

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO

CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SOPORTE DE LA ESTRUCTURA
SIMULADORA DE LOS MOVIMIENTOS DE VUELO PARA LA
CABINA DEL AVIÓN BOEING 707.**

POR:

VARGAS JIMÉNEZ EDGAR EDUARDO

**Trabajo de Graduación como requisito previo para la obtención del Título
de:**

TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN MOTORES

2011

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente Trabajo de Graduación fue realizado en su totalidad por el Sr. VARGAS JIMÉNEZ EDGAR EDUARDO, como requerimiento parcial para la obtención del título de: TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN MOTORES.

Ing. Juan Yanchapaxi
DIRECTOR DEL PROYECTO

Latacunga Septiembre, 26 del 2011

DEDICATORIA

Este logro más que lo he alcanzado lo dedico de manera muy especial a mis Padres por haberme brindado la educación, apoyado moralmente para que me forme como un hombre de bien, con buenos valores, con el único fin que siempre me recuerdan de ser útil a la sociedad primeramente como buena persona y como un excelente profesional.

La satisfacción más grande fue haber podido lograrlo, por eso me lo dedico a mí porque yo lo conseguí.

Edgar Eduardo Vargas Jiménez

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la sabiduría de la perseverancia porque sin ella no hubiese sido posible cumplir este objetivo que me lo propuse, lo visioné, trabajé y pude lograrlo con mucho esmero.

Además de la capacidad y entusiasmo que me brindó cada día para combatir las adversidades que se me presentaban y seguir con la convicción de que por cada esfuerzo que realizaba estaba transformando mi deseo en su equivalente físico y así fue.

De todo corazón a mis padres les agradezco por brindarme su apoyo y comprensión incondicional en las decisiones que tomaba, por entenderme en mis desánimos de días difíciles y en mis momentos de alegrías; a la distancia a mis hermanas por brindarme sus sabios consejos para tomar buenas decisiones y no salirme de mi camino enmarcado.

Al ingeniero Guillermo Trujillo que indirectamente nos abrió una puerta para incrementar nuestros conocimientos y formarnos como profesionales.

Las personas se presentan por algo en la vida y conocer al Ing. Juan Yanchapaxi fue una suerte, por que contribuyó con su profesionalismo y persona a que este proyecto tenga el resultado que deseábamos. Y sin dejar de mencionar a aquellas personas que directa o indirectamente me dieron su apoyo anímico, por todo esto Dios gracias por rodearme de personas sabias y buenas que respetan mi filosofía y apoyan mis decisiones.

Edgar Eduardo Vargas Jiménez

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDO	PÁGINA
Portada.....	I
Certificación del Director de Trabajo de graduación.....	II
Dedicatoria	III
Agradecimiento	IV
Índice de contenidos	VII
Resumen.....	XV
Summary.....	XVI

CAPÍTULO I

EL TEMA

1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación e importancia.....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Objetivo General.....	3
1.3.2	Objetivos Específicos	3
1.4	Alcance.....	4

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Boeing 707	5
2.1.1	Introducción	5
2.2	Estructura metálica	7
2.2.1	Introducción	7
2.2.2	Cargas que soporta una estructura metálica	7
2.3	Estructuras compuestas	7
2.4	Tipos de armaduras.....	8
2.4.1	Armaduras planas.....	8
2.4.2	Armaduras tridimensionales	10
2.5	Entramados, bastidores y máquinas.....	11

2.6	Pórticos.....	12
2.7	Clases de resistencias en los miembros.....	15
2.8	Esfuerzos y deformaciones simples	16
2.8.1	Deformaciones	16
2.8.2	Esfuerzo	16
2.8.3	Elasticidad	16
2.8.4	Límite elástico.....	16
2.8.5	Módulo de elasticidad o módulo de Young	16
2.9	Esfuerzos de diseño	17
2.9.1	Introducción	17
2.10	Vigas.....	20
2.10.1	Introducción	20
2.10.2	Tipos de apoyos de las vigas	20
2.10.3	Tipos de vigas	21
2.10.3.1	Estáticamente determinadas	21
2.10.3.2	Estáticamente indeterminadas	21
2.10.4	Principales cargas de la vigas	22
2.10.5	Reacciones.....	22
2.10.6	Fuerza cortante vertical	22
2.10.7	Momento flexionante	23
2.11	Columnas	23
2.11.1	Introducción	23
2.11.2	Propiedades de la sección transversal de la columna	24
2.11.3	Fijación de la columna y longitud efectiva	25
2.11.3.1	Extremo atornillado.....	25
2.11.3.2	Extremo fijo	25
2.11.3.3	Extremo libre	26
2.12	Razón de delgadez.....	27
2.12.1	Razón de transición de delgadez	27
2.12.2	Columna corta: Fórmula de Johnson.....	28
2.12.3	Formas eficientes para secciones transversales de columnas.....	28
2.13	Rodamientos	29
2.13.1	Introducción	29

2.13.2	Espacio disponible.....	29
2.13.3	Cargas	30
2.13.4	Precisión.....	30
2.13.5	Funcionamiento silencioso	30
2.13.6	Rigidez.....	30
2.13.7	Desplazamiento axial.....	30
2.13.8	Desalineación angular	30
2.13.9	Velocidad	31
2.13.10	Selección de cojinetes de rodillos cónicos	31
2.14	Acero estructural.....	33
2.14.1	Introducción	33
2.14.2	Sistemas de designación.....	33
2.14.3	Aceros estructurales al carbono	34
2.14.4	Acero estructural ASTM A-36	35
2.14.5	Propiedades del acero estructural	36
2.14.5.1	Resistencia a la fluencia.....	36
2.14.5.2	Ductilidad.....	36
2.14.5.3	Relación esfuerzo – deformación del acero	36
2.15	Perfiles de acero.....	37
2.15.1	Introducción	37
2.15.2	Secciones estructurales huecas (HSS) y tubos circulares (P).....	38
2.16	Soldadura	40
2.16.1	Introducción	40
2.16.2	Soldadura por arco eléctrico.....	40
2.16.3	Tipo de energía en soldadura por arco.....	42
2.16.4	Tipos de soldadura y de juntas soldadas.....	42
2.16.5	Tipos de soldaduras	42
2.16.5.1	Cordón.....	42
2.16.5.2	Ondeadas.....	43
2.16.5.3	Filete.....	43
2.16.6	Tipos de juntas	44
2.16.6.1	Junta a traslape.....	44
2.16.6.2	Junta a tope.....	44
2.16.6.3	Junta a esquina	44

2.16.6.4 Junta de brida.....	44
2.16.6.5 Junta en T	44
2.16.7 Posiciones estándar para soldar	45
2.17 Identificación AWS – ASTM de electrodos de acero al carbono.....	46
2.18 Prácticas de seguridad para soldadura con arco.....	47
2.19 Equipos de protección para soldadores.....	48
2.20 Proceso de corte y preparación de bordes	49
2.20.1 Aserrado	49
2.20.2 Corte con oxígeno y gas consumible.....	49
2.21 Proceso de pintura.....	50
2.21.1 Pasos básicos para un correcto acabado de pintura	51

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1 Preliminares.....	52
3.1.1 Dimensiones y peso de la cabina del avión Boeing 707	52
3.1.2 Selección del material idóneo para la construcción del soporte	52
3.1.3 Estudio de alternativas	54
3.1.3.1 Primera alternativa.....	54
3.1.3.2 Segunda alternativa.....	54
3.2 Planteamiento y estudio de alternativas	55
3.2.1 Planteamiento de alternativas	55
3.2.2 Estudio técnico	55
3.3 Estudio de alternativas	56
3.3.1 Primera alternativa.....	56
3.3.2 Segunda alternativa.....	57
3.4 Análisis de alternativas	58
3.4.1 Parámetros de evaluación	58
3.5 Matriz de evaluación y decisión.....	60
3.6 Selección de la mejor alternativa	61
3.7 Requerimientos técnicos	61
3.8 Parámetros de diseño del soporte	62
3.8.1 Medidas del soporte de la estructura simuladora	62

3.8.1.1	Características de la cabina	62
3.8.1.2	Materiales de perfiles.....	63
3.8.1.3	Cargas sobre el soporte de la estructura simuladora	63
3.9	Cálculos básicos.....	65
3.9.1	Cálculos de momentos	67
3.9.2	Reacciones.....	69
3.9.3	Esfuerzo máximo	70
3.9.4	Cálculo del factor de seguridad	70
3.10	Análisis de esfuerzos combinados en la viga principal	72
3.10.1	Las propiedades de la sección transversal de la columnas.....	72
3.10.2	Fijación de la columna	74
3.10.3	Longitud efectiva.....	74
3.10.4	Razón de delgadez.....	75
3.10.4.1	Razón de transición de delgadez	75
3.10.4.2	Análisis de columna corta: Fórmula de J.B Jhonson	76
3.11	Análisis de esfuerzos combinados en la viga principal	78
3.11.1	Análisis del pórtico con carga concentrada en el centro, caso 1	80
3.11.2	Análisis del pórtico con carga a 15cm del extremo C, caso 2.....	81
3.11.3	Gráfico caso 1 y caso 2	84
3.11.4	Gráfico esfuerzos combinados	85
3.12	Cálculos de momentos flectores resultantes en la viga principal.....	86
3.12.1	Cálculo del momento equivalente con la viga simplemente apoyada.....	86
3.12.2	Cálculo del momento torsor (M_{tor})	86
3.13	Análisis de la viga principal; como empotrada – empotrada.....	88
3.13.1	Aplicación de la teoría de von Mises	90
3.13.2	Cálculo del diámetro admisible para el eje	91
3.14	Construcción.....	93
3.14.1	Ensamble y planos del soporte de la estructura simuladora.....	93
3.14.2	Construcción del soporte de la estructura simuladora	94
3.14.2.1	Elementos requeridos para la construcción del soporte	94
3.14.3	Proceso de corte del tubo estructural cuadrado A-36; (10x0.3) cm.....	94
3.14.3.1	Construcción de las bases laterales	95
3.14.3.2	Ensamble de las bases laterales	95
3.14.3.3	Ensamble de las camisas para el mecanismo de cabeceo	96

3.14.3.4	Proceso de pintura del soporte de la estructura simuladora.....	97
3.15	Diagrama de procesos.....	99
3.15.1	Diagrama del proceso de construcción de las bases del soporte	100
3.15.2	Diagrama de ensamble de las camisas a las bases del soporte	101
3.16	Maquinas, equipos y herramientas	102
3.17	Ensamble de partes de la estructura simuladora.....	103
3.18	Manual de procedimientos.....	103
3.18.1	Descripción general	103
3.19	Pruebas y análisis de resultados	103
3.19.1	Pruebas previas al montaje de la cabina del avión Boeing 707	103
3.19.2	Pruebas de funcionamiento de la estructura simuladora con la cabina ..	104
3.20	Documento de aceptación de usuario	106
3.21	Estudio técnico, legal y económico.....	106
3.21.1	Técnico	106
3.21.2	Legal.....	106
3.21.3	Económico.....	107
3.21.3.1	Costos de materiales.....	107
3.21.3.2	Costos de mano de obra	108
3.21.3.3	Costo del informe final.....	109
3.21.3.4	Gastos totales	109

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1	Conclusiones	110
4.2	Recomendaciones	112
	Glosario de Términos	113
	Siglas y Abreviaturas.....	115
	Bibliografía	116

ÍNDICE DE TABLAS

CONTENIDO	PÁGINA
Tabla N° 2.1 Especificaciones Avión Boeing 707	6
Tabla N° 2.2 Dimensiones y capacidad básica de carga cojinetes de rodillo	32
Tabla N° 3.1 Estudio de la primera alternativa	57
Tabla N° 3.2 Estudio de la segunda alternativa.....	58
Tabla N° 3.3 Matriz de evaluación de decisión.....	61
Tabla N° 3.4 Características del tubo estructural cuadrado	64
Tabla N° 3.5 Cargas actuantes en el soporte de la estructura simuladora.....	64
Tabla N° 3.6 Designación de unidades	66
Tabla N° 3.7 Propiedades de la sección transversal de la columna.....	73
Tabla N° 3.8 Diagrama de proceso de la construcción	100
Tabla N° 3.9 Especificación de la maquinaria utilizada en la construcción	103
Tabla N° 3.10 Especificación del equipo utilizado en la construcción	103
Tabla N° 3.11 Especificación la herramienta utilizada en la construcción.....	103
Tabla N° 3.12 Operación de la estructura simuladora en sitio sin carga	105
Tabla N° 3.13 Funcionamiento de elementos de la estructura simuladora.....	106
Tabla N° 3.14 Pruebas de funcionamiento de la estructura simuladora.....	106
Tabla N° 3.15 Costo de materiales para la construcción del soporte	108
Tabla N° 3.16 Costo de mano de obra de la construcción	109
Tabla N° 3.17 Mano de obra del proceso de montaje de la cabina	109
Tabla N° 3.18 Costo del informe final del trabajo de graduación	110
Tabla N° 3.19 Gastos totales del trabajo de graduación	110

ÍNDICE DE FIGURAS

CONTENIDO	PÁGINA
Figura 2.1 Armadura plana.....	9
Figura 2.2 Cerchas o armaduras de cubierta	9
Figura 2.3 Jácenas o vigas armadas.....	9
Figura 2.4 Armaduras tridimensionales.....	10
Figura 2.5 Entramados, bastidores y máquinas	11
Figura 2.6 Pórtico empotrado y articulado.....	12

Figura 2.7 Viga infinitamente rígida	13
Figura 2.8 Columnas infinitamente rígidas	13
Figura 2.9 Vigas y columnas no infinitamente rígidas	14
Figura 2.10 Vigas estáticamente determinadas	21
Figura 2.11 Vigas estáticamente indeterminadas.....	22
Figura 2.12 Equilibrio de partes de una viga de una sección a-a.....	23
Figura 2.13 Pandeo de una columna delgada.....	24
Figura 2.14 Valores de K para longitud efectiva, $L_e = KL$	26
Figura 2.15 Secciones transversales de columnas	29
Figura 2.16 Nomenclatura de rodamientos cónicos	31
Figura 2.17 Posiciones ideales de rodamientos cónicos en un eje	32
Figura 2.18 Sistema de designación AISI	34
Figura 2.19 Especificaciones de la ASTM para placas de acero al carbono	35
Figura 2.20 Especificaciones acero ASTM acero A-36	35
Figura 2.21 Diagrama típico esfuerzo – deformación para el acero estructural	36
Figura 2.22 Secciones laminadas en caliente abiertas	37
Figura 2.23 Secciones estructurales huecas laminadas en caliente	38
Figura 2.24 Proceso de soldadura por arco	40
Figura 2.25 Disposición de elementos para soldadura de arco.....	41
Figura 2.26 Soldadura de cordón.....	42
Figura 2.27 Movimientos de la soldadura ondeada.....	43
Figura 2.28 Soldaduras de filete sencillo y de filete doble.....	44
Figura 2.29 Las cuatro posiciones estándar para soldar	45
Figura 2.30 Posiciones del electrodo para soldadura de arco.....	45
Figura 2.31 Holguras usuales para el electrodo	46
Figura 2.32 Marcas de identificación de los electrodos AWS – ASTM.....	46
Figura 2.33 Identificación de electrodos de acero al carbono	47
Figura 2.34 Sierra circular giratoria para cortar barras largas y tubos.....	49
Figura 2.35 Corte de una placa metálica ferrosa.....	50
Figura 3.1 Estructura A	55
Figura 3.2 Estructura B	55
Figura 3.3 Vista superior y frontal del soporte de la estructura simuladora	63
Figura 3.4 Cargas actuantes sobre el soporte.....	65
Figura 3.5 Diagrama de cuerpo libre de la estructura	66

Figura 3.6 Estructura simétrica en pórtico de soporte fijo	68
Figura 3.7 Pórtico de soporte fijo con carga concentrada en el centro.....	68
Figura 3.8 Diagrama de flexiones originado por una carga concentrada	70
Figura 3.9 Análisis de una columna recta que se carga en el centro	74
Figura 3.10 Valores de K para diferentes conexiones en los extremos.....	75
Figura 3.11. Corte de los miembros	96
Figura 3.12 Alineación de los miembros laterales	96
Figura 3.13 Bases laterales del soporte construidos.....	97
Figura 3.14 Proceso de suelda de las camisas en su columna respectiva	97
Figura 3.15 Copas insertadas en las camisas.....	98
Figura 3.16 Proceso de pintura del soporte de la estructura simuladora	98
Figura 3.17 Bases laterales del soporte de la estructura simuladora	98
Figura 3.18 Bases laterales del soporte, vista frontal.....	99
Figura 3.19 Placas de fijación del soporte de la estructura simuladora.....	99
Figura 3.20 Estética del soporte de la estructura simuladora.....	99

ÍNDICE DE ANEXOS

CONTENIDO

Anexo A:

Ficha de observación; dimensiones y pesaje de la cabina del avión Boeing 707.

Anexo B:

Planos del soporte de la estructura simuladora.

Anexo C:

Recomendaciones para seleccionar el FS.

Anexo D.1:

Especificaciones técnicas del acero ASTM A-36.

Anexo D.2:

Aplicaciones de algunos aceros designación AISI.

Anexo D.3:

Especificaciones del acero de designación AISI 4340.

Anexo E:

Manual de procedimientos.

Anexo F:

Pruebas de funcionamiento del soporte.

Anexo G:

Cálculo de la fuerza del cilindro N°1.

Anexo H:

Certificado de las pruebas y análisis de resultados.

Anexo I:

Documento de aceptación del usuario.

Anexo J:

Fórmulas empleadas en los cálculos del soporte.

RESUMEN

El siguiente proyecto se trata sobre la construcción del soporte de la estructura simuladora para la cabina del avión Boeing 707, parte principal para la operación de la estructura simuladora de los movimientos de vuelo.

Dicho soporte ha sido diseñado para resistir las cargas del peso de la cabina del avión Boeing 707, instrumentación y la tripulación, factores importantes que fueron el primer paso para nuestra investigación y que nos permitieron seleccionar la alternativa ideal y desarrollar posteriormente el estudio y diseño del soporte, pues es la parte principal en donde se concentra el peso de la estructura como tal.

El estudio incluye los planos respectivos del soporte para su fácil entendimiento de su estructura, tipo de material empleado en la construcción, procesos de construcción utilizados en la elaboración del mismo y en general como está constituida la estructura simuladora de los movimientos de vuelo en conjunto con los elementos complementarios.

Además incluye los procedimientos de operación y mantenimiento a seguir para tener un desenvolvimiento óptimo del soporte en el funcionamiento de la estructura simuladora, estas son explicadas en el manual de procedimientos en un formato muy claro y entendible.

En la última parte se detalla cada una de las conclusiones y recomendaciones del investigador, con el objeto fortalecer más la educación de la comunidad aeronáutica del instituto, así como también el glosario, bibliografía, siglas abreviaturas, y páginas web utilizadas en el presente trabajo de investigación para futuras modificaciones que permitan incrementar los conocimientos del alumnado, las cuales son muy bien explicadas para un mejor entendimiento por parte del lector.

SUMMARY

The next project is about building support structure simulator for Boeing 707 aircraft cabin, main part for the operation of the structure simulator flight movements.

Support has been designed to withstand the weight loads of Boeing 707 cockpit instruments and the crew, important factors were the first step for our research and that allowed us to select the ideal alternative and further develop the study and design of support, it is the main part which concentrates the weight of the simulator structure as such.

The study includes the respective levels of support for your easy understand in gof its structure, type of material used in construction, construction processes used in its preparation and in general the structure consists of simulating the movements off light in conjunction with complementary elements.

Also includes operation and maintenance procedures to follow to have an optimal development support in the operation of the simulator structure, these are explained in the manual of procedures in a clear and understand able format.

In the final section details each of the investigator's conclusions and recommendations in order to further strengthen the aviation community education institute, as well as the glossary, bibliography, acronyms, abbreviations, and websites used in this work research for future modifications that would increase students' knowledge, which are very well explained for better understanding by the reader.

CAPÍTULO I

EL TEMA

1.1 Antecedentes

Luego de haber realizado con éxito la investigación de implementar nuevos equipos o herramientas que aporten de manera efectiva conocimientos a los alumnos de la carrera de mecánica, se ha podido darle una correcta utilidad a la cabina del avión Boeing 707 como objeto de instrucción que el instituto la tiene junto a los laboratorios de mecánica del bloque 42.

Logrando definir el soporte de la estructura simuladora de los movimientos para la cabina del avión Boeing 707 que será construido con una buena elección de materiales tomando en cuenta su peso y dimensiones de la cabina del avión Boeing 707, por ende la construcción es beneficiosa para la institución pues se aporta un equipo muy útil y novedoso a la comunidad aeronáutica.

El ITSA, debe dar prioridad a estos proyectos de gran magnitud ya que despiertan más la pasión por la aviación en los estudiantes, aportando de esta manera a que se fortalezcan más los objetivos de la institución para lograr estar a la altura de instituciones aeronáuticas a nivel internacional.

1.2 Justificación e importancia

El ITSA oferta especialidades técnicas que solamente con la práctica se las puede reforzar, desarrollando de manera efectiva capacidades y destrezas que los alumnos las tienen inconscientemente pero no las desarrollan. En un instituto aeronáutico donde se están formando continuamente futuros tecnólogos aeronáuticos es de vital importancia disponer de los equipos y herramientas que ayuden a una mejor formación del alumno, involucrándolo más con el campo aeronáutico y, que mejor, que sea un simulador al que se le dé la correcta utilidad después de una investigación bien realizada teniendo presente el avance tecnológico en la aviación.

Es factible por que se contará con el apoyo de ingenieros, técnicos especializados en equipos, estructuras y máquinas hidráulicas; los mismos que brindarán la información y ayuda necesaria para planificar, estructurar los diseños y tipo de materiales que se requerirán en la construcción del soporte de la estructura simuladora, logrando así cumplir con los objetivos planteados.

Los beneficiarios de la investigación serán personal docente, alumnos y autoridades ya que contarán en efecto con un simulador de los movimientos del avión en vuelo del cual los estudiantes obtendrán buenas bases por medio de sus prácticas de trabajo que les proyecte experiencia y seguridad basada en correctos métodos prácticos de enseñanza por parte de los docentes.

Es muy necesario e importante que se aporte este tipo de proyectos que los alumnos realizamos específicamente a los laboratorios de la carrera de mecánica, para generar tecnólogos competitivos. Que permitan a los mismos conocer y comprometerse con la realidad del campo de la aviación, para así poder generar alternativas de fortalecimiento, y cambios en el área laboral.

1.2 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- ❖ Diseñar y construir el soporte de la estructura simuladora de los movimientos de vuelo para la cabina del avión Boeing 707, mediante un análisis de las características que debe tener el soporte para resistir las cargas que se ejercerán sobre el mismo.

1.3.2 Objetivos Específicos:

- ❖ Recopilar y seleccionar información referente a nuestro estudio para el buen desarrollo del proyecto.
- ❖ Analizar cargas de diseño que soportará la estructura para la correcta selección de materiales.
- ❖ Realizar los cálculos correspondientes del soporte.
- ❖ Seleccionar el material idóneo para la construcción del soporte de la estructura simuladora.
- ❖ Realizar los planos correspondientes considerando las dimensiones de la cabina del avión Boeing 707 para un buen desempeño en el proceso de construcción.
- ❖ Construir el soporte utilizando herramienta adecuada y procedimientos técnicos correctos para el efecto cumpliendo normas de seguridad.
- ❖ Realizar pruebas de funcionamiento y operación del soporte de la estructura simuladora.

1.4 Alcance

El soporte de la estructura simuladora de los movimientos de vuelo para la cabina del avión Boeing 707 brinda grandes beneficios a los estudiantes de todas las especialidades con las que cuenta el INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO, específicamente el área de la carrera de Mecánica Aeronáutica, y de manera primordial a los estudiantes e instructores de las materias de Mecánica de Materiales, Aerodinámica, Aeronaves en general e Hidráulica Básica, ya que le permite tener un conocimiento amplio acerca de los avances que la aviación realiza, además permite al estudiante experimentar los movimientos de una aeronave en vuelo.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Boeing 707¹

2.1.1 Introducción

El Boeing 707 es una aeronave comercial de cuatro motores desarrollada por Boeing a principios de los años 1950. Tiene para muchos un puesto destacado en la era de los jet comerciales siendo el primero del tipo Boeing 7X7. Boeing distribuyó 1010 aeronaves del modelo 707.

El 707 estaba basado en un prototipo de Boeing conocido como el 367-80. El desarrollo del "Dash 80", tuvo un costo de 16 millones de dólares. Su desarrollo tomó menos de dos años desde el inicio del proyecto en 1952 hasta que despegó el 14 de mayo de 1954. El prototipo sirvió de base para dos aeronaves, el KC-135 Stratotanker, un avión cisterna usado por la Fuerza Aérea de los EE.UU (USAF), y el propio 707. Éste estaba propulsado por cuatro motores Pratt & Whitney JT3C.

A fin de convertirse en una nueva empresa importante en el negocio de la aviación comercial, Boeing se plegó rápidamente a los deseos de muchos de sus clientes.

La mayoría de los últimos 707 se montaron con los motores JT3D, que eran más silenciosos y ahorran más combustible, además de unos flaps en el borde principal de las alas que incrementaban el rendimiento en el despegue y el aterrizaje. Estas mejoras fueron destacadas añadiendo el sufijo "B" al nombre de la aeronave, como en los modelos 707-120B y 707-320B.

¹. www.airliners.net/aircraft-data/stats.main?id=87

El 707 era ya demasiado pequeño para dar servicio a las cada vez mayores cantidades de pasajeros en las rutas para las que había sido diseñado. La solución de Boeing al problema fue la construcción del primer reactor comercial de doble plataforma, el Boeing 747. La tecnología de primera generación de motores del 707 se estaba quedando obsoleta rápidamente por el excesivo ruido y consumo de combustible.

La producción del 707 para pasajeros finalizó en 1978 con un total de 1010 aeronaves construidas para uso civil.

Algunas piezas del 707 todavía se encuentran en algunos de los productos actuales de Boeing, sobre todo en el 737, que usa una versión modificada del fuselaje del 707. El Boeing 727 y el 757 usaban prácticamente el mismo fuselaje expandido o reducido para servir a las necesidades particulares de cada modelo.

El 737 y el 727 también usaban el mismo morro y la misma configuración de la cabina que el 707.

Tabla N°2.1.- Especificaciones Avión Boeing 707.

ESPECIFICACIONES AVIÓN BOEING 707.	
Tipo:	Avión civil de transporte
Tripulación:	3
Primer vuelo:	20 de diciembre de 1957
En servicio:	Octubre de 1958
Constructor:	Boeing CommercialAirplanes
Longitud:	44,07 m
Altura:	12,93 m
Envergadura:	39,09 m
Peso vacío:	55.580 Kg
Máximo de despegue:	116.570 Kg
Capacidad de carga:	179 pasajeros
Alcance:	6.820 Km
Motores:	4 Turborreactores Pratt&Whitney JT3D-1
Potencia unitaria:	76,6 KN.

Fuente: www.airliners.net/aircraft-data/stats.main?id=87

2.2 Estructura metálica

2.2.1 Introducción²

Se llaman estructuras a todas las partes de una construcción compuestas por varios elementos rectilíneos unidos entre sí por sus extremos y cuya misión es soportar las cargas a las que se encuentra sometida.

Las uniones entre sus elementos pueden ser constructivamente soldadas, remachadas o atornilladas, quedando más o menos rígidas por emplearse más de un remache o tornillo en cada unión.

Para su cálculo sin embargo, las uniones se consideran de dos tipos, articuladas o rígidas.

La seguridad, confiabilidad y economía de una estructura depende del diseño, fabricación, inspección, mantenimiento y de la selección de materiales. Las estructuras más eficientes y económicas se basan en la optimización del equilibrio entre estos parámetros. El uso del mejor material en combinación con un diseño o una fabricación deficiente, o ambos, o el empleo del diseño óptimo en combinación con materiales o fabricación deficiente, o ambos, no permite obtener una estructura segura, confiable y económica.

2.2.2 Cargas que soporta una estructura metálica

- **Estáticas**
 - ❖ Peso propio
- **Dinámicas (externas)**
 - ❖ Granizo
 - ❖ Viento
 - ❖ Sismos

2.3 Estructuras compuestas.- Están formadas por partes o elementos conectados entre sí. Estos elementos son rígidos por lo general, aunque en

² . www.slideshare.net/oswaldodavid/sistemas-estructurales-3777418

algunos casos pueden ser flexibles. Cuando las estructuras compuestas soportan las cargas estáticamente, se denominan armaduras o entramados. Cuando las soportan dinámicamente, se denominan máquinas.

Las armaduras son estructuras compuestas integradas por elementos rectos generalmente prismáticos, denominados miembros, unidos entre sí en sus extremos mediante articulaciones o pasadores lisos denominados nudos y que soportan cargas cuyas líneas de acción pasan por dichas articulaciones.

Las estructuras compuestas son planas si sus elementos y las líneas de acción de todas las fuerzas externas que actúan sobre ellas están en un mismo plano. Son espaciales en caso contrario.

2.4 Tipos de armaduras

2.4.1 Armaduras planas

Es un ensamble triangular que distribuye cargas a los soportes por medio de una combinación de miembros conectados por juntas articuladas, configurados en triángulos, de manera que idealmente todos se encuentren trabajando en compresión o en tensión pura y que todas las fuerzas de empuje se resuelvan internamente.

Cada una de estas armaduras se diseña únicamente para soportar cargas que actúan en su plano y que se aplican en los nudos.

Para poder aplicar cargas concentradas o distribuidas en una armadura deben colocarse vigas o elementos transversales que transmitan la carga a los nudos.

A pesar de que el peso de los elementos en una armadura es pequeño comparados con la cargas que soporta, cuando hay que tenerlo en cuenta para el diseño puede suponerse concentrado por mitades en los extremos de la barra.

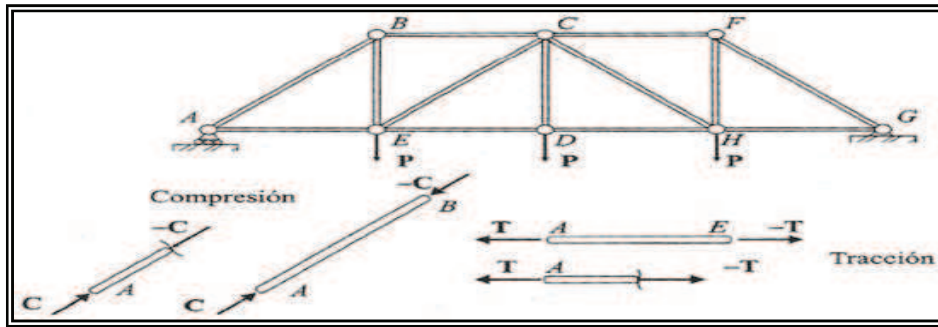


Figura 2.1 Armadura plana.

Fuente: LÓPEZ ARANGO, Diego. Mecánica para ingenieros. Estática.

La armadura es uno de los tipos más importantes de estructuras empleadas en ingeniería.

Proporciona una solución, a la vez práctica y económica, especialmente en puentes, cubiertas y vigas principales de edificación, sobre todo cuando hay que salvar grandes distancias con una estructura de peso reducido.

Hay dos grupos de armaduras típicas:

- ❖ Cerchas: Pratt, Howe, Fink.
- ❖ Jácenas: Pratt, Howe, Warren, Baltimore, Viga "K".

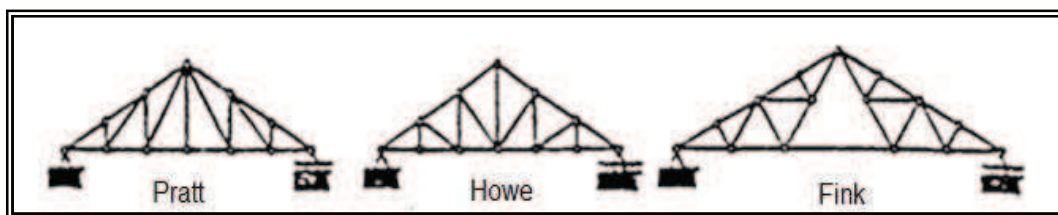


Figura 2.2 Cerchas o armaduras de cubierta

Fuente: www.slideshare.net/oswaldodavid/sistemas-estructurales-3777418

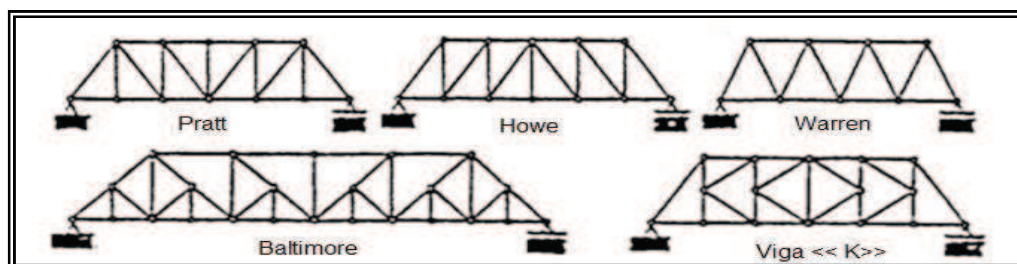


Figura 2.3 Jácenas o vigas armadas

Fuente: www.slideshare.net/oswaldodavid/sistemas-estructurales-3777418

2.4.2 Armaduras tridimensionales

La más sencilla está formada por barras que son las aristas de un tetraedro y nudos articulados en las tres direcciones que son sus vértices. Por el método de añadir tres barras y un nudo se puede obtener otra más grande que se define como simple. Es isostática cuando se cumple: $2n = m + 3$; disponiéndose de 3 ecuaciones de equilibrio por nudo: $\Sigma F_x=0$, $\Sigma F_y=0$, $\Sigma F_z=0$. Estas armaduras también se denominan espaciales.

Donde:

n = Nudos

m = Miembros

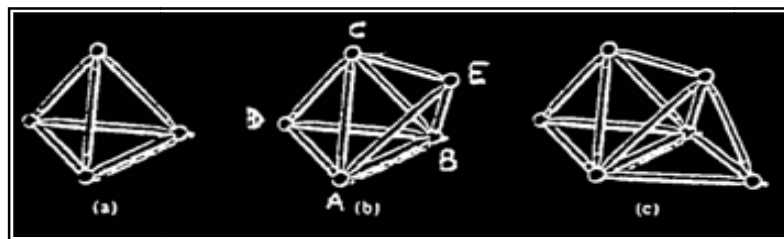


Figura 2.4 Armaduras tridimensionales.

Fuente: www.slideshare.net/oswaldodavid/sistemas-estructurales-3777418

2.5 Entramados o bastidores y máquinas ³

Los entramados o bastidores son estructuras compuestas integradas por elementos rectos o curvos, generalmente prismáticos, denominados miembros, unidos entre sí en sus extremos o en otros puntos mediante articulaciones, pasadores, rótulas y juntas que son nudos, cojinetes o uniones universales. Las cargas sobre estas estructuras pueden estar aplicadas en puntos diferentes de estas uniones y pueden actuar como fuerzas concentradas o como fuerzas distribuidas sobre algunos miembros.

³. LÓPEZ ARANGO, Diego. Mecánica para ingenieros. Estática.

Cuando los ejes de todos los miembros y las líneas de acción de todas las cargas externas se encuentran en un mismo plano, los entramados se denominan planos, de lo contrario espaciales.

En general, los entramados se diseñan para que permanezcan estáticos cuando se le aplican las cargas externas. No obstante, algunos entramados se diseñan para transmitir fuerzas que pueden moverse cuando se les aplican fuerzas externas. Estos entramados se llaman máquinas o herramientas.

