente el limitador de velocidad y equipamiento eléctrico. (COVENIN 621-1, 1993)

#### 2.1.3.15- Cables de tracción.

Son aquellos formados por hilos de acero, entorchados alrededor de un alma vegetal lubricada o de acero, que vinculan el carro al contrapeso y le transmiten el movimiento de la polea. (COVENIN 621-1, 1993)

#### 2.1.3.16- Carga de balanceo.

Peso que ahorra energía mediante el balanceo de la totalidad o parte del peso de la cabina. (COVENIN 621-1, 1993)

#### 2.1.3.17- Carga mínima de rotura del cable.

Es el producto del cuadrado del diámetro nominal del cable (en milímetros cuadrados) por la resistencia a la tracción de los hilos (en newton por milímetros cuadrados) y por un coeficiente apropiado al tipo de construcción de cable. (COVENIN 621-1, 1993)

#### 2.1.3.18- Carga nominal.

Carga para la que ha sido construido el equipamiento. (COVENIN 621-1, 1993)

#### 2.1.3.19- Mecanismo de freno.

Se utiliza para detener la cabina con mayor exactitud de nivelación, debido a que la máquina tiende a girar por la inercia que existe en el contrapeso o cabina. El sistema consta de un tambor sobre el cual actúan dos zapatas empujadas fuertemente por resortes. Las zapatas son separadas del tambor cuando se pone en tensión el electroimán que las acciona por lo tanto cuando no hay tensión el grupo tractor esta frenado de esta manera cualquier fallo en el suministro de energía eléctrica produce la parada del ascensor. (MIZHANI, 2000)

El par de frenado debe ser capaz de frenar de forma segura el ascensor con una carga equivalente al 125 % de la carga nominal y de bloquearlo después de la parada. (MIRAVETE & LARROLDE, 1998)

#### 2.1.3.20- Amortiguadores.

Son dispositivos mecánicos que permiten detener la cabina y el contrapeso lo más suave posible en caso de rebasar por cualquier causa la última parada en su descenso. Los amortiguadores se instalan en el fondo del pozo o pueden montarse en la parte inferior del bastidor de la cabina o del contrapeso. Los amortiguadores pueden ser de tres tipos: hidráulicos, de resorte y elásticos. Los requerimientos y características de cada uno de ellos se encuentran fijados en la Norma COVENIN 621-4. (MIZHANI, 2000)

#### 2.1.3.21- Limitador de velocidad.

Es el dispositivo tal que cuando el ascensor alcanza una velocidad determinada causa la parada de la máquina y si es necesario la actuación del paracaídas. (COVENIN 621-1, 1993)

#### 2.1.3.22- Paracaídas.

Dispositivo mecánico que se destina a parar e inmovilizar la cabina o el contrapeso sobre sus guías, en el caso de exceso de velocidad en el descenso o de rotura de los elementos de suspensión. (COVENIN 621-1, 1993)

#### 2.1.3.23- Cuadro de Maniobra.

Es el sistema que controla el ciclo de operación del ascensor. Es el cerebro del ascensor, tiene como función procesar y controlar la información del mismo. (COVENIN 621-1, 1993)

#### 2.1.3.24- Cable viajero.

Es el conjunto de conductores que acompañan el carro en su desplazamiento y que sirve de unión eléctrica entre éste y el cuadro de maniobras. (COVENIN 621-1, 1993)

### 2.2- DISPOSITIVOS DE ACCIONAMIENTO.

#### 2.2.1- Motores eléctricos.

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas. La mayoría de los motores eléctricos son reversibles, es decir, pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores.

#### 2.2.2- Motor de inducción.

El motor de inducción es una máquina eléctrica la cual es energizada con corriente alterna en el estator y genera potencia mecánica en el rotor.

En el motor de inducción el rotor es un electroimán. El cual tiene barras conductoras a lo largo de éste, incrustadas en ranuras a distancias uniformes alrededor de la periferia. Las barras están conectadas con anillos a cada extremidad del rotor con puntos de soldadura. Este ensamblado se asemeja a una pequeña jaula, es por esto que se le conoce también como "jaula de ardilla" a los motores de inducción. Cada par de barras es una revolución en cortocircuito, las corrientes inducidas en sus barras magnetizan el rotor y debido a la acción del campo magnético este gira en el estator. Mientras el campo del estator pasa a lo largo de las barras del rotor induce altas corrientes en ellas que generan un nuevo campo magnético. La polaridad del campo magnético inducido del rotor es tal que repele al campo del estator que lo creó, y esta repulsión resulta en un torque sobre el rotor.

### 2.2.3- Partes de un Motor Eléctrico.

Según la naturaleza de la corriente eléctrica transformada, los motores eléctricos se clasifican en motores de corriente continua, también denominada directa y motores de corriente alterna que, a su vez, se agrupan según su sistema de funcionamiento en motores de inducción, motores sincrónicos y motores de colector. Tanto unos como otros disponen de todos los elementos comunes a las máquinas rotativas electromagnéticas.

#### 2.2.3.1- Rotor.

Es el componente rotativo de una máquina eléctrica, bien sea motor o generador. El rotor está conformado por un eje sólido que soporta un juego de bobinas sobre un núcleo magnético capaz de girar dentro de un campo magnético creado bien por un imán o por el paso por otro juego de bobinas, enrolladas sobre unas piezas polares que permanecen estáticas y que constituyen lo que se denomina estator de una corriente continua o alterna, dependiendo del tipo de máquina de que se trate.

#### 2.2.3.2- Estator.

Es una parte fija de una máquina rotativa, la cual alberga el rotor, en los motores eléctricos el estator está compuesto por un imán natural (en pequeños motores de corriente continua) o por una o varias bobinas montadas sobre un núcleo metálico que generan un campo magnético en motores más potentes y de corriente alterna, también se les llama inductoras.

## 2.3- SECCIONAMIENTO Y PROTECCIÓN CONTRA CORTOCIRCUITO.

### 2.3.1- Seccionamiento.

Para manipular las instalaciones o las máquinas y sus respectivos equipos eléctricos con total seguridad es necesario disponer de un dispositivo que permitan aislar eléctricamente los circuitos de potencia y control de la red de alimentación. Esta función, llamada seccionamiento, corresponde a seccionadores o interruptores seccionadores.

### 2.3.2- Interruptor.

Es un dispositivo mecánico de conexión por conmutación capaz de establecer, tolerar e interrumpir corrientes en un circuito en condiciones normales, incluidas las condiciones especificadas de sobrecarga durante el servicio, y tolerar durante un tiempo determinado corrientes dentro de un circuito en condiciones anómalas.

### 2.3.3- Contactor.

Es un dispositivo capaz de interrumpir o suministrar la corriente eléctrica en un circuito a través de la conmutación de sus contactos internos. Un contactor tiene dos posiciones de funcionamiento, una estable o de reposo, cuando se encuentra desenergizado y otra inestable, cuando existe la circulación de corriente eléctrica.

### 2.3.4- Bobina.

Es un enrollamiento de cable de cobre muy delgado en un gran número de espiras que al aplicársele tensión genera un campo magnético. Éste a su vez produce un campo electromagnético superior al par resistente de los muelles que a modo de resortes

separan la armadura del núcleo, de manera que estas dos partes pueden juntarse estrechamente.

#### 2.3.5- Contactos.

Son elementos conductores que tienen por objeto establecer o interrumpir el paso de corriente en cuanto la bobina se energice. Estos contactos se pueden encontrar de dos formas, normalmente cerrados o normalmente abiertos y adicionalmente ambas posiciones pueden encontrarse temporizadas al cierre o temporizadas a la apertura.

#### 2.3.6- Relés térmicos.

Es un elemento mecánico de protección contra sobrecargas ubicado en el circuito de potencia. Su principio de funcionamiento se basa en la deformación de un elemento bimetálico por efecto de la temperatura. El bimetálico está formado por dos metales de diferente coeficiente de dilatación unidos firmemente entre sí, regularmente mediante soldadura de punto. El calor necesario para curvar o reflexionar la lámina bimetálica es producido por una resistencia enrollada alrededor del bimetálico que está cubierto con asbesto, a través de la cual circula la corriente que va de la red al motor.

#### 2.3.7- Relés magnéticos.

Un relé magnético es un dispositivo que protege ante la posibilidad de que se presente un cortocircuito. La intensidad producida por un cortocircuito actúa sobre un núcleo ferroso creando un campo electromagnético que atrae los contactos hacia él con la intención de abrir el circuito.

#### 2.3.8- Relés magneto-térmicos.

Son relés que combinan las propiedades de los térmicos con los magnéticos protegiendo el sistema contra sobrecargas y cortocircuitos.

#### 2.3.9- Arrancadores.

Los arrancadores reúnen los elementos necesarios para controlar y proteger los motores eléctricos. El arrancador debe realizar las funciones de seccionamiento, protección contra cortocircuitos y sobrecargas y conmutación.

#### 2.3.10- Disyuntor o interruptor automático.

Es un aparato capaz de abrir un circuito magnéticos cuando la intensidad que por él circula excede de un determinado valor, con el objetivo de no causar daños a los equipos eléctricos

Los parámetros más importantes que definen un disyuntor son:

- Calibre o corriente nominal: Corriente de trabajo para la cual está diseñado el dispositivo.
- Voltaje máximo de trabajo.
- Poder de Corte: Intensidad máxima que el disyuntor puede interrumpir. Con mayores intensidades se pueden producir fenómenos de arco voltaico, fusión y soldadura de materiales que impedirían la apertura del circuito.
- Poder de Cierre: Intensidad máxima que puede circular por el dispositivo en el momento de cierre sin que éste sufra daños por choque eléctrico.
- Número de Polos: Número máximo de conductores que se pueden conectar al interruptor automático.

#### 2.3.11- Variadores de Velocidad.

Son convertidores de energía encargados de modular la energía eléctrica que recibe el motor. Los tipos de variadores más habituales son:

- Rectificador controlado: Suministra corriente continua a partir de una red alterna monofásica o trifásica y controla el valor medio de la tensión. La variación de dicha tensión se obtiene mediante la modificación del ángulo de retardo en el momento del cebado de los semiconductores de potencia. Este tipo de variador se utiliza para alimentar motores de corriente continua, generalmente de excitación separada.

- Convertidor de frecuencia: Suministra tensión alterna a partir de una red alterna monofásica o trifásica de frecuencia fija, con valor eficaz y frecuencia variables según una ley  $U/f$  constante. Se utiliza como variador de velocidad para motores asíncronos de jaula.
- Regulador de tensión: Suministra corriente alterna a partir de una red alterna monofásica o trifásica, con la misma frecuencia fija que la red y controlando el valor eficaz de la tensión. La variación de dicha tensión se obtiene mediante la modificación del ángulo de retardo en el momento del cebado de los semiconductores de potencia. Generalmente, se utiliza como arrancador progresivo para motores asíncronos de jaula estándar, siempre que no requieran un par de arranque elevado.

#### 2.3.12- Arranque directo.

En este modo de arranque el estator se conecta directamente a la red de alimentación y el motor funciona bajo sus características naturales de arranque. En el momento de la puesta bajo tensión, el motor actúa como un transformador cuyo secundario, formado por la jaula del rotor, está en cortocircuito. La corriente inducida en el rotor es importante. La corriente primaria y la secundaria son prácticamente proporcionales. La corriente de arranque en un motor de inducción es entre cinco y ocho veces mayor a la corriente nominal.

También el par de arranque se ve afectado por este modo de arranque donde el par de arranque es entre 0.5 y 1.5 veces mayor al par nominal del motor.

A pesar de las ventajas que conlleva este modo de arranque (simplicidad, elevado par de arranque, rapidez en el arranque y bajo coste) solo es posible utilizar el arranque directo si:

- La potencia del motor es débil con respecto a la de la red, para limitar las perturbaciones que provoca la corriente solicitada.
- La máquina accionada no requiere un aumento progresivo de velocidad y dispone de un dispositivo mecánico que impide el arranque brusco.

- El par de arranque debe ser elevado.
- Por el contrario, siempre que:
  - la caída de tensión provocada por la corriente solicitada pueda perturbar el buen funcionamiento de otros aparatos conectados a la misma línea,
  - la máquina accionada no pueda admitir sacudidas mecánicas,
  - la seguridad o la comodidad de los usuarios se vea comprometida (por ejemplo, en el caso de las escaleras mecánicas), será imprescindible recurrir a una artimaña para disminuir la corriente solicitada o el par de arranque.

En estos casos, el medio más utilizado consiste en arrancar el motor bajo tensión reducida.

### 2.3.13- Arranque a tensión reducida, método estrella-triángulo.

De todos los métodos utilizados el arranque estrella-triángulo es uno de los más conocidos y de más simple implementación. Este tipo de arranque está limitado a motores que fueron diseñados para funcionar con sus bobinados conectados en triángulo y está basado en que las tensiones de fase son "raíz de tres" veces menores que las tensiones de línea.

Al modificar la tensión aplicada a los devanados también se modifican las características de par-velocidad e intensidad-velocidad. Por lo tanto, aprovechando que es posible el acceso a los extremos de las bobinas, durante el arranque se conectan entre fase y neutro y, una vez que se ha alcanzado suficiente velocidad se las conecta entre fases, al estar conectadas en estrella las bobinas están sometidas a menor tensión y por lo tanto es menor la corriente que circula por ellas. Este sistema se denomina arranque estrella-triángulo y, habitualmente, se efectúa con sistemas automáticos especialmente diseñados.

Un temporizador se encarga de controlar la transición del acoplamiento en estrella al acoplamiento en triángulo. El cierre del contactor de triángulo se produce con un retardo de 30 a 50 milisegundos tras la apertura del contactor de estrella, lo que evita un cortocircuito entre fases al no poder encontrarse ambos cerrados al mismo tiempo.

La corriente que recorre los devanados se interrumpe con la apertura del contactor de estrella y se restablece con el cierre del contactor de triángulo. El arranque estrella-triángulo es apropiado para las máquinas cuyo par resistente es débil o que arrancan en vacío.

## 2.4- DISPOSITIVOS DE AUTOMATIZACIÓN

### 2.4.1- Controlador Lógico Programable.

Un controlador lógico programable es un dispositivo electrónico digital que usa una memoria programable para guardar instrucciones y llevar a cabo funciones lógicas, de secuencia, sincronización, conteo y aritméticas para controlar máquinas y procesos que se han diseñado específicamente para programarse con facilidad. Este tipo de procesadores se denominan lógicos debido a que la programación tiene que ver principalmente con la ejecución de operaciones lógicas y de conmutación. Los dispositivos de entrada y los dispositivos de salida que están bajo control se conectan al PLC y después el controlador monitorea las entradas y salidas de acuerdo con el programa almacenado por el operador en el PLC con el que controla máquinas o procesos. En un principio, el propósito de estos controladores fue sustituir la conexión física de relevadores, permitiendo modificar los sistemas de control sin tener que volver a cablear las conexiones de los dispositivos de entrada y salida; basta que el operador digite en un teclado las instrucciones correspondiente para realizar los cambios del proceso

La estructura básica de un PLC en esencia, consiste en una unidad central de procesamiento (CPU), memoria y circuitos de entrada/salida. El CPU controla y procesa todas las operaciones dentro del PLC. Cuenta con un temporizador cuya frecuencia típica es entre 1 y 8 MHz Esta frecuencia determina la velocidad de operación del PLC y es la fuente de temporización y sincronización de todos los elementos del sistema. Un sistema de buses lleva información y datos desde y hacia el CPU, la memoria y las unidades de entradas/salidas. En cuanto a memorias un PLC posee una ROM para guardar en forma permanente la información del sistema

operativo y datos corregidos así como una RAM para el programa del usuario y memoria buffer temporal para los canales de entrada/salida.

El usuario puede modificar los programas en la RAM, sin embargo, para evitar que estos programas se pierdan durante una interrupción del suministro de energía eléctrica, el PLC posee una batería para mantener el contenido de la RAM, dichos programas también pueden cargarse en un chip de memoria EPROM para ser guardados de manera permanente. Las especificaciones de PLC pequeños con frecuencia indican la capacidad de la memoria del programa en función de la cantidad de pasos de programa que es posible guardar. Un paso de programa es la instrucción para que ocurra un evento específico.

Para programar un PLC es necesario conocer bajo qué ambiente de programación se hará. Normalmente ese ambiente de programación es gráfico y se le conoce con el nombre de “Lenguaje en Escalera” aunque su título oficial es el de Diagrama de Contactos.

Cabe aclarar que existen diversos lenguajes de programación para los PLC, pero el llamado Lenguaje en Escalera es el más común y prácticamente todos los fabricantes de PLC lo incorporan como lenguaje básico de programación.

El Lenguaje en Escalera es el mismo para todos los modelos existentes de PLC, lo que cambia de fabricante a fabricante o de modelo a modelo es el microcontrolador que emplea, y por esta razón lo que difiere entre los PLC es la forma en que el software interpreta los símbolos de los contactos en Lenguaje en Escalera.

#### 2.4.2- Entradas/Salidas.

La unidad de entrada/salida es la interface entre el sistema y el proceso. Para introducir programas en esta unidad se usa un tablero, que puede variar de un pequeño teclado con pantalla de cristal líquido, a los que usan unidades de representación visual (VDU visual display unit) con teclado y pantalla. También es posible introducir los programas al sistema mediante un enlace con una computadora personal (PC) que se encarga con un paquete de software apropiado.

Los canales de entradas/salidas proporcionan funciones para el acondicionamiento y aislamiento de señales, lo que permite conectarlos directamente a sensores y actuadores, sin necesidad de otros circuitos. Los voltajes de entrada comunes son 24 y 120V.

Los Voltajes comunes de salida son 24 V, 110V y 240V, la especificación del tipo de salida generalmente es del tipo relevador, tipo transistor o tipo triac. En el tipo relevador, la señal de salida del PLC se utiliza para operar un relevador, por lo que este es capaz de conmutar corrientes del orden de unos pocos amperes en un circuito externo. El relevador aísla al PLC del circuito externo, y se emplea tanto para la conmutación de corriente directa como alterna, sin embargo, los relevadores funcionan con relativa lentitud. En la salida tipo transistor se utiliza un transistor para conmutar corriente a través de un circuito externo. El transistor realiza la conmutación con mayor rapidez. La salida tipo transistores solo se utiliza en la conmutación de corriente directa. Las salidas triac se usan para controlar cargas externas que se conectan a la fuente de alimentación de corriente alterna.

#### 2.4.3- Sensores.

Un sensor es un dispositivo capaz de transformar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, en magnitudes eléctricas. Las variables de instrumentación dependen del tipo de sensor y pueden ser por ejemplo temperatura, intensidad luminosa, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, entre otras. Una magnitud eléctrica obtenida puede ser una resistencia eléctrica, una capacidad eléctrica, una tensión eléctrica, una corriente eléctrica.

#### 2.4.4- Final de carrera o sensor de contacto.

También conocido como interruptor de límite, son dispositivos eléctricos, neumáticos o mecánicos situados al final del recorrido de un elemento móvil, como por ejemplo una cinta transportadora, con el objetivo de enviar señales que puedan modificar el estado de un circuito.

Generalmente estos sensores están compuestos por dos partes: un cuerpo donde se encuentran los contactos y una cabeza que detecta el movimiento. Son muy habituales en la industria para detectar la llegada de un elemento móvil a una determinada posición, y en general, en todas las máquinas que tengan un movimiento rectilíneo de ida y vuelta o sigan una trayectoria fija, es decir, aquellas que realicen una carrera o recorrido fijo, como por ejemplo ascensores, montacargas, etc.

#### 2.4.5- Sensores Fotoeléctricos.

Es un dispositivo electrónico que responde al cambio en la intensidad de la luz. Estos sensores requieren de un componente emisor que genera la luz, y un componente receptor. Todos los diferentes modos de sensado se basan en este principio de funcionamiento. Están diseñados especialmente para la detección, clasificación y posicionado de objetos; la detección de formas, colores y diferencias de superficie, incluso bajo condiciones ambientales extremas.

#### 2.4.6- Sensores Inductivos.

El sensor inductivo se basa en la tensión generada en la bobina cuando se la somete a una variación de un campo magnético. Al estar la bobina arrollada en el imán queda bajo un campo magnético fijo y para variarlo se acerca al imán una pieza de material ferromagnético. Las líneas de fuerza del imán son desviadas por el material ferromagnético y el campo magnético varía. Esta variación crea una tensión alterna en la bobina. Mientras la pieza ferromagnética se acerca al sensor, la tensión disminuye y cuando la pieza se aleja, la tensión aumenta.

La pieza ferromagnética debe mantener una separación mínima con el sensor inductivo pero sin que se produzca rozamiento. Esta distancia es conocida como entrehierro y suele ser entre dos y tres décimas. Si esta distancia es mayor, la tensión generada en los extremos de la bobina será menor, mientras que si la medida es más pequeña la tensión será mayor, pero puede aparecer rozamiento a causa de alguna impureza.

La tensión generada en los extremos de la bobina también depende de la velocidad de la pieza ferromagnética cuando pasa cerca del sensor. Cuanto mayor sea la velocidad, más rápida será la variación del campo magnético, y más tensión se generará, mientras que si la velocidad es baja, la tensión también será baja.

#### 2.4.7- Sensores Capacitivos.

Son dispositivos eléctricos que detectan la diferencia de capacitancia en un capacitor de placas paralelas, esto ocurre al modificar la posición del dieléctrico que se encuentran entre las placas. Una forma de sensor de proximidad capacitivo consta de una sola placa de prueba del capacitor y otra placa viene a ser el objeto, que debe ser metálico, conforme el objeto se aproxima, la separación entre placas también se modifica, la cual se resulta significativa y detectable cuando el objeto está cerca de la placa de prueba.

### 2.5- DISEÑO DE ELEMENTOS MECÁNICOS

#### 2.5.1- Correa dentada.

Es uno de los más comunes métodos de transmisión de la energía mecánica entre un piñón de arrastre y otro arrastrado, mediante un sistema de dentado mutuo que posee tanto la correa como los piñones, impidiendo su deslizamiento mutuo. (MOTT, 2006)

#### 2.5.2- Polea.

Dispositivo mecánico de tracción o elevación, formado por una rueda (también denominada roldana) montada en un eje, con una cuerda que rodea la circunferencia de la rueda. (MOTT, 2006)

#### 2.5.3- Acoples.

Son dispositivos que se utilizan para unir dos ejes en sus extremos, con el fin de transmitir potencia. Existen dos tipos generales de acoples:

- Los acoples rígidos: se diseñan para unir dos ejes en forma apretada de manera que no sea posible que se genere movimiento relativo entre ellos. Este diseño es deseable para cierto tipo de equipos en los cuales se requiere una alineación precisa de dos ejes que puede lograrse. En tales casos, el acople debe diseñarse de manera que sea capaz de transmitir el torque en los ejes. Estos acoples se fijan al eje mediante tornillos, pernos, prisioneros o cuñas. (MOTT, 2006)
- Los acoples flexibles: son diseñados de tal manera que sean capaces de transmitir torque con suavidad en tanto permiten cierta desalineación axial, radial y angular. La flexibilidad es tal que, cuando ocurre una desalineación, las piezas del acople se mueven sin ningún o una mínima resistencia. En consecuencia no se desarrollan tensiones significativas por flexión en el eje. (MOTT, 2006)

#### 2.5.4- Cuñas de unión. (Chaveta)

Es un componente de maquinaria que se coloca en la interface entre el eje y el acople. Se instala dentro de una ranura axial que se maquina en el eje, la cual se denomina cuñero, a una ranura similar en la pieza de acople que se le denomina asiento de la cuña o a un tornillo de ajuste el cual se apoya en la superficie del eje. (MOTT, 2006)

#### 2.5.5- Pernos Prisioneros.

Es un afianzador con cuerda que se inserta de manera radial a través del acople para que se apoye en la superficie externa del eje. La punta del tornillo de ajuste es plana, ovalada, con forma cónica, combada, o bien presenta cualquier forma bien patentada. La punta se apoya en el eje o penetra ligeramente en su superficie, en consecuencia, el tornillo de ajuste transmite torque mediante la fricción entre la punta y el eje, o bien, por la resistencia del material ante el esfuerzo de corte. (MOTT, 2006)

#### 2.5.6- Cojinete

El fin que debe cumplir un cojinete es soportar una carga en tanto permite el movimiento relativo entre dos piezas de una máquina. El tipo más común de cojinete

soporta una flecha giratoria, que resiste cargas radiales simples o una combinación de cargas radiales y axiales, es decir de empuje.

Los componentes de un cojinete de contacto giratorio son el anillo o pista de rodamientos interno, el anillo o pista de rodamientos externo y las piezas giratorias, la pista de rodamientos interno es presionada contra la flecha giratoria y por tanto gira con ésta. Así, las piezas giratorias giran entre el anillo interno y el externo. (MOTT, 2006)

#### 2.5.7- Chumacera.

La caja de chumacera es la configuración más común para un cojinete montado. Consiste en un cojinete montado en una carcasa, la cual se fabrica con acero formado, hierro fundido o acero fundido con orificios o ranuras que se hacen para conexión durante el ensamble de la máquina, momento en el cual se ajusta la alineación de la unidad de cojinetes. (MOTT, 2006)

#### 2.5.8- Perno.

Es un afianzador provisto de cuerdas que se diseña de manera que pase a través de orificios en las piezas que se enlazan y se asegure al apretar con una tuerca desde el extremo opuesto a la cabeza del perno. (MOTT, 2006)

#### 2.5.9- Tornillo.

Es un afianzador que se diseña para ser insertado a través de un orificio provisto de una cuerda en una pieza que se va a enlazar con otra. El orificio con cuerda puede hacerse ya sea mediante un machuelo hembra, o bien lo forma el propio tornillo al forzarlo a que entre en el material. (MOTT, 2006)

#### 2.5.10- Remache.

Es un cierre mecánico que consiste en un tubo cilíndrico (el vástago) que en su fin dispone de una cabeza de un diámetro mayor al resto del remache, para que así al

introducir éste en un agujero quede encajado. Se usa con el fin de unir dos piezas distintas, sean o no del mismo material. (MOTT, 2006)

#### 2.5.11- Soldadura.

Es un proceso que se define como la fusión y coalescencia mutua de los materiales mediante el calor. La energía térmica requerida en estas operaciones de soldadura se suele suministrar por medios químicos o electrónicos. Se puede usar o no metales de aporte o de relleno, que son los metales que se agregan a la zona de soldadura durante la operación.

La soldadura por arco eléctrico se genera tocando la pieza con la punta de un electrodo recubierto y retirándola con rapidez a la distancia de la superficie para mantener el arco. Los electrodos tienen la forma de una varilla delgada y larga. El calor generado funde una parte de la punta de su electrodo, su recubrimiento, y el metal base en la zona inmediata del arco. Se forma una soldadura cuando se solidifica el metal fundido, una mezcla del metal base (el de la pieza), el metal del electrodo y la sustancia del recubrimiento del electrodo, solidifican en el área de la soldadura. (MOTT, 2006)

## 2.6- DEFINICIONES DE DISEÑO CONCEPTUAL

### 2.6.1- Método de diseño de Pahl & Beitz

El método de Pahl y Beitz utiliza la teoría de sistemas para sustentar la propuesta de trabajo a través de funciones y subfunciones, que combinan los efectos físicos con las características geométricas y los materiales, para que surja el principio de solución (ALCAIDE, DIEGO, & ARTACHO, 2001).

