

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Contenedor automatizado para reciclaje de residuos de aparatos  
eléctricos y electrónicos (RAEE)**

**Christopher Daniel Cali Vera**

**Iván Santiago Molina López**

**Martín Pástor del Salto**

**Nelson Bryan Sandoval Ocampo**

**Ingeniería Mecánica**

Trabajo de integración curricular presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniero Mecánico

Quito, 14 de mayo de 2020

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍAS**

**HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**Contenedor automatizado para reciclaje de residuos de aparatos eléctricos  
y electrónicos (RAEE)**

**Christopher Daniel Cali Vera  
Iván Santiago Molina López  
Martín Pástor del Salto  
Nelson Bryan Sandoval Ocampo**

Calificación: A

Nombre del profesor, Título académico: Juan Sebastián Proaño Avilés, PhD.

Quito, 14 de mayo de 2020

## DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos: Christopher Daniel Cali Vera

Código: 00133121

Cédula de identidad: 1723379283

Lugar y fecha: Quito, 14 de mayo de 2020

## DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos: Iván Santiago Molina López

Código: 00131256

Cédula de identidad: 1724836596

Lugar y fecha: Quito, 14 de mayo de 2020



## DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos: Martín Pástor del Salto

Código: 00133176

Cédula de identidad: 1721352936

Lugar y fecha: Quito, 14 de mayo de 2020

## DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos: Nelson Bryan Sandoval Ocampo

Código: 00131511

Cédula de identidad: 1718837451

Lugar y fecha: Quito, 14 de mayo de 2020

## **ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN**

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

## **UNPUBLISHED DOCUMENT**

**Note:** The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

## RESUMEN

Los contenedores de basura inteligentes se están utilizando en todo el mundo para reciclar. Son una buena manera de mejorar el proceso de reciclaje. En este proyecto, el diseño, la selección de materiales, la automatización y la construcción de un contenedor de reciclaje inteligente se llevan a cabo para construir un prototipo para la empresa "Proyección Futura" que colocará muchos de estos contenedores de reciclaje en la ciudad de Quito, Ecuador. El mejor diseño fue un contenedor cuadrado con dos aberturas, una para dispositivos electrónicos pequeños y la otra para dispositivos electrónicos grandes / medianos. Se eligió PVC para el exterior del contenedor, mientras que el interior estaba hecho de acero A36. Se implementó un sistema de automatización para interactuar con el usuario y alertar a un operador de que el contenedor está lleno. El diseño ha cumplido con todos los requerimientos y recomendaciones de la empresa, por lo tanto, está listo para implementarse.

**Palabras Clave:** Contenedor, reciclar, RAEE, automatizado, diseño, proyecto, construcción, simulación, PVC, acero.

## ABSTRACT

Smart trash cans are being used throughout the world for recycling. They are a good way to improve the recycling process. In this project, the design, materials selection, automatization, and construction of a smart recycling container are carried out to build a prototype for the company “Proyección Futura” that will place many of these recycling containers in the city of Quito, Ecuador. The best design was a squared container with two openings, one for small electronic devices and the other one for big/medium electronic devices. PVC was chosen for the exterior of the container while the inside was made from A36 steel. An automatization system was implemented for interacting with the user and alerting an operator the container is full. The design has met all the requirements and recommendations of the company therefore it is ready to be implemented to their project.

**Key words:** Container, recycle, WEEE, automated, design, project, manufacture, simulation, PVC, steel.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	20
Declaración del problema y especificación del proyecto .....	20
Requerimientos. ....	21
Conceptos de diseño y selecciones .....	22
Concepto 1 (Diseño y forma del contenedor).....	22
Concepto 2 (Sistema de aviso y comunicación). ....	25
Concepto 3 (Seguridad de los residuos RAEE). ....	28
Concepto 4 (Selección del Material).....	30
Manejo del proyecto .....	33
Estándares de ingeniería .....	34
MATERIALES Y MÉTODOS .....	37
Selección de materiales y componentes .....	37
Diseño para la Fabricación .....	38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	46
Informe de diseño .....	46
Experimento de ingeniería para verificación.....	52
Plan de prueba de prototipo .....	54
Seguridad a través del diseño .....	56
Resultado, discusión y conclusiones .....	60
Sistema de Movilización.....	60
Estructura interna. ....	61
Estructura externa. ....	61
Atenuación de impacto. ....	61

	11
Perno.....	62
Soldadura.....	62
Diseño para la Fabricación.....	63
Seguridad a través del diseño.....	63
Plan de prueba de prototipo.....	64
Trabajo Futuro.....	64
REFERENCIAS.....	66
ANEXO A: DIBUJOS DE INGENIERÍA.....	69
Plano N°1: Estructura para el sistema pivote y de movilización – Contenedor RAEE....	70
Plano N°2: Estructura para la Carcasa – Contenedor RAEE.....	71
Plano N°3: Estructura interna contenedor RAEE.....	72
Plano N°4: Compuerta 50x50 cm del contenedor RAEE.....	73
Plano N°5: Compuerta 30x30 cm del contenedor RAEE.....	74
Plano N°6: Planchas laterales del contenedor RAEE.....	75
Plano N°7: Plancha superior del contenedor RAEE.....	76
Plano N°8: Plancha posterior del contenedor RAEE.....	77
Plano N°9: Plancha frontal del contenedor RAEE.....	78
Plano N°10: Caucho amortiguador interno.....	79
Plano N°11: Explosión – Contenedor para reciclaje de aparatos eléctricos.....	80
ANEXO B: CONCEPTOS DE DISEÑO Y SELECCIONES.....	81
Concepto 1 (Diseño y forma del contenedor).....	81
Concepto 2 (Sistema de aviso y comunicación).....	82
Concepto 3 (Seguridad de los residuos RAEE).....	84
Concepto 4 (Selección del Material).....	86

ANEXO C: ANÁLISIS DE INGENIERÍA .....	89
Sistema de Movilización.....	89
Estructura Interna.....	118
Estructura Externa.....	127
Atenuación de Impacto. ....	139
Pernos.....	143
Soldadura. ....	146
Automatización. ....	155
Diagrama de flujo del sistema de automatización. ....	157
ANEXO D: REGISTRO Y MONITOREO DE LOS RIEGOS DEL PROYECTO .....	158
ANEXO E: GESTIÓN DE PROYECTOS.....	161
Diagrama de Gantt.....	161
Informe de presupuesto y gastos .....	161
ANEXO F: CÓDIGO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN .....	163
ANEXO G: MANUAL DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN .....	166



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Materiales y presupuesto necesario para la construcción del contenedor.....	34
Tabla 2: Descripción de componentes. ....	38
Tabla 3: Cronograma de fabricación. ....	40
Tabla 4: Dimensiones y tolerancias a verificar. ....	44
Tabla 5: Documento de verificación de tolerancias. ....	45
Tabla 6: Validación de requerimientos de cliente. ....	54
Tabla 7: Plan de prueba de Prototipo. ....	55
Tabla 8: Documento de verificación de cada criterio del plan de pruebas del prototipo. ....	56
Tabla 9: Valoración Cualitativa. ....	57
Tabla 10: Valoración Cuantitativa. ....	57
Tabla 11: Evaluación del peso específico de cada criterio.....	81
Tabla 12: Evaluación del peso específico del criterio Precio.....	81
Tabla 13: Evaluación del peso específico del criterio Seguridad.....	82
Tabla 14: Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento.....	82
Tabla 15: Tabla de conclusiones. ....	82
Tabla 16: Evaluación del peso específico de cada criterio.....	83
Tabla 17: Evaluación del peso específico del criterio Precio.....	83
Tabla 18: Evaluación del peso específico del criterio Construcción. ....	83
Tabla 19: Evaluación del peso específico del criterio Seguimiento.....	84
Tabla 20: Tabla de conclusiones. ....	84
Tabla 21: Evaluación del peso específico de cada criterio.....	84
Tabla 22: Evaluación del peso específico del criterio Precio.....	85
Tabla 23: Evaluación del peso específico del criterio Complejidad. ....	85
Tabla 24: Evaluación del peso específico del criterio Mantenimiento. ....	85

Tabla 25: Evaluación del peso específico del criterio Durabilidad.....	86
Tabla 26: Tabla de conclusiones. ....	86
Tabla 27: Evaluación del peso de cada criterio.....	86
Tabla 28: Evaluación del peso específico del criterio Peso. ....	87
Tabla 29: Evaluación del peso específico del criterio Desgaste. ....	87
Tabla 30: Evaluación del peso específico del criterio Fabricación.....	87
Tabla 31: Tabla de conclusiones. ....	88
Tabla 32: Registro y monitoreo de los riesgos del proyecto.....	160
Tabla 33: Gastos necesario para la construcción del contenedor.....	162
Tabla 33: Lista de piezas.....	166

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Contenedor cuadrado. ....	23
Figura 2: Contenedor triangular. ....	23
Figura 3: Contenedor cilíndrico. ....	24
Figura 4: Pantalla led programada mediante el dispositivo Arduino UNO junto con dispositivo wifi. ....	26
Figura 5: Sistema de conteo a partir de dispositivo ultrasónico.....	26
Figura 6: Sistema de conteo mediante botones y sistema de alerta de llenado por luz.....	27
Figura 7: Cerradura de tipo pasador que utilizará un servomotor conectado a un Arduino. ...	28
Figura 8: Cerradura con dos servomotores conectados a un Arduino.....	29
Figura 9: Cerradura de tipo magnética conectada a un Arduino.....	29
Figura 10: PVC (KF Plastics, 2017).....	31
Figura 11: Acero PE (Made-in-China, 2020).....	31
Figura 12: Acero G (Lámina Galvanizada, 2016).....	31
Figura 13: Cronograma de actividades por semanas de trabajo.....	33
Figura 14: Diagrama de flujo de manufactura. ....	38
Figura 15: Estructura del sistema de Movilización.....	47
Figura 16: Dimensiones de la estructura. ....	47
Figura 17: Dimensiones de la estructura interna.....	48
Figura 18: Diseño externo de contenedor .....	49
Figura 19: Posición de aleta de caucho en la vista lateral del basurero. ....	50
Figura 20: Sistema de conteo mediante botones y sistema de alerta de llenado por luz.....	51
Figura 21: Sistema de seguridad mediante cerradura de tipo pasador con servomotor conectado a un Arduino.....	52
Figura 22: Diagrama de cuerpo libre de la estructura general (vista lateral izquierda). ....	89

Figura 23: Diagrama de cuerpo libre de la estructura general (vista superior).....	89
Figura 24: Diagrama de cuerpo libre del componente superior. ....	90
Figura 25: Diagrama de cuerpo libre de los componentes laterales.....	90
Figura 26: Diagrama de cuerpo libre de la agarradera. ....	90
Figura 27: Diagrama de cuerpo libre del componente lateral de la agarradera.....	91
Figura 28: Diagrama de cuerpo libre del componente inferior de la estructura.....	91
Figura 29: Diagrama de cuerpo libre del cuerpo 1. Se observa la aplicación de la fuerza P1 y las reacciones que está produce.....	92
Figura 30: Diagrama esfuerzo cortante del cuerpo 1 (Calculadora libre de la viga   Momento de flexión, Cizalla fuerza y la deformación de la calculadora   SkyCiv, n.d.). ....	93
Figura 31: Diagrama de momento del cuerpo 1. El momento máximo se encuentra en la mitad de la pieza (Calculadora libre de la viga   Momento de flexión, Cizalla fuerza y la deformación de la calculadora   SkyCiv, n.d.). ....	94
Figura 32: Diagrama de cuerpo libre del cuerpo 2. Se observa la aplicación de la fuerza RE y la reacción que está produce.....	94
Figura 33: Diagrama esfuerzo cortante del cuerpo 2 (Calculadora libre de la viga   Momento de flexión, Cizalla fuerza y la deformación de la calculadora   SkyCiv, n.d.). ....	95
Figura 34: Diagrama de momento del cuerpo 2. El momento máximo se encuentra en el origen de la pieza (Calculadora libre de la viga   Momento de flexión, Cizalla fuerza y la deformación de la calculadora   SkyCiv, n.d.). ....	96
Figura 35: Diagrama de cuerpo libre del cuerpo 3. Se observa la aplicación de la fuerza P2 y las reacciones que está produce.....	96
Figura 36: Diagrama esfuerzo cortante del cuerpo 3 (Calculadora libre de la viga   Momento de flexión, Cizalla fuerza y la deformación de la calculadora   SkyCiv, n.d.). ....	98

Figura 37: Diagrama de momento del cuerpo 3. El momento máximo se encuentra en la mitad de la pieza (Calculadora libre de la viga   Momento de flexión, Cizalla fuerza y la deformación de la calculadora   SkyCiv, n.d.).	98
Figura 38: Diagrama de cuerpo libre del cuerpo 4. Se observa la aplicación de la fuerza RG y la reacción que está produce.	99
Figura 39: Diagrama esfuerzo cortante del cuerpo 4 (Calculadora libre de la viga   Momento de flexión, Cizalla fuerza y la deformación de la calculadora   SkyCiv, n.d.).	100
Figura 40: Diagrama de momento del cuerpo 4. El momento máximo se encuentra en el origen de la pieza (Calculadora libre de la viga   Momento de flexión, Cizalla fuerza y la deformación de la calculadora   SkyCiv, n.d.).	100
Figura 41: Sección transversal del perfil cuadrado.	101
Figura 42: Diagrama de cuerpo libre del cuerpo 2. Se toma un elemento infinitesimal de la sección CE que se encuentra a tensión.	102
Figura 43: Sección transversal del perfil cuadrado.	103
Figura 44: Sección transversal del perfil cuadrado.	106
Figura 45: Diagrama de cuerpo libre del cuerpo 4. Se toma un elemento infinitesimal de la sección GH que se encuentra a tensión.	107
Figura 46: Sección transversal del perfil cuadrado.	108
Figura 47: Sección transversal del perfil cuadrado.	112
Figura 48: Simulación de los esfuerzos de la estructura sometida a las fuerzas verticales P1 en la sección del pivote y a la fuerza horizontal P2 en la sección de agarre.	116
Figura 49: Visualización de los esfuerzos en la sección inferior de la estructura sometida a las fuerzas verticales P1 en la sección del pivote y a la fuerza horizontal P2 en la sección de agarre.	116

Figura 50: Simulación del desplazamiento en la sección de agarre de la estructura sometida a la fuerza horizontal P2 en la sección de agarre. ....	117
Figura 51: Estructura interna. ....	118
Figura 52: Dimensiones de la estructura interna. ....	118
Figura 53: Diagrama de las paredes horizontales y verticales con su carga máxima. ....	119
Figura 54: Diagrama esfuerzo cortante para ambas paredes del contenedor, sometido a su carga máxima (Calculadora libre de la viga   Momento de flexión, Cizalla fuerza y la deformación de la calculadora   SkyCiv, n.d.). ....	120
Figura 55: Diagrama de momento para ambas paredes del contenedor, sometido a su carga máxima (Calculadora libre de la viga   Momento de flexión, Cizalla fuerza y la deformación de la calculadora   SkyCiv, n.d.). ....	121
Figura 56: Simulación de la estructura sometida a su carga máxima en pared crítica. ....	126
Figura 57: Simulación de la deformación de la estructura sometida a su carga máxima en pared crítica. ....	127
Figura 58: Plancha frontal del contenedor al aplicar una fuerza $P_T$ (561.54 N). ....	128
Figura 59: Diagrama de cuerpo libre de la plancha frontal, aplicando una fuerza $P_T$ . ....	129
Figura 60: Diagrama esfuerzo cortante de la plancha frontal, sometido a su carga máxima (Calculadora libre de la viga   Momento de flexión, Cizalla fuerza y la deformación de la calculadora   SkyCiv, n.d.). ....	130
Figura 61: Diagrama de momento de la placa frontal. El momento máximo se encuentra en la mitad de la placa (Calculadora libre de la viga   Momento de flexión, Cizalla fuerza y la deformación de la calculadora   SkyCiv, n.d.). ....	131
Figura 62: Diagrama de cuerpo libre de la plancha lateral, sometida aplicando una fuerza $P_1$ (392 N). ....	132

Figura 63: Diagrama esfuerzo cortante de la planchas laterales del contenedor, sometida a su carga máxima (Calculadora libre de la viga   Momento de flexión, Cizalla fuerza y la deformación de la calculadora   SkyCiv, n.d.).	133
Figura 64: Diagrama de momento para las planchas laterales del contenedor. El momento máximo se encuentra en la mitad de la placa (Calculadora libre de la viga   Momento de flexión, Cizalla fuerza y la deformación de la calculadora   SkyCiv, n.d.).	134
Figura 65: Diagrama de cuerpo libre de la plancha frontal, aplicando una fuerza PT.	134
Figura 66: Simulación de los esfuerzos de la estructura externa sometida a una fuerza horizontal $P_t$ en la cara frontal del contenedor, cara crítica de la estructura.	139
Figura 67: Posición de aleta de caucho en la vista lateral del basurero.	140
Figura 68: Diagrama de cuerpo libre del caucho al aplicar la fuerza que ejerce el aparato electrónico.	140
Figura 69: Área transversal del caucho.	141
Figura 70: Representación de la deflexión del caucho.	141
Figura 71: Diagrama del caucho elegido.	143
Figura 72: Estructura de contenedor interno aplicado fuerzas P1 y P2 sobre pernos.	144
Figura 73: Composición, Propiedades y Amperajes del Electrodo INDURA 90 (Indura, n.d.).	147
Figura 74: Área de la garganta (Budynas & Nisbett, 2015).	152
Figura 75: Sistema de automatización para simulación.	155
Figura 76: Diagrama de Flujo del sistema de automatización.	157
Figura 77: Cronograma de actividades por semanas de trabajo.	161
Figura 77: Numeración de partes mecánicas.	167
Figura 78: Numeración de partes eléctricas y electrónicas.	168

## INTRODUCCIÓN

Los estudiantes de la Universidad San Francisco de Quito buscando dar solución a un problema que requiera intervención ingenieril, se encuentran con el problema o requerimiento de la empresa “Proyección futura” en el cual buscan una forma de acopiar residuos eléctricos y electrónicos de forma óptima ya que en el Ecuador se producen 5,5 kg (Baldé et al., 2017) de desechos per cápita y no existen los medios para que el consumidor recicle. Es así como mediante el desarrollo del proyecto integrador se propone una solución, siendo este un contenedor inteligente de forma rectangular que permita clasificar los residuos en las categorías: medianos y grandes; conformado en su interior por acero estructural ASTM A36 y en su exterior por PVC reciclado, el cual apoya a la idea de la empresa. Para su desarrollo se determina la dimensión de los componentes estructurales del contenedor, en base a cálculos respecto a los materiales seleccionados y las fuerzas existentes. Este incluye sistemas de comunicación tanto para el usuario como para la empresa (operador), con el fin de comunicar el proceso de reciclaje, contacto y conocimiento del estado del contenedor. Todo lo señalado se ha propuesto y generado en base a todos los requerimientos y presupuesto estimado de cliente.

### **Declaración del problema y especificación del proyecto**

El planeta está pasando por un gran problema de contaminación en los últimos años debido al creciente consumismo. Países que se encuentran en la Unión Europea llegan a producir una gran cantidad de desechos teniendo desechos per cápita de 17 kg anuales (Damanhuri, 2012), y en Ecuador con un índice menor de 5,5 kg anuales (Baldé et al., 2017), siendo este un valor preocupante debido al deficiente manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) en el país. Esto ha llevado a grandes grupos a pensar en soluciones para poder apaciguar los problemas que el consumismo trae consigo. Este consumo creciente se trata en gran parte de artículos electrónicos. Por este motivo el reciclaje ha tomado fuerza en los últimos años llegando a formar incluso parte de las leyes de algunos países que



obligan a productores y vendedores a recuperar cierto porcentaje de dichos productos en forma de reciclaje. Una de las mejores soluciones a esta preocupación global es reciclar este tipo de objetos, mediante la implementación de contenedores de reciclaje inteligentes en puntos estratégicos de las ciudades.

El cliente es la empresa ecuatoriana “Proyección futura” que es un gestor ambiental y se encarga de fortalecer procesos de manejo de desechos. Esta empresa para gestionar los residuos RAEE, requiere fabricar contenedores para el reciclaje de basura electrónica que cumplan con los siguientes requerimientos.

### **Requerimientos.**

- El contenedor debe ser modular móvil.
- El contenedor debe ser fácil de transportar desde el lugar de acopio hasta el lugar de recolección.
- El contenedor debe contar con un sistema de aviso que permita saber cuándo este lleno.
- El contenedor debe generar un mensaje informativo al momento del depósito de aparatos electrónicos.
- La resistencia de la estructura del contenedor debe ser la adecuada para soportar cualquier tipo de maltrato.
- Diseñar un sistema que garantice la seguridad y protección de los residuos RAEE.
- Diseñar un sistema que evite el maltrato de los electrónicos dentro del contenedor para que estos no se estropeen.
- El diseño del contenedor debe ser atractivo de tal manera que motive al consumidor a depositar residuos RAEE.
- El prototipo del contenedor RAEE debe estar dentro del presupuesto establecido por el cliente.

## **Conceptos de diseño y selecciones**

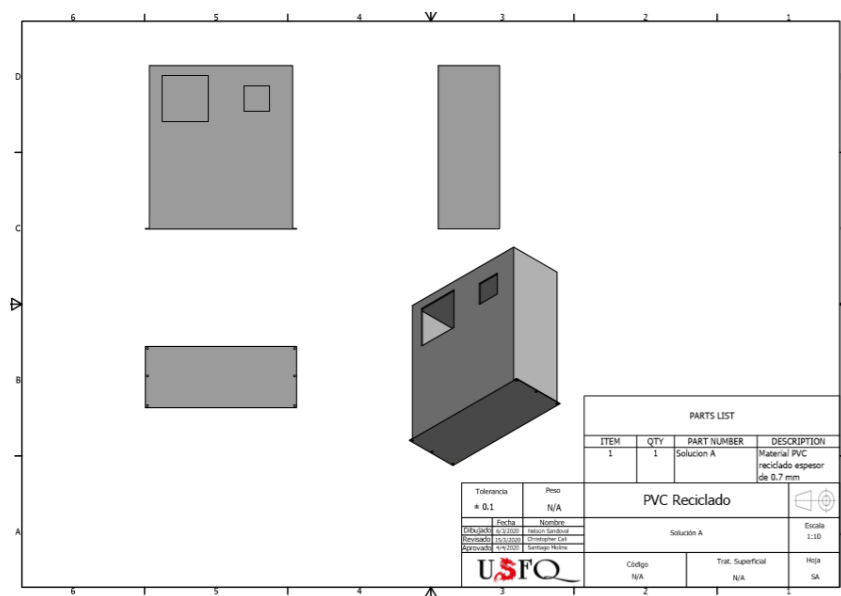
Con el fin de solucionar todos estos requerimientos se realizó un diseño CAD para satisfacer las necesidades del cliente, se realizó un diseño sencillo pero funcional en cual se presentó al cliente para verificar si este estaba acorde a sus necesidades y de esta forma que se proporcione una retroalimentación para poder realizar modificaciones necesarias. En esta sección de a continuación se presentan los diseños de las diferentes partes del contenedor con el fin de realizar la mejor selección para cada uno de los subsistemas del contenedor.

Para la construcción del prototipo inicial se tomaron en cuenta cuatro conceptos de diseño: diseño y forma, automatización para el contenedor, seguridad de los residuos y materiales que se emplearán en la construcción del contenedor. A continuación, se usará el método ordinario corregido de criterios ponderados para escoger la solución más adecuada para cada concepto.

### **Concepto 1 (Diseño y forma del contenedor).**

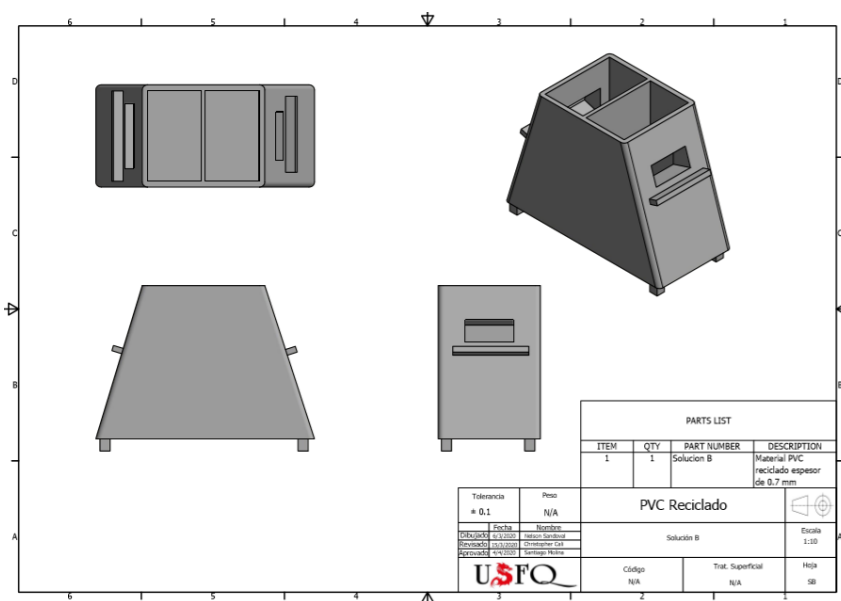
El objetivo de este concepto consiste en realizar un diseño el cual sea óptimo para el uso de las personas interesadas en el proyecto. Un buen diseño significara que la persona se sienta atraída hacia el mismo el cual incrementara su nivel de uso. Se presentan tres tipos de diseños los cuales han sido seleccionados en base a los más populares que se encuentran en el mercado, pero con cambios útiles para el uso en el reciclaje de residuos electrónicos. Continúa en la siguiente hoja.

- *Solución A: Contenedor cuadrado*



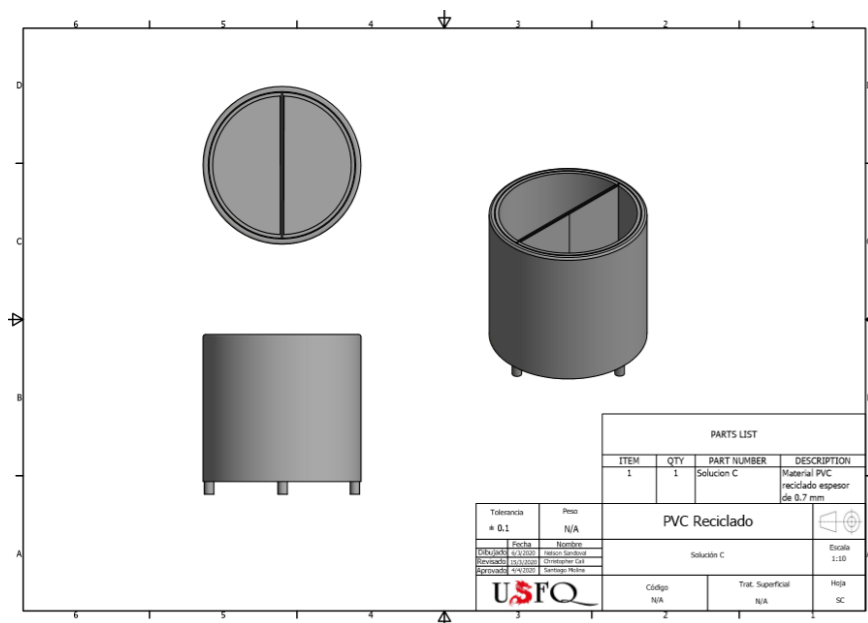
*Figura 1: Contenedor cuadrado.*

- *Solución B: Contenedor triangular*



*Figura 2: Contenedor triangular.*

- *Solución C: Contenedor cilíndrico*



*Figura 3: Contenedor cilíndrico.*

Los criterios que se consideraron importantes para el análisis de los conceptos son:

- *Precio:* Este criterio será medido para lograr que el producto final tenga un mejor precio, se debe tomar en cuenta que cada concepto usa diferentes volúmenes PVC de material, así como también en algunos casos se necesitará modificar con termo formadora para obtener la forma adecuada. Se entiende que una opción más barata será mejor que una más cara.
- *Seguridad:* Al ser un contenedor donde se colocan residuos de alto costo, este puede ser susceptible a que se atente contra su seguridad. Se entiende que una mayor ponderación significara un diseño más seguro.
- *Mantenimiento:* Este criterio es medido para identificar la facilidad con la que el contenedor puede ser ensamblado y desensamblado para la limpieza, lubricación y reemplazo de sus partes a lo largo de su vida útil. La opción con mejor facilidad de mantenimiento será mejor que la de difícil mantenimiento

Se muestran los pasos del método ordinario corregido de criterios ponderados que se llevará a cabo para escoger la solución más adecuada de acuerdo con los criterios seleccionados en el ANEXO B. Una vez que se realizó las ponderaciones necesarias para cada uno de los criterios evaluados, se llega a la conclusión de que el diseño óptimo para el contenedor es la opción A, es decir el contenedor de forma cuadrada, esto tiene mucho sentido ya que este contenedor es el que menos material requiere y el menos complejo para su producción.

### **Concepto 2 (Sistema de aviso y comunicación).**

Este concepto pretende dar seguimiento al estado del contenedor; así como emitir mensajes hacia el público donante y a la vez permitirá informar a la empresa recicladora sobre la necesidad de vaciado del contenedor. Esto se ha determinado como un punto importante ya que uno de los requerimientos del cliente es el poder informar al donante sobre la importancia del reciclaje, de forma similar es importante para la empresa conocer el estado del mencionado contenedor para de esta forma facilitar la intervención oportuna de los agentes recicladores.

- *Solución A:* Esta consiste en la implementación de una pantalla táctil, la cual permita la interacción con el usuario, donde se pueda recolectar información de contacto, para así enviar un mensaje informando el proceso a seguir por la empresa de reciclaje.

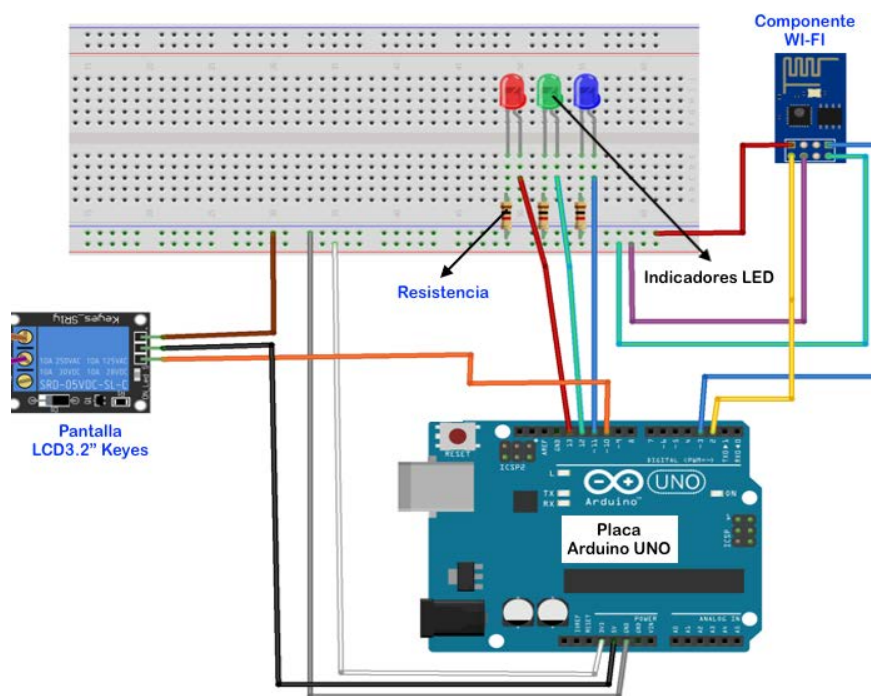


Figura 4: Pantalla led programada mediante el dispositivo Arduino UNO junto con dispositivo wifi.

- *Solución B:* Consiste en un sistema de control de llenado de los aparatos electrónicos depositados, mediante la implementación de un dispositivo ultrasónico; el cual informará el estado del contenedor (lleno/no lleno). También cuenta con una pantalla, la cual proveerá información de la empresa gestora al momento del depósito de un residuo RAEE.

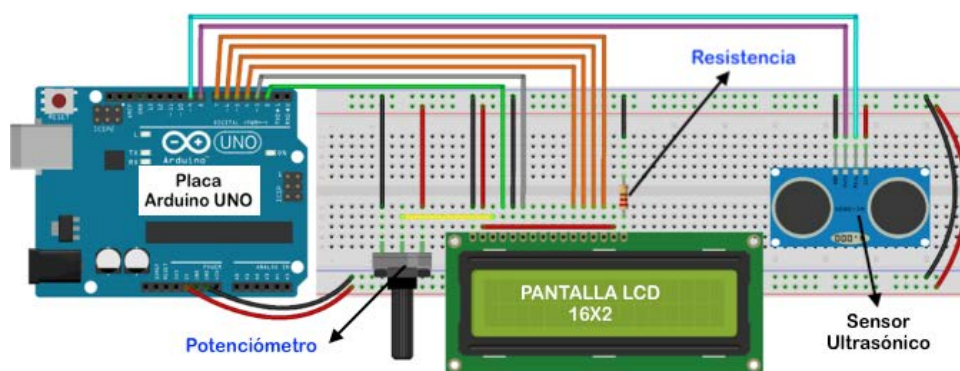


Figura 5: Sistema de conteo a partir de dispositivo ultrasónico.

- *Solución C:* Está conformado por un sistema de botones que permite dar conteo a la cantidad de aparatos electrónicos depositados según su clasificación, a la vez que a partir de una

pantalla se informará datos de la empresa de gestión al momento del depósito; así también mediante una luz indicará el momento en que el contenedor se encuentra totalmente lleno.

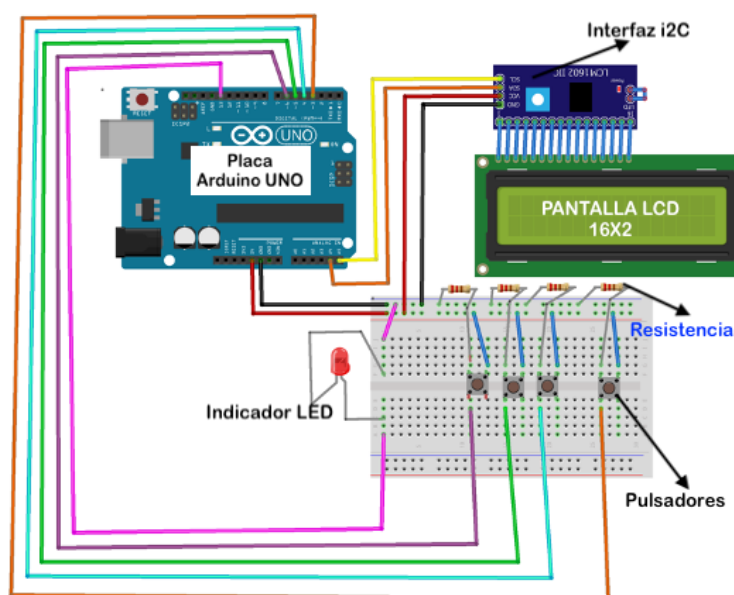


Figura 6: Sistema de conteo mediante botones y sistema de alerta de llenado por luz.

Los criterios que se consideraron importantes para el análisis de los conceptos son:

- *Precio*: Este criterio será medido para lograr que el producto final tenga un mejor precio. Se entiende que una opción más barata será mejor o tendrá un mayor puntaje que una más cara.
- *Construcción*: Este criterio será medido para lograr que el sistema de aviso y comunicación sea fácil de construir, diseñar y programar. Se entiende que la opción menos compleja de diseñar será mejor o tendrá un mayor puntaje que una más compleja de diseñar.
- *Seguimiento*: Este criterio será medido para lograr que el producto final nos brinde datos que permitan el control y seguimiento de los distintos residuos. Se entiende que la opción que entregue mayor cantidad de información útil será la mejor o tendrá un mayor puntaje.

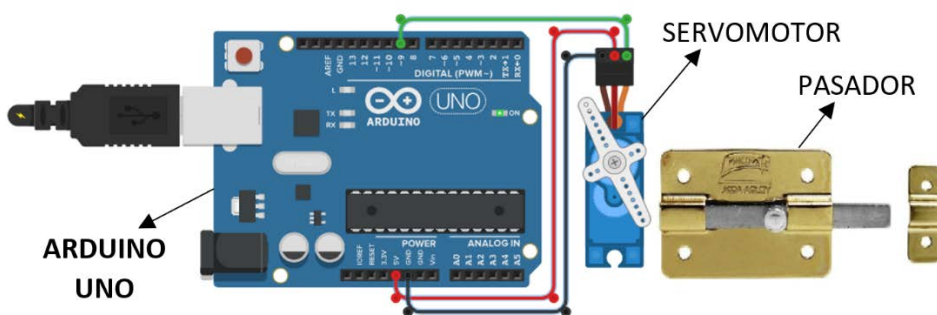
Se muestran los pasos del método ordinario corregido de criterios ponderados que se llevará a cabo para escoger la solución más adecuado de acuerdo con los criterios seleccionados en el ANEXO B. Ya comparados los diferentes criterios con sus soluciones, se concluye

mejores opciones a elegir es la Solución B y C, la cual refiere a un sistema de control mediante ultrasonido y a un sistema de conteo mediante botones y sistema de alerta de llenado por luz, respectivamente. Es así como se buscará la manera de combinar ambos sistemas mediante un Arduino para llegar a una solución más eficaz.

### Concepto 3 (Seguridad de los residuos RAEE).

El objetivo de este concepto corresponde a diseñar un sistema de seguridad para la protección de los residuos RAEE, esto se debe a que normalmente mucha gente tiene la costumbre de botar cualquier tipo de basura en los contenedores sin importarles si estos están destinados a un tipo de residuo específico. Este sistema tiene una especial consideración ya que los residuos manejados son equipos eléctricos y electrónicos. Para que estos residuos sean tratados adecuadamente deben estar en buen estado porque algunos de los componentes electrónicos son peligrosos para el medio ambiente, además si se mojan o se rompen no pueden ser tratados. Por este motivo, se muestra a continuación las soluciones consideradas para el diseño del sistema de seguridad. Las soluciones utilizan diferentes tipos de cerraduras que se pretenden automatizar.

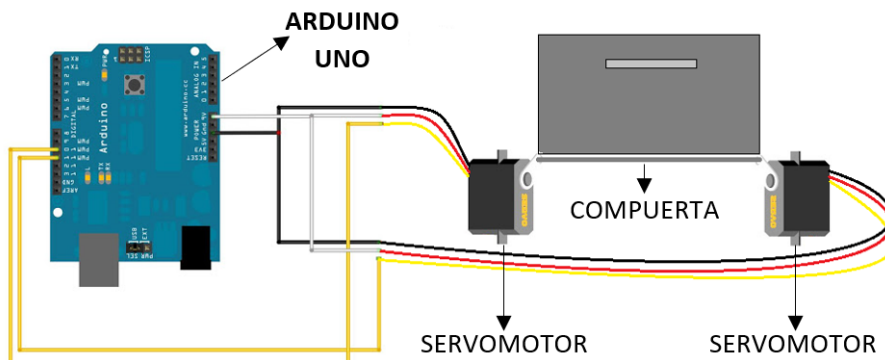
- *Solución A:* Esta solución consiste en usar una cerradura de tipo pasador que utilizará un servomotor conectado a un Arduino que mediante el accionamiento de un botón abrirá o cerrará la puerta o tapa donde el usuario depositará su residuo RAEE.



*Figura 7: Cerradura de tipo pasador que utilizará un servomotor conectado a un Arduino.*

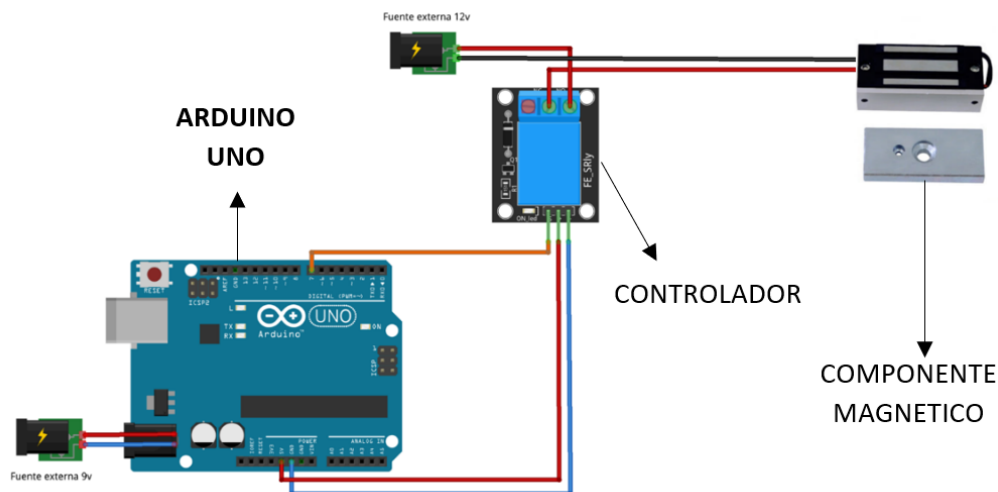


- *Solución B:* Esta solución consiste en usar dos servomotores en el eje de la puerta conectados a un Arduino que mediante el accionamiento de un botón abrirán o cerrarán la puerta o tapa donde el usuario depositará su residuo RAEE.



*Figura 8: Cerradura con dos servomotores conectados a un Arduino.*

- *Solución C:* Esta solución consiste en usar una cerradura de tipo magnética conectada a un Arduino que mediante el accionamiento de un botón abrirá o cerrará la puerta o tapa donde el usuario depositará su residuo RAEE.



*Figura 9: Cerradura de tipo magnética conectada a un Arduino.*

Los criterios que se consideraron importantes para el análisis de los conceptos son:

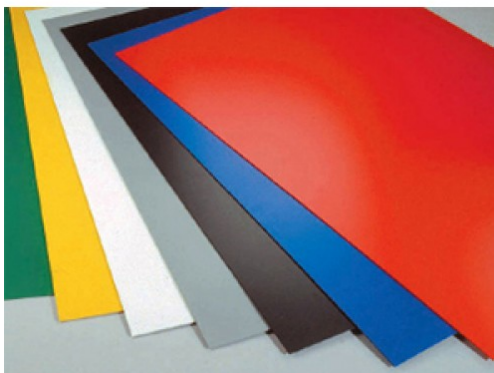
- *Precio*: Este criterio será medido para lograr que el producto final tenga un mejor precio. Se entiende que una opción más barata será mejor o tendrá un mayor puntaje que una más cara.
- *Durabilidad*: Este criterio será medido para lograr que la duración del sistema sea la más alta posible. Por lo tanto, la opción más duradera será mejor o tendrá un mayor puntaje que una con menor duración.
- *Mantenimiento*: Este criterio será medido para lograr que el producto final tenga un mantenimiento más sencillo. Se entiende que la opción más sencilla para dar el mantenimiento será mejor o tendrá un mayor puntaje que una más difícil.
- *Complejidad*: Este criterio será medido para lograr que el sistema de seguridad sea fácil de construir, diseñar y programar. Se entiende que la opción menos compleja de diseñar será mejor o tendrá un mayor puntaje que una más compleja de diseñar.

Se muestran los pasos del método ordinario corregido de criterios ponderados que se llevará a cabo para escoger la solución más adecuado de acuerdo con los criterios seleccionados en el ANEXO B. Una vez comparados los criterios con las soluciones se llega a la conclusión que para este proyecto es mejor elegir la Solución A, es decir una cerradura de tipo pasador que utilizará un servomotor conectado a un Arduino el cual mediante el accionamiento de un botón abrirá o cerrará la puerta o tapa donde el usuario depositará su residuo RAEE.