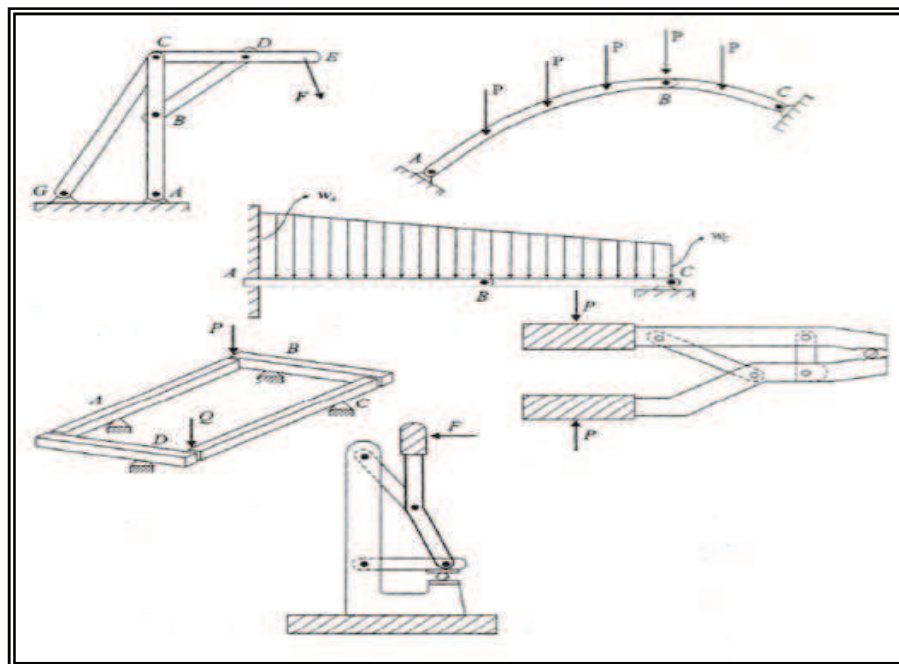


Figura 2.5 Entramados, bastidores y máquinas

Fuente: LÓPEZ ARANGO, Diego. Mecánica para ingenieros. Estática.

2.6 Pórticos

Se considera un pórtico a una estructura formada por vigas y columnas rígidamente unidas entre sí, de modo que al sufrir deformaciones, no varía el ángulo que forman en sus uniones los elementos que concurren en ellas. Los pórticos pueden ser articulados o empotrados, según lo sean las bases de sus columnas.⁴

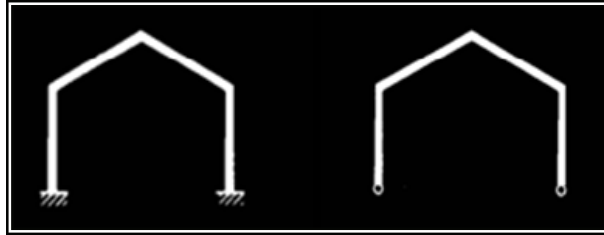


Figura 2.6 Pórtico empotrado y articulado

Fuente: www.slideshare.net/oswaldodavid/sistemas-estructurales-3777418

El cálculo de los pórticos depende, además de que sean articulados o empotrados en sus bases, de la rigidez o resistencia a la deformación de sus elementos (vigas y columnas).

Se define la rigidez de un elemento por la fórmula:

$$K = \frac{4EI}{L} \quad (2.1)$$

Donde:

E: Módulo de elasticidad o de Young.

I: Momento de inercia.

L: Longitud del elemento.

Si la viga fuese infinitamente rígida no se deformaría y por consiguiente sus uniones con las columnas no sufrirían ningún giro; trabajando como si estuviese apoyada en las columnas y estos estarían sometidos a la compresión producida por la reacción a la carga, como se indica en el siguiente esquema.

⁴ . www.slideshare.net/oswaldodavid/sistemas-estructurales-3777418

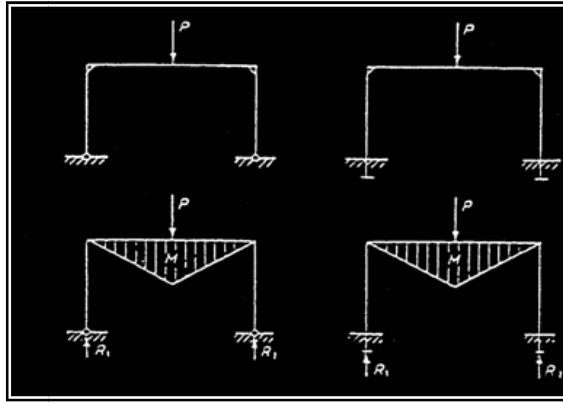


Figura 2.7 Viga infinitamente rígida.

Fuente: www.slideshare.net/oswaldodavid/sistemas-estructurales-3777418

Si la viga no es infinitamente rígida pero sí lo son las columnas, estos no se deforman y aquella sí, pero de tal modo que sus uniones con las columnas no giran debido a la rigidez de éstos, por lo que la viga trabajará como si estuviera empotrada en las columnas, y éstos, además de la compresión producida por la reacción a la carga, deben resistir la flexión debida al momento de empotramiento de la viga, como se indica en el siguiente esquema.

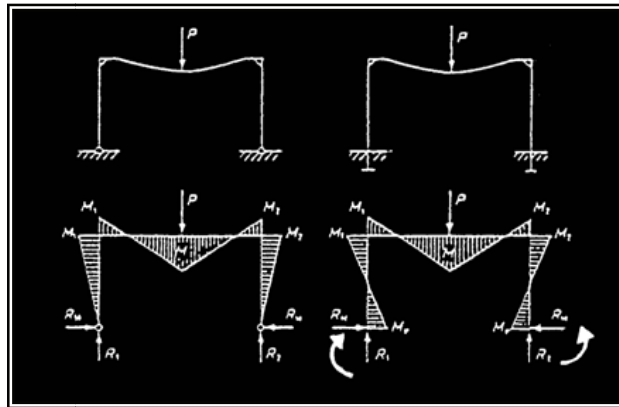


Figura 2.8 Columnas infinitamente rígidas.

Fuente: www.slideshare.net/oswaldodavid/sistemas-estructurales-3777418

En la realidad se presenta generalmente el caso intermedio entre los dos anteriores, en el que ni la viga ni las columnas pueden considerarse infinitamente rígidos, por lo cual las uniones giran un poco, según sea la relación de las rigideces de los elementos que concurren en la unión; con lo que la viga trabajará entre apoyada y empotrada, y las columnas con una flexión menor que en el caso

anterior en que considerábamos la viga como empotrada; como se indica en el siguiente esquema.

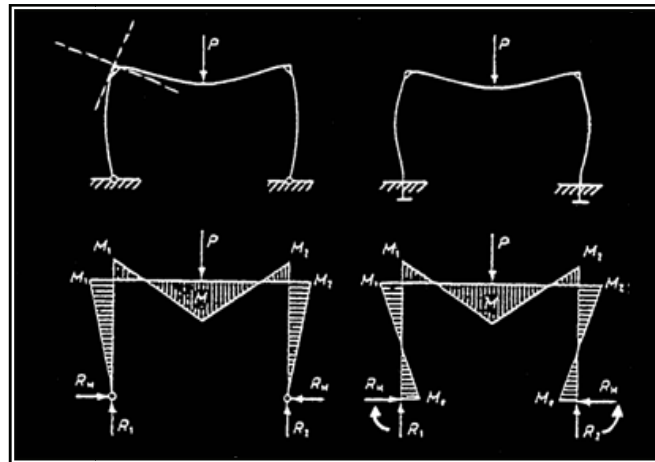


Figura 2.9 Vigas y columnas no infinitamente rígidas.

Fuente: www.slideshare.net/oswaldodavid/sistemas-estructurales-3777418

Si se calcula la viga como apoyada (máxima flexión en la viga) y las columnas como si la viga estuviese empotrada (máxima flexión en las columnas), las secciones necesarias en los elementos resultan excesivas. Para evitar esto el cálculo se realiza a partir de la relación de las rigideces de los elementos que concurren en una unión que se expresa mediante la rigidez relativa, ya que esta relación es la que determina la transmisión del momento.

En la práctica, para pórticos sencillos, las reacciones y los momentos flectores se obtienen a partir de tablas existentes en prontuarios; en función de:

- ❖ Tipo de pórtico.
- ❖ Tipo de cargas.
- ❖ Longitud de los elementos.
- ❖ Rigidez relativa

2.7 Clases de resistencias en los miembros⁵

- ❖ **Resistencia a la tracción.**- Un cuerpo está sometido a tracción cuando actúan sobre él dos fuerzas iguales y un sentido contrario y tienden a estirar las fibras internas del miembro, el efecto es de alargamiento. Se toman como magnitudes positivas para el cálculo algebraico.

- ❖ **Resistencia a la compresión.**- Un cuerpo está sometido a compresión cuando actúan sobre él dos fuerzas iguales y en sentido contrario, las fuerzas tienden a acortar las fibras internas del miembro, el efecto es de acortamiento. Se toman como magnitudes negativas para el cálculo.

- ❖ **Resistencia a la cortadura.**- Un cuerpo está sometido a cortadura cuando actúan sobre él dos fuerzas iguales, en sentido contrario, en planos paralelos y con muy poca separación.

- ❖ **Resistencia a la flexión.**- Un cuerpo está sometido a flexión cuando actúan sobre él dos fuerzas iguales con una separación, y otra en sentido contrario en el centro de las dos, igual a la suma de estas.

- ❖ **Resistencia a la tensión transversal.**- El alma de las vigas en carga está sometida a una tensión transversal o de desgarramiento, producida por las fuerzas contrarias de su parte superior e inferior.

- Resistencia a la torsión.**-Entendemos por torsión la deformación de un eje, producto de la acción de dos fuerzas paralelas con direcciones contrarias en sus extremos.

- ❖ **Resistencia al pandeo.**- Un cuerpo está solicitado a pandeo cuando está sometido a compresión siendo su longitud grande, y su sección transversal pequeña.

⁵. NONNAST, Robert. El proyectista de estructuras metálicas. 22^{va} Edición. Bases fundamentales. Resistencia de materiales.

2.8 Esfuerzos y deformaciones simples⁶

2.8.1 Deformaciones.- Son cambios de forma producidos por fuerzas externas que actúan sobre cuerpos rígidos.

Las deformaciones son longitudinales, un alargamiento del cuerpo (+) o un acortamiento (-), y angulares, un cambio de ángulo entre las caras.

2.8.2 Esfuerzo.- Es una fuerza interna distribuida; es la reacción mecánica interna del material que acompaña a una deformación. Los esfuerzos se presentan siempre en pares. Los esfuerzos son:

- Normal.
 - ❖ Esfuerzo de tracción (tensión) (+)
 - ❖ Esfuerzo de compresión (-)

- Tangencial o cortante.

Actúan tangencialmente a la superficie de contacto y no alteran la longitud de los lados del volumen elemental; modifican el ángulo formados por las caras y la longitud de la diagonal. Las intensidades de los esfuerzos cortantes son de igual magnitud sobre las cuatro caras de un elemento.

2.8.3 La elasticidad.- Es la capacidad de un material para recobrar sus dimensiones originales al cesar los esfuerzos que lo deformaron.

2.8.4 El límite elástico (S_p).- Es el límite del esfuerzo dentro del cual desaparece completamente la deformación después de la supresión del esfuerzo; es decir no queda deformación permanente alguna.

2.8.5 Módulo de elasticidad o módulo de Young.- Es la razón del incremento del esfuerzo unitario al incremento de la deformación unitaria dentro del límite elástico.

⁶ . MARKS, Manual del ingeniero mecánico, 9^a Edición, Mecánica de los materiales, Esfuerzos y deformaciones simples.

El módulo de elasticidad a la tracción o tensión, o módulo de Young, es:

$$E = \frac{\text{Esfuerzo unitario}}{\text{deformación unitaria}} \quad (2.3)$$

2.9 Esfuerzos de diseño

2.19.1 Introducción⁷

Si una parte de máquina va a transmitir con seguridad las cargas que actúan sobre ella, debe establecerse un esfuerzo máximo permisible, el esfuerzo de trabajo o, de preferencia, el esfuerzo de diseño. El esfuerzo de diseño no debe desperdiciar material, pero debe ser lo suficientemente grande para evitar la falla, en caso de que la carga sobrepase los valores esperados, o que otras condiciones inciertas reaccionen en forma desfavorable.

El esfuerzo de diseño se determina al dividir la propiedad aplicable del material y resistencia de fluencia, resistencia última, resistencia de fatiga entre un factor de seguridad. El factor debe seleccionarse sólo después de considerar totalmente todas las incertidumbres. Entre éstas están la incertidumbre con respecto a la magnitud y naturaleza de la carga operante, la confiabilidad del material de que está hecho el componente, las suposiciones que intervienen en las teorías utilizadas, el ambiente en que podría operar el equipo, el grado hasta el cual pudieran desarrollarse esfuerzos localizados y de fabricación, la incertidumbre acerca de causas de posibles fallas y el peligro para la vida humana en caso de la falla. Los factores de seguridad varían de una industria a otra, pues son el resultado de la experiencia acumulada con una clase de máquinas o un tipo de medio ambiente.

En general la ductilidad del material determina las propiedades en que debe basarse el factor. Los materiales que tienen una elongación (alargamiento) por arriba del 5% se consideran dúctiles. En estos casos, el factor de seguridad se basa en la resistencia de fluencia o en el límite de aguante.

Para materiales con elongación menor que 5%, debe usarse la resistencia última.

⁷. MARKS. Manual del ingeniero mecánico, 9ª Edición, Mecánica de los materiales, Esfuerzos de diseño.

2.9.2 Factor de seguridad⁸

El coeficiente de seguridad o factor de seguridad es un índice de la seguridad que cabe esperar de un determinado diseño desde el punto de vista resistente.

El factor de seguridad de un miembro estructural se define como la relación de la resistencia del miembro al máximo esfuerzo previsto. La resistencia de un elemento, utilizada para determinar el factor de seguridad debe considerarse como el esfuerzo último, pero es frecuente utilizar un valor un poco menor.

Por ejemplo, puede suponerse que la falla ocurra cuando los miembros se deforman excesivamente. Si tal es el caso, el factor de seguridad debe determinarse dividiendo el esfuerzo en el límite de fluencia, entre el máximo esfuerzo previsto.

Para materiales dúctiles, el factor de seguridad se basa en los esfuerzos en los puntos de fluencia, mientras que para materiales frágiles o vítreos, se basa en la resistencia a la ruptura.

La forma más usual de definir el coeficiente de seguridad de un diseño mecánico es una de las siguientes:

- ❖ Como cociente entre la resistencia del material (S_y) y la tensión realmente existente (σ):

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma} \quad (2.4)$$

- ❖ Como cociente entre la fuerza última o máxima para un funcionamiento correcto (F_u) y la fuerza realmente existente (F):

$$\eta = \frac{F_u}{F} \quad (2.5)$$

⁸ . http://www.emc.uji.es/d/mecapedia/coeficiente_de_seguridad.htm

En el proyecto de elementos mecánicos, existen dos alternativas para incluir un coeficiente de seguridad en el diseño:

- ❖ Aumentar las fuerzas realmente esperadas, multiplicándolas por el coeficiente de seguridad (coeficiente de seguridad de mayoración de carga).
- ❖ Minorar la resistencia realmente esperable del material, dividiéndola por el coeficiente de seguridad (coeficiente de seguridad de minoración de resistencia).

Las dos aproximaciones anteriores son equivalentes siempre que las tensiones mantengan la proporcionalidad con las cargas externas aplicadas, cosa que ocurre en la mayor parte de los problemas mecánicos, aunque no en todos.

Un valor del coeficiente de seguridad superior a la unidad indica seguridad ante el fallo, tanto mayor, cuanto más elevado sea su valor, mientras que un valor inferior a la unidad indica inseguridad o probabilidad elevada de que ocurra el fallo.

En función de la variabilidad de las cargas aplicadas y las propiedades del material, cada valor del coeficiente de seguridad se puede asociar a una probabilidad de fallo o de supervivencia de la pieza analizada.

La parte debe diseñarse para soportar una sobrecarga de diseño, algo más grande que la carga normalmente esperada.

La selección de un valor apropiado para el factor de seguridad se basa principalmente en los cinco factores siguientes:

1. Grado de incertidumbre de la carga.
2. Grado de incertidumbre en la resistencia del material.
3. Incertidumbres en relación con las cargas aplicadas con respecto a la resistencia del material.
4. Consecuencias de la falla.
5. Costo de un FS elevado.

2.10 Vigas

2.10.1 Introducción

Una viga es un miembro estructural esbelto, prismático por lo general, en el cual las dimensiones de una sección normal a su eje son pequeñas, comparada con la longitud de dicho eje. Las vigas son los elementos estructurales más comunes y su uso se extiende a edificios, puentes, máquinas y material de transporte.

La resistencia de los materiales es la determinación de las relaciones entre esfuerzos y las deformaciones producidas por las fuerzas que se aplican a un elemento o a una estructura.

El estudio de la flexión es más complejo debido a que los efectos de las fuerzas aplicadas son variables de una u otra sección de la viga. Estos efectos son de dos tipos claramente diferenciados, la fuerza cortante y el momento flexionante, al que a menudo se llama simplemente momento.

Estos dos efectos producen dos tipos distintos de esfuerzos en las secciones transversales de las vigas: (1) un esfuerzo normal, directamente proporcional al momento flexionante, y (2) un esfuerzo cortante que depende de la fuerza cortante.

2.10.2 Tipos de apoyos de las vigas

Las vigas pueden tener los cuatro tipos de apoyos siguientes:

- ❖ Apoyo rígido
- ❖ Apoyo móvil
- ❖ Apoyo articulado
- ❖ Apoyo empotrado

2.10.3 Tipos de vigas

2.10.3.1 Estáticamente determinadas

Sus reacciones pueden determinarse mediante la aplicación de las ecuaciones de equilibrio estático y estas pueden ser:

- Viga simplemente apoyada.
- Viga en voladizo o ménsula.
- Viga simplemente apoyada con dos voladizos.

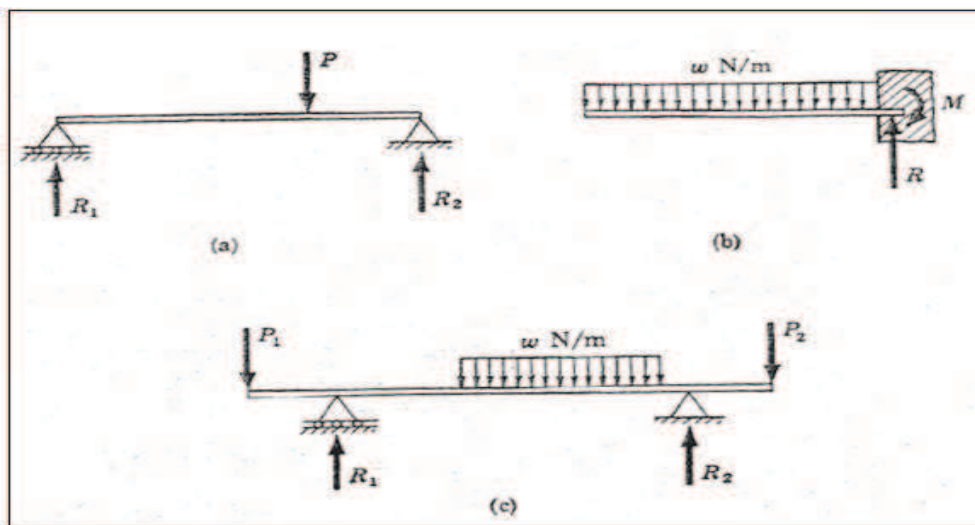


Figura 2.10 Vigas estáticamente determinadas.

Fuente: McCormac. Diseño de estructuras metálicas. 3ª Edición. Diseño de vigas. Tipos de vigas.

2.10.3.2 Estáticamente indeterminadas

Presentan otras condiciones de sujeción, como se observa en la figura; todas ellas tienen como mínimo una reacción más de las estrictamente necesarias para su sustentación, es decir, para impedir su movimiento como sólido rígido y son, por tanto, estáticamente indeterminadas o hiperestáticas.

- Viga empotrada-apoyada o ménsula con apoyo.
- Viga doblemente empotrada.
- Viga continua.

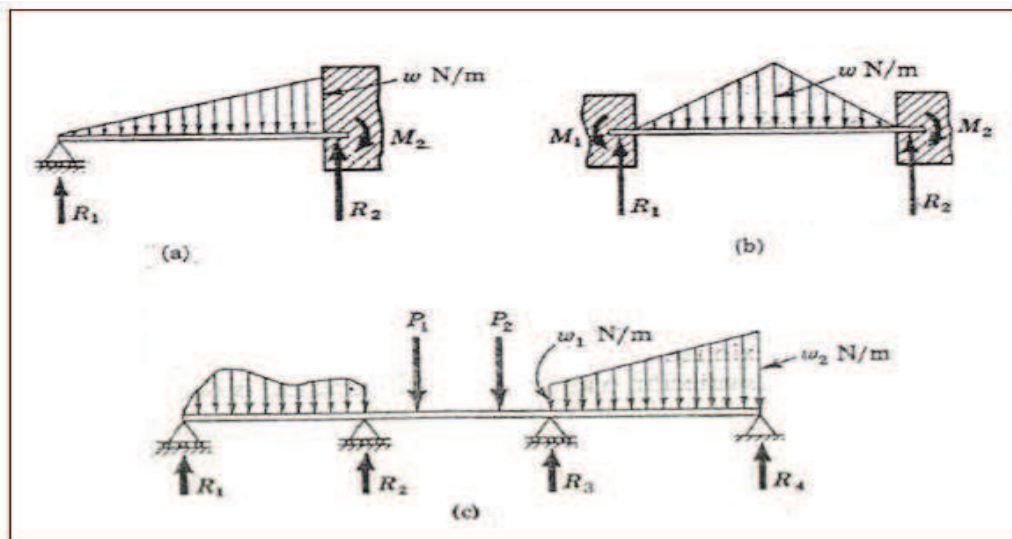


Figura 2.11 Vigas estáticamente indeterminadas.

Fuente: McCormac. Diseño de estructuras metálicas. 3ª Edición. Diseño de vigas. Tipos de vigas.

2.10.4 Principales cargas de las vigas

- ❖ **Carga concentrada o puntual.**- Es la que actúa en una longitud tan pequeña de la viga que puede suponerse que lo hace sobre un punto, como se observa en la figura 2.10 a.
- ❖ **Carga distribuida.**- Es la que actúa sobre una longitud finita de la viga. Puede ser uniformemente distribuida en toda su longitud, como se observa en la figura 2.11 b, o sobre una parte de ella, como en la figura 2.10 c.
- ❖ **Carga uniformemente variable.**- Su intensidad crece o decrece en una porción constante, como se ve en la figura 2.11 a y 2.11 b.

2.10.5 Reacciones

Son las fuerzas o los pares o ambos, que actúan en los apoyos y sostienen en su lugar la viga. En general, debe tomarse en cuenta el peso de la viga.

2.10.6 Fuerza cortante vertical ($V = F$).- El valor de la fuerza cortante es igual a la suma algebraica de todas las fuerzas que actúan, a la izquierda o derecha de la sección que se considera.

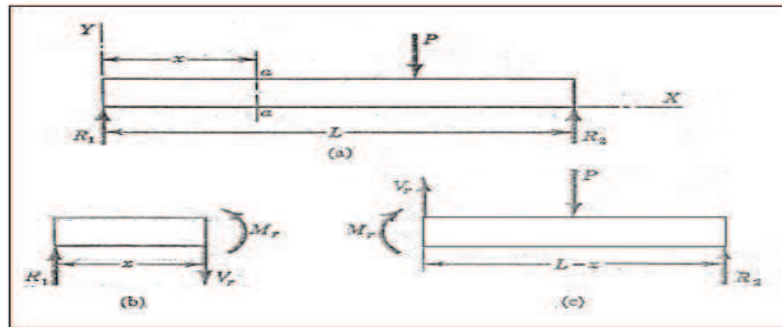


Figura 2.12 Equilibrio de partes de una viga a la izquierda y derecha de una sección a-a.
Fuente: McCormac. Diseño de estructuras metálicas. 3ª Edición. Diseño de vigas. Tipos de vigas.

2.10.7 Momento flexionante.- El momento flexionante es la suma de los momentos de todas las fuerzas que actúan en la porción de viga a la izquierda o a la derecha de una sección, respecto al eje perpendicular al plano de las fuerzas y que pasa por el centro de gravedad centroide de la sección considerada.

2.11 Columnas

2.11.1 Introducción⁹

Una columna es un elemento axial sometido a compresión, lo bastante delgado respecto de su longitud, para que bajo la acción de una carga gradualmente reciente se rompa por flexión lateral o pandeo ante una carga mucho menor que la necesaria para romperlo por aplastamiento.

Aunque no existe un límite perfectamente definido entre elemento corto y columna, se suele considerar que un elemento a compresión es una columna si su longitud es más de diez veces su dimensión transversal menor. Las columnas se suelen dividir en dos grupos: Largas e intermedias.

A veces, los elementos cortos a compresión se consideran como un tercer grupo de las columnas. Las diferencias entre los tres grupos vienen determinadas por su comportamiento. Las columnas largas se rompen por pandeo o flexión lateral; las intermedias, por una combinación de aplastamiento y pandeo, y los postes cortos, por aplastamiento.

⁹ . McCORMAC. Diseño de estructuras metálicas. 3ª Edición. Introducción a los miembros sujetos a compresión.

2.11.2 Propiedades de la sección transversal de la columna

La tendencia de una columna a pandearse depende de la forma y las dimensiones de su sección transversal, junto con su longitud y la manera en que se une a piezas o soportes adyacentes.

Las propiedades de la sección transversal importantes son:

- ❖ El área de la sección transversal, A .
- ❖ El momento de inercia de la sección transversal, I , respecto al eje alrededor del cual es mínimo el valor de I .
- ❖ El valor mínimo del radio de giro de la sección transversal, r .
- ❖ El radio de giro se calcula a partir de,

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (2.6)$$

Una columna tiende a pandearse alrededor del eje para el cual el radio de giro, al igual que el momento de inercia, son mínimos.

La columna de cualquier estructura que soporta una carga axial tiende a pandearse por el resultado de una inestabilidad elástica donde la columna no es lo suficientemente rígida para mantenerse recta bajo la acción de una carga.

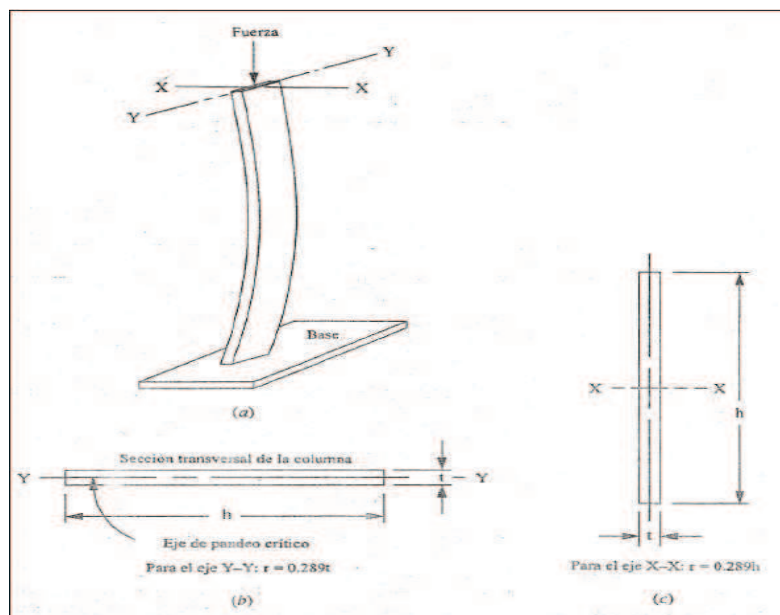


Figura 2.13 Pandeo de una columna delgada, rectangular.

Fuente: McCORMAC. Diseño de estructuras metálicas. 3ª Edición. Columna.

Mientras más larga es la columna para la misma sección transversal, mayor es su tendencia a pandear y menor es su capacidad de carga.

La tendencia al pandeo se ve también afectada por factores tales como tipos de conexiones de extremo, excentricidades en la aplicación de la carga, imperfecciones del material, torceduras iniciales, esfuerzos residuales de fabricación, etc.

La situación ideal ocurre cuando las cargas se aplican uniformemente a través de la columna, y cuando el centro de gravedad de las cargas coinciden con el centro de gravedad de la columna.

Si las cargas se centran perfectamente sobre la columna, se les llama cargas axiales o concéntricas. Pero en la práctica es dudoso que se encuentre una columna axialmente cargada en forma perfecta.

2.11.3 Fijación de la columna y longitud efectiva

El término empotramiento o fijación en un extremo indica la manera en que se apoya o sostiene los extremos de la columna.

Las formas de sujeción de las columnas más comunes son:

- ❖ Atornillada.
- ❖ Fija.
- ❖ Libre.

2.11.3.1 Extremo atornillado.- Se guía de manera que el extremo no pueda balancearse de un lado a otro, pero no ofrezca resistencia al giro del extremo.

2.11.3.2 Extremo fijo.- Es uno que se afianza en su soporte para que no gire. Por ejemplo una columna cilíndrica que se inserta en un casquillo o una camisa que se ajusta con firmeza el cual se sostiene con un soporte rígido.

2.11.3.3 Extremo libre.- Puede visualizarse mediante el ejemplo del mástil. El extremo superior de un mástil no está sujeto y carece de guía.

El valor de KL utilizado en la especificación de la AISC, es la longitud efectiva de la columna que se ha definido como la distancia entre los puntos de inflexión de la línea elástica de la columna. ¹⁰

La geometría de la columna deformada por pandeo se indica en línea de puntos	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valor teórico de K	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valor de K recomendado cuando la estructura se aproxima a las condiciones ideales	0,65	0,80	1,2	1,0	2,10	2,0
Referencia de las condiciones de los extremos		Rotación impedida, traslación impedida				
	Rotación libre, traslación impedida					
	Rotación impedida, traslación libre					
	Rotación libre, traslación libre					

Figura 2.14 Valores de K para longitud efectiva, $L_e = KL$.

Fuente: McCormac. Diseño de estructuras metálicas. 3ª Edición. Diseño de miembros sujetos a compresión.

La manera en que apoyan o sustentan ambos extremos de la columna afecta la longitud efectiva de la columna, que se define como:

$$L_e = KL \tag{2.7}$$

Donde L es la longitud real de la columna entre los soportes y K es una constante que depende de la fijación de los extremos, como se ilustra en la figura 2.14.

¹⁰ . McCORMAC. Diseño de estructuras metálicas. 3ª Edición. Introducción a los miembros sujetos a compresión.

2.12. Razón de delgadez

La razón de delgadez es la relación de la longitud efectiva de la columna con su radio de giro mínimo.

$$\text{Razón de delgadez} = \frac{Le}{r_{min}} = \frac{KL}{r_{min}} \quad (2.8)$$

2.12.1 Razón de transición de delgadez

Se utiliza para determinar de qué tipo de columna se trata: De columnas largas, se utilizará la fórmula de Euler; y, para las columnas cortas de J. B. Johnson.

La decisión sobre cual método utilizar depende del valor de la razón real de delgadez para la columna objeto de análisis en relación con la razón de transición de delgadez o constante de columna C_c que se define como:

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \pi^2 * E}{S_y}} \quad (2.9)$$

Donde E es el coeficiente o módulo de elasticidad del material con que está hecha la columna y S_y es la resistencia a punto cedente del material.

El valor de la constante de columna o valor de transición de delgadez, depende de las propiedades del material en cuanto a coeficiente o módulo de elasticidad y resistencia a punto cedente.

Para cualquier tipo de material, por ejemplo el acero, el coeficiente de elasticidad es casi constante. Por consiguiente, el valor de C_c varía en forma inversa como la raíz cuadrada de la resistencia a punto cedente.

2.12.2 Columna corta: Fórmula de Johnson

Cuando la razón de delgadez de una columna, KL/r , es menor que el valor de transición C_c , entonces es una columna corta y se debe utilizar la fórmula de Johnson.

La fórmula de J. B. Johnson se escribe de la manera siguiente:

$$Per = A * S_y * \left[1 - \frac{S_y * \left(\frac{L * K}{i} \right)^2}{4 \pi^2 * E} \right] \quad (2.10)$$

2.12.3 Formas eficientes para secciones transversales de columnas

Una forma eficiente es una que proporciona buen rendimiento con poca cantidad de material.

La forma de la sección transversal de la columna y sus dimensiones determinan el valor de radio de giro, r . A partir de la definición de razón de delgadez, KL/r , se puede observar que a medida que r se hace más grande, se hace más pequeña razón de delgadez.

En las ecuaciones de carga crítica, una razón de delgadez menor da como resultado una carga crítica más grande, la situación más deseable; por tanto, es minimizar el radio de giro para diseñar una sección transversal de columna eficiente.

Esto indica que para un área determinada de material debemos tratar de maximizar el momento de inercia para maximizar el radio de giro. Una forma con un momento de inercia alto, tiene su área distribuida lejos de su centroidal.

Las formas que tienen las características deseables que se describen incluyen tuberías y tubos circulares huecos, tubería cuadrada hueca y secciones fabricadas de columnas que se fabrican a partir de formas estructurales colocadas en los límites extremos de la sección.

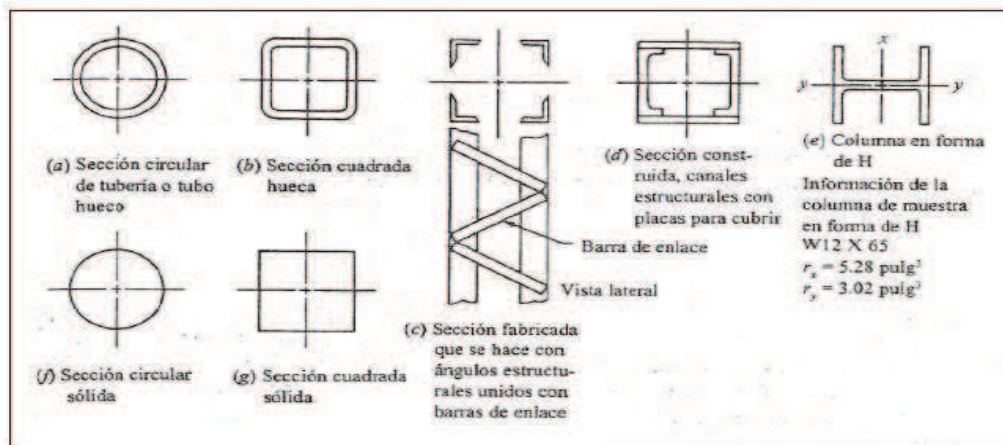


Figura 2.15 Secciones transversales de columnas.

Fuente: McCormac. Diseño de estructuras metálicas. 3ª Edición. Formas eficientes de columnas.

2.13 Rodamientos

2.13.1 Introducción¹¹

Elementos mecánicos que permiten el libre movimiento entre piezas fijas y móviles. Los cojinetes de antifricción son esenciales para la maquinaria: sostienen o guían sus piezas móviles y reducen al mínimo la fricción y el desgaste. La fricción consume energía inútilmente y el desgaste altera las dimensiones y el ajuste de las piezas hasta la inutilización de la máquina.

Cada tipo de rodamiento tiene propiedades características que lo hacen particularmente adecuado para ciertas aplicaciones. Sin embargo, no es posible establecer reglas rígidas para la selección del tipo de rodamiento, pues para ello se han de considerar diversos factores como los que se sugieren a continuación.

2.13.2 Espacio disponible.- Hay muchos casos en que al menos una de las dimensiones principales del rodamiento generalmente el diámetro del agujero viene determinada por las características de diseño de la máquina a la que va a trabajar.

¹¹. GRUPO SKF. Catálogo de rodamientos. Selección del tipo de rodamiento.

Normalmente se seleccionan rodamientos rígidos de bolas para eje de pequeño diámetro, mientras que para ejes de grandes diámetros se pueden considerar los rodamientos de rodillos cilíndricos y los de rodillos a rótula.

2.13.3 Cargas.- Este es el factor más importante para determinar el tamaño del rodamiento. En general los rodamientos de rodillos pueden soportar mayores cargas que los rodamientos de bolas, incluso cargas pesadas y ejes de grandes diámetros.

- ❖ **Cargas radiales.-** Rodamientos cilíndricos, rodamientos de agujas
- ❖ **Cargas axiales.-** Rodamientos de bolas

2.13.4 Precisión.- Se requieren de rodamientos de precisión mayor que al normal para ejes que hayan de funcionar con rigurosas exigencias de exactitud, por ejemplo para husillo de máquinas-herramienta y generalmente también para ejes que giren a velocidades muy elevadas.

