



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**TRABAJO EXPERIMENTAL**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:**

---

“ANÁLISIS POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS DE LOS CONTENEDORES DE RESIDUOS, PARA VERIFICAR SU RESISTENCIA MECÁNICA SEGÚN LOS ENSAYOS DESCRITOS EN LA NORMA UNE-EN 12574-2, EN LA EMPRESA ECUAMATRIZ CIA LTDA.”

---

**AUTOR:** Gustavo Genaro Pomaquero Pinda

**TUTOR:** Ing. MSc. Diego Núñez

**Ambato –Ecuador**

**2019**

## **APROBACIÓN POR EL TUTOR**

### **CERTIFICACIÓN**

En mi calidad de tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema “ANÁLISIS POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS DE LOS CONTENEDORES DE RESIDUOS, PARA VERIFICAR SU RESISTENCIA MECÁNICA SEGÚN LOS ENSAYOS DESCRITOS EN LA NORMA UNE-EN 12574-2, EN LA EMPRESA ECUAMATRIZ CIA LTDA”, elaborado por el Sr. Gustavo Genaro Pomaquero Pinda, portador de la cédula de ciudadanía: 1804638730, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

.....  
Ing. MSc. Diego Núñez

TUTOR

## AUTORÍA DEL TRABAJO

Declaro que el presente Trabajo Experimental bajo el tema: “ANÁLISIS POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS DE LOS CONTENEDORES DE RESIDUOS, PARA VERIFICAR SU RESISTENCIA MECÁNICA SEGÚN LOS ENSAYOS DESCRITOS EN LA NORMA UNE-EN 12574-2, EN LA EMPRESA ECUAMATRIZ CIA LTDA.”, en su totalidad, incluyendo ideas, criterios, análisis y conclusiones son de mi completa autoría.

.....  
Gustavo Genaro Pomaquero Pinda

C. I.: 180463873-0

## DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación según las normas de la institución

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi trabajo experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este trabajo experimental dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

.....  
Gustavo Genaro Pomaquero Pinda

C. I.: 180463873-0

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: “ANÁLISIS POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS DE LOS CONTENEDORES DE RESIDUOS, PARA VERIFICAR SU RESISTENCIA MECÁNICA SEGÚN LOS ENSAYOS DESCRITOS EN LA NORMA UNE-EN 12574-2, EN LA EMPRESA ECUAMATRIZ CIA LTDA.”, del egresado Gustavo Genaro Pomaquero Pinda de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

Ambato, enero de 2019

Para constancia firman.

.....

.....

## DEDICATORIA

A la memoria de mi madre María Carmen Pinda Yungan, por apoyarme siempre incluso en su ausencia y por enseñarme rectitud y disciplina. A mi padre Gerardo Pomaquero Lema, por apoyarme en el transcurso de mis estudios superiores, a mis hermanos con mucho cariño por ser mi apoyo incondicional, a mis familiares y amigos.

## AGRADECIMIENTO

A la Universidad técnica de Ambato por permitirme ser parte de tan gloriosa institución. A la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica junto con todos los docentes que con su experiencia y conocimiento supieron sembrar la pasión por la ingeniería mecánica día a día.

A mi tutor Ing. Msc. Diego Núñez, por guiarme sabiamente en mi proyecto de titulación y despertar en mí, a través de sus enseñanzas el interés por el método de elemento finito.

A la empresa ECUAMATRIZ CIA LTDA. por permitirme realizar mi proyecto de grado, y por el apoyo brindado para culminar mis estudios superiores.

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

### PÁGINAS PRELIMINARES

APROBACIÓN POR EL TUTOR.....	II
AUTORÍA DEL TRABAJO.....	III
DERECHOS DE AUTOR .....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	V
DEDICATORIA .....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO.....	VIII
PÁGINAS PRELIMINARES .....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XXII
RESUMEN EJECUTIVO.....	XXVI
ABSTRACT .....	XXVII
CAPÍTULO I.....	1
ANTECEDENTES.....	1
1.1 Tema.....	1
1.2 Antecedentes .....	1
1.3 Justificación.....	2
1.4 Objetivos .....	4
1.4.1 Objetivo general .....	4
1.4.2 Objetivos específicos .....	4
CAPÍTULO II .....	5
2. FUNDAMENTACIÓN.....	5
2.1 Fundamentación teórica .....	5
2.1.1 Contenedores de residuos.....	5
2.1.1.1 Definición .....	5
2.1.1.2 Tipos de contenedores .....	5
2.1.1.3 Elementos constitutivos .....	8
2.1.1.4 Ensayos de resistencia mecánica de contenedores .....	11

2.1.2	Norma UNE EN 12574-2.....	12
2.1.2.1	Consideraciones preliminares .....	12
2.1.2.1.1	Condiciones de ensayos y control post ensayo.....	13
2.1.2.2	Descripción de ensayos.....	13
2.1.3	Análisis por elementos finitos.....	15
2.1.3.1	Aplicaciones de elementos finitos (MEF) .....	16
2.1.3.2	Procedimiento para la resolución del MEF.....	19
2.1.3.3	Definición de matriz de rigidez .....	21
2.1.3.4	Tipos de resolución de método de elementos finitos.....	21
2.1.3.4.1	Análisis estático .....	21
2.1.3.4.2	Análisis dinámico transitorio .....	22
2.1.3.4.3	Análisis modal. ....	23
2.1.3.4.4	Análisis explícito dinámico .....	25
2.1.3.5	Tipo de elementos.....	26
2.1.3.5.1	Elementos unidimensionales.....	26
2.1.3.5.2	Elementos bidimensionales.....	27
2.1.3.5.3	Elementos tridimensionales .....	28
2.1.3.6	Mallado .....	29
2.1.4	Estimación de errores .....	32
2.1.5	Mecánica de materiales.....	33
2.1.5.1	Esfuerzo .....	33
2.1.5.2	Deformación unitaria .....	34
2.1.5.3	Ley de hooke.....	34
2.1.5.4	Porcentaje de elongación .....	35
2.1.5.5	Diagrama esfuerzo deformación unitaria.....	35
2.1.5.6	Propiedades en dependencia de la temperatura .....	36
2.2	Hipótesis.....	38
2.3	Señalamiento de variables .....	38
2.3.1	Variable independiente.....	38
2.3.2	Variable dependiente.....	38
CAPÍTULO III.....		39
3.	METODOLOGÍA.....	39

3.1	Nivel y tipo de investigación.....	39
3.1.1	Documental bibliográfica.....	39
3.1.2	Experimental.....	39
3.1.3	Descriptivo.....	39
3.2	Población y muestra.....	39
3.3	Operacionalización de variables.....	40
3.4	Plan de recolección de la información.....	42
3.4.1	Parámetros establecidos por la normativa UNE EN 12574-2.....	43
3.4.1.1	Ensayo de impacto de bola.....	43
3.4.1.1.1	Cálculo para la obtención de dispositivo de impacto.....	45
3.4.1.1.2	Cálculo de conservación de la energía.....	47
	(Fuente: Autor).....	49
3.4.1.2	Impacto sobre plano inclinado.....	49
3.4.1.3	Ensayo de elevación inclinación.....	53
3.4.1.3.1	Elevación/inclinación del contenedor vacío.....	53
3.4.1.3.2	Elevación/inclinación del contenedor cargado.....	53
3.4.2	Preparación del modelo de simulación.....	54
3.4.2.1	Operación unión (merge).....	55
3.4.2.2	Operación de bordes (EDGES).....	55
3.4.2.3	Operación de costura (SEAM).....	56
3.4.2.4	Operación de agujeros (holes).....	56
3.4.2.5	Operación de sliver.....	57
3.4.2.6	Operación de caras (Face).....	57
3.4.3	Conexiones.....	57
3.4.4	Mallado.....	58
3.4.4.1	Parámetros de calidad de malla.....	59
3.4.5	Modelo de material.....	63
3.4.5.1	Acero ASTM A653.....	63
3.4.5.1.1	Caracterización a temperatura ambiente.....	63
3.4.5.1.2	Caracterización según UNE EN 12574-2 (T= -18°C).....	64
3.4.5.1.3	Caracterización con modelo johnson cook a (T=-18°C).....	69
3.4.5.2	Acero ASTM A 36.....	70

3.4.5.3	Acero AISI 1018.....	71
3.4.5.4	Acero ASTM 569.....	72
3.4.6	Ensayos de materiales .....	73
3.4.6.1	Ensayo a tracción.....	73
3.5	Plan de procesamiento y análisis.....	75
CAPÍTULO IV .....		77
4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	77
4.1	Recolección de datos .....	77
4.1.1	Propiedades mecánicas de los materiales del contenedor.....	78
4.1.2	Ensayos reales.....	83
4.1.2.1	Aspectos visuales.....	83
4.1.2.2	Tamaños y dimensiones.....	84
4.1.2.3	Capacidad declarada del contenedor.....	86
4.1.2.4	Impacto de caída de bola .....	88
4.1.2.4.1	Resultados de ensayo balístico .....	91
4.1.2.5	Impacto plano inclinado.....	94
4.1.2.5.1	Resistencia a la carga nominal.....	94
4.1.2.5.2	Impacto de cara frontal .....	97
4.1.2.5.3	Impacto de cara lateral.....	98
4.1.2.5.4	Impacto de esquina .....	98
4.1.2.5.5	Resultados de ensayo de impacto.....	99
4.1.2.6	Ensayo de elevación inclinación.....	100
4.2	Análisis de resultados .....	103
4.2.1	Ensayos de simulación .....	103
4.2.1.1	Análisis estático .....	104
4.2.1.1.1	Condiciones de frontera.....	104
4.2.1.1.2	Calidad de malla .....	105
4.2.1.1.3	Resultados de simulación.....	107
4.2.1.2	Análisis modal.....	110
4.2.1.3	Análisis de impacto de bola.....	112
4.2.1.3.1	Condiciones de frontera impacto de base.....	112
4.2.1.3.2	Impacto con modelo de material johnson cook.....	116

4.2.1.3.3	Impacto de bola piecewise linear.....	123
4.2.1.4	Análisis de impacto inclinado.....	165
4.2.1.4.1	Ensayo de caras.....	166
4.2.1.5	Simulación elevación inclinación. ....	191
4.2.1.5.1	Condiciones de frontera. ....	191
4.2.1.5.2	Ensayo para 5 ciclos sin carga nominal .....	195
4.2.1.5.3	Ensayo para 100 ciclos con carga nominal .....	197
4.3	Verificación de la hipótesis. ....	200
5.	CAPÍTULO 5.....	201
5.1	Conclusiones .....	201
5.2	Recomendaciones. ....	203
	Materiales de referencia .....	204
	Bibliografía .....	204
	ANEXOS .....	206

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b> Contenedor de carga trasera .....	5
<b>Figura 2.2</b> Contenedor de carga lateral .....	6
<b>Figura 2.3</b> Contenedores de carga superior.....	7
<b>Figura 2.4</b> Contenedores de superficie.....	7
<b>Figura 2.5</b> Contenedores de soterrado.....	8
<b>Figura 2.6</b> Tina de contenedor .....	8
<b>Figura 2.7</b> Cubierta mecanismo .....	9
<b>Figura 2.8</b> Cilindro de gas.....	9
<b>Figura 2.9</b> Resorte mecánico .....	10
<b>Figura 2.10</b> Pata de apertura .....	10
<b>Figura 2.11</b> Tapa superior .....	11
<b>Figura 2.12</b> Rueda de contendor .....	11
<b>Figura 2.13</b> Esquema de caída de bola.....	14
<b>Figura 2.14</b> Representación de impacto de contenedor .....	15
<b>Figura 2.15</b> Representación de ensayo de elevación inclinación.....	15
<b>Figura 2.16</b> Discretización del modelo geométrico .....	16
<b>Figura 2.17</b> Contorno del estrés de Von Mises (en MPa) con una tensión del 5% y 35% de porosidad. ....	19
<b>Figura 2.18</b> Proceso de resolución por elementos finitos .....	20
<b>Figura 2.19</b> Análisis estático de placa .....	22
<b>Figura 2.20</b> Análisis dinámico transitorio en estructura de puente.....	23
<b>Figura 2.21</b> Análisis modal de caja de engranes .....	24

<b>Figura 2.22</b> Simulación explícita dinámica de impacto de jet .....	25
<b>Figura 2.23</b> Representación de elemento unidimensional. ....	26
<b>Figura 2.24</b> Elemento beam. ....	26
<b>Figura 2.25</b> Representación de elemento bidimensional .....	27
<b>Figura 2.26</b> Elemento SHELL43 .....	28
<b>Figura 2.27</b> Representación de elementos tridimensionales a) Elemento tetraédrico b) Elemento hexaédrico.....	28
<b>Figura 2.28</b> Vectores para determinación de ortogonalidad .....	30
<b>Figura 2.29</b> a) Equilátero ideal y desviaciones. b) Ángulos de desviación mínimo y máximo.....	31
<b>Figura 2.30</b> Diagrama esfuerzo deformación para acero al carbono .....	36
<b>Figura 2.31</b> Diagrama de esfuerzo deformación unitaria a diferentes temperaturas. ....	36
<b>Figura 3.1</b> Zonas de impacto para ensayo de caída de bola en la base. ....	44
<b>Figura 3.2</b> Zonas de impacto superior para ensayo de caída de bola.....	44
<b>Figura 3.3</b> Maquinado del eje de acero 1018. ....	46
<b>Figura 3.4</b> Masa Final de Dispositivo de Impacto. ....	47
<b>Figura 3.5</b> Ensayo de impacto inclinado.....	49
<b>Figura 3.6</b> Transformación de modelo. a) Contenedor sólido b) Contenedor superficie	54
<b>Figura 3.7</b> Fusión de caras mediante la operación merge.....	55
<b>Figura 3.8</b> Unión de bordes presente en lateral triangular. ....	55
<b>Figura 3.9</b> Detección y reparación de espacios entre superficies. ....	56
<b>Figura 3.10</b> Eliminación de agujeros de remaches y pernos.....	56
<b>Figura 3.11</b> Detección de caras estrechas en los componentes.....	57

<b>Figura 3.12</b> Compensación de caras pequeñas.....	57
<b>Figura 3.13</b> Topología compartida para componentes.....	58
<b>Figura 3.14</b> Mallado de contenedor 2400 L.....	58
<b>Figura 3.15</b> Estadísticas de relación de aspecto 2400 L. ....	59
<b>Figura 3.16</b> Representación de ratio de aspecto del contenedor.....	60
<b>Figura 3.17</b> Estadísticas ortogonal de mallado. ....	61
<b>Figura 3.18</b> Representación de la ortogonalidad del contenedor.....	61
<b>Figura 3.19</b> Estadística de skewness en la malla de contenedor.....	62
<b>Figura 3.20</b> Representación de skewness en contenedor.....	62
<b>Figura 3.21</b> Curva esfuerzo-deformación plástica para el acero A653.....	63
<b>Figura 3.22</b> Variación de la resistencia a la fluencia respecto a la temperatura. ....	65
<b>Figura 3.23</b> Variación de la resistencia ultima respecto a la temperatura.....	66
<b>Figura 3.24</b> Variación del módulo elástico respecto a la temperatura. ....	67
<b>Figura 3.25</b> Curva esfuerzo deformación plástica a diferentes temperaturas. ....	68
<b>Figura 3.26</b> Máquina para ensayo traccionante 50kN.....	74
<b>Figura 3.27</b> Probetas de tracción ASTM E8. a) Antes del ensayo. b) Después del ensayo.....	74
<b>Figura 3.28</b> Procesamiento de la información. ....	76
<b>Figura 4.1</b> Aspectos visuales a 1m.....	84
<b>Figura 4.2</b> Dimensiones establecida por UNE-EN 12574-1.....	84
<b>Figura 4.3</b> Variación dimensional del contenedor respecto al modelo digital.....	86
<b>Figura 4.4</b> Masa final de dispositivo de impacto .....	89
<b>Figura 4.5</b> Delimitación de áreas y secciones de impacto. ....	89

<b>Figura 4.6</b> Posicionamiento de impactadores en la base del contenedor. ....	90
<b>Figura 4.7</b> Posicionamiento de impactadores en las tapas del contenedor. ....	91
<b>Figura 4.8</b> Ensayo de impacto de bola. a) Verificación de temperatura de impacto. b) Medición con palpador magnético. ....	92
<b>Figura 4.9</b> Representación de deformación plástica por impacto. ....	92
<b>Figura 4.10</b> Masa de sacos para ensayo de impacto. a) Medición de masa b) Carga del contenedor. ....	95
<b>Figura 4.11</b> Carro de acero para desplazamiento de contenedor. ....	95
<b>Figura 4.12</b> Numeración de las caras según la Norma UNE EN12674-2 a) Cara 1. b) Cara 2. c) Cara 3 d) Cara 4. ....	96
<b>Figura 4.13</b> Numeración de las esquinas según la norma UNE EN12574-2 a) Esquina 1.2 b) Esquina 2.3 c) Esquina 3.4 d) Esquina 4.1. ....	96
<b>Figura 4.14</b> Superficie de impacto. ....	97
<b>Figura 4.15</b> Posicionamientos. a) Posicionamiento de carga nominal b) Posicionamiento de contenedor. ....	97
<b>Figura 4.16</b> Impacto frontal de contenedor 2400 L. ....	98
<b>Figura 4.17</b> Impacto lateral de contenedor 2400 L. ....	98
<b>Figura 4.18</b> Impacto de esquina de contenedor 2400 L. ....	99
<b>Figura 4.19</b> Elevación de contenedor en cantón Rumiñahui. ....	101
<b>Figura 4.20</b> Variación dimensional del contenedor de Rumiñahui respecto al modelo digital. ....	103
<b>Figura 4.21</b> Restricciones de movimiento para estudio estático y modal. ....	104
<b>Figura 4.22</b> Aplicación de carga nominal. ....	105

<b>Figura 4.23</b> Estadística de tipo de elemento en mallado estático estructural.....	106
<b>Figura 4.24</b> Estadísticas de skewness para el mallado estático estructural.....	106
<b>Figura 4.25</b> Estadísticas de ortogonalidad para el mallado estructural.....	107
<b>Figura 4.26</b> Esfuerzo de Von mises máximo debido a la carga nominal.....	108
<b>Figura 4.27</b> Determinación de frecuencia natural más baja.....	110
<b>Figura 4.28</b> Condiciones para el impacto de bola.....	112
<b>Figura 4.29</b> Gráfica de tendencia de la relación distancia a velocidad de impacto. ....	113
<b>Figura 4.30</b> Gráfica de tendencia de la relación distancia a velocidad de impacto. ....	114
<b>Figura 4.31</b> Velocidad aplicada al impactador para ensayo de base.....	115
<b>Figura 4.32</b> Velocidad aplicada al impactador para ensayo de tapas.....	115
<b>Figura 4.33</b> Elemento central de impacto modelo johnson cook.....	118
<b>Figura 4.34</b> Desplazamiento de elemento 9059 debido al impacto. ....	118
<b>Figura 4.35</b> Deformación plástica efectiva de elemento 9059 debido al impacto A1-S3 johnson cook. ....	119
<b>Figura 4.36</b> Esfuerzo en elemento 9059 producido por impacto de bola A1-S3 johnson cook. ....	119
<b>Figura 4.37</b> Energía de hourglass debido al impacto área-1 sección 3 (johnson cook)	121
<b>Figura 4.38</b> Desplazamientos de los nodos cercanos al punto de impacto johnson cook. .....	121
<b>Figura 4.39</b> Nodos cercanos al impacto modelo johnson cook.....	122
<b>Figura 4.40</b> Comparación de deformación real y simulado johnson cook .....	123
<b>Figura 4.41</b> Elemento 8353 en el punto central de impacto.....	126
<b>Figura 4.42</b> Desplazamiento en dirección Y de elemento 8353 debido al impacto.....	126

<b>Figura 4.43</b>	Deformación plástica efectiva de elemento 8353 debido al impacto. ....	127
<b>Figura 4.44</b>	Esfuerzo producido en el elemento 8353 debido al impacto.....	127
<b>Figura 4.45</b>	Desplazamientos de los nodos cercanos al punto de impacto A1-S3.....	128
<b>Figura 4.46</b>	Posición de nodos cercanos a impacto A1-S3.....	128
<b>Figura 4.47</b>	Comparación de deformación real y simulado A1-S3. ....	129
<b>Figura 4.48</b>	Elemento 7188 en el punto central de impacto.....	132
<b>Figura 4.49</b>	Desplazamiento de elemento 7188 debido al impacto. ....	133
<b>Figura 4.50</b>	Deformación plástica efectiva de elemento 7188 debido al impacto. ....	133
<b>Figura 4.51</b>	Esfuerzo producido en elemento 7188 por impacto de bola. ....	134
<b>Figura 4.52</b>	Desplazamientos de los nodos cercanos al punto de impacto A2-S1.....	135
<b>Figura 4.53</b>	Ubicación de nodos cercanos a impacto A2-S1 .....	135
<b>Figura 4.54</b>	Comparación de deformación real y simulada A2-S1.....	136
<b>Figura 4.55</b>	Elemento 7036 en el punto central de impacto A3-S1. ....	139
<b>Figura 4.56</b>	Desplazamiento de elemento 7036 debido al impacto A3-S1.....	139
<b>Figura 4.57</b>	Deformación plástica efectiva de elemento 7036 debido al impacto A3-S1 .....	140
<b>Figura 4.58</b>	Esfuerzo producido en elemento 7036 por impacto de bola A3-S1.....	140
<b>Figura 4.59</b>	Desplazamientos de los nodos cercanos al punto de impacto A3-S1 .....	141
<b>Figura 4.60</b>	Representación de los nodos impacto A3-S1 .....	142
<b>Figura 4.61</b>	Comparación de deformación real y simulado A3-S1. ....	143
<b>Figura 4.62</b>	Elemento 7453 en el punto central de impacto A4- S2.....	146
<b>Figura 4.63</b>	Desplazamiento en Y de elemento 7453 debido al impacto A4-S2 .....	146

