



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO DE UNA COMPACTADORA MANUAL DE BAJO COSTO Y PESO
PARA LA ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE PUDAHUEL**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

ESTEBAN ISRAEL MARTÍNEZ MOLINA

PROFESOR GUÍA:
Alejandro Font Filax

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
Rubén Fernández Urrutia
Henry Valenzuela Contreras

SANTIAGO DE CHILE
2022

DISEÑO DE UNA COMPACTADORA MANUAL DE BAJO COSTO Y PESO PARA LA ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE PUDAHUEL

Este trabajo se enfoca en el diseño de una máquina compactadora manual, para implementar la gestión de cartones considerados como residuos en las dependencias municipales de la comuna de Pudahuel. Se recorrió el terreno para proponer un proceso productivo que considera posibles puntos de acopio y operación del equipo. Luego, se entregó información sobre los distintos tipos de cartón corrugado, para después establecer los parámetros y la disposición que debe tener el material para realizar la compresión. El análisis considera la cantidad de aire y el espacio entre cartones, como los aspectos importantes, ya que son las variables que influyen en el gran volumen que utiliza el material. Así como también, se realizaron pruebas de compresión a muestras de 3 tamaños diferentes, averiguando el esfuerzo necesario para colapsar la onda que compone el cartón corrugado.

Se establecieron los parámetros y metodología, para luego comenzar con el proceso de diseño. Se eligió, en primer lugar, el sistema de fuerza según capacidad, montaje, mantenimiento, gestión de compra y operación adecuada para el servicio en cuestión. En segundo lugar, se orientó la estructura de forma vertical, por razones de seguridad y operación. Luego, se mostraron las medidas y formas que conforman la cámara y ambos frentes de compactación. Además, se mencionan los materiales utilizados, correspondientes a perfiles de acero estructural, de sección cuadrada o rectangular. Se propuso la forma del equipo, asignando parámetros a las dimensiones de los elementos según alto, ancho, espesor y largo. Se describió la configuración, asignando relaciones de diseño entre las medidas de los elementos, para luego dimensionar cada uno bajo un estudio analítico. Se realizó el desarrollo utilizando fórmulas relacionadas al esfuerzo por flexión y los momentos de inercia para encontrar dimensiones adecuadas, según los parámetros de diseño. Se trabajó con resultados acordes a factores de seguridad ligados al esfuerzo por fluencia del material en cuestión, y a la relación de Soderberg para los límites de resistencia a la fatiga, según cada caso. Además, se modeló el diseño en 3D, para luego realizar dos estudios de tensión estática, uno para la estructura y el otro para el frente de compresión móvil, utilizando Fusion 360.

Se obtuvo el esfuerzo promedio $9,18 \frac{N}{cm^2}$ necesario para colapsar las ondas del cartón corrugado. Con ello, se seleccionó como sistema de fuerza la gata agrícola Hi-Lift de $3tonf$, lo que permitió establecer las medidas del frente de compactación móvil en $500x600mm$, con una altura de $1000mm$, permitiendo recibir fardos de $25Kg$ de material. Se obtuvo un equipo cuyo peso es de $72Kg$, y un costo de fabricación igual a $\$905.911$ incluyendo materiales, herramientas y mano de obra.

Se logra diseñar un equipo para comprimir cartones de bajo costo y peso (relativo) hasta la etapa de planos. El equipo busca reducir a la mitad el volumen de un fardo de cartones, amontonados de forma plana uno encima del otro. Se proyecta seguir estudiando el diseño del equipo, evaluando la adición de rigidizadores, ruedas para otorgar movilidad, y paredes en la cámara de compactación para contener el material. Se buscará también modificar el ensamblaje del mecanismo de fuerza para poder desmontarlo de la estructura.

Tarea para la casa: Aprender a vivir en una contradicción sin conflicto.

Todo se lo lleva la impermanencia, menos a la consciencia.

Como arriba es abajo, y viceversa.

Lo mejor de los errores de uno mismo, es la alegría que provocan en los demás.

Me disculpo si no fui lo que supuestamente era lo mejor para mi.

Alguien

Agradecimientos

A toda mi gran familia, y a las personas que siguen compartiendo conmigo.

También a los gatos y perros que se han cruzado en mi camino.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Preámbulo	1
1.1.1. Motivación	1
1.1.2. Propuesta: diseño de compactadora manual	3
1.1.3. Alcances	4
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivo general	4
1.2.2. Objetivos específicos	4
1.3. Antecedentes	5
1.3.1. Tipos de cartón para la fabricación de empaques	5
1.3.1.1. Cartoncillo plegadizo	6
1.3.1.2. Cajas Kraft o cartón corrugado	6
2. Estrategia de Trabajo	10
2.1. Metodología	10
2.1.1. Proceso productivo	11
2.1.2. Caracterización del lugar	12
3. Conceptualización	17
3.1. Representación, resultados y parámetros de diseño	17
3.1.1. Conceptualización y parámetros de cajas	17
3.1.2. Pruebas de compactación	26
3.1.2.1. Metodología de compresión	27
3.1.2.2. Montaje experimental	28
3.1.2.3. Resultados de pruebas de compactación	29
3.1.3. Sistemas de compresión	32
3.1.3.1. Caracterización de partes	32
3.1.4. Parámetros de diseño	35
3.1.4.1. Metodología de diseño	35
4. Trabajo propuesto	37
4.1. Proceso de diseño	37
4.1.1. Sistema de fuerza	37
4.1.2. Orientación de estructura	40
4.1.3. Estructura y cámara de compactación	40
4.1.4. Frente de compactación móvil, fijo y espacio de amarre	42
4.1.5. Materiales	43
4.1.6. Forma y parametrización de estructura	44

4.2.	Dimensionamiento	46
4.2.1.	Pórtico: elementos (i) y (ii)	46
4.2.1.1.	(i)Travesaño Superior	47
4.2.2.	Base: elementos (iii) y (iv)	56
4.2.3.	Frente de compactación fijo: elemento (v)	56
4.2.3.1.	(v)Diente Inferior	56
4.2.4.	Frente de compactación superior: elementos (vi) y (vii)	59
4.2.4.1.	(vi)Travesaño móvil	60
4.2.4.2.	(vii)Diente Superior	63
4.2.5.	Asignación de perfiles	65
4.2.6.	Análisis de elementos finitos	66
4.2.7.	Ensamblaje	80
4.2.8.	Embalaje	94
4.2.9.	Pintura	95
4.2.10.	Análisis de costos	96
4.2.11.	Proyecciones de diseño	99
5.	Conclusiones	100
	Bibliografía	101
	Anexos	104
A.	Resultados pruebas de compresión	104
B.	Planos	114
C.	Manual Hi-lift	124

Índice de Tablas

3.1.	Altura teórica de un lote de 12, 5Kg para cartones apilados uno encima del otro, cuyas medidas corresponden a las muestras obtenidas en la Municipalidad . . .	22
3.2.	Medidas obtenidas desde 5 apilamientos, con cajas de onda tipo C, uno encima del otro, de tamaños aleatorios.	25
3.3.	Resultados y análisis de curva correspondiente a la muestra 1	30
3.4.	Resumen de esfuerzos necesarios para colapsar las ondas según el tamaño del cartón, obtenidos en cada prueba de compresión.	31
3.5.	Fuerza necesaria para colapsar las ondas para diferentes tamaños de cajas según esfuerzo correspondiente	31
3.6.	Características de enfiadora E-300 [13]	35
4.1.	Evaluación de tipos de sistemas de fuerza	39
4.2.	Alturas medidas y promediadas desde fardos de 25 Kg.	41
4.3.	Parametrización de estructura, dimensiones en mm	46
4.4.	Esfuerzos internos del elemento (v) <i>Diente Inferior</i>	58
4.5.	Esfuerzos internos del elemento (vi) <i>Travesaño móvil</i>	61
4.6.	Esfuerzos internos del elemento (vii) <i>Diente Superior</i>	64
4.7.	Parámetros calculados, dimensiones en mm	65
4.8.	Segunda asignación de perfiles	66
4.9.	Asignación final de perfiles	80
4.10.	Costo de materiales que constituyen los elementos de la máquina necesarios para construir el equipo	96
4.11.	Costos de sistema de embalaje	97
4.12.	Costos de inversión en equipamiento	97
4.13.	Suma de costos necesarios para construir y operar la máquina	99
A.1.	Resultados y análisis de curva correspondiente a la muestra 1	105
A.2.	Resultados y análisis de curva correspondiente a la muestra 2	106
A.3.	Resultados y análisis de curva correspondiente a la muestra 3	107
A.4.	Resultados y análisis de curva correspondiente a la muestra 4	108
A.5.	Resultados y análisis de curva correspondiente a la muestra 5	109
A.6.	Resultados y análisis de curva correspondiente a la muestra 6	110
A.7.	Resultados y análisis de curva correspondiente a la muestra 7	111
A.8.	Resultados y análisis de curva correspondiente a la muestra 8	112
A.9.	Resultados y análisis de curva correspondiente a la muestra 9	113
A.10.	Resultados y análisis de curva correspondiente a la muestra 10	114

Índice de Ilustraciones

1.1.	Ingreso promedio por educación y sexo [1]	2
1.2.	Escolaridad de recicladores de base [1]	2
1.3.	Horas de trabajo semanal [1]	3
1.4.	Procesos para la obtención de celulosa, a la izquierda para el Sulfato y derecha TMP[2]	5
1.5.	Componentes del cartón corrugado [3]	6
1.6.	Tipos de onda del cartón corrugado [3]	7
1.7.	Cartón corrugado monotapa [3]	8
1.8.	Cartón corrugado doble [3]	8
1.9.	Cartón corrugado triple [3]	8
1.10.	Cartón corrugado doble [3]	9
2.1.1.	Propuesta de diseño [Elaboración propia]	10
2.1.2.	Diagrama de flujo del cartón al interior de Municipalidad [Elaboración propia].	12
2.1.3.	Imagen del terreno Municipal de Pudahuel[Elaboración propia].	13
2.1.4.	Bodega de alimentos municipal [Elaboración propia]	13
2.1.5.	Espacio disponible para instalar punto verde [Elaboración propia]	14
2.1.6.	Punto verde perteneciente a la Municipalidad de Pudahuel, ubicado en parque Amengual [Elaboración propia]	15
2.1.7.	Bodega de elementos varios, presente en las cercanías del anfiteatro [Elaboración propia]	15
2.1.8.	Bodega para reciclaje, sin continuación de uso [Elaboración propia]	16
3.1.1.	Muestra de cartón de onda C presente en la farmacia [Elaboración propia]	17
3.1.2.	Medidas de cartón onda C [5]	18
3.1.3.	Instrucciones para el deposito de cartón en punto verde [Elaboración propia]	19
3.1.4.	Ilustración de caja cerrada y abierta[3]	19
3.1.5.	Caja estirada, donde H :Altura, L :Largo, A :Ancho y a :largo de aleta. [3]	20
3.1.6.	Caja desarmada, quedando una configuración de dos cartones [Elaboración propia]	20
3.1.7.	Medición de cajas pequeñas, desde farmacia [Elaboración propia]	21
3.1.8.	Medición de cajas medianas, desde bodega [Elaboración propia]	21
3.1.9.	Medición de cajas grandes, desde farmacia [Elaboración propia]	21
3.1.10.	Ilustraciones de formas adoptadas por lotes armados ordenadamente[Elaboración propia]	23
3.1.11.	Ilustración comparativa para apilamiento de igual y diferente tamaño de cartones, suponiendo igualdad de masa[Elaboración propia]	24
3.1.12.	Colapso de onda[5]	26
3.1.13.	Máquina utilizada para las pruebas de compresión perteneciente al departamento de ingeniería mecánica [Elaboración propia]	28

3.1.14. Montaje experimental, a la izquierda es cuando inicia y la imagen derecha cuando finaliza [Elaboración propia]	29
3.1.15. Curva correspondiente a la muestra 1, donde se anotan las fuerzas que colapsan las ondas [Elaboración propia]	29
3.1.16. Secuencia en el colapso de ondas	30
3.1.17. Ilustración de partes principales en compactadora vertical [Elaboración propia]	33
3.1.18. Enfardadora electromecánica horizontal móvil[13]	33
3.1.19. Enfardadora electromecánica vertical fija [13]	34
3.1.20. Características de enfardadora E-300 [13]	34
3.1.21. Diagrama de diseño[Elaboración propia]	36
4.1.1. Gato mecánico para vehículos todo terreno 4.1.1	38
4.1.2. Fuerza de diseño y tamaño de cámara de compactación [Elaboración propia] .	39
4.1.3. Medición de altura de fardo de 25Kg [Elaboración propia]	40
4.1.4. Indicaciones de ensamblaje en las partes del mecanismo Hi-Lift [Elaboración propia]	41
4.1.5. Boceto inicial donde se muestra la vista frontal del equipo [Elaboración propia]	42
4.1.6. Boceto frontal del equipo [Elaboración propia]	43
4.1.7. Definición de sección rectangular [Elaboración propia]	44
4.1.8. Especificación de límites en área donde se deposita el material [Elaboración propia]	44
4.1.9. Forma inicial y definición de elementos [Elaboración propia]	45
4.2.1. Representación analítica de pórtico [Elaboración propia]	47
4.2.2. Estimación límite de resistencia a la fatiga [8]	52
4.2.3. Parámetros en el factor de la condición superficial [8]	52
4.2.4. Expresiones de factor de tamaño [8]	53
4.2.5. Dimensión efectiva para sección rectangular [8]	53
4.2.6. Expresiones de factor de carga [8]	54
4.2.7. Expresiones de factor de temperatura [8]	54
4.2.8. Expresiones de factor de confiabilidad [8]	55
4.2.9. Representación gráfica de la base [Elaboración propia]	56
4.2.10. Representación gráfica el émbolo inferior [Elaboración propia]	57
4.2.11. Diagrama de viga empotrada en ambos lados, y a la derecha las reacciones provocadas por una carga distribuida uniformemente [Elaboración propia] . . .	58
4.2.12. Representación gráfica el émbolo superior [Elaboración propia]	60
4.2.13. Representación del elemento (vi)Travesaño móvil [Elaboración propia]	60
4.2.14. Representación del elemento (vii)Diente Superior [Elaboración propia]	63
4.2.15. Configuración de parámetros para simulación de estructura: Cargas, restricciones, configuración de malla, ubicación de carga puntual. [Elaboración propia]	67
4.2.16. Resultados de simulación: Esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad [Elaboración propia]	68
4.2.17. Resultados de simulación: Desplazamiento en total y en los tres ejes cartesianos [Elaboración propia]	69
4.2.18. Adición de rigidizadores en la estructura [Elaboración propia]	69
4.2.19. Configuración para simulación de estructura: Cargas, restricciones, configuración de malla, ubicación de carga puntual [Elaboración propia]	70

4.2.20. Resultados de simulación: Esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad [Elaboración propia]	71
4.2.21. Resultados de simulación: Desplazamiento en total y en los tres ejes cartesianos [Elaboración propia]	72
4.2.22. Adición de atiesadores en la estructura [Elaboración propia]	73
4.2.23. Configuración para simulación de estructura con atiesadores: Cargas, restricciones, configuración de malla, ubicación de carga puntual [Elaboración propia]	74
4.2.24. Resultados de simulación con atiesadores: Esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad [Elaboración propia]	75
4.2.25. Resultados de simulación con atiesadores: Desplazamiento en total y en los tres ejes cartesianos [Elaboración propia]	76
4.2.26. Configuración para estudio de émbolo superior [Elaboración propia]	77
4.2.27. Resultados de estudio en émbolo superior [Elaboración propia]	78
4.2.28. Configuración final del equipo	79
4.2.29. Configuración y marcas de la base para ensamblaje de dientes inferiores y columnas [Elaboración propia]	81
4.2.30. Propiedades mínimas del metal de aporte[8]	81
4.2.31. Esfuerzos permisibles del Código AISC para metal de aporte[8]	82
4.2.32. Similitud de esfuerzos entre material base y electrodo[10]	82
4.2.33. Parámetros y resultados de soldadura entre el diente inferior y el ancho inferior [Elaboración propia]	83
4.2.34. Configuración del frente de compactación fijo [Elaboración propia]	83
4.2.35. Parámetros y resultados de soldadura entre el travesaño y las columnas laterales [Elaboración propia]	84
4.2.36. Configuración ensamblaje de pórtico [Elaboración propia]	84
4.2.37. Parámetros y resultados de soldadura entre el la base y la columna lateral [Elaboración propia]	85
4.2.38. Configuración del frente de compactación fijo mas pórtico [Elaboración propia]	85
4.2.39. Parámetros y resultados de soldadura entre el diente superior y el travesaño móvil [Elaboración propia]	86
4.2.40. Ensamblaje de frente de compactación móvil con mecanismo de fuerza [Elaboración propia]	87
4.2.41. Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino [8]	87
4.2.42. Clases métricas de propiedad mecánica de pernos, tornillos y birlos de acero [8]	88
4.2.43. Arista azul ilustra el lugar de la soldadura en la unión del mecanismo de fuerza y el travesaño superior [Elaboración propia]	88
4.2.44. Parámetros y resultados de soldadura entre el mecanismo de fuerza y el travesaño superior [Elaboración propia]	89
4.2.45. Resultado de asistente de soldadura (en travesaño) para atiesadores cortos [Elaboración propia]	90
4.2.46. Resultado de asistente de soldadura (en columnas) para atiesadores cortos [Elaboración propia]	90
4.2.47. Resultado de asistente de soldadura (en travesaño) para atiesadores largos [Elaboración propia]	91
4.2.48. Resultado de asistente de soldadura (en base) para atiesadores largos [Elaboración propia]	91

4.2.49. Ensamble de atiesadores [Elaboración propia]	92
4.2.50. Tamaño mínimo de soldadura a filete[9]	92
4.2.51. Corriente y tamaño de electrodo recomendado según espesor del material [11] .	93
4.2.52. Temperatura mínima de precalentamiento para la soldadura [10]	93
4.2.53. Especificaciones de soldadura a tope [10]	94
4.2.54. Tipos de flejes y su textura [14]	94
4.2.55. Tensión de fleje mediante hebilla y flejadora [14]	95
4.2.56. Kit de amarre: fleje, hebilla, flejadora [14]	95
4.2.57. Respresentación de máquina pintada [Elaboración propia]	96
A.1. Curva correspondiente a la muestra 1, donde se anotan las fuerzas que colapsan las ondas	104
A.2. Curva correspondiente a la muestra 2, donde se anotan las fuerzas que colapsan las ondas	105
A.3. Curva correspondiente a la muestra 3, donde se anotan las fuerzas que colapsan las ondas	106
A.4. Curva correspondiente a la muestra 4, donde se anotan las fuerzas que colapsan las ondas	107
A.5. Curva correspondiente a la muestra 5, donde se anotan las fuerzas que colapsan las ondas	108
A.6. Curva correspondiente a la muestra 6, donde se anotan las fuerzas que colapsan las ondas	109
A.7. Curva correspondiente a la muestra 7, donde se anotan las fuerzas que colapsan las ondas	110
A.8. Curva correspondiente a la muestra 8, donde se anotan las fuerzas que colapsan las ondas	111
A.9. Curva correspondiente a la muestra 9, donde se anotan las fuerzas que colapsan las ondas	112
A.10. Curva correspondiente a la muestra 10, donde se anotan las fuerzas que colapsan las ondas	113

Capítulo 1

Introducción

1.1. Preámbulo

1.1.1. Motivación

En todo momento se desecha un residuo de tipo botellas, latas, cartones, etc. La problemática afecta a todo el mundo, ya que muchas veces no se da un tratamiento para reutilizar los materiales, terminando sepultados en un vertedero. Por lo demás, el volumen intrínseco de los materiales de embalaje, cuyo uso aumenta día a día, sobrepasa la infraestructura disponible para reciclarlos y así darles nuevos usos. Por ejemplo, los recicladores de base se ven limitados a la capacidad de acopio y transporte, pues el material utiliza demasiado espacio en relación a su masa. Debido a la composición del cartón corrugado, éste posee aproximadamente un 60 % de aire, es decir, un material liviano que utiliza mucho espacio y es el segundo material más reciclado con un 16 % [1]. Esto es un problema directo en su reciclaje, limitando la cantidad de transporte, acopio, y por tanto los ingresos percibidos.

En tanto, datos sociodemográficos de quienes se dedican al reciclaje actualmente (1.220 casos encuestados) muestran que [1]:

- El 77 % de las personas que reciclan actualmente es jefe o jefa de hogar, lo cual evidencia una predominancia de familias que deben su sustento al reciclaje. Además, si se analiza el nivel de escolaridad alcanzado por las personas encuestadas, en relación al promedio de ingresos, se constata que a mayor nivel de escolaridad, se percibe un promedio de ingreso mensual mayor (ver Figura 1.1). Mientras quienes han cursado la educación superior tienen un ingreso promedio de \$375.000 al mes, quienes no poseen estudios perciben solo \$195.833 mensuales en promedio.

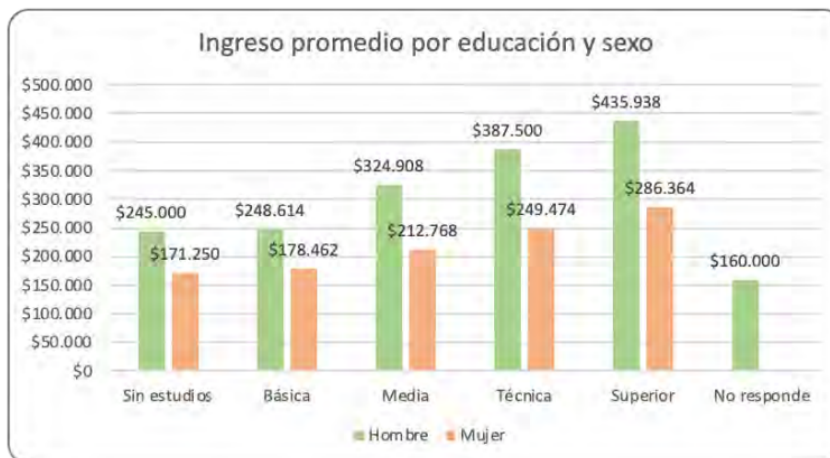


Figura 1.1: Ingreso promedio por educación y sexo [1]

- El nivel educacional de la muestra de recicladores encuestados es bajo o incompleto (ver Figura 1.2). El 44 % de la muestra solo ha cursado hasta la educación media, el 34 % la educación básica, mientras que sólo un 12 % ha ingresado a la educación universitaria y un 8 % cuenta con estudios técnicos. Un gran porcentaje de ellos no ha terminado su enseñanza media y muy pocos han accedido o cursado la educación superior o técnica. Esto refleja su condición de exclusión, vulnerabilidad e informalidad, ya que para acceder al mercado laboral formal se necesita en mayoría de los estudios finalizados.

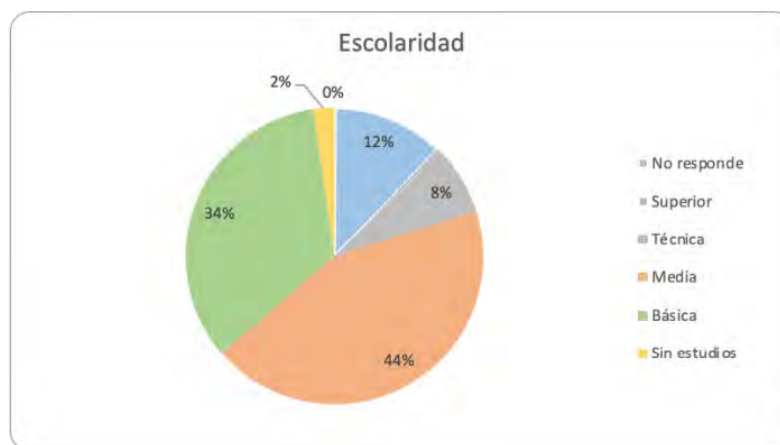


Figura 1.2: Escolaridad de recicladores de base [1]

- Las personas que declararon sus horas de trabajo semanales (Figura 1.3), más del 60 % dedica menos de una jornada completa a la actividad: un 37 % trabaja entre 24 y 44 horas semanales, seguido de un 35 % con 45 horas o más. Por otro lado, un 21 % trabaja entre 10 y 23 horas semanales, mientras que sólo un 7 % se dedica un cuarto de jornada o menos. Este resultado es coherente con el 36 % de recicladores de base que recurren al reciclaje con el solo fin de complementar ingresos.

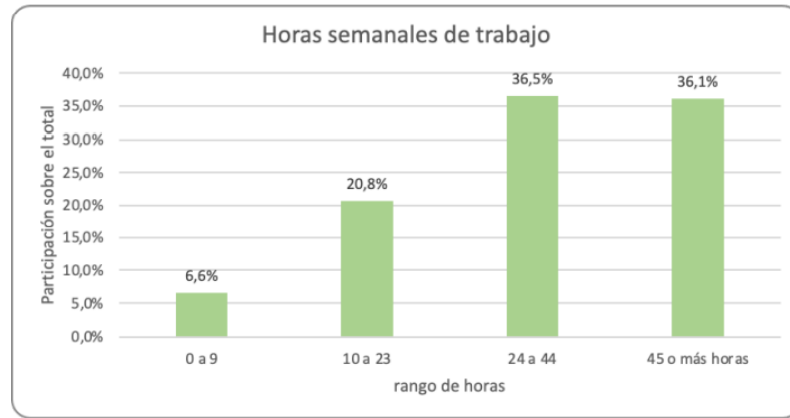


Figura 1.3: Horas de trabajo semanal [1]

- Un 40% de la población recicladora acopia el material en sus hogares.

Para optimizar el acopio y transporte de material que se ejercen en la gestión de residuos, se reduce el volumen que utilizan los desechos. Actualmente existe en el mercado ofertas de máquinas electromecánicas (cuyo valor supera al millón de pesos Chilenos) de alta capacidad de compresión (desde las $6tonf$ hacia arriba), que permiten generar fardos de, por ejemplo, $50kg$ lo cual excede el límite legal de fuerza humana en el trabajo. Lo anterior, plantea la suposición de que una compactadora de aquella envergadura conlleva la utilización de equipos extras para trasladar los fardos, como grúas horquillas o transpaletas. Bajo lo expuesto, se puede mencionar que una inversión para comprimir el material es prácticamente inviable para los recicladores de base que obtienen el sustento del hogar producto de aquel oficio.

1.1.2. Propuesta: diseño de compactadora manual

Para dar una solución accesible, se propone diseñar una máquina manual de cartones de bajo costo y peso que esté al alcance de los recicladores de base (en comparación a las máquinas electromecánicas) cuya función es reducir el volumen de fardos ($25Kg$) para aumentar la capacidad de transporte y almacenaje. El trabajo se realiza en colaboración con la Ilustre Municipalidad de Pudahuel, en donde se buscará implementar un sistema de reciclaje que incorpore al equipo, para así evaluar su desempeño a lo largo del tiempo.

Las características bajo las cuales se fundamenta el diseño son:

1. **Precio:** El costo del producto menor a un millón de pesos, accesible para la Municipalidad de Pudahuel, y para los recicladores de base. Se busca integrar la mayor participación posible en la actividad de reciclaje. Por tanto, se prefiere la reducción de costos para la fabricación y mantenimiento.
2. **Peso:** Como se trata de una máquina manual, y por ende no utiliza electricidad o combustible fósil, se puede crear un producto liviano (en comparación a las máquinas electromecánicas) cuya masa sea menor a $100Kg$.
3. **Comodidad:** Debe ser cómodo para el usuario, ya que estará presente en su vida diaria.

Se diseña el espacio suficiente para facilitar la tarea de embalaje, lo cual es necesario para que el fardo no se desarme posterior a la compactación.

1.1.3. Alcances

Los requerimientos anteriores se limitan a:

- El proyecto se dirige fundamentalmente en la compactación de cartón corrugado.
- La compresión que realiza el equipo se enfoca principalmente en reducir el volumen inicial de un fardo a la mitad. Por tanto, se concentra el estudio en el colapso de onda para asegurar la compresión de 1:2, pues dichas ondas permiten un 60 % de aire en la constitución del cartón.
- Se busca generar fardos menores o iguales a $25Kg$, valor máximo permitido que un trabajador puede cargar.
- Es de accionamiento manual para evitar el consumo de electricidad o combustibles fósil.
- Se diseña y simula el prototipo hasta la etapa de planos.
- Se comenta y propone el sistema de embalaje que debe estar presente posterior a la compactación.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

El principal objetivo de este proyecto es diseñar una máquina compactadora de uso manual para facilitar el reciclaje de cartones dentro de la Ilustre Municipalidad de Pudahuel.

1.2.2. Objetivos específicos

En tanto, los objetivos específicos que permiten alcanzar el objetivo general planteado anteriormente se enuncian a continuación:

1. Realizar pruebas de compresión y obtener la fuerza necesaria para colapsar las ondas.
2. Seleccionar mecanismo de fuerza, enfocado en eliminar espacio entre cartones y colapsar las ondas que lo componen, buscando reducir el volumen original al menos un 50 %.
3. Proponer y dimensionar estructura que permita generar fardos de hasta $25Kg$.
4. Calcular el diseño de forma analítica junto con simulación de elementos finitos, tal que el los esfuerzo inducidos sobre los elementos entreguen un factor de seguridad mayor o igual a 1,5 en base al límite de fluencia y fatiga del material utilizado.
5. Realizar análisis de costos.

1.3. Antecedentes

Dado que el enfoque del equipo es comprimir cartón, se muestra con el proceso de fabricación de este, a partir de la celulosa vegetal. Existen diversos procesos para la obtención de esta materia prima, entre los cuales se encuentran el proceso de papel termo laminado (TMP) y Sulfato (Kraft) al proporcionar tratamiento químico a la madera utilizando azufre, hidróxido de sodio y sulfato de sodio. Los diagramas de ámbos procesos se pueden observar en la Figura 1.4. Además, se puede obtener celulosa a través del reciclado, al fabricar la pulpa recurriendo a la incorporación de madera nueva y fibras de papel usado.

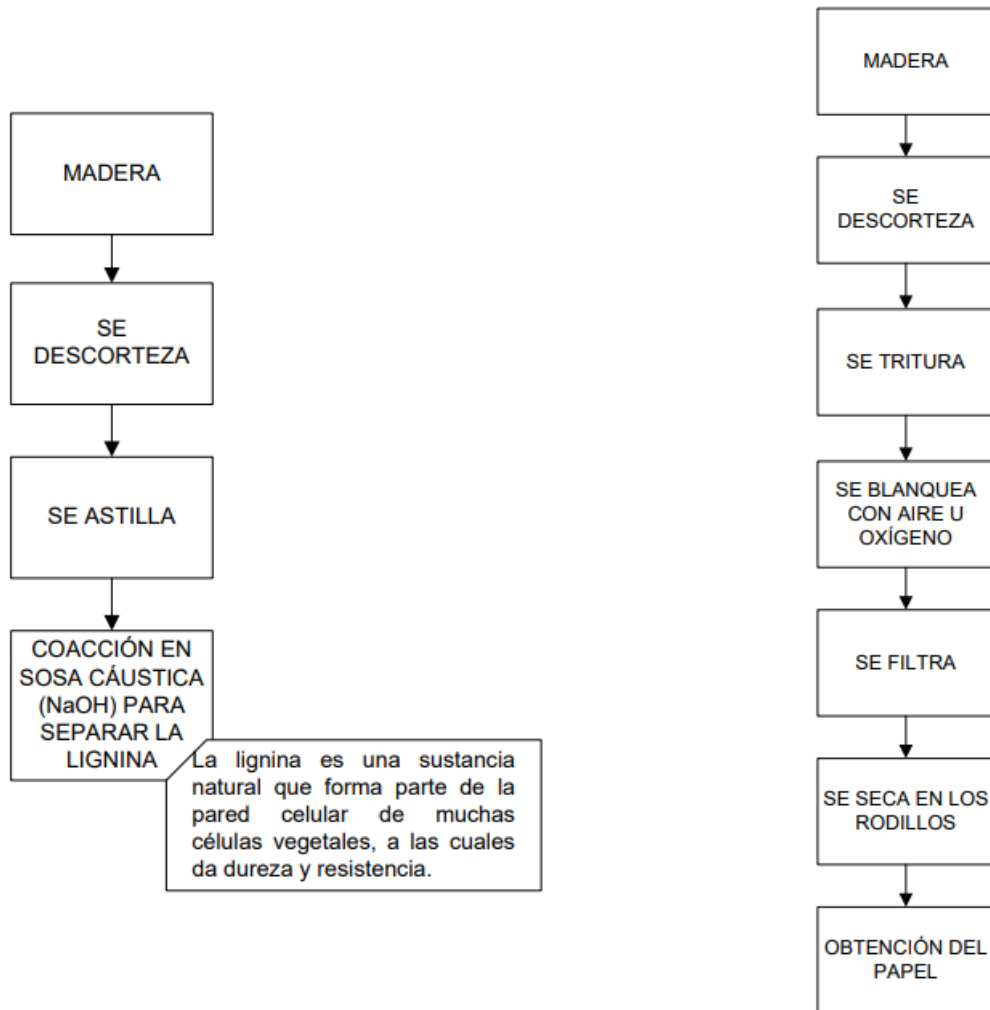


Figura 1.4: Procesos para la obtención de celulosa, a la izquierda para el Sulfato y derecha TMP[2]

1.3.1. Tipos de cartón para la fabricación de empaques

De acuerdo con lo anterior se obtienen diferentes tipos y características de papeles que se utilizan para la fabricación de empaques. El papel es la hoja formada por el entrelazado de fibras, usualmente vegetales. La unión de esta fibra se logra a través del proceso natural (agua) o por el proceso artificial (aditivos químicos, sulfatos). Derivado de este contexto se

tiene como ejemplo, los siguientes tipos de papel:

1.3.1.1. Cartoncillo plegadizo

Es un tipo de cartón que está formado por dos o más capas de fibras celulósicas generalmente recicladas. No se utiliza adhesivo para adherir las fibras y es utilizada para la fabricación de empaques plegadizos. Tienen un uso bastante extendido, y son utilizadas como envases primario del producto o bien como un envase secundario, contenedor de envases primarios. Se utiliza para empacar diferentes productos como

- Alimentos: cereales, pizzas, chocolates, pasteles, etc.
- Refrigeración y congelación
- Empaques para artículos de uso personal
- Medicinas
- Otras

1.3.1.2. Cajas Kraft o cartón corrugado

Este tipo de papel tiene un tratamiento químico a base de sulfato, siendo su principal característica la resistencia a los esfuerzos mecánicos. Los componentes, de la configuración más común, que constituyen el cartón corrugado se pueden observar en la Figura 1.5.

- **Papel Liner:** Es un papel plano obtenido del proceso Kraft, y puede ser obtenido de fibras vírgenes, recicladas o mezcla de ambas.
- **Papel Medium:** Es el papel que se utiliza para formar el corrugado (el papel que se ondula), es decir, el que forma la flauta en una caja de cartón corrugado. De igual forma se obtiene de fibras vírgenes, recicladas o mezclas.

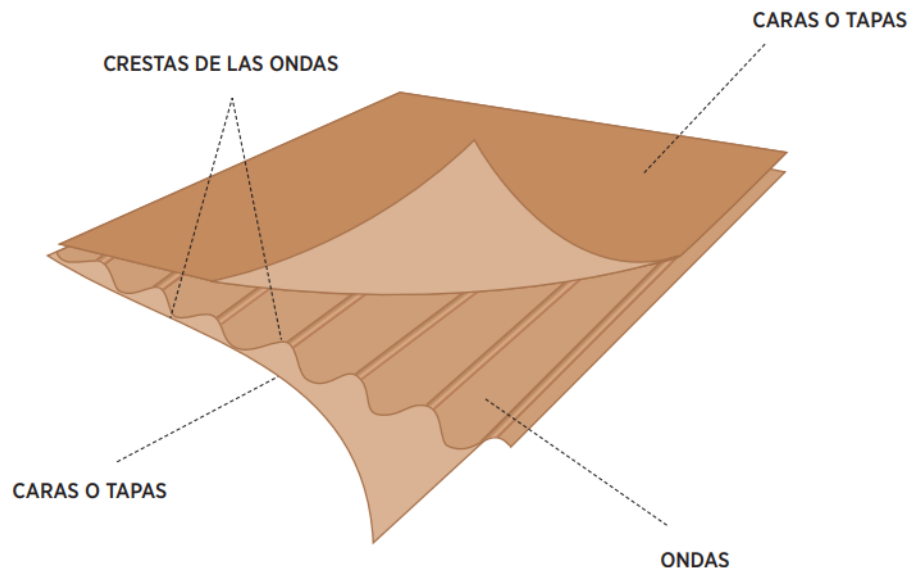


Figura 1.5: Componentes del cartón corrugado [3]

En tanto, el gramaje es una medida de importancia en este tipo de materiales, y corresponde a una analogía con la densidad. En general los liners van de 90 a $420 \frac{g}{m^2}$ y la onda o medium de 90 a $275 \frac{g}{m^2}$ [3]. Ésta última componente le da resistencia y aislación al material.

El cartón corrugado está hecho en la máquina corrugadora que, además del papel, trabaja con dos elementos básicos: temperatura y adhesivo, el que está compuesto fundamentalmente de almidón, para unir las capas.

Por lo demás, el cartón corrugado posee varios tipos de clasificación:

1. **Según el tipo de onda (flautas):** que pueden variar en su longitud o amplitud. Se clasifican según lo mostrado en la Figura 1.6, mostrando el espesor del cartón y el número de canales en 10 centímetros.

TIPO DE ONDA	ESPESOR DEL CARTÓN CORRUGADO SIMPLE	Nº DE ONDAS EN 10 CM	GRÁFICA
A	4,1 a 5,8	10 a 12	
C	3,3 a 5,0	13 a 14	
B	2,2 a 3,8	15 a 17	
E	1,2 a 2,4	24 a 33	

Figura 1.6: Tipos de onda del cartón corrugado [3]

2. **Según número de papeles por el cual está conformado:** En este sentido, se puede observar en la Figura 1.7 el cartón corrugado simple, estructura formada por un papel ondulado pegado sobre un liner o tapa. Para la Figura 1.8 corresponde al cartón corrugado doble, y es una estructura formada por dos liners o tapas, dos papeles corrugados y un liner o tapa intermedia entre los ondulados. Luego, se contempla en la Figura 1.9 un cartón corrugado triple, con estructura formada por dos liners o tapas, tres papeles corrugados (ondas) y dos liners o tapa intermedia entre los papeles ondulados. Por último, se ve en Figura 1.10 el cartón corrugado Power Ply, cuya onda está formada por dos papeles unidos con un adhesivo que le confiere una mayor resistencia.

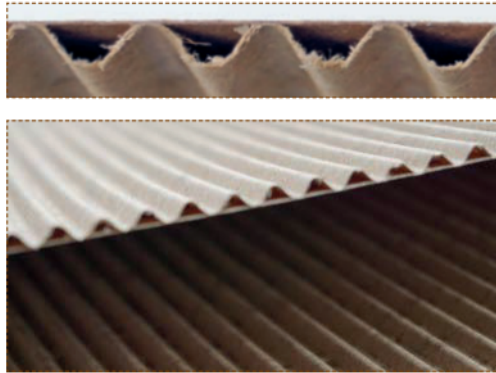


Figura 1.7: Cartón corrugado monotapa [3]

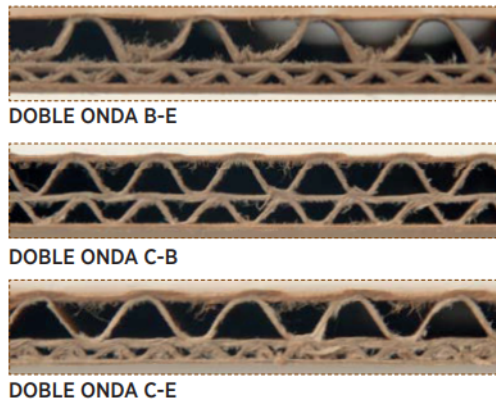


Figura 1.8: Cartón corrugado doble [3]

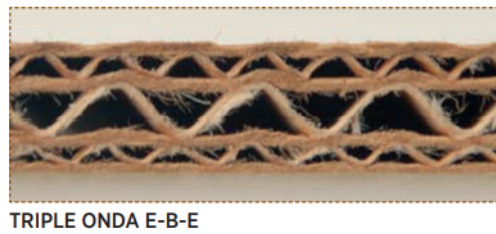


Figura 1.9: Cartón corrugado triple [3]

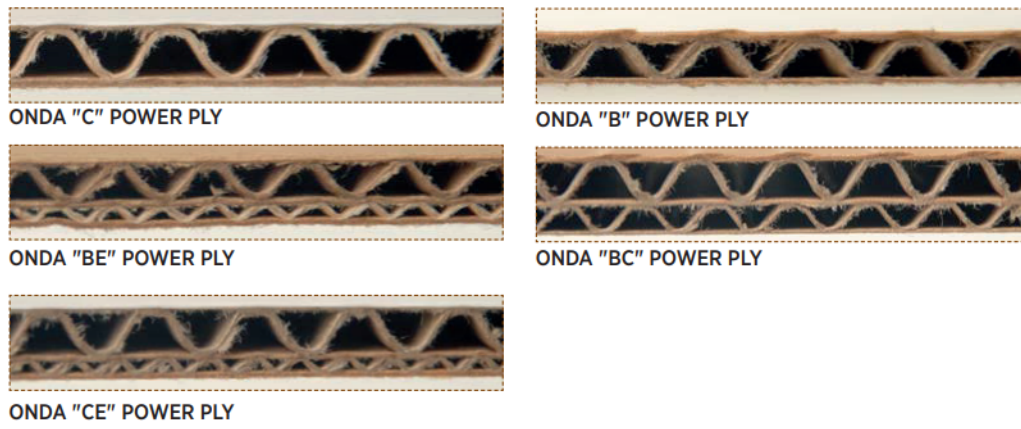


Figura 1.10: Cartón corrugado doble [3]

Capítulo 2

Estrategia de Trabajo

2.1. Metodología

A continuación se enuncia la metodología a seguir para diseñar el equipo que se muestra en la Figura 2.1.1.

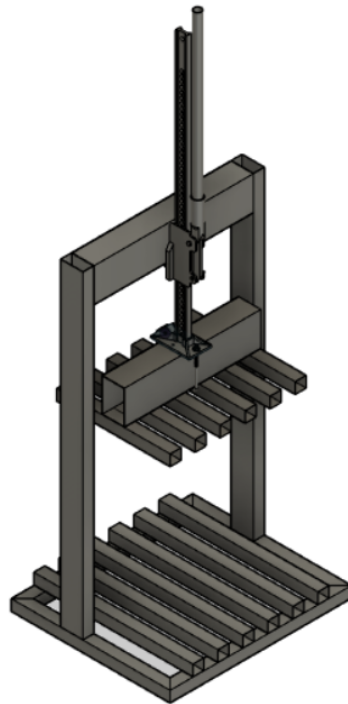


Figura 2.1.1: Propuesta de diseño [Elaboración propia]

1. Proporcionar proceso productivo para implementar el reciclaje de cartones dentro del territorio municipal, utilizando el equipo propuesto.
2. Caracterizar el lugar (Municipalidad de Pudahuel), recorriendo las instalaciones y proponiendo la utilización de espacios para implementar el proceso productivo.
3. Recolectar cartón corrugado que es considerado desecho, en el edificio consistorial de la comuna de Pudahuel. En su defecto, el estudiante proporcionará cartones desechados

que tenga a su disposición.

4. Conceptualizar las características del cartón considerado como residuo.
5. Realizar ensayos de compresión bajo el método de prueba TAPPI/ANSI T 825 om-14 "Flat crush test of corrugated board (rigid support method)"[6], adaptando las muestras a la naturaleza del trabajo en cuestión. Se utiliza la máquina Zwick Roell Z100 ubicada en el nivel -2, edificio poniente en Beauchef 851¹.
6. Conceptualizar los elementos de los sistemas de compresión.
7. Establecer parámetros de diseño que permitan cumplir los requerimientos del equipo.
8. Proponer diseño general y materiales, para los elementos del equipo: sistema de fuerza, cámara y frentes de compactación.
9. Realizar análisis de diseño, dimensionando los materiales de forma analítica en conjunto con la simulación de elementos finitos.
10. Asignación de elementos.
11. Mencionar el ensamblaje de la máquina, evaluando las uniones en cada parte.
12. Comentar embalaje de fardos y pintura de la máquina.
13. Realizar análisis de costos.
14. Elaboración de planos.

2.1.1. Proceso productivo

Se realiza una visita al terreno y se observa que, las principales fuentes de cartón considerado como residuo son la farmacia, oficinas administrativas, bodega principal y personal que trabaja al interior de la Municipalidad. En tanto, para implementar una gestión colaborativa, se propone un diagrama de flujo que se puede ver en la Figura 2.1.2 donde se visualiza el movimiento del cartón, y que permite una disposición final adecuada.

El proceso comienza con el material considerado como residuo. De inmediato, se propone una separación eficiente mediante el uso de contenedores específicos (típicamente de color azul). De esta forma además, se evita la contaminación con otros residuos y se optimiza el tiempo de segregación.

Luego, a través de acuerdos con personal de aseo o gestionando personal enfocado en temas de reciclaje, se traslada el cartón hacia el acopio primario, el cual puede ser un punto verde u otro que facilite la dirección de aseo, ornato y medioambiente (DAOMA).

De este modo, si se llega al límite de almacenaje primario y si hay personal disponible se procede a compactar. Una vez se comprime y amarra el material, se trasladan los paquetes hacia el acopio secundario. Se recomienda que, el lugar disponible para el acopio primario y secundario debe ser libre de humo, sanitizado periódicamente y en lo posible contar con una

¹ <https://tappi.micronexx.com/CD/TESTMETHODS/T825.pdf>

red antiincendio, ya que se trata de un material inflamable.

Corresponde al Servicio Nacional de Salud autorizar la instalación y vigilar el funcionamiento de todo lugar destinado a la acumulación, selección, industrialización, comercio o disposición final de basuras y desperdicios de cualquier clase. Este determinará las condiciones sanitarias y de seguridad que deben cumplirse para evitar molestia o peligro para la salud de la comunidad o del personal (D.F.L. N° 725/1967, Código Sanitario). [4]

Así, una vez llegado al límite de almacenaje secundario, se retira el material mediante el contratista licitado para dicha labor, hacia la disposición final certificada, que se entiende como el lugar al mando de una organización que garantiza la reutilización de la materia prima en el ciclo de uso (como por ejemplo Reciclados Industriales S.A). De este modo, se asegura que el cartón sigue un tratamiento de reciclaje adecuado, para su posterior reutilización. Por otro lado, si bien la máquina genera paquetes de 25Kg, límite legal de fuerza, se recomienda facilitar montacargas al personal destinado a esa labor.

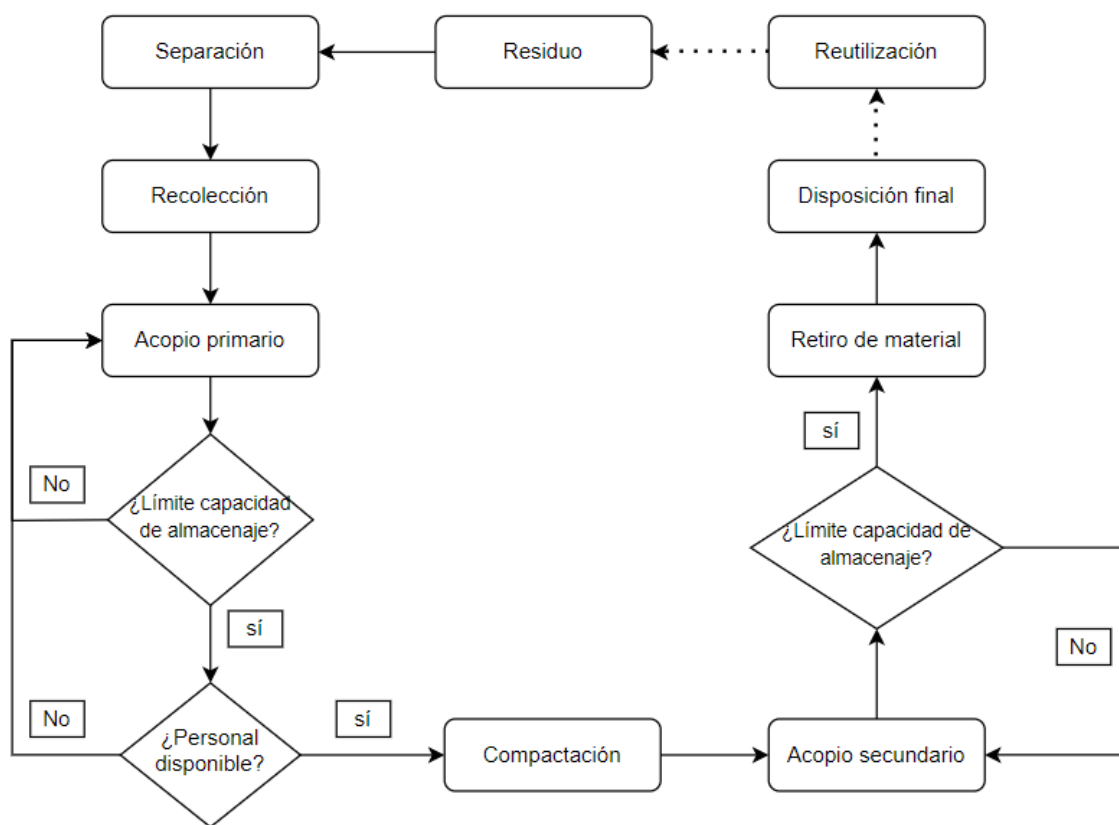


Figura 2.1.2: Diagrama de flujo del cartón al interior de Municipalidad [Elaboración propia].

2.1.2. Caracterización del lugar

El equipo se implementará en las dependencias Municipales de Pudahuel, y servirá para implementar el proceso productivo expuesto, en especial, para realizar la fase de compactación. Es así que, mediante una inspección de terreno, se identifican zonas remarcadas en la

Figura 2.1.3, las cuales se explican a continuación:



Figura 2.1.3: Imagen del terreno Municipal de Pudahuel [Elaboración propia].

- Área Roja: Corresponde al edificio consistorial del municipio. Aquí se encuentran oficinas administrativas y farmacia, fuentes de desecho del material en cuestión.
- Área Azul: Se trata de la bodega principal, que almacena alimentos y otros. Los elementos anteriores se almacenan en cajas de cartón (ver Figura 2.1.4), los cuales se desechan luego de ser utilizados.



Figura 2.1.4: Bodega de alimentos municipal [Elaboración propia]

- Área Verde: Corresponde al espacio y oficinas disponibles para DAOMA encargada de los residuos, tanto dentro como afuera del terreno. Es aquella división con la cual se trabajará para implementar el proceso productivo, en cuanto al acopio y compactación de cartón se refiere. En tanto, el equipo será operado por el personal que reciba la capacitación de uso.
- Área Blanca: Se trata de un espacio disponible en las cercanías de la bodega de alimentos (ver Figura 2.1.5) para instalar un punto verde, como el que se puede ver en la Figura 2.1.6, donde se dispone plástico, latas de aluminio, papel y cartón. Las medidas de los contenedores son: $600 \times 670 \times 1000 \text{ mm}$. Esta estructura sería una primera opción de punto de acopio primario dentro del proceso mostrado en la Figura 2.1.2.