2.13.5 Funcionamiento silencioso.- El ruido provocado por los rodamientos, en general pueden considerarse como muy débil.

2.13.6 Rigidez.- La deformación elástica de un rodamiento es muy pequeña y, en la mayoría de los casos, despreciable. Debido a la mayor superficie de contacto entre los elementos rodantes y los caminos de rodadura, los rodamientos de rodillos, son más rígidos que los rodamientos de bolas.

2.13.7 Desplazamiento axial.- La disposición normal de los cilindros en un eje u otro elemento de máquina consiste en un rodamiento posicionador o fijo y un rodamiento libre. Un rodamiento libre puede desplazarse axialmente evitando así un contraste recíproco entre los rodamientos.

2.13.8 Desalineación angular.- Cuando existe la posibilidad de desalineación del eje con respecto al soporte, se necesitan rodamientos capaces de absorber tal desalineación, es decir rodamientos de bolas a rótula, rodamientos de rodillos a rótula y rodamientos axiales de rodillos a rótula.

2.13.9 Velocidad.- La velocidad de rotación de un rodamiento viene limitada por la temperatura máxima de funcionamiento permisible. Los rodamientos de bajo rozamiento dan lugar a una escasa generación de calor interna y son los más adecuados para altas velocidades de rotación. Se pueden obtener las máximas velocidades de rotación empleando rodamiento de cargas radiales.

2.13.10 Selección de cojinetes de rodillos cónicos¹²

La nomenclatura de los cojinetes de rodillos cónicos difiere en algunos aspectos de la de los cojinetes de bolas y de rodillos cilíndricos. Al anillo o aro interior se le llama cono y al anillo o aro exterior se denomina copa, como se indica en la figura 2.16.

También puede verse que estos cojinetes son separables, es decir, que la copa puede separarse del conjunto de cono y rodillos.

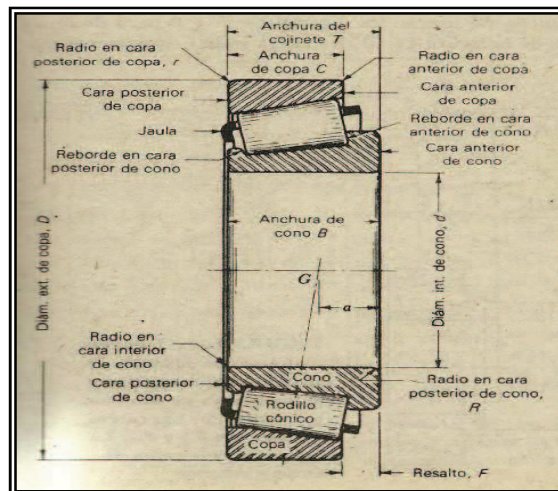


Figura 2.16 Nomenclatura de rodamientos cónicos.

Fuente: SHIGLEY, Joseph. Diseño en ingeniería mecánica. 4ª edición. Selección de cojinetes de rodillos cónicos.

Un cojinete de rodillos cónicos puede soportar cargas radiales como de empuje (axiales) o cualquier combinación de las dos. Sin embargo, aun cuando no actué ninguna externa de empuje, la carga radial inducirá una reacción de empuje dentro del cojinete a causa de la conicidad.

¹² . SHIGLEY, Joseph. Diseño en ingeniería mecánica, 4ª edición, Selección de cojinetes de rodillos cónicos.

Para evitar la separación de entre pistas y rodillos este empuje tiene que resistirlo otra fuerza axial de igual magnitud y de sentido contrario. Una forma de generar esta fuerza es usar siempre, por lo menos, dos cojinetes de rodillos cónicos en un mismo eje. Estos pueden instalarse con sus partes traseras opuestas frente a frente, en cuyo caso se dice que están en montaje indirecto, o con sus frentes o partes delanteras frente a frente, o sea, en montaje directo.

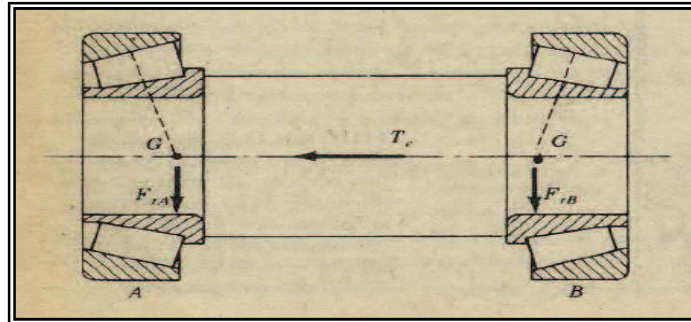


Figura 2.17 Posiciones ideales de rodamientos cónicos en un eje.

Fuente: SHIGLEY, Joseph. Diseño en ingeniería mecánica. 4ª edición. Selección de cojinetes de rodillos cónicos.

Tabla N2.2.- Dimensiones y capacidad básica de carga de cojinetes de rodillos cilíndricos.

DI, mm	Serie 0-2			Serie 0-3		
	DE, mm	Ancho, mm	Capac., kN	DE, mm	Ancho, mm	Capac., kN
25	52	15	10.9	62	17	23.1
30	62	16	18.0	72	19	30.3
35	72	17	26.0	80	21	39.2
40	80	18	34.0	90	23	46.3
45	85	19	35.6	100	25	63.6
50	90	20	36.9	110	27	75.7
55	100	21	45.4	120	29	92.6
60	110	22	55.6	130	31	103.0
65	120	23	65.0	140	33	116.0
70	125	24	65.8	150	35	136.0
75	130	25	80.1	160	37	162.0
80	140	26	87.2	170	39	163.0
85	150	28	99.7	180	41	196.0
90	160	30	126.0	190	43	211.0
95	170	32	140.0	200	45	240.0
100	180	34	154.0	215	47	274.0
110	200	38	205.0	240	50	352.0
120	215	40	220.0	260	55	416.0
130	230	40	239.0	280	58	489.0
140	250	42	280.0	300	62	538.0

Fuente: SHIGLEY, Joseph. Diseño en ingeniería mecánica. 4ª edición. Selección de cojinetes de rodillos cónicos.

2.14 Acero estructural

2.14.1 Introducción ¹³

El acero es una aleación de hierro y carbono, manganeso y uno o más elementos significativos. El carbón sufre un efecto considerable en la resistencia, dureza y ductilidad de cualquier acero con aleaciones. Los otros elementos afectan su capacidad de endurecimiento, su dureza, resistencia a la corrosión, maquinabilidad y conservación de la resistencia a altas temperaturas. Los elementos principales de aleación presentes en los distintos tipos de aceros con aleaciones son el azufre, fósforo, silicio, níquel, cromo, molibdeno y vanadio.

Los aceros que se utilizan en las estructuras de ingeniería civil son principalmente aceros de bajo carbono simples y aceros de bajo carbono de baja aleación. En los segundos las adiciones de aleantes tienen el propósito específico de aumentar la resistencia a la corrosión o la resistencia mecánica.

Los aceros de bajo carbono simples se conocen comúnmente como aceros dulces. Los aceros de esta clase son los materiales que se utilizan en las industrias de construcción. Pueden emplearse en forma de varillas, placas y tiras, así como diversos perfiles estructurales. Por esta razón se los describe como aceros estructurales, y son en su mayoría aceros laminados en caliente. Además, se utilizan barras o planchas de acero de bajo carbono, laminadas en frío y recocidas.

2.14.2 Sistemas de designación

Tres organizaciones nacionales, el American Iron and Steel Institute, AISI (Instituto Estadounidense del Hierro y el Acero), la Society of Automotive Engineers, SAE (Sociedad Estadounidense de Ingenieros Automotrices) y la American Society for Testing and Materials, ASTM (Sociedad estadounidense de Pruebas y Materiales), han desarrollado sistemas uniformes para designar los aceros que se emplean en aplicaciones estructurales y de maquinaria.

¹³ . Pat L. MAnonon, PhD, P.E.;Fasm,Ciencias de los materiales, Selección y diseño, Selección de materiales ferrosos.

Para la mayor parte de los aceros al carbón y con aleaciones, los sistemas AISI y SAE utilizan designaciones de cuatro dígitos en las que los últimos dos dígitos indican la cantidad de carbón que contiene el acero, los dos primeros señalan el grupo específico de aleación, que identifica los elementos de aleación más importantes distintos al carbón.

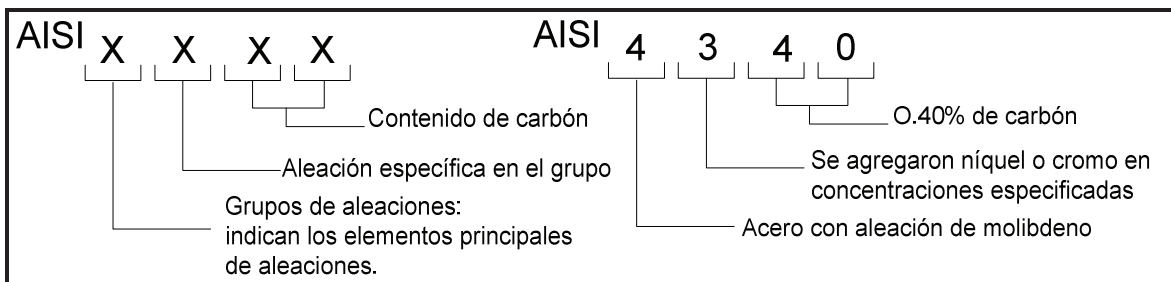


Figura 2.18 Sistema de designación AISI.

Fuente: MOTT, Robert. Diseño de elementos de máquinas. Acero al carbón.

2.14.3 Aceros estructurales al carbono

Los aceros con carbono difieren de los aceros de aleación y de baja aleación en que el carbono y el manganeso son los principales elementos de refuerzo.

Los aceros con carbono contienen, 1.65% Mn, 0.60% Si Y 0.60% Cu. Si se incrementa el porcentaje de carbono se eleva el esfuerzo de fluencia y la dureza, pero se reduce la ductilidad y se afecta de manera adversa la propiedad de soldabilidad.

Los aceros con carbono tienen las siguientes deficiencias: 1) baja resistencia a la fluencia; 2) poca resistencia a la corrosión atmosférica, y 3) poca ductilidad de muesca, ya que se vuelven quebradizos a temperaturas ligeramente por debajo de las del medio ambiente.

Los aceros con carbono pueden subdividirse en cuatro categorías basadas en el contenido de carbono: aceros con bajo carbono (menos de 0.15% C); aceros dulces ((0.15% a 0.29% C); aceros al medio carbono (0.30% a 0.59% C); y aceros al alto carbono (0.60% a 1.7% C). Los aceros estructurales con carbono quedan en la categoría de los aceros dulces.

Especificaciones de la ASTM para placas de acero al carbono de calidad estructural.	
Especificación	Tipo de acero y condición
<i>Acero al carbono</i>	
A36	Placas, varillas y perfiles de acero al carbono
A131	Placas, varillas, perfiles y remaches para barcos de acero al carbono y BAAR (HSLA)
A283	Placas de acero al carbono de resistencia a la tensión baja o intermedia
A284	Placas de acero al carbono-silicio de esfuerzo máximo de fluencia baja o intermedia para piezas de máquina y construcción en general
A440	Placas, varillas y perfiles de acero al carbono de alto esfuerzo máximo de fluencia
A529	Placas, varillas, perfiles y tablestacado de acero al carbono con un esfuerzo de fluencia mínimo de 290 MPa (42 ksi)
A573	Placas de acero al carbono para aplicaciones que requieren tenacidad a temperaturas atmosféricas
A678	Placas de acero al carbono templadas y revenidas
A709	Placas, varillas y perfiles de acero al carbono, de aleantes y BAAR (HSLA) para puentes

Figura 2.19 Especificaciones de la ASTM para placas de acero al carbono.

Fuente: Pat L, MAnonon. Ciencias de los materiales. Selección de materiales ferrosos.

2.14.4 Acero estructural ASTM A-36

Es el acero estructural básico, el más comúnmente utilizado, los puentes edificios se construyen con acero estructural al carbono. Tiene un contenido máximo de carbono, que varía entre 0.25% y 0.29%, dependiendo del espesor. Este acero tiene un punto mínimo de fluencia de 248 MPa (36000 lb/pulg). Debido a su composición controlada, el acero A36 es fácil de soldarse y proporciona importantes ahorros en el aspecto económico de las construcciones de acero. Los aceros estructurales al carbono se encuentran en las formas de placas, perfiles, pilotes, barras y varilla, todos del tipo laminado en caliente. Se suministra una resistencia uniforme en una amplia gama de espesores de sección, con el ajuste de la cantidad de carbono, manganeso y silicio en el acero A-36.

Especificaciones, calidades y composición de los aceros estructurales comunes.									
ESPEC. DE LA ASTM	Calidad	Especificación para	Composición química, % en peso			E.F., Ksi mín (MPa)	E.M.F., Ksi mín (MPa)	Razón E.F./E.M.F.	% de elongación en 2" (8")
			C, máx	Mn	Otros				
A36/ A36M-93a	Placas hasta 3/4"	Aplicaciones generales	0.25	<1.0	0.40% Si, máx 0.20% Cu	36 (250)	58-80 (400-550)	0.45-0.62	23(20)
	3/4"-1 1/2"		0.25	0.80-1.20	0.40% Si, máx 0.20% Cu				
	más de 4"		0.29	0.85-1.20	0.15-40% Si 0.20% Cu				

Figura 2.20 Especificaciones acero ASTM A-36.

Fuente: Pat L, MAnonon. Ciencias de los materiales. Selección de materiales ferrosos.

2.14.5 Propiedades del acero estructural¹⁴

2.14.5.1 Resistencia a la fluencia

Se define como el esfuerzo que deja al material con una deformación permanente establecida. La resistencia a la fluencia se establece mediante el método de la desviación, en el cual se dibuja una línea paralela a la tangente inicial de la curva esfuerzo-deformación, a través del punto de la abscisa correspondiente a la deformación permanente especificada o deformación de desviación.

2.14.5.2 Ductilidad

La ductilidad es la capacidad de un material para ser sometido a gran deformación sin quebrarse.

2.14.5.3 Relación esfuerzo – deformación del acero

La deformación que ocurre antes del punto de fluencia, se conoce como deformación elástica; la deformación que ocurre después del punto de fluencia, sin incremento en el esfuerzo se conoce como deformación plástica.

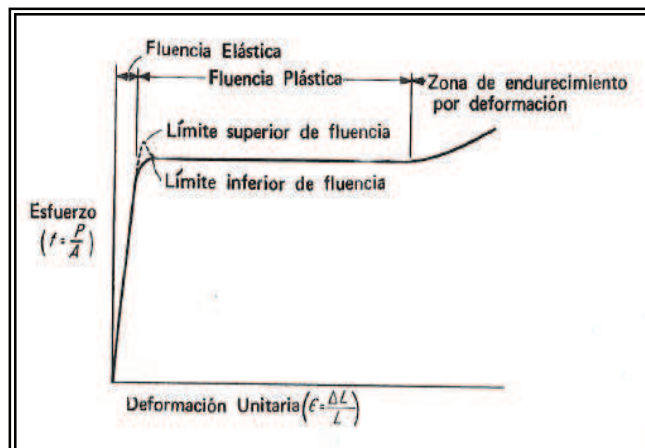


Figura 2.21 Diagrama típico esfuerzo – deformación para el acero estructural laminado.
Fuente: McCORMAC. Diseño de estructuras metálicas. 3ª Edición. Propiedades del acero estructural.

¹⁴ .McCORMAC. Diseño de estructuras metálicas. 3ª Edición. Propiedades del acero estructural.

Una propiedad muy importante de una estructura que no haya sido cargada más allá de su punto de fluencia, es que recuperará su longitud original cuando se le retire la carga. Si se hubiere llevado más allá de este punto, sólo alcanzaría a recuperar parte de su dimensión original. Este conocimiento conduce a la posibilidad de probar una estructura existente mediante carga, descarga y medición de deflexiones. Si después de que las cargas se han retirado, la estructura no recobra sus dimensiones originales, es porque se ha visto sometida a esfuerzos mayores que su punto de fluencia.

2.15 Perfiles de acero

2.15.1 Introducción ¹⁵

Son perfiles de acero laminado en caliente, empleados principalmente en estructuras de ingeniería civil. Según sea la sección transversal, se denomina como perfiles I, C, L o T y placas, barras, barras circulares y HSS.

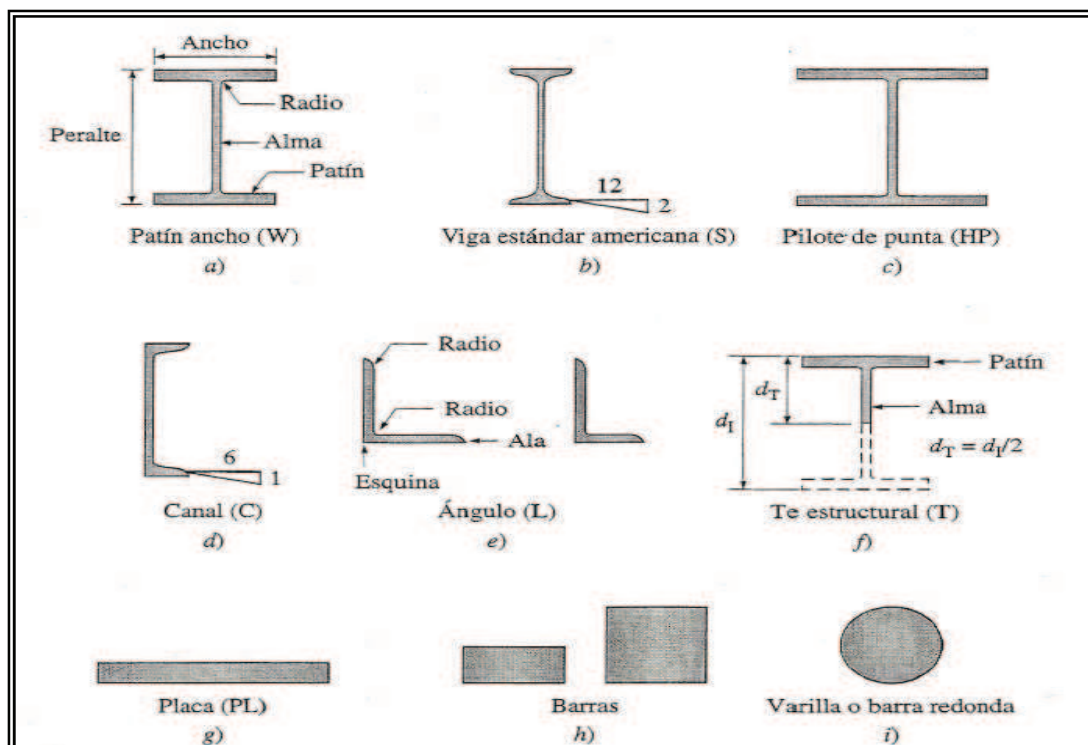


Figura 2.22 Secciones laminadas en caliente abiertas.

Fuente: VINNAKOTA, S. Estructuras de acero comportamiento y LRFD. Secciones de acero.

¹⁵ . VINNAKOTA, S. Estructuras de acero comportamiento y LRFD, Secciones de acero laminado.

2.15.2 Secciones estructurales huecas (HSS) y tubos circulares (P)

Las secciones estructurales huecas (HSS) y los tubos circulares (P) pueden dividirse en dos categorías: soldadas o sin costura.

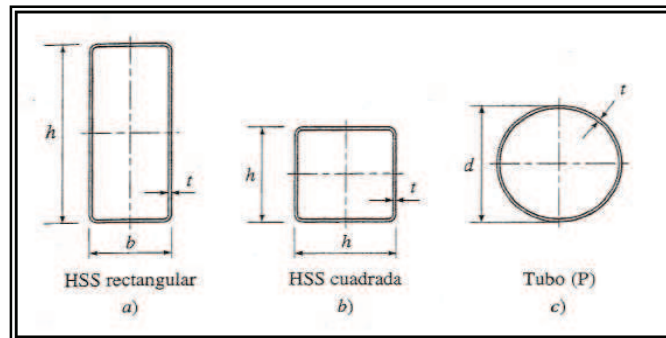


Figura 2.23 Secciones estructurales huecas laminadas en caliente.

Fuente: VINNAKOTA, S. Estructuras de acero comportamiento y LRFD. Secciones de acero.

Los tubulares cuadrados y rectangulares, no habían sido usados como columnas sino hasta fechas recientes. De hecho, por muchos años solo unas cuantas laminadoras fabricaban tubulares de acero para usos estructurales, es probable que la razón principal por la que los tubulares no se usaron anteriormente sea la dificultad que presentan para realizar las conexiones con remaches o tornillos; sin embargo, este problema ya ha sido eliminado, con el advenimiento de la soldadura.

Características de los tubos estructurales:

1. El miembro sujeto a compresión más eficiente es aquel que tiene su radio de giro constante con respecto a cualquier eje que pase por su centroide, que es una propiedad que se aprovecha en tubulares redondos. Los tubulares cuadrados como miembros sujetos a compresión le siguen en eficiencia.
2. Sus superficies lisas permiten pintarlos más fácilmente.
3. Tienen excelente resistencia a la torsión.
4. Las superficies de los tubulares son bastante atractivas.

Una cierta desventaja que cabe señalarla, es que en ciertos casos los extremos de los tubulares deben sellarse para proteger de la corrosión sus superficies interiores por inaccesibles.

Usados como vigas expuestas presentan aspectos muy atractivos pero tienen la desventaja definitiva de su peso en comparación con los perfiles usuales de vigas laminadas. Su módulo de sección máximo es considerablemente menor que el correspondiente a perfiles laminados del mismo peso por unidad de longitud.

2.16 Soldadura

2.16.1 Introducción¹⁶

La soldadura es un proceso de unión entre metales por la acción del calor, con o sin aportación de material metálico nuevo, dando continuidad a los elementos unidos.

2.16.2 Soldadura por arco eléctrico

La soldadura de arco o soldadura eléctrica es el proceso de más amplia aceptación como el mejor, el más económico, el más natural y el más práctico para unir metales.

En la actualidad, la soldadura eléctrica resulta indispensable para un gran número de industrias. Es un sistema de reducido coste, de fácil y rápida utilización, resultados perfectos y aplicables a toda clase de metales. Puede ser muy variado el proceso.

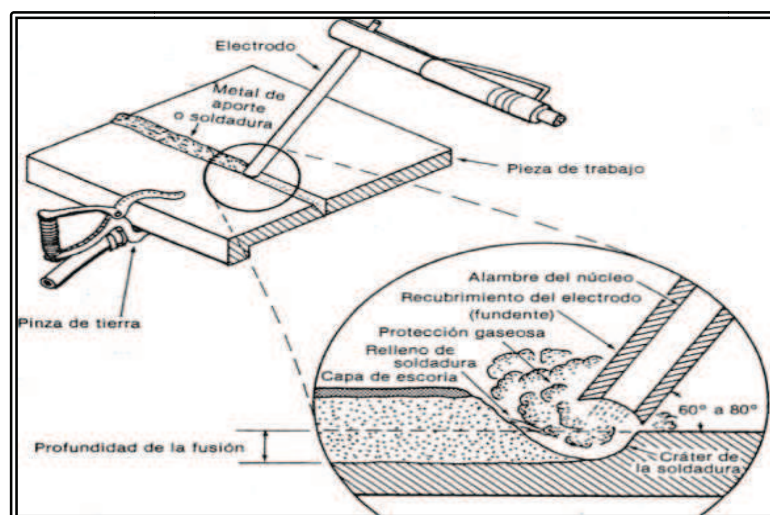


Figura 2.24 Proceso de soldadura por arco

Fuente: HORWITZ. Manual de soldadura. Aplicaciones y Práctica. Introducción a la soldadura.

El procedimiento de soldadura por arco consiste en provocar la fusión de los bordes que se desea soldar mediante el calor intenso desarrollado por un arco

¹⁶ . Fuente: HORWITZ. Manual de soldadura. Aplicaciones y Práctica. Introducción a la soldadura.

eléctrico. Los bordes en fusión de las piezas y el material fundido que se separa del electrodo se mezclan íntimamente, formando, al enfriarse, una pieza única, resistente y homogénea.

Al ponerse en contacto los polos opuestos de un generador se establece una corriente eléctrica de gran intensidad. Si se suministra la intensidad necesaria, la sección de contacto entre ambos polos por ser la de mayor resistencia eléctrica se pone incandescente. Esto puede provocar la ionización de la atmósfera que rodea a la zona de contacto y que el aire se vuelva conductor, de modo que al separar los polos el paso de corriente eléctrica se mantenga de uno a otro a través del aire.

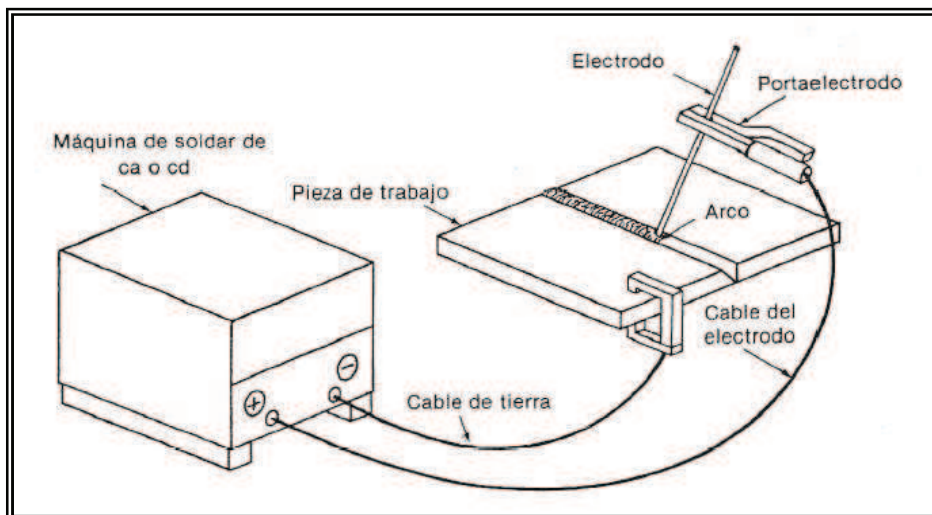


Figura 2.25 Disposición de elementos para soldadura de arco.

Fuente: HORWITZ. Manual de soldadura. Aplicaciones y Práctica. Introducción a la soldadura.

Antes de iniciar el trabajo de soldadura se deben fijar las piezas sobre una mesa o banco de trabajo, de manera que permanezcan inmóviles a lo largo de todo el proceso. El electrodo ha de mantenerse siempre inclinado, formando un ángulo de 15° aproximadamente sobre el plano horizontal de la pieza, y comunicar un movimiento lento en zigzag de poca amplitud, para asegurar una distribución uniforme del metal que se va desprendiendo del electrodo.

2.16.3 Tipo de energía en soldadura por arco

La soldadura por arco eléctrico puede realizarse empleando corriente continua o alterna. La tensión más ventajosa en corriente continua es de 25 a 30 voltios, pero para cebar el arco al comenzar la tensión ha de ser de 70 a 100 voltios; por este motivo, es necesario intercalar una resistencia en serie que haga de regulador.

La intensidad de corriente está comprendida entre 30 y 300 amperios, según la amplitud y la profundidad de la soldadura que se vaya a realizar.

2.16.4 Tipos de soldaduras y de juntas soldadas

Las juntas soldadas, independientemente del proceso de unión, se diseñan principalmente por la resistencia y seguridad que requieren los servicios a los que se les va a destinar.

2.16.5 Tipos de soldaduras

Uno de los aspectos del diseño de juntas es el correspondiente al tipo de soldadura que se utiliza en la junta.

Existen cinco tipos básicos de soldadura: la de cordón, la ondeada, la de filete, la de tapón, y la de ranura.

2.16.5.1 Cordón.- Se hacen en una sola pasada, con el metal de aporte sin movimiento hacia uno u otro lado.

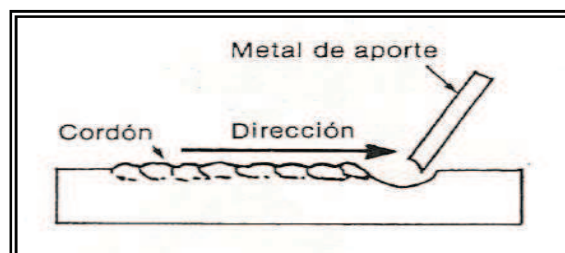


Figura 2.26 Soldadura de cordón.

Fuente: HORWITZ. Manual de soldadura. Aplicaciones y Práctica. Tipos de soldaduras.

2.16.5.2 Ondeadas.- Se logran haciendo un cordón con algo de movimiento hacia uno y otro lado. Entre estas soldaduras hay también varios tipos.

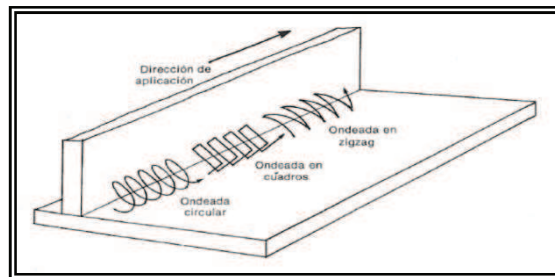


Figura 2.27 Movimientos de la soldadura ondeada.

Fuente: HORWITZ. Manual de soldadura. Aplicaciones y Práctica. Tipos de soldaduras.

2.16.5.3 Filete.- En teoría tienen una sección transversal triangular y unen dos superficies aproximadamente en ángulos rectos, formados por el traslape o intersección de partes de miembros estructurales. Por ello, se pueden encontrar en uniones traslapadas, en T y de esquina.

Las soldaduras de filete son las utilizadas con mayor frecuencia, en particular para cargas ligeras, además son las más económicas, ya que se requiere de poca preparación del material de la placa.

Las soldaduras de filetes cóncavos tienen su máxima eficacia cuando la dirección del esfuerzo es transversal a la junta.

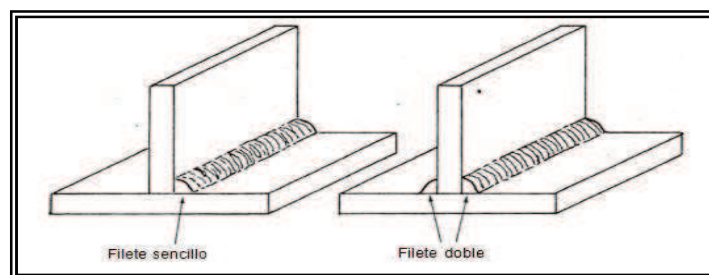


Figura 2.28 Soldaduras de filete sencillo y de filete doble.

Fuente: HORWITZ. Manual de soldadura. Aplicaciones y Práctica. Tipos de soldaduras.

2.16.6 Tipos de juntas

Existen cinco estilos básicos de juntas: la junta a traslape, la junta a tope, la de esquina, la de brida y la junta en T.

2.16.6.1 Juntas a traslape.- Están formadas en esencia por dos piezas de metal solapadas o traslapadas, que se unen por fusión mediante soldadura de puntos, de filete, de tapón o de agujero alargado. La soldadura de una junta a tope está comprendida entre los planos de las superficies de las dos partes.

2.16.6.2 Junta a tope.- Pueden ser simples, escuadradas, biseladas, en V, de ranuras de una sola J, de ranura de una sola U, o dobles.

2.16.6.3 Juntas de esquina.- Son lo que implica su nombre: soldaduras hechas entre dos partes situadas a un ángulo de 90 grados. Estas pueden ser de medio traslape, de esquina a esquina, o de inserción completa, y pueden prepararse para formar un solo bisel, una sola V, o ranuras de una sola U.

2.16.6.4 Juntas de brida.- O juntas de orilla, resultan de la fusión de la superficie adyacente de cada parte, de manera que la soldadura quede dentro de los planos superficiales de ambas partes. Estas pueden ser de una sola brida o de doble brida.

2.16.6.5 Juntas en T.- Son precisamente lo que su nombre indica, pero también pueden ser de un solo bisel, de doble bisel, de una sola J y de doble J. Los efectos del ajuste deficiente debidos a la deformación y al agrietamiento.

2.16.7 Posiciones estándar para soldar

Un soldador debe estar preparado para hacerlas en cualquiera de las posiciones usuales de soldar: plana, horizontal, vertical y hacia arriba.

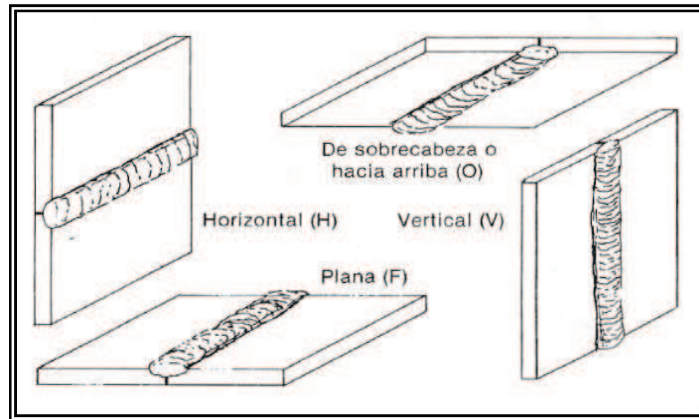


Figura 2.29 Las cuatro posiciones estándar para soldar.

Fuente: HORWITZ. Manual de soldadura. Aplicaciones y Práctica. Tipos de juntas.

La posición plana es por supuesto, la más fácil. El metal fundido se mantiene en posición (hasta que comienza a solidificarse) por la fuerza de la gravedad. Esta posición permite también lograr los máximos regímenes de depósito. La siguiente, en cuanto a facilidad de aplicación, es la soldadura horizontal, en la cual la fuerza de la gravedad ayuda también en cierto grado.

A la soldadura que se efectúa en posiciones diferentes a la plana (y en ocasiones a la horizontal) se le llama soldadura hecha fuera de posición y requiere con frecuencia la aplicación de técnicas manipulativas.

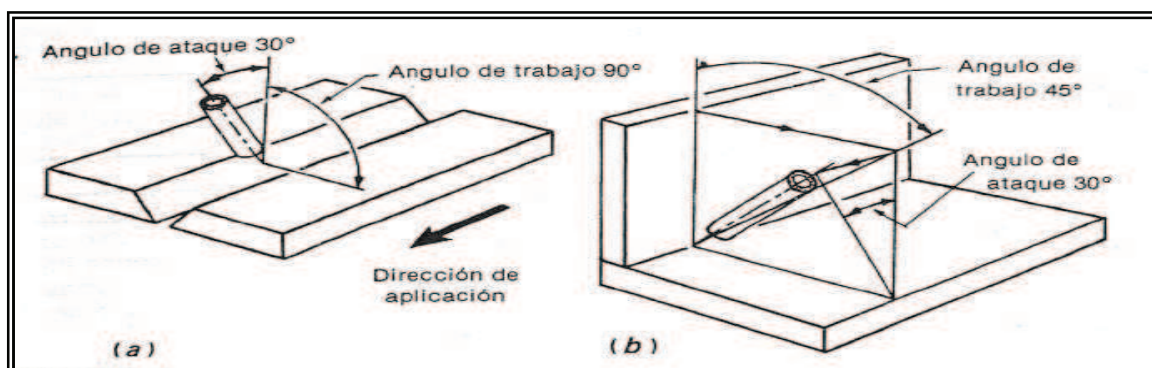


Figura 2.30 Posición del electrodo para soldadura de arco.

Fuente: HORWITZ. Manual de soldadura. Aplicaciones y Práctica. Posiciones del electrodo.

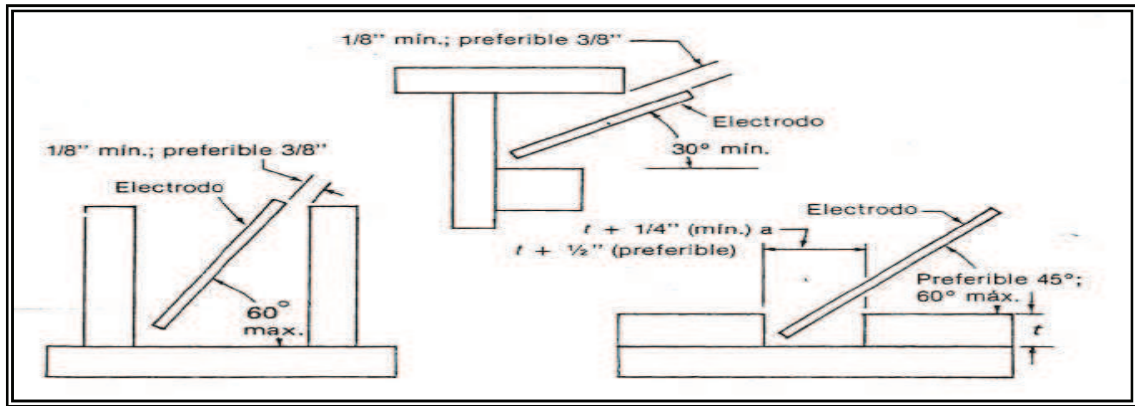


Figura 2.31 Holguras usuales para el electrodo.