<b>Figura 4.64</b> Deformación plástica efectiva de elemento 7453 debido al impacto A4-S2 .....	147
<b>Figura 4.65</b> Esfuerzo producido por impacto de bola. A4-S2 .....	147
<b>Figura 4.66</b> Desplazamientos de los nodos cercanos al punto de impacto. A4-S2.....	148
<b>Figura 4.67</b> Representación de los nodos impacto A4-S2 .....	148
<b>Figura 4.68</b> Comparación de deformación real y simulado A4-S2 .....	150
<b>Figura 4.69</b> Energía hourglass para impacto de bola en base. ....	150
<b>Figura 4.70</b> Elemento 972 en el punto central de impacto A1-S3 tapa 1. ....	153
<b>Figura 4.71</b> Desplazamiento de elemento 972 debido al impacto. A1-S2 tapa 1 .....	153
<b>Figura 4.72</b> Deformación plástica efectiva de elemento 972 debido al impacto A1-S2 tapa 1. ....	154
<b>Figura 4.73</b> Esfuerzo producido por impacto de bola. A1-S2 tapa 1 .....	154
<b>Figura 4.74</b> Desplazamientos de los nodos cercanos al punto de impacto. A1-S2 Tapa 1 .....	155
<b>Figura 4.75</b> Nodos cercanos al impacto A1-S2 tapa 1.....	155
<b>Figura 4.76</b> Comparación de deformación real y simulado A1-S2. tapa 1.....	156
<b>Figura 4.77</b> Elemento 1149 en el punto central de impacto A3-S2- tapa 2. ....	159
<b>Figura 4.78</b> Desplazamiento en Y de elemento 1149 debido al impacto. A3-S2 tapa 2. .....	159
<b>Figura 4.79</b> Deformación plástica efectiva de elemento 1149 debido al impacto. A3-S2 tapa 2. ....	160
<b>Figura 4.80</b> Esfuerzo producido por impacto de bola. A3-S2 tapa 2 (Fuente: Autor)..	160

<b>Figura 4.81</b> Desplazamientos de los nodos cercanos al punto de impacto. A3-S2 tapa 2 .....	161
<b>Figura 4.82</b> Nodos cercanos al impacto A3-S2. tapa 2.....	161
<b>Figura 4.83</b> Comparación de deformación real y Simulado A3-S2 Tapa 2.....	162
<b>Figura 4.84</b> Energía hourglass tapas para $t=0.13$ s. ....	163
<b>Figura 4.85</b> Presión hidrostática aplicada al contenedor según carga UNE EN 12574-2. .....	165
<b>Figura 4.86</b> Grafica de relación distancia a velocidad de impacto para caras. ....	167
<b>Figura 4.87</b> Condiciones de frontera para impacto frontal .....	167
<b>Figura 4.88</b> Velocidad para impacto frontal .....	168
<b>Figura 4.89</b> Zona de esfuerzo máximo producido por impacto frontal. ....	171
<b>Figura 4.90</b> Elementos afectados por el impacto frontal. ....	172
<b>Figura 4.91</b> Deformación plástica efectiva máxima de elemento afectados por impacto frontal. ....	172
<b>Figura 4.92</b> Esfuerzos producidos en los elementos del sector derecho de impacto frontal. ....	173
<b>Figura 4.93</b> Esfuerzos producidos en los elementos del sector izquierdo de impacto frontal. ....	173
<b>Figura 4.94</b> Energía de hourglass debido a impacto frontal. ....	175
<b>Figura 4.95</b> Condiciones de frontera para impacto lateral. ....	175
<b>Figura 4.96</b> Velocidad para impacto lateral. ....	176
<b>Figura 4.97</b> Ubicación de esfuerzo máximo debido a impacto lateral.....	179
<b>Figura 4.98</b> Elementos afectados por impacto lateral de contenedor. ....	180

<b>Figura 4.99</b> Deformación plástica efectiva en elementos críticos por impacto lateral.	180
<b>Figura 4.100</b> Esfuerzos producidos en los elementos del sector derecho de impacto lateral.....	181
<b>Figura 4.101</b> Esfuerzos producidos en los elementos del sector izquierdo de impacto lateral.....	181
<b>Figura 4.102</b> Energía de hourglass debido al impacto lateral.....	182
<b>Figura 4.103</b> Gráfica de relación distancia -velocidad en impacto de esquina.....	183
<b>Figura 4.104</b> Condiciones de frontera para impacto de esquina.....	184
<b>Figura 4.105</b> Velocidad para impacto de esquina.....	184
<b>Figura 4.106</b> Zona de mayor afectación debido a impacto de esquina.....	187
<b>Figura 4.107</b> Elementos afectados por impacto de esquina.....	188
<b>Figura 4.108</b> Deformación plástica efectiva de elementos críticos por impacto de esquina.....	188
<b>Figura 4.109</b> Esfuerzos máximos para elementos superiores impacto de esquina. ....	189
<b>Figura 4.110</b> Esfuerzos máximos para elementos inferiores en impacto de esquina...	189
<b>Figura 4.111</b> Energía de hourglass debido a impacto de esquina.....	191
<b>Figura 4.112</b> Carga de elevación de contenedor.....	192
<b>Figura 4.113</b> Desplazamiento máximo de contenedor en el ciclo de elevación.....	193
<b>Figura 4.114</b> Condiciones de frontera para ciclos de elevación sin carga.....	193
<b>Figura 4.115</b> Tipo de amplitud y teoría Goodman para análisis de fatiga.....	194
<b>Figura 4.116</b> Presión hidrostática basado en UNE EN 12574-2 análisis estático.....	195

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1</b> Especificaciones previas a los ensayos. ....	12
<b>Tabla 2.2</b> Condiciones y control de ensayos .....	13
<b>Tabla 2.3</b> Categorización de la ortogonalidad .....	30
<b>Tabla 2.4</b> Categorización de skewness .....	31
<b>Tabla 2.5</b> Variación del $S_y$ y $S_{ut}$ respecto a la temperatura. ....	37
<b>Tabla 2.6</b> Variación del módulo de young respecto a la temperatura. ....	37
<b>Tabla 3.1</b> Operacionalización de variable independiente.....	40
<b>Tabla 3.2</b> Operacionalización de variable dependiente.....	41
<b>Tabla 3.3</b> Condiciones de impacto en la base del contenedor.....	44
<b>Tabla 3.4</b> Condiciones de impacto en superficie del contenedor.....	45
<b>Tabla 3.5</b> Determinación de longitud de maquinado para dispositivo de impacto. ....	45
<b>Tabla 3.6</b> Determinación de velocidades de impacto del dispositivo de bola.....	48
<b>Tabla 3.7</b> Determinación de la energía absorbida por el contenedor en el impacto. ....	48
<b>Tabla 3.8</b> Resumen de resultados de cálculos de energía potencial y cinética. ....	49
<b>Tabla 3.9</b> Cálculo cinemático de distancia de impacto a 1.85 m/s.....	51
<b>Tabla 3.10</b> Orden específico de impactos de contenedor. ....	53
<b>Tabla 3.11</b> Aspect ratio de contenedor.....	59
<b>Tabla 3.12</b> Calidad ortogonal de la malla de contenedor.....	60
<b>Tabla 3.13</b> Calidad de skewness de la malla del contenedor.....	62
<b>Tabla 3.14</b> Propiedades mecánicas del acero A 653 a temperatura ambiente.....	64
<b>Tabla 3.15</b> Modelo de material del A653 a -18 °C piecewise linear. ....	69
<b>Tabla 3.16</b> Modelo de material del A653 a -18 °C johnson cook.....	70

<b>Tabla 3.17</b> Propiedades mecánicas del acero A 36. ....	71
<b>Tabla 3.18</b> Propiedades mecánicas del acero AISI 1018. ....	72
<b>Tabla 3.19</b> Propiedades mecánicas del acero A 569. ....	73
<b>Tabla 4.1</b> Ensayo de tracción de acero galvanizado A653, probeta 01. ....	78
<b>Tabla 4.2</b> Ensayo de tracción de acero galvanizado A653, probeta 02. ....	79
<b>Tabla 4.3</b> Ensayo de tracción de acero galvanizado A653, probeta 03. ....	80
<b>Tabla 4.4</b> Ensayo de tracción de acero galvanizado A653, probeta 04. ....	81
<b>Tabla 4.5</b> Ensayo de tracción de acero galvanizado A653, probeta 05. ....	82
<b>Tabla 4.6</b> Resumen datos dimensionales probetas y resultados de ensayo A653. ....	83
<b>Tabla 4.7</b> Criterios de aceptación dimensional y error de modelo contenedor. ....	85
<b>Tabla 4.8</b> Determinación de la capacidad del contenedor. ....	86
<b>Tabla 4.9</b> Coordenadas de impactadores para la base. ....	90
<b>Tabla 4.10</b> Coordenadas de impactadores para las tapas. ....	91
<b>Tabla 4.11</b> Deflexión de base del contenedor. ....	93
<b>Tabla 4.12</b> Deflexión de tapas 1 y 2 del contenedor. ....	93
<b>Tabla 4.13</b> Condiciones de impacto del contenedor. ....	99
<b>Tabla 4.14</b> Especificación de ubicación contenedor para medición. ....	101
<b>Tabla 4.15</b> Dimensiones de contenedor en servicio luego de cumplir 100 ciclos de carga. ....	102
<b>Tabla 4.16</b> Relación de aspecto para análisis estático. ....	105
<b>Tabla 4.17</b> Calidad de skewness para mallado estático. ....	106
<b>Tabla 4.18</b> Calidad ortogonal para mallado estático. ....	107
<b>Tabla 4.19</b> Resistencia para pernos según la SAE J429. ....	108

<b>Tabla 4.20</b> Simulación de ensayo estructural del contenedor de 2400 L con carga nominal según UNE EN12574-2. ....	109
<b>Tabla 4.21</b> Simulación de ensayo modal de contenedor de 2400 L.....	111
<b>Tabla 4.22</b> Relación de distancia y velocidad para impacto de bola para base tina.....	113
<b>Tabla 4.23</b> Relación de distancia y velocidad para impacto de tapas. ....	114
<b>Tabla 4.24</b> Simulación de impacto de bola johnson cook.....	116
<b>Tabla 4.25</b> Esfuerzos producidos en elemento crítico 9059 johnson cook. ....	120
<b>Tabla 4.26</b> Resultados johnson cook para ensayo balístico área 1 sección 3.....	122
<b>Tabla 4.27</b> Simulación de impacto de bola según área 1-sección 3 (piecewize) .....	124
<b>Tabla 4.28</b> Resultados para ensayo balístico A1-S3 .....	129
<b>Tabla 4.29</b> Simulación de impacto de bola según área 2-sección 1 .....	130
<b>Tabla 4.30</b> Resultados para ensayo balístico A2 -S1 .....	136
<b>Tabla 4.31</b> Simulación de impacto de bola según área 3-sección 1.....	137
<b>Tabla 4.32</b> Resultados para ensayo balístico A3-S1 .....	142
<b>Tabla 4.33</b> Simulación de impacto de bola según área 4-sección 2.....	144
<b>Tabla 4.34</b> Resultados para ensayo balístico área 4-sección 2.....	149
<b>Tabla 4.35</b> Simulación de impacto de bola tapas área 1-sección 2 .....	151
<b>Tabla 4.36</b> Resultados para ensayo balístico área 1 sección 2 tapa 1 .....	156
<b>Tabla 4.37</b> Simulación de impacto de bola según área 3- sección 2, tapa 2. ....	157
<b>Tabla 4.38</b> Resultados para ensayo balístico Área 3 sección 2 Tapa 2.....	162
<b>Tabla 4.39</b> Tabla de esfuerzos para los distintos puntos de impacto en las tapas.....	163
<b>Tabla 4.40</b> Estimación de error para impactos balísticos.....	164
<b>Tabla 4.41</b> Condiciones para aplicación de presión hidrostática. ....	166

<b>Tabla 4.42</b> Relación de distancia y velocidad para impacto de caras. ....	166
<b>Tabla 4.43</b> Simulación de impacto frontal de contenedor.....	169
<b>Tabla 4.44</b> Esfuerzos en Mpa para elementos mayormente afectados por impacto frontal. ....	174
<b>Tabla 4.45</b> Simulación de impacto lateral de contenedor. ....	177
<b>Tabla 4.46</b> Esfuerzos críticos en Mpa para elementos de impacto lateral. ....	182
<b>Tabla 4.47</b> Relación de distancia y velocidad para impacto de esquinas.....	183
<b>Tabla 4.48</b> Simulación de impacto de esquina de contenedor. ....	185
<b>Tabla 4.49</b> Esfuerzos críticos en Mpa para elementos de impacto de esquina. ....	190
<b>Tabla 4.50</b> Especificaciones técnicas de camiones colectores Themac .....	192
<b>Tabla 4.51</b> Especificaciones para aplicación de carga hidrostática .....	194
<b>Tabla 4.52</b> Simulación de elevación inclinación para 5 ciclos según UNE EN 12574-2 de contenedor vacío.....	196
<b>Tabla 4.53</b> Simulación de elevación inclinación para 100 ciclos según UNE EN 12574-2 para contenedor cargado. ....	198

## RESUMEN EJECUTIVO

**TEMA:** ANÁLISIS POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS DE LOS CONTENEDORES DE RESIDUOS, PARA VERIFICAR SU RESISTENCIA MECÁNICA SEGÚN LOS ENSAYOS DESCRITOS EN LA NORMA UNE-EN 12574-2, EN LA EMPRESA ECUAMATRIZ CIA LTDA.

**Autor:** Gustavo Genaro Pomaquero Pinda

**Tutor:** Ing. Mg. Diego Núñez

**Fecha:** enero 2019

El presente trabajo experimental pretende verificar la resistencia mecánica los contenedores fabricados por la empresa ECUAMATRIZ CIA LTDA. mediante el método de elementos finitos, en base a los ensayos de descritos en la norma UNE EN 12574-2 debido a la necesidad de comprobar los criterios establecidos por dicha normativa. Dentro de los ensayos examinados se mencionan: el impacto balístico, ensayo de resistencia a la carga nominal, ensayo de impacto lateral, frontal, esquinas, y análisis de fatiga debido a la elevación del contenedor, cada uno de ellos rigiéndose a las especificaciones dentro de UNE EN 12574-2. Inicialmente, se genera un modelo para simulación seleccionando un modelo de material acorde a las propiedades mecánicas del acero galvanizado A 653. Mediante el ensayo balístico se obtuvieron perfiles de deformación con una media de 1.55 mm, con los cuales se efectuó la validación del modelo de simulación obteniendo un error máximo de 11% y un mínimo de 7%. Para el ensayo de impacto de caras y esquinas se utilizó una superficie inclinada dentro de las instalaciones de Ecuamatrix según cálculos cinemáticos, se establecieron las distancias de impacto para que las velocidades correspondieran a lo requerido en la norma, obteniendo una deformación nula para el ensayo real mientras que en la simulación se obtuvo una deformación plástica máxima de 0.06 en un tiempo de 0.13 s. Para la parte práctica del ensayo de elevación se utilizó las dimensiones determinadas por la UNE EN 12574-1 con lo cual, se pudo verificar la variación de las dimensiones funcionales tienen como máximo un error de 1.18 %, dentro de la simulación el contenedor resiste  $1e6$  ciclos para ambos casos de estudio.

**Palabras clave:** Contenedor, deformación, elemento, esfuerzo, fatiga, impacto, mallado, nodo, temperatura, tiempo.

## ABSTRACT

**THEME:** ANALYSIS BY THE METHOD OF FINITE ELEMENTS OF THE WASTE CONTAINERS, TO VERIFY THEIR MECHANICAL RESISTANCE ACCORDING TO THE TESTS DESCRIBED IN THE UNE-EN 12574-2 STANDARD, IN THE COMPANY ECUAMATRIZ CIA LTDA.

**Author:** Gustavo Genaro Pomaquero Pinda

**Tutor:** Ing. Mg. Diego Núñez

**Date:** January 2019

The present experimental work aims to verify the mechanical strength of the containers manufactured by the company ECUAMATRIZ CIA LTDA. using the finite element method, based on the tests described in the UNE EN 12574-2 standard due to the need to check the criteria established by said regulations. Within the tests examined, the following are mentioned: the ballistic impact, nominal load resistance test, lateral impact test, frontal impact, corners, and fatigue analysis due to the elevation of the container, each of them being governed by the specifications within UNE EN 12574-2. Initially, a simulation model is generated by selecting a material model according to the mechanical properties of galvanized steel A 653. By means of the ballistic test deformation profiles with an average of 1.55 mm were obtained, with which the model validation was carried out. simulation obtaining a maximum error of 11% and a minimum of 7%. For the impact test of faces and corners, an inclined surface was used inside the Ecuamatríz facilities according to kinematic calculations, the impact distances were established so that the speeds corresponded to the required in the norm, obtaining a zero deformation for the real test while in the simulation a maximum plastic deformation of 0.06 was obtained in a time of 0.13 s. For the practical part of the elevation test, the dimensions determined by the UNE EN 12574-1 were used, with which, we can verify the variation of the functional dimensions have a maximum error of 1.18%, within the simulation the container resists  $1e6$  cycles for both cases of study.

**Keywords:** Container, deformation, element, stress, fatigue, impact, meshing, node, temperature, time.

# CAPÍTULO I

## ANTECEDENTES

### 1.1 Tema

“ANÁLISIS POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS DE LOS CONTENEDORES DE RESIDUOS, PARA VERIFICAR SU RESISTENCIA MECÁNICA SEGÚN LOS ENSAYOS DESCRITOS EN LA NORMA UNE-EN 12574-2, EN LA EMPRESA ECUAMATRIZ CIA LTDA.”

### 1.2 Antecedentes

La Asociación Española de Normalización y Certificación a través de la Normativa UNE-12574, especifica las dimensiones, condiciones de ensayo y parámetros de seguridad, para la fabricación de contenedores de carga lateral. Esta reglamentación ha sido empleada por varias empresas alrededor del mundo para cumplir con estándares óptimos de calidad en sus productos.

Themac es una compañía italiana que predomina el mercado de tratamiento de residuos urbanos en varios países latinoamericanos que inclusive en la ciudad de Ambato, ha logrado incorporar sus contenedores de carga lateral y camiones recolectores, por lo cual la empresa se ha encargado del acopio de los residuos dentro de la ciudad en los últimos años. La compañía arribo a la ciudad de Ambato en el año 2006, con un total de 201 contenedores piloto haciendo uso de la normativa española para la fabricación de contenedores de 2400 hasta 3200 litros. El diseño y calidad de los contenedores están basados de la normativa UNE EN 12574, que permite maximizar la eficacia en la fabricación de contenedores y su adaptabilidad a los dispositivos de elevación [1].

Dentro del análisis por ordenador de los contenedores de residuos se tiene el trabajo realizado por López [2], en el cual se realiza el diseño de un contenedor de residuos en un ámbito selectivo de papel y cartón, en la investigación se expone el análisis de esfuerzo de Von Mises debido a la carga que soporta el contenedor en su estructura de acero galvanizado con cubierta de Polietileno de Alta densidad, el criterio de López para el

diseño y las consideraciones que emplea para evaluar los parámetros de simulación le permitieron validar su trabajo, y concluir que la estructura de acero galvanizado resiste a la carga solicitada, debido a que el esfuerzo de Von Mises está muy por debajo del esfuerzo que es capaz de soportar el acero galvanizado [2].

La empresa española Rototank se ha dedicado a la fabricación de contenedores de carga lateral con capacidad para 3200 litros y 2200 litros, estos son construidos en polietileno lineal de alta densidad mediante rotomoldeo 100% reciclable. Los contenedores han sido diseñados y fabricados según la especificación Aenor UNE 12574, la cual fue avalada por el Instituto AIDIMME y TÜV Rheinland Inspection and Testing en todas sus extensiones, certificando la ejecución de las normativas UNE 12574-1, UNE 12574-2 y UNE 12574-3 [3].

Igualmente, se puede mencionar los contenedores desarrollados por la compañía española Sanimobel S. A., la cual ha acogido la normativa UNE para obtener en sus productos, una calidad óptima en sus contenedores de 1800 ,2400 y 3200 litros, los cuales son robustos y de larga duración gracias a las especificaciones brindadas por la Normativa UNE 12574, la gran resistencia por la cual se caracterizan los contenedores de Sanimobel, ha permitido establecer proyectos de instalación de contenedores en varios sectores de España, para la recolección de residuos urbanos [4].

### **1.3 Justificación**

En la actualidad la producción de residuos se ha establecido como un problema latente debido a su relación con el incremento de la población mundial, alrededor del planeta se producen cerca de 10000 millones de toneladas de basura anuales, en el Ecuador se producen 4 millones de toneladas por año, mientras que en la ciudad de Ambato según la Gestión Integral de Desechos (Gidsa), se generan alrededor de 270 toneladas diariamente, lo que representa un estimado de 98550 toneladas anuales. El manejo de los desperdicios hoy por hoy ha mejorado respecto a los años remotos, mediante la incorporación de contenedores que permiten el acopio de bastas cantidades de desperdicios alrededor de la ciudad, la empresa Ecuamatrix pretende ser el principal proveedor de contenedores en el Ecuador, por lo cual la fabricación y control de

calidad de los mismos se vuelven claves para el cumplimiento de este propósito. [5], [6].

Con el afán de cumplir el objetivo principal de la empresa, esta investigación pretende determinar mediante un análisis de elementos finitos la resistencia mecánica de contenedores fabricados en la Empresa Ecuamatrix, dadas las limitaciones económicas y físicas para realizar los ensayos pertinentes establecidos en la normativa española UNE-EN12574-2, aplicados actualmente para la fabricación dimensional del producto.

La aplicación del método de elementos finitos abarca una rama muy importante en el desarrollo de análisis por computadora y aplicación de las teorías de resistencia de materiales, por lo cual el tema de investigación se perfila como una fuente basta para la recolección de conocimiento.

El principal beneficiario es la empresa Ecuamatrix dado que los contenedores de desechos se presentan como un producto en desarrollo, en el cual no se ha establecido ningún tipo de análisis de factibilidad de resistencia estática o dinámica, por lo cual, el estudio de sus propiedades mecánicas mediante una normativa establecida, permitirá validar el producto desde el punto de vista de diseño mecánico.