Figura 2.1.5: Espacio disponible para instalar punto verde [Elaboración propia]



Figura 2.1.6: Punto verde perteneciente a la Municipalidad de Pudahuel, ubicado en parque Amengual [Elaboración propia]

- Área Amarilla: En dicho segmento se encuentra una bodega (ver Figura 2.1.7) cuyas dimensiones son: 15m de ancho, 6m de largo y 3,5m de alto. Este espacio es una segunda opción para implementar el proceso productivo, ya que puede funcionar como acopio primario y secundario. Además, se trata de un lugar techado, condición idónea para instalar la máquina compactadora.



Figura 2.1.7: Bodega de elementos varios, presente en las cercanías del anfiteatro [Elaboración propia]

- Área marrón: De forma adyacente al anfiteatro, se encuentra otra bodega de ancho: 4m, largo 2,4m y alto 2,3m. Se puede observar en la Figura 2.1.8 que se divide en dos lados

mediante madera terciada. Esto daría una tercera opción, ya que el lado derecho sería para un acopio primario y el lado izquierdo para el acopio secundario. Se recomienda acomodar el lugar para permitir el ingreso del equipo, y se mantenga bajo techo.



Figura 2.1.8: Bodega para reciclaje, sin continuación de uso [Elaboración propia]

- Área Naranja: Se resalta este territorio para dar referencia espacial, ya que se encuentra el anfiteatro municipal.

Capítulo 3

Conceptualización

3.1. Representación, resultados y parámetros de diseño

3.1.1. Conceptualización y parámetros de cajas

El equipo busca reducir el volumen de una masa de $25kg$ de cajas desarmadas (planas) amontonadas. Como base para el planteamiento de los parámetros de diseño, es necesario aclarar la raíz del volumen que utiliza el cartón.

El material considerado como residuo se caracteriza por ser altamente variable. El volumen (largo x ancho x alto) que ocupa aquella cantidad de material (antes de compactar) dependerá de: el gramaje de tapa (liner) y ondas, el tipo de onda presente en la composición, el tamaño de caja desarmada y el orden con el cual se apilan las cajas.

Para lo anterior, se realizan los siguientes análisis y supuestos:

- **Tipo de onda y gramaje**

Las ondas C y B son las que normalmente se utilizan en la línea de producción para cartón corrugado, y la onda BC, unión de B y C, es la que normalmente se utiliza en la línea de producción para cartón corrugado doble [3]. El espesor de cada tipo de onda se puede ver en la Figura 1.6.

Las muestras recopiladas en la Municipalidad (ver Figura 3.1.1) arrojan que el tipo de onda C es la moda entre los residuos, pues tomando una muestra de $10kg$, el 75 % es de tipo onda C simple, un 10 % de onda B simple, y un 15 % de cartones dobles, compuestos por ondas BC.



Figura 3.1.1: Muestra de cartón de onda C presente en la farmacia [Elaboración propia]

Es así que, se realiza el análisis para la configuración de onda simple (liner-onda-liner) de tipo onda C (espesor de cartón entre 3,3 y 5mm). Como generalización, se utiliza las medidas que se observan en la Figura 3.1.2. Así el espesor del cartón simple de onda tipo C es la suma del espesor de las dos tapas y la altura de onda (flauta):

$$\text{Espesor} : E = \text{Espesor tapa} * 2 + \text{Espesor Flauta} \quad (3.1)$$

$$\text{Espesor } C : = 0,355 * 2\text{mm} + 3,835\text{mm} = 4,545\text{mm} \quad (3.2)$$

En tanto, el gramaje total que tiene la configuración es la suma de los gramajes de tapas y flauta:

$$\text{Gramaje} : G = \text{Gramaje tapa} * 2 + \text{Gramaje Flauta} \quad (3.3)$$

$$\text{Gramaje } C = 250 * 2 \frac{g}{m^2} + 175 \frac{g}{m^2} = 675 \frac{g}{m^2} \quad (3.4)$$

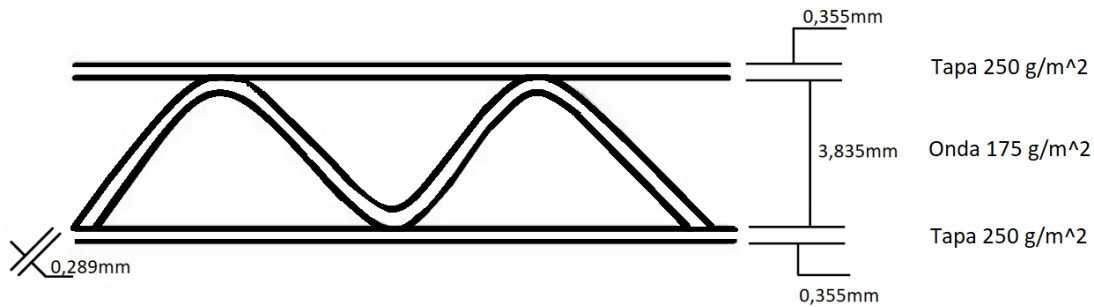


Figura 3.1.2: Medidas de cartón onda C [5]

- **Disposición**

El objeto que principalmente se da forma con material de cartón son cajas de embalaje. Se impone el supuesto que las cajas se acopian y comprimen de forma desarmada, con las aletas estiradas. Esto en base a las instrucciones (ver Figura 3.1.3) presentes en el punto verde dispuesto por la municipalidad.

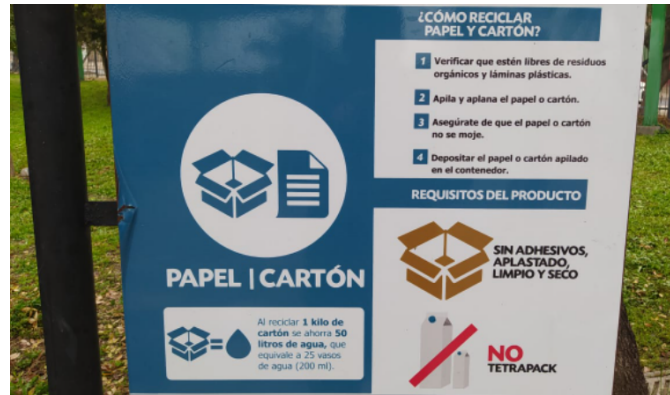


Figura 3.1.3: Instrucciones para el depósito de cartón en punto verde [Elaboración propia]

Aquello significa, abrir la caja por ambos lados, como se muestra en la figura 3.1.4 y luego doblarla para que se deposite en forma plana. En la Figura 3.1.5 se puede ver una caja estirada completamente y sus dimensiones, la idea anterior da a entender que, es ésta forma doblada por la mitad (despreciando la lengüeta). Es decir, al abrir y aplanar una caja, se crea una configuración de 2 cartones simples (ver Figura 3.1.6), cuyas dimensiones son:

$$\text{Ancho caja desarmada} : A' = L + A \quad (3.5)$$

$$\text{Largo caja desarmada} : L' = H + 2a \quad (3.6)$$

$$\text{Espesor caja desarmada} : E' = 2 * E \quad (3.7)$$

Como se realiza el análisis para cartón simple de onda C, el espesor que tiene una caja desarmada y aplanada es:

$$\text{Espesor caja desarmada tipo C} : E' = 2 * \text{Espesor C} = 2 * 4,545 \text{ mm} = 9.09 \text{ mm} \quad (3.8)$$

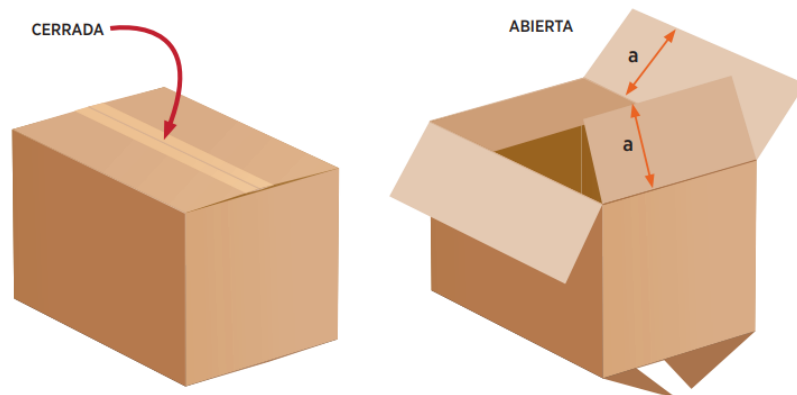


Figura 3.1.4: Ilustración de caja cerrada y abierta[3]

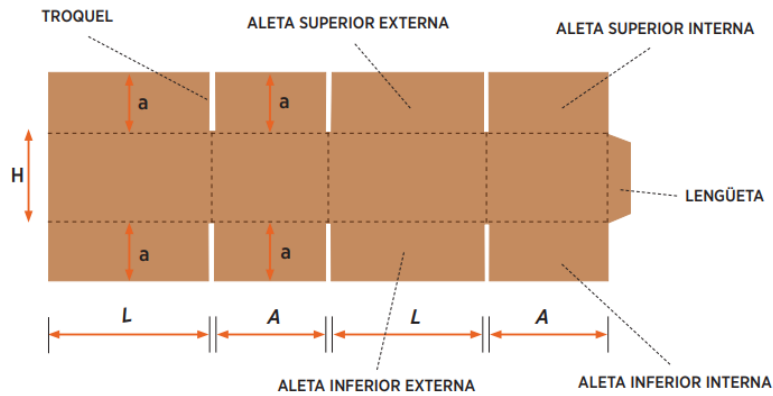


Figura 3.1.5: Caja estirada, donde H :Altura, L :Largo, A :Ancho y a :largo de aleta. [3]

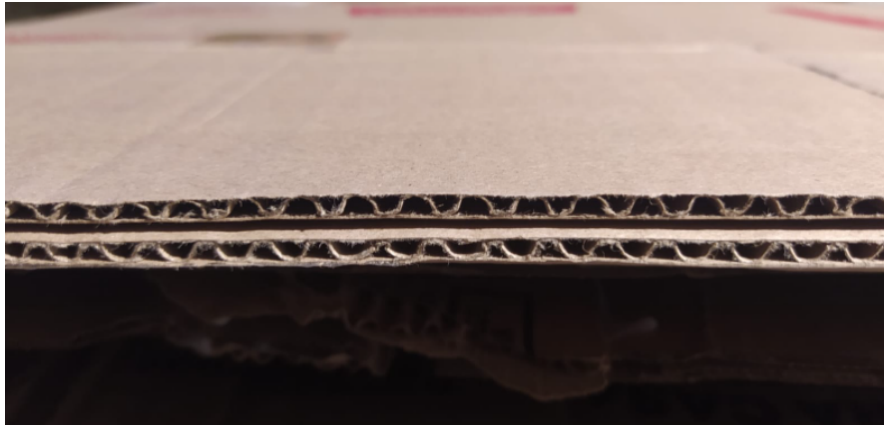


Figura 3.1.6: Caja desarmada, quedando una configuración de dos cartones [Elaboración propia]

- **Tamaño de cajas desarmadas**

Este concepto se refiere al largo y ancho que adoptan las cajas desarmadas y aplanadas. En bodega, se encuentran solo un tamaño de caja de tipo onda C (ver Figura 3.1.8), clasificado como mediano de $A'xH' = 600x600mm$. En oficinas y farmacia se encuentran tamaños desde $A'xH' = 560x340mm$ (ver Figura 3.1.7), hasta $A'xH' = 700x560mm$ (ver Figura 3.1.9). Se identifica que, el espesor es el mismo para las 3 medidas, correspondiente al rango de la onda C.



Figura 3.1.7: Medición de cajas pequeñas, desde farmacia [Elaboración propia]



Figura 3.1.8: Medición de cajas medianas, desde bodega [Elaboración propia]



Figura 3.1.9: Medición de cajas grandes, desde farmacia [Elaboración propia]

En tanto, se puede calcular la *Altura teórica* (es decir, un montón de cartones sin espacio entre ellos) de un lote de masa M , cuyas cajas son de espesor E , gramaje y dimensiones conocidas:

$$Altura\ te\acute{o}rica : \frac{Masa[g] * E[mm]}{Gramaje[\frac{g}{m^2}] * A'[m] * L'[m]} \quad (3.9)$$

Además, se puede calcular el volumen teórico que tendra un lote de masa M , bajo los supuestos de dimensiones tomados:

$$Volumen : V = A' * L' * Altura\ te\acute{o}rica \quad (3.10)$$

En base a lo anterior, se puede obtener la *Altura Teórica* de un lote de 12,5Kg sin comprimir, considerando tamaños iguales (obtenidos desde las muestras), el espesor y gramaje de onda C (ecuaciones 3.2 y 3.4 respectivamente) . Los resultados se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Altura teórica de un lote de 12,5Kg para cartones apilados uno encima del otro, cuyas medidas corresponden a las muestras obtenidas en la Municipalidad

Tipo de onda: C		
Espesor de cartón[mm]: 4,545		
Gramaje [$\frac{g}{m^2}$]: 675		
Masa [Kg]: 12,5		
Apilamiento: uno encima del otro		
A'[mm]	L'[mm]	Altura Teórica [mm]
600	600	234
560	340	442
700	560	215
Volumen [m^3]: 0,084		

En base a lo anterior, se puede decir por un lado que, un fardo de 25Kg utilizara el doble del volumen obtenido, es decir, $0,168m^3$. Por otro lado, se puede observar en la Figura 3.1.10 ilustraciones de las diferentes formas que adoptarán los montones producidos bajo los supuestos anteriores.

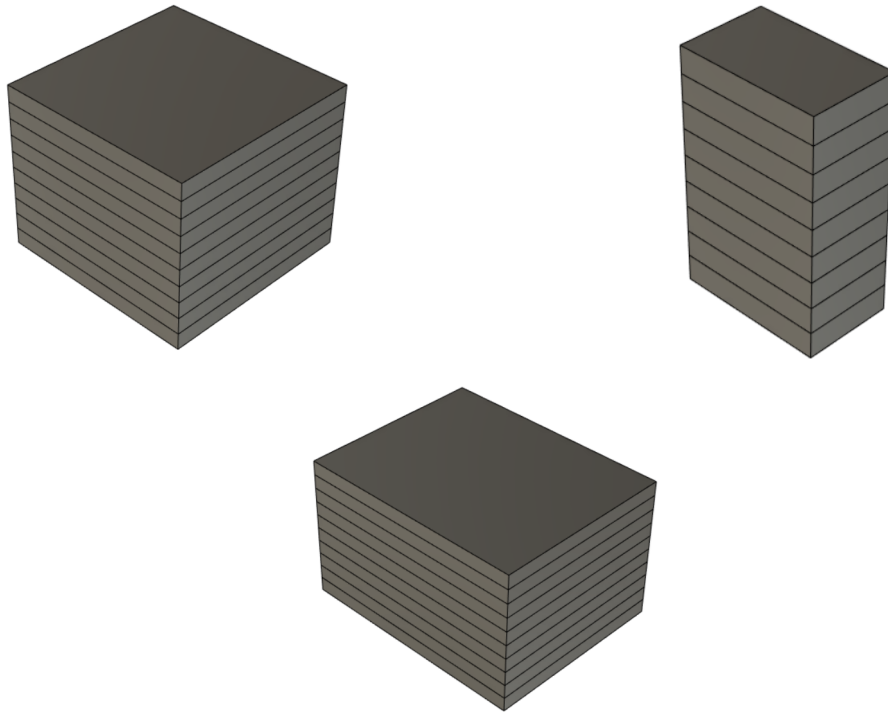


Figura 3.1.10: Ilustraciones de formas adoptadas por lotes armados ordenadamente[Elaboración propia]

- **Espacio entre cartones**

El tamaño de las cajas desarmadas desechadas es altamente variable, y cuando se reciclan, sería un agregado de tiempo, energía y costo separarlas por esta variable. Por tanto, se supone el caso de apilamiento con diferentes tamaños.

Luego, como se expone anteriormente, la altura de un lote de masa M es en función de los parámetros ya vistos (tipo de onda, gramaje y tamaño). Aunque también, depende fuertemente de la disposición con la cual se amontonan, ya que al conformar un paquete (sin comprimir) con cajas de diferente tamaño, habrán espacios donde no exista material, y para cumplir con la masa objetivo, se amontona el material encima, aumentando así la altura del paquete. Para ilustrar lo anterior, se ve en la Figura 3.1.11 la forma de un lote cuando los cartones son del mismo tamaño. En paralelo, se muestra resaltada en el área roja el espacio que se produce por la diferencia de tamaño al generar depositar, uno encima del otro, el material de tamaño aleatorio.

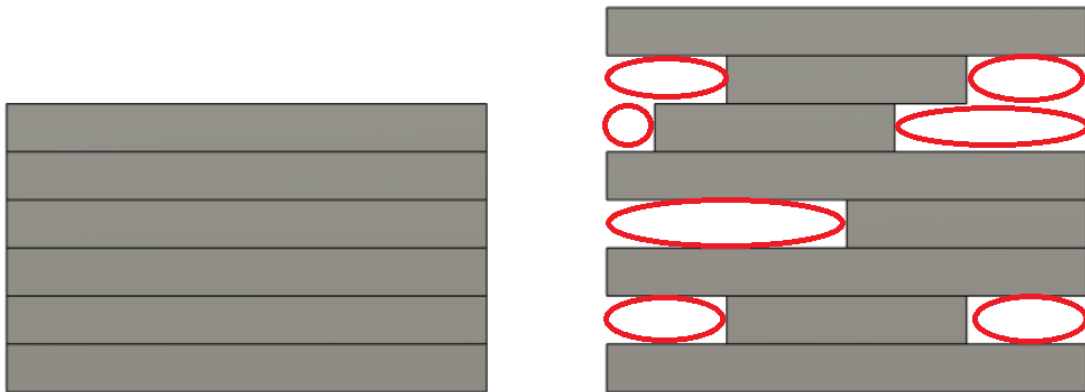


Figura 3.1.11: Ilustración comparativa para apilamiento de igual y diferente tamaño de cartones, suponiendo igualdad de masa[Elaboración propia]

Para averiguar el volumen de aire que existe al apilar los cartones de la forma anterior, se arman 5 paquetes de $12,5Kg$, con cartones de onda C de diferente tamaño, uno encima del otro. Luego, se miden las dimensiones de largo, ancho y alto que adopta el lote (las primeras dos medidas estarán determinadas fuertemente por las cajas de mayor tamaño), calculando el volumen que utiliza. Los resultados se ven en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2: Medidas obtenidas desde 5 apilamientos, con cajas de onda tipo C, uno encima del otro, de tamaños aleatorios.

Tipo de onda: C				
Tamaño: Aleatorio				
Forma de apilamiento: Uno encima del otro				
Masa [Kg]	Largo[mm]	Ancho[mm]	Alto[mm]	Volumen[m ³]
12,52	800	600	500	0,240
12,53	800	600	400	0,192
12,57	800	600	300	0,144
12,85	900	700	270	0,170
12,61	800	600	400	0,192
Volumen promedio [m ³]:0,187				

Observando los resultados, se tiene un volumen promedio de $0,187m^3$ para fardos de $12,5Kg$ aproximadamente. En paralelo, se tiene que el volumen teórico de un paquete de igual masa, conformado con cartones de igual tamaño, es decir, sin espacio entre ellos, es de $0,084m^3$ (ver Tabla 3.1). Bajo lo anterior, el volumen que utiliza un lote ordenado es el $\frac{0,084m^3}{0,187m^3} * 100\% = 45\%$ del volumen que utiliza un lote con espacio entre cartones.

$$100\% - \frac{0,084m^3}{0,187m^3} * 100\% = 55\% \quad (3.11)$$

Entonces se puede decir que, el volumen de un paquete de masa M armado con cartones de diferente tamaño, dispuestos uno encima del otro, utiliza más del doble de espacio que un lote de la misma masa, con cartones del mismo tamaño (es decir, sin espacio entre ellos).

Por tanto, si se reduce el espacio entre cartones, es decir, se elimina el aire presente por la diferencia de tamaños, se obtiene aproximadamente una reducción de volumen del 55% , lo cual optimiza el acopio y el transporte del material.

- **Espacio utilizado por ondas**

Una vez que se ha eliminado el espacio entre cartones, inducido por la diferencia de tamaño, se puede seguir reduciendo el volumen utilizado por el lote de cartón, si se consigue colapsar la onda que lo compone. Tomando las medidas de la Figura 3.1.2, donde se tiene un espesor total de $4,545mm$, al compactar la onda según lo indicado en la Figura 3.1.12, se observa que en medio resulta una altura igual a 4 veces el espesor del papel que conforma la onda, ya que se cuenta la cresta+valle de la onda, y se considera luego que se dobla por la mitad, por tanto:

$$E_{colapsado} = Espesor\ tapa * 2 + Espesor\ onda * 4 \quad (3.12)$$

Luego, se puede calcular el $\%Aire$ que posee el cartón debido a su configuración intrínseca:

$$\%Aire = 100\% - \frac{E_{colapsado}}{E} * 100\% \quad (3.13)$$

Reemplazando los valores:

$$E_{colapsado} C = 0,355mm * 2 + 0,289mm * 4 = 1,866mm \quad (3.14)$$

$$\%Aire = 100\% - \frac{1,866mm}{4,545mm} * 100\% = 58,94\% \quad (3.15)$$

Lo anterior indica que, al colapsar las ondas y por tanto reducir el espacio que ellas generan, se consigue una reducción en volumen de aproximadamente el 59%.

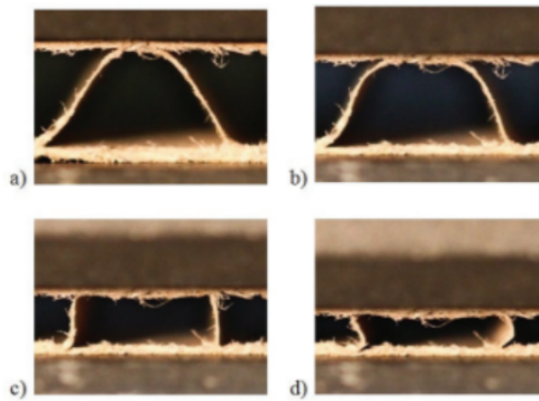


Figura 3.1.12: Colapso de onda[5]

Ahora, si se considera nuevamente un paquete de masa M compuesto por cajas de onda C de diferente tamaño apilados uno encima del otro. Suponiendo que se logra comprimir hasta eliminar el espacio entre cartones (un 50% aproximadamente) y luego colapsar las ondas parcialmente tal que, se elimina un $\%Aire = 50\%$, entonces se conseguiría un 75% reducción del volumen inicial.

3.1.2. Pruebas de compactación

Bajo los supuestos anteriores, nace la necesidad de saber la fuerza necesaria para eliminar el espacio entre cartones y el colapso de onda de los mismos. Para ello, se decide realizar pruebas de compresión planas del cartón de tipo onda C , siguiendo las instrucciones presentadas en el método de prueba TAPPI/ANSI T 825 om-14 "Flat crush test of corrugated board (rigid support method)"[6].

La prueba de aplastamiento plano es una medida de resistencia de las ondas que conforman el cartón corrugado, bajo una fuerza aplicada perpendicularmente a la superficie. El aplastamiento plano es una medida de la rigidez de la flauta del cartón corrugado. Un alto valor de aplastamiento plano indica una combinación de buena formación de ondas y resistencia media adecuada. El aplastamiento plano bajo puede indicar una serie de condiciones incluyendo resistencia media baja, flautas inclinadas y/o flautas trituradas[6].

3.1.2.1. Metodología de compresión

A continuación se presenta la metodología para los experimentos de compresión, siguiendo el método antes mencionado:

- Asegurar un plato rígidamente soportado (inferior) y un plato accionado (superior), paralelos entre sí. Cada uno con un área de trabajo de aproximadamente 100cm^2 .
- Asegurar que los platos móviles tengan un movimiento lateral inferior a $0,050\text{mm}$ y la placa rígidamente soportada por debajo de $0,150\text{mm}$ de movimiento, perpendicular a la superficie, dentro de un rango de carga de 0 a 4500N .
- Aplicar una velocidad de la placa impulsada, en $12,5 \mp 0,25\text{mm}$ por minuto.
- Disponer las muestras compuestas por 10 cartones simples de onda C, en un lote uno encima del otro para cada tamaño: $50 \times 50\text{mm}$, $75 \times 75\text{mm}$ y $100 \times 100\text{mm}$.
- Colocar cada espécimen en el centro de la pletina inferior, aplicando la carga de aplastamiento a la muestra hasta que las paredes laterales de las corrugaciones colapsen por completo.
- Obtener el valor de aplastamiento plano, tomando el promedio de los valores de fuerza que representan un colapso de onda y luego dividir por el área transversal de la muestra. Esto se traduce en, primero calcular la fuerza de colapso promedio que se tiene en la muestra, donde x_i es la fuerza identificada en cada colapso y n es el número de cartones que componen cada muestra. Con ello, se resuelve la división que entrega el esfuerzo de aplastamiento.

$$\text{Fuerza colapso promedio} : \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} [N] \quad (3.16)$$

$$\text{Esfuerzo de aplastamiento} : \frac{\text{Fuerza colapso promedio} [N]}{\text{Área de muestra} [\text{cm}^2]} \quad (3.17)$$

3.1.2.2. Montaje experimental

Siguiendo la metodología propuesta anteriormente, se utiliza la máquina Zwick Roell Z100 (ver Figura 3.1.13) ubicada en el piso -2 del edificio poniente en Beauchef 851.

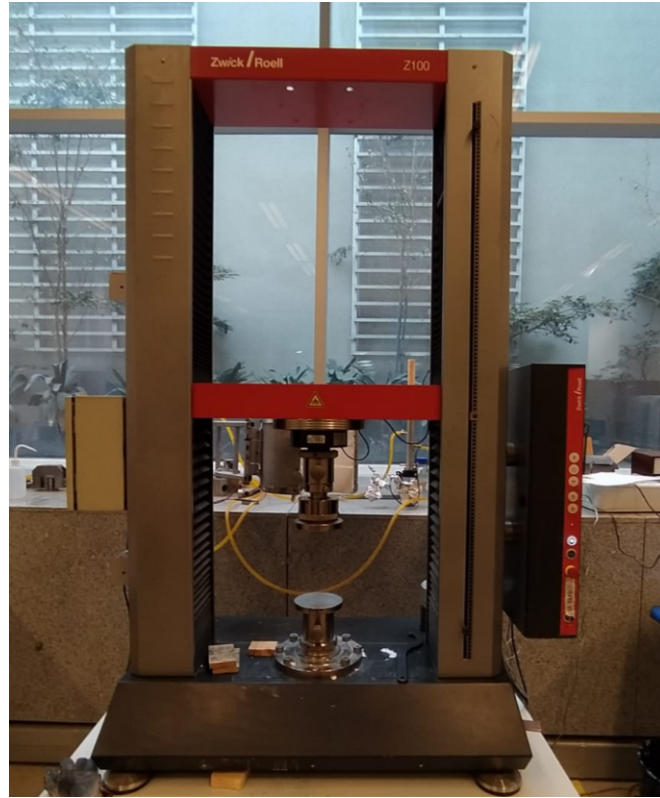


Figura 3.1.13: Máquina utilizada para las pruebas de compresión perteneciente al departamento de ingeniería mecánica [Elaboración propia]

Luego, se realizan las pruebas de compresión para 5 muestras de $50 \times 50 \text{ mm}$, 3 muestras de $100 \times 100 \text{ mm}$ y 2 muestras de $75 \times 75 \text{ mm}$. Antes de comenzar cada compresión, se asegura que la muestra esté ordenada, alineada y que la superficie esté cubierta por la cara del émbolo circular cuyo diámetro es de 136 mm . El montaje experimental se puede observar en la Figura 3.1.14, donde se comienza con ondas en su forma original y se finaliza con ondas colapsadas.

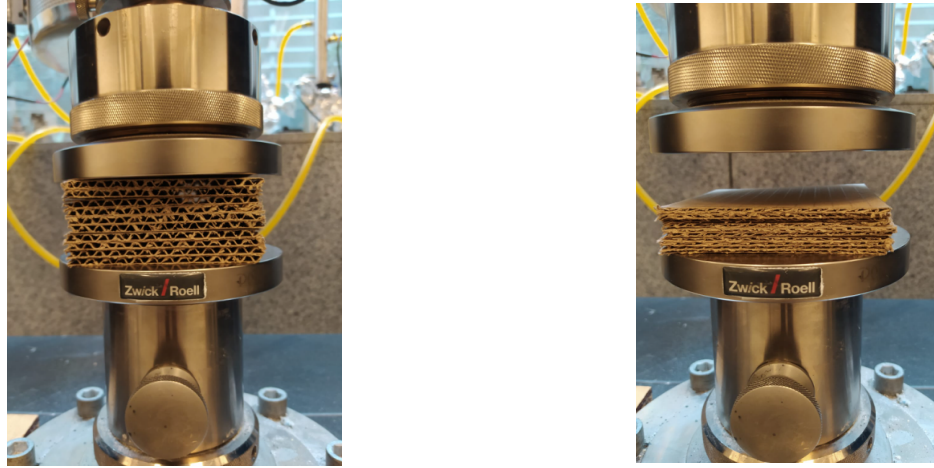


Figura 3.1.14: Montaje experimental, a la izquierda es cuando inicia y la imagen derecha cuando finaliza [Elaboración propia]

3.1.2.3. Resultados de pruebas de compactación

Al momento de efectuar la compresión, el programa de la máquina facilita una gráfica de fuerza aplicada [N] versus el %Deformación que sufre la muestra. Un ejemplo se puede apreciar en la Figura 3.1.15, el resto se puede encontrar en el Anexo 1. Luego, analizando la curva y observando el comportamiento del material durante el experimento, se puede decir que las caídas de fuerza representan el colapso de una onda en un cartón que compone la muestra. Por tanto, cuando se identifican 10 caídas en la curva, significa el colapso de todas las ondas, tal como se muestra en la Figura 3.1.16. En tanto, pasado el 80 % de deformación, la pendiente de la curva incrementa ya que se necesita mayor fuerza para seguir deformando, al tener todas las ondas planas.

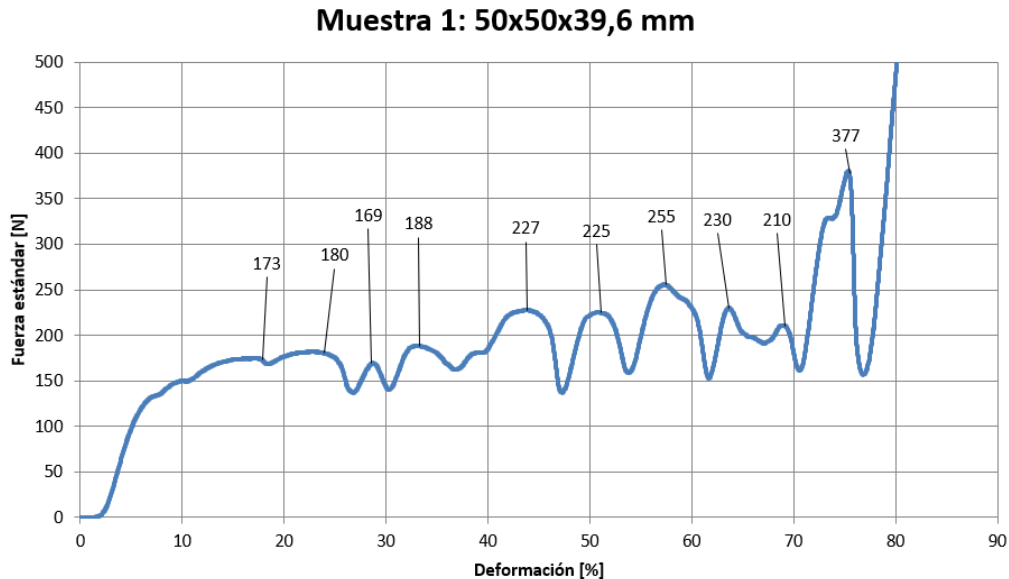


Figura 3.1.15: Curva correspondiente a la muestra 1, donde se anotan las fuerzas que colapsan las ondas [Elaboración propia]



Figura 3.1.16: Secuencia en el colapso de ondas

Calculando la presión necesaria para colapsar las ondas en la muestra, primero se identifican y se promedian los 10 peaks que indican la caída de fuerza durante la compresión (ver Tabla 3.3). Con ello, se obtiene la fuerza de colapso promedio ($223,4N$), que después se divide por el área transversal de la muestra ($50x50mm$), obteniendo un esfuerzo de colapso de onda igual a $8,936 \frac{N}{cm^2}$.

Tabla 3.3: Resultados y análisis de curva correspondiente a la muestra 1

Muestra: 1	
Dimensiones: $50x50x39,6mm$	
Área Transversal: $25cm^2$	
Fuerza de colapso [N]	% Deformación
173	17
180	23
169	28
188	33
227	43
225	51
255	57
230	63
210	69
377	75
Fuerza de colapso promedio[N]: 223,4	
Esfuerzo de colapso $\frac{[N]}{cm^2}$: 8,936	

A continuación, en la Tabla 3.4 se muestran los resultados que reflejan la aplicación del ejercicio anterior a las 10 muestras comprimidas. El rango de esfuerzos va desde los $8,196 \frac{N}{cm^2}$ hasta los $10,533 \frac{N}{cm^2}$, obteniendo como promedio $9,18 \frac{N}{cm^2}$ entre todos los resultados, el cual que permite conocer la fuerza necesaria para colapsar las ondas según el tamaño del cartón.

Tabla 3.4: Resumen de esfuerzos necesarios para colapsar las ondas según el tamaño del cartón, obtenidos en cada prueba de compresión.

Tamaño [mm]	Fuerza [N]	Esfuerzo de colapso [$\frac{N}{cm^2}$]
50x50	223,4	8,936
50x50	204,9	8,196
50x50	227,7	9,108
50x50	225,4	9,016
50x50	216,5	8,660
75x75	498,4	8,860
75x75	592,5	10,533
100x100	992,04	9,920
100x100	1004,9	10,049
100x100	833,0	8,330
Esfuerzo colapso promedio $\frac{N}{cm^2}$		9,18

Ahora, es de interés conocer la magnitud de la fuerza que se debe aplicar para colapsar las ondas según el tamaño del lote y el esfuerzo característico para comprimir el material. Esto permite dimensionar la cámara de compactación y el sistema de fuerza del equipo. Para ello, se configura la Tabla 3.5 que permite visualizar la fuerza necesaria según diferentes combinaciones de tamaño y esfuerzo.

Tabla 3.5: Fuerza necesaria para colapsar las ondas para diferentes tamaños de cajas según esfuerzo correspondiente

Largo (L') [cm]	50	50	50	60	60	70	90
Ancho (A') [cm]	50	60	70	60	70	70	60
Área [cm ²]	2500	3000	3500	3600	4200	4900	5400
Esfuerzo [$\frac{N}{cm^2}$]	Fuerza [N]						
8	20000	24000	28000	28800	33600	39200	43200
8,5	21250	25500	29750	30600	35700	41650	45900
9	22500	27000	31500	32400	37800	44100	48600
9,18	22956	27547	32138	33056	38565	44993	49584
9,5	23750	28500	33250	34200	39900	46550	51300
10	25000	30000	35000	36000	42000	49000	54000
10,5	26250	31500	36750	37800	44100	51450	56700

3.1.3. Sistemas de compresión

3.1.3.1. Caracterización de partes

A continuación se describen las partes fundamentales de los equipos de compresión de residuos. Para ilustrar los conceptos, se muestra en la Figura 3.1.17 los distintos elementos que componen una compactadora manual vertical.

- **Cámara de compactación:** Se trata de la zona en donde se deposita el material a comprimir. Las dimensiones de aquella determinan el área transversal que tendrá el fardo después de la operación.
- **Frente de compactación móvil:** Son los elementos que permiten comprimir el material de manera uniforme, siguiendo un recorrido lineal. Es el puente entre el sistema de fuerza y el contacto con el desecho.
- **Frente de compactación fijo:** Se trata de la zona de naturaleza estática, que recibe y resiste la carga transmitida por el material al ser comprimido. Por lo demás, está dentro del concepto de cámara de compactación ya que demarca un límite del material cuando es depositado.
- **Sistema de fuerza:** Es el conjunto de piezas que brindan la naturaleza del frente de compactación móvil. Por un lado, se clasifican como sistemas manuales, donde el usuario utiliza fuerza física para operar el equipo mediante un mecanismo que le permita transmitir la fuerza hacia el material. Por otro lado, se encuentran los sistemas motorizados, que son impulsados por electricidad o combustible fósil, caracterizados por la combinación de motores, reductores, sistemas de transmisión de potencia, lubricantes, válvulas, uniones, etc. Estos pueden ser neumáticos o hidráulicos.
- **Estructura:** Fundamentalmente se trata de la máquina en sí, aunque se define como los elementos ensamblados que soportan y unen las demás partes del equipo. Esta puede ser vertical (ver Figura 3.1.19) u horizontal (Ver Figura 3.1.18), así como también móvil o estacionaria.

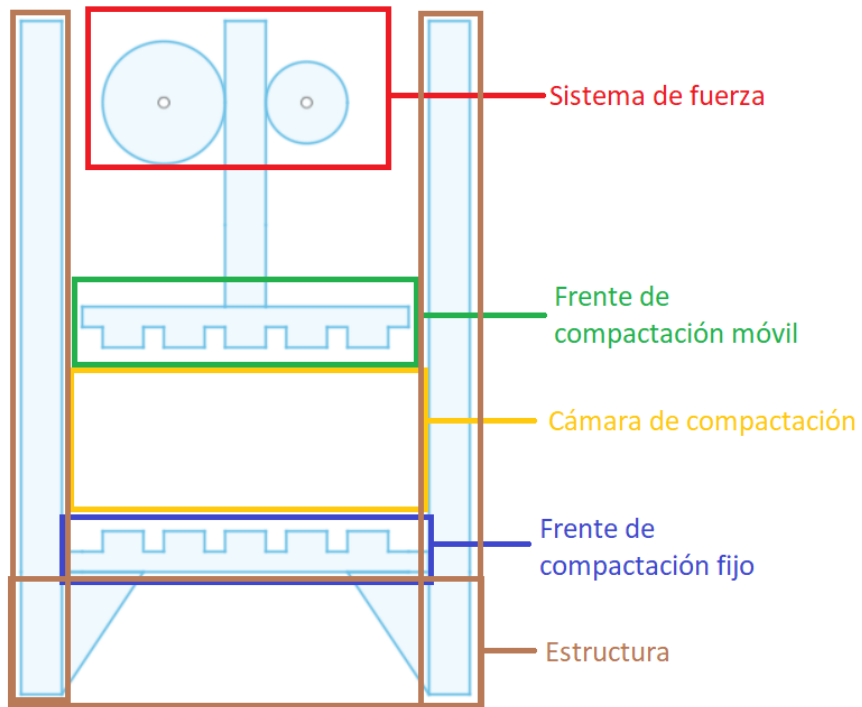


Figura 3.1.17: Ilustración de partes principales en compactadora vertical [Elaboración propia]



Figura 3.1.18: Enfardadora electromecánica horizontal móvil[13]



Figura 3.1.19: Enfardadora electromecánica vertical fija [13]

Cabe mencionar a modo de referencia que, en la industria chilena actual se cuenta principalmente con máquinas electromecánicas, como es el caso de la enfardadora E-300, cuya forma y características se ven en la Figura 3.1.20 y en la Tabla 3.6 respectivamente. Se puede apreciar que la máquina hidráulica posee una fuerza de $6200\text{Kg}f$, con una relación de compactación 5 : 1 (dependiendo del material a compactar) y un un peso de 410Kg . [13]

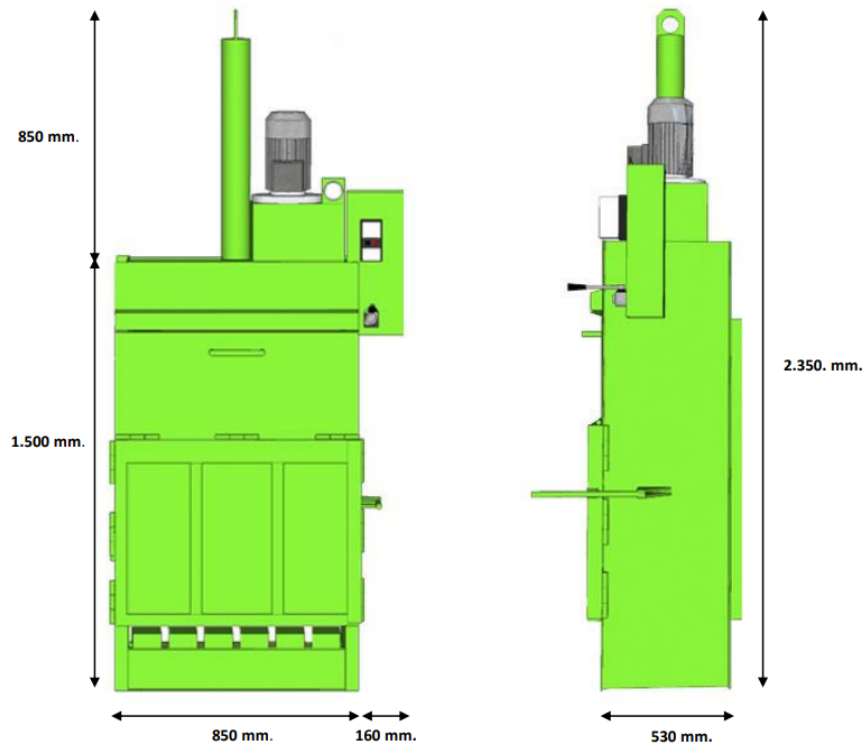


Figura 3.1.20: Características de enfardadora E-300 [13]

Tabla 3.6: Características de enfardadora E-300 [13]

Fuerza de compactación	6200kgf
Volumen cámara de compactación	312Litros
Dimensiones de fardo	740x440mm
Volumen de fardo	227Litros
Tolva de carga	Frontal
Cadenas para expulsión de fardo	2
Ciclo operativo	28s
Puertas	Frontal y trasera
Motor eléctrico	380v; 220v; 3Hp

3.1.4. Parámetros de diseño

Los parámetros que se establecen a continuación consideran los alcances establecidos para el diseño de la máquina:

1. El frente de compactación y el mecanismo de fuerza permiten el colapso de onda, en base a el esfuerzo promedio calculado en la Tabla 3.4.
2. El peso del equipo es menor o igual a 100Kg
3. El costo menor a \$1.000.000 de pesos Chilenos.
4. El área superficial menor a $1m^2$.
5. Utilizar materiales comerciales, considerando su formato de venta y uso en los diferentes elementos (para disminuir la cantidad de material sobrante).
6. Los esfuerzos sobre los elementos deben arrojar un factor de seguridad superior a 1,5 en base su esfuerzo de fluencia y fatiga.

3.1.4.1. Metodología de diseño

A continuación se describe el proceso de diseño que se lleva a cabo, ilustrado en la Figura 3.1.21.

1. En primer lugar, se determina el mecanismo que permite llevar a cabo la compresión, según la capacidad de fuerza, la facilidad de montaje en la máquina, la facilidad de mantención, la gestión de compra y el modo de operación.
2. En segundo lugar, se propone la orientación de la máquina, tomando como referencia las enfardadoras electromecánicas presentadas.
3. Luego, se establecen las medidas del equipo, en función de la altura que tendría una masa de 25kg, y del esfuerzo de colapso de onda, determinado por la capacidad del mecanismo de fuerza y el área de la cámara de compactación.
4. Ilustrar boceto con la forma, medidas, y ubicación de partes que conforman la compactadora.

5. A continuación, se considera el tipo de material que conforman los elementos de la máquina, en relación a los parámetros de diseño.
6. Ahora, se propone la forma y configuración de las distintas partes de la máquina. Se parametrizan las dimensiones de los perfiles, definiendo las longitudes y cantidades. Además, se mencionan las relaciones entre parámetros de los elementos, para realizar el posterior dimensionamiento
7. Por consiguiente, se identifican las cargas y el tipo de esfuerzo que se inducen sobre los elementos, proponiendo modelos analíticos que permitan dimensionar sus parámetros, en base a los criterios de carga admisible y desplazamientos admisibles que afecten a las condiciones de servicio de cada elemento.
8. Con las dimensiones de los perfiles obtenidas, se realiza el modelo 3D de la estructura utilizado Fusion 360.
9. Luego, se realizan simulaciones de elementos finitos para analizar los esfuerzos, desplazamientos y factores de seguridad que se generen sobre las partes de la máquina.
10. Finalmente se menciona el proceso de ensamblaje y se designan las soldaduras utilizadas para unir los elementos.

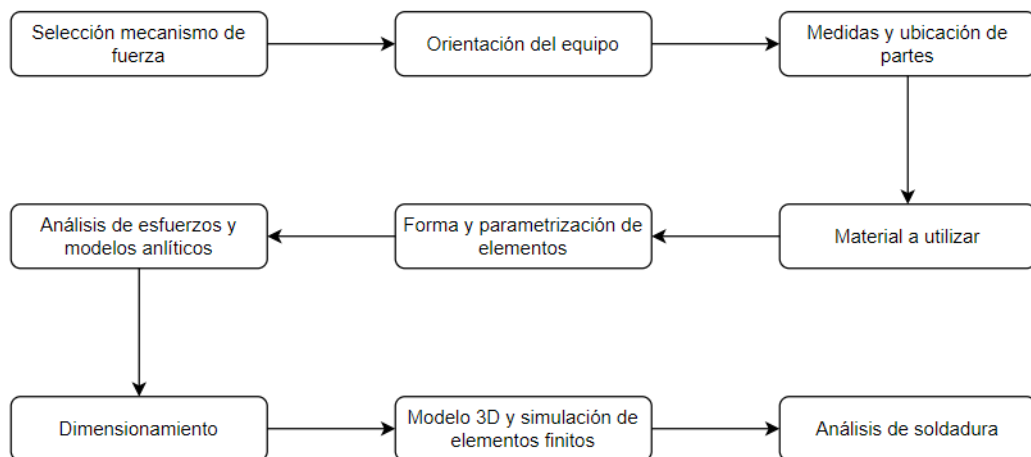


Figura 3.1.21: Diagrama de diseño[Elaboración propia]

Capítulo 4

Trabajo propuesto

4.1. Proceso de diseño

4.1.1. Sistema de fuerza

Se comienza con la búsqueda del sistema de fuerza, ya que es dicho mecanismo el que da movimiento a la máquina. Teniendo en cuenta los resultados que se muestran en la Tabla 3.5, la magnitud de fuerza que se ejerce, también dependerá del tamaño de la cámara de compactación. El método a implementar en ésta ocasión es la lluvia de ideas, donde se proponen las siguientes alternativas:

- La primera idea viene desde el concepto de un tornillo de banco y una prensa manual convencional, donde se logra sujetar objetos (comprimir) desde el giro de un husillo sobre una rosca. Desde aquí, puede nacer la idea de una compactadora manual adaptada para cartones, donde el funcionamiento sería en base al giro de un tornillo.
- Como segunda opción se tiene un sistema de piñón y cremallera, tal que se fija el primero sobre un rodamiento, y mediante un accionamiento giratorio, se transmite la fuerza a la cremallera que puede estar unida a un émbolo.
- A modo de tercer opción, se tiene la posible adaptación de una prensa hidráulica manual, para que tenga el recorrido y la fuerza requerida. También se piensa en una gata hidráulica para levantar autos, pero generalmente ellas tienen un recorrido de $200mm$ lo cual complejizaría la operación.
- Como cuarta idea, se piensa en utilizar las gatas para vehículos agrícolas o todo terreno, las cuales permiten elevar la carga hasta $1,5m$. El tipo de mecanismo es también conocido en inglés como Hi-Lift Jacks y se puede observar en la Figura 4.1.1

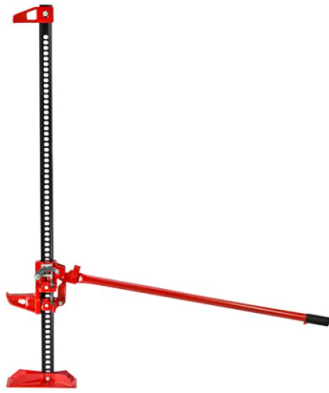


Figura 4.1.1: Gato mecánico para vehículos todo terreno 4.1.1

A continuación, se debe elegir una opción entre las presentadas anteriormente. Para ello, se propone una tabla de evaluación de 1 a 3 que representan la puntuación de: Capacidad de fuerza a ejercer, facilidad de montaje en la máquina, facilidad de mantenimiento, gestión de compra entendida como la cantidad de productos a comprar y modo de operación.

- Tornillo sin fin: Se da una puntuación de 3 a la capacidad de fuerza, ya que se puede diseñar un tornillo/cremallera cuyo paso permita alcanzar la fuerza de compresión. Al montaje se le asigna puntuación 2 ya que se debe acondicionar la estructura (añadir hilo) para que funcione el tornillo o la cremallera. Si se eligen los materiales adecuados, la mantención es sencilla y en periodos prolongados. La gestión de compra es 1 ya que se debe diseñar y fabricar el par tornillo-hilo/cremallera-piñón correspondientes. Se asigna un 2 a la operación ya que para alcanzar grandes fuerzas se requieren pasos pequeños, lo cual ralentiza el movimiento, pero es un movimiento sencillo e intuitivo
- Sistema Hidráulico: Esta opción permite diseñar un cilindro tal que se pueda alcanzar una fuerza de compresión objetivo, por tanto recibe una puntuación de 3. Aunque, aquello implica uso de mangueras, aceite y diferentes partes que deben ser montadas en la máquina, tal que quede correctamente sellada, considerando una puntuación 1 al tratar con varios elementos. En tanto, a la mantención también se le da una puntuación de 1 ya que requiere de personal con conocimientos de hidráulica para inspeccionar la máquina. Existe el riesgo de que las mangueras o los sellos se suelten y el aceite caiga en la cámara de compresión, contaminando el material. En tanto, la gestión de compra es de nivel intermedia, 2, ya que típicamente venden todo lo necesario en una tienda. En cuanto a la operación, se le asigna un nivel de 2, ya que su funcionamiento es análogo a una gata hidráulica para autos.
- Mecanismo Hi-Lift: El mecanismo recibe la puntuación de 3 en la primera variable, ya que entrega un recorrido de $1,5m$ y una fuerza de $3tonf$ que puede ser utilizada para colapsar las ondas en función del área de la cámara de compactación. Se asigna un 3 al montaje, ya que se trata de un conjunto funcional, y posee partes que permiten la unión directa a la máquina. También se considera un 3 para la mantención, ya que los componentes son de larga duración (certificados bajo normas internacionales) necesitando un bajo mantenimiento. Por último, también se asigna el valor 3 a la gestión de compra, ya que el mecanismo se ofrece en un solo componente ya ensamblado.

