



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA DE MECÁNICA

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN ELEVADOR MANUAL HIDRÁULICO CON
CAPACIDAD DE 400 kg

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Mecánico

AUTOR: SANTIAGO DAVID CAMPAÑA LÓPEZ

TUTOR: LUIS CHRISTIAN JUIÑA QUILACHAMÍN

Quito – Ecuador

2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Santiago David Campaña López con documento de identificación N° 1725980377 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 21 de julio del año 2025

Atentamente,



Santiago David Campaña López

1725980377

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Santiago David Campaña López con documento de identificación N° 1725980377, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor de la Propuesta Tecnológica: “Diseño y simulación de un elevador manual hidráulico con capacidad de 400 kg”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 21 de julio del año 2025

Atentamente,



Santiago David Campaña López

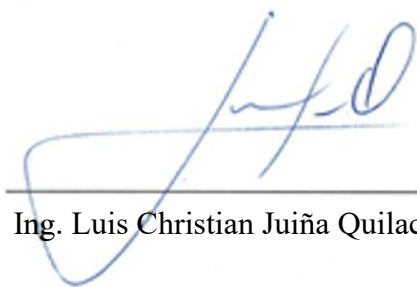
1725980377

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Luis Christian Juiña Quilachamín con documento de identificación N° 1713704508, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN ELEVADOR MANUAL HIDRÁULICO CON CAPACIDAD DE 400 kg, realizado por Santiago David Campaña López con documento de identificación N° 1725980377, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Propuesta Tecnológica que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 21 de julio del año 2025

Atentamente,



Ing. Luis Christian Juiña Quilachamín, MSc.

1713704508

AGRADECIMIENTO

Agradezco y dedico el esfuerzo realizado en mi trabajo de titulación a mi madre, quien fue la responsable de guiar mi camino y estar siempre pendiente de mí, le agradezco por brindarme incondicionalmente el apoyo y todos los medios y herramientas indispensables para lograr llegar donde estoy y le agradezco por el esfuerzo que ha realizado con la finalidad de sacar adelante a su familia. Se que completar esta fase personal en mi vida se vuelve una satisfacción para mi madre y prometo esforzarme por alcanzar mis metas y dedicárselas en agradecimiento.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	iii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
Introducción	1
Antecedentes	2
Problema	3
Justificación	4
Objetivos	5
Objetivo General	5
Objetivos Específicos	5
Capítulo I	6
Fundamentos Teóricos	6
1.1 Fuerzas y cargas estructurales	6
1.1.1. Fuerza	6
1.1.2. Cargas estructurales	6
1.2 Esfuerzos	6
1.3 Acero estructural	7
1.3.1. Perfiles de acero estructural	7
1.3.2. Composición química del acero estructural	7
1.4 Diseño estructural	8
1.5 Diseño mecánico	8
1.6 Uniones	8

1.6.1.	Uniones permanentes	9
1.6.2.	Uniones no permanentes	9
1.7	Principios de los sistemas hidráulicos.....	9
1.7.1.	Mecánica de fluidos y propiedades de los fluidos.....	9
1.7.2.	Sistemas hidráulicos	9
1.7.3.	Sistema del pistón hidráulico	10
1.8	Tipos de elevadores.....	10
1.8.1.	Elevadores simples	11
1.8.2.	Carretillas elevadoras	11
1.8.3.	Plataformas elevadoras.....	12
1.8.4.	Sistemas de puente grúa	13
1.8.5.	Elevadores de columnas	13
1.8.6.	Ascensores.....	14
	<i>Evaluación de los equipos de elevación hidráulica</i>	14
1.9	Selección de alternativas	14
1.10	Evaluación del equipo mediante método ordinal corregido de criterios ponderados	15
1.11	Selección del sistema de elevación o tracción	20
	<i>Capítulo II.....</i>	25
	<i>Diseño del elevador manual hidráulico.....</i>	25
2.1	Criterios generales de diseño.....	25
2.2	Materiales a utilizar	25
2.3	Factor de seguridad n	25
2.4	Diseño estructural.....	26
2.4.1.	Dimensionamiento principal y componentes principales del equipo.....	27
2.4.2.	Análisis de carga y diseño de las horquillas (Elementos 1 y 2)	28
2.4.3.	Análisis de carga y diseño del eje de sujeción-desplazamiento (Elemento 3)	31
2.4.4.	Análisis de carga y diseño del tubo de sujeción-refuerzo (Elemento 4)	33
2.4.5.	Análisis de carga y diseño de la viga de la plataforma elevadora (Elemento 5).....	36
2.4.6.	Análisis de carga y diseño de las placas de sujeción para el eje (Elemento 6)	38
2.4.7.	Análisis de carga y diseño de las placas de sujeción (Elemento 7).....	39
2.4.8.	Análisis de carga y diseño de columnas de estructura principal (Elemento 10) ...	40

2.4.9.	Selección de los rodamientos de la plataforma elevadora (Elemento 8).....	44
2.4.10.	Análisis de carga y diseño del eje de sujeción para rodamientos (Elemento 9)....	44
2.4.11.	Análisis de carga y diseño de la viga base (Elemento 11)	45
2.4.12.	Análisis de carga y diseño de la viga base de sujeción (Elemento 12)	46
2.4.13.	Análisis de carga y diseño de la viga soporte para elevación (Elemento 14)	47
2.4.14.	Análisis de soldadura en las horquillas de elevación	48
2.4.15.	Análisis de soldadura en la plataforma de elevación	51
2.4.16.	Análisis de soldadura en la estructura	54
2.4.17.	Análisis de la placa de límite (Elemento 13).....	55
2.5	Diseño del sistema de elevación.....	56
2.5.1.	Selección del sistema de elevación manual hidráulico (Elemento 15)	57
2.5.2.	Análisis de carga y diseño de la placa base del elevador (Elemento 16)	57
2.5.3.	Análisis de carga y diseño de la cabeza del elevador (Elemento 17).....	58
2.5.4.	Selección del rodamiento de elevación (Elemento 18)	60
2.5.5.	Selección de la catarina de elevación (Elemento 19).....	60
2.5.6.	Selección de la cadena de elevación (Elemento 20)	61
2.5.7.	Análisis de carga y diseño de las placas de soporte para cadenas (Elemento 21)..	61
2.5.8.	Análisis de soldaduras en el sistema de elevación	62
2.5.9.	Selección de los rodillos y garruchas para el desplazamiento del equipo.....	63
Capítulo III	.....	64
Simulación del elevador manual hidráulico	.....	64
3.1	Criterios generales.....	64
3.1.1.	Comportamiento de los elementos y matriz de rigidez para el análisis estático	64
3.1.2.	Relación de deformaciones-desplazamientos y de esfuerzos-deformaciones.....	65
3.2	Etapas de la simulación	66
3.2.1.	Preprocesamiento	66
3.2.2.	Procesamiento	67
3.2.3.	Posprocesamiento.....	67
3.3	Simulación mediante el método de las aproximaciones externas basado en Meshless .	67
3.4	Simulación del elevador manual hidráulico tipo apilador.....	69
Capítulo IV	.....	76

<i>Análisis económico del elevador manual hidráulico</i>	76
4.1 Costos directos	76
4.2 Costos indirectos	76
4.3 Análisis de costos de producción	76
4.4 Análisis de producción de empresa interesada en la implementación del elevador.....	78
4.5 Factibilidad económica del proyecto.....	78
<i>Conclusiones</i>	80
<i>Recomendaciones</i>	81
<i>Referencias</i>	82
<i>Anexos</i>	86

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Ventajas y desventajas del elevador tipo apilador.</i>	15
<i>Tabla 2. Ventajas y desventajas del elevador tipo carretilla elevadora o montacargas.</i>	15
<i>Tabla 3. Ventajas y desventajas de la plataforma elevadora tipo tijera.</i>	15
<i>Tabla 4. Valores para la evaluación mediante método ordinal corregido de criterios ponderados.</i>	16
<i>Tabla 5. Criterios de selección para el análisis.</i>	16
<i>Tabla 6. Resumen de alternativas.</i>	16
<i>Tabla 7. Evaluación del peso específico individual para cada criterio.</i>	17
<i>Tabla 8. Determinación del peso específico asignado al criterio costo.</i>	17
<i>Tabla 9. Determinación del peso específico asignado al criterio facilidad de uso.</i>	18
<i>Tabla 10. Determinación del peso específico asignado al criterio tamaño.</i>	18
<i>Tabla 11. Determinación del peso específico asignado al criterio facilidad de manufactura.</i>	19
<i>Tabla 12. Determinación del peso específico asignado al criterio mantenimiento.</i>	19
<i>Tabla 13. Sumatoria de parámetros y prioridad.</i>	20
<i>Tabla 14. Ventajas y desventajas del sistema manual mecánico.</i>	21
<i>Tabla 15. Ventajas y desventajas del sistema manual hidráulico.</i>	21
<i>Tabla 16. Ventajas y desventajas del sistema electromecánico.</i>	21
<i>Tabla 17. Ventajas y desventajas del sistema electrohidráulico.</i>	21
<i>Tabla 18. Criterios para la selección del sistema de elevación.</i>	22
<i>Tabla 19. Escala de calificación para la evaluación del sistema de elevación.</i>	22
<i>Tabla 20. Evaluación del criterio costo para el sistema de elevación.</i>	23
<i>Tabla 21. Evaluación del criterio facilidad de uso para el sistema de elevación.</i>	23
<i>Tabla 22. Evaluación del criterio diseño sencillo y confiable para el sistema de elevación.</i>	23
<i>Tabla 23. Evaluación del criterio mantenimiento para el sistema de elevación.</i>	24
<i>Tabla 24. Síntesis del resultado final.</i>	24
<i>Tabla 25. Componentes estructurales.</i>	27
<i>Tabla 26. Datos del análisis para el Elemento 3.</i>	32
<i>Tabla 27. Análisis de soldadura en los elementos de la plataforma de elevación.</i>	54
<i>Tabla 28. Análisis de soldadura en los elementos de la estructura del equipo.</i>	55
<i>Tabla 29. Componentes del sistema de elevación.</i>	56

<i>Tabla 30. Análisis de soldadura en los elementos de la estructura del equipo.</i>	63
<i>Tabla 31. Resultados de las simulaciones esfuerzos en elementos significativos.</i>	74
<i>Tabla 32. Resultados de las simulaciones factores de seguridad en elementos por material.</i>	75
<i>Tabla 33. Resultados de las simulaciones soldaduras.</i>	75
<i>Tabla 34. Costos del uso de máquinas herramientas y procesos de producción.</i>	76
<i>Tabla 35. Costos de materiales y elementos mecánicos del equipo.</i>	77
<i>Tabla 36. Flujo de caja considerando la producción para cinco años.</i>	78
<i>Tabla 37. Flujo de caja considerando la producción para cinco años.</i>	79
<i>Tabla 38. Indicadores económicos en la inversión del proyecto.</i>	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación general de los elevadores (Autor).....	10
Figura 2. Tipos de elevadores simples [25].....	11
Figura 3. Esquema de un transpaletas [26].....	11
Figura 4. Elevador tipo apilador [28].....	12
Figura 5. Esquema de una carretilla elevadora [25].....	12
Figura 6. Tipos de mástiles de una plataforma elevadora [29].....	13
Figura 7. Sistemas de puente grúa [29].....	13
Figura 8. Elevadores de columnas [30].....	13
Figura 9. Esquema de un ascensor eléctrico e hidráulico [27].....	14
Figura 10. Sistema de elevación manual hidráulico [23].....	24
Figura 11. Factores de seguridad en función de la aplicación [14].....	26
Figura 12. Estructura del equipo.....	26
Figura 13. Componentes estructurales principales.....	27
Figura 14. Caso de análisis para Elemento 1.....	28
Figura 15. Caso de análisis para Elemento 2.....	30
Figura 16. Primer y segundo caso de diagrama del Elemento 3.....	31
Figura 17. Diagrama de cortante y momento primer caso.....	32
Figura 18. Diagrama de cortante y momento segundo caso.....	32
Figura 19. Ensamble de tubo de sujeción-refuerzo (Elemento 4).....	34
Figura 20. Áreas de análisis para los esfuerzos dados entre los Elementos 4 y 2.....	35
Figura 21. Caso de análisis para Elemento 5.....	37
Figura 22. Caso de análisis para Elemento 6.....	38
Figura 23. Caso de análisis para Elemento 7.....	39
Figura 24. Áreas de análisis para los esfuerzos dados entre los Elementos 7 y 9.....	40
Figura 25. Valores k para el cálculo de longitud efectiva en elementos a compresión.....	41
Figura 26. Ensamble Elemento 9 y elementos secundarios.....	44
Figura 27. Diagrama de análisis del Elemento 9.....	45
Figura 28. Caso de análisis para Elemento 11.....	46
Figura 29. Caso de análisis para Elemento 12.....	47
Figura 30. Caso de análisis para Elemento 14.....	48

Figura 31. Ancho de garganta t y longitud de pierna h de la soldadura en filete [14].	48
Figura 32. Análisis de la soldadura entre los Elementos 1 y 2.	49
Figura 33. Casos de análisis entre los elementos soldados de la plataforma de elevación.	51
Figura 34. Centro de masa de la plataforma de elevación obtenida por SolidWorks.	52
Figura 35. Análisis de la torsión en el cordón de soldadura del Elemento 6 [14].	53
Figura 36. Análisis de cargas y reacciones en los cordones de la plataforma de elevación.	54
Figura 37. Análisis de soldadura en los elementos de la estructura del equipo.	55
Figura 38. Dimensionamiento del Elemento 13.	56
Figura 39. Elementos del sistema de elevación.	56
Figura 40. Sistema de elevación manual hidráulico GBJ002LA ENERPAC [34].	57
Figura 41. Análisis de carga y dimensionamiento del Elemento 15.	57
Figura 42. Dimensionamiento de los ejes del Elemento 17.	58
Figura 43. Longitudes importantes para la estimación de la elevación de carga.	58
Figura 44. Disposición de los Elementos 17, 18 y 19.	61
Figura 45. Dimensiones y área crítica del Elemento 21.	61
Figura 46. Soldaduras en elementos del sistema de elevación.	62
Figura 47. Diagrama de análisis para la soldadura entre los Elementos 21 y 5 o 21 y 14.	62
Figura 48. Disposición y dimensiones de los rodillos y garruchas del equipo.	63
Figura 49. Resultados elemento 1.	70
Figura 50. Esfuerzos horquillas de elevación.	70
Figura 51. Factores de seguridad horquillas de elevación.	70
Figura 52. Esfuerzos plataforma de elevación.	71
Figura 53. Factores de seguridad en elementos de la plataforma de elevación.	71
Figura 54. Factores de seguridad en soldaduras de la plataforma de elevación.	71
Figura 55. Esfuerzos elevador sin rodillos y garruchas.	72
Figura 56. Factor de seguridad en elementos del elevador sin rodillos y garruchas.	72
Figura 57. Factor de seguridad en soldaduras del elevador sin rodillos y garruchas.	73
Figura 58. Esfuerzos elevador con rodillos y garruchas.	73
Figura 59. Factor de seguridad en elementos del elevador con rodillos y garruchas.	73
Figura 60. Factor de seguridad en soldaduras del elevador con rodillos y garruchas.	74

RESUMEN

En el presente proyecto de titulación, se diseñó un elevador manual hidráulico tipo apilador con capacidad de carga de 400 kg. Fueron planteados en primera instancia los distintos equipos de elevación así como los sistemas que cumplen con características como bajo costo, facilidad de manipulación de carga, tamaño reducido, confiabilidad del sistema y facilidad de manufactura y mantenimiento en el ámbito ecuatoriano. Estas características surgieron en beneficio del operario buscando reducir riesgos ergonómicos y volviéndolo más productivo en sus actividades diarias.

Una vez seleccionado el equipo y su sistema de elevación se procedió a diseñar sus componentes considerando el comportamiento que tendrá cada uno de ellos ante las cargas. A partir del uso de un determinado factor de seguridad que permitió garantizar el correcto funcionamiento del equipo.

Los cálculos fueron contrastados con simulación estructural estática utilizando un software específico de simulación que permite agilizar el preprocesamiento por el tipo de análisis que realiza. Esto permitió validar los cálculos teóricos al compararlos con los resultados de simulación, asegurando nuevamente el funcionamiento del equipo elevador ante cargas.

Finalmente, se analizó el costo de producción del equipo considerando el ámbito nacional y se determinó la factibilidad y la viabilidad del proyecto mediante indicadores financieros y el tiempo de recuperación de la inversión para el contexto productivo actual de una empresa interesada. Dicha empresa busca reducir los tiempos dedicados a actividades de manipulación de carga y beneficiar a sus trabajadores al implementar el elevador diseñado.

Palabras clave: Cargas, factor de seguridad, caso crítico, soldadura, método de las aproximaciones externas

ABSTRACT

In this titling project, a hydraulic manual stacker lift with a load capacity of 400 kg was designed. In the first instance, the different lifting equipment was raised, as well as the systems that meet characteristics such as low cost, ease of load handling, reduced size, reliability of the system and ease of manufacture and maintenance in the Ecuadorian area. These features arose for the benefit of the operator, seeking to reduce ergonomic risks and making him more productive in his daily activities.

Once the equipment and its lifting system were selected, we proceeded to design its components considering the behavior that each of them will have under loads. From the use of a certain safety factor that allowed to guarantee the correct operation of the equipment.

The calculations were contrasted with static structural simulation using specific simulation software that allows to speed up the preprocessing due to the type of analysis performed. This allowed the theoretical calculations to be validated by comparing them with the simulation results, once again ensuring the operation of the lifting equipment under loads.

Finally, the cost of production of the equipment was analyzed considering the national scope and the feasibility and viability of the project was determined through financial indicators and the time of recovery of the investment for the current productive context of an interested company. This company seeks to reduce the times spent on cargo handling activities and benefit its workers by implementing the designed elevator.

Keywords: Loads, safety factor, critical case, welding, method of external approximations

Introducción

En la actualidad, la optimización y la seguridad del operario son aspectos a considerar para garantizar el desempeño adecuado en cualquier proceso industrial. Principalmente en aquellos que necesitan aumentar las capacidades humanas para elevar y mover cuerpos demasiado pesados.

Bajo este contexto, la implementación de sistemas que permitan la manipulación de cargas pesadas cobra importancia, pues promueven la protección y preservación de la salud del operario a largo plazo y a su vez lo vuelven más eficiente.

El desarrollo de equipos que permiten la elevación y el transporte de cargas ha experimentado una evolución tanto a nivel estructural como en los sistemas de tracción o elevación empleados, por lo que su selección y diseño se ha convertido en un reto de ingeniería. Dichos equipos ofrecen una gran versatilidad al momento de implementarlos en un contexto específico cuyas variables suelen presentar limitaciones en cuanto al espacio de trabajo, la movilidad del equipo, la facilidad de uso para el operario y su dimensionamiento.

En el ámbito industrial ecuatoriano se busca que las propuestas tecnológicas relacionadas al desarrollo de equipos de elevación y transporte de cargas optimicen la operatividad y reduzcan los impactos en la salud del operario, bajo este escenario los sistemas hidráulicos como sistema de tracción del equipo elevador se han consolidado como una solución efectiva que además cumplen con las limitaciones mencionadas en el párrafo anterior como lo es la facilidad de uso.

Dadas las circunstancias anteriores el presente trabajo de titulación aborda y se concentra en la evaluación de los equipos hidráulicos para la elevación, además del diseño y simulación de un elevador manual hidráulico cuya capacidad de carga es de 400 kg que bajo limitaciones en cuanto a su dimensionamiento garanticen la manipulación y el transporte de cargas a través del análisis estructural y mecánico junto con la aplicación de conceptos hidráulicos.

Antecedentes

Una de las actividades más comunes que se desarrollan en el ámbito industrial es la manipulación de cargas pesadas por el operario, lo que puede resultar contraproducente para su salud al sobre esforzarse. Distintos análisis realizados en el sector industrial y de fabricación muestran que las lesiones y los trastornos musculoesqueléticos derivan de movimientos y actividades repetitivas, posturas inadecuadas, uso de herramientas vibratorias y principalmente del esfuerzo físico excesivo [1]. Estudios como el realizado en 2015 en la Ciudad de México, demostró que de 185 operarios del sector manufacturero de neumáticos el 20% fueron diagnosticados con lumbalgia y el 30% con un riesgo elevado de lesionarse [2]. Otro estudio realizado en Cotopaxi en el año 2020 indicó que el 70% de los 50 trabajadores en invernaderos sufren molestias por levantar cargas con más de 15 kg aumentando el riesgo de desarrollar problemas musculoesqueléticos [3]. En Guayaquil en 2021 se evidenció que las actividades realizadas por el personal militar dedicado al mantenimiento de motores promueven el incremento de estos trastornos, pues en el establecimiento se manejan cargas cuyo peso supera los 25 kg, en el estudio se manifiesta también que dichas afecciones causan déficits en la productividad laboral del equipo de mantenimiento [4].

Entre las tácticas orientadas a la prevención y las estrategias de atenuación de los riesgos ergonómicos y trastornos musculoesqueléticos se encuentra la posibilidad de implementar equipos y sistemas que permitan reducir la carga física y con ello el esfuerzo realizado por el personal de operación [5].

Además de prevenir trastornos musculoesqueléticos que pueden presentarse en los operarios, el desarrollo y la implementación de equipos que permitan la manipulación efectiva de cargas promueve la eficiencia en cualquier ámbito industrial, entre los principales factores que tienden a la mejora del rendimiento en el sector de la construcción analizados en Santiago de Chile se evidencia que el uso de equipos innovadores mejoran el desempeño de los operarios [6], así mismo, la implementación de sistemas de elevación como equipo innovador en el ámbito industrial contribuye a reducir el tiempo requerido de transporte de cargas y con ello incrementar la productividad [7].

Problema

Ha surgido en el ser humano la necesidad de crear sistemas que le permitan aumentar sus capacidades sobre todo en aplicaciones de alta potencia que requieran un gran esfuerzo como el levantar cargas pesadas, en este contexto los avances tecnológicos han ido encaminados al mejoramiento de diseños que promuevan la elevación de cargas haciendo uso de sistemas mecánicos, eléctricos e hidráulicos.

En el ámbito industrial preservar la salud del operario es muy importante, pues al momento de desempeñarse laboralmente pueden presentarse impactos significativos relacionados a los riesgos ergonómicos donde el incremento de lesiones y trastornos musculoesqueléticos son causados por la realización de esfuerzos físicos excesivos [1] debido a las actividades donde los trabajadores necesiten soportar cargas muy pesadas [4]. Sin embargo, esta problemática puede solucionarse con la implementación de equipos especializados para el trabajo como lo es un elevador de carga que ayude a disminuir significativamente el riesgo ergonómico y los impactos posteriores causados en los trabajadores.

Otra problemática radica en el manejo adecuado del tiempo requerido para realizar una actividad sea este para la producción, construcción, ensamble, entre otras. Por tal motivo se han desarrollado técnicas que buscan reducir los tiempos productivos con la finalidad de mejorar los procesos industriales y en el Ecuador muchas de estas comienzan a tener un gran valor debido a los grandes beneficios que ofrecen [8], en muchos casos la aplicación de estas metodologías van de la mano con la implementación de equipos que agilicen los procesos, entre los factores que tienden a mejorar la productividad por ejemplo se encuentra el uso de materiales y equipos innovadores o modernos que sean apropiados para el contexto en el que se desenvolverán y a la vez faciliten las actividades del personal operativo [6].

El diseño de sistemas para el levantamiento y traslado de cargas pesadas debe tener en cuenta factores como el dimensionamiento, el espacio de trabajo donde se implementará el equipo, su capacidad de carga, la facilidad de movimiento con la que se podrán desplazar las cargas y al mismo tiempo ser ergonómico y de fácil utilización para reducir los problemas de salud en el operario y con ello promover el ágil desarrollo de sus actividades.

Justificación

Ya que en la actualidad la reducción de tiempos en los procesos industriales se ha vuelto una prioridad y en el país cada vez se están estableciendo técnicas que las promuevan mediante el desarrollo e implementación de equipos, el propósito del presente trabajo de titulación es diseñar un elevador manual hidráulico para agilizar el levantamiento, manipulación y transporte de cargas pesadas mediante el análisis estructural y el uso de conceptos hidráulicos que permitan soportar las condiciones idealizadas.

El diseño realizado tiene la finalidad de unir los conceptos relacionados al aprovechamiento de nuevas tecnologías para agilizar procesos industriales y los relacionados a salvaguardar la salud y garantizar la integridad física del operador disminuyendo de esta manera los esfuerzos físicos excesivos y aumentando su desempeño con el uso del equipo.

Además, basándose en el desarrollo de máquinas y en el diseño estructural el equipo diseñado contará con los estándares de seguridad determinados a partir de la revisión de literatura cumpliendo con las características estructurales para soportar esfuerzos internos generados por su propio peso y la capacidad de carga estipulada de 400 kg, tomando en consideración las limitaciones en cuanto al dimensionamiento.

La simulación del equipo diseñado permitirá realizar un análisis final del mismo para validar que todos sus elementos cumplan con las expectativas requeridas para la posible implementación en el contexto industrial seleccionado, permitiendo que cualquier operario cumpla con sus actividades de manera ágil y sin sobre esforzarse.

Finalmente se buscará que el equipo diseñado sea económicamente viable, para ello todos los elementos obtenidos por cálculo en la fase de diseño y validados por simulación junto con indicadores financieros determinarán la factibilidad y viabilidad del proyecto teniendo en consideración el ámbito ecuatoriano.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar y simular un elevador manual hidráulico con capacidad de 400 kg.

Objetivos Específicos

- Analizar los distintos equipos hidráulicos para efectuar el levantamiento de carga identificando el más viable para el diseño.
- Diseñar el sistema hidráulico y la estructura mecánica del elevador evaluando el comportamiento de cargas.
- Validar el diseño mediante simulación estructural en condiciones de carga idealizadas.
- Establecer la factibilidad económica del proyecto mediante indicadores financieros.

Capítulo I

Fundamentos Teóricos

En el presente apartado del primer capítulo se encuentran los fundamentos básicos necesarios que servirán para cumplir con los objetivos de diseño del equipo.

1.1 Fuerzas y cargas estructurales

1.1.1. Fuerza

Magnitud capaz de alterar o variar la cantidad de movimiento de una partícula, medida en el sistema tradicional de EE. UU. en unidad de libra-fuerza [*Lbf*], en el Sistema Internacional (SI) en newtons [*N*] [9], y en el Sistema Técnico en kilogramo-fuerza [*kgf*] [10]. La fuerza en newtons es aquella que acelera la masa de un kilogramo un metro por cada segundo cuadrado [9].

Una fuerza concentrada refleja el efecto de la carga a consecuencia de actuar en cierto punto de un cuerpo, la evidencia experimental muestra que es un vector con magnitud, dirección y sentido [11].

1.1.2. Cargas estructurales

Una carga es la fuerza que actúa sobre un objeto o estructura en toda su superficie, según la norma ecuatoriana de la construcción NEC pueden dividirse en permanentes, variables y accidentales [12].

Las cargas muertas o permanentes están constituidas por el peso de los elementos estructurales en permanencia sobre la estructura. Las cargas variables se componen por las cargas vivas que dependerán de la ocupación destinada a la estructura más las cargas de viento y de granizo [12].

Las cargas accidentales por su parte constituyen a las cargas sísmicas [12].

Todas las cargas presentes en la estructura se consideran en las “combinaciones de cargas” que deberán compararse con la resistencia del diseño de manera que este las iguale o las exceda [12].

1.2 Esfuerzos

El esfuerzo se asocia con la resistencia del material del que está hecho un cuerpo que se encuentra sujeto a cargas superficiales que actúan como fuerza concentrada o como carga distribuida [13].

En el cuerpo pueden actuar cuatro tipos de cargas resultantes que generan esfuerzos internos:

Fuerza normal (N), perpendicular al área transversal, extiende o comprime las fibras. Fuerza cortante (V), paralela al área transversal, separa el cuerpo en dos secciones. Torque (T), cuando las cargas tienden a la torsión de un segmento del cuerpo respecto al otro alrededor de su eje. Momento flector (M), cuando las cargas doblan el cuerpo alrededor de un eje en el plano del área [13].

Las unidades para representar los esfuerzos se encuentran en Pascales [Pa], Pound square inch o Libra por pulgada cuadrada [PSI] y en kilogramo-fuerza por centímetro cuadrado [kg/cm^2] [14].

1.3 Acero estructural

El acero sobresale como material estructural debido a su resistencia alta, prolongada durabilidad, tenacidad y ductilidad que le permite soportar esfuerzos elevados [15].

1.3.1. Perfiles de acero estructural

El American Iron and Steel Institute, AISI inició la estandarización de perfiles estructurales de acero, actualmente identificados de acuerdo a sus secciones teniendo perfiles angulares, zetas, tes, placas, vigas de patín ancho (vigas W) y vigas estándar americanas (vigas S), entre otras [15].

Las propiedades geométricas de las secciones permiten determinar los criterios para conocer el comportamiento de la estructura ante cargas. El manual del AISC (Steel Construction Manual) proporciona información detallada sobre la gran mayoría de perfiles estructurales de acero cuya nomenclatura pueda estandarizarse para conocer el tipo de perfil, sus dimensiones y peso [15].

1.3.2. Composición química del acero estructural

La ASTM American Society for Testing and Materials dispone los máximos porcentajes aceptados de carbono, silicio, manganeso, etc. en aceros estructurales, pues su composición determina sus propiedades mecánicas. El acero estructural comúnmente utilizado es el A36 con un esfuerzo mínimo de fluencia $F_y = 36 \text{ klb/plg}^2$, además del acero de 50 klb/plg^2 [16].

ASTM ha agrupado comercialmente a los aceros estructurales en: aceros al carbono A36, A53, A529, A500 y A501; aceros de baja aleación y alta resistencia A992, A913, A618, A572; y aceros de baja aleación, alta resistencia y resistentes a la corrosión A242, A847 y A588 [15].

1.4 Diseño estructural

Es el encargado de asegurar la resistencia de la estructura ante distintas cargas que sobre ella se pueden presentar, basándose en especificaciones o normas de seguridad establecidos local e internacionalmente que previenen fallas estructurales [15]. El diseño estructural en acero consta en determinar cargas, perfiles resistentes, calcular la resistencia del diseño y dimensionar las conexiones, las normas suelen basarse en las especificaciones internacionales del AISC [17]. La norma vigente en el país es la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC, en esta se detallan las etapas de diseño, fabricación y montaje siguiendo especificaciones técnicas del AISC 360-10 [18].

1.5 Diseño mecánico

Su propósito es aplicar diversas técnicas y principios con base científica para definir un dispositivo, sistema o proceso que resuelve cierto problema. Generalmente se identifica la necesidad, se realiza una síntesis, análisis, diseño, optimización y evalúan los resultados mediante iteraciones que permitan regresar a cualquier fase del diseño para obtener las soluciones más viables [19]. Dentro de la fase específica para el diseño mecánico el sistema debe cumplir requisitos como la seguridad, funcionalidad, costos, así como soportar las condiciones de trabajo, esfuerzos, deformaciones, condiciones térmicas [13], etc. que se determinarán en el análisis para garantizar el diseño. Uno de los criterios clave en el diseño es el factor de seguridad que tendrá cada uno de los subsistemas y el sistema como tal, su consideración radica en la existencia de condiciones como inexactitud en la fabricación, vibraciones, impactos accidentales y corrosión determinadas mediante las “Teorías de Falla” y otros criterios respecto al elemento mecánico a analizar [13].

Existen dos consideraciones técnicas para el diseño de elementos mecánicos, estas son: El análisis estático para determinar la criticidad en las relaciones esfuerzo-deformación y el análisis dinámico que considera los fenómenos relacionados al desgaste, fricción y lubricación del elemento [20].

1.6 Uniones

Las uniones o conexiones permiten fijar elementos entre sí, pueden dividirse en mecánicas, soldadas y adhesivas [21], o dividirlos en uniones permanentes y no permanentes que dependerán de factores como el material de los elementos a unir y la facilidad de ensamblarlos o desacoplarlos.

1.6.1. Uniones permanentes

La unión permanente más utilizada es la soldadura, esta implica depositar material de aporte de un electrodo entre los elementos a unir. Existen varios procesos como el SMAW, GMAW, GTAW, entre otros [20]. La resistencia de esta unión depende de factores como los esfuerzos de cortante, flexión y torsión sobre ella, por ello la American Welding Society, AWS y el ASTM se han encargado de determinar las especificaciones de ductilidad y resistencia del material de aporte [20].

1.6.2. Uniones no permanentes

Utilizadas cuando se necesita desmontar la unión o ensamble y cuando los materiales de los elementos a fijar no pueden unirse por otros métodos, se diseñan entonces sistemas de sujeción mediante elementos como pernos roscados, en los que se presentan esfuerzos que se controlan mediante el tipo de arreglo de la conexión, el material del elemento fijador y sus dimensiones [20].

1.7 Principios de los sistemas hidráulicos

Los fluidos permiten convertir energía, generar potencia, controlar procesos, refrigerar y lubricar. Para entender sus sistemas es necesario definir sus propiedades mediante la mecánica de fluidos.

1.7.1. Mecánica de fluidos y propiedades de los fluidos

Esta ciencia es una subcategoría de la mecánica clásica, ambas comprenden temas relacionados al estado en reposo y en movimiento de los sistemas que para este caso particular es un fluido [22].

Cuando el fluido es compresible (gas) el principio de funcionamiento es neumático, mientras que si es incompresible (líquido) es hidráulico [23]. Entre las propiedades físicas de los fluidos se destacan: La viscosidad dinámica, viscosidad cinemática, la relación entre presiones absoluta, manométrica y atmosférica con la presión hidráulica del fluido, entre otras [23].

1.7.2. Sistemas hidráulicos

Estos sistemas se utilizan en el transporte de fluidos y la generación de potencia. El transporte tiene como objetivo la entrega de un fluido de un lugar a otro, mientras que los sistemas de transmisión de potencia se diseñan para realizar trabajo haciendo uso de un cilindro o un motor de fluido [23], a través de la neumática para aplicaciones de baja potencia y de la hidráulica para aplicaciones de

alta potencia debido a las propiedades que los fluidos no compresibles como el agua y los aceites hidráulicos tienen [23]. Entre sus ventajas está: El uso de elementos simples, multiplicación de la fuerza por las propiedades del fluido, simplicidad, mantenibilidad y economía [23].

1.7.3. Sistema del pistón hidráulico

Un cilindro o pistón hidráulico produce una fuerza que resulta en un movimiento lineal [23]. Funciona por el principio de Pascal y es accionado por aceite hidráulico presurizado que ingresa en su cámara mediante la apertura o cierre de válvulas, transmitiendo el movimiento [24].

1.8 Tipos de elevadores

Son sistemas que sirven para la elevación de cargas pesadas, sean estas producidas por personas u objetos como vehículos, herramientas y maquinaria. Los elevadores pueden dividirse según su uso y pueden ser elevadores simples, carretillas elevadoras, plataformas elevadoras, sistemas de puente grúa, elevadores de columnas y ascensores [25]. La Figura 1 muestra dicha clasificación.

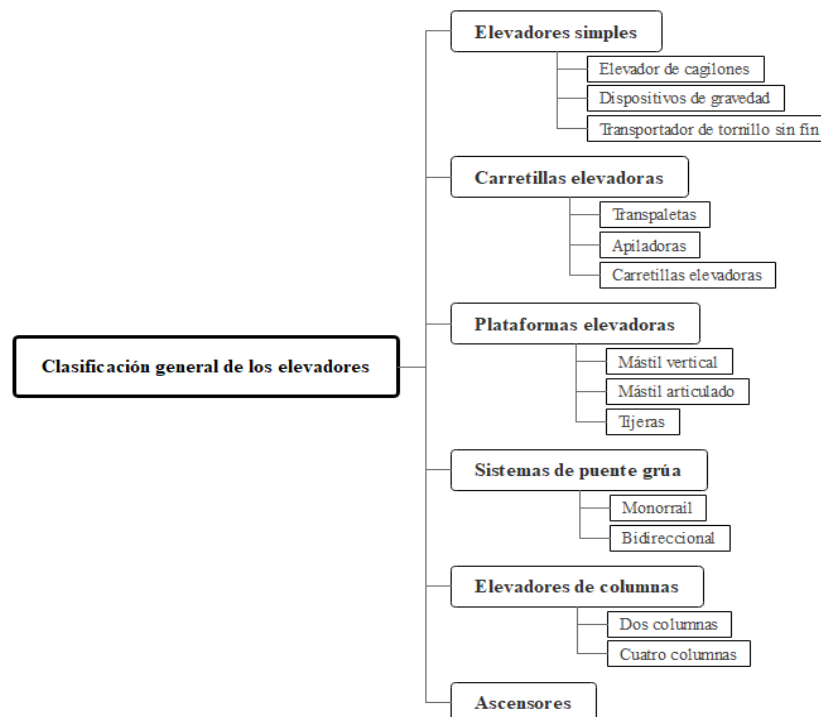


Figura 1. Clasificación general de los elevadores (Autor).

1.8.1. Elevadores simples

Los elevadores simples son máquinas que transportan un flujo constante de material. Entre ellos se encuentran elevadores de cangilones de flujo vertical e inclinado, dispositivos de gravedad y transportadores de tornillo sin fin [25]. La Figura 2 presenta ejemplos de este tipo de elevadores.

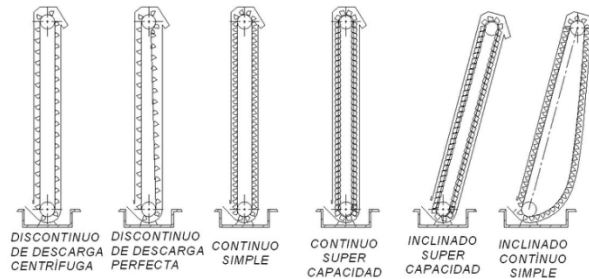


Figura 2. Tipos de elevadores simples [25].

1.8.2. Carretillas elevadoras

Utilizadas para elevar, transportar y aproximar cargas en lugares de espacio reducido, movilizándose con ella. Se dividen en transpaletas, apiladoras y montacargas [25].

- Las transpaletas son usados para almacenar mercancía pequeña, permiten el desplazamiento y su ventaja radica en el tamaño [25]. La Figura 3 ilustra un transpaletas.



Figura 3. Esquema de un transpaletas [26].

- Las apiladoras son elevadores usados para tareas que requieran la elevación, almacenaje, apilado y transporte de cargas ligeras y pesadas. Su viabilidad radica en la capacidad de levantar cargas a distancias máximas relativamente altas, controlando la altura. Su tamaño permite el transporte eficaz por espacios reducidos [25]. Son inaccesibles a personas, pues

no poseen cabina a diferencia de plataformas elevadoras y ascensores [27]. En la Figura 4 se visualiza este tipo de elevadores.



Figura 4. Elevador tipo apilador [28].

- Las carretillas elevadoras o montacargas son máquinas que permiten levantar, apilar y trasladar cargas ligeras y pesadas. A diferencia de los apiladores cuentan con un carrito que permite el desplazamiento rápido de la máquina con la carga, su desventaja radica en el tamaño, al acceder por espacios reducidos [25]. La Figura 5 ilustra un esquema del equipo.

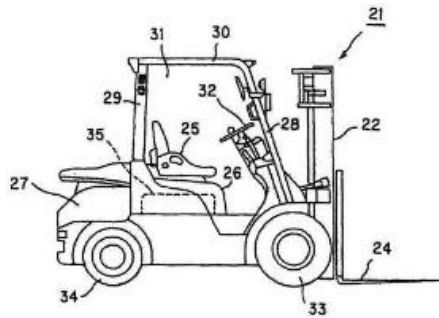


Figura 5. Esquema de una carretilla elevadora [25].

1.8.3. Plataformas elevadoras

Diseñadas para subir cargas y personas mediante diversos mástiles que elevan la cabina. A diferencia de las carretillas elevadoras, no pueden desplazarse con la carga elevada para mantener la seguridad del personal [25]. En la Figura 6 se observan distintos mástiles.