El método centra su atención en el denominado “Embodiement Desing” (Diseño de Conjunto), pero para ello, propone un desarrollo de proyecto por módulos funcionales separados, lo cual tiene como ventaja la simplificación del análisis, pero la desventaja de que puede llegarse a una propuesta de conjunto muy compleja. Es uno de los

métodos más utilizados en el diseño mecánico y su estructura es mostrada en el Apéndice. A (CROSS, 1999)

#### 2.6.2- Diseño Conceptual.

Es un proceso de generación de soluciones en el cual se parte de un problema planteado, se generan soluciones a través de la llamada tormenta de ideas, se evalúan dichas soluciones y se escoge la más adecuada.

#### 2.6.3- Tormentas de ideas.

Es un proceso de búsqueda de ideas para solucionar un problema dado. En este proceso se generan varias soluciones las cuales se deben evaluar con el fin de elegir la más óptima.

#### 2.6.4- Matriz Morfológica.

Es una herramienta de diseño que nos permite evaluar, comparar y elegir la solución más adecuada, utilizando los criterios de selección establecidos.

#### 2.6.5- Criterios de Selección

Los criterios mediante los cuales evaluaremos las soluciones de diseño en la matriz de evaluación:

- Facilidad de construcción y procura de materiales: El diseño escogido y la procura de los materiales para la construcción del mismo no representara mayor dificultad y se deberá hacer en el menor tiempo posible.
- Facilidad de instalación: La instalación en conjunto de todas y su correcta interacción no debe representar mayor dificultad.
- Costos de materiales y construcción: El costo debe estar justificado según los requerimientos del sistema.

- **Facilidad de mantenimiento de los componentes:** Se refiere a la necesidad que tienen los componentes del mecanismo de realizársele mantenimiento preventivo, predictivo y su dificultad técnica de operación.
- **Sistema adaptable a cambios a futuro:** Consiste en la posibilidad de agregar otros equipos o cambios de algún componente para aumentar su funcionalidad y el rango de aplicación docente en el desarrollo cognoscitivo del estudiante.
- **Facilidad de operación:** El manejo del sistema debe ser sencillo y didáctico.
- **Desempeño:** Se refiere al grado en que el diseño cumple su objetivo.
- **Confiabilidad:** Se refiere a la probabilidad del sistema de cumplir con una vida útil.
- **Estética:** Este consiste que el diseño desarrollado sea lo más acorde con la infraestructura, en cuanto al espacio suministrado para colocar el sistema como el impacto visual que genere
- **Seguridad:** Se verifica que el diseño sea lo más seguro, de modo de garantizar el bienestar físico del personal al operar el sistema

La jerarquía de los criterios se define en la siguiente tabla:

Tabla 2.1- Jerarquía de los criterios de selección

<b>Criterios</b>	<b>Jerarquía</b>
Facilidad de construcción y procura de materiales.	5
Facilidad de instalación.	5
Costos de materiales y construcción.	5
Facilidad de mantenimiento de los componentes.	4
Sistema adaptable a cambios a futuro.	3
Facilidad de operación.	4
Desempeño.	5
Confiabilidad.	4
Estética.	3
Seguridad.	5

Según la escala de importancia:

Muy importante	5
Importante	4
Medianamente importante	3
Poco importante	2
No es importante	1

## 2.7- TEORÍAS UTILIZADAS EN CÁLCULOS DE DISEÑO

### 2.7.1- Diseño de ejes

El eje es el componente de los dispositivos mecánicos encargado de transmitir energía rotacional o potencia. En el proceso de transmitir potencia a una velocidad de giro específica, el eje se somete a un momento de torsión, por consiguiente en el mismo se genera tensión por esfuerzo de corte por torsión. Generalmente, el eje soporta componentes transmisores de potencia o movimiento como poleas acanaladas, engranajes o ruedas dentadas de cadena, que ejercen fuerzas sobre el eje en sentido transversal. Estas fuerzas transversales provocan que se generen momentos de flexión en el eje. (MOTT, 2006)

Las fuerzas transversales que actúan sobre un eje que gira a una velocidad específica producen flexión inversa sucesiva, lo que puede dar lugar a fallas por fatiga.

Para los cálculos de este proyecto se utilizarán las teorías de falla de Goodman Modificado y Distorsión Elíptica.

Teoría de Goodman Modificado (BUDYNAS & NISBETT, 2006)

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi \cdot D^3} \cdot \left( \frac{2 \cdot k_f \cdot M_a}{S_e} + \frac{\sqrt{3} \cdot k_{fs} \cdot T_m}{S_{ut}} \right)$$

Teoría de Distorsión Elíptica (BUDYNAS & NISBETT, 2006)

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi \cdot D^3} \cdot \left[ 4 \cdot \left( \frac{kf \cdot M_a}{S_e} \right)^2 + 3 \cdot \left( \frac{kfs \cdot T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Simplificando.

Goodman Modificado

$$\frac{1}{n} = \left( \frac{kf}{S_e} \cdot \frac{32 \cdot M}{\pi \cdot D^3} + \frac{\sqrt{3} \cdot kfs}{4 \cdot S_{ut}} \cdot \frac{32 \cdot T}{\pi \cdot D^3} \right)$$

Distorsión Elíptica

$$\frac{1}{n} = \left[ \left( \frac{kf}{S_e} \cdot \frac{32 \cdot M}{\pi \cdot D^3} \right)^2 + \frac{3}{4} \cdot \left( \frac{kfs}{S_y} \cdot \frac{32 \cdot T}{\pi \cdot D^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Esfuerzo por flexión y esfuerzo por torsión (BUDYNAS & NISBETT, 2006)

$$\sigma = \frac{M \cdot D}{I \cdot 2} \qquad \tau = \frac{T \cdot D}{J \cdot 2}$$

Finalmente la ecuación de fatiga de Goodman Modificado que se utilizará en este trabajo es:

$$\frac{1}{n} = \left( \frac{kf}{S_e} \cdot \sigma + \frac{\sqrt{3} \cdot kfs}{4 \cdot S_{ut}} \cdot \tau \right) \qquad (2.7.1)$$

Finalmente la ecuación de fatiga de Distorsión Elíptica que se utilizará en este trabajo es:

$$\frac{1}{n} = \left[ \left( \frac{kf}{S_e} \cdot \sigma \right)^2 + \frac{3}{4} \cdot \left( \frac{kfs}{S_y} \cdot \tau \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \qquad (2.7.2)$$

$S_e$  es el límite de resistencia a la fatiga y se calculara según la siguiente expresión:

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot S_e'$$

Donde  $ka, kb, kc, kd, ke$  y  $S_e'$  son los factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga.

### 2.7.2- Diseño de vigas

Las vigas son piezas que soportan cargas transversales a su eje. Tales cargas provocan momentos de flexión en la viga, lo que da por resultado el desarrollo de esfuerzos normales por flexión, los cuales pueden ser de tracción o compresión. (MOTT, 2006)

Para el cálculo de esfuerzo de flexión utilizaremos la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I} \quad (2.7.3)$$

Donde M es la magnitud del momento de flexión en la sección, I es el momento de inercia de la sección transversal respecto a su eje neutral, y c es la distancia del eje neutral a la fibra más exterior de la sección transversal de la viga.

### 2.7.3- Diseño de uniones atornilladas

Cuando la fuerza soportada por el tornillo tiende a cortarlo, se genera esfuerzo de corte directo (MOTT, 2006). Para calcular el esfuerzo de corte directo se utilizará la siguiente expresión:

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (2.7.4)$$

Donde V es la fuerza de corte soportada por el tornillo y A es el área de corte correspondiente al área de la sección transversal del tornillo.

Para el cálculo de uniones atornilladas sometidas a carga de tensión se utilizarán las siguientes expresiones:

Rigidez del perno (SHIGLEY & MISCHKE, 1990):

$$K_b = \frac{A_{tor} \cdot E_{tor}}{L} \quad (2.7.5)$$

Rigidez del material sujetado (SHIGLEY & MISCHKE, 1990):

$$K_m = \frac{0,577\pi \cdot E_{mat} \cdot D_{tor}}{2 \ln \left[ 5 \cdot \frac{(0,577L) + (0,5D_{tor})}{(0,577L) + (2,5D_{tor})} \right]}$$

Constante de la unión (SHIGLEY & MISCHKE, 1990)

$$C = \frac{K_b}{K_b + K_m}$$

El factor de seguridad del tornillo o factor da carga (SHIGLEY & MISCHKE, 1990)

$$n = \frac{(S_p \cdot A_t) - F_i}{C \cdot \frac{F}{N}}$$

#### 2.7.4- Diseño de uniones soldadas

Para uniones soldadas sometidas a carga de tensión, el esfuerzo normal que resiste la unión será calculado según la siguiente expresión: (SHIGLEY & MISCHKE, 1990)

$$\sigma = \frac{F_g}{A}$$

Para uniones soldadas sometidas a cargas transversales, el esfuerzo cortante que resiste la unión será calculado según la siguiente expresión: (SHIGLEY & MISCHKE, 1990)

$$\tau = \frac{F_g}{A}$$

Donde  $F_g$  es la fuerza de garganta y  $A$  es el área de garganta y dependerá de la forma de la unión.

### CAPÍTULO III: DISEÑO CONCEPTUAL

La disposición y distribución de los diferentes componentes que formarán el sistema deberán ser determinadas en esta fase del diseño, y de este modo contemplar las distintas opciones que se presentan para cada componente.

Para ordenar estas ideas se utilizará el método de diseño de Pahl y Beitz. De esta manera, las decisiones tomadas en el diseño de cada equipo se van a apegar a los objetivos del proyecto y a los criterios de diseño. Por lo tanto, darán una solución más adecuada al problema planteado en el Capítulo I.

Al realizar el diseño conceptual habrá que tomar en cuenta las siguientes consideraciones, conociendo los recursos disponibles en el punto 1.5 del capítulo I:

- Se cuenta con un bastidor que servirá como pozo del conjunto, el cual tiene una altura de 2,10 m y se espera que tenga de 3 a 5 maniobras.
- El número de maniobras será mayor a 2 para que el PLC pueda recibir más instrucciones y así podrá condicionarse para responder prioridades.
- Las dimensiones de los diferentes componentes que conforman el conjunto, estarán condicionadas a las dimensiones del pozo con el que se cuenta.
- La escala del modelo de ascensor se obtendrá, una vez que haya sido seleccionado el número de maniobras.
- La carga útil depende del par del motor con el que se cuenta.
- Al contar con un variador de frecuencia, éste va a ser el modo que se utilizará para realizar la reducción y variación de la velocidad de giro del accionamiento (motor de inducción trifásico).
- Para el frenado del sistema se utilizará únicamente al variador de frecuencia, debido a que está en la capacidad de suministrar al motor la tensión necesaria para producir un par-motor capaz de mantener en equilibrio el conjunto cabina-contrapeso.

A continuación, se procedió a dividir el diseño en dos secciones: sistema mecánico y automatización del sistema.

### 3.1- SISTEMA MECÁNICO

#### 3.1.1- Fase de generación de ideas

Diseño de la cabina:

- Plataforma (de acero, aluminio, plástico, madera).
- Cabina con bastidor de acero construido con perfiles tipo L con paredes (paneles) de acero, madera, plástico, aluminio, unidos por medio de remaches, pernos o soldadura.
- Cabina sin bastidor construida con láminas de acero dobladas, unidas con remaches o soldadura.
- Cabina construida a partir de paneles de plástico o madera unidos por tornillos.

Guías:

- Perfiles tipo T de acero.
- Perfiles tipo L de acero.
- Perfiles tipo C de acero.
- Tubos cilíndricos de acero.

Diseño de las puertas:

- Con o sin puertas
- Número de puertas.
- Material de las puertas (paneles de acero, plástico, madera, aluminio).
- Accionamiento.

Numero de maniobras:

- Tres maniobras.

- Cuatro maniobras.
- Cinco maniobras.

Sala de máquinas y poleas:

- Máquina motora tipo tambor.
- Máquina motora ayudada mediante contrapeso.
- Disposición del conjunto cabina-contrapeso, utilizando 1, 2, 3, 4 o más poleas.
- Ubicación de la sala de máquinas, sobre el bastidor, sin sala de máquinas.
- Eje del accionamiento acoplado directamente al motor (solidario), o acoplado mediante correa.

Estas ideas se proceden a ordenar en la Matriz morfológica.

### 3.1.2- Matriz Morfológica

Tabla 3.1- Matriz Morfológica. Parte 1

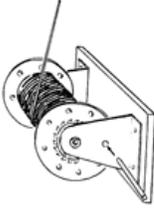
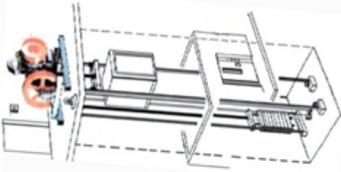
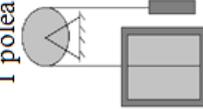
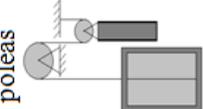
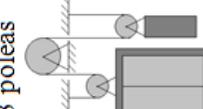
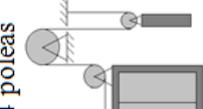
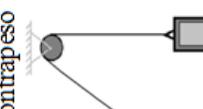
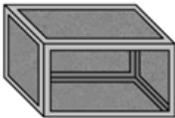
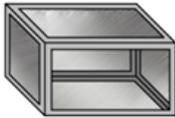
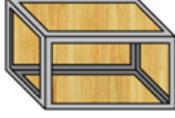
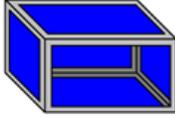
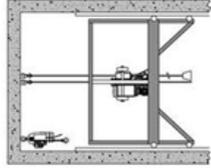
Factor	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	Opción 5
Tipo de accionamiento	<p>Tambor</p> 	<p>Conjunto cabina contrapeso motor</p> 			
Disposición del conjunto cabina contrapeso	<p>1 polea</p> 	<p>2 poleas</p> 	<p>3 poleas</p> 	<p>4 poleas</p> 	<p>Sin contrapeso</p> 
Cabina	<p>Bastidor de acero de perfiles tipo L con paredes de acero</p> 	<p>Bastidor de acero de perfiles tipo L con paredes de aluminio</p> 	<p>Bastidor de acero de perfiles tipo L con paredes de madera</p> 	<p>Bastidor de acero de perfiles tipo L con paredes de plástico</p> 	<p>Con Plataforma sin cabina</p> 

Tabla 3.2- Matriz Morfológica. Parte 2

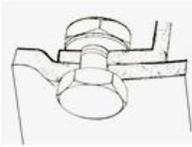
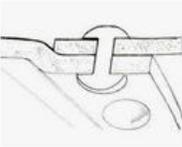
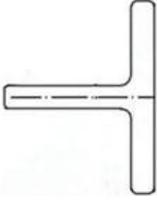
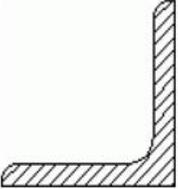
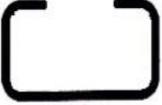
<b>Factor</b>	<b>Opción 1</b>	<b>Opción 2</b>	<b>Opción 3</b>	<b>Opción 4</b>	<b>Opción 5</b>
Uniones de la cabina	<p>Pernos</p> 	<p>Remaches</p> 	<p>Soldadura</p> 		
Diseño de las puertas	<p>Dos puertas corredizas</p> 	<p>Una puerta corrediza</p> 	<p>Puerta plegable</p> 	Sin Puerta	
Guías de cabina	<p>Perfil de acero tipo T</p> 	<p>Perfil de acero tipo L</p> 	<p>Perfil de acero tipo C</p> 	<p>Tubo redondo de acero</p> 	

Tabla 3.3- Matriz Morfológica. Parte 3.

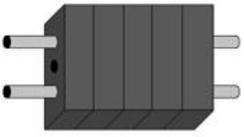
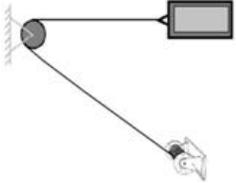
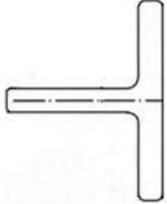
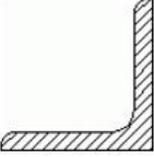
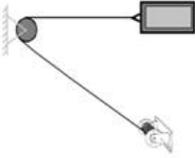
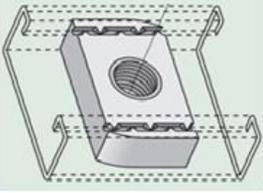
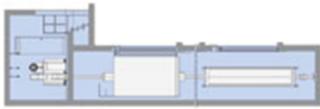
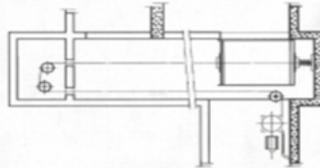
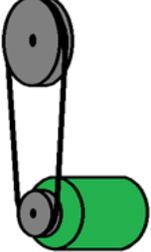
Factor	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	Opción 5
Contrapeso	Sin estructura 	Con estructura 	Sin contrapeso 		
Guías de contrapeso	Perfil de acero tipo T 	Perfil de acero tipo L 	Perfil de acero tipo C 	Tubo redondo de acero 	No hay contrapeso 
Guiadores Cabina y Contrapeso	Guiador con rueda 	Guiador con zapata 	Guiador tipo abrazadera 	Guiador de perfil C 	

Tabla 3.4- Matriz Morfológica. Parte 4.

<b>Factor</b>	<b>Opción 1</b>	<b>Opción 2</b>	<b>Opción 3</b>	<b>Opción 4</b>	<b>Opción 5</b>
Ubicación de la sala de máquinas	<p>Sobre el pozo</p> 	<p>Bajo el pozo</p> 	<p>Sin sala de máquinas</p> 		
Eje del accionamiento	<p>Acople rígido directamente al motor</p> 	<p>Acople flexible directamente al motor</p> 	<p>Acoplado por engranajes</p> 	<p>Acople por correas</p> 	

### 3.1.3- Alternativas de diseño.

De la matriz morfológica se tomaron diferentes alternativas para cada factor, planteándose estas posibilidades de diseño:

- Diseño 1:

El conjunto constará de una cabina y un contrapeso, accionados por un motor eléctrico de inducción trifásico y tendrá una disposición de 3 poleas (ver imagen en la matriz morfológica). La cabina estará construida con planchas de acero dobladas y unidas con remaches, la cual tendrá con dos puertas corredizas accionadas manualmente y estará soportada por un bastidor, de perfiles tipo L de acero unidos por soldadura. Igualmente, el contrapeso va a estar soportado por un bastidor construido a partir de perfiles tipo L de acero. Para restringir el movimiento, solamente a vertical, la cabina y el contrapeso van a utilizar guidores de zapata, y las guías serán perfiles tipo L de acero. La sala de máquinas va a estar ubicada sobre el pozo, donde se encontrará la máquina de tracción y su potencia será transmitida al eje de la polea de tracción mediante un acople rígido. Por su parte, la velocidad del accionador del sistema va a ser regulada mediante un variador de frecuencia.

- Diseño 2:

El conjunto constará de una cabina y un contrapeso, accionados por un motor eléctrico de inducción trifásico y tendrá una disposición de 2 poleas (ver imagen en la matriz morfológica). La cabina será construida con paneles de madera unidos mediante tornillos, la cual tendrá una puerta corrediza accionada manualmente y estará soportada por un bastidor de perfiles tipo L de acero unidos por soldadura. Igualmente, el contrapeso va a estar soportado por un bastidor construido a partir de perfiles tipo L de acero. Para restringir el movimiento, solamente a vertical, la cabina y el contrapeso contarán con guidores de perfil C, y las guías serán perfiles tipo C de acero. La sala de máquinas va a estar ubicada sobre el pozo, aquí la potencia del motor será transmitida al eje de la polea de tracción mediante correas. Por su parte, la

velocidad del accionador del sistema va a ser regulada mediante un variador de frecuencia.

- Diseño 3:

El conjunto constará de una cabina y un contrapeso, accionados por un motor eléctrico de inducción trifásico y tendrá una disposición de 4 poleas (ver imagen en la matriz morfológica). La cabina será construida con planchas de acero dobladas y unidas con remaches, la cual tendrá una puerta corrediza accionada manualmente y estará soportada por un bastidor de perfiles tipo L de acero unidos por soldadura. Igualmente, el contrapeso va a estar soportado por un bastidor construido a partir de perfiles tipo L de acero. Para restringir el movimiento solamente a vertical, la cabina y el contrapeso contarán con guías de ruedas, y las guías serán perfiles tipo L de acero. La sala de máquinas va a estar ubicada sobre el pozo, aquí la potencia del motor será transmitida al eje de la polea de tracción mediante un acople rígido. Por su parte, la velocidad del accionador del sistema va a ser regulada mediante un variador de frecuencia.

- Diseño 4:

El conjunto constará de una cabina y un contrapeso, accionados por un motor eléctrico de inducción trifásico y tendrá una disposición de 1 polea (ver imagen en la matriz morfológica). La cabina será construida con paneles de plástico unidos mediante pernos o remaches, la cual tendrá dos puertas corredizas accionadas manualmente y estará soportada por un bastidor de perfiles tipo L de acero unidos por soldadura. Por otra parte, el contrapeso no contará con estructura, ya que este, va a estar asegurado directamente al cable de tracción y a las guías, las cuales, serán tubos redondos de acero. La cabina tendrá instalados guías de abrazadera, y las guías serán tubos redondos de acero. La sala de máquinas va a estar ubicada sobre el pozo, donde la potencia del motor será transmitida al eje de la polea mediante correas. Por su parte, la velocidad del accionador del sistema va a ser regulada mediante un variador de frecuencia.

- Diseño 5:

El conjunto constará de una cabina y un contrapeso, accionados por un motor eléctrico de inducción trifásico y tendrá una disposición de 3 poleas (ver imagen en la matriz morfológica). La cabina será construida con planchas de acero dobladas y unidas con remaches, la cual tendrá una puerta corrediza accionada manualmente y estará soportada por un bastidor de perfiles tipo L de acero unidos por soldadura. El contrapeso contará con una estructura construida a partir de perfiles tipo L de acero, para soportar los elementos que confieren el peso al mismo. Para restringir el movimiento de la cabina y del contrapeso solamente a vertical, se le instalarán guías de ruedas, y las guías serán perfiles tipo L de acero. La sala de máquinas va a estar ubicada sobre el pozo, aquí la potencia del motor será transmitida al eje de la polea de tracción mediante un acople flexible. Por su parte, la velocidad del accionador del sistema va a ser regulada mediante un variador de frecuencia.

- Diseño 6:

El conjunto constará de una cabina y un contrapeso, accionados por un motor eléctrico de inducción trifásico y tendrá una disposición de 2 poleas (ver imagen en la matriz morfológica). La cabina será construida con planchas de acero dobladas y unidas con remaches, la cual tendrá con una puerta corrediza accionada manualmente y estará soportada por un bastidor de perfiles tipo L de acero unidos por soldadura. El contrapeso contará una estructura construida a partir de perfiles tipo L de acero, para soportar los elementos que confieren el peso al mismo. Para restringir el movimiento de la cabina y del contrapeso solamente a vertical, se le instalarán guías de ruedas, y las guías serán perfiles tipo L de acero. La sala de máquinas va a estar ubicada sobre el pozo, aquí la potencia del motor será transmitida al eje de la polea de tracción mediante un acople flexible. Por su parte, la velocidad del accionador del sistema va a ser regulada mediante un variador de frecuencia.

### 3.1.4- Factores a tomar en cuenta al evaluar los diseños:

#### Desempeño del conjunto cabina contrapeso:

- Una distribución de 3 o 4 poleas (ver imagen en matriz morfológica), se traduce en una mejor distribución de la carga, por lo tanto el motor requerirá menos fuerza para accionar el conjunto.
- Los guidores de ruedas no se traban por las irregularidades de forma de las guías, a diferencia del resto de las opciones de guidores.
- Un eje de accionamiento acoplado directamente al motor es más eficaz que uno acoplado mediante correas o engranajes.

#### Facilidad de construcción y procura de materiales

- Cada polea implica la fabricación de un eje, la utilización de un par de chumaceras para apoyarlo y una base soporte para cada una.
- Las chumaceras y el material para fabricar el eje dependen del tamaño de las poleas.
- La longitud y diámetro del cable de tracción dependen de las canales de las poleas y de la distribución de las mismas.

#### Costos de materiales

- Un mayor número de poleas implica el uso de poleas de menor tamaño. Lo que se ahorra por tamaño se pierde por cantidad.
- Cada polea implica el uso de un eje y de un par de chumaceras para soportarlo.
- Mientras mayor sea el número de poleas mayor será la longitud del cable de tracción.

#### Facilidad de instalación

- Un mayor número de poleas implica un estudio más detallado del movimiento de la cabina y el contrapeso. Las distancias recorridas y la distribución de la carga dependerán de la disposición de las poleas.

### 3.1.5- Matriz de evaluación

Cada alternativa de diseño será calificada dentro de la matriz de evaluación, en base a una escala del 1 al 10, siendo 10 la mejor puntuación y 1 la peor puntuación.

Tabla 3.5- Matriz de Evaluación.

<b>Criterios</b>	<b>Diseño 1</b>	<b>Diseño 2</b>	<b>Diseño 3</b>	<b>Diseño 4</b>	<b>Diseño 5</b>	<b>Diseño 6</b>
Facilidad de construcción y procura de materiales.	7	5	6	7	6	7
Facilidad de instalación.	6	7	6	8	7	7
Costos de materiales y construcción.	6	5	6	9	6	8
Facilidad de mantenimiento de los componentes.	9	7	9	9	9	9
Sistema adaptable a cambios a futuro.	8	7	8	7	8	8
Facilidad de operación.	8	8	8	8	8	8
Desempeño.	7	7	9	6	9	7
Confiabilidad.	7	8	8	6	9	9
Estética.	8	9	8	7	8	8
Seguridad.	7	7	9	6	9	9

Ahora se evaluará cada diseño tomando en cuenta la jerarquía de los criterios mencionada en el capítulo 2 Tabla 2.1.

Tabla 3.6- Matriz de Evaluación según jerarquía.

<b>Criterios</b>	<b>Jerarquía</b>	<b>Diseño 1</b>	<b>Diseño 2</b>	<b>Diseño 3</b>	<b>Diseño 4</b>	<b>Diseño 5</b>	<b>Diseño 6</b>
Facilidad de construcción y procura de materiales.	5	3,5	2,5	3	3,5	3	3,5
Facilidad de instalación.	5	3	3,5	3	4	3,5	3,5
Costos de materiales y construcción.	5	3	2,5	3	4,5	3	4
Facilidad de mantenimiento de los componentes.	4	3,6	2,8	3,6	3,6	3,6	3,6
Sistema adaptable a cambios a futuro.	3	2,4	2,1	2,4	2,1	2,4	2,4
Facilidad de operación.	4	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
Desempeño.	5	3,5	3,5	4,5	3	4,5	3,5
Confiabilidad.	4	2,8	3,2	3,2	2,4	3,6	3,6
Estética.	3	2,4	2,7	2,4	2,1	2,4	2,4
Seguridad.	5	3,5	3,5	4,5	3	4,5	4,5
Total	43	30,9	29,5	32,8	31,4	33,7	34,2

De la matriz de evaluación se tiene que el diseño del sistema mecánico con mejor puntuación y a implementar en este trabajo especial de grado es el diseño 6.