La comercialización del producto depende de su calidad y seguridad, por lo cual, la investigación pretende presentar ante el mercado nacional un diseño completamente confiable, que permita realzar el nombre de la empresa a nivel competitivo. Con el apoyo de la Universidad Técnica de Ambato y mediante los conocimientos impartidos a lo largo de la carrera de Ingeniería Mecánica, se asegura que los ensayos que se pretenden realizar tendrán los resultados que ayuden a la mejora del producto.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Analizar por el método de elementos finitos los contenedores de residuos, para verificar su resistencia mecánica según los ensayos descritos en la norma UNE-EN 12574-2, en la empresa Ecuamatrix CIA. LTDA.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Determinar las propiedades de los materiales empleados actualmente en la empresa ECUAMATRIZ CIA LTDA, para la construcción de contenedores de residuos.
- Generar un modelo de elementos finitos del contenedor de residuos, según las condiciones de carga y contorno descritas en la norma UNE-EN 12574-2.
- Evaluar los resultados obtenidos en las simulaciones por elementos finitos, para verificar su aceptación o rechazo de acuerdo a los parámetros establecidos en la norma UNE-EN 12574-2.
- Validar los resultados de las simulaciones mediante ensayos físicos descritos en la norma UNE-EN 12574-2

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTACIÓN**

#### **2.1 Fundamentación teórica**

##### **2.1.1 Contenedores de residuos**

###### **2.1.1.1 Definición**

Los contenedores son dispositivos mecánicos que permiten el manejo eficaz de los residuos para evitar el acumulamiento de los desperdicios en zonas urbanas, son parte del sistema de prerrecolecta, dentro de los cuales los pobladores depositan los desechos de origen orgánico e inorgánico, para que los vehículos recolectores según sus plazos, los almacenen y posteriormente las entidades a cargo (Gidsa), procedan al manejo final de los desperdicios.

###### **2.1.1.2 Tipos de contenedores**

###### **A. Contenedores de carga trasera**

Este tipo de contenedores se los utiliza en regiones muy pobladas y de difícil acceso, donde se requieren un alto número de contenedores y recolección frecuente, tienen un tamaño pequeño en comparación con los otros tipos, pero sus dimensiones hacen más fácil su manejo, aun así, el aspecto que brinda al sector no es del agrado de la población en general. Estos contenedores tienen una capacidad de 120 hasta los 1700 Litros. En la figura 2.1 se puede observar la representación del contenedor de carga trasera [7].



**Figura 2.1.** Contenedor de carga trasera [7]

## **B. Contenedores de carga lateral**

Tienen una gran capacidad hasta los 3200 litros con lo cual puede almacenar mayor cantidad de residuos en relación a contenedores de carga trasera. Así mismo, reducen el número de contenedores instalados en zonas residenciales. Además, dadas las particularidades del vehículo recolector entre ellas, su gran tamaño, los contenedores son ubicados en sectores amplios, debido al espacio de maniobra que requieren los vehículos. La frecuencia de recolección de contenedores laterales, triplican a los de carga superior. Este tipo de contenedores son de gran importancia en esta investigación, dado que la Normativa UNE EN 12574-2, está orientada al diseño y construcción de contenedores de carga lateral. Algunas características de estos contenedores son la recolección es más veloz, no ruidosa, e higiénica debido a que permanecen aislados, su apertura no es manual y dan un buen aspecto visual. En la figura 2.2 se puede observar la representación del contenedor de carga lateral [7].



**Figura 2.2** Contenedor de carga lateral [7]

## **C. Contenedores de carga superior (tipo iglú o bilateral)**

Los contenedores de carga superior se posicionan en sectores poco poblados, con baja frecuencia de recolección. Además, requieren ubicarse en zonas amplias para facilitar el trabajo del brazo hidráulico del recolector. Suelen ser usados comúnmente para residuos reciclables, tienen grandes dimensiones y se clasifican en tres tipos: contenedor amarillo para residuos plásticos, latas y envases, contenedor azul para papel y cartón, y contenedor verde para vidrio, cada uno de ellos dispuestos de bocas en la parte superior, para el depósito de residuos. En la figura 2.3 se puede observar la representación del contenedor de carga superior [7].



**Figura 2.3** Contenedores de carga superior. [7]

#### **D. Otros contenedores de superficie**

Se utilizan en sectores con poco espacio disponible para la colocación de muchos contenedores, debido a que posee dos receptáculos haciéndolos contenedores bicompartimentados generalmente usados para recolección de fracción resto y envases tienen capacidades de hasta 3200 Litros al igual que los contenedores de carga lateral y el vehículo recolector posee también compartimientos diferenciados para la recolección. En la figura 2.4 se puede observar la representación del contenedor superficial [7].



**Figura 2.4** Contenedores de superficie [7]

#### **E. Contenedores soterrados**

Consisten en contenedores introducidos en agujeros realizados en el pavimento, lo cuales son elevados mediante plataformas eléctricas e hidráulicas, para a su vez poder vaciarlos dependiendo del tipo de contenedor ubicado debajo de la superficie su carga puede ser trasera, lateral o superior. Estos son lo más costosos ya que requieren de obra civil y mecanismos complementarios para su funcionamiento, no obstante, estos disminuyen de manera extraordinaria el impacto visual. En la figura 2.5 se puede observar la representación del contenedor soterrado [7].



**Figura 2.5** Contenedores de soterrado [2]

### **2.1.1.3 Elementos constitutivos**

- **Tina**

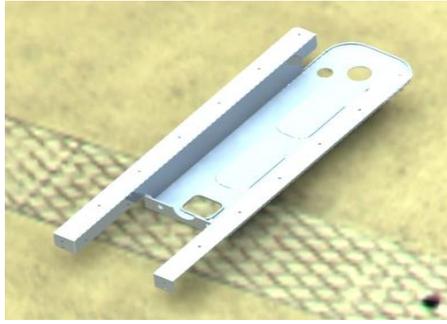
Elemento constitutivo más importante del contenedor hecho de material termoplástico o acero, es el encargado de albergar el peso neto de los residuos por lo cual, está sometido a diversos esfuerzos producidos por impacto en sus caras integrantes. En la figura 2.6 se puede observar la representación de la tina del contenedor [8].



**Figura 2.6** Tina de contenedor [8]

- **Cubiertas de mecanismo de apertura**

Se encuentran ubicados en los costados del contenedor, su función principal es proteger el mecanismo de apertura del contenedor de golpes imprevistos que puedan afectar su correcto funcionamiento, específicamente en la transmisión de la fuerza hacia la tapa superior, son cuatro elementos que permiten la protección, manipulación y soporte en el proceso de elevación e inclinación. En la figura 2.7 se puede observar la representación de las tapas del contenedor [8].



**Figura 2.7** Cubierta mecanismo [8]

- **Cilindro de gas**

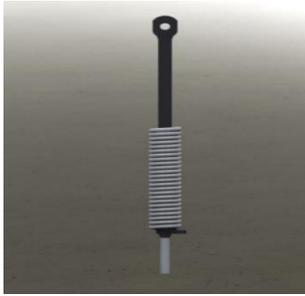
Limita la apertura de la tapa superior aportando con una fuerza alrededor de 200 N para abrir la tapa acoplada al pedal de depósito, forma parte del sistema amortiguación, los contenedores disponen de dos cilindros dispuestos simétricamente para distribuir adecuadamente el empuje de apertura. En la figura 2.8 se puede observar la representación del cilindro de gas [8].



**Figura 2.8** Cilindro de gas [8]

- **Resortes**

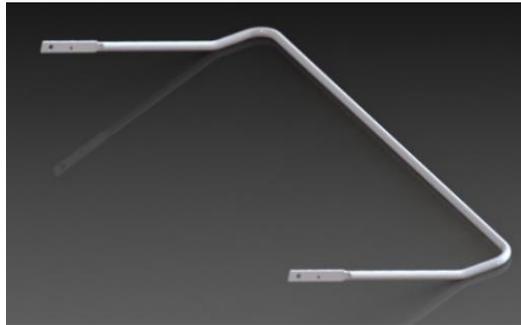
Elemento mecánico el cual, debido a sus propiedades elásticas permite el amortiguamiento en el cierre de la tapa superior, evitando impactos sobre las superficies de la tina y garantizando la seguridad del usuario. En la figura 2.9 se puede observar la representación de los resortes del contenedor [8].



**Figura 2.9** Resorte mecánico [8]

- **Pata de apertura**

Es un elemento que aprovecha el principio de palanca para permitir la apertura de la tapa superior del contenedor, conjuntamente con un arreglo de cables, facilita al usuario disminuir el esfuerzo de levantamiento de la tapa y evitar su apertura manual para el depósito de residuos. En la figura 2.10 se puede observar la representación de la pata de apertura [8].



**Figura 2.10** Pata de apertura [8]

- **Tapa superior**

Elemento constitutivo encargado del confinamiento de los residuos, presenta una conexión con la pata de apertura, conjuntamente con el impulso que brinda las bisagras laterales y el cilindro de gas amortiguador que permite la recepción y el desembarque del depósito almacenado. En la figura 2.11 se puede observar la representación de las tapas del contenedor [8].



**Figura 2.11** Tapa superior [8]

- **Ruedas**

Normalmente los contenedores de carga lateral disponen de cuatro ruedas las cuales funcionan como apoyo de la carga que soporta el contenedor, además facilitan el desplazamiento de los contenedores para ubicarlos correctamente en el lugar de recolección. En la figura 2.12 se puede observar la representación de las ruedas del contenedor [8].



**Figura 2.12** Rueda de contenedor [8]

#### **2.1.1.4 Ensayos de resistencia mecánica de contenedores**

La resistencia mecánica de los contenedores engloba fundamentalmente la resistencia de materiales, lo cual involucra las condiciones específicas de trabajo de los contenedores, es decir, las cargas aplicadas, los materiales utilizados y condiciones de frontera, que en combinación con parámetros de aceptación y rechazo permiten verificar la calidad del producto, lo cual, es de suma importancia para prolongar el tiempo de uso de los contenedores. Los ensayos realizados en esta sección se fundamentan en las especificaciones descritas en la normativa UNE EN 12574-2 [9].

### 2.1.2 Norma UNE EN 12574-2

La normativa UNE-EN 12574-2 especifica los métodos de ensayo para contenedores fijos de residuos, también declara los requisitos preliminares antes de iniciar con los ensayos, el orden específico de las pruebas sobre los contenedores y las normativas complementarias para la ejecución de los ensayos descritos: [9].

- UNE EN 12574-1.-Contenedores con capacidades 10 000 litros dimensiones y diseño
- UNE EN 12574-3.- Requisitos de seguridad y salud
- EN-1501-2.- Vehículos para recogida de residuos. Carga lateral

#### 2.1.2.1 Consideraciones preliminares

Los ítems especificados en este apartado hacen mención a los requerimientos dictados por la norma UNE EN12574-1, la cual está dirigida al dimensionamiento de los contenedores según su capacidad entre otras consideraciones funcionales y de calidad. En la tabla 2.1 se describen los parámetros a controlar antes de realizar los ensayos sobre el contenedor [9].

**Tabla 2.1** Especificaciones previas a los ensayos. [9]

<b>CONTROL ANTES DE LOS ENSAYOS</b>	
<b>ASPECTOS VISUALES</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• No debe presentarse</li><li>• Daños</li><li>• Grietas</li><li>• Decoloraciones</li><li>• Bordes Afilados</li></ul>	<b>CORRESPONDENCIA DIMENSIONAL EN 12574-1</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Tamaños y dimensiones</li><li>• Capacidad 2400L</li></ul>
<b>DESVIACIONES LIMITES DE MASAS</b> Las desviaciones de masa declarada están: <ul style="list-style-type: none"><li>• <math>\pm 5</math> % (kg) Plásticos</li><li>• <math>\pm 10</math> % (kg) Metálicos</li></ul>	<b>COLOR</b> Acuerdo entre el Cliente y el Suministrador
<b>MARCADO</b> Según lo estipulado en UNE 12574-1	

### 2.1.2.1.1 Condiciones de ensayos y control post ensayo.

Las condiciones descritas en la tabla 2.2, se han de emplear para cada uno de los ensayos enumerados en la normativa, estos parámetros de temperatura, velocidad y fuerza irán variando según se especifique en los ensayos. Por otro lado, la variación dimensional, las deformaciones excesivas y la funcionalidad luego de realizar los ensayos, son los indicadores que permiten determinar la calidad del contenedor, por lo cual, la norma UNE EN 12574-2 especifica las condiciones de aceptación y rechazo del mismo [9].

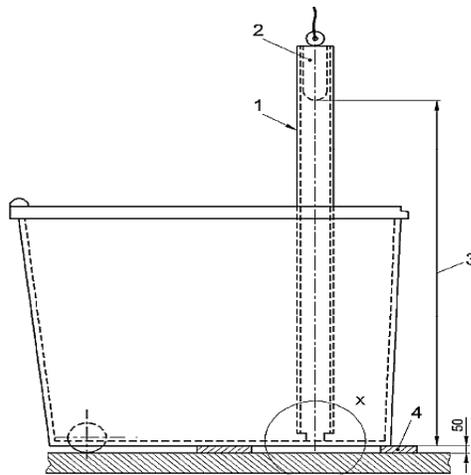
**Tabla 2.2** Condiciones y control de ensayos [9]

<b>CONDICIONES DE LOS ENSAYOS</b>
T1= (23 ±5 °C) T2= (-18 (0/-2) °C)
<b>CARGA DE ENSAYO</b>
Se multiplica la densidad por el volumen del contenedor BASURAS LIGERAS 0.25 kg/dm <sup>3</sup> BASURAS PESADAS 0.40 kg/dm <sup>3</sup> La carga total nunca debe ser superior a 1750 kg
<b>CONTROL DESPUÉS DE LOS ENSAYOS</b>
A pesar de las deformaciones y tamaños debe ser posible elevar e inclinar el contenedor con la carga nominal.

### 2.1.2.2 Descripción de ensayos

- **Ensayo por Impacto de caída de bola**

Este ensayo consiste en la determinación de puntos sensibles dentro de la estructura del contenedor, delimitando áreas específicas y con alturas de ensayo preestablecidas. El ensayo se lo realiza a la temperatura T2, con un cilindro de acero de 5kg, de diámetro de 65 mm con punta redondeada de 32.5 mm además de utiliza un tubo vertical de plástico para direccionar el cilindro según se muestra en la figura 2.13. Después de este ensayo no se permiten deformaciones permanentes o ningún tipo de ruptura del material en sus respectivas uniones [9].



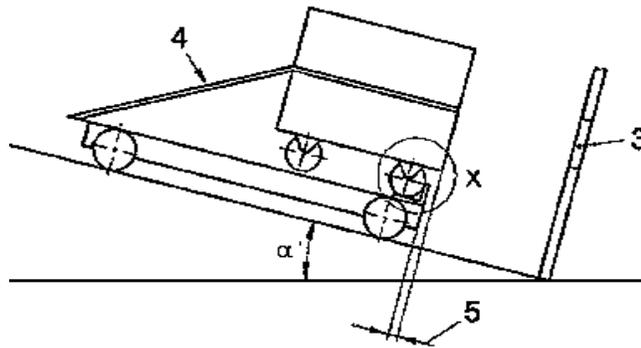
**Figura 2.13** Esquema de caída de bola [9]

- **Impacto sobre un plano inclinado.**

La resistencia a los impactos que puede sufrir un contenedor en condiciones de trabajo es lo que busca verificar este ensayo como se observa en la figura 2.14, por lo cual, se somete a impactos cada una de las paredes y esquinas del contenedor, para verificar los esfuerzos permisibles que puede soportar sin que sufra deformaciones excesivas, este ensayo tiene parámetros específicos de velocidad de impacto, temperatura de trabajo de las cuales se puede especificar las siguientes: [9].

**Condiciones**

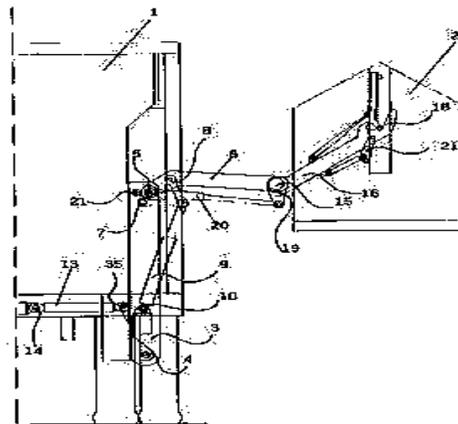
- Temperatura T1
- Carga Nominal
- Impacto contra Pared Perpendicular a la dirección de movimiento
- Se realizan un total de 16 Impactos.
- Inclinación de superficie.
- Velocidad de Impacto de 1.85 m/s en ensayo de caras y 1.3 m/s en ensayos de esquinas
- Numeración de Caras
- Luego de los ensayos se permite deformación, pero deben ser funcionales totalmente luego de los mismos.



**Figura 2.14** Representación de impacto de contenedor [9]

- **Ensayos de elevación/inclinación**

El ensayo se realiza para verificar que el contenedor se adapte correctamente a los dispositivos de elevación manteniendo su funcionalidad. Este ensayo está establecido para instancias en las cuales el contenedor está cargado y vacío. Para el caso en las que contenedor está vacío, se debe realizar cinco ciclos de carga y al menos cien cuando se encuentra cargado respetando las condiciones de carga admisible y demás restricciones de ensayo. En la figura 2.15 se observa la representación de la elevación del contenedor [9].



**Figura 2.15** Representación de ensayo de elevación inclinación [9]

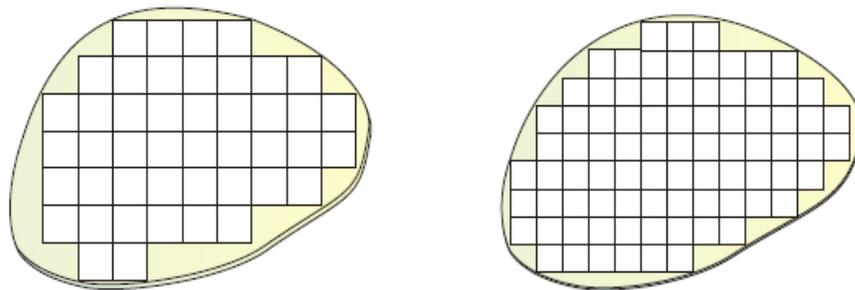
### 2.1.3 Análisis por elementos finitos.

Una de las cuestiones más importantes que se les presenta a los ingenieros y científicos, es el modelamiento de fenómenos físicos. Virtualmente todo fenómeno de la naturaleza ya sea biológico, químico, geológico e incluso mecánico, puede ser descrito con la ayuda

de las leyes de la física y formulaciones algebraicas. Consecuentemente con el desarrollo de la tecnología computacional el análisis de los problemas físicos fue simplificado drásticamente en las últimas tres décadas, mediante la aplicación de modelos matemáticos y métodos numéricos para resolver problemas prácticos de ingeniería [10].

Hay que tener en cuenta que debido a la complejidad de ciertos problemas en muchos de los casos, debido a geometrías complejas, el análisis de elemento finito es una técnica utilizada para obtener soluciones aproximadas que dependerán de la preparación de un modelo geométrico adecuado [11]. Para la obtención de un modelo apropiado hay que tener conocimientos sobre los tipos de elementos existentes y sus propiedades para describir el comportamiento del problema de estudio, una correcta discretización de estos elementos se lograra manteniendo el equilibrio entre el tamaño, orden y tipo de elemento [12].

La discretización del modelo geométrico para determinar la solución del problema depende de la división uniforme de las celdas y volúmenes, en el caso de impacto, las ecuaciones de conservación de la energía son fundamentales para calcularlas con la ayuda de ciertos métodos de interpolación, un modelo discretizado se muestra en la figura 2.16 [13].



**Figura 2.16** Discretización del modelo geométrico [11]

### **2.1.3.1 Aplicaciones de elementos finitos (MEF)**

Las aplicaciones del método de elementos finitos se orientan a gran parte de problemas ingenieriles, los cuales son resueltos de manera rápida mediante el análisis computacional. Algunas áreas en las cuales se puede desarrollar simulaciones por medio de MEF, son: el

diseño estructural, térmico, redes hidráulicas, en procesos de manufactura e incluso se están desarrollando estudios sobre pares biomecánicos.

- **Análisis estructural**

El análisis esfuerzos y deformaciones a los que se ven sometidos los componentes estructurales requieren un gran esfuerzo analítico, el cual se ha visto simplificado por el uso del método de elementos finitos. Dentro de este ámbito se han desarrollado investigaciones acerca del comportamiento de vigas estructurales, un ejemplo claro es la investigación realizada por Andrea Panteghini [14], utilizando una estructura compuesta por capas, para determinar su comportamiento frente a diversos tipos de carga y con condiciones de unión severa [14].

- **Análisis dinámico**

Para M. T. Ivo Senjanović [15], dentro de los análisis dinámicos se encuentran aquellos que están relacionados con velocidades, aceleraciones, que son casos donde el tiempo juega un papel predominante. El análisis dinámico puede ayudar al estudio dentro de las juntas estructurales sometidas a cargas cíclicas, vibratorias o aquellos problemas que dependen del tiempo. Existen dos enfoques para los problemas dinámicos la primera es la resolución analítica de las ecuaciones diferenciales de movimiento gobernantes y los métodos numéricos como el método Rayleigh-Ritz y el Método de elementos finitos (FEM) [15].

- **Simulación de fluidos**

Como menciona P. Sváček [16], las aproximaciones numéricas para este tipo de simulaciones incorpora las ecuaciones de Navier-Stokes, las cuales describen el comportamiento de todo tipo de fluido newtoniano, con lo cual, se pueden estimar fenómenos en turbomaquinaria, hidráulica e incluso comportamiento aeroespacial, por lo cual se presenta como una herramienta potente para estimar el comportamiento de los fluidos [16].

- **Análisis térmico**

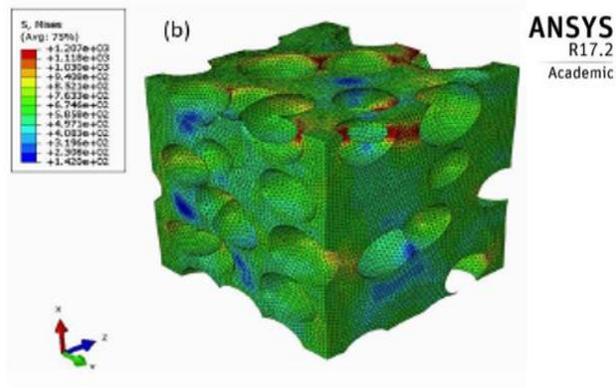
Según Christian Zeller [17], los problemas de transferencia de calor y energía en calderas, turbinas, máquinas y componentes, que están sometidos a altas temperaturas pueden ser estudiados con el método de elemento finito, para la selección adecuada de materiales e incluso optimizar costos de producción, en sistemas de generación de energía o producción. Cabe recalcar dentro de los sistemas térmicos se pueden originar errores elevados debido a las calidades de malla, por lo cual, se han realizado investigaciones sobre nuevos métodos numéricos que son capaces de estimar grandes gradientes de temperaturas, cuando se encuentra mallas gruesas con una metodología extrínseca de simulación [17].