Fuente: HORWITZ. Manual de soldadura. Aplicaciones y Práctica. Posiciones del electrodo.

2.17 Identificación AWS – ASTM de electrodos de acero al carbono

Esta clasificación está formada por una serie de cuatro o cinco dígitos que lleva como prefijo la letra E.

E.- Indica que se emplea en soldadura por arco eléctrico.

Los primeros 2 números en el símbolo multiplicados por 1000, dan la resistencia mínima a la tensión del metal depositado. Por ejemplo los electrodos de la serie 60 tienen una resistencia mínima de 60,000 libras por pulgada cuadrada (4,222kg por cm²); en la serie 70, una resistencia de 70,000 libras por pulgada cuadrada (4,925 kg por cm²).

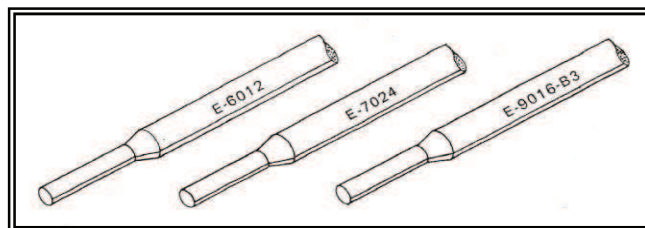


Figura 2.32 Marcas de identificación de los electrodos AWS – ASTM.

Fuente: HORWITZ. Manual de soldadura. Aplicaciones y Práctica. Identificación de electrodos.

El tercer número del símbolo indica las posibles posiciones para soldar. Se usan tres números para este propósito: 1, 2 y 3. El número 1 es para un electrodo que puede ser utilizado en cualquier posición. El número 2 representa un electrodo

restringido para soldadura en posiciones horizontal y plana. El número 3 representa un electrodo para uso en la posición plana.

El cuarto número del símbolo muestra alguna característica especial del electrodo, por ejemplo, la calidad de soldadura, tipo de corriente, y cantidad de penetración, presencia de polvo de hierro en el recubrimiento.

DIGITO	SIGNIFICADO	EJEMPLO
Primeros dos o primeros tres	Resistencia mínima a la tensión (alivio de esfuerzos)	E-60XX = 60,000 lb/pulg. ² (mín.) E-110XX = 110,000 lb/pulg. ² (mín.)
Anterior al último	Posición de aplicación	E-XX1X = todas las posiciones E-XX2X = horizontal y E-XX3X = plana
Ultimo	Tipo de energía, tipo de escoria, tipo de arco, magnitud de la penetración, presencia de polvo de hierro en el recubrimiento	

Figura 2.33 Identificación de electrodos de acero al carbono.

Fuente: HORWITZ. Manual de soldadura. Aplicaciones y Práctica. Identificación de electrodos.

2.18 Prácticas de seguridad para soldadura con arco

Deben observarse las siguientes reglas de seguridad.

1. Compruebe que el área de soldar tenga un piso de cemento o de mampostería y que este seco, nunca trabaje área húmeda o piso mojado.
2. Guarde todo material combustible a una distancia prudente.
3. Siempre compruebe que su máquina este correctamente conectada a la tierra.
4. Nunca deje que los cables de suministro de energía de las máquinas soldadoras portátiles se enreden con los cables de soldar, ni que queden lo suficientemente cerca de la operación de soldadura como para que su aislamiento pueda dañarse por chispas o por metal caliente.
5. Mantenga siempre las terminales de soldadura y los cables primarios de alimentación de energía fuera de escaleras, pasillos o puertas.
6. Mantenga siempre los cables de soldar limpios de grasa y aceite.

7. Nunca deje que los cables de soldar queden asentados en agua, en tierra, en zanjas o en fondos de tanques.
8. Nunca cambie el interruptor de polaridad estando la máquina bajo carga. Espere hasta que quede trabajando en vacío la máquina y se abra el circuito. De lo contrario puede quemarse la superficie de contacto del interruptor, y el arqueo resultante puede causar lesiones al soldador.
9. Nunca sobrecargue un cable de soldadura.
10. Apague siempre la máquina de soldar cuando la vaya a dejar por un periodo de tiempo prolongado (para ir al sanitario, a tomar la comida, al terminar el día de trabajo, etc.).

2.19 Equipo de protección para soldadores

- ✓ Siempre use gafas con vidrios filtros filtrantes adecuados cuando trabaje con soplete.
- ✓ Al soldar con arco use también un protector del calor o un casco con lentes filtrantes adecuados.
- ✓ Use gafas contra llama, con protectores laterales, y unos lentes apropiados en todo momento, aun cuando este ajustando los controles.
- ✓ Las gafas y los cascos protegen los ojos de las chispas y fragmentos de escoria volantes, así como también de luz intensa y los rayos perjudiciales de la llama del arco. También ayudan a ver mejor la pieza de trabajo.
- ✓ Use guantes y mandiles de cuero, así como zapatos adecuados y demás ropa de protección.
- ✓ Mantenga seco y libre de aceite el equipo de protección, y tenga cuidado de que su ropa no se enaceite, de que sus bolsillos no contengan cerillos ni encendedores para cigarrillos, y de que sus puños no estén abiertos y listos para recibir chispas o escoria.

2.20 Proceso de corte y preparación de bordes¹⁷

Los procesos de corte y preparación de bordes son las primeras tareas a realizar en los procesos de soldeo. Dentro del conjunto de los procesos de soldeo, estas operaciones, que no son en sí el propio proceso, tienen un especial interés, pues son vitales para el logro de unos buenos resultados en las operaciones posteriores.

Parámetros tan importantes como las impurezas e inclusiones en los bordes a soldar, las deformaciones post soldadura, la aparición de defectos, entre otros, viene condicionados en muchas ocasiones por los procesos de corte y preparación de bordes aplicados.

2.20.1 Aserrado

Es el proceso de corte en el cual se genera una hendidura en la pieza de trabajo con una herramienta que tiene una serie de dientes afilados y espaciados. Este proceso de separación, pues comúnmente se utiliza para dividir en dos la pieza de trabajo.



Figura 2.34 Sierra circular giratoria para cortar barras largas y tubos.

Fuente: <http://www.tayorcutting.es/2-cnc-cutting-machine.html>

2.20.2 Corte con oxígeno y gas combustible

Conocida popularmente como el “corte con flama”, usa el calor de combustión de ciertos gases combinando con la reacción exotérmica de metal con el oxígeno.

¹⁷ . Fuente: <http://www.tayorcutting.es/2-cnc-cutting-machine.html>

El soplete de corte que se usa en estos procesos está diseñado para proporcionar una mezcla de gas combustible y oxígeno a la región de corte.

El mecanismo principal de la remoción de material en el corte con oxígeno y gas combustible es la reacción química del oxígeno con el metal base.

El propósito de la combustión del oxígeno y el gas es elevar la temperatura en la región de corte para soportar la reacción

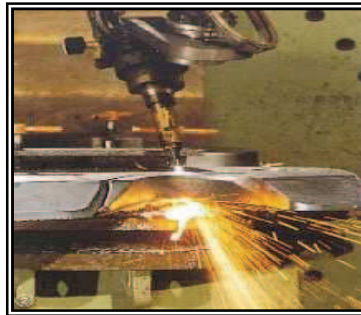


Figura 2.35 Corte de una placa metálica ferrosa.

Fuente: <http://www.tayorcutting.es/2-cnc-cutting-machine.html>

2.21 Proceso de pintura

La función de la pintura consiste, en esencia, en interponer capas neutras de sustancias entre la superficie del acero y del medio corrosivo. Sus limitaciones principales incluyen la degradación (agrietamiento y uso) de la película protectora y la necesidad de volver a pintar a intervalos.

Los principales ingredientes de la pintura líquida incluyen adhesivos, pigmentos y solventes.

Los adhesivos constituyen la porción líquida de la cubierta superficial del área que une a los elementos de la pintura entre sí y a la superficie.

Las pinturas se aplican, por lo general, empezando con la base de pintura o primera, seguida por capas inferiores y luego por la capa de acabado.

- ✓ La primera capa, es la primera que se aplica al metal desnudo. Es importante que la primera capa cubra con todo cuidado la superficie total del metal, rápida y fácil.
- ✓ La capa intermedia si es necesario, se aplica para establecer el espesor de la capa e incrementar la resistencia a la penetración de la humedad.
- ✓ La capa de acabado es la primera línea de defensa contra la corrosión. Está expuesta totalmente a los efectos deteriorantes de la radiación ultravioleta, lluvia, heladas y contaminación atmosférica. Además debe proporcionar una superficie dura repelente al agua.

2.21.1 Pasos básicos para tener un efectivo acabado de pintura¹⁸

1. Eliminar mediante cepillo de púas metálicas, lijas, esmeril, etc., cualquier resto de cemento, yeso, óxido, polvo, imperfecciones, etc.
2. Proceder a eliminar con un trapo humedecido en disolvente, cualquier resto de grasa que se suele aplicar tras los procesos de fabricación de los metales (su presencia impediría la posterior adherencia de las pinturas).
3. Es importante que los restos de la operación anterior no queden depositados en los lugares menos accesibles o visibles. Es también importante que no queden restos del disolvente utilizado para limpiar la superficie.
4. Tapar y proteger con cinta o papel las zonas que no se deseen pintar.
5. Aplicar la imprimación antioxidante. Normalmente serán necesarias dos capas con un intervalo de 12-24 horas.
6. Aplicar las capas de acabado de esmalte, dejando transcurrir como mínimo 24 horas de la aplicación de la imprimación, y 24 horas entre capas.

¹⁸ .VINNAKOTA, S. Estructuras de acero comportamiento y LRFD. Corrosión, pintura y galvanizado.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TEMA

3.1 Preliminares

3.1.1 Dimensiones y peso de la cabina del avión Boeing 707

Como punto de partida de nuestro estudio fue llevar a cabo el pesaje de la cabina del avión Boeing 707 y tomar todas sus dimensiones posibles; ya que se desconocía su peso y dimensiones, pues fueron los parámetros fundamentales para iniciar el diseño y construcción del soporte de la estructura simuladora.

El mencionado trabajo se desarrollo en las instalaciones del instituto, junto al bloque 42 donde se encuentra la cabina seccionada y se empleó una báscula digital con capacidad de 2 toneladas para obtener un valor exacto de su peso y accesorios que contenía la misma. Ver anexo B.

3.1.2 Selección del material idóneo para la construcción del soporte

Para este proyecto se ha hecho una gran investigación buscando las mejores características y bondades que ofrecen cada uno de los perfiles y secciones de aceros estructurales que se utilizan en la actualidad para la construcción de puentes, edificios, estructuras metálicas de coliseos, etc.

Se ha podido elegir tubo estructural cuadrado de acero ASTM A-36 cuyas dimensiones son: 10cm x 0.3cm como material principal para la construcción del soporte de la estructura simuladora, ya que se adapta a nuestros requerimientos o necesidades de construcción por las siguientes razones:

La carga total que se ejercerá sobre el soporte será de aproximadamente: 1460 Kg (3212 lb)

Para seleccionar el material que trabaje efectivamente como soporte debemos tener claramente la función del mismo: los soportes son elementos verticales sometidos principalmente a compresión; elementos que transmiten las cargas verticales al terreno a través de los cimientos y las bases.

Basándonos de la definición anterior acotamos que el miembro sujeto a compresión más eficiente es aquel que tiene su radio de giro constante con respecto a cualquier eje que pase por su centroide, que es una propiedad que se aprovecha en tubulares redondos y cuadrados como miembros sujetos a compresión que le siguen en eficiencia.

Esto indica que para un área determinada de material debemos tratar de maximizar el momento de inercia para maximizar el radio de giro. Una forma con un momento de inercia alto, tiene su área distribuida lejos de su eje centroidal logrando así una efectiva estabilidad y reduciendo deformación alguna como pandeo cuando el soporte esté bajo carga.

Además se seleccionó por los siguientes factores complementarios:

- ❖ Los tubulares tienen excelente resistencia a la torsión.
- ❖ Sus superficies lisas permiten pintarlos más fácilmente y son bastante atractivas consiguiendo una buena estética.

De esta forma se llegó a definir que el tubo estructural cuadrado de acero ASTM A-36 ya su forma estructural es esbelta por lo que nos brinda las características anteriormente mencionadas, añadiendo también su fácil manejo, soldabilidad y funcionalidad, pues es de fácil adquisición en el mercado local. Ver anexo D.1.

3.1.3 Estudio de alternativas

Se determinará el tipo de la estructura basándonos en las alternativas presentadas, mediante los cálculos correspondientes para determinar la carga y puntos críticos que la estructura debe soportar con relación al peso de la cabina cuando esté en operación.69

3.1.3.1 Primera alternativa



Figura 3.1 Estructura A.

Fuente: Sr. Edgar Vargas.

3.1.3.2 Segunda alternativa



Figura 3.2 Estructura B.

Fuente: Sr. Edgar Vargas.

3.2 Planteamiento y estudio de alternativas

3.2.1 Planteamiento de alternativas

De las estructuras expuestas anteriormente, se considera como alternativas las siguientes:

- Estructura A
- Estructura B

3.2.2 Estudio técnico

❖ Alternativa A

Esta alternativa tiene una base de tubo cuadrado, unidos por medio de una viga en el eje transversal (y) por medio de suelda, en la cual actúa el mayor peso de la estructura. En el medio de esta viga consta un sistema para cumplir con el movimiento circular o guiñada en el eje (z) y sobre el mismo se acentúan las articulaciones para acoger una plancha de acero que facilitará el movimiento de cabeceo en el eje longitudinal (x), el módulo superior se acopla al anterior módulo por medio de articulaciones para lograr con el movimiento de alabeo, sobre este, se acopla por medio de articulaciones el chasis que sirve como base para contener la cabina del avión Boeing 707.

❖ Alternativa B

Esta estructura será fabricada con materiales de adquisición nacional de alta resistencia y calidad. Consta de un sistema hidráulico muy fácil para que opere normalmente, pues la unidad de potencia será una bomba que será actuada por un motor eléctrico convencional, consiguiendo la presión requerida para que trabajen los cilindros hidráulicos. La estructura simuladora se coordina por medio de un cuerpo de válvulas que actúan su respectivo cilindro para lograr los movimientos en los tres ejes que una aeronave realiza en vuelo.

Básicamente está elaborado de tubo estructural cuadrado de ASTM A-36 de (10x 0.3)cm, la viga principal en el eje transversal unida a las bases laterales por medio de un sistema de ejes, comprende rodamientos para satisfacer libremente los movimientos de cabeceo, alabeo, y guiñada.

3.3 Estudio de alternativas

En la parte correspondiente al estudio de alternativas se tomó en consideración las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas, para determinar cuál es la más adecuada y analizar las condiciones técnicas de las mismas, con el fin de construir una estructura que satisfaga todas las necesidades del instructor y estudiantes.

3.3.1 Primera alternativa

Tabla N°3.1.- Estudio de la primera alternativa

VENTAJAS	DESVENTAJAS
❖ Debido al material más grueso la estructura resulta más sólida.	❖ Se elevan los costos del material y debido a su estructura fija (soldada), su transportación se veía afectada.
	❖ Constituye mayor peso por lo que demanda de un sistema hidráulico de mayores prestaciones.
❖ Incorpora el movimiento de cabeceo en el sistema de guiñada.	❖ Al tratarse de un material en el cual la carga iba a estar concentrada, entonces va existir fatiga del material.
❖ Estructuralmente podría soportar mayor peso.	❖ No presentaba disponibilidad de espacios para alojar los cilindros hidráulicos, por lo que dificultaba los movimientos de guiñada y cabeceo.

Fuente: Investigación de campo

Elaborado por: Sr. Edgar Vargas

3.3.2 Segunda alternativa

Tabla N°3.2.- Estudio de la segunda alternativa.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
❖ Se consigue reducir pesos de la estructura, por lo que se reduce costos económicos.	❖ Debe someterse a un mantenimiento periódico por las puntas de eje, debido a cargas axiales.
❖ Al utilizar tubo estructural cuadrado para su construcción; es mejor la distribución de fuerzas.	
❖ Por la selección de puntas de eje con sus respectivos rodamientos se reduce las fuerzas de rozamiento consiguiendo movimientos con mayor facilidad.	❖ Ocupa un espacio considerable debido a su tamaño.
❖ Al tener un menor requerimiento de fuerzas para realizar los movimientos, podemos conseguir una mayor eficiencia del sistema hidráulico.	
❖ Nos permite la selección de un sistema hidráulico de menores prestaciones con relación al requerimiento de fuerza de empuje del cilindro.	
❖ Presenta disponibilidad de espacios para la instalación de los cilindros hidráulicos.	
❖ Por la naturaleza de la misma facilita el mantenimiento y la operación.	

Fuente: Investigación de campo

Elaborado por: Sr. Edgar Vargas

3.4 Análisis de alternativas

3.4.1 Parámetros de evaluación

Para la evaluación de alternativas se tomará en consideración las ventajas y desventajas, consecuentemente la opción que tenga la mayor calificación será la seleccionada para su construcción.

Los parámetros de evaluación seleccionados nos permitirán realizar un correcto análisis de las alternativas presentadas y su posterior idónea selección; estos se dividen en dos factores que comprenden:

Mecánico, económico.

Factor económico

- ❖ Costo de construcción.

Factor mecánico

- ❖ Material.
- ❖ Transporte.
- ❖ Proceso de construcción.
- ❖ Prestación de servicios.
- ❖ Fabricación de elementos.
- ❖ Operación y control.
- ❖ Mantenimiento.
- ❖ Seguridad.

Cada uno de los parámetros se describe a continuación.

Factor económico

- ❖ Costo de construcción: Este es un factor de gran importancia para la decisión correcta en la alternativa más económica y eficiente.

Factor mecánico

- ❖ Material: Se refiere al material idóneo y su fácil adquisición en el mercado para lograr una construcción efectiva y satisfactoria.

- ❖ Transporte: Es la facilidad con la que se moviliza de un lugar a otro y con la que se podrá direccionar la estructura.
- ❖ Proceso de construcción: Constituye una serie de pasos y procedimientos técnicos, ordenados y sistemáticos que se deben cumplir para obtener un resultado óptimo.
- ❖ Prestación de servicios: Toda máquina o soporte está creado para facilitar el trabajo del técnico y minimizar esfuerzos en su trabajo: por lo que, la finalidad de esta estructura simuladora es constituirse como un material que facilite la instrucción en aerodinámica, avión en general, hidráulica básica e incluso mecánica de materiales, relacionando al alumnado con materias de su perfil profesional.
- ❖ Fabricación de elementos: Las alternativas requieren elementos o piezas de tolerancia de fabricación con óptimas características mecánicas para obtener buenos resultados en la construcción y el funcionamiento.
- ❖ Operación y control: Es el funcionamiento de la estructura y la facilidad con que se la puede manejar y controlar.
- ❖ Mantenimiento: Tiene su propósito de preservar la vital útil de la estructura y se la realizará cada vez que sea necesario para tenerla en condiciones de operación seguras.
- ❖ Seguridad: Se refiere a la confianza que brinda la estructura para poder operarla, pues debe cumplir con los parámetros de seguridad requeridos.

3.5 Matriz de evaluación y decisión

La asignación de los valores X dependerá de la importancia del parámetro y su valor de ponderación estará entre:

$$0 \leq X \leq 1$$

En función de las ventajas y desventajas que presentan las alternativas, se evaluó cada parámetro y la alternativa que obtenga el valor más alto en la calificación de parámetros de evaluación y decisión será la seleccionada para ser construida.

Las alternativas tendrán una calificación entre cero y cinco.

Tabla N°3.3.-Matriz de evaluación y decisión.

PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	F. POND X	ALTERNATIVAS			
		1	1Xi	2	2xi
Costo de construcción	0.2	4	0.8	5	1.00
Material	0.2	4	0.8	5	1.00
Transporte	0.05	3	0.15	4	0.2
Proceso de construcción	0.2	4	0.8	5	1.00
Prestación de servicios	0.05	2	0.1	5	0.25
Fabricación de elementos	0.1	3	0.3	5	0.5
Operación y control	0.1	4	0.4	5	0.5
Mantenimiento	0.05	3	0.15	5	0.25
Seguridad	0.05	4	0.2	5	0.25
TOTAL	1.0		3.7		4.95

Fuente: Investigación de campo

Elaborado por: Sr. Edgar Vargas

3.6 Selección de la mejor alternativa

En función a las ventajas y desventajas que presenta la alternativa, se evaluó cada parámetro.

Ejecutado minuciosamente el estudio técnico, análisis y evaluación de los parámetros de las alternativas, se determina que la segunda alternativa o estructura B es la que cumple con mejores condiciones técnicas, económicas y de seguridad.

Por ende es la que consigue mayor puntaje y en consecuencia posee buenas características técnicas-mecánicas para ser construida.

3.7 Requerimientos técnicos

Los requerimientos técnicos que contendrá la estructura simuladora para proceder a su construcción son los siguientes:

- ❖ La seguridad que debe brindar la estructura simuladora al momento del desarrollo de las materias proporcionadas por el docente o instructor.
- ❖ Debe soportar el peso de la cabina, accesorios y una carga de 4 tripulantes, que serían: el instructor y tres estudiantes.
- ❖ Un sistema de operación; sencillo y entendible, basada en conocimientos adquiridos en las aulas, que los alumnos deben poseer para el mejor entendimiento o comprensión de la operación de la estructura simuladora.
- ❖ Puntos de fijación de las bases en la estructura para facilitar la posterior implementación de los cilindros hidráulicos en la misma.

3.8 Parámetros de diseño del soporte

3.8.1 Medidas del soporte de la estructura

Las medidas impuestas fueron consideradas de acuerdo a varios factores, entre los que por mencionar citamos: cualidades de la cabina, accesibilidad, fiabilidad, etc. siendo las siguientes sus medidas. Ver anexo B.

- ❖ Longitud 3 m
- ❖ Altura 0.50 m
- ❖ Ancho 2.60 m

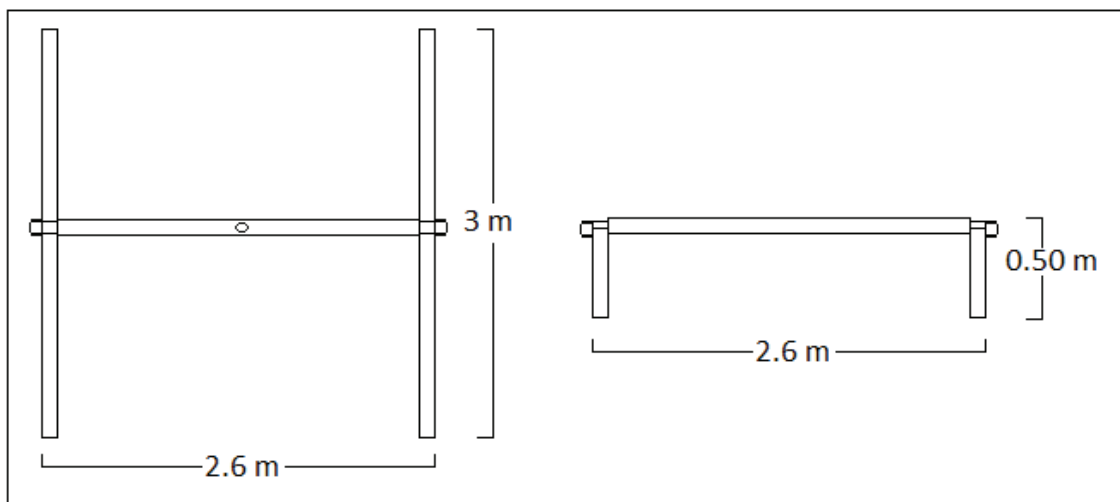


Figura 3.3 Vista superior y frontal del soporte de la estructura simuladora.

Fuente: Sr. Edgar Vargas.

3.8.1.1 Características de la cabina

Se trata de una estructura simétrica construida de aleaciones de aluminio AL-Cu 2024, propia del avión Boeing 707 cuyas medidas se detallan a continuación:

- ❖ Peso 879 Kg.
- ❖ Longitud 3.60 m.
- ❖ Altura 2.30 m.
- ❖ Profundidad 3.10 m.

3.8.1.2 Material de perfiles

Se ha utilizado tubo estructural cuadrado de acero A-36 de (10 x 0.3) cm, con una dimensión longitudinal de 13m cuyas especificaciones se detallan a continuación: Ver anexo D.1.

Tabla N°3.4.- Características del tubo estructural cuadrado

	ESPECIFICACIONES ASTM A-36	SIMBOLO	UNIDAD
1	Módulo de elasticidad del acero	E	2.1×10^6 Kg / cm ²
2	Resistencia a la fluencia del acero	Sy	2536 Kg / cm ²
3	Área de sección transversal del tubo	A	11.41 cm ²
4	Peso total del tubo	P	53.76 Kg / 6m
5	Momento de inercia de la sección	I	176.95 cm ⁴
6	Módulo de resistencia de la sección	W	35.39 cm ³
7	Radio de giro de la sección	i	3.94 cm

Fuente: www.ipac-com.ec

3.8.1.3 Cargas sobre el soporte de la estructura simuladora

Tabla N°3.5.- Cargas actuantes en el soporte de la estructura simuladora

W1	Peso de la cabina.	879 Kg
W2	Peso Radome (nariz de la cabina).	24.5 Kg
W3	Peso de los instrumentos de la cabina.	202.5 Kg
W4	Peso de la tripulación (cuatro personas).	300 Kg
P	Peso del tubo estructural cuadrado (10 x 0.3) cm.	53.76 Kg

Fuente: Sr. Edgar Vargas.

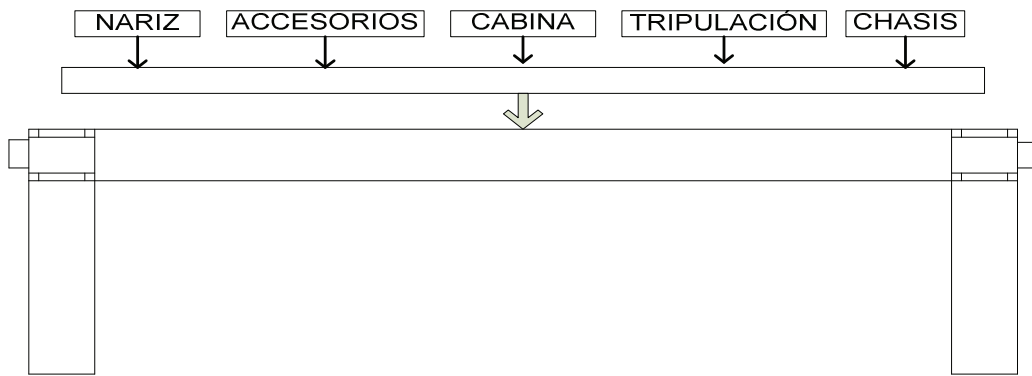


Figura 3.4 Cargas actuantes sobre el soporte.

Fuente: Sr. Edgar Vargas.

En consecuencia el peso total o peso concentrado (W_t) sobre el soporte de la estructura es:

$$W_t = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + P \quad (3.1)$$

Sustituyendo los valores ya conocidos tenemos:

$$W_t = (879 + 24.5 + 202.5 + 300 + 53.76) \text{ Kg}$$

$$W_t = 1459.76 \text{ Kg} \cong 1460 \text{ Kg.}$$

3.9 Cálculos básicos

Para este apartado, utilizamos un diagrama de cuerpo libre con el objeto de obtener un mejor entendimiento nos ilustraremos en la figura, se trata de una estructura geométrica; específicamente un pórtico de soporte fijo, las notificaciones, coordenadas de la estructura se detallan en el diagrama de cuerpo libre.

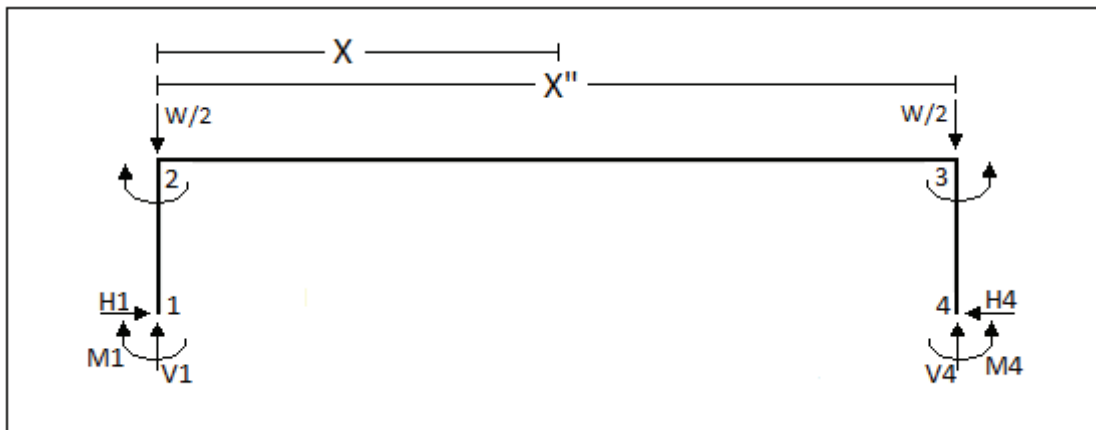


Figura 3.5 Diagrama de cuerpo libre de la estructura.

Fuente: Sr. Edgar Vargas.

Tabla N°3.6.- Designación de unidades (Continúa...)

P	Peso del tubo	Kg
In	Momento de inercia de la sección transversal del miembro n	cm ⁴
L	Luz de una estructura o arco entre las líneas centrales de los apoyos	cm
h	Dimensiones del eje vertical	cm
F, Φ	Constantes que tienen valores dimensionales que dependen de la propiedades geométricas y físicas de la estructura	
Mn	Momento de flexión en la sección definida por el índice	Kg*m
Hn	Componente horizontal de la reacción de la estructura o arco en la sección definida por el índice	Kg
Vn	Componente vertical de la sección de la estructura o arco en la sección definida por el índice	Kg
L/2	Distancia al centro de la viga horizontal.	cm

σ	esfuerzo máximo que soporta la viga horizontal	Kg/cm ²
Mx	Momento de diseño.	Kg*m
Sy	Resistencia a la fluencia del acero.	Kg/cm ²)
n	Factor de seguridad.	
i	Valor mínimo del radio de giro de la sección transversal en el eje Y.	cm

Fuente: Investigación de campo

Elaborado por: Sr. Edgar Vargas.

Las constantes para la estructura se obtiene mediante el empleo de las siguientes formulas:

$$\Phi = \frac{I_{1-2} \times L}{I_{2-3} \times h} \quad (3.2)$$

$$F = 6 \left[2 + \frac{1}{\Phi} \right] \quad (3.3)$$

Reemplazando los siguientes datos:

$$I_{1-2} = I_{2-3} = 176,95 \text{cm}^4 \quad (\text{Momento de inercia de la sección transversal})$$

$$L = 2,50 \text{ m} \quad (\text{Arco entre las líneas centrales de los apoyos dato teórico})$$

$$h = 0,50 \text{ m} \quad (\text{Longitud del eje vertical})$$

En la ecuación reemplazamos:

$$\Phi = \frac{176,95 \text{ cm}^4 \times 250 \text{ cm.}}{176,95 \text{ cm}^4 \times 50 \text{ cm}}$$

$$\Phi = 5$$

$$F = 6 \left[2 + \frac{1}{5} \right]$$

$$F = 13,2$$

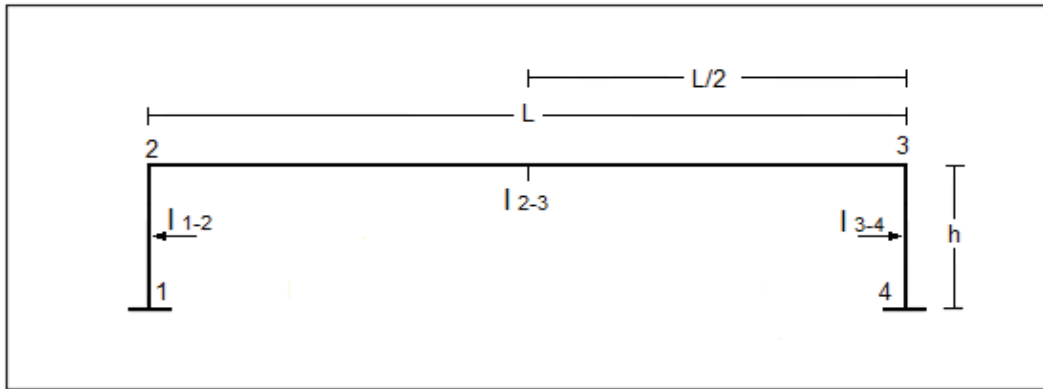


Figura 3.6 Estructura simétrica en pórtico de soporte fijo.

Fuente: Sr. Edgar Vargas.

3.9.1 Cálculo de Momentos

Los momentos en las secciones correspondientes de la mitad derecha de la estructura, son idénticos de la mitad izquierda.

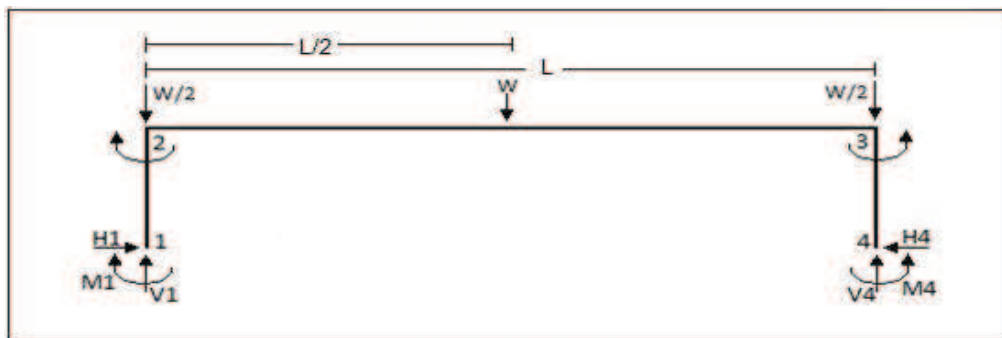


Figura 3.7 Pórtico de soporte fijo con carga concentrada en el centro.

Fuente: Sr. Edgar Vargas.

El cálculo de momentos en los puntos 1 y 4 se resuelven con la ecuación (a) y en los puntos 2 y 3 con la ecuación (b).

$$(a) M_1 = M_4 = \frac{3Wt \times L}{4F} \quad (3.4)$$

$$(b) M_2 = M_3 = \frac{-3Wt \times L}{2F} \quad (3.5)$$

Con los valores ya determinados:

$$Wt = 1460 \text{ Kg} \quad (\text{peso concentrado})$$

$$L = 2,50 \text{ m} \quad (\text{arco entre las líneas centrales de los apoyos})$$

$F = 13,2$ (cte que depende de las propiedades geométricas y físicas de la estructura).