Tabla 4.1: Evaluación de tipos de sistemas de fuerza

Tipo de accionamiento	Fuerza	Montaje	Mantenición	Gestión de compra	Operación	Total
Tornillo	3	2	3	1	2	11
Cremallera	3	2	3	1	2	11
Hidráulico	3	1	1	1	2	8
Hi-lift	3	3	3	3	2	14

Se selecciona el mecanismo Hi-Lift ya que es resistente y muy versátil. Posee una capacidad probada de $7000lb$ ($3000kg$) y está disponible en alturas de $42''$, $48''$ y $60''$ (107 , 122 y $152cm$). Los componentes están certificados para cumplir con los requisitos aplicables de la norma internacional ASME B30.1-2015.[12].

Ahora, de acuerdo a los resultados en los ensayos de compresión, el esfuerzo promedio necesario para colapsar las ondas es de $9,18 \frac{N}{cm^2}$. Luego, considerando que el mecanismo de fuerza tiene una capacidad de $F_{mecanismo} = 30000N$, entonces el área que debe tener el frente de compactación es de $\frac{30000N}{9,18 \frac{N}{cm^2}} = 3267cm^2$. Las distintas combinaciones de dimensiones (área) y fuerza requerida para alcanzar el esfuerzo de colapso se pueden ver en la Figura 4.1.2. Por ejemplo, si los lados del frente de compactación son $50x60cm$ entonces se requiere una fuerza de $27547N$ para alcanzar el esfuerzo de colapso promedio. Por tanto, en base al primer parámetro de diseño, se designan las últimas medidas mencionadas como dimensiones del frente de compactación móvil $500x600mm$. En tanto, dichos valores junto con la capacidad del mecanismo de fuerza permiten alcanzar una presión de $10 \frac{N}{cm^2}$.

Largo (L') [cm]	50	50	50	60	60	70	90
Ancho (A') [cm]	50	60	70	60	70	70	60
Área [cm ²]	2500	3000	3500	3600	4200	4900	5400
Esfuerzo [$\frac{N}{cm^2}$]			Fuerza [N]				
8	20000	24000	28000	28800	33600	39200	43200
8,5	21250	25500	29750	30600	35700	41650	45900
9	22500	27000	31500	32400	37800	44100	48600
9,18	22956	27547	32138	33056	38565	44993	49584
9,5	23750	28500	33250	34200	39900	46550	51300
10	25000	30000	35000	36000	42000	49000	54000
10,5	26250	31500	36750	37800	44100	51450	56700

Figura 4.1.2: Fuerza de diseño y tamaño de cámara de compactación [Elaboración propia]

4.1.2. Orientación de estructura

Determinando la orientación de la estructura, se considera como alternativa una forma horizontal o vertical según las referencias mostradas en las Figuras 3.1.18 y 3.1.19. Para decidir una opción, se recurre al parámetro de diseño referido al área superficial del equipo, la cual debe ser menor a $1m^2$. Por tanto, se establece una orientación vertical, donde el sistema de fuerza se encuentra en la parte superior. De esta manera, el fardo se comprime desde arriba hacia abajo. Cabe comentar que, si se termina con el material en altura, al momento de retirarlo puede caer sobre el operador, aumentando la probabilidad de accidentes. Para evitar situaciones de riesgo, el paquete final se sitúa en la parte baja de la estructura, mismo lugar del frente de compactación fijo.

4.1.3. Estructura y cámara de compactación

Se muestra anteriormente que el sistema de fuerza es capaz de comprimir bajo un área de $500x600mm$, por tanto, dichas medidas serán las que el frente de compactación móvil. Si se deben comprimir cartones de mayor medida, se dará la instrucción de doblarlos por la mitad tal que se puedan introducir en la cámara de forma plana. Aquello no afecta en la compactación, ya que si al desarmar una caja queda una configuración plana de 2 cartones, doblar la caja desarmada por la mitad induce una configuración de 4 cartones apilados.

En tanto, se debe tener la altura suficiente para contener $25Kg$ de cartón sin comprimir. Para saber dicho valor, se configuran 5 fardos compuestos por cajas desarmadas de onda tipo C, amontonadas una encima de otra hasta el peso mencionado (ver Figura 4.1.3), promediando las alturas que adoptan. El resultado se puede observar en la Tabla 4.2 indicando una altura promedio de $826mm$, donde se agregan $174mm$ para considerar la variabilidad y dar un número cerrado. Por tanto, las medidas $500x600x1000mm$ definen el tamaño de la zona de compactación.



Figura 4.1.3: Medición de altura de fardo de 25Kg [Elaboración propia]

Tabla 4.2: Alturas medidas y promediadas desde fardos de 25 Kg.

Altura medida [mm]
854
804
789
847
836
Altura Promedio [mm]: 826

Por otro lado, el sistema de fuerza se ubica en la parte superior de la estructura, fijando la zona que permite ejercer el movimiento con la palanca (ver Figura 4.1.4) en un soporte correspondiente que resista la magnitud de fuerza ejercida, y se ensambla con el frente de compactación móvil en su parte inferior.

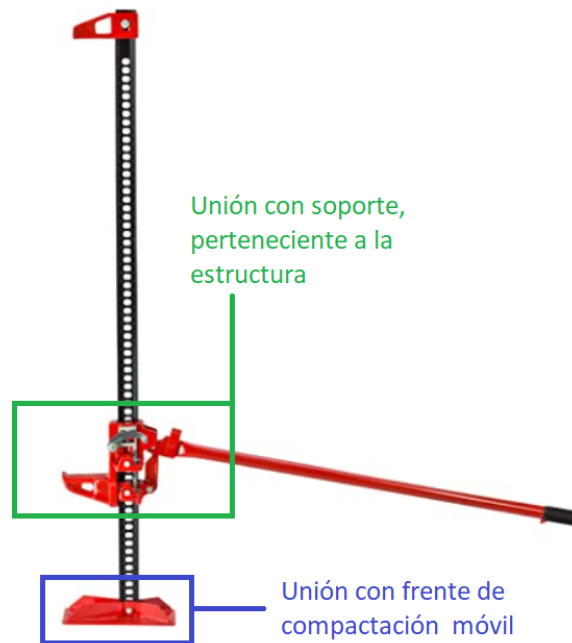


Figura 4.1.4: Indicaciones de ensamblaje en las partes del mecanismo Hi-Lift
[Elaboración propia]

También, la distancia entre la cámara de compactación y el sistema de fuerza es de 400mm , ya que permite el espacio para el frente de compactación móvil, una operación cómoda, y se aprovecha el recorrido que facilitan los 1500mm que posee el gato Hi-Lift de mayor tamaño, asegurando que ambos frentes de compactación puedan estar eventualmente en contacto. Entonces las medidas disponibles para comprimir el cartón son $500 \times 600 \times 1400\text{mm}$. Una ilustración preliminar de lo explicado se puede observar en la Figura 4.1.5.

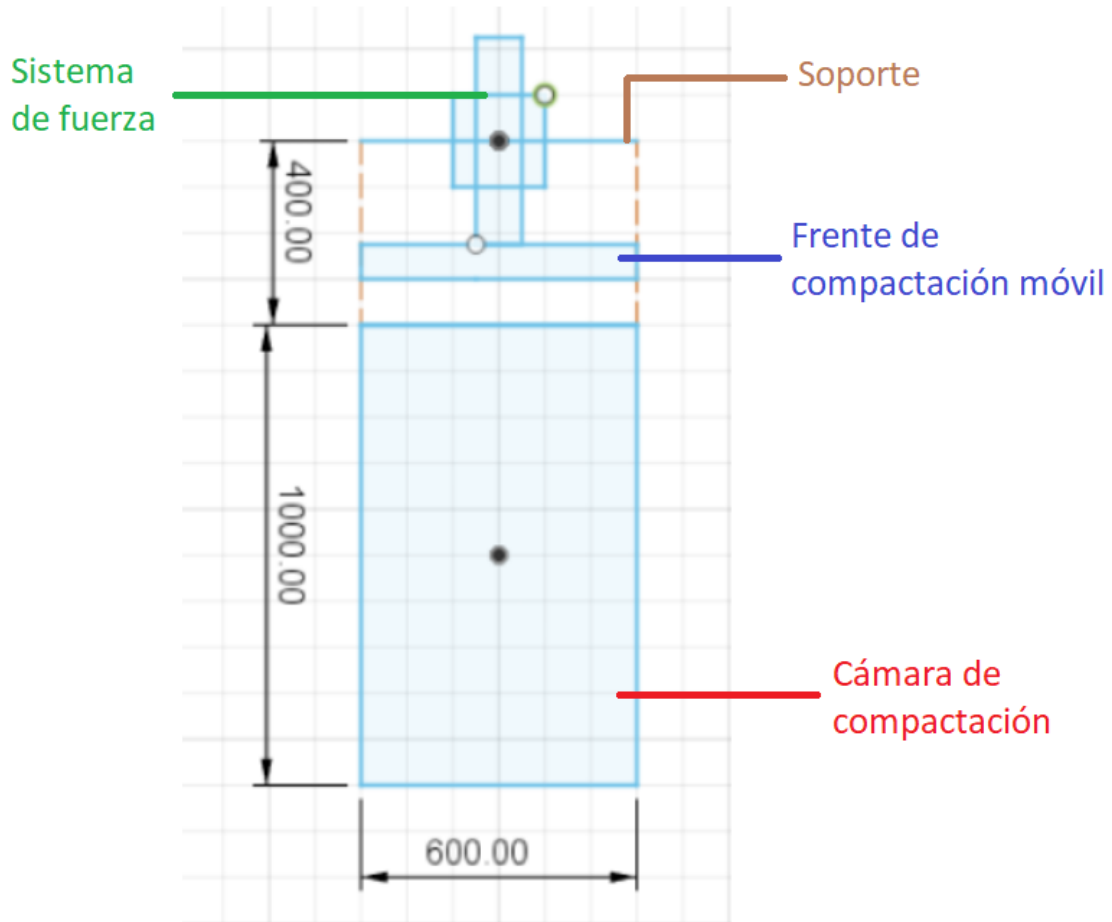


Figura 4.1.5: Boceto inicial donde se muestra la vista frontal del equipo
[Elaboración propia]

4.1.4. Frente de compactación móvil, fijo y espacio de amarre

Estos elementos, al igual que los otros, son parte de la estructura del equipo. En su conjunto dan forma al sistema de compresión y deben facilitar el amarre del cartón compactado para que mantenga su forma final (ver Figura 4.1.6). Por tanto, se propone utilizar dientes en ambos frentes de compactación, de modo que, al momento de comprimir se produzca el contacto con el cartón, quedando espacio disponible en las ranuras para introducir el material con el cual se pretende amarrar el fardo.

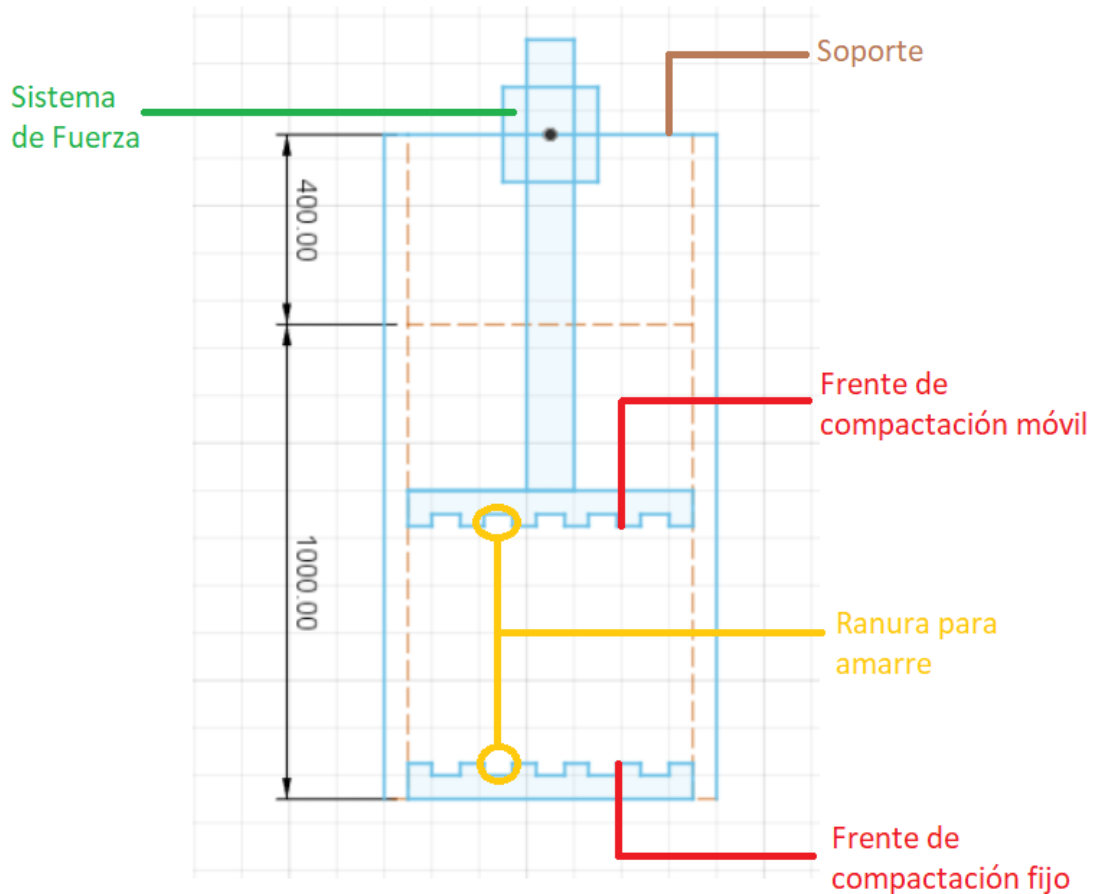


Figura 4.1.6: Boceto frontal del equipo [Elaboración propia]

4.1.5. Materiales

Para continuar con el diseño, es necesario dar cuenta el tipo de material que constituirá las diferentes partes, ya que de ello dependerá la forma de cada elemento, que en conjunto configuran la máquina. En tanto, es aquí donde se debe cumplir con el parámetro de diseño que pretende establecer un equipo con materiales comerciales, para que su fabricación sea asequible en gran parte del territorio nacional. Por tanto, se considera utilizar perfiles de acero A36, más conocido como acero estructural. Estos materiales se pueden encontrar en casas comerciales comunes como barracas de perfiles y/o el comercio enfocado a la construcción. Dentro de las diferentes formas que presentan los perfiles comerciales, se enfoca en diseñar con secciones cuadradas y/o rectangulares. En la Figura 4.1.7 se puede observar los parámetros asignados a las dimensiones de la sección transversal.

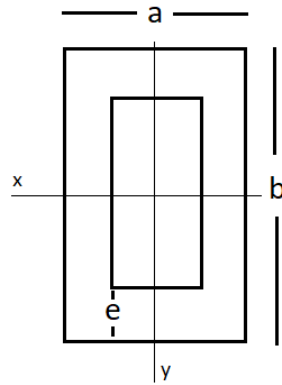


Figura 4.1.7: Definición de sección rectangular [Elaboración propia]

4.1.6. Forma y parametrización de estructura

Al momento de comprimir, el cartón se expande en dirección ortogonal a la vertical, es decir, se expande hacia los laterales, la parte frontal y trasera. Si el material alcanza a la estructura, se producen cargas horizontales en los elementos que estén en contacto con el material. Para evitar aquello, se deja espacio de 50mm entre el límite de la zona de compresión y el borde de la cámara de compactación, evitando que el cartón genere fricción con los elementos laterales que soportan el mecanismo de fuerza. De esta manera, como se observa en la Figura 4.1.8 la zona de compresión efectiva tiene un área de $600 \times 500\text{mm}$, y la cámara de compactación posee $700 \times 600\text{mm}$ de ancho y profundidad respectivamente.

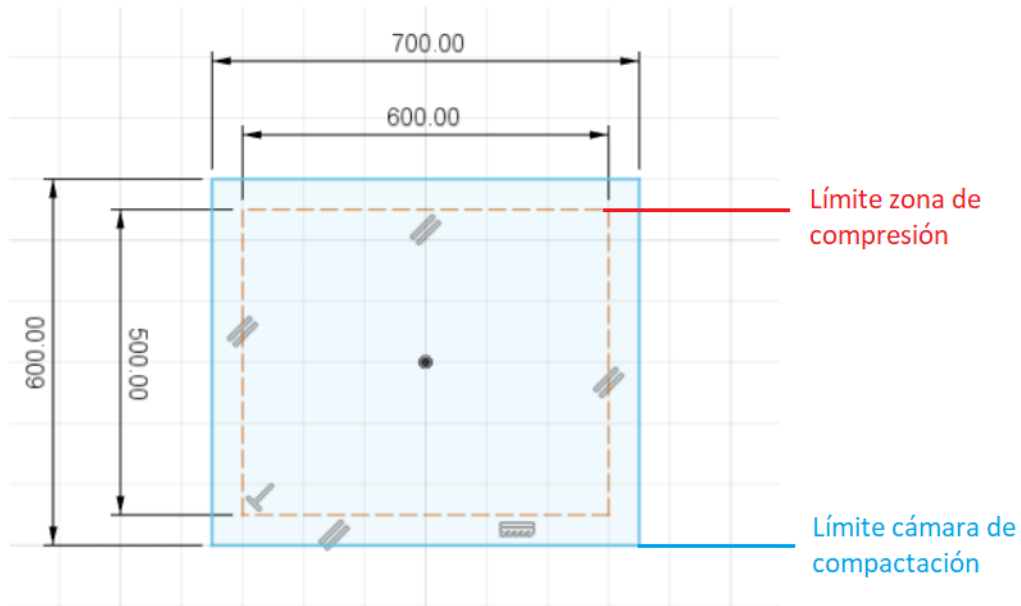


Figura 4.1.8: Especificación de límites en área donde se deposita el material [Elaboración propia]

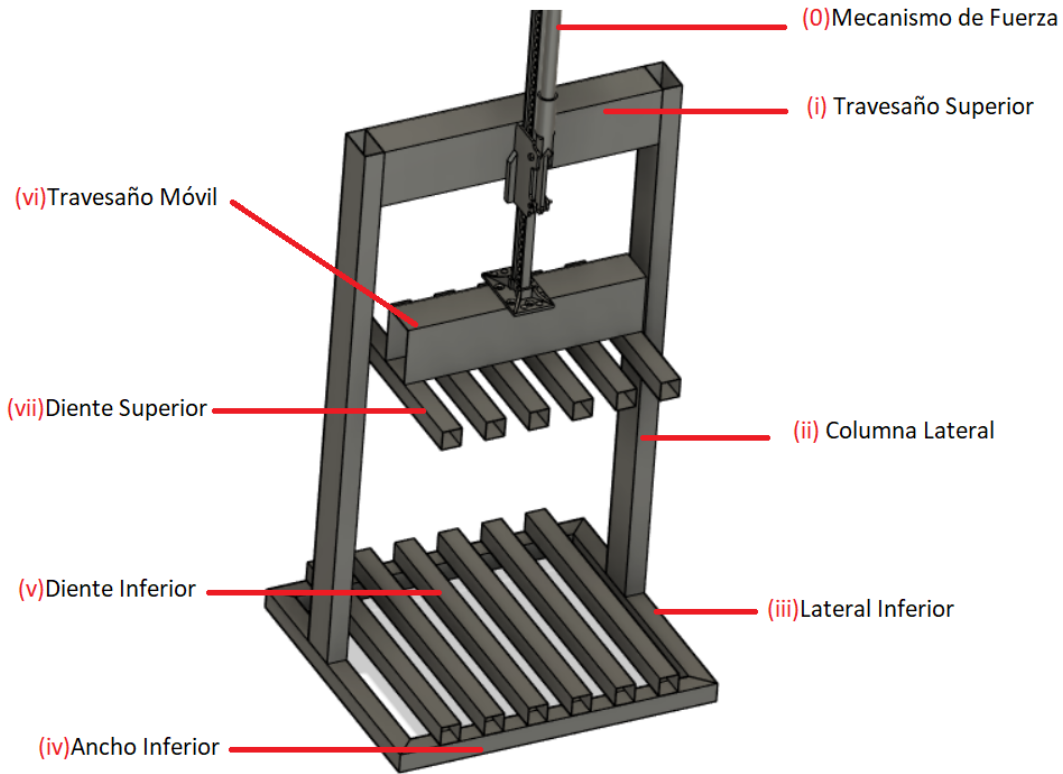


Figura 4.1.9: Forma inicial y definición de elementos [Elaboración propia]

Ahora, se propone la forma general de la máquina presentada en la Figura 4.1.9. La función de la estructura es dar altura al mecanismo de fuerza adaptando su movimiento vertical, para comprimir el material mediante el frente de compactación móvil. Para lograr lo anterior, se diseña un pórtico compuesto por el elemento (i) *Travesaño Superior*, de sección transversal rectangular de ancho a_i y alto b_i , cuyo largo es el ancho interior de la cámara $L_i = 700\text{mm}$, el cual se eleva mediante (ii) *Columnas Laterales* también de sección transversal rectangular de ancho a_{ii} y alto b_{ii} donde el largo establecido es igual a $L_{ii} = 1400\text{mm}$. Se impone la condición $a_i = b_{ii}$, es decir, el ancho del travesaño debe ser igual que el alto de la columna para dar continuidad a la superficie y se pueda unir mediante soldadura.

La estructura anterior descansa sobre una base, la cual esta compuesta por el elemento (iii) *Lateral Inferior* de sección transversal cuadrada de ancho y alto a_{iii} , definiendo el largo igual a la profundidad de la cámara de compresión (600mm) mas dos veces el ancho del elemento (iv), es decir, $L_{iii} = 600 + 2 * a_{iv}$. Luego, el elemento (iv) *Ancho Inferior* corresponde al material frontal y trasero de la base cuyo alto y ancho es a_{iv} , de largo igual al ancho de la cámara de compresión (700mm) mas dos veces el ancho del elemento (iii), por tanto, $L_{iv} = 700 + 2 * a_{iii}$. Para formar el un marco continuo se impone la condición $a_{iii} = a_{iv}$, es decir, la sección transversal de los elementos traseros, frontales y laterales de la base son iguales, diferenciándose en su largo. En tanto, para que las columnas descansen sobre la base y dar continuidad a la estructura, se impone la condición $a_{ii} = a_{iii} = a_{iv}$, es decir, el ancho del elemento (ii) es igual al ancho de los perfiles que componen la base.

En tanto, en la misma base se ubica el frente de compactación fijo compuesto por 6 unida-

des del elemento (v) *Diente Inferior* de sección transversal cuadrada cuyo lado es a_v , y largo igual a la profundidad de la cámara de compresión ($600mm$) mas el doble del ancho (iv) , entonces $L_v = 600 + 2 * a_{iv}$. Los perfiles se fijan paralelamente entre si, con una separación igual a $Distancia\ Dientes = \frac{600 - a_v * 6}{5}$ entre sus centros, con la intención de formar surcos que faciliten el amarre del fardo a compactar.

Por otro lado, el frente de compactación móvil se compone por (vi) *Travesaño Móvil* de sección transversal rectangular de ancho a_{vi} y alto b_{vi} , donde el largo del perfil es igual al ancho del límite de la zona de compresión efectiva $L_{vi} = 700 - 50 - 50 = 600mm$. En tanto, debajo del perfil anterior, se ubican 6 perfiles de forma paralela y equidistante (igual que el frente de compactación fijo) correspondientes a (vii) *Diente Superior* de sección cuadrada, cuyo ancho es a_{vii} igual a la dimensión del diente inferior a_v , es decir, $a_{vii} = a_v$, para alinear ambas configuraciones. El largo de aquellos dientes es igual a la profundidad de la zona de compresión efectiva $L_{vii} = 600 - 50 - 50 = 500$, y se unen de forma simétrica con respecto al ancho del elemento (vi) .

El espesor de cada elemento se denota e_n donde $n \in \{i...vii\}$. La configuración que se describe anteriormente se puede ver nuevamente en la Figura 4.1.9, y se tiene la compilación de las variables definidas en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3: Parametrización de estructura, dimensiones en mm

Elemento	#	Ancho	Alto	Espesor	Largo	Cantidad
Mecanismo de fuerza	0	a_0	b_0	e_0	L_0	1
Travesaño Superior	i	a_i	b_i	e_i	$L_i = 700$	1
Columna Lateral	ii	a_{ii}	$b_{ii} = a_i$	e_{ii}	$L_{ii} = 1400$	2
Lateral Inferior	iii	a_{iii}	$a_{iii} = a_{ii}$	e_{iii}	$L_{iii} = 600 + 2 * a_{iv}$	2
Ancho Inferior	iv	a_{iv}	$a_{iv} = a_{ii}$	e_{iv}	$L_{iv} = 700 + 2 * a_{iii}$	2
Diente Inferior	v	a_v	a_v	e_v	$L_v = 600 + 2 * a_{iv}$	6
Travesaño móvil	vi	a_{vi}	b_{vi}	e_{vi}	$L_{vi} = 600$	1
Diente Superior	vii	a_{vii}	$a_{vii} = a_v$	e_{vii}	$L_{vii} = 500$	6

4.2. Dimensionamiento

4.2.1. Pórtico: elementos (i) y (ii)

4.2.1.1. (i) Travesaño Superior

El lugar donde descansa el mecanismo de fuerza se compone de un travesaño superior unido a dos columnas que se fijan a la base de la estructura mediante soldadura. Esto da como resultado un marco o pórtico biempotrado con una carga puntual hacia arriba en medio del dintel horizontal (Ver Figura 4.2.1), ya que al comprimir el cartón hacia abajo, se genera una reacción en el mecanismo de fuerza hacia arriba. La configuración tiene 6 incógnitas M_A , V_A , H_A , M_D , V_D y H_D y se desprenden 3 ecuaciones de equilibrio, por tanto es un sistema hiperestático de grado $6 - 3 = 3$. Para considerar que el travesaño solo está expuesto a flexión, se une el mecanismo de fuerza mediante la ménsula que posee (el proceso de ensamblaje se explica más adelante). Por lo anterior, se genera una carga distribuida triangular sobre la ménsula, cuya fuerza resultante se ubica desplazada a $\frac{1}{6}$ del centro. Por lo anterior, se considera en primera instancia despreciables los esfuerzos de torsión.

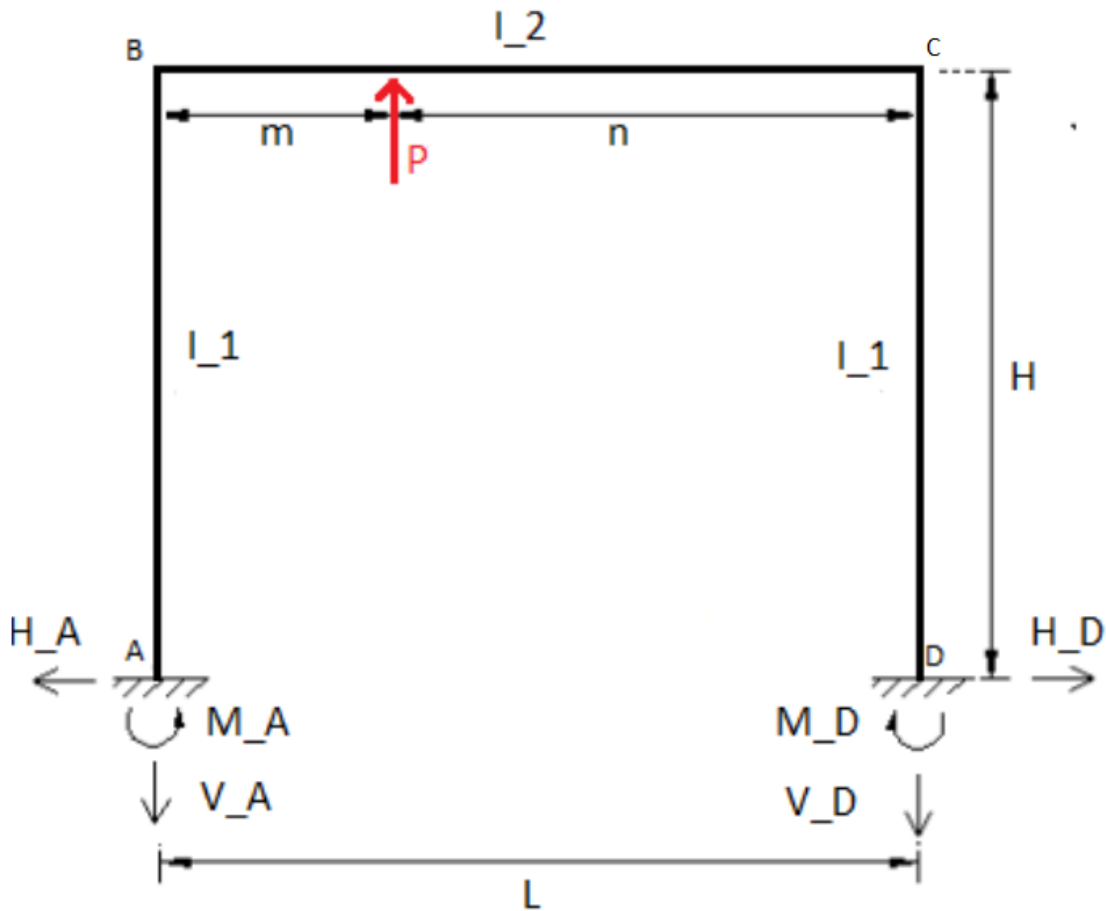


Figura 4.2.1: Representación analítica de pórtico [Elaboración propia]

Mediante el teorema del Castigliano, considerando que en los empotramientos el desplazamiento y la rotación son nulos, se deriva el potencial ([7], pagina 37 anexo 2) que se considera en función del momento flector. De esta forma, se obtienen las expresiones de las reacciones verticales, horizontales y momentos en los apoyos empotrados, así como los momentos en las uniones del travesaño/columnas y en el punto donde se aplica la fuerza. Donde el factor k relaciona el largo horizontal L_i y el momento inercia I_i del travesaño con la altura $H = L_{ii}$ y la inercia I_{ii} de la columna.

$$k = \frac{I_i}{I_{ii}} * \frac{L_{ii}}{L_i} \quad (4.1)$$

Reacciones Verticales

$$V_A = \frac{P * n}{L} \left(1 + \frac{m(n-m)}{L^2(6k+1)}\right) \quad (4.2)$$

$$V_D = P - V_A \quad (4.3)$$

Reacciones horizontales

$$H_A = H_D = \frac{3P * m * n}{2L * H(k+2)} \quad (4.4)$$

Momentos flectores

$$M_A = -\frac{P * m * n}{2L} \left(\frac{1}{k+2} - \frac{n-m}{L(6k+1)}\right) \quad (4.5)$$

$$M_D = -\frac{P * m * n}{2L} \left(\frac{1}{k+2} + \frac{n-m}{L(6k+1)}\right) \quad (4.6)$$

$$M_B = \frac{P * m * n}{L} \left(\frac{1}{k+2} + \frac{n-m}{2L(6K+1)}\right) \quad (4.7)$$

$$M_C = \frac{P * m * n}{L} \left(\frac{1}{k+2} - \frac{n-m}{2L(6K+1)}\right) \quad (4.8)$$

$$M_P = -\frac{P * m * n}{L} + \frac{n * M_B}{L} + \frac{m * M_C}{L} \quad (4.9)$$

Considerando $m = n = \frac{L}{2}$, $L = L_i$, $H = L_{ii}$

Reacciones Verticales

$$V_A = \frac{P * L}{2} = \frac{P * L_i}{2} \quad (4.10)$$

$$V_D = \frac{P * L}{2} = \frac{P * L_i}{2} \quad (4.11)$$

Reacciones horizontales

$$H_A = H_D = \frac{3P * L}{8H(k+2)} = \frac{3P * L_i}{8L_{ii}(k+2)} \quad (4.12)$$

Momentos flectores

$$M_A = M_D = -\frac{P * L}{8(k+2)} = -\frac{P * L_i}{8(k+2)} = -69,06 MPa \quad (4.13)$$

$$M_B = M_C = \frac{P * L}{4(k+2)} = \frac{P * L_i}{4(k+2)} = 138,12 MPa \quad (4.14)$$

$$M_P = -\frac{P * L}{4} + M_B = -\frac{P * L}{4} + \frac{P * L}{4(k + 2)} = \frac{P * L}{4} \left(-1 + \frac{1}{k + 2}\right) = -5111,87 MPa \quad (4.15)$$

Luego, el momento máximo sobre el travesaño (M_i) es en el punto P y sobre la columna (M_{ii}) es en el punto B (unión con el travesaño). Lo anterior se expresa como:

$$M_i = M_P = \frac{P * L_i}{4} \left(-1 + \frac{1}{\left(\frac{I_i}{I_{ii}} * \frac{L_{ii}}{L_i}\right) + 2}\right) \quad (4.16)$$

$$M_{ii} = M_B = -\frac{P * L_i}{4(k + 2)} = \frac{P * L_i}{4\left(\frac{I_i}{I_{ii}} * \frac{L_{ii}}{L_i} + 2\right)} \quad (4.17)$$

Donde los momentos de inercia, se definen para ambos elementos:

$$I_i = \frac{a_i * b_i^3}{12} - \frac{(a_i - 2 * e_i)(b_i - 2 * e_i)^3}{12} = \frac{a_i * b_i^3 - (a_i - 2 * e_i)(b_i - 2 * e_i)^3}{12} \quad (4.18)$$

$$I_{ii} = \frac{a_{ii}^3 * b_{ii}}{12} - \frac{(a_{ii} - 2 * e_{ii})^3(b_{ii} - 2 * e_{ii})}{12} = \frac{a_{ii}^3 * b_{ii} - (a_{ii} - 2 * e_{ii})^3(b_{ii} - 2 * e_{ii})}{12} \quad (4.19)$$

Con lo anterior se puede calcular el momento de flexión máximo en cada perfil, para luego aplicar la fórmula de esfuerzo relacionada:

$$\sigma = \frac{M * c}{I} \quad (4.20)$$

Donde:

- M: Magnitud del momento de flexión en esa sección
- c: Distancia del eje neutro a la fibra más alejada, en la sección transversal de la viga
- I: Momento de inercia del área transversal con respecto a su eje neutro

Para saber la distancia del eje neutro en cada caso, se observa que el travesaño soporta mejor la flexión con la altura de sus sección transversal paralela a la vertical. Con respecto a la columna, se produce la flexión en la dirección horizontal, por tanto se tiene que:

$$c_i = \frac{b_i}{2} \quad (4.21)$$

$$c_{ii} = \frac{a_{ii}}{2} \quad (4.22)$$

De esta forma, se reemplazan las variables en la ecuación de esfuerzo en cada elemento:

$$\sigma_i = \frac{M_i * c_i}{I_i} = \frac{\frac{P * L_i}{4} \left(-1 + \frac{1}{\left(\frac{I_i}{I_{ii}} * \frac{L_{ii}}{L_i}\right) + 2}\right) * \frac{b_i}{2}}{I_i} \quad (4.23)$$

$$\sigma_{ii} = \frac{M_{ii} * c_{ii}}{I_{ii}} = \frac{\frac{P * L_i}{4(\frac{I_i}{I_{ii}} * \frac{L_{ii}}{L_i} + 2)} * \frac{a_{ii}}{2}}{I_{ii}} \quad (4.24)$$

Se tienen dos expresiones que dependen de las inercias de ambos elementos. Para resolver cada una, se propone la relación de diseño $a = \gamma b$ donde $\gamma \in (\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, \frac{3}{4}, 1, etc)$. Para el travesano superior, el ancho puede ser $\gamma = \frac{2}{3}$ del alto. Para las columnas, el ancho puede ser $\gamma = \frac{1}{2}$ del alto. Entre los elementos, se establece que el ancho del travesano es igual al alto de la columna. Entonces respectivamente:

$$a_i = \frac{2}{3} b_i \quad (4.25)$$

$$a_{ii} = \frac{1}{2} b_{ii} \quad (4.26)$$

$$a_i = b_{ii} = \frac{2}{3} b_i \rightarrow a_{ii} = \frac{1}{2} \frac{2}{3} b_i = \frac{1}{3} b_i \quad (4.27)$$

Reemplazando entonces en las inercias:

$$I_i = \frac{\frac{2}{3} b_i * b_i^3 - (\frac{2}{3} b_i - 2 * e_i)(b_i - 2 * e_i)^3}{12} = \frac{\frac{2}{3} b_i^4 - (\frac{2}{3} b_i - 2 * e_i)(b_i - 2 * e_i)^3}{12} \quad (4.28)$$

$$I_{ii} = \frac{(\frac{1}{3} b_i)^3 * \frac{2}{3} b_i - (\frac{1}{3} b_i - 2 * e_{ii})^3 (\frac{2}{3} b_i - 2 * e_{ii})}{12} = \frac{\frac{2}{3^4} b_i^4 - (\frac{1}{3} b_i - 2 * e_{ii})^3 (\frac{2}{3} b_i - 2 * e_{ii})}{12} \quad (4.29)$$

Luego, las inercias mostradas, resultan expresiones en función de las variables b_i , e_i y e_{ii} correspondientes a la altura del travesano superior, junto con su espesor y el de columna. Las expresiones son complejas de resolver al ser de cuarto grado, por tanto, se itera dando valores a los parámetros. Asignando $b_i = 150mm = 0,15m$, $e_i = 3mm$ y $e_{ii} = 2mm$, entonces el resto de las dimensiones son:

- $a_i = \frac{2}{3} b_i = \frac{2}{3} * 150mm = 100mm$
- $b_{ii} = a_i = \frac{2}{3} b_i = 100mm$
- $b_{ii} = a_i = 100mm$
- $a_{ii} = \frac{1}{2} b_{ii} = 50mm$

Así, los esfuerzos sobre el travesano y la columna respectivamente son:

$$\sigma_i = \frac{\frac{P * L_i * b_i}{8} (-1 + \frac{1}{(\frac{I_i}{I_{ii}} * \frac{L_{ii}}{L_i} + 2)})}{I_i} = \frac{\frac{30000[N] * 0,7[m] * 0,15[m]}{8} (-1 + \frac{1}{(\frac{4,73 * 10^{-6} [m^4]}{2,62 * 10^{-7} [m^4]} * \frac{1,4[m]}{0,7[m]} + 2)})}{4,73 * 10^{-6} [m^4]} = -80,97MPa \quad (4.30)$$

$$\sigma_{ii} = \frac{\frac{P * L_i}{4(\frac{L_i}{I_{ii}} * \frac{L_{ii}}{L_i} + 2)} * \frac{a_{ii}}{2}}{I_{ii}} = \frac{\frac{30000[N] * 0,7[m]}{4(\frac{4,73 * 10^{-6}[m^4]}{2,62 * 10^{-7}[m^4]} * \frac{1,4[m]}{0,7[m]} + 2)} * \frac{0,05[m]}{2}}{2,62 * 10^{-7}[m^4]} = 13,67MPa \quad (4.31)$$

Con estos esfuerzos, se puede calcular el factor de seguridad, en base al esfuerzo de fluencia ($250MPa$) del acero A36 igual, de la forma:

$$F.S_{i,fluencia} = \frac{250}{|-80,97|} = 3,08 \quad (4.32)$$

$$F.S_{ii,fluencia} = \frac{250}{13,67} = 18,28 \quad (4.33)$$

Como se observa, se obtiene factores de seguridad mayores a 1,5. Cabe mencionar que, para el elemento (ii), se tiene un exceso en el margen de seguridad debido a que las dimensiones se asignan mediante iteraciones, cumpliendo con las relaciones entre las dimensiones de los elementos supuestas inicialmente.

Por otro lado, se puede establecer el esfuerzo permisible por fatiga, ya que el p3rtico est3 sometido a esfuerzos c3clicos. Se observa que cuando no se comprime material, el p3rtico soporta la fuerza provocada por el peso del mecanismo de fuerza (Hi-lift) mas el peso del frente de compactaci3n superior, que en su conjunto se puede aproximar en $30kgf$. Esto induce un esfuerzo por flexi3n igual a $\sigma_i = -0,809MPa$ y $\sigma_{ii} = 0,131MPa$ en el travesa3o y en la columna respectivamente. Luego, cuando se comprime el material, se invierte a la fuerza de compresi3n igual a $3000Kgf$, provocando que $\sigma_i = -80,973MPa$ y $\sigma_{ii} = 13,130MPa$. Con lo anterior, se calculan las componentes de amplitud (σ_a) y esfuerzo medio (σ_m), de la forma:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (4.34)$$

$$\sigma_a = \frac{|\sigma_{max} - \sigma_{min}|}{2} \quad (4.35)$$

- $\sigma_{a(i)} = 40,891MPa$
- $\sigma_{a(ii)} = 6,631MPa$
- $\sigma_{m(i)} = 40,081MPa$
- $\sigma_{m(ii)} = 6,449MPa$

Ahora, se puede utilizar la relaci3n de Soderberg para analizar el factor de seguridad que entrega la configuraci3n que se est3 evaluando, bajo la expresi3n ([8], ecuaci3n 6.45):

$$\frac{1}{F.S} = \frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} \rightarrow F.S = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y}} \quad (4.36)$$

Donde S_y es el l3mite de fluencia igual a $250MPa$ y S_e es el l3mite de resistencia a la fatiga que incluye los factores de Marin. Para estimar este 3ltimo, se observa la Figura 4.2.2, donde la resistencia a la tensi3n del acero A36 es $S_{ut} = 410MPa$, por tanto:

$$S'_e = 0,5 * 410 = 205MPa \quad (4.37)$$

$$S'_e = \begin{cases} 0.5S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1 400 MPa)} \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ MPa} & S_{ut} > 1 400 \text{ MPa} \end{cases}$$

Figura 4.2.2: Estimación límite de resistencia a la fatiga [8]

Luego, existen factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga relacionados al material, manufactura, entorno, y diseño. La expresión que representa lo anterior es:

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S'_e \quad (4.38)$$

donde:

- k_a = factor de modificación de la condición superficial
- k_b =factor de modificación del tamaño
- k_c =factor de modificación de la carga
- k_d =factor de modificación de la temperatura
- k_e =factor de confiabilidad
- K_f = factor de modificación de efectos varios
- S'_e =límite de resistencia a la fatiga

Comenzando por el factor de superficie, se define como[8]:

$$k_a = a * S_{ut}^b \quad (4.39)$$

Luego, se sabe que los perfiles comerciales son maquinados o laminados en frío, por tanto los factores $a = 4,51$ y $b = -0,265$ se observan en la Figura 4.2.3, de este modo:

$$k_a = 4,51 * 410^{-0,265} = 0,915 \quad (4.40)$$

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} kpsi	S_{ut} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Figura 4.2.3: Parámetros en el factor de la condición superficial [8]

En segundo lugar, para el factor de tamaño se presenta en la Figura 4.2.4 las expresiones según un diámetro (tamaño) de un elemento (circular).

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

Figura 4.2.4: Expresiones de factor de tamaño [8]

Luego, se emplea una dimensión efectiva d_e ya que se está utilizando secciones rectangulares. Para ello, la literatura entrega relaciones válidas para secciones sólidas y huecas no rotativas (ver Figura 4.2.5), considerando h el ancho y b el alto de una sección rectangular [8].

$$d_e = 0,808 * \sqrt{h * b} \quad (4.41)$$

Reemplazando por la configuración de pórtico que se está analizando, se obtienen resultados que conllevan a utilizar la expresión de k_b comprendida entre $51 < d < 254mm$, ya que:

- $d_{e(i)} = 0,808 * \sqrt{150mm * 100mm} = 98,95mm$
- $d_{e(ii)} = 0,808 * \sqrt{100mm * 50mm} = 57,13mm$

Así, reemplazando en la ecuación $1,51d^{-0.157}$ se obtiene:

$$k_{b(i)} = 1,51 * (98,95)^{-0.157} = 0,733 \quad (4.42)$$

$$k_{b(ii)} = 1,51 * (57,13)^{-0.157} = 0,800 \quad (4.43)$$

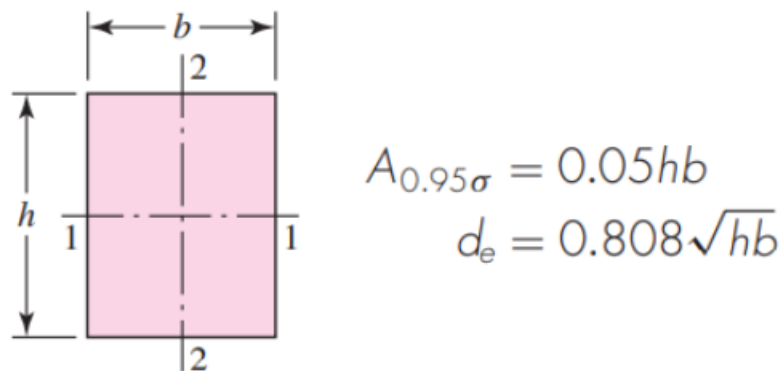


Figura 4.2.5: Dimensión efectiva para sección rectangular [8]

En tercer lugar, se encuentra el factor de modificación de carga, y para ello se considera que los perfiles se someten solamente a esfuerzos de flexión. Así, observando la Figura 4.2.6, se tiene que:

$$k_c = 1 \tag{4.44}$$

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión}^{17} \end{cases}$$

Figura 4.2.6: Expresiones de factor de carga [8]

Con respecto al factor de temperatura, se considera que se trabaja a temperatura ambiente, y viendo la Figura 4.2.8 para una temperatura $20^\circ C$ se tiene:

$$k_d = \frac{S_T}{S_{RT}} = 1 \tag{4.45}$$

$$k_d = 1 \tag{4.46}$$

Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

Figura 4.2.7: Expresiones de factor de temperatura [8]

Siguiendo con el factor k_e se considera un porcentaje de confiabilidad igual a 99%, con ello y contemplando la Figura 4.2.8 se tiene que:

$$k_e = 0,814 \tag{4.47}$$

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_a	Factor de confiabilidad k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Figura 4.2.8: Expresiones de factor de confiabilidad [8]

Aunque el factor k_f tiene el propósito de tomar en cuenta la reducción del límite de resistencia a la fatiga debida a todos los otros efectos, y en verdad significa un recordatorio que estos efectos se deben tomar en cuenta, porque los valores reales de no siempre están disponible [8]. De todas maneras, se considera que la estructura se fabrica por una persona calificada, aplicando los procedimientos adecuados tomando en cuenta la velocidad de soldadura, la corriente, el posible precalentamiento y la penetración en base al espesor que se está utilizando. Se considera el siguiente factor de efectos varios:

$$k_f = 0,8 \quad (4.48)$$

Se tienen entonces los factores de Marin, por tanto se pueden obtener los límites de resistencia a la fatiga como:

$$S_{e(i)} = 0,915 * 0,733 * 1 * 1 * 0,814 * 0,8 * 205MPa = 89,73MPa \quad (4.49)$$

$$S_{e(ii)} = 0,915 * 0,800 * 1 * 1 * 0,814 * 0,8 * 205MPa = 98,26MPa \quad (4.50)$$

De esta forma, el factor de seguridad para el travesaño y la columna bajo la expresión de Soderberg es:

$$F.S_i = \frac{1}{\frac{40,89MPa}{89,73MPa} + \frac{40,08MPa}{250MPa}} = 1,62 \quad (4.51)$$

$$F.S_{ii} = \frac{1}{\frac{6,63MPa}{98,26MPa} + \frac{6,44MPa}{250MPa}} = 10,66 \quad (4.52)$$

Para la deflexión, se analizará en la sección de elementos finitos la flecha máxima que se tendrá en la configuración, estableciendo como límite la relación $\frac{L}{500}$, así para cada elemento se tiene:

$$L_i/500 = 700mm/500 = 1,4mm \quad (4.53)$$

$$L_{ii}/500 = 1400mm/500 = 2,8mm \quad (4.54)$$

4.2.2. Base: elementos (iii) y (iv)

La base del equipo es de forma rectangular compuesta por los elementos (iii) *Lateral Inferior* y (iv) *Ancho Inferior*, como se muestra en la Figura (4.2.9). Para dar uniformidad en el diseño, se considera que ambos perfiles tienen las mismas dimensiones transversales, diferenciándose en su largo. En tanto, originalmente se establece que el ancho de la columna es igual al ancho de los perfiles que componen la base, es decir, $a_{ii} = a_{iii} = a_{iv} = 50mm$. De este modo, la variable a elegir en los elementos es el espesor, que según los formatos de venta comercial varía entre los 1,5 – 5mm. Por ahora, se asignará el menor espesor disponible con el fin de reducir el peso.

El modelo de pórtico anterior se une mediante soldadura a la base, la cual está apoyada directamente en el piso, provocando que el momento generado debido al empotramiento del pórtico no genere un desplazamiento por torsión de la base, siempre y cuando ésta resista dicho esfuerzo mediante un espesor suficiente.

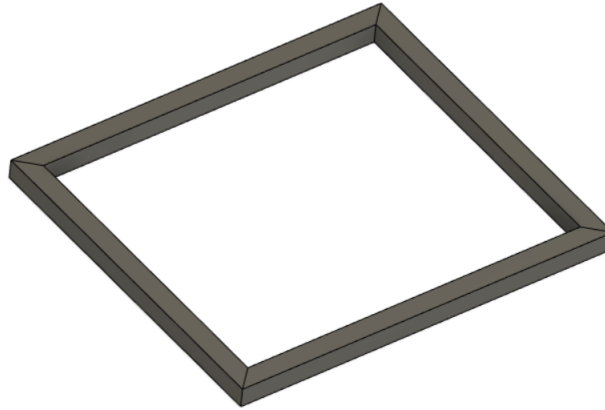


Figura 4.2.9: Representación gráfica de la base [Elaboración propia]

4.2.3. Frente de compactación fijo: elemento (v)

4.2.3.1. (v) *Diente Inferior*

El frente de compactación fijo se encarga de recibir al material en la base del equipo (ver Figura 4.2.10), y resistir la fuerza de compresión. Se compone de 6 perfiles paralelos equidistantes correspondiente al elemento (v) cuyo largo es $L_v = 600 + 2 * a_{iv}$. Se considera el doble del ancho de los perfiles que componen la base (a_{iv}) para que los dientes descansen sobre ellos, uniéndolos mediante soldadura.