#### **Concepto 4 (Selección del Material).**

El objetivo de este concepto corresponde a seleccionar un cierto tipo de material, el cuál será utilizado para la construcción y diseño del contenedor. El material debe ser resistente, liviano, de fácil movilización y manipulación. Por este motivo, se muestra a continuación las soluciones consideradas para la selección del material.

- *Solución A:* PVC reciclado



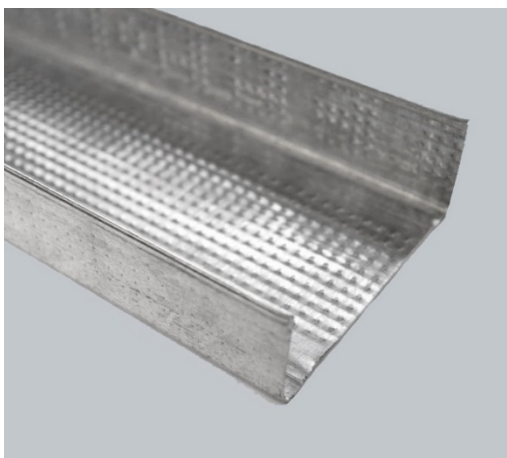
*Figura 10: PVC (KF Plastics, 2017).*

- *Solución B:* Acero con recubrimiento de pintura electrostática (Acero PE).



*Figura 11: Acero PE (Made-in-China, 2020).*

- *Solución C:* Acero galvanizado (Acero G)



*Figura 12: Acero G (Lámina Galvanizada, 2016).*

Los criterios que se consideraron importantes para el análisis de conceptos son:

- *Precio*: Este criterio será medido para lograr que el producto final tenga un mejor precio. Se entiende que una opción más barata será mejor o tendrá un mayor puntaje que una más cara.
- *Desgaste*: Este criterio será medido para lograr que la duración del producto sea la más alta posible. Por lo tanto, la opción más duradera será mejor o tendrá un mayor puntaje que una con menor duración.
- *Fabricación*: Este criterio será medido para lograr que la fabricación del producto sea lo más fácil posible tomando en cuenta la disponibilidad de empresas que puedan realizar los procesos de fabricación y la posibilidad de que en un futuro se pueda producir por nosotros. Por lo tanto, la opción que sea más fácil fabricar y tenga más proyección para el desarrollo propio será mejor o tendrá un mayor puntaje que una más difícil.

Se muestran los pasos del método ordinario corregido de criterios ponderados que se llevará a cabo para escoger la solución más adecuado de acuerdo con los criterios seleccionados en el ANEXO B. Una vez comparados los criterios con los conceptos se llega a la conclusión que para este proyecto es mejor elegir la opción A, es decir PVC.

## Manejo del proyecto

Se presenta el cronograma de actividades planificado para la ejecución del prototipo:

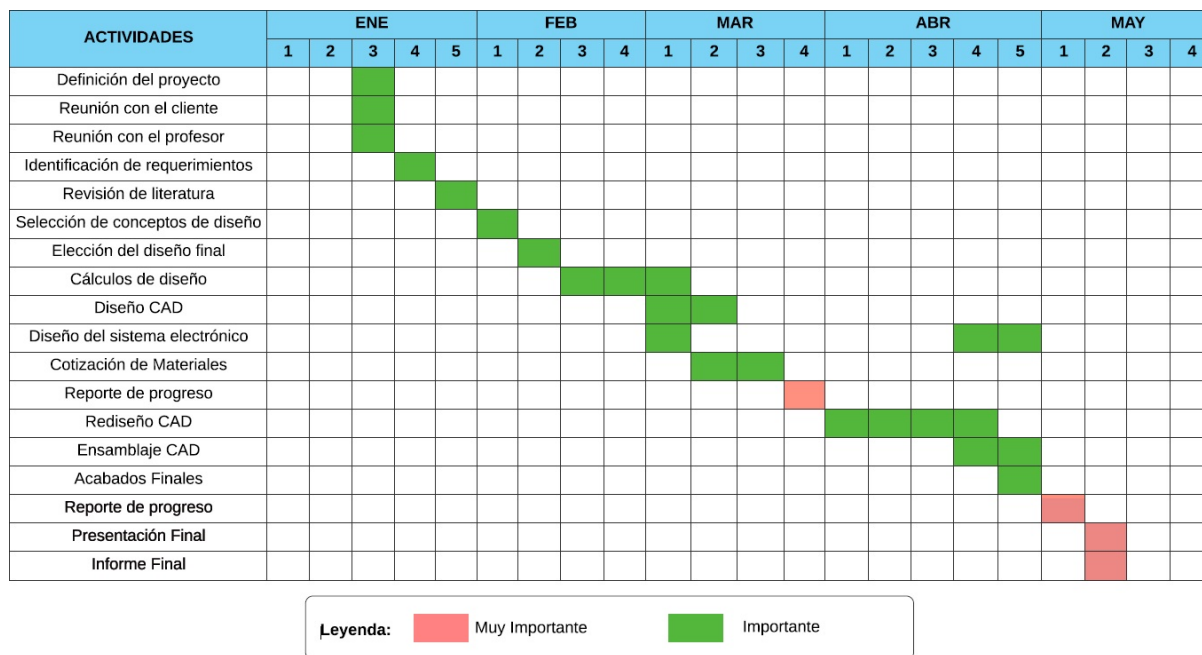


Figura 13: Cronograma de actividades por semanas de trabajo.

En la siguiente tabla se detallan los materiales y presupuesto necesario para la construcción y desarrollo del prototipo final del contenedor de residuos RAEE:

Descripción	Cantidad	Precio unitario	VALOR
Placa Arduino	1	\$ 14.00	\$ 14.00
Sensor ultrasónico	2	\$ 4.00	\$ 8.00
Cerraduras eléctricas	3	\$ 10.00	\$ 30.00
Pantalla led	1	\$ 15.00	\$ 15.00
led indicador	4	\$ 0.80	\$ 3.20
Pulsador	4	\$ 1.78	\$ 7.12
Fuente de poder	1	\$ 12.00	\$ 12.00
Plancha de 7mm pvc (7m <sup>2</sup> )	3	\$ 23.00	\$ 69.00
Plancha de 4mm acero A36 (4m <sup>2</sup> )	1	\$ 125.00	\$ 125.00
Perfil metálico de perchas (17m)	3	\$ 15.00	\$ 45.00
Tubo cuadrado 30x30x2 (12m)	2	\$ 13.00	\$ 26.00

Tubo cuadrado 25x25x2 (6m)	1	\$ 12.00	\$ 12.00
Garruchas	8	\$ 10.00	\$ 80.00
Bisagra	9	\$ 3.48	\$ 31.32
Pintura	1	\$ 20.00	\$ 20.00
Brandeo	1	\$ 80.00	\$ 80.00
Caucho	4	\$ 4.25	\$ 17.00
Cerraduras laterales	2	\$ 15.00	\$ 30.00
Perno y tuerca pivote	4	\$ 1.50	\$ 6.00
Tornillos autoroscantes 4x10	65	\$ 0.08	\$ 5.20
Remaches 4x10	80	\$ 0.05	\$ 4.00
Resistencia 220 ohms	4	\$ 0.25	\$ 1.00
Resistencia 10k ohms	2	\$ 0.33	\$ 0.66
Cable	1	\$ 15.00	\$ 15.00
Soldadura y corte	1	\$ 60.00	\$ 60.00
		<b>TOTAL</b>	<b>\$720.50</b>

*Tabla 1: Materiales y presupuesto necesario para la construcción del contenedor.*

### **Estándares de ingeniería**

- *Norma: UNE - EN 840 - Contenedores móviles para residuos.*

Esta norma técnica aplica a nuestro proyecto porque especifica el diseño y dimensiones para los contenedores destinados al acopio de residuos, para cierta capacidad del contenedor desde los 400L hasta los 1300L. Por otro lado, la norma cuenta con especificaciones y métodos de ensayo para probar la resistencia del contenedor como la caída de bola, impacto y bajada de bordillo, estabilidad y basculamiento, tracción y ensayos para probar el material del contenedor a agentes atmosféricos. Por último, la norma cuenta con una sección donde se muestran los requisitos de seguridad y salud para ciertas partes del contenedor como las tapas, ruedas, frenos, tapa, etc. (Moya, 2010).

- *Norma: Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2841, Gestión Ambiental.*

Esta norma ayuda en gran en el proyecto para poder estandarizar los Colores de recipientes de depósito y almacenamiento temporal de Residuos sólidos y electrónicos. Esta norma se aplica a la identificación de todos los recipientes de depósito y almacenamiento temporal de residuos generados en las diversas fuentes: doméstica, industrial, comercial, institucional y de servicios, excluyéndose solo los residuos sólidos peligrosos y especiales (INEN, 2014).

- ORDENANZA 3457 Para la ubicación de mobiliario urbano (incluyendo basureros y recolectores), Quito, Ecuador.

Esta norma nos ayuda para saber cómo colocar el basurero y qué tamaño debería tener. La norma incluye básicamente el ancho de circulación que se debe tener en la calle y en las veredas y por lo tanto se debería tomar en cuenta estos tamaños para el diseño de los recolectores. Al momento la empresa está aún decidiendo el lugar donde se colocarán lo mismo, sin embargo, la mayor probabilidad está en que se los coloque en lugares como centros comerciales por lo que en ese caso no necesitamos seguir esta ordenanza, pero si se decide colocarlos en la calle en ese caso habría que tomar en cuenta la misma (Comercio, 1954).

- TRASH AND RECYCLING ENCLOSURE DESIGN GUIDE of Santa Barbara, California, Estados Unidos.

Esta guía de reciclaje que, de la ciudad de Santa Barbara, California tiene lineamientos generales de que todo basurero debe estar cerrado por motivos de urbanidad, así como de qué lado se debe colocar las compuertas para que el usuario pueda colocar los desechos. Además, dice que es necesario sacar la basura sin necesidad de mover el basurero (Gumtow, 2016).

- DIRECTIVA 2012/19/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO

Este dictamen pretende contribuir a la producción y consumo sostenibles sobre la prevención de la generación de RAEE; así también la reutilización, el reciclado y otras formas de valorización de dichos residuos, con el propósito de contribuir a la recuperación de materias primas secundarias valiosas. Por otro lado, tienen como objetivo generar cambio sobre el comportamiento medioambiental de todos los agentes que intervienen en el ciclo de vida de los RAEE, como, productores, distribuidores y consumidores, sobre todo en los agentes directamente implicados en la recogida y tratamiento de los RAEE (*Nueva normativa sobre residuos eléctricos y electrónicos • Ecologistas en Acción, 2012*).



## MATERIALES Y MÉTODOS

### Selección de materiales y componentes

Al referirnos a los materiales utilizados para la fabricación de los contenedores se ha determinado que el empleo de PVC reciclado es la mejor opción para su estructura externa (Ver Concepto 4 de la sección de Conceptos de diseño y selección) debido a su durabilidad, fabricación y precio en ventaja a otros materiales, además que el hecho de que sea un material reciclado promueve la idea del contenedor, aportando al requerimiento de diseño llamativo, solicitado por el cliente. Ahora bien, al mencionar la estructura interna, a esta se la ha definido de acero ASTM A36 debido a su fácil obtención, resistencia y buen precio del mercado. Por otro lado, estos materiales también han sido elegidos debido a su fácil maquinabilidad y ensamblaje a la hora de construir el contenedor; cabe recalcar que la manera en la cual se ensamblaran los componentes será mediante perforaciones y remache o pernos, dependiendo el caso, lo que no genera ninguna objeción al momento de la conformación del prototipo.

Conociendo los materiales a utilizar, se determinarán mediante cálculos las medidas de los componentes estructurales dependiendo de las fuerzas y momentos a los que se vean sometidos los mismos. Entonces se da conocer en la siguiente tabla, las medidas involucradas en la estructura y sus componentes:

<b>Descripción de Diseño</b>	<b>Dimensión</b>
Estructura externa (base x altura x profundidad)	1.414m x 1.6m x 0.634m
Contenedores internos (base x altura x profundidad)	0.5m x 0.8m x 0.5m
Estructura de pivote y empuje	0.56m x 0.95m x 0.53m
Altura de pivote	0.57m
Volumen a manejar en residuos grandes	0.2m <sup>3</sup>
Volumen a manejar en residuos medianos	0.2m <sup>3</sup>
Peso a transportarse por contenedor	46.6 kg

Compuerta para residuos grandes (base x altura x profundidad)	0.5m x0.5m x 0.1m
Compuerta para residuos medianos (base x altura x profundidad)	0.3m x0.3m x 0.1m
Caucho	0.15x0.15x0.03 m
Perno para pivote	½ in

Tabla 2: Descripción de componentes.

## Diseño para la Fabricación

### 1. Lista de tecnologías de fabricación y componentes para fabricar / ensamblar.

Componentes a fabricar:

- Estructura para el sistema de movilización
- Estructura Interna
- Estructura Externa

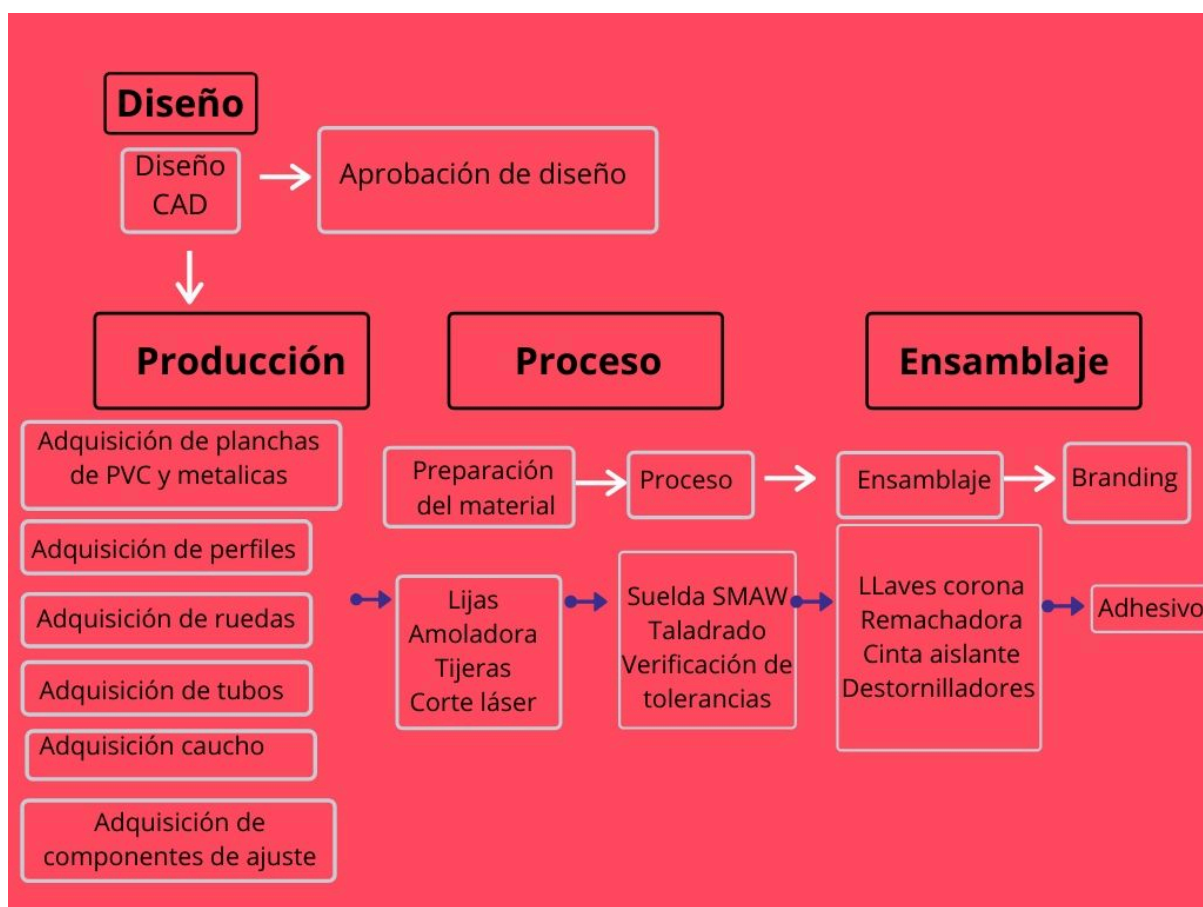


Figura 14: Diagrama de flujo de manufactura.

## 2. Cronograma de fabricación.

Día	Encargado	Descripción
1	Santiago Molina Martín Pástor	Adquisición y corte de planchas PVC y caucho en ECOPAK
1	Christopher Cali Nelson Sandoval	Adquisición de tubos estructurales, perfiles y planchas de acero, remaches y pernos en Disensa
2	Santiago Molina Martín Pástor Christopher Cali Nelson Sandoval	Corte de componentes metálicos mediante disco de corte
3	Santiago Molina Martín Pástor	Suelda SMAW de estructura interna, compuestas y sistema de movilización
3	Christopher Cali Nelson Sandoval	Preparación de planchas de pvc y caucho (perforación, lijado y corte) mediante disco de corte y taladro.
4	Santiago Molina Martín Pástor	Suelda SMAW de estructura interna y sistema de movilización
4	Christopher Cali Nelson Sandoval	Preparación de planchas de pvc y caucho (perforación, lijado y corte) mediante disco de corte y taladro.
5	Santiago Molina Martín Pástor	Acabado de estructura metálica interna (eliminación de escoria y aristas vivas) mediante limado y lijado
6	Christopher Cali Nelson Sandoval	Pintado de estructura interna y sistema de movilización
7	Santiago Molina Martín Pástor	Ensamble de la estructura externa (perfiles metálicos) mediante empernado
8	Christopher Cali Nelson Sandoval	Ensamblaje de la estructura interna mediante empernado y remaches
8	Santiago Molina Martín Pástor	Ensamble de la estructura externa mediante empernado, remaches y bisagras.
9		Adquisición de componentes para el sistema de automatización en OMEGA
9	Santiago Molina Martín Pástor	Colocación de brandeo en estructura externa
10	Christopher Cali Nelson Sandoval	Conexión y colocación del sistema de automatización
11	Santiago Molina Martín Pástor	Ensamble de todos los sistemas y pruebas de funcionamiento.

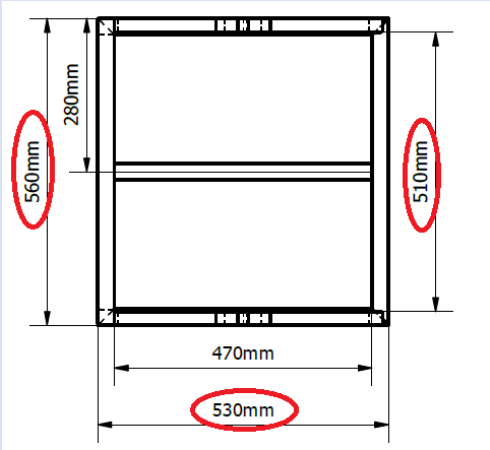
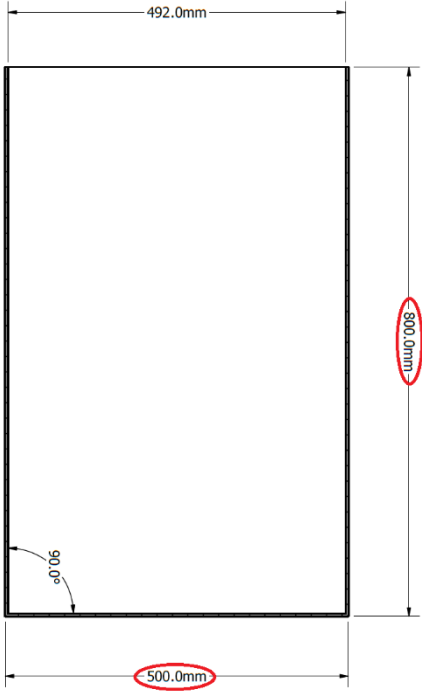
11	Santiago Molina Martín Pástor Christopher Cali Nelson Sandoval	Correcciones finales
12	Martín Pástor Nelson Sandoval	Entrega del producto

Tabla 3: Cronograma de fabricación.

### 3. Dimensionamiento de fabricación y plan de verificación de tolerancia.

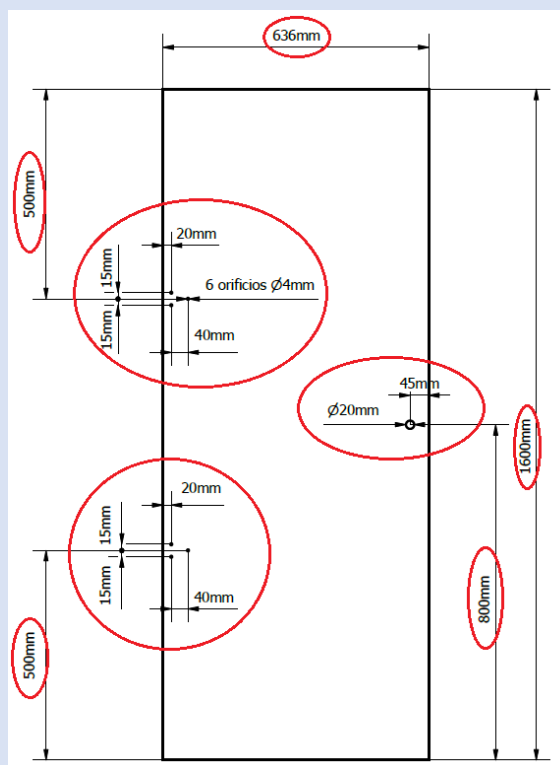
Para el diseño del contenedor se establecieron cuatro sistemas que son de movilización, estructural, amortiguación y automatización. Para verificar el diseño del proyecto, se muestra a continuación la siguiente tabla que indica las dimensiones de las partes del contenedor que se van a verificar detallando el procedimiento estándar para verificar las dimensiones y tolerancias. La tolerancia general del proyecto es de  $\pm 1,0$  mm.

Verificación de tolerancias y dimensiones			
N°.	Parte	Figura	Descripción
1	Estructura para el sistema de movilización (Vista Frontal)		<p>Las dimensiones que se resaltan con rojo son las que se deben verificar por el ingeniero responsable.</p> <p>Las dimensiones se verificarán durante la construcción de la estructura y después de su terminación. El equipo de medición a utilizar será el Flexómetro y la tolerancia del sistema será de <math>\pm 1,0</math> mm.</p>

<p style="text-align: center;"><b>2</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Estructura para el sistema de movilización (Vista Superior)</b></p>		<p>Las dimensiones que se resaltan con rojo son las se deben verificar por el ingeniero responsable.</p> <p>Las dimensiones se verificarán durante la construcción de la estructura y después de su terminación. El equipo de medición a utilizar será el Flexómetro y la tolerancia del sistema será de <math>\pm 1,0</math> mm.</p>
<p style="text-align: center;"><b>3</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Estructura Interna (Contenedor/Vista Frontal)</b></p>		<p>Las dimensiones que se resaltan con rojo son las se deben verificar por el ingeniero responsable.</p> <p>Las dimensiones se verificarán durante la construcción de la estructura y después de su terminación. El equipo de medición a utilizar será el Flexómetro y la tolerancia del sistema será de <math>\pm 1,0</math> mm.</p>

4

### Estructura Externa (Panel Lateral/ compuertas)

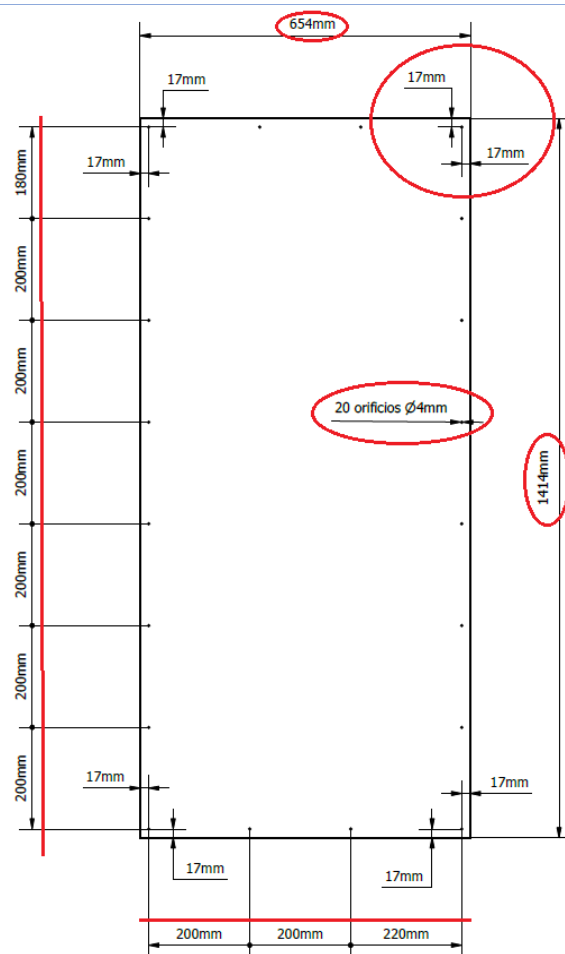


Las dimensiones que se resaltan con rojo son las que se deben verificar por el ingeniero responsable.

Las dimensiones se verificarán durante la construcción de la estructura y después de su terminación, el espesor de cada panel es de 7 mm. El equipo de medición a utilizar será el Flexómetro y un calibrador, la tolerancia del sistema será de  $\pm 1,0$  mm.

5

### Estructura Externa (Panel superior)

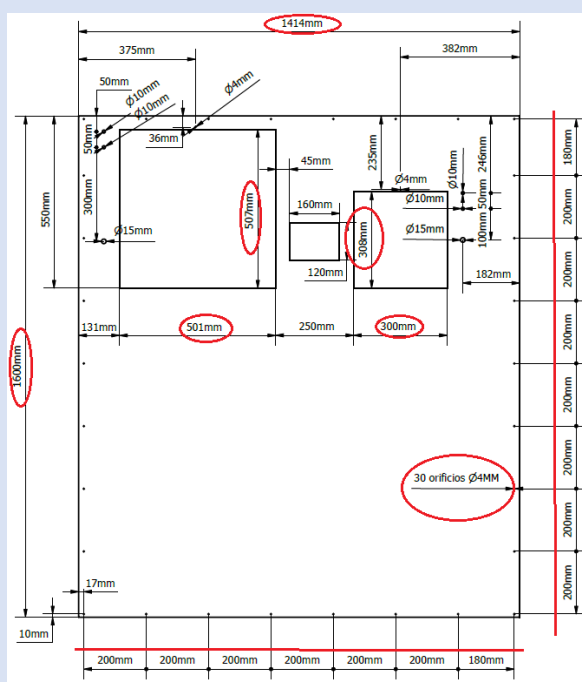


Las dimensiones que se resaltan con rojo son las se deben verificar por el ingeniero responsable.

Las dimensiones se verificarán durante la construcción de la estructura y después de su terminación, el espesor de cada panel es de 7 mm. El equipo de medición a utilizar será el Flexómetro y un calibrador, la tolerancia del sistema será de  $\pm 1,0$  mm.

6

### Estructura Externa (Panel frontal)



Las dimensiones que se resaltan con rojo son las se deben verificar por el ingeniero responsable.

Las dimensiones se verificarán durante la construcción de la estructura y después de su terminación, para este panel se recomienda que no solo se verifique las dimensiones seleccionadas, ya que al ser el

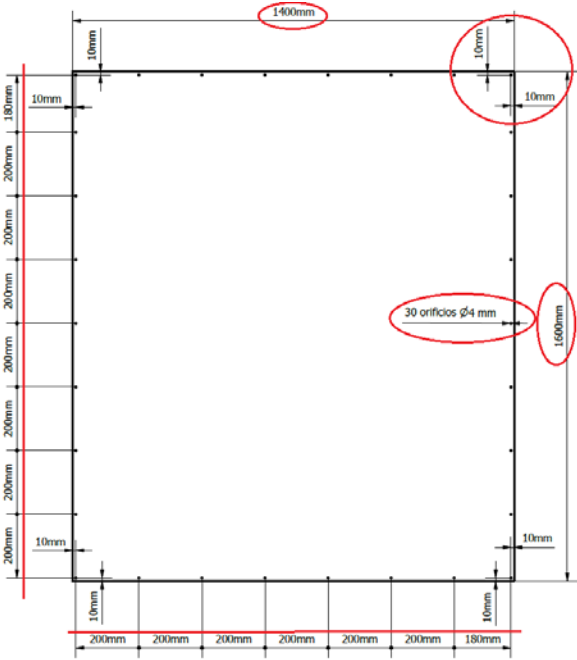
			<p>panel principal del contenedor se debe verificar todas las dimensiones para que se obtenga un excelente acabado y correcto funcionamiento, el espesor de cada panel es de 7 mm. El equipo de medición a utilizar será el Flexómetro y un calibrador, la tolerancia del sistema será de <math>\pm 1,0</math> mm.</p>
7	<p><b>Estructura Externa (Panel posterior)</b></p>		<p>Las dimensiones que se resaltan con rojo son las se deben verificar por el ingeniero responsable. Las dimensiones se verificarán durante la construcción de la estructura y después de su terminación, el espesor de cada panel es de 7 mm. El equipo de medición a utilizar será el Flexómetro y un calibrador, la tolerancia del sistema será de <math>\pm 1,0</math> mm.</p>

Tabla 4: Dimensiones y tolerancias a verificar.



A continuación, se procede a realizar el documento de lista de verificación que el ingeniero responsable utilizará para verificar las dimensiones y tolerancias de los diferentes componentes del contenedor. En la siguiente tabla se detallan las partes del contenedor que se van a verificar, el equipo de medición que se utilizará, el miembro responsable del grupo para verificar las medidas y en caso de existir observación alguna se detallará en el espacio correspondiente.

<i>Verificación de tolerancias y dimensiones</i>									
N°.	Parte	Responsable	Fecha de Verificación			Equipo de Medición	Verificación		Obsevaciones
			DD	MM	AA		Ok	Rev.	
1	Estructura para el sistema de movilización (Vista Frontal)	Christopher Cali				Flexómetro			
2	Estructura para el sistema de movilización (Vista Superior)	Christopher Cali				Flexómetro			
3	Estructura Interna (Contenedor/Vista Frontal)	Santiago Molina				Flexómetro y Calibrador			
4	Estructura Externa (Panel Lateral/Compuertas)	Santiago Molina				Flexómetro y Calibrador			
5	Estructura Externa (Panel superior)	Nelson Sandoval				Flexómetro y Calibrador			
6	Estructura Externa (Panel frontal)	Nelson Sandoval				Flexómetro y Calibrador			
7	Estructura Externa (Panel posterior)	Martín Pástor				Flexómetro y Calibrador			

*Tabla 5: Documento de verificación de tolerancias.*

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Informe de diseño

Para el diseño del contenedor se establecieron cuatro sistemas que son de movilización, estructural, amortiguación y automatización. Cada sistema se compone de subsistemas. La estructura para el sistema de movilización está compuesta por dos partes, la estructura en la que se ubican las ruedas y la estructura que permitirá el pivote del contenedor. Para la estructura de ambas partes se utilizarán tubos de perfil cuadrado de Acero Estructural (ASTM – A36) de 25mm de lado. Para el diseño de la estructura se utilizarán los conceptos de teoría de falla estática y la teoría de falla por carga variable para encontrar el espesor adecuado del perfil que se utilizará en la construcción del contenedor. Para este caso se asumirá un factor de seguridad mayor a  $n = 1,5$ . Las dimensiones del contenedor son de 80x50x50cm, lo que da como resultado un volumen de  $200.000\text{cm}^3$ . Se asume que dos componentes electrónicos son los más pesados, un CPU y un Monitor CRT. Las dimensiones del CPU son 45,5x51x32cm, lo que da como resultado un volumen de  $74.256\text{cm}^3$  con una masa de 17,3 kg (*Disipador CPU: tipos, instalación y guía comparativa*, n.d.). Las dimensiones del Monitor CRT son 41x43x41cm, lo que da como resultado un volumen de  $72.283\text{cm}^3$  con una masa de 16 kg (*HP Monitor crt 17' V7650 - Monitor CRT - Los mejores precios / Fnac*, n.d.). Por lo tanto, la masa estimada que tendrá que soportar el contenedor con algunos CPUs es de 46,6 kg y con algunos Monitores CRT es de 44,27 kg. Por lo tanto, para el análisis se utilizará la masa estimada de algunos CPUs por ser mayor, además a esta masa se adicionará 10 kg extra y el peso de 40 kg que ejercería una persona para mover el peso total del contenedor. Con estos datos se obtiene:

$$P_T = (46,6 + 10 + 40)\text{kg} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \mathbf{946,68[N]}$$

Como el peso total se distribuye a los extremos de la estructura, dando como resultado la mitad del peso para cada extremo.

$$P_1 = \frac{P_T}{2} = \frac{946,68}{2} = 473,34[N]$$

$$P_2 = 40kg \times 9,8 \frac{m}{s^2} = 392[N](Persona)$$

A continuación, se muestra el diseño de la estructura, así como las dimensiones de la estructura.

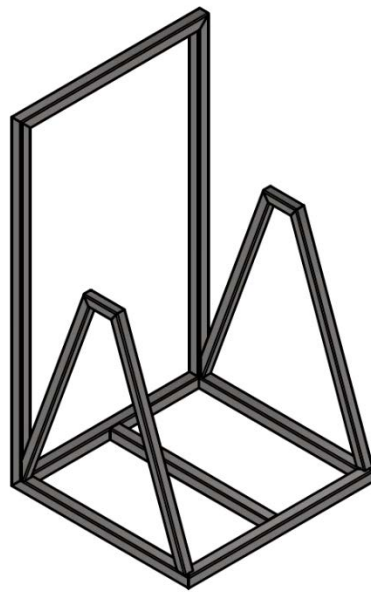


Figura 15: Estructura del sistema de Movilización.

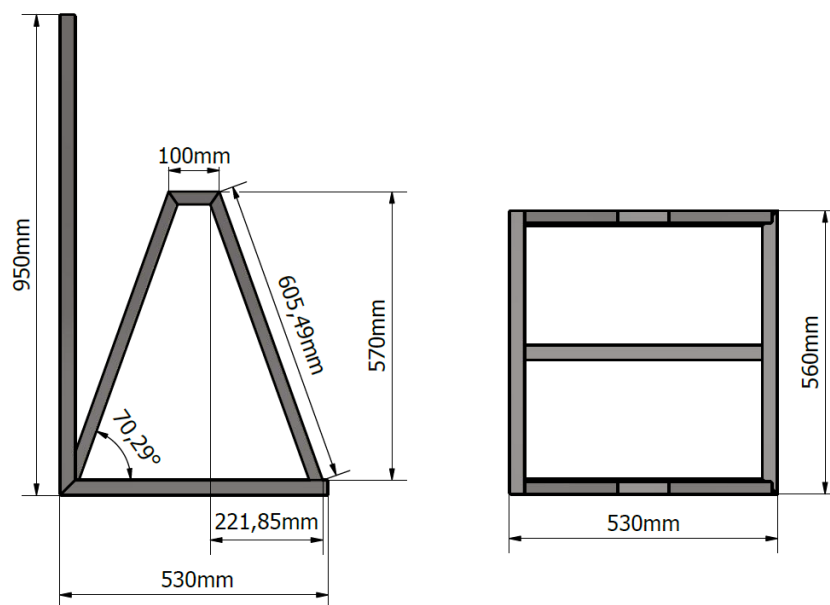
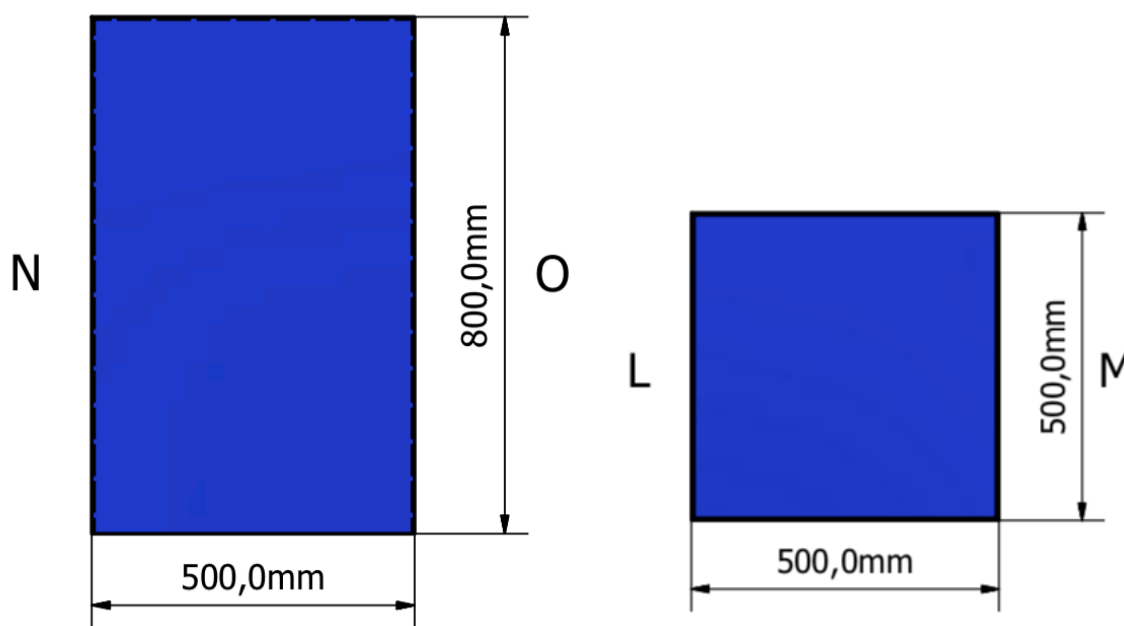


Figura 16: Dimensiones de la estructura.

Los cálculos del sistema de movilización se detallan en el ANEXO C.

La estructura para el sistema estructural está compuesta por dos partes, la estructura interna y la estructura externa. Para la estructura interna se ha determinado que se empleará acero estructural (ASTM – A36), para lo cual se calculará el espesor necesario del mismo para que logre soportar la carga antes detallada de  $P_T = 946,68[N]$ , la que representa la carga de los residuos y también el factor persona. Para el diseño de la estructura se utilizarán los conceptos de teoría de falla estática y la teoría de falla por carga variable para encontrar el espesor adecuado que se utilizará en la construcción del contenedor. Es así como, se define las dimensiones de la estructura, de la siguiente manera:

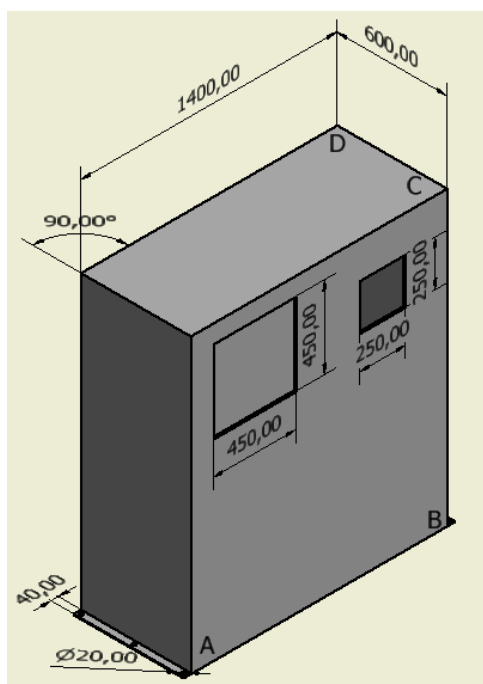


*Figura 17: Dimensiones de la estructura interna.*

Los cálculos de la estructura interna se detallan en el ANEXO C.

Para la estructura externa se ha determinado usar planchas de PVC debido a que nuestro proyecto tiene como objetivo usar materiales resistentes y sobre todo materiales provenientes de material reciclado. Para el diseño de la estructura se utilizarán los conceptos de teoría de falla estática y la teoría de falla por carga variable para encontrar el espesor adecuado que se

utilizará en la construcción del contenedor. Se analizará las caras frontales y laterales para determinar la más críticas. Se estimada que la persona promedio al apoyarse de pie sobre un objeto coloca un tercio de su peso sobre el mismo, es así como para nuestro caso se ha definido que el peso promedio máximo aplicado axialmente sobre la carcasa de nuestro contenedor es de 40 kg de una persona más un promedio de peso de un objeto electrónico grande de 17,3 kg dando un total de fuerza aplicada de 57,3 kg.

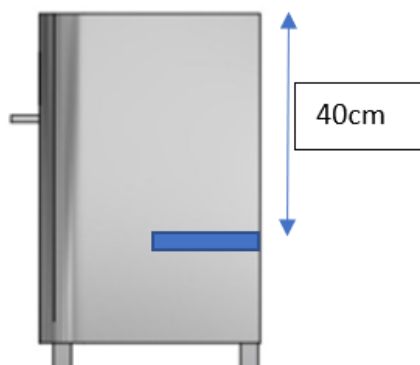


*Figura 18: Diseño externo de contenedor*

Los cálculos de la estructura externa se detallan en el ANEXO C.

Para el sistema de atenuación de impacto se utilizarán Aletas de caucho para amortiguar la caída de electrónicos. Los electrónicos tienen que estar en buen estado para que su reciclaje sea el apropiado. A pesar de que la altura del contenedor hará que la caída no sea muy fuerte ha buscado implementar algo para amortiguar los electrónicos cuando son depositados en el contenedor. Para amortiguar se ocuparán aletas de caucho que se colocarán en el interior del basurero esto hará que los electrónicos golpeen en las aletas disminuyendo su velocidad y haciendo que el impacto sea menor. Para el análisis se ha tomado en cuenta el tamaño promedio

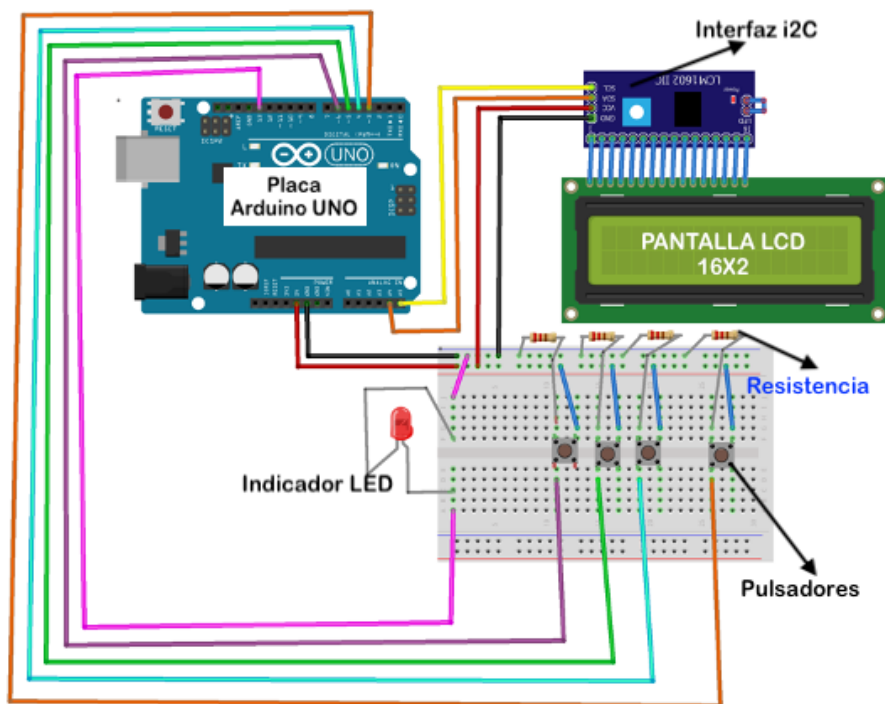
de los artículos electrónicos considerados como “grandes”. Por este motivo se ha elegido un aparato de 2 kg de masa y con longitudes de 15cmX15cmX1,27cm.