Reemplazamos en la ecuación y tenemos:

$$M1 = M4 = \frac{3 \times 1460 \text{ Kg} \times 2.50 \text{ m}}{4 \times 13,2}$$

$$M1 = M4 = 207,38 \text{ Kg} \cdot \text{m}$$

Los mismos valores anteriores reemplazamos en la ecuación (b) para obtener los momentos en el punto 2 y 3, tenemos:

$$M2 = M3 = \frac{-3 \times 1460 \text{ Kg} \times 2.50 \text{ m}}{2 \times 13,2}$$

$$M2 = M3 = -414,77 \text{ Kg} \cdot \text{m}$$

El momento de diseño se obtendrá con la carga concentrada en el punto medio de la viga horizontal. Se obtiene el momento de diseño aplicando la fórmula:

$$M_x = \frac{Wt \times L/2}{2} + M_2 \quad (3.6)$$

Los valores de:

$$Wt = 1460 \text{ Kg} \quad (\text{peso concentrado})$$

$$L/2 = 1,25 \text{ m} \quad (\text{distancia al centro de la viga horizontal})$$

$$M_2 = -414,77 \text{ Kg} \cdot \text{m} \quad (\text{momento de flexión en la sección 2})$$

Reemplazando en la ecuación (3.6)

$$M_x = \frac{1460 \text{ Kg} \times 1,25 \text{ m}}{2} - 414,77 \text{ Kg} \cdot \text{m}$$

$$M_x = 497,73 \text{ Kg} \cdot \text{m}$$

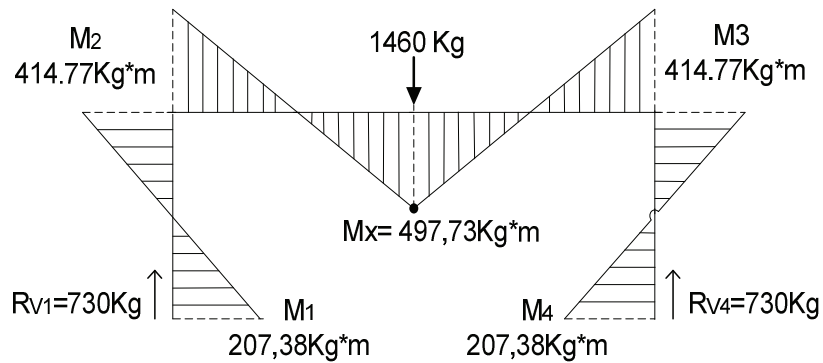


Figura 3.8 Diagrama de flexiones originado por una carga concentrada en el centro del pórtico.

Fuente: Sr. Edgar Vargas.

3.9.2 Reacciones

- ❖ Las reacciones horizontales en los puntos 1 y 4 son los mismos por lo que utilizaremos la fórmula:

$$H1 = H4 = \frac{3M_1}{h} \quad (3.7)$$

Los valores de:

$$M_1 = 207.38 \text{ Kg.m} \quad (\text{momento de flexión en la sección 1})$$

$$h = 0,50 \text{ m} \quad (\text{dimensión del eje vertical})$$

Reemplazando en la ecuación:

$$H1 = H4 = \frac{3 \times 216,405 \text{ Kg.m}}{0,50 \text{ m}}$$

$$H1 = H4 = 1244.28 \text{ Kg}$$

Las reacciones verticales en los puntos 1 y 4 se obtienen por la ecuación:

$$V1 = V4 = \frac{Wt}{2} \quad (3.8)$$

Los valores de:

$$Wt = 1460 \text{ Kg} \quad (\text{peso concentrado})$$

Reemplazando obtenemos:

$$V1 = V4 = \frac{1460 \text{ Kg}}{2}$$

$$V1 = V4 = 730 \text{ Kg}$$

3.9.3 Esfuerzo Máximo

El esfuerzo máximo al que se someterá la viga horizontal para verificar la aceptación del material y se calcula mediante:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_x}{W} \quad (3.9)$$

Los valores de:

$$M_x = 497,73 \text{ Kg} * \text{m} = 49773 \text{ Kg} * \text{cm} \quad (\text{momento de diseño})$$
$$W = 35,39 \text{ cm}^3 \quad (\text{módulo de resistencia de la sección})$$

Reemplazando en la formula:

$$\sigma_{\max} = \frac{49773 \text{ Kg. cm.}}{35,39 \text{ cm}^3}$$

$$\sigma_{\max} = 1406 \frac{\text{Kg.}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Por lo que: } \sigma_{\text{adm}} = 4200 \frac{\text{Kg.}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\max} < \sigma_{\text{adm}} \Delta \text{ Se acepta el material (ver anexo D. 1)}$$

3.9.4 Cálculo del factor de seguridad

El factor de seguridad es un índice de la seguridad que cabe esperar de determinado diseño desde el punto de vista resistente, un valor de coeficiente superior a la unidad indica seguridad ante el fallo tanto mayor cuanto más elevado sea su valor, mientras que un valor inferior a la unidad indica inseguridad o probabilidad de que ocurra un fallo.

Tomando como referencia en nuestro estudio un factor de 1.5 – 2, que se menciona como: Para materiales bien conocidos, bajo condiciones razonablemente constantes del ambiente, sujetos a cargas y esfuerzos que pueden determinarse fácilmente. Ver anexo E.

El factor de seguridad es el resultado de dividir la resistencia a la fluencia del material para el esfuerzo máximo como se indica en la ecuación:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_{\max}} \quad (3.10)$$

Los valores de:

$$S_y = 2536 \text{ Kg/cm}^2 \quad (\text{resistencia a la fluencia del acero})$$

$$\sigma_{\max} = 1406 \text{ Kg/cm}^2 \quad (\text{esfuerzo máximo})$$

Reemplazamos en la ecuación (3.10):

$$n = \frac{2536 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}}{1406 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$n = 1.8$$

3.10 ANÁLISIS DE LA COLUMNA RECTA

La tendencia de una columna a pandearse depende de la forma y las dimensiones de su sección transversal junto con su longitud.

La columna de cualquier estructura que soporta una carga axial tiende a pandearse por el resultado de una inestabilidad elástica donde la columna no es lo suficientemente rígida para mantenerse recta bajo la acción de una carga.

3.10.1 Las propiedades de la sección transversal de la columna:

Tabla N°3.7.- Propiedades de la sección transversal de la columna.

<i>Le</i>	Longitud efectiva.	(cm)
<i>K</i>	Constante práctica de la fijación de los extremos	
<i>i</i>	Valor mínimo del radio de giro de la sección transversal en el eje Y.	(cm)
<i>L</i>	Longitud real entre los soportes.	(cm)
<i>Cc</i>	Razón de transición de delgadez.	
<i>Per</i>	Carga crítica a la cual la columna empezará a pandearse.	(Kg)
<i>Pa</i>	Carga admisible o tolerante.	(Kg)
<i>Nreal</i>	Carga real en cada columna.	(Kg)
<i>N</i>	Factor de diseño en cada columna.	

Fuente: McCormac. Diseño de estructuras metálicas. 3ª Edición.

Una columna tiende a pandearse alrededor del eje para la cual el radio de giro, al igual que el momento de inercia es mínimo. En este caso estos valores mínimos se encuentran con respecto al eje Y.

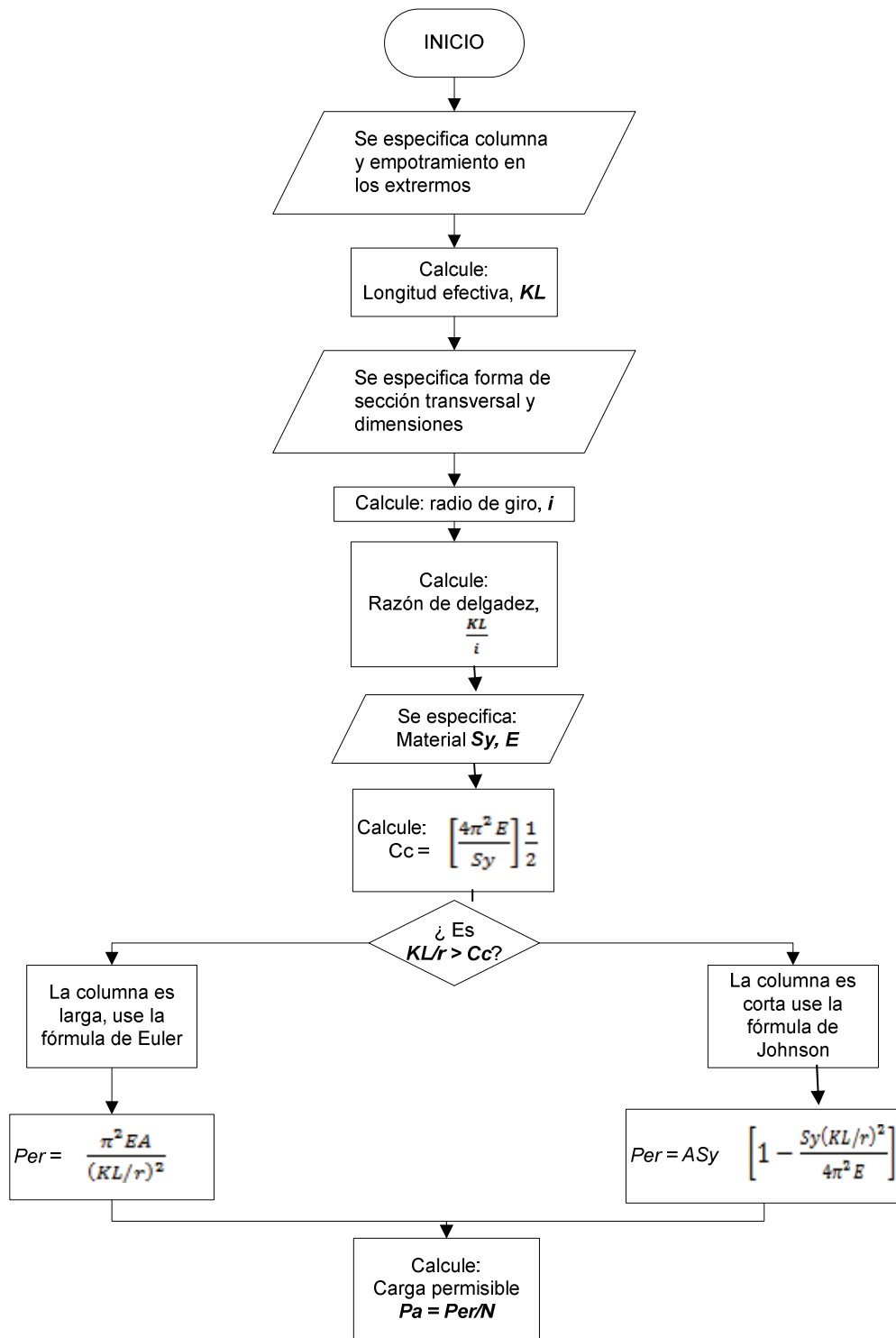


Figura 3.9 Análisis de una columna recta que se carga en el centro.

Fuente: McCormac. Diseño de estructuras metálicas. 3ª Edición.

3.10.2 Fijación de la columna

El tipo de fijación de la columna indica la manera en que se apoyan los extremos de la columna. La variable más importante es la cantidad de sujeción o fijación que se presenta en los extremos de una columna en contra de la tendencia a girar. Las formas de sujeción son atornilladas, fija o libre.

Nuestra sujeción es de extremo fijo que se afianza en su soporte para que no gire. Un ejemplo lo representa una columna cilíndrica que se inserta a una camisa; el extremo de la columna esta soldada de manera segura a una placa que forma una base rígida en una aproximación a una columna de extremo fijo.

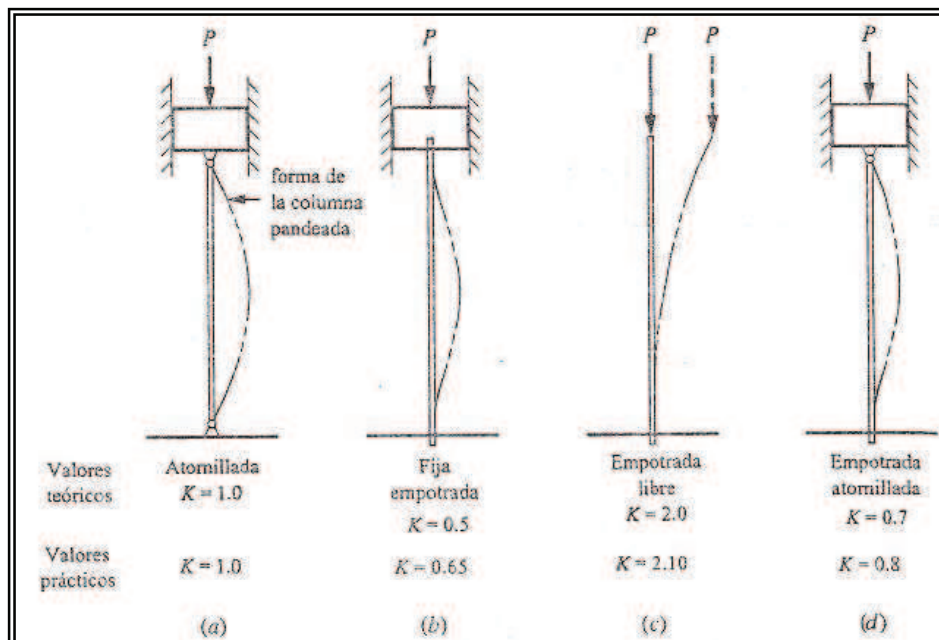


Figura 3.10 Valores de K, para diferentes conexiones en los extremos.

Fuente: McCormac. Diseño de estructuras metálicas. 3ª Edición.

3.10.3 Longitud efectiva

La manera en que se apoyan o sustentan ambos extremos de la columna afecta la longitud efectiva de la columna que se define en la ecuación:

$$L_e = K * h \quad (3.11)$$

Con los valores:

$K = 0,8$ (constante práctica de fijación de los extremos de la columna)

$h = 50 \text{ cm}$ (altura de la columna)

Reemplazando en la ecuación (3.49)

$$L_e = 0,8 * 50\text{cm}$$

$$L_e = 40 \text{ cm}$$

3.10.4 Razón de delgadez

La razón de delgadez es la relación de la longitud efectiva de la columna con su radio de giro mínimo, esto se indica en la ecuación:

$$\text{Razon de delgadez} = \frac{L_e}{i} \quad (3.12)$$

Con los valores ya determinados:

$$L_e = 40 \text{ cm} \quad (\text{longitud efectiva})$$

$$i = 3,94 \text{ cm} \quad (\text{radio de giro de la sección transversal en el eje } y)$$

Reemplazando en la ecuación, tenemos

$$\text{Razon de delgadez} = \frac{40 \text{ cm}}{3,94 \text{ cm}}$$

$$\text{Razon de delgadez} = 10,15$$

3.10.4.1 Razón de transición de delgadez

Se utiliza para determinar de qué tipo de columna se trata: De columnas largas, se utilizará la formula de Euler; y, para las columnas cortas de J. B. Jhonson.

La decisión sobre cual método utilizar depende del valor de la razón real de delgadez para la columna objeto de análisis en relación con la razón de transición de delgadez o constante de columna **C_c** que se define como:

En la ecuación

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \pi^2 * E}{S_y}} \quad (3.13)$$

Los valores de:

$$E = 2.1 \times 10^6 \text{ Kg / cm}^2 \quad (\text{módulo de elasticidad del acero})$$

$$S_y = 2536 \text{ Kg / cm}^2$$

(resistencia a la fluencia del acero)

Reemplazamos estos valores en la ecuación (3.51), tenemos:

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \pi^2 * \left(\frac{2,1 \times 10^6 \text{ Kg}}{\text{cm}^2}\right)}{2536 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}}} \quad (3.14)$$

$$C_c = 12,78$$

- ❖ Debido a que la razón de transición de delgadez es mayor que la razón de delgadez se trata de una columna corta, por lo que se utilizará la fórmula de cargas permisibles en columnas cortas de J.B. Jhonson.

3.10.4.2 Análisis de columna corta: fórmula de J.B. Jhonson

En el análisis de columnas cortas se emplea la fórmula de J. B. Jhonson como se indica en la ecuación, mediante la cual podremos obtener la carga en la cual la columna empezará a pandearse.

$$\text{Per} = A * S_y * \left[1 - \frac{S_y * \left(\frac{L * K}{i}\right)^2}{4 \pi^2 * E} \right] \quad (3.15)$$

Los valores de:

$$E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg / cm}^2 \quad (\text{Módulo de elasticidad del acero})$$

$$i = 3,94 \text{ cm} \quad (\text{Radio de giro de la sección transversal})$$

$$K = 0,8 \quad (\text{Constante de fijación de los extremos de la columna})$$

$$L = 50 \text{ cm} \quad (\text{Longitud de la columna})$$

$$A = 11,41 \text{ cm}^2 \quad (\text{Área de la sección transversal del tubo})$$

$$S_y = 2536 \text{ Kg / cm}^2 \quad (\text{Resistencia a la fluencia del acero})$$

Reemplazamos en la ecuación, tenemos:

$$\text{Per} = 11,41 \text{ cm}^2 * 2536 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} * \left[1 - \frac{2536 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} * \left(\frac{50 \text{ cm} * 0,8}{3,94 \text{ cm}}\right)^2}{4 \pi^2 * \left(2,1 * 10^6 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right)} \right] \quad (3.16)$$

$$\text{Per} = 19810 \text{ Kg}$$

La columna que genera pandeo depende de la geometría (longitud y sección transversal) de la columna y la rigidez del material representado por el coeficiente de elasticidad. La resistencia del material no interviene en absoluto. Por estos motivos se resulta benéfico especificar un material de alta resistencia en una aplicación de una columna corta. Un material cuya resistencia es menor y tiene la misma rigidez E , ofrecerá el mismo rendimiento.

Como se proyecta que la falla se presentará a una carga límite, el concepto de un factor de diseño (N) se aplica a la carga crítica (P_{cr}) y no a la resistencia máxima del material (S_y). Para columnas fijas en los extremos con cargas conocidas puede utilizarse el factor más bajo de 2, según la ecuación:

$$P_a = \frac{P_{cr}}{N} \quad (3.17)$$

Los valores de:

$P_a =$ (Carga admisible)

$P_{cr} = 28842,17 \text{ Kg}$ (Carga crítica a la cual la columna empezará a pandearse)

$N = 2$ (Factor de diseño)

Esto en la ecuación, tenemos:

$$P_a = \frac{19810 \text{ Kg}}{2}$$

$$P_a = 9905 \text{ Kg}$$

La carga real en cada columna es igual a las reacciones verticales $V_1 = 730 \text{ Kg}$ por lo que el valor de N real será:

$$N_{real} = \frac{P_{cr}}{V_1} \quad (3.18)$$

Con los valores de:

$P_{cr} = 19810 \text{ kg}$. (Carga crítica)

$V_1 = 730 \text{ Kg}$. (Reacción vertical en el punto 1)

Remplazamos en la ecuación, obtenemos:

$$N_{real} = \frac{19810 \text{ Kg}}{730 \text{ Kg}}$$

$$N_{real} = 27.14$$

Por lo tanto:

$N_{real} < P_a$; Δ El perfil es adecuado y se acepta el diseño de la columna.

Este valor es aparentemente alto, pero para columnas cortas y para cuando existe la incertidumbre de altas cargas o como la existencia de otro tipo de fijación se sugiere factores de diseño altos.

3.11 ANÁLISIS DE ESFUERZOS COMBINADOS EN LA VIGA PRINCIPAL

Obtenida la fuerza que necesita el cilindro N°1 (F_{C1}) para lograr el movimiento de cabeceo en el eje transversal (y), por medio de la viga principal. Se procede a realizar el análisis respectivo de las fuerzas o (esfuerzos combinados) que intervienen en el movimiento de cabeceo en la mencionada viga para constatar si estas afectan de manera incidente a nuestra estructura y descartar algún tipo de falla que pueda ocurrir por consecuencia del diseño o mala selección del material empleado. Ver anexo G.

La fuerza que requiere el cilindro N° 1 para lograr el movimiento de cabeceo es:

$$F_{C1} = 1462.15Kg = 3224.04 lb$$

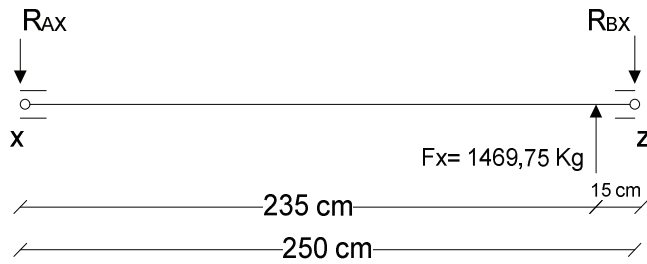
Para nuestro análisis también se requiere los datos de las respectivas componentes de la fuerza del cilindro:

$F_y = 83.66 Kg$ (Componente de la fuerza del cilindro, en el plano y)

$F_x = 1459.75 Kg$ (Componente de la fuerza del cilindro, en el plano x)

Análisis en el plano z – x

EN EL PLANO Z-X



$$\sum M_B = 0$$

$$F_x (15) + R_{AX} (250) = 0$$

$$R_{AX} = \frac{-1459.75 \text{ Kg} (15 \text{ cm})}{250 \text{ cm}}$$

$$R_{AX} = -87.58 \text{ Kg}$$

$$\sum F_x = 0$$

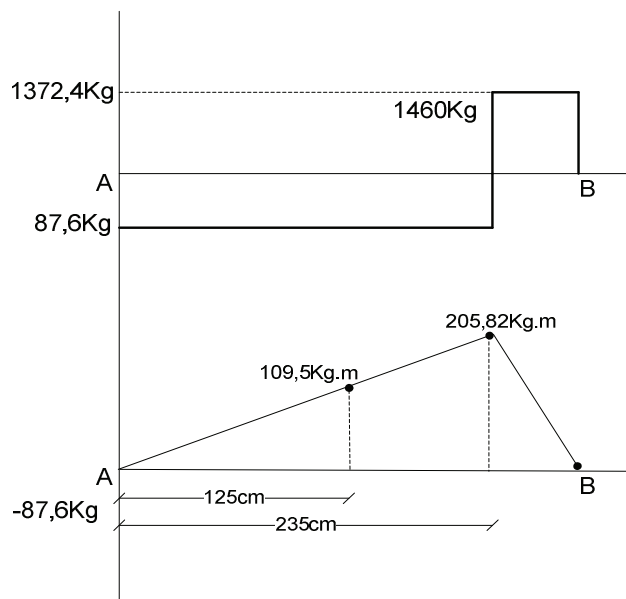
$$-R_{AX} + F_x + R_{BX} = 0$$

$$R_{BX} = R_{AX} - F_x$$

$$R_{BX} = +87.58 \text{ Kg} - 1459.75 \text{ Kg}$$

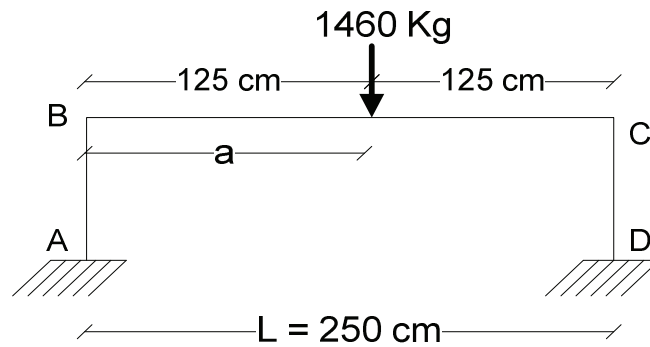
$$R_{BX} = -1372.17 \text{ Kg}$$

Gráfico fuerza cortante y momento flector



3.11.1 Análisis del pórtico con carga concentrada en el centro

CASO 1



$$K = \frac{I_2 h}{I_1 l} \quad (3.19)$$

$$K = \frac{50}{250} = \frac{1}{5}$$

$$n_1 = 2 + K \quad (3.20)$$

$$n_1 = 2 + \frac{1}{5} = \frac{11}{5}$$

$$n_2 = 1 + 6K \quad (3.21)$$

$$n_2 = \frac{36}{5}$$

$$\alpha = \frac{a}{l} \quad (3.22)$$

$$\alpha = \frac{125\text{cm}}{250\text{cm}} = \frac{1}{2}$$

$$M_A = \left(\frac{1}{2n_1} - \frac{2\alpha - 1}{2n_2} \right) \alpha a P \quad (3.23)$$

$$M_A = M_D = \left(\frac{1}{2} * \frac{5}{11} - \frac{2\frac{1}{2} - 1}{2\frac{36}{5}} \right) \frac{1}{2} * 125\text{cm} * 1460\text{Kg}$$

$$M_A = M_D = \frac{5}{22} * \frac{1}{2} * 125\text{cm} * 1460\text{Kg}$$

$$M_A = M_D = 20738,64 \text{ Kg} * \text{cm}$$

$$M_A = M_D = 207,38 \text{ Kg} * \text{m}$$

$$M_B = \left(\frac{1}{n_1} + \frac{2\alpha - 1}{2n_2} \right) \alpha a P \quad (3.24)$$

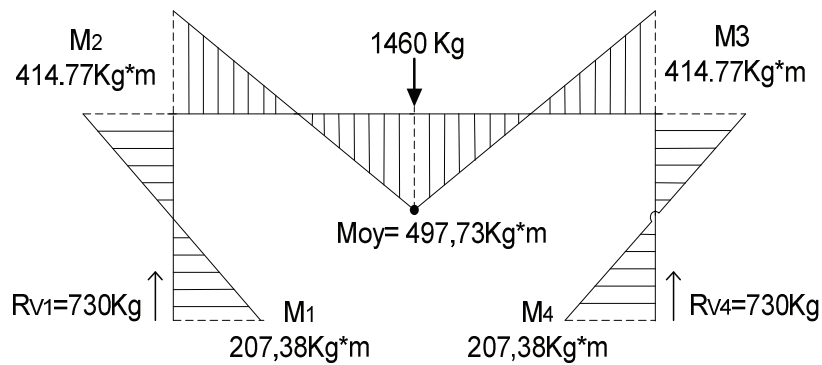
$$M_B = M_C = \left(\frac{5}{11} + \frac{2 * \frac{1}{2} - 1}{2 * \frac{36}{5}} \right) \frac{1}{2} * 125 \text{cm} * 1460 \text{Kg}$$

$$M_B = M_C = \frac{5}{11} * \frac{1}{2} * 125 \text{cm} * 1460 \text{Kg}$$

$$M_B = M_C = 41477,3 \text{ Kg} * \text{cm}$$

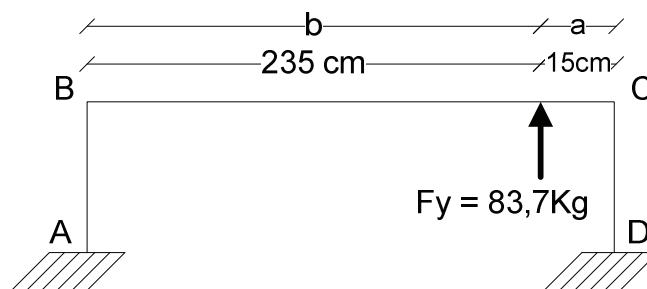
$$M_B = M_C = 414.77 \text{ Kg} * \text{m}$$

Grafico Caso 1



3.11.2 Análisis del pórtico con carga concentrada a 15cm del extremo C

CASO 2



$$\alpha = \frac{a}{l} \quad (3.25)$$

$$\alpha = \frac{15 \text{cm}}{250 \text{cm}} = \frac{3}{50}$$

❖ Calculamos los momentos flectores en las secciones A, B, C y D.

$$M_A = \left(\frac{1}{2n_1} - \frac{2\alpha - 1}{2n_2} \right) \alpha a P \quad (3.26)$$

$$M_A = \left(\frac{5}{2 * 11} - \frac{2 * \frac{3}{50} - 1}{2 * \frac{36}{5}} \right) \frac{3}{50} * 235 * 83,7$$

$$M_A = \left(\frac{5}{22} + \frac{11}{180} \right) 1180.17 \text{ Kg} * \text{cm}$$

$$M_A = 340.34 \text{ Kg} * \text{cm}$$

$$M_A = 3.40 \text{ Kg} * \text{m}$$

$$M_B = \left(\frac{1}{n_1} + \frac{2\alpha - 1}{2n_2} \right) \alpha a P \quad (3.27)$$

$$M_B = \left(\frac{5}{11} + \frac{2 * \frac{3}{50} - 1}{2 * \frac{36}{5}} \right) \frac{3}{50} * 235 \text{ cm} * 83.7 \text{ Kg}$$

$$M_B = \left(\frac{5}{11} - \frac{11}{180} \right) 1180.17 \text{ Kg} * \text{cm}$$

$$M_B = 464.31 \text{ Kg} * \text{cm}$$

$$M_B = 4.64 \text{ Kg} * \text{m}$$

$$M_C = \left(\frac{1}{n_1} - \frac{2\alpha - 1}{2n_2} \right) \quad (3.28)$$

$$M_C = \left(\frac{5}{11} - \frac{2 * \frac{3}{50} - 1}{2 * \frac{36}{5}} \right) \frac{3}{50} * 235 \text{ cm} * 83.7 \text{ Kg}$$

$$M_C = \left(\frac{5}{11} + \frac{11}{180} \right) 1180.17 \text{ Kg} * \text{cm}$$

$$M_C = 608.56 \text{ Kg} * \text{cm}$$

$$M_C = 6.08 \text{ Kg} * \text{m}$$

$$M_D = \left(\frac{1}{2n_1} + \frac{2\alpha - 1}{2n_2} \right) \alpha a P \quad (3.29)$$

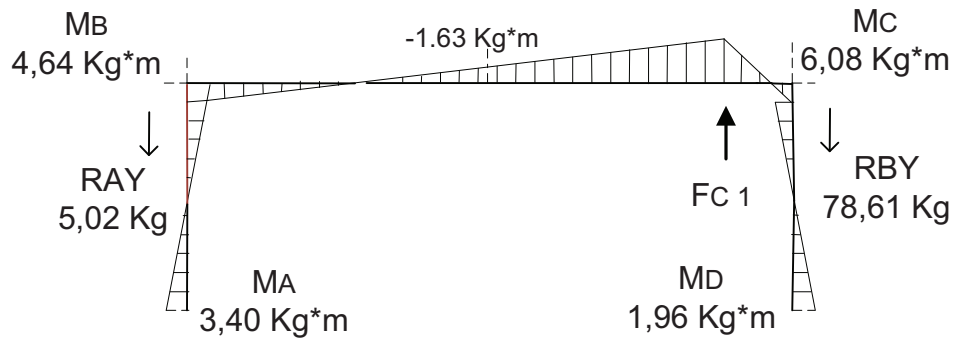
$$M_D = \left(\frac{5}{2 * 11} + \frac{2 * \frac{3}{50} - 1}{2 * \frac{36}{5}} \right) \frac{3}{50} * 235 \text{ cm} * 83.7 \text{ Kg}$$

$$M_D = \left(\frac{5}{22} - \frac{11}{180} \right) 1180.17 \text{ Kg} * \text{cm}$$

$$M_D = 196.1 \text{ Kg} * \text{cm}$$

$$M_D = 1.96 \text{ Kg} * \text{m}$$

Grafico caso 2



Reacciones en las columnas del pórtico; caso 2

$$R_{AY} + R_{BY} = 83,63 \quad (3.30)$$

$$R_{AY} * 235 = 15 * R_{BY}$$

$$\frac{235}{15} R_{BY} + R_{AY} = 83,63$$

$$\frac{47}{3} R_{BY} + R_{AY} = 83,63$$

$$16 \frac{1}{3} R_{BY} = 83,63$$

$$R_{AY} = 5,02 \text{ Kg}$$

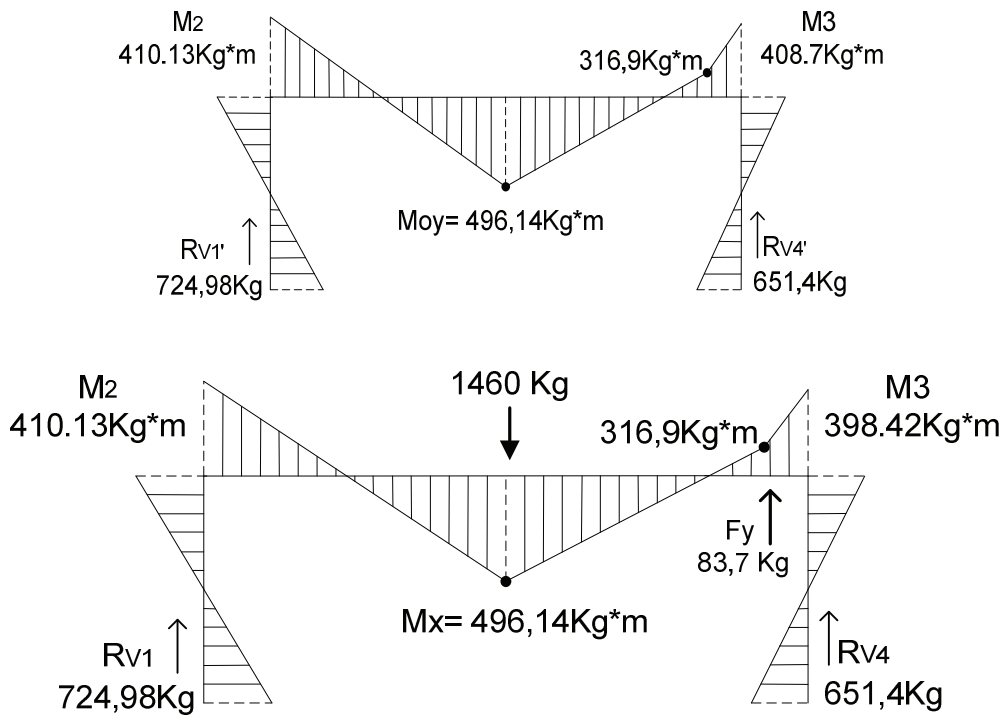
$$R_{BY} = 78,61 \text{ Kg}$$

$$\sum M_{PM} = 0 \quad (3.31)$$

$$4,64 \text{ Kg} * \text{m} - 5,02 \text{ Kg} * 1,25 \text{ m} = -1,63 \text{ Kg} * \text{m}$$

$$M_{y2} = -1,63 \text{ Kg} * \text{m}$$

3.11.3 Gráfico caso 1 y caso 2



$$M_2 = M_{B1} - M_{B2} \quad (3.32)$$

$$M_2 = 414,17Kg * m - 4,64Kg * m$$

$$M_2 = 410,13Kg * m$$

$$M_{oy} = M_{y1} - M_{y2} \quad (3.32)$$

$$M_{oy} = -497,77Kg * m + 1,63Kg * m$$

$$M_{oy} = -496.14Kg * m$$

$$\sum M_{PL} = 0 \quad (3.34)$$

$$414,77Kg * m - 0,15m(651,84Kg)$$

$$M_{PL} = 316,9 Kg * m$$

$$M_3 = M_B - Mc$$

$$M_3 = 414.77 - 6.08$$

$$M_3 = 408.68Kg * m$$

Reacciones:

$$R_{V1'} = R_{V1} - R_{Ay} \quad (3.35)$$

$$R_{V1'} = 730\text{Kg} - 5,02\text{Kg}$$

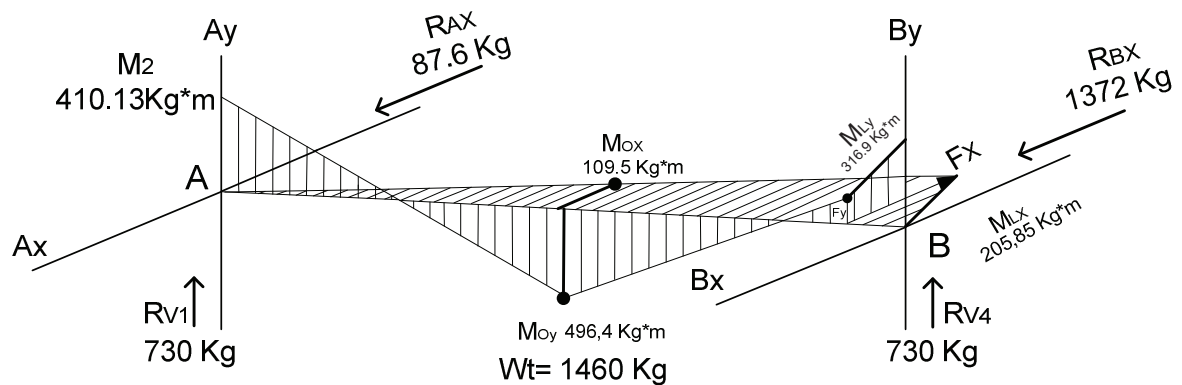
$$R_{V1'} = 724,98\text{Kg}$$

$$R_{V4'} = R_{V4} - R_{By} \quad (3.36)$$

$$R_{V4'} = 730\text{Kg} - 78,61\text{Kg}$$

$$R_{V4'} = 651,4\text{Kg}$$

3.11. Gráfico esfuerzos combinados



$$M_{OX} = R_{AX} * a \quad (3.37)$$

$$M_{OX} = 87,6\text{Kg} * 1,25\text{m}$$

$$M_{OX} = 109,5 \text{ Kg} * m$$

$$M_{LX} = R_{AX} * a' \quad (3.38)$$

$$M_{LX} = 87,6\text{Kg} * 2,35\text{m}$$

$$M_{LX} = 205,86\text{Kg} * m$$

3.12 Cálculo de momentos flectores resultantes en la viga principal para obtener el punto más crítico.

$$M_{centro} = \sqrt{M^2_X + M^2_Y} \quad (3.39)$$

$$M_{centro} = \sqrt{(109,48\text{Kg} * m)^2 + (496,14\text{Kg} * m)^2}$$

$$M_{centro} = 508,1\text{Kg} * m$$

$$M_{lateral} = \sqrt{M^2_X + M^2_Y} \quad (3.40)$$

$$M_{lateral} = \sqrt{(205,85Kg * m)^2 + (316,9Kg * m)^2}$$

$$M_{lateral} = 377,88 Kg * m$$

Mediante los momentos obtenidos; se concluye que el punto crítico (PC) es en el centro de la viga principal.