## 3.2- AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA

### 3.2.1- Fase de generación de ideas

#### Cable Viajero

- Tipo resorte de torsión.
- Guiado mediante un riel con pesos que mantengan el cable ordenado.
- Con canaletas de plástico rígidas y articuladas, que se recojan tipo acordeón.

#### Disposición del cuadro de maniobras

- Estará colocado en un gabinete, con cableado fijo, donde únicamente la programación del PLC podrá ser modificada.

#### Interfaz humano máquina

- Estará ubicado en la tapa del gabinete del cuadro de maniobras. Esta interfaz va a contar con botones con los cuales el usuario podrá dar instrucciones al ascensor.
- Se instalarán luces pilotos que indicarán el estado del sistema.

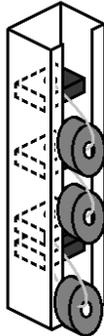
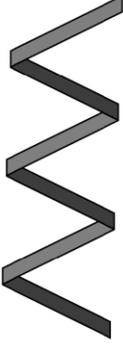
#### Sensores

- Sensor de peso (microswitch, celda de carga de compresión)
- Sensor de piso (fotoeléctrico, inductivo, final de carrera)
- Sensor de puerta abierta-cerrada (microswitch)

Estas ideas se proceden a ordenar en la Matriz morfológica.

### 3.2.2- Matriz Morfológica

Tabla 3.7- Matriz morfológica automática

Factor	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Cable Viajero	Resorte de Torsión 	Riel con pesas 	Canaletas articuladas 
Cuadro de Maniobras	Gabinete con cableado fijo		
Interfaz humano máquina	Botones y Luces En la tapa del gabinete		
Sensor de peso	Microswitch 	Celda de carga 	
Sensor de piso	Fotoeléctrico 	Inductivo 	Final de Carrera 
Sensor de puerta abierta-cerrada	Microswitch 		

### 3.2.3- Alternativas de diseño.

De la matriz morfológica se tomaron diferentes alternativas para cada factor, planteándose estas posibilidades de diseño:

- Diseño 1:

La cabina estará unida eléctricamente al cuadro de maniobras mediante cables que se estarán enrollando en un resorte de torsión. Igualmente, el cuadro de maniobras va a estar colocado en un gabinete con cableado fijo. En la tapa de este gabinete se van a encontrar los botones, con los cuales el usuario podrá dar instrucciones al ascensor. Asimismo, el cuadro de maniobras va a estar conectado con un sensor de tipo celda de carga para detectar si hay sobrepeso en la cabina; un sensor del tipo fotoeléctrico y un interruptor de final de carrera de manera que el PLC conozca en qué piso se encuentra el ascensor, y finalmente, un microswitch para que el sistema determine si la puerta de la cabina se encuentra abierta o cerrada. En el pozo se instalarán luces pilotos que indicarán el estado del sistema.

- Diseño 2

La cabina estará unida eléctricamente al cuadro de maniobras mediante cables que estarán ordenados en un riel, permitiendo su movimiento. Igualmente el cuadro de maniobras va a estar colocado en un gabinete con cableado fijo. En la tapa de este gabinete se van a encontrar los botones con los cuales el usuario podrá dar instrucciones al ascensor. Asimismo, el cuadro de maniobras va a estar conectado con un microswitch para detectar si hay sobrepeso en la cabina; un sensor del tipo inductivo y dos interruptores de final de carrera de manera que el PLC conozca en qué piso se encuentra el ascensor y finalmente, un microswitch para que el sistema determine si la puerta de la cabina se encuentra abierta o cerrada. En el pozo se instalarán luces pilotos que indicarán el estado del sistema.

- Diseño 3

La cabina estará unida eléctricamente al cuadro de maniobras mediante cables que estarán ordenados en un riel, permitiendo su movimiento. Igualmente, el cuadro de maniobras va a estar colocado en un gabinete con cableado fijo. En la tapa de este gabinete se van a encontrar los botones con los cuales el usuario podrá dar instrucciones al ascensor. Asimismo, el cuadro de maniobras va a estar conectado con un microswitch para detectar si hay sobrepeso en la cabina; un sensor del tipo fotoeléctrico y dos interruptores de final de carrera, de manera que el PLC conozca en qué piso se encuentra el ascensor y finalmente, un microswitch para que el sistema determine si la puerta de la cabina se encuentra abierta o cerrada. En el pozo se instalarán luces pilotos que indicarán el estado del sistema.

- Diseño 4

La cabina estará unida eléctricamente al cuadro de maniobras mediante cables que irán dentro de canaletas de plástico rígidas y articuladas que se recojan tipo acordeón. Igualmente, el cuadro de maniobras va a estar colocado en un gabinete con cableado fijo. En la tapa de este gabinete se van a encontrar los botones con los cuales el usuario podrá dar instrucciones al ascensor. Asimismo, el cuadro de maniobras va a estar conectado con un microswitch para detectar si hay sobrepeso en la cabina; un sensor del tipo inductivo y dos interruptores de final de carrera, de manera que el PLC conozca en qué piso se encuentra el ascensor y finalmente, un microswitch para que el sistema determine si la puerta de la cabina se encuentra abierta o cerrada. En el pozo se instalarán luces pilotos que indicarán el estado del sistema.

- Diseño 5

La cabina estará unida eléctricamente al cuadro de maniobras mediante cables que irán dentro de canaletas de plástico rígidas y articuladas, que se recojan tipo acordeón. Igualmente, el cuadro de maniobras va a estar colocado en un gabinete con cableado fijo. En la tapa de este gabinete, se van a encontrar los botones con los cuales el usuario podrá dar instrucciones al ascensor. Asimismo, el cuadro de maniobras va a estar conectado con un microswitch para detectar si hay sobrepeso en

la cabina; un sensor del tipo fotoeléctrico y dos interruptores de final de carrera de manera que el PLC conozca en qué piso se encuentra el ascensor y finalmente, un microswitch para que el sistema determine si la puerta de la cabina se encuentra abierta o cerrada. En el pozo se instalarán luces pilotos que indicarán el estado del sistema.

- Diseño 6

La cabina estará unida eléctricamente al cuadro de maniobras mediante cables que irán dentro de canaletas de plástico rígidas y articuladas, que se recojan tipo acordeón. Igualmente, el cuadro de maniobras va a estar colocado en un gabinete con cableado fijo. En la tapa de este gabinete se van a encontrar los botones con los cuales el usuario podrá dar instrucciones al ascensor. Asimismo, el cuadro de maniobras va a estar conectado con un sensor de tipo celda de carga para detectar si hay sobrepeso en la cabina; un sensor del tipo inductivo y dos interruptores final de carrera de manera que el PLC conozca en qué piso se encuentra el ascensor y finalmente, un microswitch para que el sistema determine si la puerta de la cabina se encuentra abierta o cerrada. En el pozo se instalarán luces pilotos que indicarán el estado del sistema.

#### 3.2.4- Factores a tomar en cuenta al evaluar los diseños:

Desempeño de la automatización:

- El resorte de torsión genera la posibilidad de que se trabe el cable y por lo tanto el sistema.
- El sistema de riel y pesos plantea la posibilidad de que el cable se enrede.
- El desempeño de la celda de carga es mayor que el del microswitch actuando como detector de sobrepeso.

Facilidad de construcción y procura de materiales

- Para que el microswitch sirva como sensor de peso necesita de un mecanismo adicional para que se active.

#### Costos de materiales

- Una celda de carga es mucho más costosa que un microswitch.
- Implementar el resorte de torsión como mecanismo para recoger el cable viajero implica, la adquisición del resorte y la construcción de una base para el mismo.
- Implementar el guiado mediante riel como método para ordenar el cable viajero, implica la adquisición del riel y sus guidores.
- Implementar el mecanismo de canaletas de plástico articuladas para mantener ordenado el cable viajero implica la adquisición de bisagras y canales de plástico.

#### Facilidad de instalación

- El sensor inductivo necesita estar a una distancia muy cercana de su objetivo.
- El sensor fotoeléctrico puede estar a mayores distancias de su objetivo pero la alineación entre los mismos debe ser perfecta.
- El mecanismo de resorte de torsión para recoger el cable viajero es difícil de instalar.

#### 3.2.5- Matriz de evaluación

Cada alternativa de diseño será calificada dentro de la matriz de evaluación, en base a una escala del 1 al 10, siendo 10 la mejor puntuación y 1 la peor puntuación.

Tabla 3.8- Matriz de Evaluación.

<b>Criterios</b>	<b>Diseño 1</b>	<b>Diseño 2</b>	<b>Diseño 3</b>	<b>Diseño 4</b>	<b>Diseño 5</b>	<b>Diseño 6</b>
Facilidad de construcción y procura de materiales.	5	7	7	9	9	8
Facilidad de instalación.	6	7	6	7	6	8
Costos de materiales y construcción.	5	8	8	9	9	6
Desempeño.	7	6	6	7	7	8
Confiabilidad.	5	6	5	7	6	8

Ahora se evaluará cada diseño tomando en cuenta la jerarquía de los criterios mencionada en el capítulo 2 Tabla 2.1.

Tabla 3.9- Matriz de Evaluación según jerarquía.

<b>Criterios</b>	<b>Jerarquía</b>	<b>Diseño 1</b>	<b>Diseño 2</b>	<b>Diseño 3</b>	<b>Diseño 4</b>	<b>Diseño 5</b>	<b>Diseño 6</b>
Facilidad de construcción y procura de materiales.	5	2,5	3,5	3,5	4,5	4,5	4
Facilidad de instalación.	5	3	3,5	3	3,5	3	4
Costos de materiales y construcción.	5	2,5	4	4	4,5	4,5	3
Desempeño.	5	3,5	3	3	3,5	3,5	4
Confiabilidad.	4	2	2,4	2	2,8	2,4	3,2
Total	24	13,5	16,4	15,5	18,8	17,9	18,2

De la matriz de evaluación se tiene que el diseño del sistema mecánico con mejor puntuación y a implementar en este trabajo especial de grado es el diseño 4.

## CAPÍTULO IV: DISEÑO BÁSICO

En este capítulo se desarrolló toda la configuración básica de cómo va a estar constituido el proyecto, así como los planos que ayudaran a la construcción del mismo

### 4.1- DESCRIPCIÓN SUPERFICIAL DEL CONJUNTO

- El material de construcción de los carros de la cabina y contrapeso será perfiles tipo L de acero de bajo carbono.
- Partiendo de la altura de entrepiso de un edificio residencial (2,5 m promedio) y considerando que el alto total del bastidor (pozo) es de 2,20 m se estimó la escala de tamaño. Según el diseño conceptual el ascensor será de tres maniobras, y la altura de recorrido aprovechable del pozo es de 1,95 m, lo que da como resultado una altura de entrepiso de 0,65 m. Por lo tanto, la escala de tamaño escogida es de 1: 4.
- El carro de la cabina va a tener las siguientes dimensiones: 40 cm de ancho, por 40 cm de largo, por 60 cm de alto.
- El carro del contrapeso va a tener las siguientes dimensiones: 40 cm de ancho, por 20 cm de largo, por 60 cm de alto. Estas medidas se tomaron considerando el tamaño y peso del lastre del contrapeso. Entre la cabina y el contrapeso se tiene una distancia de 1 cm.
- Del capítulo anterior se obtuvo la disposición de las poleas para la configuración del conjunto cabina- contrapeso. Esta será: una en sala de máquinas y una en el contrapeso. El diámetro de las poleas depende del tamaño del carro de la cabina y el contrapeso así como de la distancia de separación entre los mismos.
- El eje de la polea de tracción y el del contrapeso tendrán diferentes secciones. Sin embargo, dependerán principalmente del diámetro interno de las poleas.
- Las chumaceras tendrán un diámetro interno de la medida comercial más cercana al diámetro del eje.

- La longitud total de los ejes dependerá de la ancho de apoyo de las poleas y de las chumaceras.
- Como cable de tracción se van a usar guayas de acero. El diámetro del cable dependerá del tamaño de las gargantas de la polea.
- Se emplearán dos cables de tracción para que el contacto entre los mismos y la polea de tracción sea mayor.
- Se implementarán guidores de ruedas para la cabina y el contrapeso en conjunto con las guías perfiles tipo L de acero.
- La disposición del conjunto cabina contrapeso y poleas se seleccionó de esa manera debido a los criterios de la matriz de evaluación. Este sistema es funcional, tiene mayor facilidad de instalación y construcción, además disminuye los tiempos de construcción y es adaptable a cambios futuros.

#### 4.2- CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

El sistema está constituido por un sensor inductivo, dos interruptores de final de carrera, dos microswitches, luces piloto y pulsadores; los cuales estarán comunicados directamente al cuadro de maniobras. El sistema estará dispuesto de la siguiente manera:

##### 4.2.1- Sensor inductivo:

Estará instalado sobre la cabina. El mismo se encargara de determinar la ubicación de la cabina a lo largo del recorrido para detectar los puntos aceleración y frenado de la misma.

##### 4.2.2- Interruptores de final de carrera:

Estarán ubicados en la parte final superior e inferior del recorrido de la cabina.

##### 4.2.3- Microswitches:

Estarán ubicados en la puerta y en el piso de la cabina. El microswitch ubicado en la puerta será el encargado de detectar si la misma está abierta o cerrada, mientras que el que está ubicado en el piso detectará si hay sobrepeso en la cabina.

#### 4.2.4- Luces

Se colocarán en el pozo del modelo. Ellas se encenderán a la llegada de la cabina al piso seleccionado e indicarán el estado del sistema.

#### 4.2.5- Pulsadores

Serán 5 pulsadores y estarán colocados en la puerta del cuadro de maniobras, los mismos servirán como interface de comunicación entre el humano y el sistema.

#### 4.2.6- Cuadro de maniobras (Gabinete)

Contará con los siguientes componentes:

- Un PLC que será el encargado de coordinar todas las acciones a ser realizadas por el sistema.
- Una fuente de alimentación DC para los elementos que la requieran.
- Un variador de frecuencia para regular la velocidad del motor de accionamiento y controlar los tiempos de aceleración y frenado del mismo.
- Relés SPST de 24V y capaces de activarse con menos de 0,3A. Estos se conectarán a cada salida digital del PLC.
- Borneras para realizar la conexión fija del cuadro de maniobras.
- Un disyuntor seccionador para protección.

### 4.3- CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO

El sistema mecánico está constituido por dos poleas acanaladas. Estas son; la polea de tracción y la polea viajera, las cuales están dispuestas de la siguiente forma:

- La polea de tracción estará ubicada en la sala de máquina. Esta será la encargada de accionar el conjunto y la misma estará soportada por un eje que recibe la potencia directamente del motor a través de un acople flexible.
- La polea viajera estará ubicada sobre el contrapeso donde va a aportar la separación necesaria entre el carro de la cabina y el carro del contrapeso, para evitar interferencia entre el movimiento de los mismos. Además, garantiza que el ángulo de contacto entre el cable y la polea de tracción sea el máximo posible previniendo el deslizamiento.

El motor se fijará mediante cuatro pernos y estará soportado por cuatro gomas. Esto asegura la altura necesaria para la correcta alineación de los ejes y su posterior acople.

Para restringir el movimiento a solo vertical, se instalarán guías de perfiles tipo L, las cuales estarán sujetas al pozo con pernos. Los carros de la cabina y contrapeso contarán con guías de ruedas. Estos son capaces de absorber pequeñas irregularidades de forma que se presenten en las guías, sin trabarse.

#### 4.4- INVENTARIO DE LOS MATERIALES Y ELEMENTOS A UTILIZAR

En el Capítulo I se expusieron los recursos disponibles en el laboratorio para la construcción del modelo de ascensor. A continuación se hace una descripción más detallada de los mismos.

- 1 motor de inducción trifásico, de 1/3 hp @1800 rpm @ 60 Hz, que servirá como máquina motora del conjunto cabina contrapeso.
- 1 bastidor de acero AISI 1010 laminado en caliente con una resistencia a la tensión de 320 MPa y una Resistencia a la fluencia de 180 MPa, que servirá como pozo del conjunto.
- Un controlador lógico programable de la casa Telemecanique modelo TWDLMDA20DTK de 12 entradas digitales a 24V en corriente continua y 8 salidas de 0.3A de común negativo de transistor.

- Un Variador de frecuencia de la casa Telemecanique modelo Altivar 08, con capacidad de otorgar cuatro velocidades y rampas de aceleración y frenado.
- Una fuente de alimentación 24 V de corriente continua.
- Disyuntor-seccionador GV-2ME-08 para la protección de la fuente de 24V y del variador de frecuencia.
- 2 interruptores de final de carrera ubicados en la parte final superior e inferior del recorrido de la cabina.
- 1 sensor inductivo para determinar la ubicación de la cabina a lo largo de su recorrido.

A continuación, según los planos del proyecto expuestos en los Anexos, se hace una descripción de los materiales necesarios para la construcción del mismo:

- Se utilizarán perfiles de acero de bajo carbono ASTM 1010 de las siguientes medidas:
  - Perfiles tipo L 25x25x3 para la construcción del carro de la cabina y guidores
  - Perfiles tipo L 30x30x4 para la construcción del carro del contrapeso.
  - Perfiles tipo L 40x40x4 para las guías del contrapeso y cabina, los guidores, la base de anclaje del cable de tracción al carro de la cabina, la base de chumaceras de la polea del contrapeso y para la sala de máquinas.

Tabla 4.1- Longitud de vigas utilizadas

Perfil L	25x25x3	30x30x4	40x40x4
Guías	8,32		
Guiadores	1,18		0,64
Carro cabina	0,2		4,78
Carro contrapeso	0,46	4,04	
Sala de máquinas	1,8		
Total [m]	11,96	4,04	5,42

- Plancha calibre 20 para la construcción de la cabina y su puerta.
- Una corredera Chambrelan para el sistema de apertura de la puerta de la cabina.
- El lastre del contrapeso estará constituido por 7 ladrillos de arcilla.
- La polea de tracción es de 6 gargantas y el tamaño de las mismas es de 3 mm. Los diámetros exterior e interior de la polea de tracción son 178 mm y 31,7 mm respectivamente.
- La polea del contrapeso es de 6 gargantas y el tamaño de las mismas es de 3 mm. Los diámetros exterior e interior de la polea del contrapeso son 153 mm y 12,7mm respectivamente.
- El eje de la polea de tracción se fabricará a partir de un tocho de acero AISI 1040 de 50mm de diámetro y 263,77 mm de longitud.
- El eje de la polea del contrapeso se fabricará a partir de un tocho de acero AISI 1040 de 30mm de diámetro y 263,77 mm de longitud.
- Las chumaceras que soportan el eje de la polea de tracción serán de 3cm de diámetro interno. Ésta corresponde a la medida comercial más próxima al diámetro interior de la polea.
- Las chumaceras que soportan el eje de la polea del contrapeso serán de 1,27cm de diámetro interno, medida comercial que corresponde al diámetro interno de la polea.
- Para transmitir la potencia del eje motor al eje de la polea de tracción se utilizara un acople flexible de aluminio de 50mm de diámetro.
- Se utilizarán dos cables de tracción de 5 metros de longitud cada uno, cuyo diámetro será de 2 mm. Los cables de acero de este diámetro disponibles en el mercado poseen una capacidad de carga de 840 N.
- Tornillos de diferentes medidas para el ensamblaje final de las uniones no permanentes.

## CAPÍTULO V: DISEÑO DE DETALLES

Se obtuvieron los planos del proyecto (ANEXOS) utilizando el programa CAD de proyección 3D Inventor 2011 TM. En este capítulo, se procedió a realizar un análisis dinámico y estático del conjunto.

Los cálculos fueron realizados para situaciones críticas, que afectan el movimiento del ascensor; tales como, la cabina con carga útil completa en movimiento ascendente, y cabina sin carga útil en movimiento descendente.

Los cálculos están divididos en, análisis dinámico, estudio sobre los ejes (motor y contrapeso) y análisis estructural.

### 5.1- ANÁLISIS DINÁMICO

A través del análisis dinámico se conoció, la velocidad de giro del motor y la frecuencia que fijaremos en el variador de velocidad, el par que necesita el motor y las fuerzas resultantes sobre los diferentes componentes del conjunto.

#### 5.1.1- Reducción al eje motor (Cabina en ascenso)

Nomenclatura:

- $M_m$  = Par motor.
- $M_T$  = Momento de la polea de tracción.
- $g$  = Aceleración de gravedad.
- $R_T$  = Radio de polea de tracción.
- $r_p$  = Radio de polea del contrapeso.
- $m_p$  = Masa de polea del contrapeso.
- $m_{cp}$  = Masa de contrapeso.
- $m_{cab}$  = Masa de cabina.
- $I_m$  = Inercia del motor.
- $V_{cab}$  = Velocidad Lineal de la cabina.

- $V_{\text{cpeso}}$  = Velocidad Lineal del contrapeso.
- $\omega_p$  = Velocidad de giro de la polea del contrapeso.
- $\omega_m$  = Velocidad de giro del motor.
- $T_1$  = Tensión del cable cabina - polea de tracción.
- $T_2$  = Tensión del cable del contrapeso - polea de tracción.
- $T_3$  = Tensión del cable contrapeso – pozo.
- $R_{y1}$  = Reacción de la polea tracción sobre su eje.
- $R_{y2}$  = Reacción de la polea del contrapeso sobre su eje.

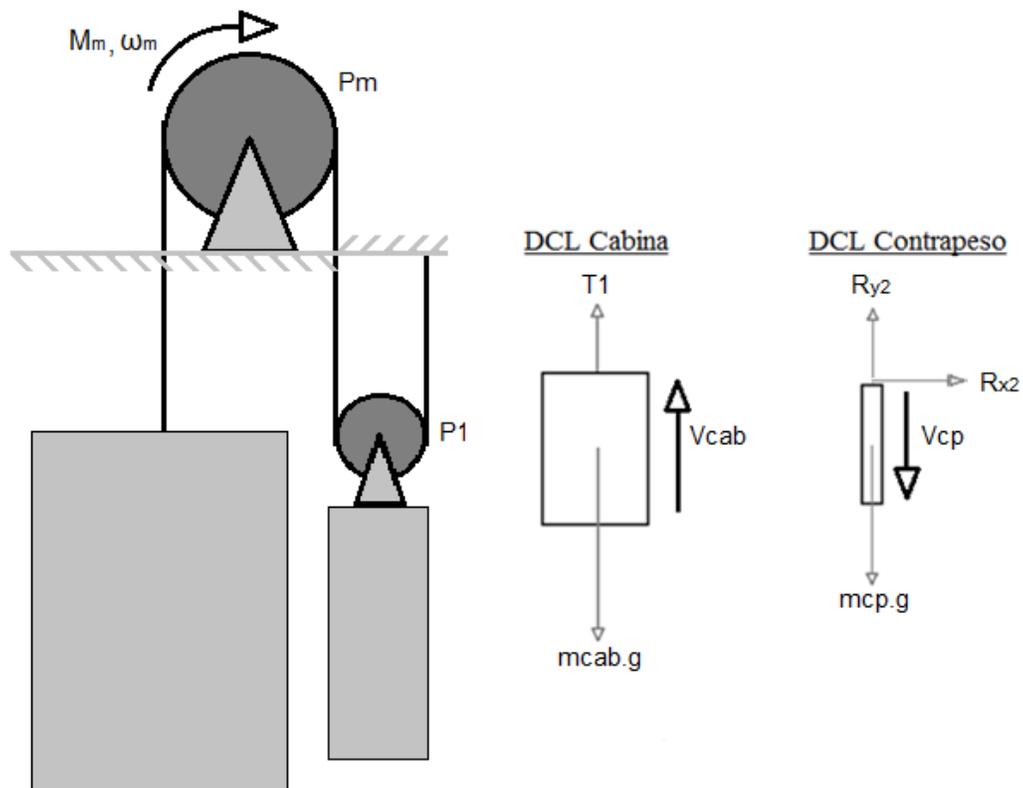


Figura 5.1- Diagramas de cuerpo libre del conjunto cabina contrapeso, cabina en ascenso

Del DCL de la cabina ver Figura 5.1

Sumatoria de fuerzas en el eje y:

$$\sum F_y = T_1 - m_{cab} \cdot g = m_{cab} \cdot \frac{dV_{cab}}{dt} \quad (5.1)$$

La velocidad de la cabina está relacionada con la velocidad de giro del motor según la siguiente expresión:

$$V_{cab} = R_T \cdot \omega_m \quad (5.2)$$

Luego al sustituir (5.2) en (5.1) se obtuvo:

$$\sum F_y = T_1 - m_{cab} \cdot g = m_{cab} \cdot R_T \frac{d\omega_m}{dt} \quad (5.3)$$

La polea del contrapeso tiene un movimiento de rotación y un desplazamiento lineal. La velocidad lineal de la polea del contrapeso, está relacionada con la velocidad de giro del motor al igual que la cabina.

En la Figura 5.2 se puede observar la polea del contrapeso y la relación que existe entre las velocidades de los puntos de contacto de la misma con el cable de tracción.

La velocidad lineal en el punto A se relaciona con las RPM del motor, del mismo modo que la velocidad de la cabina.

$$V_A = V_{cab} = R_T \cdot \omega_m \quad (5.2)$$

El punto c es un centro instantáneo de rotación de la polea, por lo tanto la velocidad en ese punto es nula.

$$V_C = 0$$

La velocidad lineal de la polea del contrapeso es la velocidad de su centro, y se obtuvo por una relación de triángulos mostrada en la Figura 5.2.

$$V_{cpeso} = V_p = \frac{1}{2} R_T \cdot \omega_m \quad (5.4)$$

Se buscó la velocidad de giro de la polea del contrapeso

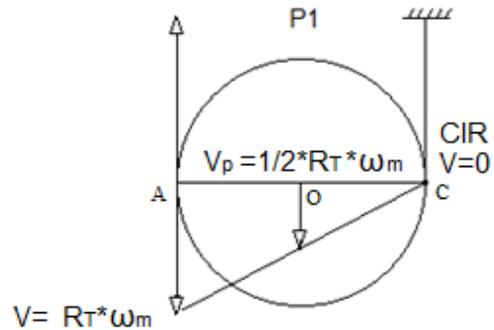


Figura 5.2- Velocidad de la polea del contrapeso

$$\omega_p = \frac{V_p}{r_p} \quad (5.5)$$

Al sustituir (5.5) en (5.4) se obtuvo la velocidad de giro de la polea del contrapeso con respecto a las RPM del motor

$$\omega_p = \frac{1 R_T}{2 r_p} \omega_m \quad (5.6)$$

Del DCL del contrapeso ver Figura 5.1.