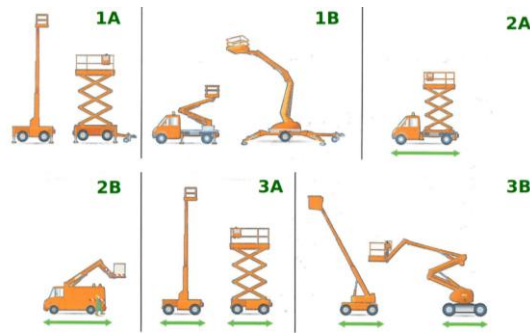


Figura 6. Tipos de mástiles de una plataforma elevadora [29].

1.8.4. Sistemas de puente grúa

Sistemas de elevación ideales para dar servicio a una línea de montaje o unidad logística, posicionados en los sectores de mayor altura de las instalaciones permitiendo elevar cargas pesadas y trasladarlas de manera horizontal y/o vertical [25]. En la Figura 7 se observa este tipo de sistemas.

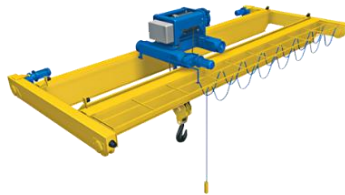


Figura 7. Sistemas de puente grúa [29].

1.8.5. Elevadores de columnas

Son usados para elevar cargas con grandes superficies, pero sin trasladarlas [27]. Están formados por un mástil o columna y generalmente se disponen en pares, aunque existen también de cuatro columnas [30]. En la Figura 8 se visualiza dos modelos de este tipo de elevadores.



Figura 8. Elevadores de columnas [30].

1.8.6. Ascensores

Son sistemas de transporte netamente vertical que permiten la elevación de carga y personas. Pueden ser eléctricos impulsados por un grupo motriz conectado a un reductor de velocidad e hidráulicos constituidos por una central hidráulica, cilindro y pistón para elevar las cargas [27]. La Figura 9 permite la visualización del esquema para ambos tipos de ascensores.

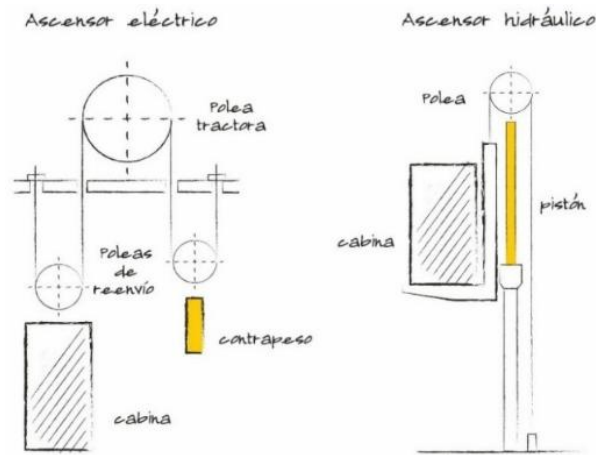


Figura 9. Esquema de un ascensor eléctrico e hidráulico [27].

Evaluación de los equipos de elevación hidráulica

En este apartado se determinan los equipos con su sistema de elevación para la posterior valoración de parámetros que indiquen su efectividad frente a criterios de evaluación en el diseño mecánico.

1.9 Selección de alternativas

A partir de los datos obtenidos en los antecedentes y el problema planteado, en el ámbito industrial los equipos para la elevación y el traslado de cargas deben cumplir con especificaciones en su diseño que permitan agilizar los procesos y disminuir los daños a la salud del personal de operación, para ello es necesario seleccionar la alternativa más viable de entre la clasificación general de elevadores presentada anteriormente. Se determina entonces tres equipos que realmente permiten la elevación, manipulación y traslado de cargas pesadas, para justificar su selección se presenta a continuación las bondades y debilidades de cada uno de ellos en la Tabla 1 a 3:

Tabla 1. Ventajas y desventajas del elevador tipo apilador.


Elevador tipo apilador	Ventajas	Desventajas
	Menor dimensionamiento Facilidad de movilización Facilidad de operación Movilización con la carga elevada	Elevación a gran altura Elevación de personal Capacidad de carga moderada Requiere mayor intervención del operario

Tabla 2. Ventajas y desventajas del elevador tipo carretilla elevadora o montacargas.



Elevador tipo carretilla o montacargas	Ventajas	Desventajas
	Facilidad de movilización Movilización con la carga elevada Capacidad de carga moderada Requiere menor intervención del operario	Mayor dimensionamiento Elevación de personal Elevación a gran altura Requiere personal capacitado para la operación

Tabla 3. Ventajas y desventajas de la plataforma elevadora tipo tijera.

Plataforma elevadora tipo tijera	Ventajas	Desventajas
	Capacidad de carga mayor Requiere menor intervención del operario Elevación de personal Elevación a gran altura	Facilidad de movilización Movilización con la carga elevada Mayor dimensionamiento Requiere personal capacitado para la operación

1.10 Evaluación del equipo mediante método ordinal corregido de criterios ponderados

Tras haber seleccionado los equipos determinando sus ventajas y desventajas, es necesario evaluarlos para dar continuidad a la etapa de diseño. Un método de evaluación para analizar las alternativas respecto a criterios propuestos es el método ordinal corregido de criterios ponderados que facilita la obtención de resultados globales de los equipos frente a características que su diseño

debe cumplir, confrontando los beneficios de unos con las vulnerabilidades de los restantes, definiendo la opción más viable [31]. Los valores referenciales se describen en la Tabla 4.

Tabla 4. Valores para la evaluación mediante método ordinal corregido de criterios ponderados.

Descripción	Valor referencial
El criterio o solución asociado a las filas es superior al de columnas ($>$)	1
El criterio o solución asociado a las filas es equivalente al de columnas ($=$)	0,5
El criterio o solución asociado a las filas es inferior al de columnas ($<$)	0

Los criterios para el análisis se observan en la Tabla 5, mientras que las alternativas en la Tabla 6:

Tabla 5. Criterios de selección para el análisis.

Criterio	Descripción
Costo	El costo de fabricación y mantenibilidad del equipo debe ser bajo
Facilidad de uso	El equipo debe ser fácil de manipular favoreciendo al operario en el levantamiento y traslado de cargas
Tamaño	El equipo debe ser operable en espacios reducidos garantizando la eficiencia de las actividades industriales
Facilidad de manufactura	El equipo debe contar con elementos cuya manufactura pueda estandarizarse en el ámbito nacional y los materiales necesarios se encuentren en el sector comercial local
Mantenimiento	El mantenimiento del equipo debe ser sencillo de realizar

Tabla 6. Resumen de alternativas.

Alternativa	Equipo elevador
Alternativa A	Elevador tipo apilador
Alternativa B	Elevador tipo carretilla o montacargas
Alternativa C	Plataforma elevadora tipo tijera

La primera ponderación se basa en los criterios de la Tabla 5 según su importancia de mayor a menor, considerando que la facilidad de uso y el tamaño tienen la misma importancia puesto que

suponen características relacionadas al operario que debe beneficiarse en términos de salud y productividad mediante estos dos criterios. Se tiene que:

$$\text{Costo} > \text{Facilidad de uso} = \text{Tamaño} > \text{Facilidad de manufactura} > \text{Mantenimiento}$$

A fin de impedir que el criterio menos adecuado resulte tener una valoración nula se suma una unidad al final de cada análisis [31]. La Tabla 7 evalúa el peso de cada criterio, donde la abreviatura “Pond.” significa ponderación y es el porcentaje obtenido del criterio con respecto a la suma total.

Tabla 7. Evaluación del peso específico individual para cada criterio.

Criterio	Costo	Facilidad de uso	Tamaño	Facilidad de manufactura	Mantenimiento	$\sum +1$	Pond.
Costo	-	1	1	1	1	5	0,333
Facilidad de uso	0	-	0,5	1	1	3,5	0,233
Tamaño	0	0,5	-	1	1	3,5	0,233
Facilidad de manufactura	0	0	0	-	1	2	0,133
Mantenimiento	0	0	0	0	-	1	0,067
					Suma	15	1

Ahora se evalúa cada uno de los criterios relacionándolos con las alternativas propuestas:

Para la evaluación del costo se analizó que la alternativa A es menos costosa de fabricar y mantener en comparación con la alternativa C y ambas menores a la alternativa B pues presentaría sistemas muy complejos y costosos de adquirir. La Tabla 8 muestra dicha evaluación.

$$\text{Alternativa A} > \text{Alternativa C} > \text{Alternativa B}$$

Tabla 8. Determinación del peso específico asignado al criterio costo.

Costo	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	$\sum +1$	Pond.
Alternativa A	-	1	1	3	0,500
Alternativa B	0	-	0	1	0,167
Alternativa C	0	1	-	2	0,333
			Suma	6	1

Para evaluar la facilidad de uso se determina que la alternativa A representa el equipo más sencillo de operar, pues permite el levantamiento y traslado de cargas y es accionado por mecanismos simples, le sigue la alternativa C cuyo sistema podría ser accionado de una manera casi similar, pero no permite el traslado de cargas una vez elevadas, y la alternativa B lo permite pero requiere de personal capacitado en su uso. La Tabla 9 muestra dicha evaluación.

$$\textit{Alternativa A} > \textit{Alternativa C} > \textit{Alternativa B}$$

Tabla 9. Determinación del peso específico asignado al criterio facilidad de uso.

Facilidad de uso	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	$\sum +1$	Pond.
Alternativa A	-	1	1	3	0,500
Alternativa B	0	-	0	1	0,167
Alternativa C	0	1	-	2	0,333
			Suma	6	1

Al evaluar el tamaño, por obvias razones la alternativa A tiene un menor tamaño y permite un movimiento eficaz por espacios reducidos, la alternativa B lo hace por espacios no tan reducidos y abiertos, mientras que la alternativa C no podría transitar por espacios reducidos. La Tabla 10 muestra esta evaluación.

$$\textit{Alternativa A} > \textit{Alternativa B} > \textit{Alternativa C}$$

Tabla 10. Determinación del peso específico asignado al criterio tamaño.

Tamaño	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	$\sum +1$	Pond.
Alternativa A	-	1	1	3	0,500
Alternativa B	0	-	1	2	0,333
Alternativa C	0	0	-	1	0,167
			Suma	6	1

La facilidad de manufactura se ve limitada por los elementos que constituyen a cada uno de los equipos, además de la viabilidad para la estandarización del proceso manufacturero de cada uno de

ellos, tras el análisis se determina que los elementos y el proceso de manufactura de la alternativa A es más favorable con respecto a la alternativa C, dejando al final a la alternativa B que requiere una cantidad mayor de elementos para su posible construcción y su proceso sería muy largo y costoso. La Tabla 11 muestra dicha evaluación.

$$\textit{Alternativa A} > \textit{Alternativa C} > \textit{Alternativa B}$$

Tabla 11. Determinación del peso específico asignado al criterio facilidad de manufactura.

Facilidad de manufactura	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	$\sum +1$	Pond.
Alternativa A	-	1	1	3	0,500
Alternativa B	0	-	0	1	0,167
Alternativa C	0	1	-	2	0,333
			Suma	6	1

El mantenimiento en cada uno de los equipos es una actividad vital para que permanezcan en óptimas condiciones de operación, se analizó que la mantenibilidad de los equipos para las alternativas A y C son similares, pues tanto sus componentes como sus posibles sistemas de elevación son muy parecidos, por otra parte la alternativa B representa una mayor criticidad en su mantenimiento, pues el equipo cuenta con una cantidad mayor de elementos y sistemas más complejos. La Tabla 12 muestra esta evaluación.

$$\textit{Alternativa A} = \textit{Alternativa C} > \textit{Alternativa B}$$

Tabla 12. Determinación del peso específico asignado al criterio mantenimiento.

Mantenimiento	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	$\sum +1$	Pond.
Alternativa A	-	1	0,5	2,5	0,417
Alternativa B	0	-	0	1	0,167
Alternativa C	0,5	1	-	2,5	0,417
			Suma	6	1

Para elegir la alternativa más viable, el método indica que debe realizarse una suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el de cada criterio [31], la Tabla 13 muestra la sumatoria y prioridad de alternativas.

Tabla 13. Sumatoria de parámetros y prioridad.

Criterios	Costo	Facilidad de uso	Tamaño	Facilidad de manufactura	Mantenimiento	Σ	Prio.
Alternativa A	0,500*0,333	0,500*0,233	0,500*0,233	0,500*0,133	0,417*0,067	0,494	1
Alternativa B	0,167*0,333	0,167*0,233	0,333*0,233	0,167*0,133	0,167*0,067	0,206	3
Alternativa C	0,333*0,333	0,333*0,233	0,167*0,233	0,333*0,133	0,417*0,067	0,299	2

Se observa entonces que la prioridad corresponde a la alternativa A que a su vez representa el elevador tipo apilador, por lo tanto, según la evaluación por el método ordinal corregido de criterios ponderados este equipo es el más viable para cumplir con las características de diseño propuestas en los criterios de análisis, pues su factibilidad representa el 49,4 % frente a las otras alternativas.

1.11 Selección del sistema de elevación o tracción

Una vez seleccionado el equipo a diseñar, es necesario evaluar los sistemas de tracción o de elevación que puede poseer pues este es el elemento principal para el funcionamiento del elevador.

En la actualidad los sistemas de elevación o tracción pueden clasificarse en mecánicos, eléctricos e hidráulicos, los mecánicos utilizan un sistema de poleas, mientras que los hidráulicos utilizan pistones hidráulicos. Con los avances tecnológicos en cuanto a la automatización y control los sistemas mecánicos e hidráulicos son controlados por sistemas eléctricos, dando paso a sistemas electromecánicos y electrohidráulicos [25].

Los equipos de elevación entonces pueden tener un sistema de elevación manual mecánico (sistema de poleas) [7], manual hidráulico (sistema de pistón hidráulico) [32], electromecánico (sistema de motor eléctrico y poleas) o electrohidráulico (sistema de bomba y pistón hidráulico).

En las Tablas 14 a 17 se muestran las ventajas y desventajas en estos sistemas.

Tabla 14. Ventajas y desventajas del sistema manual mecánico.

Ventajas	Desventajas
Bajo costo	Requiere esfuerzo moderado del operario
Diseño sencillo	Requiere mayor intervención del operario
Fácil mantenimiento	Requiere una mayor cantidad de elementos

Tabla 15. Ventajas y desventajas del sistema manual hidráulico.

Ventajas	Desventajas
Bajo costo	Requiere mayor intervención del operario
Diseño sencillo	Dependencia única del aceite hidráulico
Requiere menor esfuerzo del operario	Mayor periodicidad de mantenimientos

Tabla 16. Ventajas y desventajas del sistema electromecánico.

Ventajas	Desventajas
Requiere menor intervención del operario	Costo elevado
No requiere esfuerzo por parte del operario	Representan complejidad en el diseño
Posible automatización	Dependencia de energía eléctrica

Tabla 17. Ventajas y desventajas del sistema electrohidráulico.

Ventajas	Desventajas
Requiere menor intervención del operario	Costo elevado
No requiere esfuerzo por parte del operario	Mayor complejidad en el diseño
Mayor velocidad en su uso	Dependencia de energía eléctrica

Tras haber planteado las ventajas y desventajas para cada uno de los sistemas de elevación, se procede a evaluarlos frente a cuatro variables que representan los criterios más importantes según el presente caso de estudio, estos son mostrados en la Tabla 18.

Tabla 18. Criterios para la selección del sistema de elevación.

Criterio	Descripción
Costo	El costo de los componentes que conforman el sistema como el necesario para ensamblarlo en el equipo debe ser bajo
Facilidad de uso	El sistema de elevación debe facilitar las tareas del operario, evitando lo máximo posible que se sobre esfuerce y se fatigue
Diseño sencillo y confiable	La complejidad del diseño debe ser mínima y al mismo tiempo cumplir con la elevación de la carga, además el sistema debe ofrecer confiabilidad de operación ante cualquier circunstancia
Mantenimiento	El mantenimiento del sistema debe ser sencillo de realizar.

Para la selección del sistema de elevación no será utilizado el método ordinal corregido de criterios ponderados, puesto que ya fue realizada una evaluación globalizada de todo el equipo donde se consideró la ponderación de cada alternativa con la de cada criterio en base a su importancia. Por tal motivo se debe escoger un método que evalúe directa y específicamente las alternativas con cada uno de los cuatro criterios sin que su importancia sea determinante en la selección, pues en el sistema de elevación todos ellos tienen la misma criticidad.

El método Scoring consiste en la asignación de puntajes a ciertas alternativas de acuerdo a sus criterios de evaluación, la suma de los puntajes reflejará la mejor alternativa y servirá para la toma de decisiones [33]. La Tabla 19 muestra la escala de valores que se asignarán a cada alternativa.

Tabla 19. Escala de calificación para la evaluación del sistema de elevación.

Descripción	Valor referencial
Muy satisfactorio	5
Satisfactorio	4
Bueno	3
Poco satisfactorio	2
Muy poco satisfactorio	1

A continuación se realizarán las evaluaciones por cada uno de los criterios, estas se muestran en las Tablas 20 a 23:

Tabla 20. Evaluación del criterio costo para el sistema de elevación.

Alternativa	Análisis	Valor asignado
Manual mecánico	Elementos para diseño menos costosos pero se requieren en mayor cantidad	3
Manual hidráulico	Elementos menos costosos y en menor cantidad para seleccionar un pistón	5
Electromecánico	El motor eléctrico incrementa los costos	2
Electrohidráulico	La bomba hidráulica incrementa costos y su implementación también es cara	1

Tabla 21. Evaluación del criterio facilidad de uso para el sistema de elevación.

Alternativa	Análisis	Valor asignado
Manual mecánico	Requiere mayor intervención y en ocasiones poco esfuerzo del operario	1
Manual hidráulico	Requiere mayor intervención pero con poco o nada de esfuerzo por parte del operario	3
Electromecánico	No requiere tanta intervención ni esfuerzo	5
Electrohidráulico	No requiere tanta intervención ni esfuerzo	5

Tabla 22. Evaluación del criterio diseño sencillo y confiable para el sistema de elevación.

Alternativa	Análisis	Valor asignado
Manual mecánico	Poca complejidad en el diseño y confiabilidad alta ya que depende únicamente de la transmisión de fuerza del operador	5
Manual hidráulico	Poca complejidad en el diseño y alta confiabilidad si se realizan las tareas de mantenimiento que permitan el buen estado del pistón y fluido hidráulico	4
Electromecánico	Complejidad alta en el diseño y baja confiabilidad en el caso de cortes de energía eléctrica	2
Electrohidráulico	Complejidad alta en el diseño y baja confiabilidad en el caso de cortes de energía eléctrica o fugas en el sistema	1

Tabla 23. Evaluación del criterio mantenimiento para el sistema de elevación.

Alternativa	Análisis	Valor asignado
Manual mecánico	Mantenimientos sencillos con poca periodicidad	5
Manual hidráulico	Mantenimientos sencillos con mayor periodicidad	4
Electromecánico	Mantenimientos complejos con periodicidad media	3
Electrohidráulico	Mantenimientos complejos con mayor periodicidad	1

En la Tabla 24 se muestra la síntesis final tras la evaluación de alternativas:

Tabla 24. Síntesis del resultado final.

Alternativa	Criterio				Valor Global	Valor Porcentual
	Costo	Facilidad de uso	Diseño sencillo y confiable	Mantenimiento		
Manual mecánico	3	1	5	5	14	28%
Manual hidráulico	5	3	4	4	16	32%
Electromecánico	2	5	2	3	12	24%
Electrohidráulico	1	5	1	1	8	16%

Como se observa, los resultados muestran que el sistema con mayor puntaje es el manual hidráulico, la Figura 10 muestra un esquema del sistema.

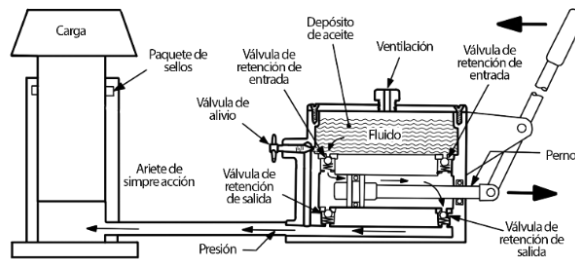


Figura 10. Sistema de elevación manual hidráulico [23].

El diseño óptimo y de mayor fiabilidad frente a todos los criterios analizados es el de un elevador tipo apilador con sistema de elevación manual hidráulico.

Capítulo II

Diseño del elevador manual hidráulico

El diseño del equipo estará compuesto por dos partes, la primera relacionada al diseño estructural y la segunda a la selección del mecanismo de elevación y diseño de sus componentes relacionados.

2.1 Criterios generales de diseño

El equipo debe cumplir con la función de elevar y transportar cargas de manera eficaz y segura, por tal motivo su desarrollo contará con criterios de diseño que promuevan la confiabilidad operativa en función de sus características dimensionales y de un determinado factor de seguridad.

2.2 Materiales a utilizar

Para el diseño estructural se optará por seleccionar perfiles estructurales en acero ASTM A-36 que se comercialicen en el ámbito nacional asegurando la facilidad de manufactura del equipo. Se hará uso de los catálogos que las comercializadoras de acero ofrecen con la finalidad de obtener las características y propiedades de los perfiles a utilizar mismas que serán importantes en el diseño.

El sistema de elevación manual hidráulico mediante pistón se diseñará en función de la carga de 400 kg y la carga de la estructura que se eleva con ella, para ello se usarán conceptos hidráulicos que permitan su dimensionamiento y se seleccionarán otros elementos mecánicos para la elevación.

2.3 Factor de seguridad n

El factor de seguridad general para el equipo se establece a través de conocer las condiciones de trabajo y el ambiente en el que se desarrollará, además de la fiabilidad que se dispone en cuanto a los materiales con los que será diseñado.

Ya que las condiciones de trabajo idealizadas del equipo no son severas y que los perfiles de acero estructural que se seleccionarán para el diseño del equipo son normalizados en cuanto a calidad y fabricación, además que se conocen las características mecánicas del ASTM A-36, se determina el factor de seguridad haciendo referencia al tercer criterio de la Figura 11 [14].

Aplicaciones	Factor de seguridad
Materiales de alta fiabilidad donde las condiciones de carga y ambientales no son severas y donde el peso es una consideración importante	1.3 – 1.5
Materiales fiables cuando las condiciones de carga y ambientales no son severas	1.5 – 2
Materiales ordinarios cuando las condiciones de carga y ambientales no son severas	2 – 2.5
Materiales frágiles donde la carga y las condiciones ambientales no son severas	2.5 – 3
Materiales cuyas propiedades no son fiables y cuyas condiciones de carga y ambientales no son severas, o cuando se utilizan materiales fiables en condiciones difíciles y ambientales	3 - 4

Figura 11. Factores de seguridad en función de la aplicación [14].

El criterio muestra un factor de seguridad entre 2 a 2,5 por lo que se tomará el mayor: $n = 2,5$

2.4 Diseño estructural

El AISC proporciona dos criterios de diseño, se opta por el método ASD o Diseño por Esfuerzos Permisibles para asegurar que los miembros estructurales no sobrepasen los límites del material en función del factor de seguridad [15]. Para el análisis se considerará el esfuerzo a la fluencia del ASTM A-36, $\sigma_y = 250 \text{ MPa}$ (Anexo 1) y el módulo de elasticidad del acero de $E = 200 \text{ GPa}$.

El equipo a diseñar es el mostrado en la Figura 12, en la Tabla 25 se puede observar cada uno de los componentes estructurales del elevador tipo apilador.

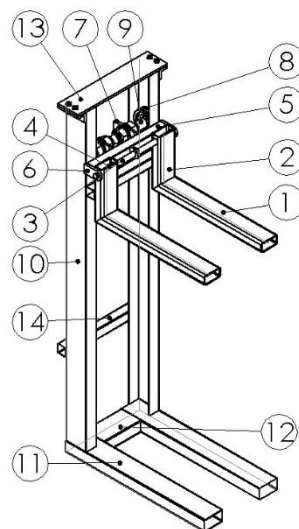


Figura 12. Estructura del equipo.

Tabla 25. Componentes estructurales.

Numero de Elemento	Elemento	Cantidad
1	Viga horizontal de la horquilla	2
2	Columna de la horquilla	2
3	Eje de sujeción y desplazamiento de horquillas	1
4	Tubo de sujeción-refuerzo para la horquilla	2
5	Viga de la plataforma elevadora	2
6	Placa de sujeción para el eje	3
7	Placa de sujeción plataforma elevadora	2
8	Rodamientos de la plataforma elevadora	4
9	Ejes de sujeción para rodamientos	4
10	Columna de la estructura principal	2
11	Viga base	2
12	Viga base de sujeción	1
13	Placa de límite	1
14	Viga soporte para elevación	1

2.4.1. Dimensionamiento principal y componentes principales del equipo

A continuación, en la Figura 13 se muestran los tres componentes estructurales principales ya ensamblados del equipo y las dimensiones más importantes a considerar para realizar el diseño.

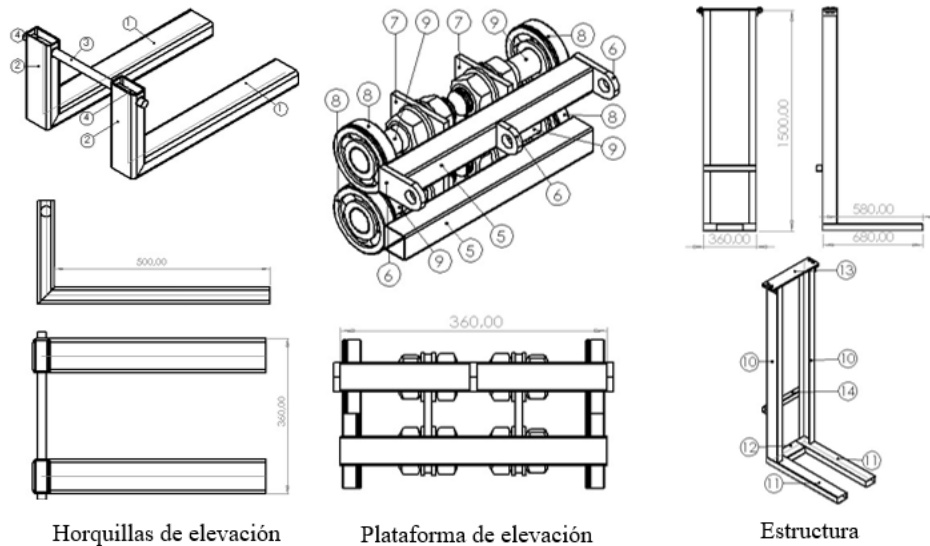


Figura 13. Componentes estructurales principales.

2.4.2. Análisis de carga y diseño de las horquillas (Elementos 1 y 2)

Las horquillas soportarán directamente la carga, su evaluación se realiza a partir de la ecuación (1).

$$W = CV + CM \quad (1)$$

Donde:

W = Carga [kg] o [N].

CV = Cargas vivas (Carga de 400 kg) [kg].

CM = Cargas muertas (Estructura) [kg].

La carga se distribuye uniformemente para cada una de las horquillas.

$$W_{cada\ horquilla} = \frac{W_{horquillas}}{2} = \frac{400\ kg}{2} = 200\ kg$$

Como caso crítico la carga se ubicará en el extremo, esto se visualiza en la Figura 14.

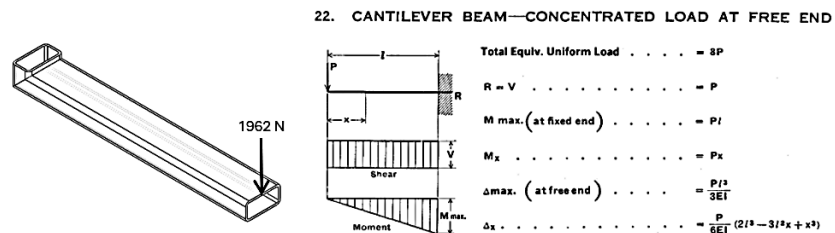


Figura 14. Caso de análisis para Elemento 1.

A partir de la ecuación (2) se obtiene el momento flector máximo.

$$M_{max} = P * l \quad (2)$$

Donde:

M_{max} = Máximo momento flector [N · mm].

P = Carga = $W_{cada\ horquilla}$ [N].

l = longitud de la viga [mm].

$$M_{max} = P * l = 200 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 500 \text{ mm} = 981000 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Se analiza el elemento por esfuerzo flector a partir de la ecuación (3) y se obtiene el esfuerzo a flexión del material mediante el Anexo 1 y la ecuación (4), obteniendo el módulo de sección.

$$Fb = 0,6 * \sigma_y \quad (3)$$

$$Fb = \frac{M_{max}}{S_y} \quad (4)$$

Donde:

σ_y = Esfuerzo de fluencia [MPa].

M_{max} = Máximo momento flector [N · mm].

Fb = Esfuerzo a flexión del material [MPa].

Sy = Módulo de sección [mm³].

$$Fb = 0,6 * 250 \text{ MPa} = 150 \text{ MPa}$$

$$S_y = \frac{M_{max}}{Fb} = \frac{981000 \text{ N} \cdot \text{mm}}{150 \text{ MPa}} = 6540 \text{ mm}^3 = 6,54 \text{ cm}^3$$

Para asegurar el factor de 2,5 se selecciona tubería estructural rectangular TR40x80x4 en ASTM A-36 (Anexo 2) y se comprueba con el esfuerzo de fluencia del material mediante (4) y (5).

$$\sigma_f = \frac{M_{max}}{S_{y \text{ real}}} = \frac{981000 \text{ N} \cdot \text{mm}}{10790 \text{ mm}^3} = 90,92 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{\sigma_y}{\sigma_f} \quad (5)$$

Donde:

n = factor de seguridad.

σ_y = Esfuerzo de fluencia [MPa].

σ_f = Esfuerzo flector [MPa].

$$n = \frac{\sigma_y}{\sigma_f} = \frac{250 \text{ MPa}}{90,92 \text{ MPa}} = 2,75 > 2,5 \therefore OK$$

El Elemento 2 se somete a flexión y tensión, soldado en su base al Elemento 1 y se traslada por el eje (Elemento 3) permitiendo la apertura y cierre de las horquillas, esto se detalla en la Figura 15.

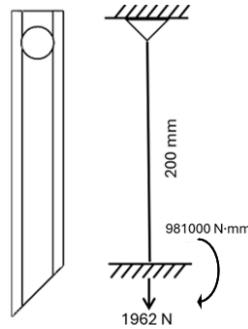


Figura 15. Caso de análisis para Elemento 2.

El análisis puede realizarse a través del uso de conceptos básicos para encontrar el factor de seguridad a partir de las ecuaciones (6), (4), (7) y (5).

Se utiliza el mismo perfil seleccionado para el Elemento 1, TR40x80x4.

$$\sigma_a = \frac{P}{A} \quad (6)$$

$$\sigma_{total} = \sigma_a + \sigma_f \quad (7)$$

Donde:

σ_a = Esfuerzo axial [MPa].

$P = W_{cada \ horquilla}$ = Carga axial [N].

A = Área de sección transversal [mm^2].

$$\sigma_a = \frac{P}{A} = \frac{1962 \text{ N}}{855 \text{ mm}^2} = 2,29 \text{ MPa}$$

$$Fb = \sigma_f = \frac{M_{max}}{S_y} = \frac{981000 \text{ N} \cdot \text{mm}}{10790 \text{ mm}^3} = 90,92 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{total} = \sigma_a + \sigma_f = 93,21 \text{ MPa}$$

Se obtiene el factor de seguridad correspondiente al perfil determinado.

$$n = \frac{\sigma_y}{\sigma_{total}} = \frac{250 \text{ MPa}}{93,21 \text{ MPa}} = 2,68 > 2,5 \therefore OK$$

2.4.3. Análisis de carga y diseño del eje de sujeción-desplazamiento (Elemento 3)

A partir de TR40x80x4 en el Anexo 2 y en función de las longitudes de los perfiles se puede estimar el peso de cada horquilla y con ello la carga en el eje a partir de la ecuación (1).

$$W_{en\ elemento\ 3} = CV + CM = 200 \text{ kg} * 9,81 \frac{m}{s^2} + W_{1-2}$$

$$W_{en\ elemento\ 3} = 1962 \text{ N} + 6,71 \frac{kg}{m} \left(\frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \right) (540 \text{ mm} + 240 \text{ mm}) \left(9,81 \frac{m}{s^2} \right) = 2013,31 \text{ N}$$

Se verificará para los casos de apertura máxima y mínima de las horquillas. En la Figura 16 se muestra ambos diagramas, conociendo que el eje se sujetará en tres placas (Elemento 6).

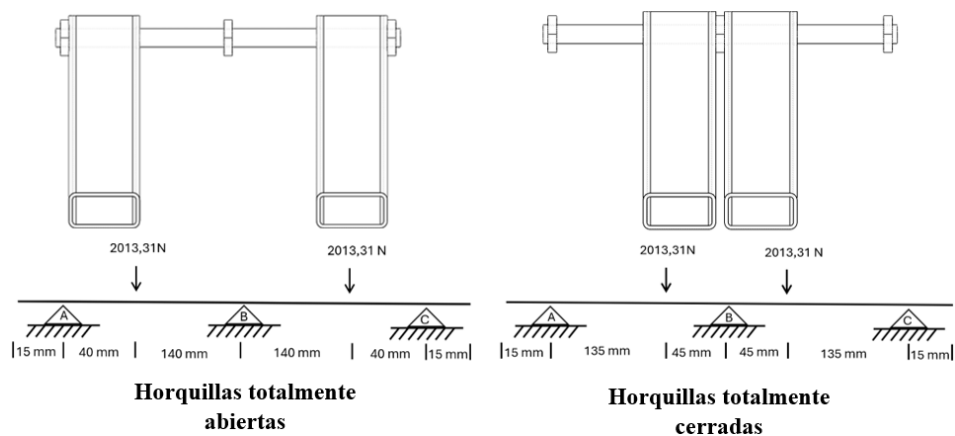


Figura 16. Primer y segundo caso de diagrama del Elemento 3.

Dicho elemento representa un sistema hiperestático, por lo que se resolverá mediante software, los resultados se visualizan en las Figuras 17 y 18 y en la Tabla 26 se exhiben los datos obtenidos para ambos análisis.

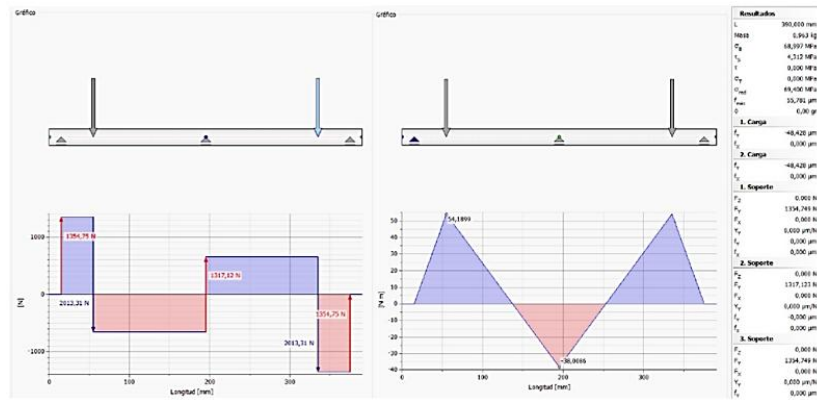


Figura 17. Diagrama de cortante y momento primer caso.

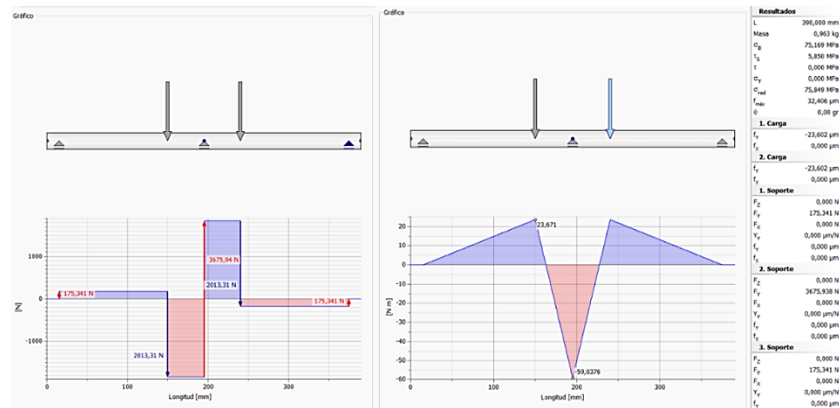


Figura 18. Diagrama de cortante y momento segundo caso.

Tabla 26. Datos del análisis para el Elemento 3.

Variable	Primer Caso	Segundo Caso
RA=RC	1354,749 N	175,341 N
RB	13137,123 N	3675,938 N
V_{max}	1354,749 N	1837,969 N
M_{max}	54189,96 N·mm	59037,57 N·mm

El eje debe ser evaluado en el punto de la sección transversal con mayor esfuerzo, por lo que se analizará a flexión mediante la ecuación (8) y en el segundo caso que presenta mayor momento.

$$\sigma_f = \frac{M * c}{I} \quad (8)$$

Donde:

σ_f = Esfuerzo flector [MPa].

M = Momento máximo [$N \cdot mm$].

c = Distancia entre la fibra neutra al punto de análisis [mm].

I = Inercia de la sección [mm^3].

$$\sigma_f = \frac{59037,57 N \cdot mm \left(\frac{d}{2}\right)}{\frac{\pi}{64} (d)^4}$$

Entre (8) y (5) se determina el diámetro del eje conociendo que será de AISI 1045 (Anexo 3).

$$n = \frac{\sigma_y}{\sigma_f}$$

$$2,5 = \frac{310 MPa}{\frac{59037,57 N \cdot mm \left(\frac{d}{2}\right)}{\frac{\pi}{64} (d)^4}}$$

$$d = 16,92 mm \approx 20 mm$$

Se aproxima a un diámetro de 20 mm, comercialmente el eje adquirido será de 25 mm y será maquinado hasta obtener el diámetro deseado, especificaciones del eje y el material se encuentran en los Anexos 3 y 4. El eje contará con dos anillos de seguridad $d1 = 20$ (Anexo 5).

2.4.4. Análisis de carga y diseño del tubo de sujeción-refuerzo (Elemento 4)

El tubo permite el desplazamiento de las horquillas a través del eje de 20 mm dentro de la sección de TR40x80x4, además sirve como refuerzo del agujero en las horquillas.

$$W_{en\ elemento\ 3} = W_{en\ elemento\ 4} = 2013,31 N$$

Ya que el diámetro del Elemento 3 es de 20 mm, el Elemento 4 deberá tener un diámetro interno mayor, por lo que se selecciona del catálogo de IPAC (Anexo 6) tubería estructural redonda T25,4x1,4 en ASTM A-36 cuyo diámetro exterior es de 25,4 mm, diámetro interior de 22,6 mm. La Figura 19 muestra la unión entre las horquillas y el Elemento 4.

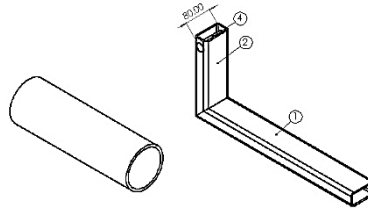


Figura 19. Ensamble de tubo de sujeción-refuerzo (Elemento 4).

Para comprobar su resistencia se analizará a cortante, mediante la ecuaciones (9), (10) y (11).

$$FV = 0,5 * \sigma_y \quad (9)$$

$$\tau_V = \frac{V}{A} \quad (10)$$

$$n = \frac{FV}{\tau_V} \quad (11)$$

Donde:

FV = Esfuerzo cortante del material [MPa].

σ_y = Esfuerzo de fluencia [MPa].

τ_V = Esfuerzo cortante [MPa].

V = Fuerza cortante máxima [N].

A = Área de sección transversal [mm^2].

n = factor de seguridad.

$$FV = 0,5(250 MPa) = 125 MPa$$

$$\tau_V = \frac{V}{A} = \frac{W_{en\ elemento\ 4}}{A} = \frac{2013,31 N}{113 mm^2} = 17,82 MPa$$

$$n = \frac{FV}{\tau_V} = \frac{125 MPa}{17,82 MPa} = 7,01 > 2,5 \therefore OK$$

Es necesario asegurar que el área donde se ubica el tubo en el Elemento 2 resista, analizando tres posibles modos de fallo, mediante tensión axial (6), debido al esfuerzo por apoyo o aplastamiento (12), y por cortante debido a la acción del Elemento 4 (13) [13]. Mostradas en la Figura 20.

$$\sigma_{ap} = \frac{P}{A_{proyectada}} \quad (12)$$

$$\tau_{ap} = \frac{P}{A_{cortante proyectada}} \quad (13)$$

Donde:

σ_{ap} = Esfuerzo por aplastamiento [MPa].