3.12.1

Momento Equivalente (Eq) con la viga simplemente apoyada

Con el fin de comprobar la resistencia de un elemento separado cerca del punto peligroso se debe utilizar una de las fórmulas de la teoría correspondiente de resistencia:

$$M_{centro} = M_{equivalente} = \sqrt{M^2_X + M^2_Y} \quad (3.41)$$

$$M_{Eq} = \sqrt{(109,48Kg * m)^2 + (496,14Kg * m)^2}$$

$$M_{Eq} = 508,1Kg * m$$

Para nuestro análisis determinaremos los esfuerzos de flexión y torsión combinados; ya que ambos esfuerzos están presentes en la viga principal. Esta se da a partir de la siguiente fórmula correspondiente a la teoría de von Mises:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma^2_x + 3\tau^2_{xy}} \quad (3.42)$$

Donde:

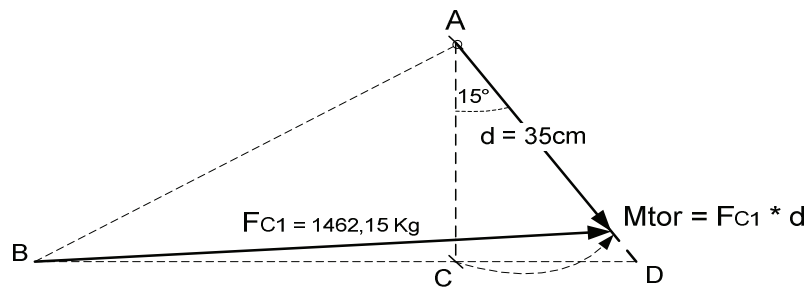
σ' = Esfuerzo combinado

σ^2_x = Momentos equivalentes con la viga simplemente apoyada

$3\tau^2_{xy}$ = Momento torsor en la viga principal

3.12.2 Cálculo del momento torsor (M_{Tor})

El momento torsor, para nuestro análisis lo calculamos a partir de la fuerza que ejerce el cilindro N° 1 (F_{C1}) para lograr el movimiento de cabeceo y la distancia del brazo que transmite esta fuerza a la viga principal en el eje transversal.



$$M_{Tor} = F_{C1} * d_{brazo} \quad (3.43)$$

$$M_{Tor} = 1462.15Kg * 0.35m$$

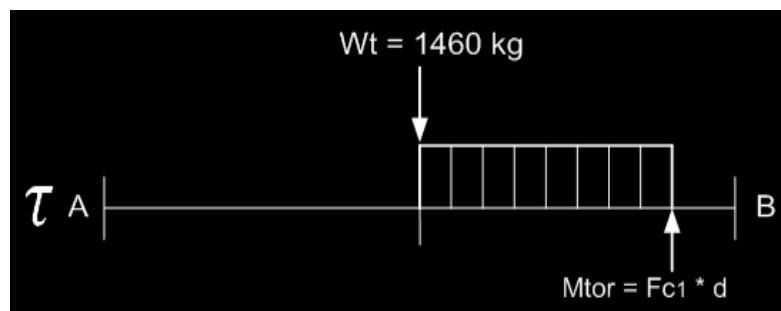
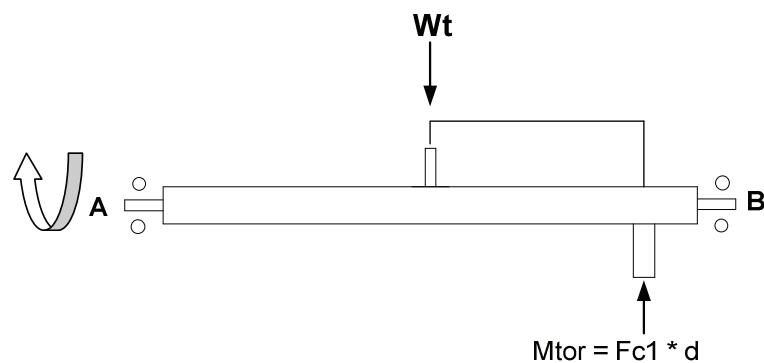
$$M_{Tor} = 511.75Kg * m$$

Y en la ecuación (3.42) reemplazamos los siguientes datos:

$$\sigma' = \sqrt{(508.1Kg * m)^2 + 3(511,75Kg * m)^2}$$

$$\sigma' = 1021,67 Kg * m$$

Gráfico: Momento torsor que se ejerce en la viga principal



Obtenido el esfuerzo combinado σ' , que es la combinación de los esfuerzos que interactúan en la viga principal, calculamos el esfuerzo equivalente que se da como resultado de la resistencia de nuestro material seleccionado para nuestro estudio en presencia de los esfuerzos combinados que ejercen en la sección de la viga principal.

Las condiciones de resistencia pueden expresarse mediante la fórmula correspondiente:

$$\delta_{equivalente} = \frac{\sigma'}{W} \leq [\sigma_{ad}] \quad (3.44)$$

Donde:

$$\sigma' = 1021,67 \text{ Kg} * \text{m} (\text{Esfuerzo combinado})$$

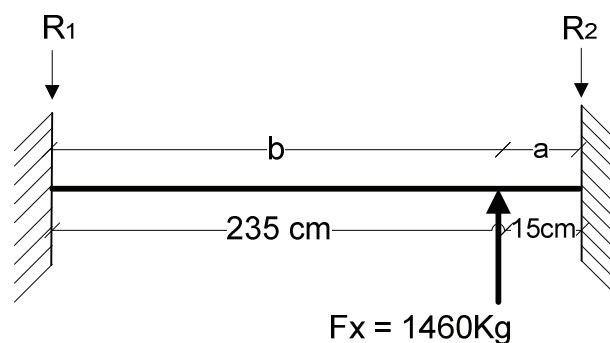
$$W = 35.39 \text{ cm}^3 \text{ (Módulo de la sección transversal)}$$

$$\delta_{equivalente} = \frac{1021,67 \text{ Kg} * \text{m}}{35,39 \text{ cm}^3} * \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}}$$

$$\delta_{equivalente} = 2886,88 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} < 4200 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Viga principal; empotrada - empotrada en la sección lateral.

Con el objetivo de verificar si los esfuerzos son mayores o menores en el punto crítico de la viga principal, realizamos en siguiente a análisis con la viga empotrada – empotrada.



Fx = Fuerza del cilindro; componente en x.

$$L = 250$$

$$R_1 = \frac{F * b^2}{l^3} (3a + b) \quad (3.45)$$

$$R_1 = \frac{1460\text{Kg} * (15\text{cm})^2}{(250\text{cm})^3} (3 * 235\text{cm} + 15\text{cm})$$

$$R_1 = 15,14\text{Kg}$$

$$R_2 = \frac{F * a^2}{l^3} (3b + a) \quad (3.46)$$

$$R_2 = \frac{1460\text{Kg} * (15\text{cm})^2}{(250\text{cm})^3} (3 * 235\text{cm} + 15\text{cm})$$

$$R_2 = \frac{1460\text{Kg} * (235\text{cm})^2}{(250\text{cm})^3} (3 * 15\text{cm} + 235\text{cm})$$

$$R_2 = 1444,86\text{Kg}$$

$$M_1 = - \frac{F * a * b^2}{l^2} \quad (3.47)$$

$$M_1 = - \frac{1460\text{Kg} * 235\text{cm} * (15\text{cm})^2}{(250\text{cm})^2}$$

$$M_1 = 1236,16\text{Kg} * \text{cm} = 12\text{Kg} * \text{m}$$

$$M_2 = - \frac{F * a^2 * b}{l^2} \quad (3.48)$$

$$M_2 = - \frac{1460\text{Kg} * (235\text{cm})^2 * 15\text{cm}}{(250\text{cm})^2}$$

$$M_2 = 19350,81\text{Kg} * \text{cm} = 193,51\text{Kg} * \text{m}$$

- ❖ De igual manera obtenemos el valor del momento equivalente (M_{Eq}) de la siguiente condición; viga empotrada - empotrada.

$$M_{Eq} = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} \quad (3.49)$$

Donde:

$$M_x = 193,51 \text{ Kg} * m \quad (\text{Momento sección 2; en el plano x})$$

$$M_y = 408,7 \text{ Kg} * m \quad (\text{Momento sección 3; en plano y})$$

Reemplazando en la siguiente fórmula (3.49):

$$M_{Eq} = \sqrt{(193,5 \text{ Kg} * m)^2 + (408,7 \text{ Kg} * m)^2}$$

$$M_{Eq} = 452,2 \text{ Kg} * m$$

Concluimos que el momento equivalente de la condición; viga empotrada-empotrada en la sección lateral $M_{Eq} = 452,2 \text{ Kg} * m$, es mayor al valor de la condición con la viga simplemente apoyada en la sección lateral $M_{lateral} = 377,88 \text{ Kg} * m$, por lo que para el siguiente análisis nos basaremos en el valor mayor.

3.13.1 Aplicación de la teoría de von Mises.

Como nuestro material seleccionado para la construcción fue una sección cuadrada de 10cm x 0.3cm, se procede a realizar el cálculo de los esfuerzos combinados que ejercen el miembro a partir de la siguiente fórmula:

Por lo que:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad (3.50)$$

$$M_{Eq} = 452,2 \text{ Kg} * m \quad (\text{Momento equivalente})$$

$$\tau_{xy} = 511,75 \text{ Kg} * m \quad (\text{Momento torsor})$$

Reemplazando los siguientes datos en la fórmula (3.43):

$$\sigma' = \sqrt{(452,2Kg * m)^2 + 3(511,75Kg * m)^2}$$

$$\sigma' = 995,05 Kg * m$$

$$\delta_{eq} = \frac{\sigma'}{w} \leq [\sigma_{ad}] \quad (3.51)$$

$$\delta_{eq} = \frac{995,05 Kg * m}{35,39 cm^3}$$

$$\delta_{eq} = 2811,66 \frac{Kg}{cm^2} < [\sigma_{ad}]$$

$$\delta_{eq} = 2811,66 \frac{Kg}{cm^2} < 4200 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$\text{Entonces: } \delta_{eq} = 2886,88 \frac{Kg}{cm^2} < \delta_{eq} = 2811,66 \frac{Kg}{cm^2}$$

Se verifica que la mitad de la sección de la viga principal es el punto crítico ya que se genera un mayor esfuerzo en esta sección.

3.13.2 Cálculo del diámetro admisible para el eje

El esfuerzo equivalente en una sección circular se obtiene a partir de:

$$\delta_{eq} \frac{S_y}{n} \quad (3.52)$$

Donde:

$$S_y = \text{Resistencia a la fluencia del material} = 230000 \frac{lb}{pulg^2}$$

$$n = \text{Factor de seguridad} = 2$$

En la construcción de la viga principal se emplearán ejes fijos, cuyo acero es de la designación AISI - 4340; el cual posee un $S_y = 230Ksi$. Ver anexo D.3.

$$S_y = \frac{230000Lb}{plg^2}$$

$$S_y = \frac{230000Lb}{plg^2} * \frac{(1plg)^2}{(2,54cm)^2}$$

$$S_y = 35650,07 \frac{lb}{cm^2}$$

Reemplazando en la fórmula (3.52), obtenemos:

$$\delta_{eq} = \frac{35650,07 \frac{lb}{cm^2}}{2} \leq [\sigma_{ad}]$$

$$\delta_{eq} = \frac{35650,07 \frac{lb}{cm^2}}{2} = 17825,03 \frac{lb}{cm^2} * \frac{1Kg}{2.2lb}$$

$$\delta_{eq} = 8102,28 \frac{Kg}{cm^2}$$

Determinamos el diámetro del eje (diámetro admisible) a partir de la siguiente condición:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 * M_E}{\pi [\delta_{eq}]}} \quad (3.53)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * 452,2Kg * m}{\pi * 8102 \frac{Kg}{cm^2}}} * \frac{100cm}{1m}$$

$$d = 3,84 \text{ cm}$$

Finalmente se ha podido determinar el diámetro admisible de los ejes fijos, que es igual a 3.84cm y para la elaboración de los ejes se seleccionó un diámetro de 4 cm con un roscado de 1 1/2 "para darle el correcto ajuste con la tuerca respectiva que la podemos adquirir en cualquier centro de auto repuestos.

3.14 Construcción

3.14.1 Ensamble y planos del soporte de la estructura simuladora

Mediante los cálculos realizados, se verificó que el material y el diseño seleccionado son adecuados y que cumplen los requerimientos del proyecto para tener un buen desarrollo de la construcción.

Además se realizó los planos de diseño correspondientes del soporte para facilitar el proceso de construcción.

En los cuales constan elementos y partes con sus respectivas medidas, tolerancias que se requieren para la construcción, así como también el despiece del soporte y detalle de elementos que conforman el soporte.

Además de un plano general de toda la estructura simuladora en el cual el lector podrá comprender fácilmente como está conformada la misma.

3.14.2 Construcción del soporte de la estructura simuladora

El soporte de la estructura simuladora tiene como finalidad la de soportar las cargas a la cual estará sometida toda la estructura simuladora sin que se produzcan deformaciones, además de brindar una estabilidad efectiva cuando ésta entre en operación.

Para un mejor entendimiento; el soporte de la estructura simuladora está constituido por los siguientes elementos:

- ❖ Bases laterales del soporte.
- ❖ Viga principal.

3.14.2.1 Elementos requeridos para la construcción del soporte.

Para construir el soporte de la estructura simuladora se requirió de los siguientes elementos:

- ❖ Tubo estructural cuadrado de acero ASTM A-36 de (10 x 0.3) cm aproximadamente 13 mts.
- ❖ Dos camisas que permitan contener a los rodamientos.
- ❖ Cuatro rodamientos de rodillos cónicos de la serie 3585/25.
- ❖ Cuatro placas de acero de (20 x 20 x 0.5) cm

3.14.3 Proceso de corte del tubo estructural cuadrado A-36; (10 x 0.3) cm

Una vez seleccionado el material idóneo para este tipo de construcción procedemos al corte del mismo, teniendo presente las dimensiones del soporte de la estructura simuladora basándonos en los planos del mismo.

Se procedió a trazar y cortar los tubos de la siguiente manera:

- ❖ 2 tubos de 3 m. Para las bases laterales.
- ❖ 4 tubos de 1.50 m. Para apoyos laterales.
- ❖ 2 tubos de 0.50 m. Para las columnas.

3.14.3.1 Construcción de las bases laterales



Figura 3.11. Corte de los miembros.

Fuente: Sr. Edgar Vargas.

3.14.3.2 Ensamble de las bases laterales

Para efectos de construcción, verificar las medidas de los tubos cortados.

Delimitar el centro del tubo estructural cuadrado de 3m y con una escuadra alineamos a 90° el tubo de 0.50 cm. Luego por medio del proceso de punteado lo unimos perpendicularmente y verificamos su alineación para posteriormente reforzar la suelda.

Posteriormente se procedió a soldar los tubos que tienen un corte diagonal en sus extremos, verificar que esté correctamente alineado en el extremo del tubo de 3m y en la columna.



Figura 3.12 Alineación de los miembros laterales.

Fuente: Sr. Edgar Vargas.

El mismo proceso fue realizado para el ensamble de la segunda base lateral. Y finalmente reforzar los puntos de suelda con electrodo E 7018.



Figura 3.13 Bases laterales del soporte construidos.

Fuente: Sr. Edgar Vargas.

3.14.3.3 Ensamble de las camisas para el mecanismo de cabeceo

Las camisas diseñadas para alojar a los rodamientos que complementan el movimiento de cabeceo; poseen dos pistas en los bordes de la pared interior.

Para el efecto se realizó un corte en sentido semicircular en el extremo superior de cada columna acorde al diámetro de las camisas.

Las camisas fueron soldadas en su columna correspondiente, tomando en cuenta su respectiva alineación en referencia a la sección transversal de las columnas.



Figura 3.14 Proceso de suelda de las camisas en su columna respectiva.

Fuente: Sr. Edgar Vargas.

Para finalizar la instalación a presión de las copas de los rodamientos cónicos; específicamente dos en cada extremo de las camisas: 3585/25.



Figura 3.15 Copas insertadas en las camisas.

Fuente: Sr. Edgar Vargas.

3.14.3.4 Proceso de pintura del soporte de la estructura simuladora.

Para el efecto se empleó primeramente dos capas de fondo anticorrosivo gris con un intervalo de tiempo de 6 horas cada una y finalmente dos capas de pintura esmalte de color Caterpillar para obtener una vistosa estética.



Figura 3.16 Proceso de pintura del soporte de la estructura simuladora.

Fuente: Sr. Edgar Vargas.



Figura 3.17 Bases laterales del soporte de la estructura simuladora terminados, vista lateral.

Fuente: Sr. Edgar Vargas.

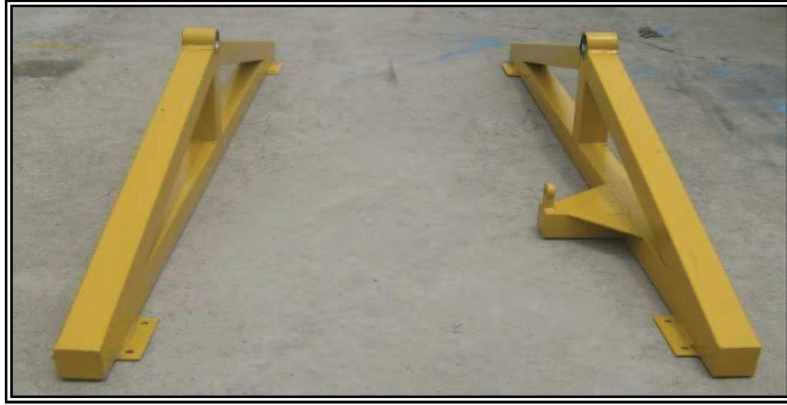


Figura 3.18 Bases laterales del soporte, vista frontal.

Fuente: Sr. Edgar Vargas.

Se realizó el proceso de suelda de cuatro placas de acero A-36 de (20 x 20) cm con un espesor de 5mm, dos en cada extremo de las bases laterales del soporte, las mismas que nos brindarán una correcta fijación de la estructura al piso para efectos de seguridad en el momento de operación de la estructura simuladora.

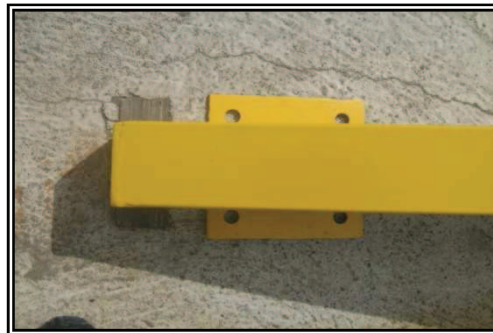


Figura 3.19 Placas de fijación del soporte de la estructura simuladora.

Fuente: Sr. Edgar Vargas.



Figura 3.20 Estética del soporte de la estructura simuladora.

Fuente: Sr. Edgar Vargas.





3.15 Diagrama de procesos

Para la construcción del soporte se debe tomar en cuenta la optimización de recursos, materiales disponibles en el taller para nuestro alcance con el propósito de llevar un buen proceso de construcción

Para un mejor entendimiento de nuestro proceso de construcción se utilizó el diagrama de procesos; el mismo que describe la operación realizada en cada una de las etapas de construcción.

La siguiente simbología de diagramas de procesos representa a las diferentes operaciones realizadas.

Tabla N° 3.8 Diagrama de proceso de la construcción

DETALLE	SÍMBOLO
Operación	
Inspección	
Producto semi elaborado	
Producto terminado	

Fuente: Sr. Edgar Vagas.

3.15.1 Diagrama del proceso de construcción de las bases del soporte.

Material: Tubo estructural cuadrado de acero ASTM A-36, (10 x 0.3) cm.

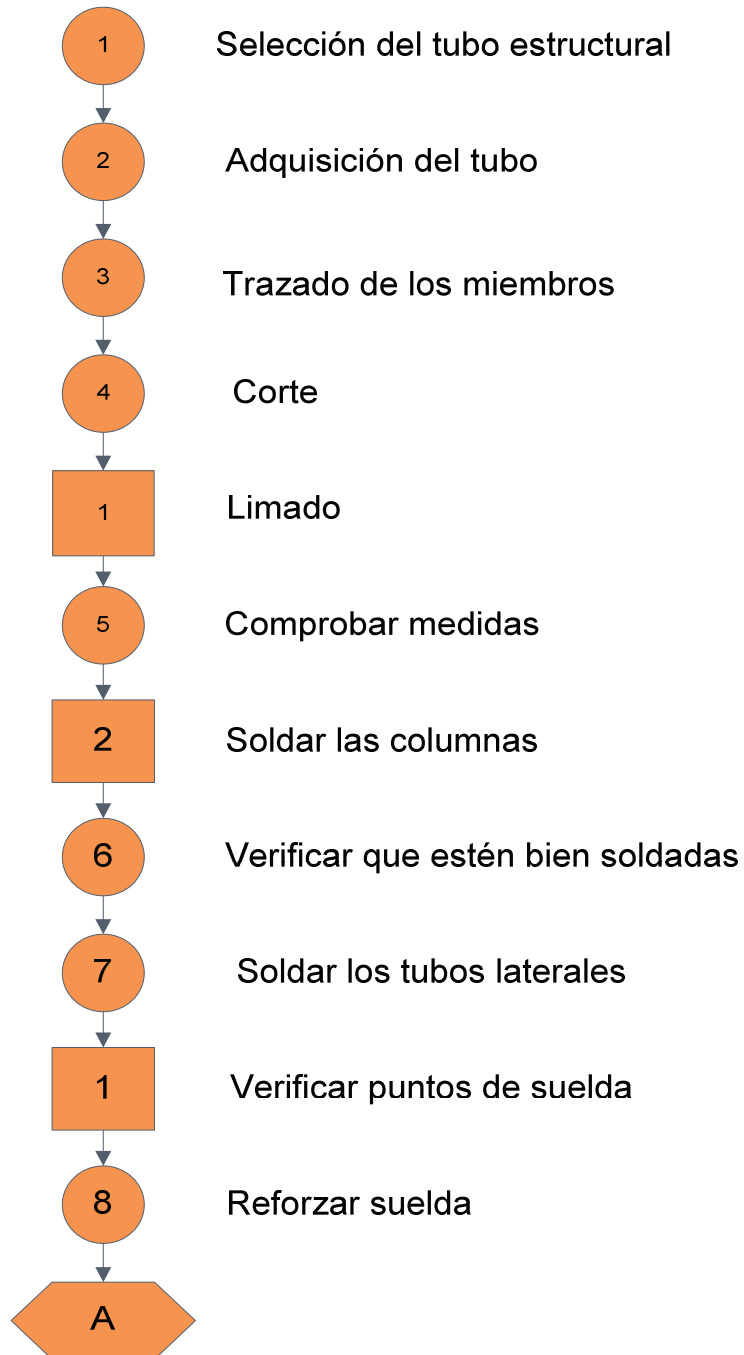


Figura 3.21 Diagrama de ensamble de camisas.

Fuente: Sr. Edgar Vargas.

3.15.2 Diagrama de ensamble de las camisas a las bases laterales del soporte

Material: Tubo redondo de acero ASTM A-36, $\phi = 9\text{cm}$.

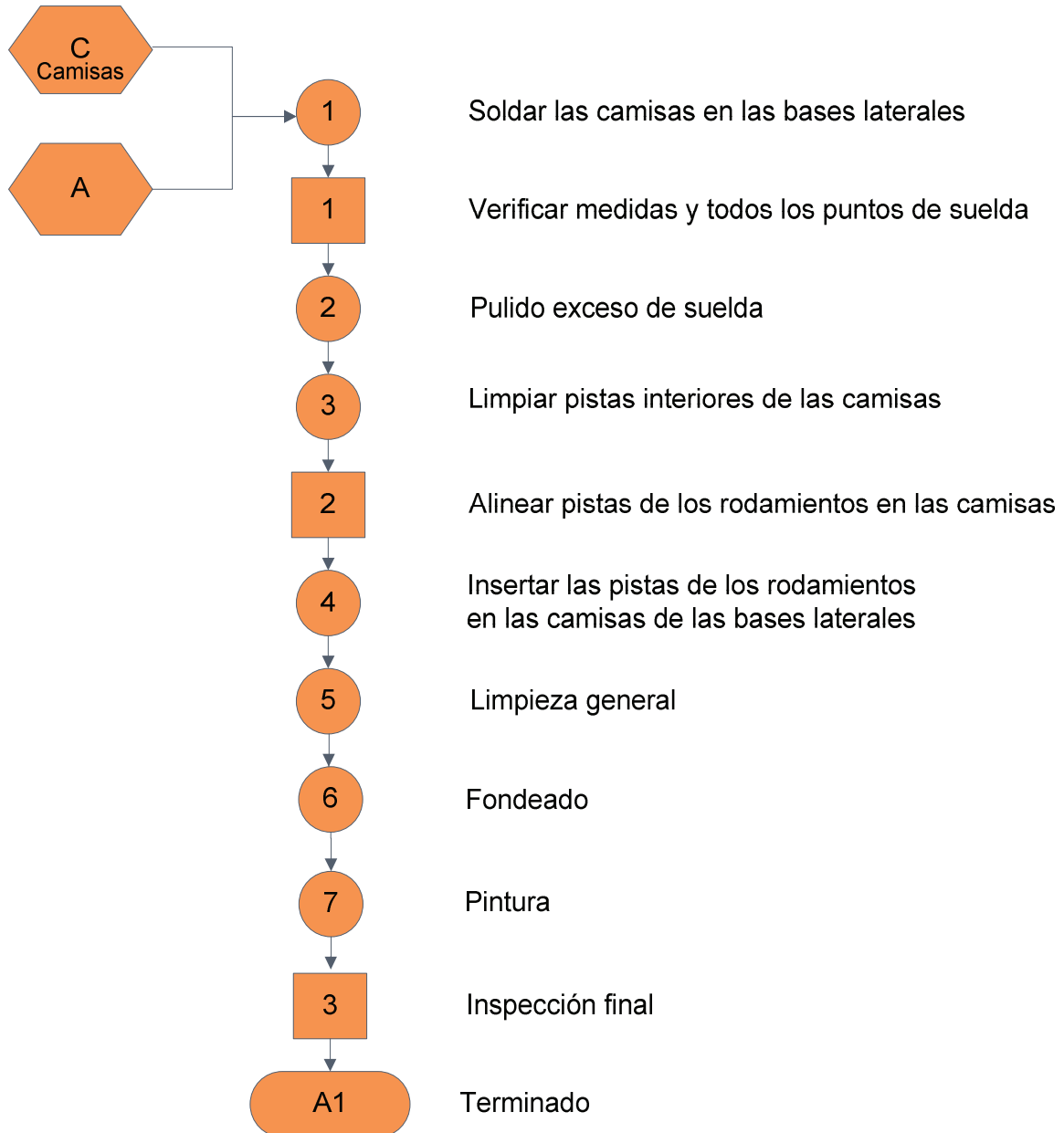


Figura 3.22 Diagrama de ensamble de camisas.

Fuente: Sr. Edgar Vargas.

3.16 Maquinas, equipos y herramientas

Las maquinas, equipos y herramientas que se emplearon en el desarrollo de nuestro proyecto se detallan a continuación:

Tabla N°3.9.- Especificaciones de la maquinaria utilizada en la construcción.

Designación	Maquina	Marca	Características
M1	Torno	Pinacho	95-950RPM, caja nota universal piñonera
M2	Esmeril	Nordsvents	metálica 0.5Hp(1/2Hp) 1700RPM

Fuente: Investigación de campo

Elaborado por: Sr. Edgar Vargas.

Tabla N°3.10.- Especificación del equipo utilizado en la construcción.

Designación	Equipo	Marca	Características
E1	Suelda eléctrica	Hobart	110v, 220v
E2	Moladora	G&E	110v, 1400 Rpm
E3	Taladro	Truper	110v, 1700 Rpm
E4	Amoladora	Dewalt	110v

Fuente: Investigación de campo

Elaborado por: Sr. Edgar Vargas.

Tabla N°3.11.- Especificación de las herramientas utilizadas en la construcción.

Designación	Herramientas
H1	Arco de cierra
H2	Rayador
H3	Escuadra de metal
H4	Flexo metro (8mts)

Fuente: Investigación de campo

Elaborado por: Sr. Edgar Vargas.

3.17 Ensamble de partes de la estructura simuladora

Para armar el soporte de la estructura simuladora se procedió a insertar los rodamientos interiores en las bases laterales, luego, montar la viga principal y ubicar los rodamientos exteriores y finalmente poner las tuercas en los respectivos ejes con un torque de 100lb.

3.18 Manual de procedimientos

3.18.1 Descripción general

Este manual contiene los procedimientos, operaciones y cuidados necesarios para preservar el buen estado del soporte de la estructura simuladora de la cabina del avión Boeing 707 y evitar problemas posteriores ya sea por el deterioro de la misma o por la mala manipulación u operación.

En el anexo F se describe los formatos del manual de procedimientos.

3.19 Pruebas y análisis de resultados

Luego de haber terminado la construcción del soporte y ensamble de los demás elementos de la estructura simuladora; se procede a realizar las pruebas de funcionamiento de la misma sin carga y con carga, es decir se monta la cabina del avión Boeing707 para verificar que todos los mecanismos u elementos del soporte cumplan las funciones a las que han sido asignadas o construidas; como la estabilidad, rigidez, seguridad y resistencia del material.

3.19.1 Pruebas previas al montaje de la cabina del avión Boeing 707

Primeramente se realizó las pruebas de funcionamiento de los movimientos de cabeceo, alabeo y guiñada de la estructura simuladora en el taller sin carga, que consistió en el montaje de todo el sistema hidráulico en la estructura simuladora y comprobar el correcto funcionamiento de los sistemas en conjunto, tomando en consideración los siguientes aspectos y en particular el soporte de la estructura.

Tabla N°3.12.- Operación de la estructura simuladora en sitio sin carga.

SITUACIÓN DE PRUEBA VISUAL:		ESTRUCTURA SIMULADORA SIN LA CABINA BOEING 707					
N°	ASPECTOS A VERIFICAR	MECANISMO DE CABECEO (ROLL)		MECANISMO DE ALABEO (PITCH)		MECANISMO DE GUIÑADA (YAW)	
		CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
1	OPERA 15° EN SU EJE	✓		✓		✓	
2	FACILIDAD DE CARRERA DEL CILINDRO	✓		✓		✓	
3	ESTABILIDAD	✓		✓		✓	
4	RIGIDEZ	✓		✓		✓	

Fuente: Investigación de campo.

Elaborado por: Sr. Edgar Vargas.

3.19.2 Pruebas de funcionamiento de la estructura simuladora con la cabina del avión Boeing 707 montada.

Luego de constatar el efectivo funcionamiento de todos los sistemas de movimientos de la estructura simuladora se procedió a realizar el montaje de la cabina del avión Boeing 707 tomando las debidas precauciones en el sitio que fue designado para proteger la cabina del avión Boeing 707.

Para lograr esto se tuvo que mandar presión a los cilindros correspondientes verificando que el vástago de los mismos esté extendido a mitad de carrera con el fin de tener primeramente la estructura simuladora alineada y nivelada en los tres ejes correspondientes.

Las pruebas de funcionamiento que se realizaron se detallan en las tablas siguientes:

Tabla N°3.13.-Funcionamiento de elementos de la estructura simuladora.

SITUACIÓN DE PRUEBA VISUAL:		CABINA BOEING 707 MONTADA EN LA ESTRUCTURA SIMULADORA			
N°	ELEMENTO	DEFORMACIÓN		LIBRE MOVIMINETO	
		SI	NO	SI	NO
1	SOPORTES		✓		✓
2	VIGA PRINCIPAL		✓	✓	
3	TRAVESAÑO		✓	✓	
4	EJES		✓	✓	
5	ATICULACIONES		✓	✓	
6	PASADORES		✓		✓
7	PINES DE ANCLAJE		✓		✓
8	PERNOS		✓		✓
9	RODAMIENTOS		✓	✓	

Fuente: Investigación de campo.

Elaborado por: Sr. Edgar Vargas.

TablaN°3.14.-Pruebas de funcionamiento de la estructura simuladora.

SITUACIÓN DE PRUEBA VISUAL:		CABINA BOEING707 MONTADA EN LA ESTRUCTURA SIMULADORA					
N°	ASPECTOS A VERIFICAR	MECANISMO DE CABECEO (ROLL)		MECANISMO DE ALABEO (PITCH)		MECANISMO DE GUIÑADA (YAW)	
		CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
1	OPERA 15° EN SU EJE	✓		✓		✓	
2	FACILIDAD DE RECORRIDO DEL CILINDRO	✓		✓		✓	
3	ESTABILIDAD	✓		✓		✓	
4	RIGIDEZ	✓		✓		✓	

Fuente: Investigación de campo.

Elaborado por: Sr. Edgar Vargas.

3.20 Documento de aceptación de usuario

Luego de haber culminado con el proceso de construcción del soporte de la estructura simuladora el encargado del laboratorio de mecánica aeronáutica (bloque 42) el Sgtop. Kleber Allauca certifica el documento de aceptación de usuario constatando su correcto funcionamiento.

3.21 Estudio técnico, legal y económico

3.21.1 Técnico

El presente proyecto de investigación fue técnicamente factible ya que la construcción del soporte de la estructura simuladora de los movimientos de vuelo para la cabina del avión Boeing 707 satisface las necesidades del personal que realiza prácticas en el laboratorio puesto que cuenta con un sistema hidráulico para comprender y experimentar en tierra los movimientos de una aeronave en vuelo, además la cabina se conserva en el sitio que fue destinado para la misma en donde los practicantes tendrán espacio y comodidad en sus correspondientes periodos de prácticas.

3.21.2 Legal

Según la regulaciones Técnicas de aviación Civil

La sub parte 147.17 de requerimiento del equipo de instrucción dispone que una escuela debe contar con equipos de instrucción tales como:

1. Varias clases de motores, sistemas y componentes del motor, incluyendo las hélices requeridas por su plan de estudio aprobado.
2. Al menos una aeronave de un tipo actual certificado por la DGAC para la operación privada o comercial, con motor, hélice y otros equipos y accesorios en los cuales el estudiante se familiarice.

Con nuestro trabajo de investigación se ha contribuido al fortalecimiento de la institución en este punto.

3.21.3 Económico

El presente proyecto de investigación fue factible económicamente ya que se conto con un presupuesto establecido para su realización, a continuación se detallan los gastos en las siguientes tablas:

3.21.3.1 Costo de Materiales

Comprende todos los rubros de los materiales adquiridos para la construcción del soporte de la estructura simuladora y se detallan en la siguiente tabla:

Tabla N°3.15.-Costos de materiales para la construcción del soporte.

MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL SOPORTE		
CANT.	DESCRIPCIÓN	VALOR/ USD
13m	Tubo estructural cuadrado A-36 (10 x 0.3) cm	184.55
5 Kg	Electrodos E 6011	24.75
3Kg	Electrodo E 7018	21.90
2	Disco abrasivo de corte 4.800 rpm	5.00
2	Disco abrasivo de pulir 4800 rpm	8.25
4	Rodamientos Rodillos Cónicos 3585/25	47.92
1 lb	Grasa Timken para rodamientos.	5.00
1	Tiza blanca para trazar metal	1.50
1	Plancha de acero de (100 x 20)cm x 3/8"	18.00
1	Broca de hierro de 3/4"	9.75
16	Pernos de 3/4" x 6"	30.00
	TOTAL:	356.62

Fuente: Investigación de campo.

Elaborado por: Sr. Edgar Vargas.

3.21.3.2 Costo de mano de obra

Para llevar a cabo este proyecto la ayuda del recurso humano y profesional fue muy valiosa.

Tabla N°3.16.- Costo de mano de obra de la construcción.

COSTOS DE MANO DE OBRA		
ITEM	TRABAJO	VALOR/USD
1	Torno de camisas	40.00
2	Construcción y pintura del soporte	250.00
TOTAL:		290.00

Fuente: Investigación de campo.

Elaborado por: Sr. Edgar Vargas.

Tabla N°3.17.- Mano de obra del proceso de montaje de la cabina.

COSTOS DEL MONTAJE DE LA CABINA BOEING 707		
ITEM	TRABAJO	VALOR/USD
1	Pesaje de la cabina	10.00
2	Retiro de motores del lugar designado para el proyecto	10.00
3	Retiro del techo de eternit	6.00
4	Retiro del techo de la hangareta	6.00
5	Adecuación del sitio designado para la cabina	30.00
6	Montaje de la cabina en la estructura simuladora	20.00
7	Montaje del techo de la hangareta	20.00
TOTAL:		102.00

Fuente: Investigación de campo.

Elaborado por: Sr. Edgar Vargas.

Nota.- Todos los ítems que se detallan en la tabla anteriores 3.16 y 3.17 representan valores parciales del valor total que corresponde a los cinco integrantes que conformamos el proyecto.

3.21.3.3 Costo del informe final

Comprende todos los gastos para la estructuración del informe final del trabajo escrito.

Tabla N°3.18.- Costos del informe final del trabajo de graduación.

COSTOS DEL INFORME FINAL DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN		
ITEM	DETALLE	VALOR/USD
1	Impresiones e internet	60.00
2	Ayuda técnica	500.00
3	Empastado del informe	30.00
4	Otros	120.00
TOTAL:		710.00

Fuente: Investigación de campo.

Elaborado por: Sr. Edgar Vargas.

3.21.3.4 Gastos totales

Comprende la inversión total realizada en todo el proceso de investigación y ejecución del proyecto.

Tabla N°3.19.- Gastos totales del trabajo de graduación.

COSTO TOTAL DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN		
ITEM	DETALLES	VALOR/USD
1	Materiales para la construcción del soporte	356.62
2	Mano de obra	290.00
3	Montaje de la cabina Boeing 707	102.00
3	Informe final del trabajo de graduación	710.00
4	Asesor	120.00
5	Seminario del trabajo de graduación	30.00
6	Informe escrito anteproyecto	120.00
TOTAL:		1728.62

Fuente: Investigación de campo.

Elaborado por: Sr. Edgar Vargas.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones:

- ❖ Se determinó el peso de la cabina del avión Boeing 707 con la utilización de la investigación experimental, aportando al Instituto con la documentación del mencionado trabajo.
- ❖ Con la ayuda de conocimientos adquiridos y los indagados para el presente proyecto se realizó los cálculos correspondientes obteniendo como resultado la capacidad del soporte.
- ❖ En base a las cargas de diseño se seleccionó el material idóneo para la construcción del soporte de la estructura simuladora.
- ❖ El material empleado en la construcción del soporte de la estructura simuladora se puede adquirir en el mercado local.
- ❖ Con el manejo de los planos correspondientes la estructura del soporte es de fácil entendimiento.
- ❖ El soporte de la estructura simuladora puede ser construido y ensamblado en un taller mecánico medianamente equipado.
- ❖ Los procesos de construcción de mecánica básica fueron empleados en la elaboración del soporte de la estructura simuladora y no se requirió de procesos tecnológicos de construcción especiales.
- ❖ Para lograr la operación de la estructura simuladora fue necesario la adecuación del sitio designado para la cabina.
- ❖ La reubicación de la cabina del avión Boeing 707 contribuye a una correcta preservación e idónea funcionalidad de la misma para la toda la comunidad aeronáutica del Instituto.
- ❖ El soporte de la estructura simuladora trabaja eficazmente en la operación de los tres movimientos principales como alabeo, cabeceo y guiñada.

- ❖ El funcionamiento y operación del soporte de la estructura simuladora cumple con los requisitos de seguridad y operación establecidas por el Instituto, obteniendo así el documento de aceptación de usuario por el encargado de los laboratorios de la carrera de mecánica del bloque 42.
- ❖ El soporte de la estructura simuladora colabora con la certificación de las Escuelas de técnicos de mantenimiento aeronáutico como es el ITSA, ya que según las regulaciones técnicas de aviación civil, sub parte 147.17 de requerimiento del equipo de instrucción dispone que una escuela debe contar con equipos de instrucción tales como:
“Varias clases de motores, sistemas y componentes del motor, incluyendo las hélices requeridas por su plan de estudio aprobado. Particularmente fortaleciendo con la estructura simuladora en este punto”

4.2 Recomendaciones:

- ❖ Utilizar la documentación del peso de la cabina para efectos de procesos de montaje, desmontaje o posibles modificaciones en la estructura simuladora, para prevenir daños en su estructura o posibles accidentes.
- ❖ No exceder la capacidad del soporte ya que pondría en riesgo la integridad física de la tripulación a bordo y la estructura en general.
- ❖ Mantener el diseño del soporte ya que es una base para futuras modificaciones pues fue construido con y materiales adecuados para su estructura.
- ❖ Utilizar el manual de operación para el manejo de la estructura, ya que de esta manera se obtendrá una buena capacitación hacia el personal practicante por parte del instructor.
- ❖ Para cambios o modificaciones posteriores en la estructura utilizar los planos correspondientes ya que contribuirá a mejoras en los trabajos.
- ❖ La tripulación debe tener bases fundamentales de aerodinámica, hidráulica y resistencia de materiales para la correcta manipulación de la estructura simuladora.
- ❖ No colocar en el sitio designado para la cabina, maquinas, materiales o estructuras ajenas a la misma ya que esto limitaría la operación óptima de la estructura.
- ❖ Mantener y mejorar el espacio donde se encuentra la cabina y estructura simuladora, con el objeto de precautelar los elementos de la estructura simuladora y la cabina en general.
- ❖ La colocación adecuada de un cerramiento para seguridad de equipos y sistemas que conforman el simulador de vuelo.
- ❖ Readequar la estructura física de la cabina para obtener un equipo correctamente presentable y conseguir un buen desarrollo en los procesos de instrucción.
- ❖ Establecer correctos periodos de prácticas por parte del personal docente en los cuales los alumnos puedan comprender claramente el funcionamiento y operación de la estructura simuladora.
- ❖ Revisar los manuales de procedimientos; operación y mantenimiento de la estructura simuladora para lograr una efectiva funcionalidad y conservación de la misma.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Báscula: Balanza para medir pesos grandes.

Cabina: La cabina de vuelo, es el área de la parte frontal de un avión en la que la tripulación técnica, piloto y copiloto principalmente, controla la aeronave.

Cargas muertas: Las cargas muertas son de magnitud constante que permanecen fijas en un mismo lugar. Estas son el peso propio de la estructura y otras cargas permanentemente unidas a ella.

Cargas vivas: Son aquellas que pueden cambian de lugar y magnitud, es decir todas las cargas que no son muertas son vivas.

Ductilidad: Es la capacidad de un material para ser sometido a gran deformación sin quebrarse.

Esfuerzo de fluencia: Es el esfuerzo en el cual un pequeño incremento del esfuerzo produce un apreciable incremento en la deformación.

Flexión: Un cuerpo está sometido a flexión cuando actúan sobre él dos fuerzas iguales con una separación, y otra en sentido contrario en el centro de las dos, igual a la suma de éstas.

Grasa de lubricación: Sirve de colchón de aceite y no permite la fricción entre superficies evitando el desgaste del conjunto.

Herramienta: Cualquier instrumento o accesorio de uso manual o mecánico empleado en ingeniería, manufactura, albañilería, carpintería para facilitar la operación de reparación o construcción de algún componente o elemento.

Límite de fluencia: Límite superior en el cual el material se comporta elásticamente y a partir del cual el material se deforma plásticamente.

Mantenimiento: Conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios, industrias, máquinas, componentes, etc, puedan seguir funcionando adecuadamente.

Maquinabilidad: Es la facilidad que posee un material de permitir el proceso de mecanizado por arranque de viruta.

Montaje: Acción y efecto de montar (o armar las piezas de un aparato o máquina).

Pórtico: Estructura Formada por vigas y columnas rígidamente unidas entre sí o mediante articulaciones.

Resistencia a la tensión o fluencia: Se define como el esfuerzo que deja al material con una deformación permanente establecida o se rompe.

Rodamiento: Elemento mecánico que permite el libre movimiento entre piezas fijas y móviles.

Simulador de vuelo: Es un sistema que intenta replicar, o simular, la experiencia de volar una aeronave de la forma más precisa y realista posible.

Soportes: Los soportes son elementos verticales sometidos principalmente a compresión. Son los elementos que transmiten las cargas verticales al terreno a través de los cimientos y las bases.

Tripulación: Miembros que conforman piloto, copiloto e ingeniero de vuelo.

Tensión: Cuando sobre un elemento actúa una fuerza externa perpendicular a su sección transversal, el efecto que produce es un alargamiento longitudinal al que se le asocia una disminución en la sección transversal.

SIGLAS Y ABREVIATURAS

AFBMA: Asociación de fabricantes de cojinetes de rodamiento - (Anti-Friction Bearing Manufactures Association).

AISC: Instituto Americano de construcción del Acero – (American Institute of Steel Construction).

AISI: Instituto Americano de Hierro y del Acero - (American Iron and Steel Institute).

ASTM: Sociedad Americana de Pruebas y Materiales – (American Society for Testing and Materials).

AWS: Sociedad Americana de Soldadura – (American Welding Society).

DGAC: Dirección General de Aviación Civil.

FS: Factor de seguridad.

HSS: Secciones Estructurales Huecas - (Hollow Structural Seccion).

ITSA: Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico.

SAE: Sociedad Americana de Ingenieros Automotrices - (Society of Automotive Engineers).

SMAW: Soldadura eléctrica por arco con electrodo revestido - (Shielded Metal are Welding)

BIBLIOGRAFÍA

Libros:

- ❖ GRUPO SKF. Catálogo de Rodamientos.
- ❖ HORWITZ. Manual de soldadura. Aplicaciones y Práctica. Tomo I.
- ❖ LÓPEZ ARANGO, D. Mecánica para ingenieros. Estática.
- ❖ MARKS. Manual del ingeniero mecánico. 9ª Edición.
- ❖ McCORMAC. Diseño de estructuras de acero. Método LRFD. 2ª Edición.
- ❖ McCORMAC. Diseño de estructuras metálicas. 3ª Edición.
- ❖ MOTT, L. Robert. (1995). Diseño de elementos de máquinas. 2ª Edición en Español.
- ❖ NONNAST, R. El proyectista de estructuras metálicas. 22ª Edición.
- ❖ OCEANO UNO COLOR. (1996). Diccionario Enciclopédico.
- ❖ Pat L. Mangonon, PhD, P.E; Fasm. Ciencias de los materiales.
- ❖ RDAG. Regulaciones Aeronáuticas del Ecuador.
- ❖ SHIGLEY, J. Diseño en ingeniería mecánica. 4ª Edición.
- ❖ VINNAKOTA, S. Estructuras de acero comportamiento y LRFD.

Internet:

- ❖ <http://www.airliners.net/aircraft-data/stats.main?id=87>
- ❖ <http://www.slideshare.net/oswaldodavid/sistemas-estructurales-3777418>
- ❖ <http://www.mecapedia/enciclopediavirtualdeingenieríamecánica.ec>
- ❖ http://html.rincondelvago.com/sistemas-estructurales_1.html
- ❖ <http://www.skf.com/portal/skf/home/services?contentId=293196>
- ❖ http://www.emc.uji.es/d/mecapedia/coeficiente_de_seguridad.htm
- ❖ http://www.emc.uji.es/d/mecapedia/coeficiente_de_seguridad.htm
- ❖ <http://www.ipac-acero.com/ipac/tben003.html>
- ❖ http://www.es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_seguridad
- ❖ <http://www.skf.com/portal/skf/home/services?contentId=293196>
- ❖ http://www.rodamundi.com/pdf/listado_referencias.pdf

ANEXO A

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO

FICHA TÉCNICA DE OBSERVACIÓN

Carrera: Mecánica Aeronáutica Mención - Motores.

Lugar de observación: ITSA, bloque 42.

Fecha de observación: 22/01/2011.

Observador: Sr. Vargas Jiménez Edgar Eduardo.

Equipo de ayuda: Báscula digital de 2 toneladas.

Material de apoyo: Papel y lápiz.

OBJETIVO: Recolectar los datos de dimensiones y pesarla cabina del avión Boeing 707 que se encuentra en las instalaciones del instituto junto a los laboratorios de la carrera de mecánica del bloque 42.

Datos Recolectados:

1. Dimensiones de la cabina.
2. Peso total de la cabina en la condición real.
3. Peso de la instrumentación presente.

Resultados del trabajo:

Se pudo recolectar la información de los siguientes aspectos:

- El peso total de la cabina es de 879 Kg.
- El peso de los instrumentos que se encontraban en la misma es de: 202.5 Kg.
- El peso del Radome es de 24.5 Kg.

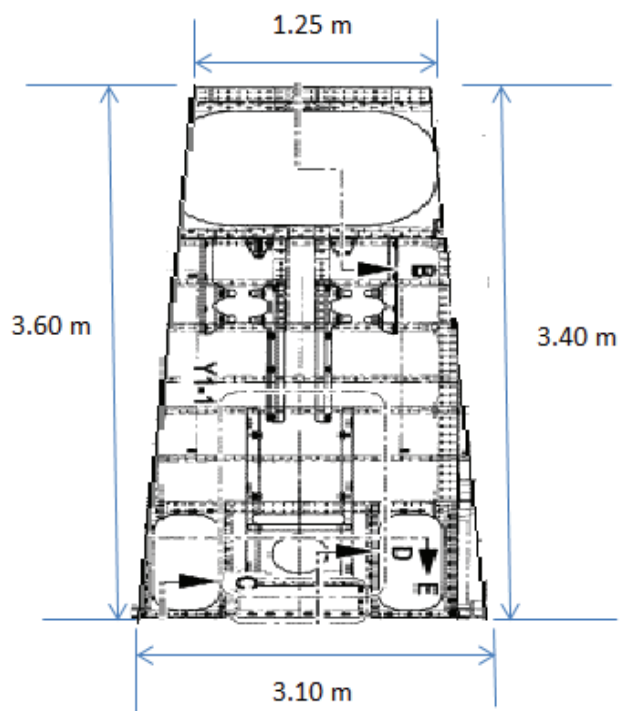
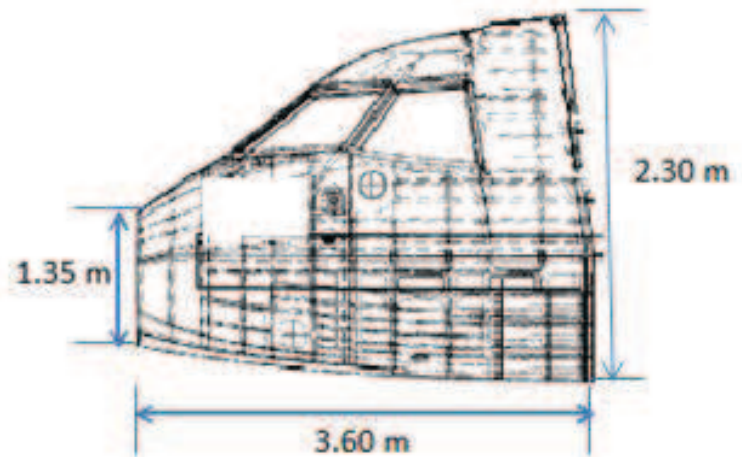
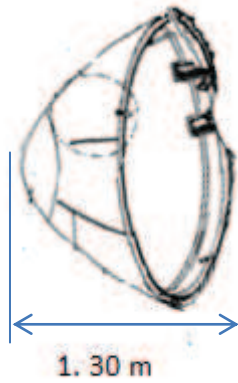
Las dimensiones de la cabina son:

- ❖ Longitud 3.60 m.
- ❖ Altura 2.30 m.
- ❖ Profundidad 3.10 m.

Estos datos son el punto de partida para el trabajo de investigación.

DIMENSIONES Y PESAJE DE LA CABINA BOEING 707.

RADOME

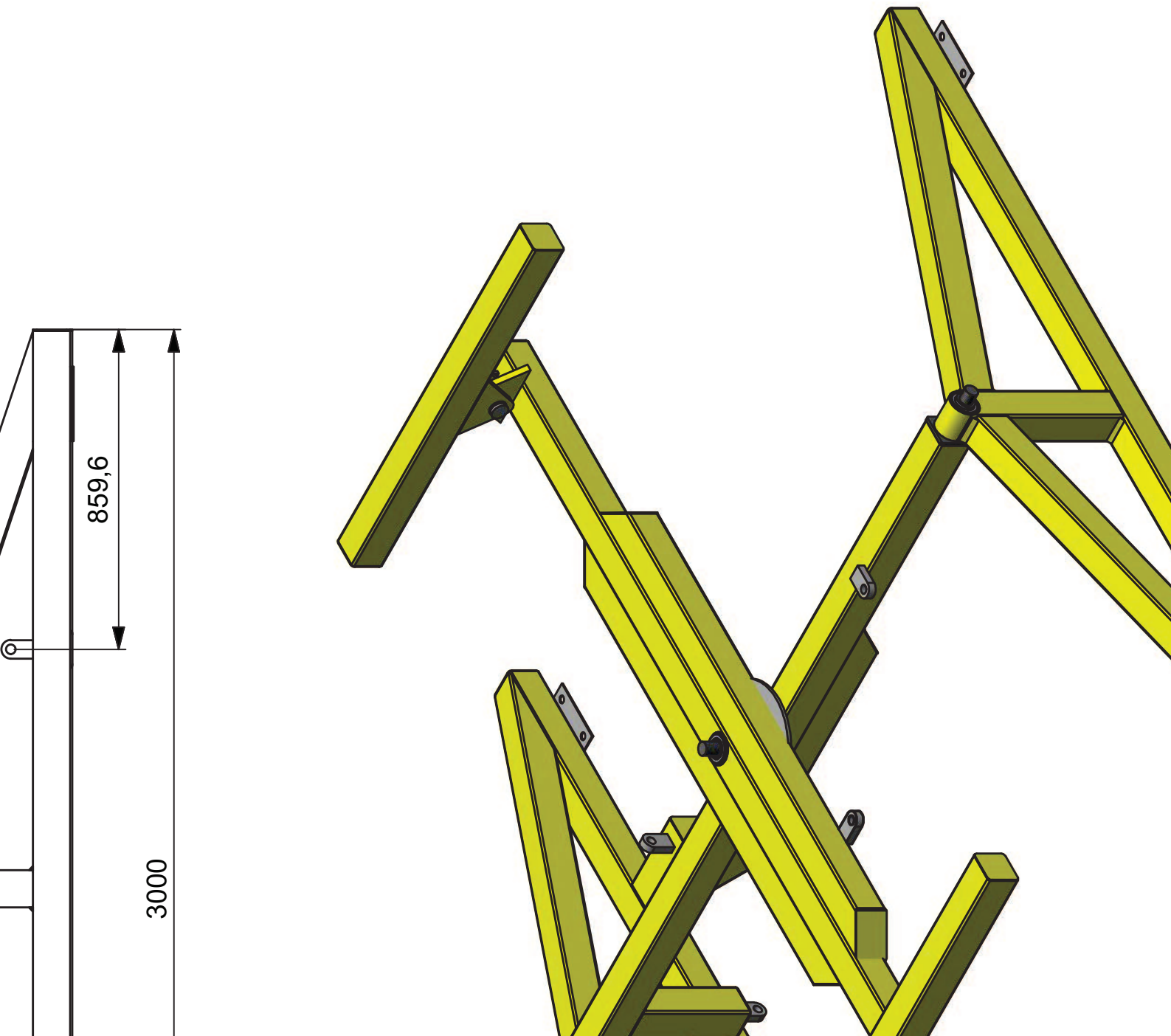
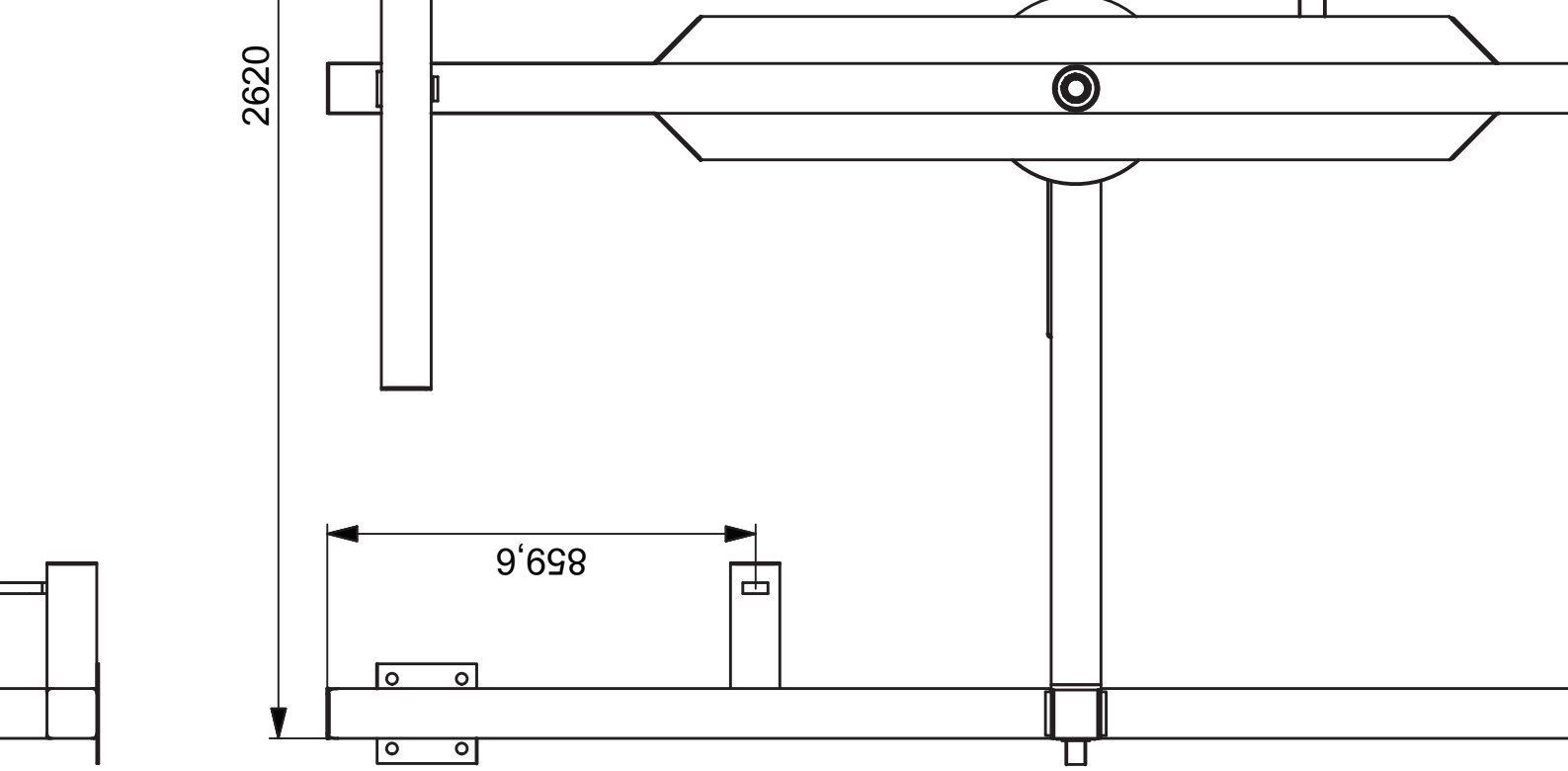


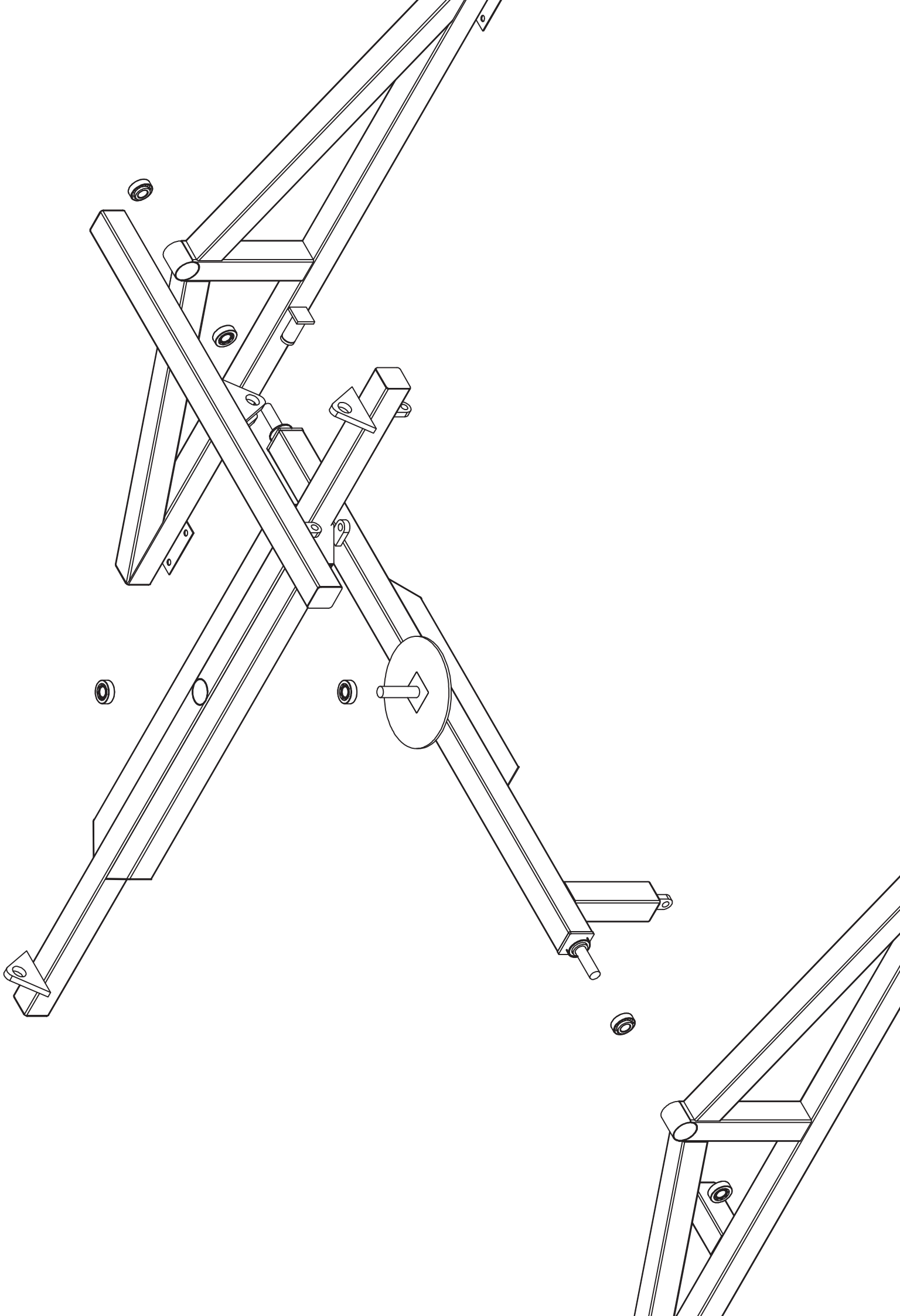
ITEM	PESO/Kg
Cabina	879
Radome	24.5
Equipos	202.5
Tripulación	300
Total:	1406

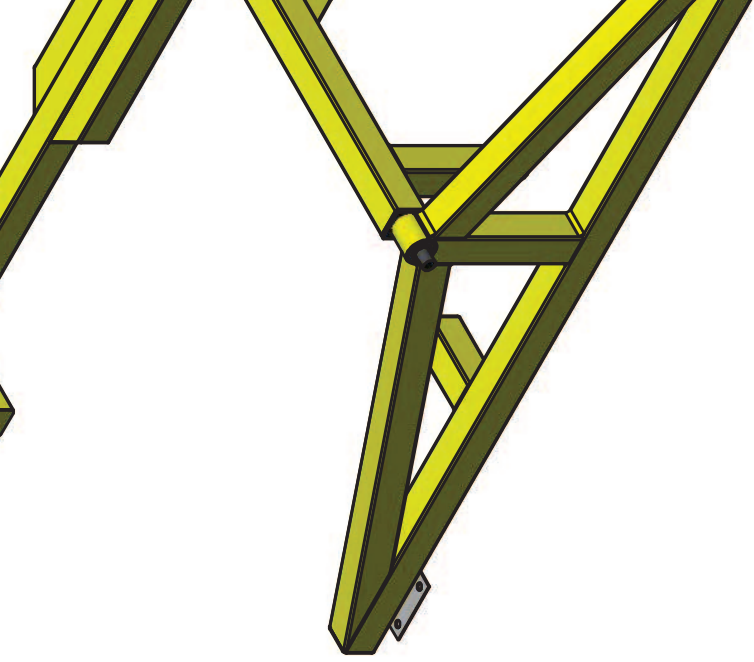
VISTA INFERIOR (PISO DE LA CABINA)

ANEXO B

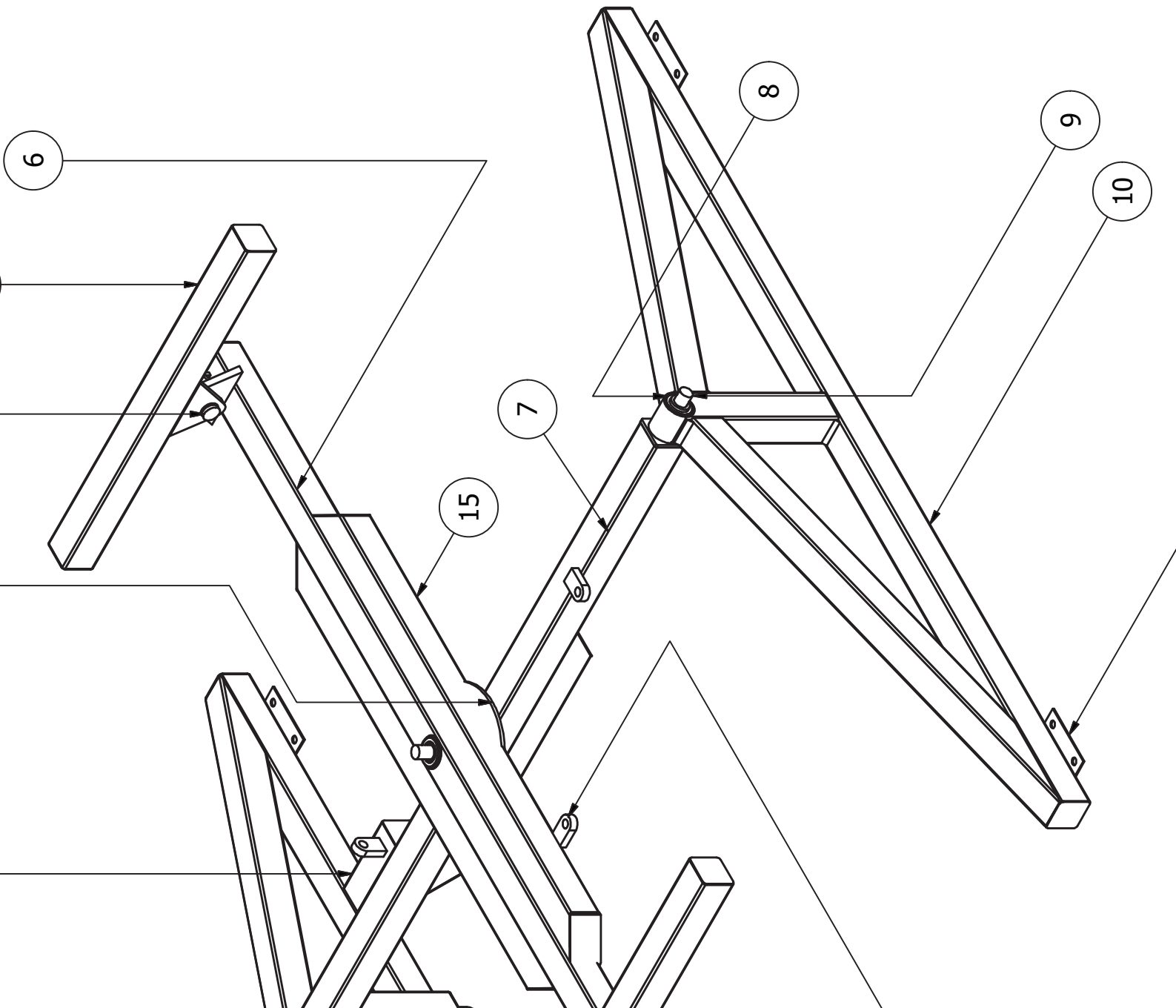
PLANOS DEL SOPORTE DE LA ESTRUCTURA SIMULADORA





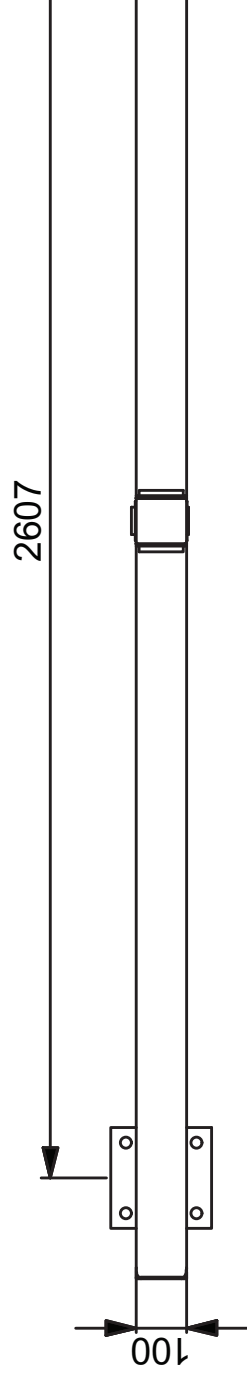
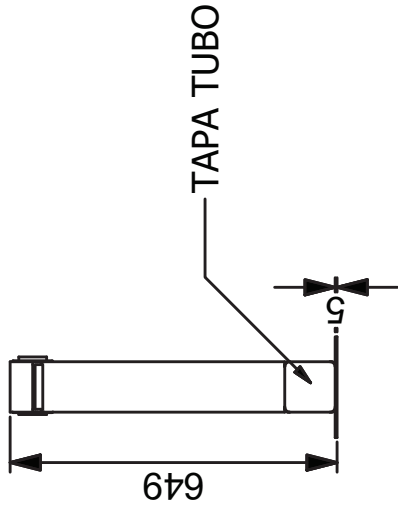
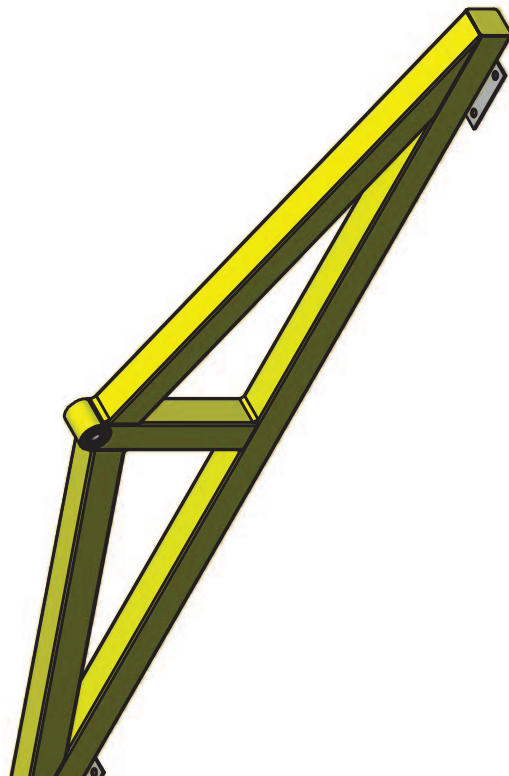
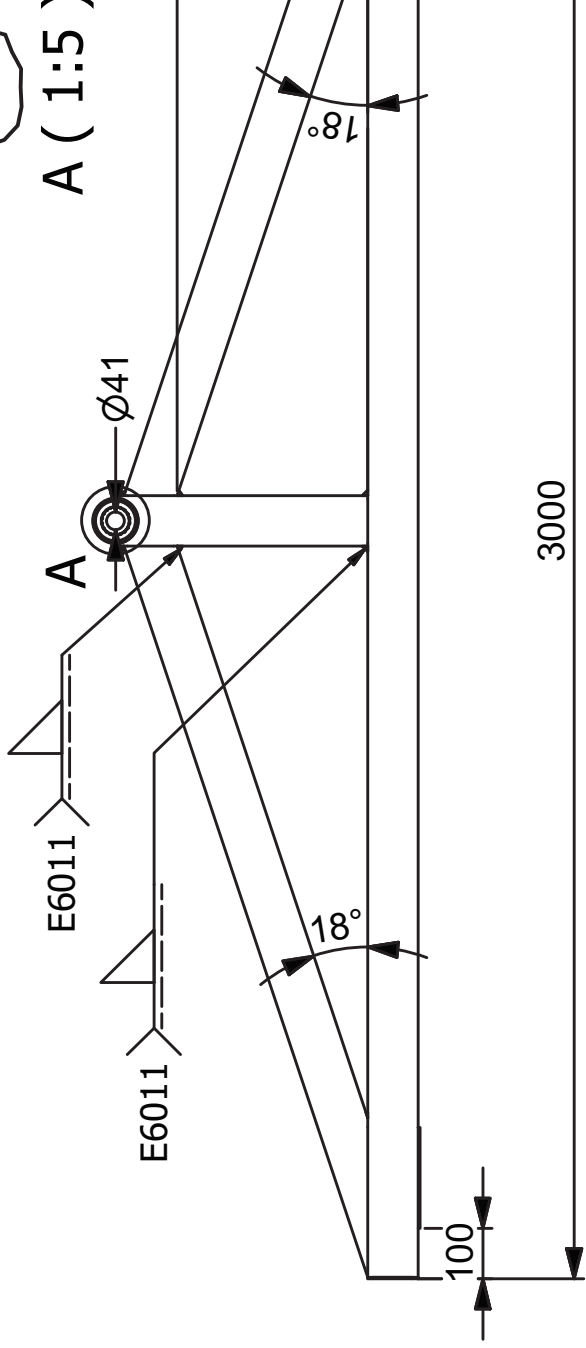