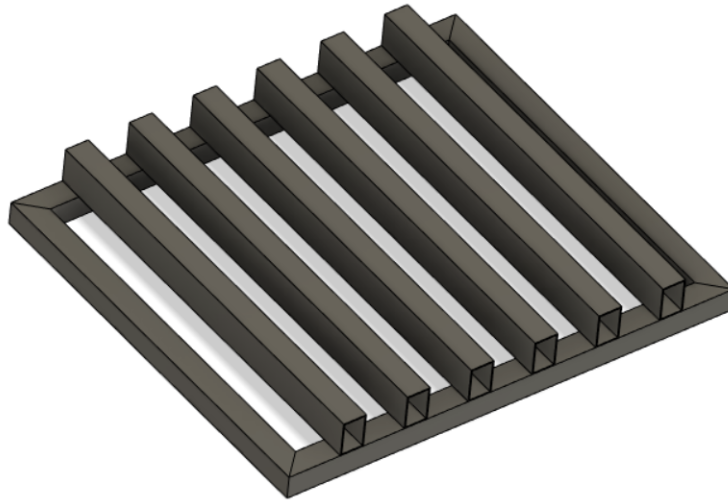


Figura 4.2.10: Representación gráfica el émbolo inferior [Elaboración propia]

Luego, se considera que la fuerza de compresión se reparte entre los 6 dientes de forma uniforme (considerando que la flexión hacia el centro del frente de compactación móvil es prácticamente nula y por tanto se realiza una compresión pareja, ordenando de manera correcta previamente los cartones), de modo que cada uno recibe $P_{xp(v)} = \frac{30000N}{6} = 5000N$. De esta forma, la carga distribuida a lo largo del perfil es:

$$w_v = \frac{P_{xp(v)}}{L_v} = \frac{5000N}{0,7m} = 7142,85 \frac{N}{m} \quad (4.55)$$

Cabe comentar que, en estricto rigor la distribución de la carga sobre los dientes no es uniforme, ya que al ocurrir la compresión desde la carga puntual que ofrece el mecanismo de fuerza, se produce una concentración de esfuerzo en el medio por la flexión inducida. También se puede pensar como un gradiente de carga, que es mayor en el centro y va disminuyendo hacia los extremos. Esto provoca que los dientes centrales reciban mayor esfuerzo que los dientes laterales. Y también desde sus centros hacia sus extremos, induciendo una carga distribuida más bien triangular. Sin embargo, dar una expresión fiable de cuánto disminuye el esfuerzo desde el centro hacia afuera es complejo. Por tanto, para simplificar el problema se considera que los 6 dientes reciben de forma uniforme la misma cantidad de carga.

Con lo anterior, se puede modelar cada diente como una viga biempotrada considerando una carga uniforme distribuida, la cual induce un esfuerzo por flexión sobre el elemento. En la Figura 4.2.11 se puede ver la representación de la situación con las reacciones verticales en los extremos. Cabe mencionar que no existen fuerzas horizontales.

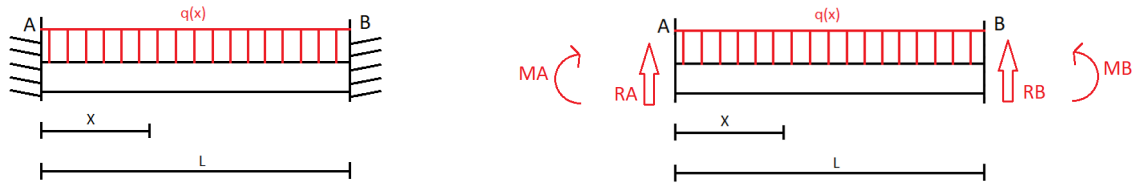


Figura 4.2.11: Diagrama de viga empotrada en ambos lados, y a la derecha las reacciones provocadas por una carga distribuida uniformemente [Elaboración propia]

Con lo anterior, se analizan los esfuerzos internos del elemento producidos por la carga distribuida, los cuales se resumen en la Tabla (4.4). Utilizando la expresión del momento evaluada en $x = \frac{L_v}{2} = 0,3m$, se obtiene:

$$M_{centro(v)} = \frac{wL_v^2}{24} = 145Nm \quad (4.56)$$

Tabla 4.4: Esfuerzos internos del elemento (v) *Diente Inferior*

Tramo	Cortante	Momento
A	$\frac{wL}{2}$	$-\frac{wL^2}{12} = -291,6Nm$
B	$-\frac{wL}{2}$	$-\frac{wL^2}{12} = -291,6Nm$
x	$\frac{w}{2}(L - 2x)$	$\frac{-w}{12}(L^2 - 6Lx + 6x^2)$

Ahora, para dimensionar el elemento se utiliza el módulo de sección, con el máximo momento sobre el diente y un esfuerzo permisible en base al límite de fluencia igual a $\sigma_{permisible} = \frac{250MPa}{1,5} = 166,6MPa$. Desde ahora, no se utiliza un esfuerzo permisible en base al límite de resistencia a la fatiga porque los perfiles no soportan una fuerza en dirección contraria, como sí lo hace el elemento (i) al resistir el esfuerzo de compresión y el peso del mecanismo de fuerza. Entonces, utilizando la expresión de esfuerzo por flexión, se obtiene:

$$S_v = \frac{I_v}{c_v} = \frac{M_{max}}{\sigma_{permisible}} = \frac{291,6Nm}{166,6MPa} = 1,75cm^3 \quad (4.57)$$

Luego, para un perfil rectangular, se puede expresar el módulo de sección en base a la inercia y el factor c como:

$$\frac{I}{c} = \frac{ab^3 - (a - 2e)(b - 2e)^3}{12} * \frac{2}{b} = \frac{ab^3 - (a - 2e)(b - 2e)^3}{6b} \quad (4.58)$$

Se implementa el factor γ para dar una consideración de diseño y poder resolver o reemplazar la ecuación con mayor facilidad. Entonces se puede establecer la relación $a = \gamma b$ donde $\gamma \in (\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, etc)$. En especial, si el perfil es cuadrado, entonces $\gamma = 1$. De esta forma, el módulo de sección se puede expresar como:

$$\frac{I}{c} = \frac{b^4 - (b - 2e)^4}{6b} \quad (4.59)$$

Estableciendo entonces una sección cuadrada ($\gamma = 1$) y un espesor igual a $1mm$ se obtiene,

mediante iteraciones, que para un valor de $b_v = 40mm$, un módulo de sección:

$$\left(\frac{I_v}{c_v}\right)_{40x40x1} = \frac{1 * (0,4m)^4 - (10,4m - 2 * (0,001m))^4}{6 * (0,4m)} = 1,97cm^3 \quad (4.60)$$

El resultado que se obtuvo es aceptable ya que es mayor al módulo de sección entregado por el esfuerzo permisible en la ecuación 4.57. Entonces, se podrían utilizar perfiles de $40x40x1mm$ cuyo peso es de $1,1 \frac{Kgf}{m}$.

Para saber la deflexión de un perfil de $40x40x1mm$, biempotrado bajo una carga distribuida se tiene la ecuación:

$$y_x = \frac{wL^4}{24EI} \left(\frac{x}{L} - \frac{x^2}{L^2}\right)^2 \quad (4.61)$$

En tanto la flecha máxima que presenta el elemento (v) se encuentra en $x = \frac{L_v}{2}$, por ende, reemplazando en la ecuación anterior y considerando $E = 200GPa$, $I_{40x40x1} = 3,55 * 10^{-6}m^4$

$$f_{max} = \frac{wL^4}{384EI} = \frac{(7142,8N/m)(0,7m)^4}{384(200GPa)(3,55 * 10^{-6}m^4)} = 0,0056mm \quad (4.62)$$

$$f_{max} = \frac{wL^4}{384EI} = 0,0056mm \quad (4.63)$$

Ahora, se verifica el límite de flecha en los elementos según el largo del claro dividido en 500 de la forma:

$$f_{max} = \frac{L}{500} = \frac{700mm}{500} = 1,4mm \quad (4.64)$$

Se puede apreciar entonces que un perfil de $40x40x1mm$ cumple las condiciones de resistencia y servicio para conformar el frente de compactación fijo.

4.2.4. Frente de compactación superior: elementos (vi) y (vii)

El frente de compresión móvil o superior cumple la función de transmitir la fuerza desde el mecanismo hacia el material. Para abarcar el área de compresión, se implementa un perfil en la dirección del ancho, y así sostener los 6 dientes superiores de manera ortogonal, separados de forma paralela equidistante. La configuración se representa en la figura (4.2.12), donde el travesaño se posiciona en el medio de los perfiles que compactan el cartón.

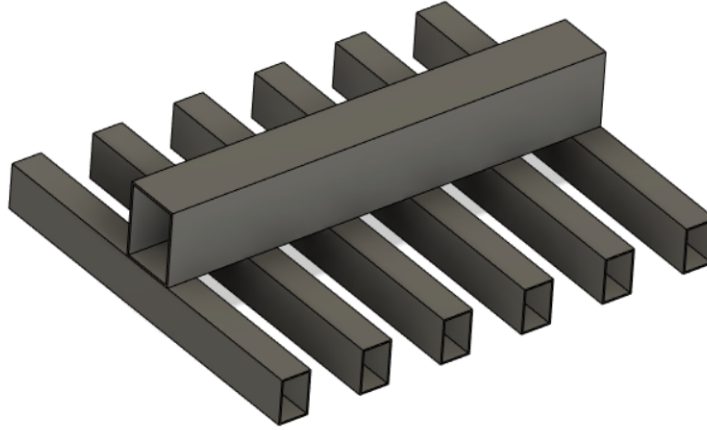


Figura 4.2.12: Representación gráfica el émbolo superior [Elaboración propia]

4.2.4.1. (vi) Travesaño móvil

El perfil orientado en la dirección del ancho, se conecta con el mecanismo de fuerza y con los dientes del frente superior. Luego, suponiendo que se acciona el mecanismo pero debajo no hay cartón, entonces el elemento no sufrirá esfuerzo alguno. En cambio si se aplastan los cartones en contacto con los dientes, entonces el elemento percibe la reacción hacia arriba que ejerce el cartón en 6 puntos equidistantes, induciendo un esfuerzo por flexión. La situación se modela como una viga simplemente apoyada en el centro, bajo 6 cargas puntuales separadas por $a = \frac{600}{6} = 100\text{mm} = 0,1\text{m}$, tal como se muestra en la Figura (4.2.13), donde $b = \frac{a}{2} = 50\text{mm} = 0,05\text{m}$.

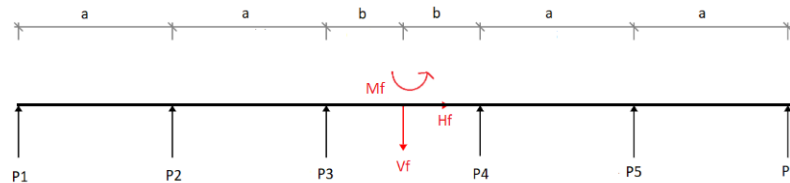


Figura 4.2.13: Representación del elemento (vi) Travesaño móvil [Elaboración propia]

Es fácil ver que $H_f = 0$ ya que no hay fuerzas horizontales externas. Analizando las fuerzas verticales, se considera que las reacciones provocadas por los dientes son de igual magnitud $P_{1...6} = P_{xp}$ y que en suma corresponden a la fuerza de compresión, entonces la reacción del punto de apoyo que corresponde a la pata del mecanismo Hi-Lift se define como:

$$V_f = 6 * P_{xp} = 30000\text{N} \rightarrow P_{xp} = \frac{30000}{6} = 5000\text{N} \quad (4.65)$$

Cabe mencionar que, en realidad las fuerzas P_{xp} no son todas iguales, ya que, como se comentó anteriormente, la fuerza puntual del mecanismo de fuerza situada en el centro provoca que los dientes centrales reciban una carga mayor que los laterales. Esto significa agregar un

factor que permita cuantificar cuánta carga reciben los perfiles centrales, y que dicho valor vaya disminuyendo hacia los extremos. Pero dar un valor fiable requiere es complejo, debido a la variabilidad del cartón. Entonces, para simplificar el problema, se considera igualdad de carga para los 6 elementos.

En tanto, realizando la sumatoria de momentos en el punto donde se aplica la carga P_1 , se tiene que:

$$M_f + [a]P_2 + [2a]P_3 + [3a]P_4 + [4a]P_5 + [5a]P_6 + -[2a + b]V_f = 0 \quad (4.66)$$

Reemplazando $P_{1...6} = P_{xp}$ y $V_f = 6 * P_{xp}$, donde $b = \frac{a}{2}$ se obtiene:

$$M_f + 15aP_{xp} - \left[\frac{5a}{2}\right]V_f = 0$$

$$M_f = 0 \quad (4.67)$$

Ahora, para obtener el diagrama de momento y cortante, se analiza por tramos, y los resultados se pueden observar en la Tabla 4.5

Tabla 4.5: Esfuerzos internos del elemento (vi)Travesaño móvil

Tramo	Cortante	Momento
1-2	$P_1 = P_{xp}$	$P_{xp}x$
2-3	$P_1 + P_2 = 2P_{xp}$	$F_{xp}(2x + a)$
3-3'	$P_a + P_2 + P_3 = 3P_{xp}$	$3P_{xp}(x + a)$
3'-4	$P_1 + P_2 + P_3 - V_f = -3P_{xp}$	$3P_{xp}(-x + b + a)$
4-5	$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 - V_f = -2P_{xp}$	$F_{xp}(-2x + 3a)$
5-6	$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 - V_f = -P_{xp}$	$F_{xp}(-x + a)$

Luego, el momento máximo se encuentra en el medio de la viga, donde el momento flector lo define la ecuación:

$$M_{33'}(b) = 3 * P_{xp}(a + b) = 3 * 5000N * (0,12 + 0,06)m = 2700Nm \quad (4.68)$$

Ahora, se utiliza el esfuerzo permisible en base al límite de fluencia $\sigma = 250MPa$ con un factor de seguridad de 1,5, ofreciendo un límite de estrés sobre el elemento igual a $\sigma_{permisible} = 166,6MPa$. De esta forma, utilizando la expresión de esfuerzo por flexión $\sigma = \frac{M*c}{I}$ se tiene que:

$$\frac{I_{vi}}{c_{vi}} = \frac{M_{33'}(b)}{\sigma_{permisible}} = \frac{2700Nm}{166,6MPa} = 16,2cm^3 \quad (4.69)$$

Para determinar las dimensiones del perfil se utiliza nuevamente la ecuación que relaciona el módulo de sección, con las medidas de sección transversal de la forma $a_{vi} = \gamma b_{vi}$. De tal modo que, se considera un factor $\gamma = \frac{3}{4}$ y un espesor $e = 2mm$. De esta forma se facilita la búsqueda del alto, dando como resultado $b_{vi} = 100mm$ y por tanto $a_{vi} = \frac{3}{4}100mm = 75mm$, que suponen un módulo de sección que permita resistir los esfuerzos:

$$\frac{I}{c} = \frac{\gamma b^4 - (\gamma b - 2e)(b - 2e)^3}{6b} \quad (4.70)$$

$$\left(\frac{I}{c}\right)_{100x75x2} = \frac{\frac{3}{4}(0,1m)^4 - \left(\frac{3}{4}(0,1m) - 2 * (0,002m)\right)\left((0,1m) - 2 * (0,002m)\right)^3}{6(0,1m)} = 20,3cm^3$$

Como se observa, el módulo de sección obtenido en la ecuación anterior es mayor al valor requerido que señala la ecuación (4.69) pues $16,2 < 20,3cm^3$. Por tanto, con las medidas adoptadas $100x75x2mm$ son adecuadas para el travesano móvil.

Ahora, para determinar la flecha máxima del perfil $100x75x2mm$, de inercia $I_{100x75x2} = 1,01 * 10^{-6}m^4$, se observa que el máximo desplazamiento con respecto a la horizontal se encuentra en el medio $x = \frac{L_{vi}}{2}$. Por tanto, se utiliza la fórmula de momento flector en el tramo $33'$ de la forma:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M_{33'}}{EI_{vi}} = \frac{3P_{xp}(x+a)}{EI_{vi}} \quad (4.71)$$

Integrando una vez, sabiendo que en $x = \frac{L_{vi}}{2}$ se tiene $\hat{y}' = 0$, entonces:

$$\hat{y}' = \frac{3P_{xp}}{EI_{vi}}\left(\frac{x^2}{2} + ax + c_1\right) \quad (4.72)$$

$$c_1 = -\left(\frac{(L_{vi}/2)^2}{2} + a(L_{vi}/2)\right) = -\left(\frac{(0,6m/2)^2}{2} + 0,1m(0,6m/2)\right) = -0,075m^2 \quad (4.73)$$

A continuación, integrando una segunda vez, sabiendo que $\hat{y}(x=0) = 0$, se obtiene:

$$\hat{y} = \frac{3P_{xp}}{EI_{vi}}\left(\frac{x^3}{6} + a\frac{x^2}{2} + c_1x + c_2\right) \quad (4.74)$$

$$c_2 = 0 \quad (4.75)$$

$$\hat{y} = \frac{3P_{xp}}{EI_{vi}}\left(\frac{x^3}{6} + a\frac{x^2}{2} + c_1x\right) = 1mm \quad (4.76)$$

Reemplazando entonces los valores en $x = \frac{L_{vi}}{2}$, se llega una flecha máxima igual a:

$$\hat{y}_{max} = \frac{3 * 5000N}{200GPa * 1,01 * 10^{-6}m^4}\left(\frac{(0,3m)^3}{6} + 0,1m\frac{(0,3m)^2}{2} - 0,075(0,3m)\right) = 1mm$$

$$\hat{y}_{max} = 1mm$$

Se obtiene una flecha aceptable ya que:

$$\frac{L_{vi}}{500} = \frac{600mm}{500} = 1,2mm \quad (4.77)$$

Por tanto, un perfil de $100x75x2mm$ es adecuado para conformar el travesaño móvil ya que presenta la rigidez y la deflexión adecuada para comprimir los cartones en la dirección del ancho.

4.2.4.2. (vii) Diente Superior

El diente superior tiene la función de transmitir la fuerza de compactación en la dirección del largo o profundidad. Está conectado al travesaño móvil y recibe la reacción del cartón a lo largo de su cara inferior. La situación se puede modelar (ver Figura 4.2.14) como una viga con apoyo simple en el medio, con una carga distribuida a lo largo ($L_{vii} = 500mm$) de la superficie inferior. En tanto, la fuerza de compresión transmitida por el travesaño móvil, se reparte uniformemente hacia los 6 dientes. Lo anterior es una simplificación del problema ya que, del mismo modo, debido a la flexión del travesaño móvil, los dientes centrales reciben mayor carga que los laterales. De este modo, la fuerza en cada uno será:

$$P_{xp} = \frac{30000}{6} = 5000N \quad (4.78)$$

Por tanto, la carga distribuida resulta:

$$w = \frac{P_{xp} = V_f}{L_{vii}} = \frac{5000N}{0,5m} = 10000 \frac{N}{m} \quad (4.79)$$

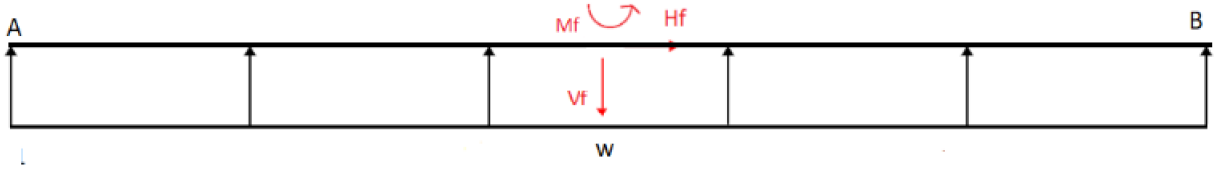


Figura 4.2.14: Representación del elemento (vii) Diente Superior [Elaboración propia]

Ahora, se observa que nuevamente no hay fuerzas horizontales, por tanto $H_{vii} = 0$. En tanto, mediante la sumatoria de fuerzas verticales, se tiene que:

$$V_f = w * L_{vii} = 10000 \frac{N}{m} * 0,5[m] = 5000N \quad (4.80)$$

Realizando luego la sumatoria de momentos en el punto A se tiene que :

$$M_f + \left[\frac{L_{vii}}{2}\right]w * L_{vii} - \left[\frac{L_{vii}}{2}\right]V_f = 0 \quad (4.81)$$

Dada la condición $V_f = w * L_{vii}$ entonces:

$$M_f = 0 \quad (4.82)$$

Calculando los esfuerzos internos del perfil, se obtienen las expresiones de la Tabla (4.6), donde el momento por flexión máximo posicionado en el medio es:

$$M_{max(vii)} = \frac{w * L^2}{8} = \frac{10000N/m * (0,5m)^2}{8} = 312,5Nm \quad (4.83)$$

Tabla 4.6: Esfuerzos internos del elemento (vii) *Diente Superior*

Tramo	Cortante	Momento
A-P	$w * x$	$\frac{w*x^2}{2}$
P-B	$w(x - L_{vii})$	$-\frac{w*L_{vii}^2}{8} + \frac{w*x^2}{2}$

De esta forma, considerando un esfuerzo admisible en base al límite de fluencia $\sigma_{permissible} = 166,6MPa$ se obtiene un módulo de sección:

$$S_{vii} = \frac{312,5Nm}{166,6MPa} = 1,87cm^3 \quad (4.84)$$

Utilizando la ecuación que relaciona el módulo de flexión con las dimensiones de la sección transversal, considerando $\gamma = 1$ y por tanto $a_{vii} = b_{vii}$ con un espesor igual a $e_{vii} = 1mm$ se obtiene mediante iteraciones, que la mejor alternativa en cuanto a módulo de sección y peso es $b_{vii} = 40mm$ ya que:

$$\frac{I}{C_{40x40x1}} = \frac{1 * (0,04m)^4 - (0,04m - 2 * (0,001m))^4}{6 * (0,04m)} = 1,97cm^3 \quad (4.85)$$

$$\left(\frac{I}{C}\right)_{40x40x1} = 1,97cm^3 \quad (4.86)$$

Por otro lado, para verificar la deflexión máxima que tendría el perfil de $40x40x1mm$ bajo esta condiciones de carga, se tiene que:

$$\frac{d^2\hat{y}}{dx^2} = \frac{M_{AP}}{EI} = \frac{(wx^2/2)}{EI} = \frac{w}{2EI}x^2 \quad (4.87)$$

Integrando una vez, sabiendo que, $\hat{y}'(x = \frac{L}{2}) = 0$, es decir en el medio la pendiente de la deflexión es igual a cero, se obtiene que:

$$\frac{d\hat{y}}{dx} = \frac{w}{2EI}\left(\frac{x^3}{3} + c_1\right) \quad (4.88)$$

$$c_1 = -\frac{L^3}{24} \quad (4.89)$$

Ahora, integrando una segunda vez, sabiendo que $\hat{y}(x = 0) = 0$ y por tanto $c_2 = 0$ se obtiene la ecuación de la deflexión:

$$\hat{y}(x) = \frac{w}{2EI}\left(\frac{x^4}{12} - \frac{L^3}{24}x\right) = 0,00687mm \quad (4.90)$$

Entonces, sabiendo que en $\hat{y}(x = \frac{L}{2})$ se presenta la máxima flecha, se obtiene:

$$\hat{y}(x = \frac{L}{2}) = \frac{-wL^4}{128EI_{40x40x1}} = \frac{-10000(N/m) * (0,5m)^4}{128 * 200MPa * 3,55 * 10^{-6}m^4} = 0,00687mm \quad (4.91)$$

Verificando el valor obtenido en base a al criterio:

$$\frac{L_{vii}}{500} = \frac{500mm}{500} = 1mm \quad (4.92)$$

Entonces, un perfil de $40x40x1mm$ es adecuado para comprimir el material desde arriba, ya que los resultados de rigidez y deflexión indican que la curvatura provocada por la reacción de los cartones permite comprimir efectivamente el material.

4.2.5. Asignación de perfiles

A continuación se observa la Tabla 4.7, donde se muestran las medidas que adoptaría cada elemento para cumplir con los requerimientos de rigidez y servicio, cuyos valores se obtienen desde el estudio analítico.

Tabla 4.7: Parámetros calculados, dimensiones en mm

Elemento	Ancho [mm]	Alto [mm]	Espesor [mm]	Largo [mm]	S [cm^3]
(i)Travesaño Superior	$a_i = 150$	$b_i = 100$	$e_i = 3$	$L_i = 700$	63,1
(ii)Columna Lateral	$a_{ii} = 100$	$b_{ii} = a_i = 50$	$e_{ii} = 2$	$L_{ii} = 1400$	10,2
(iii)Lateral Inferior	$a_{iii} = 50$	$a_{iii} = a_{ii} = 50$	$e_{iii} = 1,5$	$L_{iii} = 700$	4,74
(iv)Ancho Inferior	$a_{iv} = 50$	$a_{iv} = a_{ii} = 50$	$e_{iv} = 1,5$	$L_{iv} = 800$	4,74
(v)Diente Inferior	$a_v = 40$	$a_v = 40$	$e_v = 1$	$L_v = 700$	1,97
(vi)Travesaño móvil	$a_{vi} = 100$	$b_{vi} = 75$	$e_{vi} = 2$	$L_{vi} = 600$	20,3
(vii)Diente Superior	$a_{vii} = 40$	$a_{vii} = a_v = 40$	$e_{vii} = 1$	$L_{vii} = 500$	1,97

Cabe señalar que, el formato de venta de los materiales comerciales comentados, es de 6 metros. Entonces, para conformar el elemento *(i)Travesaño Superior* que se le asigna un perfil de $150x100x3mm$, se utilizarían los $700mm$ que corresponden a su largo, dejando $6000 - 700 = 5300mm$ como material sobrante. Por tanto, se propone utilizar dicho perfil para conformar también *(vi)Travesaño móvil* cuyo largo es de $600mm$, ya que en el dimensionamiento se establecen medidas $(100x75x2mm)$ que presentan un módulo de flexión menor. De esta forma se pretende disminuir los costos de fabricación y utilizar el material disponible.

Con respecto a *(ii)Columna Lateral* se mantiene el perfil asignado en el dimensionamiento igual a $100x50x2mm$ ya que permite conformar una base con perfiles de $= a_{iii} = a_{iv} = 50x50mm$ según la consideración de diseño propuesta. Luego, para verificar el espesor $e_{iii} = e_{iv}$, se realiza un análisis de elementos finitos, con el fin de obtener un factor de seguridad mayor a 1,5 y un desplazamiento en base al límite $\frac{L}{500}$ sobre los elementos. Con ello, se asigna también el uso de dichos perfiles sobre los dientes superiores e inferiores (para disminuir costos

de fabricación) lo cual es válido, ya que un perfil de $(50x50x1,5mm)$ presenta un módulo de flexión mayor que las dimensiones $40x40x1mm$ obtenidas analíticamente. De esta manera, se reasignan las nuevas medidas a los perfiles que se pueden ver en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8: Segunda asignación de perfiles

Elemento	Ancho [mm]	Alto [mm]	Espesor [mm]	Largo [mm]	Cantidad
(i)Travesaño Superior	$a_i = 150$	$b_i = 100$	$e_i = 3$	$L_i = 700$	1
(ii)Columna Lateral	$a_{ii} = 100$	$b_{ii} = a_i = 50$	$e_{ii} = 2$	$L_{ii} = 1400$	2
(iii)Lateral Inferior	$a_{iii} = 50$	$a_{iii} = a_{ii} = 50$	$e_{iii} = 1,5$	$L_{iii} = 700$	2
(iv)Ancho Inferior	$a_{iv} = 50$	$a_{iv} = a_{ii} = 50$	$e_{iv} = 1,5$	$L_{iv} = 800$	2
(v)Diente Inferior	$a_v = 50$	$a_v = 50$	$e_v = 1,5$	$L_v = 700$	6
(vi)Travesaño móvil	$a_{vi} = 150$	$b_{vi} = 100$	$e_{vi} = 3$	$L_{vi} = 600$	1
(vii)Diente Superior	$a_{vii} = 50$	$a_{vii} = a_v = 50$	$e_{vii} = 1,5$	$L_{vii} = 500$	6

4.2.6. Análisis de elementos finitos

A continuación, se realiza un análisis de elementos finitos para determinar el espesor de los perfiles que componen la base, observar la deflexión del pórtico y el comportamiento de la configuración propuesta. Se utiliza la herramienta de Fusion 360 de simulación de tensión estática, la cual permite analizar la deformación en el modelo a partir de las cargas estructurales y las restricciones.

En la Figura 4.2.15 se puede observar la configuración adoptada. La base está compuesta por perfiles de $50x50x1,5mm$, incluidos los dientes inferiores. Al travesaño móvil se le asigna un perfil de $150x100x3mm$ y a cada columna unos de $100x50x2mm$, es decir, se utilizan las medidas de la Tabla 4.8.

Se restringe la base de la estructura, manteniendo fijo las tres direcciones principales y la rotación. Se aplica la carga puntual igual a $30000N$ a una distancia de $30mm$ desde el borde del elemento (i), es decir, a $80mm$ desde el centro (fuera de éste), para simular el lugar de aplicación (reacción) de la fuerza de compactación. Se aplica además, una carga distribuida sobre los dientes inferiores igual a $\frac{5000N}{0,7m*0,05m} = 142857Pa$. Se puede ver también en la Figura 4.2.15 la configuración de malla que se utiliza en el estudio.



Figura 4.2.15: Configuración de parámetros para simulación de estructura: Cargas, restricciones, configuración de malla, ubicación de carga puntual. [Elaboración propia]

Los resultados obtenidos de la simulación se muestran en la Figura 4.2.16 donde se observa que los esfuerzos de Von Mises sobre los dientes inferiores, la base y las columnas son al rededor de los $100MPa$ (color celeste), entregando por tanto factores de seguridad entorno a 7 en la base y en torno a 3 sobre las columnas, ligados al esfuerzo de fluencia ($250MPa$) de los materiales. Luego, se observa un máximo igual a $230MPa$ en la unión del travesaño superior con las columnas, debido a la concentración de esfuerzo en la zona, entregando un factor de seguridad mínimo igual a 1,08.

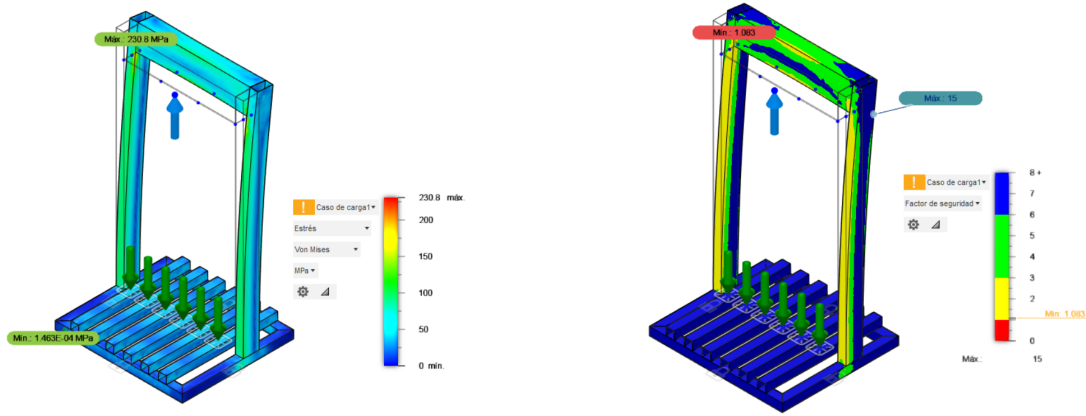


Figura 4.2.16: Resultados de simulación: Esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad [Elaboración propia]

Por otro lado, se observa en la Figura 4.2.17 el desplazamiento en los tres ejes cartesianos y su combinación total. En tanto, se establece como criterio de desplazamiento admisible la siguiente expresión, donde L es el largo del elemento:

$$\text{Desplazamiento límite} = \frac{L}{500} \quad (4.93)$$

Así, en la dirección \hat{x} , se observa que las columnas se desplazan $0,25mm$ con respecto a la vertical desde su posición de origen, debido a la flexión inducida por la fuerza de compactación en el pórtico. Esto es aceptable si se toma en consideración el límite $\frac{L_{ii}}{500} = \frac{1400mm}{500} = 2,8mm$.

Para la dirección \hat{y} se ve que el centro del travesaño superior se mueve un máximo de $7,9mm$ hacia atrás, debido a que la aplicación de la fuerza de compresión está fuera del pórtico, a una distancia de $30mm$, causando un torque igual a $30000N * 0,08m = 2,4KNm$ transmitido por la ménsula del mecanismo Hi-Lift. Este desplazamiento está fuera del rango según $\frac{L_{ii}}{500} = \frac{1400mm}{500} = 2,8mm < 7,9mm$.

En cuanto a la dirección \hat{z} , se tiene la flexión hacia arriba del travesaño superior, con una flecha máxima igual a $1,15mm$. Lo anterior es aceptable bajo el límite $\frac{L_i=700mm}{500} = 1,4mm$.

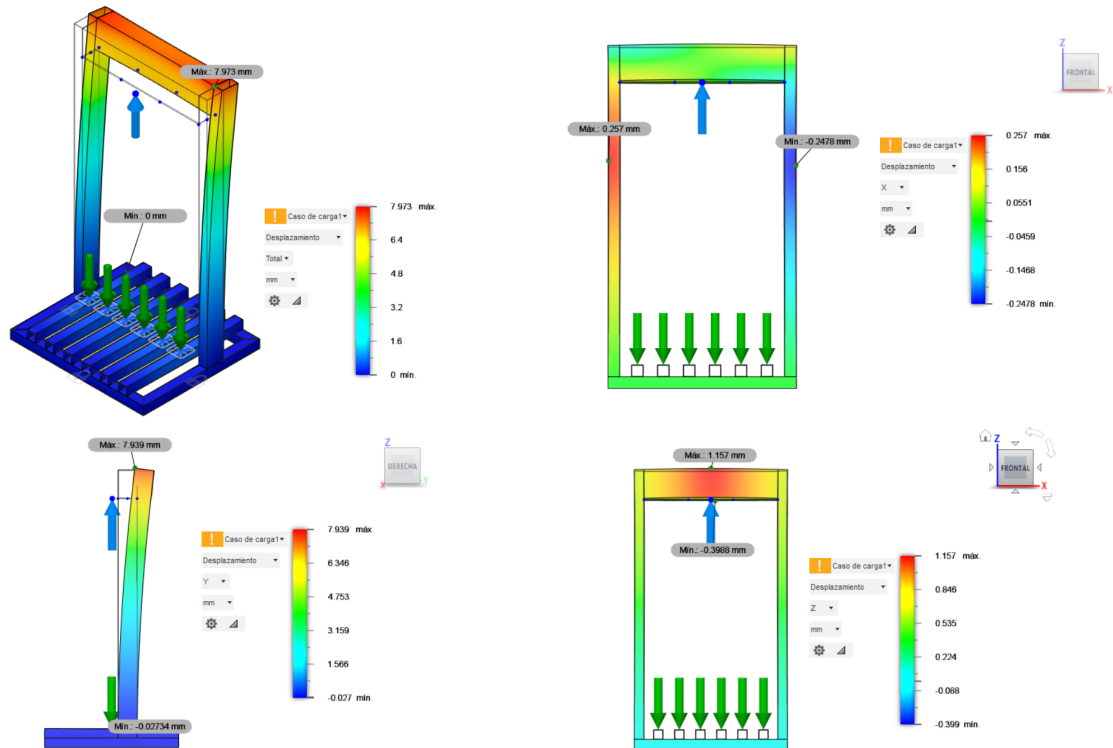


Figura 4.2.17: Resultados de simulación: Desplazamiento en total y en los tres ejes cartesianos [Elaboración propia]

En base a los resultados anteriores, se tiene que la configuración propuesta posee un desplazamiento en hacia atrás (en dirección \hat{j}) fuera del rango permitido, y además se tiene un factor de seguridad mínimo menor a 1,5. Para reducir dicho desplazamiento, se agregan soportes correspondientes a perfiles de $50 \times 50 \times 1,5 \text{ mm}$ de largo 1451 mm que van conectados desde la base hacia el pórtico tal como se muestra en la Figura 4.2.18.

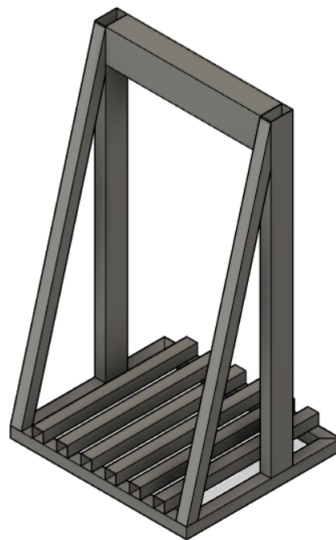


Figura 4.2.18: Adición de rigidizadores en la estructura [Elaboración propia]

Para analizar el nuevo modelo, se aplica la carga puntual de 30000 N a 30 mm desde el

borde del travesaño superior, y una presión de $142.857 Pa$ en los dientes inferiores, análogo a la configuración anterior, mostrándose en la Figura 4.2.19.

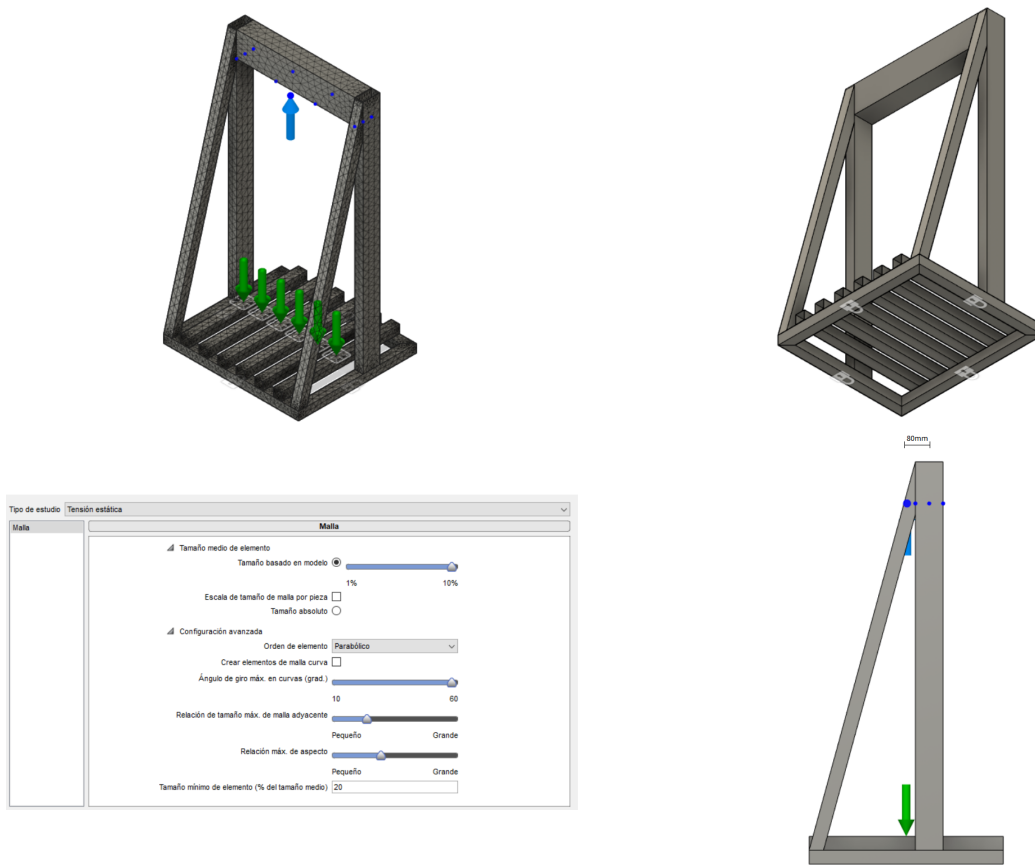


Figura 4.2.19: Configuración para simulación de estructura: Cargas, restricciones, configuración de malla, ubicación de carga puntual [Elaboración propia]

Como resultado del estudio, se tiene la Figura 4.2.20 donde se muestra que el estrés (esfuerzo) de Von Mises sobre los elementos están por debajo de los $96 MPa$ (color azul). Esto entrega factores de seguridad superiores a 6 en la parte baja de la estructura, es decir, desde la mitad de las columnas hacia abajo, incluyendo la base y los dientes inferiores. Luego, se observa también que, existe un esfuerzo máximo de $200 MPa$ en la unión del travesaño fijo con las columnas, debido a la concentración de esfuerzo, entregando un factor de seguridad mínimo de 1,2 lo cual es menor al límite inferior establecido de 1,5.

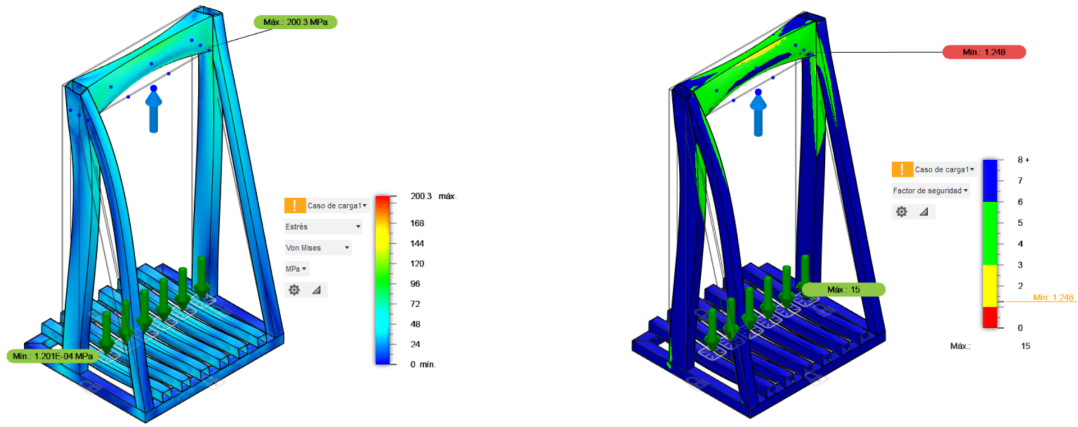


Figura 4.2.20: Resultados de simulación: Esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad [Elaboración propia]

Ahora, se muestra en la Figura 4.2.21 los desplazamientos obtenidos por la nueva configuración. Se ve que en la dirección \hat{z} , se tiene un desplazamiento máximo de $0,79mm$ en el travesaño superior debido a la deflexión que sufre por a la aplicación de la fuerza de compresión. Este valor es aceptable bajo el límite establecido en base al largo del elemento $\frac{L_i=700mm}{500} = 1,4mm$.

Para el sentido \hat{x} se tiene un desplazamiento máximo igual a $0,32mm$ en las columnas y los sujetadores. A su vez en \hat{y} , los sujetadores se someten a flexión y por tanto se curvan, impidiendo el movimiento excesivo de las columnas. Gracias a eso, se tiene un desplazamiento máximo de $0,61mm$ en el travesaño superior. Anteriormente sin los sujetadores, en esta dirección se tenía un desplazamiento del travesaño superior igual a $7,9mm$, lo cual superaba el límite establecido en base a $\frac{L_{ii}}{500} = \frac{1400mm}{500} = 2,8mm$. Por tanto, la adición de los sujetadores cumplen el objetivo de reducir el desplazamiento fuera de límite.

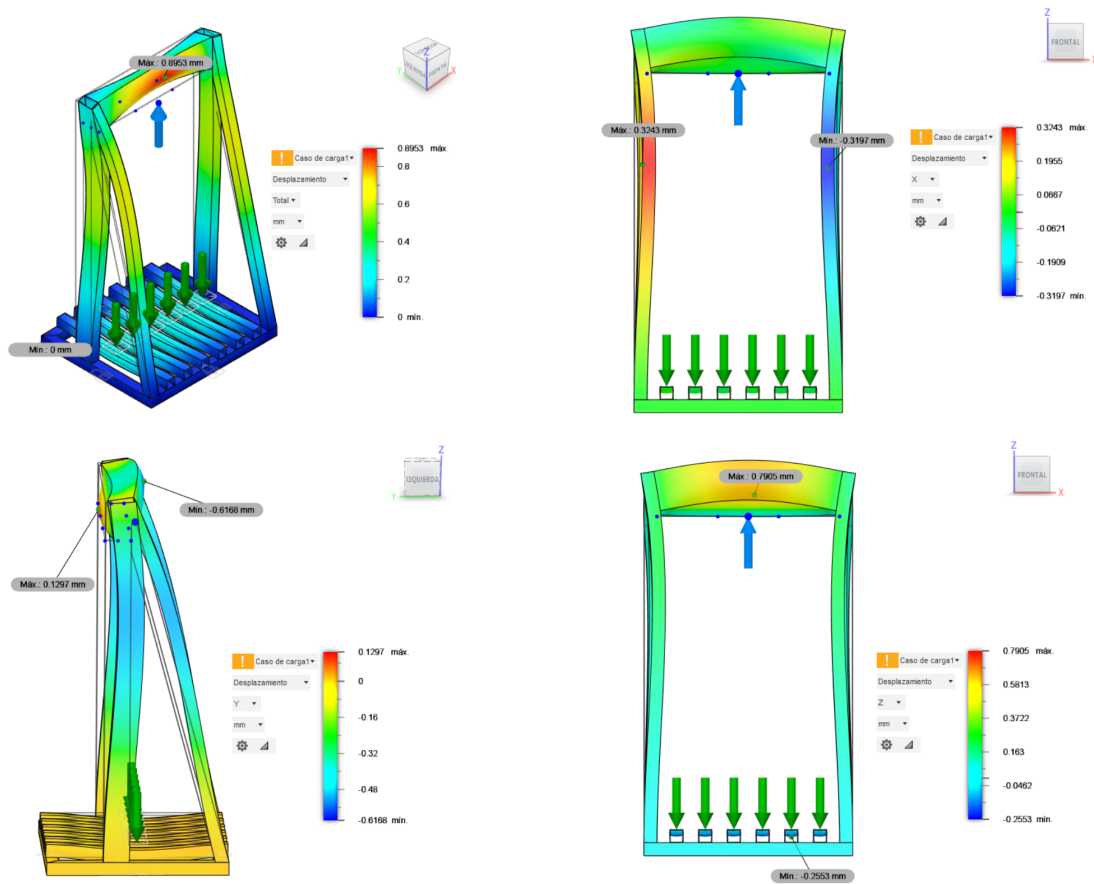


Figura 4.2.21: Resultados de simulación: Desplazamiento en total y en los tres ejes cartesianos [Elaboración propia]

Con lo anterior se logra disminuir el desplazamiento del pórtico, aunque en la Figura 4.2.20 se evidencia un factor de seguridad mínimo igual a 1,2 en la unión del travesaño con la columna, marcando un esfuerzo máximo de 200MPa . Para alcanzar, el límite aceptable de $F.S = 1,5$ se agregan atiesadores conectados desde las columnas hasta el travesaño. Con el fin de reutilizar material, se utilizan perfiles de $100 \times 50 \times 2\text{mm}$ de largo 282mm con cortes en 45° en sus equinas para unirlos mediante soldadura. La configuración descrita se puede ver en la Figura 4.2.22.

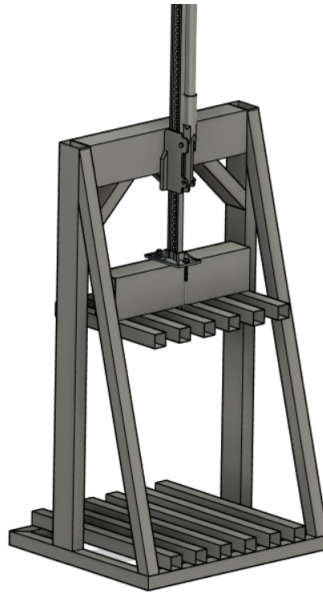


Figura 4.2.22: Adición de atiesadores en la estructura [Elaboración propia]

Para analizar el nuevo modelo, se aplica nuevamente la carga puntual de $30000N$ a $30mm$ desde el borde del travesaño superior, y una presión de $142.857Pa$ en los dientes inferiores, análogo a la configuración anterior, mostrándose en la Figura 4.2.23.

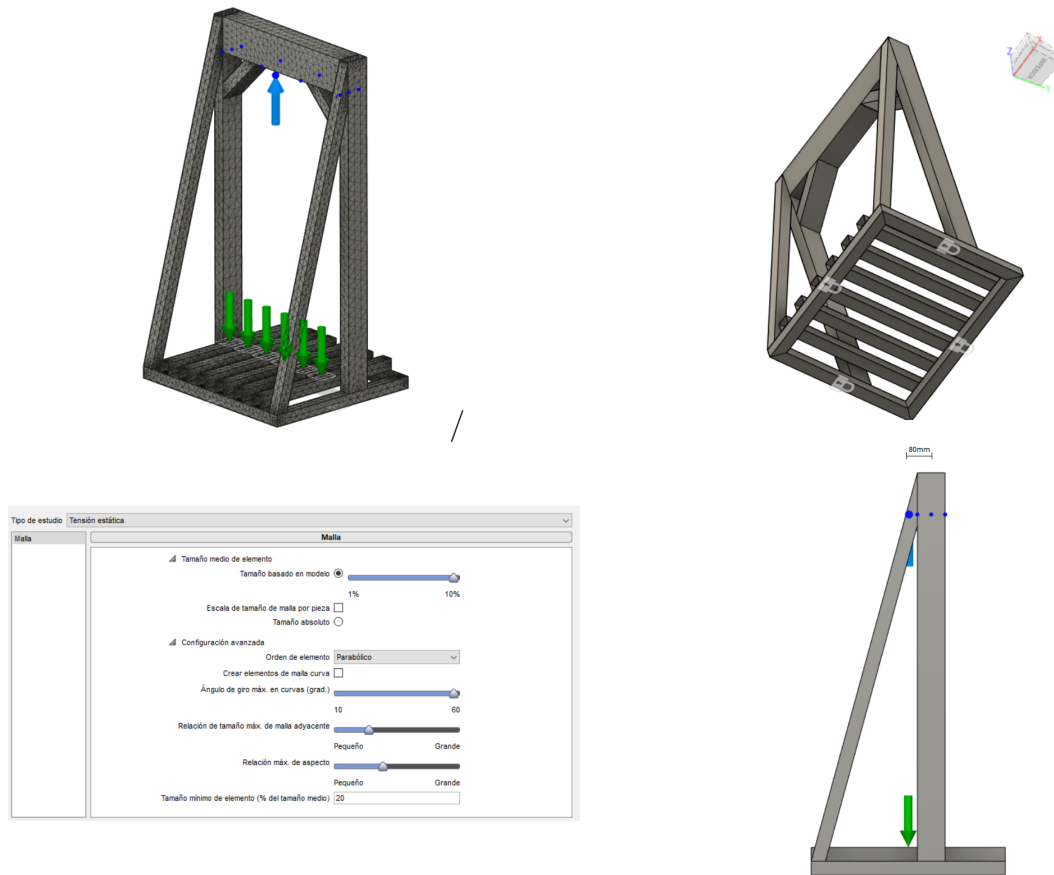


Figura 4.2.23: Configuración para simulación de estructura con atiesadores: Cargas, restricciones, configuración de malla, ubicación de carga puntual [Elaboración propia]

Luego de la simulación, se obtienen valores (ver Figura 4.2.24) de estrés que rodean los $50MPa$, con un máximo en la unión en cuestión (donde se concentran los esfuerzos) igual a $112MPa$. Lo anterior proporciona un factor de seguridad mínimo igual a 2,1, en base al esfuerzo de fluencia del acero A36 de $250MPa$. Entonces, se puede decir que con los atiesadores propuestos se reduce el esfuerzo máximo en la unión del travesaño con la columna, entregando un valor superior a 1,5.