τ_{ap} = Esfuerzo cortante debido al perno en la sección transversal [MPa].

P = Carga [N].

$A_{proyectada}$ = Área proyectada por el diámetro del agujero [mm²].

$A_{cortante proyectada}$ = Área proyectada por esfuerzo cortante [mm²].



Figura 20. Áreas de análisis para los esfuerzos dados entre los Elementos 4 y 2.

El primer modo de fallo se obtiene considerando el área de la sección sin el agujero (6) y (5).

$$\sigma_a = \frac{P}{A} = \frac{W_{en\ elemento\ 4}}{A} = \frac{2013,31\ N}{(40\ mm - 25,4\ mm) * 4\ mm} = 34,47\ MPa$$

$$n = \frac{\sigma_y}{\sigma_a} = \frac{250\ MPa}{34,47\ MPa} = 7,25 > 2,5 \therefore OK$$

En el segundo caso de análisis se considera el área proyectada por el agujero en el perfil (12) y (5).

$$\sigma_{ap} = \frac{P}{A_{proyectada}} = \frac{W_{en\ elemento\ 4}}{A_{proyectada}} = \frac{2013,31\ N}{25,4\ mm * 4\ mm} = 19,82\ MPa$$

$$n = \frac{\sigma_y}{\sigma_{ap}} = \frac{250\ MPa}{19,82\ MPa} = 12,61 > 2,5 \therefore OK$$

El tercer caso involucra el área cortante proyectada por el Elemento 4 (13) y (11).

$$\tau_{ap} = \frac{P}{A_{cortante\ proyectada}} = \frac{W_{en\ elemento\ 4}}{A_{proyectada}} = \frac{2013,31\ N}{2 * 25\ mm * 4\ mm} = 10,07\ MPa$$

$$n = \frac{FV}{\tau_V} = \frac{125\ MPa}{10,07\ MPa} = 12,41 > 2,5 \therefore OK$$

2.4.5. Análisis de carga y diseño de la viga de la plataforma elevadora (Elemento 5)

La carga que soportará este elemento se obtiene a partir de la ecuación (1) y los elementos considerados anteriormente cuyo peso se trasladará a la viga en análisis.

$$W_{en\ elemento\ 5} = CV + CM = 400\ kg + 2 * W_{1-2} + W_3 + 2 * W_4$$

$$W_3 = \left(2,47 \frac{kg}{m}\right) \left(\frac{1\ m}{1000\ mm}\right) (390\ mm) = 0,96\ kg$$

$$W_4 = \left(0,83 \frac{kg}{m}\right) \left(\frac{1\ m}{1000\ mm}\right) (80\ mm) = 0,07\ kg$$

$$W_{en\ elemento\ 5} = 9,81 \frac{m}{s^2} (400\ kg + 2(5,23\ kg) + 0,96\ kg + 2(0,07\ kg)) = 4037,40\ N$$

Se debe considerar que las horquillas pueden estar en su máxima, mínima o cualquier apertura, además el Elemento 5 se soldará en sus dos extremos por lo que se considera que la carga es distribuida a lo largo de su longitud a partir de la ecuación (14). La Figura 21 muestra este caso.

$$Q = \frac{W}{l} \quad (14)$$

Donde:

Q = Carga distribuida de manera lineal [N/mm].

W = Carga [N].

l = Longitud para la distribución de cargas [mm].

$$Q_5 = \frac{W}{l} = \frac{W_{en\ elemento\ 5}}{l} = \frac{4037,40\ N}{360\ mm} = 11,215 \frac{N}{mm}$$

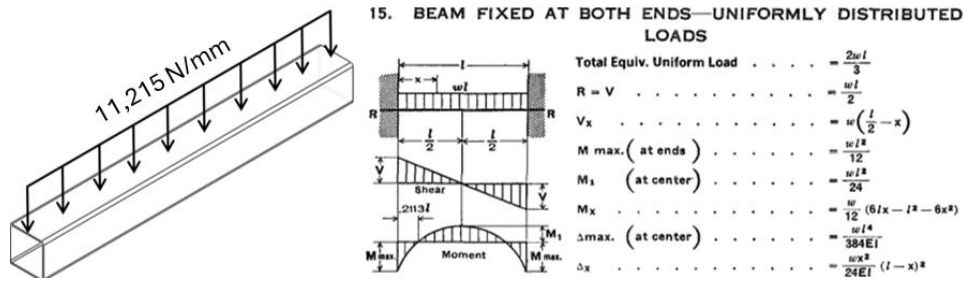


Figura 21. Caso de análisis para Elemento 5.

A partir de la ecuación (15) se obtiene el momento flector máximo.

$$M_{max} = \frac{W(l)^2}{12} \quad (15)$$

Donde:

M_{max} = Máximo momento flector [$N \cdot mm$].

$W = Q$ = Carga distribuida uniformemente [N/mm].

l = longitud de la viga [mm].

$$M_{max} = \frac{W(l)^2}{12} = \frac{11,215 \text{ N} \cdot \text{mm} (360 \text{ mm})^2}{12} = 121122 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Se obtiene el perfil a través de los valores anteriores y las ecuaciones (3) y (4).

$$Fb = 150 \text{ MPa}$$

$$S_y = \frac{M_{max}}{Fb} = \frac{121122 \text{ N} \cdot \text{mm}}{150 \text{ MPa}} = 807,48 \text{ mm}^3 = 0,81 \text{ cm}^3$$

Para asegurar el factor de 2,5 se selecciona el perfil de tubería estructural cuadrada TC40x2 en ASTM A-36 y se comprueba mediante las ecuaciones (4) y (5) con sus propiedades (Anexo 7).

$$\sigma_f = \frac{M_{max}}{S_{y \text{ real}}} = \frac{121122 \text{ N} \cdot \text{mm}}{3470 \text{ mm}^3} = 34,90 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{\sigma_y}{\sigma_f} = \frac{250 \text{ MPa}}{34,90 \text{ MPa}} = 7,16 > 2,5 \therefore OK$$

2.4.6. Análisis de carga y diseño de las placas de sujeción para el eje (Elemento 6)

Las placas se soldarán a la viga superior anteriormente analizada, por lo que ambos soportarán las mismas cargas, pero al ser tres placas la carga se distribuirá de la siguiente manera.

$$W_{en\ elemento\ 6} = \frac{W_{en\ elemento\ 5}}{3} = \frac{4037,40\ N}{3} = 1345,80\ N$$

El análisis se realizará a cortante y en la zona más crítica de área, esto se visualiza en la Figura 22.

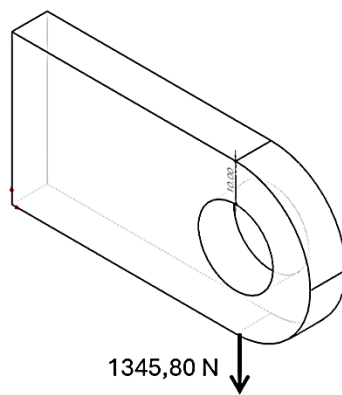


Figura 22. Caso de análisis para Elemento 6.

Se obtiene el espesor e de la placa en ASTM A-36, conociendo que su ancho debe ser de 40 mm para soldarse a TC40x2 a través de las ecuaciones (10) y (11) en su área crítica.

$$\tau_v = \frac{V}{A} = \frac{W_{en\ elemento\ 6}}{A} = \frac{1345,80\ N}{2 * 10\ mm * e} = \frac{67,29}{e}$$

$$n = \frac{FV}{\tau_v}$$

$$2,5 = \frac{125\ MPa}{\frac{67,29}{e}}$$

$$e = 1,35\ mm$$

Se selecciona del Anexo 8 una pletina de PL2x3/8 con ancho de 50,8 mm para que se recorte el ancho de 40 mm del Elemento 6 y espesor de 9,5 mm para que cada una resista la carga.

2.4.7. Análisis de carga y diseño de las placas de sujeción (Elemento 7)

La carga se obtiene a partir de la ecuación (1) y el peso de los elementos anteriores. Debe considerarse que en el Anexo 8 el peso se encuentra en función de 6 m de material.

$$W_{total \text{ en elemento } 7} = CV + CM = W_{en \text{ elemento } 5} + 2 * W_5 + 3 * W_6$$

$$W_5 = \left(2,31 \frac{kg}{m}\right) \left(\frac{1 m}{1000 mm}\right) (360 mm) = 0,83 kg$$

$$W_6 = \left[\left(21,20 \frac{kg}{cada \ 6 \ m}\right) \left(\frac{cada \ m}{6 \ m}\right)\right] \left(\frac{1 m}{1000 mm}\right) (80 mm) = 0,28 kg$$

$$W_{total \text{ en elemento } 7} = 4037,40 N + 9,81 \frac{m}{s^2} (2(0,83 kg) + 3(0,28 kg)) = 4061,93 N$$

Debido a que hay dos placas de sujeción soldadas a TC40x2 (Elemento 5) la carga total se dividirá para cada placa y se procederá al análisis mostrado en la Figura 23.

$$W_{en \text{ elemento } 7} = \frac{W_{total \text{ en elemento } 7}}{2} = \frac{4061,93 N}{2} = 2030,96 N$$

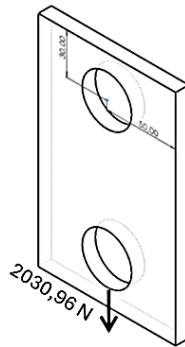


Figura 23. Caso de análisis para Elemento 7.

La placa tiene un ancho de 100 mm, altura de 160 mm, espesor de 9,5 mm por lo que se selecciona del Anexo 8 la pletina PL4x3/8 para recortar a 160 mm. Más adelante en el cálculo del Elemento 9 se conocerá el diámetro del eje que determina el agujero en la placa de 36 mm. Se analizará en base a las ecuaciones (6), (12) y (5), y las secciones críticas mostradas en la Figura 24.

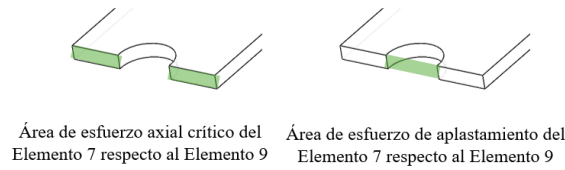


Figura 24. Áreas de análisis para los esfuerzos dados entre los Elementos 7 y 9.

Se considera la sección crítica sometida a esfuerzo axial de tensión a través de (6) y (5).

$$\sigma_a = \frac{P}{A} = \frac{W_{en\ elemento\ 7}}{A} = \frac{2030,96\ N}{(100\ mm - 36\ mm) * 9,5\ mm} = 3,34\ MPa$$

$$n = \frac{\sigma_y}{\sigma_a} = \frac{250\ MPa}{3,34\ MPa} = 74,85 > 2,5 \therefore OK$$

Se considera el área proyectada por el agujero en el perfil del Elemento 7, a partir de (12) y (5).

$$\sigma_{ap} = \frac{P}{A_{proyectada}} = \frac{W_{en\ elemento\ 7}}{A_{proyectada}} = \frac{2030,96\ N}{36\ mm * 9,5\ mm} = 5,93\ MPa$$

$$n = \frac{\sigma_y}{\sigma_{ap}} = \frac{250\ MPa}{5,93\ MPa} = 42,16 > 2,5 \therefore OK$$

2.4.8. Análisis de carga y diseño de columnas de estructura principal (Elemento 10)

La carga que soportará el elemento se obtiene a partir de la ecuación (1). Debe considerarse que en el Anexo 8 el peso del Elemento 7 se encuentra en función de 6 m de material.

$$W_{total\ en\ elemento\ 10} = CV + CM = W_{total\ en\ elemento\ 7} + 2 * W_7$$

$$W_7 = \left[\left(42,40 \frac{kg}{cada\ 6\ m} \right) \left(\frac{cada\ 1\ m}{6\ m} \right) \right] \left(\frac{1\ m}{1000\ mm} \right) (160\ mm) = 1,13\ kg$$

$$W_{total\ en\ elemento\ 10} = 4061,93\ N + 2 \left(9,81 \frac{m}{s^2} \right) (1,13\ kg) = 4084,10\ N$$

Ya que son dos columnas la carga se distribuye en cada una y se analiza mediante el criterio b mostrado en la Figura 25 y las ecuaciones (16) y (17) debido a que la columna estará soldada en su extremo inferior y unida mediante conexión apernada al Elemento 13 en su extremo superior.

$$W_{en\ elemento\ 10} = \frac{W_{total\ en\ elemento\ 10}}{2} = \frac{4084,10\ N}{2} = 2042,05\ N$$

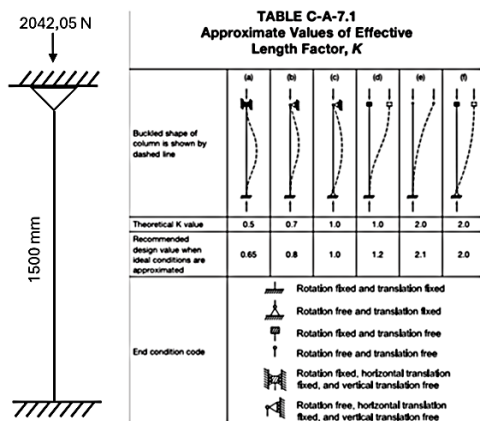


Figura 25. Valores k para el cálculo de longitud efectiva en elementos a compresión.

$$\lambda = \frac{k * l}{r} \quad (16)$$

$$fa \leq Fa \quad (17)$$

Donde:

λ = Esbeltez.

k = Factor de longitud efectiva para miembros a compresión.

r = Radio de giro [mm].

l = Longitud de la columna [mm].

Fa = Esfuerzo permisible en función de la esbeltez [MPa].

fa = Esfuerzo axial a compresión del material [MPa].

$$\lambda = \frac{k * l}{r} = \frac{0,8 * 1500 \text{ mm}}{r}$$

Según especificaciones la esbeltez en una columna debe ser menor o igual a 200, entonces se toma este valor para obtener un aproximado de Fa mediante la tabla C-36 del AISC (Anexo 9) que permita evaluar el perfil mediante el radio de giro y las propiedades del material ASTM A-36.

Para $\lambda = 200$, $Fa = 3,73 \text{ KSI} = 25,72 \text{ MPa}$ (Anexo 9). Se utilizan las ecuaciones (18), (19) si la columna es corta y (20) si la columna es larga para calcular el radio de giro mínimo.

$$C_c = \sqrt{\frac{2(\pi)^2(E)}{F_y}} \quad (18)$$

$$Si \lambda \leq C_c \rightarrow Fa = \frac{\left[1 - \frac{\left(\frac{k * l}{r}\right)^2}{2(C_c)^2}\right] (F_y)}{\frac{5}{3} + \frac{3\left(\frac{k * l}{r}\right)}{8(C_c)} - \frac{\left(\frac{k * l}{r}\right)^3}{8(C_c)^3}} \quad (19)$$

$$Si \lambda > C_c \rightarrow Fa = \frac{12(\pi)^2(E)}{23\left(\frac{k * l}{r}\right)^2} \quad (20)$$

Donde:

C_c = Relación de esbeltez.

F_y = Esfuerzo de fluencia del material [MPa].

E = Módulo de elasticidad [MPa].

F_a = Esfuerzo permisible en función de la esbeltez [MPa].

k = Factor de longitud efectiva para miembros a compresión.

r = Radio de giro [mm].

l = Longitud de la columna [mm].

$$C_c = \sqrt{\frac{2(\pi)^2(E)}{F_y}} = \sqrt{\frac{2(\pi)^2(200 \times 10^3 \text{ MPa})}{250 \text{ MPa}}} = 125,66$$

$$200 > 125,66 \rightarrow Fa = \frac{12(\pi)^2(200 \times 10^3 \text{ MPa})}{23\left(\frac{0,8 * 1500 \text{ mm}}{r}\right)^2}$$

$$r = 5,99 \text{ mm} = 0,599 \text{ cm} * 2,5 = 1,50 \text{ cm}$$

Para asegurar el factor de 2,5 se multiplica el valor de r obteniendo 1,50 cm. El perfil seleccionado será un perfil estructural C100x50x4 (Anexo 10) en ASTM A-36 y se comprueba con (16) y (18).

$$\lambda = \frac{k * l}{r} = \frac{0,8 * 1500 \text{ mm}}{15,6 \text{ mm}} = 76,92$$

Del Anexo 9 se obtiene que para $\lambda = 76,92$, $Fa = 15,70 \text{ KSI} = 108,25 \text{ MPa}$.

$$Cc = \sqrt{\frac{2(\pi)^2(E)}{F_y}} = \sqrt{\frac{2(\pi)^2(200 \times 10^3 \text{ MPa})}{108,25 \text{ MPa}}} = 190,97$$

Con la ecuación (19) se calcula el esfuerzo.

$$76,92 \leq 190,97 \rightarrow Fa = \frac{\left[1 - \frac{\left(\frac{0,8 * 1500 \text{ mm}}{15,6 \text{ mm}} \right)^2}{2(190,97)^2} \right] (250 \text{ MPa})}{\frac{5}{3} + \frac{3 \left(\frac{0,8 * 1500 \text{ mm}}{15,6 \text{ mm}} \right)}{8(190,97)} - \frac{\left(\frac{0,8 * 1500 \text{ mm}}{15,6 \text{ mm}} \right)^3}{8(190,97)^3}} = 126,95 \text{ MPa}$$

Se obtiene entonces la carga permisible a compresión que puede soportar el perfil mediante (21).

$$Pc = Fa * A \quad (21)$$

Donde:

Pc = Carga de compresión que soporta la columna [N]

Fa = Esfuerzo permisible en función de la esbeltez [MPa].

A = Área del perfil [mm^2].

$$Pc = Fa * A = 126,95 \text{ MPa} * 747 \text{ mm}^2 = 94831,65 \text{ N} > 2039,79 \text{ N} \therefore OK$$

Se puede obtener el factor de seguridad mediante un análisis más sencillo a partir de (7) y (5) considerando también el momento sobre la columna.

$$\sigma_a + \sigma_f = \frac{P}{A} + \frac{M * c}{I} = \frac{2042,05 \text{ N}}{747 \text{ mm}^2} + \frac{2042,05 \text{ N} * 165 \text{ mm} * 50 \text{ mm}}{180800 \text{ mm}^4} = 95,91 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{\sigma_y}{\sigma_a} = \frac{250 \text{ MPa}}{95,91 \text{ MPa}} = 2,61 > 2,5 \therefore OK$$

2.4.9. Selección de los rodamientos de la plataforma elevadora (Elemento 8)

Conociendo que este elemento solo permite el desplazamiento y no está sujeto a cargas pero su diámetro exterior debe ser igual a la altura del perfil de la columna C100x50x1,5 se elige el rodamiento de bolas SKF 6407 NR con una hilera cuyas especificaciones se muestran en el Anexo 11 y tiene diámetro exterior de 100 mm, interior de 35 mm y un ancho de 25 mm.

2.4.10. Análisis de carga y diseño del eje de sujeción para rodamientos (Elemento 9)

Sobre el eje se presentará únicamente el peso del rodamiento mediante la ecuación (1).

$$W_8 = 0,97 \text{ kg} \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) = 9,52 \text{ N}$$

Ya que el diámetro interno del rodamiento es de 35 mm y la rosca métrica más cercana es M36 con paso de 3 mm se maquinaría un eje con dicha rosca hasta una distancia de 89,5 mm y se maquinaría 65 mm a un diámetro de 35 mm. La disposición y dimensiones de tuercas y arandelas M36 tomados de los Anexos 12, 13 y 14 que permiten el desplazamiento del rodamiento dentro de las columnas son visualizados en la Figura 26. Por seguridad también se dejan libres 3 hilos por el paso de 4 mm en total de 12 mm.

El eje (Elemento 9) será de acero AISI 1045 (Anexo 3) y su peso para 36 mm de diámetro y 166,5 mm de longitud será aproximadamente de 8,03 kg/m (Anexo 4) y tendrá un anillo de seguridad d1 = 35 (Anexo 5). La Figura 27 muestra el diagrama del presente análisis.

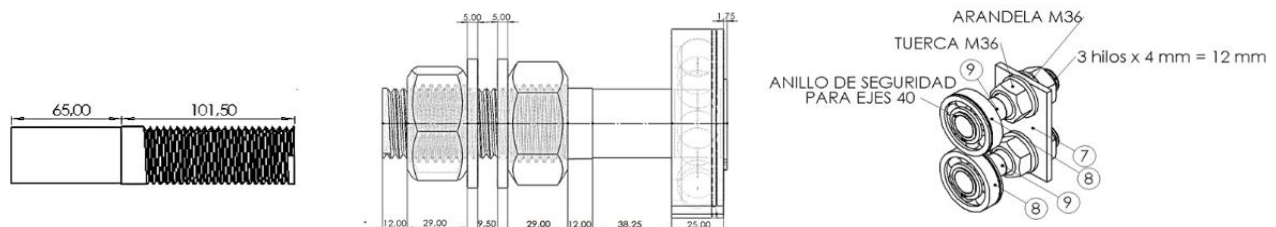


Figura 26. Ensamble Elemento 9 y elementos secundarios.

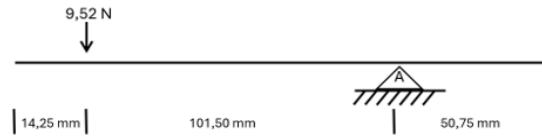


Figura 27. Diagrama de análisis del Elemento 9.

El diagrama indica que el eje solo será soportado por la placa (Elemento 7) existiendo flexión resultado de la fuerza del peso del rodamiento (Elemento 8) a una distancia de 101,50 mm.

$$RA = V = 9,52 \text{ N}$$

$$M_{max} = 966,28 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Se comprueba la resistencia del eje mediante las ecuaciones (8) y (5).

$$\sigma_f = \frac{M * c}{I} = \frac{966,28 \text{ N} \cdot \text{mm} \left(\frac{35 \text{ mm}}{2} \right)}{\frac{\pi}{64} (35 \text{ mm})^4} = 0,23 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{\sigma_y}{\sigma_f} = \frac{310 \text{ MPa}}{0,23 \text{ MPa}} = 1347,83 > 2,5 \therefore OK$$

2.4.11. Análisis de carga y diseño de la viga base (Elemento 11)

Sobre el elemento se presentará la carga en las dos columnas, el peso de los cuatro rodamientos y sus ejes de sujeción y el peso de las columnas que están en función 6 m de material, a partir de (1).

$$W_{total \text{ en elemento } 11} = W_{total \text{ en elemento } 10} + 4(W_8 + W_9) + 2(W_{10})$$

$$(W_8 + W_9) = \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \left(0,97 \text{ kg} + 8,03 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \left(\frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \right) (166,5 \text{ mm}) \right) = 22,63 \text{ N}$$

$$W_{10} = \left[\left(35,20 \frac{\text{kg}}{\text{cada } 6 \text{ m}} \right) \left(\frac{\text{cada } 1 \text{ m}}{6 \text{ m}} \right) \right] \left(\frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ m}} \right) (1500 \text{ mm}) \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) = 86,33 \text{ N}$$

$$W_{total \text{ en elemento } 11} = 4084,10 \text{ N} + 4(22,63 \text{ N}) + 2(86,33 \text{ N}) = 4347,28 \text{ N}$$

La carga está ubicada en el centro de masa de los componentes que constituyen la base, en el caso de los Elementos 11 se encuentra distribuye, el diagrama del elemento se aprecia en la Figura 28.

$$W_{en \text{ elemento } 11} = \frac{W_{total \text{ en elemento } 11}}{2} = \frac{4347,28 \text{ N}}{2} = 2173,64 \text{ N}$$

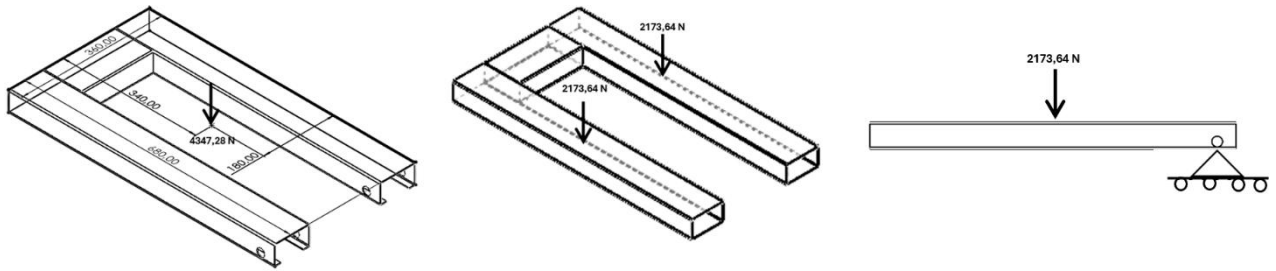


Figura 28. Caso de análisis para Elemento 11.

Como se observa, solo existe un apoyo en la viga debido a los rodillos que permitirán el desplazamiento del equipo, por tal motivo el partir el momento máximo se obtiene de la ecuación (2) en el punto más alejado a la aplicación de la carga, misma que se encuentra en el centro de masa de toda la base ya que debe distribuirse para ambas vigas del Elemento 11.

$$M_{max} = P * l = 2173,64 \text{ N} * 340 \text{ mm} = 739037,60 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

A partir de la ecuación (4) se obtiene el perfil.

$$S_y = \frac{M_{max}}{Fb} = \frac{739037,60 \text{ N} \cdot \text{mm}}{150 \text{ MPa}} = 4926,62 \text{ mm}^3 = 4,93 \text{ cm}^3$$

Para asegurar el factor de 2,5 se elige el perfil de tubería estructural rectangular TR50x90x1,8 (Anexo 2). Se comprueba entonces por esfuerzo flector a partir de (4) y (5).

$$Fb = \sigma_f = \frac{M_{max}}{S_y} = \frac{739037,60 \text{ N} \cdot \text{mm}}{8530 \text{ mm}^3} = 86,64 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{\sigma_y}{\sigma_f} = \frac{250 \text{ MPa}}{86,64 \text{ MPa}} = 2,89 > 2,5 \therefore OK$$

2.4.12. Análisis de carga y diseño de la viga base de sujeción (Elemento 12)

En el Elemento 12 se considerará la carga y el peso de la plataforma de elevación a partir de (1).

$$W_{en \text{ elemento } 12} = W_{total \text{ en elemento } 11} = 4347,28 \text{ N}$$

El miembro de 180 mm se soldará en sus extremos considerando la Figura 29. A partir de la ecuación (2) se obtiene el flector máximo como caso crítico cuando la carga total baja por las columnas que se encuentran en el extremo del Elemento 11, considerándose esta distancia.

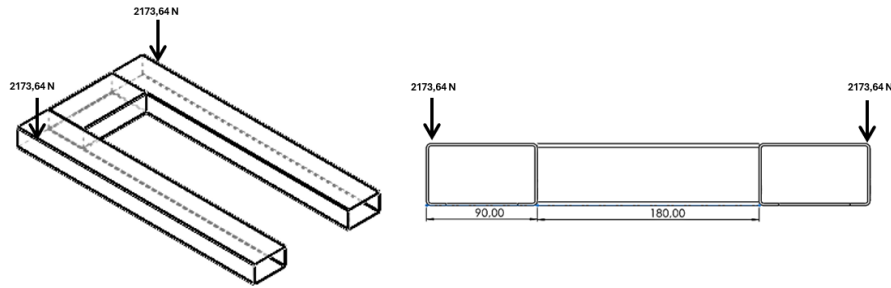


Figura 29. Caso de análisis para Elemento 12.

$$M_{max} = P * l = 2173,64(180 \text{ mm} + 90 \text{ mm}) = 586882,80 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

El perfil seleccionado será tubería estructural rectangular TR100x50x1,5 (Anexo 2) a fin de que tenga dimensiones mutuas entre las columnas y las vigas base facilitando su ensamble. Se comprueba entonces por esfuerzo flector a partir de (4) y (5).

$$fb = \sigma_f = \frac{M_{max}}{S_y} = \frac{586882,80 \text{ N} \cdot \text{mm}}{7960 \text{ mm}^3} = 73,73 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{\sigma_y}{\sigma_f} = \frac{250 \text{ MPa}}{73,73 \text{ MPa}} = 3,39 > 2,5 \therefore OK$$

2.4.13. Análisis de carga y diseño de la viga soporte para elevación (Elemento 14)

La carga en el Elemento 14 es la misma que en el Elemento 12.

$$W_{en \text{ elemento } 14} = W_{total \text{ en elemento } 10} + 4(W_8 + W_9) = 4174,62 \text{ N}$$

El perfil de 360 mm sirve como sujeción para las cadenas del sistema de elevación. Se considera el caso mostrado en la Figura 30 y se utiliza la ecuación (22) para obtener el momento flector.

$$M_{max} = \frac{P * l}{8} \quad (22)$$

Donde:

M_{max} = Máximo momento flector [$N \cdot mm$].

P = Carga [N].

l = longitud de la viga [mm].

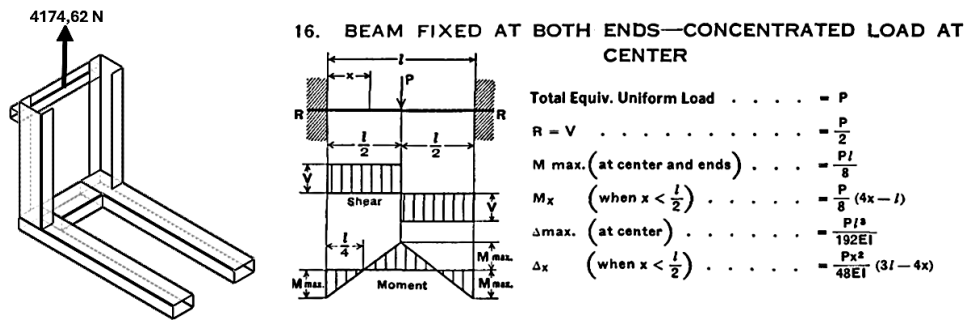


Figura 30. Caso de análisis para Elemento 14.

$$M_{max} = \frac{P \cdot l}{8} = \frac{4174,62 \text{ N} \cdot 360 \text{ mm}}{8} = 187857,90 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Se determina el perfil a través de la ecuación (4).

$$S_y = \frac{M_{max}}{Fb} = \frac{187857,90 \text{ N} \cdot \text{mm}}{150 \text{ MPa}} = 1252,39 \text{ mm}^3 = 1,25 \text{ cm}^3$$

Se selecciona un perfil en tubería estructural cuadrada TC40x2 (Anexo 7) para asegurar el factor de 2,5 y se comprueba por esfuerzo flector a partir de (4) y (5).

$$Fb = \sigma_f = \frac{M_{max}}{S_y} = \frac{187857,90 \text{ N} \cdot \text{mm}}{3470 \text{ mm}^3} = 54,14 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{\sigma_y}{\sigma_f} = \frac{250 \text{ MPa}}{54,14 \text{ MPa}} = 4,62 > 2,5 \therefore OK$$

2.4.14. Análisis de soldadura en las horquillas de elevación

Se considera soldadura de filete, el material de aporte será electrodo E 6011 con esfuerzo a tensión $S_{ut} = 427 \text{ MPa}$ (Anexo 15). Para todos los análisis se determinarán las dimensiones t (ancho de garganta) y h (longitud de pierna) de la soldadura que se muestran en la Figura 31.

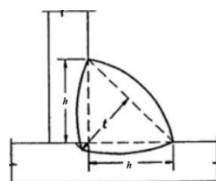


Figura 31. Ancho de garganta t y longitud de pierna h de la soldadura en filete [14].

Los Elementos 1 y 2 se unirán a 45° por lo que la carga $W_{cada\ horquilla}$ y el peso del Elemento 1 se analizarán paralelos al ángulo. La soldadura (Anexo 16) se visualiza en la Figura 32.

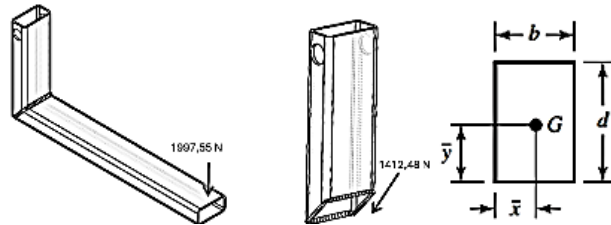


Figura 32. Análisis de la soldadura entre los Elementos 1 y 2.

$$W_{soldadura\ 1-2} = (W_{cada\ horquilla} + W_1) * \cos(45)$$

$$W_{soldadura\ 1-2} = \left(1962\ N + 6,71\ \frac{kg}{m} \left(\frac{1\ m}{1000\ mm} \right) (540\ mm) \left(9,81\ \frac{m}{s^2} \right) \right) * \cos(45)$$

$$W_{soldadura\ 1-2} = 1997,55\ N * \cos(45) = 1412,48\ N$$

Esta soldadura debe verificarse a cortante y flexión [14], mediante las ecuaciones (23), (24) y (25).

$$x = \frac{b}{2} \tag{23}$$

$$y = \frac{d}{2} \tag{24}$$

$$I_u = \frac{d^2}{6} (3 * b + d) \tag{25}$$

Donde:

b y d = Dimensiones de la soldadura [mm].

x e y = Centroide respecto al eje x e y [mm].

I_u = Segundo momento de área unitario [mm³].

Se calcula en función de b y d que corresponden a las dimensiones de los perfiles TR40x80x4.

$$x = \frac{b}{2} = \frac{80\ mm}{2} = 40\ mm$$

$$y = \frac{d}{2} = \frac{40 \text{ mm}}{2} = 20 \text{ mm}$$

$$I_u = \frac{d^2}{6}(3 * b + d) = \frac{(40 \text{ mm})^2}{6}(3 * 80 \text{ mm} + 40 \text{ mm}) = 74666,67 \text{ mm}^3$$

Se calcula la combinación de esfuerzos a partir de las ecuaciones (26) y (27).

$$\tau' = \frac{V}{A} \quad (26)$$

$$\tau'' = \frac{M * c}{I} \quad (27)$$

Donde:

τ' = Esfuerzo cortante en el cordón de soldadura [MPa].

τ'' = Esfuerzo flector en el cordón de soldadura [MPa].

V = Fuerza cortante en la soldadura [N].

A = Área del cordón de soldadura en función de t [mm²].

M = Momento flector en la soldadura [N · mm].

c = Distancia al centroide de la soldadura respecto al eje x o y [mm].

I = Inercia de la geometría del cordón de soldadura [mm³].

$$\tau' = \frac{V}{A} = \frac{W_{\text{soldadura 1-2}}}{A} = \frac{1412,48 \text{ N}}{(80 \text{ mm} * t) + 2(40 \text{ mm} * t)}$$

$$\tau'' = \frac{M * c}{I} = \frac{1412,48 \text{ N} * 500 \text{ mm} * 20 \text{ mm}}{74666,67 \text{ mm}^3 * t}$$

A partir de las ecuaciones (28), (29), (30) y (31) se obtiene t y h del cordón de soldadura.

$$\tau_{\text{admisible soldadura}} = 0,3 * S_{ut} \quad (28)$$

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''^2} \quad (29)$$

$$N = \frac{\tau_{\text{admisible soldadura}}}{\tau} \quad (30)$$

$$h = \frac{t}{0,707} \quad (31)$$

Donde:

$\tau_{admisible\ soldadura}$ = Esfuerzo admisible del material de aporte [MPa].

τ = Esfuerzo cortante total en el cordón de soldadura [MPa].

N = Factor de seguridad.

$$\tau_{admisible\ soldadura} = 0,3 * Sut = 0,3 * 427 MPa = 128,1 MPa$$

$$N = \frac{\tau_{admisible\ soldadura}}{\tau}$$

$$2,5 = \frac{128,1 MPa}{\sqrt{\left(\frac{1412,48 N}{2(80 mm * t) + 2(40 mm * t)}\right)^2 + \left(\frac{1412,48 N * 500 mm * 20 mm}{74666,67 mm^3 * t}\right)^2}}$$

$$t = 3,70 mm \approx 4 mm$$

$$h = \frac{t}{0,707} = \frac{4 mm}{0,707} = 5,66 mm \approx 6 mm$$

2.4.15. Análisis de soldadura en la plataforma de elevación

Existen tres distintas soldaduras, estas se dan entre el Elemento 6 y 5 a cortante y torsión, a cortante y flexión, y entre el Elemento 7 y 5 a cortante y flexión. La Figura 33 muestra estos casos.

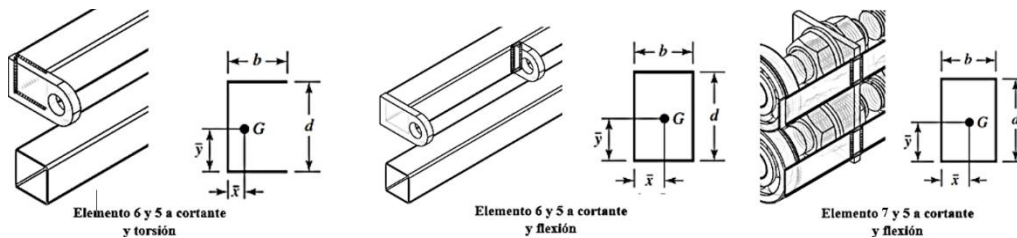


Figura 33. Casos de análisis entre los elementos soldados de la plataforma de elevación.

Se toma $W_{en\ elemento\ 6} = 1345,80\ N$, considerando la carga de los elementos que sostienen las horquillas y la carga de 400 kg ya distribuidos entre las tres placas (Elemento 6), dicha carga se encontrará en el centro de masa de los elementos de la plataforma elevadora y las horquillas, pues la carga de 400 kg puede ubicarse a lo largo de toda esta longitud, el centro de masa medido desde el extremo posterior del Elemento 6 es de 164,32 mm.

Para la soldadura entre los elementos 7 y 5 se tiene una carga de 1015,48 N considerando la carga distribuida en ambas placas (Elemento 7) y sus dos soldaduras, la distancia al centro de masa en la soldadura es la misma que la medida desde el extremo posterior del Elemento 6. Esto se observa en la Figura 34.

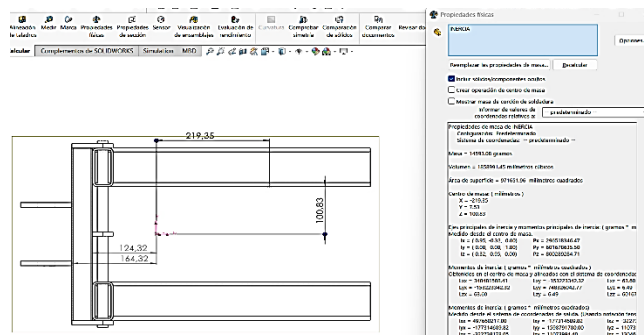


Figura 34. Centro de masa de la plataforma de elevación obtenida por SolidWorks.

El primer caso emplearía las ecuaciones (32), (33) y (34) en función del Elemento 6 (Anexo 16).

$$x = \frac{b^2}{2b + d} \quad (32)$$

$$y = \frac{d}{2} \quad (33)$$

$$J_u = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b + d} \quad (34)$$

Donde:

b y d = Dimensiones de la soldadura [mm].

x e y = Centroide respecto al eje x e y [mm].

J_u = Segundo momento polar de área unitario [mm^3].

Y se calcula la combinación de esfuerzos a partir de las ecuaciones (26), (35) y (36), y posteriormente las dimensiones de la soldadura a partir de las ecuaciones (28), (29) y (30).

$$\tau'' = \frac{T * \rho}{J} \quad (35)$$

$$\tau = \sqrt{(\tau_x'')^2 + (\tau_y'')^2} \quad (36)$$

Donde:

τ'' = Esfuerzo cortante por torsión en el cordón de soldadura [MPa].

T = Torque a distancia máxima donde actúa la fuerza [N].

ρ = Distancia perpendicular de la fuerza al centroide [mm].

J = Momento polar de Inercia [mm^2].

τ_x o τ_y'' = Esfuerzo flector por torsión en el cordón de soldadura respecto al eje x e y [MPa].