*Figura 19: Posición de aleta de caucho en la vista lateral del basurero.*

Los cálculos del sistema de atenuación de impacto se detallan en el ANEXO C.

El sistema de automatización está compuesto por dos partes el sistema de aviso y comunicación, y el sistema de seguridad. El sistema de aviso y comunicación pretende dar seguimiento al estado del contenedor; así como emitir mensajes hacia el público donante y a la vez permitirá informar a la empresa recicladora sobre la necesidad de vaciado del contenedor. Esto se ha determinado como un punto importante ya que uno de los requerimientos del cliente es el poder informar al usuario sobre la importancia del reciclaje, de forma similar es importante para la empresa conocer el estado del mencionado contenedor para de esta forma facilitar la intervención oportuna de los agentes recicladores. Es así como al haber evaluado diferentes soluciones al sistema se ha determinado que la mejor opción es la siguiente:

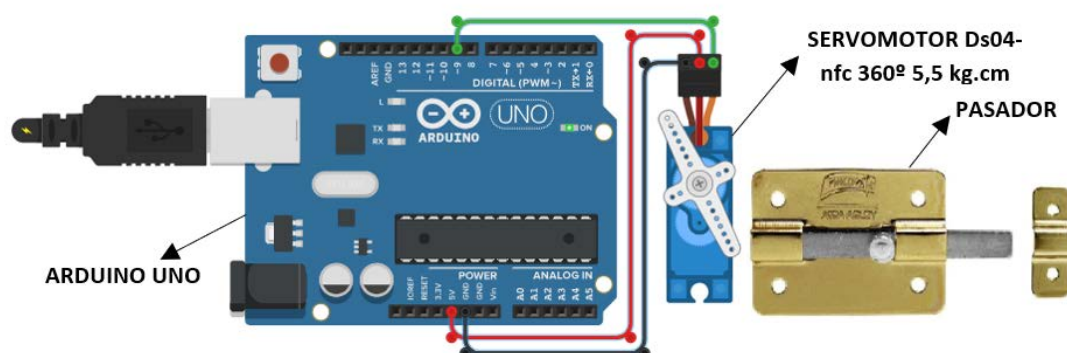


*Figura 20: Sistema de conteo mediante botones y sistema de alerta de llenado por luz.*

Dicho sistema está conformado por distintos botones que permite dar conteo a la cantidad de aparatos electrónicos depositados según su clasificación, a la vez que a partir de una pantalla se informará datos de la empresa de gestión al momento del depósito; así también mediante una luz indicará el momento en que el contenedor se encuentra totalmente lleno. Para esto se empleará un Arduino UNO, una pantalla LCD 1602A con módulo LCM 1602 I2C, 4 pulsadores, un led rojo y 4 resistencias de  $1k\Omega$ .

Se pretende diseñar un sistema de seguridad para la protección de los residuos RAEE, esto se debe a que normalmente mucha gente tiene la costumbre de botar cualquier tipo de basura en los contenedores sin importarles si estos están destinados a un tipo de residuo específico. Este sistema tiene una especial consideración ya que los residuos manejados son equipos eléctricos y electrónicos, y para que estos residuos sean tratados adecuadamente deben estar en buen estado porque algunos de los componentes electrónicos son peligrosos para el medio ambiente, además si se mojan o se rompen no pueden ser tratados. Por este motivo, se muestra a continuación la solución seleccionada a partir del método ordinario corregido de

criterios ponderados que se consideró para el diseño del sistema de seguridad. La solución utiliza un tipo de cerradura que se pretende automatizar. Esta solución consiste en usar una cerradura de tipo pasador que utilizará un servomotor Ds04-nfc 360° 5,5 kg.cm conectado a un Arduino UNO que mediante el accionamiento de un botón abrirá o cerrará la puerta o tapa donde el usuario depositará su residuo RAEE. A continuación, se presenta un modelo del diseño para la seguridad de los residuos RAEE.



*Figura 21: Sistema de seguridad mediante cerradura de tipo pasador con servomotor conectado a un Arduino.*


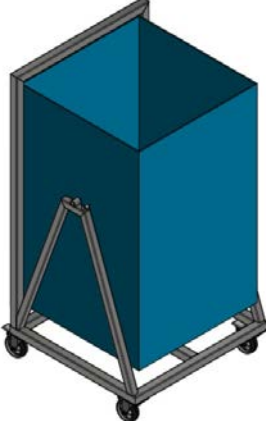
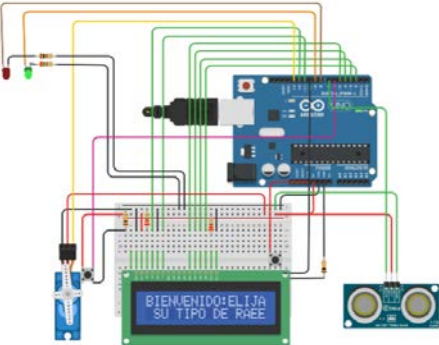
El modelo automatizado y la simulación final se detallan en el ANEXO C.

### **Experimento de ingeniería para verificación**

Acorde a las necesidades iniciales de nuestro cliente, la empresa “Proyección futura” la cual es considerada como un gestor ambiental, encargándose de fortalecer procesos de manejo de desechos. Esta empresa en búsqueda de gestionar los residuos RAEE, ha venido trabajando en conjunto con nosotros para realizar el diseño y manufactura de contenedores inteligentes. Ha petición de esta empresa se realizó una serie de requerimientos, los cuales deben ser analizados y solucionados de la mejor forma posible para que el cliente tenga un producto final el cual cumpla con todo lo requerido por nuestro cliente.

Los requerimientos solicitados por nuestro cliente fueron los siguientes:



REQUERIMIENTO	SOLUCIÓN	IMPLEMENTACION
El contenedor debe ser modular móvil	El diseño fue elaborado en CAD, y se realizó las modificaciones acordes a las retroalimentaciones del cliente, igualmente se diseñó un sistema de compuertas dentro del mismo diseño con el objetivo de clasificar los residuos TICS, grandes de los pequeños. Para establecer la medida de estas compuertas fue necesario realizar un estudio de los residuos más comunes para determinar cuáles serían depositados en cada una de las compuertas.	
El contenedor debe ser fácil de transportar desde el lugar de acopio hasta el lugar de recolección.	Se diseñó un sistema de movilización, en donde el contenedor interno se encuentra ubicado sobre un sistema pivotante el cual permite la fácil manipulación de este al momento de realizar el retiro de los residuos depositados. De igual manera se implementó ruedas a cada lado de la estructura pivotante las cuales ayudan y brindan mayor seguridad a la persona que transporte el contenedor.	
Diseñar un sistema que garantice la seguridad y protección de los residuos RAEE.	Se automatizo la mayoría de los componentes de nuestro contenedor, creando un sistema fácil de usar y a la vez amigable y práctico para el usuario. Se hizo uso de varios aparatos electrónicos como pantallas, sensores, pulsadores, luces, etc. Los cuales están incorporados dentro del mismo sistema. La programación de este se realizó en Tinkercad, un programa que permite realizar simulaciones de funcionamiento sin la necesidad de tener los componentes en físico, lo cual nos permite ahorrar tiempo y a la vez descartar cualquier fallo que se pueda presentar al momento de su implementación.	

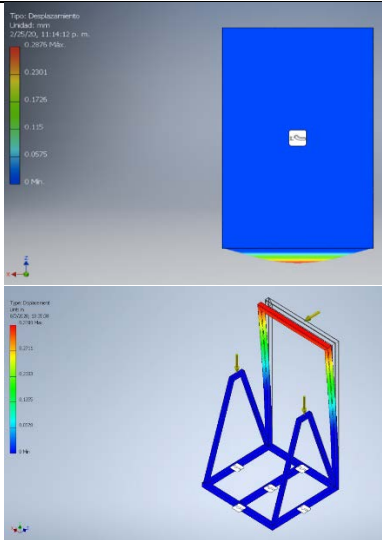
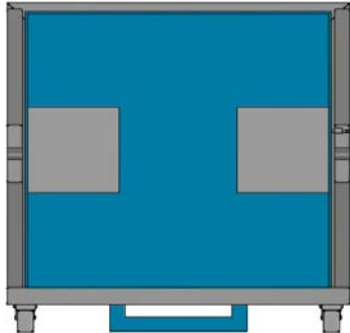

<p>La resistencia de la estructura del contenedor debe ser la adecuada para soportar cualquier tipo de maltrato.</p>	<p>Para poder garantizar al cliente la durabilidad y resistencia del contenedor, se realizaron una serie de simulaciones para cada estructura que conforma el contenedor en el programa inventor, y se las sometió ante situaciones extremas, las cuales difícilmente sucederán al momento de su uso.</p>	
<p>Diseñar un sistema que evite el maltrato de los electrónicos dentro del contenedor para que estos no se estropeen.</p>	<p>En el interior de cada contenedor se implementó cauchos cuadrados en los lados del contenedor, para esto se realizó los cálculos necesarios para poder determinar el espesor conveniente del caucho para que cree un amortiguamiento adecuado al momento de depositar algún objeto en el contenedor.</p>	
<p>El diseño del contenedor debe ser atractivo de tal manera que motive al consumidor a depositar residuos RAEE.</p>	<p>Se implementó un sistema inteligente el cual crea una interfaz muy amigable con el usuario. También se implementó un diseño externo llamativo con el fin de atraer la atención del usuario. Se realizaron varios diseños para la imagen externa en ilustrador, la cual se fue retroalimentando con nuestro cliente para que este quede conforme con su diseño y vista exterior.</p>	

Tabla 6: Validación de requerimientos de cliente.

### Plan de prueba de prototipo

Criterios de ingeniería	Consideraciones	Prueba	Rendimiento Predicho	Rendimiento Actual
Costos	Dentro del presupuesto	Costar menos de 800\$.	Alto	Alto
Facilidad de uso	Facilidad para que el usuario deposite los desechos	Escoger a 10 personas y entregarles aleatoriamente un RAEE e indicarles que lo deposite en el	Alto	Alto

		contenedor. Las 10 personas deben seleccionar la compuerta correcta.		
<b>Facilidad de transporte</b>	Facilidad de mover los contenedores internos y vaciar su contenido	Colocar 100 kg dentro del contenedor y escoger a una persona de contextura delgada indicándole que lo empuje por 100 metros.	Alto	Alto
<b>Resistencia del contenedor</b>	Resistencia a maltrato y condiciones adversas	Hacer un ensayo de flexión de la plancha posterior. Comprobar que resista una fuerza de 561 N que serían aplicados por una persona de contextura gruesa cargando un electrónico al apoyarse en dicha estructura. Para la prueba fuera del laboratorio se hace que una persona se apoye en la plancha posterior del contenedor y comprobar que no falle la misma.	Alto	Alto
<b>Comunicación al usuario</b>	Avisar al usuario cuando el contenedor esté lleno	Llenar el contenedor y comprobar se encienda la luz roja.	Alto	Alto
<b>Amortiguamiento de electrónicos</b>	Evitar que se dañen los electrónicos al ser depositados en el contenedor	Depositar una tostadora en el contenedor y comprobar que no se dañe al caer.	Alto	Medio
<b>Diseño innovador</b>	Motivar al usuario a reciclar	Hacer una encuesta a usuarios y al cliente respecto al diseño del contenedor.	Alto	Medio

*Tabla 7: Plan de prueba de Prototipo.*

A continuación, se procede a realizar el documento de verificación que el grupo utilizará para verificar cada criterio del plan de pruebas del prototipo. En la siguiente tabla se detallan los criterios seleccionados, las consideraciones que se tomarán en cuenta y en caso de existir observación alguna se detallará en el espacio correspondiente.

<i>Verificación del plan de prueba del prototipo</i>								
N°.	Criterios de ingeniería	Consideraciones	Fecha de			Verificación		Obsevaciones
			DD	MM	AA	Ok	Rev.	
1	Costos	Dentro del presupuesto						
2	Facilidad de uso	Facilidad para que el usuario deposite los desechos						
3	Facilidad de transporte	Facilidad de mover los contenedores internos y vaciar su contenido						
4	Resistencia del contenedor	Resistencia a maltrato y condiciones adversas						
5	Comunicación al usuario	Avisar al usuario cuando el contenedor esté lleno						
6	Amortiguamiento de electrónicos	Evitar que se dañen los electrónicos al ser depositados en el contenedor						
7	Diseño innovador	Motivar al usuario a reciclar						

*Tabla 8: Documento de verificación de cada criterio del plan de pruebas del prototipo.*

### **Seguridad a través del diseño**

Cuando se realiza un proyecto siempre es necesario considerar e identificar los posibles riesgos que pueden surgir en cualquier etapa de su realización. Esto es muy importante porque los riesgos existentes en un proyecto pueden retrasar o inclusive evitar que el proyecto se termine. Por esta razón, se identificarán los posibles riesgos del proyecto Contenedor modular para residuos RAEE para que mediante el análisis de estos se puedan tomar medidas para gestionarlos o manejarlos de la mejor manera posible y así reducir su impacto en el proyecto. Para el análisis se utilizarán las siguientes tablas para valorar tanto cualitativamente como cuantitativamente los riesgos del proyecto.

<b>Impacto</b>	Severo			
	Mediano			
	Bajo			
	Nulo			
		Baja	Media	Alta
		<b>Probabilidad</b>		

*Tabla 9: Valoración Cualitativa.*

<b>Impacto</b>	5					
	4					
	3					
	2					
	1					
		1	2	3	4	5
		<b>Probabilidad</b>				

*Tabla 10: Valoración Cuantitativa.*

Posteriormente, se utilizará una tabla para registrar y monitorear los riesgos encontrados, así como la decisión tomada para manejarlos de una manera adecuada. Se muestran los resultados obtenidos del análisis de riesgos y plan de gestión del proyecto en el ANEXO D.

De la tabla que se encuentra en el ANEXO D, se escogió los riesgos con la máxima prioridad para describir su posible impacto y como se los va a gestionar.

*Riesgo: Maltrato de residuos RAEE al momento de ser depositados en el contenedor.*

*Prioridad: 16*

La principal razón de este proyecto es el acopio eficiente de residuos RAEE para que estos sean tratados y reciclados de una manera eficiente, esto permitirá la conservación de los

recursos y la protección del medio ambiente. Estos residuos deben estar en un buen estado, es decir, ciertos componentes de los residuos no deben estar destruidos y dañados ya que no podrán ser tratados ni reciclados por la empresa. Por esta razón, se pretende diseñar un mecanismo que amortigüe o disminuya el impacto de los equipos que sean depositados en el contenedor. Para lo cual se deberá tomar en cuenta el tamaño de los residuos RAEE, y el tamaño y altura del contenedor. De esta manera, se protegerá la integridad de los residuos RAEE.

*Riesgo: Daño en los componentes electrónicos que se instalaran para la automatización del contenedor.*

*Prioridad: 12*

El objetivo del proyecto es diseñar un contenedor automatizado para residuos RAEE, por consiguiente, este contara con equipos y partes tanto eléctricas como electrónicas para su funcionamiento. Entre estos componentes existen algunos (sensores, Arduino, etc.) que necesitan ser protegidos para que no reciban algún daño ya que se podría comprometer el funcionamiento del contenedor. Por esta razón, se pretende diseñar en el contenedor un compartimiento para resguardar y sujetar los componentes electrónicos más delicados. Este debe contar con una cerradura para que el personal autorizado puede acceder al compartimiento para mantenimiento y actualizaciones.

*Riesgo: Falta de acogida por parte de las personas hacia el proyecto*

*Prioridad: 16*

Es un punto importante en el que se debe enfocar, un diseño innovador y una interfaz amigable con el usuario convertiría el proyecto en el foco de atención de muchas personas y empresas que actualmente han hecho énfasis en el tema del reciclaje, esto ayudaría que el proyecto se logre expandir hacia nuevas ciudades e incluso dependiendo de la acogida expandirse a nivel internacional. Hemos presenciado como la cultura del reciclaje ha ido

cambiando en los últimos años y como está cada vez tiene más acogida por parte de las personas. Es por esto por lo que se trabajará con programas adecuados, realizando cambios constantes en el diseño e interfaz conforme se vaya realizando retroalimentaciones de las personas.

*Riesgo: Desprendimiento del “Brandeo” del contenedor*

*Prioridad 12*

Un punto que le interesa al cliente es que el contenedor sea atractivo y que la imagen de la empresa se pueda plasmar en el mismo. En vista de que los contenedores estarán ubicados en puntos con gran afluencia de gente como centros comerciales el brandeo debe permanecer en buen estado para no afectar la imagen de estos lugares. Por esta razón se debe colocar el brandeo tomando en cuenta un material duradero y que su instalación sea la adecuada para que no se desprenda con el tiempo.

## **Resultado, discusión y conclusiones**

### **Sistema de Movilización.**

La estructura para el sistema de movilización está compuesta por dos partes, la estructura en la que se ubican las ruedas y la estructura que permitirá el pivote del contendor. Se utilizaron los conceptos de teoría de falla estática y la teoría de falla por carga variable para encontrar el espesor adecuado de los perfiles que se utilizarán en ambas partes. Para la estructura en la que se ubican las ruedas se utilizará tubos de perfil cuadrado de Acero Estructural (ASTM – A36) de 30mm de lado y 2mm de espesor. Para la estructura que permitirá el pivote del contendor se utilizará tubos de perfil cuadrado de Acero Estructural (ASTM – A36) de 25mm de lado y 1,5mm de espesor. Para ambos casos el factor de seguridad satisface y es mayor al factor de seguridad establecido de  $n = 1,5$ . Además, los resultados obtenidos de la simulación muestran que de la figura 49 (ANEXO C) se puede observar que la sección inferior de la estructura de agarre es la que sufre más esfuerzo que el resto de la estructura. Los esfuerzos varían entre 8,32 kpsi y 16,63 kpsi, es decir, de 57,4 y 114,7 MPa. De los cálculos el esfuerzo máximo resultante de esta sección fue de 94,94 MPa, este esfuerzo se encuentra dentro del rango de la simulación.

Por lo tanto, gracias a la simulación se puede concluir que los componentes seleccionados para el análisis y los resultados de diseño obtenidos son los correctos. De la figura 50 (ANEXO C) se puede observar que componente sufre el mayor desplazamiento, en este caso la sección de agarre de la estructura. El desplazamiento obtenido fue de 0,3388 in (0,86cm). Este desplazamiento es muy pequeño lo que indica que los perfiles seleccionados son lo correctos.



**Estructura interna.**

La estructura interna es aquella que acopiara los Residuos RAEE para su traslado, esta tiene una forma simétrica rectangular, la cual después de haberla analizado bajo los distintos esfuerzos existentes, se ha determinado que el espesor ideal a utilizarse sería de 4mm para una plancha de Acero Estructural (ASTM – A36), con la cual el factor de seguridad se satisface, siendo este mayor al establecido de  $n = 1,5$ . Respecto a las simulaciones generadas se pudo constatar que la deformación máxima generada es menor a 0,3 mm, lo que permite concluir que los componentes seleccionados para el análisis de diseño son los correctos y no generarán problemas en su desempeño.

**Estructura externa.**

La estructura externa fue analizada de tal manera que soporte la mayor carga posible tanto de apoyo como de impacto, se realizó el análisis correspondiente para poder determinar el espesor adecuado para las planchas de PVC a usarse. Se estableció un factor de seguridad mayor a  $n = 1,5$ , un factor un poco alto, se debe tener en cuenta que este al estar a la intemperie se necesita que sea durable y resistente, es así como se determinó que el espesor a usarse es de 7 mm, esto se verificó realizando los cálculos para el mismo cuerpo, pero en fatiga, los resultados fueron similares por lo que el espesor fue el mismo. Todo esto con el objetivo también de cumplir con los requerimientos del cliente de durabilidad.

**Atenuación de impacto.**

Los cálculos para el caucho se hicieron para determinar cuál es el espesor que este debe tener para que su extremo tenga una deflexión de 10cm cuando se aplica una fuerza de 20N la cual sería causada por un dispositivo de 2kg. Esta deflexión ayudaría a que el dispositivo pueda pasar la barrera del caucho y al mismo tiempo su caída sea amortiguada.

**Perno.**

En los cálculos realizados para determinar el diámetro necesario para los pernos que soportan con contenedores se obtiene que el diámetro de cada perno para soportar la carga de 473,34N es de 6,464 mm con un factor de seguridad mayor a  $n = 1,5$ . Sin embargo, por cuestiones de seguridad y durabilidad del contenedor se decide usar un perno de ½ pulgada que a la vez es mucho más accesible conseguirlo en el mercado. Por lo tanto, al sobredimensionar el perno a esta dimensión se considera que existirá una mayor seguridad y vida útil del mismo, así como también se considera innecesario realizar los cálculos para cuando el perno se encuentre a fatiga puesto al nuevo diámetro a usarse.

**Soldadura.**

La estructura para el sistema de movilización está compuesta por dos partes, la estructura en la que se ubican las ruedas y la estructura que permitirá el pivote del contenedor. Para estas estructuras se utilizará un proceso de soldadura conocido como Soldadura con arco de metal protegido (SMAW-Shield Metal Arc Welding). Este proceso consiste en usar un electrodo consumible recubierta de materiales químicos, los cuales le proporcionan un fundente y protección a la soldadura (Groover, 2007). Se selecciono, para este proceso, el electrodo Indura 90 (Clasificación AWS: E-6013 / E-4313). Este electrodo es seleccionado porque es utilizado para soldar aceros al carbono y produce un arco eléctrico estable y muy suave, además este electrodo tiene baja penetración lo cual es útil para los espesores de perfil que se van a utilizar (Indura, n.d.). De la figura 73 (ANEXO C) el electrodo seleccionado tiene de diámetro 4,0 mm y longitud de 350 mm, además el amperaje seleccionado es de 150 A con un voltaje de 220V. El factor de seguridad obtenido para el proceso de soldadura y es mayor al factor de seguridad establecido. Por lo tanto, se utilizará el electrodo Indura 90 para la construcción de la estructura del sistema de movilización del contenedor.

### **Diseño para la Fabricación.**

Existen 3 componentes a fabricar, la estructura para el sistema de movilización, estructura interna y la estructura externa. La figura 14 nos muestra el Diagrama de flujo de manufactura desde la adquisición de los materiales a utilizar hasta el proceso de ensamblaje del contenedor. También, se estableció un cronograma para la fabricación del contenedor, en la tabla 24 se muestra el día, los encargados y las tareas que deben realizar. Además, para verificar el diseño del proyecto, en la tabla 25 se indican las dimensiones de las partes del contenedor que se van a verificar detallando el procedimiento estándar para verificar las dimensiones y tolerancias. La tolerancia general del proyecto es de  $\pm 1,0$  mm. Finalmente, se realizó un documento de lista de verificación que el ingeniero responsable utilizará para verificar las dimensiones y tolerancias de los diferentes componentes del contenedor. En la tabla 26 se detallan las partes del contenedor que se van a verificar, el equipo de medición que se utilizará, el miembro responsable del grupo para verificar las medidas y en caso de existir observación alguna se detallará en el espacio correspondiente.

### **Seguridad a través del diseño.**

Los riesgos expuestos anteriormente, fueron mitigados de distintas formas. Para el caso de evitar el maltrato de los RAEE, se implementó un sistema de atenuación de impacto mediante dos cauchos, así también el desliz de estos mediante la parte posterior de las compuertas y el sistema de pivote; ayudando a reducir de gran forma el impacto de estos. Respecto a los componentes de automatización, estos se encontrarán en un compartimento situado en la parte interna del contenedor, donde no estarán expuestos a la intemperie, ayudando de esta manera a su conservación. Finalmente, en cuanto al brandeo, este ha sido el factor de mayor influencia respecto a llamar la atención del usuario y dar una apariencia vistosa y atractiva junto con el sistema de automatización. Con el fin de que el mismo se mantenga en buen estado, se han

eliminado las aristas vivas en el diseño y se ha programado un seguimiento periódico del estado de este para sustituirlo en el momento preciso.

### **Plan de prueba de prototipo.**

Se espera que el prototipo cumpla con todas las pruebas. Para comprobar el costo se sumarán todos los gastos y se comprobará que estos no superen 700\$. Para la facilidad de uso se espera que las 10 personas coloquen el electrónico que se les ha asignado en la compuerta correcta. Para la facilidad de transporte se espera que la persona empuje el contenedor por 100 metros con facilidad y lo vacíe mediante los métodos antes explicados. La prueba para resistencia del contenedor se podría hacer en laboratorio sin embargo por cuestión de costos se realizará solamente la prueba con la persona que se apoya y se comprobará que no exista ninguna grieta o que fleje el PVC. Para la comunicación con el usuario se espera que las luces de ambos contenedores se prendan una vez que los mismos se llenen. Para el amortiguamiento de los electrónicos se espera que al depositar una tostadora esta no sufra ningún daño. Para, el diseño se espera que los encargados del proyecto en “Proyección Futura” y los usuarios indiquen que el diseño del contenedor llama la atención y es innovador.

### **Trabajo Futuro**

La parte de diseño y teoría del proyecto está terminada y aprobada por la empresa “Proyección Futura” sin embargo aún está pendiente su construcción. El proyecto siempre tuvo una proyección a futuro con la finalidad de lograr una alianza con la empresa y poder proveerles de los contenedores. Por este motivo el primer paso es construir el prototipo. Una vez que tengamos listo el primer prototipo se lo presentará a la empresa para llegar a un acuerdo comercial respecto al precio. En caso de llegar a un acuerdo se pondrá en marcha la producción de más contenedores para lo que se hará la compra de materiales en una mayor cantidad con la finalidad de abaratar costos. Así también, se proseguirá con la implementación de materiales que ayuden al motivo de la campaña, es decir materiales reciclados o de bajo impacto para el

ambiente; para esto será necesario su previo estudio o recálculo, para así sustituir a los materiales actualmente empleados en el proyecto. La empresa Proyección Futura tiene planeado implementar pocos contenedores en un principio, pero la finalidad del proyecto es que estos contenedores se ubiquen en toda la ciudad de Quito.

## REFERENCIAS

- Baldé, C. P., Forti, V., Gray, V., Kuehr, R., & Stegmann, P. (2017). *Cantidades, Flujos, y Recursos Observatorio mundial de los residuos electrónicos 2017*.
- Budynas, R., & Nisbett, J. (2015). *Shigley's Mechanical Engineering Design* (Tenth Edit). McGraw-Hill Education.
- Calculadora libre de la viga / Momento de flexión, Cizalla fuerza y la deformación de la calculadora / SkyCiv*. (n.d.). Retrieved February 25, 2020, from <https://skyciv.com/es/free-beam-calculator/>
- Comercio, E. (1954). Arquitectura y urbanismo de Quito. *El Comercio*, 3445, 12.
- Damanhuri, E. (2012). *POST-CONSUMER WASTE RECYCLING AND OPTIMAL PRODUCTION Edited by Enri Damanhuri*. [www.intechopen.com](http://www.intechopen.com)
- Disipador CPU: tipos, instalación y guía comparativa*. (n.d.). Retrieved February 25, 2020, from [https://www.pccomponentes.com/tipos-disipador-cpu-instalacion?\\_\\_cf\\_chlaptcha\\_tk\\_\\_=37dbc44bbb337e03498a472ea0d8372dc3eea456-1582649895-0-AfKCrFUEBVxyOS5K25wKhknx\\_w1LIETozJGMNB5OfL6E1ssS8csf9KbpLX5WLMsGbkL9QwGf6AIzbuJfdCZ6lYIcE8fgQBjMdd-Vbkwqzswv4iTdhrBI7](https://www.pccomponentes.com/tipos-disipador-cpu-instalacion?__cf_chlaptcha_tk__=37dbc44bbb337e03498a472ea0d8372dc3eea456-1582649895-0-AfKCrFUEBVxyOS5K25wKhknx_w1LIETozJGMNB5OfL6E1ssS8csf9KbpLX5WLMsGbkL9QwGf6AIzbuJfdCZ6lYIcE8fgQBjMdd-Vbkwqzswv4iTdhrBI7)
- Groover, M. (2007). Fundamento de Manufactura Moderna. In *Efikasi Diri dan Pemahaman Konsep IPA dengan Hasil Belajar Ilmu Pengetahuan Alam Siswa Sekolah Dasar Negeri Kota Bengkulu* (Vol. 6). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Gumtow, K. (2016). *CITY OF SANTA BARBARA TRASH AND RECYCLING This guide will help you to design trash enclosures to City*. July.
- HP Monitor crt 17' V7650 - Monitor CRT - Los mejores precios / Fnac*. (n.d.). Retrieved

February 25, 2020, from <https://www.fnac.es/mp2073090/HP-Monitor-crt-17-V7650/w-4>

Indura. (n.d.). *Manual de sistemas y materiales de Soldadura*.

<http://www.indura.cl/Descargar/Manual de Soldadura>

INDURA?path=%2Fcontent%2Fstorage%2Fcl%2Fbiblioteca%2F00da6ac5e6754e428ecd94f1c78711cb.pdf

INEN. (2014). Gestión Ambiental. Estandarización De Colores Para Recipientes De Depósito Y Almacenamiento Temporal De Residuos Sólidos. Requisitos. *Ministerio de Industrias y Productividad, Ecuador*, 1–5.

[http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/249439/INEN+2841\\_Norma+de+colores.pdf/a7ef5d4c-b120-4b6e-8b3e-](http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/249439/INEN+2841_Norma+de+colores.pdf/a7ef5d4c-b120-4b6e-8b3e-6c895fa3cfb5;jsessionid=5fmsxHVNkhphFtYPvOIytAKO?version=1.0%0Ahttp://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/03/2841.pdf)

[6c895fa3cfb5;jsessionid=5fmsxHVNkhphFtYPvOIytAKO?version=1.0%0Ahttp://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/03/2841.pdf](http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/03/2841.pdf)

KF Plastics. (2017). *Coloured PVC Foam Board Sheet Supplier*.

<https://www.kfplastics.com.au/plastic-sheets/coloured-pvc-foam-board>

Lámina Galvanizada. (2016). *Losacero y otros productos en lámina y acero*.

<https://www.lamina-galvanizada.com/productos/>

Made-in-China. (2020). *Tolva de reciclaje de polvo grande - Tanque de recuperación de polvo de China, equipo de recubrimiento en polvo*. [https://m.made-in-](https://m.made-in-china.com/product/Big-Powder-Recycling-Hopper-796427675.html)

[china.com/product/Big-Powder-Recycling-Hopper-796427675.html](https://m.made-in-china.com/product/Big-Powder-Recycling-Hopper-796427675.html)

Moya, I. (2010). *Normas técnicas en el campo de gestión de residuos. Vehículos de recogida y contenedores de residuos*.

[https://www.ategrus.org/images/stories/residuos/recogida\\_transporte/limpur2010/imoya\\_aenor\\_2010.pdf](https://www.ategrus.org/images/stories/residuos/recogida_transporte/limpur2010/imoya_aenor_2010.pdf)

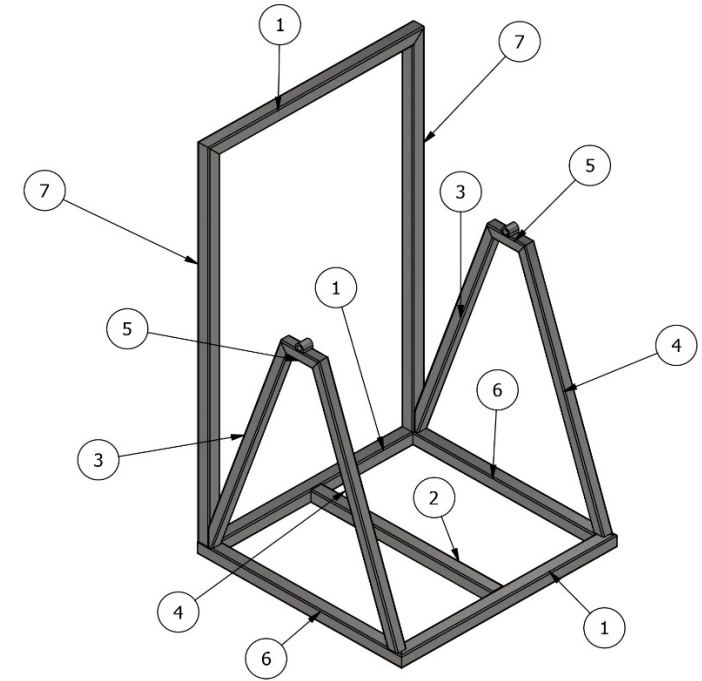
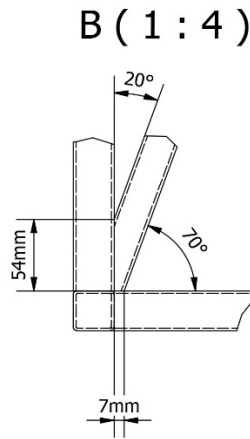
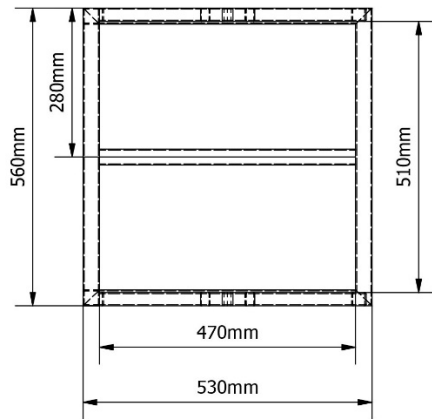
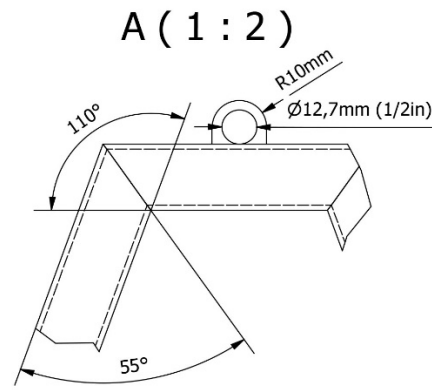
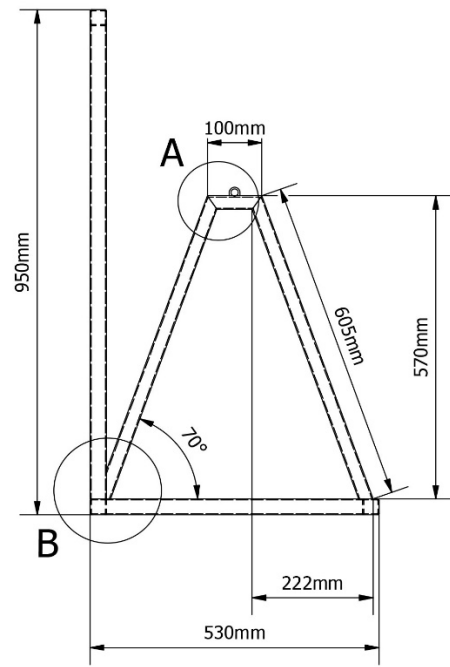
*Nueva normativa sobre residuos eléctricos y electrónicos • Ecologistas en Acción.* (2012, August 22). <https://www.ecologistasenaccion.org/23883/nueva-normativa-sobre-residuos-electricos-y-electronicos/>



## ANEXO A: DIBUJOS DE INGENIERÍA

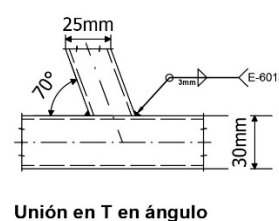
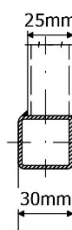
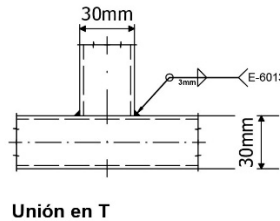
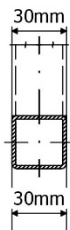
A continuación, se enumera la lista de los planos del contenedor para RAEE realizados por los miembros del grupo para facilitar el proceso de construcción.

- 1. Plano N°1** Estructura para el sistema pivote y de movilización – Contenedor RAEE.  
*Formato de Hoja: A3.*
- 2. Plano N°2** Estructura para la Carcasa – Contenedor RAEE.  
*Formato de Hoja: A2.*
- 3. Plano N°3** Estructura interna contenedor RAEE.  
*Formato de Hoja: A3.*
- 4. Plano N°4** Compuerta 50x50 cm del contenedor RAEE.  
*Formato de Hoja: A3.*
- 5. Plano N°5** Compuerta 30x30 cm del contenedor RAEE.  
*Formato de Hoja: A3.*
- 6. Plano N°6** Planchas laterales del contenedor RAEE.  
*Formato de Hoja: A3.*
- 7. Plano N°7** Plancha superior del contenedor RAEE.  
*Formato de Hoja: A3.*
- 8. Plano N°8** Plancha superior del contenedor RAEE.  
*Formato de Hoja: A3.*
- 9. Plano N°9** Plancha frontal del contenedor RAEE.  
*Formato de Hoja: A3.*
- 10. Plano N°10** Caucho amortiguador interno  
*Formato de Hoja: A4.*
- 11. Plano N°11** Explosión – Contenedor para reciclaje de aparatos eléctricos.  
*Formato de Hoja: A1.*



**Nota:**  
- Ángulo de corte para los extremos del perfil no acotados 45°.

**Tipo de Soldadura para la Estructura de Pivote y Movilización**



**Unión en T**

**Unión en T en ángulo**

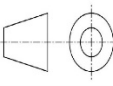
PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1680,000 mm	ISO 12633-2 - 30x30x2 - 560
2	470,000 mm	ISO 12633-2 - 30x30x2 - 470
3	1197,993 mm	ISO 12633-2 - 25x25x2 - 598,996
4	1210,980 mm	ISO 12633-2 - 25x25x2 - 605,49
5	200,000 mm	ISO 12633-2 - 25x25x2 - 100
6	1060,000 mm	ISO 12633-2 - 30x30x2 - 530
7	1840,000 mm	ISO 12633-2 - 30x30x2 - 920

Tolerancia ±1.0	Peso N/A
Fecha	Nombre
Dibujado 6/3/2020	Christopher Cali
Revisado 15/3/2020	Santiago Molina
Aprobado 4/4/2020	Martin Pastor

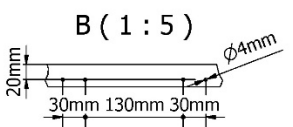
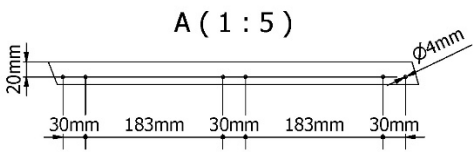
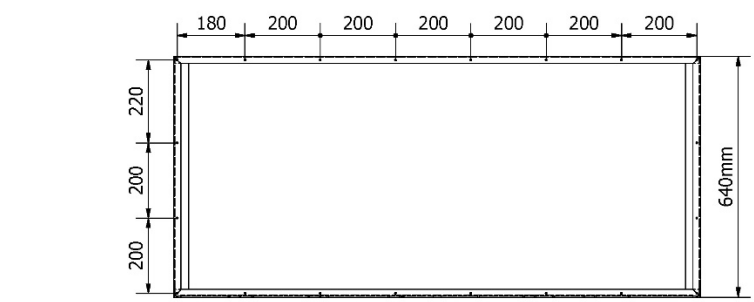
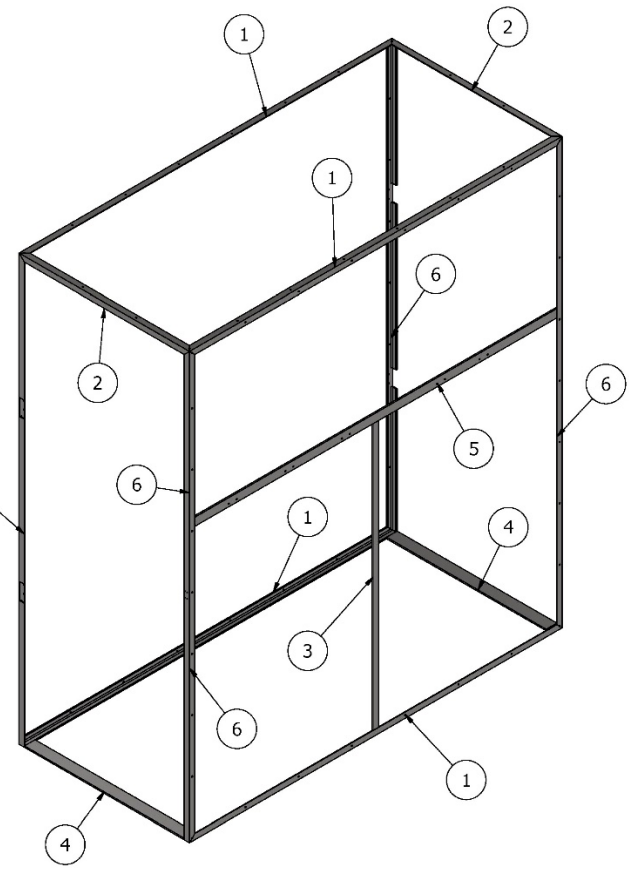
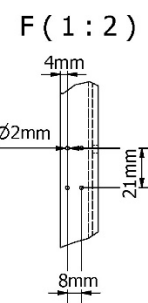
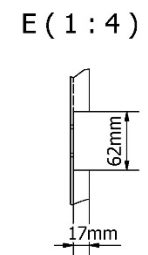
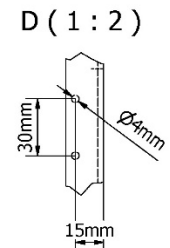
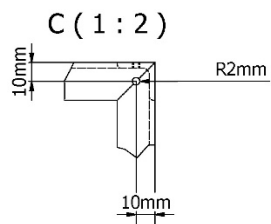
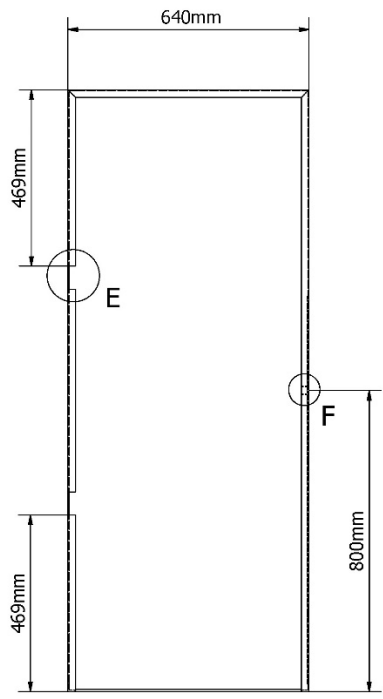
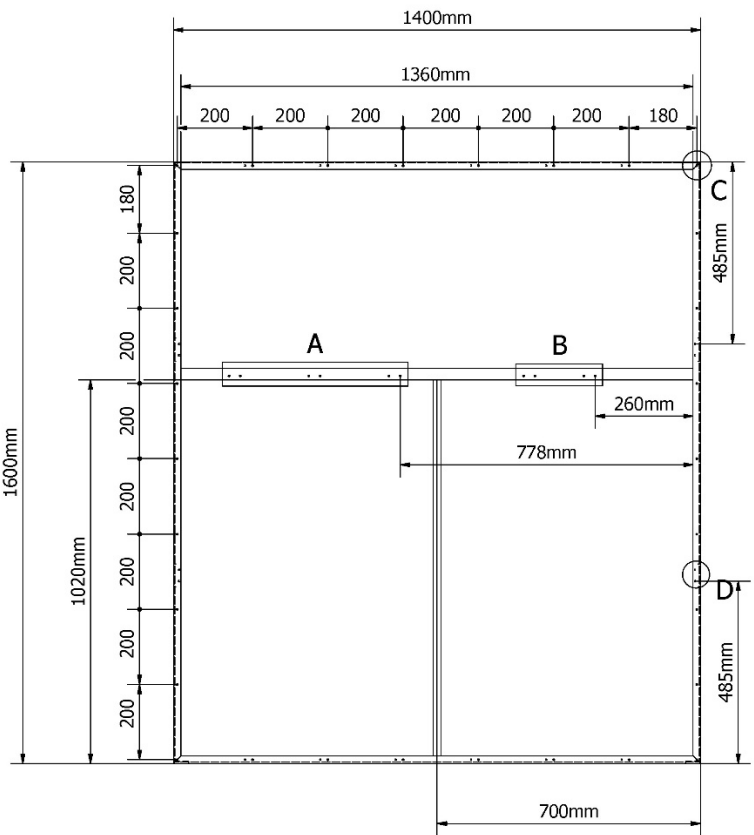
Acero Estructural ASTM - A36