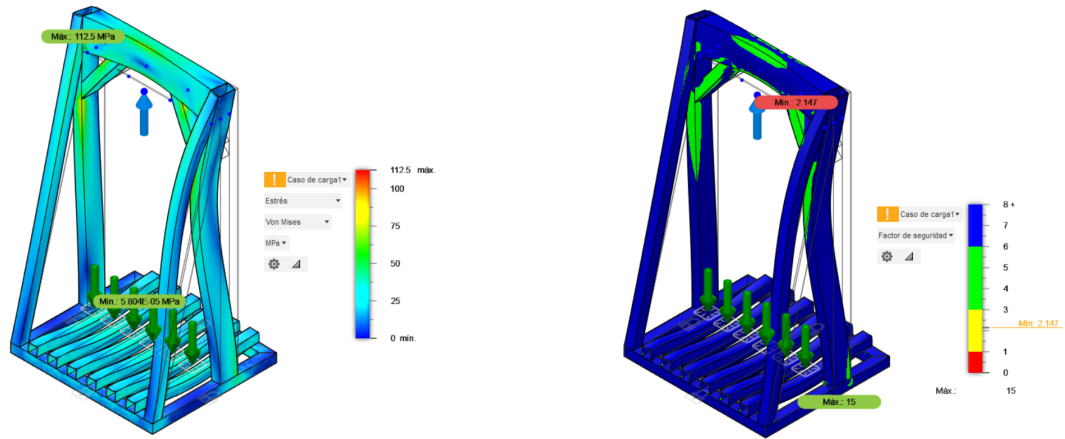


Figura 4.2.24: Resultados de simulación con atiesadores: Esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad [Elaboración propia]

También se muestra a continuación el desplazamiento que tendría el equipo en las distintas direcciones, donde se tiene un máximo total de $0,5mm$ en la columna. Así mismo, en la dirección \hat{x} , se tiene un desplazamiento de la columnas y sujetadores de $0,28mm$. Para \hat{y} , las columnas presentan una flexión con flecha máxima de $0,47mm$. Así como en \hat{z} el travesaño sufre una deflexión de $0,46mm$. Todos estos valores están dentro de los límites aceptables de desplazamientos comentados en las simulaciones anteriores.

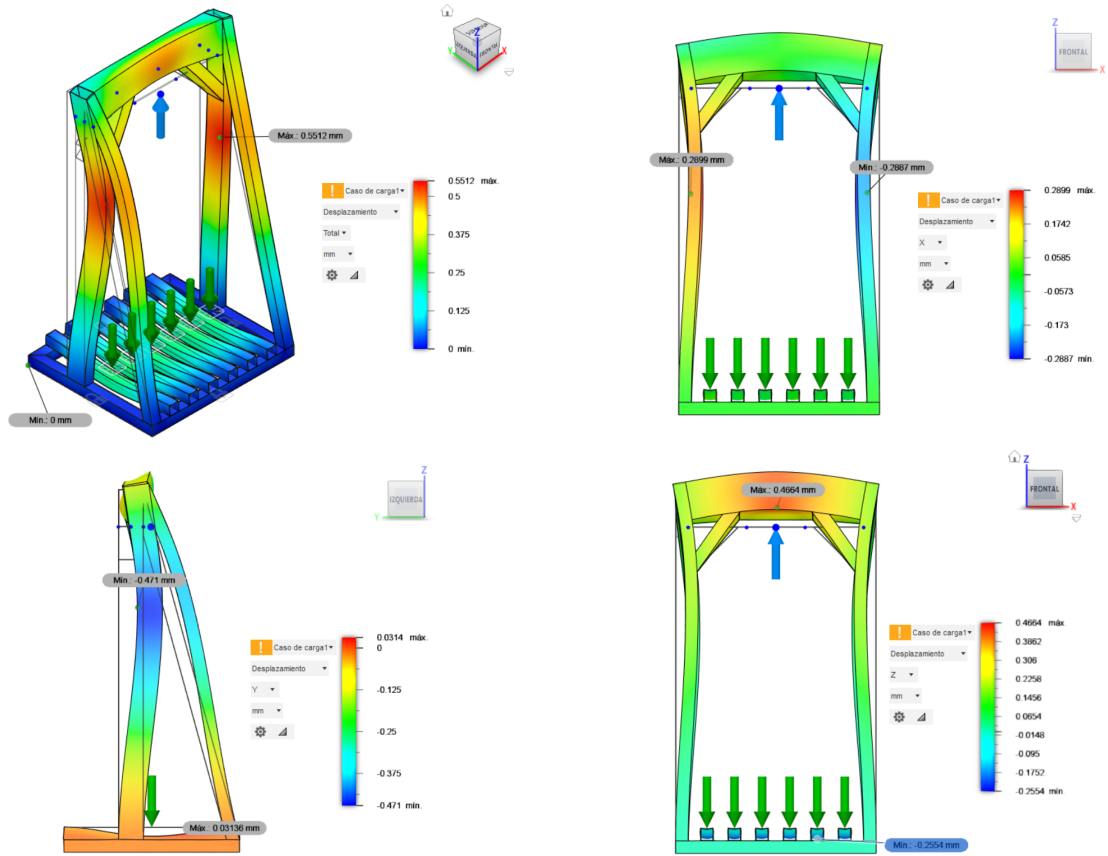


Figura 4.2.25: Resultados de simulación con atiesadores: Desplazamiento en total y en los tres ejes cartesianos [Elaboración propia]

Ahora, se realiza un estudio de para verificar el comportamiento de los perfiles propuestos para el frente de compactación móvil, usando un elemento de $150 \times 100 \times 3 \text{ mm}$ en el travesaño móvil y de $50 \times 50 \times 1,5 \text{ mm}$ en los dientes (elementos de la Tabla 4.8). En la Figura 4.2.26 se observa la restricción de movimiento al soporte del mecanismo de fuerza unido al travesaño móvil, y se aplica sobre los dientes una presión igual a $\frac{5000 \text{ N}}{0,5 * 0,05} = 200000 \text{ Pa}$ correspondiente a la reacción de los cartones. De igual manera, se presentan los parámetros de malla, utilizando la herramientas de contactos automáticos.

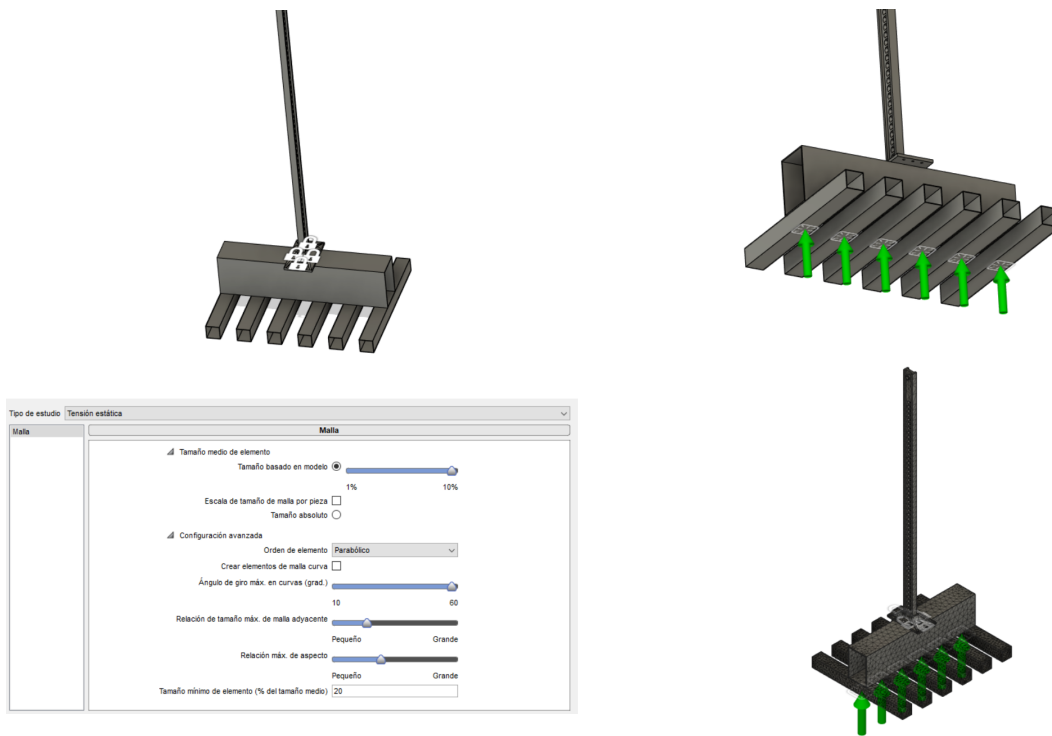


Figura 4.2.26: Configuración para estudio de émbolo superior [Elaboración propia]

Como resultado del estudio anterior, se puede apreciar en la Figura 4.2.27 que en gran parte de los dientes y el travesaño móvil, se inducen esfuerzos menores a $50MPa$. En tanto, el máximo esfuerzo se presenta en la parte central de los dientes, en la unión con el travesaño móvil debido a la flexión provocada por la reacción de los cartones. Se obtiene en dicho lugar un factor de seguridad de 1,95, lo cual es aceptable considerando un esfuerzo permisible en base al esfuerzo de fluencia del acero A36.

Además, se tienen desplazamientos relacionados a la flexión de ambos tipos de elementos (dientes y travesaño). El máximo se presenta en los extremos de los dientes, con un máximo igual a $0,316mm$, lo cual es aceptable según el factor $\frac{500mm}{500} = 1mm$. Lo anterior indica que se cumplen las condiciones para realizar el servicio de compresión para un fardo de cartones.

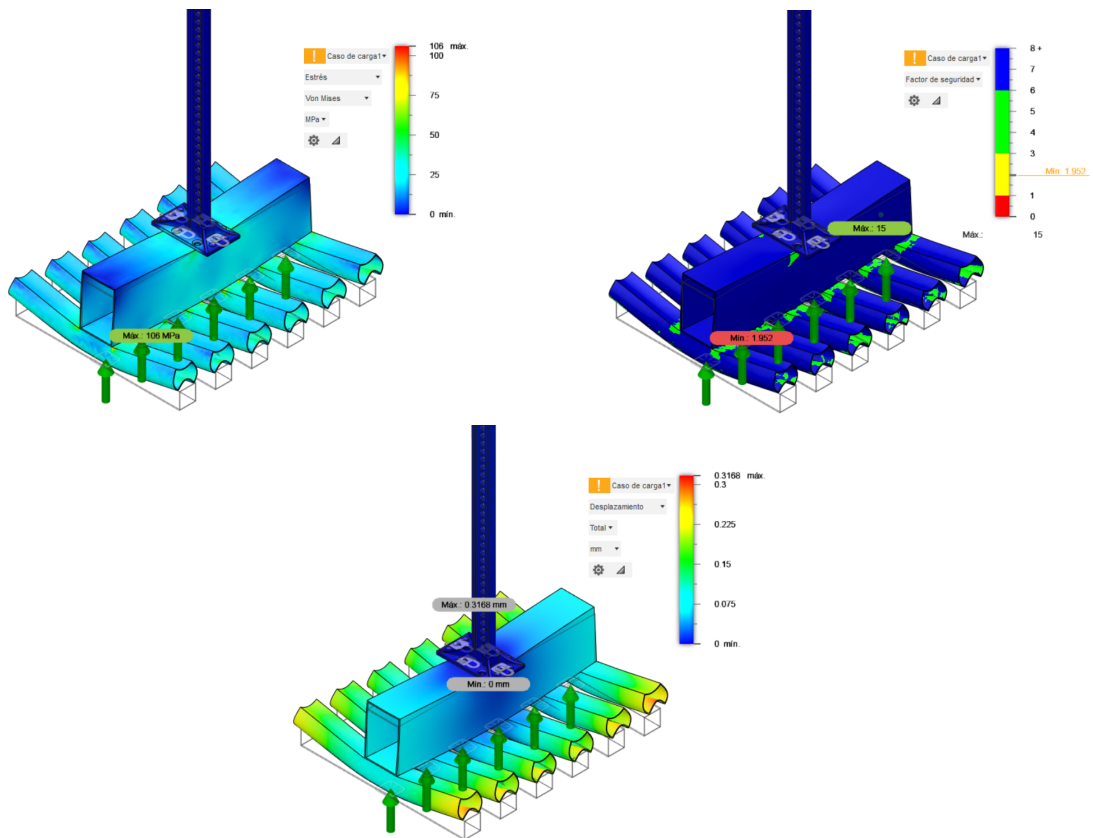


Figura 4.2.27: Resultados de estudio en émbolo superior [Elaboración propia]

De esta forma, se considera válida la asignación de perfiles a cada elemento mas los atiesadores propuestos, ya que en su conjunto cumplen con los límites de esfuerzos y desplazamiento. La asignación final se puede ver en la Tabla 4.9. Esta configuración entrega (incluido el mecanismo de fuerza) una masa aproximada de $72,2Kg$ según el programa utilizado para modelar, lo cual está por debajo del límite máximo ($100Kg$).

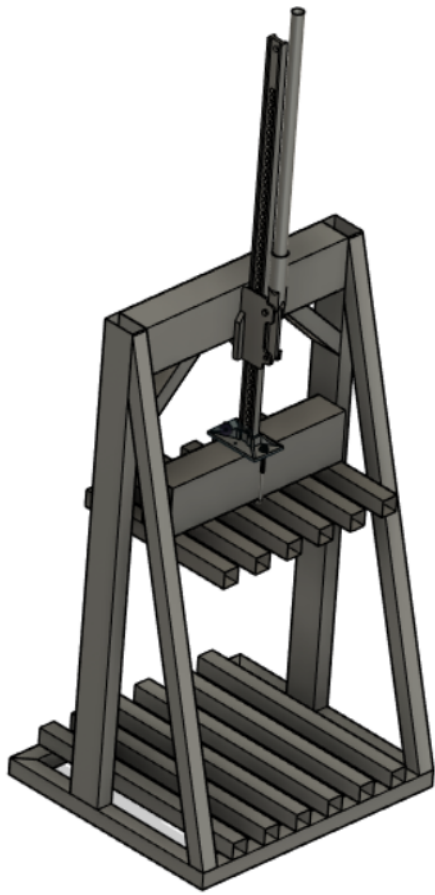


Figura 4.2.28: Configuración final del equipo

Tabla 4.9: Asignación final de perfiles

Elemento	Ancho [mm]	Alto [mm]	Espesor [mm]	Largo [mm]	Cantidad
(i)Travesaño Superior	$a_i = 150$	$b_i = 100$	$e_i = 3$	$L_i = 700$	1
(ii)Columna Lateral	$a_{ii} = 100$	$b_{ii} = a_i = 50$	$e_{ii} = 2$	$L_{ii} = 1400$	2
(iii)Lateral Inferior	$a_{iii} = 50$	$a_{iii} = a_{ii} = 50$	$e_{iii} = 1,5$	$L_{iii} = 700$	2
(iv)Ancho Inferior	$a_{iv} = 50$	$a_{iv} = a_{ii} = 50$	$e_{iv} = 1,5$	$L_{iv} = 800$	2
(v)Diente Inferior	$a_v = 50$	$a_v = 50$	$e_v = 1,5$	$L_v = 700$	6
(vi)Travesaño móvil	$a_{vi} = 150$	$b_{vi} = 100$	$e_{vi} = 3$	$L_{vi} = 600$	1
(vii)Diente Superior	$a_{vii} = 50$	$a_{vii} = a_v = 50$	$e_{vii} = 1,5$	$L_{vii} = 500$	6
(viii)Atiesador Largo	$a_{viii} = 50$	$a_{vii} = a_v = 50$	$e_{vii} = 1,5$	$L_{vii} = 1450$	2
(ix)Atiesador Corto	$a_{ix} = 100$	$a_{ix} = a_v = 50$	$e_{ix} = 2$	$L_{ix} = 282$	2

4.2.7. Ensamblaje

Para el ensamblaje se comienza armando el marco base de la estructura. Se toma el perfil en formato comercial de $50x50x1,5x6000mm$ obteniendo elementos de $700mm$ y $800mm$ (dos de cada uno). A continuación, se realiza un corte en 45° con respecto a la horizontal de cada extremo, para configurar un marco rectangular, uniendo los elementos con soldadura a lo largo de las aristas de contacto en las esquinas. Se decide esmerilar todas las soldaduras para reducir la concentración de esfuerzos[8]. Luego, se realizan las marcas que señalizan la posición de los dientes inferiores y las columnas laterales. El resultado de lo anterior se puede ver en la Figura 4.2.29.

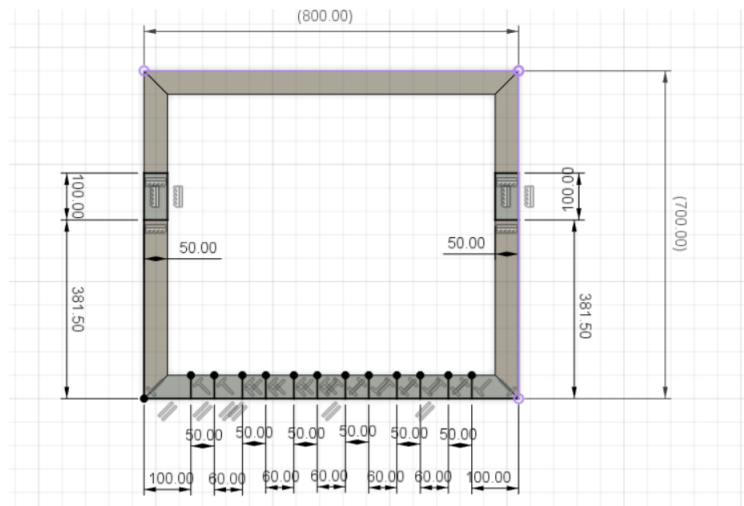


Figura 4.2.29: Configuración y marcas de la base para ensamblaje de dientes inferiores y columnas [Elaboración propia]

Ahora, se establece que la soldadura a tope de la esquina tiene una profundidad de $1,5\text{mm}$ igual al espesor de los perfiles que configuran la base y un largo aproximado de 70mm igual a la arista de unión. En tanto, para analizar la soldadura, se tiene que durante el modo de compresión las esquinas de la base sufren un esfuerzo cercano a 50MPa bajo el criterio de Von Mises. Ahora, si se desea levantar el equipo, estaría sometidas a un esfuerzo cortante. Considerando que soportarían (sobrestimando) el peso máximo de la máquina (100Kg) aproximado a 1000N . El esfuerzo promedio en una soldadura a tope de garganta h y largo l debido a carga F cortante está dado por[8]:

$$\tau = \frac{F}{h * l} = \frac{1000\text{N}}{0,0015\text{m} * 0,07\text{m}} = 9,5\text{MPa} \quad (4.94)$$

Se propone utilizar electrodos $E6011$ ya que poseen una resistencia similar al material de base acero A36 (ver Figura 4.2.32), contiene potasio que ayuda a mantener un arco estable lo cual beneficia la fusión del electrodo y por tanto la adherencia al material base, se puede usar tanto con corriente alterna, como con polaridad DCEP y son accesibles en el mercado Chileno. En tanto, se puede ver en la Figura 4.2.30 y 4.2.31 que posee una resistencia a la tensión igual a 427MPa , y considerando el esfuerzo permisible para una soldadura afecta a corte de $0,3S_{ut} = 0,3 * 427\text{MPa} = 128,1\text{MPa}$, se puede decir que no se producirá un fallo en la soldadura en las esquinas.

Número de electrodo AWS*	Resistencia a la tensión, kpsi (MPa)	Resistencia a la fluencia, kpsi (MPa)	Elongación porcentual
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

Figura 4.2.30: Propiedades mínimas del metal de aporte[8]

Tipo de carga	Tipo de soldadura	Esfuerzo permisible	n^*
Tensión	A tope	$0.60S_y$	1.67
Aplastamiento	A tope	$0.90S_y$	1.11
Flexión	A tope	$0.60-0.66S_y$	1.52-1.67
Compresión simple	A tope	$0.60S_y$	1.67
Cortante	A tope o de filete	$0.30S_{ur}^1$	

Figura 4.2.31: Esfuerzos permisibles del Código AISC para metal de aporte[8]

Table 3.1
Prequalified Base Metal—Filler Metal Combinations for Matching Strength^{7, 9} (see 3.3)

G r o u p	Steel Specification Requirements				Filler Metal Requirements			
	Steel Specification ^{1, 2}	Minimum Yield Point/Strength		Tensile Range		Process	AWS Electrode Specification ³	Electrode Classification ¹⁰
		ksi	MPa	ksi	MPa			
	ASTM A 36 ⁹	36	250	58–80	400–550	SMAW	A5.1	E60XX, E70XX
	ASTM A 53 A5.5	35	240	60 min	415 min			
	ASTM A 106 Grade B	35	240	60 min	415 min		A5.5 ⁶	E70XX-X
	ASTM A 131 Grades A, B, CS, D, DS, E	34	235	58–71	400–490			

Figura 4.2.32: Similitud de esfuerzos entre material base y electrodo[10]

A continuación prosigue instalar los dientes inferiores en las marcas ubicadas en la base, cortando 6 elementos del perfil $50 \times 50 \times 1.5 \text{ mm}$ cuyo largo sean 700 mm . Se considera una separación entre dientes igual a 60 mm y un espacio de 50 mm entre los límite de la cámara de compactación. Luego, se ensamblan los dientes encima de la base mediante soldadura de filete, cuyo largo es igual al ancho (50 mm) por ambos lados. Para realizar el análisis se utiliza el asistente de cálculo de soldadura facilitado por Inventor, considerando el momento en la soldadura igual a 250 Nm mostrado en la Tabla (4.4), una longitud de soldadura de $a = 5 \text{ mm}$ (valor arbitrario, más adelante se establece un valor adecuado), la altura H corresponde al largo descrito anteriormente y la altura de grupo es el ancho del diente inferior. Los parámetros y resultados se pueden ver en la Figura 4.2.33, entregando una longitud mínima de soldadura igual a $0,47 \text{ mm}$. La configuración que se tiene hasta el momento con la base y los dientes se puede ver en la Figura 4.2.34.

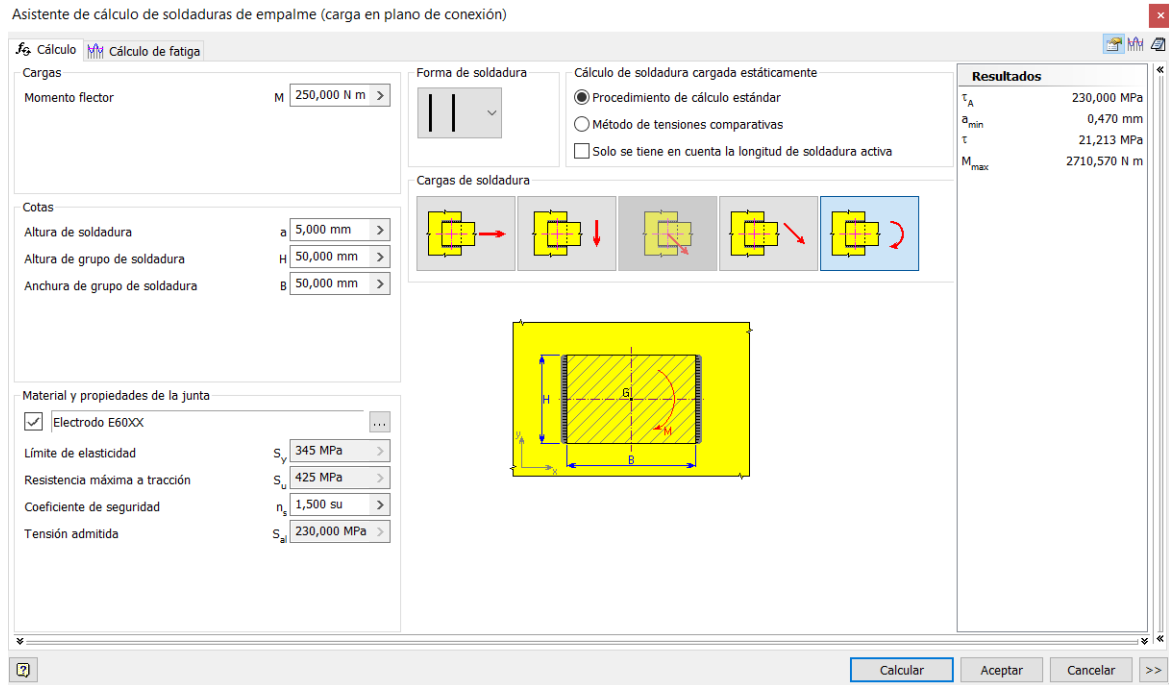


Figura 4.2.33: Parámetros y resultados de soldadura entre el diente inferior y el ancho inferior [Elaboración propia]

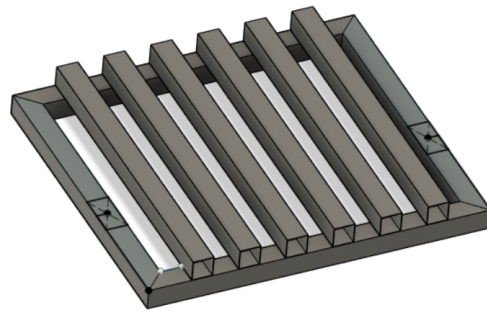


Figura 4.2.34: Configuración del frente de compactación fijo [Elaboración propia]

Por consiguiente, se da forma al pórtico antes de fijar las columnas a la base, para realizar la soldadura en algún mesón de trabajo y no suspendida en el aire. Por ello, se corta desde el perfil de $150 \times 100 \times 3 \text{ mm}$ un elemento de largo 700 mm y se ensambla a las dos columnas de largo 1400 mm obtenidas desde el perfil de $100 \times 50 \times 2 \text{ mm}$ mediante soldadura a tope. Esta es la soldadura que debe resistir más esfuerzo, por lo mismo, se sobreestima considerando que, en las uniones deben soportar la fuerza de compactación igual a 30000 N en forma de corte, y el momento $138,12 \text{ Nm}$ calculado en la ecuación (4.14). Utilizando también el asistente de cálculo, considerando que se aplica soldadura en la parte posterior a lo largo del alto del travesaño superior, es decir, una longitud de soldadura igual a 150 mm , un grosor de elemento igual a $e_i = 3 \text{ mm}$, se puede ver en la Figura 4.2.38 que los resultados son aceptables, con una profundidad mínima de soldadura igual a 2 mm . La configuración que se tiene está representada en la Figura 4.2.36. Cabe mencionar que, se recomienda maquinar la soldadura (con disco de desbaste) para reducir la concentración de esfuerzos en la garganta [8].

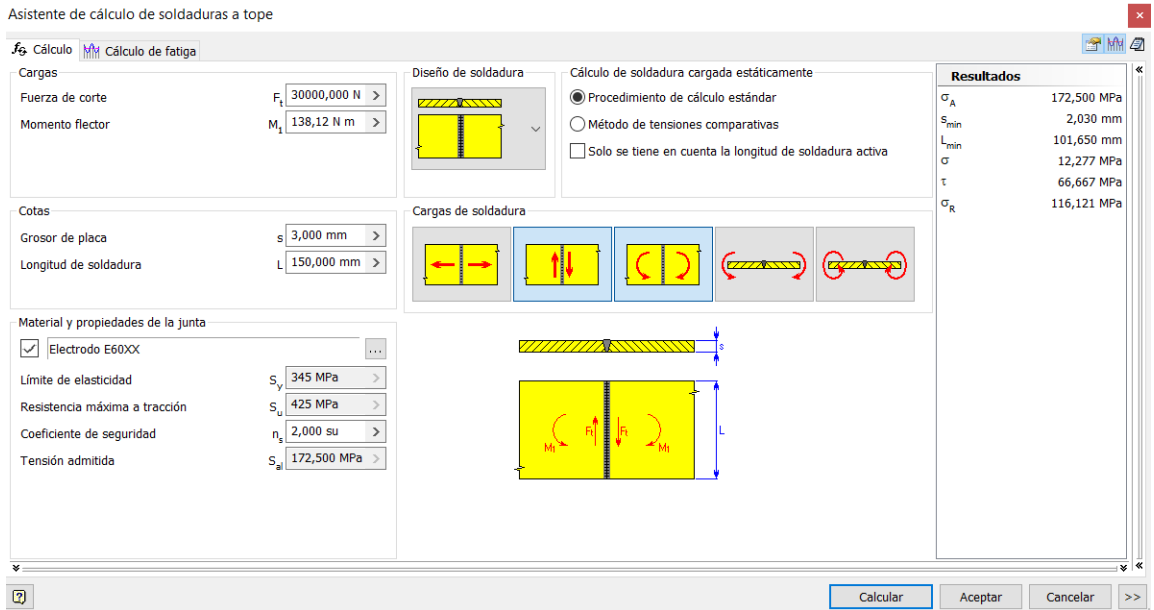


Figura 4.2.35: Parámetros y resultados de soldadura entre el travesaño y las columnas laterales [Elaboración propia]

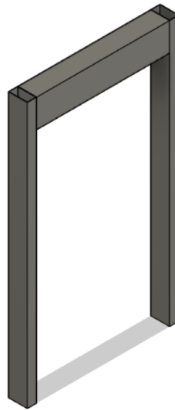


Figura 4.2.36: Configuración ensamble de pórtico [Elaboración propia]

Luego, se ensambla el pórtico en las marcas implementadas anteriormente, mediante soldadura de filete. Para ello, se considera el momento inducido por la compresión en el empotramiento en el marco base igual a $| - 69,06 | Nm$ calculado en la ecuación 4.13. Utilizando nuevamente el asistente de Inventor, considerando la altura (H) y anchura (B) del grupo de soldadura igual al ancho (50mm) y alto (100mm) de la columna respectivamente, se obtienen los resultados de la Figura 4.2.37, dando una altura (o lado w de soldadura de filete) mínima igual a 0,120mm. La configuración que se sigue hasta el momento se muestra en la figura 4.2.38.

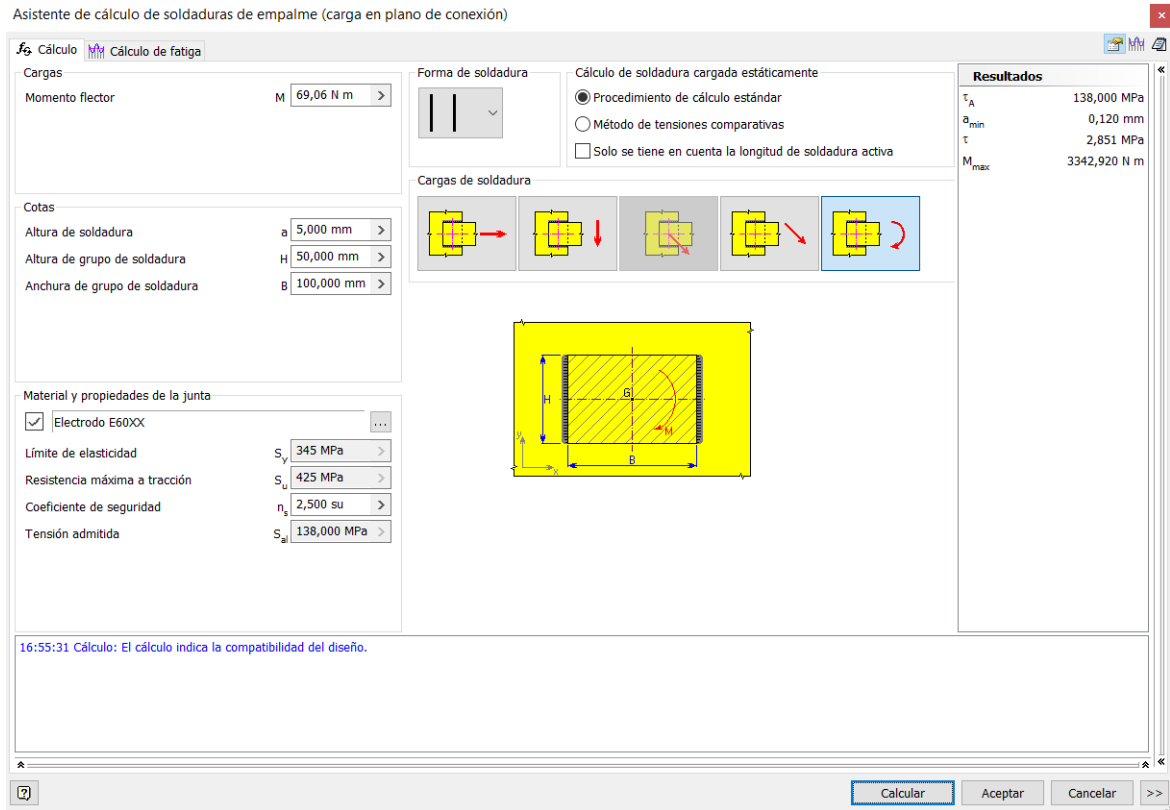


Figura 4.2.37: Parámetros y resultados de soldadura entre el la base y la columna lateral [Elaboración propia]

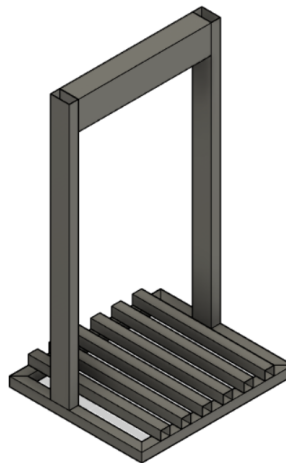


Figura 4.2.38: Configuración del frente de compactación fijo mas pórtico [Elaboración propia]

Prosigue ahora ensamblar el frente de compactación móvil, donde es necesario cortar desde el perfil $150 \times 100 \times 3 \text{ mm}$ un largo igual a 600 mm , y 6 elementos de largos 500 mm desde el perfil $50 \times 50 \times 1,5 \text{ mm}$. En seguida, se unen los dientes, comenzando desde el extremo del travesaño móvil hacia el centro, dejando un espacio de 60 mm entre ellos. Lo anterior se realiza mediante soldadura de filete aplicada a lo largo del ancho (100 mm) del travesaño. De igual manera, se utiliza el asistente de cálculo de soldadura, considerando que la misma resiste el momento

máximo ($312,5 Nm$) calculado en la ecuación (4.83), y una separación entre soldadura igual $50mm$ correspondiente al ancho del diente. Los resultados se muestran en la Figura 4.2.39, donde se observa una altura o lado de soldadura mínima igual a $0,3mm$.

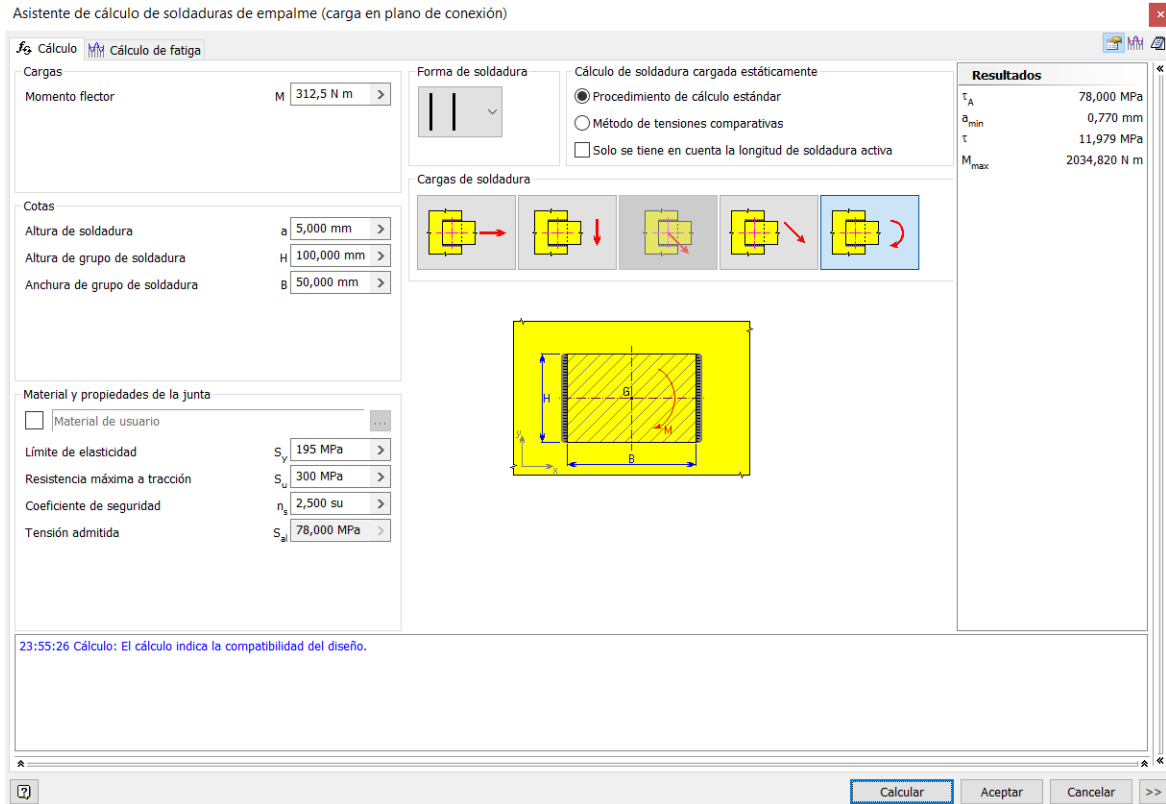


Figura 4.2.39: Parámetros y resultados de soldadura entre el diente superior y el travesaño móvil [Elaboración propia]

La unión entre el mecanismo de fuerza y el frente de compactación móvil se realiza mediante el uso de un perno U cuadrado M10x120x160mm que rodea el travesaño móvil y se emperna (con tuercas y arandelas M10) a la pata de apoyo del mecanismo de fuerza. La configuración que se adopta se puede ver en la Figura 4.2.40.

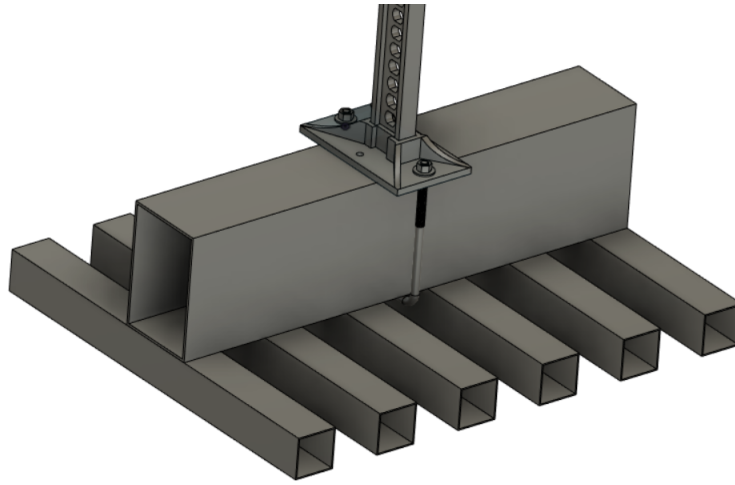


Figura 4.2.40: Ensamblaje de frente de compactación móvil con mecanismo de fuerza [Elaboración propia]

El perno en U debe soportar el peso del frente de compactación móvil, sobrestimado en $300N$, por tanto se considera que está sometido a tracción, y se considera que cada hilo soporta la mitad de la carga ($150N$) (es en esta parte donde el perno se podría cortar eventualmente por concentración de esfuerzos, por tanto se modela como dos pernos). Como se muestra en la Figura 4.2.41 un perno M10 de paso grueso tiene un área de esfuerzo de tensión igual a $58mm^2$, por tanto, el esfuerzo que cada hilo resiste es $\sigma_{perno} = \frac{150N}{58 \cdot 10^{-6}} = 2,58MPa$. Esto es aceptable si se escoge un perno U grado 5.8 cuyo intervalo de tamaños va entre M5-M24, ya que presenta una resistencia mínima a la fluencia de $420MPa$ (ver Figura 4.2.42).

Adicionalmente, cabe mencionar que no se considera una precarga para los pernos en los cálculos, ya que gran parte de la tensión se dirige hacia los elementos unidos y es casi despreciable en este caso.

Diámetro nominal d_r mm	Serie de paso grueso			Serie de paso fino		
	Paso p_r mm	Área de esfuerzo de tensión A_r , mm^2	Área del diámetro menor $A_{r,}$ mm^2	Paso p_r 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

Figura 4.2.41: Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino [8]

Clase de propiedad	Intervalo de tamaños, inclusive	Resistencia de prueba mínima, [†] MPa	Resistencia mínima a la tensión, [†] MPa	Resistencia mínima a la fluencia, [†] MPa	Material	Marca en la cabeza
4.6	M5-M36	225	400	240	Acero de bajo o medio carbono	
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Acero de bajo o medio carbono	
5.8	M5-M24	380	520	420	Acero de bajo o medio carbono	
8.8	M16-M36	600	830	660	Acero de medio carbono, T y R	
9.8	M1.6-M16	650	900	720	Acero de medio carbono, T y R	

Figura 4.2.42: Clases métricas de propiedad mecánica de pernos, tornillos y birlos de acero [8]

A continuación, se une mediante soldadura de filete la ménsula del mecanismo de fuerza por debajo del travesaño superior (ver Figura 4.2.43). De esta forma, se genera una carga distribuida triangular hacia arriba, cuya fuerza resultante ($F_{compresión} = 30000N$) se ubica desplazada a $\frac{1}{6} * 100mm = 16,6mm$ del centro del travesaño.

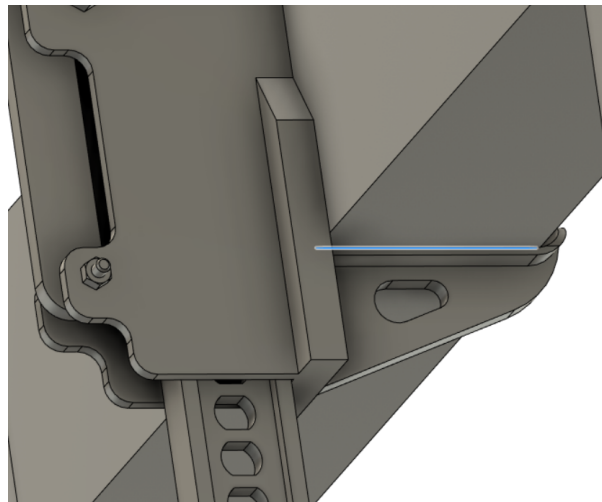


Figura 4.2.43: Arista azul ilustra el lugar de la soldadura en la unión del mecanismo de fuerza y el travesaño superior [Elaboración propia]

De esta forma, se aplica una soldadura de largo $100mm$ por ambos lados de la ménsula, cuyo ancho es igual a $35mm$. La unión debe soportar el peso del mecanismo de fuerza mas el frente de compactación móvil sobrestimado en $35Kg$ ($350N$). La configuración y resultados en el asistente de cálculo de soldadura se muestra en la Figura 4.2.44

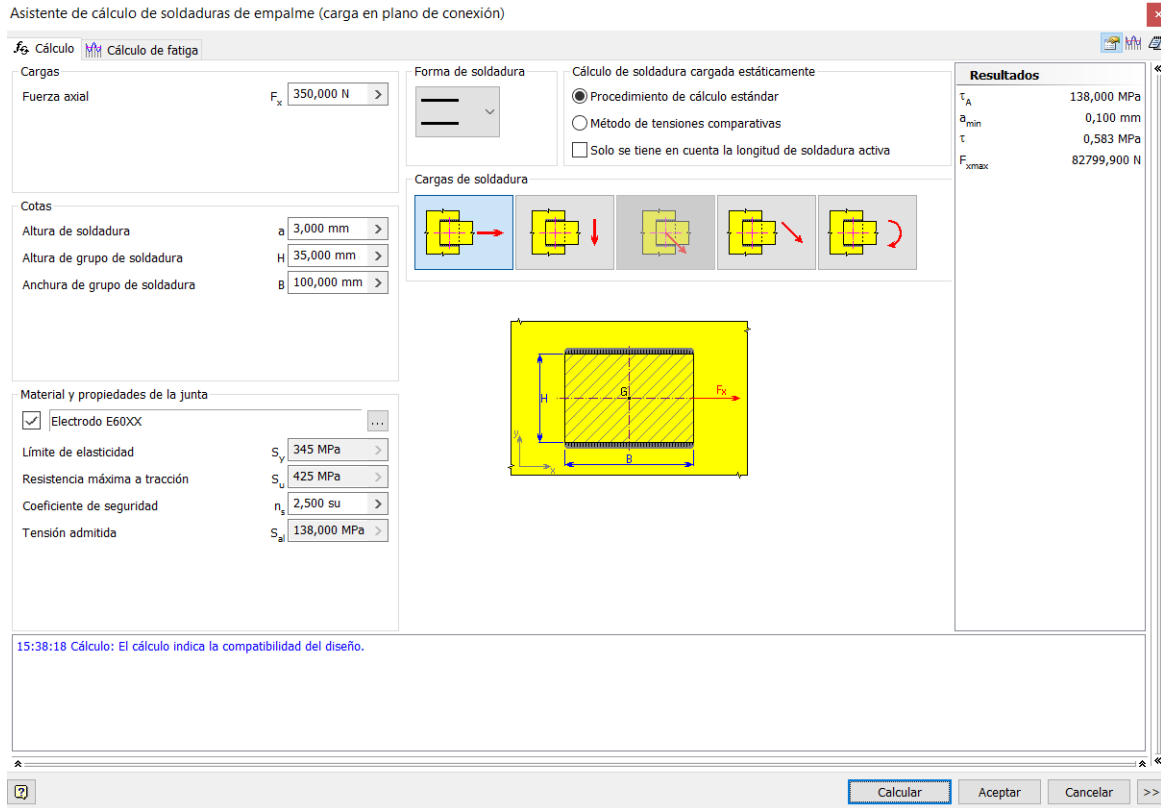


Figura 4.2.44: Parámetros y resultados de soldadura entre el mecanismo de fuerza y el travesaño superior [Elaboración propia]

Ahora se agregan los atiesadores cortos (elemento (ix)) mediante soldadura a tope a las columnas y al travesaño superior. Para evaluar, se supone que cada atiesador resiste, en forma de corte, la mitad de la fuerza de compresión, es decir, $\frac{30000N}{2} = 15000N$. Se configura el asistente de cálculo, con una longitud total de $70 + 70mm = 140mm$ de longitud de soldadura con una profundidad de $1,5mm$. Los resultados se pueden ver en las Figuras 4.2.45 y 4.2.46.

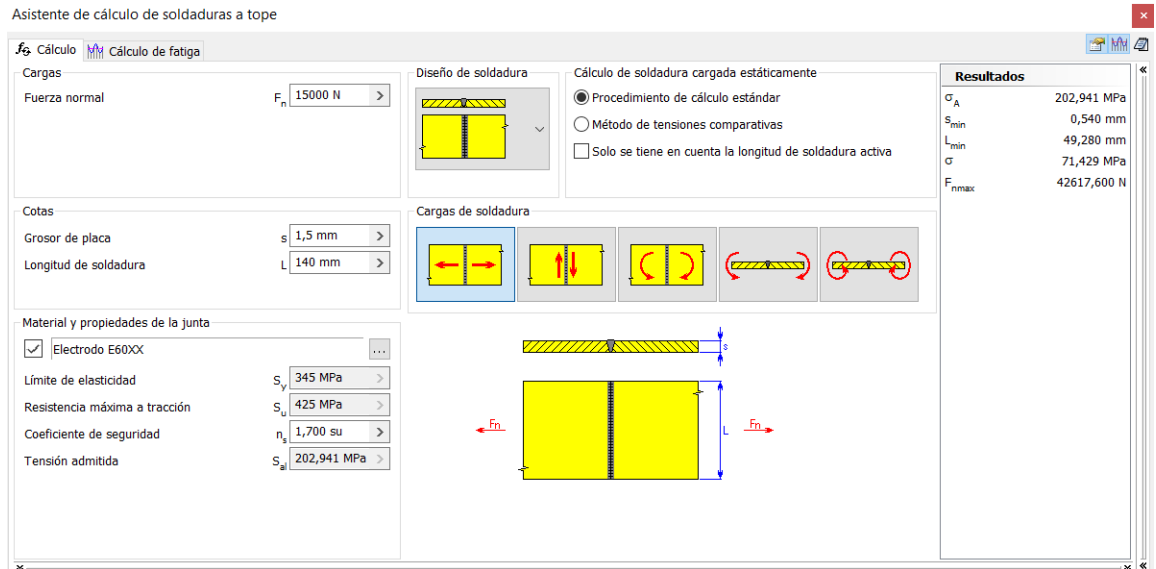


Figura 4.2.45: Resultado de asistente de soldadura (en travesaño) para atiesadores cortos [Elaboración propia]

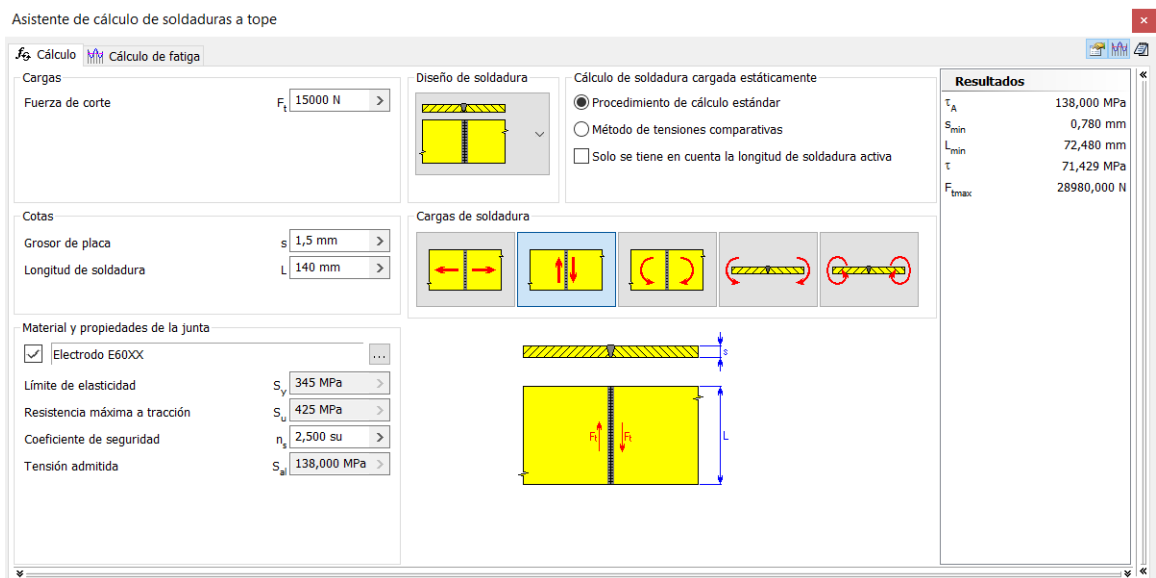


Figura 4.2.46: Resultado de asistente de soldadura (en columnas) para atiesadores cortos [Elaboración propia]

Finalmente, se agregan los elementos (*viii*) sobrestimando la soldadura de modo que deben soportar el momento $138,12 Nm$ calculado en la ecuación (4.14) y la fuerza de compresión de $30000 N$. Se aplica soldadura en tres aristas, dos de tipo filete en contacto con la base de lado $3mm$; largo $50mm$, y una a tope de longitud $150mm$; profundidad $1,5mm$ en contacto con el travesaño. Los resultados de ambos elementos se muestran en las Figuras 4.2.47 y 4.2.48. La configuración que adopta el ensamblaje descrito se presenta en la Figura 4.2.49.