τ = Esfuerzo cortante total en el cordón de soldadura [MPa].

En este caso se necesita descomponer la fuerza que ejerce la torsión para obtener los componentes τ_x'' y τ_y'' , en la Figura 35 se muestra este análisis geométrico.

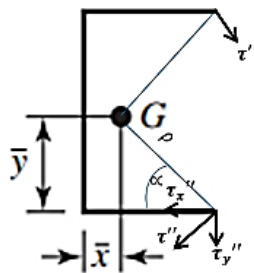


Figura 35. Análisis de la torsión en el cordón de soldadura del Elemento 6 [14].

Por geometría: $\alpha = 53,13^\circ$, $\rho = 33,34 \text{ mm}$, $\tau_x'' = \tau'' * \cos(53,13)$, $\tau_y'' = \tau'' * \sin(53,13)$.

Para los dos siguientes casos el análisis geométrico se realiza mediante las ecuaciones (23), (24), (25) y el Anexo 17, el análisis a cortante y flector mediante (26) y (27), obteniéndose t y h por (28),

(29), (30) y (31). Los tres casos son tabulados indicando sus variables hasta obtener t en la Tabla 26. La acción de las fuerzas y sus reacciones en las soldaduras se detallan en la Figura 36.

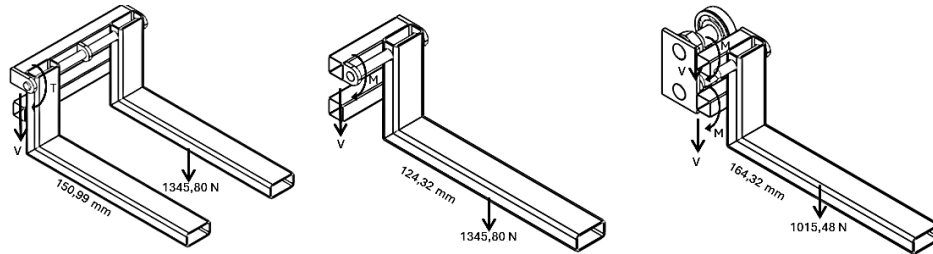


Figura 36. Análisis de cargas y reacciones en los cordones de la plataforma de elevación.

Tabla 27. Análisis de soldadura en los elementos de la plataforma de elevación.

Caso	b	d	I_u	J_u	y	x	V	M	T	t
1	40	40	-	58666,67	20	13,33	1345,80	-	203202,34	2,43
2	9,5	40	18266,67	-	20	4,75	1345,80	167309,86	-	3,58
3	9,5	40	18266,67	-	20	4,75	1015,48	166863,67	-	3,58

Para el primer caso se obtiene $t = 2,43 \text{ mm} \approx 2,5 \text{ mm}$ y $h = 4 \text{ mm}$, en el segundo caso $t = 3,58 \text{ mm} \approx 4 \text{ mm}$ y $h = 6 \text{ mm}$, y para el tercer caso $t = 3,58 \text{ mm} \approx 4 \text{ mm}$ y $h = 6 \text{ mm}$.

2.4.16. Análisis de soldadura en la estructura

Se soldaduras entre los Elementos 10 y 11, 11 y 12 se someten ante la carga de 400 kg y el peso de los elementos que constituyen la plataforma de elevación, horquillas y columnas donde actúa la carga de $W_{total \text{ en elemento } 11} = 4347,28 \text{ N}$ distribuida en cada cordón, el primero bajo cargas de flexión y el segundo bajo cargas de cortante y flexión, la soldadura entre los Elementos 10 con 14 corresponde la carga en el Elemento 14 divide para ambos cordones siendo de 2087,31 N.

Esta carga en los dos últimos casos representa la reacción del sistema de elevación de la plataforma elevadora. Para el análisis de soldadura entre los Elementos 10 y 11 se considera que la fuerza está a 250 mm que corresponde a la distancia entre el centroide de la soldadura y el centro de masa de la plataforma elevadora (Figura 26). El análisis de cargas se detalla en la Figura 37.

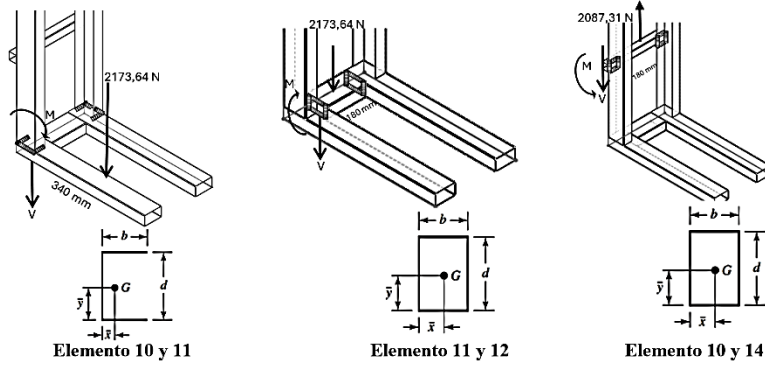


Figura 37. Análisis de soldadura en los elementos de la estructura del equipo.

Se analizan las geometrías mediante las ecuaciones (23), (24), (25), (32), (33) y (34), a cortante y flector mediante (26) y (27), obteniéndose t y h por (28), (29), (30) y (31). Para el primer caso no existirá esfuerzo cortante simple, pues la fuerza correspondería a una carga de compresión que baja por la columna. Los casos se tabulan indicando sus variables hasta obtener t en la Tabla 27.

Tabla 28. Análisis de soldadura en los elementos de la estructura del equipo.

Caso	b	d	I_u	J_u	y	x	V	M	T	t
1	50	100	333333,33	-	50	12,5	-	739037,60	-	2,16
2	50	100	416666,67	-	50	25	2173,64	586882,80	-	0,70
3	40	50	70833,33	-	20	25	2087,31	375715,80	-	2,60

Para el primer caso se obtiene $t = 2,16 \text{ mm} \approx 4 \text{ mm}$ y $h = 6 \text{ mm}$, para el segundo caso $t = 0,70 \text{ mm} \approx 4 \text{ mm}$ y $h = 6 \text{ mm}$, y para el tercer caso $t = 2,60 \text{ mm} \approx 3,5 \text{ mm}$ y $h = 5 \text{ mm}$.

2.4.17. Análisis de la placa de límite (Elemento 13)

El elemento no estará sometido a cargas, pero debe permitir su apertura para la manipulación y mantenimiento de la plataforma de elevación, por tal motivo se selecciona del Anexo 8 la pletina PL4x3/8 con 101,6 mm de ancho para que se recorte a 100 mm y espesor 9,5 mm, que será apernada a otras placas PL4x3/8 con 100 mm de ancho soldadas a la columna en filete con $t = 2 \text{ mm}$ y $h = 3 \text{ mm}$. Para la conexión apernada se utilizará el conjunto de pernos, arandela y tuerca M10 (Anexos 12, 13 y 14). El ensamble y dimensiones son mostrados en la Figura 38.

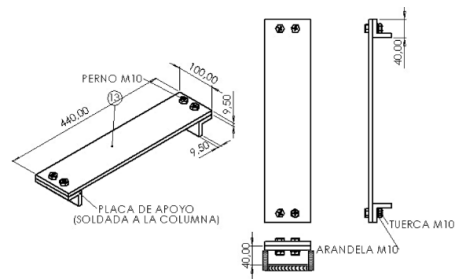


Figura 38. Dimensionamiento del Elemento 13.

2.5 Diseño del sistema de elevación

El diseño cuenta con los elementos mostrados en la Tabla 39 y la Figura 29.

Tabla 29. Componentes del sistema de elevación.

Numero de Elemento	Elemento	Cantidad
15	Sistema elevador manual hidráulico	1
16	Placa base del elevador	1
17	Cabeza del elevador	1
18	Rodamiento de elevación	2
19	Catarina de elevación	2
20	Cadena de elevación	2
21	Placa de soporte para cadenas	4

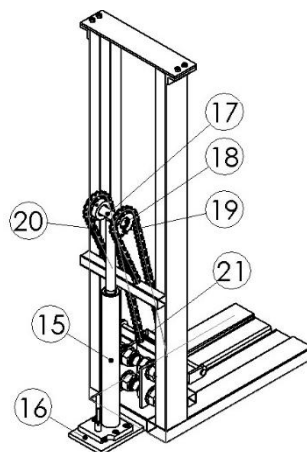


Figura 39. Elementos del sistema de elevación.

2.5.1. Selección del sistema de elevación manual hidráulico (Elemento 15)

Se requiere que la carga se eleve un metro, entonces se selecciona el gato de botella industrial GBJ002LA de la marca ENERPAC que cuenta con 460 mm de carrera y altura total de 1030 mm, el sistema de elevación se muestra en la Figura 40 y sus especificaciones en el Anexo 18.



Figura 40. Sistema de elevación manual hidráulico GBJ002LA ENERPAC [34].

2.5.2. Análisis de carga y diseño de la placa base del elevador (Elemento 16)

Esta placa soportará la carga que eleva el Elemento 15 además de su peso que se encontrará en el centro, como irá soldada a la base de la estructura, se obtiene su espesor a partir de (1) (8) y (5). La Figura 41 muestra dimensiones y el análisis del elemento en acero ASTM A-36.

$$W_{en\ elemento\ 16} = W_{en\ elemento\ 12} + W_{15} = 4174,62\ N + 10\ kg \left(9,81 \frac{m}{s^2} \right) = 4272,72\ N$$

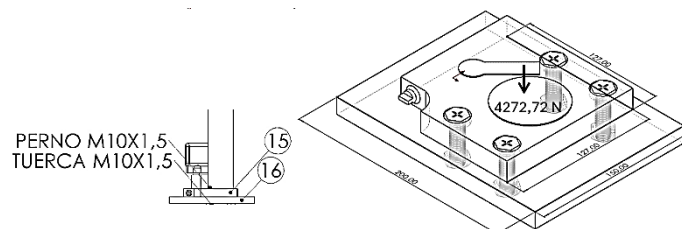


Figura 41. Análisis de carga y dimensionamiento del Elemento 15.

$$\sigma_f = \frac{M * c}{I} = \frac{4272,72\ N(100\ mm) \left(\frac{e}{2} \right)}{\frac{1}{12} (150\ mm)(t)^3}$$

$$2,5 = \frac{250 \text{ MPa}}{\frac{4272,72 \text{ N}(100 \text{ mm}) \left(\frac{e}{2}\right)}{\frac{1}{12} (150 \text{ mm})(t)^3}}$$

$$e = 13,07 \text{ mm} \approx 15 \text{ mm}$$

La placa tiene un espesor de 15 mm, por lo que se selecciona del Anexo 19 una placa PL150x15. Se observa que hay un conjunto de pernos y tuercas M10x1,5 para anclar el Elemento 15 al 16.

2.5.3. Análisis de carga y diseño de la cabeza del elevador (Elemento 17)

El eje de sujeción mostrado en la Figura 42 toma en cuenta la elevación del sistema hidráulico y la distancia entre el punto de elevación y la carga, por seguridad y para cumplir con las condiciones de la Figura 43 será de 284,5 mm. Se observa en la Figura 42 también la longitud del eje guía que corresponde a la distancia de anclaje de cadenas en el Elemento 5 al mismo nivel del Elemento 7.

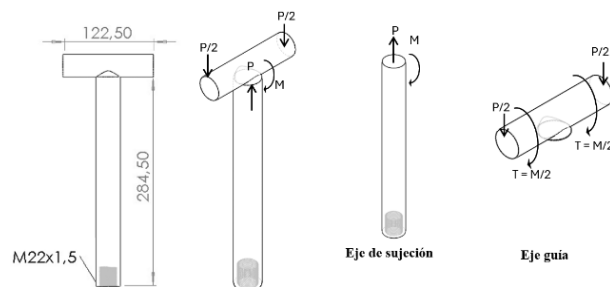


Figura 42. Dimensionamiento de los ejes del Elemento 17.

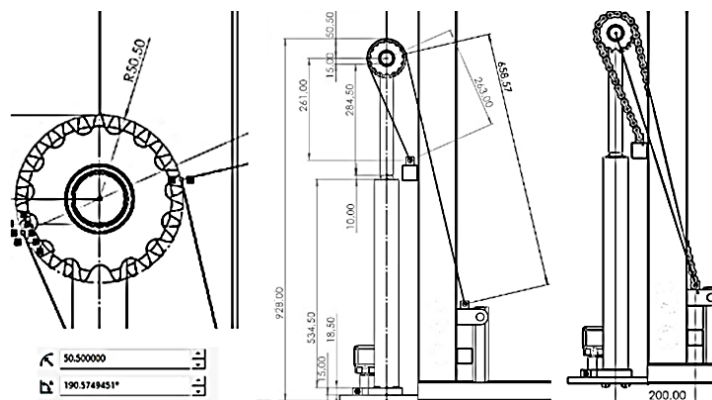


Figura 43. Longitudes importantes para la estimación de la elevación de carga.

Ambos casos soportarán la carga de elevación de 4170,10 N distribuidos como en la Figura 42, en el eje de sujeción actúa un momento a una distancia de 200 mm procedente de la placa de anclaje (Elemento 21) más lejana. Este eje tendrá una rosca interna M22x1,5 para fijarse en la cabeza del Elemento 15. Su diámetro se obtiene a partir de (6), (8), (7) y (5).

$$\sigma_a = \frac{P}{A} = \frac{4272,72 \text{ N}}{\frac{\pi}{4}(d)^2}$$

$$\sigma_f = \frac{M * c}{I} = \frac{4272,72 \text{ N}(200 \text{ mm}) \left(\frac{d}{2}\right)}{\frac{\pi}{64}(d)^4}$$

$$\sigma_{Total} = \sigma_a + \sigma_f$$

$$2,5 = \frac{686,30 \text{ MPa}}{\frac{4272,72 \text{ N}}{\frac{\pi}{4}(d)^2} + \frac{4272,72 \text{ N} * 200 \text{ mm} * \left(\frac{d}{2}\right)}{\frac{\pi}{64}(d)^4}}$$

Se obtiene un diámetro $d = 31,86 \text{ mm} \approx 32 \text{ mm}$, se observa que el esfuerzo de fluencia corresponde al acero AISI 4340 con $70 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 686,30 \text{ MPa}$, seleccionado debido a la criticidad del elemento ante la carga, especificaciones del eje y el material se muestran en el Anexo 20.

La acción de las cargas en el eje guía actuarán como torsión mediante la ecuación (37) y la combinación de esfuerzos (38) [14], junto con (10) en el punto crítico. Se comprueba para un diámetro de 30 mm que facilitará la soldadura y la unión de elementos posteriores al eje.

$$\tau_T = \frac{T * \rho}{J} \quad (37)$$

$$n = \frac{\sigma_y}{\sqrt{(\sigma_f)^2 + 3(\tau_{xy})^2}} \quad (38)$$

Donde:

τ_T = Esfuerzo cortante por torsión [MPa].

T = Torque a distancia máxima donde actúa la fuerza [N].

ρ = Distancia perpendicular de la fuerza al centroide [mm].

J = Momento polar de Inercia [mm^2].

n = Factor de seguridad según la teoría de la energía de distorsión según el caso analizado.

σ_y = Esfuerzo de fluencia del material [MPa].

σ_f = Esfuerzo flector [MPa].

$$\tau_v = \frac{V}{A} = \frac{\frac{4272,72 \text{ N}}{2}}{\frac{\pi}{4} (30 \text{ mm})^2} = 3,02 \text{ MPa}$$

$$\tau_T = \frac{T * \rho}{J} = \frac{\frac{4272,72 \text{ N}}{2} (200 \text{ mm}) \left(\frac{30 \text{ mm}}{2}\right)}{\frac{\pi}{32} (30 \text{ mm})^4} = 80,60 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{\sigma_y}{\sqrt{(\sigma_f)^2 + 3(\tau_T)^2}} = \frac{686,30 \text{ MPa}}{\sqrt{(0 \text{ MPa})^2 + 3(3,02 + 80,60 \text{ MPa})^2}} = 4,74 > 2,5 \therefore OK$$

2.5.4. Selección del rodamiento de elevación (Elemento 18)

El sistema cuenta con dos rodamientos en los extremos del eje guía, estos se someten a la carga de elevación de 2087,31 N. Se selecciona el rodamiento de bolas SKF 61806-2RS1 con una hilera cuyas especificaciones se muestran en el Anexo 21, su capacidad de carga estática de 2,9 KN, diámetro exterior de 42 mm, interior de 30 mm y ancho de 7 mm.

2.5.5. Selección de la catarina de elevación (Elemento 19)

Se selecciona el elemento en función del diámetro exterior del rodamiento, del Anexo 22 se obtienen las dimensiones de una catarina ANSI 60 simple de tipo B con 15 dientes y paso de $\frac{3}{4}$ in, la consideración se encuentra en el diámetro del agujero BD mismo que será maquinado a 42 mm o 1,65 in el cual se encuentra entre el rango mínimo y máximo de 0,67 in y 1,77 in respectivamente que puede tener el elemento. El ensamble de los elementos 17, 18 y 19 se presenta en la Figura 44.

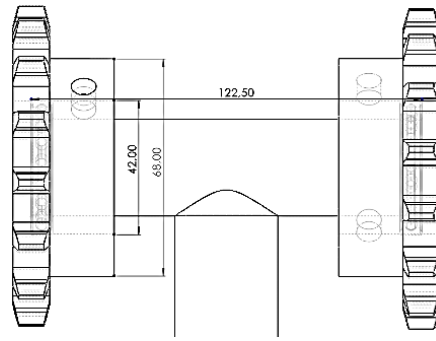


Figura 44. Disposición de los Elementos 17, 18 y 19.

2.5.6. Selección de la cadena de elevación (Elemento 20)

Se selecciona la cadena ANSI 60 con paso de $\frac{3}{4}$ in y ancho interno de $\frac{1}{2}$ in que soporta tensiones de 8500 Lb o 37809,88 N. Sus especificaciones se encuentran en el Anexo 23. La longitud de la cadena se calcula a partir de la Figura 43 donde se observa las longitudes del recorrido de la cadena alrededor del sistema de elevación, se considera la longitud de arco al sumar las tres longitudes.

$$\text{Longitud cadena} = 263 \text{ mm} + \left(50,51 \text{ mm} * 190,57^\circ * \frac{\pi}{180} \right) + 658,57 \text{ mm} \approx 1090 \text{ mm}$$

La longitud de la cadena será de 1090 mm, y la elevación de carga se dará según la relación:

$$\text{Elevación} = l_{\text{sistema hidráulico elevado}} + l_{\text{cabeza}} + r_{\text{eje guía}} + r_{\text{catarina}} - l_{\text{carga-anclaje}} = (1030 \text{ mm} - 25,5 \text{ mm}) + 284,5 \text{ mm} + 15 \text{ mm} + 50,5 \text{ mm} - 208 \text{ mm} = 1146,5 \text{ mm}.$$

2.5.7. Análisis de carga y diseño de las placas de soporte para cadenas (Elemento 21)

Se analizan los casos de áreas críticas mostrados en la Figura 45, se disponen dos placas por cadena.

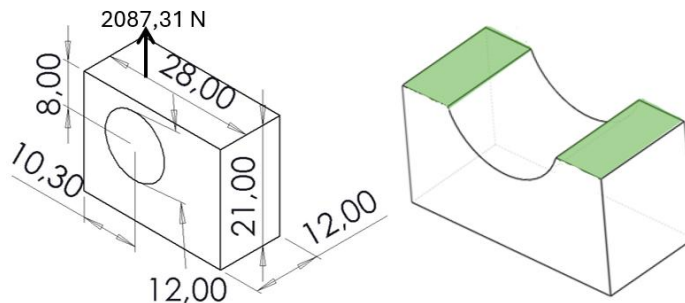


Figura 45. Dimensiones y área crítica del Elemento 21.

Se permite la unión entre eslabones de la cadena, y se verifica a partir de (6) y (5) en AISI 1045.

$$\sigma_a = \frac{P}{A} = \frac{2087,31 \text{ N}}{(28 \text{ mm} - 12 \text{ mm})(12 \text{ mm})} = 11,15 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{\sigma_y}{\sigma_a} = \frac{310 \text{ MPa}}{11,15 \text{ MPa}} = 27,80 > 2,5 \therefore OK$$

2.5.8. Análisis de soldaduras en el sistema de elevación

En el sistema de elevación se cuenta con las soldaduras mostradas en la Figura 46.

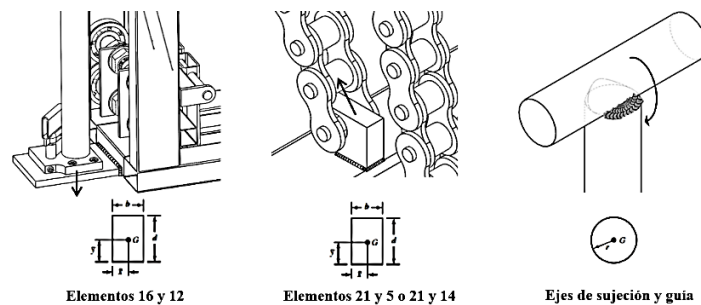


Figura 46. Soldaduras en elementos del sistema de elevación.

En la soldadura de los Elementos 16 y 12 se generan esfuerzos cortante y flector por la carga de elevación y el peso del sistema elevador, entre los Elementos 21 y 5 o 21 y 24 cortante y flexión a distancia y ángulo mostrados en la Figura 47, y entre los ejes el flector más crítico (respecto a 200 mm) ya que la carga actúa en compresión, los datos se muestran en la tabla 30 a partir de (26) y (27), t y h por (28), (29), (30), (31) y el Anexo 16. La soldadura en los dos últimos casos se realiza con Electrodo 7018 por el material de los ejes y la criticidad en las placas (Anexo 15).

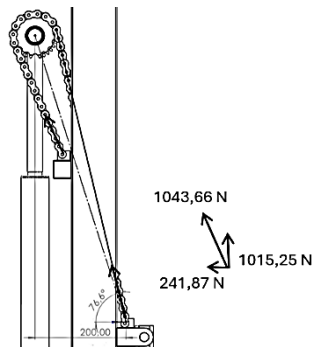


Figura 47. Diagrama de análisis para la soldadura entre los Elementos 21 y 5 o 21 y 14.

Tabla 30. Análisis de soldadura en los elementos de la estructura del equipo.

Caso	b	d	r	I_u	J_u	y	x	V	M	T	t
1	15	150	-	731250	-	75	7,50	4272,72	427272	-	0,27
2	12	28	-	8362,67	-	6	14	241,87	203050	-	6,00
3	-	-	16	12867,96	-	16	16	-	854544	-	8,82

En el primer caso se obtiene $t = 0,27 \text{ mm} \approx 4 \text{ mm}$ y $h = 6 \text{ mm}$, el segundo $t = 6,00 \text{ mm} \approx 7 \text{ mm}$ y $h = 10 \text{ mm}$, y el tercer caso $t = 8,82 \text{ mm} \approx 9 \text{ mm}$ y $h = 13 \text{ mm}$, pero en su lugar se considera que se debe rellenar con soldadura todo el espacio entre ambos ejes para asegurarlos.

2.5.9. Selección de los rodillos y garruchas para el desplazamiento del equipo

El peso total del equipo y la carga es $W = W_{carga} + W_{estructura} = 4501,45 \text{ N} \approx 4600 \text{ N} = 468,9 \text{ kg} \approx 500 \text{ kg}$ que se distribuye entre los cuatro elementos, dos rodillos (070x056 HPB) y dos garruchas con freno (FPG4 100 TLL4) que suman 21 mm a la estructura tal como se detalla en la Figura 48, sus especificaciones y carga máxima se encuentran en los Anexos 24 y 25.

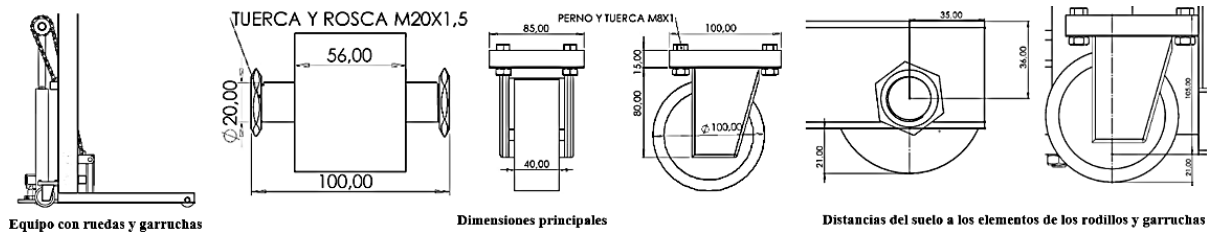


Figura 48. Disposición y dimensiones de los rodillos y garruchas del equipo.

Capítulo III

Simulación del elevador manual hidráulico

En el apartado se destacan las etapas presentes en un proceso de simulación para validar el diseño.

3.1 Criterios generales

Las simulaciones permiten validar diseños mediante Análisis por Elementos Finitos (FEA) y otros métodos integrándose con el CAD (Diseño Asistido por Computadora). El análisis estático evalúa el comportamiento del modelo ante cargas y restricciones de movimiento, calculando fuerzas de reacción, desplazamientos, deformaciones y tensiones, así como el factor de seguridad mediante la asignación de materiales para identificar posibles zonas de falla [35]. Se tienen dos suposiciones:

- Las cargas aplicadas no consideran fuerzas inerciales ni de amortiguamiento y se aplican progresivamente hasta llegar al valor máximo establecido [35].
- Las deformaciones unitarias y las tensiones son proporcionales a las cargas aplicadas [35].

FEA utiliza el Método de Elementos Finitos (MEF) para la resolución de ecuaciones diferenciales parciales del comportamiento del sistema ante cargas mediante métodos numéricos, dividiéndolo en pequeñas secciones “elementos” con puntos comunes de intersección “nodos” [35]. Si la representación se da con un número finito de elementos es conocido como discreto, si la división prosigue y la solución solo se realiza mediante ecuaciones diferenciales parciales se conoce como continuo [35]. Mediante métodos de discretización las simulaciones se aproximan al efecto real.

3.1.1. Comportamiento de los elementos y matriz de rigidez para el análisis estático

El sistema discretizado en elementos y nodos formará una estructura por la que las fuerzas aplicadas se transmitan, generando reacciones respecto al sistema tridimensional en cada uno de los nodos y desplazándolos de su posición inicial. En el análisis estático el sistema se rige bajo la ecuación de equilibrio mostrada en la ecuación (39) y se representan de forma matricial [36].

$$\{q\} = [K]\{a\} + \{f_p\} + \{f_{co}\} \quad (39)$$

Donde:

q = Vector fuerza en el nodo.

K = Matriz de rigidez (en el elemento o global).

a = Vector desplazamiento de los nodos.

f_p = Vector de fuerzas nodales requeridas para compensar toda carga distribuida que actúe sobre el elemento.

f_{c0} = Vector de fuerzas nodales requeridas para compensar cualquier deformación inicial.

La matriz K o de rigidez describe como la estructura resiste deformaciones frente a fuerzas, obteniendo primero la matriz de rigidez local de cada elemento y luego conformar la matriz global.

3.1.2. Relación de deformaciones-desplazamientos y de esfuerzos-deformaciones

Mediante los desplazamientos en los nodos, pueden determinarse las deformaciones y con ellas las tensiones resultados de la diferencia entre las deformaciones reales e iniciales y las propiedades del material implicadas en el módulo de corte como se observa en las ecuaciones (40) a (44) [36].

$$G = \frac{\tau_{xy}}{\gamma_{xy}} = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (40)$$

$$B = SN \quad (41)$$

$$\sigma = D(\varepsilon - \varepsilon_0) + \sigma_0 \quad (42)$$

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \frac{\nu \cdot \sigma_y}{E} - \frac{\nu \cdot \sigma_z}{E} \quad (43)$$

$$\varepsilon_y = \frac{\sigma_y}{E} - \frac{\nu \cdot \sigma_z}{E} - \frac{\nu \cdot \sigma_x}{E}$$

$$\varepsilon_z = \frac{\sigma_z}{E} - \frac{\nu \cdot \sigma_x}{E} - \frac{\nu \cdot \sigma_y}{E}$$

$$\gamma_{xy} = \frac{2(1 + \nu) \cdot \tau_{xy}}{E} \quad (44)$$

Donde:

G = Módulo de corte o cizallamiento.

τ_{xy} = Esfuerzo de cizallamiento en dirección xy .

γ_{xy} = Deformación por cizallamiento.

E = Módulo de elasticidad.

ν = Coeficiente de Poisson.

B = Función de forma de deformaciones.

S = Operador de deformaciones.

σ = Esfuerzo o tensión.

N = Función de forma de desplazamientos.

D = Matriz de rigidez elástica.

ε = Deformación.

3.2 Etapas de la simulación

3.2.1. Preprocesamiento

Es la etapa inicial y la que más tiempo toma definir, pues de ella dependerán los resultados. Inicia con el diseño o importación del modelo CAD a simular, luego se realiza la “limpieza” del modelo eliminando detalles irrelevantes y solucionando errores [35].

En cada uno de los componentes del modelo debe asignarse materiales cuyas propiedades permitirán obtener los resultados, principalmente se deberá comprobar el módulo elástico, coeficiente de Poisson, densidad, resistencia última y de fluencia, y módulo de cortante, en el caso de ser un material ortotrópico se definirán diferentes casos de propiedades [35].

Se definen condiciones de contorno (fijaciones y apoyos) que restringen el movimiento del modelo, algunos softwares permiten analizar también soldaduras [35]. Se asignan también estados de carga como fuerzas, momentos y torsiones, así como cargas de presión similares al estado real [35].

Si se utiliza MEF se genera la malla dividiendo la geometría en pequeños elementos como triángulos, cuadriláteros y tetraedros con una densidad de malla (fina o gruesa) y establecimiento de parámetros de tamaño cuya calidad impacta en la precisión de los resultados [35], si se utilizan

otros métodos el software preparará el modelo para el análisis y resolverá el sistema utilizando métodos como el de soluciones externas aproximadas en ensamblajes geométricos completos [37].

3.2.2. Procesamiento

Etapa donde se ejecuta el análisis, el software utiliza recursos computacionales para resolver los sistemas matemáticos del modelo calculando desplazamientos, deformaciones y esfuerzos [35]. En el caso del software con FEA a través de la matriz de rigidez y las relaciones entre esfuerzos-deformaciones y otros softwares mediante la teoría de aproximaciones externas [37].

3.2.3. Posprocesamiento

Etapa de visualización, interpretación y análisis de los resultados mostrados por el software mediante animaciones según los desplazamientos del modelo ante cargas las aplicadas progresivamente, mapas colorimétricos y la exportación de resultados [35].

3.3 Simulación mediante el método de las aproximaciones externas basado en Meshless

Los métodos Meshless (MMs) son métodos numéricos de resolución en los que el sistema de ecuaciones discretas es obtenido a partir de un conjunto de nodos cuya conectividad no está definida y se reparten por la estructura de análisis (dominio) y sus condiciones de frontera, sin requerir una malla que los conecte para la generación de la aproximación numérica [38]. El dominio de influencia nodal es un concepto que hace referencia al subdominio en el que un nodo contribuye a la aproximación numérica, de manera que el solape de los dominios de influencia nodales precise la conectividad Meshless a través de su correspondiente función de forma y técnicas de solución relacionadas [38]. En otras palabras, se realiza un mapeo en la estructura mediante nodos con un área de influencia que al superponerse se pueden desarrollar los modelos matemáticos para la solución de la simulación determinando la conectividad nodal durante el proceso de solución.

Altair SimSolid es un software de simulación por FEA que utiliza este enfoque para realizar el análisis directamente sobre la geometría del modelo definiendo la respuesta de desplazamiento y las relaciones esfuerzo-deformación que posteriormente se muestran en los resultados [37].

Con el software se elimina la simplificación del modelo y el mallado reduciendo la mayor cantidad de tiempo en las simulaciones. SimSolid no hace uso de los mismos grados de libertad (posibles traslaciones y rotaciones del nodo) puntuales como en el FEA, más bien estos son funcionales con soporte geométrico en forma de volúmenes, áreas, nubes de líneas y puntos que permiten gestionar incluso imperfecciones geométricas y de contacto en el modelo, también está diseñado para analizar conjuntos grandes permitiendo crear conexiones manual y automáticamente entre los elementos del modelo como soldaduras [37]. El solucionador del software es adaptativo de múltiples pasadas, utiliza múltiples pasadas de solución analizando errores locales y globales mientras enriquece sus funciones de forma para garantizar la precisión de los resultados [37].

Inicialmente se propuso el método de Ritz-Galerkin donde se asume que las funciones de aproximación se definen en todo el dominio con un número infinito de derivadas y energía infinita (energía almacenada en la deformación de todo elemento sujeto a cargas) [37].

Luego surgió el MEF que utilizó la discretización para obtener soluciones con energía finita y un número de elementos suficientes para representar el fenómeno físico dentro de espacios de Sobolev (espacios vectoriales formados por las funciones con derivadas hasta cierto orden) [37].

Más adelante surgieron las aproximaciones externas, cuyo método es utilizado por SimSolid, el cual presenta soluciones con energía infinita ya que las funciones de aproximación son externas a un espacio de Sobolev en cada paso de la solución, pero en los límites, cuando el número de grados de libertad tiende al infinito, la función límite debe pertenecer a su correspondiente espacio de Sobolev para converger [37]. Bajo esta premisa los investigadores también definieron funciones base que funcionan como bloques fundamentales que permiten la convergencia a la solución exacta en la frontera desde fuera de un espacio de Sobolev.

SimSolid mediante pasadas adaptativas define un conjunto de funciones límite y el espacio completo en el que se generan las funciones base que permiten la convergencia de manera automática al mismo tiempo que se evalúa la matriz de rigidez en cada subdominio, posterior a ello se define un sistema de ecuaciones con todas las funciones de un elemento, finalmente tanto la matriz de rigidez como el vector o vectores de carga asignados en el preprocesamiento se evalúan

de la misma manera que en el MEF para obtener los resultados de deformaciones y tensiones [37]. La ecuación general se muestra en la ecuación (45) [37].

$$U_h = \sum_i^n a_i(U)p_i + \sum_k^N \left(\int_{\Gamma} g_k \gamma U d\Gamma \right) p_k \quad (45)$$

Donde:

U_h = Aproximación de una función desde fuera del espacio de Sobolev.

a_i = Grados de libertad internos del elemento (incluyendo principales factores).

U = Funciones de aproximación definidas dentro del elemento.

p_i y p_k = Funciones base que constituyen un espacio de dimensión finita P el cual debe ser completo (espacio polinomial que contenga todos los polinomios hasta un cierto grado asignado mediante pasadas adaptativas) para lograr la convergencia.

g_k = Funciones definidas en el límite del elemento finito o funciones base de G (espacio de dimensión finita en los límites de los elementos).

γ = Operador para las funciones de aproximación U.

Γ = Límite del elemento finito.

$\int_{\Gamma} g_k \gamma U d\Gamma$ = Integral correspondiente a los grados de libertad del límite.

3.4 Simulación del elevador manual hidráulico tipo apilador

Para validar el diseño se realiza un análisis estructural estático en el software SimSolid, en él se simulan los sistemas críticos del diseño y se muestran los resultados obtenidos (esfuerzos y factor de seguridad) tras haber importado el diseño CAD y los materiales en cada uno de los elementos y soldaduras, así como las cargas y condiciones de borde correspondientes en cada análisis. En la Figura 49 se muestra el análisis del Elemento 1, los resultados son similares a los de diseño.

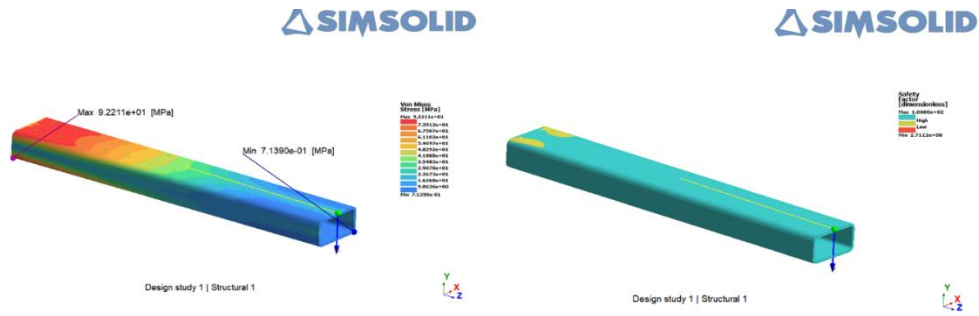


Figura 49. Resultados elemento 1.

El segundo análisis consta de los Elementos 1, 2 y 4 que conforman la horquilla de elevación, se muestra en la Figura 50 los esfuerzos máximos en cada uno de estos elementos y en el sistema, la Figura 51 muestra que el factor de seguridad de los elementos y soldaduras en el sistema es aceptable. Cabe recalcar que en el análisis no hay elemento que limite el movimiento de las horquillas, por tal motivo el factor de seguridad disminuye respecto a lo esperado, pero conforme se ensamblen los demás sistemas el factor de seguridad comenzará a asemejarse al de diseño.

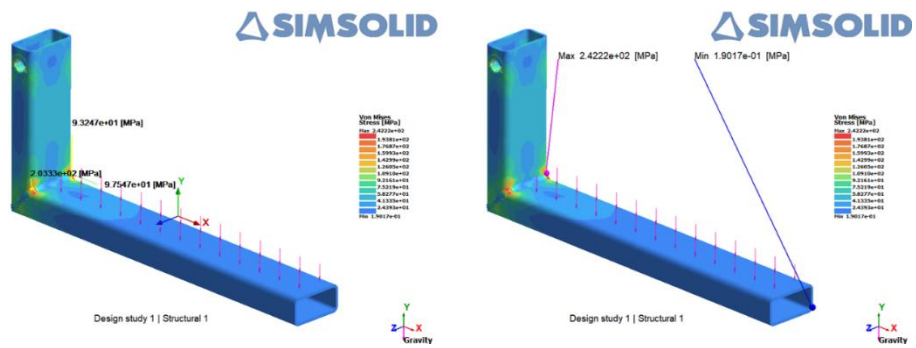


Figura 50. Esfuerzos horquillas de elevación.

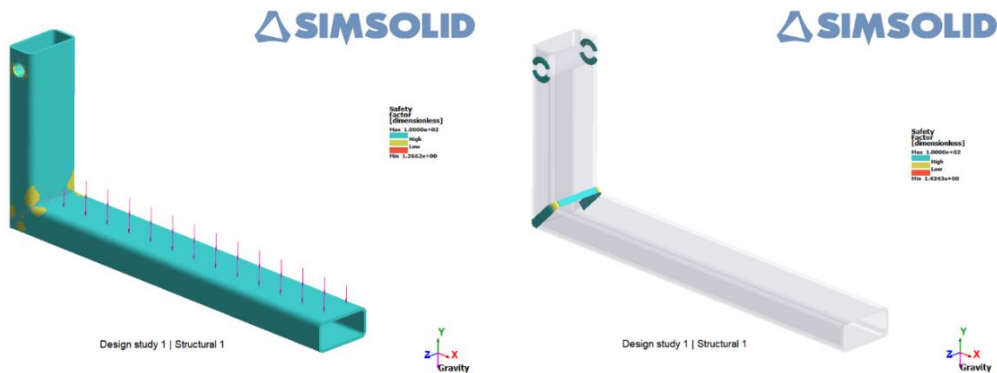


Figura 51. Factores de seguridad horquillas de elevación.

El tercer análisis consta de los Elementos 1 a 9 que conforman la plataforma de elevación y el Elemento 21 donde se sujetan las cadenas, para el caso crítico (horquillas cerradas). La Figura 52 muestra los esfuerzos en los Elementos 3, 5 y 21, además de los máximos y mínimos del sistema. Las Figuras 53 y 54 muestran factores de seguridad en elementos y soldaduras respectivamente.