3	REFUERZOS ESTRUCTURAL
1	TRANSVERSAL N° 2
6	ARTICULACIONES
6	PINES DE ANCLAJE DE CILINDRO
4	PLACAS DE FIJACIÓN DE LA BASE
2	BASE LATERAL

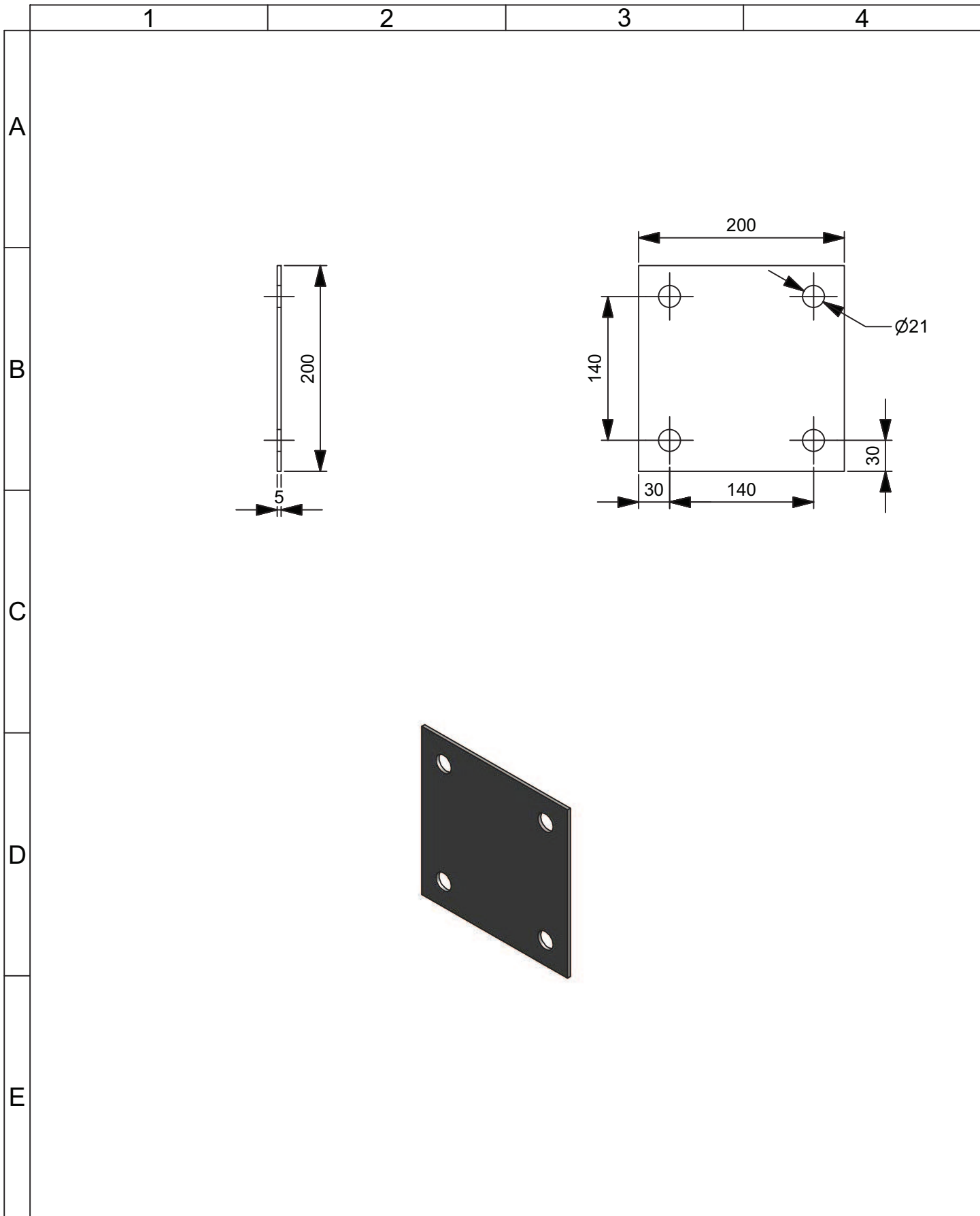




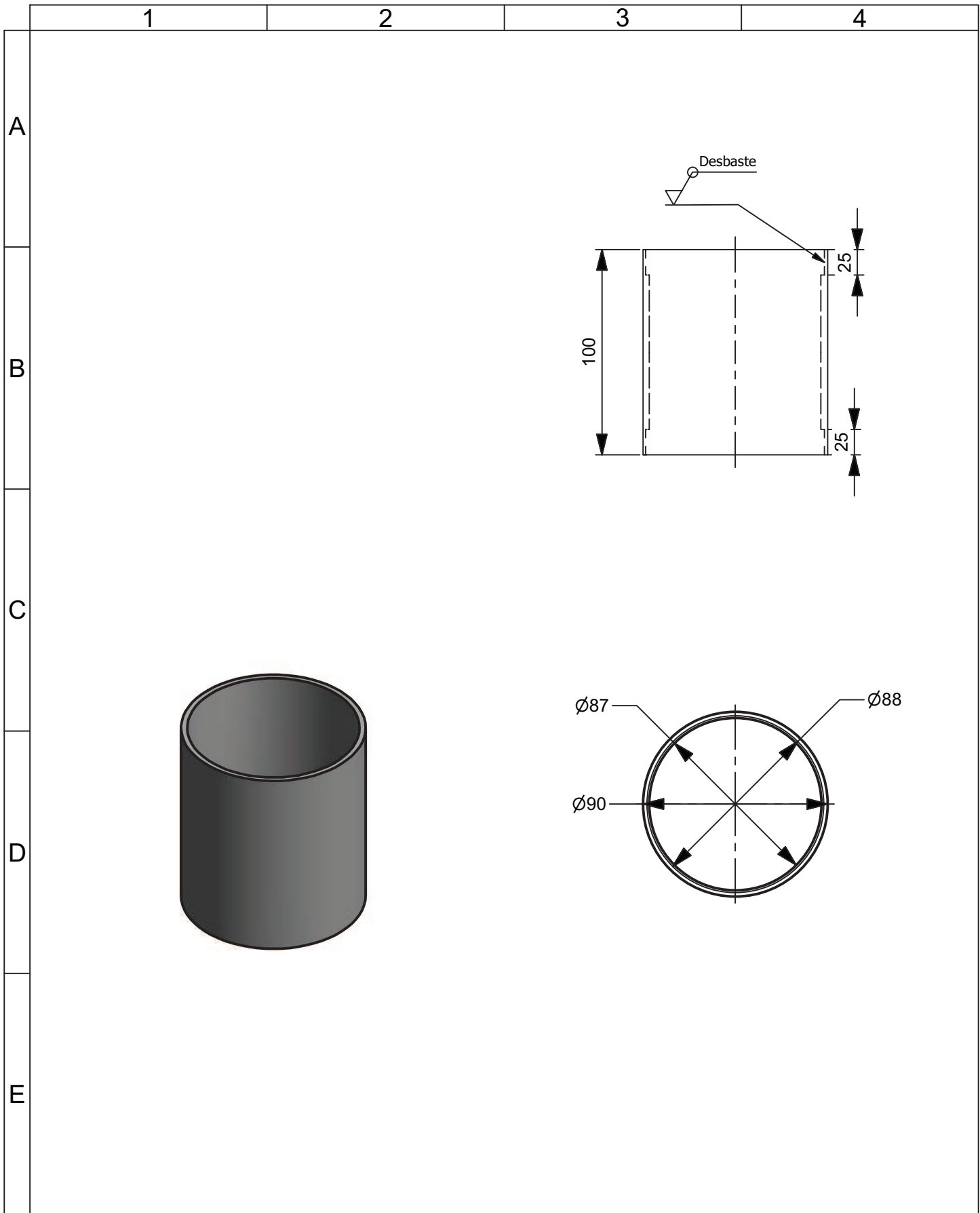
A (1:5)



Tolerancia	Peso	ACERC
	2023.60 N	



				Tolerancia	Peso 1.50 N	ACERO ASTM A-36	
						PLACA DE SUJECIÓN	Escala 1:5
				Fecha:	Nombre:		
				Dib.	23-09-2011 Vargas Edgar		
				Rev.	Ing. Yanchapaxi		
				Apro.	Ing. Yanchapaxi		
				I.T.S.A Mecánica Aeronáutica		ES_EV_006	
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre				



				Tolerancia	Peso 0.80 N	ACERO ASTM A-36	
						CAMISA	Escala 1:2,5
				Fecha:	Nombre:		
				Dib.	23-09-2011 Vargas Edgar		
				Rev.	Ing. Yanchapaxi		
				Apro.	Ing. Yanchapaxi		
				I.T.S.A Mecánica Aeronáutica		ES_EV_007	
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre				

Anexo C:
Recomendaciones para
seleccionar el FS.

Recomendaciones para seleccionar FS

1	$N = 1.25$ a 1.5	Para materiales excepcionalmente confiables que se usan bajo condiciones controladas y sujetas a cargas y esfuerzos que pueden determinarse con certeza; usadas en forma casi invariable donde el bajo peso es una consideración particularmente importante.
2	$N = 1.5$ a 2	Para materiales bien conocidos, bajo condiciones razonablemente constantes del ambiente, sujetos a cargas y esfuerzos que pueden determinarse fácilmente.
3	$N = 2$ a 2.5	Para materiales promedio que operan en ambientes comunes y sujetos a cargas y esfuerzos que pueden determinarse.
4	$N = 2.5$ a 3	Para materiales frágiles o para los que no han sido examinados bajo condiciones promedio del ambiente, carga y esfuerzo.
5	$N = 3$ a 4	Para materiales que no se han examinado y que se han usado bajo condiciones promedio de ambiente, carga y esfuerzo.
6	$N = 3$ a 4	Debe usarse también con materiales mejor conocidos que se usarán en medios inciertos o estarán sometidos a esfuerzos indeterminados.
7	$N = 1$ a 6	Cargas repetidas: los factores establecidos en los puntos 1 a 6 son aceptables, pero se deben aplicar a la resistencia a la fatiga y no a la resistencia a la fluencia.

ANEXO D

ESPECIFICACIONES DE LOS ACEROS EMPLEADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN

ANEXO D.1



IPAC

Por los caminos del acero...

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL ACERO ASTM- A36

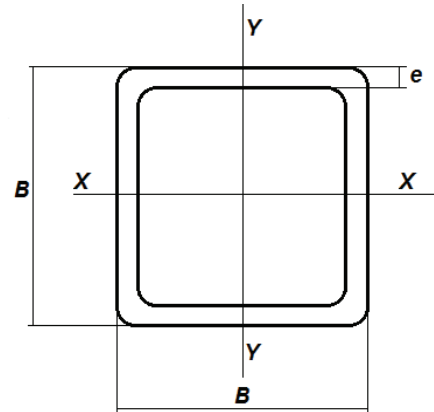
Grado de acero	Composición química (% en peso)						Espesor		Requerimientos físicos			
	C	Mn	P	S	Si	Cu	Pulg	mm	Limite de fluencia		Resistencia a la tensión	
	max		max	max	max				Ksi	Mpa	Ksi	Mpa
ASTM A-36	0.25	0.80-1.20	0.040	0.050	0.40	0.20			36	412	65-80	450-550
Prueba de impacto CVN						Prueba de Dobleces		Dureza (RB)	Grados Equivalentes BS EN 10025 S275 JIS G3132 SPHT-400			
Espesor Pulg. (mm)	Temperatura de prueba		Promedio min. En 3 probetas Ft-Lb (joules)	Promedio min. Individual Ft-Lb (joules)	Espesor Pulg. (mm)	Angulo = 180						
	F	C										
SOLO COMO REQUERIMIENTO SUPLEMENTARIO								-				



IPAC

Por los caminos del acero...

ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO





DIMENSIONES			PESO P	ÁREA A	PROPIEDADES		
Designación Plg	B	e			EJES X-X e Y-Y		
	mm	mm	Kg/6m	cm ²	I cm ⁴	W cm ³	i cm
3/4	20	1.5	4.98	1.05	0.58	0.58	0.74
		2.0	6.30	1.34	0.69	0.69	0.72
1	25	1.5	6.36	1.35	1.21	0.97	0.95
		2.0	8.16	1.74	1.48	1.18	0.92
1 1/4	30	1.5	7.80	1.65	2.19	1.47	1.15
		2.0	10.08	2.14	2.71	1.81	1.12
1 1/2	40	1.5	10.62	2.25	5.48	2.74	1.56
		2.0	13.86	2.94	6.92	3.46	1.53
		3.0	19.80	4.21	9.28	4.64	1.48
2	50	1.5	13.44	2.85	11.06	4.42	1.97
		2.0	17.58	3.74	14.13	5.65	1.94
		3.0	25.50	5.41	19.40	7.76	1.89
2 3/8	60	1.5	16.26	3.74	18.68	6.22	2.23
		2.0	22.44	4.54	25.12	8.37	2.35
		3.0	33.30	6.61	35.06	11.69	2.30
3	75	2.0	27.00	5.74	50.47	13.46	2.97
		3.0	39.60	8.41	72.54	19.08	2.92
		4.0	51.54	10.95	89.98	24.00	2.87
4	100	2.0	36.42	7.74	122.99	24.60	3.99
		3.0	53.76	11.41	176.95	35.39	3.94
		4.0	70.38	14.95	226.09	45.22	3.89

ANEXO D.2

APLICACIONES DE ALGUNOS ACEROS DESIGNACIÓN AISI.

Número AISI	Aplicaciones
1015	Partes de metal laminado; partes maquinadas (pueden ser carburizadas)
1030	Partes en forma de barra para uso general, palancas o manijas, eslabones o uniones, cuñas de unión
1045	Flechas o ejes, engranes
1080	Piezas para equipo agrícola (rejas, discos, dientes de rastrillos, dientes de podadoras de césped) que se someten a fricción; resortes.
1112	Piezas de tornillos para máquinas.
4140	Engranes, flechas o ejes, piezas forjadas.
4340	Engranes o ejes, piezas que requieren de un buen endurecimiento directo.
4640	Engranes, flechas o ejes, levas.
5150	Flechas o ejes para trabajo pesado, resortes, engranes.
52100	Pistas de rodamiento, bolas y baleros (acero para cojinetes)
6150	Engranes, piezas forjadas, flechas o ejes, resortes
8650	Engranes, flechas o ejes
9260	Resortes

Aceros Bonificados					
Normas		Características Técnicas y Aplicaciones	Composición Química %	Dureza Entrega HB	
USA/ SAE/AISI	Alemania W.St.N°	Acero al Cr, Ni, Mo de gran templabilidad y tenacidad, con tratamiento térmico, para ejes, cigüeñales, ejes diferenciales y cardanes, engranajes y piezas de mando.	C: 0,34 Mn: 0,55 Cr: 1,55	Mo: 0,25 Ni: 1,55	
4340	6582				299 353
Código Color					
USA/ SAE/AISI	Alemania W.St.N°	Acero al Cr, Mn, Mo con tratamiento térmico, de alta resistencia a la tracción para piezas de maquinarias sometidas a la tracción para piezas de maquinarias sometidas a exigencias como muñones, pernos y piñones	C: 0,42 Mn: 0,65	Mo: 0,20 Cr: 1,00	
4140	7225				266 310
Código Color					

ANEXO D.3 ESPECIFICACIONES DEL ACERO DE DESIGNACIÓN AISI 4340.

Designación del material (número AISI)	Condición	Resistencia a la tracción		Resistencia a punto caliente		Dureza Brinell (HB)	Ductilidad (elongación porcentual en 2 pulg)	Resistencia a la tracción	Resistencia a punto caliente		Dureza Brinell (HB)
		Kil	MPa	Kil	MPa				Kil	MPa	
1020	Rollado en caliente	55	379	40	207	111	25	106	731	55	379
1020	Extruido en frío	61	420	31	352	122	15	300	2070	1710	378
1020	Recocido	60	414	43	296	121	38	247	1700	229	1580
1040	Rollado en caliente	72	496	42	290	144	18	197	1560	181	1250
1040	Extruido en frío	80	552	71	490	160	12	127	980	116	800
1040	Rollado en caliente	88	607	61	421	183	33	108	745	68	469
1040	Extruido en frío	113	779	87	600	262	19	283	1570	228	1570
1040	Rollado en caliente	90	620	49	338	180	15	230	1590	208	1420
1050	Extruido en frío	100	690	84	579	200	10	171	1180	158	1090
1050	Rollado en caliente	96	662	61	421	192	30	140	965	120	827
1050	Extruido en frío	143	986	110	758	321	10	83	572	42	290
1117	Rollado en caliente	62	427	34	234	124	33	276	1900	226	1560
1117	Extruido en frío	69	476	51	352	138	20	220	1550	200	1380
1117	Rollado en caliente	88	607	48	331	176	15	145	1000	130	896
1137	Extruido en frío	98	676	82	565	196	10	104	850	80	572
1137	Rollado en caliente	87	600	60	414	174	28	98	676	52	359
1137	Extruido en frío	157	1083	136	938	352	5	312	2150	250	1720
1144	Rollado en caliente	94	648	51	352	188	15	240	1650	220	1520
1144	Extruido en frío	100	690	90	621	200	10	263	1810	237	1630
1144	Rollado en caliente	96	662	68	469	200	25	170	1170	151	1040
1144	Extruido en frío	127	876	91	627	277	16	115	793	100	690
1213	Rollado en caliente	55	379	33	228	110	25	105	724	40	276
1213	Extruido en frío	75	517	58	340	150	10	322	2220	260	1790
12L13	Rollado en caliente	57	393	34	234	114	22	312	2150	250	1720
12L13	Extruido en frío	70	483	60	414	140	10	240	1650	220	1520
1340	Recocido	102	703	63	434	207	26	183	1700	223	1540
1340	Rollado en caliente	85	1960	234	1610	578	8	107	718	107	718
1340	Extruido en frío	221	1520	197	1360	444	10	104	717	56	386
1340	Rollado en caliente	144	993	132	910	363	17	282	1940	250	1720
1340	Extruido en frío	100	690	75	517	235	25	240	1650	222	1530
3140	Recocido	95	635	67	462	187	25	176	1210	155	1070
3140	Rollado en caliente	280	1930	248	1710	553	11	122	841	113	779
3140	Extruido en frío	220	1520	200	1380	461	13	101	680	60	414
3140	Rollado en caliente	152	1050	133	920	311	17	290	2000	240	1650
3140	Extruido en frío	115	792	94	648	233	23	238	1570	212	1460
4130	Recocido	81	558	52	359	156	28	113	780	71	490
4130	Rollado en caliente	234	1610	197	1360	461	12	310	2140	287	1980
4130	Extruido en frío	208	1430	180	1240	302	13	175	1210	167	1150
4130	Rollado en caliente	143	986	132	910	302	16	119	820	100	690
4130	Extruido en frío	98	676	89	614	202	28	113	780	71	490
4140	Recocido	95	635	60	414	197	26	260	1790	240	1650
4140	Rollado en caliente	280	2000	251	1730	578	11	181	1250	160	1100
4140	Extruido en frío	231	1590	212	1468	461	13	130	896	102	703
4140	Rollado en caliente	168	1160	152	1050	341	17	107	718	107	718
4140	Extruido en frío	117	807	103	690	235	23	105	724	40	276

Propiedades comunes en todos los aceros al carbono y que contienen aleación: Razón de Poisson: 0.27
 Densidad: 0.283 lb/pulg³, 7.680 g/cm³
 Módulo de elasticidad: 30 x 10⁶ psi, 207 GPa
 Módulo de elasticidad: 6.5 x 10⁴ kgf/cm²
 Coeficiente de expansión térmica: 6.5 x 10⁻⁶ in/in-°F



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS
OPERACIÓN DEL SOPORTE DE LA
ESTRUCTURA SIMULADORA



Elaborado por: Sr. Edgar Vargas.

REVISADO
No. 1

Aprobado por: Ing. Juan Yanchapaxi.

Fecha:

1.- OBJETIVO:

Documentar los procedimientos a seguir para la operación óptima del soporte de la estructura simuladora.

2.- ALCANCE:

Mantener en perfectas condiciones de funcionamiento el soporte de la estructura simuladora durante las prácticas que realizan los estudiantes en el bloque 42.

3.- PROCEDIMIENTOS:

Los siguientes procedimientos deben ser realizados por los practicantes:

- 3.1 Revisar que la estructura del soporte este en perfectas condiciones.
- 3.2 Observar que las bases laterales estén correctamente asentadas al piso.
- 3.3 Revisar que la viga principal no presente deformaciones en toda la sección.
- 3.4 Verificar que todas las tuercas de los ejes estén debidamente ajustadas.
- 3.5 Examinar que no exista alguna deformación en los rodamientos.
- 3.6 Verificar que la viga principal esté alineada para proceder a su operación.

Firma del practicante: -----



MANUAL DE PROCEDIMIENTOS

MANTENIMIENTO DEL SOPORTE DE LA ESTRUCTURA SIMULADORA



Elaborado por: Sr. Edgar Vargas.

REVISADO
No. 1

Aprobado por: Ing. Juan Yanchapaxi.

Fecha:

1.- OBJETIVO:

Documentar el procedimiento de mantenimiento del soporte de la estructura simuladora.

2.- ALCANCE:

Mantener en buen estado el soporte para lograr una efectiva operación de la estructura simuladora en los periodos de prácticas que realizan los alumnos en el bloque 42.

3.- PROCEDIMIENTOS:

El personal docente o practicante deberá realizar los siguientes procesos:

- 3.1 Limpiar la plataforma respectiva para tener un área limpia de trabajo y evitar suciedad en la estructura.
- 3.2 Realizar una inspección visual del ajuste de las tuercas de los ejes.
- 3.3 Limpiar de impurezas que puedan estar presentes en los rodamientos y que
- 3.4 Engrasar los rodamientos para mantener el libre movimiento y preservar su vida útil.
- 3.5 Utilizar un paño húmedo para retirar los excesos de grasa en el soporte.

Firma del practicante: -----

ANEXO J

FÓRMULAS EMPLEADAS EN LOS CÁLCULOS DEL SOPORTE

ANEXO J

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SOPORTE

ANTES



Figura: Condición anterior del estado de la cabina.

Fuente: Sr. Edgar Vargas.

SITUACIÓN ACTUAL.-MONTAJE DE LA CABINA EN LA ESTRUCTURA SIMULADORA DE LOS MOVIMIENTOS DE VUELO.



Figura: Operación óptima del soporte de la estructura simuladora.

Fuente: Sr. Edgar Vargas.



3.3.6.2 Fuerza de empuje del cilindro

El fluido actúa sobre la cara anterior o posterior del cilindro provoca el desplazamiento de este a lo largo de la camisa y transmite su movimiento hacia afuera a través del vástago.

El desplazamiento hacia adelante y atrás del cilindro se denomina carrera. La presión ejercida por el fluido hidráulico sobre el pistón se manifiesta sobre cada unidad de superficie del mismo.

La fuerza ejercida sobre el elemento de trabajo depende de la presión del fluido, del diámetro del cilindro y del rozamiento de las juntas. La fuerza teórica que ejerce el embolo para conseguir poner en movimiento la cabina la determinamos analizando un diagrama de cuerpo libre que involucra a una fuerza de entrada (F) ejercida por el cilindro, el peso total (Wt) y a reacciones cuyas direcciones se suponen tal y como se muestra en la figura:

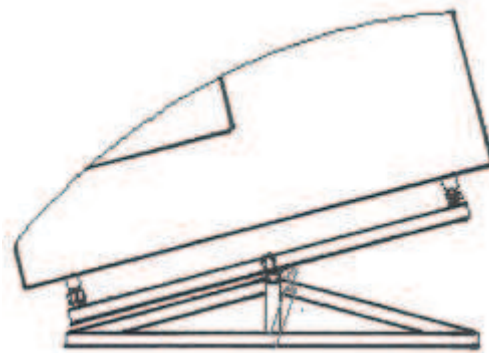
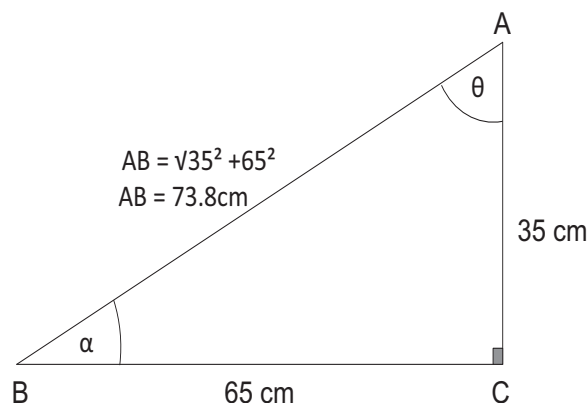


Figura 3.5 Ubicación del cilindro.

Primero, aplicando la ley de los senos al triángulo ABC; conseguimos:



$$\tan \alpha = \frac{\text{Cat. opuesto}}{\text{Cat. adyacente}} \quad (3.2)$$

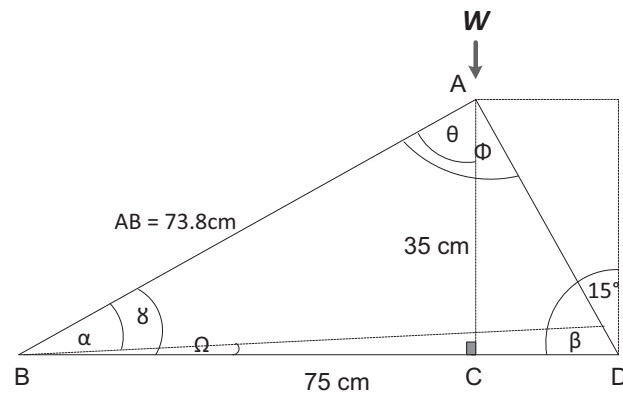
$$\tan \alpha = \frac{35}{65}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{35}{65}$$

$$\alpha = 28.30^\circ$$

$$\theta = (90 - 28.30)^\circ \quad (3.3)$$

$$\square = 61.70^\circ$$



$$\phi = (61.70 + 15)^\circ$$

$$\phi = 76.7^\circ$$

$$\frac{\sin \phi}{75} = \frac{\sin \beta}{73.8} \quad (3.4)$$

$$\sin \beta = \frac{\sin 76.7^\circ * 73.8}{75}$$

$$\beta = \sin^{-1} 0.96^\circ$$

$$\beta = 73.25^\circ$$

$$\tan \delta = \frac{\text{Cat. opuesto}}{\text{Cat. adyacente}} \quad (3.5)$$

$$\tan \delta = \frac{35}{75}$$

$$\delta = \tan^{-1} \frac{35}{75}$$

$$\theta = 25.02^\circ$$

$$\Omega = \alpha - \theta \tag{3.6}$$

$$\Omega = 3.28.$$

Además también se observa que:

$$\sum F_x = 0$$

$$F \cos 3.28 - W = 0 \tag{3.7}$$

$$F = \frac{W}{\cos 3.28}$$

$$F = 1462.15 \text{Kg} = 3224.04 \text{lb}$$

Finalmente hemos podido determinar que para poner en movimiento el mecanismo de giro de nuestro simulador requerimos de cilindros cuya fuerza teórica de empuje este próxima a las 3225 libras.

En la práctica, es necesario conocer la fuerza real. Para determinarla hay que tener en cuenta los rozamientos, en condiciones normales de servicio se puede considerar que las fuerzas de rozamiento representan de un 3% a 20% de la fuerza teórica calculada.

$$F_n = F - F_r \tag{3.8}$$

Dónde:

F_n = fuerza real

F = fuerza teórica

F_r = fuerza de rozamiento

Para las fuerzas de rozamiento hemos asumido un valor intermedio del 10% de la fuerza teórica calculada por lo que durante el accionamiento del cilindro hidráulico tendremos una fuerza de rozamiento cuyo modulo será:

$$F_r = 0.1 \times F \tag{3.9}$$

$$F_r = 0.1 \times 3224.04 \text{lb}$$

$$F_r = 322.404 \text{lb}$$

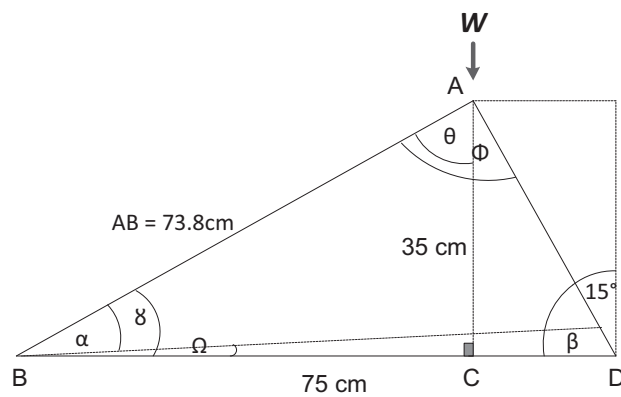
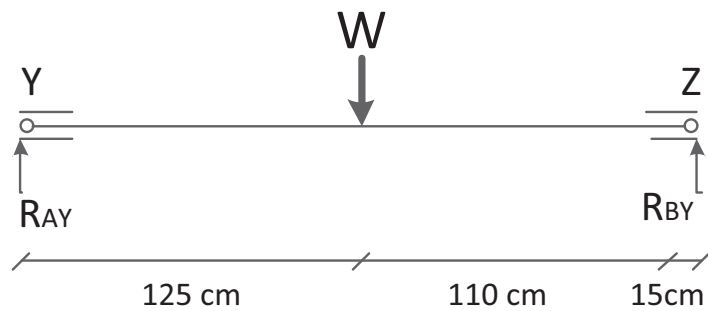
Finalmente al sustituir estos valores podemos determinar cuál será la fuerza real que ejercerá el cilindro sobre el mecanismo para permitir que este efectúe los movimientos deseados.

$$Fn = 3224.04 - 322.404$$

$$Fn = 2901.64 \text{ lb}$$

3.4.3 Cálculo en la viga principal

EN EL PLANO Z-Y



$$\Omega = 3.28.$$

$$F = 1462.15 \text{ Kg} = 3224.04 \text{ lb}$$

$$\sin 3.28 = \frac{F_y}{F} \tag{3.20}$$

$$F_y = \sin 3.28 (1462.15 \text{ Kg})$$

$$F_y = 83.66 \text{ Kg}$$

$$F_x = \cos 3.28 (1462.15 \text{ Kg})$$

$$F_x = 1459.75 \text{ Kg}$$

$$\sum M_B = Fy (15 \text{ cm}) - Wt (125) + R_{AY} (250) \quad (3.21)$$

$$R_{AY} = \frac{83.66 \text{ Kg} (15 \text{ cm}) - 1459.76 \text{ Kg} (125 \text{ cm})}{250 \text{ cm}}$$

$$R_{AY} = 724.86 \text{ Kg}$$

$$\sum F_Y = 0$$

$$R_{AY} - Wt + F_Y + R_{BY} = 0 \quad (3.22)$$

$$R_{BY} = Wt - F_Y - R_{AY}$$

$$R_{BY} = 1459.76 \text{ Kg} + 83.66 \text{ Kg} + 724.86 \text{ Kg}$$

$$R_{BY} = 651.25 \text{ Kg}$$

$$A1 = R_{AY} \times AA \quad (3.23)$$

$$A1 = 724.86 \text{ Kg} (125 \text{ cm})$$

$$A1 = 90607.5 \text{ Kg.cm}$$

$$A2 = F_Y - R_{BY} \times AB' \quad (3.24)$$

$$A2 = 83.66 \text{ Kg} - 651.25 \text{ Kg} (110 \text{ cm})$$

$$A2 = -62434.9 \text{ Kg.cm}$$

$$A3 = R_{BY} \times BB' \quad (3.25)$$

$$A3 = 651.25 \text{ Kg} (15 \text{ cm})$$

$$A3 = 9768.75 \text{ Kg.cm}$$

DIAGRAMA DE FUERZAS CORTANTES

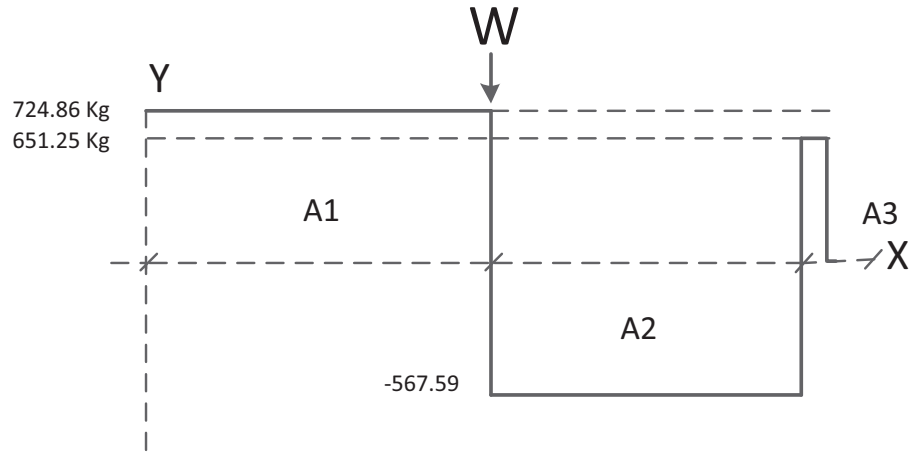


DIAGRAMA DE MOMENTOS FLECTORES