- **Análisis del maquinado**

Para Sarvesh Kumar Mishra [18], el micromecanizado de herramientas de corte y la determinación de las geometrías ideales para obtener mejores rendimientos en el maquinado, se presentan como una gran dificultad debido a la combinación de componentes de afectación térmicos, químicos y de esfuerzo en la interacción de piezas y herramientas. Dichas complicaciones han podido ser sobre llevadas mediante el uso del MEF para la determinación de los parámetros de corte de herramientas (fuerza de corte, textura superficial de herramientas, áreas de contacto) con elevada exactitud [18].

- **Simulación biológica**

Nicolas Soro y Yunhui Chen [19], demostraron que la importancia de los implantes biomecánicos en la actualidad ha tenido un avance acelerado en el cual se utilizan estructuras porosas para mejorar la semejanza a las partes biológicas, las simulaciones por elementos finitos en este campo ha permitido conocer la importancia del nivel de porosidad y la forma de poro, los cuales permiten obtener similitudes muy aproximadas a módulos de Young efectivos con errores de apenas 0.9 % con porosidades del 35%. En la figura 2.17 se observan los resultados obtenidos de esta investigación [19].



**Figura 2.17** Contorno del estrés de Von Mises (en MPa) con una tensión del 5% y 35% de porosidad. [19]

### 2.1.3.2 Procedimiento para la resolución del MEF

- **Pre-procesamiento**

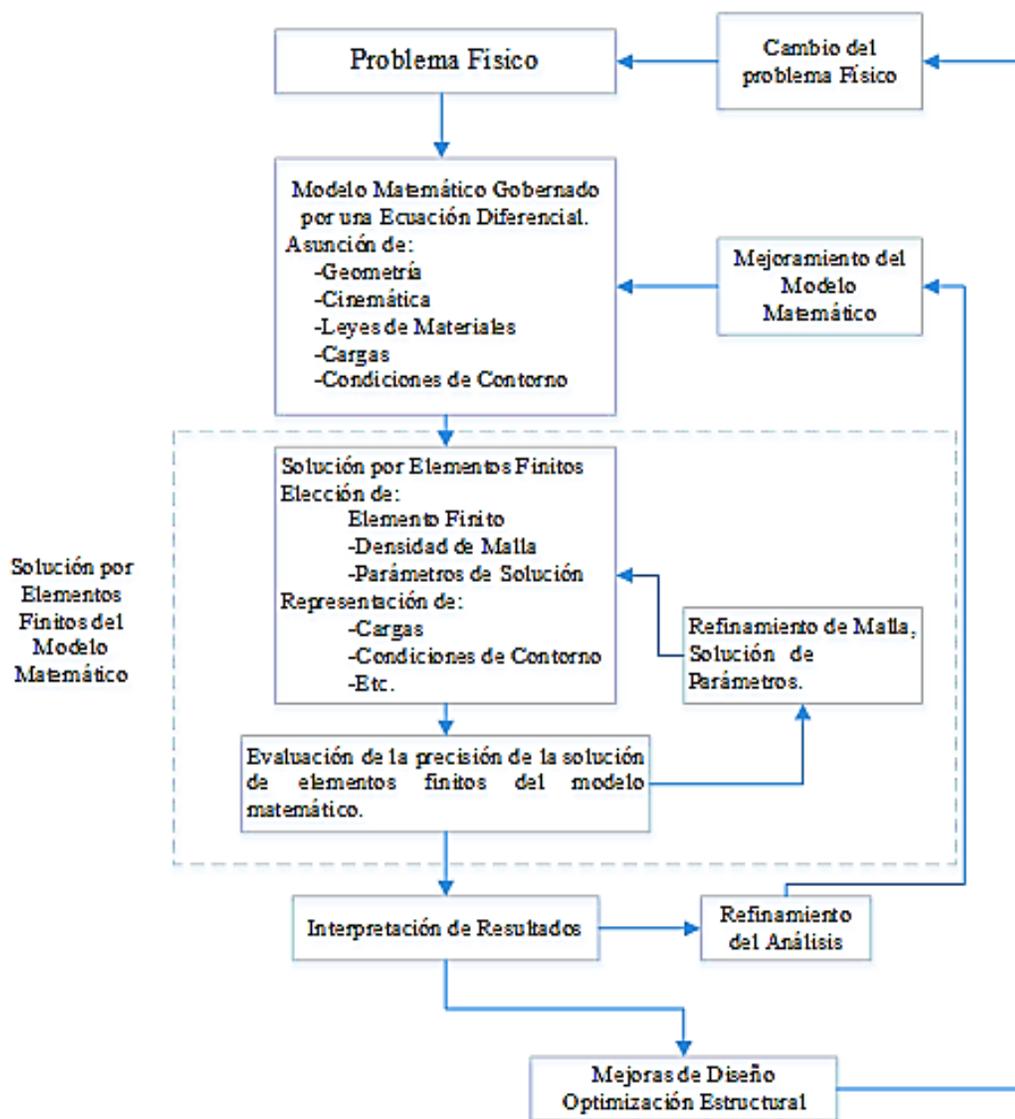
La definición del modelo tiene una gran importancia debido a su criticidad. Si el modelo no abarca las condiciones planteadas en el caso de estudio, la solución no será la deseada. Por lo cual, la expresión informática "basura entra, basura sale", es aplicada de manera muy precisa para este caso. La metodología empieza con una geometría, luego se define el tipo de elemento con el cual se mallará, determinamos las propiedades de los materiales utilizados, posteriormente se especifica las características geométricas del elemento, en seguida se realiza el mallado de la geometría, finalmente especificamos las condiciones de contorno e incluimos las cargas. [20]

- **Solución**

En este paso se logra el ensamble de las ecuaciones dentro de matrices, para luego calcular los valores desconocidos dentro del mallado. Los primeros resultados son utilizados para calcular las fuerzas y tensiones que puedan originarse en elementos adyacentes, lo cual genera innumerable número de ecuaciones que son resueltas mediante métodos numéricos y modelos de eliminación como es el de Gauss, optimizando así recursos computacionales y tiempo de simulación. [20]

- **Post procesamiento**

Es en este paso donde se requiere el criterio ingenieril para que se analice los resultados verificando el cumplimiento de las teorías de materiales sobre esfuerzos y deformaciones. En los softwares actuales los resultados se presentan a través de gráficos que simulan el comportamiento del modelo, estos van acompañado de valores calculados, los cuales permitirán juzgar si los resultados tienen un cierto grado de coherencia. En la figura 2.18 se observa un diagrama de flujo del procedimiento de resolución [20]



**Figura 2.18** Proceso de resolución por elementos finitos [20]

### 2.1.3.3 Definición de matriz de rigidez

La matriz de rigidez de cierto elemento, permite encontrar las soluciones en cada nodo  $\{\delta e\}$  a partir de las fuerzas nodales  $F_e$  las cuales según el teorema de trabajos virtuales comprenden las fuerzas aplicadas a nodos  $\{P_e\}$ , fuerza distribuidas en un volumen  $\{q_e\}$  y las fuerzas que actúan en una superficie  $\{p_e\}$ . Estas fuerzas dan lugar a que se produzcan esfuerzos definidos en un vector de esfuerzo. La relación de fuerza desplazamiento y rigidez, también llamada ecuación matricial de equilibrio del elemento se expresa a continuación: [21]

$$[k_e] * \{\delta e\} = \{F_e\} \quad (2.1)$$

### 2.1.3.4 Tipos de resolución de método de elementos finitos

#### 2.1.3.4.1 Análisis estático

En este tipo de análisis se determina las consecuencias que ocasionan las condiciones de carga constante en una estructura, por lo cual los efectos de inercia, amortiguación o cualquier efecto que modifique la carga en el tiempo son ignorados. Ciertas condiciones en este ámbito son aceptadas como la fuerza gravitacional e incluso aquellas que se pueden aproximar a cargas estáticas. [22]

En el análisis estático hay que tomar ciertas asunciones para que la relación del equilibrio elemental tenga validez, tanto para la matriz rigidez y para el vector de fuerza así: [22]

-  $[K]$  es constante

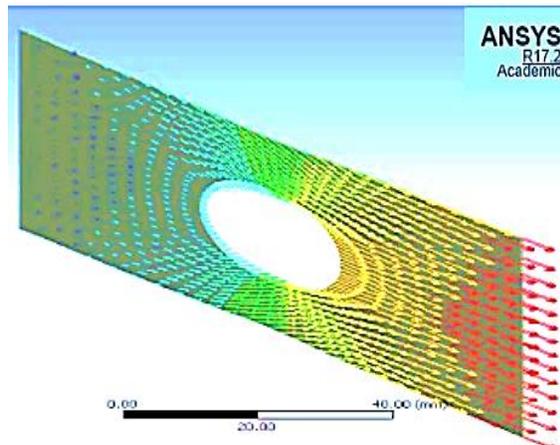
- El proceder del material es elástico lineal
- Se usa la teoría de la desviación pequeña
- Se incluyen ciertas condiciones de contorno no lineales

-  $\{F\}$  se aplica estáticamente

- Solo se consideran fuerzas constantes
- No se incluyen efectos inerciales (masa, amortiguación)

- Es importante recordar estas suposiciones relacionadas con el análisis estático lineal [23]

En la figura 2.19 se observa un análisis de una placa tensionada, donde se evalúa la deformación producida por la carga aplicada.



**Figura 2.19** Análisis estático de placa [23]

#### 2.1.3.4.2 Análisis dinámico transitorio

Dentro de este tipo de análisis se valora la respuesta dinámica estructural a una carga que depende del tiempo. Este método es muy utilizado para hallar los desplazamientos, tensiones, esfuerzos y fuerzas variables con el tiempo resultado de varias combinaciones de carga. En este análisis, la inercia y amortiguación se ven fuertemente afectados por el tiempo transcurrido. [22]

Por lo general este tipo de análisis requiere grandes recursos computacionales en términos de tiempo de cálculo, muchas de las veces un análisis se puede aproximar a un análisis estático o de tipo modal, para determinar ciertos parámetros básicos que podrían solucionar el problema, razón por la cual es importante comprender los aspectos físicos del problema. [22]

La ecuación que expresa el movimiento en este análisis es:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F(t)\} \quad (2.2.)$$

Donde:

$[M]$  = Matriz de masa

$[C]$  = Matriz de amortiguación

$[K]$  = Matriz de rigidez

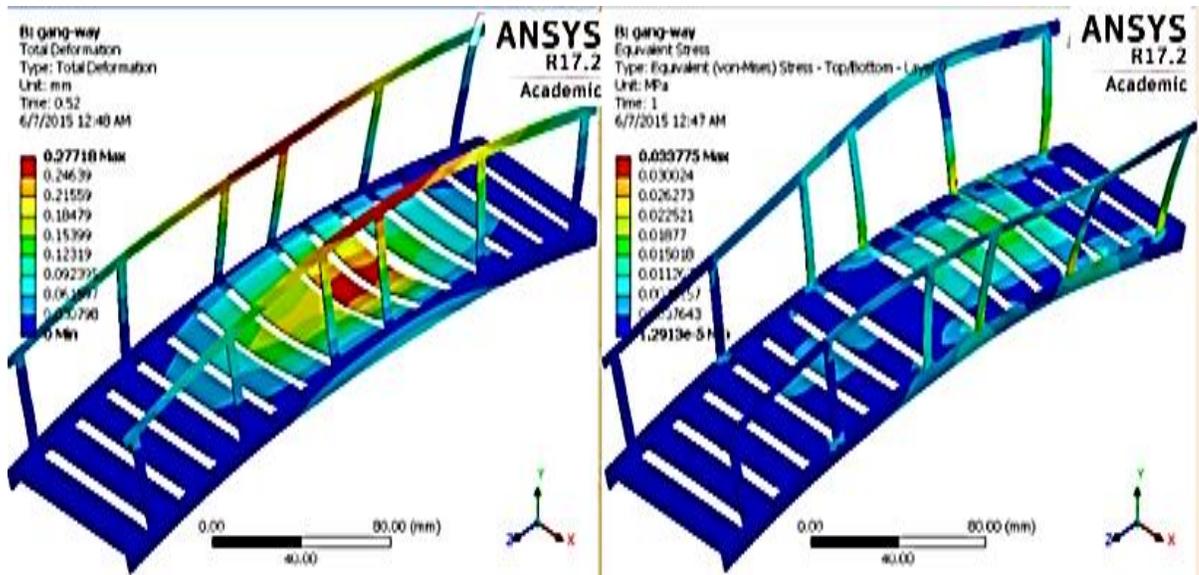
$\{\ddot{u}\}$  = Vector de aceleración nodal

$\{\dot{u}\}$  = Vector de velocidad nodal

$\{u\}$  = Vector de desplazamiento nodal

$\{F(t)\}$  = Vector de carga

En la figura 2.20 se observa un análisis transitorio en la estructura de un puente sometido a cargas dinámicas.



**Figura 2.20** Análisis dinámico transitorio en estructura de puente [23]

#### 2.1.3.4.3 Análisis modal.

Este tipo de análisis evalúa el comportamiento de cierta estructura frente a un movimiento fluctuante o vibratorio libre es decir sin aplicación de ninguna fuerza exterior, permitiéndonos identificar los efectos que tienen dichas vibraciones sobre sus componentes interconectados. Los análisis modales contienen múltiples soluciones dependientes del número de grados de libertad que contengan, dichas soluciones se

denominan modos estructurales que dependen de la frecuencia de excitación propia, siendo la frecuencia más baja un parámetro muy importante para análisis dinámicos explícitos. Encontrar varios modos de vibración determina un análisis modal. La ecuación 2.3 describe el comportamiento de los análisis de este tipo: [24]

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \mathbf{0} \quad (2.3.)$$

Donde:

[M] = Matriz de masa

[C] = Matriz de amortiguación

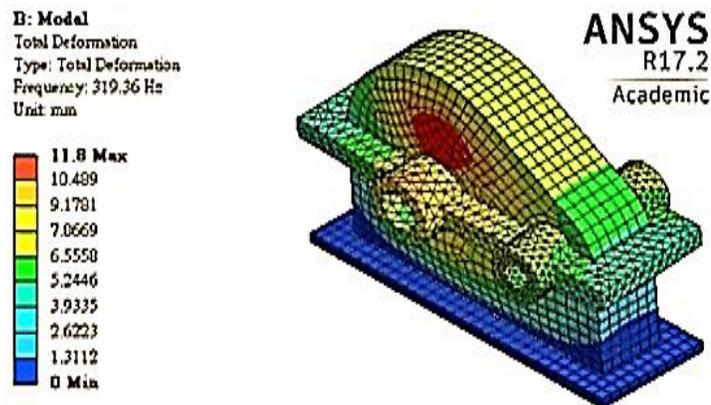
[K] = Matriz de rigidez

{ $\ddot{u}$ } = Vector de aceleración nodal

{ $\dot{u}$ } = Vector de velocidad nodal

{u} = Vector de desplazamiento nodal

En la figura 2.21 se observa un análisis modal para una caja de engranajes en la cual se evalúa la deformación producida por los modos de vibración.



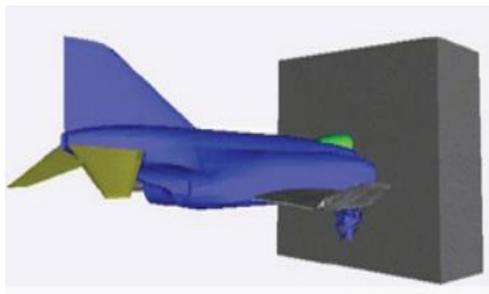
**Figura 2.21** Análisis modal de caja de engranes [24]

#### 2.1.3.4.4 Análisis explícito dinámico

Un análisis explícito va dirigido a las repuestas de una estructura cargas críticas, que pueden ser de impacto o debido a cargas de elevada presión, las cuales transcurren en un corto tiempo. Este tipo de análisis involucra herramientas avanzadas para determinar soluciones precisas y se aplica, cuando las pruebas físicas resultan costosas o imposibles de realizar. La dinámica explícita describe el fenómeno físico de sistemas que están expuestas a fuerzas dinámicas transitorias con elevado grado de no linealidad. La respuesta final obtenida es una predicción precisa de grandes deformaciones, fallas en materiales, esfuerzos y fenómenos cambiantes en breves lapsos de tiempo. Algunas de las aplicaciones del análisis explícito se enlistan a continuación: [25]

- Interacciones de corta duración, complejas o de cambio de cuerpo (contacto)
- Impactos de alta velocidad e hipervelocidad.
- Cargas severas que dan como resultado una gran deformación del material
- Fragmentación de material.
- Mecánica de penetración.
- Diseño de equipamiento deportivo.
- Procesos de fabricación con respuesta plástica no lineal.
- Simulación de prueba de caída.
- Carga explosiva.

En la figura 2.22 se observa un análisis de impacto explícito de un Jet impactando a una superficie rígida.



**Figura 2.22** Simulación explícita dinámica de impacto de jet [25]

### 2.1.3.5 Tipo de elementos

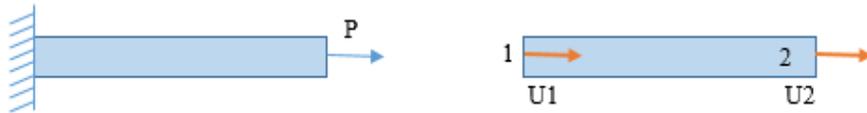
#### 2.1.3.5.1 Elementos unidimensionales

El ejemplo más simplificado se presenta en una barra de sección constante sometido a una fuerza de tensión  $P$  la cual consta de dos nodos en los extremos, los cuales están asociados a desplazamiento nodales  $u_1$  y  $u_2$ , debido a la aplicación de la carga. [21]

El desplazamiento en cualquier punto para este tipo de elemento viene dado por la expresión:

$$u(x) = \alpha_1 + \alpha_2 * x \quad (2.4)$$

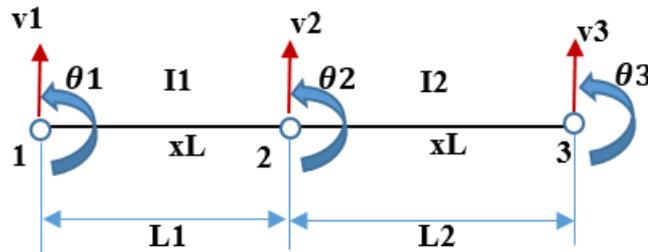
Donde los parámetros  $\alpha_i$  representan los grados de libertad igual a 2 del elemento. En la figura 2.23 se observa un elemento unidimensional con una carga aplicada en un extremo.



**Figura 2.23** Representación de elemento unidimensional. [21]

- **Elemento beam.**

Este tipo de elementos se puede utilizar análisis estructurales donde se produzcan deformaciones y rotaciones de tensión, compresión y flexión. Este tipo de elemento posee tres grados de libertad por nodo, lo cual significa que tiene la posibilidad de desplazarse en las direcciones  $x$  e  $y$ , además, puede realizar rotaciones alrededor del eje nodal  $z$ . En la figura 2.24 se observa la representación de un elemento Beam. [26]



**Figura 2.24** Elemento beam. [21]

### 2.1.3.5.2 Elementos bidimensionales

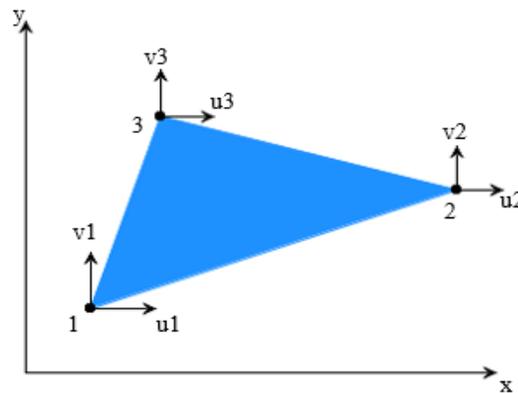
Se aplica en estructuras sometidas a estados de esfuerzo plano, por ejemplo en instantes que se aplican cargas a placas en su propio plano, donde la dependencia del desplazamiento en las direcciones  $x$  e  $y$  requiere una discretización bidimensional. Dentro de estos elementos el triangular es el más utilizado, debido a la adaptación que presenta a las superficies, también podemos señalar los elementos rectangulares, los elementos cuadriláteros y triangulares curvados, este último se adapta de manera muy eficiente a los perímetros. [21]

Tomando un elemento triangular podemos estimar las funciones de desplazamiento que gobierna el elemento tomando en consideración los desplazamientos nodales  $u_1, v_1, u_2, v_2, u_3, v_3$ : [21]

$$u(x, y) = \alpha_1 + \alpha_2x + \alpha_3y \quad (2.5)$$

$$v(x, y) = \alpha_4 + \alpha_5x + \alpha_6y \quad (2.6)$$

Los cuales representan polinomios con factores  $\alpha_i$  igual a 6 que constituyen los grados de libertad del elemento. La figura 2.25 muestra los grados de libertad para un elemento bidimensional.