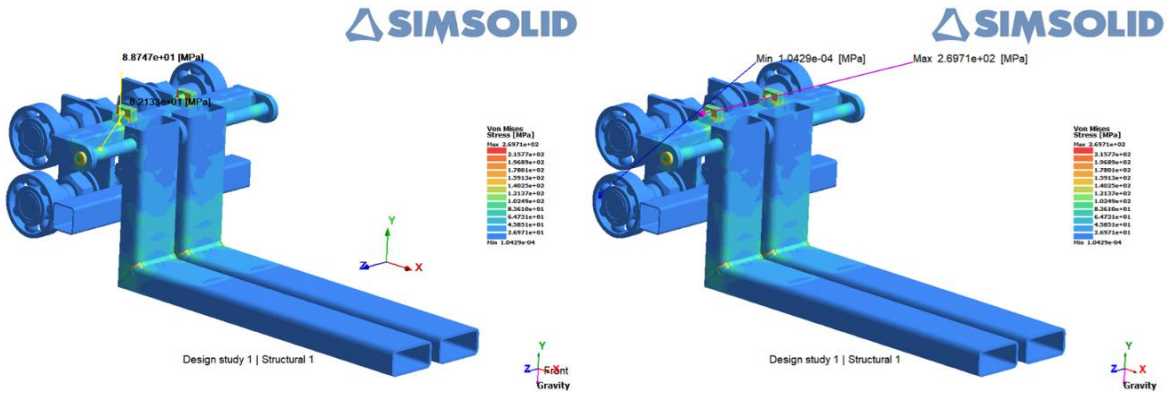


Figura 52. Esfuerzos plataforma de elevación.

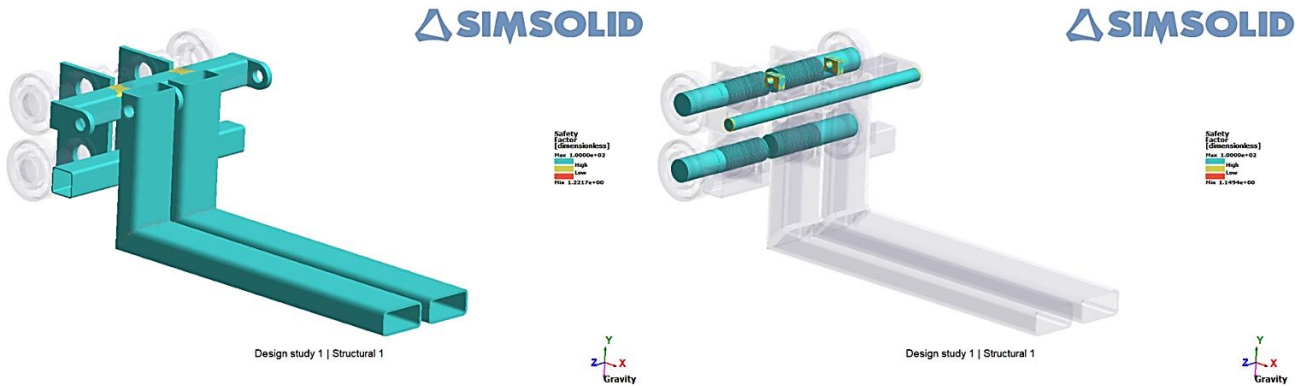


Figura 53. Factores de seguridad en elementos de la plataforma de elevación.

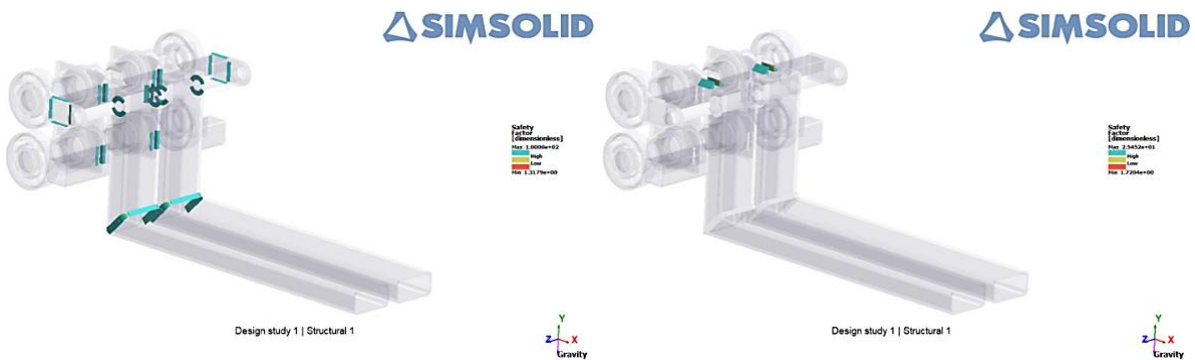


Figura 54. Factores de seguridad en soldaduras de la plataforma de elevación.

El cuarto análisis consta de todos los elementos, excepto rodillos y garruchas, en él se observa el comportamiento de las columnas, los resultados mostrados en la Figura 56 muestran también como los factores de seguridad de los elementos ya corresponden a los de diseño debido a que las columnas limitan el desplazamiento de las horquillas y la plataforma de elevación. La Figura 55 muestra los esfuerzos máximos y mínimos del sistema ante la carga en las horquillas y fuerzas de reacción en las placas de las cadenas, la Figura 57 muestra factores de seguridad en las soldaduras.

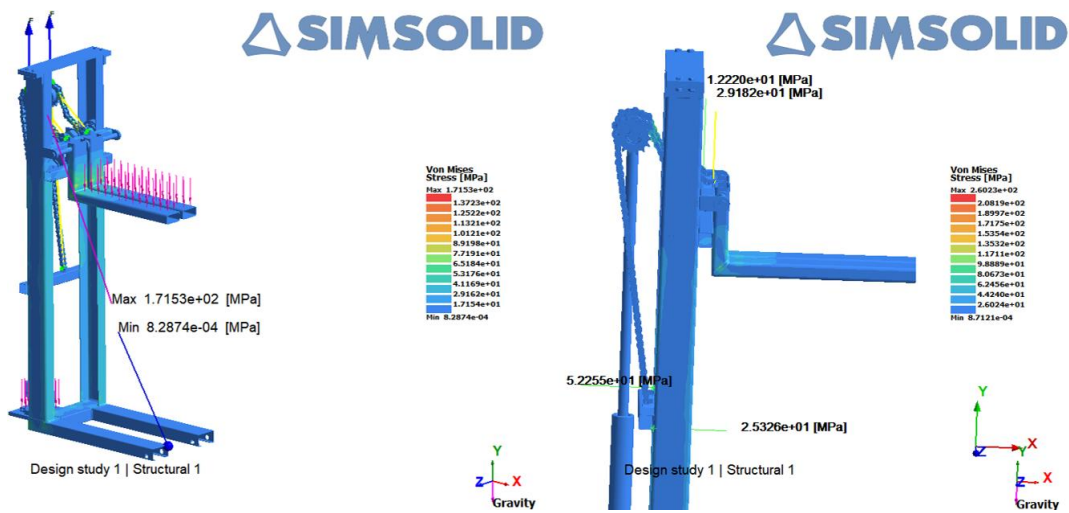


Figura 55. Esfuerzos elevador sin rodillos y garruchas.



Figura 56. Factor de seguridad en elementos del elevador sin rodillos y garruchas.

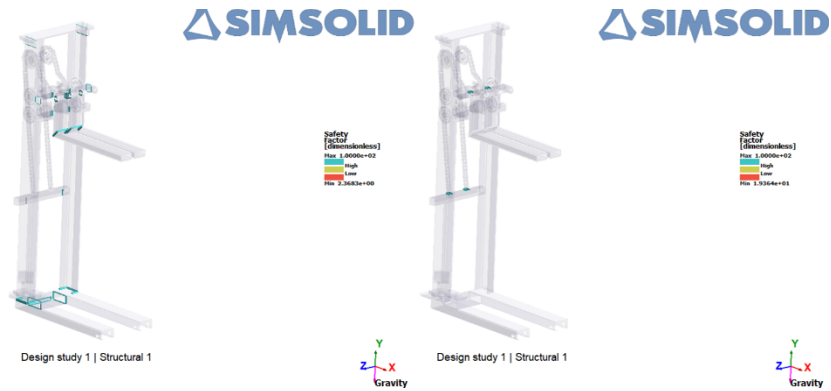


Figura 57. Factor de seguridad en soldaduras del elevador sin rodillos y garruchas.

El quinto análisis consta del equipo con rodillos y garruchas que permiten su desplazamiento e inciden principalmente en el Elemento 11, por lo que se muestran sus esfuerzos y los máximos y mínimos del sistema en la Figura 58 y en las Figuras 59 y 60 los factores de seguridad.

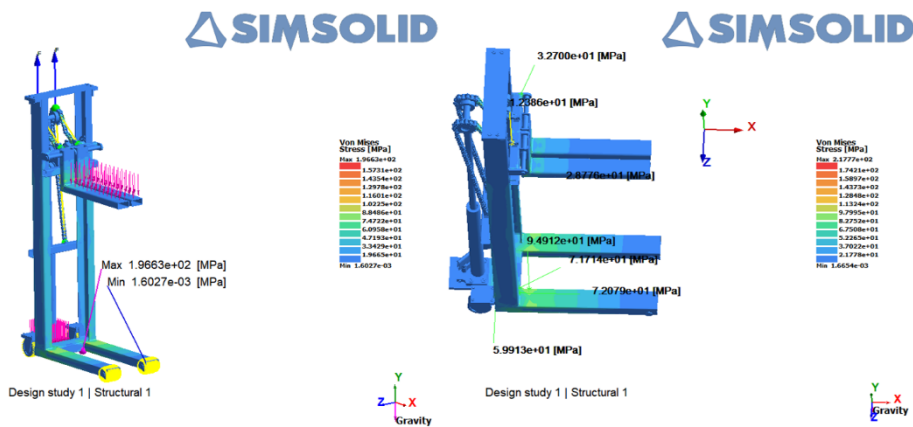


Figura 58. Esfuerzos elevador con rodillos y garruchas.



Figura 59. Factor de seguridad en elementos del elevador con rodillos y garruchas.



Figura 60. Factor de seguridad en soldaduras del elevador con rodillos y garruchas.

En el primer análisis muestra resultados similares a lo calculado para el Elemento 1. En el segundo análisis se tienen pequeñas variaciones entre esfuerzos y factores de seguridad, principalmente por ausencia de un elemento que limite el desplazamiento de las horquillas. En el tercer análisis sucede lo mismo, pues aunque el desplazamiento de las horquillas se ve limitado por los Elementos 5, en sí la plataforma de elevación también tiene un desplazamiento no limitado.

El cuarto análisis obtiene un factor de seguridad cercano al de diseño, puesto que ya se limita el desplazamiento de los sistemas anteriores. En el quinto análisis se observa que este factor disminuye un poco, esto se debe a que los rodillos en la base de la estructura permiten el desplazamiento de las vigas del Elemento 12. Finalmente, todos los esfuerzos y factores de seguridad tanto en elementos y soldaduras se consideran aceptables. Los esfuerzos en los elementos significativos se muestran en la Tabla 31, en las Tablas 32 y 33 los factores de seguridad.

Tabla 31. Resultados de las simulaciones esfuerzos en elementos significativos.

Elemento	Análisis presente	Esfuerzos (MPa)	Esfuerzo teórico (MPa)	Error (%)
1	1 y 2	93,247	90,92	2,56
2	1	97,547	93,21	4,65
3	3	82,133	75,17	9,26
5	4 y 5	32,700	34,90	6,30
21	4 y 5	12,386	11,15	11,09
14	4 y 5	28,776	54,14	46,85
10	4 y 5	72,079	95,91	24,85
11	5	94,912	86,64	9,55
12	5	71,714	73,73	2,73
16	5	59,913	75,96	21,13

Se observa que los errores en los Elementos 21, 14, 10 y 16 son elevados, pero menores a los teóricos, por lo que soportarán la carga para la que están diseñados, esto se muestra en el factor de seguridad. Por otra parte, el Elemento 11 tiene un valor en la simulación un tanto mayor al teórico, como ya se explicó, esto se debe a su pequeño estiramiento por el tipo de apoyo en el rodillo, a pesar de ello, el factor de seguridad muestra que ambas vigas pueden soportar la carga con un valor de 2,5629 muy cercano a 2,5 como puede apreciarse en la Tabla 32.

Tabla 32. Resultados de las simulaciones factores de seguridad en elementos por material.

Análisis	Material	Factor de seguridad	Factor de seguridad teórico	Error (%)
1	ASTM A36	2,7112	2,5	8,448
2	ASTM A36	1,2662	2,5	49,352
3	ASTM A36	1,2217	2,5	51,132
4	ASTM A36	2,7405	2,5	9,62
5	ASTM A36	2,5629	2,5	2,516

Tabla 33. Resultados de las simulaciones soldaduras.

Análisis	Material		Factor de seguridad		Factor de seguridad teórico		Error (%)	
2	E6011	E7018	1,4243	-	2,5	2,5	43,028	-
3	E6011	E7018	1,3179	1,7204	2,5	2,5	47,284	31,184
4	E6011	E7018	2,3683	19,364	2,5	2,5	5,268	674,56
5	E6011	E7018	1,7545	19,152	2,5	2,5	29,82	666,08

Para las soldaduras con E7018 el factor de seguridad es elevado y se garantiza su funcionalidad ante las cargas, para las soldaduras con E6011 es factor es menor al calculado, con aproximaciones en los análisis 4 y 5, sin embargo superan la unidad por lo que pueden resistir las cargas.

Capítulo IV

Análisis económico del elevador manual hidráulico

En el apartado se determinan los costos de producción del equipo diseñado.

4.1 Costos directos

Son aquellos costos que pueden cuantificarse de forma precisa y específica, pues estos se encuentran relacionados directamente a la fabricación del equipo en aspectos como el costo de los materiales y otros elementos, uso de maquinaria y mano de obra [39].

4.2 Costos indirectos

Son aquellos no asociados directamente a la fabricación del equipo pero son necesarios en el proceso para realizar su producción, incluyen el consumo de energía eléctrica, el desgaste de herramientas, servicios generales, entre otros [39].

4.3 Análisis de costos de producción

Las Tablas 34 y 35 muestran los costos de fabricación. Costos indirectos y mano de obra ya se consideran en la cotización por el tiempo de uso de máquinas y ensamblaje del equipo en el taller.

Tabla 34. Costos del uso de máquinas herramientas y procesos de producción.

Proceso/Máquina	Unidad	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Corte de perfiles	Proceso	30	6,50	195
Taladrado y roscado	Proceso	39	2,5	97,50
Maquinado de ejes/torno	Horas	2,45	15,00	36,75
Roscado de ejes/torno	Unidades	9	6,00	54,00
Soldadura (incluido material E6011 y E7018)	Proceso	13	10,50	136,50
Ensamblaje	Mano de obra	1	50	50
TOTAL			569,75	

Tabla 35. Costos de materiales y elementos mecánicos del equipo.

Elemento/Material	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total + IVA (USD)	Distribuidor
TR 80x40x4 A36 (6 m)	1	46,12	53,04	IPAC
T 25,4x1,4 A36 (6 m)	1	6,18	7,11	IPAC
TC 40x2 A36 (6 m)	1	12,38	14,24	IPAC
TR 50x90x1,8 A36 (6 m)	1	22,27	25,61	IPAC
TR 50x100x1,5 A36 (6 m)	1	23,93	27,52	IPAC
C 100x50x4 A36 (6 m)	1	34,50	39,68	IPAC
Pletina 2x3/8 A36 (6 m)	1	25,27	29,05	IPAC
Pletina 4x3/8 A36 (6 m)	1	50,55	58,13	IPAC
Platina 150x15 A36 (6 m)	1	104,48	120,15	DIPAC
Eje 25 mm AISI 1045 (1 m)	1	11,75	13,51	BOHMAN
Eje 38 mm AISI 1045 (1 m)	1	25,13	28,89	BOHMAN
Eje 32 mm AISI 4340 (1 m)	1	62,03	71,33	BOHMAN
Platina 12x40 AISI 1045 (1 m)	1	21,70	24,96	BOHMAN
Catarina N60B 15T 3/4	2	19,47	44,78	BOHMAN
Cadena de rodillos N60 3/4	1	29,66	34,11	BOHMAN
Rodamiento rígido de bolas 6407 NR	2	59,23	136,23	CASA DEL RULIMAN
Rodamiento rígido de bolas 61806-2RS1	2	8,50	19,56	CASA DEL RULIMAN
Gato de botella GBJ002LA	1	306,47	352,44	ENERPAC
Rodillos 070x056 HPB	2	33,37	76,75	GARRUCHAS Y EQUIPOS
Garruchas FPG4 100 TLL4	2	134,69	309,79	GPRS
Anillo de seguridad DIN 471 d1 = 20 mm	4	0,08	0,37	CASTILLO HERMANOS
Anillo de seguridad DIN 471 d1 = 35 mm	4	0,34	1,56	CASTILLO HERMANOS
Set tuercas grado 8.8 y arandelas M36x3	8	3,18	29,26	CASTILLO HERMANOS
Set pernos (180 mm), tuercas grado 8.8 y arandelas M10x1,5	4	1,13	5,20	CASTILLO HERMANOS
Set pernos (180 mm) y tuercas M10x1,5 grado 8.8	4	1,10	5,06	CASTILLO HERMANOS
Tuercas M20x1,5 grado 8.8	4	0,34	1,56	CASTILLO HERMANOS
Set pernos (25 mm) y tuercas M8x1 grado 8.8	8	0,14	1,29	CASTILLO HERMANOS
TOTAL			1531,18	

El costo total para la fabricación del equipo es de \$2100,93. Un elevador similar tienen un precio en el mercado de \$1356,68 [40], el costo del equipo diseñado es mayor pues se trata de una producción individual sin optimización de materiales estructurales y con dimensiones específicas, en contraste con el comercial cuya producción es mayor y tiene dimensiones estándar.

4.4 Análisis de producción de empresa interesada en la implementación del elevador

Para evaluar la factibilidad económica se utilizan indicadores VAN, TIR y PAYBACK. La empresa interesada en el elevador produce 120 kg/h, con un costo de materia prima de 13 centavos/kg y precio de venta de 56 centavos/kg. La jornada es de 8 horas diarias 5 días semanales empleando a 6 trabajadores. El costo de mantenimiento de las máquinas es aproximadamente el 5% del costo de producción (electricidad, pago de salarios y materia prima) y se tiene una reserva de contingencia para imprevistos y gastos adicionales del 15%. La Tabla 36 muestra estos datos.

Tabla 36. Flujo de caja considerando la producción para cinco años.

Factor	Parámetro	Tiempo	Valor unitario	Valor anual
Consumo eléctrico	156,60 KW	2080 horas/año	0,1022 USD/KWh	33289,40 USD
Pago de salarios	6 trabajadores	12 meses/año	470 USD	33840 USD
Materia prima	120 kg/h	2080 horas/año	0,13 USD/kg	32448 USD
Pago de arriendo	1550 USD	12 meses/año	-	18600 USD
Mantenimiento + contingencia/gastos adicionales	20%	-	99577,40 USD	19915,48 USD
Utilidades (ventas)	120 kg/h	2080 horas/año	0,56 USD/kg	139776 USD

Las actividades de manipulación de carga toman 2 horas diarias que se espera reducir en un 50% con el elevador. Sin embargo, la producción diaria se mantendría en 120 kg/h pues así se encuentra predeterminada, por lo que los indicadores financieros se evalúan en base a la utilidad neta actual.

4.5 Factibilidad económica del proyecto

El VAN (Valor actual neto de la inversión) muestra la diferencia entre los flujos futuros y la inversión indicando el beneficio económico del proyecto, la TIR (Tasa interna de retorno)

representa la tasa de descuento anulada por el VAN igualándolo a cero determinando la rentabilidad, y el PAYBACK (plazo de recuperación) determina el tiempo de recuperación del capital invertido [39]. Los indicadores se evalúan con un flujo de caja proyectado para cinco años. La Tabla 37 muestra el flujo de caja anual y la Tabla 38 los indicadores económicos considerando una tasa de rendimiento del 26% obtenida tras realizar un análisis CAPM del sector industrial y el país [39].

Tabla 37. Flujo de caja considerando la producción para cinco años.

Flujo de caja proyectado	Año 2025 (USD)	Año 2026 (USD)	Año 2027 (USD)	Año 2028 (USD)	Año 2029 (USD)
Total de entradas	139776	139776	139776	139776	139776
	-33289,40				
	-33840	-33289,40	-33289,40	-33289,40	-33289,40
	-32448	-33840	-33840	-33840	-33840
Total de salidas	-18600	-32448	-32448	-32448	-32448
	-19915,48	-18600	-18600	-18600	-18600
	-2100,93	-19915,48	-19915,48	-19915,48	-19915,48
Saldo final de caja	-417,81	1683,12	1683,12	1683,12	1683,12

Tabla 38. Indicadores económicos en la inversión del proyecto.

Indicador financiero	Valor	Análisis de rentabilidad
Inversión Inicial (USD)	2100,93	-
Tasa de descuento	26%	-
VAN (USD)	2334,21	VAN mayor que cero, el proyecto es factible.
TIR (%)	75,27%	Existe viabilidad en la inversión.
PAYBACK (años)	1,25	La recuperación de capital de inversión se da en un año y tres meses.

Los resultados demuestran que la viabilidad del proyecto es adecuada para el saldo final de caja en la empresa, principalmente el valor de PAYBACK es el que demuestra el tiempo de recuperación de la inversión generada por el costo del equipo.

Conclusiones

Se concluye que el elevador tipo apilador presenta las características para posicionarse como la alternativa más viable frente a otros equipos elevadores. Alcanzando una factibilidad del 49,4% respecto a los criterios definidos en el capítulo I, logrando ser la opción prioritaria según el método de selección.

El análisis comparativo del sistema de elevación permite evidenciar la idoneidad del sistema manual hidráulico. Concluyéndose que presenta la mayor valoración frente a otras alternativas, abarcando el 32% del puntaje total. Este sistema se adecúa a las características del elevador tipo apilador y cumple con los criterios establecidos en el capítulo I.

A partir del análisis del sistema de horquillas, se determina que el funcionamiento crítico del elevador corresponde al encontrarse cerradas con una distancia de 169,50 mm y altura de un metro. Esta condición se consideró como base para el análisis de los elementos en el diseño. Además, el orden mostrado en el capítulo II, permitió incorporar la carga de 400 kg y progresivamente el peso de los elementos ya diseñados.

Los elementos seleccionados que conforman el sistema de elevación soportan la carga de 400 kg y el peso de la plataforma elevadora. Además, se determina que la longitud de las cadenas y la altura del cilindro extendido en su totalidad permiten la elevación de la carga a 1146,50 mm del suelo.

A partir de la validación del diseño por simulación se concluye que, conforme aumenta la rigidez de la estructura, el factor de seguridad se aproxima al teórico de 2,5. Finalmente, se obtuvo un factor de 2,5629 con un error entre el teórico y el de simulación de 2,516%.

La simulación a través de software específico permitió verificar los factores de seguridad en otros elementos estructurales y soldaduras. Algunos de ellos con factores superiores a 2,5 y otros como las soldaduras con electrodo 6011 que no llegan al factor. Esto se debe a que el programa no permite acoplar ciertos cordones en todas las aristas y que los criterios de análisis son distintos. Sin embargo, las soldaduras superan la unidad por lo que resistirán las cargas.

Se concluye que el diseño cumple con los criterios seleccionados en el capítulo I respecto a costo de fabricación, estandarización y facilidad de manufactura en el ámbito ecuatoriano. Esto se

evidencia al determinar el costo de producción del equipo, que resulta ser \$744 mayor al de un equipo comercializado de características similares. Este valor se justifica al tratarse de un equipo con diseño específico y al ser de única producción a diferencia del comercial.

Los indicadores financieros analizados según la actual producción de la empresa interesada en la implementación del equipo, permiten determinar que su inversión es factible y que la recuperación del capital se dará en 1 año 3 meses.

Recomendaciones

El capítulo III presenta un análisis general de los métodos de simulación estructural estática Meshless, con énfasis en el método de las aproximaciones externas utilizado por SimSolid. Sin embargo, su estudio es mucho más amplio y aplicable a otros programas. Se recomienda analizar histórica y matemáticamente los MMs a partir de la bibliografía citada en el apartado del capítulo para comprender su evolución, fundamentos teóricos y cómo las simulaciones basadas en estos métodos compiten actualmente con técnicas tradicionales como el MEF, ofreciendo resultados precisos y permitiendo reducir el tiempo de preprocesamiento en la simulación para ingeniería.

Como se mencionó en el apartado anterior, a pesar de que el dimensionamiento de cordones de soldadura cumple con la resistencia necesaria para soportar las cargas aplicadas sobre el elevador, es recomendable analizar el criterio tomado por el simulador con el fin de utilizarlo en los respectivos cálculos mostrados en el capítulo II, minimizando la diferencia entre los resultados obtenidos manualmente y mediante software.

Como ya se explicó en el capítulo IV, la producción de la empresa se encuentra previamente programada para mantenerse constante con una producción de 120 kg/h, por lo que no se presenta un crecimiento económico en los flujos de caja anual al implementar el elevador, sin embargo, se espera que este disminuya los tiempos de levantamiento y manipulación de cargas al menos en un 50% además de beneficiar al operario en términos de prevención de salud, se recomienda previo a la implementación analizar la disminución de tiempos productivos y como asignar otras actividades en beneficio de la producción evitando que se generen tiempos muertos en ella.

Referencias

- [1] J. Carrasco, A. I. López Asqui y A. D. Barreno Gadvay, «Riesgos ergonómicos y su influencia en el desempeño laboral,» *Revista latinoamericana de ciencias sociales y humanidades*, vol. IV, n° 2789-3855, pp. 3294-3306, 2023.
- [2] M. Balderas López, S. Martínez Alcántara y M. Zamora Macorra, «Trastornos musculoesqueléticos en trabajadores de la manufactura de neumáticos, análisis del proceso de trabajo y riesgo de la actividad,» *Acta Universitaria*, vol. 29, n° 0188-6266, p. 1–16, 2019.
- [3] P. Pulluquitin Angulo, Riesgos ergonómicos en los trabajadores de los invernaderos de la asociación agropecuaria Valle Hermoso. Cantón Salcedo. Provincia de Cotopaxi. Periodo abril - septiembre 2020, Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH, 2020.
- [4] R. A. Ramos, Influencia del sobrepeso como factor de riesgo de posturas forzadas en el personal militar en servicio activo y su relación con altos índices trastornos musculo esqueléticos de rodilla, Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL, 2022.
- [5] M. Salinas Huachaca y M. Vera Luque, Prevención de trastornos musculo esqueléticos producidos por los riesgos disergonómicos en los conductores de transporte de personal, Arequipa - 2018, Arequipa: Universidad Tecnológica del Perú, 2019.
- [6] A. B. Serpbell, «Productividad en la producción,» *Revista de Ingeniería de Construcción*, vol. I, n° 0716-2952, pp. 53-59, 1986.
- [7] Y. Chasi Cajas, Sistemas de elevación para el transporte de productos cerámicos en la empresa Novel de la ciudad de Latacunga y su incidencia en el nivel de producción, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2014.
- [8] A. B. Domínguez, D. M. Ortiz, I. E. Naranjo y J. M. Llugsa, «Aplicación de la metodología SMED en proceso de cambio de matrices en la industria metalmeccánica: Caso Ecuador,» *Iberian Journal of Information Systems and Technologies*, vol. I, n° 16469895, p. 140–152, 2020.
- [9] E. W. Nelson, C. L. Best y W. G. McLean, *Mecánica Vectorial: Estática y Dinámica Schaum*, Madrid: McGraw-Hill, 2004.
- [10] E. Coluccio Leskow, «Fuerza,» *Enciclopedia Humanidades*, 24 10 2024. [En línea]. Available: <https://humanidades.com/fuerza>. [Último acceso: 29 3 2025].
- [11] R. C. Hibbeler, *Ingeniería Mecánica Estática*, México, D. F: Pearson Educación, 2010.

- [12] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda MIDUVI, Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-CG: Cargas (no sísmicas), Quito, 2014.
- [13] R. C. Hibbeler, *Mechanics of materials*, Pearson Education, 2017.
- [14] R. G. Budynas y K. J. Nisbett, *Shingley's mechanical engineering design*, New York: McGraw-Hill, 2011.
- [15] J. C. McCormac y S. F. Csernak, *Diseño de estructuras de acero*, México, D. F.: Alfaomega, 2012.
- [16] ASTM International, Especificación estándar para acero estructural al carbono, ASTM A 36/A 36M - 04, 2004.
- [17] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda MIDUVI, *Guía práctica para el diseño de estructuras de acero de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015*, Quito, 2016.
- [18] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda MIDUVI, Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-AC: Estructuras de Acero, Quito, 2014.
- [19] R. L. Norton, *Diseño de maquinaria: síntesis y análisis de máquinas y mecanismos*, México, D.F.: McGraw-Hill, 2009.
- [20] R. C. Juvinall y K. M. Marshek, *Diseño de elementos de máquinas*, México, D.F.: EDITORIAL LIMUSA, 2013.
- [21] R. García Ledesma, *Diseño y comportamiento de uniones estructurales mecánicas y adhesivas. Condiciones superficiales y operacionales*, Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid, 2013.
- [22] Y. A. Çengel y J. M. Cimbala, *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones*, México, D.F.: McGraw-Hill, 2006.
- [23] A. Esposito, *Fluid power with application*, Harlow: Pearson Education, 2014.
- [24] M. I. Khatib, S. Shaikh, M. A. Ullah, M. M. Rehan, M. Shoeb, M. A. Rameez y M. S. Uddin, «Fabrication of Hydraulic Scissor Lift,» *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*, vol. VII, n° 2395-1990, pp. 184-192, 2020.
- [25] A. Miravete y E. Larrodé, *Transportadores y Elevadores*, Zaragoza: Editorial Reverté, S. A., 1996.
- [26] JUNGHEINRICH, «Transpaletas,» 2009. [En línea]. [Último acceso: 2025].

- [27] A. Miravete y E. Larrodé, Elevadores: Principios e innovaciones, Zaragoza: Editorial Reverté, S.A., 2007.
- [28] DOGOTULS, «Apilador hidráulico Pasillo Angosto,» 15 6 2019. [En línea]. [Último acceso: 2025].
- [29] C. AIRPES, «Tipos de equipos de elevación,» 24 4 2025. [En línea]. [Último acceso: 2025].
- [30] P. Jiménez Santos, Diseño y cálculo de un elevador de vehículos tipo tijera, Linares: Escuela Politécnica Superior de Linares, 2020.
- [31] C. Riba Romeva, Diseño concurrente, Barcelona: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), 2002.
- [32] J. H. Niño Mahecha, Automatización en el sistema de elevadores hidráulicos de la empresa avícola El Madroño, Bucaramanga: Universidad Autónoma de Bucaramanga, 2023.
- [33] J. C. Salazar, J. C. Ramírez, L. Pinzón y C. Rosemberg, Estudio del modelo de Scoring de Ruta N, Bogotá: Corporación Andina de Fomento CAF, 2019.
- [34] ENERPAC, «Gatos de botella de acero industriales,» 2005. [En línea]. Available: <https://www.enerpac.com/es/gatos-botella-industriales/gatos-botella/GBJ002LA>. [Último acceso: 14 5 2025].
- [35] S. Gómez Gonzáles, SolidWorks Simulation, México, D.F.: RA-MA Editorial, 2010.
- [36] O. C. Zienkiewicz y R. L. Taylor, El método de los elementos finitos, Barcelona: McGraw-Hill, 1994.
- [37] Altair Engineering, «Welcome to Altair SimSolid,» 2024. [En línea]. Available: https://help.altair.com/ss/en_us/index.htm. [Último acceso: 31 5 2025].
- [38] D. Garijo, Modelos sin malla en simulación numérica de estructuras aeroespaciales, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2015.
- [39] M. M. Virreira Avila, Evaluación financiera de proyectos de inversión. Métodos y aplicaciones, Santa Cruz: UPSA, 2020.
- [40] PINTULAC, «Jackpallet perchador de 1.5 toneladas y 1.6 metros muth,» 24 1 2018. [En línea]. Available: <https://www.pintulac.com.ec/apilador-manual-1ton-muth.html>. [Último acceso: 13 6 2025].

- [41] IPAC, «Catálogo productos y servicios,» 12 4 2023. [En línea]. Available: <https://ipac-acero.com/wp-content/uploads/2023/05/CATALOGO-IPAC-NACIONAL.pdf>. [Último acceso: 28 4 2025].
- [42] BOHMAN, «Catálogo aceros y materiales,» 29 8 2020. [En línea]. Available: <https://online.fliphtml5.com/dljug/alyk/>. [Último acceso: 28 4 2025].
- [43] MIKALOR, «Anillo de seguridad para ejes DIN 471-E,» 2005. [En línea]. Available: <https://herrajesdelponiente.es/wp-content/uploads/2023/05/FC-D471E.pdf>. [Último acceso: 28 4 2025].
- [44] AISC, Manual of Steel Construction [9], AISC, 1989.
- [45] SKF, «6407 NR - Rodamientos rígidos de bolas,» [En línea]. Available: <https://www.skf.com/es/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-6407%20NR>. [Último acceso: 4 5 2025].
- [46] Deutsches Institut für Normung DIN, «Tuerca hexagonal DIN 934,» [En línea]. Available: <https://ingemecanica.com/tutoriales/medidas-normalizadas-para-tornillos-y-tuercas.html>. [Último acceso: 4 5 2025].
- [47] Deutsches Institut für Normung DIN, «Arandela plana DIN 125,» [En línea]. Available: <https://ingemecanica.com/tutoriales/medidas-normalizadas-para-tornillos-y-tuercas.html>. [Último acceso: 4 5 2025].
- [48] DIPAC, «Catálogo general de productos,» 20 7 2020. [En línea]. Available: <https://www.dipacmanta.com/Catalogos-descargas/catalogo-2020.pdf>. [Último acceso: 14 5 2025].
- [49] SKF, «61806-2RS1 - Rodamientos rígidos de bolas,» [En línea]. Available: <https://www.skf.com/ar/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-61801-2RS1>. [Último acceso: 16 5 2025].
- [50] SYL International S.A., «KANA Catálogo marca,» 29 9 2015. [En línea]. Available: <https://sylpanama.com/wp-content/uploads/2015/09/SYL-KANA.pdf>. [Último acceso: 16 5 2025].
- [51] SITASA, «Catálogo ruedas para diversas cargas,» 2005. [En línea]. Available: http://www.catalogo.sitasa.com/familias/ruedas/01_1.pdf. [Último acceso: 30 5 2025].

Anexos

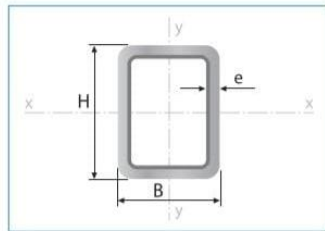
Anexo 1. Propiedades de los aceros según ASTM [16].

Clasificación de los aceros, según ASTM	Límite elástico		Tensión de rotura	
	Ksi	MPa	Ksi	Mpa
ASTM A36	36	250	58-80	400-550
ASTM A53 Grado B	35	240	>60	>415
ASTM A106 Grado B	35	240	>60	>415
ASTM A131 Gr A, B, CS, D, DS, E	34	235	58-71	400-490
ASTM A139 Grado B	35	240	>60	>415
ASTM A381 Grado Y35	35	240	>60	>415
ASTM A500 Grado A	33	228	>45	>310
Grado B	42	290	>58	>400
ASTM A501	36	250	>58	>400
ASTM A516 Grado 55	30	205	55-75	380-515
Grado 60	32	220	60-80	415-550
ASTM A524 Grado I	35	240	60-85	415-586
Grado II	30	205	55-80	380-550
ASTM A529	42	290	60-85	415-550
ASTM A570 Grado 30	30	205	>49	>340
Grado 33	33	230	>52	>360
Grado 36	36	250	>53	>365
Grado 40	40	275	>55	>380
Grado 45	45	310	>60	>415
Grado 50	50	345	>65	>450
ASTM A709 Grado 36	36	250	58-80	400-550
API 5L Grado B	35	240	60	415
Grado X42	42	290	60	415

Anexo 2. Catálogo de tubería estructural rectangular IPAC [41].



Tubería Estructural Rectangular



Largo Normal:
6 metros
Recubrimiento:
Negro o Galvanizado
Norma de Calidad:
JIS G 3132, ASTM A 36 y ASTM
A572 Gr 50
Norma de Fabricación:
ASTM A 500/ NTE INEN 2415
Espesores:
Desde 1,40 a 6,00 mm
Observaciones:
Otras dimensiones y largos,
previa consulta

Aplicaciones

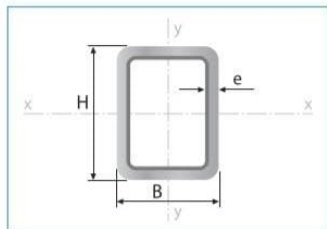
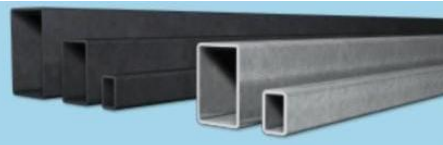
- Automotriz y de autopartes: carrocería y remolques.
- Agroganadera: maquinaria e implementos agrícolas, avícolas y ganaderos.
- Señalización y vialidad: soportes.
- Aparatos de gimnasia y fitness.
- Construcción: columnas.
- Estructuras: galpones y naves industriales, edificios, soporte de techos.