Sumatoria de fuerzas en el eje y:

$$\sum F_y = R_{y2} - m_{cp} \cdot g = -m_{cp} \cdot \frac{dV_p}{dt} \quad (5.7)$$

Sustituyendo (5.4) en (5.7)

$$\sum F_y = R_{y2} - m_{cp} \cdot g = -\frac{1}{2} m_{cp} \cdot R_T \frac{d\omega_m}{dt} \quad (5.8)$$

Del DCL de la polea del contrapeso ver Figura 5.3

Sumatoria de fuerzas en el eje y:

$$\sum F_y = T_2 + T_3 - m_p \cdot g - R_{y2} = -\frac{1}{2} m_p \cdot R_T \frac{d\omega_m}{dt} \quad (5.9)$$

Sumatoria de momentos en el centro:

$$\sum M_o = r \cdot (T_3 - T_2) = \frac{1}{2} \frac{R_T}{r_p} I_p \cdot \frac{d\omega_m}{dt} \quad (5.10)$$

Conociendo que la Inercia de la polea es:

$$I_p = \frac{1}{2} m_p \cdot r_p^2 \quad (5.11)$$

Ahora sustituyendo (5.11) en (5.10)

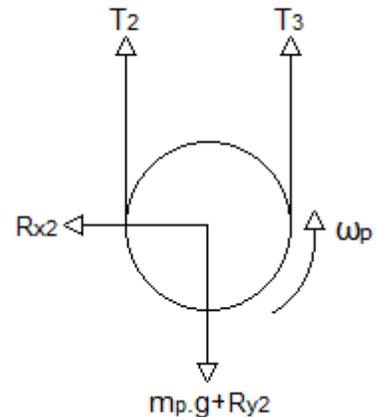


Figura 5.3- Polea del contrapeso

$$\sum M = T_3 - T_2 = \frac{1}{4} m_p \cdot R_T \cdot \frac{d\omega_m}{dt} \quad (5.12)$$

Del DCL de la polea de tracción ver Figura 5.4

Sumatoria de fuerzas en el eje y:

$$\sum F_y = R_{y1} - (T_1 + T_2) - m_m \cdot g = 0 \quad (5.13)$$

Sumatoria de momentos en el centro:

$$\sum M = M_T - M_m = -I_m \cdot \frac{d\omega_m}{dt} \quad (5.14)$$

El momento de la polea de tracción viene dado por:

$$M_T = R_T \cdot (T_1 - T_2) \quad (5.15)$$

Sustituyendo (5.15) en (5.14)

$$\sum M = R_T \cdot (T_1 - T_2) - M_m = -I_m \cdot \frac{d\omega_m}{dt} \quad (5.16)$$

Donde  $I_m$  es la inercia del conjunto de accionamiento (motor-extensión eje motor-polea de tracción)

5.1.1.2- Ecuaciones de movimiento ascendente de la cabina

$$\sum F_y = T_1 - m_{cab} \cdot g = m_{cab} \cdot R_T \frac{d\omega_m}{dt} \quad (5.3)$$

$$\sum F_y = R_{y2} - m_{cp} \cdot g = -\frac{1}{2} m_{cp} \cdot R_T \frac{d\omega_m}{dt} \quad (5.8)$$

$$\sum F_y = T_2 + T_3 - m_p \cdot g - R_{y2} = -\frac{1}{2} m_p \cdot R_T \frac{d\omega_m}{dt} \quad (5.9)$$

$$\sum M = T_3 - T_2 = \frac{1}{4} m_p \cdot R_T \cdot \frac{d\omega_m}{dt} \quad (5.12)$$

$$\sum F_y = R_{y1} - (T_1 + T_2) - m_m \cdot g = 0 \quad (5.13)$$

$$\sum M = R_T \cdot (T_1 - T_2) - M_m = -I_m \cdot \frac{d\omega_m}{dt} \quad (5.16)$$

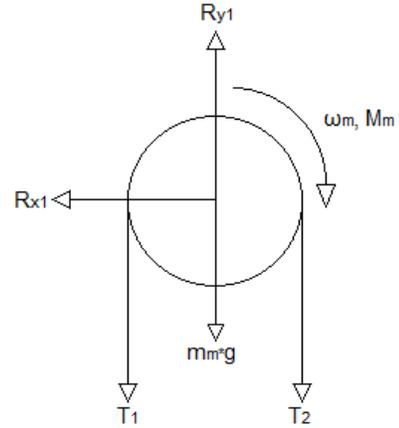


Figura 5.4- Polea de tracción

Se realizaron las operaciones necesarias con las ecuaciones del movimiento ascendente de la cabina y se obtuvo la ecuación de las fuerzas reducidas al eje motor

Ecuación reducida al eje motor, cabina en ascenso (5.17).

$$2M_m + g \cdot R_T \cdot (m_p + m_{cp} - 2m_{cab}) = \left( 2I_m + 2m_{cab} \cdot R_T^2 + \frac{1}{2} m_{cp} \cdot R_T^2 + \frac{3}{4} m_p \cdot R_T^2 \right) \cdot \frac{d\omega_m}{dt}$$

### 5.1.2- Reducción al eje motor (Cabina en descenso)

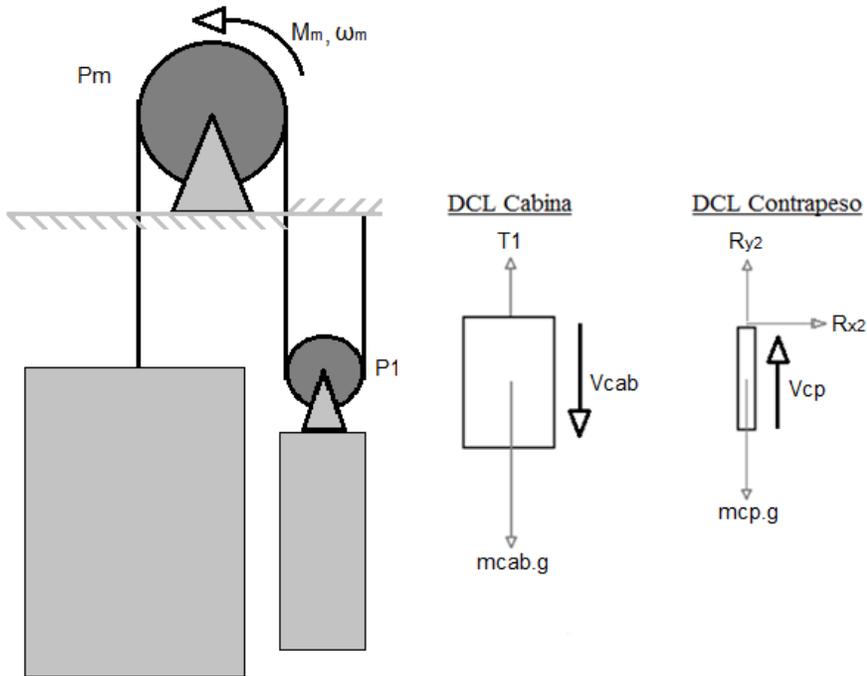


Figura 5.5- Diagramas de cuerpo libre del conjunto cabina contrapeso, cabina en descenso.

Del DCL del conjunto, ver Figura 5.5. Realizando las operaciones del mismo modo que en el caso cabina en ascenso se obtuvo:

#### 5.1.2.1- Ecuaciones de movimiento descendente de la cabina

$$\sum F_y = T_1 - m_{cab} \cdot g = -m_{cab} \cdot R_T \frac{d\omega_m}{dt} \quad (5.18)$$

$$\sum F_y = R_{y2} - m_{cp} \cdot g = \frac{1}{2} m_{cp} \cdot R_T \frac{d\omega_m}{dt} \quad (5.19)$$

$$\sum F_y = T_2 + T_3 - m_p \cdot g - R_{y2} = \frac{1}{2} m_p \cdot R_T \frac{d\omega_m}{dt} \quad (5.20)$$

$$\sum M = T_3 - T_2 = -\frac{1}{4} m_p \cdot R_T \cdot \frac{d\omega_m}{dt} \quad (5.21)$$

$$\sum F_y = R_{y1} - (T_1 + T_2) - m_m \cdot g = 0 \quad (5.22)$$

$$\sum M = R_T \cdot (T_1 - T_2) + M_m = I_m \cdot \frac{d\omega_m}{dt} \quad (5.23)$$

Finalmente se obtuvo la ecuación de fuerzas reducidas al eje motor.

Ecuación reducida al eje motor, cabina en descenso (5.24).

$$2M_m + g \cdot R_T \cdot (-m_p - m_{cp} + 2m_{cab}) = \left( 2I_m + 2m_{cab} \cdot R_T^2 + \frac{1}{2} m_{cp} \cdot R_T^2 + \frac{3}{4} m_p \cdot R_T^2 \right) \cdot \frac{d\omega_m}{dt}$$

### 5.1.3- Cálculo de la Velocidad de giro y frecuencia del motor

Ya obtenidas estas ecuaciones, se procedió al cálculo de la velocidad de giro del motor. Ahora bien, como el recorrido total del modelo de ascensor es corto, se utilizó una velocidad lineal de 0,10 m/s, para una mejor percepción del movimiento.

Datos

$$V_{cab} = 0,10 \text{ m/s}$$

$$R_m = 0,089 \text{ m}$$

De la ecuación (5.2)

$$\omega_m = \frac{V_{cab}}{R_m} = 1,124 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Se busca la velocidad de giro en rpm

$$\omega_m = 1,124 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot \frac{60}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{\text{s}}{\text{m}} = 10,733 \text{ rpm}$$

De la placa de identificación del motor que se utilizará, la velocidad de giro es 1800 rpm @ 60 Hz, por lo tanto es un motor de dos pares de polos.

Ahora se buscó la frecuencia que fijaremos en el variador de velocidad para que la velocidad de giro del motor sea de 10,733 rpm.

$$f = \frac{\omega_m \cdot npp}{60} = \frac{10,733 \cdot 2}{60} = 0,357 \text{ Hz}$$

#### 5.1.4- Cálculo del par del motor

Se realizó el cálculo del par motor necesario para accionar el conjunto:

Valiéndose del programa Autocad Inventor 2012 y de las densidades de los materiales utilizados para la construcción se obtuvieron las masas de la cabina y del contrapeso.

Datos:

$$R_T = 0,089 \text{ m}$$

$$I_m = 4,552 \times 10^{-3} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$$

$$m_p = 0,3 \text{ Kg}$$

$$m_{cp} = 32,7 \text{ Kg}$$

$$m_{ccab} = 15,75 \text{ Kg}$$

$$\text{Caso 1: } m_{cutil} = 2 \text{ Kg}$$

$$m_{cab} = m_{ccab} + m_{cutil} = 17,75 \text{ Kg}$$

$$\text{Caso 2: } m_{cutil} = 0$$

$$m_{cab} = 15,75 \text{ Kg}$$

Se estableció un tiempo de dos segundos para que el motor acelere de 0 rad/s a 5,295 rad/s. El mismo tiempo también será establecido para la desaceleración del motor.

Se obtuvo el gráfico de velocidad vs tiempo:

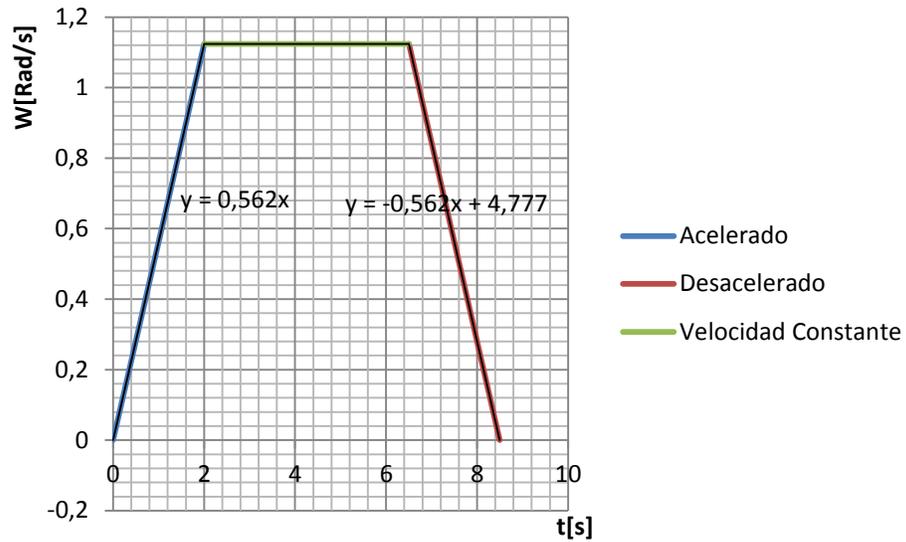


Figura 5.6- Gráfico de velocidad vs tiempo.

Luego la aceleración y desaceleración son las pendientes de las rectas respectivamente.

$$\frac{d\omega}{dt} = \alpha = \pm 0,562 \text{ rad/s}^2$$

De la ecuación (5.17) se calculó el par requerido por el motor para accionar el conjunto.

$$M_m = -\frac{g \cdot R_T}{2} (m_p + m_{cp} - 2m_{cab}) + \frac{d\omega_m}{dt} \left( I_m + m_{cab} \cdot R_T^2 + \frac{1}{4} m_{cp} \cdot R_T^2 + \frac{3}{8} m_p \cdot R_T^2 \right)$$

El par motor fue calculado para sus tres situaciones posibles en los casos de ascenso de la cabina con carga útil y descenso de la cabina libre de carga. Los resultados se muestran en las siguientes tablas:

$\alpha$ [rad/s <sup>2</sup> ]	$M_m$ [N.m]
0,562	1,211
0	1,091
-0,562	0,971

Tabla 5.1- Resultados de par en ascenso con carga útil

$\alpha$ [rad/s <sup>2</sup> ]	$M_m$ [N. m]
0,562	0,764
0	0,655
-0,562	0,545

Tabla 5.2- Resultados de par en descenso sin carga útil

#### 5.1.5- Cálculo de tensiones y reacciones del sistema

Se procedieron a calcular las fuerzas que actúan sobre los diferentes componentes del conjunto, estas fuerzas son  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  y  $R_{y1}$ .

Las fuerzas fueron calculadas para el movimiento ascendente y descendente de la cabina. Los cálculos se realizaron para tres situaciones posibles, al igual que en el cálculo anterior y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 5.3- Cabina en movimiento ascendente (con carga útil)

Fuerzas [N]	$\alpha > 0$	$\alpha = 0$	$\alpha < 0$
$T_1$	174,522	172,752	173,636
$T_2$	161,681	162,510	162,096
$T_3$	161,682	162,505	162,094
$R_{y1}$	343,063	342,117	342,589

Tabla 5.4- Cabina en movimiento descendente (sin carga útil)

Fuerzas [N]	$\alpha > 0$	$\alpha = 0$	$\alpha < 0$
$T_1$	153,720	154,508	155,295
$T_2$	162,279	161,865	161,451
$T_3$	162,276	161,865	161,454
$R_{y1}$	325,248	326,183	327,117

## 5.2- ESTUDIO SOBRE LOS EJES:

### 5.2.1- Cálculo del eje motor (Caso acelerado carga subiendo)

Las condiciones de diseño son:

- Para el cálculo de este eje se despreció la sección entre el acople y la primera chumacera ya que no está sometida a grandes fuerzas.
- La reacción de la polea de tracción sobre el eje se conoce de cálculos anteriores y depende de las tensiones de los cables que pasan por la polea y su velocidad de giro.
- El peso del eje motor se tomó como una carga puntual en la longitud media del tramo evaluado, así su efecto es mayor que tomándolo como carga distribuida.

Nomenclatura:

- $m_T$  = Masa de la polea de tracción.
- $m_{eje1}$  = Masa del eje motor.
- $L_1$  = Longitud desde el punto A al punto donde actúan las fuerzas (punto F).
- $L_2$  = Longitud desde el punto F al punto E.
- $L_{tot}$  = Longitud total del eje.
- $L_{ab}$  = Longitud desde el punto A hasta el primer cambio de diámetro (punto B).
- $L_{bc}$  = Longitud desde el punto B hasta el punto C.
- $L_{cd}$  = Longitud desde el punto C hasta el punto D.
- $L_{de}$  = Longitud desde el punto D hasta el punto E.
- $D_{ab}$  = Es el diámetro interno de las chumaceras y corresponde a la sección A-B.
- $D_{bc}$  = Es el diámetro interno de la polea de tracción y corresponde a la sección B-C.
- $D_{cd}$  = Es el diámetro que sirve como tope para la polea de tracción y corresponde a la sección C-D.

- $D_{de} = D_{ab}$  Corresponde a la sección D-E.
- $R_A$  = Reacción de la chumacera A sobre el eje.
- $R_E$  = Reacción de la chumacera E sobre el eje.
- $S_y$  = Resistencia a la fluencia del material del eje.
- $S_{ut}$  = Resistencia ultima a la tensión del material del eje.
- $S_e$  = Resistencia a la fatiga.
- $V$  = Fuerza cortante.
- $M$  = Momento flector.
- $T$  = Momento torsor.
- $n$  = Factor de seguridad

Se procedió al cálculo del factor de seguridad por fatiga para cada tramo del eje motor, según las teorías de falla de Goodman modificado y distorsión elíptica.

Se procedió a evaluar las fuerzas que afectan al eje en cuestión:

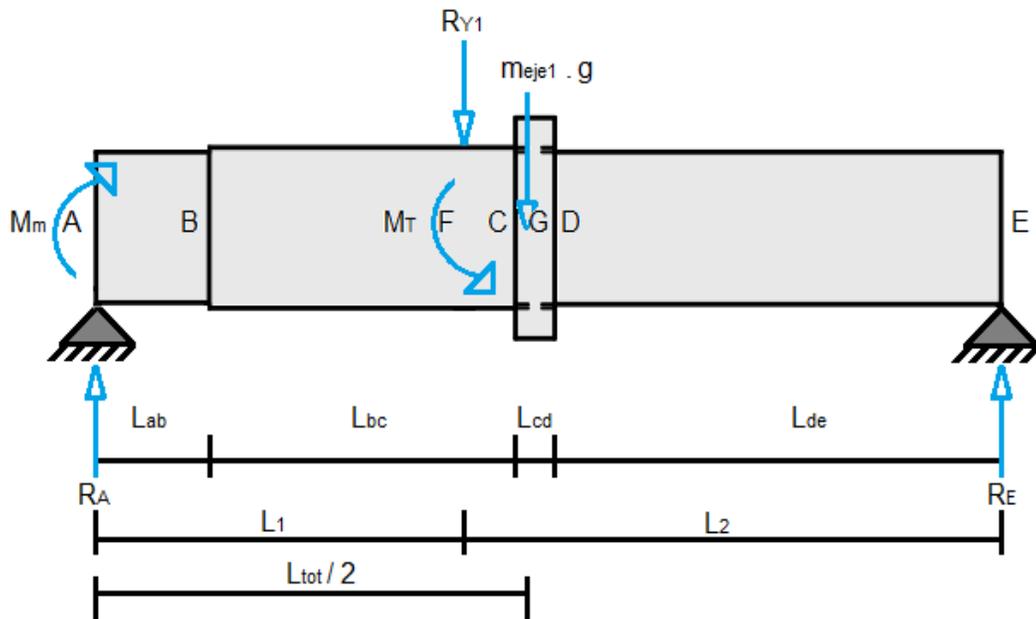


Figura 5.7- Diagrama de cuerpo libre del eje motor

Datos para el cálculo:

$$\begin{aligned} R_T &= 0,089 \text{ m} & R_{Y1} &= 343,06 \text{ N} \\ T_1 &= 174,522 \text{ N} & T_2 &= 161,681 \text{ N} \\ D_{ab} &= D_{de} = 0,03 \text{ m} & D_{bc} &= 0,0317 \text{ m} \\ D_{cd} &= 0,04345 \text{ m} & L_1 &= 0,074 \text{ m} \\ L_2 &= 0,096 \text{ m} & L_{ab} &= 0,019 \text{ m} \\ L_{bc} &= 0,0634 \text{ m} & L_{cd} &= 0,0082 \text{ m} \\ L_{de} &= 0,0794 \text{ m} & L_{tot} &= 0,17 \text{ m} \\ S_y &= 290 \cdot 10^6 \text{ Pa} & S_u &= 496 \cdot 10^6 \text{ Pa} \\ m_T &= 0,7 \text{ kg} & \omega_m &= 50,564 \text{ rpm} \\ m_{eje1} &= 1,4 \text{ kg} \end{aligned}$$

Se procedió a calcular el peso del eje, los momentos de inercia y los momentos polares de inercia del eje.

$$W_{eje} = m_{eje} \cdot g = 13,72 \text{ N}$$

Tomando en cuenta que es una sección circular. Para cada una de sus secciones.

$$\begin{aligned} I_{ab} &= \pi \cdot \frac{D_{ab}^4}{64} = 3,976 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 & J_{ab} &= \pi \cdot \frac{D_{ab}^4}{32} = 7,952 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 \\ I_{bc} &= 4,957 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 & J_{bc} &= 9,914 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 \\ I_{cd} &= 1,75 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4 & J_{cd} &= 3,499 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4 \\ I_{de} &= I_{ab} = 3,976 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 & J_{de} &= J_{ab} = 7,952 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4 \end{aligned}$$

De la ecuación (5.15) se calculó el momento de la polea de tracción para el caso acelerado cabina en ascenso

$$M_T = R_T \cdot (T_1 - T_2) = 1,143 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Del DCL del eje motor ver Figura 5.7

Para cada tramo del eje, se usaron los casos 5 (apoyos simples carga en el punto medio) y 6 (apoyos simples carga intermedia), de la Tabla A-9 del apéndice A del libro Shigley, para obtener las reacciones en los apoyos, la fuerza cortante, momento flector y sus respectivos diagramas. Además, se buscará un diagrama adicional de esfuerzo por flexión, para conocer cómo afectan los cambios de sección al eje motor.

$$R_A = \frac{W_{eje}}{2} + \frac{(R_{y1}) \cdot L_2}{L_{tot}} = 200,59 \text{ N}$$

$$R_E = \frac{W_{eje}}{2} + \frac{(R_{y1}) \cdot L_1}{L_{tot}} = 156,193 \text{ N}$$

Al obtener las reacciones se dividió el eje en secciones:

Sección a-a

Tramo A < x < B Ver Figura 5.8

$$V = R_A = 200,59 \text{ N}$$

$$M = R_A \cdot x = 200,59 \cdot x \text{ N} \cdot m$$

Se evaluó para  $x_0 = 0$  ;  $x_1 = L_{ab} = 0,019 \text{ m}$

$$M_{x_0} = 0 \quad M_{x_1} = 3,811 \text{ N} \cdot m$$

Se buscaron los esfuerzos por flexión para esta sección:

$$\sigma_{x_0} = \frac{M_{x_0} \cdot D_{ab}}{I_{ab} \cdot 2} = 0 \quad \sigma_{x_1} = \frac{M_{x_1} \cdot D_{ab}}{I_{ab} \cdot 2} = 1,4378 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Sección b-b

Tramo B < x < F Ver Figura 5.9

$$V = R_A = 200,59 \text{ N}$$

$$M = R_A \cdot x = 200,59 \cdot x \text{ N} \cdot m$$

Se evaluó para  $x_0 = L_{ab}$  ;  $x_1 = L_1$

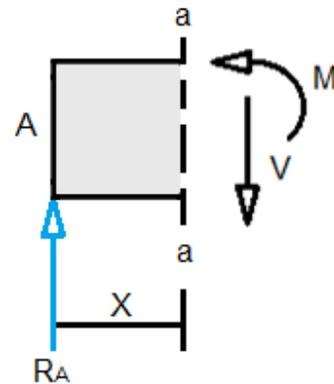


Figura 5.8- Diagrama flexión sección a-a

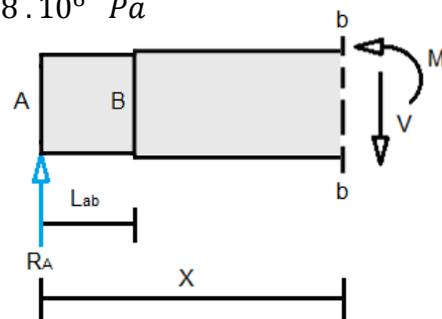


Figura 5.9- Diagrama flexión sección b-b

$$x_0 = 0,019 \text{ m} \quad x_1 = 0,074 \text{ m}$$

$$M_{x_0} = 3,811 \text{ N.m} \quad M_{x_1} = 14,84 \text{ N.m}$$

Se buscaron los esfuerzos por flexión para esta sección:

$$\sigma_{x_0} = \frac{M_{x_0} \cdot D_{bc}}{I_{bc} \cdot 2} = 1,2187 \cdot 10^6 \text{ Pa} \quad \sigma_{x_1} = \frac{M_{x_1} \cdot D_{bc}}{I_{bc} \cdot 2} = 4,7464 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Sección c-c

Tramo  $F < x < C$  Ver Figura 5.10

$$V = R_A - R_{y1} = -142,473 \text{ N}$$

$$M = V \cdot x + R_{y1} \cdot L_1$$

$$M = 25,387 - 142,473 \cdot x \text{ N.m}$$

Se evaluó para  $x_0 = L_1$ ;  $x_1 = L_{ab} + L_{bc}$

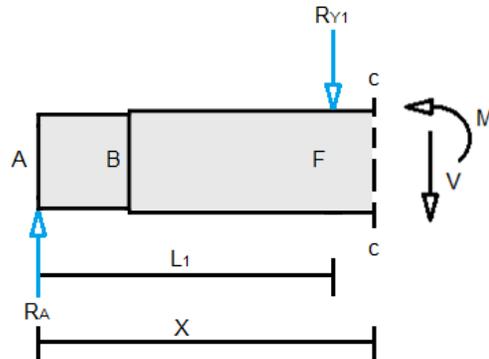


Figura 5.10- Diagrama flexión  
sección c-c

$$x_0 = 0,074 \text{ m} \quad x_1 = 0,0824 \text{ m}$$

$$M_{x_0} = 14,84 \text{ N.m} \quad M_{x_1} = 13,647 \text{ N.m}$$

Se buscaron los esfuerzos por flexión para esta sección:

$$\sigma_{x_0} = \frac{M_{x_0} \cdot D_{bc}}{I_{bc} \cdot 2} = 4,7464 \cdot 10^6 \text{ Pa} \quad \sigma_{x_1} = \frac{M_{x_1} \cdot D_{bc}}{I_{bc} \cdot 2} = 4,3637 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Sección d-d

Tramo  $C < x < G$  Ver Figura 5.11

$$V = R_A - R_{y1} = -142,473 \text{ N}$$

$$M = V \cdot x + R_{y1} \cdot L_1$$

$$M = 25,387 - 142,473 \cdot x \text{ N.m}$$

Se evaluó para  $x_0 = L_{ab} + L_{bc}$ ;  $x_1 = L_{tot}/2$

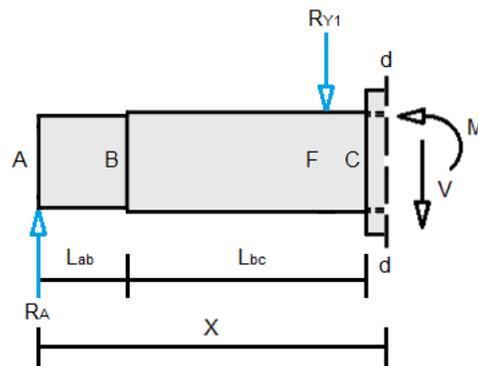


Figura 5.11- Diagrama flexión  
sección d-d

$$x_0 = 0,0824 \text{ m} \quad x_1 = 0,085 \text{ m}$$

$$M_{x_0} = 13,647 \text{ N.m} \quad M_{x_1} = 13,276 \text{ N.m}$$

Se buscaron los esfuerzos por flexión para esta sección:

$$\sigma_{x_0} = \frac{M_{x_0} \cdot D_{cd}}{I_{cd} \cdot 2} = 1,6946 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{x_1} = \frac{M_{x_1} \cdot D_{cd}}{I_{cd} \cdot 2} = 1,6486 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Sección e-e