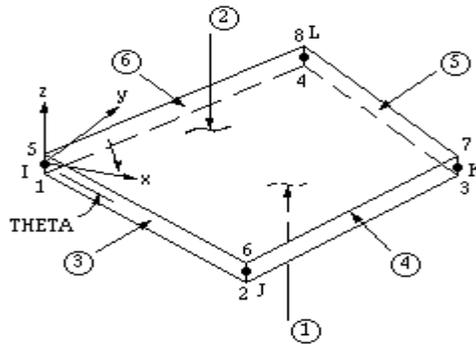


**Figura 2.25** Representación de elemento bidimensional [21]

- **Elemento shell**

Es un tipo de elemento representado en la figura 2.26, se utiliza en placas lineales, sometidas a cargas en su mismo plano y también trasversales, ideal para trabajar con espesores gruesos. Posee seis grados de libertad en cada nodo lo que le permite desplazarse tanto en  $X, Y$  y  $Z$  además puede rotar alrededor de los ejes nodales  $X, Y$  y  $Z$ . La

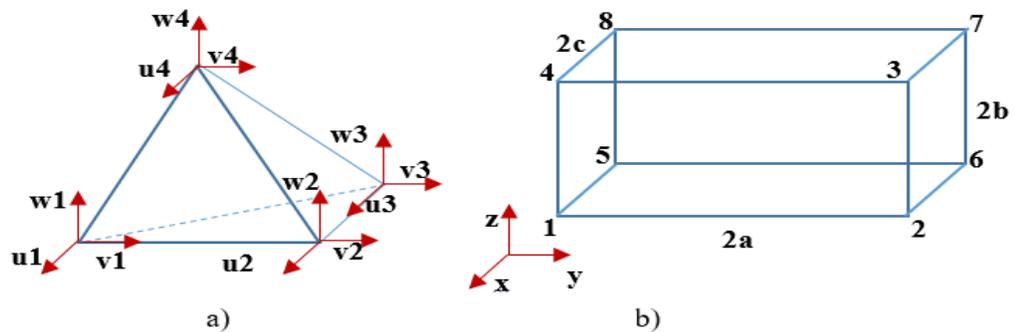
deformación que representa es lineal en ambas direcciones y además permite determinar las sus respectivas variaciones. [26]



**Figura 2.26** Elemento SHELL43 [26]

### 2.1.3.5.3 Elementos tridimensionales

Existen gran número de problemas ingenieriles que involucran elementos espaciales con geometrías complejas, las cuales requieren una discretización tridimensional para aproximar las soluciones de las geometrías sólidas, dentro de los elementos tridimensionales, los tetraédricos de cuatro nodos son los más utilizados, estos son semejantes a los elementos triangulares en el enfoque bidimensional. Además, existen otros tipos de elementos como son los hexaédricos y prismáticos. La tecnología de este tipo de elementos, permite crear nodo en los lados e incluso dentro del elemento, logrando exactitudes muy elevadas. En la figura 2.27 se observa una representación de elementos tridimensionales. [21]



**Figura 2.27** Representación de elementos tridimensionales a) Elemento tetraédrico b) Elemento hexaédrico [21]

### 2.1.3.6 Mallado

El mallado es un tema crítico, que determina la solución de un problema físico, se requiere conocer a fondo la naturaleza del problema en cuestión, ya que, en problemas estáticos lineales la solución obtenida puede lograrse utilizando mallas globales, que no afectan de manera significativa los resultados, exceptuando zonas críticas de carga, por otro lado, los problemas dinámicos y no lineales son altamente sensibles a la calidad de malla debido a que esta determina la convergencia de los resultados. Otro aspecto que determina la calidad de malla es la distorsión que presentan los elementos, que deben ser evitadas en el mayor grado posible para tener uniformidad de malla, exactitud de resultados y rapidez de convergencia. [24]

La exactitud de los resultados de análisis, puede mejorarse extendiendo el número de elementos o incrementando de orden de un elemento, cualquiera de los dos métodos producirá un mayor requerimiento de recursos computacionales y tiempo de resolución. Si luego de haber incrementado el número de elementos la solución no se ve afectada se dice que la malla es independiente, con lo cual se procede con la variación del orden para obtener resultados más precisos. [27]

- **Calidad ortogonal**

Este parámetro varía entre 0 y 1 como se ve en la tabla 2.3, siendo uno su valor ideal, se determina a partir de un vector normal de una cara, un vector desde el centroide del elemento hasta el centroide de los elementos adyacentes y el último vector que parte desde el elemento hasta cada una de las caras, en la figura 2.28 se puede apreciar los vectores que sirven para la determinación del valor de ortogonalidad. El valor mínimo de las expresiones representa el valor de la ortogonalidad para un elemento. [28]

$$\frac{A_i * f_i}{|\vec{A}_i| * |\vec{f}_i|} \quad \frac{A_i * c_i}{|\vec{A}_i| * |\vec{c}_i|} \quad (2.7)$$

Y para una cara viene dada por la expresión.

$$\frac{A_i * e_i}{|\vec{A}_i| * |\vec{e}_i|} \quad (2.8)$$

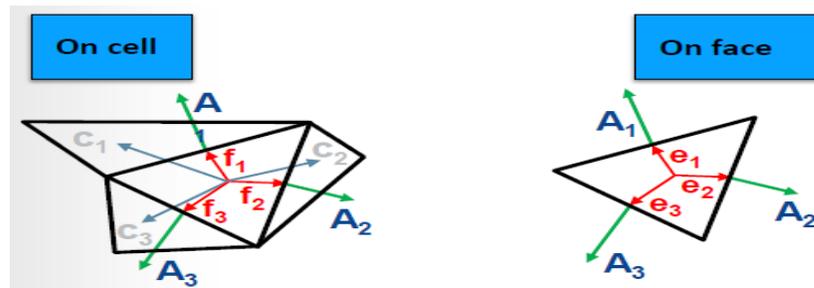
Donde:

$A_i$ : Vector normal de la cara.

$f_i$ : Vector que va desde el centroide del elemento hasta el centroide de la cara.

$c_i$ : Vector que va desde el centroide del elemento al centroide de los elementos adyacentes.

$e_i$ : Vector que parte del elemento hasta el centroide de los bordes. [28]



**Figura 2.28** Vectores para determinación de ortogonalidad [28]

**Tabla 2.3** Categorización de la ortogonalidad [28]

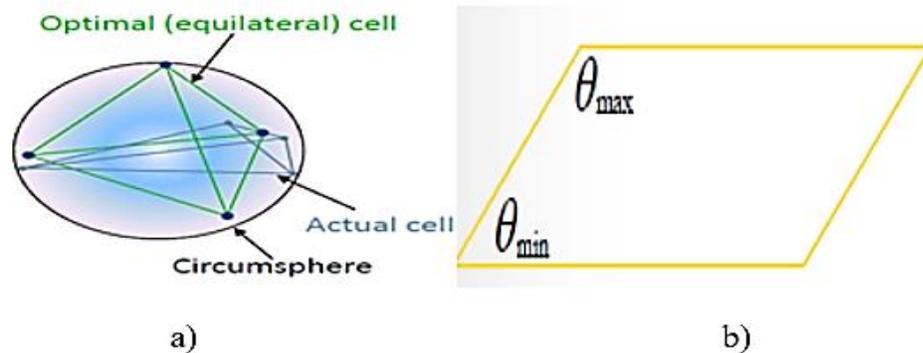
Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

- **Skewness**

Es una medida de calidad de malla muy importante, la cual determina si el elemento presenta una forma ideal equilátera o equiangular en una cara o en una celda en la figura 2.29 se observa la representación de un valor óptimo de skewness. Existen dos métodos para determinar skewness en los elementos, la primera es la desviación del volumen equilátero, que se aplica solo para triángulos y tetraedros; y el segundo método es la desviación del ángulo normalizado, que define el parámetro  $\theta_e$  que es el equiángulo cara/célula definido con un valor de 60 para tetraedros o triángulos y con un valor de 90 para cuadrados y hexaedros. El segundo método es aplicado a cualquier forma de célula y cara y además es usado en hexaedros, prismas y pirámides. [28]

$$Skewness = \frac{\text{Tamaño de célula óptimo} - \text{Tamaño de célula}}{\text{Tamaño de célula óptimo}} \quad (2.9)$$

$$Skewness = \max \left[ \frac{\theta_{\max} - \theta_e}{180 - \theta_e}, \frac{\theta_e - \theta_{\min}}{\theta_e} \right] \quad (2.10)$$



**Figura 2.29** a) Equilátero ideal y desviaciones. b) Ángulos de desviación mínimo y máximo [28]

La tabla 2.4 muestra los valores que puede tomar la calidad skewness para determinado mallado, dividiéndose en diversas categorías.

**Tabla 2.4** Categorización de skewness [28]

Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

- **Aspect ratio**

Es una medida de desviación del elemento que relaciona la longitud del elemento con su altura, se puede identificar problemas por ratio de aspecto en elementos rectangulares cuando la relación altura/ancho excede 2. Para un elemento rectangular, cuando la relación longitud / altura excede 2. Idealmente para triángulos equiláteros perfectos la relación de aspecto debe ser de 1.15 y de 1 para elementos cuadrados. Las relaciones por encima de los valores recomendados son aceptadas únicamente en áreas no críticas en esfuerzo por lo cual se debe evitar relaciones de aspecto elevadas, en zonas críticas. [28]

$$R = \frac{E}{h} \quad (2.11)$$

Donde:

E: Borde más largo del elemento

h: Altura más corta (distancia entre un vértice y el borde opuesto) [28]

#### **2.1.4 Estimación de errores**

Dentro del análisis por elemento finito se puede generar varios tipos de errores los cuales se puede evidenciar a continuación: [29]

- **Errores de modelización**

La estimación de las fuerzas aplicadas

Las condiciones de contorno no son semejantes al problema real.

Las características del material son erróneas o incompletas. [29]

- **Errores de discretización**

**Errores en la aproximación de la geometría.** Las ecuaciones generadas para el modelo computacional no se asemejan la geometría real del modelo o cual se soluciona con un refinamiento de malla en zonas críticas de esfuerzo o deformación. [29]

**Errores en la discretización** Se refiere al tamaño de los elementos utilizados en la simulación, lo más ideal para obtener buenos resultados es realizar un control en relación al tamaño de elementos, lo cuales deberán ser más pequeños en zonas críticas o cercanas a las cargas aplicadas, y elementos más grandes donde no se presente grandes afectaciones. [29]

- **Errores de computación**

**Error en la integración sobre los elementos.** -Debido al grado del polinomio de integración, se relaciona al elemento un determinado nivel de error, que deberá ser aceptado en cierta manera por las características intrínsecas del polinomio utilizado. [29]

**Error de resolución del sistema de ecuaciones.** - Tiene lugar debido a una mala interpretación de la formulación numérica e incluso debido a las aproximaciones numéricas realizadas. [29]

Una visión más representativa de los errores presentados en un se puede describir mediante las siguientes ecuaciones: [29]

$$e_{deformaciones} = u_{real} - u_{calculada} \quad (2.12)$$

$$\sigma_{tensiones} = \sigma_{real} - \sigma_{calculada} \quad (2.13)$$

### 2.1.5 Mecánica de materiales

El comportamiento de diversos materiales ante determinada carga, se ve influenciado por las propiedades intrínsecas de cada material particular, estas propiedades son el módulo de elasticidad, el modulo cortante y la relación de Poisson, que se establecen mediante el ensayo a tracción descrito en la norma ASTM E8, en cuyo contenido se especifica las dimensiones y condiciones de las probetas a ensayar. Una vez obtenidas las propiedades fundamentales se puede prever el proceder de los materiales utilizados en elementos mecánicos como vigas, barras e incluso columnas, lo cual nos conduce a la determinación de los esfuerzos, deformaciones hasta el punto de falla de las estructuras y componentes mecánicos. [30]

#### 2.1.5.1 Esfuerzo

El esfuerzo es producto de una carga aplicada a una superficie en dirección normal, dentro de elementos lineales y no lineales representa el nivel de tensión, al cual está sometido un cuerpo cuando se lo comprime o estira, además permite cuantificar los límites permisibles de un material cuando se encuentran sometidos a cargas uniformes. Existen esfuerzos traccionantes, de compresión y cortantes, responsables de las deformaciones producidas en los elementos mecánicos. La expresión para el esfuerzo más generalizada se representa mediante la ecuación 2.8: [30]

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.14)$$

Donde:

$\sigma$ : Esfuerzo

P: Carga aplicada al centroide del elemento

A: Área de la sección transversal

### **2.1.5.2 Deformación unitaria**

La definición de deformación unitaria depende de un alargamiento seccional el cual tiende a ser acumulativo en todo un elemento de longitud L, para determinar el valor unitario de deformación hay que considerar la longitud de un segmento igual a 1, dividirla para el valor de L total y multiplicarlo por el alargamiento correspondiente con lo cual obtenemos una expresión para la deformación dada por la expresión 2.14: [30]

$$\epsilon = \frac{\delta}{L} \quad (2.15)$$

Donde:

$\epsilon$ : Deformación Unitaria

$\delta$ : Alargamiento

L: Longitud Total

### **2.1.5.3 Ley de hooke**

El comportamiento de los materiales elásticos viene definido por la relación proporcional entre el esfuerzo y la deformación, con una pendiente conocida como módulo de elasticidad que varía según el material. La relación indicada en la ecuación 2.15 fue determinada, gracias a trabajos experimentales desarrollados por Robert Hooke convirtiéndose en pionero de los fundamentos elásticos. [30]

$$\sigma = E * \epsilon \quad (2.16)$$

Donde:

$\sigma$ : Esfuerzo

E: Modulo de Elasticidad

#### **2.1.5.4 Porcentaje de elongación**

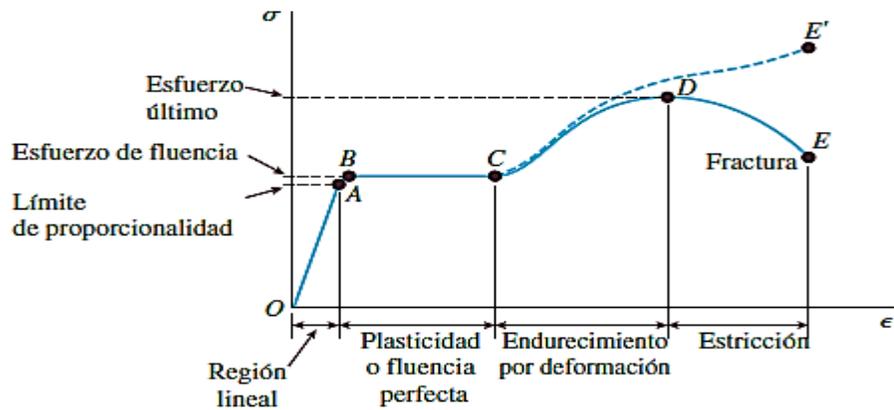
Es un indicador la de deformación permanente para una probeta normalizada, se la puede obtener de una medida entre, las marcas calibradas antes y después de realizar el ensayo, la distancia medida omitirá la distancia recuperada elásticamente luego de la ruptura del material la ecuación 2.17 describe las variables a considerar para calcular dicho porcentaje. [31]

$$\%Elongación = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100 \quad (2.17)$$

#### **2.1.5.5 Diagrama esfuerzo deformación unitaria.**

Es fundamental expresar los resultados de ensayos de materiales en función de esfuerzo y deformación unitaria, debido a que las geometrías de los diseños mecánicos y estructurales, no siempre son uniformes, no obstante, una probeta normalizada permite obtener las propiedades esenciales aplicables a cualquier configuración geométrica. [30]

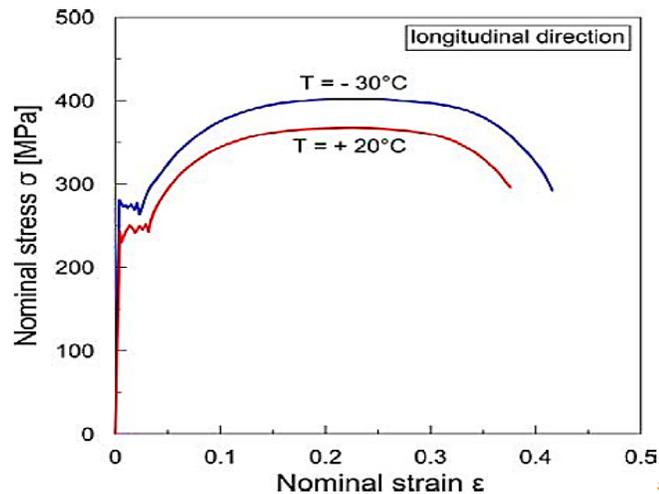
La gráfica a continuación describe el comportamiento de los aceros al carbono frente a una carga creciente que es aplicada a una probeta de dimensiones estándar, con lo cual, se obtiene una relación respecto a la deformación mediante un ensayo traccionante, permitiendo evidenciar los puntos y secciones característicos en la curva de esfuerzo deformación. Los puntos más importantes que se pueden mencionar son: el límite de proporcionalidad el cual define la elasticidad de un material, el punto de fluencia en el cual se anuncia el inicio de la plasticidad, el esfuerzo ultimo el cual señala la falla eminente el material y finalmente la fractura. En la figura 2.30 se muestra la representación de la curva esfuerzo deformación para el acero [30].



**Figura 2.30** Diagrama esfuerzo deformación para acero al carbono [30]

### 2.1.5.6 Propiedades en dependencia de la temperatura

Las propiedades mecánicas del acero varían respecto a temperatura de trabajo, como menciona Pawel Grzegorz [32], por debajo de la temperatura ambiente las propiedades de resistencia del material se incrementan significativamente. En la figura 2.31 se puede apreciar el impacto que tiene las bajas temperaturas en el acero estructural dentro de los rangos de ensayo de 20 a -30 °C, donde se produce un aumento en el esfuerzo de fluencia y el esfuerzo a tracción para un acero estructural utilizado en un puente en Polonia.



**Figura 2.31** Diagrama de esfuerzo deformación unitaria a diferentes temperaturas. [32]

En la tabla 2.5 se presentan los valores promedios obtenidos del ensayo según la especificación EN 1002-1, en probetas estandarizadas, efecto de la temperatura de trabajo en las propiedades mecánicas del acero estructural.

**Tabla 2.5** Variación del  $S_y$  y  $S_{ut}$  respecto a la temperatura. [32]

Orientation to the rollin direction	T [°C]	ReH [MPa]	Rm [Mpa]
Longitudinal	+20	243.3	367.3
Longitudinal	-30	278.8	403.0

El módulo elástico también se ve afectado por la baja temperatura como lo demuestra el estudio de Jian Xi , en el cual realizo ensayos de tracción en acero de alta resistencia para tres diferentes tipos de probetas enumeradas de 1 al 3 como se muestra en la tabla 2.6 con sus correspondientes temperaturas de ensayo con valores de 20,-40-70-100-140 y -160 °C. [33]

**Tabla 2.6** Variación del módulo de young respecto a la temperatura. [33]

Item	T(°C)	E (GPa)
A-1	20	211.7
A-2	20	209.0
A-3	20	198.8
B-1	-40	212.3
B-2	-40	202.4
B-3	-40	204.1
C-1	-70	208.6
C-2	-70	199.8
C-3	-70	206.5
D-1	-100	205.7
D-2	-100	207.9
D-3	-100	210.6
E-1	-120	213.5
E-2	-120	212.7
E-3	-120	204.1
F-1	-140	213.7
F-2	-140	217.5
F-3	-140	221.2
G-1	-160	215.9
G-2	-160	209.7
G-3	-160	221.1

## **2.2 Hipótesis**

**Hi:** Los contenedores metálicos fabricados por la empresa ECUAMATRIZ CIA LTDA. para la recolección de residuos, resisten los ensayos de resistencia mecánica de la normativa UNE-EN 12574-2.

**Ho:** Los contenedores metálicos fabricados por la empresa ECUAMATRIZ CIA LTDA. para la recolección de residuos, no resisten los ensayos de resistencia mecánica de la normativa UNE-EN 12574-2.

## **2.3 Señalamiento de variables**

### **2.3.1 Variable independiente**

Contenedores metálicos fabricados por la empresa ECUAMATRIZ CIA. LTDA. para la recolección de residuos.

### **2.3.2 Variable dependiente**

Ensayos de resistencia mecánica descritos en la normativa Europea UNE-EN 12574-2.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Nivel y tipo de investigación**

##### **3.1.1 Documental bibliográfica**

Esta investigación de tipo documental porque que utilizará fuentes bibliográficas como artículos técnicos, libros, manuales, normas y sitios web, para sentar bases sólidas sobre conceptos relacionados con la resistencia de materiales y simulación por elementos finitos, los cuales representan el tema central de esta investigación.

##### **3.1.2 Experimental**

Es de tipo experimental ya que se debe validar la simulación de elementos finitos, mediante la recolección de propiedades mecánicas de los materiales utilizados en los contenedores metálicos, para así, dar fiabilidad de que los parámetros calculados pertenezcan al contenedor real de análisis.

##### **3.1.3 Descriptivo**

Es de tipo descriptivo ya que se busca definir las características físicas más relevantes de los componentes que conforman el contenedor metálico antes y después de la realización de los ensayos según la norma UNE EN-12574-2.

#### **3.2 Población y muestra**

##### **Población**

Se ha designado como población los contenedores metálicos de carga lateral de 2400 litros, construidos en la empresa Ecuamatrix Cía. Ltda.

##### **Muestra**

La muestra para realizar el proyecto de investigación es un contenedor de carga lateral de 2400 litros el cual será evaluado mediante los ensayos descritos en la norma UNE EN12574-2, conjuntamente con los materiales utilizados para su construcción los cuales serán evaluados mediante ensayos de resistencia de materiales.

### 3.3 Operacionalización de variables.

#### Variable independiente

Contenedores metálicos producidos por la empresa ECUAMATRIZ CIA LTDA. para la recolección de residuos.

**Tabla 3.1** Operacionalización de variable independiente

Conceptualización	Categorías	Indicadores	ÍTEMS	Técnicas e Instrumentos
Define las distancias que permite la adecuada funcionalidad del contenedor de 2400 L.	Dimensiones normalizadas.	Valor dictado por UNE-EN 12574-1	Rangos de tolerancia para diversas dimensiones	(T) Observación (I) Calibrador (I) Flexómetro (I) Hoja de Control
Establece la aproximación de los resultados proporcionados por el software respecto a un estado real.	Calidad de Malla	Relación Aspecto	De 1 a 5	(T) MEF (I) Simulaciones por computadora
Los ensayos descritos en la Norma UNE-EN 12574-2 sirven para determinar la resistencia ante diferentes estados de carga de los contenedores de residuos.	-Caída de Bola	Resiste	Resistencia de componentes al impacto.	(T) MEF (I) Simulaciones por computadora
		No resiste	Resistencia de componentes al impacto.	(T) MEF (I) Simulaciones por computadora
	-Impacto de Contenedor	Resiste	Resistencia de componentes al impacto.	(T) MEF (I) Simulaciones por computadora
		No resiste	Resistencia de componentes al impacto.	(T) MEF (I) Simulaciones por computadora

**Tabla 3.1** Operacionalización de variable independiente. Continuación.

Los ensayos descritos en la Norma UNE-EN 12574-2 sirven para determinar la resistencia ante diferentes estados de carga de los contenedores de residuos.	Ensayo de Elevación Contenedor Vacío	Resiste	$\geq 5$ Ciclos de elevación	(T) MEF (I) Simulaciones por computadora
		No resiste	$\leq 5$ ciclos	(T) MEF (I) Simulaciones por computadora
	Ensayo de Elevación Contenedor Cargado.	Resiste	$\geq 100$ Ciclos de elevación	(T) MEF (I) Simulaciones por computadora
		No resiste	$\leq 100$ ciclos	(T) MEF (I) Simulaciones por computadora

Fuente: (Autor)

### Variable dependiente

Ensayos de resistencia mecánica descritos en la normativa europea UNE-EN 12574-2.