INEN

ASTM
INTERNATIONAL
Standards Worldwide

Designaciones			Área	Peso	Propiedades Estáticas					
					Eje x-x			Eje y-y		
B	H	e	A	P	I	W	i	I	W	i
mm	mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm
20	30	1,50	1,35	1,06	1,59	1,06	1,08	0,84	0,84	0,79
		2,00	1,74	1,36	1,94	1,30	1,06	1,02	1,02	0,77
20	40	1,40	1,55	1,22	3,09	1,55	1,41	1,04	1,04	0,82
		1,50	1,65	1,30	3,27	1,63	1,41	1,10	1,10	0,82
		1,80	1,95	1,53	3,76	1,88	1,39	1,26	1,26	0,80
		2,00	2,14	1,68	4,06	2,03	1,38	1,35	1,35	0,79
25	50	1,40	1,97	1,55	6,28	2,51	1,79	2,13	1,71	1,04
		1,50	2,10	1,65	6,66	2,66	1,78	2,26	1,80	1,04
		1,80	2,49	1,95	7,72	3,09	1,76	2,60	2,08	1,02
		2,00	2,74	2,15	8,39	3,36	1,75	2,82	2,25	1,01
		2,50	3,34	2,62	9,90	3,96	1,72	3,29	2,64	0,99
		3,00	3,91	3,07	11,20	4,48	1,69	3,70	2,96	0,97
30	50	1,40	2,11	1,66	7,11	2,84	1,83	3,23	2,15	1,24
		1,50	2,25	1,77	7,54	3,02	1,83	3,42	2,28	1,23
		1,80	2,67	2,09	8,77	3,51	1,81	3,96	2,64	1,22
		2,00	2,94	2,31	9,54	3,82	1,80	4,30	2,87	1,21
		2,50	3,59	2,82	11,31	4,53	1,78	5,07	3,38	1,19
		3,00	4,21	3,30	12,86	5,15	1,75	5,73	3,82	1,17
40	60	1,40	2,67	2,10	13,54	4,51	2,25	7,27	3,63	1,65
		1,50	2,85	2,24	14,39	4,80	2,25	7,72	3,86	1,64
		1,80	3,39	2,66	16,85	5,62	2,23	9,01	4,51	1,63
		2,00	3,74	2,93	18,42	6,14	2,22	9,84	4,92	1,62
		2,50	4,59	3,60	22,09	7,36	2,19	11,75	5,88	1,60
		3,00	5,41	4,25	25,41	8,47	2,17	13,47	6,74	1,58
30	70	1,40	2,67	2,10	16,36	4,67	2,47	4,37	2,92	1,28
		1,50	2,85	2,24	17,38	4,97	2,47	4,64	3,09	1,28
		1,80	3,39	2,66	20,35	5,81	2,45	5,39	3,60	1,26
		2,00	3,74	2,93	22,23	6,35	2,44	5,87	3,91	1,25
		2,50	4,59	3,60	26,63	7,61	2,41	6,96	4,64	1,23
		3,00	5,41	4,25	30,61	8,74	2,38	7,93	5,29	1,21
40	80	1,40	3,45	2,71	28,99	7,25	2,90	9,94	4,97	1,70
		1,80	4,11	3,22	34,09	8,52	2,88	11,64	5,82	1,68
		2,00	4,54	3,56	37,36	9,34	2,87	12,73	6,36	1,67
		2,50	5,59	4,39	45,12	11,28	2,84	15,27	7,64	1,65
		3,00	6,61	5,19	52,28	13,07	2,81	17,59	8,79	1,63
		4,00	8,55	6,71	64,80	16,22	2,76	21,59	10,79	1,59
50	90	1,40	4,05	3,18	44,68	9,93	3,32	18,13	7,25	2,12
		1,80	4,83	3,79	52,70	11,71	3,30	21,32	8,53	2,10
		2,00	5,34	4,19	57,88	12,86	3,29	23,37	9,35	2,09
		2,50	6,59	5,17	70,28	15,62	3,27	28,25	11,30	2,07
		3,00	7,81	6,13	81,88	18,20	3,24	32,77	13,11	2,05
		4,00	10,15	7,97	102,81	22,85	3,18	40,81	16,32	2,01
50	100	1,50	4,35	3,42	57,77	11,55	3,64	19,89	7,96	2,14
		1,80	5,19	4,07	68,22	13,64	3,63	23,41	9,37	2,12
		2,00	5,74	4,50	74,99	15,00	3,62	25,68	10,27	2,12
		2,50	7,09	5,56	91,22	18,24	3,59	31,07	12,43	2,09
		3,00	8,41	6,60	106,49	21,30	3,56	36,09	14,44	2,07
		4,00	10,95	8,59	134,24	26,85	3,50	45,05	18,02	2,03
50	150	1,80	6,99	5,48	188,33	25,11	5,19	33,87	13,55	2,20
		2,00	7,74	6,07	207,54	27,67	5,18	37,21	14,88	2,19
		2,50	9,59	7,53	254,09	33,88	5,15	45,19	18,08	2,17
		3,00	11,41	8,96	298,58	39,81	5,12	52,68	21,07	2,15
		4,00	14,95	11,73	381,49	50,87	5,05	66,27	26,51	2,11
		5,00	18,36	14,41	456,54	60,87	4,99	78,12	31,25	2,06
60	120	1,80	6,27	4,92	119,80	19,97	4,37	41,25	13,75	2,57
		2,00	6,94	5,45	131,93	21,99	4,36	45,34	15,11	2,56
		2,50	8,59	6,74	161,25	26,87	4,33	55,17	18,39	2,53
		3,00	10,21	8,01	189,15	31,53	4,30	64,44	21,48	2,51
		4,00	13,35	10,48	240,84	40,14	4,25	81,35	27,12	2,47
		5,00	16,36	12,84	287,23	47,87	4,19	96,25	32,08	2,43
70	200	3,00	15,61	12,25	749,71	74,97	6,93	145,15	41,47	3,05
		4,00	20,55	16,13	969,28	96,93	6,87	185,62	53,03	3,01
		5,00	25,36	19,90	1.174,26	117,43	6,81	222,47	63,56	2,96
		6,00	30,03	23,58	1.365,00	136,50	6,74	255,91	73,12	2,92
75	125	1,80	6,99	5,48	152,92	24,47	4,68	70,06	18,68	3,17
		2,00	7,74	6,07	168,56	26,97	4,67	77,15	20,57	3,16
		2,50	9,59	7,53	206,53	33,04	4,64	94,26	25,14	3,14
		3,00	11,41	8,96	242,88	38,86	4,61	110,55	29,48	3,11
		4,00	14,95	11,73	310,87	49,74	4,56	140,75	37,53	3,07
		5,00	18,36	14,41	372,77	59,64	4,51	167,93	44,78	3,02
75	175	3,00	14,41	11,31	556,71	63,62	6,22	149,46	39,86	3,22
		4,00	18,95	14,87	718,30	82,09	6,16	191,22	50,99	3,18
		5,00	23,36	18,33	868,40	99,25	6,10	229,29	61,14	3,13
		6,00	27,63	21,69	1.007,36	115,13	6,04	263,88	70,37	3,09
100	150	3,00	14,41	11,31	460,67	61,42	5,65	247,67	49,53	4,15
		4,00	18,95	14,87	594,71	79,29	5,60	318,67	63,73	4,10
		5,00	23,36	18,33	719,46	95,93	5,55	384,27	76,85	4,06
		6,00	27,63	21,69	835,21	111,36	5,50	444,72	88,94	4,01
100	200	3,00	17,41	13,67	924,37	92,44	7,29	318,26	63,65	4,28
		4,00	22,95	18,01	1.199,81	119,98	7,23	410,88	82,18	4,23
		5,00	28,36	22,26	1.459,51	145,95	7,17	497,19	99,44	4,19
		6,00	33,63	26,40	1.703,83	170,38	7,12	577,44	115,49	4,14

Tubería Estructural Rectangular



Largo Normal:
6 metros
Recubrimiento:
Negro o Galvanizado
Norma de Calidad:
JIS G 3132, ASTM A 36 y ASTM A572 Gr 50
Norma de Fabricación:
ASTM A 500/ NTE INEN 2415
Espesores:
Desde 1,40 a 6,00 mm
Observaciones:
Otras dimensiones y largos,
previa consulta

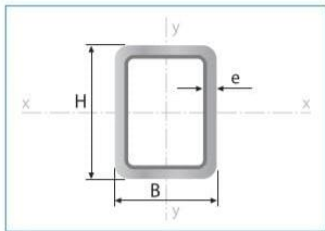
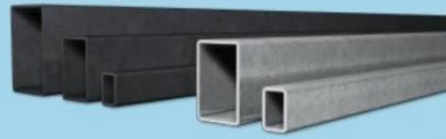
Aplicaciones

- Automotriz y de autopartes: carrocería y remolques.
- Agroganadera: maquinaria e implementos agrícolas, avícolas y ganaderos.
- Señalización y vialidad: soportes.
- Aparatos de gimnasia y fitness.
- Construcción: columnas.
- Estructuras: galpones y naves industriales, edificios, soporte de techos.



Designaciones	Área	Peso	Propiedades Estáticas								
			Eje x-x'			Eje y-y'					
			Momento de Inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro	Momento de Inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro			
B	H	e	A	P	I	W	i	I	W	i	
mm	mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	
20	30	1,50	1,35	1,06	1,59	1,06	1,08	0,84	0,84	0,79	
		2,00	1,74	1,36	1,94	1,30	1,06	1,02	1,02	0,77	
20	40	1,40	1,55	1,22	3,09	1,55	1,41	1,04	1,04	0,82	
		1,50	1,65	1,30	3,27	1,63	1,41	1,10	1,10	0,82	
		1,80	1,95	1,53	3,76	1,88	1,39	1,26	1,26	0,80	
		2,00	2,14	1,68	4,06	2,03	1,38	1,35	1,35	0,79	
25	50	1,40	1,97	1,55	6,28	2,51	1,79	2,13	1,71	1,04	
		1,50	2,10	1,65	6,66	2,66	1,78	2,26	1,80	1,04	
		1,80	2,49	1,95	7,72	3,09	1,76	2,60	2,08	1,02	
		2,00	2,74	2,15	8,39	3,36	1,75	2,82	2,25	1,01	
		2,50	3,34	2,62	9,90	3,96	1,72	3,29	2,64	0,99	
		3,00	3,91	3,07	11,20	4,48	1,69	3,70	2,96	0,97	
30	50	1,40	2,11	1,66	7,11	2,84	1,83	3,23	2,15	1,24	
		1,50	2,25	1,77	7,54	3,02	1,83	3,42	2,28	1,23	
		1,80	2,67	2,09	8,77	3,51	1,81	3,96	2,64	1,22	
		2,00	2,94	2,31	9,54	3,82	1,80	4,30	2,87	1,21	
		2,50	3,59	2,82	11,31	4,53	1,78	5,07	3,38	1,19	
		3,00	4,21	3,30	12,86	5,15	1,75	5,73	3,82	1,17	
40	60	1,40	2,67	2,10	13,54	4,51	2,25	7,27	3,63	1,65	
		1,50	2,85	2,24	14,39	4,80	2,25	7,72	3,86	1,64	
		1,80	3,39	2,66	16,85	5,62	2,23	9,01	4,51	1,63	
		2,00	3,74	2,93	18,42	6,14	2,22	9,84	4,92	1,62	
		2,50	4,59	3,60	22,09	7,36	2,19	11,75	5,88	1,60	
		3,00	5,41	4,25	25,41	8,47	2,17	13,47	6,74	1,58	
30	70	1,40	2,67	2,10	16,36	4,67	2,47	4,37	2,92	1,28	
		1,50	2,85	2,24	17,38	4,97	2,47	4,64	3,09	1,28	
		1,80	3,39	2,66	20,35	5,81	2,45	5,39	3,60	1,26	
		2,00	3,74	2,93	22,23	6,35	2,44	5,87	3,91	1,25	
		2,50	4,59	3,60	26,63	7,61	2,41	6,96	4,64	1,23	
		3,00	5,41	4,25	30,61	8,74	2,38	7,93	5,29	1,21	
40	80	1,50	3,45	2,71	28,99	7,25	2,90	9,94	4,97	1,70	
		1,80	4,11	3,22	34,09	8,52	2,88	11,64	5,82	1,68	
		2,00	4,54	3,56	37,36	9,34	2,87	12,73	6,36	1,67	
		2,50	5,59	4,39	45,12	11,28	2,84	15,27	7,64	1,65	
		3,00	6,61	5,19	52,28	13,07	2,81	17,59	8,79	1,63	
		4,00	8,55	6,71	64,90	16,22	2,76	21,59	10,79	1,59	
50	90	1,50	4,05	3,18	44,68	9,93	3,32	18,13	7,25	2,12	
		1,80	4,83	3,79	52,70	11,71	3,30	21,32	8,53	2,10	
		2,00	5,34	4,19	57,88	12,86	3,29	23,37	9,35	2,09	
		2,50	6,59	5,17	70,28	15,62	3,27	28,25	11,30	2,07	
		3,00	7,81	6,13	81,88	18,20	3,24	32,77	13,11	2,05	
		4,00	10,15	7,97	102,81	22,85	3,18	40,81	16,32	2,01	
50	100	1,50	4,35	3,42	57,77	11,55	3,64	19,89	7,96	2,14	
		1,80	5,19	4,07	68,22	13,64	3,63	23,41	9,37	2,12	
		2,00	5,74	4,50	74,99	15,00	3,62	25,68	10,27	2,12	
		2,50	7,09	5,56	91,22	18,24	3,59	31,07	12,43	2,09	
		3,00	8,41	6,60	106,49	21,30	3,56	36,09	14,44	2,07	
		4,00	10,95	8,59	134,24	26,85	3,50	45,05	18,02	2,03	
50	150	1,80	6,99	5,48	188,33	25,11	5,19	33,87	13,55	2,20	
		2,00	7,74	6,07	207,54	27,67	5,18	37,21	14,88	2,19	
		2,50	9,59	7,53	254,09	33,88	5,15	45,19	18,08	2,17	
		3,00	11,41	8,96	298,58	39,81	5,12	52,68	21,07	2,15	
		4,00	14,95	11,73	381,49	50,87	5,05	66,27	26,51	2,11	
		5,00	18,36	14,41	456,54	60,87	4,99	78,12	31,25	2,06	
60	120	1,80	6,27	4,92	119,80	19,97	4,37	41,25	13,75	2,57	
		2,00	6,94	5,45	131,93	21,99	4,36	45,34	15,11	2,56	
		2,50	8,59	6,74	161,25	26,87	4,33	55,17	18,39	2,53	
		3,00	10,21	8,01	189,15	31,53	4,30	64,44	21,48	2,51	
		4,00	13,35	10,48	240,84	40,14	4,25	81,35	27,12	2,47	
		5,00	16,36	12,84	287,23	47,87	4,19	96,25	32,08	2,43	
70	200	3,00	15,61	12,25	749,71	74,97	6,93	145,15	41,47	3,05	
		4,00	20,55	16,13	969,28	96,93	6,87	185,62	53,03	3,01	
		5,00	25,36	19,90	1,174,26	117,43	6,81	222,47	63,56	2,96	
		6,00	30,03	23,58	1,365,00	136,50	6,74	255,91	73,12	2,92	
75	125	1,80	6,99	5,48	152,92	24,47	4,68	70,06	18,68	3,17	
		2,00	7,74	6,07	168,56	26,97	4,67	77,15	20,57	3,16	
		2,50	9,59	7,53	206,53	33,04	4,64	94,26	25,14	3,14	
		3,00	11,41	8,96	242,88	38,86	4,61	110,55	29,48	3,11	
		4,00	14,95	11,73	310,87	49,74	4,56	140,75	37,53	3,07	
		5,00	18,36	14,41	372,77	59,64	4,51	167,93	44,78	3,02	
75	175	3,00	14,41	11,31	556,71	63,62	6,22	149,46	39,86	3,22	
		4,00	18,95	14,87	718,30	82,09	6,16	191,22	50,99	3,18	
		5,00	23,36	18,33	868,40	99,25	6,10	229,29	61,14	3,13	
		6,00	27,63	21,69	1,007,36	115,13	6,04	263,88	70,37	3,09	
100	150	3,00	14,41	11,31	460,67	61,42	5,65	247,67	49,53	4,15	
		4,00	18,95	14,87	594,71	79,29	5,60	318,67	63,73	4,10	
		5,00	23,36	18,33	719,46	95,93	5,55	384,27	76,85	4,06	
		6,00	27,63	21,69	835,21	111,36	5,50	444,72	88,94	4,01	
100	200	3,00	17,41	13,67	924,37	92,44	7,29	318,26	63,65	4,28	
		4,00	22,95	18,01	1,199,81	119,98	7,23	410,88	82,18	4,23	
		5,00	28,36	22,26	1,459,51	145,95	7,17	497,19	99,44	4,19	
		6,00	33,63	26,40	1,703,83	170,38	7,12	577,44	115,49	4,14	

Tubería Estructural Rectangular



Largo Normal:
6 metros
Recubrimiento:
Negro o Galvanizado
Norma de Calidad:
JIS G 3132, ASTM A 36 y ASTM A572 Gr 50
Norma de Fabricación:
ASTM A 500/ NTE INEN 2415
Espesores:
Desde 1,40 a 6,00 mm
Observaciones:
Otras dimensiones y largos,
previa consulta

Aplicaciones

- Automotriz y de autopartes: carrocería y remolques.
- Agroganadera: maquinaria e implementos agrícolas, avícolas y ganaderos.
- Señalización y vialidad: soportes.
- Aparatos de gimnasia y fitness.
- Construcción: columnas.
- Estructuras: galpones y naves industriales, edificios, soporte de techos.

INEN

ASTM
INTERNATIONAL
Standards Worldwide

Designaciones			Área	Peso	Propiedades Estáticas					
					Eje x-x'			Eje y-y'		
B	H	e	A	P	I	W	i	I	W	i
mm	mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm
20	30	1,50	1,35	1,06	1,59	1,06	1,08	0,84	0,84	0,79
		2,00	1,74	1,36	1,94	1,30	1,06	1,02	1,02	0,77
20	40	1,40	1,55	1,22	3,09	1,55	1,41	1,04	1,04	0,82
		1,50	1,65	1,30	3,27	1,63	1,41	1,10	1,10	0,82
		1,80	1,95	1,53	3,76	1,88	1,39	1,26	1,26	0,80
		2,00	2,14	1,68	4,06	2,03	1,38	1,35	1,35	0,79
25	50	1,40	1,97	1,55	6,28	2,51	1,79	2,13	1,71	1,04
		1,50	2,10	1,65	6,66	2,66	1,78	2,26	1,80	1,04
		1,80	2,49	1,95	7,72	3,09	1,76	2,60	2,08	1,02
		2,00	2,74	2,15	8,39	3,36	1,75	2,82	2,25	1,01
		2,50	3,34	2,62	9,90	3,96	1,72	3,29	2,64	0,99
		3,00	3,91	3,07	11,20	4,48	1,69	3,70	2,96	0,97
30	50	1,40	2,11	1,66	7,11	2,84	1,83	3,23	2,15	1,24
		1,50	2,25	1,77	7,54	3,02	1,83	3,42	2,28	1,23
		1,80	2,67	2,09	8,77	3,51	1,81	3,96	2,64	1,22
		2,00	2,94	2,31	9,54	3,82	1,80	4,30	2,87	1,21
		2,50	3,59	2,82	11,31	4,53	1,78	5,07	3,38	1,19
		3,00	4,21	3,30	12,86	5,15	1,75	5,73	3,82	1,17
40	60	1,40	2,67	2,10	13,54	4,51	2,25	7,27	3,63	1,65
		1,50	2,85	2,24	14,39	4,80	2,25	7,72	3,86	1,64
		1,80	3,39	2,66	16,85	5,62	2,23	9,01	4,51	1,63
		2,00	3,74	2,93	18,42	6,14	2,22	9,84	4,92	1,62
		2,50	4,59	3,60	22,09	7,36	2,19	11,75	5,88	1,60
		3,00	5,41	4,25	25,41	8,47	2,17	13,47	6,74	1,58
30	70	1,40	2,67	2,10	16,36	4,67	2,47	4,37	2,92	1,28
		1,50	2,85	2,24	17,38	4,97	2,47	4,64	3,09	1,28
		1,80	3,39	2,66	20,35	5,81	2,45	5,39	3,60	1,26
		2,00	3,74	2,93	22,23	6,35	2,44	5,87	3,91	1,25
		2,50	4,59	3,60	26,63	7,61	2,41	6,96	4,64	1,23
		3,00	5,41	4,25	30,61	8,74	2,38	7,93	5,29	1,21
40	80	1,50	3,45	2,71	28,99	7,25	2,90	9,94	4,97	1,70
		1,80	4,11	3,22	34,09	8,52	2,88	11,64	5,82	1,68
		2,00	4,54	3,56	37,36	9,34	2,87	12,73	6,36	1,67
		2,50	5,59	4,39	45,12	11,28	2,84	15,27	7,64	1,65
		3,00	6,61	5,19	52,28	13,07	2,81	17,59	8,79	1,63
		4,00	8,55	6,71	64,90	16,22	2,76	21,59	10,79	1,59
50	90	1,50	4,05	3,18	44,68	9,93	3,32	18,13	7,25	2,12
		1,80	4,83	3,79	52,70	11,71	3,30	21,32	8,53	2,10
		2,00	5,34	4,19	57,68	12,86	3,29	23,37	9,35	2,09
		2,50	6,59	5,17	70,28	15,62	3,27	28,25	11,30	2,07
		3,00	7,81	6,13	81,88	18,20	3,24	32,77	13,11	2,05
		4,00	10,15	7,97	102,81	22,85	3,18	40,81	16,32	2,01
50	100	1,50	4,35	3,42	57,77	11,55	3,64	19,89	7,96	2,14
		1,80	5,19	4,07	68,22	13,64	3,63	23,41	9,37	2,12
		2,00	5,74	4,50	74,99	15,00	3,62	25,68	10,27	2,12
		2,50	7,09	5,56	91,22	18,24	3,59	31,07	12,43	2,09
		3,00	8,41	6,60	106,49	21,30	3,56	36,09	14,44	2,07
		4,00	10,95	8,59	134,24	26,85	3,50	45,05	18,02	2,03
50	150	1,80	6,99	5,48	188,33	25,11	5,19	33,87	13,55	2,20
		2,00	7,74	6,07	207,54	27,67	5,18	37,21	14,88	2,19
		2,50	9,59	7,53	254,09	33,88	5,15	45,19	18,08	2,17
		3,00	11,41	8,96	298,58	39,81	5,12	52,68	21,07	2,15
		4,00	14,95	11,73	381,49	50,87	5,05	66,27	26,51	2,11
		5,00	18,36	14,41	456,54	60,87	4,99	78,12	31,25	2,06
60	120	1,80	6,27	4,92	119,80	19,97	4,37	41,25	13,75	2,57
		2,00	6,94	5,45	131,93	21,99	4,36	45,34	15,11	2,56
		2,50	8,59	6,74	161,25	26,87	4,33	55,17	18,39	2,53
		3,00	10,21	8,01	189,15	31,53	4,30	64,44	21,48	2,51
		4,00	13,35	10,48	240,84	40,14	4,25	81,35	27,12	2,47
		5,00	16,36	12,84	287,23	47,87	4,19	96,25	32,08	2,43
70	200	3,00	15,61	12,25	749,71	74,97	6,93	145,15	41,47	3,05
		4,00	20,55	16,13	969,28	96,93	6,87	185,62	53,03	3,01
		5,00	25,36	19,90	1.174,26	117,43	6,81	222,47	63,56	2,96
		6,00	30,03	23,58	1.365,00	136,50	6,74	255,91	73,12	2,92
75	125	1,80	6,99	5,48	152,92	24,47	4,68	70,06	18,68	3,17
		2,00	7,74	6,07	168,56	26,97	4,67	77,15	20,57	3,16
		2,50	9,59	7,53	206,53	33,04	4,64	94,26	25,14	3,14
		3,00	11,41	8,96	242,88	38,86	4,61	110,55	29,48	3,11
		4,00	14,95	11,73	310,87	49,74	4,56	140,75	37,53	3,07
		5,00	18,36	14,41	372,77	59,64	4,51	167,93	44,78	3,02
75	175	3,00	14,41	11,31	556,71	63,62	6,22	149,46	39,86	3,22
		4,00	18,95	14,87	718,30	82,09	6,16	191,22	50,99	3,18
		5,00	23,36	18,33	868,40	99,25	6,10	229,29	61,14	3,13
		6,00	27,63	21,69	1.007,36	115,13	6,04	263,88	70,37	3,09
100	150	3,00	14,41	11,31	460,67	61,42	5,65	247,67	49,53	4,15
		4,00	18,95	14,87	594,71	79,29	5,60	318,67	63,73	4,10
		5,00	23,36	18,33	719,46	95,93	5,55	384,27	76,85	4,06
		6,00	27,63	21,69	835,21	111,36	5,50	444,72	88,94	4,01
100	200	3,00	17,41	13,67	924,37	92,44	7,29	318,26	63,65	4,28
		4,00	22,95	18,01	1.199,81	119,98	7,23	410,88	82,18	4,23
		5,00	28,36	22,26	1.459,51	145,95	7,17	497,19	99,44	4,19
		6,00	33,63	26,40	1.703,83	170,38	7,12	577,44	115,49	4,14

Anexo 3. Propiedades mecánicas del acero AISI 1045 [14].


Table A-20

Deterministic ASTM Minimum Tensile and Yield Strengths for Some Hot-Rolled (HR) and Cold-Drawn (CD) Steels [The strengths listed are estimated ASTM minimum values in the size range 18 to 32 mm ($\frac{3}{4}$ to $1\frac{1}{4}$ in). These strengths are suitable for use with the design factor defined in Sec. 1–10, provided the materials conform to ASTM A6 or A568 requirements or are required in the purchase specifications. Remember that a numbering system is not a specification.] *Source:* 1986 SAE Handbook, p. 2.15.

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS No.	SAE and/or AISI No.	Process- ing	Tensile Strength, MPa (kpsi)	Yield Strength, MPa (kpsi)	Elongation in 2 in, %	Reduction in Area, %	Brinell Hardness
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

Anexo 4. Catálogo de acero para maquinaria AISI 1045 BOHMAN [42].

ACERO MAQUINARIA



760-AISI 1045

Generalidades: Acero al carbono sin alear de esmeralda manufactura, con buena tenacidad. Características en su alta uniformidad y rendimiento. Puede utilizarse en condición de suministro o con tratamiento térmico de temple y revenido. Aplicable a partes relativamente simples de máquinas. Dureza de suministro aproximadamente: 200 HB.

ANÁLISIS TÍPICO %

C	Si	Mn	Cr	P	S
760	0.5	0.3	0.6	--	0.04
AISI 1045	0.43 - 0.50	--	0.6 - 0.90	0.040	0.050

APLICACIONES
Componentes sencillos, como por ejemplo:

- Pernos
- Chavetas
- Piezas de mediana resistencia para aplicación automotriz.
- Ejes.

TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Forjado	800 - 1050 C
Normalizado	830 - 850 C
Temple (agua)	770 - 810 C
Temple (aceite)	790 - 830 C
Revenido (herramientas de corte)	100 - 3000 C
Revenido de bonificación	550 - 650 C

EQUIVALENCIAS

AISI	1045
SAE	C1045
W.Nr	11.820
DIN	CK45

MEDIDAS EN STOCK

REDONDO


Díámetro (mm)	Peso (Kg/m)
25	3,9
32	6,3
38	8,9
40	9,9
45	12,5
50	15,4
60	22,2
70	30,2
80	39,5
90	49,9
100	61,7
105	68
115	81,5
120	88,8
125	96,3
130	104,2
140	120,8
150	138,7
165	167,9
170	178,2
180	199,8
200	246,6
230	326,1
250	385,3
300	554,9
310	592,5
320	631,3
350	755,3

PLATINAS

Platinas (mm)	Peso (Kg/m)
10 x 60	4,7
10 x 150	11,8
12 x 40	3,6
12 x 60	5,7
12 x 120	11,3
15 x 100	11,8
15 x 150	17,7
20 x 100	15,7
20 x 120	18,8
20 x 130	20,4
20 x 150	23,6
20 x 200	31,4
20 x 300	47,1
20 x 50	7,9
20 x 80	12,6
20 x 90	14,1
25 x 50	9,8
25 x 80	15,7
25 x 250	49,1
30 x 50	11,8
30 x 90	21,2
30 x 300	7,07
40 x 100	31,4
60 x 100	47,1

CUADRADO

Planchas (mm)	Peso (Kg/m)
6 x 6	0,3
8 x 8	0,5
10 x 10	0,8
12 x 12	1,1
16 x 16	2
20 x 20	3,1
25 x 25	4,9
30 x 30	7,1
32 x 32	8
35 x 35	9,6
40 x 40	12,6
45 x 45	15,9
50 x 50	19,6
60 x 60	28,3
70 x 70	38,5
80 x 80	50,2
90 x 90	63,6
130 x 130	132,7



Síguenos en: bohman_ec

www.bohman.com.ec

ACERO MAQUINARIA

760-AISI 1045

Generalidades: Acero al carbono sin alea de esmeralda manufactura, con buena tenacidad. Características en su alta uniformidad y rendimiento. Puede utilizarse en condición de suministro o con tratamiento térmico de temple y revenido. Aplicable a partes relativamente simples de máquinas. Dureza de suministro aproximadamente: 200 HB.

ANÁLISIS TÍPICO %

C	Si	Mn	Cr	P	S
760	0.5	0.3	0.6	--	0.04
AISI 1045	0.43 - 0.50	--	0.6 - 0.90	0.040	0.050

APLICACIONES

Componentes sencillos, como por ejemplo:

- Pernos
- Chavetas
- Piezas de mediana resistencia para aplicación automotriz.
- Ejes.

TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Forjado	800 - 1050 C
Normalizado	830 - 850 C
Temple (agua)	770 - 810 C
Temple (aceite)	790 - 830 C
Revenido (herramientas de corte)	100 - 3000 C
Revenido de bonificación	550 - 650 C

EQUIVALENCIAS

AISI	1045
SAE	C1045
W.Nr	11.820
DIN	CK45

MEDIDAS EN STOCK

REDONDO

Díámetro (mm)	Peso (Kg/m)
25	3,9
32	6,3
38	8,9
40	9,9
45	12,5
50	15,4
60	22,2
70	30,2
80	39,5
90	49,9
100	61,7
105	68
115	81,5
120	88,8
125	96,3
130	104,2
140	120,8
150	138,7
165	167,9
170	178,2
180	199,8
200	246,6
230	326,1
250	385,3
300	554,9
310	592,5
320	631,3
350	755,3

PLATINAS

Platinas (mm)	Peso (Kg/m)
10 x 60	4,7
10 x 150	11,8
12 x 40	3,8
12 x 60	5,7
12 x 120	11,3
15 x 100	11,8
15 x 150	17,7
20 x 100	15,7
20 x 120	18,8
20 x 130	20,4
20 x 150	23,6
20 x 200	31,4
20 x 300	47,1
20 x 50	7,9
20 x 80	12,6
20 x 90	14,1
25 x 50	9,8
25 x 80	15,7
25 x 250	49,1
30 x 50	11,8
30 x 90	21,2
30 x 300	7,07
40 x 100	31,4
60 x 100	47,1

CUADRADO

Planchas (mm)	Peso (Kg/m)
6 x 6	0,3
8 x 8	0,5
10 x 10	0,8
12 x 12	1,1
16 x 16	2
20 x 20	3,1
25 x 25	4,9
30 x 30	7,1
32 x 32	8
35 x 35	9,6
40 x 40	12,6
45 x 45	15,9
50 x 50	19,6
60 x 60	28,3
70 x 70	38,5
80 x 80	50,2
90 x 90	63,6
130 x 130	132,7



Síguenos en:    bohman_ec

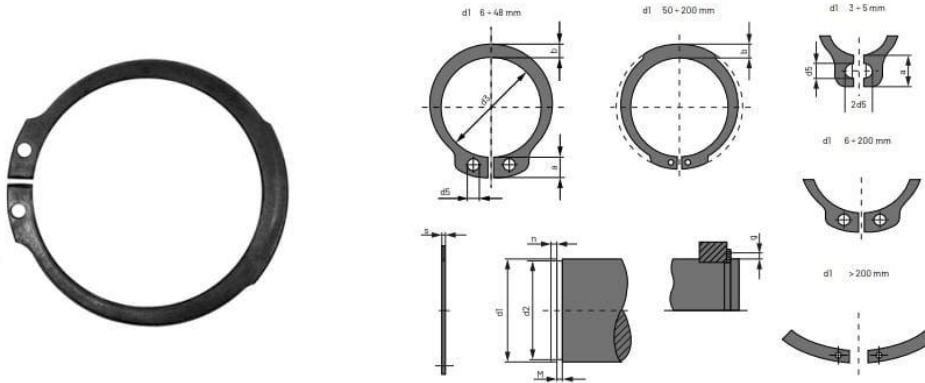
www.bohman.com.ec

Anexo 5. Catálogo de anillos de seguridad para ejes SEEGER [43].

FICHA COMERCIAL

MIKALOR

Anillo de seguridad para ejes DIN 471-E

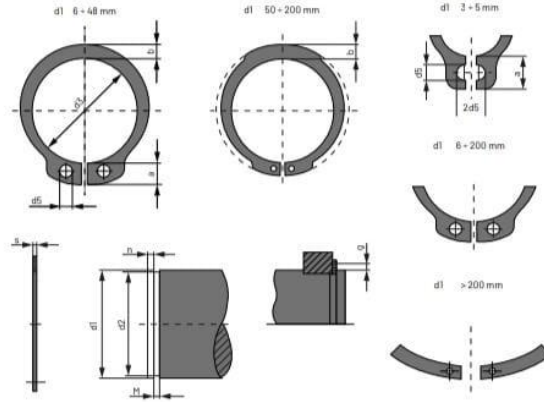


El anillo externo para ejes DIN 471 es un elemento de seguridad utilizado universalmente para montaje axial en una ranura externa.

Sujeta elementos a ejes; como por ejemplo una rueda libre, una pieza cualquiera, una palanca, etc. Puede transmitir cargas axiales considerables entre el elemento de la máquina que ejerce la fuerza y la ranura sobre la cual va montado el anillo.

MATERIAL: Acero para muelles
DUREZA: HV 470 +580 / HRC 47 +54
ACABADO: A: Aceitado antioxidante
 F: Fosfatado y Aceitado antioxidante

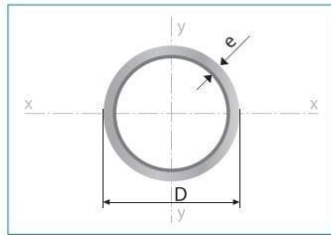
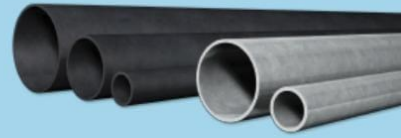
Ø d1	Referencia	S	d3	a máx.	b ≈	d5 mín.	d2	M h13	n mín.	g	Acabado	Envase	Embalaje
3	01090013	0,40 +0-0,05	2,7 +0,04-0,15	1,9	0,8	1,0	2,8 +0-0,040	0,50	0,3	0,5	A	10.000	64.000
4	01090021	0,40 +0-0,05	3,7 +0,04-0,15	2,2	0,9	1,0	3,8 +0-0,050	0,50	0,3	0,5	F	5.000	320.000
5	01090030	0,60 +0-0,05	4,7 +0,04-0,15	2,5	1,1	1,0	4,8 +0-0,050	0,70	0,3	0,5	F	5.000	160.000
6	01090048	0,70 +0-0,05	5,6 +0,04-0,15	2,7	1,3	1,2	5,7 +0-0,050	0,80	0,5	0,5	F	5.000	80.000
7	01090056	0,80 +0-0,05	6,5 +0,06-0,18	3,1	1,4	1,2	6,7 +0-0,060	0,90	0,5	0,5	F	2.500	15.000
8	01090064	0,80 +0-0,05	7,4 +0,06-0,18	3,2	1,5	1,2	7,6 +0-0,060	0,90	0,6	0,5	F	2.000	32.000
9	01090072	1,00 +0-0,06	8,4 +0,06-0,18	3,3	1,7	1,2	8,6 +0-0,110	1,10	0,6	0,5	F	2.000	32.000
10	01090080	1,00 +0-0,06	9,3 +0,10-0,36	3,3	1,8	1,5	9,6 +0-0,110	1,10	0,6	1,0	F	2.000	32.000
11	01090099	1,00 +0-0,06	10,2 +0,10-0,36	3,3	1,8	1,5	10,5 +0-0,110	1,10	0,8	1,0	F	1.000	16.000
12	01090101	1,00 +0-0,06	11,0 +0,10-0,36	3,3	1,8	1,7	11,5 +0-0,110	1,10	0,8	1,0	F	1.000	8.000
13	01090158	1,00 +0-0,06	11,9 +0,10-0,36	3,4	2,0	1,7	12,4 +0-0,110	1,10	0,9	1,0	F	1.000	16.000
14	01090136	1,00 +0-0,06	12,9 +0,10-0,36	3,5	2,1	1,7	13,4 +0-0,110	1,10	0,9	1,0	F	1.000	16.000
15	01090144	1,00 +0-0,06	13,8 +0,10-0,36	3,6	2,2	1,7	14,3 +0-0,110	1,10	1,1	1,0	F	1.000	8.000
16	01090152	1,00 +0-0,06	14,7 +0,10-0,36	3,7	2,2	1,7	15,2 +0-0,110	1,10	1,2	1,0	F	1.000	8.000
17	01090160	1,00 +0-0,06	15,7 +0,10-0,36	3,8	2,3	1,7	16,2 +0-0,110	1,10	1,2	1,0	F	1.000	8.000
18	01090179	1,20 +0-0,06	16,5 +0,10-0,36	3,9	2,4	2,0	17,0 +0-0,110	1,30	1,5	1,5	F	1.000	8.000
19	01090187	1,20 +0-0,06	17,5 +0,10-0,36	3,9	2,5	2,0	18,0 +0-0,110	1,30	1,5	1,5	F	1.000	8.000
20	01090195	1,20 +0-0,06	18,5 +0,13-0,42	4,0	2,6	2,0	19,0 +0-0,130	1,30	1,5	1,5	F	1.000	8.000
21	01090208	1,20 +0-0,06	19,5 +0,13-0,42	4,1	2,7	2,0	20,0 +0-0,130	1,30	1,5	1,5	F	1.000	8.000
22	01090216	1,20 +0-0,06	20,5 +0,13-0,42	4,2	2,8	2,0	21,0 +0-0,130	1,30	1,5	1,5	F	500	4.000
24	01090232	1,20 +0-0,06	22,2 +0,21-0,42	4,4	3,0	2,0	22,9 +0-0,210	1,30	1,7	1,5	F	500	4.000



Ø d1	Referencia	S	d3	a máx.	b =	d5 min.	d2	M h13	n min.	g	Acabado	Envase	Embalaje
25	01090240	1,20 +0-0,06	23,2 +0,21-0,42	4,4	3,0	2,0	23,9 +0-0,210	1,30	1,7	1,5	F	500	4.000
26	01090259	1,20 +0-0,06	24,2 +0,21-0,42	4,5	3,1	2,0	24,9 +0-0,210	1,30	1,7	1,5	F	500	4.000
27	01090849	1,20 +0-0,06	24,9 +0,21-0,42	4,6	3,1	2,0	25,6 +0-0,210	1,30	1,7	1,5	F	500	2.000
28	01090267	1,50 +0-0,06	25,9 +0,21-0,42	4,7	3,2	2,0	26,6 +0-0,210	1,60	2,1	1,5	F	250	2.000
29	01090275	1,50 +0-0,06	26,9 +0,21-0,42	4,8	3,4	2,0	27,6 +0-0,210	1,60	2,1	1,5	F	250	2.000
30	01090283	1,50 +0-0,06	27,9 +0,21-0,42	5,0	3,5	2,0	28,6 +0-0,210	1,60	2,1	1,5	F	250	2.000
32	01090304	1,50 +0-0,06	29,6 +0,21-0,42	5,2	3,6	2,5	30,3 +0-0,250	1,60	2,6	2,0	F	250	2.000
33	01090873	1,50 +0-0,06	30,5 +0,25-0,50	5,2	3,7	2,5	31,3 +0-0,250	1,60	2,6	2,0	F	250	2.000
34	01090312	1,50 +0-0,06	31,5 +0,25-0,50	5,4	3,8	2,5	32,3 +0-0,250	1,60	2,6	2,0	F	250	2.000
35	01090320	1,50 +0-0,06	32,2 +0,25-0,50	5,6	3,9	2,5	33,0 +0-0,250	1,60	3,0	2,0	F	250	2.000
36	01090339	1,75 +0-0,06	33,2 +0,25-0,50	5,6	4,0	2,5	34,0 +0-0,250	1,85	3,0	2,0	A	100	1.600
38	01090347	1,75 +0-0,06	35,2 +0,25-0,50	5,8	4,2	2,5	36,0 +0-0,250	1,85	3,0	2,0	A	100	800
40	01090355	1,75 +0-0,06	36,5 +0,39-0,90	6,0	4,4	2,5	37,5 +0-0,250	1,85	3,8	2,0	A	100	800
42	01090363	1,75 +0-0,06	38,5 +0,39-0,90	6,5	4,5	2,5	39,5 +0-0,250	1,85	3,8	2,0	A	100	1.600
44	01090881	1,75 +0-0,06	40,5 +0,39-0,90	6,6	4,6	2,5	41,5 +0-0,250	1,85	3,8	2,0	A	100	800
45	01090371	1,75 +0-0,06	41,5 +0,39-0,90	6,7	4,7	2,5	42,5 +0-0,250	1,85	3,8	2,0	A	100	800
46	01090857	1,75 +0-0,06	42,5 +0,39-0,90	6,7	4,8	2,5	43,5 +0-0,250	1,85	3,8	2,0	A	100	800
47	01090865	1,75 +0-0,06	43,5 +0,39-0,90	6,8	4,9	2,5	44,5 +0-0,250	1,85	3,8	2,0	A	100	800
48	01090380	1,75 +0-0,06	44,5 +0,39-0,90	6,9	5,0	2,5	45,5 +0-0,250	1,85	3,8	2,0	A	100	800
50	01090398	2,00 +0-0,07	45,8 +0,39-0,90	6,9	5,1	2,5	47,0 +0-0,250	2,15	4,5	2,0	A	100	800
52	01090400	2,00 +0-0,07	47,8 +0,39-0,90	7,0	5,2	2,5	49,0 +0-0,250	2,15	4,5	2,5	A	100	800
55	01090419	2,00 +0-0,07	50,8 +0,46-1,10	7,2	5,4	2,5	52,0 +0-0,300	2,15	4,5	2,5	A	100	800
56	01090427	2,00 +0-0,07	51,8 +0,46-1,10	7,3	5,5	2,5	53,0 +0-0,300	2,15	4,5	2,5	A	100	800
58	01090435	2,00 +0-0,07	53,8 +0,46-1,10	7,3	5,6	2,5	55,0 +0-0,300	2,15	4,5	2,5	A	100	800
60	01090443	2,00 +0-0,07	55,8 +0,46-1,10	7,4	5,8	2,5	57,0 +0-0,300	2,15	4,5	2,5	A	100	800
62	01090451	2,00 +0-0,07	57,8 +0,46-1,10	7,5	6,0	2,5	59,0 +0-0,300	2,15	4,5	2,5	A	100	800
63	01090460	2,00 +0-0,07	58,8 +0,46-1,10	7,6	6,2	2,5	60,0 +0-0,300	2,15	4,5	2,5	A	100	800
65	01090478	2,50 +0-0,07	60,8 +0,46-1,10	7,8	6,3	3,0	62,0 +0-0,300	2,65	4,5	2,5	A	75	600
68	01090486	2,50 +0-0,07	63,5 +0,46-1,10	8,0	6,5	3,0	65,0 +0-0,300	2,65	4,5	2,5	A	75	600
70	01090494	2,50 +0-0,07	65,5 +0,46-1,10	8,1	6,6	3,0	67,0 +0-0,300	2,65	4,5	2,5	A	75	300

Anexo 6. Catálogo de tubería estructural redonda IPAC [41].