Estructura para el sistema pivote y de movilización - Contenedor RAE

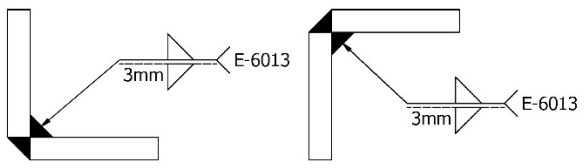
Código N/A      Trat. Superficial N/A      Hoja 1



Escala  
1 : 10



**Tipo de Soldadura para la estructura para la carcasa**



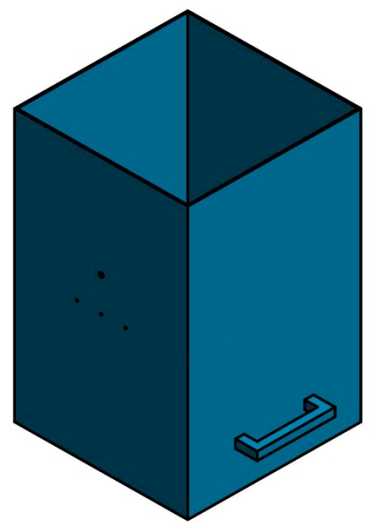
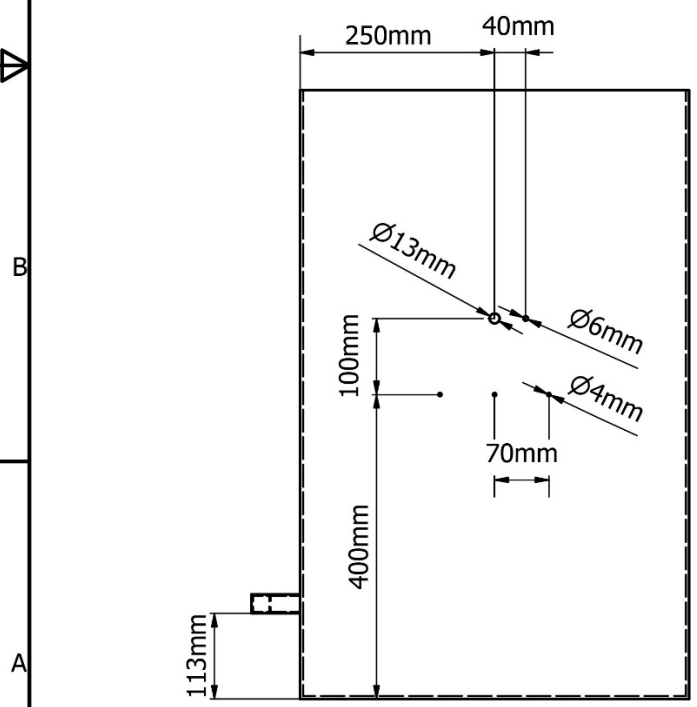
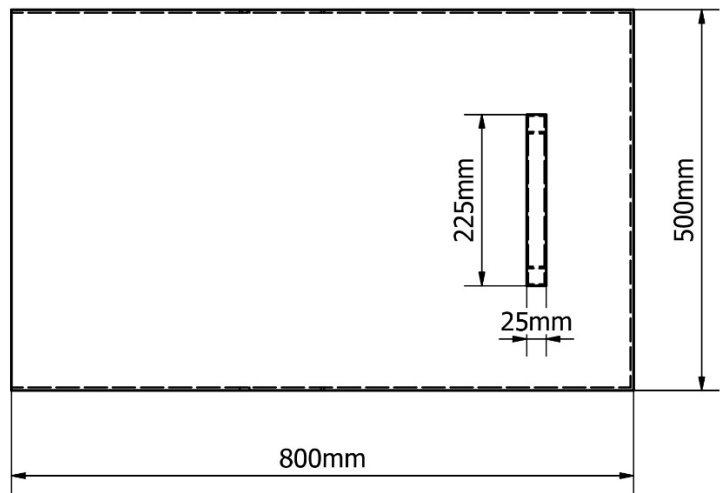
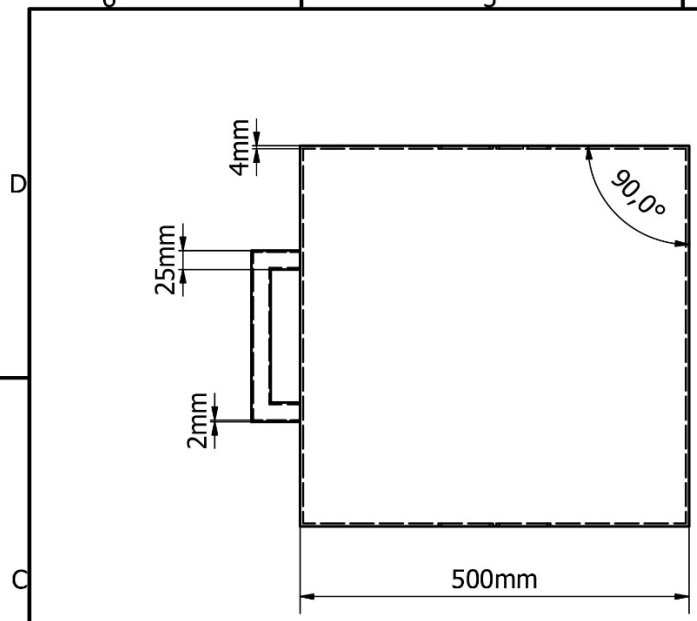
**Tipo de unión (Esquina)**

**Nota:**  
 - Ángulo de corte para los extremos del perfil no acotados 45°.  
 - Soldadura en esquina también puede tener un cordón de soldadura en el interior para mayor resistencia, pero no debe usarse para cargas pesadas.

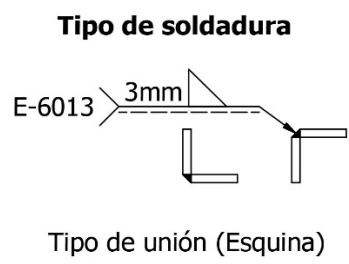
PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	5600.000 mm	ISO 657-1 - L20x20x3-1400
2	1280.000 mm	ISO 657-1 - L20x20x3-640
3	1000.000 mm	ISO 1035/3 - 20 x 5 - 1000
4	1200.000 mm	ISO 1035/3 - 40 x 5 - 600
5	1360.000 mm	ISO 1035/3 - 30 x 5 - 1360
6	6400.000 mm	ISO 657-1 - L20x20x3-1600

Tolerancia ±1.0	Peso N/A	Acero Estructural ASTM - A36		
Dibujado 14/4/2020	Fecha 14/4/2020	Estructura para la carcasa - Contenedor RAEE		Escala 1 : 10
Revisado 16/4/2020	Nombre Christopher Cali	Código N/A	Trat. Superficial N/A	Hoja 2
Aprobado 18/4/2020	Nombre Santiago Molina Martin Pastor			



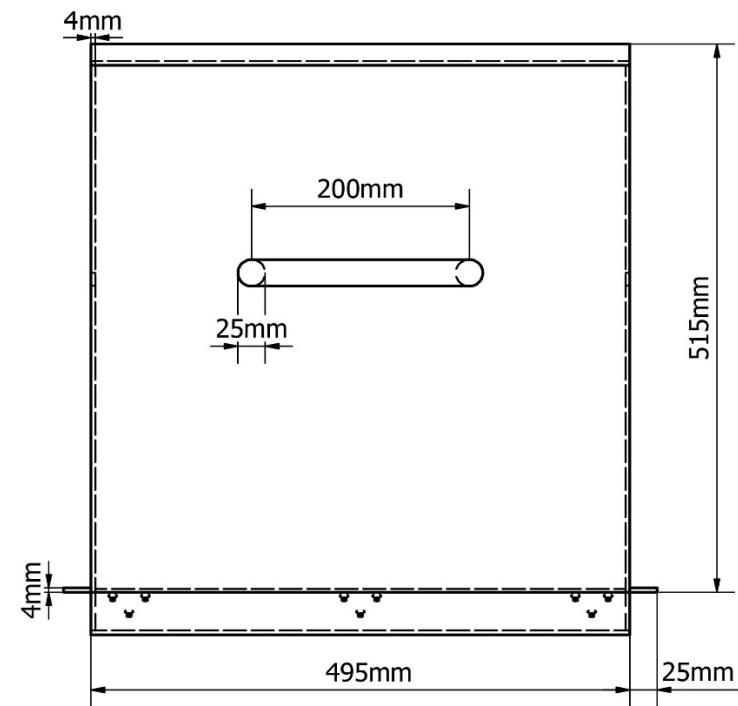
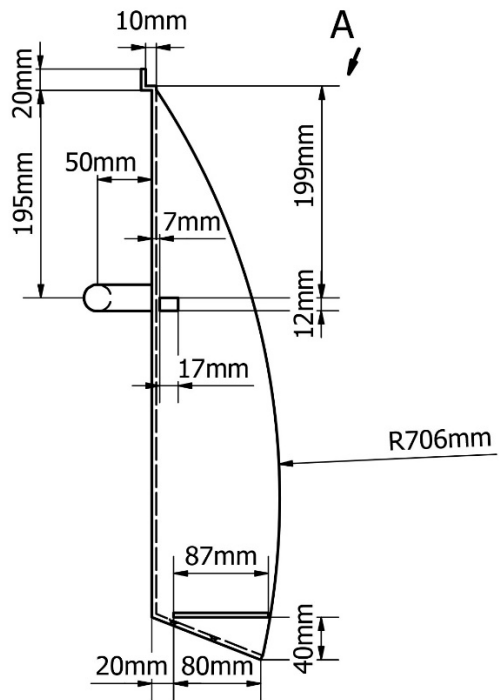


**Nota:**  
-Las distintas secciones se encuentran unidas por la soldadura especificada. Dichas secciones serán obtenidas por corte láser.



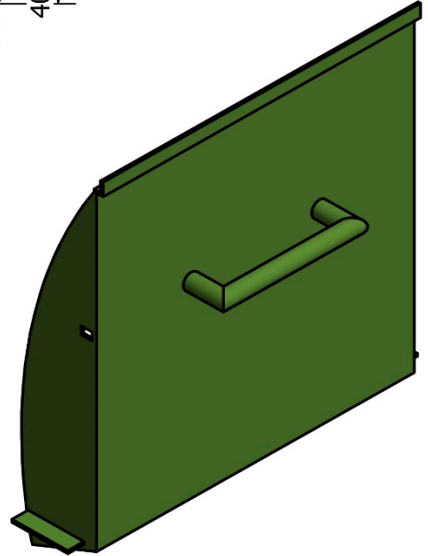
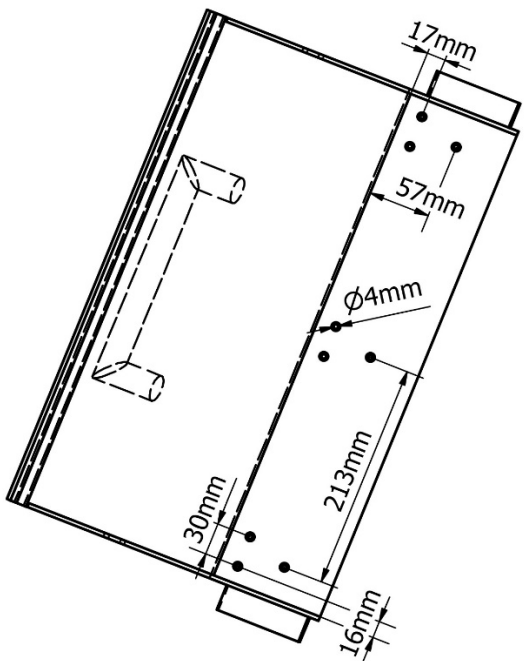
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Estructura interna	Acero Estructural ASTM - A36 de 4 mm

Tolerancia ± 1.0	Peso N/A	Acero Estructural ASTM - A36		
Dibujado 6/3/2020	Fecha Santiago Molina	Estructura interna contenedor RAEE		Escala 1:7
Revisado 15/3/2020	Nombre Martin Pastor			
Aprobado 4/4/2020	Nombre Nelson Sandoval			
		Código N/A	Trat. Superficial N/A	Hoja 3

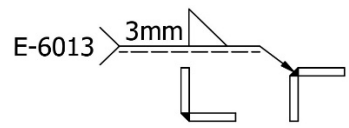


N10

A (1:5)



Tipo de soldadura



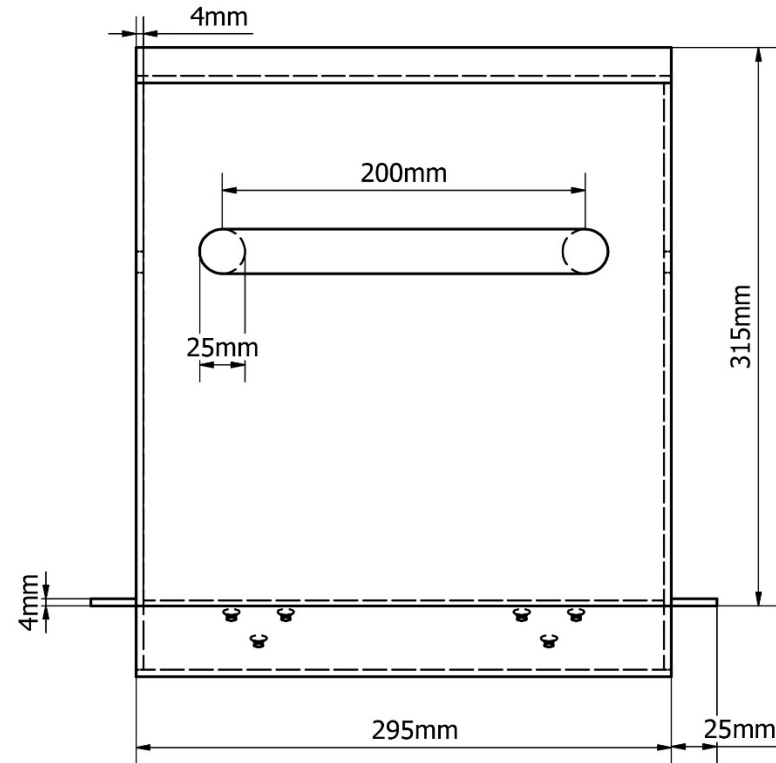
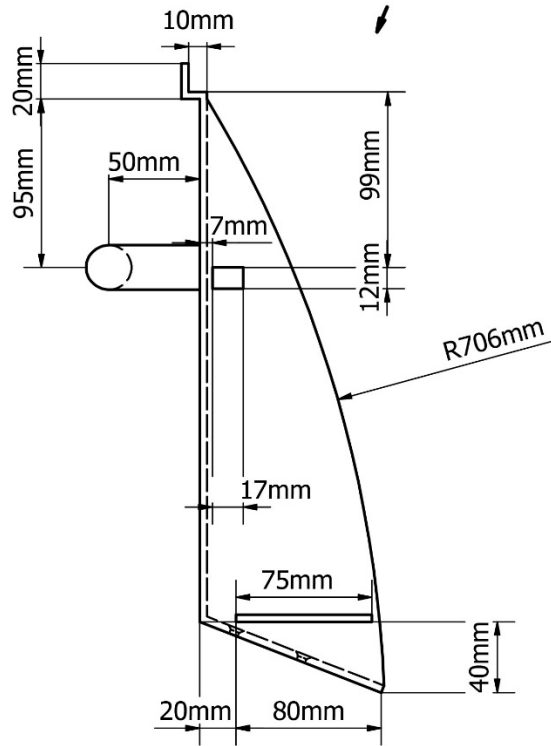
Tipo de unión (Esquina)

**Nota:**

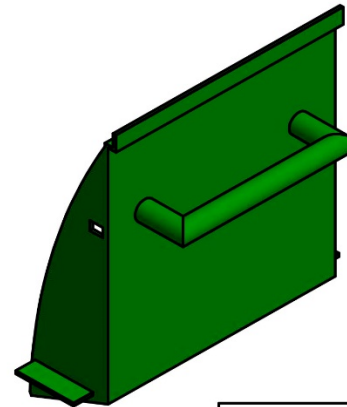
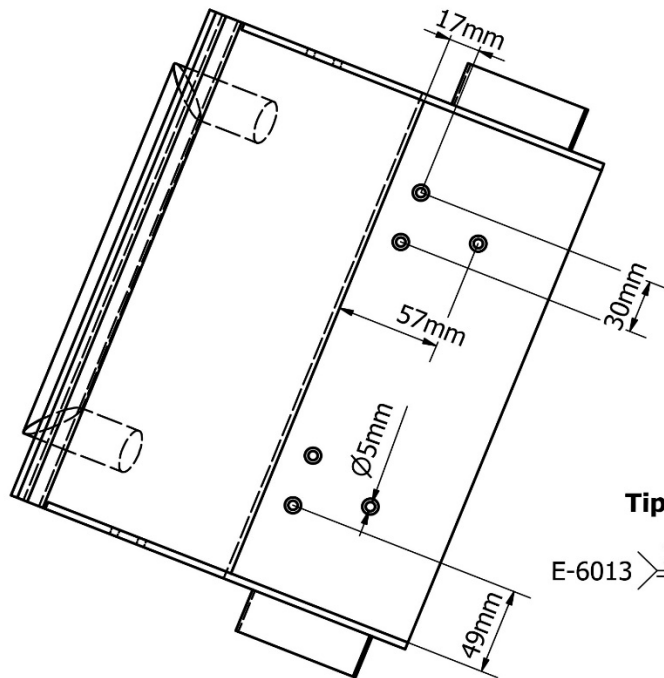
-Las distintas secciones se encuentran unidas por la soldadura especificada. Dichas secciones serán obtenidas por corte láser.

LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	compuerta 50x50	Acero Estructural ASTM - A36 de 4 mm

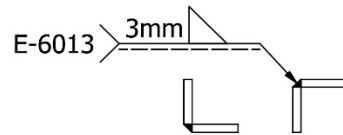
Tolerancia ± 1.0	Peso N/A	Acero Estructural ASTM - A36														
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Fecha</th> <th>Nombre</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Dibujado</td> <td>6/3/2020</td> <td>Santiago Molina</td> </tr> <tr> <td>Revisado</td> <td>15/3/2020</td> <td>Martin Pastor</td> </tr> <tr> <td>Aprobado</td> <td>4/4/2020</td> <td>Nelson Sandoval</td> </tr> </tbody> </table>			Fecha		Nombre	Dibujado	6/3/2020	Santiago Molina	Revisado	15/3/2020	Martin Pastor	Aprobado	4/4/2020	Nelson Sandoval	Compuerta 50x50cm del contenedor RAE	
	Fecha	Nombre														
Dibujado	6/3/2020	Santiago Molina														
Revisado	15/3/2020	Martin Pastor														
Aprobado	4/4/2020	Nelson Sandoval														
		Código N/A	Trat. Superficial N/A	Hoja 4												



B (1 : 3)



Tipo de soldadura



Tipo de unión (Esquina)

**Nota:**

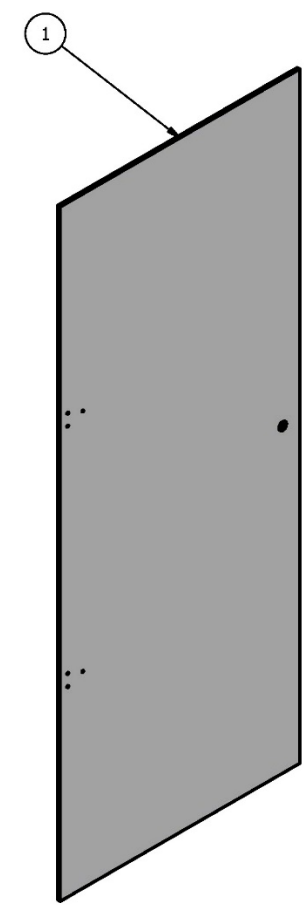
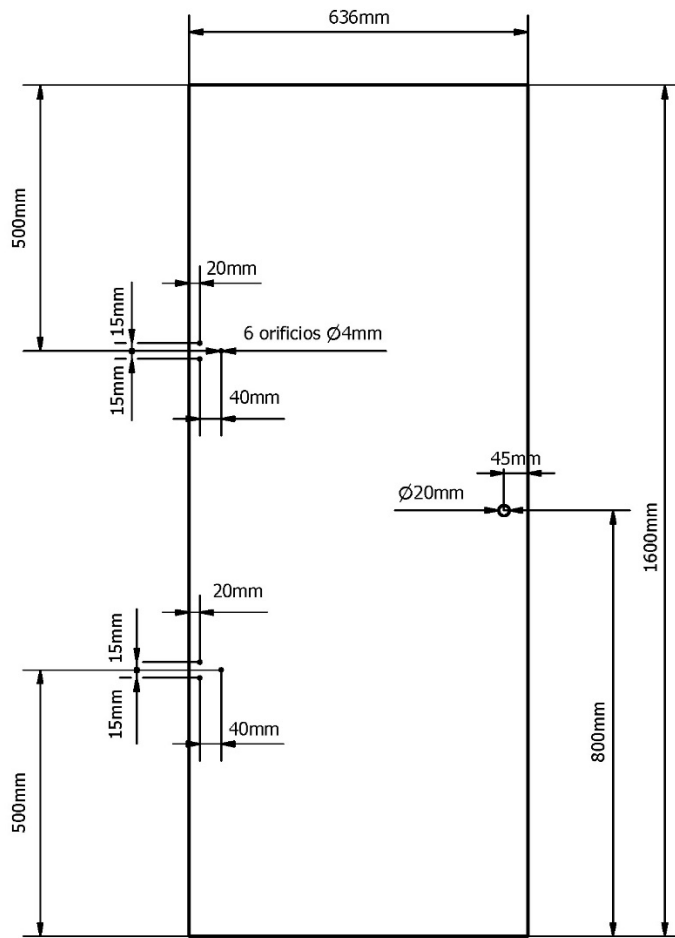
-Las distintas secciones se encuentran unidas por la soldadura especificada. Dichas secciones serán obtenidas por corte láser.

LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	compuerta 30x30	Acero Estructural ASTM - A36 de 4 mm

Tolerancia ± 1.0	Peso N/A	Acero Estructural ASTM - A36		
Dibujado 6/3/2020	Fecha 6/3/2020	Nombre Santiago Molina	Escala 1:3	
Revisado 15/3/2020	Fecha 15/3/2020	Nombre Martín Pastor		
Aprobado 4/4/2020	Fecha 4/4/2020	Nombre Nelson Sandoval		
		Código N/A	Trat. Superficial N/A	Hoja 5

N10



N10

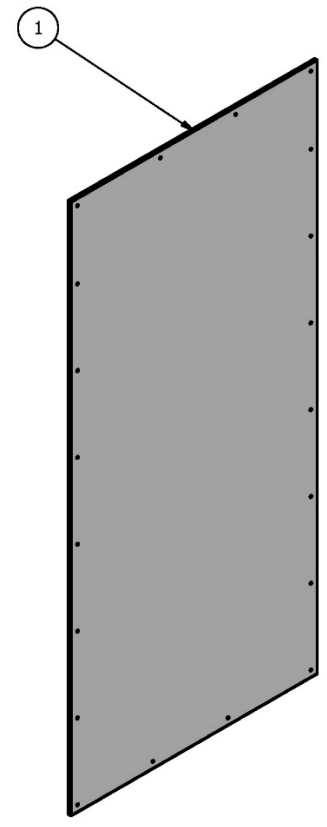
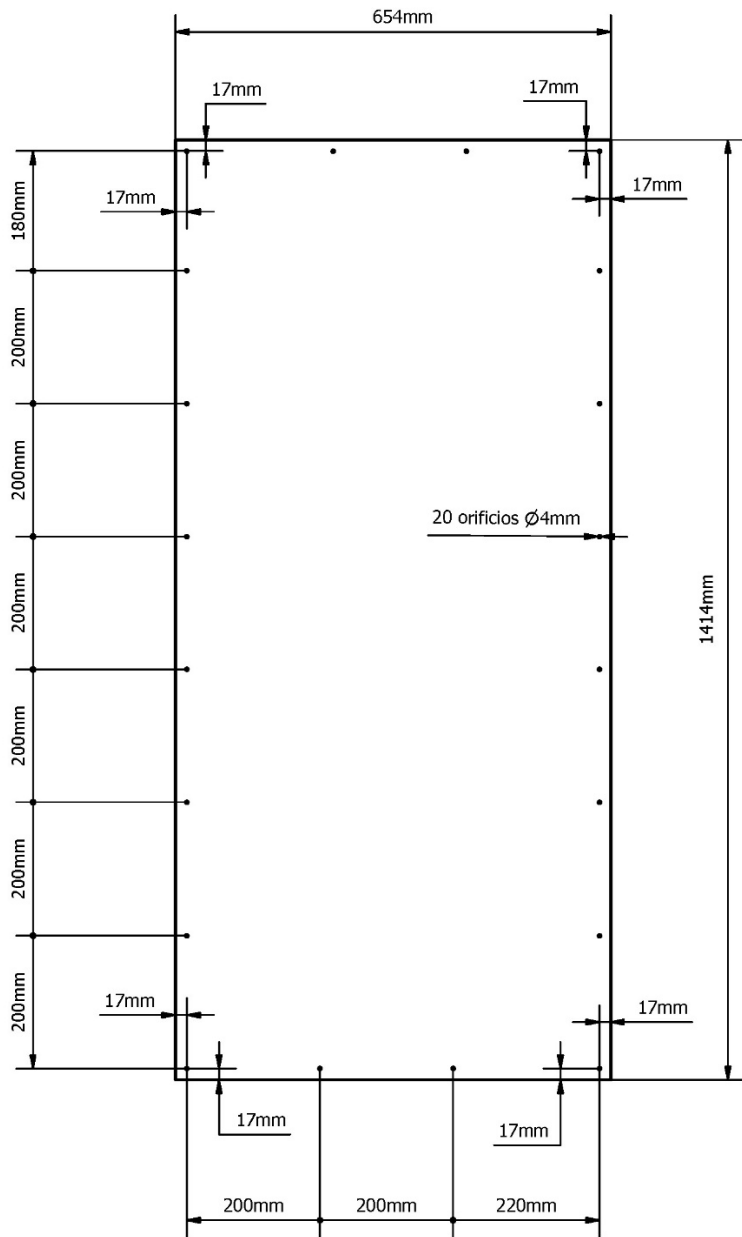
PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Planchas Laterales	PVC reciclado de espesor 0.7 mm

Tolerancia ±1.0	Peso N/A	PVC Reciclado		
Dibujado	Fecha	Nombre		
Revisado	10/3/2020	Santiago Molina		
Aprobado	12/4/2020	Martin Pastor		



Planchas laterales de contenedor RAEE		Escala 1 : 10
Código N/A	Trat. Superficial N/A	Hoja 6





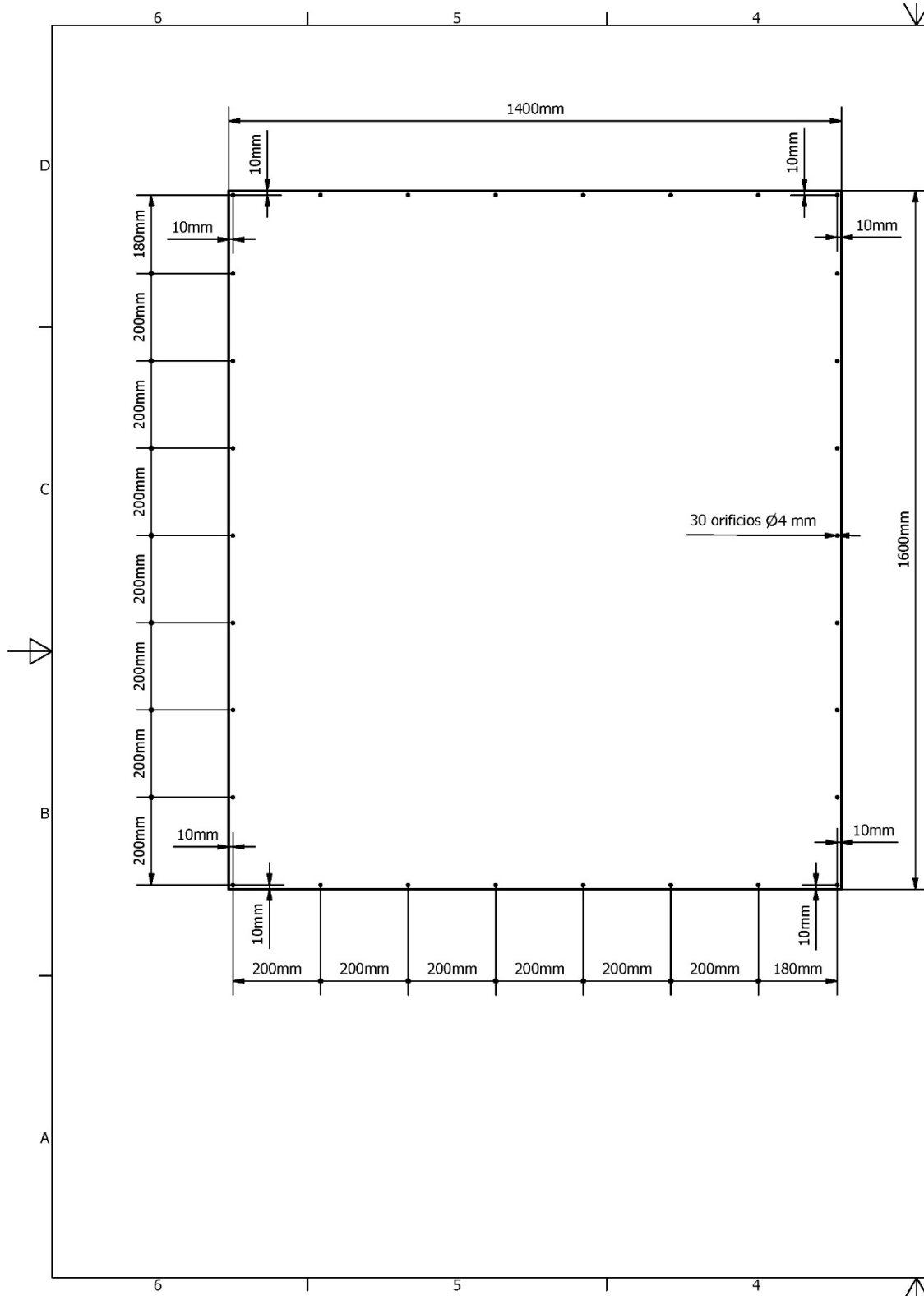
N10

PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Plancha Superior	PVC reciclado de espesor 0.7 mm

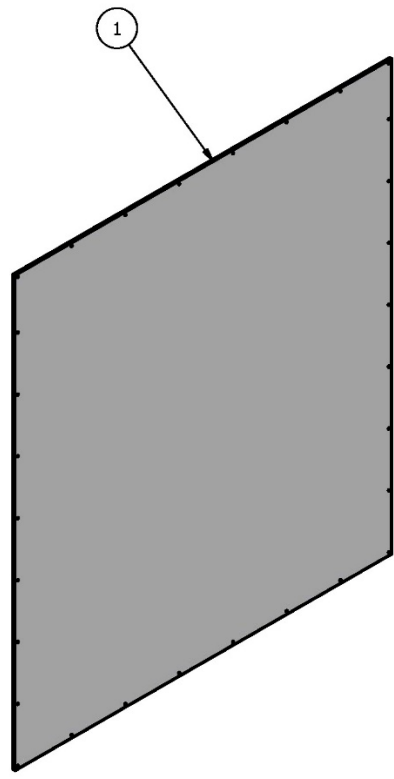
Tolerancia $\pm 1.0$	Peso N/A	PVC Reciclado		
Dibujado	Fecha	Plancha superior de contenedor RAEE		Escala 1:8
Revisado	Nombre			
Aprobado				

		Código N/A	Trat. Superficial N/A	Hoja 7
--	--	---------------	--------------------------	-----------





7mm



N10

PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Plancha Posterior	PVC reciclado de espesor 0.7 mm

Tolerancia ±1.0	Peso N/A	PVC Reciclado		
Dibujado	Fecha	Nombre		Escala 1:10
Revisado	12/3/2020	Nelson Sandoval		
Aprobado	11/3/2020	Santiago Molina		
		21/4/2020		Christopher Cali
		Código N/A	Trat. Superficial N/A	Hoja 8

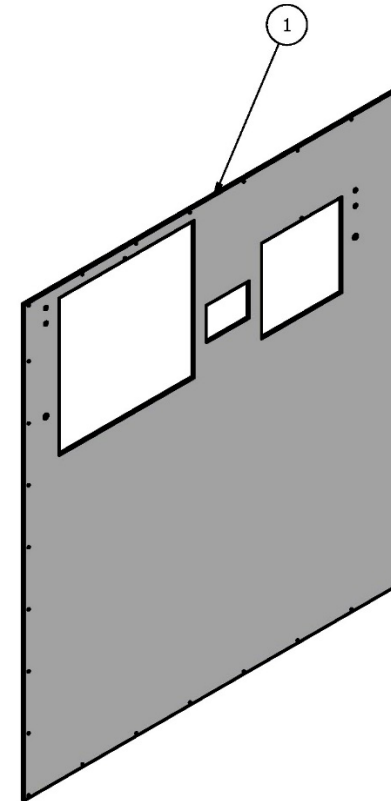
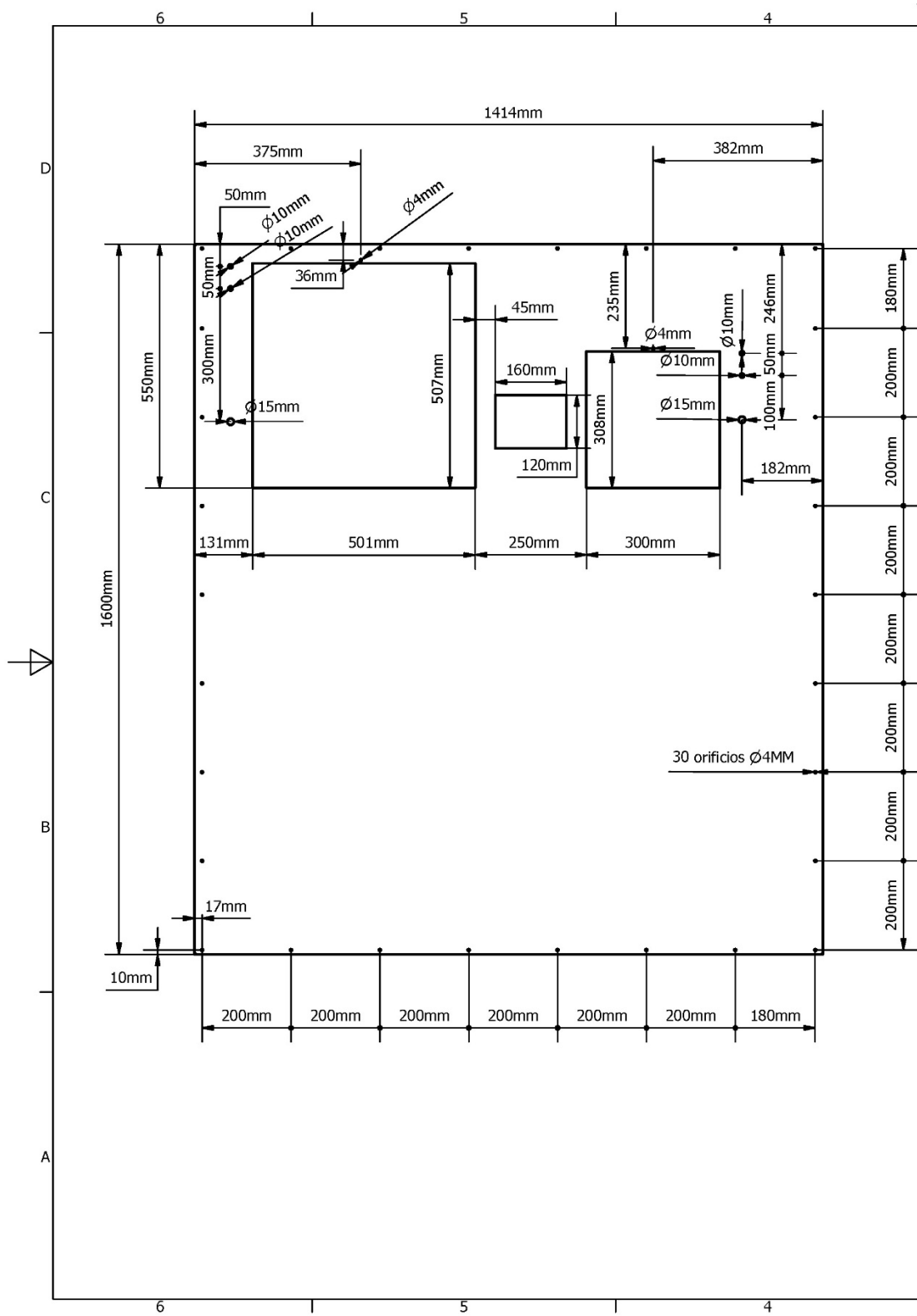
Dibujado	Fecha	Nombre	
Revisado	12/3/2020	Nelson Sandoval	
Aprobado	11/3/2020	Santiago Molina	
		21/4/2020	
		Christopher Cali	



Código  
N/A

Trat. Superficial  
N/A

Hoja  
8

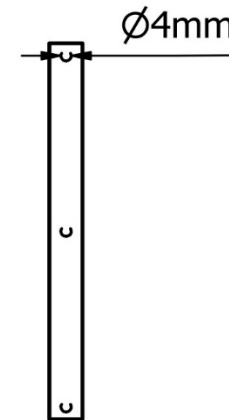
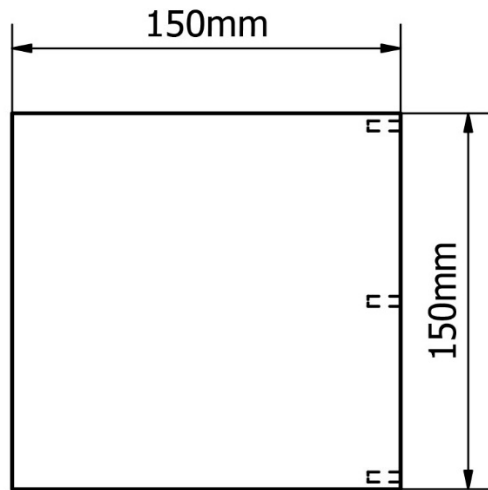


PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Plancha frontal	PVC reciclado de espesor 0.7 mm

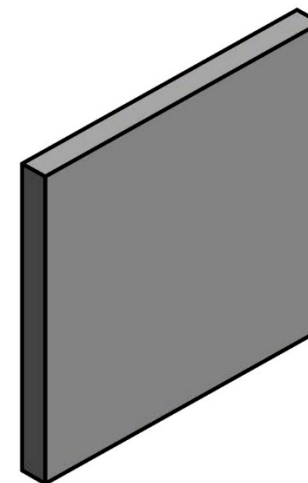
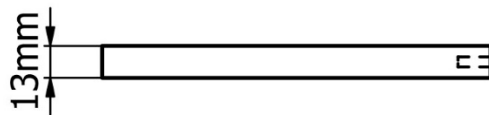
Tolerancia $\pm 1.0$	Peso N/A	PVC Reciclado		
Dibujado	Fecha	Nombre		Plancha frontal de contenedor RAEE
Revisado	9/3/2020	Nelson Sandoval		
Aprobado	11/3/2020	Santiago Molina		
	10/4/2020	Christopher Cali		Escala 1:10



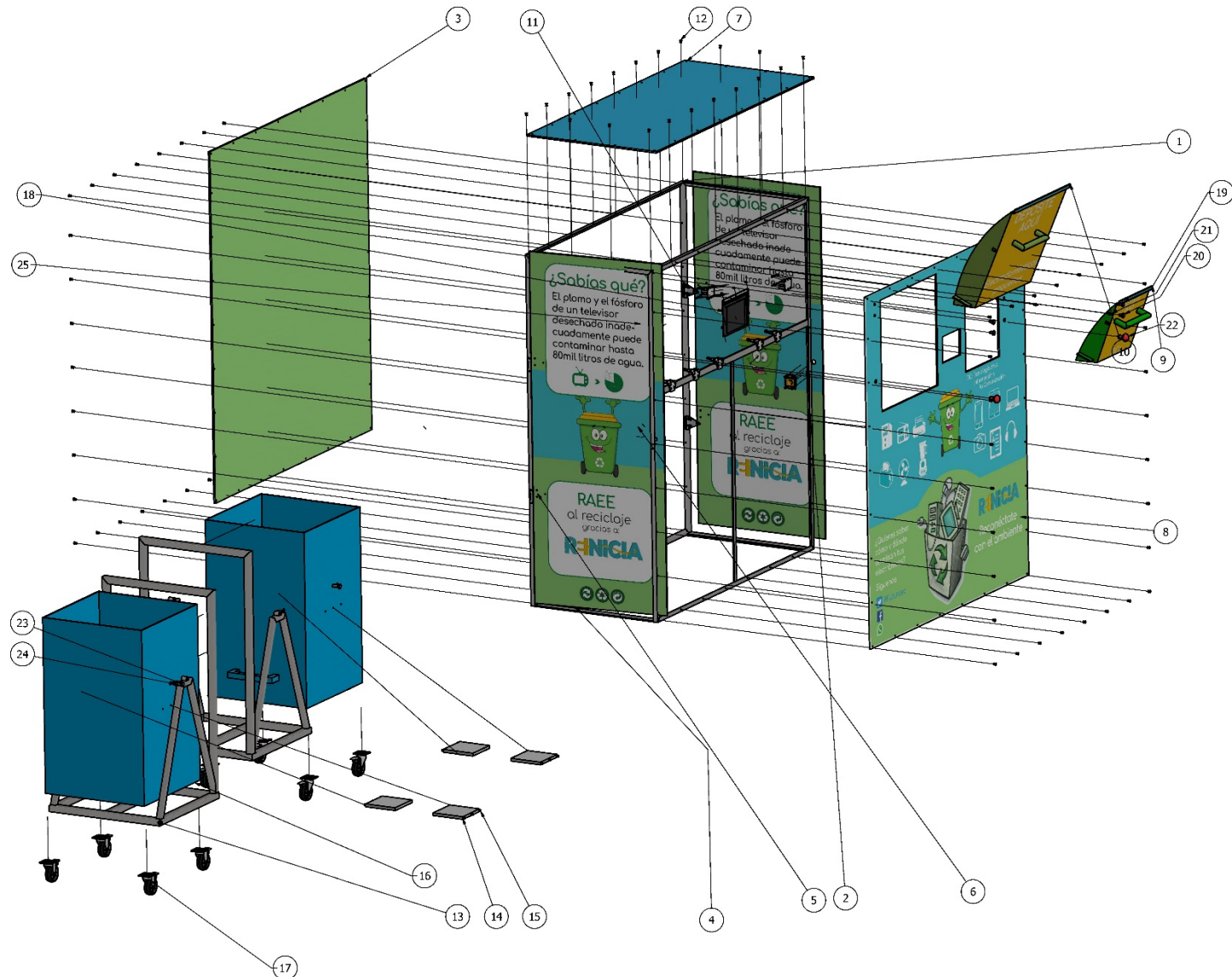
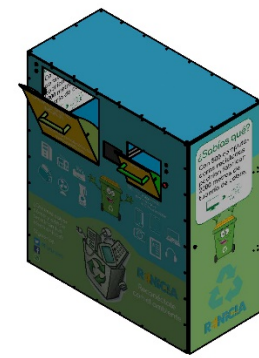
Código N/A	Trat. Superficial N/A	Hoja 9
---------------	--------------------------	-----------



N12



Tolerancia ± 1.0		Peso N/A	Caucho		
	Fecha	Nombre	Caucho amortiguador interior		Escala 1:3
Dibujado	27/4/2020	Martín Pástor			
Revisado	28/4/2020	Santiago Molina			
Aprobado	28/4/2020	Nelson Sandoval			
			Código N/A	Trat. Superficial N/A	Hoja 10



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1		Estructura para la carcasa - Contenedor RAEE
2	2		Pasador Puerta
3	1		Plancha posterior de contenedor RAEE
4	2		Planchas laterales de contenedor RAEE
5	9		Bisagra
6	2		Cerraduras laterales
7	1		Plancha superior de contenedor RAEE
8	1		Plancha frontal de contenedor RAEE ensamblada
9	1		Compuerta 30x30cm del contenedor RAEE
10	1		Compuerta 50x50cm del contenedor RAEE
11	53	ANSI B18.6.5M - 3.5 x 1.3 x 10 - AB - I	Tornillo roscado de cabeza plana avellanada empotrado en cruz tipo AB - Tipo I
12	80	Remaches GB 873 4 x 10 x 9	Remaches semi-tubulares de cabeza ovalada
13	2		Estructura para el sistema pivote y de movilización - Contenedor RAEE
14	4		Caucho
15	12	ISO 2009 - M3,5 x 6(1)	Tornillos de cabeza plana avellanados ranurados (estilo de cabeza común) - Producto de grado A
16	2		Estructura interna contenedor RAEE
17	8		Garruchas
18	1		Tablet
19	2		Luz Verde
20	2		Luz Roja
21	2		Sensor de cierre
22	2		Pulsador
23	4	AS 1110 - M12 x 45	Pernos y tornillos de precisión hexagonales métricos ISO
24	4	ANSI B18.2.4.2M - M12x1,75	Tuercas hexagonales métricas Estilos 2
25	3		Cerradura eléctrica

Fecha	Nombre	Varios materiales		Escala
Dibujado: 08/04/2020	Martin Pastor	Explosión Contenedor para reciclaje de aparatos electrónicos		1:10
Revisado: 15/04/2020	Svetlana Molina			
Aprobado: 15/04/2020	Reilson Sandoval			
USFQ				Hoja 11

## ANEXO B: CONCEPTOS DE DISEÑO Y SELECCIONES

### Concepto 1 (Diseño y forma del contenedor).

#### 1) Evaluación del peso específico de cada criterio.

*Precio > Mantenimiento > Seguridad*

Criterio	Precio	Seguridad	Mantenimiento	$\Sigma +1$	Pondera
Precio		1	1	3	0,5
Seguridad	0		0	1	0,167
Mantenimiento	0	1		2	0,333
			Suma	6	1

*Tabla 11: Evaluación del peso específico de cada criterio.*

#### 2) Evaluación del peso específico del criterio Precio.

*Solución A > Solución B > Solución C*

Precio	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma +1$	Pondera
Solución A		1	1	3	0,5
Solución B	0		1	2	0,333
Solución C	0	0		1	0,167
			Suma	6	1

*Tabla 12: Evaluación del peso específico del criterio Precio.*

#### 3) Evaluación del peso específico del criterio Seguridad.

*Solución A = Solución B > Solución C*

Seguridad	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma +1$	Pondera
Solución A		0,5	1	2,5	0,417
Solución B	0,5		1	2,5	0,417
Solución C	0	0		1	0,167
			Suma	6	1

Tabla 13: Evaluación del peso específico del criterio Seguridad.

4) Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento.

*Solución A > Solución B > Solución C*

Mantenimiento	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma +1$	Pondera
Solución A		1	1	3	0,5
Solución B	0		1	2	0,333
Solución C	0	0		1	0,167
			Suma	6	1

Tabla 14: Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento.

5) Tabla de conclusiones

Conclusión	Precio	Seguridad	Mantenimiento	$\Sigma$	Prioridad
Solución A	$0,5*0,5$	$0,417*0,167$	$0,5*0,333$	<b>0,4861</b>	<b>1</b>
Solución B	$0,333*0,5$	$0,417*0,167$	$0,333*0,333$	<b>0,347</b>	<b>2</b>
Solución C	$0,167*0,5$	$0,167*0,167$	$0,167*0,333$	<b>0,167</b>	<b>3</b>

Tabla 15: Tabla de conclusiones.

Una vez que se realizó las ponderaciones necesarias para cada uno de los criterios evaluados, se llega a la conclusión de que el diseño óptimo para el contenedor es la opción A, es decir el contenedor de forma cuadrada, esto tiene mucho sentido ya que este contenedor es el que menos material requiere y el menos complejo para su producción.

**Concepto 2 (Sistema de aviso y comunicación).**

6) Evaluación del peso específico de cada criterio.

*Precio > Seguimiento > Construcción*

Criterio	Precio	Construcción	Seguimiento	$\Sigma +1$	Pondera
Precio		1	1	3	0,500
Construcción	0		0	1	0,167

Seguimiento	0	1		2	0,333
			Suma	6	1,000

Tabla 16: Evaluación del peso específico de cada criterio.

### 7) Evaluación del peso específico del criterio Precio.

<i>Solución C &gt; Solución B &gt; Solución A</i>
---

Precio	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma +1$	Pondera
Solución A		0	0	1	0,167
Solución B	1		0	2	0,333
Solución C	1	1		3	0,500
			Suma	6	1,000

Tabla 17: Evaluación del peso específico del criterio Precio.

### 8) Evaluación del peso específico del criterio Construcción.

<i>Solución C = Solución B &gt; Solución A</i>
--

Construcción	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma +1$	Pondera
Solución A		0	0	1	0,167
Solución B	1		0,5	2,5	0,417
Solución C	1	0,5		2,5	0,417
			Suma	6	1,000

Tabla 18: Evaluación del peso específico del criterio Construcción.

### 9) Evaluación del peso específico del criterio Seguimiento.

<i>Solución A &gt; Solución B &gt; Solución C</i>
---

Seguimiento	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma +1$	Pondera
Solución A		1	1	3	0,500
Solución B	0		1	2	0,333
Solución C	0	0		1	0,167

Suma	6	1,000
------	---	-------

Tabla 19: Evaluación del peso específico del criterio Seguimiento.

### 10) Tabla de conclusiones.

Conclusiones	Precio	Construcción	Seguimiento	$\Sigma$	Prioridad
Solución A	0,083	0,028	0,167	<b>0,278</b>	<b>3</b>
Solución B	0,167	0,069	0,111	<b>0,347</b>	<b>2</b>
Solución C	0,250	0,069	0,056	<b>0,375</b>	<b>1</b>

Tabla 20: Tabla de conclusiones.

Ya comparados los diferentes criterios con sus soluciones, se concluye mejores opciones a elegir es la Solución B y C, la cual refiere a un sistema de control mediante ultrasonido y a un sistema de conteo mediante botones y sistema de alerta de llenado por luz, respectivamente. Es así como se buscará la manera de combinar ambos sistemas mediante un Arduino para llegar a una solución más eficaz.

### Concepto 3 (Seguridad de los residuos RAEE).

#### 11) Evaluación del peso específico de cada criterio.

*Precio > Complejidad > Mantenimiento = Durabilidad*

Criterio	Precio	Complejidad	Mantenimiento	Durabilidad	$\Sigma +1$	Pondera
Precio		1	1	1	4	0,4
Complejidad	0		1	1	3	0,3
Mantenimiento	0	0		0,5	1,5	0,15
Durabilidad	0	0	0,5		1,5	0,15
				Suma	10	1

Tabla 21: Evaluación del peso específico de cada criterio.

#### 12) Evaluación del peso específico del criterio Precio.

*Solución A > Solución B > Solución C*



Precio	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma +1$	Pondera
Solución A		1	1	3	0,5
Solución B	0		1	2	0,333
Solución C	0	0		1	0,167
			Suma	6	1

Tabla 22: Evaluación del peso específico del criterio Precio.

### 13) Evaluación del peso específico del criterio Complejidad.

*Solución A > Solución C > Solución B*

Complejidad	Solución A	Solución C	Solución B	$\Sigma +1$	Pondera
Solución A		1	1	3	0,5
Solución C	0		1	2	0,333
Solución B	0	0		1	0,167
			Suma	6	1

Tabla 23: Evaluación del peso específico del criterio Complejidad.

### 14) Evaluación del peso específico del criterio Mantenimiento.

*Solución A > Solución C > Solución B*

Mantenimiento	Solución A	Solución C	Solución B	$\Sigma +1$	Pondera
Solución A		1	1	3	0,5
Solución C	0		1	2	0,333
Solución B	0	0		1	0,167
			Suma	6	1

Tabla 24: Evaluación del peso específico del criterio Mantenimiento.

### 15) Evaluación del peso específico del criterio Durabilidad.

*Solución A > Solución B > Solución C*

Durabilidad	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma +1$	Pondera
-------------	------------	------------	------------	-------------	---------

Solución A		1	1	3	0,5
Solución B	0		1	2	0,333
Solución C	0	0		1	0,167
			Suma	6	1

Tabla 25: Evaluación del peso específico del criterio Durabilidad.

#### 16) Tabla de conclusiones.

Conclusiones	Precio	Complejidad	Mantenimiento	Durabilidad	$\Sigma$	Prioridad
Solución A	$0,5*0,4$	$0,5*0,3$	$0,5*0,15$	$0,5*0,15$	<b>0,5000</b>	<b>1</b>
Solución B	$0,333*0,4$	$0,167*0,3$	$0,167*0,15$	$0,333*0,15$	<b>0,2583</b>	<b>2</b>
Solución C	$0,167*0,4$	$0,333*0,3$	$0,333*0,15$	$0,167*0,15$	<b>0,2417</b>	<b>3</b>

Tabla 26: Tabla de conclusiones.

Una vez comparados los criterios con las soluciones se llega a la conclusión que para este proyecto es mejor elegir la Solución A, es decir una cerradura de tipo pasador que utilizará un servomotor conectado a un Arduino el cual mediante el accionamiento de un botón abrirá o cerrará la puerta o tapa donde el usuario depositará su residuo RAEE.

#### Concepto 4 (Selección del Material).

#### 17) Evaluación del peso específico de cada criterio.

$$\text{Desgaste} = \text{Precio} > \text{Fabricación}$$

Criterio	Desgaste	Precio	Fabricación	$\Sigma +1$	Pondera
Desgaste		0.5	1	2.5	0.417
Precio	0.5		1	2.5	0,417
Fabricación	0	0		1	0,167
			Suma	6	1

Tabla 27: Evaluación del peso de cada criterio.

#### 18) Evaluación del peso específico del criterio Precio.

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

Precio	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma +1$	Pondera
Solución A		1	1	3	0,5
Solución B	0		1	2	0,333
Solución C	0	0		1	0,167
			Suma	6	1

Tabla 28: Evaluación del peso específico del criterio Precio.

### 19) Evaluación del peso específico del criterio Desgaste.

*Solución A > Solución B = Solución C*

Mantenimiento	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma +1$	Pondera
Solución A		1	1	3	0,167
Solución B	0		0.5	1.5	0,333
Solución C	0	0.5		1.5	0,5
			Suma	6	1

Tabla 29: Evaluación del peso específico del criterio Desgaste.

### 20) Evaluación del peso específico del criterio Fabricación.

*Solución A > Solución B = Solución C*

Durabilidad	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma +1$	Pondera
Solución A		0	0	1	0,5
Solución B	1		0.5	2,5	0,25
Solución C	1	0.5		2.5	0,25
			Suma	6	1

Tabla 30: Evaluación del peso específico del criterio Fabricación.

### 21) Tabla de conclusiones.

Conclusiones	Fabricación	Precio	Desgaste	$\Sigma$	Prioridad
Solución A	0,5*0,167	0,5*0,417	0,167*0,417	<b>0,36111111</b>	<b>1</b>
Solución B	0,25*0,167	0,333*0,417	0,333*0,417	<b>0,31944443</b>	<b>2</b>

Solución C	$0.25*0.167$	$0.167*0.417$	$0,5*0.417$	<b>0,31944445</b>	<b>2</b>
------------	--------------	---------------	-------------	-------------------	----------

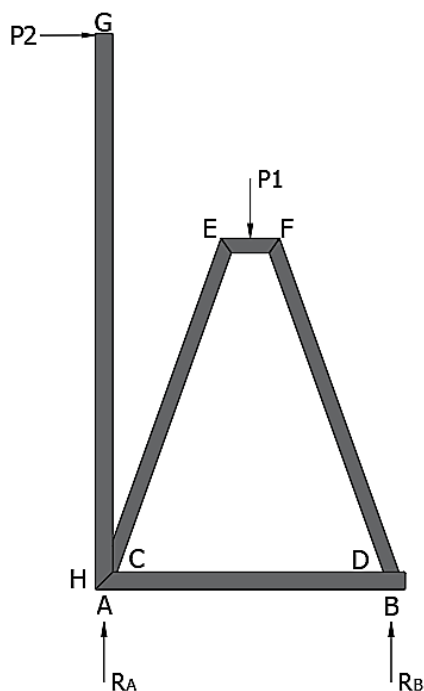
*Tabla 31: Tabla de conclusiones.*

Una vez comparados los criterios con los conceptos se llega a la conclusión que para este proyecto es mejor elegir la opción A, es decir PVC.

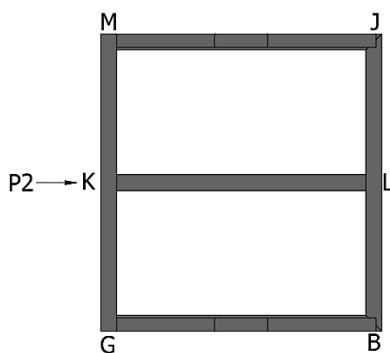
## ANEXO C: ANÁLISIS DE INGENIERÍA

### Sistema de Movilización.

Para comenzar con el análisis se deben ubicar las fuerzas que se aplicaran a la estructura, así como realizar el diagrama de cuerpo libre de los componentes críticos de la estructura. A continuación, los resultados:



*Figura 22: Diagrama de cuerpo libre de la estructura general (vista lateral izquierda).*



*Figura 23: Diagrama de cuerpo libre de la estructura general (vista superior).*

Diagrama de cuerpo libre de los componentes de la estructura para el pivote del contenedor:

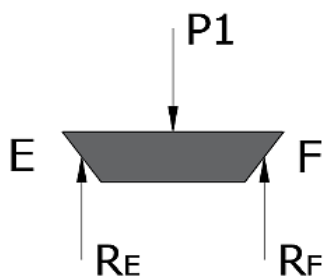


Figura 24: Diagrama de cuerpo libre del componente superior.

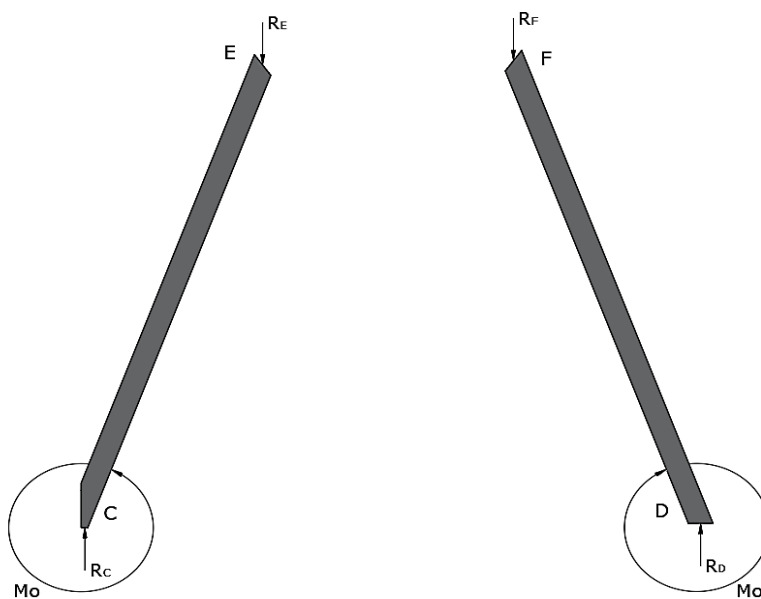


Figura 25: Diagrama de cuerpo libre de los componentes laterales.

Diagrama de cuerpo libre de los componentes de la estructura para la movilización del contenedor:

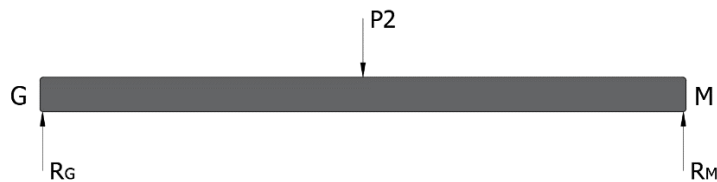
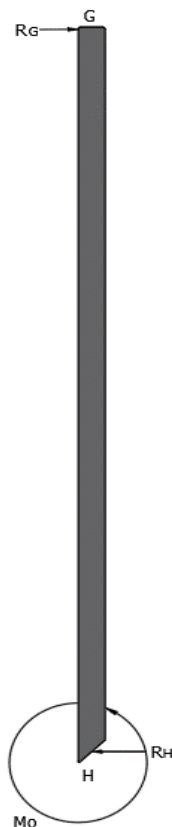


Figura 26: Diagrama de cuerpo libre de la agarradera.



*Figura 27: Diagrama de cuerpo libre del componente lateral de la agarradera.*



*Figura 28: Diagrama de cuerpo libre del componente inferior de la estructura.*

Una vez realizado el diagrama de cuerpo libre de cada componente de la estructura y con los datos obtenidos se procede a realizar la sumatoria de fuerzas y de momentos de cada componente para encontrar donde se aplicará el mayor momento. A continuación, los resultados:

Estructura para el pivote del contenedor.

Cuerpo 1:

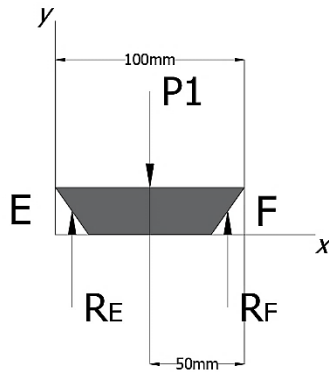


Figura 29: Diagrama de cuerpo libre del cuerpo 1. Se observa la aplicación de la fuerza \$P\_1\$ y las reacciones que está produce.

$$\sum F_y = 0$$

$$R_E - P_1 + R_F = 0$$

$$R_E + R_F = P_1 \quad (1)$$

$$\sum M_E = 0$$

$$(0,1m)R_F - (0,05m)P_1 = 0$$

$$(0,1m)R_F = (0,05m)P_1$$

$$R_F = 0,5P_1$$

$$R_F = 0,5 \times (473,34 [N])$$

$$R_F = 236,67 [N] \quad (2)$$

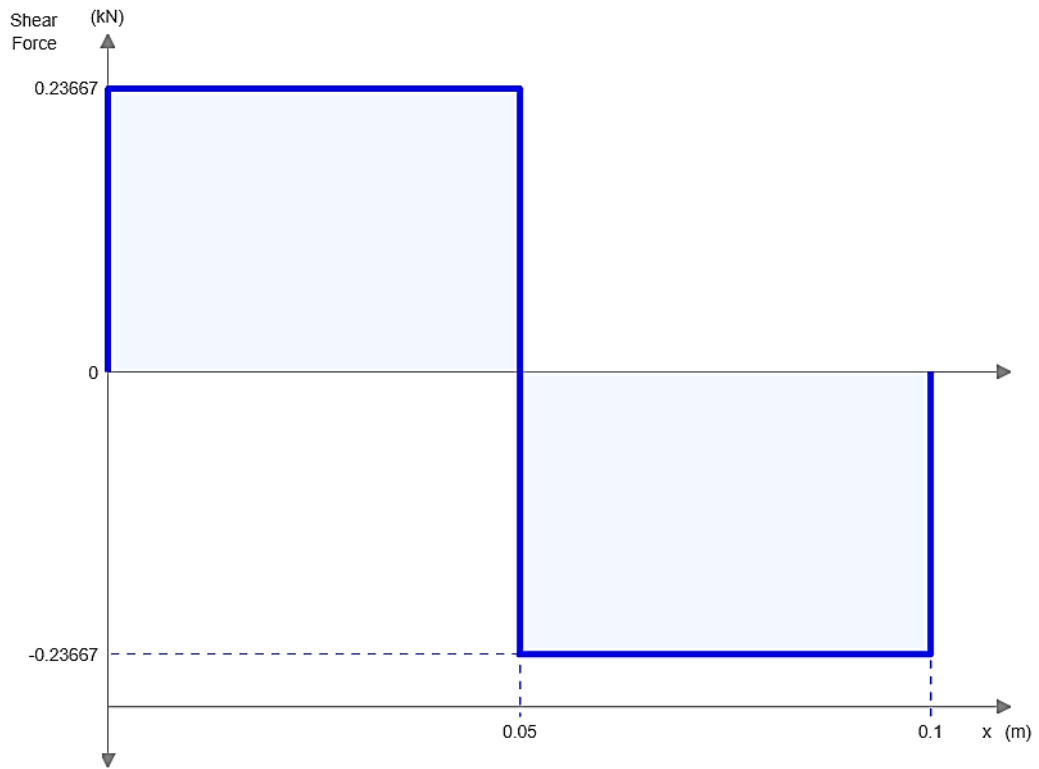
Resolviendo (1) y (2):

$$R_E = P_1 - R_F = 473,34 N - 236,67 N$$

$$R_E = 236,67 [N]$$

Una vez realizado la sumatoria de fuerzas y momento, se procede con los diagramas de esfuerzo cortante y momento.





*Figura 30: Diagrama esfuerzo cortante del cuerpo I (Calculadora libre de la viga / Momento de flexión, Cizalla fuerza y la deformación de la calculadora | SkyCiv, n.d.).*

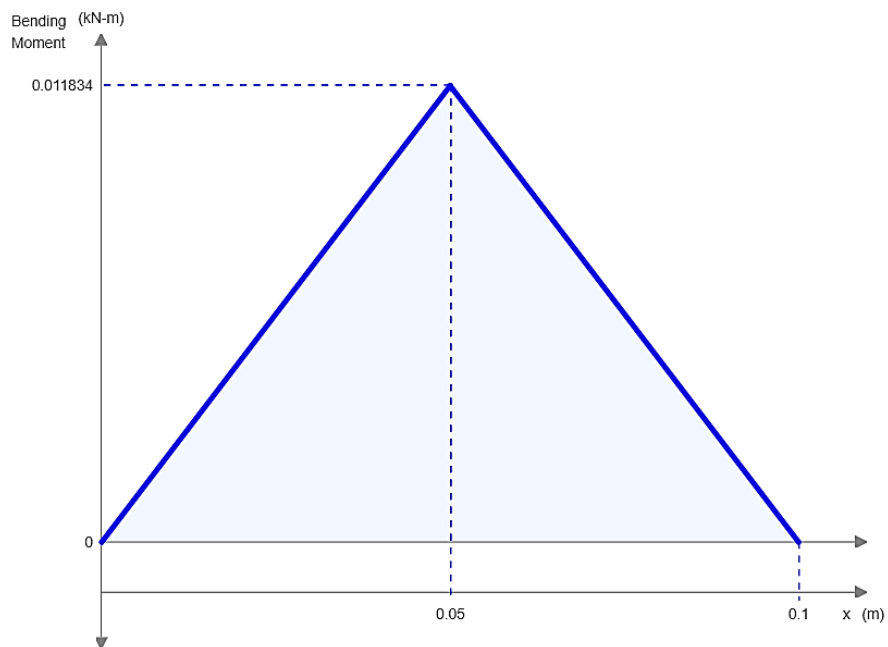


Figura 31: Diagrama de momento del cuerpo 1. El momento máximo se encuentra en la mitad de la pieza (Calculadora libre de la viga | Momento de flexión, Cizalla fuerza y la deformación de la calculadora | SkyCiv, n.d.).

Por lo tanto, el momento máximo al que se somete la viga es de  $M_{\text{máx}} = 11,83[\text{Nm}]$ .

Cuerpo 2:

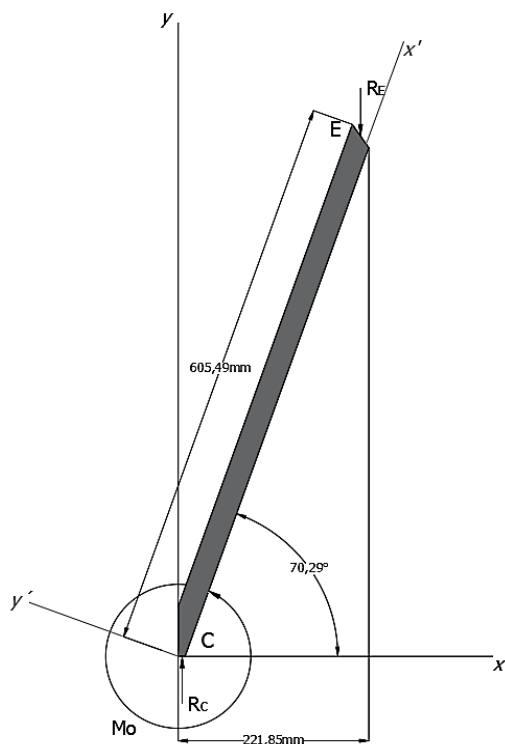


Figura 32: Diagrama de cuerpo libre del cuerpo 2. Se observa la aplicación de la fuerza  $RE$  y la reacción que está produce.

$$\sum F_y = 0$$

$$R_C - R_E = 0$$

$$R_C = R_E = 236,67 [\text{N}]$$

$$R'_{Cy} = R_C \cos 70,29^\circ$$

$$R'_{Cy} = (236,67 [\text{N}]) \cos 70,29^\circ$$

$$R'_{Cy} = 79,82 [\text{N}]$$

$$R'_{Cx} = R_F \sin 70,29^\circ$$

$$R'_{Cx} = (236,67 [\text{N}]) \sin 70,29^\circ$$

$$R'_{Cx} = 222,80 [\text{N}]$$

$$R'_{Cy} = R'_{Ey} = 79,82 [\text{N}]$$

$$R'_{Cx} = R'_{Ex} = 222,80 [\text{N}]$$

$$\sum M_E = 0$$

$$M_o - (0,60549m)R'_{Ey} = 0$$

$$M_o = (0,60549m)(79,82 [N])$$

$$M_o = 48,33 [Nm]$$

Una vez realizado la sumatoria de fuerzas y momento, se procede con los diagramas de esfuerzo cortante y momento.



*Figura 33: Diagrama esfuerzo cortante del cuerpo 2 (Calculadora libre de la viga / Momento de flexión, Cizalla fuerza y la deformación de la calculadora / SkyCiv, n.d.).*

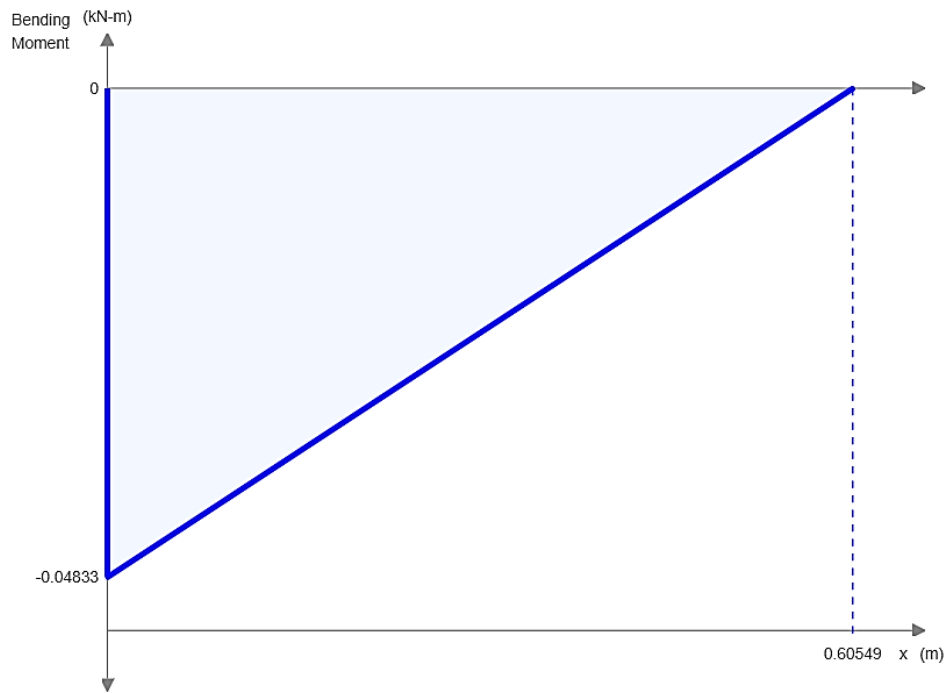
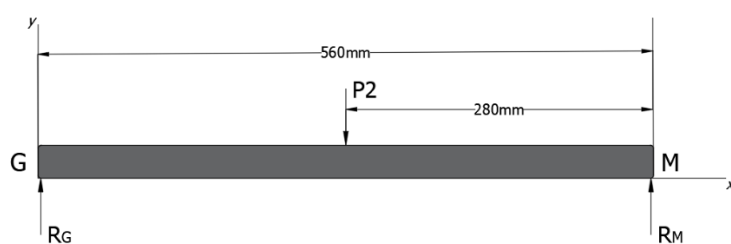


Figura 34: Diagrama de momento del cuerpo 2. El momento máximo se encuentra en el origen de la pieza (Calculadora libre de la viga | Momento de flexión, Cizalla fuerza y la deformación de la calculadora | SkyCiv, n.d.).

Por lo tanto, el momento máximo al que se somete la viga es de  $M_{m\acute{a}x} = -48,33[Nm]$ .

Estructura para la movilizaci3n del contenedor.

Cuerpo 3:



$$\sum F_y = 0$$

$$R_G - P_2 + R_M = 0$$

$$R_G + R_M = P_2 \quad (1)$$

Figura 35: Diagrama de cuerpo libre del cuerpo 3.

Se observa la aplicaci3n de la fuerza  $P_2$  y las reacciones que est3 produce.

$$\sum M_G = 0$$

$$(0,56m)R_G - (0,28m)P_2 = 0$$

$$(0,56m)R_G = (0,28m)P_2$$

$$R_G = 0,5P_2$$

$$R_G = 0,5 \times (392 [N])$$

$$R_G = 196 [N] \quad (2)$$

Resolviendo (1) y (2):

$$R_M = P_2 - R_G = 392 N - 196 N$$

$$R_E = 196 [N]$$

Una vez realizado la sumatoria de fuerzas y momento, se procede con los diagramas de esfuerzo cortante y momento.

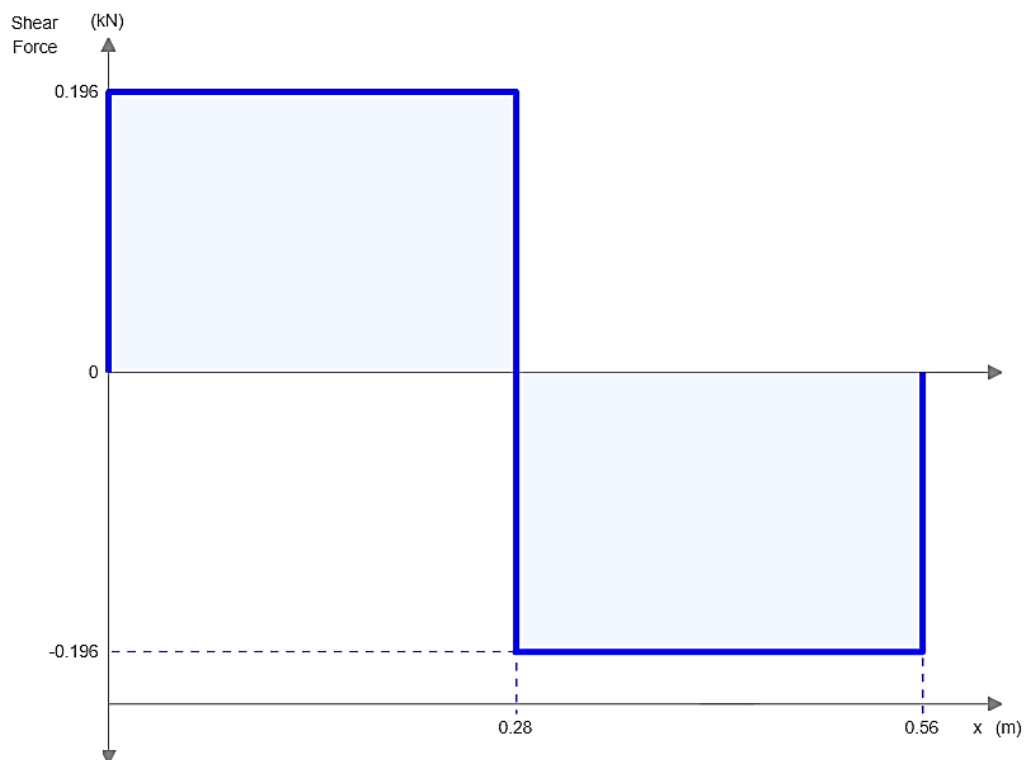


Figura 36: Diagrama esfuerzo cortante del cuerpo 3 (Calculadora libre de la viga / Momento de flexión, Cizalla fuerza y la deformación de la calculadora / SkyCiv, n.d.).

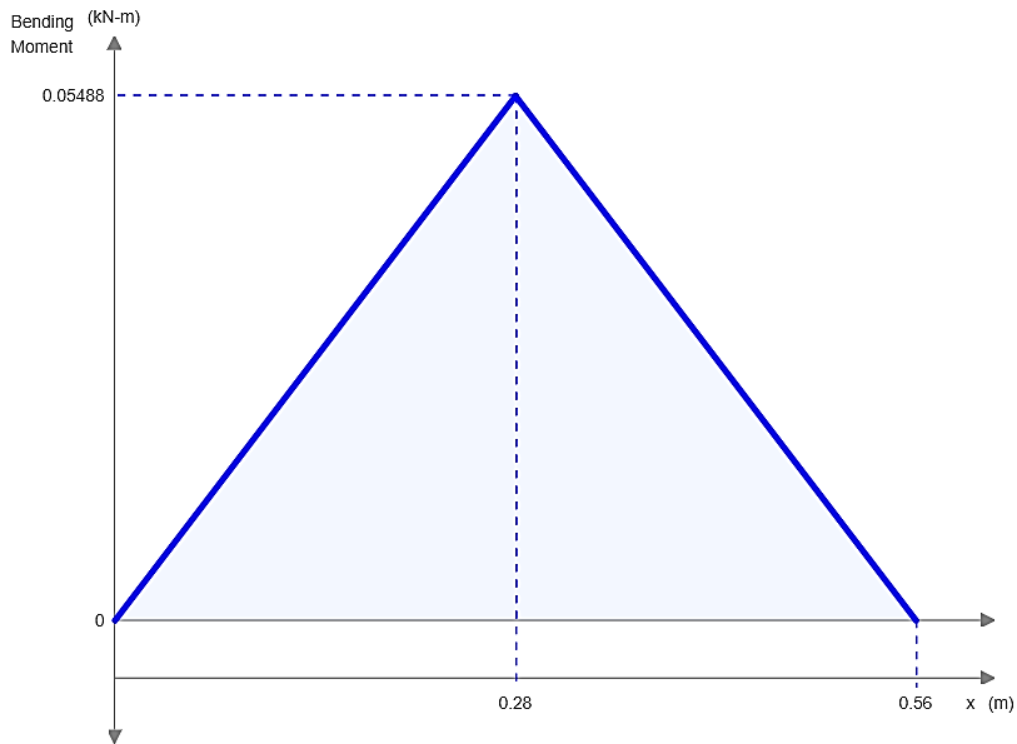
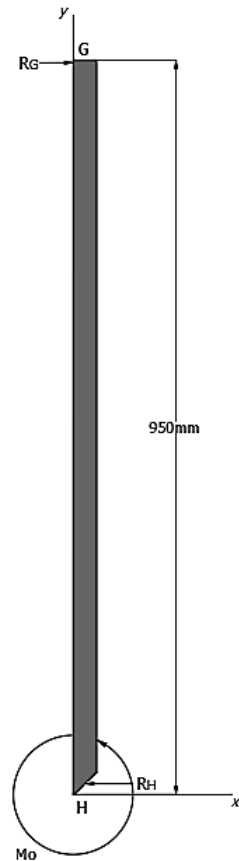


Figura 37: Diagrama de momento del cuerpo 3. El momento máximo se encuentra en la mitad de la pieza (Calculadora libre de la viga / Momento de flexión, Cizalla fuerza y la deformación de la calculadora / SkyCiv, n.d.).

Por lo tanto, el momento máximo al que se somete la viga es de  $M_{m\acute{a}x} = 54,88[Nm]$ .

Cuerpo 4:



$$\sum F_y = 0$$

$$R_H - R_G = 0$$

$$R_H = R_G = 196 \text{ [N]}$$

$$\sum M_G = 0$$

$$M_o - (0,950\text{m})R_H = 0$$

$$M_o = (0,950\text{m})(196 \text{ [N]})$$

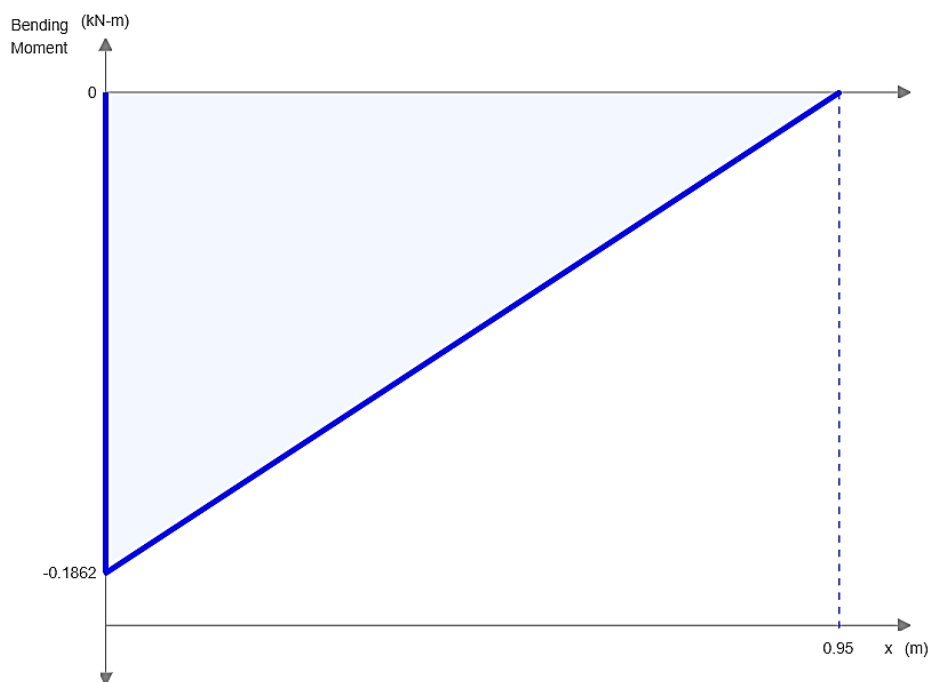
$$M_o = 186,20 \text{ [Nm]}$$

*Figura 38: Diagrama de cuerpo libre del cuerpo 4. Se observa la aplicación de la fuerza  $R_G$  y la reacción que está produce.*

Una vez realizado la sumatoria de fuerzas y momento, se procede con los diagramas de esfuerzo cortante y momento.



*Figura 39: Diagrama esfuerzo cortante del cuerpo 4 (Calculadora libre de la viga / Momento de flexión, Cizalla fuerza y la deformación de la calculadora / SkyCiv, n.d.).*



*Figura 40: Diagrama de momento del cuerpo 4. El momento máximo se encuentra en el origen de la pieza (Calculadora libre de la viga / Momento de flexión, Cizalla fuerza y la deformación de la calculadora / SkyCiv, n.d.).*

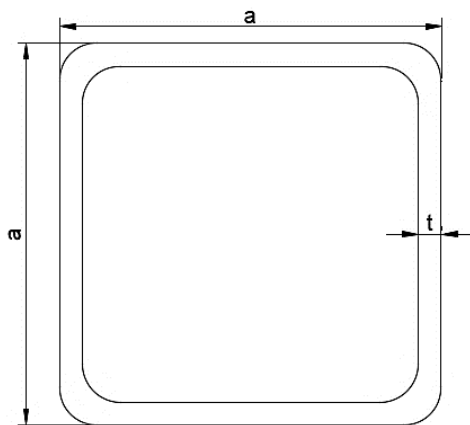


Por lo tanto, el momento máximo al que se somete la viga es de  $M_{m\acute{a}x} = -186,20[Nm]$ .

En la figura 8 el componente está en equilibrio estático y las fuerzas se cancelan, no existe esfuerzo cortante y momento flector. Por lo tanto, el momento máximo al que se somete la viga es de  $M_{m\acute{a}x} = 0[Nm]$ .

Una vez obtenidos los máximos momento para la estructura de pivote como para la estructura de movilización se procede a realizar los caculos necesarios para determinar las medidas de la viga a utilizar usando los conceptos de Teoría de falla estática. Se usará una viga de perfil cuadrada.

Estructura para el pivote del contenedor.