Tramo  $G < x < D$  Ver Figura 5.12

$$V = -R_E = -156,193 \text{ N}$$

$$M = R_E \cdot (L_{tot} - x)$$

$$M = 26,552 - 156,193 \cdot x \text{ N.m}$$

Se evaluó para:

$$x_0 = L_{tot}/2 ; x_1 = L_{ab} + L_{bc} + L_{cd}$$

$$x_0 = 0,085 \text{ m}$$

$$x_1 = 0,0906 \text{ m}$$

$$M_{x_0} = 13,276 \text{ N.m}$$

$$M_{x_1} = 12,402 \text{ N.m}$$

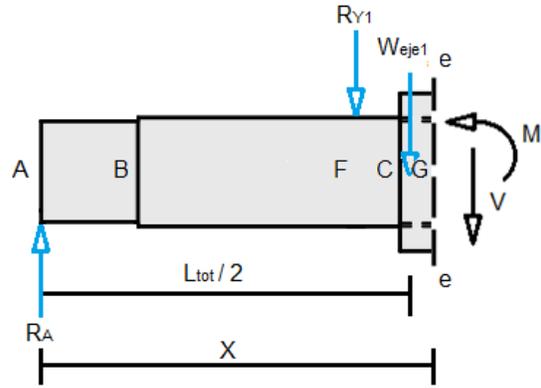


Figura 5.12- Diagrama flexión

sección e-e

Se buscaron los esfuerzos por flexión para esta sección:

$$\sigma_{x_0} = \frac{M_{x_0} \cdot D_{cd}}{I_{cd} \cdot 2} = 1,6486 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{x_1} = \frac{M_{x_1} \cdot D_{cd}}{I_{cd} \cdot 2} = 1,5399 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Sección f-f

Tramo  $x > D$  Ver Figura 5.13

$$V = -R_E = -156,193 \text{ N}$$

$$M = R_E \cdot (L_{tot} - x)$$

$$M = 26,553 - 156,193 \cdot x \text{ N.m}$$

Se evaluó para:

$$x_0 = L_{ab} + L_{bc} + L_{cd} ; x_1 = L_{tot}$$

$$x_0 = 0,0906 \text{ m}$$

$$x_1 = 0,17 \text{ m}$$

$$M_{x_0} = 12,402 \text{ N.m}$$

$$M_{x_1} = 0$$

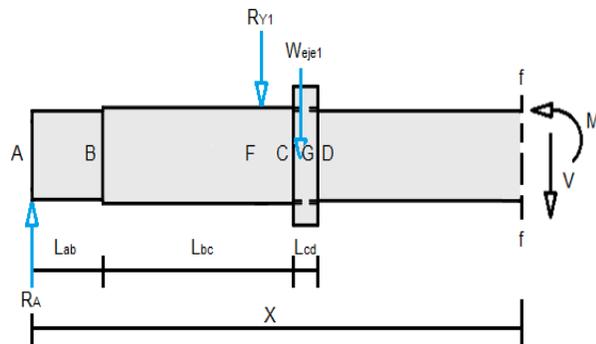


Figura 5.13- Diagrama flexión

sección f-f

Se buscaron los esfuerzos por flexión para esta sección:

$$\sigma_{x0} = \frac{M_{x0} \cdot D_{de}}{I_{de} \cdot 2} = 4,6786 \cdot 10^6 \text{ Pa} \quad \sigma_{x1} = \frac{M_{x1} \cdot D_{de}}{I_{de} \cdot 2} = 0$$

Se obtuvieron las gráficas de fuerza cortante, momento flector y esfuerzo por flexión:

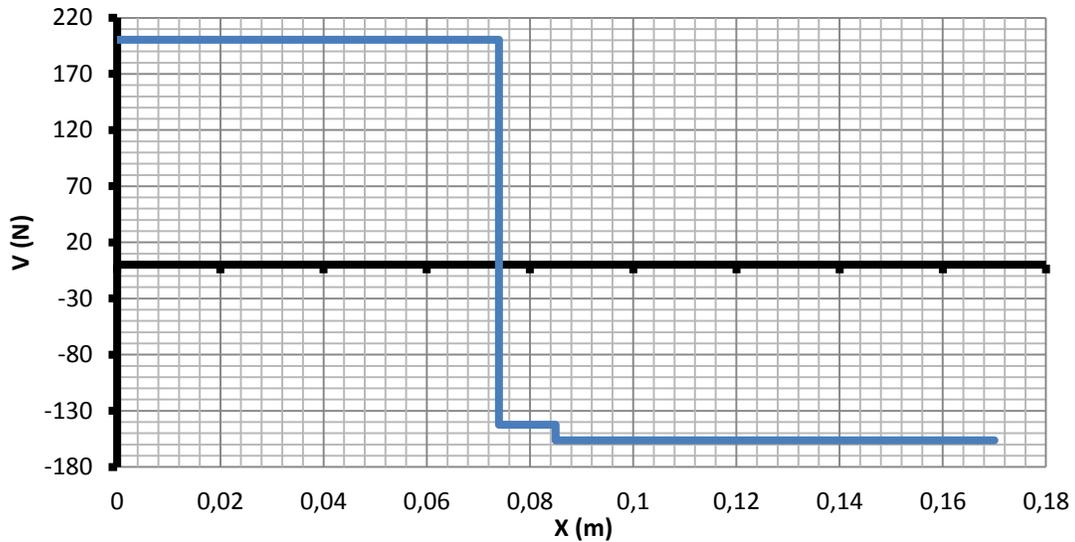


Figura 5.14- Gráfica fuerza cortante vs longitud.

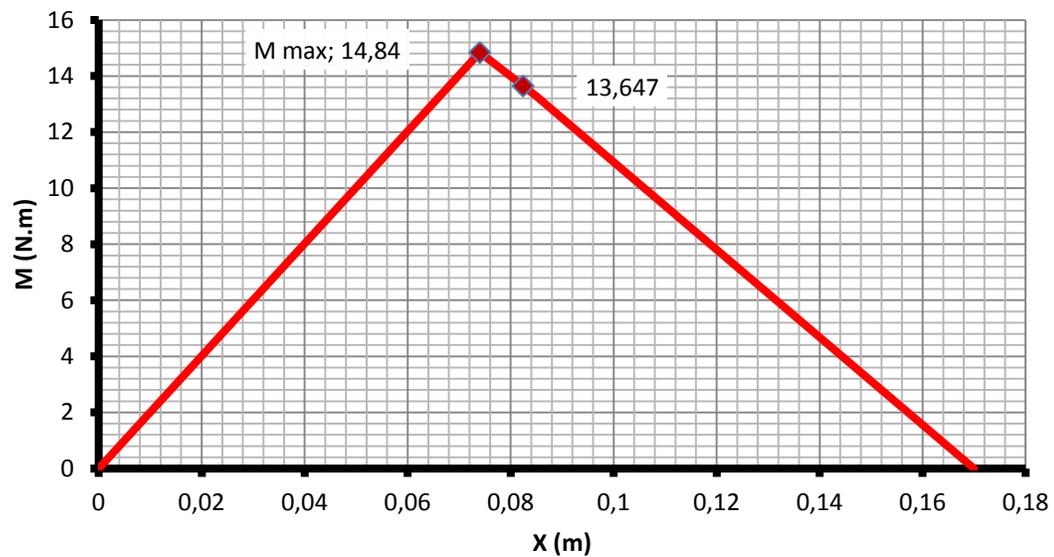


Figura 5.15- Gráfica momento flector vs longitud.

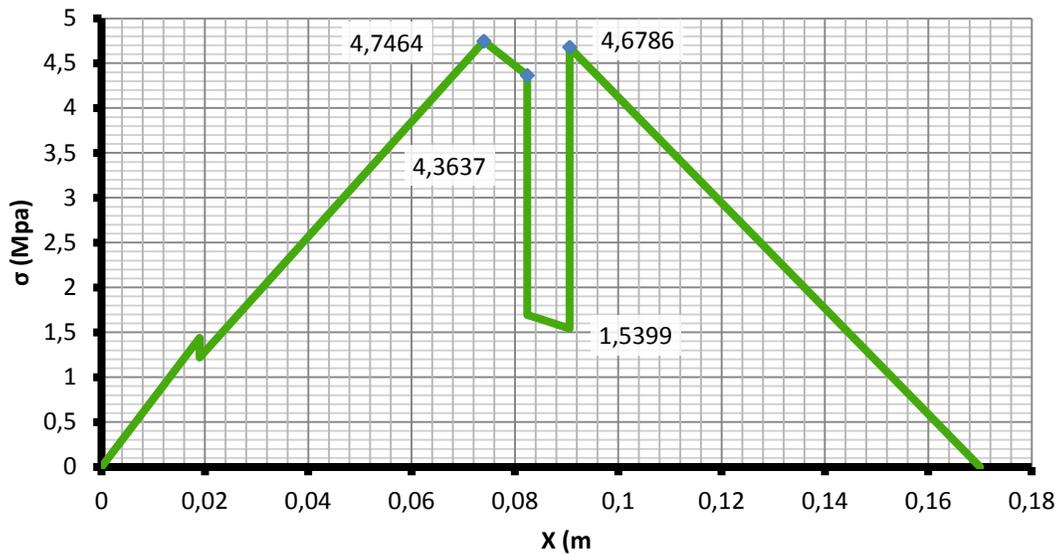


Figura 5.16- Gráfica esfuerzo por flexión vs longitud.

De la figura 5.15 se obtuvo el momento flector máximo

$$M_{max} = 14,84 \text{ N.m}$$

Ahora Del DCL del eje motor ver Figura 5.7.

Se procedió a evaluar el eje a torsión. Además, se buscó un diagrama adicional, de esfuerzo por torsión, para conocer como afectan los cambios de sección al eje motor.

Sección a-a

Tramo A  $< x < B$  Ver Figura 5.17

$$T_{aa} = M_m = 1,306 \text{ N.m}$$

Se buscó el esfuerzo por torsión para esta sección:

$$\tau_{aa} = \frac{T_{aa} \cdot D_{ab}}{J_{ab} \cdot 2} = 2,463 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Sección b-b

Tramo B  $< x < F$  Ver Figura 5.18

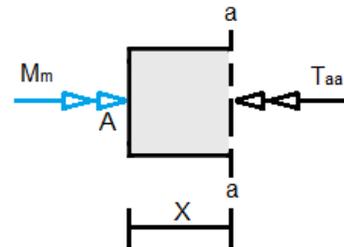


Figura 5.17- Diagrama Torsión sección a-a

$$T_{bb} = M_m = 1,306 \text{ N.m}$$

Se buscó el esfuerzo por torsión para esta sección:

$$\tau_{bb} = \frac{T_{bb} \cdot D_{bc}}{J_{bc} \cdot 2} = 2,088 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Sección c-c

Tramo  $F < x < C$  Ver Figura 5.19

$$T_{cc} = M_m - M_T = 0,163 \text{ N.m}$$

Se buscó el esfuerzo por torsión para esta sección:

$$\tau_{cc} = \frac{T_{cc} \cdot D_{bc}}{J_{bc} \cdot 2} = 2,608 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

Sección d-d

Tramo  $C < x < D$  Ver Figura 5.20

$$T_{dd} = M_m - M_T = 0,163 \text{ N.m}$$

Se buscó el esfuerzo por torsión para esta sección:

$$\tau_{dd} = \frac{T_{dd} \cdot D_{cd}}{J_{cd} \cdot 2} = 1,013 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

Sección e-e

Tramo  $D < x < E$  Ver Figura 5.21

$$T_{ee} = M_m - M_T = 0,163 \text{ N.m}$$

Se buscó el esfuerzo por torsión para esta sección:

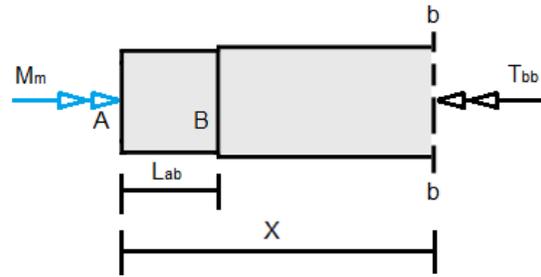


Figura 5.18- Diagrama Torsión sección b-b

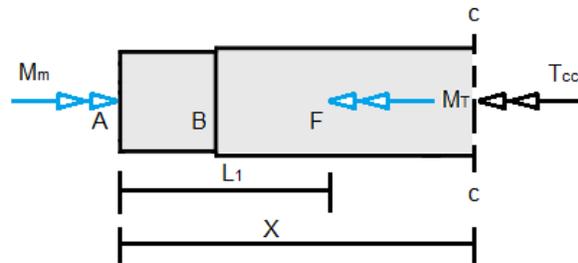


Figura 5.19- Diagrama Torsión sección c-c

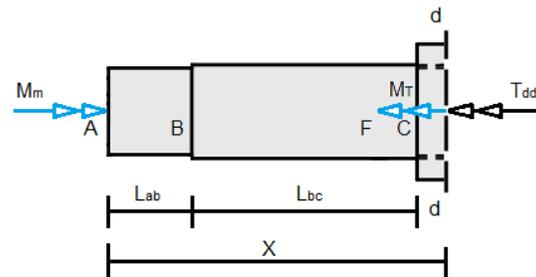


Figura 5.20- Diagrama Torsión sección d-d

$$\tau_{ee} = \frac{T_{ee} \cdot D_{de}}{J_{de} \cdot 2} = 3,077 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

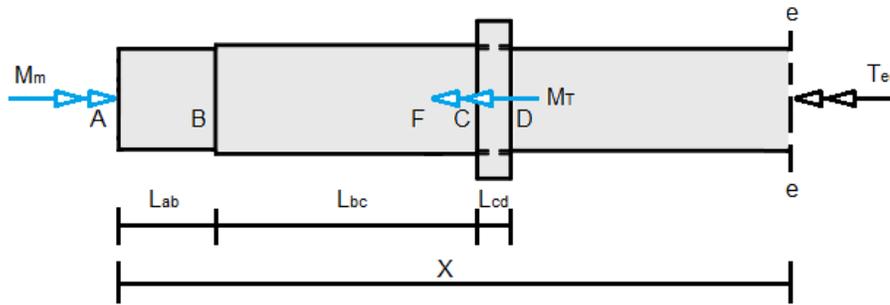


Figura 5.21- Diagrama Torsión sección e-e

Se obtuvieron los diagramas de momento torsor y esfuerzo por torsión:

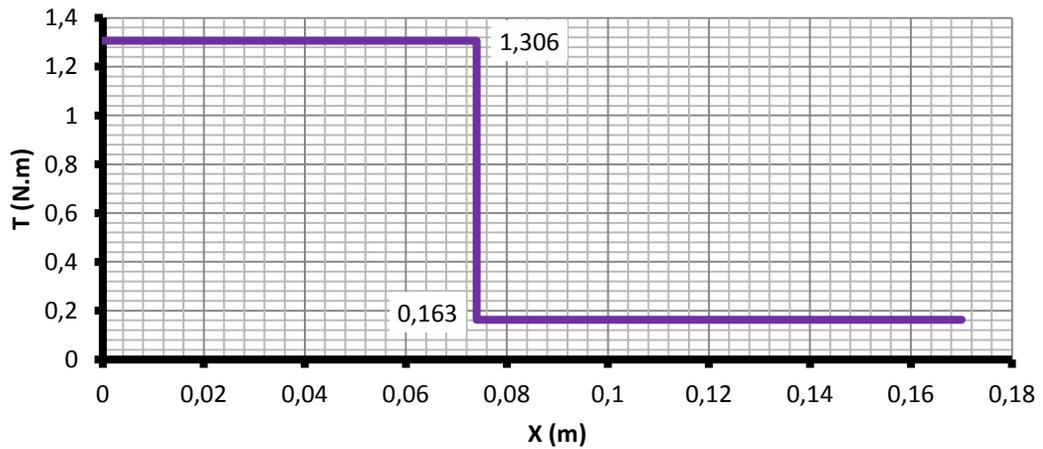


Figura 5.22- Gráfica momento torsor vs longitud

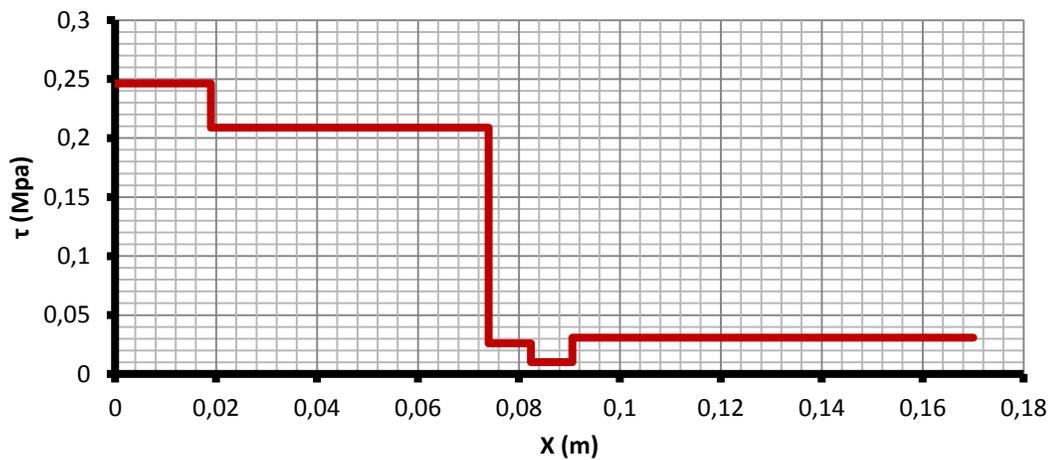


Figura 5.23- Gráfica esfuerzo por torsión vs longitud.

De la figura 5.22 se obtuvo el momento torsor máximo

$$T_{\max} = 1,306 \text{ N.m}$$

Se realizó el cálculo del límite de resistencia a la fatiga. Como caso de estudio se tomara el tramo BF cuando  $x = 0,074 \text{ m}$ . Ya que en este punto, el esfuerzo por flexión es el crítico y además presenta un importante de esfuerzo por torsión. Igualmente, al final del cálculo se adjunta una tabla con todos los resultados por cada tramo.

Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga:

$$S_e' = 0,506 \cdot S_{ut} \quad \text{Debido a que } S_{ut} < 1460 \text{ MPa}$$

$$S_e' = 250,967 \text{ MPa}$$

Factor de superficie  $k_a$ :

$$a = 4,45 \text{ MPa} \quad b = -0.265 \quad \text{Para Maquinado o Laminado en Frío}$$

$$k_a = a \cdot S_{ut}^b = 0,859$$

Factor de tamaño  $k_b$ :

Para diámetro de eje  $2,79 \text{ mm} < d < 51 \text{ mm}$

$$k_b = \left( \frac{D_{bc} \cdot 1000}{7,62} \right)^{-0,107}$$

$$k_b = 0,859$$

Factor de carga  $k_c$ :

Para este caso se toma torsión, para ser más conservadores en el cálculo.

$$k_c = 0,59 \quad \text{Torsión}$$

Factor de Temperatura  $k_d$ :

$$k_d = 1 \text{ Para temperatura ambiente}$$

Factor de efectos diversos  $k_e$ :

Se desprecia la influencia de estos factores.

$$k_e = 1$$

Factor de concentracion de esfuerzo kf, kfs:

Para ser mas conservadores se toma el mayor cambio de diámetro para todo el eje y un radio de chaflan de 0,75 mm al momento de entrar en la gráfica.

$$k_f = 2,6$$

$$k_{fs} = 2,1$$

Ya obtenidos todos los factores, se procedió al cálculo del limite de resistencia a la fatiga (Ec 2.7.3):

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot S_e$$

$$S_e = 0,859 \cdot 0,859 \cdot 0,59 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 250,976 = 109,219 \text{ MPa}$$

Ahora se procedió a calcular el factor de seguridad del eje según las teorías de falla de Goodman Modificado (Ec. 2.7.1) y Distorsión Eliptica (Ec. 2.7.2).

Teoría de Goodman Modificado

$$\frac{1}{n} = \left( \frac{k_f}{S_e} \cdot \sigma_{bf} + \frac{\sqrt{3} \cdot k_{fs}}{4 \cdot S_{ut}} \cdot \tau_{bf} \right) = 0,1142 \quad \rightarrow \quad n = 8,755 \approx 9$$

Teoría de Distorsión Eliptica

$$\frac{1}{n} = \left[ \left( \frac{k_f}{S_e} \cdot \sigma_{bf} \right)^2 + \frac{3}{4} \cdot \left( \frac{k_{fs}}{S_y} \cdot \tau_{bf} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 0,1127 \quad \rightarrow \quad n = 8,871 \approx 9$$

Los resultados de todos los tramos del eje se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5.5- Resultados de los cálculos del eje motor

	Tramo A B		Tramo B F		Tramo F C		Tramo C G		Tramo G D		Tramo D E	
<b>V (N)</b>	200,590		200,144		-142,473		-142,473		-156,193		-156,193	
<b>M (Nm)</b>	0	3,811	3,811	14,84	14,84	13,647	13,647	13,276	13,276	12,402	12,402	0
<b><math>\sigma</math> (Mpa)</b>	0	1,438	1,219	4,746	4,746	4,364	1,695	1,649	1,649	1,540	4,679	0
<b>T</b>	1,306		1,306		0,163		0,163		0,163		0,163	
<b><math>\tau</math> (Mpa)</b>	0,246	0,246	0,209	0,209	0,026	0,026	0,010	0,010	0,010	0,010	0,031	0,031
<b>ka</b>	0,859		0,859		0,859		0,859		0,859		0,859	
<b>kb</b>	0,864		0,859		0,859		0,83		0,83		0,864	
<b>kc</b>	0,59		0,59		0,59		0,59		0,59		0,59	
<b>kd</b>	1		1		1		1		1		1	
<b>ke</b>	1		1		1		1		1		1	
<b>Se (Mpa)</b>	109,898		109,262		109,262		105,574		105,574		109,898	
<b>kf</b>	2,6		2,6		2,6		2,6		2,6		2,6	
<b>kts</b>	2,1		2,1		2,1		2,1		2,1		2,1	
<b>TEORIA DE FALLA DISTORSIÓN ELÍPTICA (factores de seguridad)</b>												
<b>1/n</b>	0,003	0,034	0,029	0,113	0,113	0,104	0,042	0,041	0,041	0,038	0,111	0,0004
<b>n</b>	324	29	34	9	9	10	24	25	25	26	9	2591
<b>TEORIA DE FALLA GOODMAN MODIFICADO (factores de seguridad)</b>												
<b>1/n</b>	0,002	0,036	0,031	0,114	0,113	0,104	0,042	0,041	0,041	0,038	0,111	0,0002
<b>n</b>	554	28	33	9	9	10	24	25	25	26	9	4432

### 5.2.2- Cálculo del eje del contrapeso

Las condiciones de diseño son:

- Las tensiones de los cables que pasan por la polea y su velocidad de giro se conoce de cálculos anteriores.
- La reacción de la polea del contrapeso sobre su eje ( $R_{Y2}$ ) se conoce de cálculos anteriores.
- El peso del eje del contrapeso está incluido en  $R_{Y2}$ .

Nomenclatura:

- $L_1$  = Longitud desde el punto A al centro del eje.
- $L_2$  = Longitud desde el centro del eje al punto B.
- $L_{tot}$  = Longitud total del eje
- $R_A$  = Reacción de la primera chumacera sobre el eje.
- $R_B$  = Reacción de la segunda chumacera sobre el eje.

Datos para el cálculo:

$$r_p = 0,07 \text{ m}$$

$$m_p = 0,3 \text{ kg}$$

$$L_1 = L_2 = 0,05 \text{ m}$$

$$L_{tot} = 0,1 \text{ m}$$

$$T_2 = 161,681 \text{ N}$$

$$T_3 = 161,682 \text{ N}$$

$$R_{Y2} = 323,363 \text{ N}$$

$$\omega_m = 50,564 \text{ rpm}$$

$$S_u = 496 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$S_y = 290 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$D_{cp} = 0,0127 \text{ m}$$

Se procedió en los cálculos de la misma forma en que se hizo en el caso anterior, con el eje motor.

$$W_p = 2,94 \text{ N}$$

Tomando en cuenta que es una sección circular.

$$I = \pi \cdot \frac{D_{cp}^4}{64} = 1,277 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4$$

$$J = \pi \cdot \frac{D_{cp}^4}{32} = 2,554 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4$$

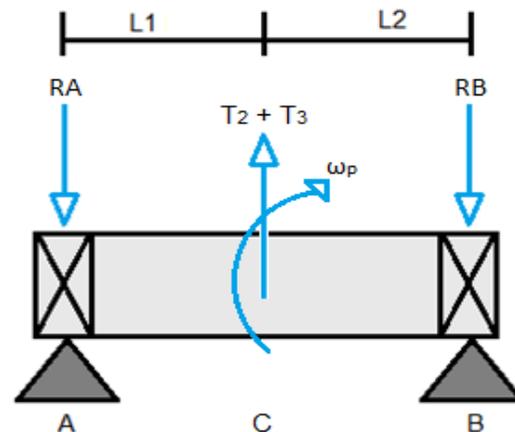


Figura 5.24- Diagrama de cuerpo libre del eje del contrapeso.

Se procedió a buscar los diagramas de fuerza cortante y momento flector, y de esta manera conocer el momento flector máximo.

Para el cálculo de este eje, se usó el caso 4 (apoyos simples carga en el centro) de la Tabla A-9 del apéndice A del libro Shigley, se obtuvieron las reacciones en los

apoyos, la fuerza cortante, momento flector y sus respectivos diagramas. Además, se obtuvo un diagrama adicional de esfuerzo por flexión, para conocer cómo afectan los cambios de sección al eje motor.

$$R_A = R_B = \frac{T_2 + T_3}{2} = 161,682 \text{ N}$$

$$V_{AC} = R_A = 161,682 \text{ N}$$

$$V_{BC} = -R_B = -161,682 \text{ N}$$

$$M_{AC} = V_{AC} \cdot x \quad \text{Para } x_0 = 0,05 \text{ m} ; x_1 = 0,1 \text{ m}$$

$$M_{x_0} = 0 \quad M_{x_1} = 8,084 \text{ N.m}$$

$$M_{BC} = V_{BC} \cdot (x - L_{tot}) \quad \text{Para } x_0 = 0,05 \text{ m} ; x_1 = 0,1 \text{ m}$$

$$M_{x_0} = 8,084 \text{ N.m} \quad M_{x_1} = 0$$

Se procede a buscar los diagramas de fuerza cortante y momento flector, y de esta manera conocer el momento flector máximo.