Tubería Estructural Redonda



Largo Normal:
6 metros
Recubrimiento:
Negro o Galvanizado
Norma de Calidad:
JIS G 3132, ASTM A 36 y ASTM
A572 Gr 50
Norma de Fabricación:
ASTM A 500/ NTE INEN 2415
Espesores:
Desde 1,40 a 6,00 mm
Observaciones:
Otras dimensiones y largos,
previa consulta

► Aplicaciones

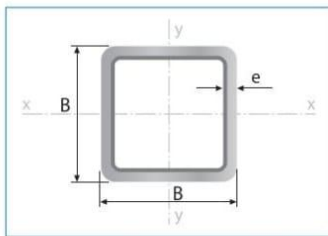
- Automotriz y de autopartes: carrocería, guardachoques, tubos de escape, remolques y rodados.
- Agroganadera: maquinaria e implementos agrícolas, avícolas y ganaderos.
- Señalización y vialidad: alumbrado, soportes para señalética.
- Aparatos de gimnasia y fitness.
- Construcción: rejas, portones, columnas, andamios.
- Estructuras: portantes, galpones, invernaderos y naves industriales.

► Beneficios

- Duradero: Al construir con acero, asegura que su producto tenga una vida útil, superior a los materiales de construcción convencionales.
- Económico: Se optimiza el uso del material produciéndose ahorro en obras, por facilidad y rapidez de uso y armado ahorra en tiempo y personal.
- Ecológico: Con el uso de acero, se minimiza la utilización de madera y su desecho, por lo que contribuye al medio ambiente.

Designaciones		Área	Peso	Propiedades Estáticas			
Diámetro Exterior	Espesor			Flexión			
D	e	A	P	Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro	
pulg.	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm	
3/4	19,10	1,40	0,78	0,61	0,30	0,32	0,63
		1,50	0,83	0,65	0,32	0,34	0,62
		1,80	0,98	0,77	0,37	0,39	0,61
		2,00	1,07	0,84	0,39	0,41	0,61
7/8	22,20	1,40	0,92	0,72	0,50	0,45	0,74
		1,50	0,98	0,77	0,53	0,47	0,73
		1,80	1,16	0,91	0,61	0,55	0,72
		2,00	1,27	1,00	0,66	0,59	0,72
1	25,40	1,40	1,06	0,83	0,76	0,60	0,85
		1,50	1,13	0,88	0,81	0,64	0,85
		1,80	1,33	1,05	0,93	0,74	0,84
		2,00	1,47	1,15	1,01	0,80	0,83
1 1/4	31,80	1,40	1,33	1,05	1,54	0,97	1,07
		1,50	1,43	1,12	1,63	1,03	1,07
		1,80	1,69	1,33	1,91	1,20	1,06
		2,00	1,87	1,47	2,08	1,31	1,05
1 1/2	38,10	1,40	1,61	1,27	2,72	1,43	1,30
		1,50	1,72	1,35	2,89	1,52	1,30
		1,80	2,05	1,61	3,39	1,78	1,28
		2,00	2,27	1,78	3,71	1,95	1,28
1 3/4	44,50	1,40	1,89	1,49	4,39	1,98	1,52
		1,50	2,02	1,59	4,67	2,10	1,52
		1,80	2,41	1,89	5,49	2,47	1,51
		2,00	2,67	2,09	6,02	2,71	1,50
1 7/8	47,60	1,40	2,03	1,60	5,44	2,28	1,64
		1,50	2,17	1,71	5,79	2,43	1,63
		1,80	2,59	2,03	6,81	2,86	1,62
		2,00	2,87	2,25	7,47	3,14	1,61
2	50,80	1,40	2,17	1,71	6,63	2,61	1,75
		1,50	2,32	1,82	7,06	2,78	1,74
		1,80	2,77	2,18	8,33	3,28	1,73
		2,00	3,07	2,41	9,14	3,60	1,73
2 3/8	60,30	1,40	4,51	3,54	12,92	5,09	1,69
		1,50	5,88	4,62	16,22	6,39	1,66
		1,80	2,77	2,18	12,00	3,98	2,08
		2,00	3,31	2,60	14,18	4,70	2,07
2 1/2	63,50	1,40	3,66	2,88	15,60	5,17	2,06
		1,50	2,92	2,29	14,05	4,42	2,19
		1,80	3,49	2,74	16,62	5,23	2,18
		2,00	3,86	3,03	18,29	5,76	2,18
3	76,20	1,40	5,70	4,48	26,15	8,24	2,14
		1,50	7,48	5,87	33,24	10,47	2,11
		1,80	3,52	2,76	24,56	6,45	2,64
		2,00	4,21	3,30	29,13	7,65	2,63
4	101,60	1,40	4,66	3,66	32,11	8,43	2,62
		1,50	6,90	5,42	46,29	12,15	2,59
		1,80	9,07	7,12	59,30	15,56	2,56
		2,00	11,18	8,78	71,22	18,69	2,52
5	127,00	1,40	6,26	4,91	77,63	15,28	3,52
		1,50	9,29	7,29	113,04	22,25	3,49
		1,80	12,26	9,63	146,28	28,80	3,45
		2,00	15,17	11,91	177,47	34,93	3,42
6	152,40	1,40	18,02	14,15	206,68	40,68	3,39
		1,50	7,85	6,17	153,44	24,16	4,42
		1,80	11,69	9,17	224,75	35,39	4,39
		2,00	15,46	12,13	292,61	46,08	4,35
6 5/8	168,30	1,40	19,16	15,04	357,14	56,24	4,32
		1,50	22,81	17,90	418,44	65,90	4,28
		1,80	14,08	11,05	393,01	51,58	5,28
		2,00	18,65	14,64	513,73	67,42	5,25
6 3/4	182,90	1,40	23,15	18,18	629,54	82,62	5,21
		1,50	27,60	21,66	740,57	97,19	5,18
		1,80	15,58	12,23	532,28	63,25	5,85
		2,00	20,65	16,21	697,09	82,84	5,81
6 1/2	177,80	1,40	25,65	20,14	855,85	101,70	5,78
		2,00	30,59	24,02	1008,69	119,87	5,74

Anexo 7. Catálogo de tubería estructural cuadrada IPAC [41].



Largo Normal:
6 metros
Recubrimiento:
Negro o Galvanizado
Norma de Calidad:
JIS G 3132, ASTM A 36 y ASTM A572 Gr 50
Norma de Fabricación:
ASTM A 500/ NTE INEN 2415
Espesores:
Desde 1,40 a 6,00 mm
Observaciones:
Otras dimensiones y largos,
previa consulta

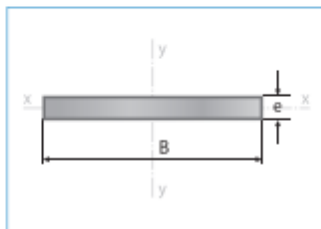
Aplicaciones

- Automotriz y de autopartes: carrocería y remolques.
- Agroganadera: maquinaria e implementos industriales, agrícolas, avícolas y ganaderos.
- Señalización y vialidad: soportes.
- Aparatos de gimnasia y fitness.
- Construcción: columnas.
- Estructuras: galpones y naves industriales, edificios, soporte de techos.



Designaciones	Área	Peso	Propiedades Estáticas			
			Eje x-x = y-y			
B	e	A	P	I	W	i
mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm
20	1,40	0,99	0,78	0,56	0,56	0,75
	1,50	1,05	0,83	0,58	0,58	0,75
	1,80	1,23	0,96	0,66	0,66	0,73
	2,00	1,34	1,05	0,70	0,70	0,72
25	1,40	1,27	1,00	1,16	0,93	0,95
	1,50	1,35	1,06	1,22	0,97	0,95
	1,80	1,59	1,25	1,39	1,11	0,94
	2,00	1,74	1,36	1,49	1,19	0,93
30	1,40	1,55	1,22	2,08	1,39	1,16
	1,50	1,65	1,30	2,20	1,47	1,15
	1,80	1,95	1,53	2,53	1,68	1,14
	2,00	2,14	1,68	2,73	1,82	1,13
40	1,40	2,11	1,66	5,18	2,59	1,57
	1,50	2,25	1,77	5,49	2,75	1,56
	1,80	2,67	2,09	6,39	3,19	1,55
	2,00	2,94	2,31	6,95	3,47	1,54
	2,50	3,59	2,82	8,23	4,12	1,51
	3,00	4,21	3,30	9,36	4,68	1,49
	4,00	5,35	4,20	11,18	5,59	1,45
50	1,40	2,67	2,10	10,42	4,17	1,97
	1,50	2,85	2,24	11,07	4,43	1,97
	1,80	3,39	2,66	12,95	5,18	1,96
	2,00	3,74	2,93	14,15	5,66	1,95
	2,50	4,59	3,60	16,96	6,78	1,92
	3,00	5,41	4,25	19,50	7,80	1,90
	4,00	6,95	5,45	23,84	9,54	1,85
60	1,50	3,45	2,71	19,52	6,51	2,38
	1,80	4,11	3,22	22,95	7,65	2,36
	2,00	4,54	3,56	25,15	8,38	2,35
	2,50	5,59	4,39	30,36	10,12	2,33
	3,00	6,61	5,19	35,17	11,72	2,31
	4,00	8,55	6,71	43,65	14,55	2,26
70	1,50	4,05	3,18	31,46	8,99	2,79
	1,80	4,83	3,79	37,09	10,60	2,77
	2,00	5,34	4,19	40,73	11,64	2,76
	2,50	6,59	5,17	49,43	14,12	2,74
	3,00	7,81	6,13	57,56	16,45	2,72
	4,00	10,15	7,97	72,22	20,64	2,67
75	1,50	4,35	3,42	38,92	10,38	2,99
	1,80	5,19	4,07	45,95	12,25	2,98
	2,00	5,74	4,50	50,50	13,47	2,97
	2,50	7,09	5,56	61,40	16,37	2,94
	3,00	8,41	6,60	71,65	19,11	2,92
	4,00	10,95	8,59	90,29	24,08	2,87
90	1,80	6,27	4,92	80,71	17,94	3,59
	2,00	6,94	5,45	88,87	19,75	3,58
	2,50	8,59	6,74	108,57	24,13	3,56
	3,00	10,21	8,01	127,32	28,29	3,53
	4,00	13,35	10,48	162,02	36,01	3,48
100	1,80	6,99	5,48	111,62	22,32	4,00
	2,00	7,74	6,07	123,01	24,60	3,99
	2,50	9,59	7,53	150,65	30,13	3,96
	3,00	11,41	8,96	177,08	35,42	3,94
	4,00	14,95	11,73	226,46	45,29	3,89
	5,00	18,36	14,41	271,36	54,27	3,84
	6,00	21,63	16,98	312,00	62,40	3,80
125	3,00	14,41	11,31	354,53	56,73	4,96
	4,00	18,95	14,87	457,33	73,17	4,91
	5,00	23,36	18,33	552,87	88,46	4,87
	6,00	27,63	21,69	641,41	102,63	4,82
135	3,00	15,61	12,25	449,88	66,65	5,37
	4,00	20,55	16,13	581,80	86,19	5,32
	5,00	25,36	19,90	705,16	104,47	5,27
	6,00	30,03	23,58	820,25	121,52	5,23
150	3,00	17,41	13,67	622,76	83,03	5,98
	4,00	22,95	18,01	807,92	107,72	5,93
	5,00	28,36	22,26	982,37	130,98	5,89
	6,00	33,63	26,40	1146,43	152,86	5,84

Anexo 8. Catálogo de productos laminados pletina IPAC [41].



Largo normal:
6 metros
Recubrimiento:
Negro
Espesores:
Desde 3,00 a 12,00 mm
Norma de Calidad:
ASTM A36 / ASTM A 572 Gr 50
Norma de Fabricación:
INEN 2222 / ISO 1035 /
INEN 2215 / DIN 1017
Observaciones:
Otras dimensiones y largos previa
consulta.

Aplicaciones

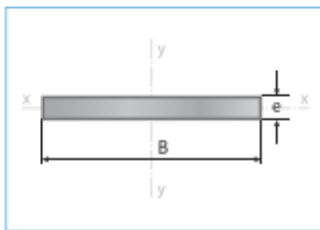
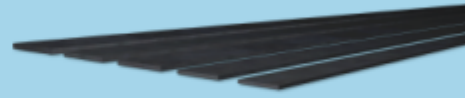
- Somier camas,
- Cerrajería en general (puertas, ventanas, rejas),
- Estructuras en general,
- Muebles metálicos,
- Paquete de resortes (Sistemas de suspensión).



Dimensiones	Espesor	Peso
B	e	P
Pulg.	mm	kg/6m
1/2 x 1/8	3,00	1,70
1/2 x 3/16	4,00	2,26
1/2 x 1/4	6,00	3,39
3/4 x 1/8	3,00	2,68
3/4 x 3/16	4,00	3,58
3/4 x 1/4	6,00	5,37
1 x 1/8	3,00	3,53
1 x 3/16	4,00	4,71
1 x 1/4	6,00	7,07
1 x 3/8	9,50	10,59
1 x 1/2	12,00	14,13
1 1/4 x 1/8	3,00	4,24
1 1/4 x 3/16	4,00	5,65
1 1/4 x 1/4	6,00	8,47
1 1/4 x 3/8	9,50	12,71
1 1/2 x 1/8	3,00	5,37
1 1/2 x 3/16	4,00	7,16
1 1/2 x 1/4	6,00	10,74
1 1/2 x 3/8	8,00	16,11
1 1/2 x 1/2	12,00	21,48
2 x 1/8	3,00	7,07
2 x 3/16	4,00	9,50
2 x 1/4	6,00	14,13
2 x 3/8	9,50	21,20
2 x 1/2	12,00	28,26
2 1/2 x 1/4	6,00	18,37
2 1/2 x 3/8	9,50	27,55
2 1/2 x 1/4	6,00	18,37
3 x 1/4	6,00	21,20
3 x 3/8	9,50	31,80
4 x 1/4	6,00	28,26
4 x 3/8	9,50	42,40
4 x 1/2	12,00	56,52

Productos Laminados

Pletina



Largo normal:
6 metros
Recubrimiento:
Negro
Espesores:
Desde 3,00 a 12,00 mm
Norma de Calidad:
ASTM A36 / ASTM A 572 Gr 50
Norma de Fabricación:
INEN 2222 / ISO 1035 /
INEN 2215 / DIN 1017
Observaciones:
Otras dimensiones y largos previa
consulta.

Aplicaciones

- Somier camas,
- Cerrajería en general (puertas, ventanas, rejas).
- Estructuras en general.
- Muebles metálicos.
- Paquete de resortes (Sistemas de suspensión).



Dimensiones	Espesor	Peso
B	e	P
Pulg.	mm	kg/6m
1/2 x 1/8	3,00	1,70
1/2 x 3/16	4,00	2,26
1/2 x 1/4	6,00	3,39
3/4 x 1/8	3,00	2,68
3/4 x 3/16	4,00	3,58
3/4 x 1/4	6,00	5,37
1 x 1/8	3,00	3,53
1 x 3/16	4,00	4,71
1 x 1/4	6,00	7,07
1 x 3/8	9,50	10,59
1 x 1/2	12,00	14,13
1 1/4 x 1/8	3,00	4,24
1 1/4 x 3/16	4,00	5,65
1 1/4 x 1/4	6,00	8,47
1 1/4 x 3/8	9,50	12,71
1 1/2 x 1/8	3,00	5,37
1 1/2 x 3/16	4,00	7,16
1 1/2 x 1/4	6,00	10,74
1 1/2 x 3/8	8,00	16,11
1 1/2 x 1/2	12,00	21,48
2 x 1/8	3,00	7,07
2 x 3/16	4,00	9,50
2 x 1/4	6,00	14,13
2 x 3/8	9,50	21,20
2 x 1/2	12,00	28,26
2 1/2 x 1/4	6,00	18,37
2 1/2 x 3/8	9,50	27,55
2 1/2 x 1/4	6,00	18,37
3 x 1/4	6,00	21,20
3 x 3/8	9,50	31,80
4 x 1/4	6,00	28,26
4 x 3/8	9,50	42,40
4 x 1/2	12,00	56,52

Anexo 9. Tabla C-36 para miembros a compresión en acero con límite de fluencia de 36 KSI [44].

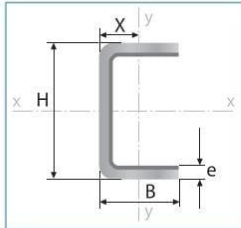
3 - 16

Table C-36 Allowable Stress For Compression Members of 36-ksi Specified Yield Stress Steel ^a										
F _y = 36 ksi	$\frac{Kl}{r}$	F _a (ksi)	$\frac{Kl}{r}$	F _a (ksi)	$\frac{Kl}{r}$	F _a (ksi)	$\frac{Kl}{r}$	F _a (ksi)	$\frac{Kl}{r}$	F _a (ksi)
	1	21.56	41	19.11	81	15.24	121	10.14	161	5.76
	2	21.52	42	19.03	82	15.13	122	9.99	162	5.69
	3	21.48	43	18.95	83	15.02	123	9.85	163	5.62
	4	21.44	44	18.86	84	14.90	124	9.70	164	5.55
	5	21.39	45	18.78	85	14.79	125	9.55	165	5.49
	6	21.35	46	18.70	86	14.67	126	9.41	166	5.42
	7	21.30	47	18.61	87	14.56	127	9.26	167	5.35
	8	21.25	48	18.53	88	14.44	128	9.11	168	5.29
	9	21.21	49	18.44	89	14.32	129	8.97	169	5.23
10	21.16	50	18.35	90	14.20	130	8.84	170	5.17	
11	21.10	51	18.26	91	14.09	131	8.70	171	5.11	
12	21.05	52	18.17	92	13.97	132	8.57	172	5.05	
13	21.00	53	18.08	93	13.84	133	8.44	173	4.99	
14	20.95	54	17.99	94	13.72	134	8.32	174	4.93	
15	20.89	55	17.90	95	13.60	135	8.19	175	4.88	
16	20.83	56	17.81	96	13.48	136	8.07	176	4.82	
17	20.78	57	17.71	97	13.35	137	7.96	177	4.77	
18	20.72	58	17.62	98	13.23	138	7.84	178	4.71	
19	20.66	59	17.53	99	13.10	139	7.73	179	4.66	
20	20.60	60	17.43	100	12.98	140	7.62	180	4.61	
21	20.54	61	17.33	101	12.85	141	7.51	181	4.56	
22	20.48	62	17.24	102	12.72	142	7.41	182	4.51	
23	20.41	63	17.14	103	12.59	143	7.30	183	4.46	
24	20.35	64	17.04	104	12.47	144	7.20	184	4.41	
25	20.28	65	16.94	105	12.33	145	7.10	185	4.36	
26	20.22	66	16.84	106	12.20	146	7.01	186	4.32	
27	20.15	67	16.74	107	12.07	147	6.91	187	4.27	
28	20.08	68	16.64	108	11.94	148	6.82	188	4.23	
29	20.01	69	16.53	109	11.81	149	6.73	189	4.18	
30	19.94	70	16.43	110	11.67	150	6.64	190	4.14	
31	19.87	71	16.33	111	11.54	151	6.55	191	4.09	
32	19.80	72	16.22	112	11.40	152	6.46	192	4.05	
33	19.73	73	16.12	113	11.26	153	6.38	193	4.01	
34	19.65	74	16.01	114	11.13	154	6.30	194	3.97	
35	19.58	75	15.90	115	10.99	155	6.22	195	3.93	
36	19.50	76	15.79	116	10.85	156	6.14	196	3.89	
37	19.42	77	15.69	117	10.71	157	6.06	197	3.85	
38	19.35	78	15.58	118	10.57	158	5.98	198	3.81	
39	19.27	79	15.47	119	10.43	159	5.91	199	3.77	
40	19.19	80	15.36	120	10.28	160	5.83	200	3.73	

^aWhen element width-to-thickness ratio exceeds noncompact section limits of Sect. B5.1, see Appendix B5.
Note: C_c = 126.1

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION

Anexo 10. Catálogo de perfiles estructurales canales IPAC [41].



Largo Normal: 6 metros
 Recubrimiento:
 Negro o Galvanizado
 Calidad de Acero:
 ASTM A36 / ASTM A572 Gr 50 / ASTM A653
 Norma de Fabricación:
 NTE INEN 1623
 Espesores:
 Desde 1,50 a 6,00 mm
 Observaciones:
 Otras dimensiones y largos, previa consulta

- Aplicaciones
- Conformado de elementos estructurales:
 - Vigas · Viguetas · Columnas
 - Muebles metálicos (camas).
 - Estructura para cubiertas.
 - Estructuras para galpones y en general.



Designaciones	Espesor	Peso	Área	Propiedades Estáticas								
				Eje x-x				Eje y-y				
				Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro	Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro	Distancia de eje menor y superficie		
H	B	e	P	A	I	W	i	I	W	i	X	
mm	mm	mm	kg/6m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm	
50	25	1,50	6,72	1,43	5,53	2,21	1,97	0,88	0,49	0,79	0,69	
		1,80	7,98	1,69	6,47	2,59	1,95	1,03	0,58	0,78	0,71	
		2,00	8,80	1,87	7,07	2,83	1,94	1,13	0,63	0,78	0,72	
80	40	3,00	12,74	2,70	9,70	3,88	1,89	1,57	0,91	0,76	0,77	
		1,50	10,96	2,33	23,74	5,93	3,19	3,75	1,28	1,27	1,07	
		1,80	13,06	2,77	28,05	7,01	3,18	4,44	1,52	1,27	1,08	
		2,00	14,45	3,07	30,84	7,71	3,17	4,89	1,68	1,26	1,09	
		2,50	17,87	3,79	37,55	9,39	3,15	5,97	2,07	1,25	1,12	
		3,00	21,21	4,50	43,88	10,97	3,12	7,01	2,45	1,25	1,14	
		4,00	27,67	5,87	55,41	13,85	3,07	8,92	3,17	1,23	1,19	
		5,00	33,81	7,18	65,51	16,38	3,02	10,62	3,84	1,22	1,24	
		6,00	39,64	8,42	74,22	18,56	2,97	12,13	4,47	1,20	1,28	
100	50	1,50	13,78	2,93	47,08	9,42	4,01	7,42	2,02	1,59	1,32	
		1,80	16,45	3,49	55,80	11,16	4,00	8,81	2,40	1,59	1,33	
		2,00	18,22	3,87	61,50	12,30	3,99	9,72	2,66	1,58	1,34	
		2,50	22,58	4,79	75,29	15,06	3,96	11,93	3,28	1,58	1,37	
		3,00	26,87	5,70	88,47	17,69	3,94	14,07	3,89	1,57	1,39	
		4,00	35,20	7,47	113,04	22,61	3,89	18,08	5,07	1,56	1,44	
		5,00	43,23	9,18	135,28	27,06	3,84	21,77	6,19	1,54	1,48	
		6,00	50,95	10,82	155,27	31,05	3,79	25,14	7,25	1,52	1,53	
		120	60	1,50	16,61	3,53	82,19	13,70	4,83	12,93	2,92	1,92	1,57
2,00	21,99			4,67	107,73	17,96	4,80	16,99	3,85	1,91	1,59	
2,50	27,29			5,79	132,37	22,06	4,78	20,93	4,77	1,90	1,62	
3,00	32,52			6,90	156,12	26,02	4,76	24,75	5,67	1,89	1,64	
4,00	42,74			9,07	200,99	33,50	4,71	32,02	7,42	1,88	1,69	
5,00	52,65			11,18	242,43	40,40	4,66	38,81	9,09	1,86	1,73	
125	50	6,00	62,25	13,22	280,53	46,75	4,61	45,14	10,70	1,85	1,78	
		1,50	15,55	3,30	78,78	12,61	4,89	7,93	2,08	1,55	1,18	
		1,80	18,57	3,94	93,54	14,97	4,87	9,42	2,47	1,55	1,19	
		2,00	20,58	4,37	103,19	16,51	4,86	10,40	2,74	1,54	1,20	
		2,50	25,53	5,42	126,69	20,27	4,83	12,78	3,38	1,54	1,22	
		3,00	30,40	6,45	149,29	23,89	4,81	15,08	4,02	1,53	1,24	
		4,00	39,91	8,47	191,86	30,70	4,76	19,43	5,24	1,51	1,29	
		5,00	49,12	10,43	230,99	36,96	4,71	23,44	6,40	1,50	1,34	
		6,00	58,01	12,32	266,77	42,68	4,65	27,14	7,50	1,48	1,38	
150	50	1,50	17,31	3,68	120,81	16,11	5,73	8,34	2,12	1,51	1,07	
		2,00	22,93	4,87	158,54	21,14	5,71	10,94	2,80	1,50	1,09	
		2,50	28,47	6,04	195,03	26,00	5,68	13,46	3,46	1,49	1,11	
		3,00	33,93	7,20	230,29	30,70	5,65	15,89	4,11	1,49	1,13	
		4,00	44,62	9,47	297,17	39,62	5,60	20,49	5,36	1,47	1,17	
		5,00	55,00	11,68	359,29	47,91	5,55	24,76	6,55	1,46	1,22	
		6,00	65,08	13,82	416,76	55,57	5,49	28,70	7,68	1,44	1,26	
160	60	2,00	25,76	5,47	209,82	26,23	6,19	18,51	4,00	1,84	1,37	
		2,50	32,00	6,79	258,55	32,32	6,17	22,82	4,96	1,83	1,40	
		3,00	38,17	8,10	305,83	38,23	6,14	27,01	5,89	1,83	1,42	
		4,00	50,27	10,67	396,08	49,51	6,09	35,02	7,72	1,81	1,46	
		5,00	62,07	13,18	480,68	60,08	6,04	42,54	9,47	1,80	1,51	
		6,00	73,55	15,62	559,74	69,97	5,99	49,59	11,15	1,78	1,55	
200	50	2,00	27,64	5,87	316,47	31,65	7,34	11,75	2,88	1,42	0,92	
		2,50	34,36	7,29	390,36	39,04	7,32	14,46	3,56	1,41	0,94	
		3,00	41,00	8,70	462,19	46,22	7,29	17,08	4,23	1,40	0,96	
		4,00	54,04	11,47	599,77	59,98	7,23	22,06	5,52	1,39	1,00	
		5,00	66,78	14,18	729,33	72,93	7,17	26,69	6,75	1,37	1,05	
		6,00	79,13	16,83	851,17	85,12	7,11	31,07	7,89	1,36	1,09	
100	100	3,00	55,13	11,70	753,26	75,33	8,02	118,69	16,12	3,18	2,64	
		4,00	72,88	15,47	983,93	98,39	7,97	155,49	21,25	3,17	2,68	
250	50	3,00	48,06	10,20	802,96	80,24	8,87	17,92	4,31	1,33	0,84	
		4,00	63,46	13,47	1045,86	104,58	8,81	23,16	5,63	1,31	0,89	
75	300	3,00	55,13	11,70	1031,74	103,17	9,39	56,94	9,55	2,21	1,54	
		4,00	72,88	15,47	1348,44	134,84	9,34	74,31	12,55	2,19	1,58	
300	50	3,00	55,13	11,70	1271,34	127,13	10,42	18,55	4,37	1,26	0,75	
		4,00	72,88	15,47	1660,48	166,04	10,36	23,98	5,71	1,24	0,80	
75	300	3,00	62,19	13,20	1602,13	160,21	11,02	59,49	9,72	2,12	1,38	
		4,00	82,30	17,47	2098,56	209,86	10,96	77,68	12,78	2,11	1,42	

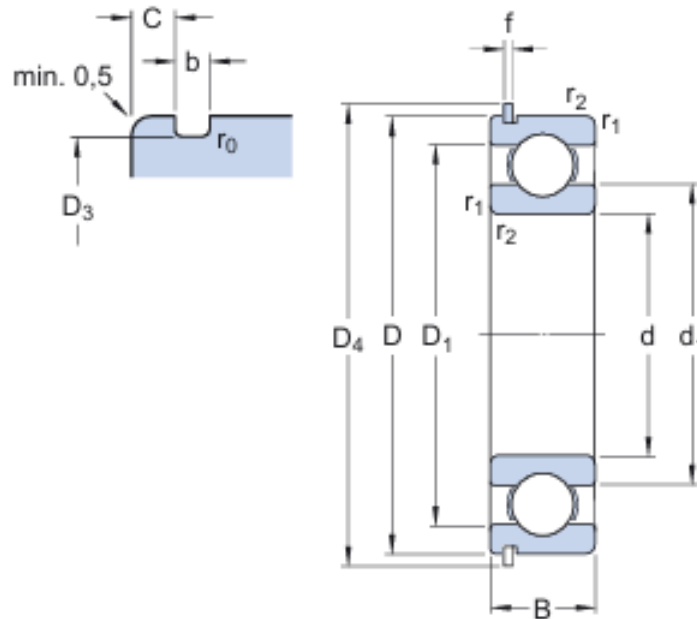
X = Distancia entre el eje menor y-y a la superficie exterior del perfil

Anexo 11. Especificaciones del rodamiento de bolas de una hilera SKF 6407 NR [45].

4/5/25, 15:22

6407 NR - Rodamientos rígidos de bolas | SKF

Especificación técnica



Dimensiones

d	35 mm	Diámetro del agujero
D	100 mm	Diámetro exterior
B	25 mm	Ancho
d ₁	= 57.45 mm	Diámetro del resalte
D ₁	= 79.55 mm	Diámetro del resalte
D ₃	96.8 mm	Diámetro de ranura para anillo elástico
D ₄	106.5 mm	Diámetro exterior del anillo elástico
b	2.7 mm	Ancho de ranura para anillo elástico
C	3.28 mm	Distancia entre la cara lateral del aro exterior y la ranura para anillo elástico
f	2.46 mm	Ancho del anillo elástico
r ₀	max. 0.6 mm	Radio del fondo de ranura para anillo elástico
r _{1,2}	min. 1.5 mm	Dimensión del chaflán

Descripción general

Dimensiones

Diámetro del agujero	35 mm
Diámetro exterior	100 mm
Ancho	25 mm

Rendimiento

Capacidad de carga dinámica básica	55.3 kN
Capacidad de carga estática básica	31 kN
Velocidad de referencia	16 000 r/min
Velocidad límite	10 000 r/min

Propiedades

Ranuras de llenado	Sin
Cantidad de hileras	1
Elemento de fijación, aro exterior del rodamiento	Anillo elástico (ajustado)
Tipo de agujero	Cilindrico
Jaula	Chapa metálica
Disposición ajustada	No
Juego radial interno	CN
Material, rodamiento	Acero para rodamientos
Recubrimiento	Sin
Sellado	Sin
Lubricante	Ninguna
Característica de relubricación	Sin

Logística

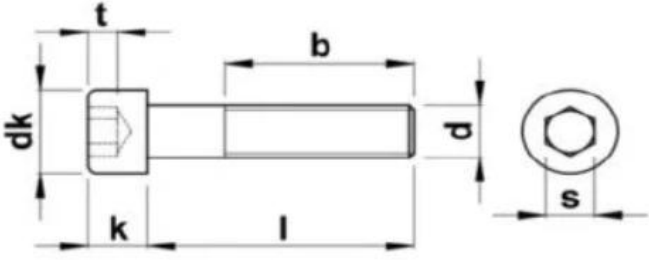
Peso neto del producto	0.97 kg
Código eClass	23-05-08-01
Código UNSPSC	31171504

Anexo 12. Especificaciones de las roscas métricas [14].

Diámetro mayor nominal d , mm	Serie de paso grueso			Serie de paso fino		
	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_r , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_r , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4.5	1 120	1 050	2	1 260	1 230
48	5	1 470	1 380	2	1 670	1 630
56	5.5	2 030	1 910	2	2 300	2 250
64	6	2 680	2 520	2	3 030	2 980
72	6	3 460	3 280	2	3 860	3 800
80	6	4 340	4 140	1.5	4 850	4 800
90	6	5 590	5 360	2	6 100	6 020
100	6	6 990	6 740	2	7 560	7 470
110				2	9 180	9 080

*Las ecuaciones y los datos utilizados para elaborar esta tabla se obtuvieron de la norma ANSI B1.1-1974 y B18.3.1-1978. El diámetro menor se determinó mediante la ecuación $d_f = d - 1.226\ 869p$, y el diámetro de paso a partir de $d_p = d - 0.649\ 519p$. La media del diámetro de paso y el diámetro menor se usaron para calcular el área de esfuerzo de tensión.

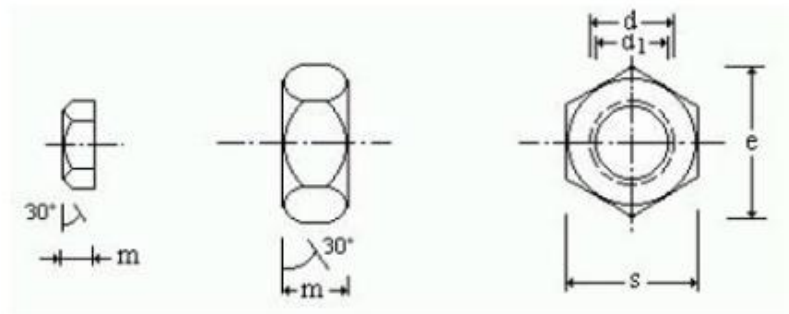
TORNILLO DE CABEZA ALLEN DIN 912 (ISO 4762)

d	Métrica tornillo	
dk	Diámetro de la cabeza	
k	Altura de la cabeza	
t	Profundidad de boca	
s	Distancia entre caras (llave)	
b	Longitud roscada	
l	Longitud (sin cabeza)	

d	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20
dk	5,5	7	8,5	10	13	16	18	21	24	27	30
k	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20
t Mín	1,3	2	2,5	3	4	5	6	7	8	9	10
b	16	20	22	24	28	32	36	40	44	48	52
s	2,5	3	4	5	6	8	10	12	14	14	17
Paso	0,5	0,7	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2	2,5	2,5
	-	-	-	-	1	1,25	1,25	1,5	1,5	1,5	1,5
	-	-	-	-	-	1	1,5	-	-	2	2

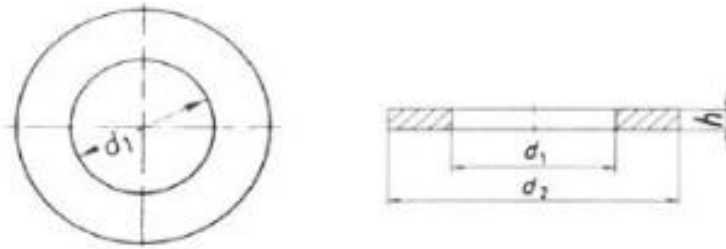
d	M22	M24	M27	M30	M33	M36	M42	M48	M56
dk	33	36	40	45	50	54	63	72	84
k	22	24	27	30	33	36	42	48	56
t Mín	11	12	13,5	15,5	18	19	24	28	34
b	56	60	66	72	78	84	96	108	124
s	17	19	19	22	24	27	32	36	41
Paso	2,5	3	3	3,5	3,5	4	4,5	5	5,5
	1,5	2	2	2	2	3	3	3	4
	2	-	-	-	-	-	-	-	-

Anexo 13. Especificaciones de tuercas con roscas métricas [46].



Tuerca tipo	Dimensiones					Peso de 1.000 piezas kg
	Diámetro nominal d mm	Diámetro interior d_1 mm	Espesor m mm	Medida entre aristas e mm	Medida entre caras s mm	
M 10	10	8.376	8	19.6	17	10.9
M 12	12	10.106	10	21.9	19	15.9
M 16	16	13.835	13	27.7	24	30.8
M 20	20	17.294	16	34.6	30	60.3
M 22	22	19.294	18	36.9	32	80.2
M 24	24	20.725	19	41.6	36	103.0
M 27	27	23.752	22	47.3	41	154.0
M 30	30	26.211	24	53.1	46	216.0
M 33	33	29.211	26	57.7	50	271.0
M 36	36	31.670	29	63.5	55	369.0

Anexo 14. Especificaciones de arandelas planas DIN 125 con roscas métricas [47].



Para tornillo	d_1	d_2	h
M1,6	1,7	4	0,3
M2	2,2	5	0,3
M2,5	2,7	6,5	0,5
M3	3,2	7	0,5
M3,5	3,7	8	0,5
M4	4,3	9	0,8
M5	5,3	10	1
M6	6,4	12	1,6
M7	7,4	14	1,6
M8	8,4	16	1,6
M10	10,5	20	2
M12	13	24	2,5
M14	15	28	2,5
M16	17	30	3
M18	19	34	3
M20	21	37	3
M22	23	39	3
M24	25	44	4
M27	28	50	4
M30	31	56	4
M33	34	60	5
M36	37	66	5
M39	40	72	6
M42	43	78	7
M45	46	85	7
M48	50	92	8
M50	52	92	8
M52	54	98	8

Anexo 15. Propiedades mecánicas del material de aporte en soldadura de distintos electrodos [14].

Table 9-3

Minimum Weld-Metal
Properties

AWS Electrode Number*	Tensile Strength kpsi (MPa)	Yield Strength, kpsi (MPa)	Percent Elongation
E60xx	62 (427)	50 (345)	17–25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14–17
E100xx	100 (689)	87 (600)	13–16
E120xx	120 (827)	107 (737)	14

*The American Welding Society (AWS) specification code numbering system for electrodes. This system uses an E prefixed to a four- or five-digit numbering system in which the first two or three digits designate the approximate tensile strength. The last digit includes variables in the welding technique, such as current supply. The next-to-last digit indicates the welding position, as, for example, flat, or vertical, or overhead. The complete set of specifications may be obtained from the AWS upon request.

Anexo 16. Propiedades a flexión de las soldaduras en filete [14].

Bending Properties of Fillet Welds*

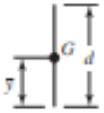
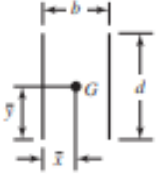
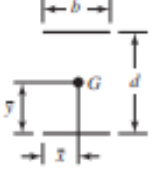
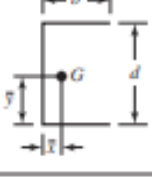
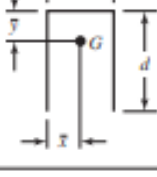
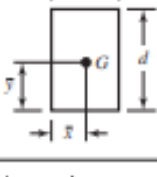
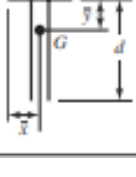
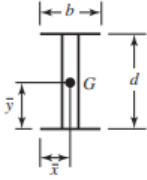
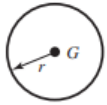
Weld	Throat Area	Location of G	Unit Second Moment of Area
1. 	$A = 0.707hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{12}$
2. 	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{6}$
3. 	$A = 1.414hb$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{bd^2}{2}$
4. 	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d}$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{12}(6b + d)$
5. 	$A = 0.707h(b + 2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$	$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$
6. 	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$
7. 	$A = 0.707h(b + 2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$	$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$

Table 9-2

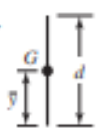
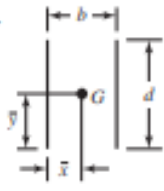
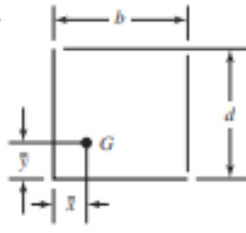
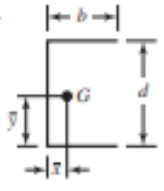
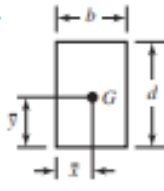

Continued

Weld	Throat Area	Location of G	Unit Second Moment of Area
8. 	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$
9. 	$A = 1.414\pi hr$		$I_u = \pi r^3$

* I_u , unit second moment of area, is taken about a horizontal axis through G, the centroid of the weld group, h is weld size; the plane of the bending couple is normal to the plane of the paper and parallel to the y -axis; all welds are of the same size.