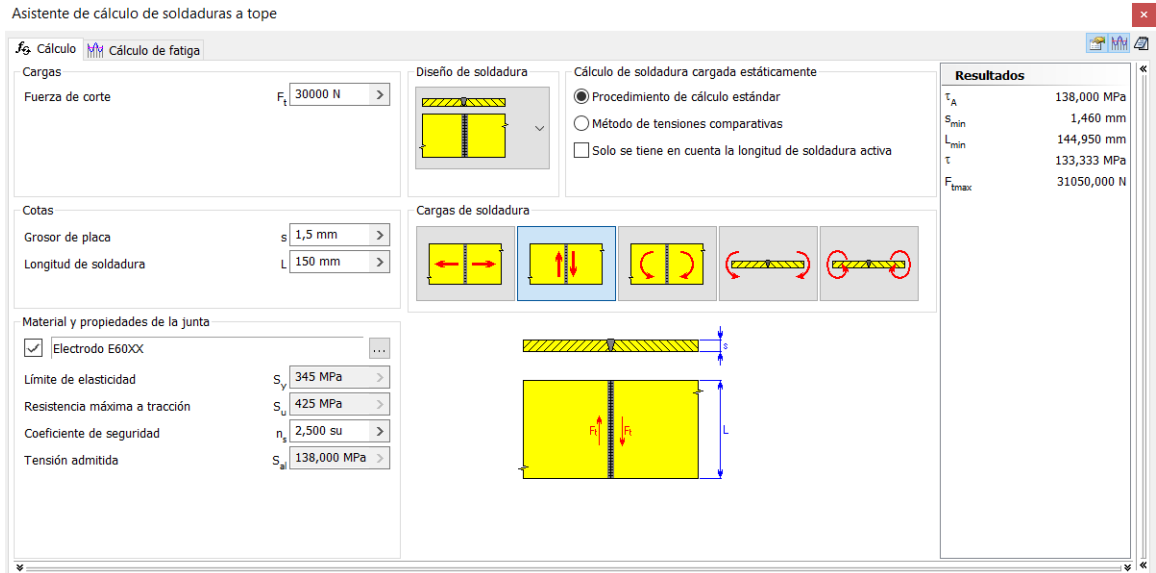


Figura 4.2.47: Resultado de asistente de soldadura (en travesaño) para atiesadores largos [Elaboración propia]

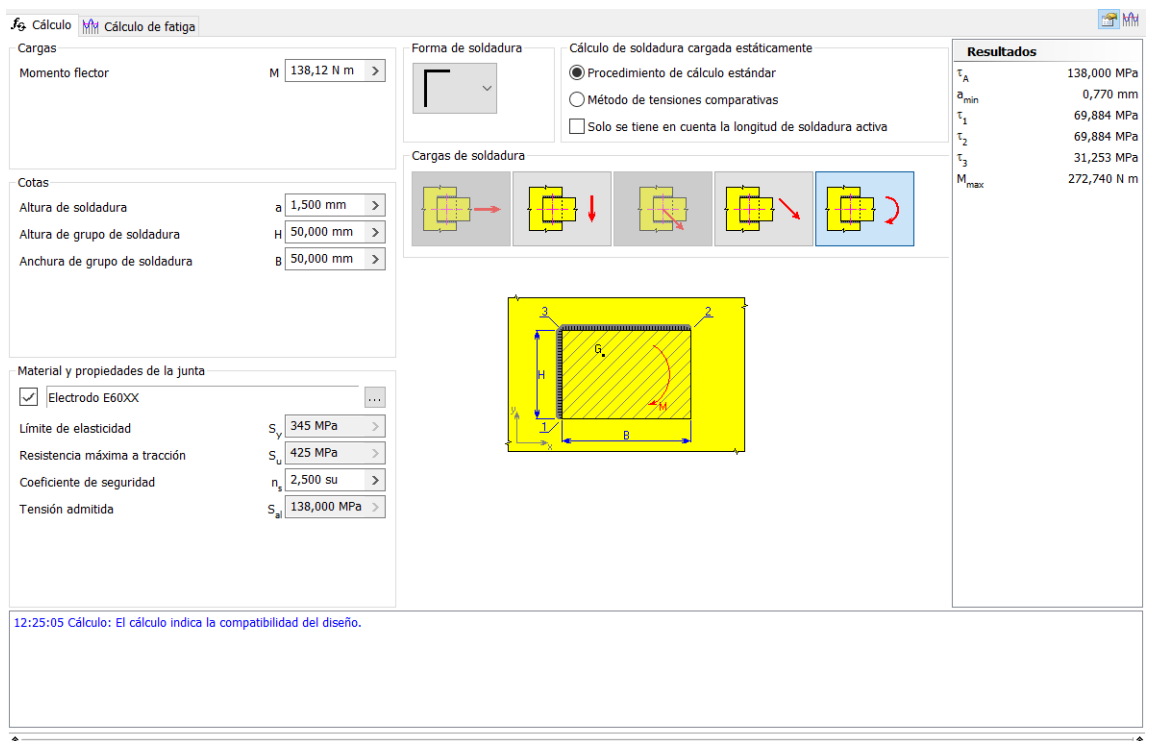


Figura 4.2.48: Resultado de asistente de soldadura (en base) para atiesadores largos [Elaboración propia]

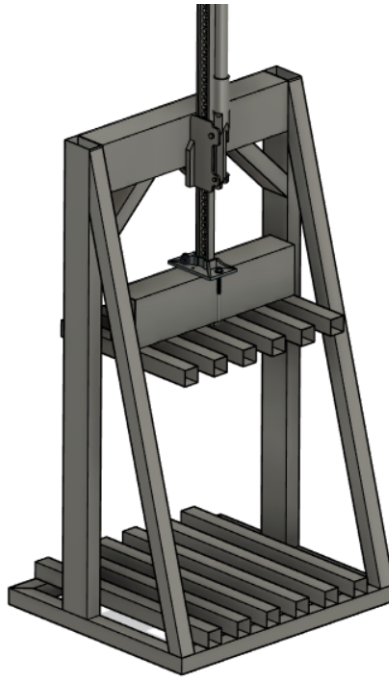


Figura 4.2.49: Ensamblaje de atiesadores [Elaboración propia]

Los resultados anteriores muestran que las soldaduras a filete poseen un lado inferior a 3mm . Se establece esta medida para todas las soldaduras de este tipo, ya que se trabaja con perfiles cuyos espesores no superan los 6mm , según lo especificado en la Figura 4.2.50.

TABLA J2.4 Tamaño Mínimo de Soldadura de Filete	
Espesor de parte unida más delgada, mm	Tamaño mínimo de soldadura de filete ^(a) , mm
Hasta 6 inclusive	3
Entre 6 y 13	5
Entre 13 y 19	6
Mayor que 19	8

^(a) Dimensión del pie de la soldadura de filete. Se deben utilizar soldaduras de paso simple.
Nota: Ver la Sección J2.2b para el tamaño máximo de soldaduras de filete.

Figura 4.2.50: Tamaño mínimo de soldadura a filete[9]

En tanto, si se utiliza corriente alterna para las soldaduras, que involucran espesores de $1,5\text{mm}$ se recomienda una corriente entre $40 - 60\text{Amps}$ y utilizar un diámetro de electrodo igual $1,6\text{mm}$. Para los espesores de 2mm , utilizar un valor de entre $60 - 80\text{Amps}$ con un diámetro de electrodo igual a $2,4\text{mm}$. Si se trata de un material cuyo espesor es de 3mm , se recomienda utilizar una corriente de 125Amps y un diámetro de electrodo de $3,2\text{mm}$ (ver Figura 4.2.51).

Table 11.5 Welding currents (a.c.)

Minimum thickness (mild steel plate)			Welding current value	Diameter of electrode	
Mm	s.w.g.	inch	Amps	mm	inch
1.62	16		40–60	1.6	1/16
2.03	14		60–80	2.4	3/32
2.64	12		100	3.2	1/8
3.18		1/8	125	3.2	1/8
3.25	10		125	3.2	1/8
4.06	8		160	4.8	3/16
4.76		3/16	190	4.8	3/16
4.88	6		190	4.8	3/16
5.89	4		230	6.3	1/4
6.35		1/4	250	6.4	1/4
7.01	2		275–300	7.9	5/16
8.23	0		300–400	7.9	5/16
8.84	0		400–600	9.5	3/8
9.53		3/8	400–600	9.5	3/8

Note: The diameter of the electrode is the size of the core wire.

Figura 4.2.51: Corriente y tamaño de electrodo recomendado según espesor del material [11]

Adicionalmente, en la Figura 4.2.52 se muestra la temperatura mínima de precalentamiento para espesores desde $3mm$, indicando que los elementos deben estar sobre los $0^{\circ}C$. Como el valor de espesor mencionado es el máximo a utilizar en los perfiles (travesaño superior) y considerando que se realiza la soldadura a temperatura ambiente ($25^{\circ}C$), entonces no es necesario precalentar los elementos.

C a t e g o r y	Steel Specification		Welding Process	Thickness of Thickest Part at Point of Welding		Minimum Preheat and Interpass Temperature		
				in.	mm	°F	°C	
				ASTM A 36		ASTM A 516		1/8 to 3/4 incl.
ASTM A 53	Grade B	ASTM A 524	Grades I & II					
ASTM A 106	Grade B	ASTM A 529						
ASTM A 131	Grades A, B, CS, D, DS, E	ASTM A 570	All grades	Shielded metal arc welding with other than low-hydrogen electrodes	Over 3/4 thru 1-1/2 incl.	Over 20 thru 38 incl.	150	65
ASTM A 139	Grade B	ASTM A 709	Grade 36		Over 1-1/2 thru 2-1/2 incl.	Over 38 thru 65 incl.	225	110
ASTM A 381	Grade Y35	API 5L	Grade B					
ASTM A 500	Grade A		Grade X42					
	Grade B	ABS	Grades A, B, D, CS, DS					
ASTM A 501			Grade E		Over 2-1/2	Over 65	300	150

Figura 4.2.52: Temperatura mínima de precalentamiento para la soldadura [10]

Se realizan soldadura a tope en los materiales cuyos espesores son 1, 5 y $3mm$, por tanto según la Figura 4.2.53 se permite un tamaño de soldadura (garganta) igual al espesor del elemento, con una separación máxima entre ellos de $1,5mm$.

Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness (U = unlimited)		Groove Preparation			Permitted Welding Positions	Weld Size (E)	Notes
		T ₁	T ₂	Root Opening	Tolerances				
					As Detailed (see 3.12.3)	As Fit-Up (see 3.12.3)			
SMAW	B-P1a	1/8	—	R = 0 to 1/16	+1/16, -0	±1/16	All	T ₁ - 1/32	B, D
	B-P1c	1/4 max	—	R = $\frac{T_1}{2}$ min	+1/16, -0	±1/16	All	$\frac{T_1}{2}$	B, D

Figura 4.2.53: Especificaciones de soldadura a tope [10]

4.2.8. Embalaje

Una vez compactado el cartón necesita ser amarrado para que mantenga su forma, la compresión no pierda efectividad y sea fácil trasladarlo. Así, se propone el uso de flejes (también conocidos como zunchos), el cual trata de una correa que permite cerrar y asegurar paquetes, o agruparlos evitando que la carga se mueva durante su traslado. Para la tarea de embalaje de fardos de cartón a reciclar, se presentan las siguientes alternativas[14]:

- Fleje de polipropileno: Es un tipo de fleje plástico, es adecuado para cargas ligeras y almacenajes de corta duración. Posee una resistencia media de hasta 300 kg.
- Fleje de poliéster: Es un tipo de fleje plástico fabricado a partir de materiales reciclados. Tiene una mayor capacidad de carga que el plástico anterior, con una resistencia media de 360kg.
- Fleje textil hilo a hilo: Esta correa es flexible, ligera y muy resistente, lo que permite embalar paquetes manualmente con cargas rígidas y con ángulos. Posee una resistencia media de hasta 950kg.

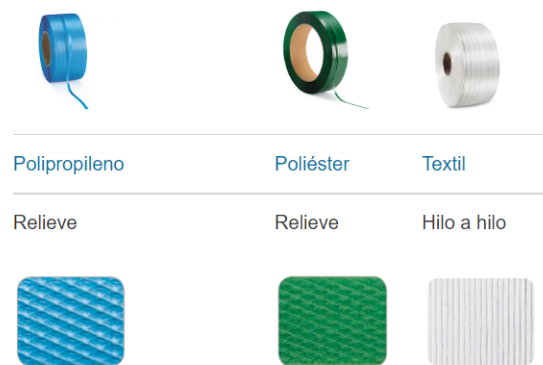


Figura 4.2.54: Tipos de flejes y su textura [14]

El parámetro que se utiliza para seleccionar el tipo de fleje es su resistencia, suponiendo que es necesario un sistema de amarre que resista las 3 toneladas que se aplican para comprimir el cartón. Como se utilizan 6 dientes inferiores y superiores, es decir, se dejan 5 espacios disponibles para asegurar el fardo. De este modo, cada amarra deberá soportar:

$$carga\ amarra = \frac{3ton}{5} = 600Kg \quad (4.95)$$

Por tanto, se selecciona un fleje textil hilo a hilo cuya resistencia es de $950Kg$. En tanto, para utilizar el material, es necesario utilizar hebillas y una flejadora (dispositivo manual para tensar el material), tal como se muestra en la Figura 4.2.55. Paralelamente en la Figura 4.2.56 se observa el kit de amarre para llevar a cabo el empaquetamiento del cartón.



Figura 4.2.55: Tensión de fleje mediante hebilla y flejadora [14]



Figura 4.2.56: Kit de amarre: fleje, hebilla, flejadora [14]

4.2.9. Pintura

Para evitar el deterioro por humedad, se utiliza pintura esmalte anticorrosiva de terminación brillante (ver Figura 4.2.57) de excelente adherencia a superficies metálicas, gran flexibilidad y resistencia a la abrasión. Se elige el color rojo, al igual que el mecanismo de fuerza para dar uniformidad de apariencia.

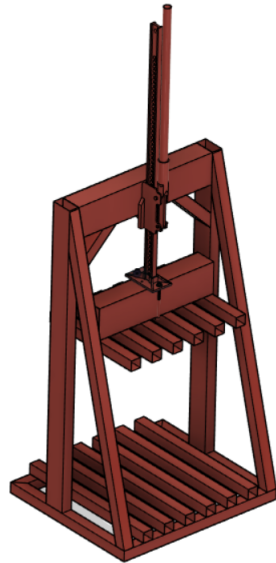


Figura 4.2.57: Respresentación de máquina pintada [Elaboración propia]

4.2.10. Análisis de costos

Se realiza el análisis de costos contemplando lo necesario para construir y enfardar el cartón corrugado. Se comienza analizando los materiales que conforman las partes de la máquina. Entonces, se procede con la suma de los largos de cada elemento multiplicado por la cantidad necesaria de cada uno. Luego, se divide la longitud acumulada por el largo (6000mm) del formato de venta de los perfiles. El resultado del ejercicio se muestra en la Tabla 4.10, dando un total de 320.701 pesos Chilenos, incluyendo el mecanismo de fuerza.

Tabla 4.10: Costo de materiales que constituyen los elementos de la máquina necesarios para construir el equipo

Material [mm]	Longitud acumulada [mm]	Cantidad	Costo unitario [\$]	Costo Total [\$]
50x50x1,5	13100	3	20.344	61.032
100x50x2	3364	1	39.327	39.327
150x100x3	1300	1	96.990	96.990
Hi-Lift	1500	1	89.900	89.900
Perno U cuadrado M10	120x160	1	5.562	5.562
Arandela M10	-	2	450	900
Tuerca M10	-	2	500	1000
Pintura	-	1	25.990	25.990
Total			320.701	

Luego, se ven los costos asociados al sistema de embalaje. Se cotiza zuncho de hilo, una zunchadora manual y hebillas para sellar el material. Los resultados se observan en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11: Costos de sistema de embalaje

Elemento	Cantidad	Costo unitario [\$]	Costo Total [\$]
Zuncho	1	31.790	31.790
Zunchadora	1	101.190	101.190
Hebillas(1000 unid)	1	48.290	48.290
Total		181.270	

Se observa también en la Tabla 4.12 el costo de inversión en las herramientas y elementos de protección personal necesarios para cortar y soldar el equipo.

Tabla 4.12: Costos de inversión en equipamiento

Equipamiento	Cantidad	Costo unitario [\$]	Costo Total [\$]
Esmeril angular	1	19.590	19.590
Discos de corte	5	1.690	8.450
Discos desbaste	1	1.390	1.390
Guantes cabritilla	1	3.690	3.690
Lentes	1	1.590	1.590
Tapones auditivos	1	2.690	2.690
Soldadora	1	159.990	159.990
Paquete de soldadura E6011	1	6.390	6.390
Máscara de soldar	1	22.990	22.990
Guantes soldador	1	3.890	3.890
Pechera	1	6.290	6.290
Zapatos de seguridad	1	22.990	22.990
Total		259.940	

Adicionalmente se contempla el costo de mano de obra. Para la construcción de la base, se considera un tiempo de corte desde la tira de 6 metros, y modificar las esquinas en ángulos de 45° igual a $10min$ por cada perfil. Al ser cuatro elementos, se tienen $40min$. En seguida, posicionar los perfiles y soldar las 4 esquinas con los procedimientos adecuados se aproxima en un tiempo de $20min$. Luego, marcar la base (para señalar la posición de los dientes inferiores y las columnas) conlleva un tiempo igual a $10min$. Después, esmerilar las soldaduras considera un tiempo de $20min$. Hasta el momento se tiene un tiempo acumulado de $40 + 20 + 10 + 20 = 90min$.

Ahora, sigue cortar los perfiles correspondientes a los dientes superiores e inferiores. Se considera un tiempo de $5min$ por cada uno, con un total de 12 unidades conlleva un total de $60min$. Luego, se montan los 6 perfiles correspondientes a la base, y se realiza la soldadura con los procedimientos, demorando $10min$ por cada diente, dando una suma de $60min$. Esmerilar las soldaduras anteriores considera un tiempo igual a $30min$. De esta forma se

acumula un total de $60 + 60 + 30 = 150min$ en este apartado.

Por consiguiente, cortar cada columna conlleva un tiempo de $10min$ considerando que son de mayor espesor ($20min$). Así como también, cambiar de perfil y cortar el largo correspondiente al travesaño superior y al travesaño móvil, supone un tiempo de $20min$ entre ambos. En seguida, se realiza la soldadura para configurar el marco, considerando los procedimientos adecuados, se aproxima en $10min$ por soldadura (siendo 4 en total, $40min$). Montar el pórtico sobre la base en las marcas iniciales mediante soldadura con los procedimientos adecuados se aproxima en $15min$ por lado, entregando un total de $30min$. Esmerilar las soldaduras anteriores considera un tiempo igual a $40min$. Por tanto, armar el pórtico conlleva un tiempo igual a $20 + 20 + 40 + 30 + 40 = 150min$.

En tanto, los atiesadores largos y cortos se obtienen desde los perfiles comprados, realizando el corte en ángulo en los extremos para ensamblar a la máquina. Se estima un tiempo de $15min$ para cada atiesador, dando un total (4 unidades) de $60min$.

Ahora, prosigue armar el frente de compactación móvil, con los perfiles ya cortados anteriormente, por tanto, queda posicionar y soldar los 6 dientes, que demoran un tiempo de $10min$ cada uno, dando un total de $60min$. Esmerilar las soldaduras anteriores considera un tiempo igual a $40min$. La adición temporal resulta en $60 + 40 = 120min$.

En seguida, se prepara el mecanismo de fuerza, realizado las dos perforaciones de $10mm$, tarea que se aproxima en $30min$. Luego, se ensambla al travesaño móvil y se posiciona en el centro de la máquina, lo cual demora aproximadamente $20min$. A continuación, se eleva el mecanismo y se une al travesaño superior mediante soldadura, labor que se realiza en $30min$ aproximadamente. Esmerilar las soldaduras anteriores considera un tiempo igual a $30min$. En total, en esta sección se tiene un tiempo de $30 + 20 + 30 + 30 = 110min$.

Se prosigue a pintar la máquina, lo cual se estima en $60min$. Con todo lo anterior, se tendría el tiempo de armado de la máquina que en suma es igual a $90 + 150 + 150 + 60 + 120 + 110 = 680min = 11,3hrs$. En tanto, dos días laborales de trabajo cuenta con $16hrs$, de las cuales 4 son de colación y 2 de actividades varias como equiparse y pausas necesarias. El costo por hora de un soldador calificado, que realice lo descrito anteriormente (incluyendo corte de perfiles y montaje) se puede aproximar a $\$9.000$, por tanto, el costo de mano de obra aproximado es de $\$9.000 * 16 = \144.000 .

Ahora, se muestra en la Tabla (4.13) el total necesario para poder construir y operar la máquina. Cabe destacar que los costos de inversión en equipamiento es el 29% de la inversión, el costo en materiales para construir la máquina representan el 35%, el costo de amarre un 20% y el de mano de obra 16%. Por lo demás, se obtiene un costo total igual a $\$905.911 < \1000.000 , cumpliendo con el límite de presupuesto.

Tabla 4.13: Suma de costos necesarios para construir y operar la máquina

Costo	Monto [\$]	%
Materiales	320.701	35
Amarre	181.270	20
Herramientas	259.940	29
Mano de obra	144.000	16
Total	905.911	100

4.2.11. Proyecciones de diseño

Se proyecta adicionar paredes en la cámara de compactación para contener el material y evitar que se salga del equipo. Esto ayuda a que la operación sea más sencilla y rápida, pues la persona que maneja el equipo no estaría pendiente si el material sale de la zona de compactación.

Se pretende también, añadir rigidizadores al frente de compactación móvil para mantener la horizontalidad del conjunto y realizar una compactación pareja. Esta posibilidad se analizaría luego de construir la máquina y observar cómo se interactúa el mecanismo de fuerza con la alineación del frente móvil, dada la variabilidad de tamaño y orden que tienen los cartones.

Se puede añadir ruedas y un sistema de empuñaduras para trasladar y mover el equipo de forma sencilla, y no arrastrar así la base por el suelo. Es conveniente diseñar un ensamblaje del mecanismo de fuerza para que éste se pueda desmontar de la estructura y dar mayor facilidad de mantenimiento, o trasladar el equipo por separado.

Por último, se puede extender el uso del equipo para compactar otros materiales como: latas de aluminio, botellas PET, cartón para líquidos, ropa, etc. Se propone realizar pruebas de compresión de dichos materiales, adaptando el equipo para cada caso, analizando la cantidad de volumen reducido para una determinada masa.

Capítulo 5

Conclusiones

Se diseña un equipo que permite reducir a la mitad el volumen de un fardo de cartones. Esto permite optimizar el acopio y transporte del material en su gestión para ser reutilizado. Gracias a su naturaleza manual, no genera costos de operación, y no necesita la utilización de equipo adicional (como por ejemplo una grúa horquilla). Por tanto un nicho de potenciales usuarios son los recicladores de base, quienes podrían aumentar los ingresos percibidos por la actividad al aumentar el volumen de material que se maneja. En tanto, otro usuario de la máquina son los asociados a la Ilustre Municipalidad de Pudahuel, donde se propone implementar el proceso productivo mostrado, indicando los posibles lugares para realizar los acopios primarios y secundarios, para la gestión de cartones considerados como residuos dentro de la farmacia, oficinas, bodega etc.

Se evidencia la importancia de compactar el cartón debido a que el 59% de su volumen corresponde al aire albergado en las ondas que configuran su composición. Además, se muestra que en un montón de cartones, el espacio entre ellos debido a la diferencia de tamaños ocupa un 55% del espacio. Además, se logra determinar mediante pruebas de compresión plana que el esfuerzo necesario para colapsar las ondas del cartón corrugado simple de onda C es en promedio $9,18 \frac{N}{cm^2}$. En tanto, se selecciona un mecanismo de fuerza comercial correspondiente a una gata manual que entrega *3tonf* (Hi-Lift) caracterizado por ser un conjunto ensamblado, el cual permite alcanzar el esfuerzo necesario para colapsar las ondas bajo un área de compactación igual a $500 \times 600 mm$. Se propone y dimensiona una estructura que da forma (junto con el mecanismo de fuerza elegido) a una máquina compactadora manual capaz de colapsar las ondas de un fardo de cartones de $25Kg$, con un peso igual a $72Kg$ y un costo de fabricación menor a \$1.000.000.

Se valida el diseño mediante cálculos analíticos y una simulación de elementos finitos bajo un factor de seguridad de 1,5 ligado al límite de fluencia del acero A36 ($250MPa$), y utilizado la relación de Soderberg para el límite de resistencia a la fatiga. Se recomienda soldar los elementos cuyos espesores sean de $1,5mm$ entre $40 - 60Amps$, si son espesores de $2mm$ soldar entre $60 - 80Amps$, y si se tienen $3mm$ cambiar a $125Amps$. Se menciona los insumos necesarios para realizar el amarre del fardo conformado luego de la compactación, correspondientes a zunchos (y la respectiva herramienta para tensar y asegurar el material) de hilo cuya resistencia es igual a $950Kg$. Se analizan los gastos asociados a la construcción de la máquina donde la inversión en equipamiento es el 29%, el costo en materiales para construir la máquina representan el 35%, el amarre un 20% y el valor de mano de obra 16%.

Se propone seguir modificando el diseño del equipo, buscando añadir rigidizadores al frente de compactación móvil para mantener la horizontalidad del elemento y realizar una compactación pareja. Además, se proyecta en adicionar paredes en la cámara de compactación para contener el material y evitar que salga del equipo una vez amontonado. Se observa también modificar el ensamblaje del mecanismo de fuerza a la estructura, de modo que se pueda desacoplar. Así como también, añadir ruedas y un sistema de empuñaduras para trasladar y mover el equipo de forma sencilla. Las ideas anteriores pretenden ofrecer un equipo que se pueda trasladar (por los recicladores de base) hacia los puntos limpios y verdes para comprimir el material. Finalmente, se pretende estudiar la capacidad del equipo para reducir el volumen de latas de aluminio, botellas PET, ropa y otros tipos de plásticos.

Bibliografía

- [1] M. Biggs, S. Alenda, J. Ceccarelli, B Silva, “ Registro de recicladores de base a nivel nacional”, CEMPRE Chile, Fundación El Árbol, Chile, 2021.
- [2] I. Mentado, “Propuesta para la certificación del sistema de gestión de la calidad (SGC) para el laboratorio de pruebas de una planta de fabricación de empaques de cartón corrugado”, Tesis para obtener título de Ingeniero químico industrial, Escuela superior de ingeniería química e industrias extractivas, Instituto politécnico nacional, México DF, 2015.
- [3] A. Nardea, M. Della, J. García, P. Gamboa, P. Pavéz, A. Stock, I. Matte, L. Godoy, M. Vidal, P. Sufán, J. Segovia, J. Moreno, F. Llach, J. Santiestebal, D. Escobar, M. Meneghello, J. Novoa, M. Soto, R Wilkens, “Cartón corrugado”, Manual de calidad y logística, CENEM, v3, Junio 2018.
- [4] J. Peró, G. García, “La institucionalidad al debe: Desafíos legales para fomentar el reciclaje y compostaje domiciliario en Chile”, Informe ejecutivo, Kyklos, 2021.
- [5] T. Fadiji, T. Berry, C. Coetzee, U. Linus, “Investigating the Mechanical Properties of Paperboard Packaging Material for Handling Fresh Produce Under Different Environmental Conditions: Experimental Analysis and Finite Element Modelling”, Journal of Applied Packaging Research.
- [6] American National Standards Institute (ANSI), “Flat crush test of corrugated board (rigid support method)”, TAPPI/ANSI T 825 om-14, 2014.
- [7] M. Tejerizo, “Elaboración de fórmulas analíticas y tablas de cálculo para las estructuras metálicas de acero según la normativa Eurocódigo 3”, Memoria para obtener título de Ingeniero Industrial, Escola Tècnica Superior d’Enginyeria Industrial de Barcelona, Abril 2015.
- [8] R. Budynas, J. Nisbett, “Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley”, Mc Graw Hill, Octava edición.
- [9] C. Aguirre, A. Gutierrez, “Especificación ANSI/AISC 360-10 para construcción en acero”, Asociación Latinoamericana del Acero, Santiago de Chile, 2010.
- [10] D. L. McQuaid, D. D. Rager, D. K. Miller, A. W Sindel, H. H. Campbell, R. E.

Albrecht, W. G. Alexander, N. B. Altebrando, A. Anderson, F. G. Armao, R. E. Avery, D. K. Baird, E. M. Beck, F. R. Beckmann, R. M. Bent, E. L. Bickford, R. D. Block, O. W. Blodgett, R. Bonneau, ... , O. Zollinger, “AWS D1.1: Structural Welding Code-Steel”, American Welding Society, Edición 17, Octubre 1990.

- [11] R. Timings, “Fabrication and Welding Engineering”, Newnes, Oxford, 2008.
- [12] Hi-Lift, All-Cast Jack, [Online]. Disponible: <https://hi-lift.com/hi-lift-jacks/>
- [13] Batiste, Características técnicas modelo E-300, [Online]. Disponible: <https://batiste.cl/wp/wp-content/uploads/2020/08/Catalogo-E-300.pdf>
- [14] Blog: Cómo escoger y utilizar correctamente el fleje, [Online], Disponible: <https://www.rajapack.es/blog-es/productos/como-elegir-correctamente-fleje-guia/>

Anexos

Anexo A. Resultados pruebas de compresión

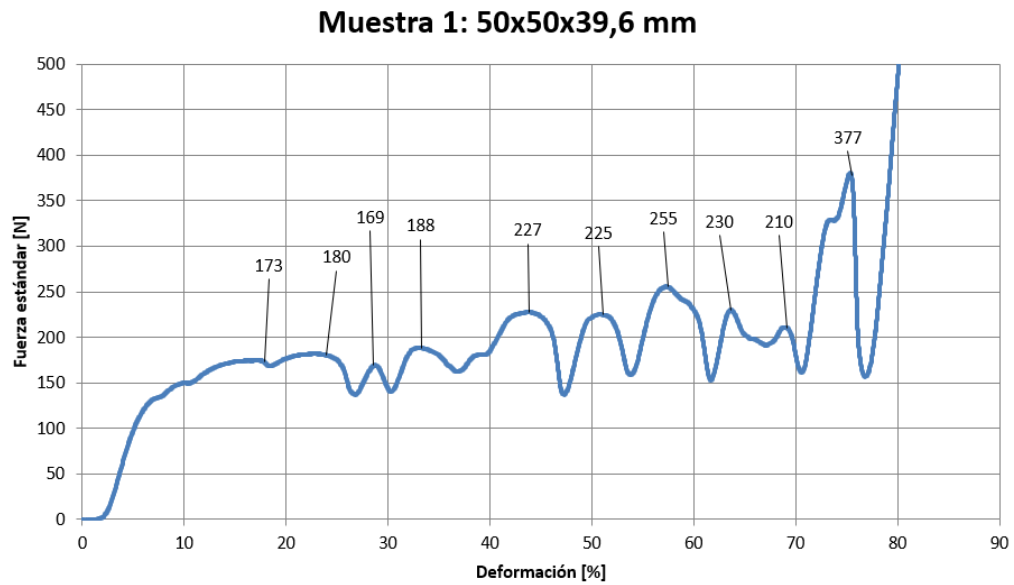


Figura A.1: Curva correspondiente a la muestra 1, donde se anotan las fuerzas que colapsan las ondas

Tabla A.1: Resultados y análisis de curva correspondiente a la muestra 1

Muestra: 1	
Dimensiones: 50x50x39,6mm	
Área Transversal: 25cm ²	
Fuerza de colapso [N]	% Deformación
173	17
180	23
169	28
188	33
227	43
225	51
255	57
230	63
210	69
377	75
Fuerza de colapso promedio[N]: 223,4	
Esfuerzo de colapso $\frac{[N]}{cm^2}$: 8,936	

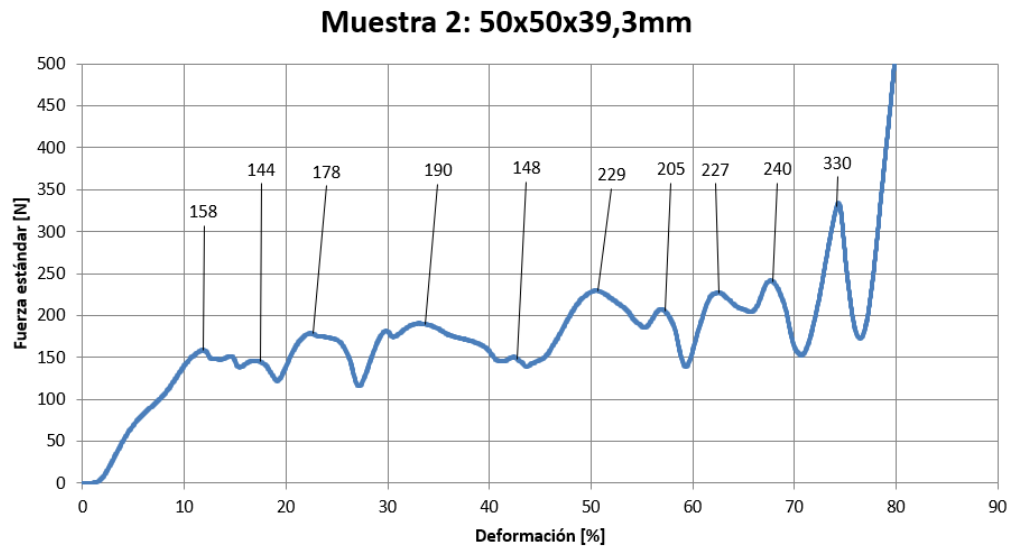


Figura A.2: Curva correspondiente a la muestra 2, donde se anotan las fuerzas que colapsan las ondas

Tabla A.2: Resultados y análisis de curva correspondiente a la muestra 2

Muestra: 2	
Dimensiones: 50x50x39,6	
Área Transversal: 25cm ²	
Fuerza de colapso [N]	% Deformación
158	11
144	17
178	22
190	33
148	42
229	50
205	57
227	62
240	67
330	74
Fuerza de colapso promedio[N]: 204,9	
Esfuerzo de colapso $\frac{[N]}{cm^2}$: 8,196	

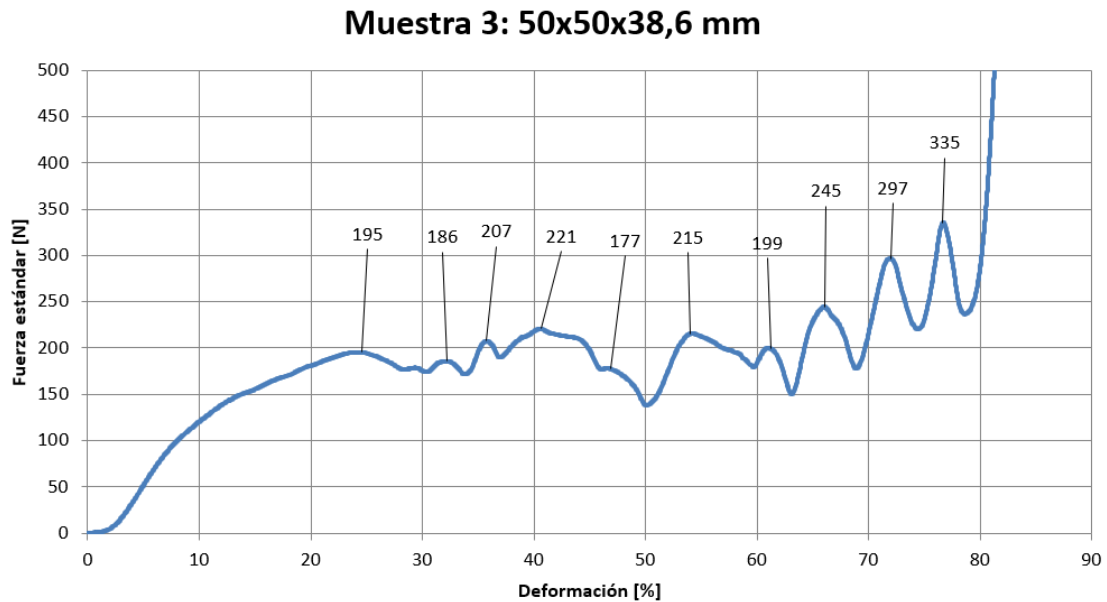


Figura A.3: Curva correspondiente a la muestra 3, donde se anotan las fuerzas que colapsan las ondas

Tabla A.3: Resultados y análisis de curva correspondiente a la muestra 3

Muestra: 3	
Dimensiones: 50x50x39,6	
Área Transversal: 25cm ²	
Fuerza de colapso [N]	% Deformación
195	24
186	32
207	35
221	40
177	46
215	54
199	61
245	66
297	72
335	76
Fuerza de colapso promedio[N]: 227,7	
Esfuerzo de colapso $\frac{[N]}{cm^2}$: 9,108	

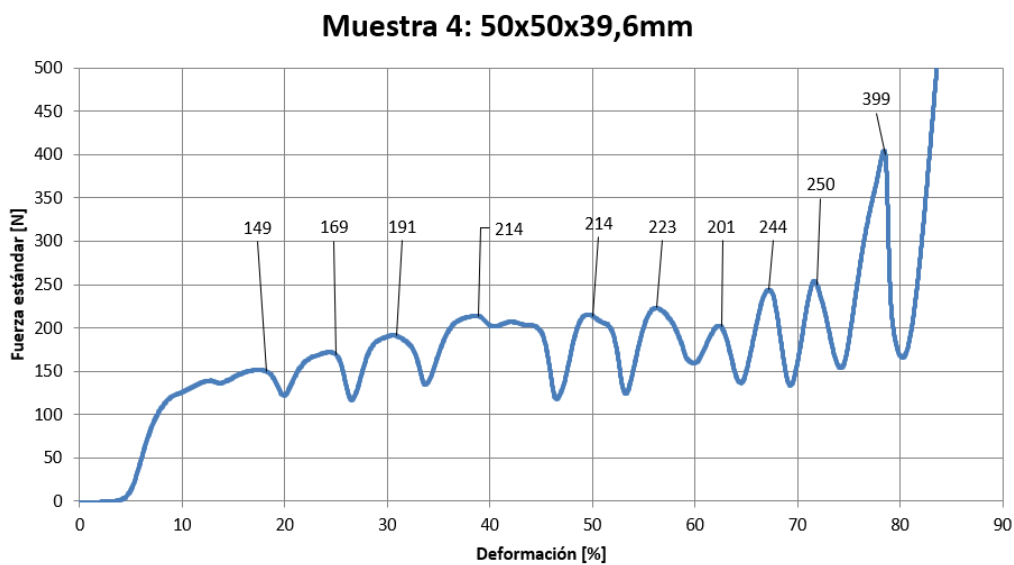


Figura A.4: Curva correspondiente a la muestra 4, donde se anotan las fuerzas que colapsan las ondas

Tabla A.4: Resultados y análisis de curva correspondiente a la muestra 4

Muestra: 4	
Dimensiones: 50x50x39,6	
Área Transversal: 25cm ²	
Fuerza de colapso [N]	% Deformación
149	18
169	24
191	30
214	39
214	50
223	56
201	62
244	67
250	71
399	78
Fuerza de colapso promedio[N]: 225,4	
Esfuerzo de colapso $\frac{[N]}{cm^2}$: 9,016	

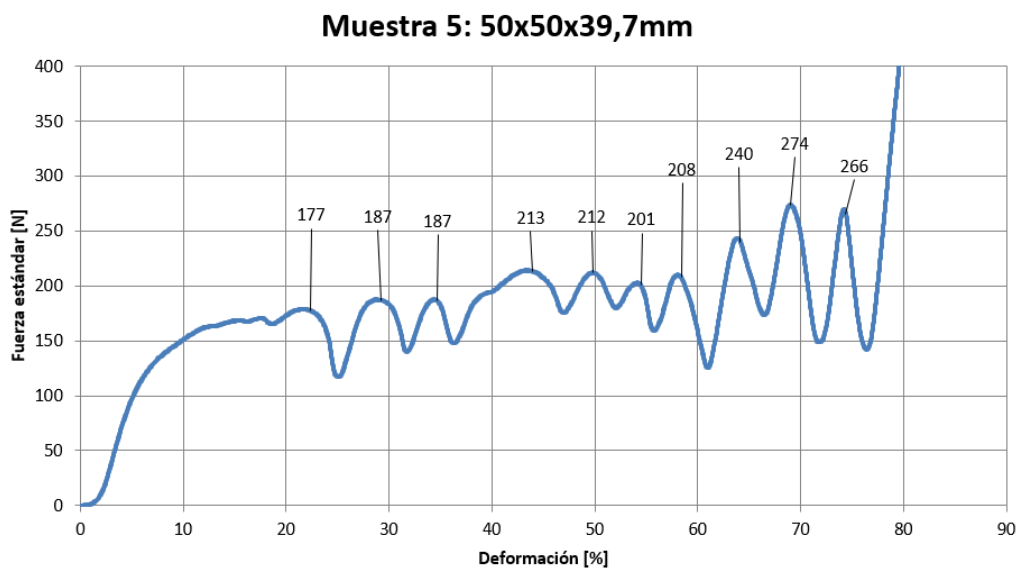


Figura A.5: Curva correspondiente a la muestra 5, donde se anotan las fuerzas que colapsan las ondas

Tabla A.5: Resultados y análisis de curva correspondiente a la muestra 5

Muestra: 5	
Dimensiones: 50x50x39,6	
Área Transversal: 25cm ²	
Fuerza de colapso [N]	% Deformación
177	22
187	29
187	34
213	44
212	49
201	54
208	58
240	64
274	69
266	74
Fuerza de colapso promedio[N]: 216,5	
Esfuerzo de colapso $\frac{[N]}{cm^2}$: 8,660	

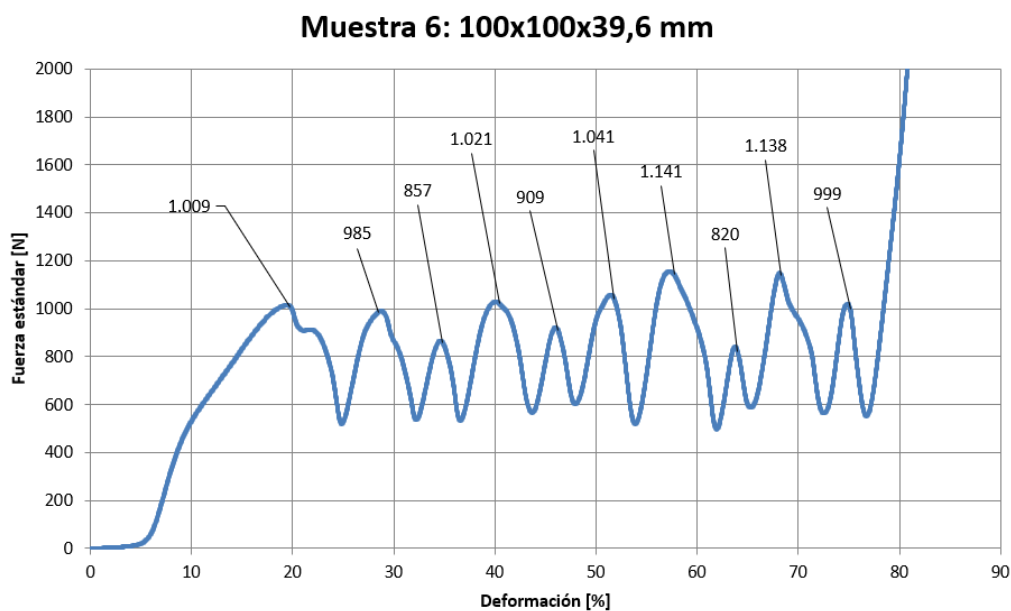


Figura A.6: Curva correspondiente a la muestra 6, donde se anotan las fuerzas que colapsan las ondas

Tabla A.6: Resultados y análisis de curva correspondiente a la muestra 6

Muestra: 6	
Dimensiones: 100x100x39,6mm	
Área Transversal: 100cm ²	
Fuerza de colapso [N]	% Deformación
1009	18
985	28
857	34
1021	40
909	46
1041	51
1141	57
820	64
1138	68
999	75
Fuerza de colapso promedio[N]: 992,04	
Esfuerzo de colapso $\frac{[N]}{cm^2}$: 9,920	

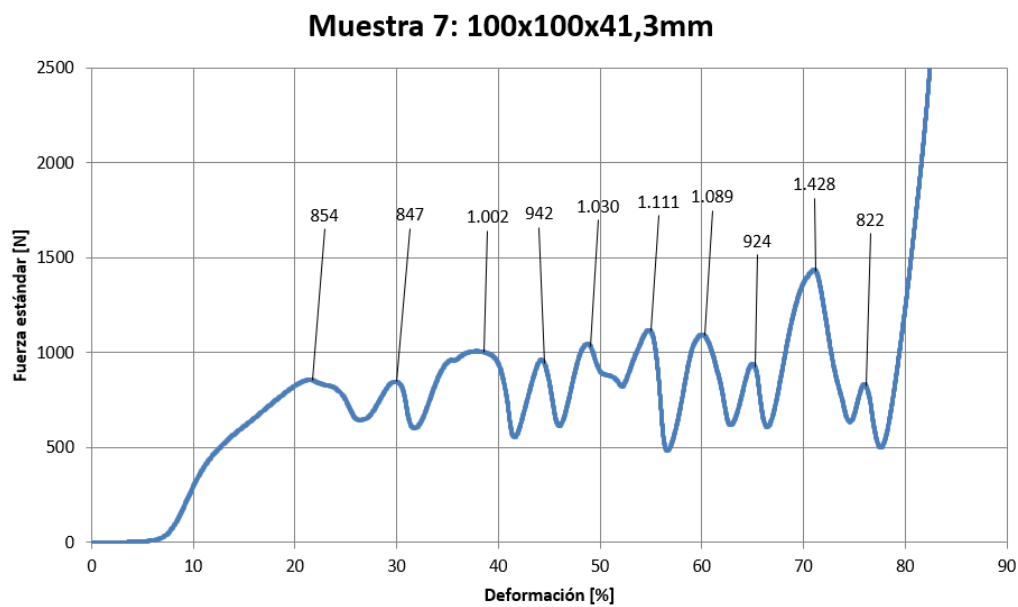


Figura A.7: Curva correspondiente a la muestra 7, donde se anotan las fuerzas que colapsan las ondas

Tabla A.7: Resultados y análisis de curva correspondiente a la muestra 7

Muestra: 7	
Dimensiones: 100x100x41,3mm	
Área Transversal: 100cm ²	
Fuerza de colapso [N]	% Deformación
854	21
847	30
1002	38
942	44
1030	49
1111	55
1089	60
924	65
1428	71
822	76
Fuerza de colapso promedio[N]: 1004,9	
Esfuerzo de colapso $\frac{[N]}{cm^2}$: 10,049	

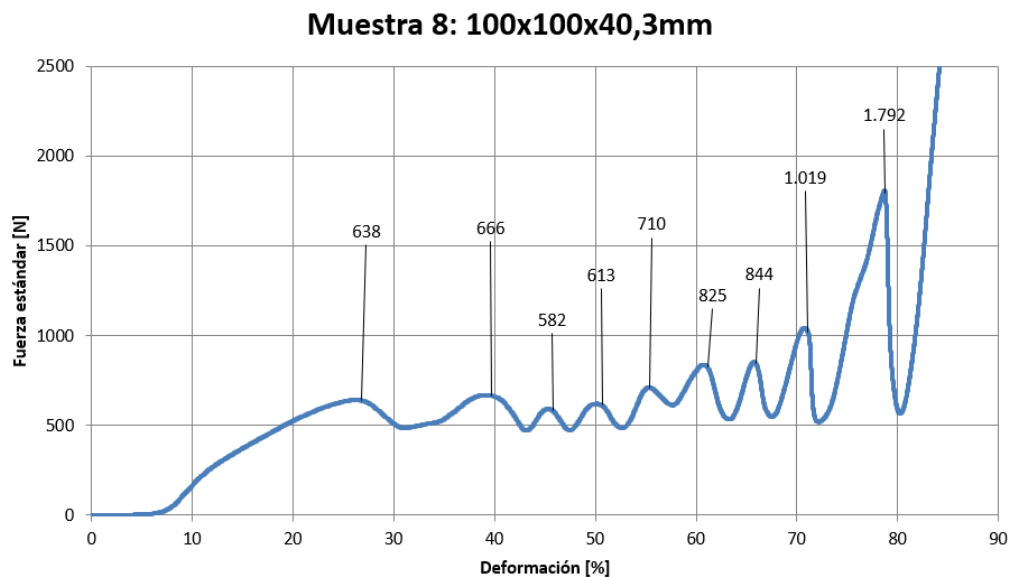


Figura A.8: Curva correspondiente a la muestra 8, donde se anotan las fuerzas que colapsan las ondas

Tabla A.8: Resultados y análisis de curva correspondiente a la muestra 8

Muestra: 8	
Dimensiones: 100x100x40, 3mm	
Área Transversal: 100cm ²	
Fuerza de colapso [N]	% Deformación
638	26
638	26
666	39
582	45
613	50
710	55
825	61
844	66
1019	71
1792	78
Fuerza de colapso promedio[N]: 833	
Esfuerzo de colapso $\frac{[N]}{cm^2}$: 8,330	

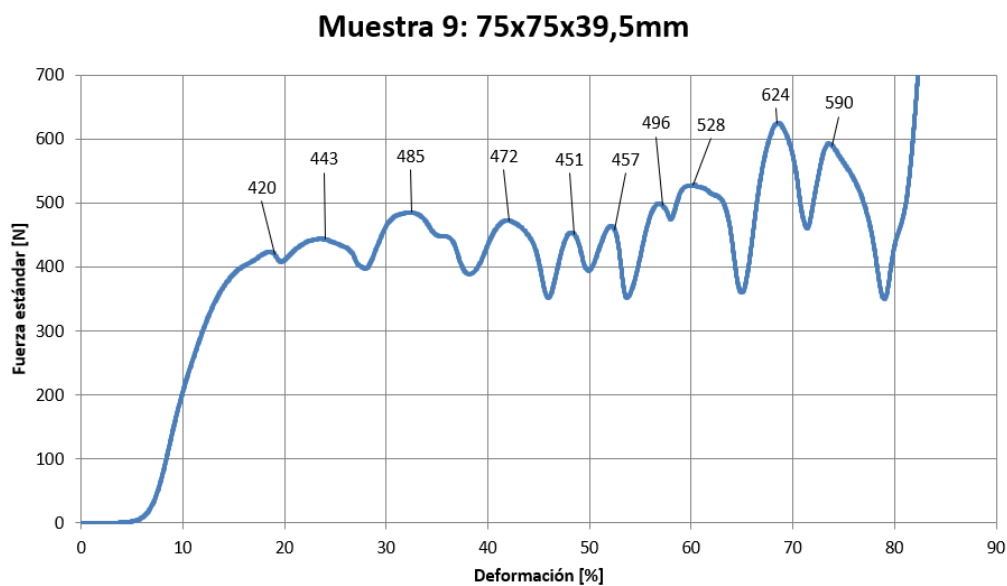


Figura A.9: Curva correspondiente a la muestra 9, donde se anotan las fuerzas que colapsan las ondas