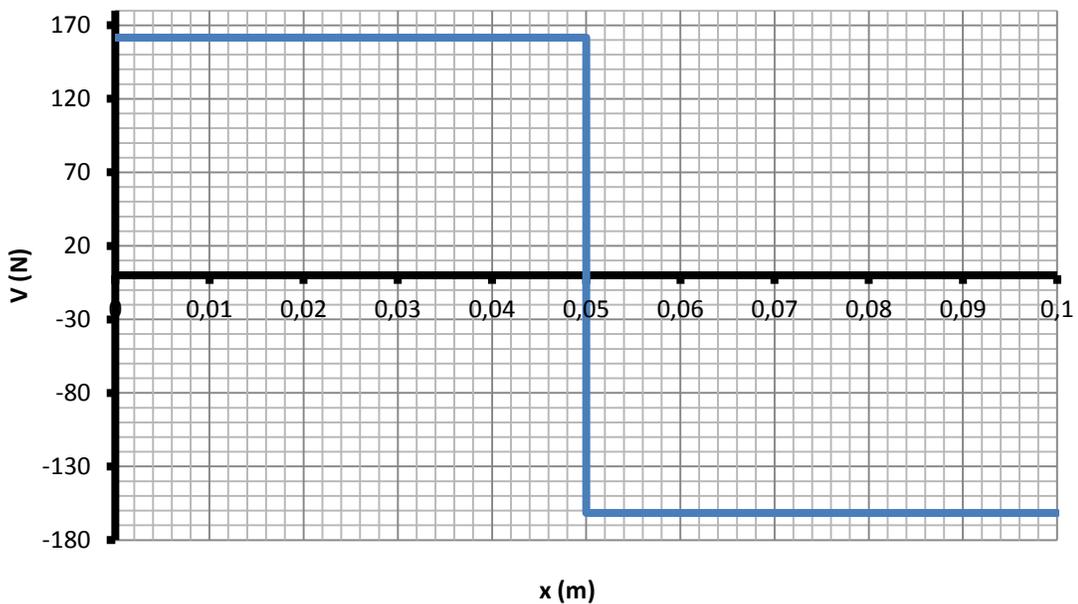


Figura 5.25- Gráfica fuerza cortante vs longitud.

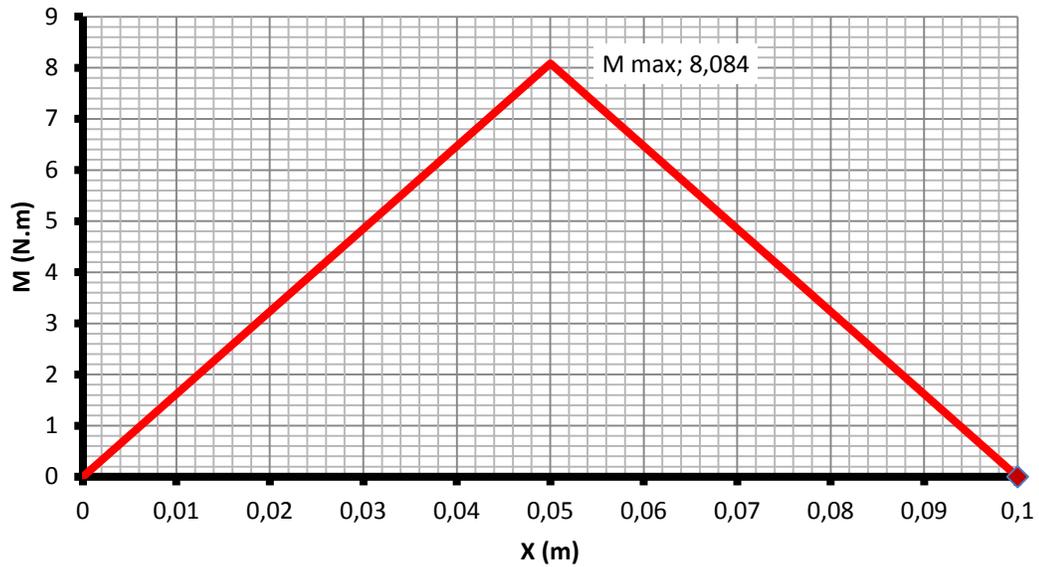


Figura 5.26- Gráfica momento flector vs longitud.

De la figura 5.26 se obtiene el momento flector máximo

$$M_{max} = 8,084 \text{ N.m}$$

Se calculó el esfuerzo maximo a flexión:

$$\sigma = \frac{M_{max} \cdot D_{cp}}{I \cdot 2} = 4,02 \cdot 10^7 \text{ Pa}$$

El momento torsor máximo viene dado por:

$$T_{max} = r_p \cdot (T_3 - T_2) = 7 \cdot 10^{-5} \text{ N.m}$$

Se calculó el esfuerzo maximo a torsión:

$$\tau = \frac{T_{max} \cdot D_{cp}}{J \cdot 2} = 174,043 \text{ Pa}$$

Se procedió a calcular el límite de resistencia a la fatiga. Ya que el eje de estudio no tiene cambio de sección se calcula solo en el punto donde el momento flector es el máximo.

Se buscaron los factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga:

Factor de superficie ka:

$$a = 4,45 \quad b = -0.265 \quad \text{Para Maquinado o Laminado en Frío}$$

$$ka = a \cdot S_{ut}^b = 0,859$$

Factor de tamaño kb:

$$kb = \left( \frac{D_{cp} \cdot 1000}{7,62} \right)^{-0,107}$$

$$kb = 0,947$$

Factor de carga kc:

Para este caso se tomó flexión, debido a que la torsión en este eje es despreciable.

$$kc = 1$$

Factor de Temperatura kd:

$$kd = 1 \quad \text{Para temperatura ambiente}$$

Factor de efectos diversos ke:

$$ke = 1$$

Factor de concentracion de esfuerzo kf:

Al ser un eje de sección constante no hay concentradores de esfuerzo.

$$kf = 1$$

$$kfs = 1$$

Teniendo ya todos los factores se procedió al cálculo del limite de resistencia a la fatiga

$$S_e = 204,151 \text{ MPa}$$

Se realizó el cálculo del factor de seguridad del eje según las teorías de falla de Goodman Modificado (Ec. 2.7.1) y Distorsión Eliptica (Ec. 2.7.2).

Teoría de Goodman Modificado

$$\frac{1}{n} = \left( \frac{kf}{S_e} \cdot \sigma + \frac{\sqrt{3} \cdot kfs}{4 \cdot S_{ut}} \cdot \tau \right) = 0,197 \quad \rightarrow \quad n = 5,078 \approx 5$$

## Teoría de Distorsión Elíptica

$$\frac{1}{n} = \left[ \left( \frac{kf}{S_e} \cdot \sigma \right)^2 + \frac{3}{4} \cdot \left( \frac{kfs}{S_y} \cdot \tau \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 0,197 \rightarrow n = 5,078 \approx 5$$

### 5.3- ANÁLISIS ESTRUCTURAL

#### 5.3.1- Cálculo de tornillos de guías

Las guías son perfiles tipo L de 2.1 metros de largo con una masa aproximada de 5,77 kg y cada una estará soportada por 5 tornillos.

Las características del tornillo seleccionado dependen del diámetro del agujero y del ancho del soporte para la guía que posee el bastidor (pozo).

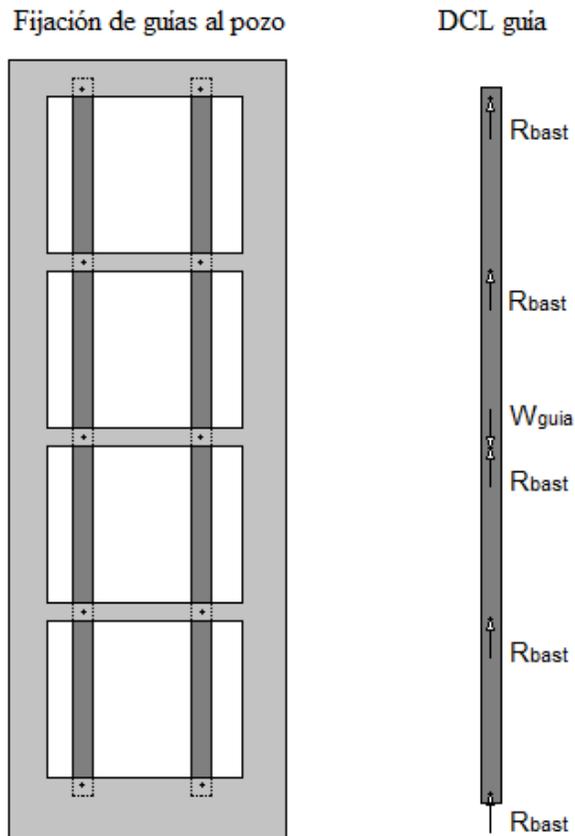


Figura 5.27- Fijación de las guías al Pozo

## Nomenclatura

- $M_{guia}$  = Masa de la guía
- $N$  = Número de tornillos
- $D_{tornillo}$  = Diámetro del tornillo
- $R_{bast}$  = Reacción del pozo sobre el tornillo de sujeción de la guía

## Datos

$$M_{guia} = 5,77 \text{ kg}$$

$$N = 5$$

Especificaciones del tornillo

Tornillo grado 1, acero mediano carbono

$$D_{tornillo} = 0,25 \text{ in} = 0,00635 \text{ m}$$

$$S_y = 180 \text{ Mpa}$$

$$S_{ut} = 325 \text{ Mpa}$$

El peso de la guía es

$$W_{guia} = g \cdot M_{guia} = 56,546 \text{ N}$$

Del DCL del tornillo se calculó la fuerza absorbida por cada tornillo

$$R_{bast} = \frac{W_{guia}}{N} = 11,309 \text{ N}$$

Fuerza cortante recibida por el tornillo

$$V = R_{bast}$$

$$A_{tornillo} = \left( \frac{D_{tornillo}}{2} \right)^2 \cdot \pi = 3,171 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Se procedió a calcular el esfuerzo cortante generado sobre el tornillo

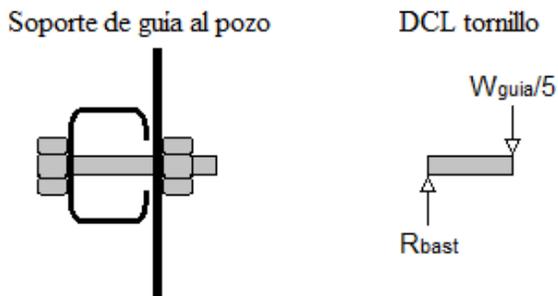


Figura 5.28- Soporte de guía al pozo

$$\tau = \frac{V}{A_{\text{tornillo}} \times 10^6} = 0,459 \text{ Mpa}$$

Despreciando los esfuerzos de tracción producidos debido al apriete del tornillo, se procedió al cálculo del factor de seguridad de cada tornillo para esfuerzo cortante doble, según la hipótesis de falla de Tresca

$$n = \frac{S_y}{2\tau} = 1,96$$

### 5.3.2- Cálculo de pernos del carro del contrapeso

El carro del contrapeso está compuesto por dos partes, la superior que sirve como base para las chumaceras que soportan la polea del contrapeso y la inferior que sirve como soporte para los ladrillos que aportan la masa al contrapeso.

Las chumaceras están unidas al carro mediante 4 tornillos al igual que la parte inferior y superior del carro.

Nomenclatura

- $D_{\text{tornillo}}$  = Diámetro menor del tornillo
- $A_{\text{tor}}$  = Área de la sección menor del tornillo
- $N$  = Número de tornillos
- $A_t$  = Área de esfuerzo de tensión
- $L$  = Longitud de agarre del tornillo
- $C$  = Constante de la unión
- $n$  = Factor de seguridad
- $F$  = Fuerza soportada por los tornillos
- $F_i$  = Precarga
- $E_{\text{tor}}$  = Módulo de elasticidad del material del tornillo
- $E_{\text{mat}}$  = Módulo de elasticidad del material sujetado
- $S_{\text{ut}}$  = Esfuerzo último a la tensión del material sujetado
- $S_p$  = Resistencia límite mínima a la tensión
- $K_b$  = Rigidez del tornillo

- $K_m$  = Rigidez del elemento sujetado
- $t$  = Espesor del elemento sujetado

5.3.2.1- Cálculo de los tornillos de unión entre la parte inferior y superior del carro del contrapeso

Datos para el cálculo:

Características del tornillo

Grado 1, acero mediano carbono

$$D = \frac{3}{8} \text{ in}$$

$$N = 4$$

$E_{\text{tor}} = 29 \text{ Mpsi}$  Apéndice A

Tabla-23 Shigley

$S_p = 33 \text{ Kpsi}$  Tabla 8-4 Shigley

$A_t = 0,075 \text{ in}^2$  Tabla 8-2 Shigley

Características del material sujetado

- Acero bajo carbono AISI-1010
- Perfiles L 30x30x4

Del Apéndice A tabla 20 del libro Shigley

- $S_y = 26 \text{ Kpsi}$
- $S_{ut} = 47 \text{ Kpsi}$
- $E_{\text{mat}} = 29 \text{ Mpsi}$

Del DCL de la polea del carro del contrapeso se obtuvo la fuerza soportada por los tornillos

$$F = T_2 + T_3 = 323,363 \text{ N} = 72,7 \times 10^{-3} \text{ Klb}$$

La longitud de agarre del tornillo es el grosor total del material sujetado

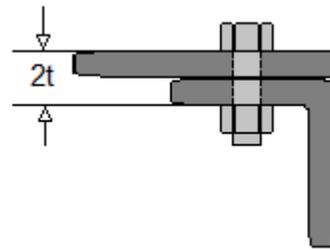


Figura 5.29- Unión de la parte inferior y superior del carro del contrapeso

$$L = 2t = 8 \text{ mm} = 0,315 \text{ in}$$

El área de la sección menor del tornillo es

$$A_{tor} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 0,11 \text{ in}^2$$

Se calculó la rigidez del tornillo y del elemento sujetado para obtener la constante de la unión

$$K_b = \frac{A_{tor} \cdot E_{tor}}{L} = 10,168 \frac{Mlb}{in}$$

$$K_m = \frac{0,577\pi \cdot E_{mat} \cdot D_{tor}}{2 \ln \left[ 5 \cdot \frac{(0,577L) + (0,5D_{tor})}{(0,577L) + (2,5D_{tor})} \right]} = 19,693 \frac{Mlb}{in}$$

$$C = \frac{K_b}{K_b + K_m} = 0,341$$

Ahora se buscó la precarga para conexiones reutilizables

$$F_i = 0,75 \cdot A_t \cdot S_p = 1,856 \text{ Kip}$$

Finalmente se calculó el factor de seguridad por tornillo

$$n = \frac{(S_p \cdot A_t) - F_i}{C \cdot \frac{F}{N}}$$

$$n = 99$$

5.3.2.2- Cálculo de los tornillos de unión entre las chumaceras y sus bases

Características del Tornillo

- Grado 1, acero mediano carbono
- $D = \frac{1}{4} \text{ in}$

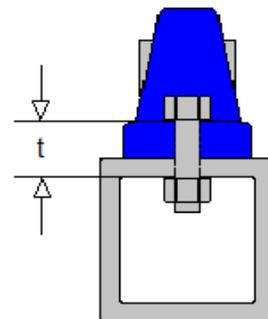


Figura 5.30- Sujeción de las chumaceras

- $N = 4$
- $E_{\text{tor}} = 29 \text{ Mpsi}$  Apéndice A Tabla-23 Shigley
- $S_p = 33 \text{ Kpsi}$  Tabla 8-4 Shigley
- $A_t = 0,0318 \text{ in}^2$  Tabla 8-2 Shigley

Características del material sujetado

Se supondrá que el material de la chumacera y el de su base son el mismo.

Del DCL de la polea del contrapeso la fuerza soportada por los tornillos es

$$F = 323,363 \text{ N} = 72,7 \times 10^{-3} \text{ Klb}$$

La longitud de agarre del tornillo es la suma del espesor de la chumacera y la de la base de la misma

$$L = 0,55 \text{ in}$$

Se procedió igual que en el cálculo anterior y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 5.6- Resultados de los cálculos de tornillos de sujeción de las chumaceras

$A_{\text{tor}}[\text{in}^2]$	$K_b \left[ \frac{\text{Mlb}}{\text{in}} \right]$	$K_m \left[ \frac{\text{Mlb}}{\text{in}} \right]$	C	$F_i[\text{Kip}]$	n
0,049	2,588	7,702	0,252	0,787	57

### 5.3.3- Cálculo estructural de la sala de máquinas

El cálculo se realizó para la situación más crítica a la que pueda estar sometida la estructura, para ello se hicieron las siguientes suposiciones:

- El perfil que sirve como punto de anclaje del cable de tracción y como punto de apoyo de la estructura, será despreciado.
- El peso de los perfiles que forman la estructura será considerado como una carga puntual para maximizar su efecto.
- La carga distribuida que representa el motor será considerada como una carga puntual para maximizar su efecto.

- Las reacciones producidas por el peso del motor y de las chumaceras que soportan el eje motor y que afectan la estructura serán distribuidas equitativamente entre los dos perfiles que forman la estructura.

#### Nomenclatura

- $R_a$  = Reacción de la chumacera “A” sobre la estructura
- $R_e$  = Reacción de la chumacera “E” sobre la estructura
- $R_b$  = Reacción del pozo sobre la sala de máquinas.
- $R_c$  = Reacción del pozo sobre la sala de máquinas.
- $m_e$  = Masa de perfil que conforma la estructura
- $m_m$  = Masa del motor
- $V$  = Fuerza cortante
- $M$  = Momento flector debido a la fuerza cortante  $V$
- $L_1$  = Distancia entre el apoyo de la estructura sobre el pozo y la chumacera
- $L_2$  = Distancia entre las dos chumaceras
- $L_3$  = Distancia entre el apoyo de la estructura sobre el pozo y la chumacera

Datos para el cálculo:

$$R_a = 200,590 \text{ N}$$

$$R_e = 156,193 \text{ N}$$

$$m_e = 1,9 \text{ Kg}$$

$$m_m = 5 \text{ Kg}$$

$$L_1 = 0,17 \text{ m}$$

$$L_2 = 0,17 \text{ m}$$

$$L_3 = 0,0094 \text{ m}$$

$$L_4 = 0,15 \text{ m}$$

$$L_5 = 0,10 \text{ m}$$

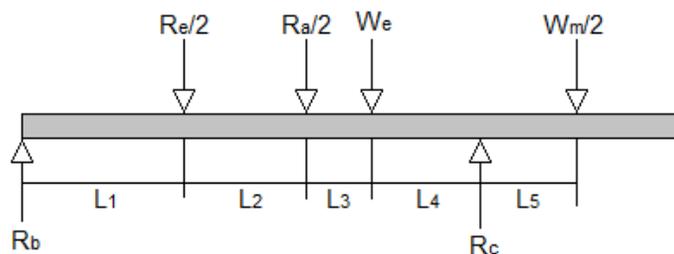


Figura 5.31- DCL Sala de máquinas

En la figura 5.31 están representadas las fuerzas que actúan sobre uno de los perfiles que conforma la estructura que soporta al motor y a la polea de tracción.

Las cargas puntuales representadas por el peso del perfil y el peso del motor son:

$$W_e = m_e \cdot g = 18,62 \text{ N}$$

$$W_m = m_m \cdot g = 49 \text{ N}$$

Para facilitar el cálculo y el manejo de las ecuaciones se definieron nuevas variables:

$$L_a = L_1$$

$$L_b = L_1 + L_2$$

$$L_c = L_1 + L_2 + L_3$$

$$L_d = L_1 + L_2 + L_3 + L_4$$

$$L_e = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5$$

Se procedió al cálculo de las reacciones del pozo sobre la estructura.

$$\sum M_b = -L_a \frac{R_e}{2} - L_b \frac{R_a}{2} - L_c W_e + L_d R_c - L_e \frac{W_m}{2} = 0$$

Se obtuvieron las reacciones del pozo sobre la estructura en el punto C y el punto B.

$$R_c = \frac{\frac{R_e}{2} \cdot L_a + \frac{R_a}{2} \cdot L_b + W_e \cdot L_c + \frac{W_m}{2} \cdot L_e}{L_d} = 124,838 \text{ N}$$

$$\sum F_y = R_b + R_c - W_e - \frac{R_e}{2} - \frac{R_a}{2} - \frac{W_m}{2} = 0$$

$$R_b = -R_c + W_e + \frac{R_e}{2} + \frac{R_a}{2} + \frac{W_m}{2} = 96,674 \text{ N}$$

Se aplicó el método de las secciones para obtener los diagramas de fuerza cortante y momento flector para calcular el esfuerzo normal por flexión de la viga.

Sección A-A

De la figura 5.32

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow V_1 = R_b = 96,674 \text{ N}$$

$$\sum M_v = 0 \Rightarrow M_1 = R_b X = 96,674 X \text{ Nm}$$

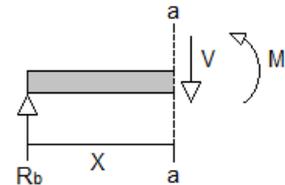


Figura 5.32- DCL sección A-A

Se evaluó para  $X_0 = 0$  ,  $X_1 = L_a$

$$\begin{aligned} V_0 &= 96,674 \text{ N} & M_0 &= 0 \\ V_1 &= 96,674 \text{ N} & M_1 &= 16,434 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Sección B-B

De la figura 5.33

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow V_2 = R_b - \frac{R_a}{2} = -3,621 \text{ N}$$

$$\sum M_v = 0$$

$$M_2 = R_b X - \frac{R_a}{2} \cdot (X - L_a) = -3,621 X + 17,050 \text{ Nm}$$

Se evalúa para  $X_0 = L_a$  ,  $X_1 = L_b$

$$\begin{aligned} V_0 &= -3,621 \text{ N} & M_0 &= 16,434 \text{ Nm} \\ V_1 &= -3,621 \text{ N} & M_1 &= 15,818 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Sección C-C

De la figura 5.34

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow V_3 = R_b - \frac{R_a}{2} - \frac{R_e}{2} = -81,718 \text{ N}$$

$$\sum M_v = 0$$

$$M_3 = R_b X - \frac{R_a}{2} \cdot (X - L_a) - \frac{R_e}{2} \cdot (X - L_b)$$

$$M_3 = -81,718 X + 43,603 \text{ Nm}$$

Se evalúa para  $X_0 = L_b$  ,  $X_1 = L_c$

$$\begin{aligned} V_0 &= -81,718 \text{ N} & M_0 &= 15,818 \text{ Nm} \\ V_1 &= -81,525 \text{ N} & M_1 &= 15,051 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Sección D-D

De la figura 5.35

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow V_4 = R_b - \frac{R_a}{2} - \frac{R_e}{2} - W_e$$

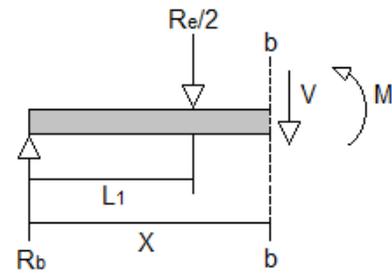


Figura 5.33- DCL  
sección B-B

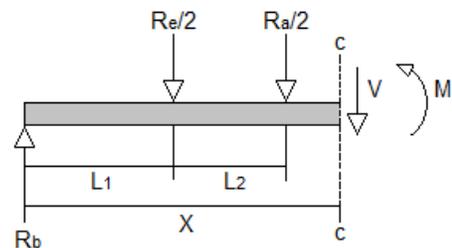


Figura 5.34- DCL  
sección C-C

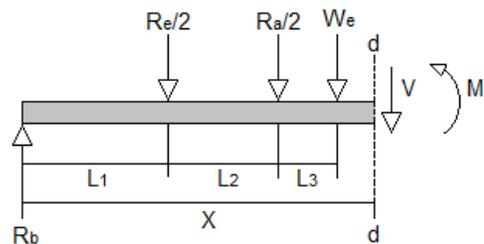


Figura 5.35- DCL  
sección D-D

$$V_4 = -100,338 \text{ N}$$

$$\sum M_v = 0$$

$$M_4 = R_b X - \frac{R_a}{2} \cdot (X - L_a) - \frac{R_e}{2} \cdot (X - L_b) - W_e \cdot (X - L_c)$$

$$M_4 = -100,338X + 50,108 \text{ Nm}$$

Se evalúa para  $X_0 = L_c$  ,  $X_1 = L_d$

$$V_0 = -100,338 \text{ N} \quad M_0 = 15,051 \text{ Nm}$$

$$V_1 = -100,338 \text{ N} \quad M_1 = 0 \text{ Nm}$$

Sección E-E

De la figura 5.36

$$\sum F_y = 0$$

$$V_5 = R_b - \frac{R_a}{2} - \frac{R_e}{2} - W_e + R_c = 24,5 \text{ N}$$

$$\sum M_v = 0$$

$$M_5 = R_b X - \frac{R_a}{2} \cdot (X - L_a) - \frac{R_e}{2} \cdot (X - L_b) - W_e \cdot (X - L_c) + R_c \cdot (X - L_d)$$

$$M_5 = 24,5X + 12,235 \text{ Nm}$$

Se evalúa para  $X_0 = L_d$  ,  $X_1 = L_e$

$$V_0 = 24,500 \text{ N} \quad M_0 = 0 \text{ Nm}$$

$$V_1 = 24,500 \text{ N} \quad M_1 = 2,450 \text{ Nm}$$

Sección F-F

De la figura 5.37

$$\sum F_y = 0$$

$$V_6 = R_b - \frac{R_a}{2} - \frac{R_e}{2} - W_e + R_c - \frac{W_m}{2} = 0$$

$$\sum M_v = 0$$

$$M_6 = R_b X - \frac{R_a}{2} \cdot (X - L_a) - \frac{R_e}{2} \cdot (X - L_b) - W_e \cdot (X - L_c) + R_c \cdot (X - L_d) - \frac{W_m}{2} \cdot (X - L_e)$$

$$M_6 = 2,450 \text{ Nm}$$

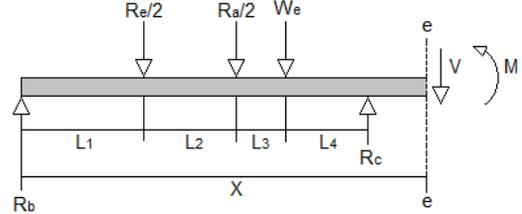


Figura 5.36- DCL  
sección E-E

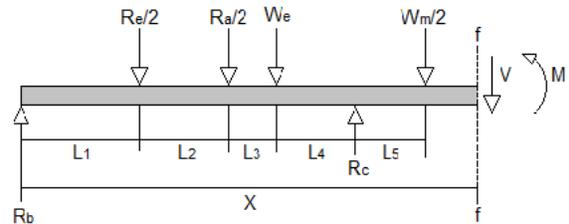


Figura 5.37- DCL  
sección F-F

Se obtuvieron los Diagramas de fuerza cortante y de momento flector:

Figura 5.38- Gráfica de fuerza cortante

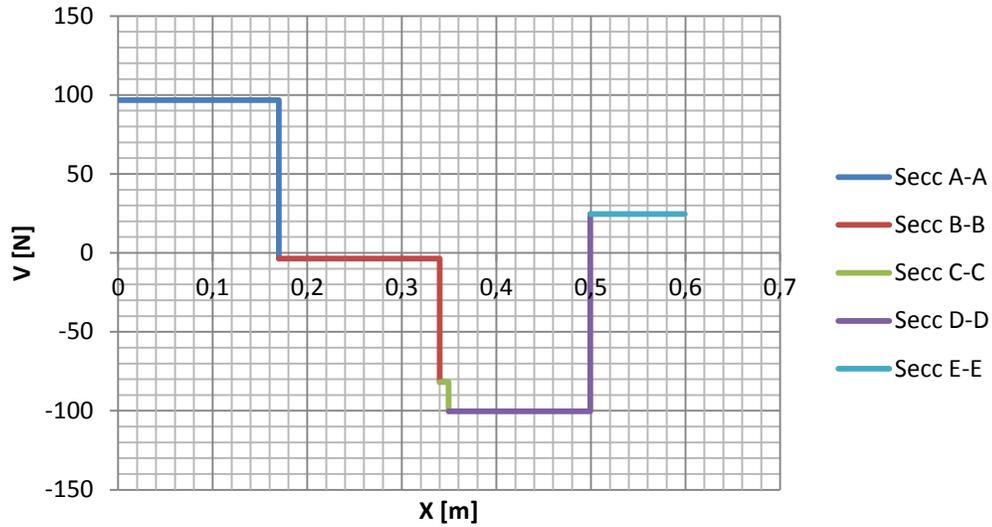
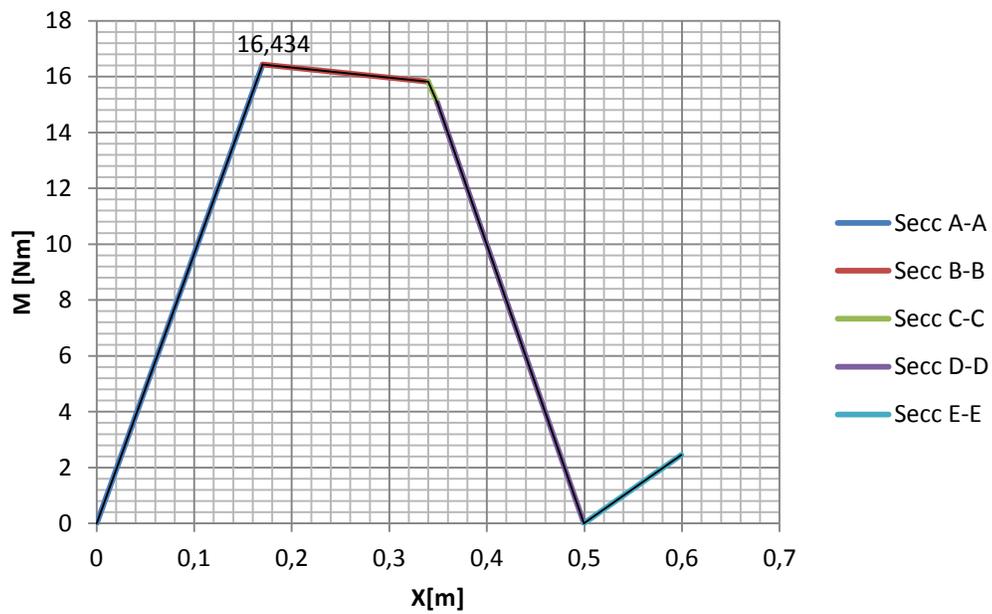


Figura 5.39- Gráfica de momento flector



Podemos observar en la Figura 5.39 que en  $X = 0,17$  m se presenta el momento flector máximo.

$$M_{max} = 16,434 \text{ Nm}$$

Se calculó el esfuerzo normal por flexión que actúa sobre la viga

Características de la viga que conforman la estructura

- Perfil L40x40x4
- Área transversal = 3,08 cm<sup>2</sup>
- I = 4,47 cm<sup>4</sup>
- La distancia entre la cara superior de la viga y su centroide es Y = 1,12 cm
- La distancia “c” de cálculo de esfuerzo normal es c = 2,88 cm

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} \cdot c}{I} = 10,588 \text{ Mpa}$$

El material de la viga es

- Acero bajo carbono AISI-1010

Del Apéndice A tabla 20 del libro Shigley

- S<sub>y</sub> = 180 Mpa
- S<sub>u</sub> = 325 Mpa
- E<sub>mat</sub> = 200 Gpa

El factor de seguridad estático de la viga es

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{max}} = \frac{180}{10,588} = 17$$

#### 5.3.4- Cálculo del bastidor que corresponde al pozo del ascensor

Se realizó el cálculo de las vigas superiores de la estructura que sirve como pozo del ascensor, la cual va a servir como soporte de todo el peso del conjunto cabina contrapeso. El pozo esta compuesto por vigas de acero AISI 1010 de secciones irregulares. Este cálculo se realizara con los valores de las reacciones obtenidos de cálculos anteriores. Al ser un cálculo estructural, se evaluara por tramos, estos a su vez se supondran empotrados. Finalmente, se evaluaran los esfuerzos para cada

sección transversal de las vigas y verificar que cumple con los requisitos para flexión y deflexión.

Nomenclatura:

- $L_{1-2} = L_{3-4} =$  Longitud de la viga superior frontal.
- $L_{4-1} = L_{2-3} =$  Longitud de la viga superior lateral.
- $R_b = R_{b'} =$  Reacción de la sala de máquinas sobre el pozo.
- $R_c = R_{c'} =$  Reacción de la sala de máquinas sobre el pozo.
- $T_3 =$  Reacción del cable de tracción sobre el pozo.

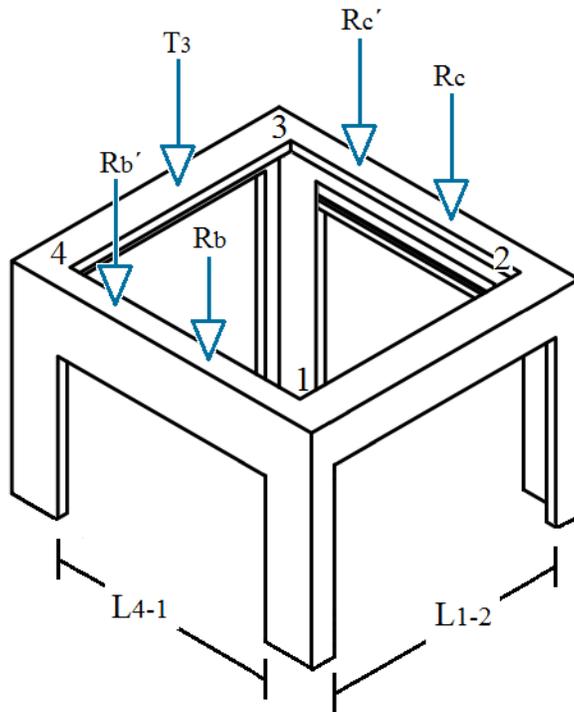


Figura 5.40- DCL  
Estructura del pozo

Del DCL de la estructura del pozo figura 5.40, se observan las fuerzas que actúan sobre el mismo.

Como datos del cálculo se tienen:

$$R_b = R_{b'} = 96,674 \text{ N}$$

$$R_c = R_{c'} = 124,838 \text{ N}$$

$$L_{1-2} = L_{3-4} = 0,48 \text{ m}$$

$$L_{4-1} = L_{2-3} = 0,5 \text{ m}$$

$$L_{4-b'} = L_{c'-3} = 0,15 \text{ m}$$

$$L_{b'-b} = L_{c-c'} = 0,14 \text{ m}$$

$$L_{b-1} = L_{2-c} = 0,21 \text{ m}$$

$$L_{3-T} = L_{T-4} = 0,24 \text{ m}$$

$$S_y = 180 \text{ MPa}$$

Las propiedades de diseño de las vigas que forman la parte superior del pozo se obtienen de las tablas de los anexos. Los tramos 1-2 y 3-4 tienen sección de viga superior frontal y los tramos 2-3 y 4-1 tienen sección de viga superior lateral.

$$I_{1-2} = I_{3-4} = 2,16 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$c_{1-2} = c_{3-4} = 0,028 \text{ m}$$

$$I_{2-3} = I_{4-1} = 9,20 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$c_{2-3} = c_{4-1} = 0,051 \text{ m}$$

Se procedió a separar en tramos:

Tramo 1-2 no está sometido a esfuerzos de flexión ya que no soporta carga, y los cálculos a torsión se despreciaron.

Tramo 2-3

Del apéndice A tabla A9-15 del libro Shigley, se aplicó el método de superposición.

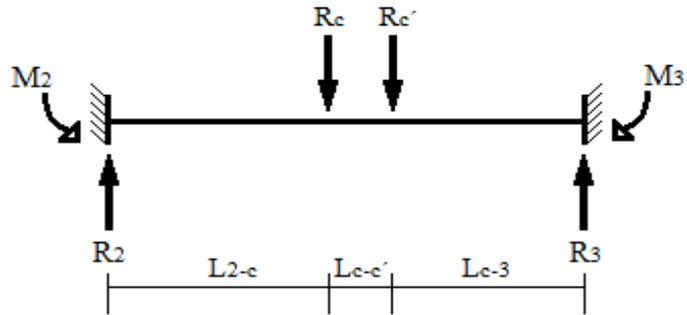


Figura 5.41- DCL

Tramo 2-3

Para Rc:

$$a = L_{2-c} \quad b = L_{c-c'} + L_{c'-3}$$

$$l = L_{2-3} \quad F = R_c$$

Tabla 5.7- Resultados de reacciones para Rc, Tramo 2-3

R2 (N)	77,272	Evaluando por tramos	X (m)			
			0	0,21	0,35	0,5
R3 (N)	47,566	V (N)	77,272	77,272	-47,566	-47,566
M2 (N.m)	8,819	M (N.m)	-8,819	7,408	0,749	-6,386

Para  $R_c'$ :

$$a = L_{2-c} + L_{c-c'} \quad b = L_{c'-3}$$

$$l = L_{2-3} \quad F = R_{c'}$$

Tabla 5.8- Resultados de reacciones para  $R_c'$ , Tramo 2-3

R2 (N)	26,965	Evaluando por tramos	X (m)			
			0	0,21	0,35	0,5
R3 (N)	97,873					
M2 (N.m)	3,932	V (N)	26,965	26,965	26,965	-97,873
M3 (N.m)	9,176	M (N.m)	-3,932	1,730	5,505	-9,176

Al superponer se obtuvo:

Tabla 5.9- Resultados de reacciones por superposición, Tramo 2-3

R2 (N)	104,237	Evaluando por tramos	X (m)			
			0	0,21	0,35	0,5
R3 (N)	145,439					
M2 (N.m)	12,751	V (N)	104,237	104,237	-20,601	-145,439
M3 (N.m)	15,562	M (N.m)	-12,751	9,138	6,254	-15,562

Se observa que el momento flector máximo es el del punto 3

$$M_{max} = 15,562 \text{ N.m}$$

Se calculó el factor de seguridad para el momento flector máximo del tramo 2-3.

$$\sigma = \frac{M_{max} \cdot c_{2-3}}{I_{2-3}} = 8,694 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma} = 21$$

Tramo 3-4

Del apéndice A tabla A9-14

del Shigley.

$$l = L_{3-4} \quad F = T_3$$

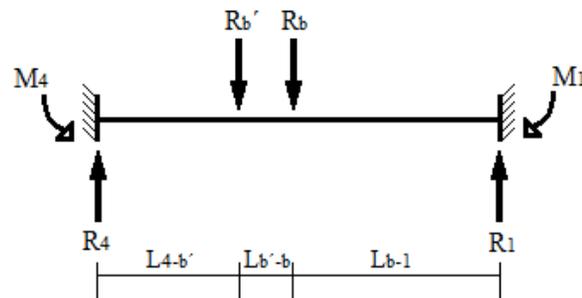


Figura 5.42- DCL Tramo 3-4

Tabla 5.10- Resultados de Reacciones, tramo 3-4

<b>R4 (N)</b>	80,841	Evaluando por tramos	<b>X (m)</b>		
			0	0,24	0,48
<b>R1 (N)</b>	80,841				
<b>M4 (N.m)</b>	9,701	<b>V (N)</b>	80,841	80,841	-80,841
<b>M1 (N.m)</b>	9,701	<b>M (N.m)</b>	-9,701	9,701	-9,701

Se observa que el momento flector máximo es:

$$M_{max} = 9,701 \text{ N.m}$$

Se calculó el factor de seguridad para el momento flector máximo del tramo 3-4

$$\sigma = \frac{M_{max} \cdot c_{3-4}}{I_{3-4}} = 1,246 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma} = 144$$

Tramo 4-1

Del apéndice A tabla A9-15 del Shigley, se aplicó el método de superposición.

Para  $R_{b'}$ :

$$a = L_{4-b'} \quad b = L_{b'-b} + L_{b-1}$$

$$l = L_{4-1} \quad F = R_b$$

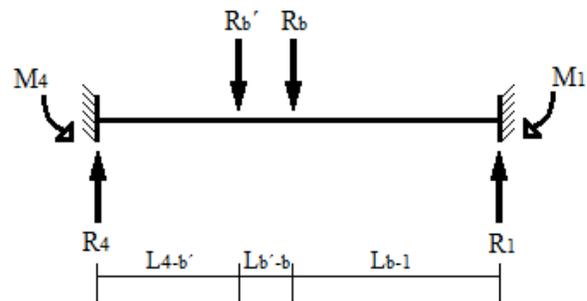


Figura 5.43- DCL

Tramo 4-1

Tabla 5.11- Resultados  $R_{b'}$ , Tramo 4-1

<b>R4 (N)</b>	75,792	Evaluando por tramos	<b>X (m)</b>			
			0	0,15	0,29	0,5
<b>R1 (N)</b>	20,882					
<b>M4 (N.m)</b>	7,106	<b>V (N)</b>	75,792	75,792	-20,882	-20,882
<b>M1 (N.m)</b>	3,045	<b>M (N.m)</b>	-7,106	4,263	1,340	-3,045

Para  $R_b$ :

$$a = L_{4-b} + L_{b'-b} \quad b = L_{b-1}$$

$$l = L_{4-1} \quad F = R_b$$

Tabla 5.12- Resultados Rb, Tramo 4-1

<b>R4 (N)</b>	36,835	Evaluando por tramos	<b>X (m)</b>			
			0	0,15	0,29	0,5
<b>R1 (N)</b>	59,839					
<b>M4 (N.m)</b>	4,945	<b>V (N)</b>	36,835	36,835	36,835	-59,839
<b>M1 (N.m)</b>	6,829	<b>M (N.m)</b>	-4,945	0,580	5,737	-6,829

Al superponer se obtuvo:

Tabla 5.13- Resultados Superposición, Tramo 4-1

<b>R4 (N)</b>	112,627	Evaluando por tramos	<b>X (m)</b>			
			0	0,15	0,29	0,5
<b>R1 (N)</b>	80,721					
<b>M4 (N.m)</b>	12,051	<b>V (N)</b>	112,627	112,627	15,953	-80,721
<b>M1 (N.m)</b>	9,874	<b>M (N.m)</b>	-12,051	4,843	7,077	-9,874

Se observa que el momento flector máximo es el del punto 4

$$M_{max} = 12,051 \text{ N.m}$$

Se calculó el factor de seguridad para el momento flector máximo del tramo 4-1

$$\sigma = \frac{M_{max} \cdot c_{4-1}}{I_{4-1}} = 6,733 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma} = 27$$

### 5.3.5- Cálculos de soldadura

#### 5.3.5.1- Carro del contrapeso

Se estudiaron solo las uniones soldadas más solicitadas:

- La unión de la base soporte de los ladrillos a las columnas del contrapeso.
- La unión de la base de las chumaceras al contrapeso.
- Unión de la base soporte de los ladrillos a las columnas del contrapeso.

## Nomenclatura

- $F_u$  = Fuerza soportada por las uniones soldadas.
- $F_g$  = Fuerza de garganta.
- $A$  = Área de garganta.
- $h$  = Altura de garganta.
- $L$  = Longitud del cordón de soldadura.
- $\sigma$  = Esfuerzo normal en garganta.
- $\tau$  = Esfuerzo cortante en garganta.

## Características del material del carro del contrapeso

- Acero bajo carbono AISI-1010
- Perfiles L 30x30x4

Del Apéndice A tabla 24 del libro Shigley

- $S_y = 180 \text{ Mpa}$
- $S_{ut} = 325 \text{ Mpa}$
- $E_{mat} = 200 \text{ Gpa}$

En la figura 5.44 se representa la base soporte de los ladrillos y las columnas que la unen a la parte superior del carro del contrapeso.

Para el cálculo se supuso que la fuerza soportada por las uniones soldadas será el peso de los ladrillos más el peso del carro del contrapeso.

Del DCL de la polea del contrapeso se obtuvo la fuerza transmitida a las uniones soldadas.

$$F_u = T_2 + T_3 = 323,363 \text{ N}$$

De la figura 5.45 se obtuvo la fuerza de garganta

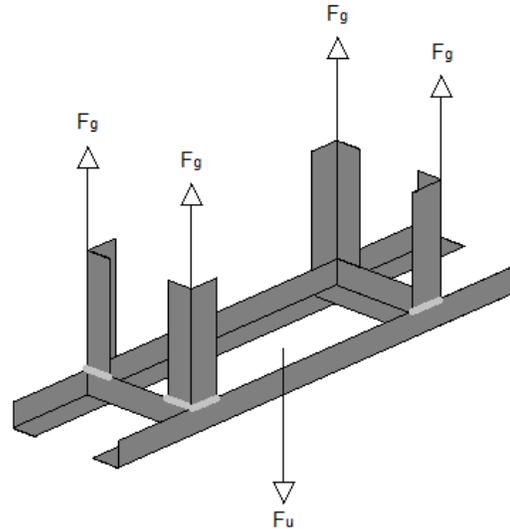


Figura 5.44- DCL Base del lastre del contrapeso

$$F_g = \frac{F_u}{4} = 80,840 \text{ N}$$

La altura de la garganta es el espesor del material de la estructura del carro:

$$h = 4 \text{ mm}$$

El ancho de cara del perfil es  $d = 0,03 \text{ m}$

Se calculó el área de garganta de la junta soldada.

$$A = 0,707hd = 0,000085 \text{ m}^2$$

El esfuerzo normal para la unión cargada a tensión es:

$$\sigma = \frac{F_g}{2A} = 475 \text{ Kpa}$$

El factor de seguridad que previene la fluencia de la unión cargada a tensión se calculó utilizando la resistencia del material base que es menor que la del material del electrodo.

$$n = \frac{0,60S_y}{\sigma} = 227$$

### 5.3.5.2- Unión de las bases de las chumaceras al carro del contrapeso

Las bases de las chumaceras están construidas con perfiles L 40x40x4. Al igual que el cálculo anterior, la fuerza transmitida a la unión soldada es  $F_u = 323,363 \text{ N}$ .

De la figura 5.46 se calculó la fuerza de garganta.

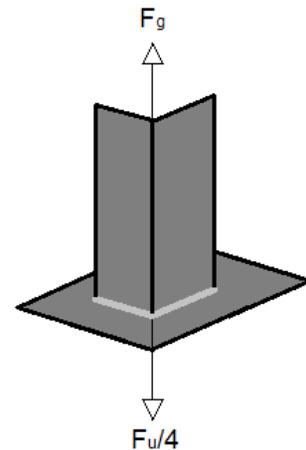


Figura 5.45- DCL  
Columnas

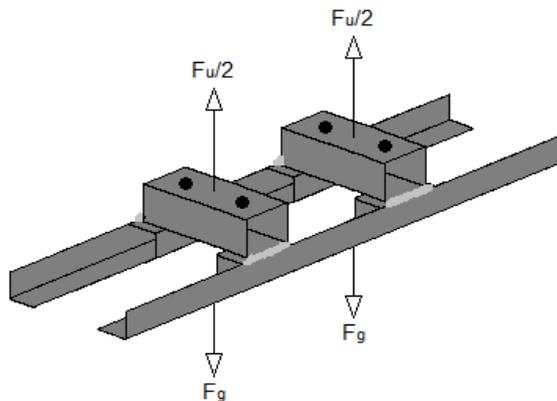


Figura 5.46- DCL Bases  
de las chumaceras

$$F_g = \frac{F_u}{2} = 161,682 \text{ N}$$

La longitud del cordón y la altura de garganta son 40mm y 4mm respectivamente. Se calculó el esfuerzo cortante en garganta para uniones soldadas sometidas a carga transversal.

$$\tau = \frac{F_g}{hL} = 1,01 \text{ Mpa}$$

De la tabla 9.1 del libro Shigley el esfuerzo cortante máximo es:

$$\tau_{max} = 1,118 \cdot \tau = 1,13 \text{ Mpa}$$

Se procedió al cálculo del factor de seguridad para uniones soldadas sometidas a flexión. Igual que en el cálculo anterior, se utilizó la resistencia del material base que es menor que la del material del electrodo.

$$n = \frac{0,66 \cdot S_y}{\tau_{max}} = 105$$

#### 5.3.5.3- Carro de la cabina

En la figura 5.47 se puede apreciar la base que sirve de anclaje de los cables de tracción que transmiten la fuerza que induce el movimiento al carro de la cabina. La unión soldada de dicha base al carro de la cabina, es la más solicitada. Para el cálculo se supuso que la tensión es una fuerza puntual que actúa sobre el centro de la base de anclaje del cable de tracción.

Datos para el cálculo:

Características de la base de anclaje

- Acero bajo carbono AISI-1010
- Espesor 4 mm, ancho 40 mm y largo 60 mm

En cálculos anteriores, se obtuvo la tensión del cable cabina - polea de tracción.

$$T_1 = 174,522 \text{ N}$$

De la figura 5.47 se obtiene la fuerza de garganta.

$$F_g = T_1 = 174,522 \text{ N}$$

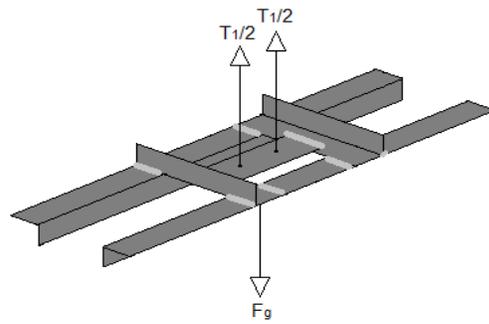


Figura 5.47- DCL base soporte de los cables de tracción

La unión soldada está sometida a carga transversal al igual que la base de la chumacera del contrapeso. Los cálculos fueron realizados igual que en el caso anterior, y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 5.14- Resultados de soldadura carro de la cabina

$\tau$ [Mpa]	$\tau_{\max}$ [Mpa]	n
1,09	1,22	97

## CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 6.1- ANÁLISIS DINÁMICO

#### 6.1.1- Velocidad de giro y frecuencia del motor.

El cálculo fue realizado, en función de la velocidad máxima que alcanzará la cabina 0,10 m/s. Tal como se explicó anteriormente, dicha velocidad fue seleccionada para tener una mejor percepción del movimiento del conjunto. De esta manera, se calculó la frecuencia que se va a colocar en el variador de velocidad 0,357 Hz, la cual hará que el accionador gire a una velocidad de 1,124 rad/s.

#### 6.1.2- Par motor.

El cálculo se realizó para las situaciones a las que va a estar sometido el accionador, acelerado, desacelerado y aceleración cero (velocidad constante o en parada). Además, se consideraron los pesos de la cabina y del contrapeso, apoyándose en el programa CAD Inventor 2012 TM, y en las densidades que tienen los materiales con los cuales se construirá el banco de prueba, mostradas en el libro Shigley. Igualmente se pudo observar la variación del par motor para una carga útil de 19,6 N para los casos críticos (motor acelerando): cabina totalmente cargada en ascenso 1,211 N.m y cabina libre de carga en descenso 0.764 N.m. Estos resultados de par se compararon con el par teórico del motor 1,306 N.m, y de esta manera se verificó que el accionador tiene la capacidad de mover la carga a la que va a estar sometido.

#### 6.1.3- Tensiones y reacciones del sistema.

En este cálculo se obtuvieron los valores de las tensiones que van soportar los cables de tracción, del modelo de ascensor. Además, se obtuvo la reacción sobre el eje motor. Al igual que en el caso del cálculo del par motor, los valores de tensiones se obtuvieron para las situaciones a las que va a estar sometido el accionador: acelerado, desacelerado y aceleración cero (velocidad constante o en parada). De la misma

manera, estas reacciones, se calcularon para los casos críticos cabina totalmente cargada en ascenso y para cabina libre de carga en descenso.

Al comparar estos resultados de análisis dinámico, se observó que el caso más crítico es el de la cabina totalmente cargada en ascenso y cuando el accionador está acelerando, por lo que estos son los valores de las reacciones que se tomaron en los estudios sobre los ejes y análisis estructural.

## 6.2- ESTUDIO SOBRE LOS EJES

### 6.2.1- Eje motor.

Este eje se evaluó por fatiga para cada una de sus secciones de diámetros, según los criterios de Goodman Modificado y Distorsión Elíptica. Al comparar los factores de seguridad de cada tramo, se observó que las secciones más críticas (Tramos: B-F, F-C y D-E) poseen un factor de seguridad de 9, según ambos criterios. Por lo tanto, el eje motor no va a fallar por fatiga.

### 6.2.2- Cálculo del eje del contrapeso.

Este eje se evaluó por fatiga, según los criterios de Goodman Modificado y Distorsión Elíptica. Al comparar los resultados, se observó que el eje del contrapeso posee un factor de seguridad de 5, según ambos criterios. Por lo tanto, no va a fallar por fatiga.

## 6.3- ANÁLISIS ESTRUCTURAL

### 6.3.1- Tornillos de las guías.

Se utilizaron 5 tornillos de grado 1, para garantizar que la sujeción de la guía no se vea afectada por el movimiento del conjunto. Se calculó cada tornillo, por Tresca para esfuerzo cortante doble, y se obtuvo un factor de seguridad de 196, por lo que los tornillos no van a fallar.

### 6.3.2- Tornillos del carro del contrapeso.

Se utilizaron 4 tornillos grado 1 para garantizar la unión entre la parte superior e inferior del carro del contrapeso, e igualmente se utilizaron 4 tornillos para la unión entre las chumaceras y sus bases.

#### 6.3.3- Tornillos de unión de la parte inferior y superior del carro del contrapeso.

Se calcularon los factores de seguridad, para 4 tornillos grado 1, los cuales van a soportar axialmente el peso total del contrapeso 323,363 N. Estos factores, arrojaron un valor de 99 por lo tanto los tornillos están sobredimensionados y no van a fallar.

#### 6.3.4- Tornillos de unión entre las chumaceras y sus bases.

Se calcularon los factores de seguridad, para 4 tornillos grado 1, los cuales van a soportar axialmente el peso total del contrapeso 323,363 N. Estos factores, arrojaron un valor de 57 por lo tanto los tornillos están sobredimensionados y no van a fallar.