**Tabla 3.2** Operacionalización de variable dependiente

Conceptualización	Categorías	Indicadores	ÍTEMS	Técnicas e Instrumentos
Determina las características de funcionamiento óptimo del contenedor desde el punto de vista mecánico.	Resistencia de los materiales utilizados en la construcción de contenedores.	Límite de Fluencia	250-450 MPa	(T) Observación (I) Deformímetro
		Resistencia a la Tracción	350-600 MPa	(T) Observación (I) Máquina de tracción
		Porcentaje de Elongación	$\leq 50\%$	(T) Observación (I) Deformímetro
Los ensayos descritos en la Norma UNE-EN 12574-2 sirven para determinar la resistencia ante diferentes estados de carga de los contenedores de residuos.	-Caída de Bola	Resiste	Resistencia de componentes, Soldaduras y conexiones, al impacto.	(T) Observación (I) Palpador Magnético

**Tabla 3.2** Operacionalización de variable independiente. Continuación

Los ensayos descritos en la Norma UNE-EN 12574-2 sirven para determinar la resistencia ante diferentes estados de carga de los contenedores de residuos.	-Caída de Bola	No resiste	Componentes, Soldaduras y conexiones deformadas por impacto.	(T) Observación (I) Palpador Magnético
	-Impacto de Contenedor	Resiste	Resistencia de componentes, Soldaduras y conexiones, al impacto	(T) Observación (I) Flexómetro. (I) Calibrador.
		No resiste	Componentes, Soldaduras y conexiones deformadas por impacto	(T) Observación (I) Flexómetro. (I) Calibrador.
	Ensayo de Elevación Contenedor Vacío	Resiste	$\geq 5$ Ciclos de elevación	(T) Observación (I) Flexómetro. (I) Calibrador.
		No resiste	$\leq 5$ ciclos	(T) Observación (I) Flexómetro. (I) Calibrador.
	Ensayo de Elevación Contenedor Cargado.	Resiste	$\geq 100$ Ciclos de elevación	(T) Observación (I) Flexómetro. (I) Calibrador.
		No resiste	$\leq 100$ ciclos	(T) Observación (I) Flexómetro. (I) Calibrador.

Fuente: (Autor)

### 3.4 Plan de recolección de la información

Este trabajo experimental se fundamenta en los conceptos teóricos relacionados a la resistencia de materiales y elemento finito, los cuales serán obtenidos de varias fuentes

bibliográficas, haciendo posible sentar las bases investigativas. Posteriormente, se realizará la verificación de la hipótesis planteada, mediante los datos arrojados por los ensayos físicos que describe la norma UNE-EN 12574-2.

La primera etapa de la recolección de datos es la realización de los ensayos de tracción del acero galvanizado A653 dado que el contenedor en su mayoría está fabricado con dicho material, el ensayo se realizará en el centro de fomento carrocerero metalmecánico de Tungurahua, determinando así las propiedades mecánicas y obteniendo resultados que permitirán el desarrollo del estudio de simulación.

La segunda etapa se fundamenta en la normativa española UNE EN 12574-2 donde está establecido el orden de realización de los ensayos, la validación de los resultados se hará según el alcance económico de la empresa, no obstante, las simulaciones para cada ensayo de resistencia mecánica, se realizarán para predecir el comportamiento de aquellas pruebas que requieran una gran inversión, evitando fallas estructurales debido a la ejecución de los ensayos.

Cada uno de los ensayos presenta condiciones específicas de velocidad y fuerza para su ejecución, los cuales se traducen en condiciones de frontera para el análisis de simulación. Los datos recogidos de los ensayos físicos, serán cuantificados con equipos de medición dotados por la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica y la empresa Ecuamatrix. Se respetará los parámetros que especifica la normativa española al momento de realizar los ensayos, lo cuales serán ejecutados dentro de las instalaciones de la empresa Ecuamatrix Cía. Ltda.

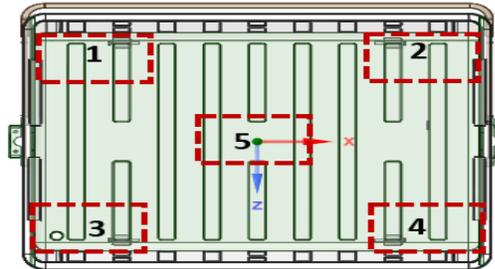
### **3.4.1 Parámetros establecidos por la normativa UNE EN 12574-2**

#### **3.4.1.1 Ensayo de impacto de bola**

Antes de recolectar los datos de las deformaciones, tanto para los estudios de simulación como los ensayos reales se describirá aquí los parámetros que deberán tomarse en cuenta para la realización de los ensayos:

La delimitación de las áreas de impacto del dispositivo de bola en el contenedor, ha de realizarse con trazos correspondientes a la figura 3.1, respetando un orden específico tanto

en los ensayo reales y simulados, definiendo así las regiones donde ha de realizarse los distintos impactos, según lo especifica la normativa y la tabla 3.3 deben realizarse mínimo tres áreas con 3 puntos de impacto por cada una para la base del contenedor.



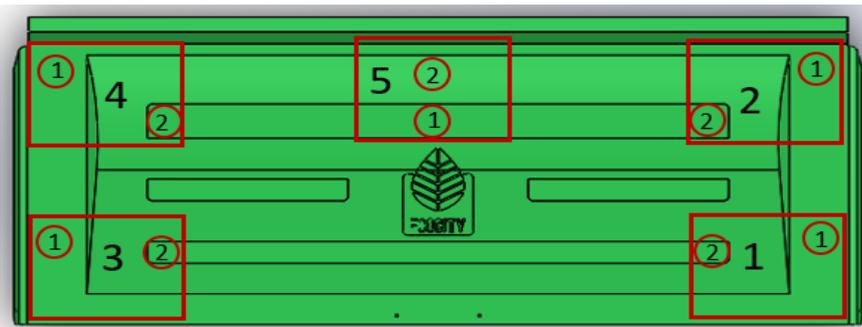
**Figura 3.1** Zonas de impacto para ensayo de caída de bola en la base. Fuente: (Autor)

**Tabla 3.3** Condiciones de impacto en la base del contenedor.

Base de contenedor				
Sección	Componente de Contenedor	Área de Prueba	Altura de Caída	Frecuencia de Impacto
1	Tina	300x 300 mm	1.5 m	3
2	Tina	300x 300 mm	1.5 m	3
3	Tina	300x 300 mm	1.5 m	3
4	Tina	300x 300 mm	1.5 m	3
5	Tina	300x 300 mm	1.5 m	3

(Fuente: Autor)

Para las tapas al igual que en la base, han de realizarse los impactos cerca de las uniones al cuerpo del contenedor a una distancia menor que la contemplada para base, determinado la deformación producida dentro de las áreas y puntos especificados en la normativa, según lo indicado en la figura 3.2 y en la tabla 3.4.



**Figura 3.2** Zonas de impacto superior para ensayo de caída de bola. (Fuente: Autor)

**Tabla 3.4** Condiciones de impacto en superficie del contenedor.

Base de Contenedor				
Sección	Componente de Contenedor	Área de Prueba	Altura de Caída	Frecuencia de Impacto
5	Unión de Tapa	300x 300 mm	0.8 m	2
6	Tapa Apertura	300x 300 mm	0.8 m	2
7	Tapa Posterior	300x 300 mm	0.8 m	2

(Fuente: Autor)

### 3.4.1.1.1 Cálculo para la obtención de dispositivo de impacto.

El primer ensayo de la norma UNE-EN 12574-2 especifica la realización del ensayo de impacto de caída de bola mediante un cilindro con diámetro de 65 mm de punta semiesférica, con un radio de 32.5 mm, la cual debe tener un peso de 5 kg, para esto se ha realizado la estimación de la densidad del acero de transmisión AISI 1018 con lo cual se puede predecir la longitud a maquinarse para obtener el peso requerido según la normativa.

Según los datos bibliográficos la densidad del acero AISI 1018 es aproximadamente 7861.09 kg/m<sup>3</sup>, para una primera estimación de longitud de eje se usan los datos anteriores. En la tabla 3.5 se pueden ver el cálculo para la longitud final del impactador.

**Tabla 3.5** Determinación de longitud de maquinado para dispositivo de impacto.

Masa= 5 kg; Diámetro= 65 mm; $\rho_{ac}$ = 7861.09 kg/m <sup>3</sup>	
<p><b>1) Determinación de volumen total VT(L)</b></p> $V_{semiesf} = \frac{2}{3}\pi r^3$ $V_{cilindro} = \frac{\pi d^2 L}{4}$ $VT = V_{semiesf} + V_{cilindro}$ $VT = \frac{2}{3}\pi r^3 + \frac{\pi d^2 L}{4}$ <p>A) <math>VT = \frac{2}{3}\pi(32.5\text{ mm})^3 + \frac{\pi(65\text{ mm})^2 L}{4}</math></p> <p>B) <math>VT = \frac{m}{\rho_{ac}}</math></p>	<p><b>2) Determinación de longitud de cilindro.</b></p> <p>Igualando las Ecuaciones A) y B) de VT y despejando L</p> $\frac{2}{3}\pi(0.0325\text{ m})^3 + \frac{\pi(0.065\text{ m})^2 L}{4} = \frac{5\text{ kg}}{7861.09\text{ kg/m}^3}$ $L = \frac{\frac{5\text{ kg}}{7861.09\text{ kg/m}^3} - \frac{2}{3}\pi(0.0325\text{ m})^3}{\frac{\pi(0.065\text{ m})^2}{4}}$ $L = 170.011\text{ mm}$

**Tabla 3.5.** Determinación de la longitud del maquinado. Continuación.

**3) Determinación de longitud total de maquinado.**

$$LT = L + r$$

$$LT = 170.011 \text{ mm} + 32.5 \text{ mm}$$

$$LT = 202.511 \text{ mm}$$

(Fuente: Autor)

Una vez determinada la longitud que dará la masa de 5 kg indicado por la normativa se procede al maquinado del eje de acero de transmisión de  $2 \frac{3}{4}$  in de diámetro, hasta llegar a su diámetro de 65 mm y punta esferoidal de 32.5 mm de radio, según lo muestra la figura 3.3.



**Figura 3.3** Maquinado del eje de acero 1018. (Fuente: Autor)

Una vez obtenida la geometría del cilindro con punta esférica se procede a verificar que la masa tenga el valor establecido en la normativa, en este caso, se obtuvo una variación con un valor 11 gramos por encima de la medida nominal, tomándose como aceptable y no significativo en relación a la masa total. En la figura 3.4 se puede ver la masa de impactador después del maquinado.



**Figura 3.4** Masa Final de Dispositivo de Impacto. (Fuente: Autor)

#### **3.4.1.1.2 Cálculo de conservación de la energía**

La energía potencial y cinética del dispositivo de impacto son calculada en la tabla 3.6 y 3.7, las cuales varían según su posición debido a la conservación presente entre los dos tipos de energía, es decir, la energía potencial en el punto más alto es máxima y la energía cinética es cero, por otro lado, en el punto final del impacto la energía cinética es máxima y la potencial tiene a ser cero:

$$E_p = m * g * h \quad (3.1)$$

$$E_c = \frac{1}{2} m * v^2 \quad (3.2)$$

$$v^2 = \sqrt{2 * g * h_1} \quad (3.3)$$

Donde:

m: Masa de dispositivo de impacto

h: Altura referencial

v: Velocidad de Dispositivo

**Tabla 3.6** Determinación de velocidades de impacto del dispositivo de bola.

<b>Cálculo de Velocidad de Impacto</b>	
<b>CASO 1—DISTANCIA DE 1.5 m (BASE TINA)</b>	<b>CASO 2-DISTANCIA DE 0.8 m (TAPAS BOVEDA)</b>
$Ep1 + Ec1 = Ep2 + Ec2$ $Ec2 = Ep1 + Ec1 - Ep2$ $Ec2 = Ep1 + 0 - 0$ $Ec2 = Ep1$ $\frac{1}{2}m * v2^2 = m * g * h1$ $v2 = \sqrt{2 * g * h1}$ $v2 = \sqrt{2 * 9.81 \frac{m}{s^2} * 1.5 m}$ $v2 = 5.4249 * \frac{m}{s}$	$Ep1 + Ec1 = Ep2 + Ec2$ $Ec2 = Ep1 + Ec1 - Ep2$ $Ec2 = Ep1 + 0 - 0$ $Ec2 = Ep1$ $\frac{1}{2}m * v2^2 = m * g * h1$ $v2 = \sqrt{2 * g * h1}$ $v2 = \sqrt{2 * 9.81 \frac{m}{s^2} * 0.8 m}$ $v2 = 3.9618 * \frac{m}{s}$

(Fuente: Autor)

**Tabla 3.7** Determinación de la energía absorbida por el contenedor en el impacto.

<b>Cálculos de conservación de energía</b>	
<b>Caso 1</b>	<b>Caso 2</b>
<b>Punto Inicial</b>	<b>Punto Inicial</b>
<b>Energía Potencial</b> $Ep1 = m * g * h1$ $Ep1 = 73.575 \text{ J}$ <b>Energía Cinética</b> $Ec = \frac{1}{2}m * v^2$ $Ec = 0$	<b>Energía Potencial</b> $Ep1 = m * g * h1$ $Ep1 = 39.24 \text{ J}$ <b>Energía Cinética</b> $Ec = \frac{1}{2}m * v^2$ $Ec = 0$
<b>Punto Final</b>	<b>Punto Final</b>
<b>Energía Potencial</b> $Ep1 = m * g * h1$ $Ep1 = 0 \text{ J}$ <b>Energía Cinética</b> $Ec = \frac{1}{2}m * v^2$ $Ec = 73.575 \text{ J}$	<b>Energía Potencial</b> $Ep1 = m * g * h1$ $Ep1 = 0 \text{ J}$ <b>Energía Cinética</b> $Ec = \frac{1}{2}m * v^2$ $Ec = 39.24 \text{ J}$

(Fuente: Autor)

En la tabla 3.8 se puede observar el resumen de los cálculos realizados para cada caso específico, con lo cual se puede estimar la energía teórica que se produce durante el impacto.

**Tabla 3.8** Resumen de resultados de cálculos de energía potencial y cinética.

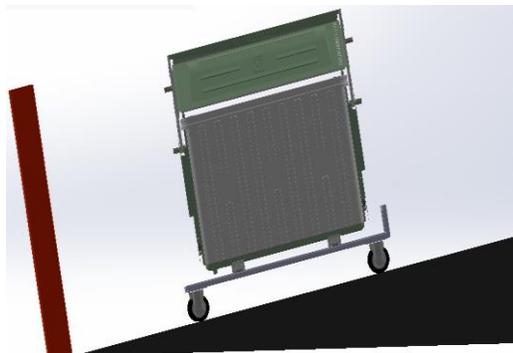
<b>Energía Cinética y Potencial</b>				
	<b>Punto Inicial</b>		<b>Punto Final</b>	
	<b>Energía Potencial</b>	<b>Energía Cinética</b>	<b>Energía Potencial</b>	<b>Energía Cinética</b>
<b>Caso 1</b>	73.575 J	0	0	73.575 J
<b>Caso 2</b>	39.24 J	0	0	39.24 J

(Fuente: Autor)

#### 3.4.1.2 Impacto sobre plano inclinado

Se debe ensayar los contenedores según el orden establecido en las tablas, con velocidades específicas para cada tipo de impacto 1.85 m/s para las caras y 1.3 m/s para las esquinas según lo descrito en la normativa UNE EN 12674-2, a temperatura  $T_1=23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , con lo cual se determinará la sensibilidad a impacto, deformación y funcionalidad después de las pruebas.

El esquema mostrado en la figura 3.5, permite visualizar el posicionamiento del contenedor y el carro en el plano inclinado, para realización del ensayo de impacto.



**Figura 3.5** Ensayo de impacto inclinado. (Fuente: Autor)

- **Determinación de distancia de impacto**

Las condiciones que determinan el impacto del plano inclinado son la velocidad y la rigidez de la superficie de impacto, mediante cálculos cinemáticos y consideraciones de rodadura utilizando conceptos de contacto hertziano, se puede estimar la distancia a la cual se deja rodar libremente el carro con el contenedor, para que la velocidad se la que se estipula en la norma UNE EN 12574-2

- **Cálculo para impacto de caras**

La velocidad de impacto de las caras es de 1.85 m/s y 1.3 m/s para las esquinas, teniendo el valor de las masas tanto del contenedor de 219.75 kg, carga nominal de 960 kg y del rack de 86.5 kg, se puede calcular la distancia a la cual se debe impactar cada una de las caras y esquinas del contenedor. Para la estimación de la resistencia de la superficie al desplazamiento del contenedor sobre el carro de impacto se calculan las normales que soportan las ruedas debido a la carga nominal, cada normal sirve para determinar un área de contacto del cual dependen los coeficientes de rodadura para las dos ruedas en un análisis bidimensional. En base a cálculos cinemáticos realizados en la tabla 3.9, se obtienen la aceleración y la distancia a la cual se deja rodar libremente el contenedor para cumplir las especificaciones de la norma UNE EN 12574-2.

A continuación, se especifican las variables empleadas en el cálculo de las velocidades de impacto lateral y de esquinas:

$$V_f=1.85\text{m/s}; V_o=0; M_c=219.75 \text{ kg}; M_r=86.551 \text{ kg}; M_n=960 \text{ kg}; \varphi = 5^\circ$$

$V_f$ = Velocidad final de impacto

$V_o$ = Velocidad inicial de impacto

$M_c$ = Masa del Contenedor de 2400 L

$M_r$ = Masa del carro soporte

$M_n$ = Masa Nominal según UNE EN 12574-2

$\varphi$  =Ángulo de Inclinación.

**Tabla 3.9** Cálculo cinemático de distancia de impacto a 1.85 m/s.

**Determinación del centro de masas de contenedor cargado.**



$$MT = Mc + Mr + Mn$$

$$W = 12422 \text{ N}$$

$$\sum f_y = 0$$

$$N1 + N2 - W * \cos(\varphi) = 0 \quad (EC1)$$

$$\sum M1 = 0$$

$$W * \cos(\varphi) * 0.62935 \text{ m} - W * \sin(\varphi) * 0.81525 \text{ m} - n2 * 1.617 \text{ m} = 0 \quad (EC2)$$

**SISTEMA DE ECUACIONES EC1 Y EC2**

$$\left\{ \begin{array}{l} N1 + N2 - W * \cos(\varphi) = 0 \\ W * \cos(\varphi) * 0.62935 * \_m - W * \sin(\varphi) * 0.81525 * \_m - N2 * 1.617 * \_m = 0 \end{array} \right.$$

$$N1 = 8104.49 \text{ N}$$

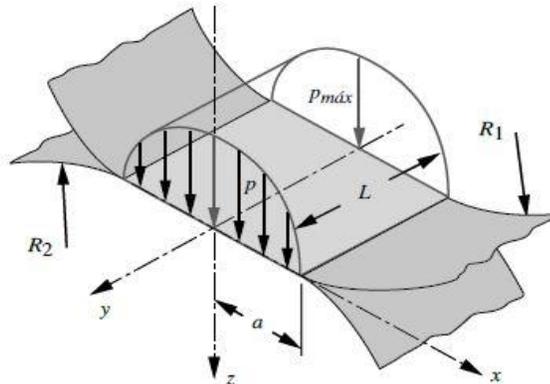
$$N2 = 4270.64 \text{ N}$$

$$\sum f_x = MT * ac$$

$$W \sin(\varphi) - Fr1 - Fr2 = MT * ac$$

$$W \sin(\varphi) - Cr1 * N1 - Cr2 * N2 = MT * ac$$

$$ac = \frac{W \sin(\varphi) - Cr1 * N1 - Cr2 * N2}{MT}$$



**Tabla 3.9** Cálculo cinemático de distancia de impacto a 1.85 m/s. Continuación

<p><b>Datos de rueda de acero</b>  <math>E1 = 200 \text{ Gpa}</math>  <math>v1 = 0.26</math>  <math>R1 = 72.25 \text{ mm}</math>  <math>L = 46.9 \text{ mm}</math></p>	<p><b>Datos de rueda de acero</b>  <math>E1 = 200 \text{ Gpa}</math>  <math>v1 = 0.26</math>  <math>R1 = 72.25 \text{ mm}</math>  <math>L = 46.9 \text{ mm}</math></p>
<p><b>Constantes de Material</b></p> $M1 = \left( \frac{1 - v1}{E1} \right)$ $R1 = 8E - 11 * \left( \frac{1}{Pa} \right)$	
<p><b>Geometría Constante</b></p> $b = \left( \frac{1}{2} \right) * \left( \left( \frac{1}{R1} \right) + \left( \frac{1}{R2} \right) \right)$ $b = 6.92042 * \left( \frac{1}{m} \right)$	
<p><b>COEFICIENTES DE RODADURA PARA DISTINTAS REACCIONES EN APOYOS.</b></p>	
<p><math>F = N1 = 8104.49 \text{ N}</math></p>	<p><math>F = N1 = 8104.49 \text{ N}</math></p>
<p><math>a := \sqrt{\left( \frac{2}{\pi} \right) * \left( \frac{M1 + M2}{b} \right) * \left( \frac{N1}{L} \right)}</math>  <math>a = 0.001153 \text{ m}</math>  <math>Cr1 = \frac{a}{R1}</math>  <math>cr1 = 0.015965</math></p>	<p><math>a := \sqrt{\left( \frac{2}{\pi} \right) * \left( \frac{M1 + M2}{b} \right) * \left( \frac{N1}{L} \right)}</math>  <math>a = 0.001153 \text{ m}</math>  <math>Cr1 = \frac{a}{R1}</math>  <math>cr1 = 0.015965</math></p>
<p><b>Cálculo de la aceleración del sistema:</b></p> $ac = \frac{W * \sin(\varphi) - Cr1 * N1 - Cr2 * N2}{MT}$ $ac = 0.7137 * \left( \frac{m}{s^2} \right)$	
<p><b>Distancia de Impacto para 1.85 m/s:</b></p> $vf^2 = vo^2 + 2 * ac * d$ $d = \frac{vf^2}{2 * ac}$ $d = 2.3976 \text{ m}$	<p><b>Distancia de Impacto para 1.3 m/s:</b></p> $vf^2 = vo^2 + 2 * ac * d$ $d = \frac{vf^2}{2 * ac}$ $d = 1.184 \text{ m}$

(Fuente: Autor)

En la tabla 3.10 se puede observar la señalación que se debe adoptar para los impactos en las caras y esquinas de contenedor.