Anexo 17. Propiedades a torsión de las soldaduras en filete [14].

Torsional Properties of Fillet Welds*

Weld	Throat Area	Location of G	Unit Second Polar Moment of Area
1. 	$A = 0.707 hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = d^3/12$
2. 	$A = 1.414 hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{d(3b^2 + d^2)}{6}$
3. 	$A = 0.707h(b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2(b + d)}$ $\bar{y} = \frac{d^2}{2(b + d)}$	$J_u = \frac{(b + d)^4 - 6b^2d^2}{12(b + d)}$
4. 	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d}$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b + d}$
5. 	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{(b + d)^3}{6}$
6. 	$A = 1.414 \pi hr$		$J_u = 2\pi r^3$

* G is centroid of weld group; h is weld size; plane of torque couple is in the plane of the paper; all welds are of unit width.

Anexo 18. Catálogo ENERPAC gatos de botella de acero industriales [34].

Gatos de botella de acero industriales

▼ En la foto: GBJ010A, GBJ030A, GBJ003A



Serie GBJ



Fuerza:
2 - 100 ton.

Carrera:
62 - 460 mm

- El bajo esfuerzo de bombeo disminuye la fatiga del operario
- Fácil mantenimiento
- Palanca e inyector de alta resistencia para una larga vida útil
- Palanca de bombeo incluida en todos los modelos
- Válvula de descarga de seguridad para evitar sobrecargas
- Orificio de derivación automática para evitar sobreextensión
- Rascador para mayor duración
- Base de material grueso de mayor superficie para mayor resistencia y estabilidad durante la elevación
- Asa de transporte en modelos de 20 a 50 toneladas.



Husillo de extensión

El husillo de extensión ajustable templado con silleta dentada (en algunos modelos GBJ) ayuda al ajuste e impide el deslizamiento.



Equipos de bomba y cilindro

Una alternativa a los gatos cuando el operador debe colocarse distanciado del punto de izado. Véase nuestra gama de juegos de bomba y cilindro.

Página: **62**

Fuerza del gato ton. (kN)	Carrera (mm)	Modelo	Adicional Tornillo Extensión (mm)	Altura retraído (mm)	Altura extendido (mm)	Diámetro del émbolo (mm)	Diámetro de la silleta (mm)	Dimensiones exteriores (long. x anch.) (mm)	kg
2 (19,6)	460	GBJ002LA	-	570	1030	29	-	127 x 127	10,0
3 (29,4)	105	GBJ003A	65	168	338	24	23,5	75 x 116	3,7
5 (49,0)	150	GBJ005A	75	212	437	29	28,5	75 x 125	4,5
8 (78,4)	150	GBJ008A	75	219	444	37	38,0	90 x 144	6,2
10 (98,0)	150	GBJ010A	75	219	444	37	38,0	90 x 144	6,4
10 (98,0)	62	GBJ010SA	30	131	223	37	38,0	90 x 144	5,0
15 (147,0)	150	GBJ015A	75	228	453	45	45,0	112 x 163	8,8
20 (196,0)	150	GBJ020A	75	234	459	51	61,0	120 x 172	10,6
20 (196,0)	105	GBJ020SA	55	190	350	51	61,0	120 x 172	9,5
30 (294,0)	150	GBJ030A	75	242	467	58	69,0	144 x 196	15,5
50 (490,0)	140	GBJ050A	-	260	400	80	80,0	165 x 214	27,0
100 (980,0)	150	GBJ100	-	300	450	110	94,0	296 x 333	87,0

Todos los gatos GBJ cumplen o exceden: ANSI, PALD y CE.

www.enerpac.com

▼ Los gatos de botella de Enerpac para trabajos pesados facilitan la elevación de cargas.



ENERPAC 67

Anexo 19. Catálogo de perfiles laminados platinas DIPAC [48].



PLATINAS

**PERFILES LAMINADOS
PLATINAS**

Especificaciones Generales

- Calidad:** ASTM A 36 - SAE 1008
- Otras calidades:** Previa Consulta
- Largo normal:** 6.00 m
- Otros largos:** Previa Consulta
- Acabado:** Natural
- Otro acabado:** Previa Consulta



DENOMINACION	DIMENSIONES		PESO		AREA
	mm		kg/m	kg/6m	cm2
	a	e			
PLT 12X3	12	3	0.28	1.70	0.36
PLT 12X4	12	4	0.38	2.45	0.48
PLT 12X6	12	6	0.57	3.40	0.72
PLT 19X3	19	3	0.45	2.68	0.57
PLT 19X4	19	4	0.60	3.58	0.76
PLT 19X6	19	6	0.89	5.37	1.15
PLT 25X3	25	3	0.59	3.53	0.75
PLT 25X4	25	4	0.79	4.71	1.00
PLT 25X3	25	6	1.18	7.07	1.50
PLT 25X12	30	3	0.71	4.24	0.90
PLT 30X4	30	4	0.94	5.65	1.20
PLT 30X6	30	6	1.41	8.47	1.80
PLT 30X9	30	9	2.12	12.71	2.70
PLT 30X12	30	12	2.83	16.95	3.60
PLT 38X3	38	3	0.89	5.37	1.15
PLT 38X4	38	4	1.19	7.16	1.52
PLT 38X6	38	6	1.79	11.40	2.28
PLT 38X9	38	9	2.89	18.11	3.42
PLT 38X12	38	12	3.58	21.48	4.56
PLT 50X3	50	3	1.18	7.08	1.50
PLT 50X4	50	4	1.58	9.42	2.00
PLT 50X6	50	6	2.26	14.16	3.00
PLT 50X9	50	9	3.53	21.20	4.50
PLT 50X12	50	12	4.71	28.26	6.00
PLT 65X6	65	6	3.06	18.37	3.90
PLT 65X9	65	9	4.59	27.55	5.85
PLT 65X12	65	12	6.12	36.73	7.80
PLT 75X6	75	6	3.53	21.20	4.50
PLT 75X9	75	9	5.30	31.80	6.75
PLT 75X8	75	8	7.07	28.26	9.00
PLT 75X12	75	12	7.07	42.39	9.00
PLT 100X6	100	6	4.71	28.26	6.00
PLT 100X8	100	8	7.07	37.68	9.00
PLT 100X9	100	9	7.07	43.00	9.00
PLT 100X12	100	12	9.42	58.00	12.00
PLT 120X12	120	12	67.82	67.82	14.40
PLT 150X15	150	15	105.88	105.88	22.50
PLT 150X20	150	20	145.44	145.00	30.00



Anexo 20. Catálogo de acero para maquinaria AISI 4340 BOHMAN [42].

ACERO MAQUINARIA

705=AISI 4340

Generalidades: 705 es un acero al molibdeno más cromo y níquel. El molibdeno tiene una solubilidad limitada y es un buen formador de carburos. Ejerce un fuerte efecto sobre la templabilidad y de manera semejante al cromo, aumenta la dureza y resistencia a alta temperatura de los aceros.

Menos susceptibles al fragilizado debido al revenido que los demás aceros aleados para maquinaria.

Al combinarse con níquel y cromo soporta altas exigencias de resistencia y tenacidad en secciones grandes.

Su contenido de níquel le da más templabilidad, lo mismo que la resistencia en caliente.

705 combina alta resistencia mecánica (la mayor del mercado) con buena tenacidad. Este acero en forma standard es suministrado bonificado, por lo que no se requería luego un tratamiento térmico, sin embargo, si se desea mejores propiedades, puede ser templado al aceite. Susceptible de temple por inducción y también puede someterse a tratamiento de nitrurado.

ANÁLISIS TÍPICO %

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	V
705	0.36	0.25	0.70	--	--	1.40	1.40	0.20
AISI 4340	0.35-0.40	0.20-0.35	0.60-0.80	0.04	0.04	1.65-2.00	0.70-0.90	0.20-0.30

APLICACIONES

1. Partes de gran resistencia para la industria automotriz, como:

- Ejes
- Cadenas
- Cigüeñales
- Ejes de leva
- Tornillería de alta resistencia

2. Partes para la construcción de maquinaria de trabajo pesado como:

- Árboles para trituradoras
- Ejes de transmisión de grandes dimensiones
- Engranajes de temple por llama, inducción o nitruración
- Barras de torsión
- Mandriles
- Portaherramientas

3. Aplicaciones donde se requiere resistencia a la fatiga, como:

- En la construcción de equipo pesado para camiones, aviones, equipo militar, etc.

TRATAMIENTOS TÉRMICOS

■ Temple:

(830-850 °C). Con enfriamiento en aceite. El mantenimiento del tiempo en minutos cuando la superficie ha alcanzado la temperatura de temple es 0.7x espesor o diámetro en milímetros. Interrumpir el enfriamiento a los 125°C y luego revenir inmediatamente.

EQUIVALENCIAS

AISI/SAE	4340
DIN	34CrNiMo6
W.Nr	1.6582
JIS	SNCM1
AFNOR	35NCD6

PROPIEDADES MECÁNICAS EN CONDICIÓN DE SUMINISTRO

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	90-110 KG/MM ²
Esfuerzo de cedencia	70 kg/mm ²
Elongación, A5	min 12%
Reducción de área, Z	min 45%
Resistencia al impacto, KU	aprox. 20 J
Dureza	270-330 HB

Síguenos en:    bohman_ec

www.bohman.com.ec

ACERO MAQUINARIA

705-AISI 4340

De acuerdo a DIN 17200 resp. SEW 550. Tolerancia DIN 1013 resp. DIN 7527 / 6

Nota: Estas propiedades se garantizan hasta Ø250 mm. Medidas mayores, favor consultarnos.

MEDIDAS EN STOCK

REDONDO

Diámetro (mm)	Peso (Kg/m)
16	1,6
20	2,5
22	3
25	3,9
28	4,8
30	5,5
32	6,3
35	7,6
38	8,9
40	9,9
42	10,9
45	12,5
50	15,4
55	18,7
60	22,2
65	26
70	30,2
75	34,7
80	39,5
85	44,5
90	49,9
95	55,6

REDONDO

Diámetro (mm)	Peso (Kg/m)
100	61,7
105	68
110	74,6
115	81,5
120	88,8
125	96,3
130	104,2
135	112,4
140	120,8
145	129,6
150	138,7
160	157,8
170	178,2
180	199,8
200	246,6
210	271,9
230	326,1
250	385,3
280	483,4
300	554,9
350	755,3



709-AISI 4140

Generalidades: Es un acero aleado para construcción de maquinaria, que posee una alta resistencia especialmente en medidas pequeñas y medianas. Como normal, el 709 es suministrado templado y revenido, por lo que no se requeriría un tratamiento térmico posterior, a no ser que así lo exija la aplicación y en ese caso, se templaría en aceite para obtener propiedades mecánicas más elevadas.

Es apropiado para templarse por flama e inducción y susceptible de nitrurar.

ANÁLISIS TÍPICO %

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
760	0.42	0.25	0.75	--	--	1.05	0.20
AISI 1045	0.38-0.43	0.15-0.35	0.75-1.00	< 0.35	< 0.04	0.8-1.10	0.15-0.25

Síguenos en:    bohman_ec

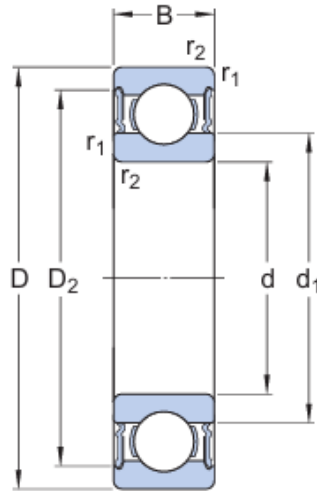
www.bohman.com.ec

Anexo 21. Especificaciones del rodamiento de bolas de una hilera SKF 61806-2RS1 [49].

16/5/25, 21:47

61806-2RS1 - Rodamientos rígidos de bolas | SKF

Especificación técnica



Dimensiones

d	30 mm	Diámetro del agujero
$t_{\Delta dmp}$	-0.008 - 0 mm	Deviation limits of mid-range bore diameter
D	42 mm	Diámetro exterior
$t_{\Delta Dmp}$	-0.009 - 0 mm	Deviation limits of mid-range outside diameter
B	7 mm	Ancho
$t_{\Delta Bs}$	-0.12 - 0 mm	Deviation limits of ring width
D ₂	≈ 39.4 mm	Diámetro del rebaje
r _{1,2}	min. 0.3 mm	Dimensión del chaflán
	P6	ISO tolerance class for dimensions

Descripción general

Dimensiones

Diámetro del agujero	30 mm
Diámetro exterior	42 mm
Ancho	7 mm

Rendimiento

Capacidad de carga dinámica básica	4.1 kN
Capacidad de carga estática básica	2.9 kN
Velocidad límite	9 500 r/min

Propiedades

Ranuras de llenado	Sin
Cantidad de hileras	1
Elemento de fijación, aro exterior del rodamiento	Ninguna
Tipo de agujero	Cilíndrico
Jaula	Chapa metálica
Disposición ajustada	No
Juego radial interno	CN
Material, rodamiento	Acero para rodamientos
Recubrimiento	Sin
Sellado	Rozante en ambos lados
Tipo de sellado	Sello
Lubricante	Grasa
Característica de relubricación	Sin

Logística

Peso neto del producto	0.022 kg
Código eClass	23-05-08-01
Código UNSPSC	31171504

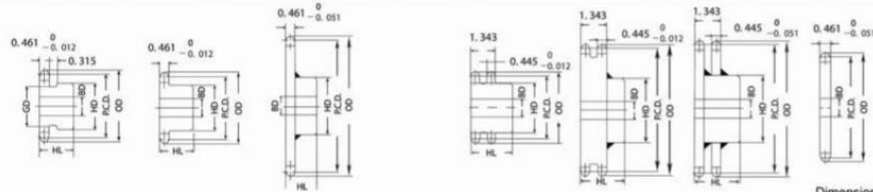
Anexo 22. Especificaciones de catarinas ANSI NK60 [50].

CATÁLOGO 2013



ENGRANAJES NK • NK SPROCKETS

NK 60 ANSI (ASA) STANDARD SPROCKETS



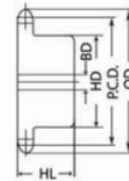
Dimensions: inch

No. of Teeth	Pitch Dia. (P.C.D.)	Out side Dia. (OD)	SINGLE B TYPE				DOUBLE B TYPE				SINGLE A TYPE			No. of Teeth	
			Bore (BD)		Hub		Approx. Weight (kg)	Materials	Bore (BD)		Hub		Approx. Weight (kg)		Materials
			Stock	Max.	HD	HL			Stock	Max.	HD	HL			
9	2.193	2.51	0.47	0.98	*1.693	1.260	0.40								9
10	2.427	2.76	0.59	1.18	*1.929	1.260	0.49		0.63	0.79	1.378	1.969	0.90		10
11	2.662	3.01	0.59	1.26	*2.008	1.260	0.60		0.63	0.98	1.732	1.969	1.00		11
12	2.898	3.25	0.59	1.26	2.008	1.260	0.69		0.63	1.18	1.969	1.969	1.20		12
13	3.134	3.49	0.59	1.38	2.244	1.260	0.81		0.71	1.50	2.362	1.969	1.40		13
14	3.371	3.74	0.87	1.57	2.441	1.260	0.98		0.71	1.77	2.598	2.205	1.80		14
15	3.607	3.98	0.87	1.77	2.677	1.260	1.10		0.71	1.89	2.835	2.205	2.10		15
16	3.844	4.22	0.67	1.89	2.874	1.260	1.30		0.71	2.01	3.071	2.205	2.50		16
17	4.082	4.46	0.67	1.89	2.874	1.260	1.40		0.71	2.17	3.228	2.205	2.60		17
18	4.319	4.70	0.67	2.17	3.268	1.575	2.00		0.71	2.36	3.543	2.205	3.20		18
19	4.557	4.95	0.67	2.17	3.268	1.575	2.10		0.71	2.48	3.701	2.205	3.70		19
20	4.794	5.19	0.67	2.17	3.268	1.575	2.20		0.91	2.60	3.937	2.205	4.20		20
21	5.032	5.43	0.67	2.17	3.268	1.575	2.30		0.91	2.60	3.937	2.205	4.40		21
22	5.270	5.67	0.67	2.17	3.268	1.575	2.50		0.91	2.60	3.937	2.205	4.90		22
23	5.507	5.91	0.67	2.17	3.268	1.575	2.50		0.91	2.60	3.937	2.205	4.70		23
24	5.746	6.15	0.67	2.17	3.268	1.575	2.60		0.91	3.50	4.724	2.205	6.00		24
25	5.984	6.39	0.67	2.17	3.268	1.575	2.70		0.91	3.50	4.724	2.205	6.40		25
26	6.222	6.63	0.67	2.17	3.268	1.575	2.90		0.91	3.50	4.724	2.205	6.80		26
27	6.460	6.85	0.83	2.17	3.268	1.575	3.00		0.91	3.50	4.724	2.205	7.30		27
28	6.698	7.11	0.83	2.17	3.268	1.575	3.10		0.91	3.50	4.724	2.205	7.80		28
29	6.937	7.32	0.83	2.17	3.268	1.575	3.30		1.10	3.74	5.118	2.205	9.00		29
30	7.175	7.59	0.83	2.17	3.268	1.575	3.40		1.10	3.74	5.118	2.205	9.00		30
31	7.413	7.80	0.83	2.17	3.268	1.575	3.64		1.10	3.74	5.000	2.205	9.50		31
32	7.652	8.07	0.83	2.17	3.268	1.575	3.80		1.10	3.74	5.000	2.205	11.00		32
33	7.898	8.27	0.83	2.17	3.268	1.575	4.00		1.10	2.60	3.858	2.205	8.50		33
34	8.128	8.50	0.83	2.17	3.268	1.575	4.15		1.10	2.60	3.858	2.205	9.00		34
35	8.367	8.78	0.83	2.17	3.268	1.575	4.33		1.10	2.60	3.858	2.205	9.70		35
36	8.605	9.02	0.83	2.17	3.268	1.575	4.52		1.10	2.60	3.858	2.205	9.00		36
37	8.844	9.25	0.83	2.17	3.268	1.575	4.70		1.10	2.60	3.858	2.205	9.00		37
38	9.082	9.49	0.83	2.17	3.268	1.575	4.90		1.10	2.60	3.858	2.205	9.00		38
39	9.320	9.72	0.83	2.17	3.268	1.575	5.10		1.10	2.60	3.858	2.205	9.70		39
40	9.559	9.98	0.83	2.17	3.268	1.575	5.30		1.10	2.60	3.858	2.205	9.70		40
41	9.798	10.24	0.91	2.48	3.661	1.772	6.00		1.10	2.95	4.213	2.205	11.00		41
42	10.036	10.46	0.91	2.48	3.661	1.772	6.40		1.10	2.95	4.213	2.205	11.00		42
43	10.275	10.71	0.91	2.48	3.661	1.772	6.60		1.10	2.95	4.213	2.795	12.80		43
44	10.513	10.94	0.91	2.48	3.661	1.772	6.88		1.10	2.95	4.213	2.795	14.00		44
45	10.752	11.18	0.91	2.48	3.661	1.772	7.10		1.10	2.95	4.213	2.795	16.00		45
48	11.467	11.89	0.91	2.48	3.661	1.772	7.85		1.10	2.95	4.213	2.795	18.00		48
50	11.944	12.36	0.91	2.48	3.661	1.772	8.40		1.10	2.95	4.213	2.795	21.50		50
54	12.899	13.33	0.91	2.48	3.661	1.772	9.50		1.10	2.95	4.213	2.795	24.00		54
60	14.330	14.76	0.91	2.48	3.661	1.772	11.30		1.10	2.95	4.213	2.795	21.50		60
65	15.524	15.94	1.02	2.95	4.213	1.772	13.50		1.10	2.95	4.213	2.795	24.00		65
70	16.717	17.15	1.02	2.95	4.213	1.772	15.30		1.10	2.95	4.213	2.795	30.00		70
72	17.194	17.63	1.02	2.95	4.213	1.772	16.00		1.10	2.95	4.213	2.795	18.00		72
75	17.990	18.35	1.02	2.95	4.213	1.772	17.20		1.10	2.95	4.213	2.795	16.00		75
80	19.105	19.54	1.18	3.15	4.606	1.969	20.00		1.10	2.95	4.213	2.795	18.00		80
84	20.058	20.49	1.18	3.15	4.606	1.969	21.90		1.10	2.95	4.213	2.795	24.00		84
85	20.297	20.75	1.18	3.15	4.606	1.969	22.30		1.10	2.95	4.213	2.795	21.50		85
90	21.490	21.93	1.18	3.15	4.606	1.969	24.60		1.10	2.95	4.213	2.795	24.00		90
92	21.968	22.40	1.18	3.15	4.606	1.969	25.60		1.10	2.95	4.213	2.795	21.50		92
95	22.268	23.17	1.18	3.15	4.606	1.969	27.10		1.10	2.95	4.213	2.795	24.00		95
96	22.922	23.36	1.18	3.15	4.606	1.969	26.70		1.10	2.95	4.213	2.795	24.00		96

- The maximum bore dia. shows the general application and please decide your bore dia. by the normal designing of industrial machines. Please also check the face pressure of keyway.
- Sprockets (B-type only) in color shaded show "with hardened teeth."
- Bore, keyways and setscrews will be machined upon request.
- Sprockets shown with an asterisk (*) have a recessed groove in hub for chain clearance. Groove dimensions (GD) are 9T=0.63, 10T=1.46, *
- Also available are sprockets other than those shown above.

ENGRANAJES TIPO K • K SPROCKETS

KANA K Sprockets are mass-produced in conformance with ANSI (ASA) Standards. The result is uniform products of high precision that provide reliable service for long periods of time. Sprockets with numbers of teeth shown below are also available in the NK-Series (see p.15 to p.24). To avoid confusion, when ordering the KANA K sprocket, be sure to specify "K sprocket B type".



Material: SAE 1040

Dimensions: mm

No. of Teeth	K35					K40					K50					K60				
	Bore (BD)		Hub		Approx. Weight (kg)	Bore (BD)		Hub		Approx. Weight (kg)	Bore (BD)		Hub		Approx. Weight (kg)	Bore (BD)		Hub		Approx. Weight (kg)
	Stock	Max.	HD	HL		Stock	Max.	HD	HL		Stock	Max.	HD	HL		Stock	Max.	HD	HL	
10	9.5	10	20	20	0.06	10	15	28	25	0.20	11	22	35	25	0.25	15	22	39	40	0.60
11	9.5	10	20	20	0.08	11	18	30	25	0.20	15	22	37	25	0.30	15	27	45	40	0.70
12	9.5	15	27	20	0.09	11	22	34	25	0.25	15	26	43	25	0.40	15	31	51	40	0.80
13	9.5	15	27	20	0.10	15	24	38	25	0.25	15	30	48	30	0.50	15	35	56	40	0.90
14	9.5	17	32	20	0.14	15	26	42	25	0.30	15	33	53	30	0.60	17	35	56	40	1.00
15	9.5	18	34	20	0.16	15	28	46	25	0.35	15	37	58	30	0.70	17	35	56	40	1.10
16	9.5	24	37	20	0.19	15	30	50	25	0.40	15	41	63	30	0.80	17	35	56	40	1.20
17	12	24	40	20	0.22	15	32	54	30	0.55	15	40	65	40	0.95	17	45	70	40	1.60
18	12	24	43	20	0.24	15	32	54	30	0.60	15	40	65	40	1.20	17	45	70	40	1.90
19	12	28	46	20	0.28	15	32	54	30	0.65	15	40	66	40	1.30	17	45	70	40	2.10
20	12	30	49	20	0.32	15	32	56	40	0.75	15	45	70	45	1.60	17	50	80	45	2.40
21	12	32	50	20	0.35	15	32	56	40	0.80	15	45	70	45	1.75	17	50	80	45	2.50
22	12	32	56	20	0.40	15	32	56	40	0.90	17	45	70	45	1.80	17	50	80	45	2.60
23	12	38	60	20	0.57	15	32	56	40	1.00	17	45	70	45	1.85	17	50	80	45	2.80
24	12	38	60	25	0.59	15	32	56	40	1.10	17	45	70	45	1.90	17	50	80	45	3.00
25	12	38	60	25	0.60	15	32	56	40	1.15	17	45	70	45	2.00	17	50	80	45	3.20
26	12	38	60	25	0.60	15	32	56	40	1.20	17	45	70	45	2.10	17	50	80	45	3.30
27	12	38	60	25	0.60	15	40	65	40	1.25	17	45	70	45	2.20	17	50	80	45	3.50
28	12	38	60	25	0.62	15	40	65	40	1.30	17	45	70	45	2.35	17	55	85	50	3.50
29	12	38	60	25	0.63	15	40	65	40	1.40	17	45	70	45	2.50	17	55	85	50	3.60
30	12	38	60	25	0.65	15	40	65	40	1.50	17	45	70	45	2.60	22	55	85	50	4.00
31	12	38	60	25	0.65	15	40	65	40	1.70	17	45	70	45	2.70					
32	12	38	60	25	0.65	15	40	65	40	1.70	17	45	70	45	2.90					
33	12	38	60	25	0.68	15	40	65	40	1.75	17	45	70	45	2.95					
34	12	38	60	25	0.70	15	40	65	40	1.75	17	45	70	45	3.00					
35	12	38	60	25	0.73	15	40	65	40	1.75	17	45	70	45	3.10					
36	13	38	55	35	0.89	18	45	68	35	1.80										
37	13	38	55	35	0.91	18	45	68	35	1.85										
38	13	38	55	35	0.93	18	45	68	35	1.90										
39	13	38	55	35	0.95	18	45	68	35	1.96										
40	13	32	55	35	0.97	18	45	68	35	2.03										

No. of Teeth	K80					K100					K120					K140				
	Bore (BD)		Hub		Approx. Weight (kg)	Bore (BD)		Hub		Approx. Weight (kg)	Bore (BD)		Hub		Approx. Weight (kg)	Bore (BD)		Hub		Approx. Weight (kg)
	Stock	Max.	HD	HL		Stock	Max.	HD	HL		Stock	Max.	HD	HL		Stock	Max.	HD	HL	
10	18	35	55	50	1.50	22	40	65	70	1.60	26	50	80	70	2.80	26	65	100	70	5.50
11	18	38	60	50	1.70	22	50	76	70	3.00	26	60	90	70	4.00	26	65	100	70	6.50
12	18	46	69	50	1.90	22	55	86	70	3.80	26	65	100	70	5.80	26	70	105	70	7.00
13	18	48	77	50	2.10	22	65	96	70	4.40	26	70	105	70	6.30	26	70	105	70	8.00
14	18	50	80	50	2.40	22	65	100	70	5.60	26	70	105	70	6.80	26	75	115	80	10.60
15	22	50	80	50	2.60	22	65	100	70	6.00	26	70	105	70	7.50	26	75	115	80	10.70
16	22	50	80	50	3.00	22	65	100	70	6.50	26	75	115	80	10.50	26	80	120	80	11.90
17	22	60	90	50	3.30	22	70	105	80	7.60	26	75	115	80	10.60	26	80	120	80	14.50
18	22	60	90	50	3.50	22	70	105	80	7.90	26	80	120	80	11.00	26	80	120	80	15.00
19	22	60	90	50	3.70	22	70	105	80	8.30	26	80	120	80	11.50	26	85	130	85	16.50
20	22	60	90	50	4.30	22	70	105	80	8.60	26	80	120	80	11.90	26	85	130	85	17.50
21	22	60	90	50	4.40	22	70	105	80	8.90	26	80	120	80	12.30	26	85	130	85	18.50

- Sprockets in color shaded show "with hardened teeth".
- Bore, keyways and setscrews will be machined upon request.
- Sprockets with a great number of teeth that are not shown above refer to NK-Series

Anexo 23. Especificaciones de cadena simples ANSI NK60 [50].

CADENAS ESTANDAR DE RODILLOS • STANDARD ROLLER CHAINS ANSI B29. 1-1975

Dimensions in Inches and Pounds.

ANSI Chain Number	Chain Pitch P	Inner Width W	Roller Dia. D	d	L1	L2	Link Plate Thickness T	C	Approx. Weight (lbs./ft)	Tensile Strength Ave.(lbs.)	ANSI Chain Number
50-4	5/8	3/8	.400	.200	2.97	3.03	.080	.713	2.640	26400	50-4
50-5	5/8	3/8	.400	.200	3.69	3.75	.080	.713	3.300	33000	50-5
60	3/4	1/2	.469	.234	1.04	1.11	.094	...	.990	8500	60
60-2	3/4	1/2	.469	.234	1.94	2.01	.094	.897	1.950	17000	60-2
60-3	3/4	1/2	.469	.234	2.84	2.91	.094	.897	2.880	25500	60-3
60-4	3/4	1/2	.469	.234	3.74	3.81	.094	.897	3.900	34000	60-4
60-5	3/4	1/2	.469	.234	4.64	4.71	.094	.897	4.970	42500	60-5
60-6	3/4	1/2	.469	.234	5.53	5.50	.094	.897	5.960	51000	60-6
80	1	5/8	.625	.312	1.32	1.44	.125	...	1.73	14500	80
80-2	1	5/8	.625	.312	2.47	2.59	.125	1.153	3.37	29000	80-2
80-3	1	5/8	.625	.312	3.62	3.74	.125	1.153	5.02	43500	80-3
80-4	1	5/8	.625	.312	4.79	4.90	.125	1.153	6.73	58000	80-4
80-5	1	5/8	.625	.312	5.94	6.06	.125	1.153	8.40	72500	80-5
80-6	1	5/8	.625	.312	7.10	7.22	.125	1.153	10.07	87000	80-6
100	1 1/4	3/4	.750	.375	1.61	1.73	.156	...	2.51	24000	100
100-2	1 1/4	3/4	.750	.375	3.02	3.14	.156	1.408	4.91	48000	100-2
100-3	1 1/4	3/4	.750	.375	4.43	4.56	.156	1.408	7.40	72000	100-3
100-4	1 1/4	3/4	.750	.375	5.84	5.97	.156	1.408	9.80	96000	100-4
100-5	1 1/4	3/4	.750	.375	7.25	7.38	.156	1.408	12.20	120000	100-5
100-6	1 1/4	3/4	.750	.375	8.66	8.78	.156	1.408	14.60	144000	100-6
120	1 1/2	1	.875	.437	2.00	2.14	.187	...	3.69	34000	120
120-2	1 1/2	1	.875	.437	3.79	3.93	.187	1.789	7.35	68000	120-2
120-3	1 1/2	1	.875	.437	5.58	5.72	.187	1.789	11.10	102000	120-3
120-4	1 1/2	1	.875	.437	7.38	7.52	.187	1.789	14.70	136000	120-4
120-5	1 1/2	1	.875	.437	9.17	9.31	.187	1.789	18.43	170000	120-5
120-6	1 1/2	1	.875	.437	10.96	11.10	.187	1.789	22.11	204000	120-6

1. *Chains are rollerless - dimension shown is bushing diameter. Offset link of #25 is two pitch type.

Anexo 24. Especificaciones de rodillos HP [51].

CATEGORÍA
Rodillos

HP Núcleo de **hierro fundido color gris**
Banda de **poliuretano (vulcanizado) color ocre**

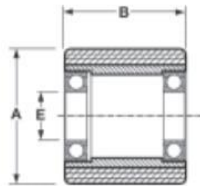
Ø
70 a 120 mm.

300 a 1.000 Kg.

Ejemplo de rodillo:



16-41/48
082x070 HPB



PARTICULARIDADES:

- Banda de poliuretano vulcanizado sobre un núcleo de hierro fundido.
- Banda de rodadura dura (94 ±2° SHORE A).
- Normalmente se montan sobre un eje de acero rectificando (tolerancia H7), permiten su montaje en soportes adecuados.

APLICACIONES:

- Recambios de transpaletas.
- Industriales de cualquier tipo.

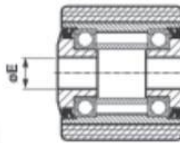
PROPIEDADES Y PRECAUCIONES:

- Las indicadas para las ruedas de poliuretano vulcanizado (ver pág. 31).

TRANSPALETAS

Código	Referencia	A	B	E	Tipo de cojinete	Kg	Montar en soporte categoría
16-41/10	070 x 056 HPB	70	56	20,0	III	400	-
16-41/15	070 x 070 HPB	70	70	20,0	III	475	-
16-41/20	075 x 040 HPB	75	40	20,0	III	320	-
16-41/22	075 x 062 HPB	75	62	20,0	III	470	-
16-41/24	075 x 076 HPB	75	76	20,0	III	575	-
16-41/26	075 x 095 HPB	75	95	20,0	III	720	-
16-41/30	080 x 054 HPB	80	54	20,0	III	500	-
16-41/32	080 x 060 HPB	80	60	20,0	III	550	-
16-41/34	080 x 070 HPB	80	70	20,0	III	650	6
16-41/36	080 x 080 HPB	80	80	20,0	III	750	-
16-41/40	082 x 028 HPB	82	28	12,0	III	300	-
16-41/42	082 x 060 HPB	82	60	20,0	III	600	-
16-41/44	082 x 062 HPB	82	62	20,0	III	600	-
16-41/46	082 x 065 HPB	82	65	20,0	III	600	-
16-41/48	082 x 070 HPB	82	70	20,0	III	700	-
16-41/50	082 x 078 HPB	82	78	20,0	III	725	-
16-41/52	082 x 100 HPB	82	100	20,0	III	1.000	-
16-41/60	085 X 054 HPB	85	54	20,0	III	550	-
16-41/62	085 X 060 HPB	85	60	20,0	III	600	-
16-41/64	085 x 062 HPB	85	62	20,0	III	610	-
16-41/66	085 x 070 HPB	85	70	20,0	III	700	-
16-41/68	085 x 075 HPB	85	75	20,0	III	725	6
16-41/70	085 x 080 HPB	85	80	20,0	III	750	-
16-41/72	085 x 085 HPB	85	85	20,0	III	800	-
16-41/74	085 x 090 HPB	85	90	20,0	III	900	-
16-41/76	085 x 100 HPB	85	100	20,0	III	1.000	-
16-41/80	100 x 040 HPB	100	40	20,0	III	500	-
16-41/82	100 x 050 HPB	100	50	20,0	III	600	-
16-41/84	100 x 075 HPB	100	75	20,0	III	750	-
16-41/90	110 x 050 HPB	110	50	20,0	III	700	-
16-41/95	120 x 050 HPB	120	50	25,0	III	800	-

ET - Sistemas de estanqueidad



PARTICULARIDADES:

- Sistema de estanqueidad para proteger a los cojinetes de la suciedad y el agua.
- Acoplable a los rodillos de diámetro 85mm.
- Añadir el sufijo : (ET y o del eje) a la referencia o al código del rodillo.
- Ejemplo: 085x075 HPB+ET20 o bien 16-41/68+ET20.

ATENCIÓN
Cuando se instala el sistema ET el ancho del rodillo aumenta 5 mm.

Código	Referencia	E
16-41/97	ET12	12
16-41/98	ET17	17
16-41/99	ET20	20

Anexo 25. Especificaciones de garruchas industriales rotantes modelo F [51].

Ø
75 a
125 mm.

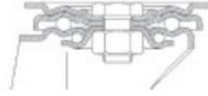
F Rotantes modelo F

CATEGORÍA
4
150 a
250 Kg.

SOPORTES:

F: SOPORTES MODELO F

- Horquilla provista de tornillo y tuerca autoblocante (8.8):
DIN-933 M8x60mm.
- Casquillo $\varnothing 12 \times 8,25 \times 46$ mm.
- Acabado de los soportes: Zincado plateado.



FPG

FG: SOPORTES MODELO F - GIRATORIOS G

- Sujeción de los soportes por pletina (FPG).
- Soporte y pletina de acero (estampado) de 2,5mm. de espesor.
- Doble hilera de bolas (de acero al cromo) protegidas por cazoleas envolventes.
- Robusto pivote central (roscado y punzonado) de acero con sistema anti giro.



FPG

FF: SOPORTES MODELO F - FIJOS F

- Sujeción de los soportes por pletina (FPF).
- Soporte de acero (estampado) de 2mm. de espesor.



FPF

SISTEMAS DE BLOCAJE:

FPG-FD: SOPORTES MODELO FPG - FRENO DOBLE FD:

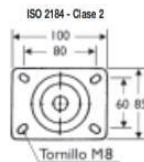
- Blocaje simultáneo del giro de la rueda y del soporte.
- Disponible en todos los rotantes giratorios: añadir FD a la referencia o al código numérico del rotante correspondiente.



FPG-FD

COTAS (mm.):

A	G ₁	G ₂	H
75	76	120	111
80	78	120	113
100	92	120	133
125	106	120	158



1
2
3
4
5

CATEGORÍA

4

150 a
250 Kg.

F Rotantes modelo F




Ø
75 a
125 mm.

RUEDAS QUE SE MONTAN:

AC - Aluminio - caucho: Ver página 19

					
Rotante modelo FPG		Ruedas (mm.):		Rotante modelo FPF	
Código	Referencia	A	B	Coj.	Kg
34-724/4	FPG4 100 ACB4	100	40	III	180
Código	Referencia			Código	Referencia
34-725/4	FPF4 100 ACB4			34-725/4	FPF4 100 ACB4


TL - Termonyl: Ver página 24

					
Rotante modelo FPG		Ruedas (mm.):		Rotante modelo FPF	
Código	Referencia	A	B	Coj.	Kg
34-726	FPG4 100 TLL4	100	40	III	200
34-748	FPG4 125 TLL4	125	40	III	250
Código	Referencia			Código	Referencia
34-727	FPF4 100 TLL4			34-727	FPF4 100 TLL4
34-749	FPF4 125 TLL4			34-749	FPF4 125 TLL4




TX - Termotex: Ver página 24

					
Rotante modelo FPG		Ruedas (mm.):		Rotante modelo FPF	
Código	Referencia	A	B	Coj.	Kg
34-712	FPG4 080 TXT4	80	35	III	150
34-728	FPG4 100 TXT4	100	35	III	180
34-728/2	FPG4 100 TXB4	100	35	III	180
34-750	FPG4 125 XTS4	125	40	III	250
Código	Referencia			Código	Referencia
34-713	FPF4 080 TXT4			34-713	FPF4 080 TXT4
34-729	FPF4 100 TXT4			34-729	FPF4 100 TXT4
34-729/2	FPF4 100 TXB4			34-729/2	FPF4 100 TXB4
34-751	FPF4 125 XTS4			34-751	FPF4 125 XTS4

TT - Termofort: Ver página 25

					
Rotante modelo FPG		Ruedas (mm.):		Rotante modelo FPF	
Código	Referencia	A	B	Coj.	Kg
34-728/3	FPG4 100 TTT4	100	35	III	180
Código	Referencia			Código	Referencia
34-729/3	FPF4 100 TTT4			34-729/3	FPF4 100 TTT4

NY - Nylon: Ver página 27

					
Rotante modelo FPG		Ruedas (mm.):		Rotante modelo FPF	
Código	Referencia	A	B	Coj.	Kg
34-714	FPG4 080 NYL5	80	38	III	185
34-730	FPG4 100 NYL5	100	35	III	225
34-732	FPG4 100 NYR5	100	35	III	225
34-752	FPG4 125 NYL5	125	37	III	250
34-754	FPG4 125 NYR5	125	37	III	250
Código	Referencia			Código	Referencia
34-715	FPF4 080 NYL5			34-715	FPF4 080 NYL5
34-731	FPF4 100 NYL5			34-731	FPF4 100 NYL5
34-733	FPF4 100 NYR5			34-733	FPF4 100 NYR5
34-753	FPF4 125 NYL5			34-753	FPF4 125 NYL5
34-755	FPF4 125 NYR5			34-755	FPF4 125 NYR5

PLACAS ANTI-HILOS: Obtenibles en ruedas NY: añadir AH a la referencia o al código numérico del rotante correspondiente.