Dimensiones:

$$a = 25mm$$

$$t = ??$$

Material:

Acero Estructural (ASTM – A36)

$$S_y = 250 MPa$$

$$S_{ut} = 400 MPa$$

*Figura 41: Sección trasversal del perfil cuadrado.*

El torque máximo en la estructura para el pivote del contenedor es el que se aplica para el componente o cuerpo 2. Por lo tanto:

Elemento Infinitesimal:

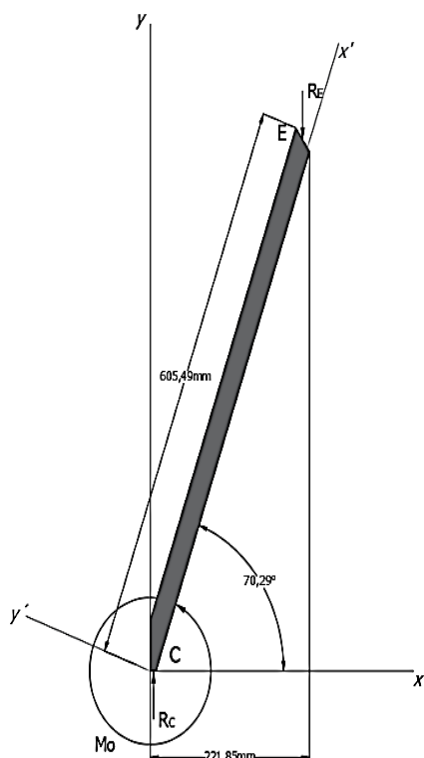


Figura 42: Diagrama de cuerpo libre del cuerpo 2. Se toma un elemento infinitesimal de la sección CE que se encuentra a tensión.



$$\sigma_x = \frac{Mc}{I}$$

Donde,  $M$  es el momento máximo,  $c$  la distancia hacia el centro del perfil y  $I$  es la inercia del perfil

$$\sigma_x = \frac{Mc}{\frac{a^4 - (a - 2t)^4}{12}} = \frac{(48,33 \text{ [Nm]}) \left(\frac{0,025}{2} \text{ [m]}\right)}{\frac{0,025^4 - (0,025 - 2t)^4}{12}}$$

Se asume un factor de seguridad de  $n = 2$ . Por lo tanto:

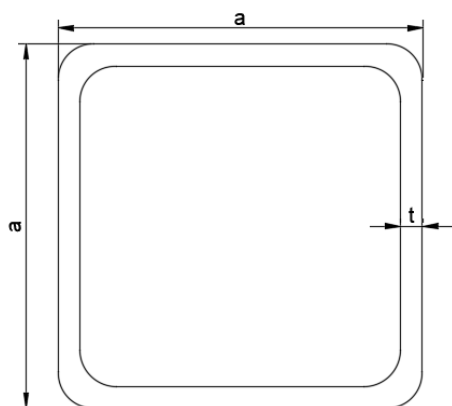
$$n = \frac{S_y}{\sigma_x} = \frac{250 \times 10^6 \left[\frac{N}{m^2}\right]}{\frac{(48,33 \text{ [Nm]}) \left(\frac{0,025}{2} \text{ [m]}\right)}{\frac{0,025^4 - (0,025 - 2t)^4}{12}} \text{ [m}^4\text{]}} = \frac{250 \times 10^6 \left[\frac{N}{m^2}\right]}{\frac{(48,33 \text{ [Nm]}) \left(\frac{0,025}{2} \text{ [m]}\right)}{\frac{0,025^4 - (0,025 - 2t)^4}{12}} \text{ [m}^4\text{]}} = 2$$

Resolviendo la ecuación:

$$t = 0,000492 \text{ [m]}$$

$$t = 0,492 \text{ [mm]}$$

Se busca un perfil que cumpla con las dimensiones especificadas en un catálogo. El perfil que se ajusta a las medidas indicadas es:



Dimensiones:

$$a = 25\text{mm}$$

$$t = 1,5\text{mm}$$

Material:

Acero Estructural (ASTM – A36)

$$S_y = 250\text{MPa}$$

$$S_{ut} = 400\text{MPa}$$

Figura 43: Sección transversal del perfil cuadrado.

A continuación, se procede hacer el análisis de teoría de falla por carga variable del perfil obtenido para lo cual se asume que la carga es repetitiva ya que cuando se aplica carga el componente se somete a esfuerzos, caso contrario, cuando no se aplica ninguna fuerza no existen esfuerzos en la estructura. Por lo tanto:

$$M_{m\acute{a}x} = 48,33[\text{Nm}]$$

$$M_{m\acute{i}n} = 0[\text{Nm}]$$

Teoría de Falla:

$$S_e' = 0,5S_{ut}$$

$$S_e' = 0,5(400\text{MPa})$$

$$S_e' = 200\text{MPa}$$

Se procede a calcular los siguientes factores que nos servirá para poder calcular el factor de seguridad en vida infinita que proceden del libro de *Shigley's Mechanical Engineering Design* (pág. 330 – 332) (Budynas & Nisbett, 2015):

**Ka (Factor de modificación de la condición superficial):**

Proceso de laminado en caliente:

$$\begin{cases} a = 57.7MPa \\ b = -0.718 \end{cases}$$

$$Ka = aS_{ut}^b = 57,7(400)^{-0,718}$$

$$\mathbf{Ka = 0,781}$$

**Kb (Factor de modificación del tamaño):**

Determino un diámetro equivalente al área del perfil:

$$\text{Área del perfil} = 25^2[mm^2] - (25[mm] - 2(1,5)[mm])^2 = 141[mm^2]$$

Igualo al área del círculo:

$$141[mm^2] = \frac{\pi}{4} de^2$$

$$de = 13,40[mm]$$

Entonces:

$$Kb = 1,24de^{-0,107} = 1,24(13,40)^{-0,107}$$

$$\mathbf{Kb = 0,939}$$

**Kc (Factor de modificación de la carga):**

Como la viga está sometida a flexión, el factor es:

$$\mathbf{Kc = 1}$$

**Kd (Factor de modificación de la temperatura):**

Cómo no existe ningún efecto de la temperatura, el factor es:

$$Kd = 1$$

**Ke (Factor de confiabilidad):**

Para una confiabilidad del 99%, el factor es:

$$Ke = 0,814$$

**Kf (Factor de modificación de efectos varios):**

No existen concentradores de esfuerzo:

$$Kf = 1$$

A continuación, se modifica  $Se'$  para determinar  $Se$ . Por lo tanto:

$$S_e = Ka \cdot Kb \cdot Kc \cdot Kd \cdot Ke \cdot Kf \cdot S_e'$$

$$S_e = 0,781 \cdot 0,939 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,814 \cdot 1 \cdot 200MPa$$

$$S_e = 119,39MPa$$

A continuación, se proceden a calcular los esfuerzos máximos y mínimos que se encuentran en la viga:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M_{m\acute{a}x}c}{\frac{a^4 - (a - 2t)^4}{12}} = \frac{(48,33 \times 10^3 [Nmm]) \left(\frac{25}{2} [mm]\right)}{\frac{25^4 - (25 - 2(1,5))^4}{12} [mm^4]}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 46,36MPa$$

$$\sigma_{min} = \frac{M_{min}c}{\frac{a^4 - (a - 2t)^4}{12}} = 0MPa$$

Con los esfuerzos máximos y mínimos se procede a calcular el esfuerzo amplitud y el esfuerzo medio de la carga repetitiva:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{m\acute{a}x} - \sigma_{min}}{2} = \frac{46,36MPa - 0}{2} = 23,18MPa$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{m\acute{a}x} + \sigma_{min}}{2} = \frac{46,36MPa + 0}{2} = 23,18MPa$$

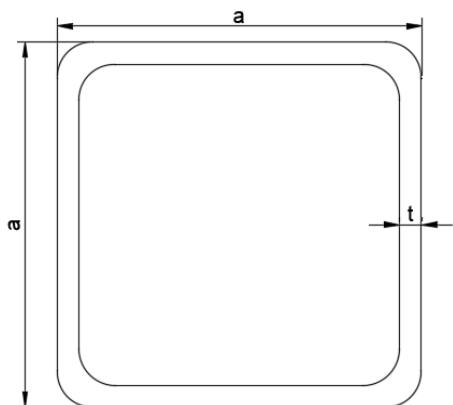
A continuaci3n, se utiliza la teor3a de Goodman para calcular el factor de seguridad a fatiga:

$$n = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}} = \frac{1}{\frac{23,18MPa}{119,39MPa} + \frac{23,18MPa}{400MPa}}$$

$$n = 3,97$$

El factor de seguridad satisface y es mayor al factor de seguridad establecido. Por lo tanto, se utilizar3 las dimensiones del perfil para la construcci3n de la estructura para el pivote del contenedor.

Estructura para la movilizaci3n del contenedor.



Dimensiones:

$$a = 25mm$$

$$t = ??$$

Material:

Acero Estructural (ASTM – A36)

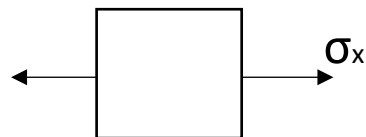
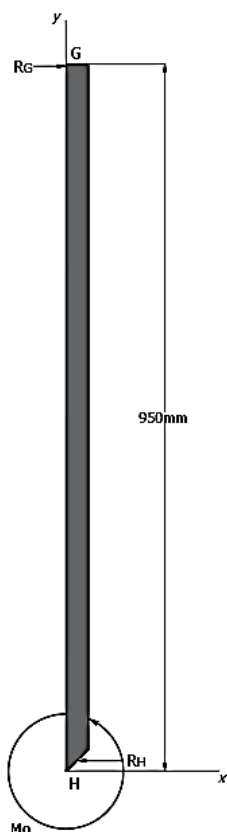
$$S_y = 250 MPa$$

$$S_{ut} = 400 MPa$$

*Figura 44: Secci3n transversal del perfil cuadrado.*

El torque m3ximo en la estructura para el pivote del contenedor es el que se aplica para el componente o cuerpo 4. Por lo tanto:

Elemento Infinitesimal:



$$\sigma_x = \frac{Mc}{I}$$

Donde,  $M$  es el momento máximo,  
 $c$  la distancia hacia el centro del perfil y  $I$   
 es la inercia del perfil

$$\sigma_x = \frac{Mc}{\frac{a^4 - (a - 2t)^4}{12}}$$

$$= \frac{(186,20 \text{ [Nm]}) \left(\frac{0,025}{2} \text{ [m]}\right)}{\frac{0,025^4 - (0,025 - 2t)^4}{12}}$$

Figura 45: Diagrama de cuerpo libre del cuerpo 4. Se toma un elemento infinitesimal de la sección GH que se encuentra a tensión.

Se asume un factor de seguridad de  $n = 2$ . Por lo tanto:

$$n = \frac{S_y}{\sigma_x} = \frac{250 \times 10^6 \left[\frac{N}{m^2}\right]}{\frac{(186,20 \text{ [Nm]}) \left(\frac{0,025}{2} \text{ [m]}\right)}{\frac{0,025^4 - (0,025 - 2t)^4}{12} \text{ [m}^4\text{]}}} = \frac{250 \times 10^6 \left[\frac{N}{m^2}\right]}{\frac{(186,20 \text{ [Nm]}) \left(\frac{0,025}{2} \text{ [m]}\right)}{\frac{0,025^4 - (0,025 - 2t)^4}{12} \text{ [m}^4\text{]}}} = 2$$

Resolviendo la ecuación:

$$t = 0,00239 \text{ [m]}$$

$$t = 2,39 \text{ [mm]}$$

Se busca un perfil que cumpla con las dimensiones especificadas en un catálogo. El perfil que se ajusta a las medidas indicadas es:

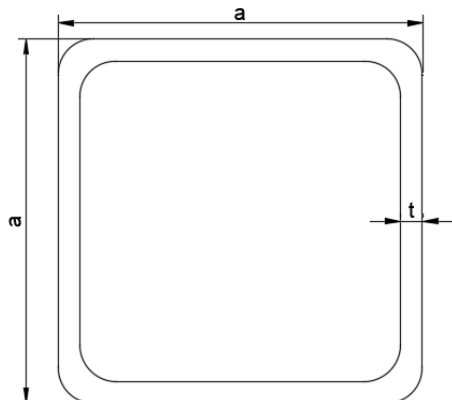


Figura 46: Sección transversal del perfil cuadrado.

Dimensiones:

$$a = 30\text{mm}$$

$$t = 1,5\text{mm}$$

Material:

Acero Estructural (ASTM – A36)

$$S_y = 250\text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 400\text{ MPa}$$

Verifico que cumpla con el factor de seguridad requerido:

$$n = \frac{S_y}{\sigma_x} = \frac{250 \times 10^6 \left[ \frac{N}{m^2} \right]}{\frac{(186,20 [Nm]) \left( \frac{0,030}{2} [m] \right)}{\frac{0,030^4 - (0,030 - 2(0,0015))^4}{12} [m^4]}}$$

$$n = 2,49 \text{ (Si cumple)}$$

A continuación, se procede hacer el análisis de teoría de falla por carga variable del perfil obtenido para lo cual se asume que la carga es repetitiva ya que cuando se aplica carga el componente se somete a esfuerzos, caso contrario, cuando no se aplica ninguna fuerza no existen esfuerzos en la estructura. Por lo tanto:

$$M_{m\acute{a}x} = 186,20[Nm]$$

$$M_{m\acute{i}n} = 0[Nm]$$



Teoría de Falla:

$$S_e' = 0,5S_{ut}$$

$$S_e' = 0,5(400MPa)$$

$$S_e' = 200MPa$$

Se procede a calcular los siguientes factores que nos servirá para poder calcular el factor de seguridad en vida infinita que proceden del libro de *Shigley's Mechanical Engineering Design* (pág. 330 – 332) (Budynas & Nisbett, 2015):

**Ka (Factor de modificación de la condición superficial):**

Proceso de laminado en caliente:

$$\begin{cases} a = 57,7MPa \\ b = -0,718 \end{cases}$$

$$Ka = aS_{ut}^b = 57,7(400)^{-0,718}$$

$$\mathbf{Ka = 0,781}$$

**Kb (Factor de modificación del tamaño):**

Determino un diámetro equivalente al área del perfil:

$$\text{Área del perfil} = 30^2[mm^2] - (30[mm] - 2(1,5)[mm])^2 = 171[mm^2]$$

Igualo al área del círculo:

$$171[mm^2] = \frac{\pi}{4}de^2$$

$$de = 14,76[mm]$$

Entonces:

$$Kb = 1,24de^{-0,107} = 1,24(14,76)^{-0,107}$$

$$\mathbf{Kb = 0,930}$$

**Kc (Factor de modificación de la carga):**

Como la viga está sometida a flexión, el factor es:

$$\mathbf{Kc = 1}$$

**Kd (Factor de modificación de la temperatura):**

Cómo no existe ningún efecto de la temperatura, el factor es:

$$\mathbf{Kd = 1}$$

**Ke (Factor de confiabilidad):**

Para una confiabilidad del 99%, el factor es:

$$\mathbf{Ke = 0,814}$$

**Kf (Factor de modificación de efectos varios):**

No existen concentradores de esfuerzo:

$$\mathbf{Kf = 1}$$

A continuación, se modifica  $Se'$  para determinar  $Se$ . Por lo tanto:

$$S_e = Ka \cdot Kb \cdot Kc \cdot Kd \cdot Ke \cdot Kf \cdot S_e'$$

$$S_e = 0,781 \cdot 0,930 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,814 \cdot 1 \cdot 200MPa$$

$$\mathbf{S_e = 118,25MPa}$$

A continuación, se proceden a calcular los esfuerzos máximos y mínimos que se encuentran en la viga:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M_{m\acute{a}x}c}{\frac{a^4 - (a - 2t)^4}{12}} = \frac{(186,20 \times 10^3 [Nmm]) \left(\frac{30}{2} [mm]\right)}{\frac{30^4 - (30 - 2(1,5))^4}{12} [mm^4]}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 120,32MPa$$

$$\sigma_{min} = \frac{M_{min}c}{\frac{a^4 - (a - 2t)^4}{12}} = 0MPa$$

Con los esfuerzos máximos y mínimos se procede a calcular el esfuerzo amplitud y el esfuerzo medio de la carga repetitiva:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{m\acute{a}x} - \sigma_{min}}{2} = \frac{120,32MPa - 0}{2} = \mathbf{60,16MPa}$$

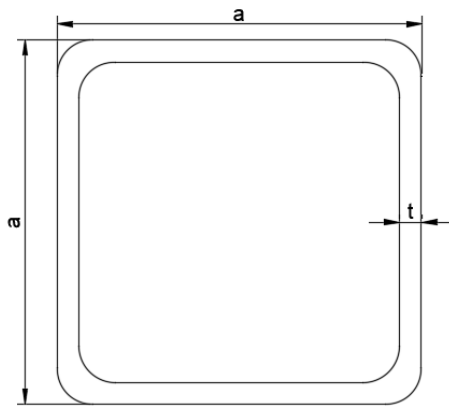
$$\sigma_m = \frac{\sigma_{m\acute{a}x} + \sigma_{min}}{2} = \frac{120,32MPa + 0}{2} = \mathbf{60,16MPa}$$

A continuación, se utiliza la teoría de Goodman para calcular el factor de seguridad a fatiga:

$$n = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}} = \frac{1}{\frac{60,16MPa}{118,25MPa} + \frac{60,16MPa}{400MPa}}$$

$$\mathbf{n = 1,51}$$

El factor de seguridad satisface, pero es menor al factor de seguridad establecido. Por lo tanto, para que el factor sea un poco mayor se utilizará diferentes dimensiones de perfil.



Dimensiones:

$$a = 30\text{mm}$$

$$t = 2\text{mm}$$

Material:

Acero Estructural (ASTM – A36)

$$S_y = 250\text{MPa}$$

$$S_{ut} = 400\text{MPa}$$

Figura 47: Sección transversal del perfil cuadrado.

Verifico que cumpla con el factor de seguridad requerido:

$$n = \frac{S_y}{\sigma_x} = \frac{250 \times 10^6 \left[ \frac{N}{m^2} \right]}{\frac{(186,20 [Nm]) \left( \frac{0,030}{2} [m] \right)}{\frac{0,030^4 - (0,030 - 2(0,002))^4}{12} [m^4]}}$$

$$n = 2,63 \text{ (Si cumple)}$$

A continuación, se procede hacer el análisis de teoría de falla por carga variable del perfil obtenido para lo cual se asume que la carga es repetitiva ya que cuando se aplica carga el componente se somete a esfuerzos, caso contrario, cuando no se aplica ninguna fuerza no existen esfuerzos en la estructura. Por lo tanto:

$$M_{m\acute{a}x} = 186,20[Nm]$$

$$M_{m\acute{i}n} = 0[Nm]$$

Teoría de Falla:

$$S_e' = 0,5S_{ut}$$

$$S_e' = 0,5(400\text{MPa})$$

$$S_e' = 200\text{MPa}$$

Se procede a calcular los siguientes factores que nos servirá para poder calcular el factor de seguridad en vida infinita que proceden del libro de *Shigley's Mechanical Engineering Design* (pág. 330 – 332) (Budynas & Nisbett, 2015):

**Ka (Factor de modificación de la condición superficial):**

Proceso de laminado en caliente:

$$\begin{cases} a = 57.7MPa \\ b = -0.718 \end{cases}$$

$$Ka = aS_{ut}^b = 57,7(400)^{-0,718}$$

$$\mathbf{Ka = 0,781}$$

**Kb (Factor de modificación del tamaño):**

Determino un diámetro equivalente al área del perfil:

$$\text{Área del perfil} = 30^2[mm^2] - (30[mm] - 2(2)[mm])^2 = 224[mm^2]$$

Igualo al área del círculo:

$$224[mm^2] = \frac{\pi}{4} de^2$$

$$de = 16,89[mm]$$

Entonces:

$$Kb = 1,24de^{-0,107} = 1,24(16,89)^{-0,107}$$

$$\mathbf{Kb = 0,916}$$

**Kc (Factor de modificación de la carga):**

Como la viga está sometida a flexión, el factor es:

$$Kc = 1$$

**Kd (Factor de modificación de la temperatura):**

Cómo no existe ningún efecto de la temperatura, el factor es:

$$Kd = 1$$

**Ke (Factor de confiabilidad):**

Para una confiabilidad del 99%, el factor es:

$$Ke = 0,814$$

**Kf (Factor de modificación de efectos varios):**

No existen concentradores de esfuerzo:

$$Kf = 1$$

A continuación, se modifica  $Se'$  para determinar  $Se$ . Por lo tanto:

$$S_e = Ka \cdot Kb \cdot Kc \cdot Kd \cdot Ke \cdot Kf \cdot S_e'$$

$$S_e = 0,781 \cdot 0,916 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,814 \cdot 1 \cdot 200MPa$$

$$S_e = 116,47MPa$$

A continuación, se proceden a calcular los esfuerzos máximos y mínimos que se encuentran en la viga:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M_{m\acute{a}x}c}{\frac{a^4 - (a - 2t)^4}{12}} = \frac{(186,20 \times 10^3 [Nmm]) \left(\frac{30}{2} [mm]\right)}{\frac{30^4 - (30 - 2(2))^4}{12} [mm^4]}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 94,94MPa$$

$$\sigma_{min} = \frac{M_{min}c}{\frac{a^4 - (a - 2t)^4}{12}} = 0MPa$$

Con los esfuerzos máximos y mínimos se procede a calcular el esfuerzo amplitud y el esfuerzo medio de la carga repetitiva:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{máx} - \sigma_{min}}{2} = \frac{94,94MPa - 0}{2} = 47,47MPa$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{máx} + \sigma_{min}}{2} = \frac{94,94MPa + 0}{2} = 47,47MPa$$

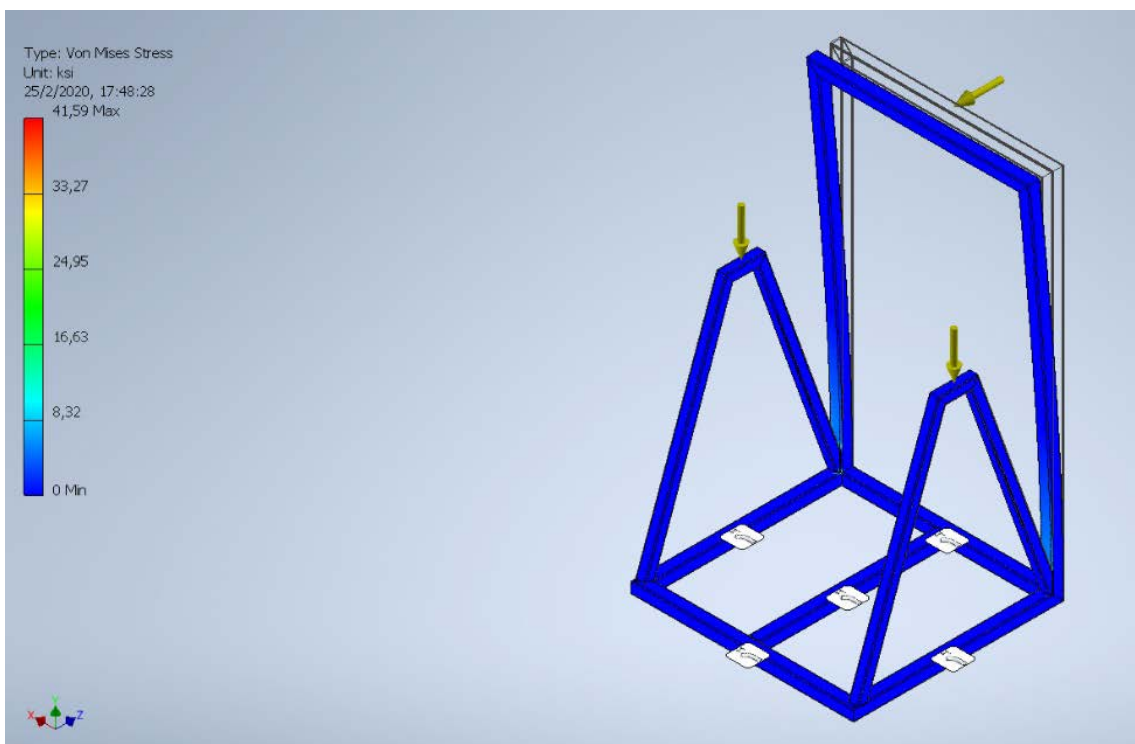
A continuación, se utiliza la teoría de Goodman para calcular el factor de seguridad a fatiga:

$$n = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}} = \frac{1}{\frac{47,47MPa}{116,47MPa} + \frac{47,47MPa}{400MPa}}$$

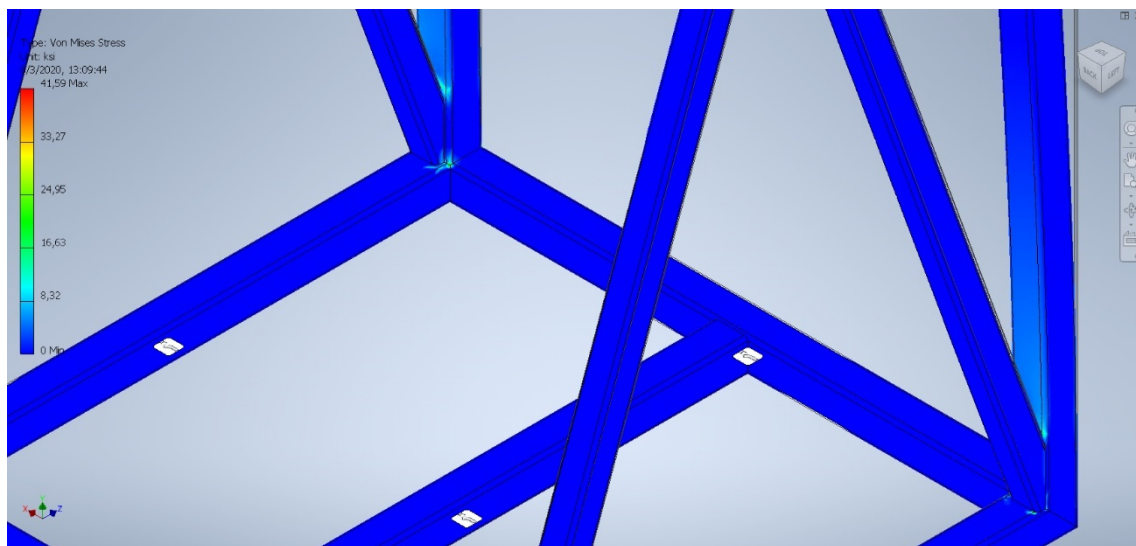
$$n = 1,9 \text{ (Si cumple)}$$

El factor de seguridad satisface y es cercano al factor de seguridad establecido. Por lo tanto, se utilizará las dimensiones del perfil para la construcción de la estructura de movilización del contenedor.

A continuación, se procede hacer la una simulación utilizando el programa Inventor para verificar los resultados.

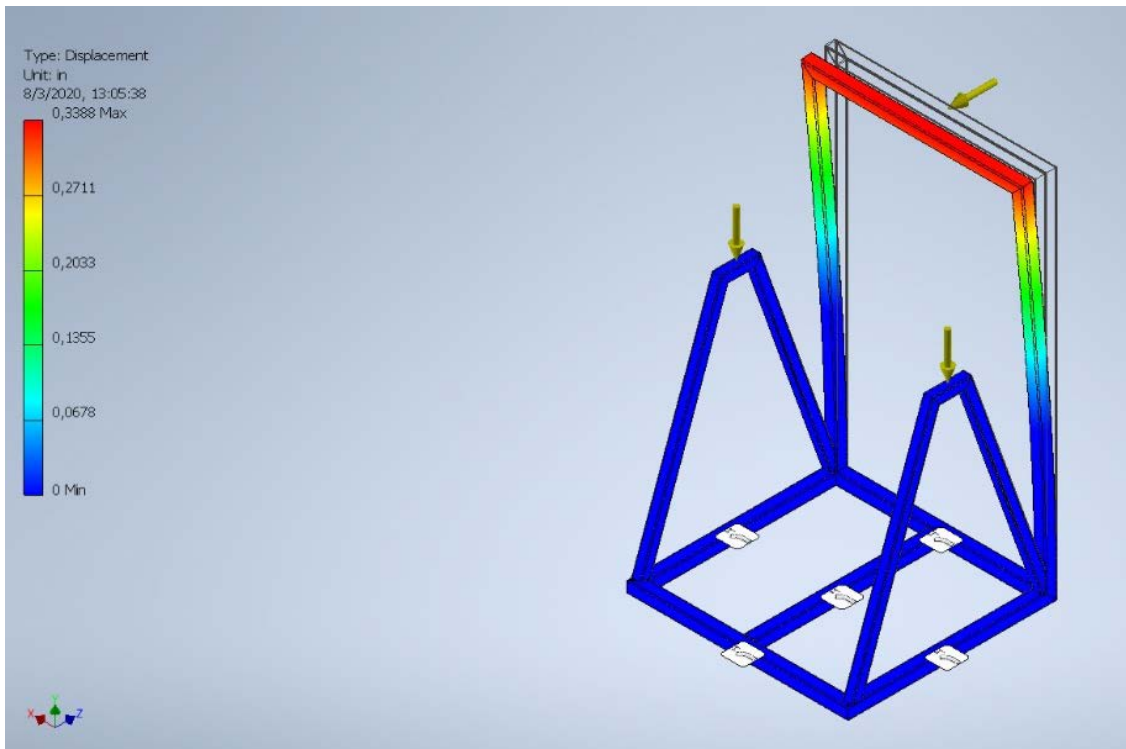


*Figura 48: Simulación de los esfuerzos de la estructura sometida a las fuerzas verticales  $P_1$  en la sección del pivote y a la fuerza horizontal  $P_2$  en la sección de agarre.*



*Figura 49: Visualización de los esfuerzos en la sección inferior de la estructura sometida a las fuerzas verticales  $P_1$  en la sección del pivote y a la fuerza horizontal  $P_2$  en la sección de agarre.*

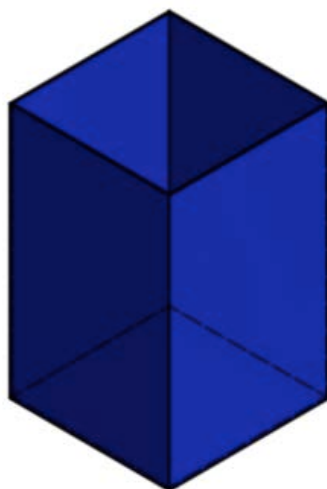




*Figura 50: Simulación del desplazamiento en la sección de agarre de la estructura sometida a la fuerza horizontal  $P_2$  en la sección de agarre.*

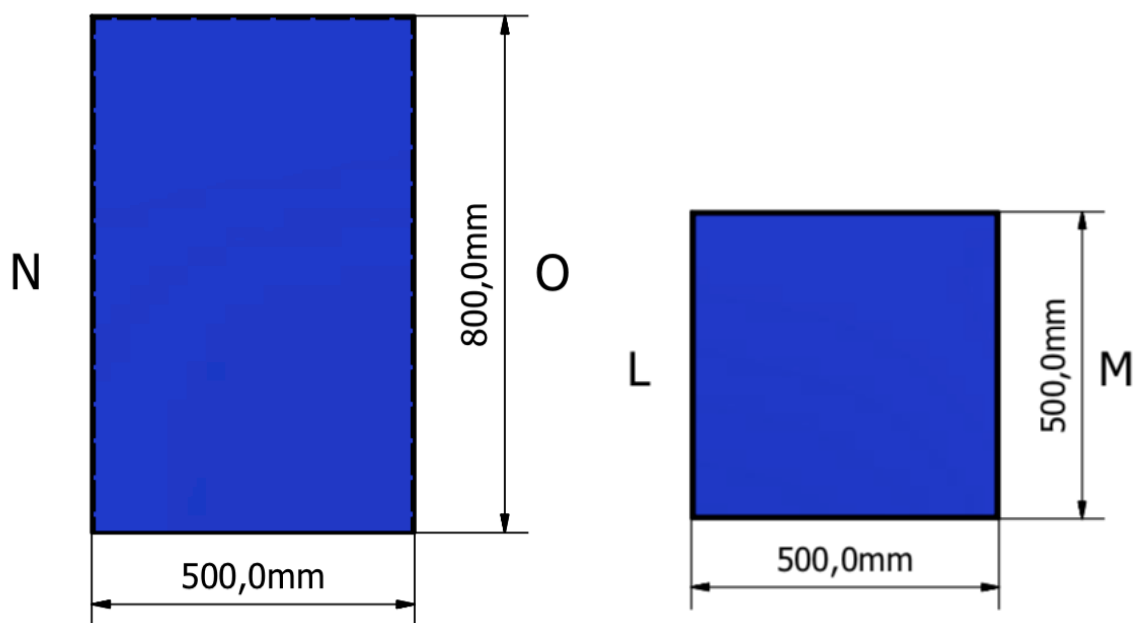
Para la simulación se diseñó la estructura usando perfiles cuadrados ISO 30x30x2mm para la estructura de movilización y perfiles cuadrados ISO 25x25x2mm para la estructura de pivote. Se sometió a la estructura a dos fuerzas, en la estructura pivote se aplicó una fuerza a cada lado de  $P_1 = 473,34[N]$  y en la sección de agarre se sometió a una fuerza de  $P_2 = 392[N]$ . De las figuras 48 y 49 anteriores se puede observar las secciones o componentes donde los esfuerzos son máximos. De la figura 49 se puede observar que la sección inferior de la estructura de agarre es la que sufre más esfuerzo que el resto de la estructura. De la figura 50 se puede observar que componente sufre el mayor desplazamiento, en este caso la sección de agarre de la estructura.

### Estructura Interna.



*Figura 51: Estructura interna.*

A continuación, se realizarán los cálculos de la estructura que contendrá los RAEE, se ha determinado que se empleará acero estructural (ASTM – A36), para lo cual se calculará el espesor necesario del mismo para que logre soportar la carga antes detallada de  $P_T = 946,68[N]$ , la que representa la carga de los residuos y también el factor persona. Es así que, se define las dimensiones de la estructura, de la siguiente manera:



*Figura 52: Dimensiones de la estructura interna.*

Se analizarán los dos casos más críticos en la estructura, siendo estos la cara inferior y la lateral, dado que estas son las que soportarán el peso al encontrarse en posición horizontal y vertical al momento de contener y vaciar los residuos.

Entonces se lo analiza como una viga apoyada en N – O y L – M para las caras laterales e inferior, respectivamente. Siendo su diagrama el siguiente:

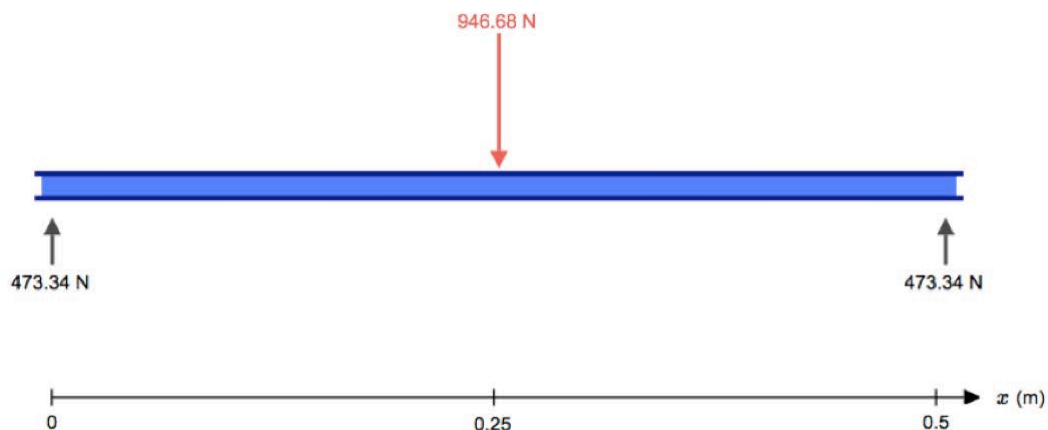


Figura 53: Diagrama de las paredes horizontales y verticales con su carga máxima.

$$\sum F_y = 0$$

$$R_N - P_T + R_O = 0$$

$$R_N + R_O = P_T \quad (1)$$

$$\sum M_N = 0$$

$$(0,5m)R_O - (0,25m)P_T = 0$$

$$R_O = \frac{0,25m \times 946,68 [N]}{0,5m}$$

$$R_O = 473,34 [N] \quad (2)$$

Resolviendo (1) y (2):

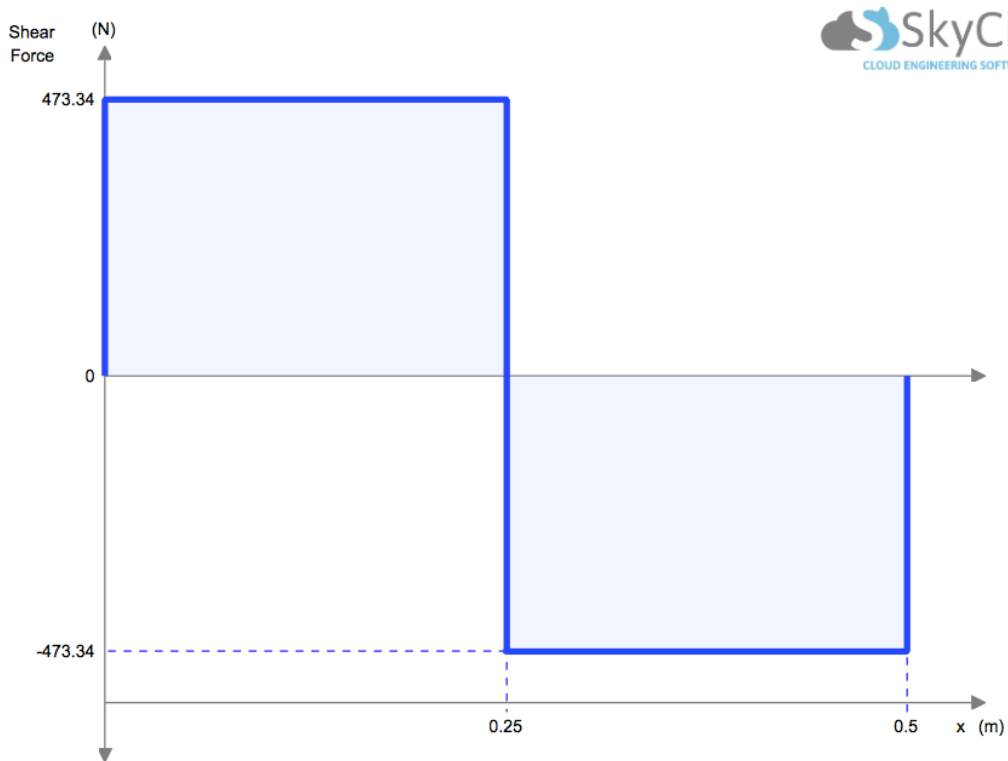
$$R_N = P_T - R_0 = 946,68 \text{ N} - 473,34 \text{ N}$$

$$R_N = 473,34 \text{ N}$$

Conociendo que las distancias y fuerzas para N-O y L-M son las mismas, tenemos,

$$R_N = R_0 = R_L = R_M$$

Entonces se procede con los diagramas de esfuerzo cortante y momento.



*Figura 54: Diagrama esfuerzo cortante para ambas paredes del contenedor, sometido a su carga máxima (Calculadora libre de la viga | Momento de flexión, Cizalla fuerza y la deformación de la calculadora | SkyCiv, n.d.).*

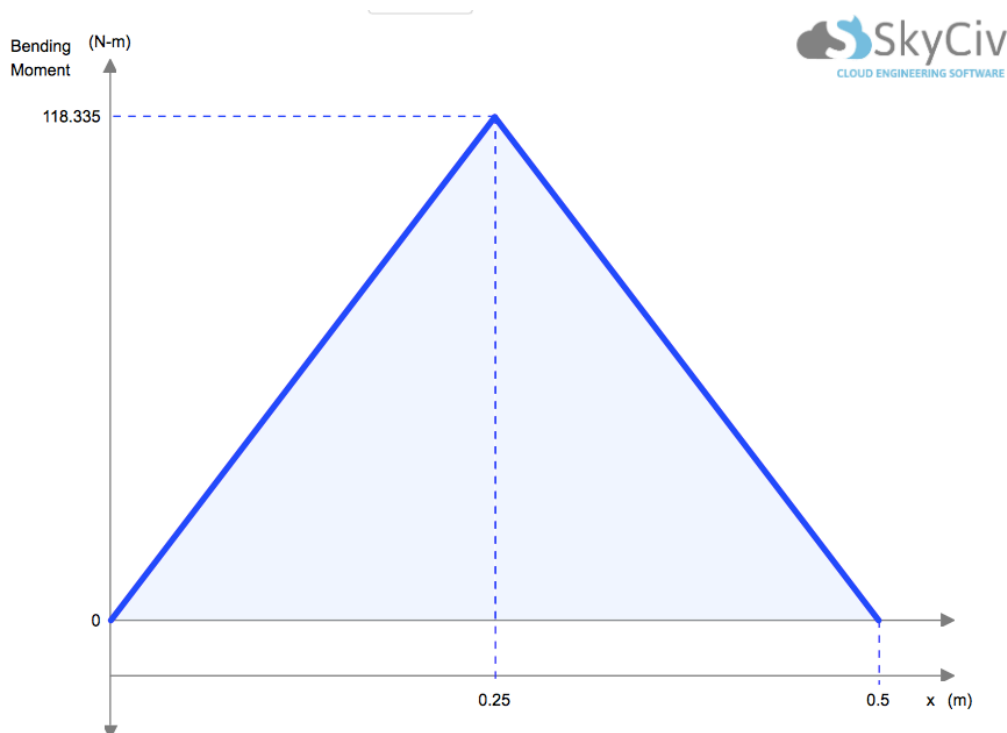


Figura 55: Diagrama de momento para ambas paredes del contenedor, sometido a su carga máxima (Calculadora libre de la viga | Momento de flexión, Cizalla fuerza y la deformación de la calculadora | SkyCiv, n.d.).

Por lo tanto, el momento máximo al que se somete la viga es de  $M_{m\acute{a}x} = 118,34[Nm]$ .

Obtenidos el máximo momento para la estructura interna se procede a realizar el cálculo para determinar “t” el espesor de la placa de acero ASTM – A36, usando los conceptos de Teoría de falla estática.

Para esto se conoce las características el material siendo estas:

$$S_y = 250 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 400 \text{ MPa}$$

Se determina su esfuerzo mediante la siguiente ecuación,

$$\sigma_x = \frac{Mc}{I} = \frac{Mc}{\frac{bxh^3}{12}}$$

Donde,  $M$  es el momento máximo,  $c$  la distancia hacia el centro de la placa,  $I$  es la inercia de la placa,  $b$  la base y  $h$  la altura de la placa.