**Tabla 3.10** Orden específico de impactos de contenedor. [9]

<b>Numeración de impacto</b>	<b>Cara o esquina de ensayo</b>	<b>Número de impactos</b>
1-2	Cara 1	2
3-4	Esquina 1.2	2
5-6	Cara 2	2
7-8	Esquina 2.3	2
9-10	Cara 3	2
11-12	Esquina 3.4	2
13-14	Cara 4	2
15-16	Esquina 4.1	2

### **3.4.1.3 Ensayo de elevación inclinación**

#### **3.4.1.3.1 Elevación/inclinación del contenedor vacío.**

El ensayo consiste en examinar la afectación del contenedor frente a cargas fluctuantes en 5 ciclos sin carga nominal, con lo cual se determinará la fatiga en los componentes involucrados en la elevación del contenedor, las deformaciones excesivas debido a la manipulación del contenedor se pueden estimar mediante el control de las dimensiones descritas en la UNE EN 12574-1.

#### **3.4.1.3.2 Elevación/inclinación del contenedor cargado.**

La carga nominal en este ensayo determina los esfuerzos producidos debido a las cargas fluctuantes en los ejes de elevación e inclinación. En total son 100 ciclos a realizar con lo cual se determinará un factor de seguridad para cada eje, y las deformaciones producidas en el contenedor debido a la aplicación de las fuerzas de elevación.

### 3.4.2 Preparación del modelo de simulación.

En un principio, el modelo de contenedor de carga lateral dotado por la empresa Ecuamatrix fue optimizado mediante la eliminación de ciertos componentes para evitar una excesiva cantidad de elementos y mallas innecesarias, dichos componentes (pernos y remaches ) fueron reemplazados por superficies de contacto. Se omitieron también, las piezas que no aportaban resistencia mecánica al contenedor, frente a las pruebas descritas en la normativa UNE EN 12574-2.

El siguiente paso para la optimización del modelo fue la transformación de los componentes sólidos, a superficies con la eliminación de caras duplicadas mediante operaciones realizadas en la interfaz para edición de geometría Space Claim de Ansys Academico, obteniendo así elementos de tipo lamina (Shell), con lo cual, el gasto computacional se reduce significativamente. En la figura 3.6 se muestra el modelo luego de terminar las operaciones de transformación de la geometría.

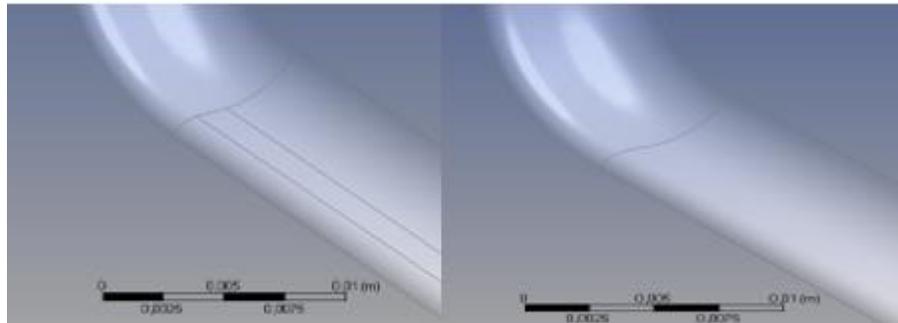


**Figura 3.6** Transformación de modelo. a) Contenedor solido b) Contenedor superficie  
(Fuente: Autor)

Una vez obtenido el contenedor con sus componentes de tipo superficie, se procede a realizar las operaciones de mejora de geometría en la extensión Design Modeler de Ansys, con lo cual se busca reducir errores en el mallado, debido a irregularidades en la geometría de los componentes.

### 3.4.2.1 Operación unión (merge)

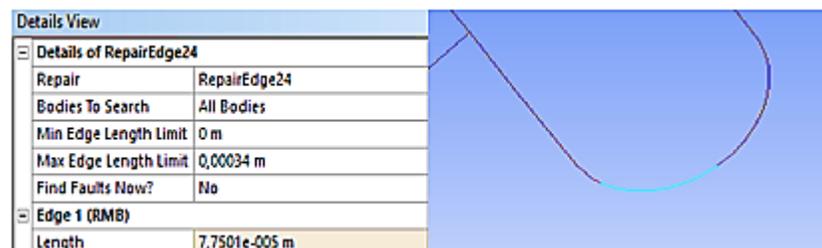
Las caras demasiado pequeñas originan mallas finas innecesarias por lo cual es necesario fusionarlas para tener superficies uniformes, la operación de fusión de caras debe ser aplicado en cada componente que así lo requiera, como se muestra en la figura 3.7, la operación Merge permite la unión tanto de caras como de líneas, las cuales pueden originar defectos en el modelo.



**Figura 3.7** Fusión de caras mediante la operación merge.(Fuente: Autor)

### 3.4.2.2 Operación de bordes (EDGES)

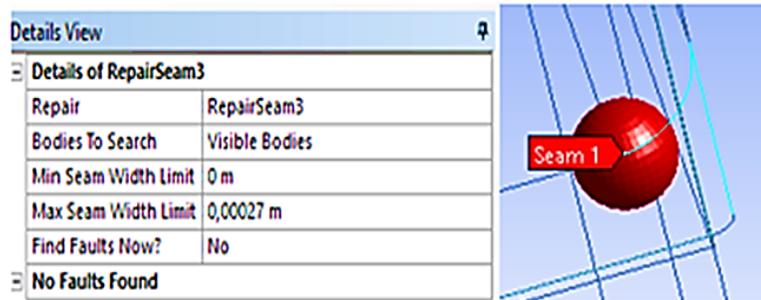
En la figura 3.8 se observan los bordes formados por líneas cortas los cuales generan defectos en el mallado, por lo cual deben ser reparadas para cada arista en el modelo, la operación permite la selección automática en todo componente donde es importante definir el método de reparación por lo cual se ha de utilizar en la mayoría de los casos la operación de fusión de líneas para eliminar los bordes demasiado cortos según los parámetros de control presentados en el gráfico.



**Figura 3.8** Unión de bordes presente en lateral triangular. (Fuente: Autor)

### 3.4.2.3 Operación de costura (SEAM)

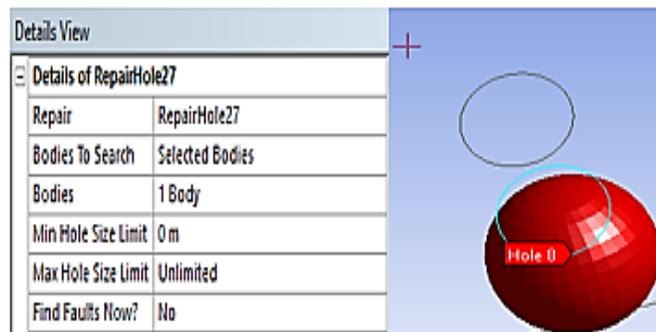
En algunas ocasiones entre las superficies del modelo, se pueden encontrar pequeñas aperturas o espacios entre superficies que llegan a ser un problema al momento de generar la malla generando discontinuidades por lo cual es necesario reducirlos en toda la geometría. Como se puede observar en la figura 3.9 para la tapa 2, se eliminaron aperturas entre las superficies de dicho componente.



**Figura 3.9** Detección y reparación de espacios entre superficies. (Fuente: Autor)

### 3.4.2.4 Operación de agujeros (holes)

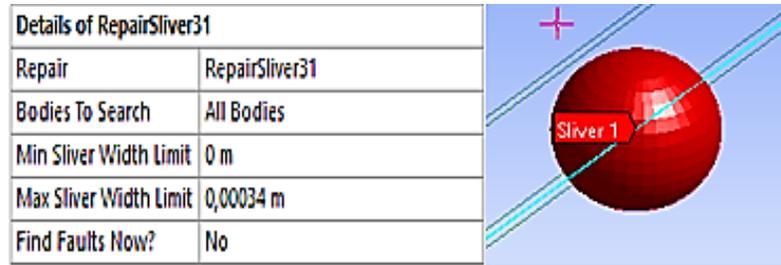
Las discontinuidades en las superficies no permiten uniformidad en el mallado, los agujeros presentes en el modelo deben ser eliminados para conservar dicha uniformidad, el tratamiento para la remoción de los agujeros en los cuales encajaban los remaches se eliminaron en cada componente individual tal y como se muestra en la figura 3.10 para la tina del contenedor.



**Figura 3.10** Eliminación de agujeros de remaches y pernos. (Fuente: Autor)

### 3.4.2.5 Operación de sliver

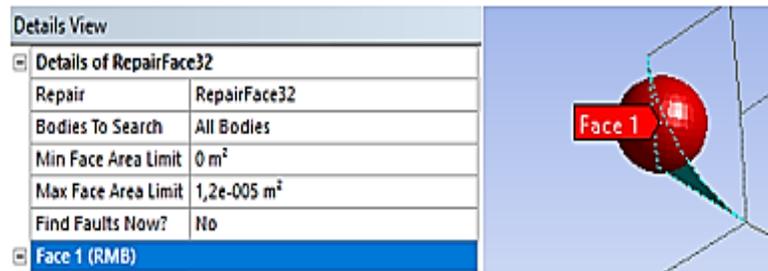
La operación sliver permite detectar caras demasiado estrechas definiendo un límite para su ancho para evitar elementos demasiado angostos que generen mallas muy delgadas en el modelo. En la figura 3.11 se puede observar la aplicación de la operación sliver en una superficie muy estrecha de la tapa de la bóveda del contenedor.



**Figura 3.11** Detección de caras estrechas en los componentes. (Fuente: Autor)

### 3.4.2.6 Operación de caras (Face)

Permite detectar caras demasiado pequeñas en relación un área límite con lo cual se detecta elemento fuera del rango aceptable de tamaños, las operaciones realizadas en este tipo de elementos es la fusión con otras caras adyacentes En la Figura 3.12 se puede observar la aplicación de la operación Face en una superficie muy pequeña de la Tapa 3.



**Figura 3.12** Compensación de caras pequeñas (Fuente: Autor)

### 3.4.3 Conexiones

Las conexiones en un modelo de simulación explícita puede generar varios problemas sino se logra aproximar el comportamiento real de las uniones entre componentes, es necesario en ciertos casos fusionar elementos e incluso suprimirlos de la geometría para reemplazarlos por superficies de unión, pudiendo así asimilarse a la función que cumplen

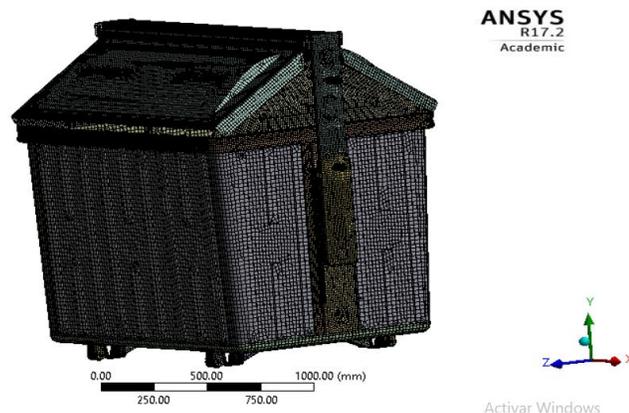
los pernos, remaches y soldaduras. Estas superficies permitirán la conexión de los componentes sin utilizar excesivas relaciones de contacto de las cuales, no está exento el modelo y que debido a su buen comportamiento se han conservado dentro de la simulación. Como se ve en la figura 3.13 la topología compartida de los elementos está señalado mediante líneas de color rojo, las cuales dan evidencia de las uniones presentes entre los componentes.



**Figura 3.13** Topología compartida para componentes. (Fuente: Autor)

#### 3.4.4 Mallado

Una vez optimizada la geometría se procede a realizar el mallado como se observa en la figura 3.14, teniendo en consideración los parámetros de calidad como son la ortogonalidad, relación de aspecto, skewness y hourglass teniendo un control para cada componente y con los valores óptimos para el análisis.



**Figura 3.14** Mallado de contenedor 2400 L. (Fuente: Autor)

### 3.4.4.1 Parámetros de calidad de malla.

Para los diversos estudios de simulación se controló los parámetros de calidad de malla dependiendo de la exactitud requerida para cada caso, a continuación, se muestran los valores conseguidos para la ejecución de las simulaciones luego de optimizar el mallado.

- **Ratio de aspecto**

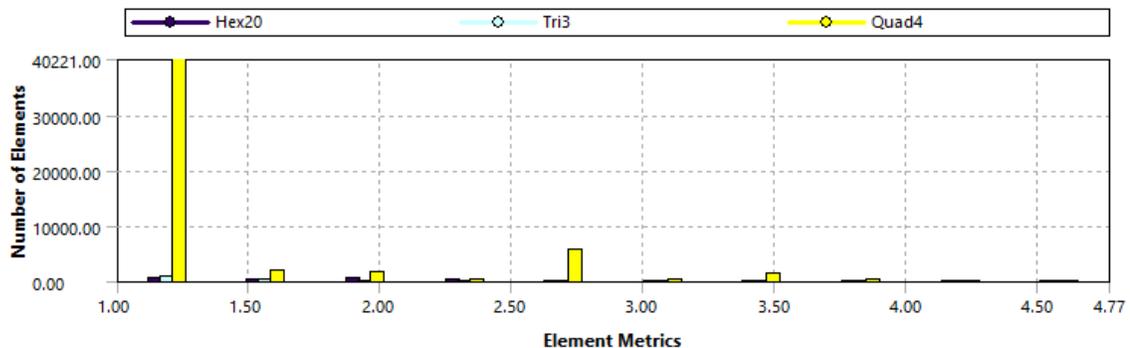
El valor de ratio de aspecto promedio para los elementos que componen el contenedor está en un valor muy aceptable, la obtención de estos valores se los ha logrado con la aplicación de métodos de mallado para cada elemento sólido y Shell, obteniendo un valor máximo de 4.773.

**Tabla 3.11** Aspect ratio de contenedor.

Mesh Metric	Aspect Ratio
Min	1.
Max	4.773
Average	1.4456
Standard Deviation	0.66443

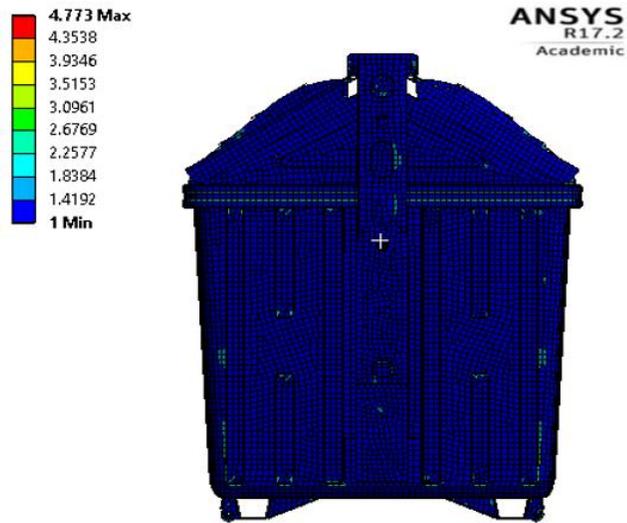
(Fuente: Autor)

Como se puede visualizar en la figura 3.15, el modelo presenta en mayor número elementos cuadriláteros que permiten tener una mejor calidad en los resultados.



**Figura 3.15** Estadísticas de relación de aspecto 2400 L. (Fuente: Autor)

La figura 3.16 presenta la ortogonalidad de malla para el contenedor de 2400 L el cual se encuentra dentro de los parámetros aceptables.



**Figura 3.16** Representación de ratio de aspecto del contenedor. (Fuente: Autor)

- **Calidad ortogonal.**

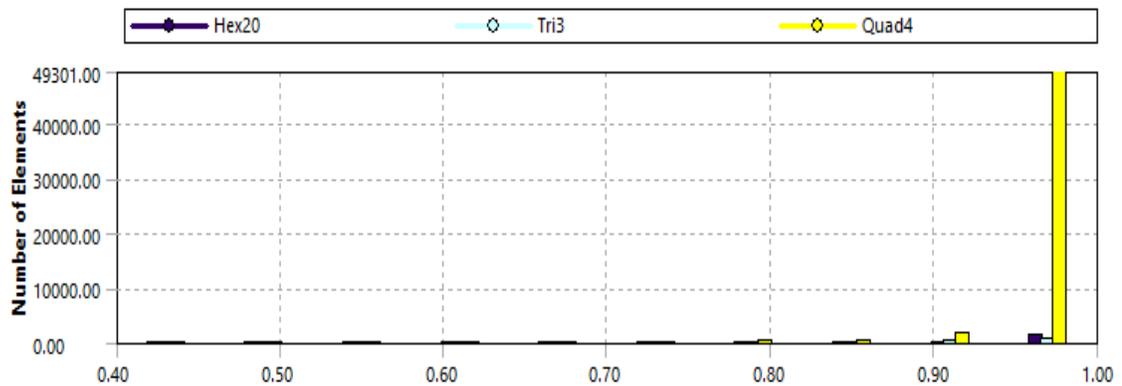
Así mismo, la calidad ortogonal para los elementos de la malla se encuentra dentro del rango aceptable respecto a las escalas determinadas en el capítulo dos en la cual se pueden observar en la tabla 3.12 y la figura 3.18, la aceptación con un valor mínimo de 0.4.

**Tabla 3.12** Calidad ortogonal de la malla de contenedor.

Mesh Metric	Orthogonal Quality
<input type="checkbox"/> Min	0.40022
<input type="checkbox"/> Max	1.
<input type="checkbox"/> Average	0.9872
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	3.6021e-002

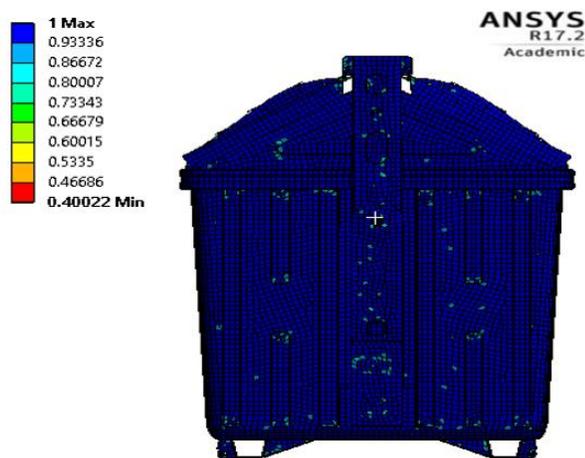
(Fuente: Autor)

Como se puede visualizar en la figura 3.17 el modelo presenta en mayor número elementos cuadriláteros que permiten tener una mejor calidad en los resultados.



**Figura 3.17** Estadísticas ortogonal de mallado. (Fuente: Autor)

La figura 3.18 presenta la ortogonalidad de malla para el contenedor de 2400 L el cual se encuentra dentro de los parámetros aceptables.



**Figura 3.18** Representación de la ortogonalidad del contenedor. (Fuente: Autor)

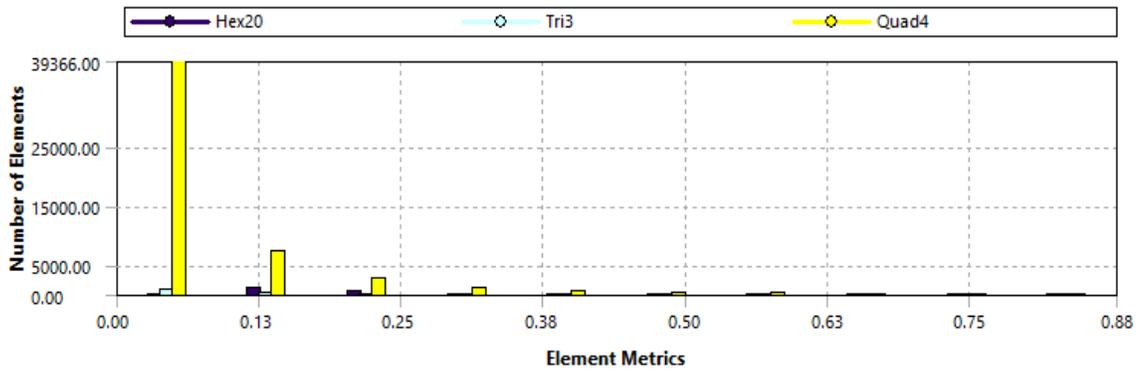
- **Skewness**

El valor de skewness es de 0.87 el cual se encuentra dentro del rango aceptable como se muestra en la tabla 3.13 y en la figura 3.19 con lo cual se puede seguir con los estudios de simulación.

**Tabla 3.13** Calidad de skewness de la malla del contenedor

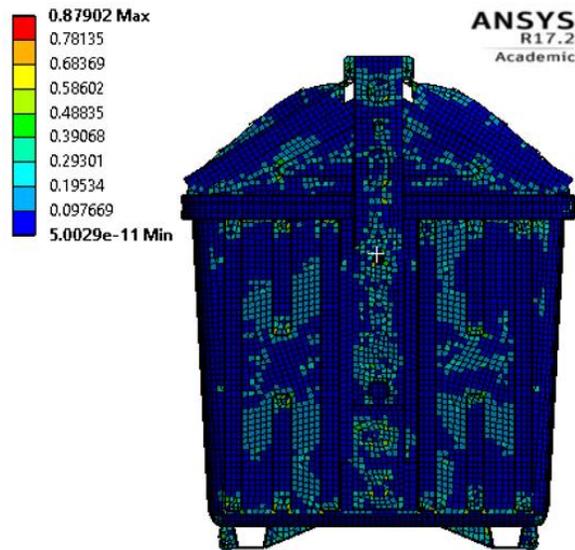
Mesh Metric	Skewness
Min	5.0029e-011
Max	0.87902
Average	6.4502e-002
Standard Deviation	9.701e-002

(Fuente: Autor)



**Figura 3.19** Estadística de skewness en la malla de contenedor.

Así mismo, en la figura 3.20 se puede visualizar los valores para skewness en todo el contenedor y las áreas donde tiene valores máximos de color rojo.