#### 6.3.5- Sala de máquinas.

Para el cálculo de la sala de máquinas se tomaron en cuenta las reacciones de las chumaceras del eje motor sobre la estructura. Además, el peso de los perfiles y el peso del motor se tomaron como cargas puntuales para hacer más crítico el cálculo. Se obtuvo un factor de seguridad estático de 17 por lo que esta estructura no va a fallar.

#### 6.3.6- Pozo.

El cálculo estructural del pozo fue realizado para sus vigas superiores, las cuales van a soportar todo el peso del conjunto. Este peso, se dividió en 5 reacciones: las de los apoyos de la sala de máquinas y la reacción del cable del contrapeso. Para su cálculo, la estructura fue dividida en tramos. Al comparar los resultados el tramo más solicitado es el 2-3 con un factor de seguridad de 21. Por lo tanto, el pozo soporta sin ningún problema al conjunto cabina contrapeso.

#### 6.3.7- Soldadura.

Se utilizaron electrodos E-6013 como material de aporte los cuales tienen mejores propiedades mecánicas que el material base  $S_y = 60$  kpsi. Además, el material base al ser un acero con bajo contenido de carbono tiene buenas propiedades de soldabilidad, es decir, no se va a agrietar en caliente, la zona afectada por el calor no se va a fragilizar y no serán necesarios tratamientos térmicos posteriores.

#### 6.3.7.1- Carro del contrapeso.

El carro del contrapeso presenta 4 uniones soldadas críticas. Estas, van a soportar todo el peso del contrapeso (323,363 N) a tensión. El factor de seguridad de esta unión es 227, por lo tanto la soldadura del carro del contrapeso no va a fallar.

#### 6.3.7.2- Bases de las chumaceras.

Las bases de las chumaceras presentan 4 uniones soldadas críticas. Estas, van a soportar todo el peso del contrapeso (323,363 N) a tensión. El factor de seguridad de esta unión es 105, por lo tanto la soldadura del carro del contrapeso no va a fallar.

#### 6.3.7.3- Carro de la cabina.

El carro de la cabina presenta una unión soldada crítica. Esta, es la base de anclaje del cable que soporta el peso de la cabina (174,522 N) a tensión. El factor de seguridad de esta unión es 97, por lo tanto la soldadura del carro del contrapeso no va a fallar.

## CAPÍTULO VII: CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN

En este capítulo se expone la forma en cómo se realizó la construcción de cada componente de este banco de pruebas, y como se realizó su instalación final en el laboratorio donde se realizarán las practicas. Para su mejor comprensión lo dividiremos en procura, construcción de equipos mecánicos, integración de equipos eléctricos y electrónicos, e instalación final.

### 7.1- PROCURA DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION

Ya definidas las dimensiones finales y las características del material a utilizar en la construcción de cada una de las partes que componen el conjunto, se procedió, a la procura de los mismos. A continuación se muestra una tabla con la descripción, cantidad y dimensiones de los materiales adquiridos para la construcción.

Tabla 7.1- Materiales Adquiridos

Cantidad	Descripción	Dimensiones
1	Perfil tipo L de acero	25x25x3 de 6mts de largo
1	Perfil tipo L de acero	30x30x4 de 6mts de largo
2	Perfil tipo L de acero	40x40x4 de 6mts de largo
1	Plancha de Acero	2x1 mts calibre 20
1	Tocho de acero	50mm de diámetro y 35cm de largo
1	Tocho de acero	30mm de diámetro y 20cm de largo
7	Ladrillos de arcilla	24x12x6
1	Acople flexible	40mm de diámetro
2	Chumaceras	SKF de 30mm
2	Chumaceras	SKF de 15mm
1	Cable de acero	2mm de diámetro y 10mts de largo
1	Corredera chambrelan	30 mm de recorrido

### 7.2- CONSTRUCCIÓN DE LOS EQUIPOS MECÁNICOS

Se expondrá cómo se realizó la construcción de equipos mecánicos según sus procesos de fabricación:

### 7.2.1- Torneado.

Con los planos en mano, los tochos de acero ASTM 1040 y el acople flexible, se procedieron a realizar las operaciones de torneado.

#### 7.2.1.1- Eje motor.

Se colocó el tocho de acero en el torno, previamente instalada la herramienta de corte. Se procedió a refrentar y hacer el centropunto del tocho. Luego, se cilindró hasta que el tocho llegó a sus diámetros finales otorgados por el plano. Finalmente, se volvió a refrentar el eje hasta llevarlo a su longitud final.

#### 7.2.1.2- Eje del contrapeso.

La fabricación de este elemento fue igual al proceso del eje motor, cambiando el diámetro final del cilindrado.

#### 7.2.1.3- Acople Flexible.

Se colocó el acople en el torno, en el que previamente se había instalado la herramienta de corte interno. Luego se procedió a cilindrar el acople hasta llevarlo a sus dos medidas finales de diámetros, un lado del acople a la medida del eje del motor eléctrico y el otro a la medida del eje de la polea previamente torneado.

### 7.2.2- Corte.

Con los planos en mano y los perfiles de acero ASTM 1010: 25x25x3, 30x30x4, 40x40x4; se procedieron a cortar los perfiles con una tronadora para llevarlos a sus longitudes finales.

Tabla 7.2- Número de cortes del perfil 25x25x3

Perfil	L(m)	No. De cortes	L(m)	Descripción
25x25x3	6	2	0,3	A usar en el carro de la cabina
		2	0,31	
		4	0,42	
		4	0,47	
		4	0,08	A usar como base de los guidores
8	0,04			
<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>24</b>	<b>5,42</b>	

Tabla 7.3- Número de cortes del perfil 30x30x4

Perfil	L(m)	No. De cortes	L(m)	Descripción
30x30x4	6	4	0,44	A usar en el carro del contrapeso
		4	0,4	
		2	0,113	
		2	0,125	
		4	0,05	
<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>16</b>	<b>4,036</b>	

Tabla 7.4- Número de cortes del perfil 40x40x4

Perfil	L(m)	No. De cortes	L(m)	Descripción
40x40x4	6	2	0,7	A usar en la sala de máquinas
		1	0,205	
		4	0,05	
		2	2,08	A usar en las guías
		2	0,1	
<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>5,965</b>	

Tabla 7.5- Número de cortes del perfil 40x40x4

Perfil	L(m)	No. De cortes	L(m)	Descripción
40x40x4	6	2	0,1	A usar en la sala de máquinas
		4	0,106	A usar como base de los guidores
		8	0,038	de la cabina
		2	2,08	A usar en las guías
		4	0,113	A usar como base de los guidores
		4	0,115	del contrapeso
<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>24</b>	<b>6</b>	

Para la construcción de la caja y la puerta que componen a la cabina, se cortaron las planchas que conforman las mismas utilizando la cizalladora. Estos cortes se realizaron con los planos en mano para garantizar la precisión de las medidas.

#### 7.2.3- Taladrado.

Con los planos en mano, se realizaron las perforaciones pertinentes y precisas utilizando el taladro de banco y el taladro manual a cada una de las piezas a las que había que realizar un agujero. Estos se realizaron en: las planchas que componen a la cabina, las guías, los guidores, la unión de la parte superior e inferior del contrapeso, las bases de las chumaceras del eje del contrapeso, en el anclaje del cable de tracción a la cabina, en las bases de las chumaceras del eje motor, en los ejes para el asiento de los pernos prisioneros, en las uniones de la sala de máquinas al foso, en la fijación del motor a la sala de máquinas y en el foso.

#### 7.2.4- Doblado.

Con los planos en mano, se efectuó el doblado de las planchas previamente cortadas y taladradas utilizando la dobladora. Finalmente para la unión de estas planchas se procedió a remacharlas.

#### 7.2.5- Soldadura.

Con los planos en mano y los perfiles previamente cortados y taladrados, se procedió a realizar las uniones permanentes del carro de la cabina, el carro del contrapeso y la sala de máquinas. Dichas uniones, se realizaron utilizando como material de aporte los electrodos E-6013 previamente adquiridos.

Posteriormente, se desbastaron las uniones soldadas con un esmeril, buscando un mejor acabado.

### 7.3- INTEGRACIÓN DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

Antes de realizar la instalación mecánica se efectuó la prueba del motor a utilizar, del variador de frecuencia, la fuente de alimentación de 24VDC y del controlador lógico. De esta manera, se comprobó el buen funcionamiento de los mismos. Igualmente, se verificó el funcionamiento de los microswitches, el sensor inductivo, los interruptores de final de carrera, los pulsadores y las luces pilotos.

Tal como muestran los planos de conexión eléctrica, se procedieron a colocar los componentes que conforman al cuadro de maniobra (PLC, relés SPST, variador de frecuencia, fuente 24VDC, seccionador) dentro del gabinete. Igualmente se colocaron los pulsadores en la tapa del gabinete y las luces pilotos en el pozo.

Luego, se efectuó el cableado del sistema de control y el sistema de potencia dentro del gabinete. Todos los cables fuera del mismo se colocaron dentro de canaletas plásticas, para evitar su contacto directo y mantenerlos debidamente organizados.

### 7.4- INSTALACIÓN FINAL DEL BANCO DE PRUEBA.

#### 7.4.1- Armado de los equipos mecánicos.

- Se unió el eje motor a la polea de tracción, afianzándolo mediante pernos prisioneros.
- Se apoyó el eje motor sobre sus chumaceras, afianzándolo mediante pernos prisioneros.

- Se unió el motor al eje motor mediante el acople flexible, afianzándolo mediante pernos prisioneros.
- Se unieron las chumaceras a sus bases de goma, en la sala de máquinas, mediante tornillos. El ajuste de los tornillos de las chumaceras se hizo gradualmente para lograr la correcta alineación de los ejes.
- El motor, al cual se le colocaron soportes de goma, se afianzó a la sala de máquinas mediante tornillos.
- Se instaló la cabina dentro de su carro.
- Se colocó el lastre del contrapeso dentro de su carro.
- Se unieron la parte superior e inferior del carro del contrapeso, mediante 4 tornillos.
- Se instaló la polea del contrapeso a su eje y este se apoyó en sus chumaceras, afianzándolo mediante pernos prisioneros.
- Las chumaceras del contrapeso se unieron a sus bases en el carro del contrapeso, mediante tornillos.
- Se unieron las guías al pozo, utilizando 5 tornillos por cada guía.
- Se procedieron a colocar los carros de la cabina y del contrapeso en sus respectivas guías; para ello se realizó la instalación de las ruedas de los guiadores, mediante tornillos. Estas ruedas, se ajustaron contra las guías para restringir el movimiento de los carros a solo vertical.
- Se procedió a la fijación de los cables de tracción al carro de la cabina, mediante perros, y se colocó la tapa protectora de los cables, unida por remaches. (Al momento que se deba realizar mantenimiento estos remaches se podrán quitar fácilmente con un taladro)
- Se pasaron las guayas por la polea de tracción, y seguidamente por la polea del contrapeso.
- Se aseguró el cable de tracción al foso utilizando perros.
- Se instaló la corredera chambrelan al carro de la cabina mediante tornillos.
- Se instaló un riel superior a la caja de la cabina mediante remaches

- Se realizó la instalación de la puerta, colocando su guiador por el riel superior y luego fijándola a la corredera chambrelan utilizando remaches.
- Se instaló un sistema de canaletas plásticas articuladas mediante bisagras, tipo acordeón, el cual hará de cable viajero, afianzándolo al carro de la cabina y al foso empleando tornillos.
- Se afianzó el cuadro de maniobras (gabinete), al pozo mediante tornillos.

#### 7.4.2- Instalación de los sensores al sistema mecánico.

- Se instalaron dos soportes a la parte superior de la caja de la cabina mediante remaches.
- En los soportes se afianzaron con sus propias tuercas: el sensor inductivo y el microswitch; que hará de sensor puerta abierta/cerrada.
- Se instalaron las planchas metálicas, en los puntos precisos del pozo. De esta manera el sensor inductivo podrá enviar sus señales adecuadamente.
- En el piso de la cabina se afianzó, con su propia tuerca, el microswitch que hará de sensor de sobrepeso
- Se procedió a la instalación de un piso falso, afianzándolo mediante 4 resortes guiados por 4 tornillos. Este piso falso pulsará al sensor de sobrepeso cuando haya más de 1,5 kg en la cabina.
- Se instalaron los interruptores de final de carrera a sus bases soportes, en la parte baja y alta del pozo, afianzándolos mediante tornillos.

#### 7.4.3- Instalación de los sensores al sistema eléctrico.

- Los cables de los sensores: inductivo y puerta abierta/cerrada; se colocaron en canaletas plásticas hasta la parte baja de la cabina.
- En el cable viajero instalado a todo lo largo del trayecto, se colocó el cableado eléctrico de los sensores: óptico, puerta abierta/cerrada y de sobrepeso.

- En la parte baja del pozo, se empotraron los cables que vienen del interruptor de final de carrera y del cable viajero, en una canaleta plástica, guiándolos de manera ordenada hasta la caja de maniobras.
- Los cables del interruptor de final de carrera de la parte alta del pozo, se colocaron en una canaleta plástica, guiándolos de manera ordenada hasta la caja de maniobras.
- Con los planos en mano se cablearon los sensores a cada una de sus bornas y al PLC.

#### 7.4.4- Instalación final.

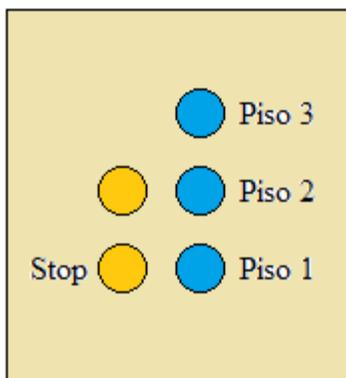
- Se conectó la fuente de 24VDC a la red monofásica.
- Se conectó el seccionador a la red monofásica.
- Se conectó el motor al variador de frecuencia.
- Ya con el banco de prueba totalmente instalado, se realizaron las pruebas de interfaz humano máquina.

## MANUAL DE USO

### Manual de uso del equipo

Para utilizar el equipo se deberá seguir los siguientes pasos:

1. Conectar el cable de alimentación del equipo a la red.
2. Accionar el seccionador para alimentar los componentes eléctricos del sistema.
3. Para hacer arranque en frío, la cabina debe estar en su posición más baja pulsando el interruptor de final de carrera inferior, de esta manera se garantizará el reinicio del sistema.
4. Si la cabina no se encuentra en la posición más baja, llevarla hasta allí manualmente.
5. Si se desea hacer pruebas con el equipo utilizando el programa predeterminado los pulsadores estarán dispuestos de la siguiente forma



6. Las luces pilotos verdes ubicadas en el pozo indican la ubicación de la cabina.
7. Abra la puerta de la cabina y verifique que el mecanismo utilizado para detectar sobrepeso está funcionando correctamente.
8. Al cerrar la puerta de la cabina verifique que el microswitch este pulsado correctamente.
9. Al hacer el arranque del sistema, verifique que no haya ningún objeto que pueda interferir con el movimiento del mismo.
10. Si la luz piloto roja está encendida de manera fija, significa que la puerta de la cabina no está cerrada correctamente o que el pulsador stop fue accionado.
11. Si la luz piloto roja está encendida de forma intermitente, significa que hay sobrepeso en la cabina.

12. Cuando el sistema esté en movimiento evite realizar cualquier tipo de ajuste que implique la manipulación de las partes en movimiento, para ello accione el pulsador stop.
13. Al accionar el pulsador stop deberá regresar manualmente la cabina a su posición más baja hasta pulsar el interruptor final de carrera inferior.

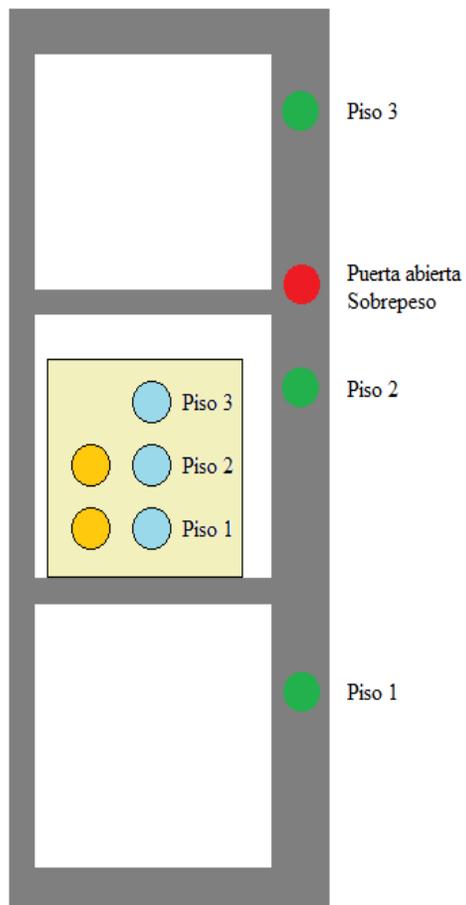
## PRÁCTICAS PROPUESTAS

### Practica 1 : Luces pilotos

Para realizar esta práctica se utilizaran cuatro pulsadores y cuatro luces pilotos.

Narrativa técnica:

1. Las luces pilotos verdes se encenderán al accionar el pulsador del piso correspondiente.
2. Solo puede estar encendida una luz verde a la vez.
3. La luz piloto roja deberá encender al accionar el pulsador stop.
4. La luz piloto roja deberá indicar si la puerta de la cabina está abierta o si hay sobrepeso.



## Practica 2: Ascensor

Para realizar esta práctica se dispondrá de tres pulsadores, cuatro luces pilotos, un sensor inductivo y dos interruptores de final de carrera.

Narrativa técnica:

1. El ascensor será de tres pisos.
2. Se asignará un pulsador por piso
3. Se hará uso de las luces pilotos verdes para indicar en que piso se encuentra la cabina.
4. Se hará uso de la luz piloto roja para indicar que la puerta del ascensor está abierta y que hay sobrepeso en la cabina.
5. Se utilizará el sensor inductivo para determinar la ubicación de la cabina. Para ello, a lo largo de su recorrido se encuentran distribuidas planchas metálicas, las cuales representan los puntos de aceleración y desaceleración de la cabina según sea el sentido del recorrido.
6. Se utilizarán los interruptores de final de carrera para indicar que la cabina se encuentra en el piso superior o inferior.
7. La puerta debe estar cerrada para que el ascensor se ponga en movimiento.
8. Si hay sobrepeso en la cabina el ascensor no podrá iniciar el recorrido.
9. Cuando el ascensor reciba la orden de ir a un piso, las demás señales permanecerán bloqueadas hasta cuando no se cumpla la orden original.

### Practica 3: Atención de llamadas

Para esta práctica se dispondrá de cinco pulsadores, cuatro luces pilotos, un sensor inductivo y dos interruptores de final de carrera.

Narrativa técnica:

1. El ascensor será de tres pisos.
2. Se asignará un pulsador al piso 1 y un pulsador al piso 3.
3. Se asignaran dos pulsadores al piso 2. Un pulsador corresponderá a la opción “ir al piso 3” y un pulsador corresponderá a la opción “ir al piso 1”.
4. Se utilizará un pulsador como botón de stop. Cuando se pulse stop el sistema deberá detenerse.
5. Se hará uso de las luces pilotos verdes para indicar en que piso se encuentra la cabina.
6. Se hará uso de la luz piloto roja para indicar que la puerta del ascensor está abierta y que hay sobrepeso en la cabina.
7. Se utilizará el sensor inductivo para determinar la ubicación da la cabina. Para ello, a lo largo de su recorrido se encuentran distribuidas planchas metálicas, las cuales representan los puntos de aceleración y desaceleración de la cabina según sea el sentido del recorrido.
8. Se deberá condicionar la atención de la llamada del piso 2.
  - Cabina en piso 1 recibe una llamada del piso 3: si se acciona el pulsador del piso 2 para subir antes que la cabina pase por la marca de frenado de dicho piso, se deberá atender la llamada.
  - Cabina en piso 3 recibe una llamada del piso 1: si se acciona el pulsador del piso 2 para bajar antes que la cabina pase por la marca de frenado de dicho piso, se deberá atender la llamada.
  - Cabina en piso 1 y recibe una llamada del piso 3: si se acciona el pulsador del piso 2 para bajar, dicha llamada no será atendida de subida sino de bajada.
  - Cabina en piso 3 y recibe una llamada del piso 1: si se acciona el pulsador del piso 2 para subir, dicha llamada no será atendida de subida sino de bajada.
9. Se utilizaran los interruptores de final de carrera para indicar que la cabina se encuentra en el piso superior o inferior.
10. La puerta debe estar cerrada para que el ascensor se ponga en movimiento.
11. Si hay sobrepeso en la cabina el ascensor no podrá iniciar el recorrido.

## CONCLUSIONES

- Se propuso un conjunto de prácticas para ser realizadas por los estudiantes de la asignatura PLC.
- Se realizó un manual de uso del equipo
- Se consultó bibliografía sobre teoría, antecedentes, normas de diseño, construcción, seguridad e instalación de ascensores.
- Se realizó una metodología del diseño mediante el método de Pahl y Beitz. De esta manera se escogió el sistema que mejor se adecuara para diseñar y construir el modelo de ascensor.
- Se realizó un inventario de los recursos disponibles y recursos necesarios para la construcción del modelo de ascensor.
- Se realizaron todos los planos del sistema valiéndose del programa CAD Inventor 2012 TM.
- Se realizaron estudios mecánicos y de fatiga al sistema dinámico, ejes de accionamiento y estructura del sistema.
- Se diseñó y construyó la estructura mecánica del ascensor, que comprende el bastidor, las guías, el foso, la cabina, los cables de tracción, el contrapeso y los accionamientos.
- Se efectuó una investigación sobre controles lógicos programables, y sistemas eléctricos y electrónicos.
- Se realizó el diseño del sistema de automatización del sistema incluyendo planos eléctricos del mismo.
- Se seleccionó al variador de frecuencia como método de reducción de velocidad de giro del accionamiento.
- Se diseñó un programa demostrativo que contendrá el PLC para el control del ascensor.
- Se instaló un tablero didáctico que facilita la operación del banco de pruebas.

- Se integraron al PLC los sensores de peso, de maniobras y de apertura/cierre de puertas, instalados en el sistema mediante un cable viajero.
- Se elaboró un procedimiento de instalación del equipo.
- Se instaló e integró el sistema de control al sistema mecánico del banco de pruebas.
- Se realizaron pruebas del funcionamiento correcto de la máquina.
- Se elaboró un manual de uso del equipo y un conjunto de prácticas para el laboratorio de automatización.
- Se calculó, diseñó y construyó un modelo a escala de ascensor operado mediante controles lógicos programables, para ser utilizado como equipo de prácticas en el Laboratorio de Automatización.

## RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio mecánico que verifique la factibilidad de uso de una caja reductora, de esta manera se podría conseguir una menor velocidad de giro en la polea de tracción y la frecuencia fijada en el variador de velocidad sería mayor obteniéndose un mejor desempeño del mismo. Además, con el uso de una caja reductora aumenta el par de salida, por lo tanto el ascensor estará en capacidad de transportar mayores cargas.
- Instalar un motor de menor velocidad de giro, lo cual otorgaría al sistema ventajas similares a las planteadas en el punto anterior.
- Automatizar la puerta de la cabina, lo cual implica el uso de un módulo de ampliación de salidas para el PLC (disponible en el laboratorio), un rele de 24V de bajo consumo en la bobina y el diseño del sistema de accionamiento de la puerta.
- Mejorar los galpones de la EIM para facilitar la ejecución de otros trabajos de grado de este tipo.
- Seguir promoviendo la ejecución de proyectos de este tipo para mejorar los laboratorios de la EIM.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALCAIDE, J., DIEGO, J., & ARTACHO, M. (2001). *Diseño de producto. El proceso de diseño*. Valencia, España: Ediciones UPV.
- Autodesk, Inc. (2011). Recuperado el 17 de Octubre de 2011, de Tutoriales en línea Autodesk Inventor: <http://wikihelp.autodesk.com/Inventor/esp/2013>
- BARRIOLA, J. (Trabajo no publicado). *Apuntes de PLC*. Caracas, Universidad Central de Venezuela.
- BEER, F., JOHNSTON, E., & DEWOLF, J. (2004). *Mecánica de Materiales, 3ra Edición*. México: McGraw Hill.
- BEER, F., JOHNSTON, E., EISENBERG, E., & MAZUREK, D. (2007). *Mecánica vectorial para ingenieros: Estática, Vol.8*. México: McGraw Hill.
- BUDYNAS, R., & NISBETT, K. (2006). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, 8va Edición*. México: McGraw Hill.
- CAVIA. (2001). *Guía General para el Usuario de Ascensores de Pasajeros*. Caracas: Camara Venezolana de la Industria de Ascensores.
- COVENIN 621-1. (1993). *Código Nacional para Ascensores de Pasajeros, Parte 1: Definiciones*. Caracas: FONDONORMA.
- COVENIN 621-3. (1997). *Código Nacional para Ascensores de Pasajeros, Parte 3: Tráfico Vertical*. Caracas: FONDONORMA.
- CROSS, N. (1999). *Métodos de Diseño: Estrategias para el diseño de productos*. México: Limusa.
- FAVA, S., & GÓMEZ, D. (2008). *Diseño, Construcción y Automatización de una cinta transportadora para la simulación mecánica de un proceso industrial*. Caracas: Trabajo especial de grado de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela.
- FRATELLI, M. (2003). *Diseño de Estructuras Metálicas Estados Límites LRFD*. Caracas.
- GERE, J. (2006). *Mecánica de Materiales, 6ta Edición*. México: THOMSON.

- LECUE, P. (Trabajo no publicado). *Apuntes de automatización industria*. Caracas, Universidad Central de Venezuela.
- LEÓN, J. (2004). *Dinámica de máquinas*. Caracas, Universidad Simón Bolívar.
- MESA, P. (2004). *Implementación de un PLC en un sistema de regulación PID para el control de procesos de nivel, presión, temperatura y velocidad*. Caracas: Trabajo Especial de Grado de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela.
- MIRAVETE, A., & LARROLDE, E. (1998). *El Libro del Transporte Vertical*. Zaragoza, España: Departamento de Ingeniería Mecánica del Centro Politécnico Superior de Ingenieros, Universidad de Zaragoza.
- MIZHANI, D. (2000). *Sistema de Elevación Vertical*. Sartenejas: Informe de Pasantía de Ingeniería Mecánica de la Universidad Simón Bolívar.
- MOTT, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México: Pearson Educación.
- OTIS, E. (1998). *Manual del Projectista*.
- Schneider Electric. (2012). Recuperado el 8 de Mayo de 2012, de Soporte de Automatización en línea de Schneider Electric: <http://www.schneider-electric.com.ve/sites/venezuela/es/soporte/libreria-automatizacion-control/descarga/descarga-documentos.page>
- SHIGLEY, J., & MISCHKE, C. (1990). *Diseño en Ingeniería Mecánica, 5ta Edición*. México: McGraw Hill.
- Wikimeida Foundation Inc. (2011). *Wikipedia*. Recuperado el 15 de Agosto de 2011, de <http://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada>

## ANEXOS