**Para N – O**

$$\sigma_x = \frac{(118,34 [Nm]) \left(\frac{t}{2} [m]\right)}{\frac{0,8 \times t^3}{12}}$$

Teniendo en cuenta un factor de seguridad de  $n = 2$ , tenemos:

$$n = \frac{S_y}{\sigma_x}$$

$$2 = \frac{250 \times 10^6 \left[\frac{N}{m^2}\right]}{\frac{(118,34 [Nm]) \left(\frac{t}{2} [m]\right)}{\frac{0,8 \times t^3}{12}}}$$

Obteniendo un espesor de:

$$t = 0,002665[m]$$

**Para L – M**

$$\sigma_x = \frac{(118,34 [Nm]) \left(\frac{t}{2} [m]\right)}{\frac{0,5 \times t^3}{12}}$$

Teniendo en cuenta un factor de seguridad de  $n = 2$ , tenemos:

$$n = \frac{S_y}{\sigma_x}$$

$$2 = \frac{250 \times 10^6 \left[\frac{N}{m^2}\right]}{\frac{(118,34 [Nm]) \left(\frac{t}{2} [m]\right)}{\frac{0,5 \times t^3}{12}}}$$

Obteniendo un espesor de:

$$t = 0,00377[m] \text{ (*valor más crítico)}$$

Entonces la placa a utilizar tendrá un espesor de  $t = 0,004[m]$

A continuación, se procede hacer el análisis de teoría de falla por carga variable del perfil obtenido para lo cual se asume que la carga es repetitiva ya que cuando se aplica carga el componente se somete a esfuerzos, caso contrario, cuando no se aplica ninguna fuerza no existen esfuerzos en la estructura. Por lo tanto:

$$M_{m\acute{a}x} = 118,34[Nm]$$

$$M_{m\acute{i}n} = 0[Nm]$$

Teoría de Falla:

$$S_e' = 0,5S_{ut}$$

$$S_e' = 0,5(400MPa)$$

$$S_e' = 200MPa$$

Se procede a calcular los siguientes factores de diseño que proceden del libro de *Shigley's Mechanical Engineering Design* (pág. 330 – 332) (Budynas & Nisbett, 2015):

**Ka:**

Proceso de laminado en caliente:

$$\begin{cases} a = 57.7MPa \\ b = -0.718 \end{cases}$$

$$Ka = aS_{ut}^b = 57,7(400)^{-0,718}$$

$$Ka = 0,781$$

**Kb:**

Determino un diámetro equivalente al área del perfil:

$$\text{Área de la placa} = 500\text{mm}(4\text{mm}) = 2000[\text{mm}^2]$$

Igualo al área del círculo:

$$2000[\text{mm}^2] = \frac{\pi}{4}de^2$$

$$de = 50,46[\text{mm}]$$

Entonces:

$$Kb = 1,24de^{-0,107} = 1,24(50,46)^{-0,107}$$

$$\mathbf{Kb = 0,815}$$

**Kc:**

Como la viga está sometida a flexión, el factor es:

$$\mathbf{Kc = 1}$$

**Kd:**

Cómo no existe ningún efecto de la temperatura, el factor es:

$$\mathbf{Kd = 1}$$

**Ke:**

Para una confiabilidad del 99%, el factor es:

$$\mathbf{Ke = 0,814}$$

**Kf:**



No existen concentradores de esfuerzo:

$$K_f = 1$$

A continuación, se modifica  $S_e'$  para determinar  $S_e$ . Por lo tanto:

$$S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot K_f \cdot S_e'$$

$$S_e = 0,781 \cdot 0,815 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,814 \cdot 1 \cdot 200MPa$$

$$S_e = 103,625MPa$$

A continuación, se proceden a calcular los esfuerzos máximos y mínimos que se encuentran en la viga:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M_{m\acute{a}x}c}{\frac{bxh^3}{12}} = \frac{(118,34 \times 10^3[Nmm]) \left(\frac{4}{2}[mm]\right)}{\frac{500 \times 4^3}{12} [mm^4]}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 88,75MPa$$

$$\sigma_{min} = \frac{M_{min}c}{\frac{bxh^3}{12}} = 0MPa$$

Con los esfuerzos máximos y mínimos se procede a calcular el esfuerzo amplitud y el esfuerzo medio de la carga repetitiva:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{m\acute{a}x} - \sigma_{min}}{2} = 44,38MPa$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{m\acute{a}x} + \sigma_{min}}{2} = 44,38MPa$$

A continuación, se utiliza la teoría de Goodman para calcular el factor de seguridad a fatiga:

$$n = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}} = \frac{1}{\frac{44,38MPa}{103,625MPa} + \frac{44,38MPa}{400MPa}}$$

$$n = 1,85$$

El factor de seguridad satisface y es cercano al factor de seguridad establecido. Por lo tanto, se utilizará una placa de 4mm para la construcción de la estructura interna del contenedor.

A continuación, se procede hacer la una simulación utilizando el programa Inventor para verificar los resultados.

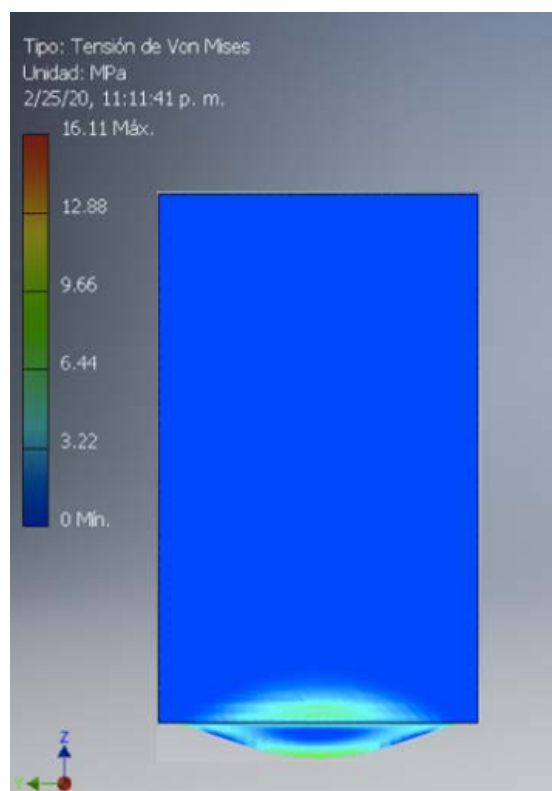
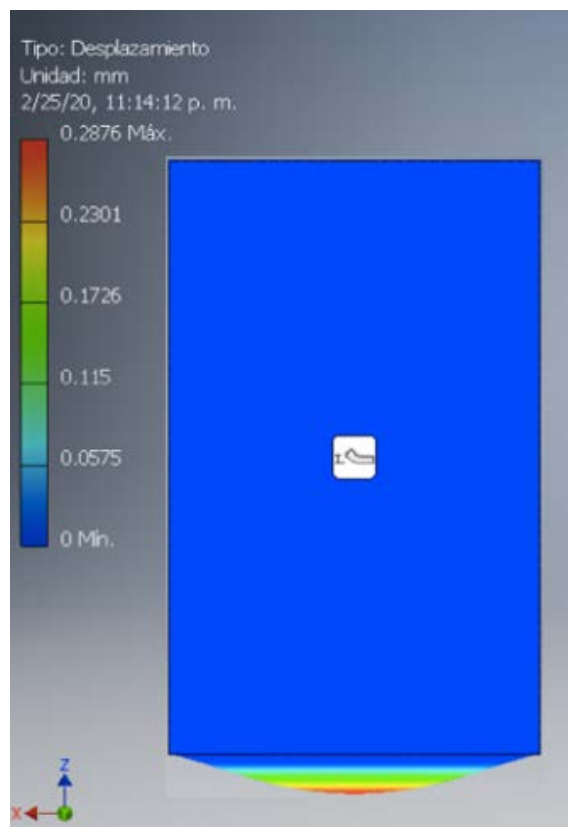


Figura 56: Simulación de la estructura sometida a su carga máxima en pared crítica.



*Figura 57: Simulaci3n de la deformaci3n de la estructura sometida a su carga máxima en pared crítica.*

De las figuras anteriores se puede observar las secciones o componentes donde los esfuerzos son máximos. Así también podemos ver que su deformaci3n máxima es menor a 0,3 mm lo que nos permite concluir que los componentes seleccionados para el análisis de diseño son los correctos.

### **Estructura Externa.**

A continuaci3n, se realiza un análisis de la estructura externa para determinar cuál será el espesor adecuado de nuestro material, en nuestro caso hemos decidido usar planchas de PVC debido a que nuestro proyecto tiene como objetivo usar materiales resistentes y sobre todo materiales provenientes de material reciclado.

Por lo tanto, se procede a realizar los cálculos para obtener momentos máximos y poder calcular las dimensiones necesarias para nuestro contenedor. Se analizará las caras frontales y laterales para determinar la más críticas.

Se estimada que la persona promedio al apoyarse de pie sobre un objeto coloca un tercio de su peso sobre el mismo, es así como para nuestro caso se ha definido que el peso promedio máximo aplicado axialmente sobre la carcasa de nuestro contenedor es de 40 kg de una persona más un promedio de peso de un objeto electrónico grande de 17,3 kg dando un total de fuerza aplicada de 57,3 kg.

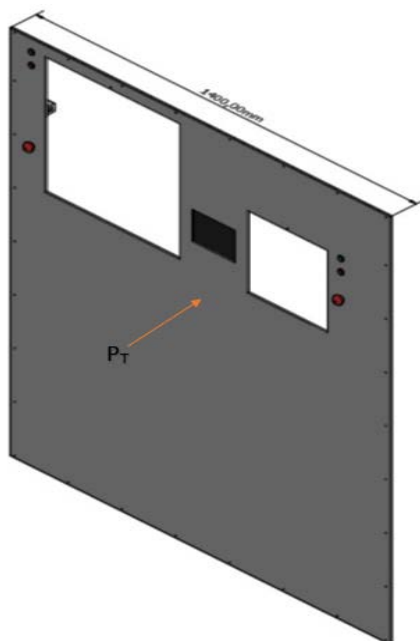
#### **Datos:**

$P_1 = 40 \text{ kg} = 392 \text{ N}$  (Peso de la persona aplicado sobre el contenedor)

$P_{\text{CPU}} = 17,3 \text{ kg} = 169,54 \text{ N}$  (Peso promedio de un CPU)

$P_T = P_1 + P_{\text{CPU}} = 57,3 \text{ kg} = 561,54 \text{ N}$  (Peso total aplicado sobre el contenedor)

#### **Análisis de cuerpo 1 (plancha frontal de contenedor)**



*Figura 58: Plancha frontal del contenedor al aplicar una fuerza  $P_T$  (561.54 N).*

### Diagrama de cuerpo libre 1

Se realiza el diagrama de cuerpo libre sobre la placa frontal del contenedor con el objetivo de analizar el momento máximo.

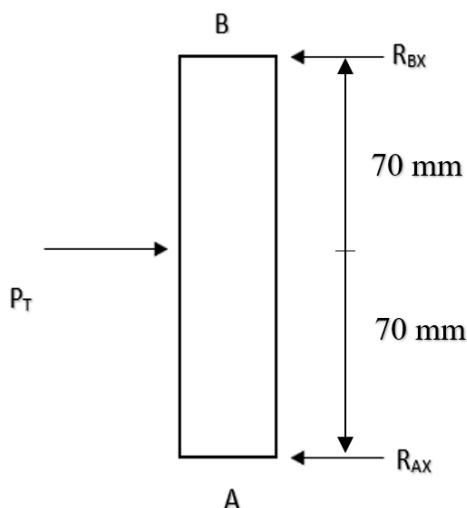


Figura 59: Diagrama de cuerpo libre de la plancha frontal, aplicando una fuerza  $P_T$ .

Se realiza sumatoria de fuerzas:

$$\sum F_x = 0$$

$$P_t - R_{AX} - R_{BX} = 0$$

$$P_t = R_{AX} + R_{BX} \quad (1)$$

Realizamos sumatoria de momento:

$$\sum M_a = 0$$

$$R_{BX} (1,4 \text{ m}) - P_T (0,7 \text{ m}) = 0 \quad (2)$$

Resolvemos ecuaciones 1 y 2:

$$(P_T - R_{AX})(1,4 \text{ m}) - P_T (0,7 \text{ m}) = 0$$

$$1,4P_t - 1,4R_{AX} - 0,7 P_T = 0$$

$$0,7 P_t = 1,4 R_{AX}$$

$$0,5 P_t = R_{AX}$$

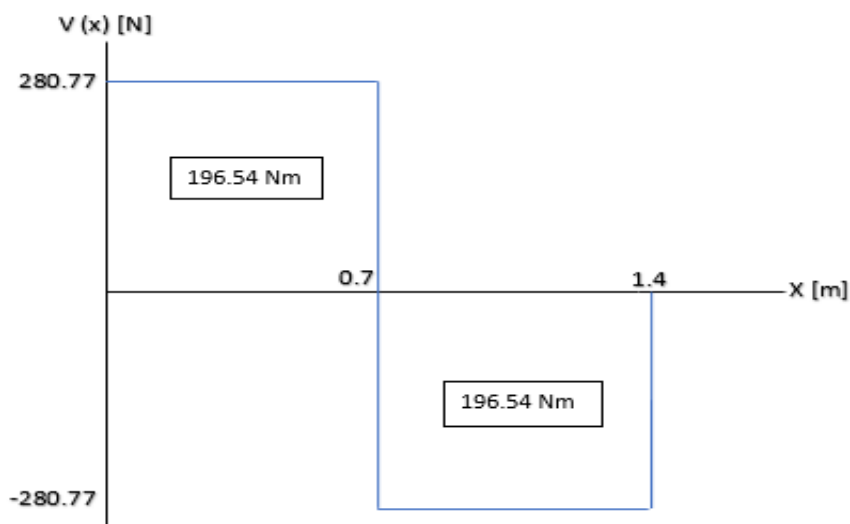
$$R_{AX} = R_{BX} = 0,5 P_t$$

$$R_{AX} = R_{BX} = 0,5 (561,54 N)$$

$$R_{AX} = R_{BX} = 280,77 N$$

Se obtiene que las reacciones en A y B son las mismas pues la fuerza  $P_T$  se aplica en el centro de la placa frontal.

Diagrama de esfuerzo cortante:



*Figura 60: Diagrama esfuerzo cortante de la plancha frontal, sometido a su carga máxima (Calculadora libre de la viga | Momento de flexión, Cizalla fuerza y la deformación de la calculadora | SkyCiv, n.d.)*

Por lo tanto, el momento máximo al que se somete el cuerpo 1 (Cara frontal) es de  $M_{\text{máx}} = 196,54 [\text{Nm}]$ .

Diagrama de momento:

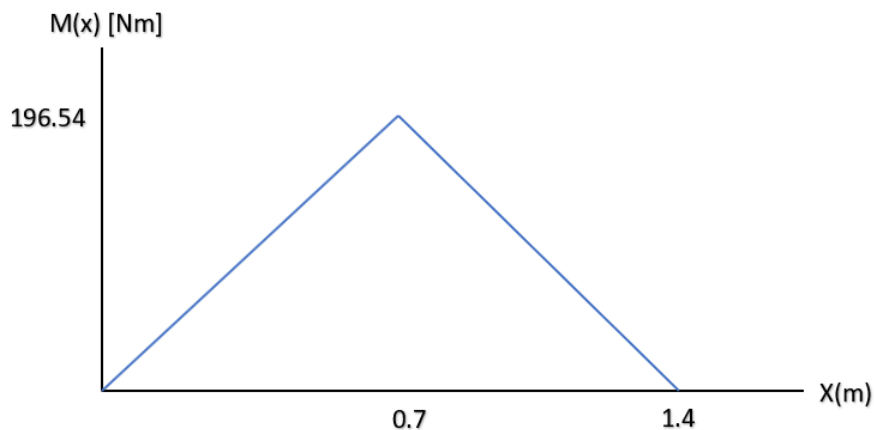
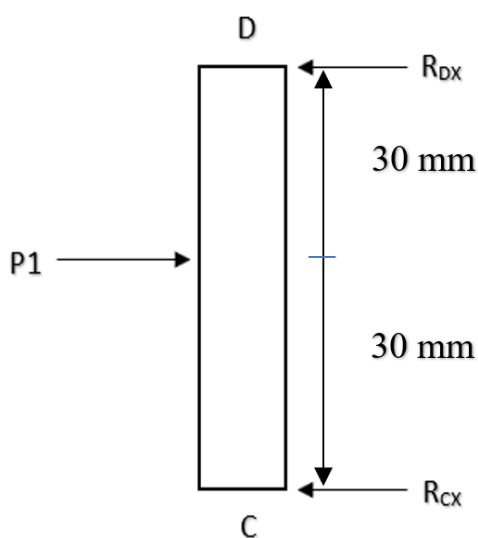


Figura 61: Diagrama de momento de la placa frontal. El momento máximo se encuentra en la mitad de la placa (Calculadora libre de la viga | Momento de flexión, Cizalla fuerza y la deformación de la calculadora / SkyCiv, n.d.).

Por lo tanto, el momento máximo al que se somete la plancha frontal es de  $M_{\text{máx}} = 196.54$  [Nm].

### Análisis de cuerpo 2 (plancha lateral de contenedor)

Se realiza el diagrama de cuerpo libre sobre la placa lateral del contenedor con el objetivo de analizar el momento máximo.



*Figura 62: Diagrama de cuerpo libre de la plancha lateral, sometida aplicando una fuerza  $P_1$  (392 N).*

Se realiza el mismo análisis del cuerpo anterior pero esta vez se analiza el caso en que 40 kg es aplicado sobre esta cara.

Se realiza sumatoria de fuerzas:

$$\sum F_x = 0$$

$$P_1 - R_{CX} - R_{DX} = 0$$

$$P_1 = R_{CX} + R_{DX} \quad (1)$$

Realizamos sumatoria de momento:

$$\sum M_c = 0$$

$$R_{DX} (0,6 \text{ m}) - P_1 (0,3 \text{ m}) = 0 \quad (2)$$

Resolvemos ecuaciones 1 y 2:

$$(P_1 - R_{CX})(0,6 \text{ m}) - P_1 (0,3 \text{ m}) = 0$$

$$0,6P_1 - 0,6R_{CX} - 0,3 P_1 = 0$$

$$0,3 P_1 = 0,6 R_{CX}$$

$$0,5 P_1 = R_{CX}$$

$$R_{CX} = R_{DX} = 0,5 P_1$$

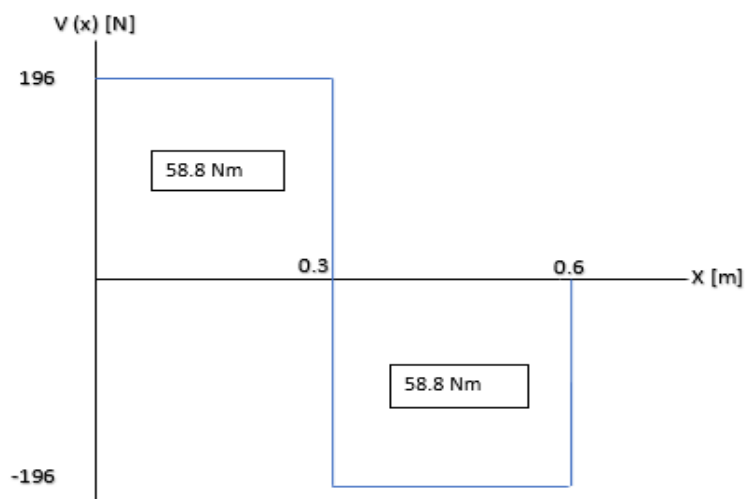
$$R_{CX} = R_{DX} = 0,5 (392 \text{ N})$$

$$R_{CX} = R_{DX} = 196 \text{ N}$$



Se obtiene que las reacciones en C y D son las mismas, pues la fuerza  $P_1$  se aplica en el centro de la placa lateral.

Diagrama de esfuerzo cortante:



*Figura 63: Diagrama esfuerzo cortante de la planchas laterales del contenedor, sometida a su carga máxima (Calculadora libre de la viga / Momento de flexión, Cizalla fuerza y la deformación de la calculadora / SkyCiv, n.d.).*

Por lo tanto, el momento máximo al que se somete el cuerpo 1 (Cara frontal) es de  $M_{m\acute{a}x} = 58,8 \text{ [Nm]}$ .

Diagrama de momento:

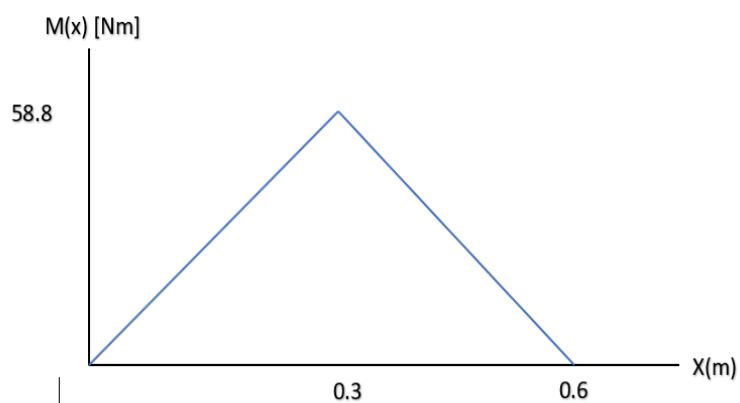
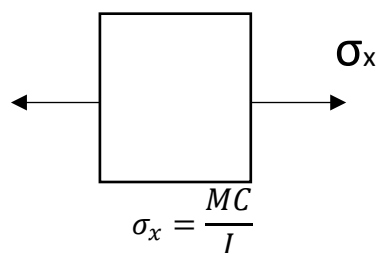
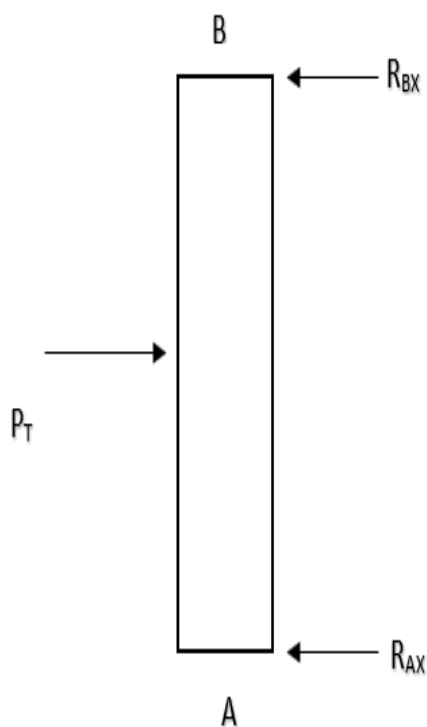


Figura 64: Diagrama de momento para las planchas laterales del contenedor. El momento máximo se encuentra en la mitad de la placa (Calculadora libre de la viga / Momento de flexión, Cizalla fuerza y la deformación de la calculadora / SkyCiv, n.d.).

Por lo tanto, el momento máximo al que se somete la plancha frontal es de  $M_{\text{máx}} = 58.8 \text{ [Nm]}$ .

Una vez obtenidos los resultados de momentos máximo en el cuerpo 1 y 2 se obtiene que el momento máximo recae sobre el cuerpo 1 (Placa frontal) por lo que se procede a realizar los cálculos para determinar las dimensiones necesarias para nuestras planchas de PVC usando los conceptos de Teoría de falla estática.

Elemento infinitesimal:



$$\sigma_x = \frac{224,62 \text{ N} \left(\frac{t}{2}\right)}{\frac{1}{12} b * t^3}$$

$$\sigma_x = \frac{224,62 \text{ N} (0,5 t)}{\frac{1}{12} 1,4 (m) * t^3}$$

$$\sigma_x = \frac{112,31}{0,12 t^2}$$

Figura 65: Diagrama de cuerpo libre de la plancha frontal, aplicando una fuerza PT.

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_1 = \sigma_x$$

$$\sigma_2 = 0$$

Suponemos un factor de seguridad de  $\eta = 2$

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_x}$$

$$2 = \frac{40 \times 10^6 \text{ (Pa)}}{\frac{112,31}{0,12 \text{ t}^2}}$$

$$5,6155 \times 10^{-6} = 0,12 \text{ t}^2$$

$$t = 0,00684 \text{ m}$$

$$\mathbf{t = 6,84 \text{ mm}}$$

Se obtiene como resultado la dimensión del espesor para nuestra placa de PVC que servirá de estructura externa de nuestro contenedor, como la respuesta tiene decimales se considerara un espesor de 7 mm al momento de la adquisición de las planchas.

A continuación, se procede a realizar el análisis de teoría de falla por carga variable a la plancha de PVC, se asume que la carga es repetitiva ya que cuando se aplica carga el componente se somete a esfuerzos, Por lo tanto, se tiene:

$$M_{m\acute{a}x} = 196,54 \text{ [Nm]}$$

$$M_{min} = 0 \text{ [Nm]}$$

Teoría de Falla:

$$S_e' = 0,5S_{ut}$$

$$S_e' = 0,5(45MPa)$$

$$S_e' = 22,5 MPa$$

Se procede a calcular los siguientes factores de diseño que proceden del libro de *Shigley's Mechanical Engineering Design* (pág. 330 – 332) (Budynas & Nisbett, 2015):

**Ka:** Factor de modificación de la condición superficial

Proceso de laminado en caliente:

$$\begin{cases} a = 57,7MPa \\ b = -0,718 \end{cases}$$

$$Ka = aS_{ut}^b = 57,7(45)^{-0,718}$$

$$Ka = 3,75$$

**Kb:** Factor de modificación del tamaño.

Determino un diámetro equivalente al área del perfil:

$$Kb = 1$$

**Kc:** Factor de modificación de la carga.

Como la plancha está carga axial, el factor es:

$$Kc = 0,85$$

**Kd:** Factor de modificación de la temperatura.

Cómo no existe ningún efecto de la temperatura, el factor es:

$$Kd = 1$$

**Ke:** Factor de confiabilidad.

Para una confiabilidad del 99%, el factor es:

$$K_e = 0,814$$

**Kf:** Factor de modificación de efectos varios.

No existen concentradores de esfuerzo:

$$K_f = 1$$

A continuación, se encuentra un nuevo  $S_e$  con los factores de diseño encontrados el cual nos servirá para poder calcular el factor de seguridad en vida infinita.

$$S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot K_f \cdot S_e'$$

$$S_e = 3,75 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 0,814 \cdot 1 \cdot 22,5MPa$$

$$S_e = 58,37MPa$$

Se proceden a calcular los esfuerzos máximos y mínimos presentes en las planchas:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M_{m\acute{a}x}c}{\frac{bxh^3}{12}} = \frac{(224.62 \times 10^3 [Nmm]) \left(\frac{6.84}{2} [mm]\right)}{\frac{1400 \times 6.84^3}{12} [mm^4]}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 20,58 MPa$$

$$\sigma_{min} = \frac{M_{min}c}{\frac{bxh^3}{12}} = 0MPa$$

$$\sigma_{min} = 0MPa$$

Con los esfuerzos máximos y mínimos se procede a calcular el esfuerzo amplitud y el esfuerzo medio de la carga repetitiva:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} = \mathbf{10,25MPa}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} = \mathbf{10,25MPa}$$

Se utiliza la teoría de Goodman para calcular el factor de seguridad a fatiga:

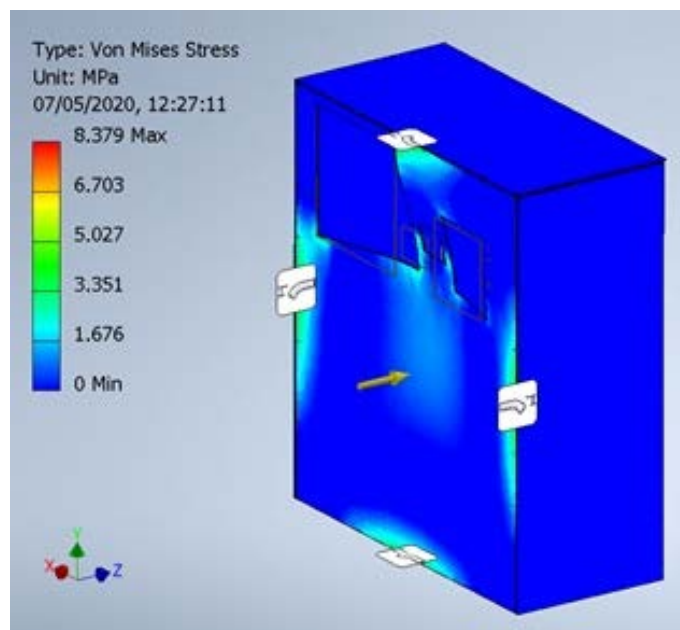
$$n = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}}$$

$$n = \frac{1}{\frac{10,25MPa}{58,37MPa} + \frac{10,25MPa}{45MPa}}$$

$$\mathbf{n = 2,48}$$

El factor de seguridad calculado satisface y es cercano al factor de seguridad establecido  $n=2$  (mayor a  $n=1,5$ ). Por lo tanto, se utilizará una placa de 7 mm para la construcción de la estructura externa del contenedor.

Una vez realizado y verificado los datos obtenidos, se procede a realizar una simulación en el programa inventor, se realiza un diseño en 3D con las medidas a escala real, se establece las propiedades mecánicas del PVC  $S_y=40$  MPa y  $S_{ut}=45$  MPa así como también un factor de seguridad de  $n=2$  (mayor a  $n=1,5$ ). La fuerza aplicada en la simulación es de  $P_t=651,54$  Nm sobre el medio de la cara frontal.



*Figura 66: Simulación de los esfuerzos de la estructura externa sometida a una fuerza horizontal  $P_t$  en la cara frontal del contenedor, cara crítica de la estructura.*

En la gráfica de la simulación se puede evidenciar las secciones del contenedor que estarán sometidas a mayores esfuerzos, los extremos laterales de la parte frontal son los que sufrirán un pandeo mínimo al aplicarse la fuerza  $P_t=651,54$  N.

Por lo que se puede deducir que los cálculos realizados son verificados con la simulación, en ambos casos se obtuvo que la parte crítica de nuestro contenedor es la parte frontal del mismo ya que está expuesto a sufrir cargas de fuerzas sobre la misma al momento de introducir un objeto electrónico. Sin embargo, las medidas calculadas satisfacen las necesidades de uso sin correr ningún riesgo de fallo.

### **Atenuación de Impacto.**

#### **Aletas de caucho para atenuar la caída de electrónicos**

Los aparatos electrónicos tienen que estar en buen estado para que su reciclaje sea el apropiado. A pesar de que la altura del contenedor hará que la caída no sea muy fuerte ha buscado implementar algo para amortiguar los electrónicos cuando son depositados en el

contenedor. Para amortiguar se ocuparán aletas de caucho que se colocarán en el interior del basurero esto hará que los electrónicos golpeen en las aletas disminuyendo su velocidad y haciendo que el impacto sea menor.

### Definición del grosor del caucho

Los siguientes cálculos tienen el objetivo de determinar el espesor del caucho para que este tenga una deflexión de 10 cm, lo cual permitirá que el dispositivo pueda pasar la barrera del caucho y llegue al fondo del contenedor. Se ocupa un análisis estático en lugar de un análisis dinámico con el objetivo de ser conservativos. Para el análisis se ha tomado en cuenta el tamaño promedio de los artículos electrónicos considerados como “grandes”. Por este motivo se ha elegido un aparato de 2 kg de masa y con longitudes de 30x30x30cm.

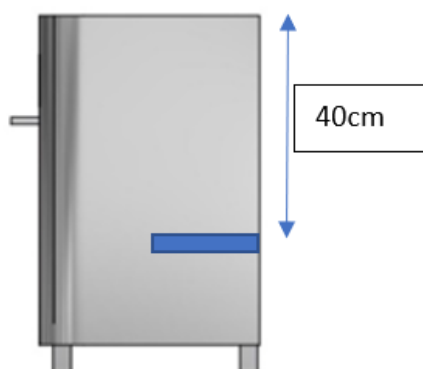


Figura 67: Posición de aleta de caucho en la vista lateral del basurero.

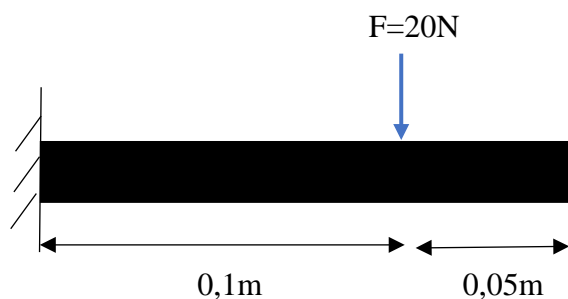
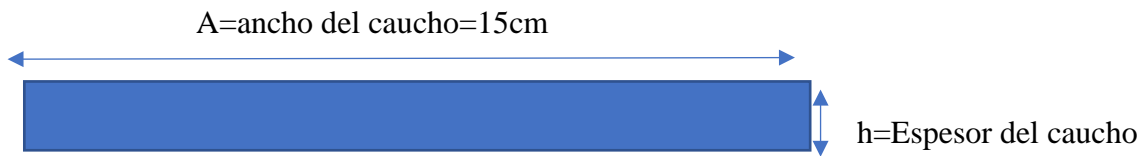


Figura 68: Diagrama de cuerpo libre del caucho al aplicar la fuerza que ejerce el aparato electrónico.





*Figura 69: Área transversal del caucho.*

B=Largo del caucho

A=Ancho del caucho

Ry=Reacción vertical el caucho

M= Momento ejercido en el caucho

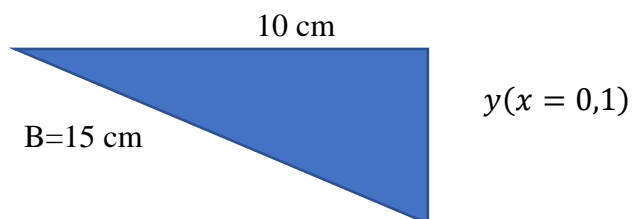
E= Módulo de elasticidad

I= Momento de inercia de la aleta de caucho

y(x)= deflexión del caucho

h= Espesor del caucho

Se representa la deflexión del caucho con la letra y. Se ocupa un triángulo y a partir de la dimensión del caucho se determina la deflexión que existirá



*Figura 70: Representación de la deflexión del caucho.*

$$y(x = 0,1) = \sqrt{15^2 - 10^2} = 11,18\text{cm}$$

Se realiza una sumatoria de fuerzas y momentos en el caucho

$$\sum F = 0$$

$$Ry = 20N$$

$$\sum M = 0,1[cm] * 20[N] = 2[N.m]$$

Se aplica la ecuación diferencial perteneciente a una viga uniforme

$$EI * \frac{d^2y}{dx^2} = 20x - 2$$

$$EI * \frac{dy}{dx} = 20 \frac{x^2}{2} - 2x + c1$$

$$EI * y(x) = 20 \frac{x^3}{6} - \frac{2x^2}{2} + c1x + c2$$

Con las condiciones de borde  $x = 0$   $y = 0$

Se obtiene  $c1 = 0$   $c2 = 0$

Se reemplaza la inercia  $I = \frac{1}{12} A * h^3$

$$y(x = 0,1) = \frac{\frac{20}{6} * x^3 - 0x^2}{(E) * \frac{1}{12} A * h^3}$$

Se reemplaza  $E=7\text{MPa}$  y la inercia del caucho cuya área transversal es  $0,15\text{cm}^2$

$$y(x = 0.1) = \frac{3,33 * 0,10^3 - 0,10^2}{(1x10^6) * 0,0125 * h^3}$$

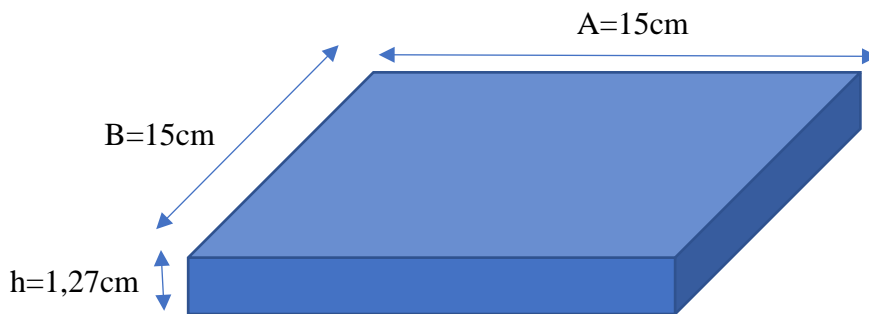
Se busca despejar  $h$  que es el espesor del caucho

$$0.1118 = \sqrt[3]{\frac{3,33 * 0,10^3 - 0,10^2}{(1x10^6) * 0,0125 * h^3}}$$

$$h = 0.017[m]$$

$$h = 1,7[cm]$$

Se deberá buscar un caucho de máximo 1.7 cm por lo que el espesor a elegir sería 1.27 cm. Es decir, ½ pulgada ya que es el tamaño más cercano que se encuentra en el mercado.



*Figura 71: Diagrama del caucho elegido.*

### **Pernos.**

A continuación, se realiza el análisis para poder determinar el diámetro de los pernos que se van a utilizar para dar movilidad entre la estructura y el contenedor interno, según análisis en la sección anterior se obtuvo que el peso a ser aplicado sobre el contenedor es de 946,68 N/m. Obteniendo los siguientes datos:

**$P_t = 946.68 \text{ N/m}$  (Fuerza a ser aplicada sobre el contenedor)**

**$S_y = 250 \text{ MPa}$  (Acero estructural)**

**$S_{ut} = 400 \text{ Mpa}$  (Acero estructural)**

Según nuestro diseño se estableció que se haría uso de dos pernos los cuales servirán como soporte para el contenedor y la movilidad del contenedor.

La carga aplicada sobre cada perno es calculada al dividir la fuerza total  $P_t=946.68 \text{ Nm}$  sobre el número de pernos utilizar (2 pernos).

$$P_{1,2} = \frac{P_T}{2}$$

$$P_{1,2} = \frac{946,68 \text{ N}}{2}$$

$$P_{1,2} = 473,34 \text{ N}$$

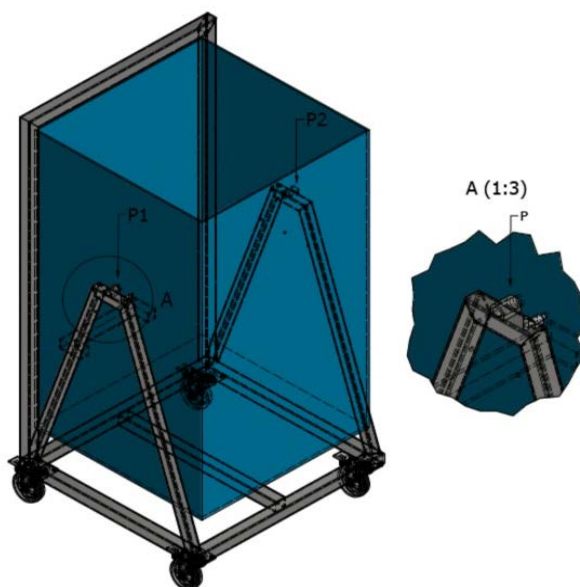
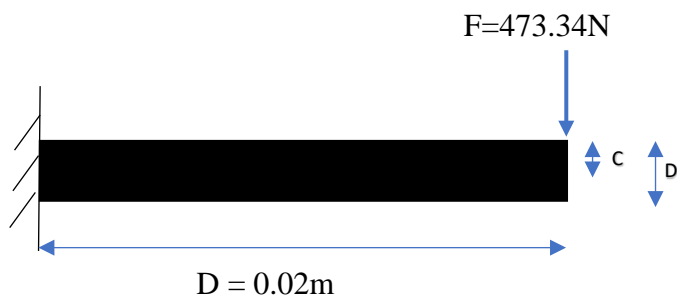


Figura 72: Estructura de contenedor interno aplicado fuerzas P1 y P2 sobre pernos.

En la figura se puede observar las fuerzas P<sub>1</sub> y P<sub>2</sub> aplicadas sobre cada perno de los lados del contenedor los cuales serán analizados para encontrar la dimensión adecuada para este, a continuación, se procede a realizar el diagrama de cuerpo libre del perno:



En donde:

M= Momento ejercido en el caucho

I= Momento de inercia de la aleta de caucho

C= Distancia del eje centroidal a las fibras externas

$\sigma_{max}$ = Esfuerzo máximo

D=distancia del eje a la carga puntual

Fs=Factor de seguridad

d= diámetro del perno

Se considera un factor de seguridad  $n=2$  (mayor a  $n=1,5$ ) para calcular el esfuerzo máximo permisible del perno.

$$\Sigma_{max} = \frac{\sigma_y}{FS}$$

$$\sigma_{max} = \frac{250 \times 10^6 Pa}{2}$$

$$\sigma_{max} = 125 \times 10^6 Pa$$

Se calcula del momento en el perno, para lo cual partimos de la fuerza y distancia aplicada sobre el mismo.

$$M = FxD$$

$$M = 473.34 (N) \times 0.02 (m)$$

$$M = 3,314 (N.m)$$

Debido a que el perno se va a encontrar a flexión, procedemos a calcular el diámetro necesario del perno para que este no falle cuando sea sometido a carga máxima.

$$\sigma_{max} = \frac{MxC}{I}$$

$$125 \times 10^6 Pa = \frac{3.314 (N.m) \times (\frac{d}{2})}{\frac{\pi d^4}{64}}$$

$$d = 6,464 \times 10^{-3}m$$

$$d = 6,464 \text{ mm}$$

Se obtiene que el diámetro de cada perno para soportar la carga de 473,74N es de 6,464 mm con un factor de seguridad de  $n=2$ , sin embargo, por cuestiones de seguridad y durabilidad del contenedor se procede a usar un perno de  $\frac{1}{2}$  pulgada que a la vez es mucho más accesible conseguirlo en el mercado. Por lo tanto, al sobredimensionar el perno a esta dimensión se considera innecesario realizar los cálculos para cuando el perno se encuentre a fatiga.

### **Soldadura.**

El proceso seleccionado para soldar los perfiles del sistema para el sistema de movilización es el de Soldadura con arco de metal protegido (SMAW-Shield Metal Arc Welding). Este proceso consiste en usar un electrodo consumible recubierta de materiales químicos, los cuales le proporcionan un fundente y protección a la soldadura (Groover, 2007). Se selecciono, para este proceso, el electrodo Indura 90 (Clasificación AWS: E-6013 / E-4313). Este electrodo es seleccionado porque es utilizado para soldar aceros al carbono y produce un arco eléctrico estable y muy suave, además este electrodo tiene baja penetración lo cual es útil para los espesores de perfil que se van a utilizar (Indura, n.d.). A continuación, se muestra en la siguiente figura la composición y propiedades del electrodo, así como la longitud, diámetro y amperajes de este.

Composición química (típica) del metal depositado:				
C 0,11%; Mn 0,47%; Si 0,24%; P 0,015%; S 0,018%				
Características típicas del metal depositado (según norma AWS: A5.1/A5.1M-04):				
Resultados de pruebas de tracción con probetas de metal de aporte	Requerimientos	Energía Absorbida Ch-v	Requerimientos	
Resistencia a la tracción : 513 MPa	430 MPa	56J a 20°C	No especificado	
Límite de fluencia : 435 MPa	330 MPa			
Alargamiento en 50 mm : 27%	17%			
Amperajes recomendados:				
Diámetro mm	Longitud mm	Amperaje		Electrodos x kg aprox.
		min.	máx.	
2,4	300	40	90	52
3,2	350	70	120	30
4,0	350	120	190	22
*4,8	350	160	240	16

\* Electrodo fabricado a pedido

Figura 73: Composición, Propiedades y Amperajes del Electrodo INDURA 90 (Indura, n.d.).