Tabla A.9: Resultados y análisis de curva correspondiente a la muestra 9

Muestra: 9	
Dimensiones: 75x75x39,5mm	
Área Transversal: 56,25cm ²	
Fuerza de colapso [N]	% Deformación
420	19
443	24
485	32
472	42
451	48
457	52
496	57
528	60
642	68
590	73
Fuerza de colapso promedio[N]: 498,4	
Esfuerzo de colapso $\frac{[N]}{cm^2}$: 8,860	

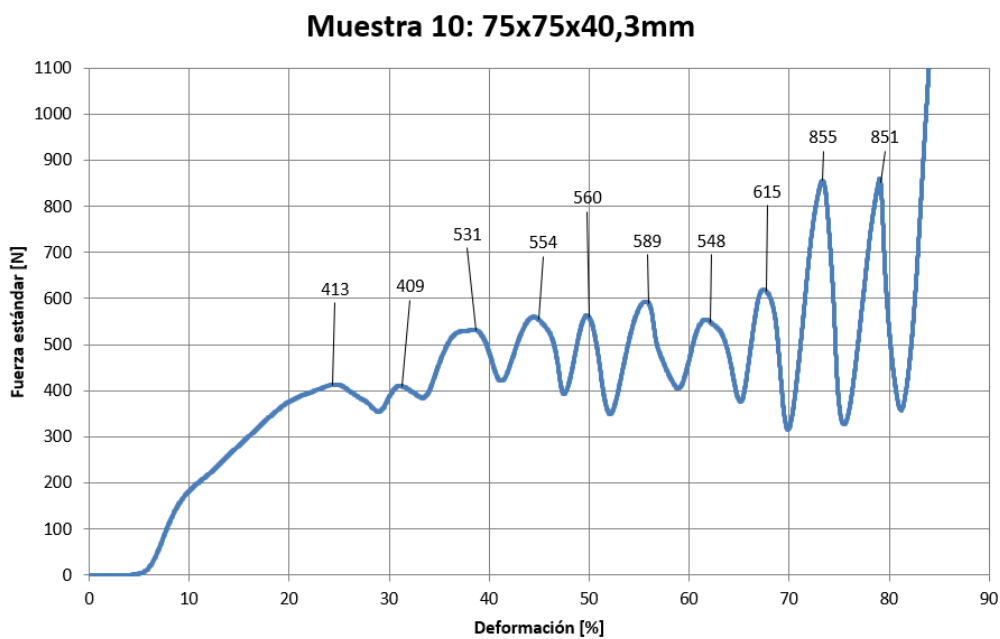
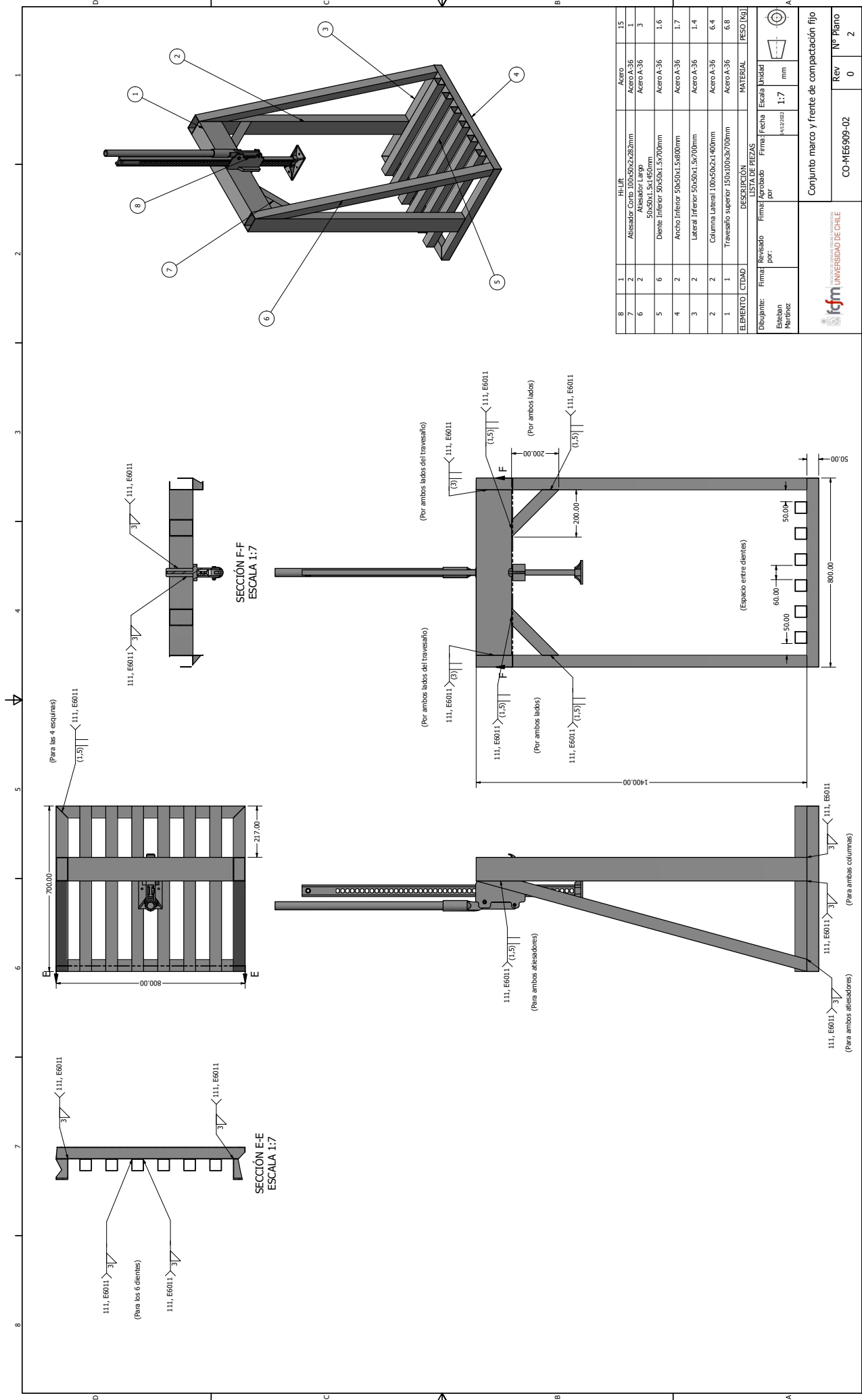


Figura A.10: Curva correspondiente a la muestra 10, donde se anotan las fuerzas que colapsan las ondas

Tabla A.10: Resultados y análisis de curva correspondiente a la muestra 10

Muestra: 10	
Dimensiones: $75 \times 75 \times 40,3 \text{ mm}$	
Área Transversal: $56,25 \text{ cm}^2$	
Fuerza de colapso [N]	% Deformación
413	24
409	31
531	38
554	45
560	50
589	56
548	62
615	67
855	73
851	79
Fuerza de colapso promedio [N]: 592,5	
Esfuerzo de colapso $\frac{[N]}{\text{cm}^2}$: 10,533	

Anexo B. Planos




ITEM	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	UNIDAD	QUANTIDAD	REVISADO	APROBADO	FECHA	ESCALA	REVISADO	APROBADO	FECHA
8	HL-LR	Acero		15							
7	Atiesador Corto 100x50x2x082mm	Acero A-36		1							
6	Atiesador Largo 50x50x1.5x1450mm	Acero A-36		3							
5	Diente inferior 50x50x1.5x700mm	Acero A-36		1,6							
4	Ancho inferior 50x50x1.5x800mm	Acero A-36		1,7							
3	Lateral inferior 50x50x1.5x700mm	Acero A-36		1,4							
2	Columna Lateral 100x50x2x1400mm	Acero A-36		6,4							
1	Travesaño superior 150x100x3x700mm	Acero A-36		6,8							

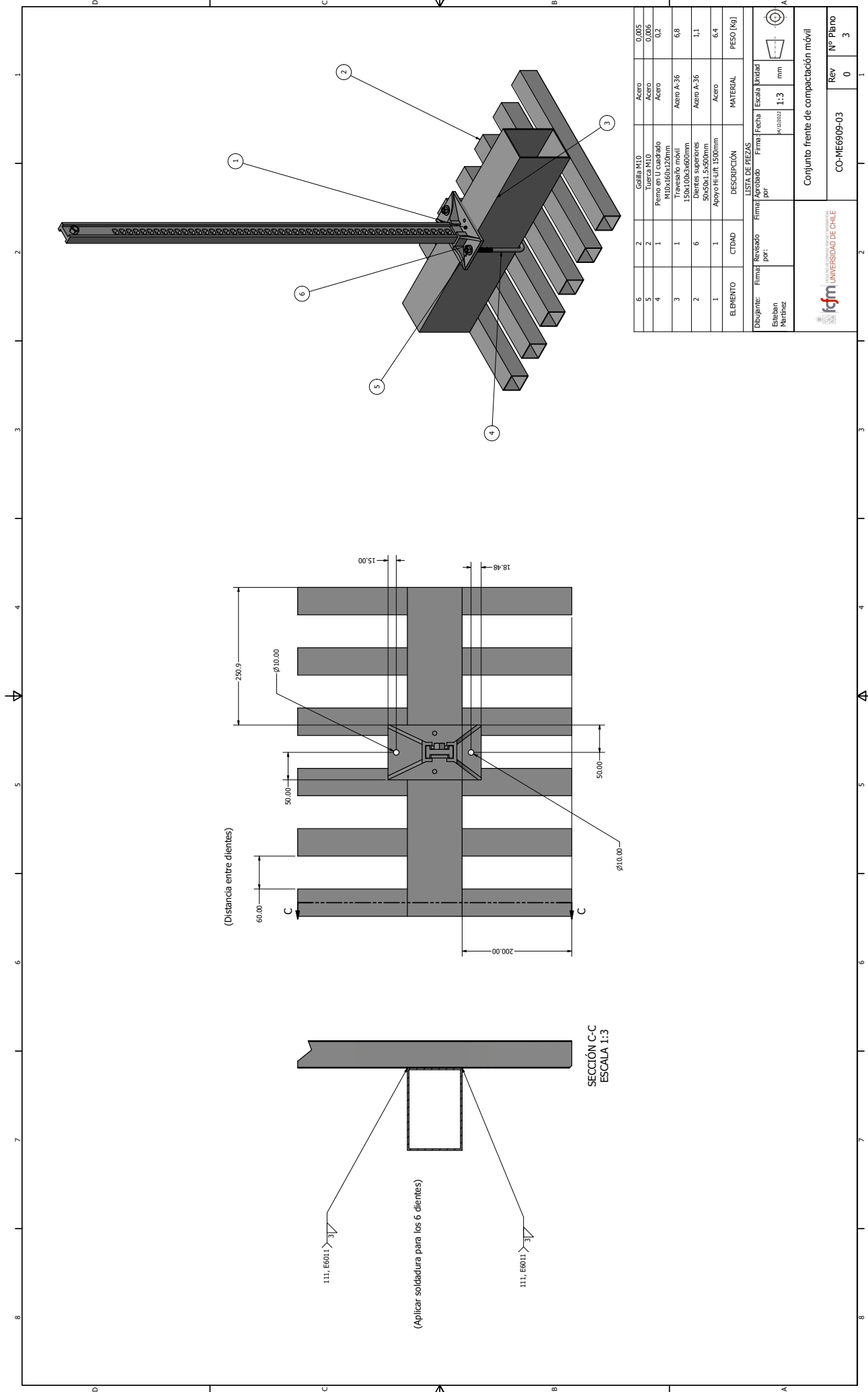
ELABORADO	CITADO	REVISADO	APROBADO	FECHA	ESCALA	UNIDAD
					1:7	mm

LISTA DE PIEZAS	
DESCRIPCIÓN	FECHA
	14/12/2022

DIBUJANTE	ESQUEMA	PLANTILLA




CONJUNTO MARCO Y FRENTE DE COMPACTACIÓN FIJO	
REV	Nº PLANO
0	2


UNIVERSIDAD DE CHILE
 CO-ME5909-02



ELBIENTO	CITDAD	DESCRIPCION	MATERIAL	PESO [kg]
1		Apoyo H/Lift. 1500mm	Acero	6.4
2		Dientes superiores 50x50x1.5x500mm	Acero A-36	1.1
3		Dientes inferiores 150x100x500mm	Acero A-36	6.8
4		Perno en U cuadrado M10x160x200mm	Acero	0.2
5		Tuerca M10	Acero	0.006
6		Grilla M10	Acero	0.005

LISTA DE PREZAS			
Dibujante:	Firma:	Aprobado:	Firma:
Esteban Parrañez			
		Fecha:	11/02/2022
		Escala:	1:3
		Unidad:	mm

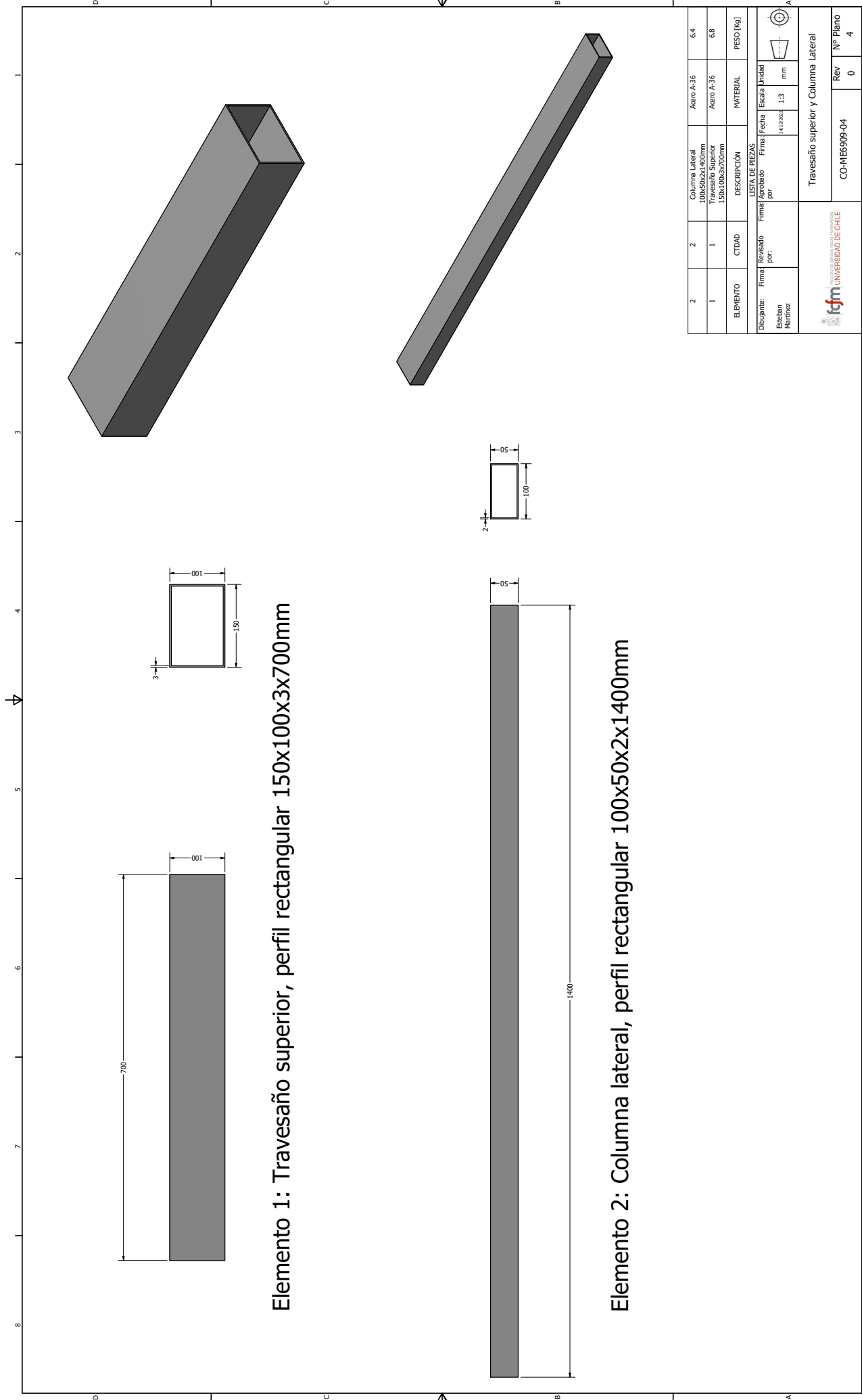
		Conjunto frente de compactación móvil	
		Rev	Nº Plano
		0	3

SECCIÓN C-C
ESCALA 1:3

(Aplicar soldadura para los 6 dientes)

111, E6011

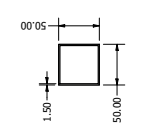
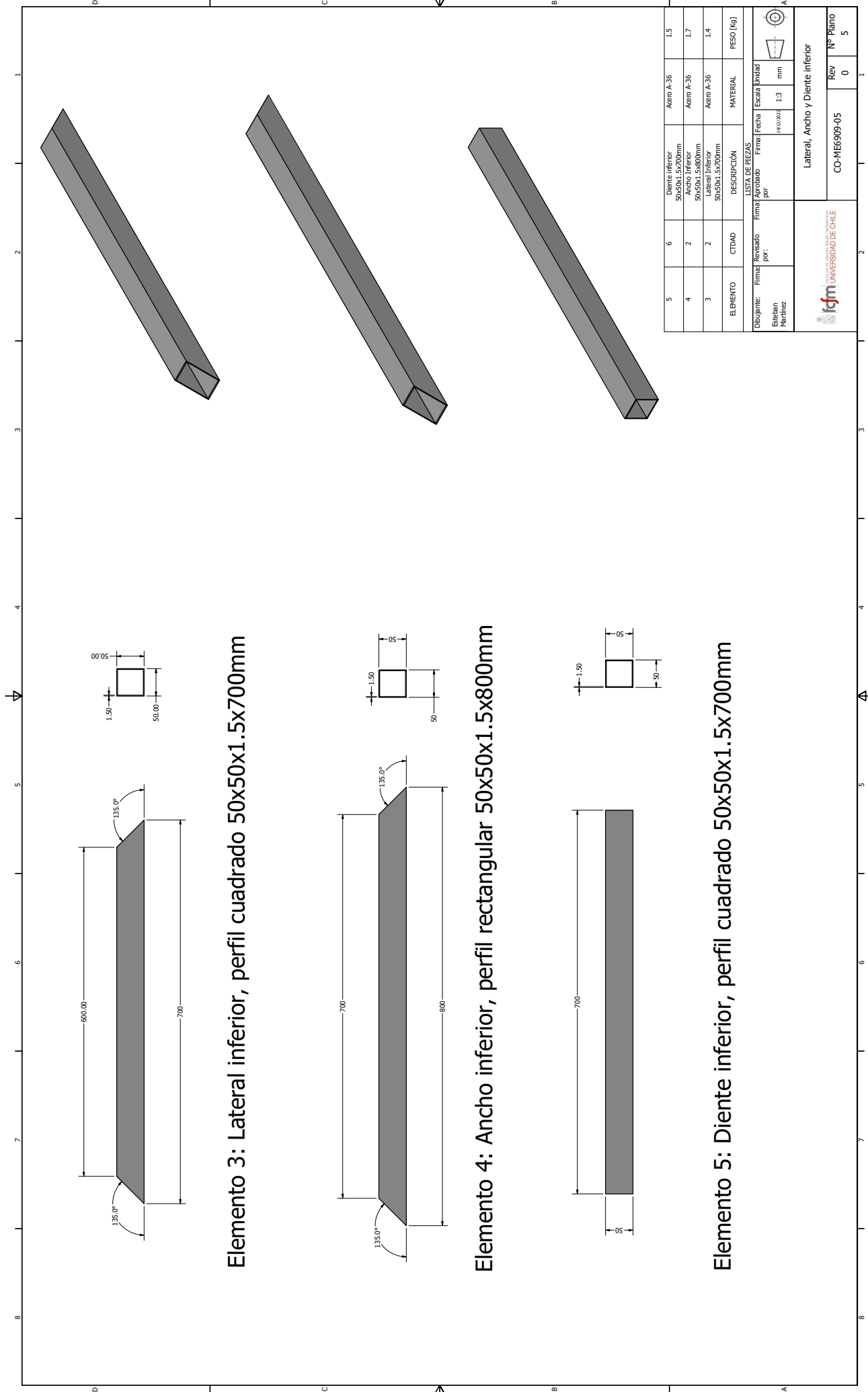
111, E6011



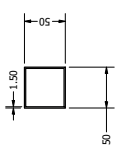
Elemento 1: Travesaño superior, perfil rectangular 150x100x3x700mm

Elemento 2: Columna lateral, perfil rectangular 100x50x2x1400mm

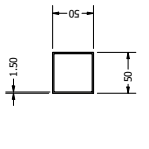
2	2	Columna Lateral 100x50x2x1400mm Travesaño superior 150x100x3x700mm	Aero A-36	6,4
1	1		Aero A-36	6,8
ELEMENTO		CITDAD	MATERIAL	PESO [kg]
LISTA DE PREZAS				
Dibujante:	Firma:	Revisado por:	Firma:	Fecha:
Escalera:	Plantilla:		Firma:	Fecha:
			14/03/2024	1,3
			mm	
Travesaño superior y Columna Lateral				
				Rev 0 Nº Plano 4



Elemento 3: Lateral inferior, perfil cuadrado 50x50x1.5x700mm



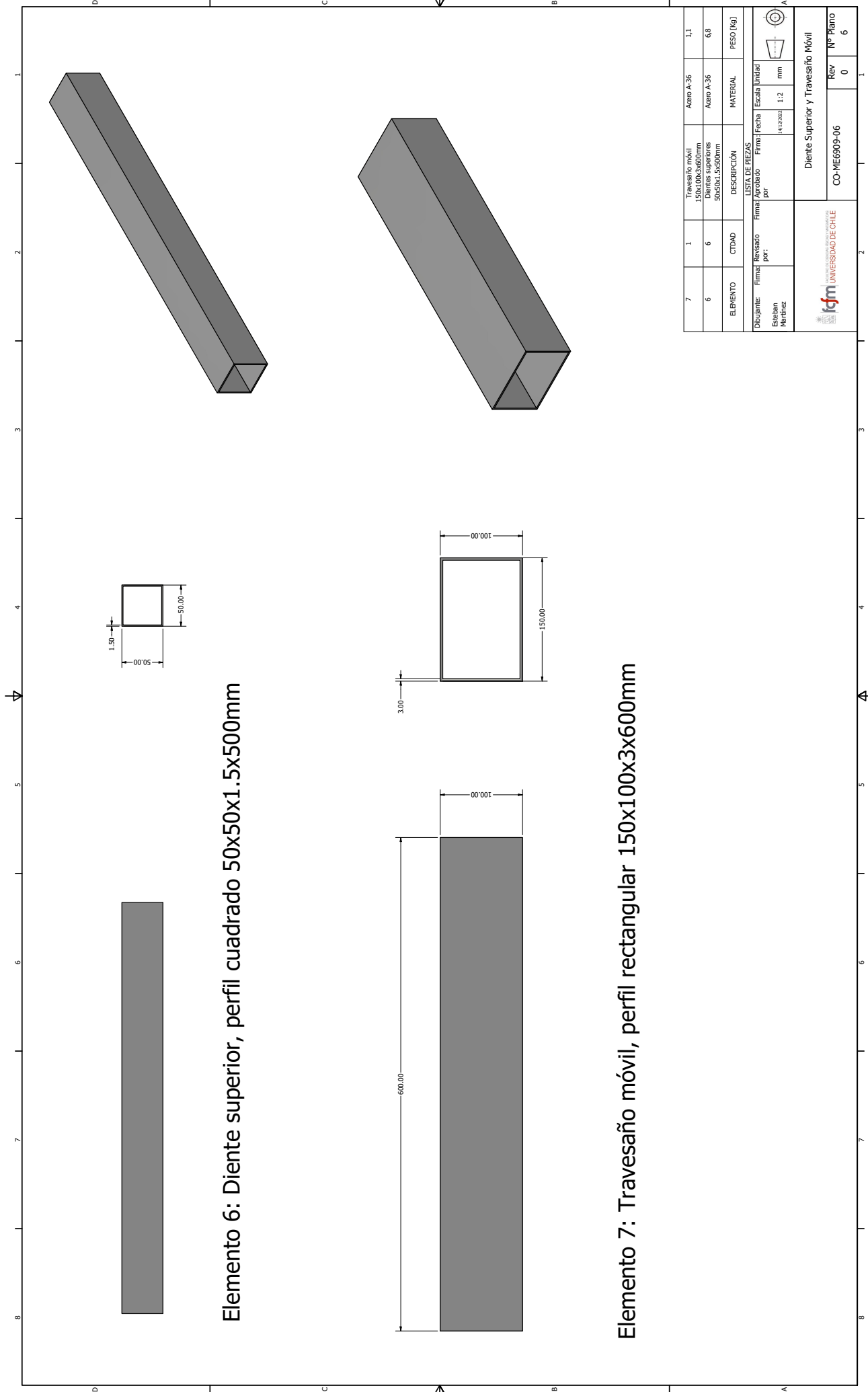
Elemento 4: Ancho inferior, perfil rectangular 50x50x1.5x800mm



Elemento 5: Diente inferior, perfil cuadrado 50x50x1.5x700mm

5	6	Diente inferior 50x50x1.5x700mm	Aero A-36	1.5
4	2	Ancho inferior 50x50x1.5x800mm	Aero A-36	1.7
3	2	Lateral inferior 50x50x1.5x700mm	Aero A-36	1.4
ELEMENTO	CITDAD	DESCRIPCION	MATERIAL	PESO [kg]
LISTA DE PREZAS				
Dibujante: Estephan Parinaciz	Firma: Revisado por:	Firma: Aprobado por	Firma: Fecha	Escala: Unidad
			14/02/2024	1:3 mm
Lateral, Ancho y Diente inferior				
CO-MES909-05			Rev	Nº Plano
			0	5

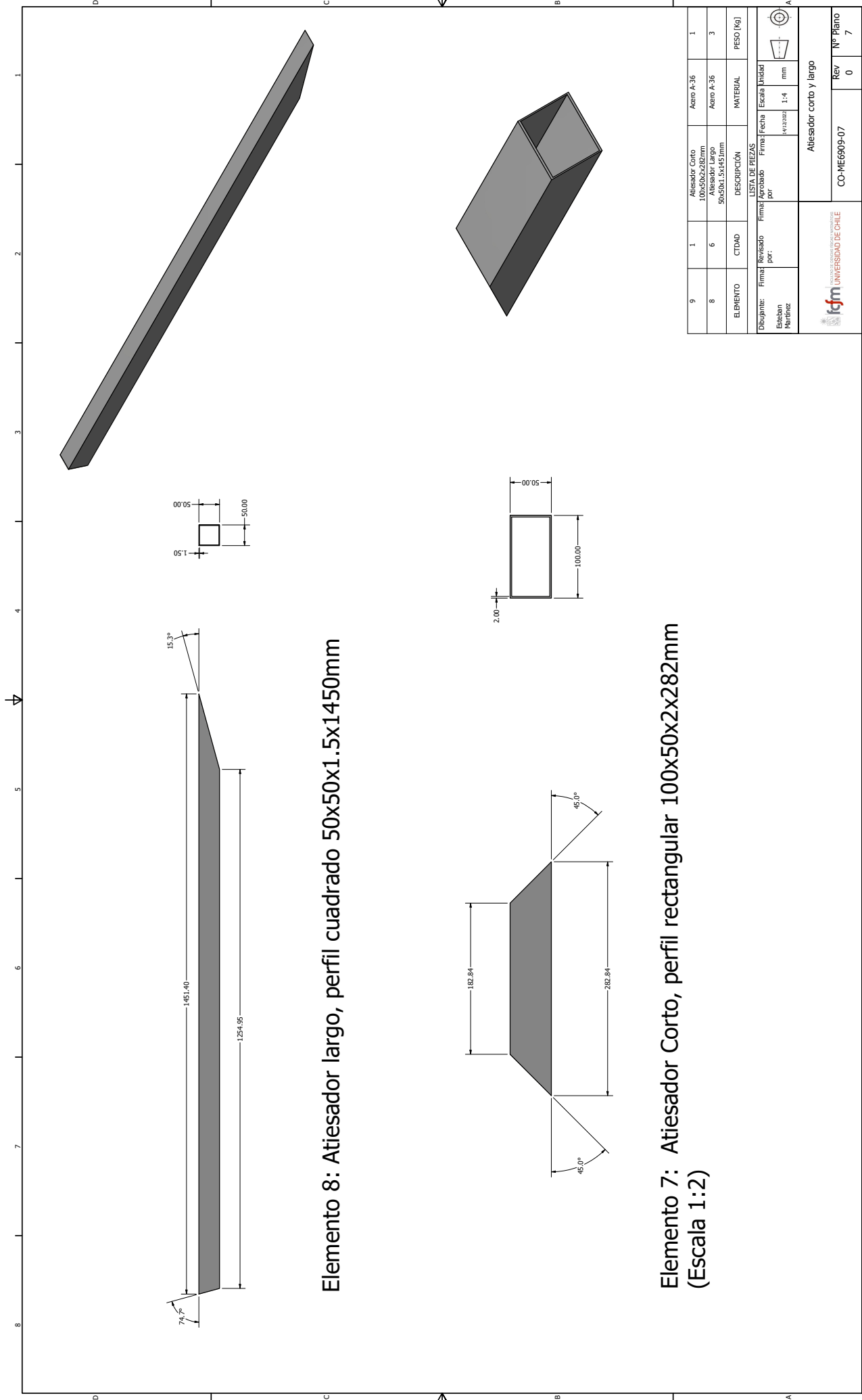




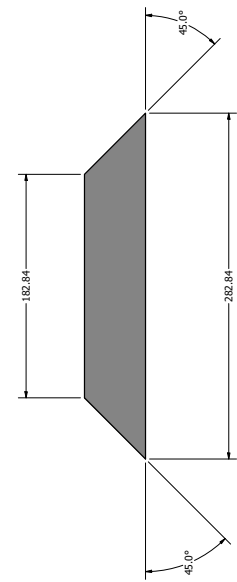
Elemento 6: Diente superior, perfil cuadrado 50x50x1.5x500mm

Elemento 7: Travesaño móvil, perfil rectangular 150x100x3x600mm

7	1	Travesaño móvil	Aero A-36	1,1
6	6	Diente superior	Aero A-36	6,8
DESCRIPCIÓN		MATERIAL		
LISTA DE PIEZAS		ESCALA		
Dibujante:	Revisado por:	Firma:	Fecha:	Unidad:
Esteban Parícuti			14/12/2021	mm
UNIVERSIDAD DE CHILE		Diente Superior y Travesaño Móvil		
CO-ME6909-06		Rev	N° Plano	
		0	6	



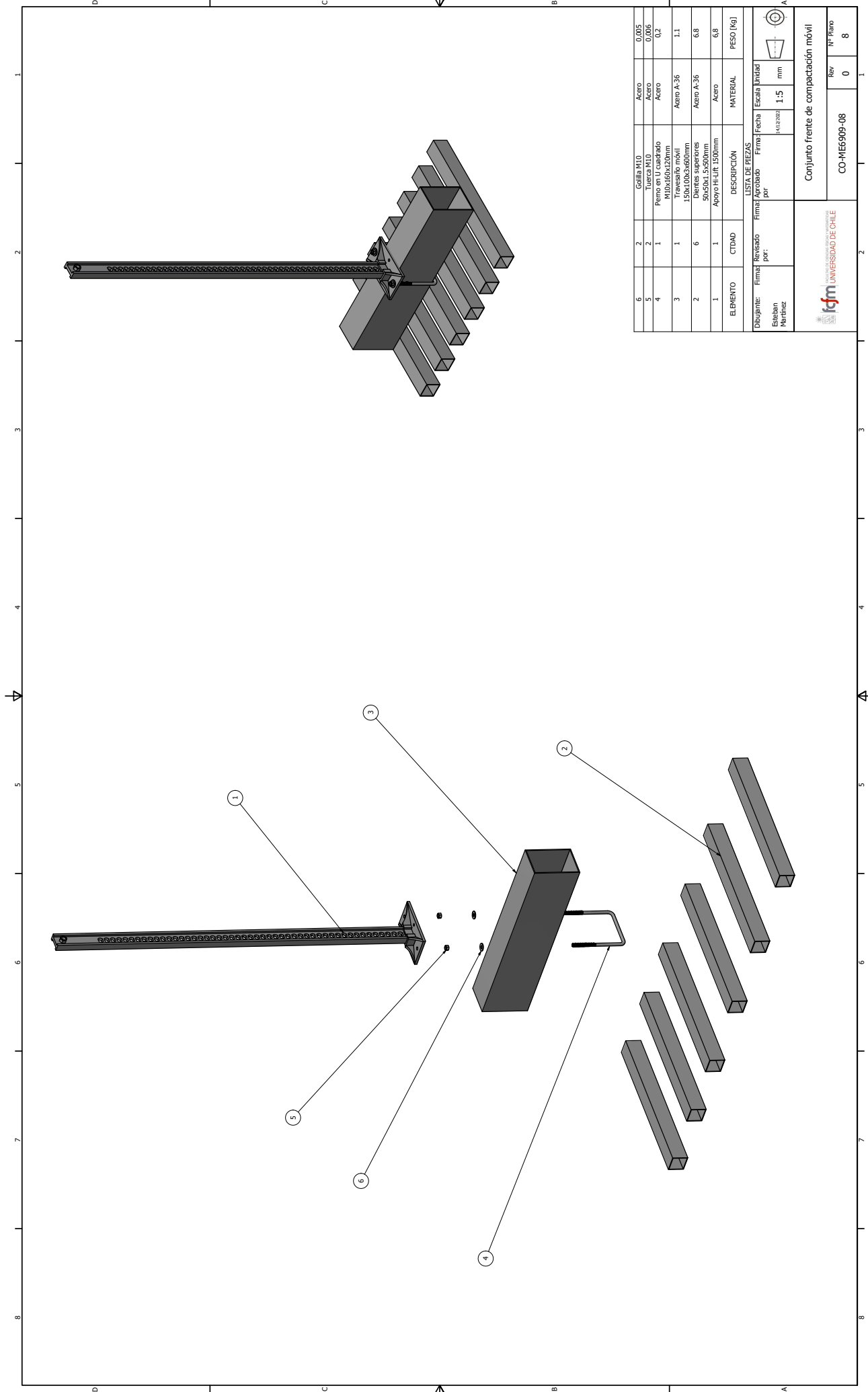
Elemento 8: Atesador largo, perfil cuadrado 50x50x1.5x1450mm



Elemento 7: Atesador Corto, perfil rectangular 100x50x2x282mm (Escala 1:2)

9	1	Atesador Corto	Aero A-36	1
8	6	Atesador Largo	Aero A-36	3
		50x50x1.5x1450mm		
ELEMENTO		CITAD	MATERIAL	PESO [kg]
Dibujante:		LISTA DE PIEZAS		
Escriben		Firma: Aprobado	Firma: Fecha	Escala: Unidad
Plantilla:		por	(4/12/202)	1:4 mm
		Atesador corto y largo		
		CO-ME6909-07		
		Rev 0		
		N° Plano 7		





ELBIENTO	CIDAD	DESCRIPCION	MATERIAL	PESO [kg]
1		Apoyo H/L/lt. 1500mm	Acero	6,8
2		Deportes separadores 50x50x1.5x500mm	Acero A-36	6,8
3		Apoyo H/L/lt. 1500mm	Acero A-36	1,1
4		Perno en U cuadrado M10x160x200mm	Acero	0,2
5		Tuerca M10	Acero	0,005
6		Gralla M10	Acero	0,005


LISTA DE PIEZAS			
Dibujante:	Firma:	Aprobado:	Fecha:
Escobar			14/12/2023
Parritz			
			1,5
			mm

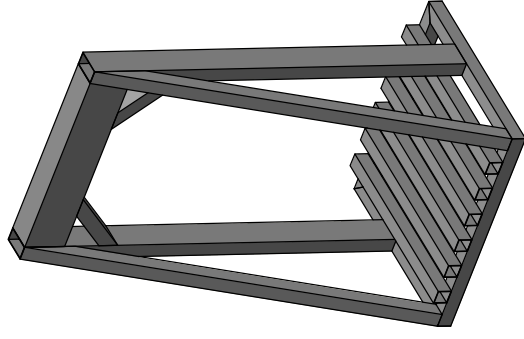
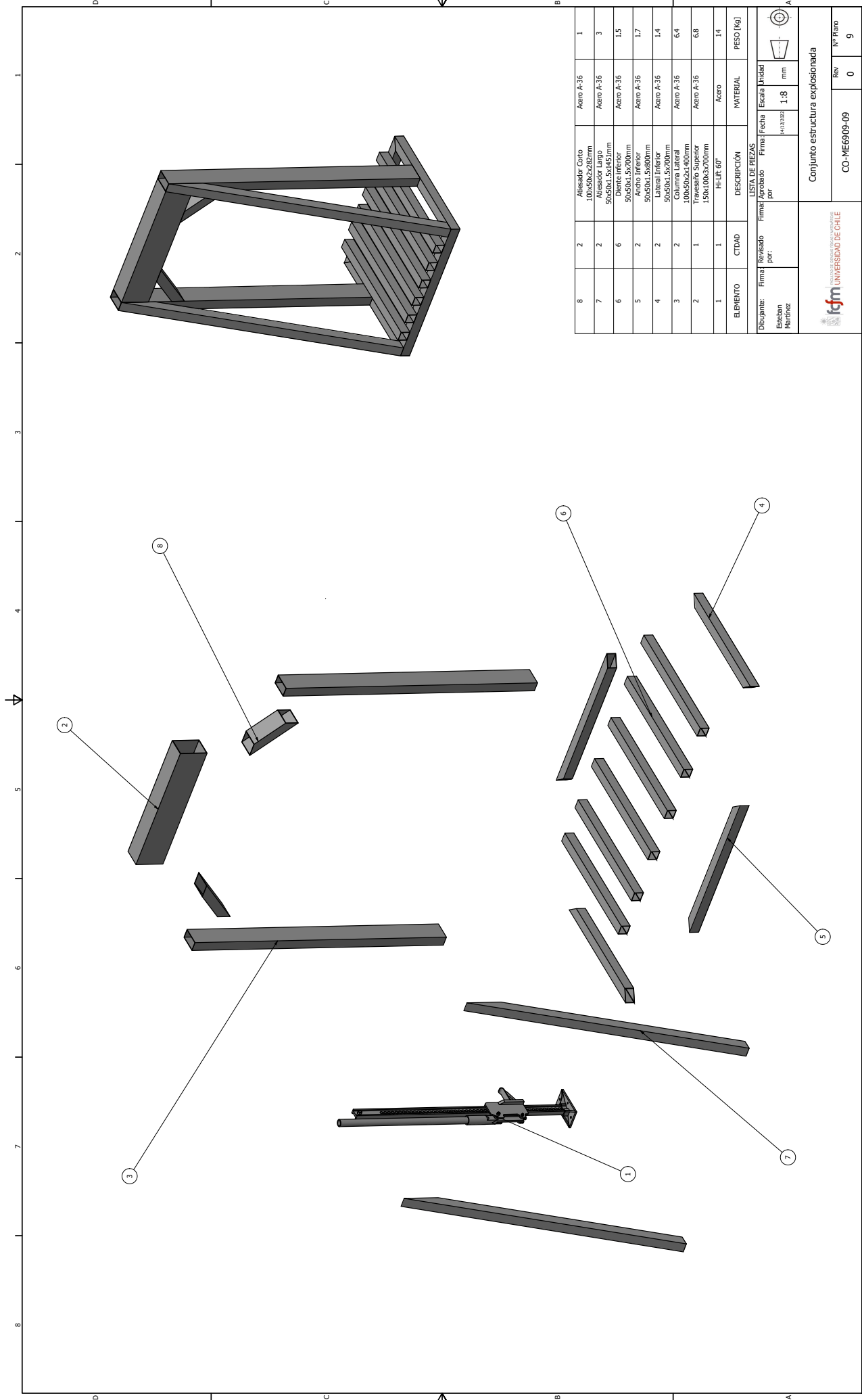
Conjunto frente de compactación móvil

CO-ME5909-08

Rev: 0

Nº Piezo: 8


UNIVERSIDAD DE CHILE



ELBIENTO	CITDAD	DESCRIPCION	MATERIAL	PESO [kg]
8	2	Atisador Corto 100x50x2x282mm	Acero A-36	1
7	2	Atisador Largo 50x50x1.5x1451mm	Acero A-36	3
6	6	Diente inferior 50x50x1.5x700mm	Acero A-36	1.5
5	2	Atisado inferior 50x50x1.5x700mm	Acero A-36	1.7
4	2	Lateral inferior 50x50x1.5x700mm	Acero A-36	1.4
3	2	Columna Lateral 100x50x2x1400mm	Acero A-36	6.4
2	1	Travesaño Superior 150x100x3x700mm	Acero A-36	6.8
1	1	HH-LR 60"	Acero	1.4

LISTA DE PIEZAS			
Dibujante:	Firma:	Revisado por:	Fecha:
Esteban Parrañez			14/12/2021
			1.8
			mm


UNIVERSIDAD DE CHILE
 CO-ME6905-09
 Rev 0
 Nº Pieza 9

Anexo C. Manual Hi-lift

Hi-Lift®

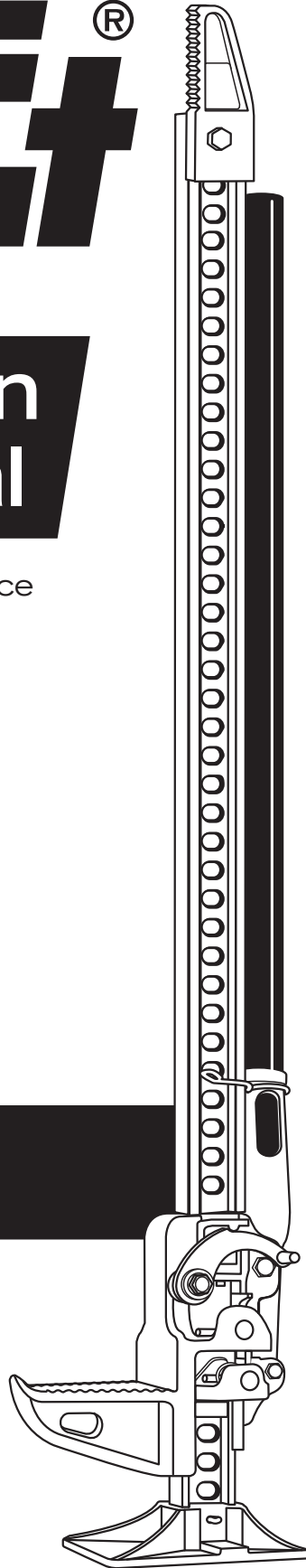
Instruction Manual

Operation / Safety / Maintenance

Meets applicable requirements of
ASME/ANSI B30.1 2004
AU/NZS 2693:2007

Read this instruction manual
before using the Hi-Lift® Jack

The instruction manual is also
available in Spanish and French at
no charge upon request.



Contents

Hi-Lift Jack Components	1
Safety	3
Safety Symbols	3
Safety Warnings	4
Handle Safety Decal	5
General Safety	6
Operation Instructions	7
Raising a Stationary Load	7
Lowering a Stationary Load	10
Clamping or Winching	11
Maintenance Instructions	13
Clean	13
Binding	13
Storing the Jack	13
Storing the Equipment-Agricultural Jack	13
Inspection	13
Lubrication	14
Repair	14
Parts	16
Specifications	18
Limited Warranty	20



Hi-Lift Jack Company

P.O. Box 228
Bloomfield, IN 47424-0228 USA

Toll Free: 800.233.2051

Direct: 812.384.4441

Fax: 812.384.4592

Web: <http://www.hi-lift.com>

To the Owner / User

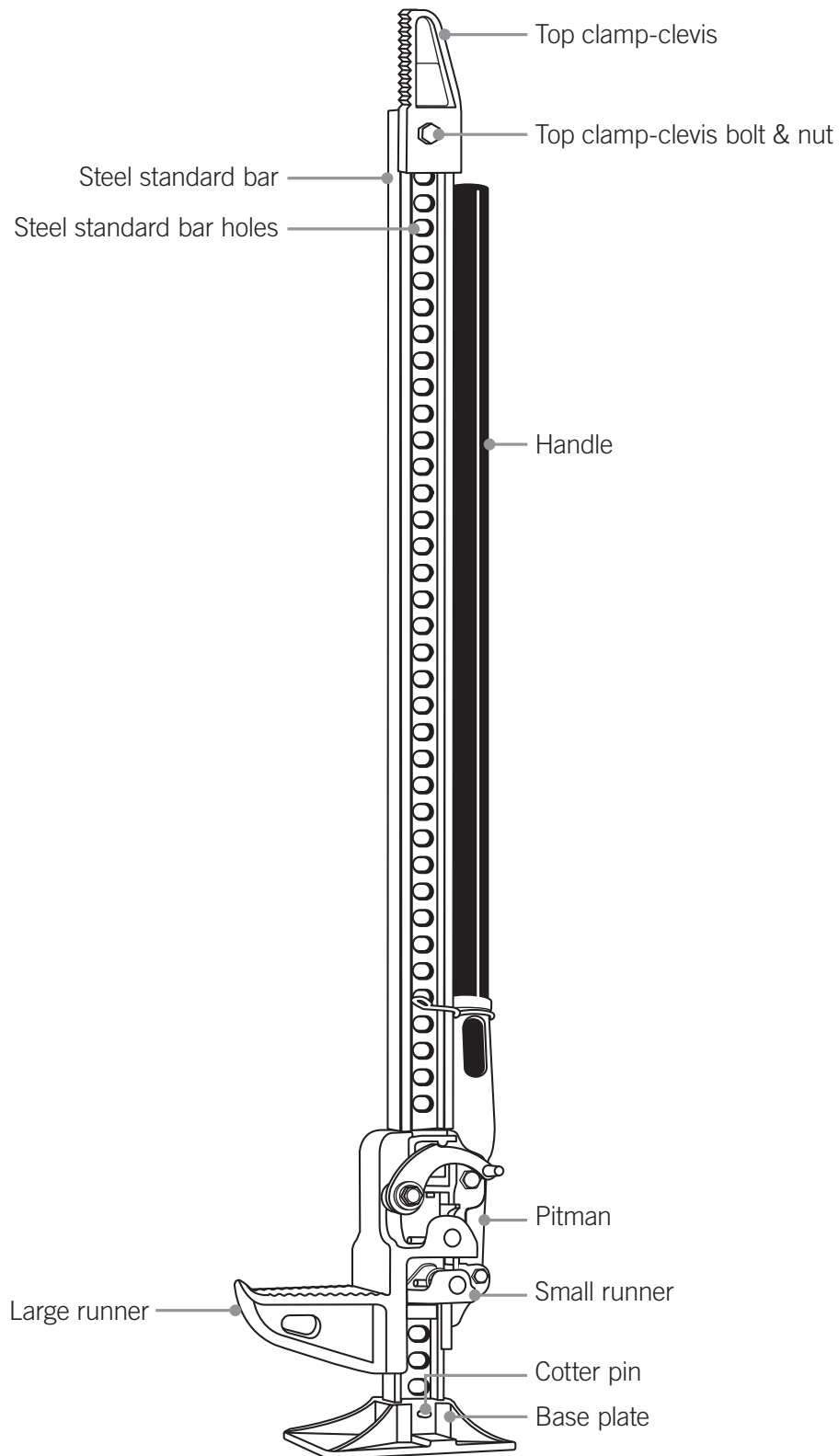
Thank you for purchasing this Hi-Lift® Jack. With proper use and care, your jack will give you years of dependable service. You can use the Hi-Lift® Jack in many ways, including:

- Lifting stable loads.
- Winching loads.
- Clamping
- Spreading.
- Raising vehicles or other mobile loads (when properly chocked, blocked and stabilized).

Store these instructions in the handle of your jack. Use only genuine Hi-Lift® replacement parts. Using replacement parts not supplied by Hi-Lift® Jack Company will make the jack unsafe for use and void the warranty.

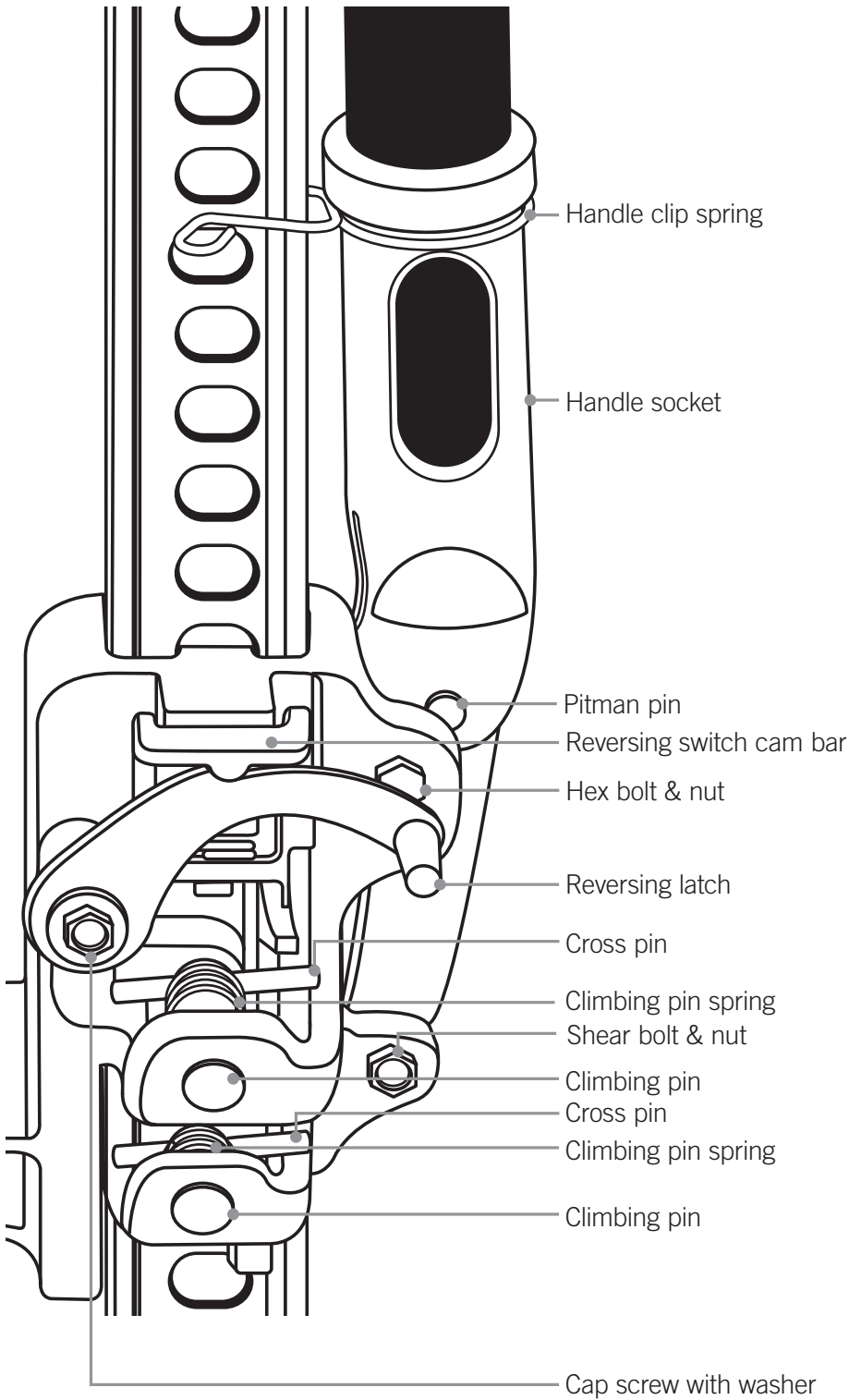
Hi-Lift Jack Components

Get to know the components of your jack before you begin use.