Los amperajes del proceso SWAM varían entre 30 y 300 A y los voltajes varían entre 15 a 45V (Groover, 2007). Sin embargo, las máquinas de diseñadas para este proceso usan voltajes de 110V o 220V. De la figura 59 el electrodo seleccionado tiene de diámetro 4,0 mm y longitud de 350 mm, además el amperaje seleccionado es de 150 A con un voltaje de 220V. A continuación, se procede a realizar el cálculo de para encontrar la cantidad de calor necesario para fundir una unidad de volumen de metal a temperatura ambiente mediante la siguiente ecuación:

$$U_m = KT_m^2$$

Donde  $U_m$  = la unidad de energía para fundir, J/mm<sup>3</sup> (Btu/ in<sup>3</sup>);  $T_m$  = punto de fusión del metal en una escala de temperatura absoluta, K (°R); y  $K$  = constante cuyo valor es  $3,33 \times 10^{-6}$  cuando se usa la escala Kelvin (y  $K = 1,467 \times 10^{-5}$  para la escala de temperatura Rankine). La temperatura de fusión absoluta para los aceros es de 1760 °K (3160 °R). Por lo tanto:

$$U_m = \left( 3,33 \times 10^{-6} \left[ \frac{J}{^{\circ}K^2 \cdot mm^3} \right] \right) \cdot (1760 [^{\circ}K])^2$$

$$U_m = 10,3 \left[ \frac{J}{mm^3} \right]$$

Posteriormente, se procede a calcular la potencia de la operación SWAM mediante la siguiente ecuación:

$$P = IE$$

Donde P = la potencia de la operación, W; I = la corriente de la operación, A; y E = el voltaje de la operación, V. Por lo tanto:

$$P = (155[A]) \cdot (220[V])$$

$$P = 34100[W]$$

Luego, se procede a calcular la velocidad de la energía calorífica proporcionada para la operación de soldadura mediante la siguiente ecuación:

$$R_{Hw} = f_1 f_2 IE$$

Donde  $R_{Hw}$  = la velocidad de la energía calorífica proporcionada para la operación de soldadura, J/s = W;  $f_1$  = factor de transferencia de calor,  $f_1=0,9$  para el proceso SWAM;  $f_2$  = factor de fusión,  $f_2 = 0,5$ ; I = la corriente de la operación, A; y E = el voltaje de la operación, V. Por lo tanto:

$$R_{Hw} = (0,9) \cdot (0,5)(34100[W])$$

$$R_{Hw} = 15345[W]$$

Finalmente, se calcula el flujo volumétrico del metal fundido mediante la siguiente ecuación:

$$R_{VW} = R_{Hw}/U_m$$



Donde  $R_{VW}$  = el flujo volumétrico del metal fundido;  $R_{HW}$  = la velocidad de la energía calorífica proporcionada para la operación de soldadura,  $J/s = W$ ;  $U_m$  = la unidad de energía para fundir,  $J/mm^3$  (Btu/ in<sup>3</sup>). Por lo tanto:

$$R_{VW} = \frac{15345[J/s]}{10,3[J/mm^3]}$$

$$R_{VW} = 1489,8 [mm^3/s]$$

A continuación, se procede hacer el análisis de carga a fatiga para lo cual se asume que la carga es repetitiva ya que cuando se aplica carga el componente se somete a esfuerzos, caso contrario, cuando no se aplica ninguna fuerza no existen esfuerzos en la estructura. Para la estructura del sistema de movilización se utilizará tubos de perfil cuadrado de Acero Estructural (ASTM – A36) de 25mm y 30mm de lado. Las propiedades de este acero son:

$$S_y = 250 MPa$$

$$S_{ut} = 400 MPa$$

De la figura 59 las propiedades del electrodo Indura 90 (Clasificación AWS: E-6013 / E-4313) son:

$$S_y = 435 MPa$$

$$S_{ut} = 513 MPa$$

Del análisis realizado para el sistema de movilización se seleccionaron tres componentes críticos para la soldadura. Estos son el cuerpo 1 y el cuerpo 4. A continuación se procede establecer las fuerzas máximas y mínimas para cada cuerpo. Por lo tanto:

Cuerpo 1:

$$F_{m\acute{a}x} = 236,67[N]$$

$$F_{min} = 0[N]$$

Cuerpo 4:

$$F_{m\acute{a}x} = 196[N]$$

$$F_{min} = 0[N]$$

Con las fuerzas máximas y mínimas se procede a calcular la fuerza amplitud y la fuerza media de la carga repetitiva de cada cuerpo:

Cuerpo 1:

$$F_a = \frac{F_{m\acute{a}x} - F_{min}}{2} = \frac{236,67N - 0}{2} = \mathbf{118,34N}$$

$$F_m = \frac{F_{m\acute{a}x} + F_{min}}{2} = \frac{236,67MPa + 0}{2} = \mathbf{118,34N}$$

Cuerpo 1:

$$F_a = \frac{F_{m\acute{a}x} - F_{min}}{2} = \frac{196N - 0}{2} = \mathbf{98N}$$

$$F_m = \frac{F_{m\acute{a}x} + F_{min}}{2} = \frac{196N + 0}{2} = \mathbf{98N}$$

Se procede a calcular los siguientes factores de diseño que proceden del libro de Shigley's Mechanical Engineering Design (pág. 330 – 332; 474 – 476) (Budynas & Nisbett, 2015):

**Ka (Factor de modificación de la condición superficial):**

Proceso como sale de la forja:

$$\begin{cases} a = 272MPa \\ b = -0.995 \end{cases}$$

$$Ka = aS_{ut}^b = 272(400)^{-0,995}$$

$$\mathbf{Ka = 0,701}$$

**Kb (Factor de modificación del tamaño):**

En el caso de un esfuerzo cortante uniforme sobre la garganta,

$$Kb = 1$$

**Kc (Factor de modificación de la carga):**

Como la soldadura está sometida a Torsión (Cortante), el factor es:

$$Kc = 0,59$$

**Kd (Factor de modificación de la temperatura):**

Cómo no existe ningún efecto de la temperatura, el factor es:

$$Kd = 1$$

**Ke (Factor de confiabilidad):**

Para una confiabilidad del 50%, el factor es:

$$Ke = 1$$

**Kf (Factor de modificación de efectos varios):**

No existen concentradores de esfuerzo:

$$Kf = 1$$

A continuación, se determina  $S_e$ . Por lo tanto:

$$S_e = Ka \cdot Kb \cdot Kc \cdot Kd \cdot Ke \cdot Kf \cdot S_e'$$

$$S_e = 0,701 \cdot 1 \cdot 0,59 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 400MPa$$

$$S_e = 82,72MPa$$

El área de la garganta de la soldadura donde se aplican los esfuerzos cortantes es:

Cuerpo 1:

$$A = 1,414h(b + d)$$

Donde  $h$  es la dimensión del filete de soldadura, en pulgadas;  $b$  y  $d$  representan la geometría de la garganta de la soldadura en pulgadas como se muestra en la siguiente figura:

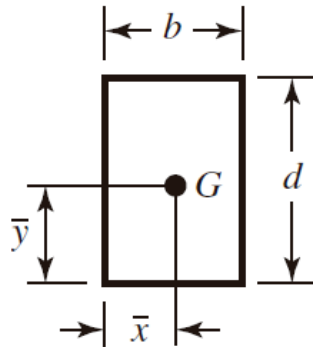


Figura 74: Área de la garganta (Budynas & Nisbett, 2015).

Por lo tanto, usando un filete de 3mm:

$$A = 1,414(15/127)(2 \cdot 125/127)$$

$$A = 0,329 \text{ in}^2$$

$$A = 212,26 \text{ mm}^2$$

Cuerpo 2:

$$A = 1,414h(b + d)$$

Donde  $h$  es la dimensión del filete de soldadura, en pulgadas;  $b$  y  $d$  representan la geometría de la garganta de la soldadura en pulgadas como se muestra en la figura 60. Por lo tanto, usando un filete de 3mm:

$$A = 1,414(15/127)(2 \cdot 150/127)$$

$$A = 0,395 \text{ in}^2$$

$$A = 254,84 \text{ mm}^2$$

En la soldadura está presente solo el esfuerzo cortante primario. Por lo tanto, se procede a calcular el esfuerzo amplitud y el esfuerzo medio de la carga repetitiva:

$$\tau'_a = \frac{K_{fs} F_a}{A}$$

Donde  $\tau'_a$  = es el esfuerzo amplitud en cortante, MPa; Kfs es el factor del tipo de soldadura, este factor es igual a 2 porque el tipo de soldadura es a tope T con esquinas agudas; Fa = es la fuerza de amplitud y A es área de la garganta.

$$\tau'_m = \frac{K_{fs} F_m}{A}$$

Donde  $\tau'_m$  = es el esfuerzo medio en cortante, MPa; Kfs es el factor del tipo de soldadura, este factor es igual a 2 porque el tipo de soldadura es a tope T con esquinas agudas; Fm = es la fuerza media y A es área de la garganta. Por lo tanto:

Cuerpo 1:

$$\tau'_a = \tau'_m = \frac{K_{fs} F_a}{A}$$

$$\tau'_a = \tau'_m = \frac{(2) \cdot (118,34 \text{ N})}{212,26 \times 10^{-6}}$$

$$\tau'_a = \tau'_m = 1,12 \text{ MPa}$$

Cuerpo 2:

$$\tau'_a = \tau'_m = \frac{K_{fs} F_a}{A}$$

$$\tau'_a = \tau'_m = \frac{(2) \cdot (98 \text{ N})}{254,84 \times 10^{-6}}$$

$$\tau'_a = \tau'_m = 0,77MPa$$

A continuación, se utiliza la teoría de Goodman para calcular el factor de seguridad a fatiga:

Cuerpo 1:

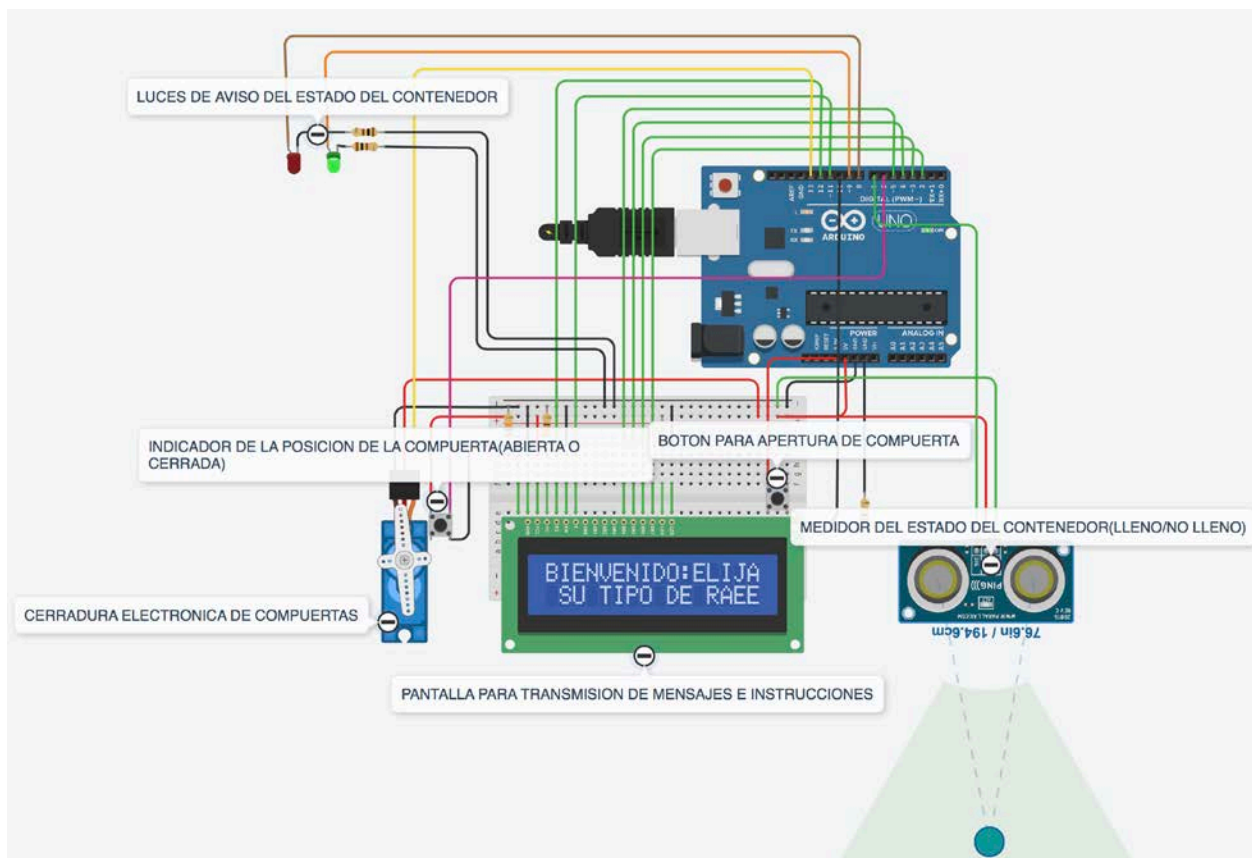
$$n = \frac{1}{\frac{\tau'_a}{S_e} + \frac{\tau'_m}{S_{su}}} = \frac{1}{\frac{\tau'_a}{S_e} + \frac{\tau'_m}{0,67S_{ut}}} = \frac{1}{\frac{1,12MPa}{82,72MPa} + \frac{1,12MPa}{0,67 \cdot 400MPa}} = 56,44$$

Cuerpo 2:

$$n = \frac{1}{\frac{\tau'_a}{S_e} + \frac{\tau'_m}{S_{su}}} = \frac{1}{\frac{\tau'_a}{S_e} + \frac{\tau'_m}{0,67S_{ut}}} = \frac{1}{\frac{0,77MPa}{82,72MPa} + \frac{0,77MPa}{0,67 \cdot 400MPa}} = 82,09$$

El factor de seguridad satisface y es mayor al factor de seguridad establecido. Por lo tanto, se utilizará el electrodo Indura 90 (Clasificación AWS: E-6013 / E-4313) para la construcción de la estructura del sistema de movilización del contenedor.

## Automatización.



*Figura 75: Sistema de automatización para simulación.*

Para visualizar la simulación, a continuación, se muestra un enlace para observarla en video: <https://www.youtube.com/watch?v=zC4stgGUSPk&feature=youtu.be>

### ***Sistema de aviso y comunicación.***

Este sistema para motivo de simulación está constituido por un Arduino, ultrasonido, pulsador, led rojo, led verde y una pantalla led 16x2, todos estos componentes están en conjunto con sus respectivas resistencias. Este sistema empieza por el pulsador, el cual dará paso a que la pantalla led indique las instrucciones a seguir por el usuario, así también dará señal de aviso al sistema de seguridad y se activarán las luces led de manera intermitente mientras la compuerta este abierta. Seguido a esto, una vez la puerta cerrada, la pantalla dará un mensaje al usuario, proveyendo información de contacto con la empresa. Finalmente, el sensor de ultrasonido dará aviso del estado del contenedor para así activar el led correspondiente,

rojo(lleno) o verde (no lleno) y a su vez activar el mensaje correspondiente en pantalla dependiendo del estado.

### ***Seguridad de los residuos RAEE.***

Este sistema está conformado por un Arduino, servomotor (cerradura), pulsador (sensor de cierre de compuerta) y ultrasonido, cabe recalcar que todos estos componentes están en conjunto con sus respectivas resistencias. Este sistema da inicio al recibir instrucciones de apertura, por parte del sistema de aviso y comunicación; aquí el servomotor girará 90 grados, dando paso así a la apertura de compuerta. Siguiendo a esto, una vez que el pulsador cense el contacto de compuerta al cerrarse, el servomotor tendrá señal para regresar a su posición inicial, es decir 0 grados. Terminando con el funcionamiento del sistema, el ultrasonido comprobará si existe espacio disponible; de no ser así bloqueará la compuerta hasta que exista un vaciado del contenedor.



### Diagrama de flujo del sistema de automatización.

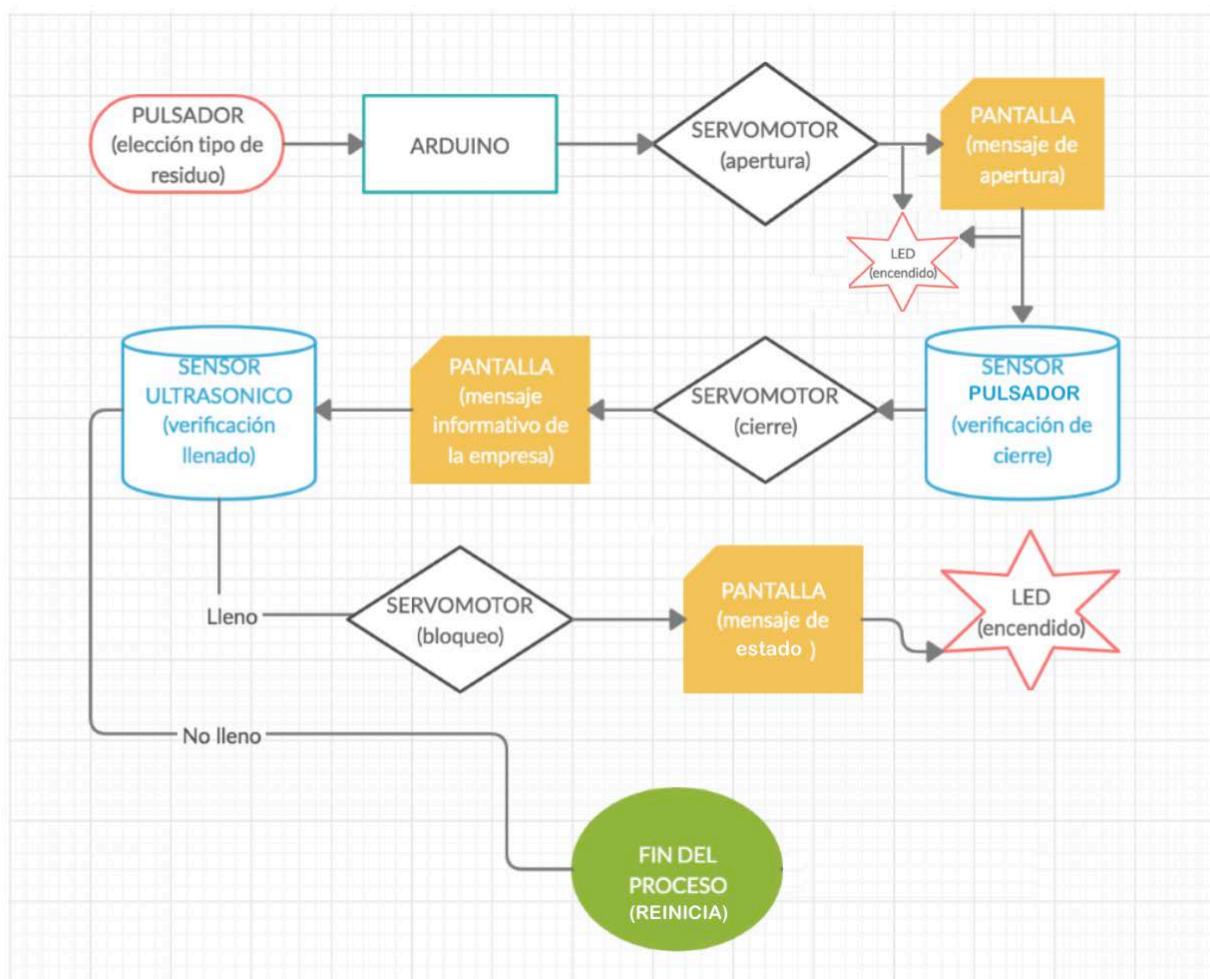


Figura 76: Diagrama de Flujo del sistema de automatización.

**ANEXO D: REGISTRO Y MONITOREO DE LOS RIEGOS DEL PROYECTO**

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Prioridad = Impacto x Probabilidad</b>	<b>Responsable</b>	<b>Decisión Tomada</b>	<b>Estatus</b>	<b>Observaciones</b>
001	Daño en la estructura externa del contenedor por impacto o por esfuerzos.	2x4=8	Santiago Molina	Se utilizará un material resistente que cumpla con los requerimientos planteados.	Pendiente	Costo elevado dependiendo del material. Reformar presupuesto.
002	Retraso en la obtención de partes eléctricas y electrónicas para la automatización del contenedor.	2x5=10	Christopher Cali	Comprar y pedir con antelación las partes que se utilizarán en el contenedor. Cambiar de proveedor.	Pendiente	El cliente puede cambiar el requerimiento en la automatización del contenedor.
003	Maltrato de residuos RAEE al momento de ser depositados en el contenedor.	3X4=12	Martín Pástor	Diseñar un mecanismo que amortigüe o disminuya el impacto de los equipos que sean depositados en el contenedor.	Pendiente	Tamaño de los residuos RAEE. Tamaño y altura del contenedor.
004	Daño en los componentes electrónicos que se instalaran para la automatización del contenedor.	4x3=12	Nelson Sandoval	Diseñar un compartimiento para resguardar y sujetar los componentes electrónicos más delicados.	Pendiente	Debe contar con una cerradura. Personal autorizado puede acceder al compartimiento para mantenimiento y actualizaciones.
005	Daño en los componentes mecánicos que impidan la fácil movilización de los contenedores internos al momento de ser recolectados.	3x2=6	Nelson Sandoval	Se realizará análisis de peso máximo que soportará el contenedor, para la elección de la mejor opción de ruedas.	Pendiente	La forma de las ruedas dependerá de cómo sea diseñado el contenedor, altura y forma.

006	Falta de implementación de todos los requerimientos realizada por parte del cliente.	$4 \times 3 = 12$	Santiago Molina	Se optimizará y se realizará un plan de trabajo adecuado en conjunto con el cliente que permite la implementación de todas las necesidades.	Pendiente	Se podrían presentar cambios en los requerimientos del cliente conforme se avance en el proyecto.
007	Falta de acogida por parte de las personas hacia el proyecto.	$4 \times 4 = 16$	Nelson Sandoval	Se diseñará un contenedor innovador y 100% funcional que cumpla necesidades requeridas, así como también la implementación de un sistema de interfaz con el usuario amigable que permita fácil interacción.	Pendiente	Se realizará un estudio de mercado para poder elegir entre los sketches realizados cual es la de mayor impacto hacia las personas.
008	Incumplimiento con el presupuesto planteado por el cliente.	$3 \times 3 = 9$	Martín Pástor	Se realizarán análisis de costos de materiales necesarios para el proyecto con el fin de cumplir tanto con las necesidades del cliente como con el presupuesto establecido.	Pendiente	El presupuesto puede variar conforme se vayan presentando dificultades y nuevas necesidades a lo largo de la elaboración del proyecto.
009	Corrosión en las juntas de la estructura.	$2 \times 2 = 4$	Santiago Molina	Se utilizará materiales que eviten la corrosión o a su vez se recubrirá los mismos evitando su exposición directa.	Pendiente	Se deberá revisar el presupuesto para elegir la mejor alternativa.
010	Desprendimiento del brandeo en el contenedor.	$3 \times 4 = 12$	Martín Pástor	El brandeo cubrirá todo el perímetro de la estructura, evitando así la presencia de aristas que puedan generar su desprendimiento.	Pendiente	Tener en cuenta el uso de vinchas o remaches en las zonas de movilidad como la compuerta.
011	Confusión en el empleo del contenedor.	$2 \times 3 = 6$	Christopher Cali	Se implementarán botones de activación que permitan el	Pendiente	Las instrucciones deberán ser claras y vistosas para que

				depósito de residuos, para así resaltar el fin del contenedor.		cualquier persona pueda entender el funcionamiento y también lo pueda leer.
012	Daño en los dispositivos reciclados por presencia de humedad.	5x2=10	Christopher Cali	La base de los contenedores deberá estar sobre la altura del piso y permitir la salida de humedad por la parte inferior del mismo.	Pendiente	La humedad también puede afectar a los dispositivos de automatización del contenedor.

*Tabla 32: Registro y monitoreo de los riegos del proyecto.*

## ANEXO E: GESTIÓN DE PROYECTOS

### Diagrama de Gantt

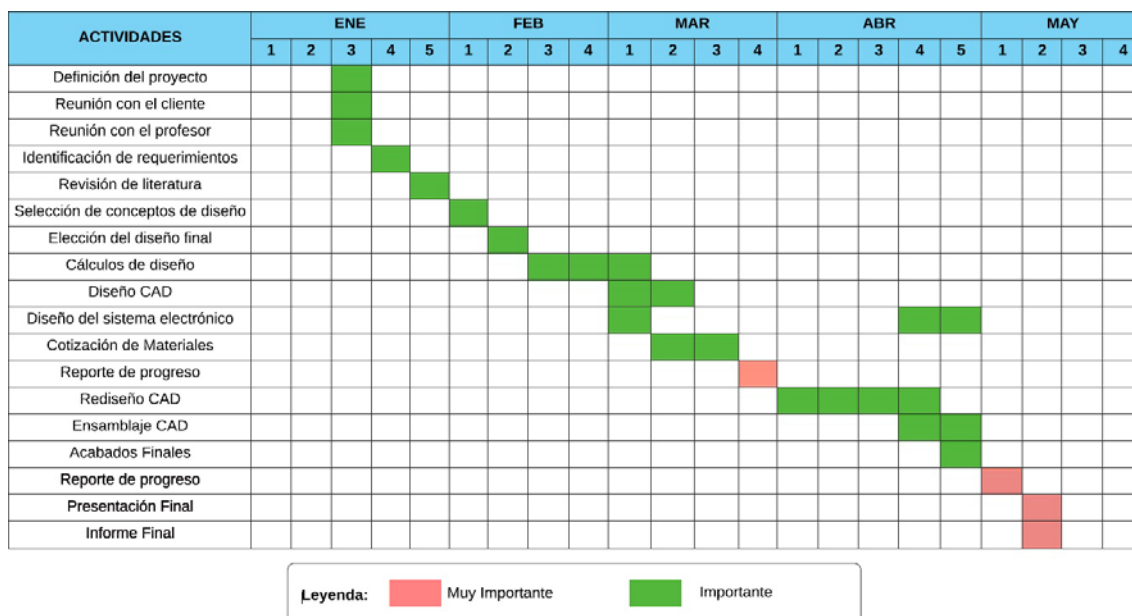


Figura 77: Cronograma de actividades por semanas de trabajo.

### Informe de presupuesto y gastos

Descripción	Cantidad	Precio unitario	VALOR
Placa Arduino	1	\$ 14.00	\$ 14.00
Sensor Ultrasonico	2	\$ 4.00	\$ 8.00
Cerraduras electricas	3	\$ 10.00	\$ 30.00
Pantalla led	1	\$ 15.00	\$ 15.00
led indicador	4	\$ 0.80	\$ 3.20
Pulsador	4	\$ 1.78	\$ 7.12
Fuente de poder	1	\$ 12.00	\$ 12.00
Plancha de 7mm pvc (7m <sup>2</sup> )	3	\$ 23.00	\$ 69.00
Plancha de 4mm acero A36 (4m <sup>2</sup> )	1	\$ 115.00	\$ 115.00
Perfil metalico de perchas (17m)	3	\$ 15.00	\$ 45.00
Tubo cuadrado 30x30x2 (12m)	2	\$ 13.00	\$ 26.00
Tubo cuadrado 25x25x2 (6m)	1	\$ 12.00	\$ 12.00
Garruchas	8	\$ 11.75	\$ 94.00

Bisagra	9	\$ 3.48	\$ 31.32
Pintura	1	\$ 20.00	\$ 20.00
Brandeo	1	\$ 80.00	\$ 80.00
Caucho	4	\$ 4.25	\$ 17.00
Cerraduras laterales	2	\$ 15.00	\$ 30.00
Perno y tuerca pivote	4	\$ 1.50	\$ 6.00
Tornillos autoroscantes 4x10	65	\$ 0.08	\$ 5.20
Remaches 4x10	80	\$ 0.05	\$ 4.00
Resistencia 220 ohms	4	\$ 0.25	\$ 1.00
Resistencia 10k ohms	2	\$ 0.33	\$ 0.66
Cable	1	\$ 15.00	\$ 15.00
Soldadura y corte	1	\$ 60.00	\$ 60.00
		<b>TOTAL</b>	<b>\$720.50</b>

*Tabla 33: Gastos necesario para la construcción del contenedor.*

De la tabla 34 se puede apreciar que el gasto total del proyecto es de \$720,50. El presupuesto establecido por la empresa es de \$700,00. Por lo tanto, esto representa un aumento del 2.9% al valor del presupuesto original. Sin embargo, como el valor es mínimo se puede negociar con el cliente el precio final.

## ANEXO F: CÓDIGO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

```

#include <Servo.h>
#include <LiquidCrystal.h>

const int rs = 12, en = 11, d4 = 5, d5 = 4, d6 = 3, d7 = 2;
LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);
int inches = 0;
int pin = 13;//cerradura
Servo servo;
float cm = 0;
int ledg = 9;//led verde
int ledr = 8;//led rojo
unsigned const button = 10;
unsigned const button2 = 6; //sensor compuerta
unsigned int bState = 0;

long readUltrasonicDistance(int triggerPin, int echoPin)
{
  pinMode(triggerPin, OUTPUT);
  digitalWrite(triggerPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(triggerPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(triggerPin, LOW);
  pinMode(echoPin, INPUT);
  return pulseIn(echoPin, HIGH);
}

void setup()

{
  lcd.begin(16, 2);
  Serial.begin(9600);
  servo.attach(pin);
  pinMode(ledr, OUTPUT);
  pinMode(ledg, OUTPUT);
  pinMode(button, INPUT);
  pinMode(button2, INPUT);
}

void loop()
{
  // measure the ping time in cm
  cm = 0.01723 * readUltrasonicDistance(7, 7);

  if(cm<67&&cm<65)
  {

```

```

    lcd.clear();
    servo.write(0);//Bloqueo compuerta
    lcd.print(" CONTENEDOR");//Mensaje de necesidad de vaciado
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(" LLENO ");
    digitalWrite(ledg, LOW);
    digitalWrite(ledr, HIGH);
    delay(500);
    digitalWrite(ledr, LOW);
    delay(200);
    lcd.clear();
}

```

```
else
```

```

{
    servo.write(0);
    lcd.print("BIENVENIDO:ELIJA");// Bienvenida al usuario
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(" SU TIPO DE RAEE");
    digitalWrite(ledr, LOW);
    digitalWrite(ledg, HIGH);
    delay(500);
    digitalWrite(ledg, LOW);
    delay(500);

```

```
if(digitalRead(button) == 1)
```

```

{
    lcd.clear();
    digitalWrite(ledr, LOW);
    digitalWrite(ledg, HIGH);
    servo.write(90);
    lcd.clear();
    lcd.print("ABRA LA COMPUERTA");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Y SITUE SU RAEE ");
    delay(5000);

```

```
while(digitalRead(button2) == 0)
```

```

{
    delay(200);
    lcd.clear();
    delay(200);
    lcd.print(" CIERRE");//Aviso
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(" LA COMPUERTA ");
    digitalWrite(ledg, LOW);
    digitalWrite(ledr, HIGH);
    delay(400);
    digitalWrite(ledr, LOW);
    digitalWrite(ledg, HIGH);

```



```
}  
  
lcd.clear();  
lcd.print(" GRACIAS POR "); //Mensaje  
  lcd.setCursor(0, 1);  
    lcd.print("SU CONTRIBUCION");  
  delay(2500);  
  servo.write(0);  
lcd.clear();  
lcd.print(" PARA MAS");  
  lcd.setCursor(0, 1);  
    lcd.print("INFO. VISITA:");  
  delay(3000);  
lcd.clear();  
lcd.print("PROYECCIONFUTURA");  
  lcd.setCursor(0, 1);  
    lcd.print(".COM");  
  delay(4000);  
  digitalWrite(ledg, LOW);  
  lcd.clear();  
  
}  
  
  digitalWrite(ledg, LOW);  
  digitalWrite(ledr, LOW);  
}  
  
}
```

## ANEXO G: MANUAL DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN

### Lista de partes:

#	PIEZA	CANTIDAD
1	Estructura para la carcasa – Contenedor RAEE	1
2	Pasador cerradura	2
3	Plancha posterior de contenedor RAEE	1
4	Planchas laterales de contenedor RAEE	2
5	Bisagra	9
6	Cerraduras laterales	2
7	Plancha superior de contenedor RAEE	1
8	Plancha frontal de contenedor RAEE	1
9	Compuerta 30x30cm del contenedor RAEE	1
10	Compuerta 50x50cm del contenedor RAEE	1
11	ANSI B18.6.5M – 3.5 x 1.3 x 10 – AB – I	53
12	Rivet GB 873 4 x 10 x 9	80
13	Estructura para el sistema pivote y de movilización – Contenedor RAEE	2
14	Caucho	4
15	ISO 2009 – M3,5 x 6(1)	12
16	Estructura interna contenedor RAEE	2
17	Garruchas	8
18	Pantalla led	1
19	Luz verde	2
20	Luz Roja	2
21	Sensor de cierre	2
22	Pulsador	2
23	AS 1110-M12x45	4
24	ANSI B18.2.4.2M – M12x1,75	4
25	Sensor ultrasónico	2
26	Placa Arduino	1
27	Fuente de poder para placa	1
28	Resistencia 220 ohms	4
29	Resistencia 10k ohms	2
30	Cerraduras eléctricas	3

*Tabla 34: Lista de piezas.*

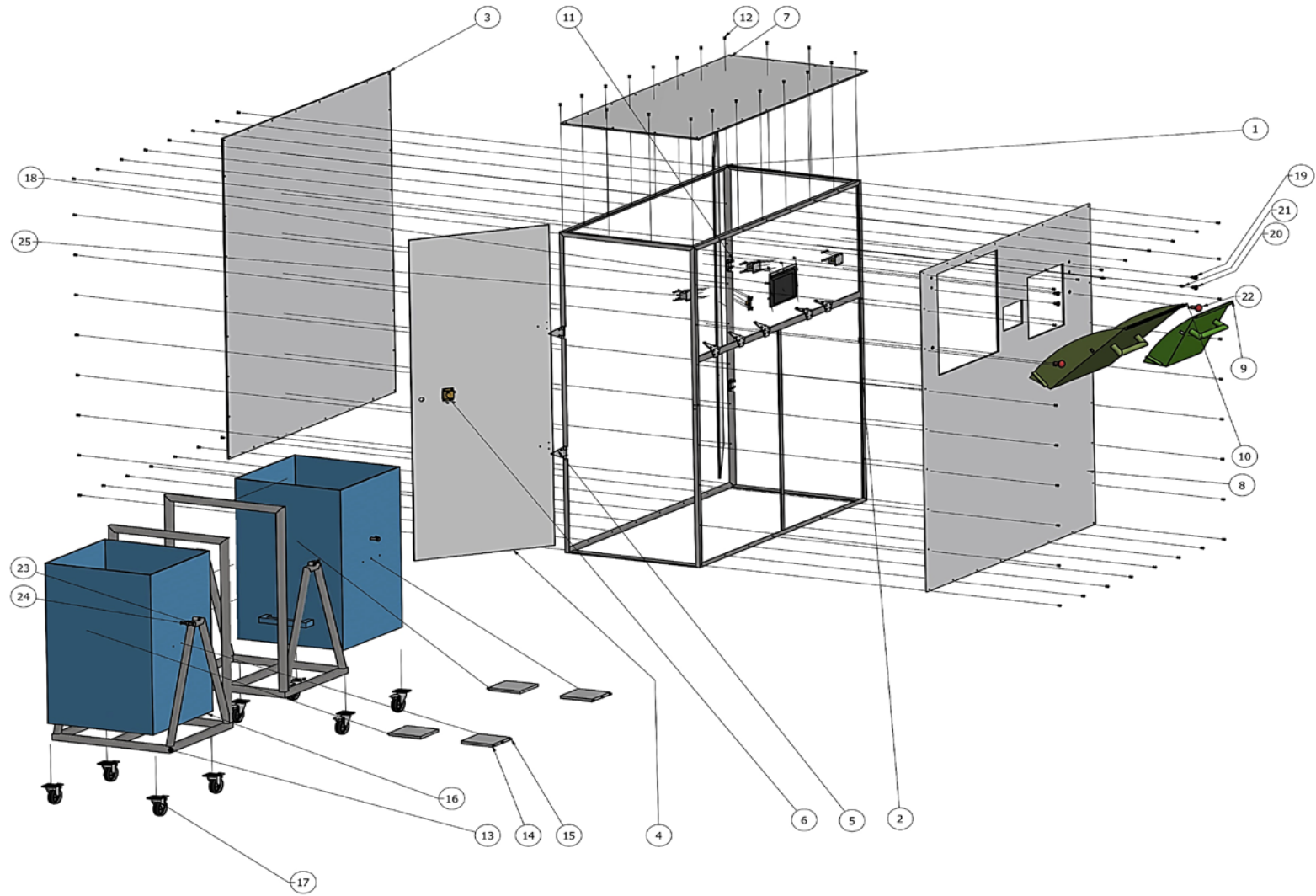


Figura 78: Numeración de partes mecánicas.

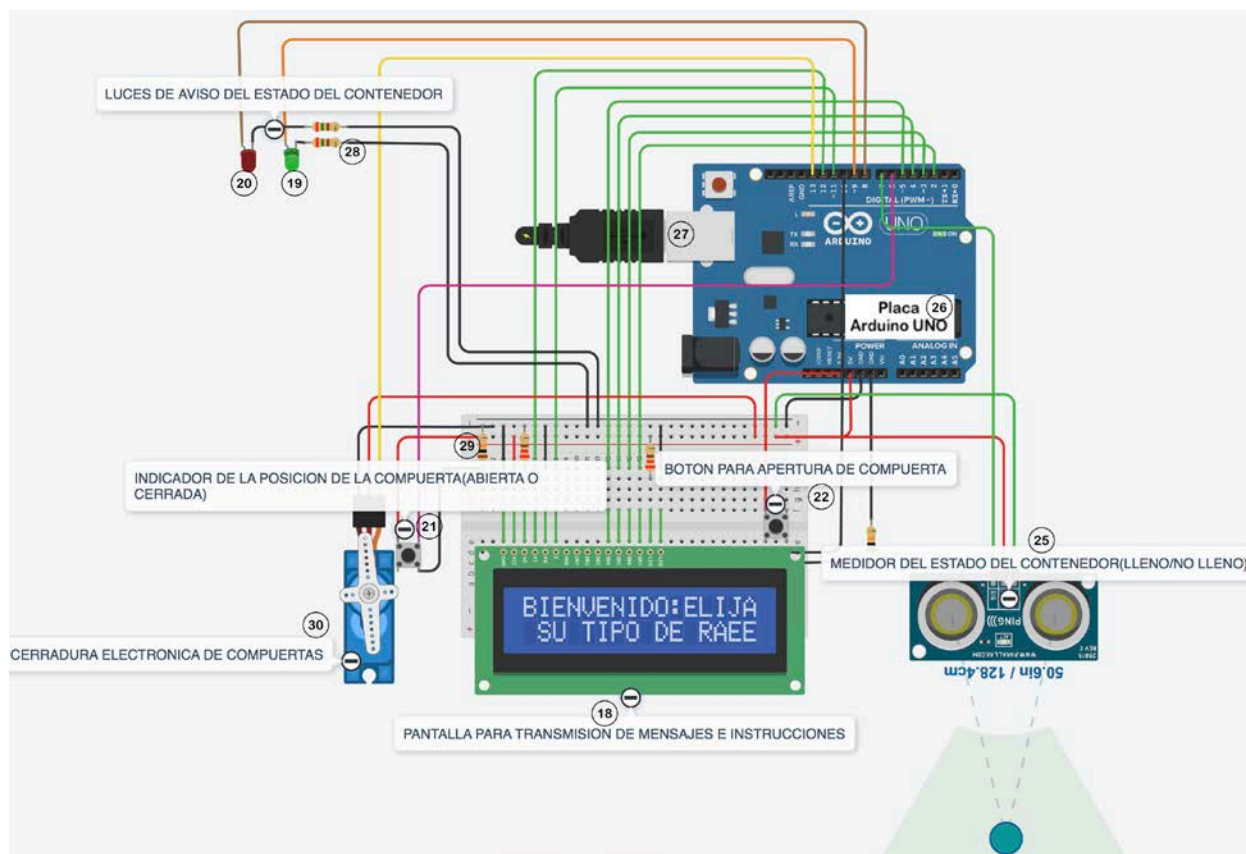


Figura 79: Numeración de partes eléctricas y electrónicas.

## Manual de uso:

### Disposición de residuos:

Este contenedor ha sido diseñado con el objetivo de acopiar exclusivamente residuos RAEE. Es decir, NO se debe depositar en su interior residuos o desechos orgánicos o similares; pues estos podrían causar la degradación de este.

### Peso máximo permisible:

Una vez que el contenedor se encuentre repleto, el sistema de automatización bloqueará las compuertas de entrada, evitando así el desborde de este. Sin embargo, el contenedor está en capacidad de ser llenado, pudiendo soportar sin problema una masa de 96kg.

### Transporte:

La estructura de movilización del contenedor cuenta con un mango horizontal en el límite superior, el mismo que tiene como objetivo ser empleado con ambas manos del operador, para así poder ser transportado hasta el lugar de vaciado. Así también dispone de garruchas con freno, los cuales deben ser empleados en todo momento fuera de la situación de transporte.

### **Vaciado:**

Para poder vaciar los RAEEs de forma fácil y segura, la estructura cuenta con un sistema de pivote, el cual actúa al momento de halar de la manija, ubicada en la parte inferior del contenedor; permite el desliz de los RAEE directamente en el transporte automotor, o a su vez en una colchoneta u alfombra ubicada sobre el piso. En cuanto a su seguridad durante el transporte, la estructura cuenta con un seguro deslizante junto al sistema de pivote, con el objetivo de mantener fija a la estructura durante su traslado y así evitar impactos con el operador y también evitar daños en los RAEE. Entonces, dicho seguro debe ser únicamente retirado en el momento de vaciado.

### **Limpieza:**

La limpieza de este contenedor, tanto para su parte interna como externa es bastante sencilla. Para ambos casos es únicamente necesario emplear una brocha o escoba para retirar grandes partículas, y un paño húmedo para remover las partículas pequeñas. NO aplicar agua u otros líquidos de limpieza de forma directa en las estructuras, ya que pueden afectar su desempeño. Cabe mencionar que, para poder realizar la limpieza respectiva, es necesario desconectar la fuente de poder y vaciar el contenedor.

### **Instrucciones de seguridad:**

- Situar el contenedor en superficies planas.
- Situarlo en un lugar seco y cubierto.
- Bloquear garruchas para evitar accidentes.

- En caso de presencia de humedad, dejar secar completamente, antes de su empleo.
- No subirse sobre el contenedor.
- No exponerlo a grandes temperaturas, ni líquidos.

### **Inspección y reparación:**

El correcto funcionamiento del contenedor deberá ser inspeccionado por el operario de vaciado del contenedor en cada ocasión que intervenga. En caso de alguna anomalía en su funcionamiento y desempeño, deberá informar a la empresa a cargo para que el personal especializado solucione la anomalía. Así también, con objetivo de su correcto funcionamiento, el personal de mantenimiento intervendrá cada 6 meses.

### **Instrucciones de Operación del Contenedor:**

1. Conectar la fuente de poder.
2. Verificar el estado (lleno / no lleno) del contenedor, mediante los indicadores led o pantalla.
3. Elegir el tipo de RAEE a depositar.
4. Presionar el pulsador correspondiente.
5. Abrir compuerta.
6. Situar el RAEE sobre la compuerta.
7. Cerrar lentamente la compuerta.
8. Revisar información expuesta en la pantalla.

### **Instrucciones de Mantenimiento del Contenedor:**

#### **Mantenimiento en uso:**

1. Apertura de puertas y cerraduras laterales.
2. Desconectar fuente de poder.
3. Extracción de la estructura interna de movilización.

4. Transporte de los RAEE mediante la estructura.
5. Vaciado de contenedor/es mediante mecanismo de pivote (retirar el seguro deslizante).
6. Limpieza de estructura interna y externa del contenedor.
7. Verificación de anomalías en la estructura mecánica (desgaste, corrosión, falta de movimiento)
8. Conectar la fuente de poder.
9. Verificación de la correcta operación del contenedor.
10. Cierre de puertas y cerraduras laterales.

**Mantenimiento preventivo (cada 6 meses):**

1. Apertura de puertas y cerraduras laterales.
2. Desconectar fuente de poder.
3. Extracción de la estructura interna de movilización.
4. Engrase de piezas móviles (pivote, bisagras y ruedas).
5. Verificación de funcionamiento de componentes electrónicos.
6. Cambio de componentes con menor eficiencia a la inicial.
7. Cambio de leds (cada 3 años), Arduino (cada 5 años).
8. Cambio de cauchos del contenedor interno.
9. Aplicación de pintura anticorrosiva en zonas con desgaste.
10. Renovación del brandeo (cada año).
11. Conectar la fuente de poder.
12. Verificación de la correcta operación del contenedor.
13. Cierre de puertas y cerraduras laterales.