Components · Running Gear

The following shows the parts associated with the running gear:



Safety



All users must read and understand the instructions and safety warnings in this manual and the safety labels placed on the product before using the jack. Each user must use the jack safely and maintain it properly.

If any users are not fluent in English, have someone read the instructions to them. Manuals are also available in other languages upon request at no charge.

If you have any questions about using the jack safely or if you need a new label or manual, see the contact information on the opposite page.

Safety Symbols

DANGER

The DANGER! safety symbol indicates a hazard or unsafe practice that **will** result in serious injury or death.

WARNING

The WARNING! safety symbol indicates a hazard or unsafe practice that **could** result in serious injury or death.

Safety Warnings

⚠ DANGER



DO NOT USE THE JACK TO SUPPORT OR STABILIZE A LOAD. Using the jack to support or stabilize a load may result in unexpected movement and result in serious injury, being crushed and death. Always securely chock and block (stabilize) the load to be lifted. Never place any part of the body under a raised load without properly chocking and supporting the load.

Using the jack on curved or tubular vehicle bumpers will result in the vehicle slipping off the jack and falling, causing serious injury or death. Use the Bumper Lift or Lift-Mate to lift most vehicles with curved bumpers or plastic bumpers.



When using the jack as a winch:

Always use chains or tow straps that have a greater working load than the jack. If a chain or tow strap breaks while winching, the load could shift or the chain or tow strap could snap back.

When used as a winch, the top clamp-clevis will support up to 5,000 lbs. (2273 kg). Going over this limit will result in the top clamp-clevis bending or breaking, causing the load to move or the chain or tow strap to snap back. This will result in serious injury or death.

When using the jack for clamping, the maximum clamping force of the standard top clamp-clevis is 750 lbs. (340 kg). If you exceed this limit, the standard top clamp-clevis could bend or break, resulting in serious injury or death.



Unexpected movement of the jack handle may result in the user being struck causing serious injury or death. Always keep your head away from and out of the jack handle path of movement.

The jack handle may move rapidly when moving the reversing latch and cause serious injury or death. Always place the handle against the steel standard bar with the handle clip spring holding it up before moving the reversing latch. This will prevent the handle from moving up and down rapidly. Securely hold on to the jack handle so your hands do not slip and ensure the handle is not in the horizontal position when moving the reversing latch.

Important! During lifting and lowering, the weight of the load pushes **up** against the jack's handle. If your hands slip off the handle, or if the handle is horizontal when you move the reversing latch, it may move up very quickly.



Raising an inflated tire more than 2" (5cm) above the ground or attempting to lift more than one wheel at a time may result in tip over, unexpected movement and serious injury or death. Always raise an inflated tire less than 2" (5cm) and only one tire at a time.

⚠ WARNING






The jack, while standing vertical and unsupported, may tip over and cause serious injury or death. Always support the jack or lay it on its side when not in use.

This jack will not operate safely without proper lubrication. Using the jack without proper lubrication will result in poor performance and damage to the jack. The jack is not self-lubricating, inspect the jack before use and lubricate when necessary.

Handle Safety Decal

Important! Replace handle safety decal if damaged or removed.

! DANGER

The following hazards or unsafe practices will cause serious injury or death

DO NOT USE THE JACK TO SUPPORT OR STABILIZE A LOAD. Using the jack to support or stabilize a load may result in unexpected movement and result in serious injury, being crushed and death. Always securely chock and block (stabilize) the load to be lifted. Never place any part of the body under a raised load without properly chocking and supporting the load.

Using the jack on curved or tubular vehicle bumpers will result in the vehicle slipping off the jack and falling, causing serious injury or death. Use the Bumper Lift or Lift-Mate to lift most vehicles with curved bumpers or plastic bumpers.

When using the jack as a winch:

Always use chains or tow straps that have a greater working load than the jack. If a chain or tow strap breaks while winching, the load could shift or the chain or tow strap could snap back.

When used as a winch, the top clamp-clevis will support up to 5,000 lbs. (2273 kg). Going over this limit will result in the top clamp-clevis bending or breaking, causing the load to move or the chain or tow strap to snap back. This will result in serious injury or death.

When using the jack for clamping, the maximum clamping force of the standard top clamp-clevis is 750 lbs. (340 kg). If you exceed this limit, the standard top clamp-clevis could bend or break, resulting in serious injury or death.

Unexpected movement of the jack handle may result in the user being struck causing serious injury or death. Always keep your head away from and out of the jack handle path of movement.

The jack handle may move rapidly when moving the reversing latch and cause serious injury or death. Always place the handle against the steel standard bar with the handle clip spring holding it up before moving the reversing latch. This will prevent the handle from moving up and down rapidly. Securely hold on to the jack handle so your hands do not slip and ensure the handle is not in the horizontal position when moving the reversing latch.

Important! During lifting and lowering, the weight of the load pushes up against the jack's handle. If your hands slip off the handle, or if the handle is horizontal when you move the reversing latch, it may move up very quickly.

Raising an inflated tire more than 2" (5cm) above the ground or attempting to lift more than one wheel at a time may result in tip over, unexpected movement and serious injury or death. Always raise an inflated tire less than 2" (5cm) and only one tire at a time.


Handle force required to raise 4,660 lbs. is 177 lbs. at 34" on the handle. Maximum rated load is 4,660 lbs. (2273 kg) up to 48" (121 cm), tested to 7,000 lbs. (3175 kg). Upper 12" of 60" jack is rated to 2,660 lbs. (1209 kg) only, tested to 4,000 lbs. (1818 kg). If you overload the jack during operation, the shear bolt will break. If the shear bolt breaks, as it will at 7,000 lbs. (3175 kg), the load should be supported, but the jack's handle will drop freely. Use a jack with a larger load capacity to lower the load safely to the ground. Do not replace the shear bolt with a bolt of greater strength as this could cause the jack to fail and drop the load. Always use a shear bolt supplied by Hi-Lift Jack Company. Do not replace the shear bolt while the jack is under load.

! WARNING

The following hazards or unsafe practices may cause serious injury or death

The jack, while standing vertical and unsupported, may tip over and cause serious injury or death. Always support the jack or lay it on it's side when not in use.

This jack will not operate safely without proper lubrication. Using the jack without proper lubrication will result in poor performance and damage to the jack. The jack is not self-lubricating, inspect the jack before use and lubricate when necessary.



All users must read and understand the instructions and safety warnings in the instruction manual and on this product before using the jack. Each user must use the jack safely and maintain it properly.




If any users are not fluent in English, have someone read the instructions to them. Manuals are also available in other languages upon request at no charge.

If you have any questions about using the jack safely, need a new label or manual contact:

Hi-Jack Company
P.O. Box 228
Bloomfield, IN 47424-0228 USA

Toll Free: 800.233.2051
Direct: 812.384.4441
Fax: 812.384.4592
Web: <http://www.hi-lift.com>

! DANGER

The following hazards or unsafe practices will cause serious injury or death

DO NOT USE THE JACK TO SUPPORT OR STABILIZE A LOAD. Using the jack to support or stabilize a load may result in unexpected movement and result in serious injury, being crushed and death. Always securely chock and block (stabilize) the load to be lifted. Never place any part of the body under a raised load without properly chocking and supporting the load.

Using the jack on curved or tubular vehicle bumpers will result in the vehicle slipping off the jack and falling, causing serious injury or death. Use the Bumper Lift or Lift-Mate to lift most vehicles with curved bumpers or plastic bumpers.

When using the jack as a winch:

Always use chains or tow straps that have a greater working load than the jack. If a chain or tow strap breaks while winching, the load could shift or the chain or tow strap could snap back.

When used as a winch, the top clamp-clevis will support up to 5,000 lbs. (2273 kg). Going over this limit will result in the top clamp-clevis bending or breaking, causing the load to move or the chain or tow strap to snap back. This will result in serious injury or death.

When using the jack for clamping, the maximum clamping force of the standard top clamp-clevis is 750 lbs. (340 kg). If you exceed this limit, the standard top clamp-clevis could bend or break, resulting in serious injury or death.

Unexpected movement of the jack handle may result in the user being struck causing serious injury or death. Always keep your head away from and out of the jack handle path of movement.

The jack handle may move rapidly when moving the reversing latch and cause serious injury or death. Always place the handle against the steel standard bar with the handle clip spring holding it up before moving the reversing latch. This will prevent the handle from moving up and down rapidly. Securely hold on to the jack handle so your hands do not slip and ensure the handle is not in the horizontal position when moving the reversing latch.

Important! During lifting and lowering, the weight of the load pushes up against the jack's handle. If your hands slip off the handle, or if the handle is horizontal when you move the reversing latch, it may move up very quickly.


Raising an inflated tire more than 2" (5cm) above the ground or attempting to lift more than one wheel at a time may result in tip over, unexpected movement and serious injury or death. Always raise an inflated tire less than 2" (5cm) and only one tire at a time.

! WARNING

The following hazards or unsafe practices may cause serious injury or death

The jack, while standing vertical and unsupported, may tip over and cause serious injury or death. Always support the jack or lay it on it's side when not in use.

This jack will not operate safely without proper lubrication. Using the jack without proper lubrication will result in poor performance and damage to the jack. The jack is not self-lubricating, inspect the jack before use and lubricate when necessary.



All users must read and understand the instructions and safety warnings in the instruction manual and on this product before using the jack. Each user must use the jack safely and maintain it properly.

If any users are not fluent in English, have someone read the instructions to them. Manuals are also available in other languages upon request at no charge.

If you have any questions about using the jack safely, need a new label or manual contact:

Hi-Jack Company
P.O. Box 228
Bloomfield, IN 47424-0228 USA

Toll Free: 800.233.2051
Direct: 812.384.4441
Fax: 812.384.4592
Web: <http://www.hi-lift.com>

the ground or attempting to lift more than one wheel at a time may result in tip over, unexpected movement and serious injury or death. Always raise an inflated tire less than 2" (5cm) and only one tire at a time.

Handle force required to raise 4,660 lbs. is 177 lbs. at 34" on the handle. Maximum rated load is 4,660 lbs. (2273 kg) up to 48" (121 cm), tested to 7,000 lbs. (3175 kg). Upper 12" of 60" jack is rated to 2,660 lbs. (1209 kg) only, tested to 4,000 lbs. (1818 kg). If you overload the jack during operation, the shear bolt will break. If the shear bolt breaks, as it will at 7,000 lbs. (3175 kg), the load should be supported, but the jack's handle will drop freely. Use a jack with a larger load capacity to lower the load safely to the ground. Do not replace the shear bolt with a bolt of greater strength as this could cause the jack to fail and drop the load. Always use a shear bolt supplied by Hi-Lift Jack Company. Do not replace the shear bolt while the jack is under load.

! WARNING

The following hazards or unsafe practices may cause serious injury or death

The jack, while standing vertical and unsupported, may tip over and cause serious injury or death. Always support the jack or lay it on it's side when not in use.

This jack will not operate safely without proper lubrication. Using the jack without proper lubrication will result in poor performance and damage to the jack. The jack is not self-lubricating, inspect the jack before use and lubricate when necessary.



All users must read and understand the instructions and safety warnings in the instruction manual and on this product before using the jack. Each user must use the jack safely and maintain it properly.

If any users are not fluent in English, have someone read the instructions to them. Manuals are also available in other languages upon request at no charge.

If you have any questions about using the jack safely, need a new label or manual contact:

Hi-Jack Company
P.O. Box 228
Bloomfield, IN 47424-0228 USA

Toll Free: 800.233.2051
Direct: 812.384.4441
Fax: 812.384.4592
Web: <http://www.hi-lift.com>

General Safety

Training

- Read this manual before use. Do not allow anyone who has not read this manual, and/or does not understand the requirements, use the jack.

Spectators

- Do not allow bystanders around the jack or under the load supported only by the jack.

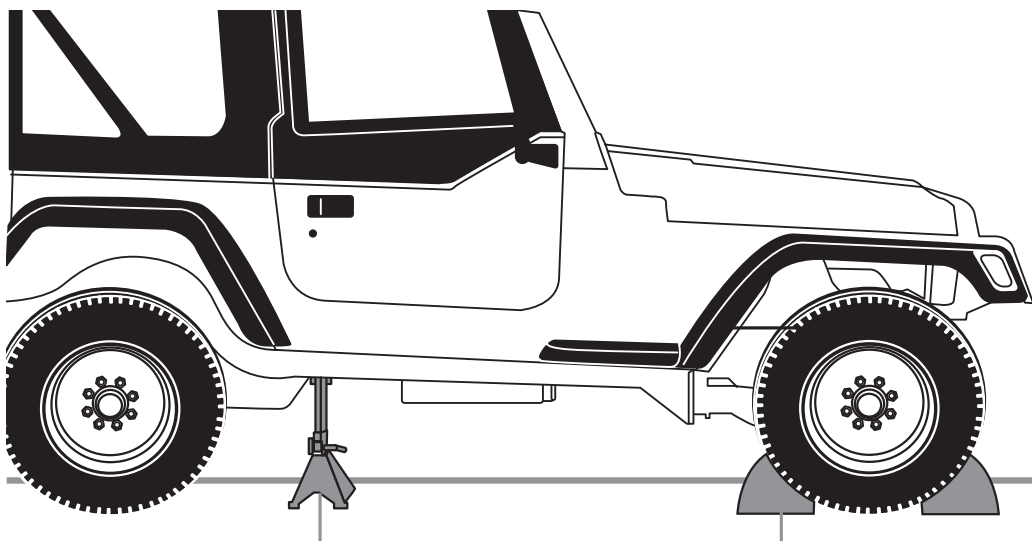
Inspection

- Inspect the jack carefully before each use. Ensure the jack is not damaged, excessively worn, or missing parts.
- Check the climbing pins to make sure that they are not worn or damaged.
- Check the steel standard bar to make sure that it is straight and that nothing is blocking the steel standard bar holes.
- Do not use the jack unless it is in good clean working condition.
- Do not use the jack unless it is properly lubricated.
- Using a jack that is not in good clean working condition or properly lubricated may cause serious injury (see *Lubrication*).

Chock and Block (Stabilize)

A chock is a wedge for steadying an object and holding it motionless, or for preventing the movement of a wheel. Chock the wheel opposite the end being lifted.

When you block a load, you secure and support a load that is being lifted. The block(s) or stabilizer(s) should have a weight capacity that is greater than the weight of the load which is being lifted. Do not use the jack to support the load.



Blocks stabilize the load

Chocks prevent movement

Operation Instructions

Raising a Stationary Load

⚠ DANGER



DO NOT USE THE JACK TO SUPPORT OR STABILIZE A LOAD. Using the jack to support or stabilize a load may result in unexpected movement and result in serious injury, being crushed and death. Always securely chock and block (stabilize) the load to be lifted. Never place any part of the body under a raised load without properly chocking and supporting the load.



Using the jack on curved or tubular vehicle bumpers will result in the vehicle slipping off the jack and falling, causing serious injury or death. Use the Bumper Lift or Lift-Mate to lift most vehicles with curved bumpers or plastic bumpers.

Unexpected movement of the jack handle may result in the user being struck causing serious injury or death. Always keep your head away from and out of the jack handle path of movement.

The jack handle may move rapidly when moving the reversing latch and cause serious injury or death. Always place the handle against the steel standard bar with the handle clip spring holding it up before moving the reversing latch. This will prevent the handle from moving up and down rapidly. Securely hold on to the jack handle so your hands do not slip and ensure the handle is not in the horizontal position when moving the reversing latch.

Important! During lifting and lowering, the weight of the load pushes **up** against the jack's handle. If your hands slip off the handle, or if the handle is horizontal when you move the reversing latch, it may move up very quickly.



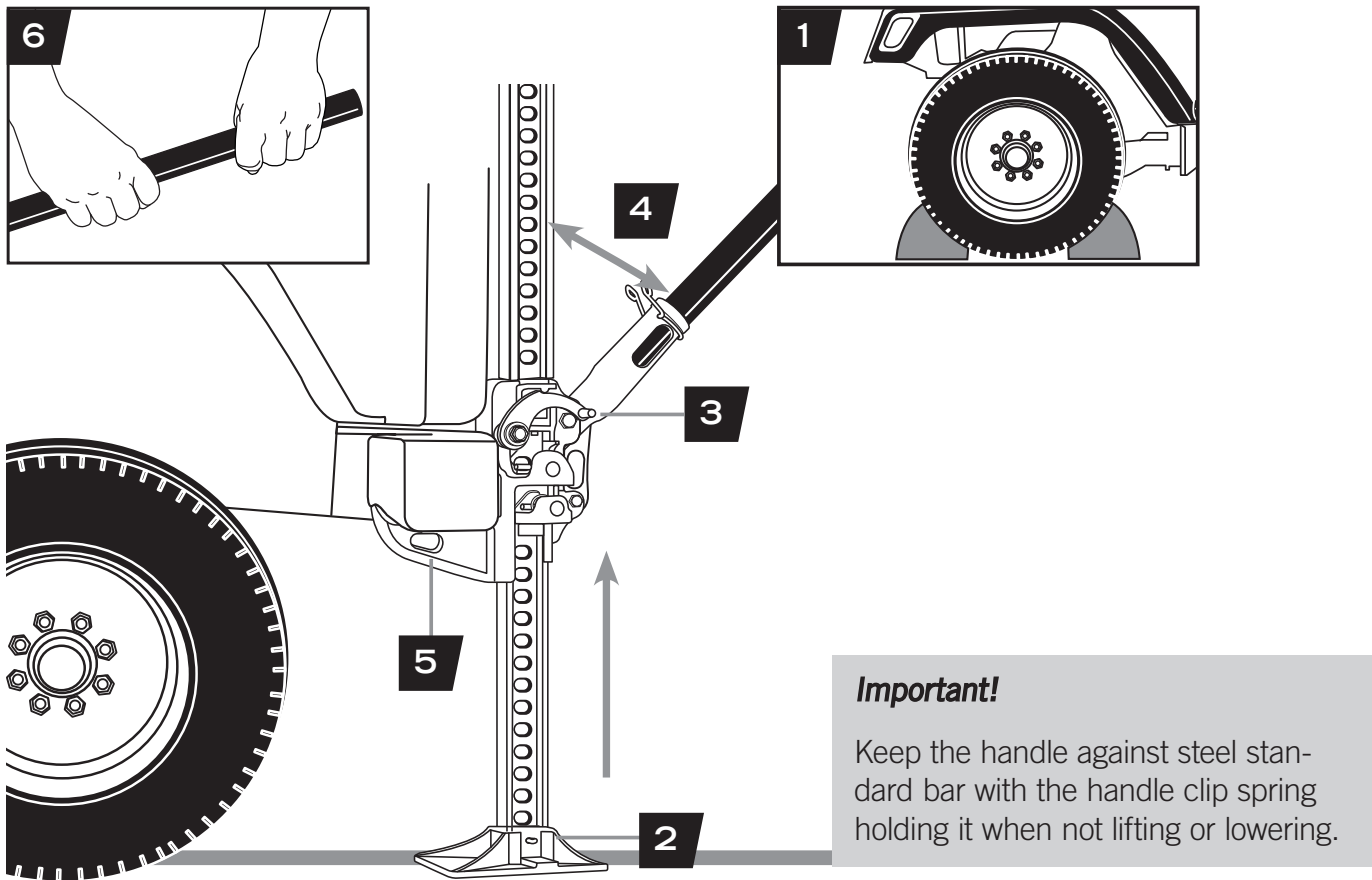
Raising an inflated tire more than 2" (5cm) above the ground or attempting to lift more than one wheel at a time may result in tip over, unexpected movement and serious injury or death. Always raise an inflated tire less than 2" (5cm) and only one tire at a time.

Handle force required to raise 4,660 lbs. is 177 lbs. at 34" on the handle. Maximum rated load is 4,660 lbs. (2273 kg) up to 48" (121 cm), tested to 7,000 lbs. (3175 kg). Upper 12" of 60" jack is rated to 2,660 lbs. (1209 kg) only, tested to 4,000 lbs. (1818 kg).

If you overload the jack during operation, the shear bolt will break. If the shear bolt breaks, as it will at 7,000 lbs. (3175 kg), the load should be supported, but the jack's handle will drop freely. Use a jack with a larger load capacity to lower the load safely to the ground. Do not replace the shear bolt with a bolt of greater strength as this could cause the jack to fail and drop the load. Always use a shear bolt supplied by Hi-Lift Jack Company. Do not replace the shear bolt while the jack is under load.

Operation · Raising a Stationary Load

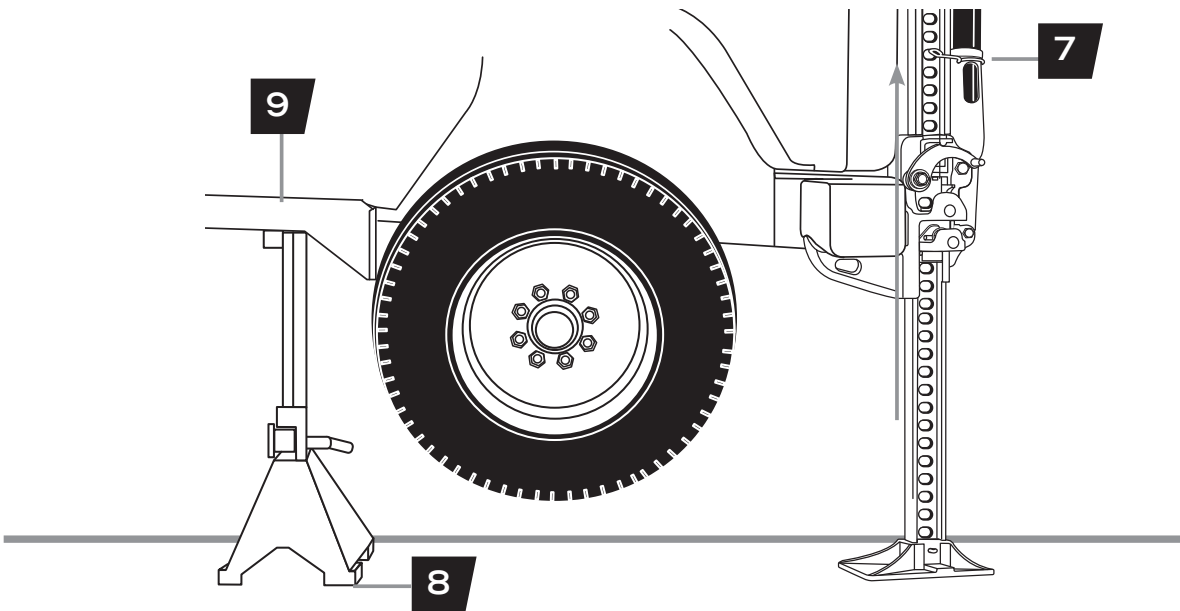
1. Securely chock and stabilize the load to prevent it from rolling or shifting as you lift it (see General Safety: Chock and Block).
2. Place the jack's base plate securely on a firm, level, and dry surface with the steel standard bar pointing straight up.
3. Lift the reversing latch until it locks in the **up** position.
4. Pull the handle away from the steel standard bar, releasing the handle clip spring.
5. Grasp the handle or the handle socket and raise the lifting mechanism until the large runner is completely and securely under the load.



6. Grasp the handle firmly with both hands. Carefully pump the handle up and down to raise the load. Do not use an extension on the handle.

The load will be raised on each **down** stroke of the handle. Watch the load and the jack carefully. Stop lifting if either one starts to move. Do not continue until it is safe to do so. When safe, stabilize and block the load.

7. When the load is raised to the desired height, place the handle in the upright position clipped to the steel standard bar.
8. Block the load securely.
9. Lower the load onto the blocks (see *Lowering a Stationary Load*).
10. Remove the jack from the stabilized load.



Additional Instructions For Equipment-Agricultural Jack

1. When attaching the Equipment-Agricultural jack to equipment using tubular mounting brackets, always place lock-pin **completely** through the holes in the tubular mounting bracket.
2. **Always** secure the lock-pin in the tubular brackets with the safety cotter pin.
3. Chock the equipment that you have attached the Equipment-Agricultural jack to before lifting with the Equipment-Agricultural jack. Side lift is limited to 2,000 lbs. (907 kg).

After you have properly hooked the raised equipment to a mobile vehicle, lower the lifting mechanism of the Equipment Agricultural jack to its base and move the reversing latch into the up position.

Lowering a Stationary Load

⚠ DANGER



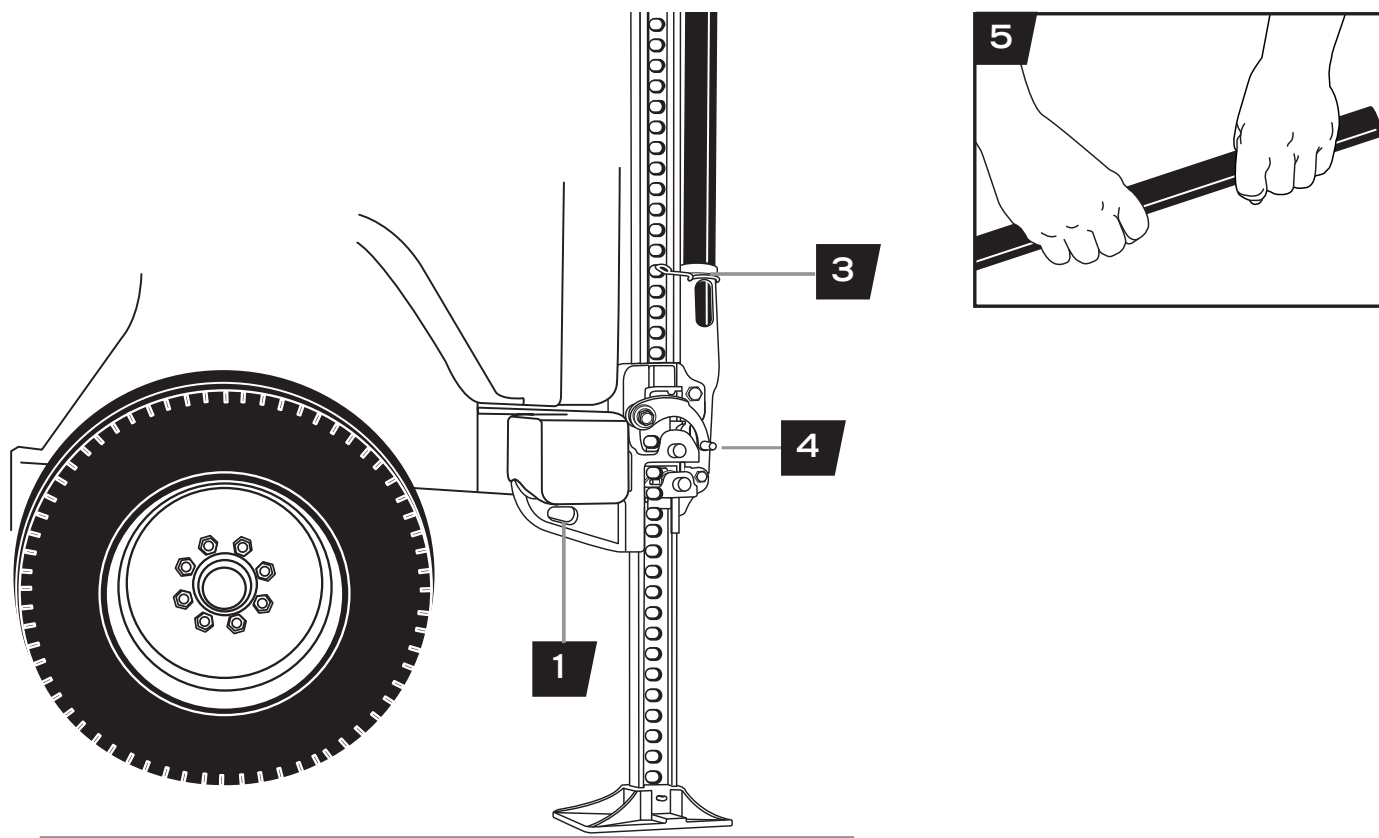
Unexpected movement of the jack handle may result in the user being struck causing serious injury or death. Always keep your head away from and out of the jack handle path of movement.

The jack handle may move rapidly when moving the reversing latch and cause serious injury or death. Always place the handle against the steel standard bar with the handle clip spring holding it up before moving the reversing latch. This will prevent the handle from moving up and down rapidly. Securely hold on to the jack handle so your hands do not slip and ensure the handle is not in the horizontal position when moving the reversing latch.

Important! During lifting and lowering, the weight of the load pushes **up** against the jack's handle. If your hands slip off the handle, or if the handle is horizontal when you move the reversing latch, it may move up very quickly.

The jack must have a load of 150 lbs. or more to lower step-by-step. Otherwise, the lifting mechanism will slide down to the base plate, **dropping** your load. Ensure all bystanders are clear of the load being lowered.

1. Position the jack under the raised load and raise the stationary load (see *Raising a Stationary Load*).
2. Remove blocks from under the load.
3. Be sure the handle is in the upright position clipped to the steel standard bar **before** lowering the load.
4. Move the reversing latch to the **down** position.
5. Grasp the handle firmly with both hands. Carefully pump the handle up and down to lower the load.
6. The load will be lowered on each **up** stroke of the handle (refer to *Binding* if the jack binds).



Clamping or Winching

⚠ DANGER



When using the jack as a winch:

Always use chains or tow straps that have a greater working load than the jack. If a chain or tow strap breaks while winching, the load could shift or the chain or tow strap could snap back.

When used as a winch, the top clamp-clevis will support up to 5,000 lbs. (2273 kg). Going over this limit will result in the top clamp-clevis bending or breaking, causing the load to move or the chain or tow strap to snap back. This will result in serious injury or death.

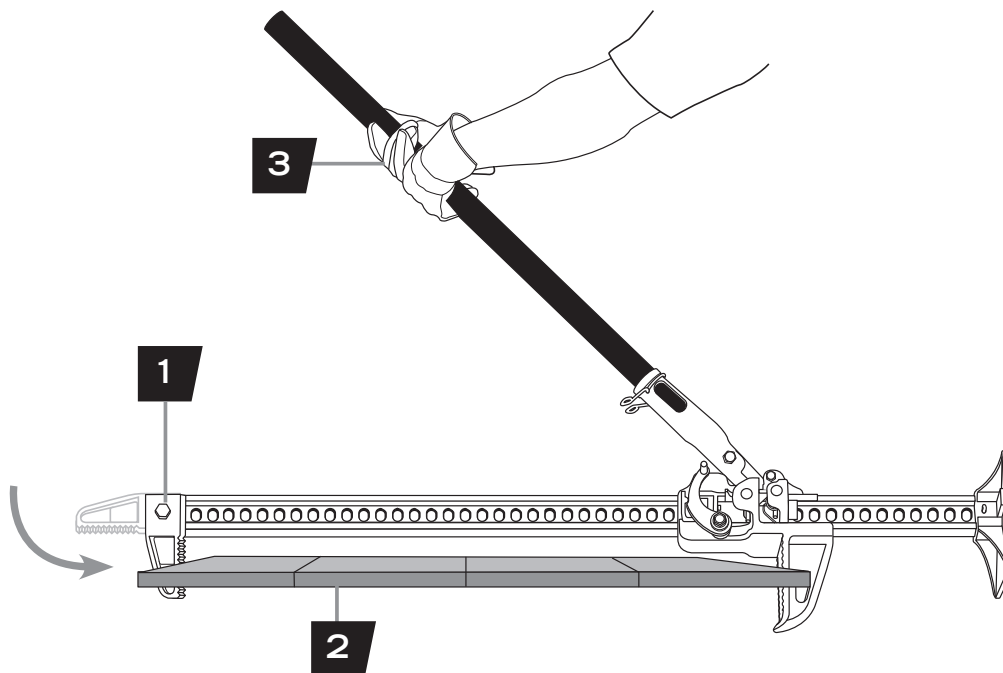
When using the jack for clamping, the maximum clamping force of the standard top clamp-clevis is 750 lbs. (340 kg). If you exceed this limit, the standard top clamp-clevis could bend or break, resulting in serious injury or death.

Clamping

1. Loosen the standard top clamp-clevis bolt.
2. Turn the top clamp-clevis 90° to the steel standard bar, and re-tighten the bolt.

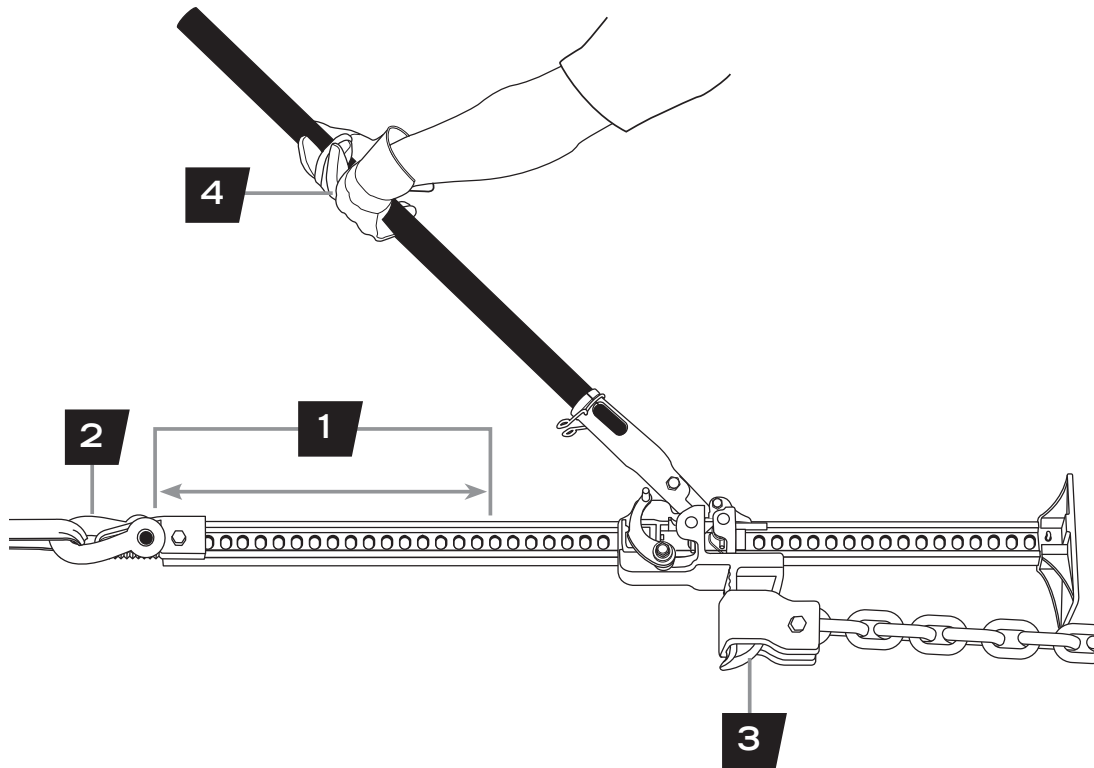
Note: You can connect the top clamp-clevis anywhere along the steel standard bar to use the jack as a clamp.

3. Operate the jack as you would for raising a load (see *Raising a Stationary Load*).



Winching

1. Make sure the top clamp-clevis is in line with the steel standard bar.
 2. Install one end of a chain or tow strap securely to the object to be winched. Securely attach the other end of the chain or tow strap to the top clamp-clevis of the jack.
- Note:** Use a shackle if the chain or tow strap will not fit through the top clamp-clevis of the jack.
3. Take another chain or tow strap and secure one end to a fixed, stable object. Attach the other end of the chain or tow strap to the large runner on the jack (do not attach chain or shackle to bottom hole of the large runner on the jack). If the fixed object is a tree, follow “Tread Lightly” principles and use a tree strap.
 4. Operate the jack as you would for raising a load (See Raising a Stationary Load).



Tip: Use the Hi-Lift Off-Road Kit for items you need for winching which includes; custom winch attachments, D-ring shackle, gloves and a tree strap.

Maintenance Instructions

If you use and maintain your Hi-Lift jack properly, it will give you many years of service. Follow the maintenance instructions carefully to keep your jack in good working condition. NEVER PERFORM MAINTENANCE ON THE JACK WHILE IT IS UNDER LOAD.

Cleaning

If the moving parts of the jack or the standard bar are clogged, use air pressure, water pressure, or a stiff brush to clean. Use a non-flammable cleaning solvent or another good de-greaser to clean the jack. Remove any existing rust, preferably with a penetrating lubricant.

Binding

If the climbing pins start to bind in the holes of the standard bar the jack will not operate properly and safely. Rusty climbing pins, dirt, or worn bar can be causes of binding.

Clean and lubricate the lifting mechanism as indicated in the Lubrication section. Test the jack by lifting it up without a load. If the binding continues, send it to our Factory Service for repair. If the jack binds while under a load, use a jack with equal or larger load capacity to lower the load safely to the ground. After un-binding the jack clean, lubricate and test as described at the start of this paragraph.

Storing the Jack

1. Place the handle in the upright clipped position against the steel standard bar.
2. Raise the reversing latch until it locks in the **up** position.
3. Store in the upright clipped position in a dry location, preferably indoors.

Tip: If the jack is stored outdoors, consider using a Hi-Lift protective cover accessory.

Storing the Equipment-Agricultural Jack

1. Pivot the Equipment-Agriculture jack to a horizontal position. Rest the steel handle of the Equipment-Agricultural jack on top of the steel standard bar.
2. Secure the jack in this position with the lock-pin through the holes in the tubular mounting bracket.
3. Secure the lock-pin in the tubular mounting brackets with the safety cotter pin.

Inspection

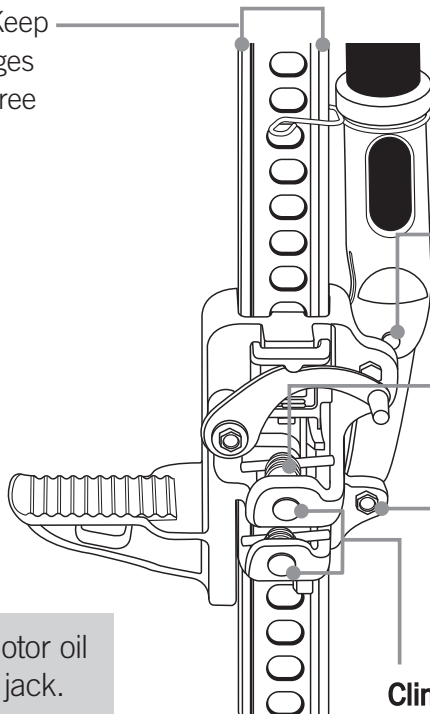
You should inspect the jack for damage, wear, broken or missing parts (e.g.: climbing pins) and functionality before each use (see *General Safety: Inspection*). Follow lubrication and storage instructions for optimum jack performance.

Lubrication

⚠ WARNING

Using the jack without proper lubrication will result in poor performance and damage to the jack. The jack is not self-lubricating, inspect the jack before use and lubricate when necessary. After cleaning, lubricate the jack using light penetrating oil, or a silicon or Teflon spray at the following points:

Steel Standard Bar: Keep the front and back edges lightly lubricated and free from dirt and rust.



Pitman Pin: Damage to the handle socket will occur if not lubricated

Springs: Keep clean and lubricated and free from dirt and rust.

Shear Bolt: Wear to the bolt will occur if not lubricated

Climbing Pins: Keep clean and lubricated and free from dirt and rust

Important! Do not use motor oil or grease to lubricate the jack.

Repair

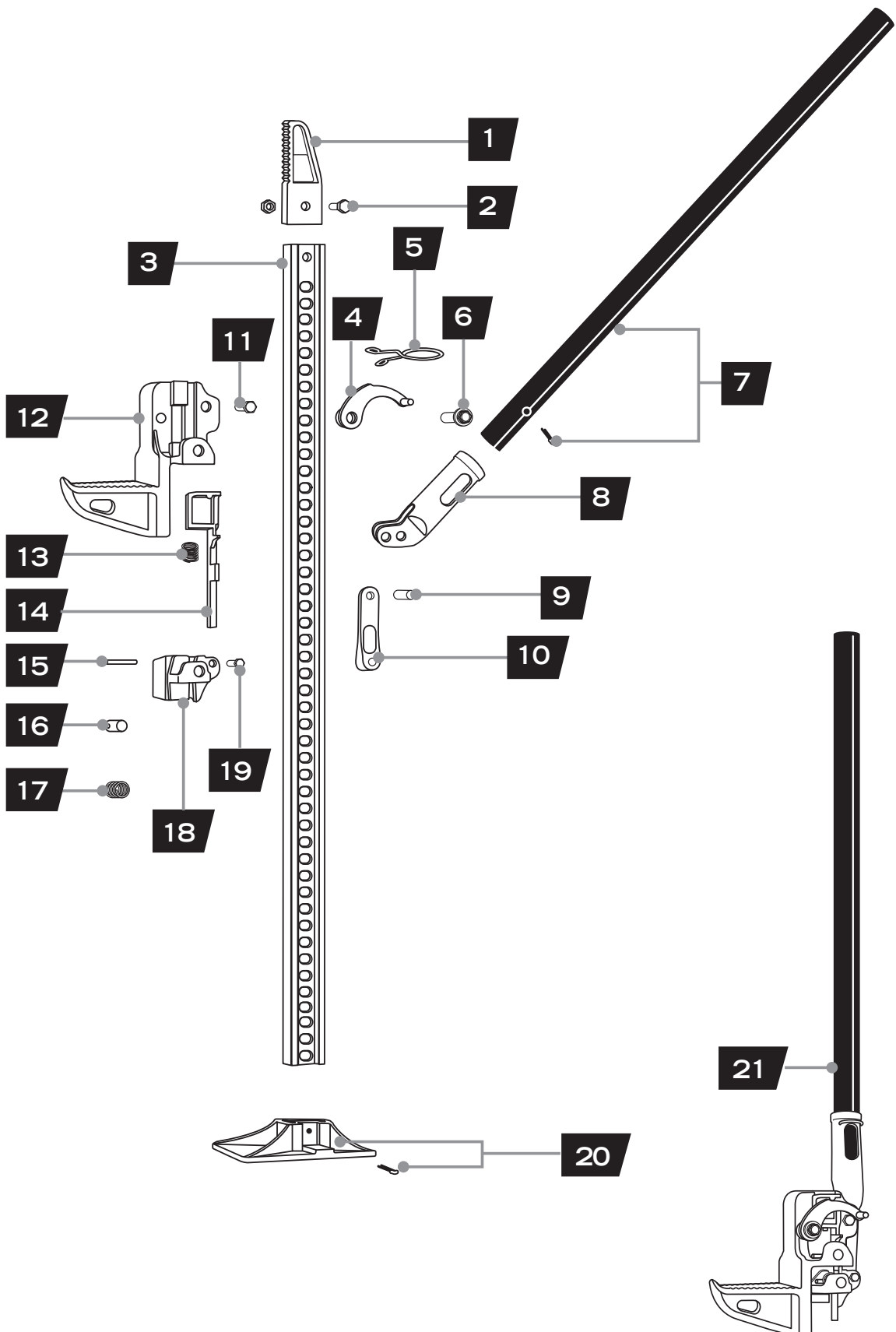
If you need to repair your jack, use only genuine Hi-Lift parts. Using parts not supplied by Hi-Lift® Jack Company will make the jack unsafe for use and void the warranty. Hi-Lift® will repair a damaged jack. Pack the jack in a carton and send prepaid to the address below:

Hi-Lift® Jack Company
Factory Service Department
46 West Spring Street
Bloomfield, Indiana 47424

The repaired jack will be returned to you via USPS, UPS or Fed Ex.

This Page Intentionally Blank

Parts



The following are the parts for all Hi-Lift jacks. You can order parts from your dealer or directly from our factory by calling (800) 233-2051 (or 812-384-4441 from outside the USA). For other options visit www.hi-lift.com.

1. Top clamp-clevis
2. Top clamp-clevis bolt & nut
3. Steel standard bar
4. Reversing latch
5. Handle clip spring
6. Cap screw with washer
7. Steel handle with cotter pin
8. Handle socket
9. Pitman pin
10. Pitman
11. Hex bolt & nut
12. Large runner
13. Reversing switch spring
14. Reversing switch cam bar
15. Cross pin
16. Climbing pin
17. Climbing pin spring
18. Small runner
19. Shear bolt & nut
20. Foot piece with cotter pin
21. Complete running gear

Specifications

		36" Cast/Steel	42" Cast	42" Cast/Steel	48" Cast
Weight	lbs	25.02	27.78	26.35	28.16
	kg	11.35	12.60	11.95	12.77
Width	in	5	5	5	5
	cm	12.70	12.70	12.70	12.70
Height	in	41	46	43.5	50.75
	cm	104.14	116.84	110.49	128.91
Depth	in	9.63	9.63	9.63	9.63
	cm	24.46	24.46	24.46	24.46
Rated Load	lbs	4,660	4,660	4,660	4,660
	kg	2113.74	2113.74	2113.74	2113.74
Rated Load Upper 12"	lbs	N/A	N/A	N/A	N/A
	kg	N/A	N/A	N/A	N/A
Tested Load	lbs	7,000	7,000	7,000	7,000
	kg	3175.14	3175.14	3175.14	3175.14
Tested Load Upper 12"	lbs	N/A	N/A	N/A	N/A
	kg	N/A	N/A	N/A	N/A
Rated Side Load	lbs	N/A	N/A	N/A	N/A
	kg	N/A	N/A	N/A	N/A
Clamping	lbs	750	750	750	750
	kg	340.19	340.19	340.19	340.19
Winching	lbs	5,000	5,000	5,000	5,000
	kg	2267.96	2267.96	2267.96	2267.96
Max. Lift height at Nose	lbs	27	34	32	38.63
	cm	68.58	86.36	81.28	98.12
Min. Lift height at Nose	lbs	4.5	4.5	4.5	4.5
	cm	11.43	11.43	11.43	11.43
Lift Height at Side	lbs	N/A	N/A	N/A	N/A
	cm	N/A	N/A	N/A	N/A
Lift Point at Side	lbs	N/A	N/A	N/A	N/A
	cm	N/A	N/A	N/A	N/A

		48" Cast/Steel	60" Cast	60" Cast/Steel	EJ Cast/Steel
Weight	lbs	27.66	31.31	30.12	25.72
	kg	12.55	14.20	13.66	11.67
Width	in	5	5	5	6.13
	cm	12.70	12.70	12.70	15.56
Height	in	48.75	61.75	59.25	36
	cm	123.83	156.85	150.50	91.44
Depth	in	9.63	9.63	9.63	9.63
	cm	24.46	24.46	24.46	24.46
Rated Load	lbs	4,660	4,660	4,660	4,660
	kg	2113.74	2113.74	2113.74	2113.74
Rated Load Upper 12"	lbs	N/A	2,660	2,660	N/A
	kg	N/A	1206.55	1206.55	N/A
Tested Load	lbs	7,000	7,000	7,000	7,000
	kg	3175.14	3175.14	3175.14	3175.14
Tested Load Upper 12"	lbs	N/A	4,000	4,000	N/A
	kg	N/A	1814.37	1814.37	N/A
Rated Side Load	lbs	N/A	N/A	N/A	2,000
	kg	N/A	N/A	N/A	907.18
Clamping	lbs	750	750	750	750
	kg	340.19	340.19	340.19	340.19
Winching	lbs	5,000	5,000	5,000	5,000
	kg	2267.96	2267.96	2267.96	2267.96
Max. Lift height at Nose	lbs	37.24	49.75	48.25	21.13
	cm	94.59	126.37	122.56	53.67
Min. Lift height at Nose	lbs	4.5	4.5	4.5	4.5
	cm	11.43	11.43	11.43	11.43
Lift Height at Side:	lbs	N/A	N/A	N/A	23.75
	cm	N/A	N/A	N/A	60.33
Lift Point at Side	lbs	N/A	N/A	N/A	7
	cm	N/A	N/A	N/A	17.78

Limited Warranty

Limited Warranty

Hi-Lift® Jack Company warrants the Hi-Lift® jack for 12 months from the date of purchase, only to the original owner, against defective materials and workmanship. Return the jack or parts thereof, transportation prepaid and with proof of purchase, to the Factory Service Department, Hi-Lift® Jack Company, 46 West Spring Street, Bloomfield, IN 47424. This warranty is void if the jack is modified, used beyond rated capacity, if an extender is used on the handle, or if the jack is abused, misused, not maintained properly, or if non-Hi-Lift® replacement parts are used. This warranty replaces all previous warranties and is the only warranty made by the Hi-Lift® Jack Company on this product. No other warranties, either verbal or written, are authorized. This warranty gives you specific legal rights. You may also have other legal rights that vary from state to state.

Warranty Registration

Name (print): _____

E-mail: _____

Address: _____

City: _____ State: _____ Zip: _____

Phone number: _____

Is this your first Hi-Lift Jack? YES NO

Date you received Hi-Lift Jack: Month: _____ Day: _____ Year: _____

Model Number: _____ Purchase Price: _____

Store Hi-Lift Purchased from: Store Name: _____

City: _____ State: _____

Jack will be used:

- | | |
|---|---------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> On Farm | <input type="checkbox"/> Truck |
| <input type="checkbox"/> Jeep | <input type="checkbox"/> Car |
| <input type="checkbox"/> Off-Road Vehicle | <input type="checkbox"/> In Factory |
| <input type="checkbox"/> In Construction | <input type="checkbox"/> Other: _____ |

How did you learn about the Hi-Lift Jack?

- | | |
|---------------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> Brochure | <input type="checkbox"/> Internet: _____ |
| <input type="checkbox"/> Retail Store | <input type="checkbox"/> Magazine: _____ |
| <input type="checkbox"/> Catalog | <input type="checkbox"/> Friend |
| <input type="checkbox"/> Trade Show | <input type="checkbox"/> Other: _____ |

Cut along dotted line. Mail registration.

Cut along dotted line. Mail registration.

Notes

See our website at www.hi-lift.com
for information on all Hi-Lift products

Hi-Lift[®]

Hi-Lift Jack Company

P.O. Box 228
Bloomfield, IN 47424-0228 USA

Toll Free: 800.233.2051

Direct: 812.384.4441

Fax: 812.384.4592

Web: <http://www.hi-lift.com>