**Figura 3.20** Representación de skewness en contenedor. (Fuente: Autor)

### 3.4.5 Modelo de material

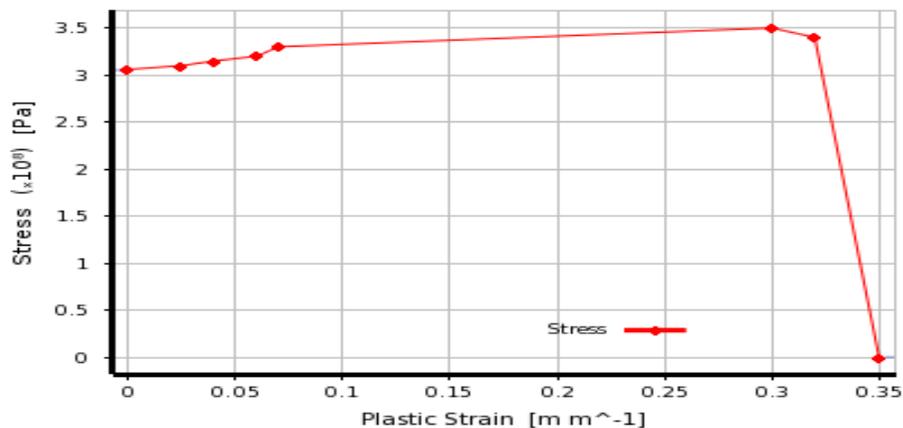
Los materiales utilizados para la fabricación del contenedor de carga lateral de 2400 L son el acero galvanizado ASTM A653 que forma la tina y tapas de la bóveda del contenedor, del cual se obtuvieron las propiedades mecánicas mediante el ensayo a tracción según normativa E8, por otro las tapas laterales, bases y refuerzos de las bases están constituidos por acero ASTM A 569 laminado en caliente, de cual se poseía las propiedades mecánicas del proveedor en la misma empresa.

#### 3.4.5.1 Acero ASTM A653

Material galvanizado utilizado en la base de la tina y las paredes dado que evita la corrosión del componente con mayor superficie los cuales están sometidos a un ambiente dañino debido al acopio de residuos de todo tipo.

##### 3.4.5.1.1 Caracterización a temperatura ambiente

La caracterización del acero A653 fue aproximada mediante un modelo de material piecewise linear, este es el modelo recomendado para el acero estructural dado que su comportamiento depende de la curva esfuerzo-deformación. Este modelo permite ingresar de manera tabular puntos característicos de la curva tomando como referencia el la resistencia a la fluencia y viéndose afectado por constantes preestablecidas para el acero. En la figura 3.21 se evidencian los resultados del ensayo de esfuerzo deformación realizada y en la tabla 3.14 se muestra las propiedades empleadas en la simulación.



**Figura 3.21** Curva esfuerzo-deformación plástica para el acero A653. (Fuente: Autor)

**Tabla 3.14** Propiedades mecánicas del acero A 653 a temperatura ambiente.

Properties of Outline Row 3: A 653 (T amb)				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	 
2	 Material Field Variables	 Table		
3	 Density	7850	kg m <sup>-3</sup>	 
4	 Isotropic Elasticity			
5	Derive from	Young's Modulu...		
6	Young's Modulus	2E+11	Pa	 
7	Poisson's Ratio	0.3		
8	Bulk Modulus	1.6667E+11	Pa	
9	Shear Modulus	7.6923E+10	Pa	
10	 Plastic Strain Failure			
11	Maximum Equivalent Plastic Strain EPS	0.3		
12	 Cowper Symonds Piecewise Linear Hardening			
13	 Piecewise Linear Hardening			
14	Strain Rate Correction	Scale Yield Stress		
15	Initial Yield Stress A	3.06E+08	Pa	 
16	Strain Rate Constant C	40		
17	Strain Rate Constant P	5		
18	 Effective Stress	 Tabular		
19	Scale	1		
20	Offset	0	Pa	

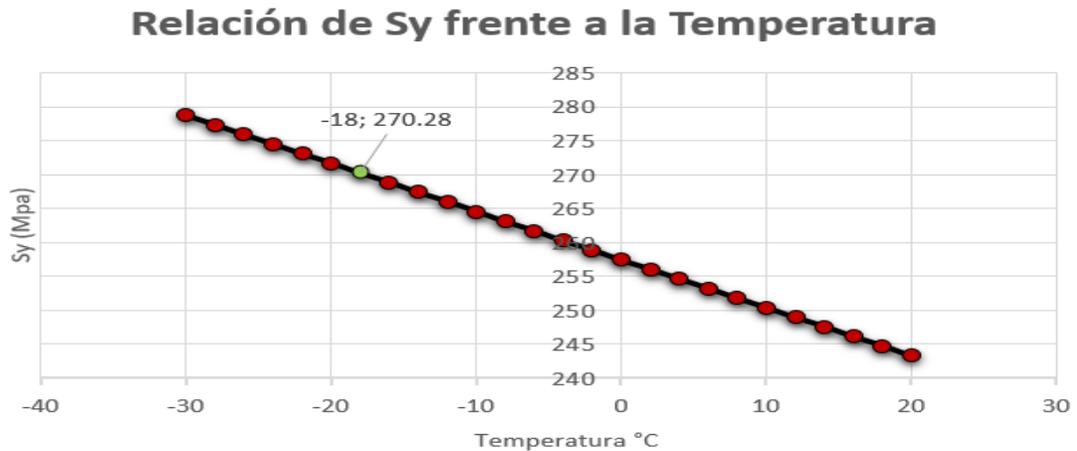
(Fuente: Autor)

#### 3.4.5.1.2 Caracterización según UNE EN 12574-2 (T= -18°C)

La variación de las propiedades mecánicas que afectan a los resultados de la simulación para el acero A653 a una temperatura de -18 °C se han definido según algunas investigaciones las cuales determinan como varían: la resistencia a la fluencia, la resistencia a la tracción y el módulo elástico, a continuación, se presenta en detalle cómo se determinó las propiedades para la creación del modelo de material.

$$Sy(T) = \left( \frac{Sy_{(-30)} - Sy_{(20)}}{T_{(-30)} - T_{(20)}} \right) * (T - T_{(20)}) + Sy_{(20)} \quad (3.1)$$

Mediante un ajuste lineal se obtiene el  $Sy$  a la temperatura de  $-18^{\circ}\text{C}$ , para los datos obtenidos de los ensayos en [32], con lo cual se puede calcular el porcentaje de incremento para dicho estudio. En la figura 3.22 se puede observar el comportamiento de la función lineal para la resistencia a la fluencia.



**Figura 3.22** Variación de la resistencia a la fluencia respecto a la temperatura.

(Fuente: Autor)

$$\%Aumento\ Sy = \frac{Sy_{(-18)} - Sy_{(20)}}{Sy_{(20)}} * 100 \quad (3.2)$$

$$\%Aumento\ Sy = \frac{270.28 - 243.3}{243.3} * 100$$

$$\%Aumento\ Sy = 11.09 \%$$

Dicho porcentaje nos permite tener una estimación del incremento del  $Sy$  en el acero A653 por lo cual se calcula su incremento:

$$Sy\ A653(-18) = (SyA653 * 1.1109) \quad (3.3)$$

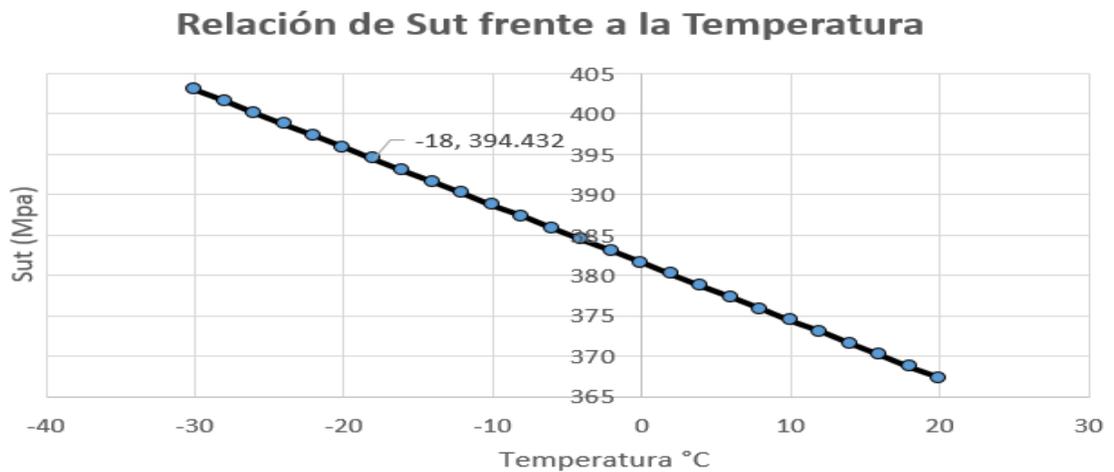
$$Sy\ A653(-18) = (306.3 * 1.1109)$$

$$Sy\ A653(-18) = 340.269\ Mpa$$

Las propiedades mecánicas para el acero A653 a -18 °C se definen según una relación en el incremento de la resistencia a la fluencia y la resistencia a la tracción

$$Sut(T) = \left( \frac{Sut_{(-30)} - Sut_{(20)}}{T_{(-30)} - T_{(20)}} \right) * (T - T_{(20)}) + Sut_{(20)} \quad (3.4)$$

Mediante un ajuste lineal se obtiene el Sut a la temperatura de -18°C con lo cual se puede calcular el porcentaje de incremento. En la figura 3.23 se puede observar el comportamiento de la función lineal para la resistencia última.



**Figura 3.23** Variación de la resistencia última respecto a la temperatura. (Fuente: Autor)

$$\%Aumento\ Sut = \frac{Sut_{(-18)} - Sut_{(20)}}{Sut_{(20)}} * 100 \quad (3.5)$$

$$\%Aumento\ Sut = \frac{394.432 - 367.3}{367.3} * 100$$

$$\%Aumento\ Sut = 7.38 \%$$

Dicho porcentaje nos permite tener una estimación del incremento del Sut en el acero A653 por lo cual se calcula su incremento:

$$Sut\ A653(-18) = (SutA653 * 1.0738) \quad (3.6)$$

$$Sut\ A653(-18) = (350.6 * 1.0738)$$

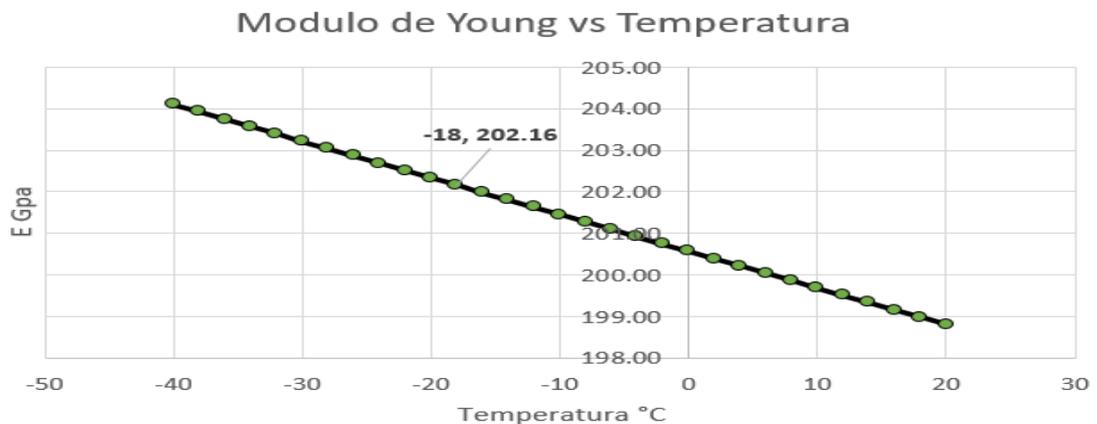
$$Sut\ A653(-18) = 376.474\ Mpa$$

El módulo elástico también se ve afectado por la baja temperatura como lo demuestra el estudio de Jian Xi , en el cual realizo ensayos de tracción en acero de alta resistencia para tres diferentes tipos de probetas enumeradas de 1 al 3 como se muestra en la tabla 2.6 con sus correspondientes temperaturas de ensayo con valores de 20,-40-70-100-140 y -160 °C.

Se presenta además la variación que tiene el módulo de elasticidad respecto a la temperatura, en el rango de temperatura dentro de la temperatura de 20 a -40, el modulo elástico no presenta variación significativa.

$$E(T) = \left( \frac{E_{(-40)} - E_{(20)}}{T_{(-40)} - T_{(20)}} \right) * (T - T_{(20)}) + E_{(20)} \quad (3.7)$$

Mediante un ajuste lineal se obtiene a la temperatura de -18°C con lo cual se puede calcular el porcentaje de incremento. En la figura 3.24 se puede observar el comportamiento de la función lineal para el modulo elástico.



**Figura 3.24** Variación del módulo elástico respecto a la temperatura. (Fuente: Autor)

$$\%Aumento E = \frac{E_{(-40)} - E_{(20)}}{E_{(20)}} * 100 \quad (3.8)$$

$$\%Aumento E = \frac{202.16 - 198.8}{198.8} * 100$$

$$\%Aumento E = 1.61 \%$$

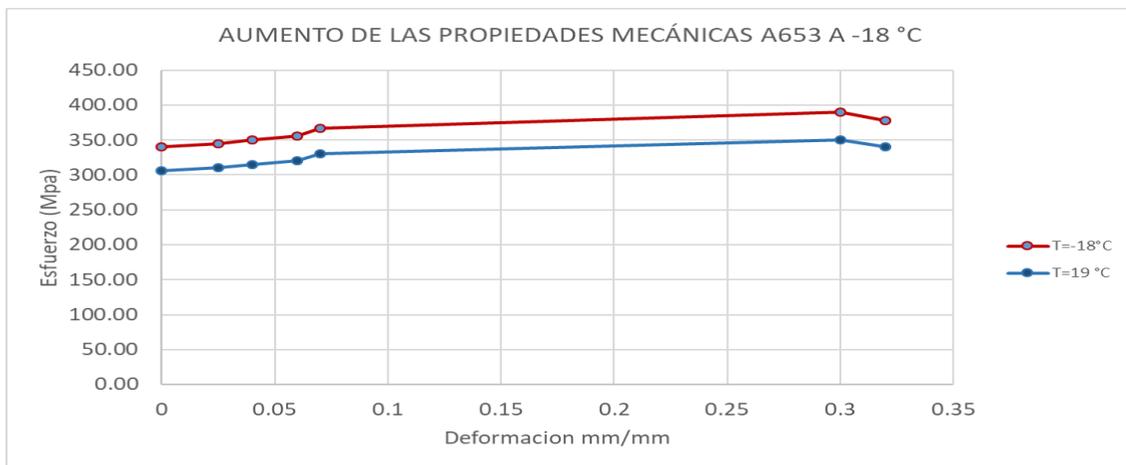
Dicho porcentaje nos permite tener una estimación del incremento del módulo elástico en el acero A653 por lo cual se calcula su incremento:

$$EA653(-18) = (EA653 * 1.0161) \quad (3.9)$$

$$E A653(-18) = (200 * 1.0161)$$

$$E A653(-18) = 203.22 \text{ Gpa}$$

En la figura 3.25, se presenta la curva de esfuerzo deformación utilizado para las simulaciones con lo cual se corroborarán los impactos reales realizados.



**Figura 3.25** Curva esfuerzo deformación plástica a diferentes temperaturas.

(Fuente: Autor)

En la tabla 3.15 se puede observar las propiedades mecánicas utilizadas para el acero A653 a una temperatura de -18°C.

**Tabla 3.15** Modelo de material del A653 a -18 °C piecewise linear.

Properties of Outline Row 3: A 653 (-18 C)				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	 
2	 Material Field Variables	 Table		
3	 Density	7850	kg m <sup>-3</sup>	 
4	 Isotropic Elasticity			
5	Derive from	Young's Modulu...		
6	Young's Modulus	2E+11	Pa	 
7	Poisson's Ratio	0.3		
8	Bulk Modulus	1.6667E+11	Pa	
9	Shear Modulus	7.6923E+10	Pa	
10	 Plastic Strain Failure			
11	Maximum Equivalent Plastic Strain EPS	0.3		
12	 Cowper Symonds Piecewise Linear Hardening			
13	 Piecewise Linear Hardening			
14	Strain Rate Correction	Scale Yield Stress		
15	Initial Yield Stress A	3.4026E+08	Pa	 
16	Strain Rate Constant C	40		
17	Strain Rate Constant P	5		
18	 Effective Stress	 Tabular		
19	Scale	1		
20	Offset	0	Pa	

(Fuente: Autor)

### 3.4.5.1.3 Caracterización con modelo Johnson Cook a (T=-18°C)

Para esta investigación se pretende comprobar cuál es el modelo de material que se ajusta de mejor manera a los resultados de las mediciones experimentales por lo cual se realiza la simulación de impacto balístico con el modelo Johnson Cook, el cual se ajusta de buena manera a problemas que involucran temperatura, además se sabe que es un modelo para grandes deformaciones, las propiedades mecánicas utilizadas para este modelo de material se pueden observar en la tabla 3.16.

**Tabla 3.16** Modelo de material del A653 a -18 °C johnson cook.

Properties of Outline Row 9: ASTM A653 (JOHNSON COOK)				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
3	Density	7850	kg m <sup>-3</sup>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
4	Isotropic Elasticity			<input type="checkbox"/>
5	Derive from	Young's Modu...		
6	Young's Modulus	2.03E+11	Pa	<input type="checkbox"/>
7	Poisson's Ratio	0.3		<input type="checkbox"/>
8	Bulk Modulus	1.6917E+11	Pa	<input type="checkbox"/>
9	Shear Modulus	7.8077E+10	Pa	<input type="checkbox"/>
10	Specific Heat, C <sub>p</sub>	452	J kg <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
11	Johnson Cook Strength			<input type="checkbox"/>
12	Strain Rate Correction	First-Order		
13	Initial Yield Stress	3.4027E+08	Pa	<input type="checkbox"/>
14	Hardening Constant	2.75E+08	Pa	<input type="checkbox"/>
15	Hardening Exponent	0.36		<input type="checkbox"/>
16	Strain Rate Constant	0.022		<input type="checkbox"/>
17	Thermal Softening Exponent	1		<input type="checkbox"/>
18	Melting Temperature	1537.9	C	<input type="checkbox"/>
19	Reference Strain Rate (/sec)	1		<input type="checkbox"/>
20	Shear Modulus	7.8077E+10	Pa	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
21	Shock EOS Linear			<input type="checkbox"/>
22	Gruneisen Coefficient	2.17		<input type="checkbox"/>
23	Parameter C1	4569	m s <sup>-1</sup>	<input type="checkbox"/>
24	Parameter S1	1.49		<input type="checkbox"/>
25	Parameter Quadratic S2	0	s m <sup>-1</sup>	<input type="checkbox"/>
26	Plastic Strain Failure			<input type="checkbox"/>
27	Maximum Equivalent Plastic Strain EPS	0.3		<input type="checkbox"/>

(Fuente: Autor)

### 3.4.5.2 Acero ASTM A 36

Los marcos que permiten el soporte de las tapas de la bóveda están hechos de tubos cuadrados de acero A 36 que es uno de materiales más utilizados en la fabricación de estructuras. El material debido a su alta resistencia mecánica, permite que los ciclos de apertura o inclinación elevación del contenedor no afecten en gran manera a las tapas de la bóveda. La tabla 3.17 muestra las propiedades del acero A36 utilizadas para la simulación.

**Tabla 3.17** Propiedades mecánicas del acero A 36.

Properties of Outline Row 4: A36 (Tamb)					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7890	kg m <sup>-3</sup>		<input type="checkbox"/>
4	Isotropic Elasticity			<input type="checkbox"/>	
5	Derive from	Young'...			
6	Young's Modulus	2E+11	Pa		<input type="checkbox"/>
7	Poisson's Ratio	0.3			<input type="checkbox"/>
8	Bulk Modulus	1.6667E+05	MPa		<input type="checkbox"/>
9	Shear Modulus	76923	MPa		<input type="checkbox"/>
10	Plastic Strain Failure			<input type="checkbox"/>	
11	Maximum Equivalent Plastic Strain EPS	0.283			<input type="checkbox"/>
12	Cowper Symonds Piecewise Linear Hardening			<input type="checkbox"/>	
13	Piecewise Linear Hardening				
14	Strain Rate Correction	Scale Y...			
15	Initial Yield Stress A	356	MPa		<input type="checkbox"/>
16	Strain Rate Constant C	40			<input type="checkbox"/>
17	Strain Rate Constant P	5			<input type="checkbox"/>
18	Effective Stress	Tabular			
19	Scale	1			<input type="checkbox"/>
20	Offset	0	MPa		<input type="checkbox"/>

(Fuente: Autor)

### 3.4.5.3 Acero AISI 1018

Material comúnmente utilizado en ejes de transmisión, el cual se encuentra en los ejes para la toma que resisten la carga aplicada de los camiones recolectores en el instante de elevación del contenedor. La tabla 3.18 muestra las propiedades del acero 1018 utilizadas para los estudios de simulación.

**Tabla 3.18** Propiedades mecánicas del acero AISI 1018.

Properties of Outline Row 5: AISI 1018 (Tamb)					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7880	kg m <sup>-3</sup>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Isotropic Elasticity			<input type="checkbox"/>	
5	Derive from	Young'...			
6	Young's Modulus	3E+11	Pa	<input type="checkbox"/>	
7	Poisson's Ratio	0.3			<input type="checkbox"/>
8	Bulk Modulus	2.5E+11	Pa		<input type="checkbox"/>
9	Shear Modulus	1.1538E+11	Pa		<input type="checkbox"/>
10	Specific Heat, C <sub>p</sub>	452	J kg <sup>-1</sup> ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	Plastic Strain Failure			<input type="checkbox"/>	
12	Maximum Equivalent Plastic Strain EPS	0.3			<input type="checkbox"/>
13	Cowper Symonds Piecewise Linear Hardening			<input type="checkbox"/>	
14	Piecewise Linear Hardening				
15	Strain Rate Correction	Scale Y...			
16	Initial Yield Stress A	370	MPa	<input type="checkbox"/>	
17	Strain Rate Constant C	40			<input type="checkbox"/>
18	Strain Rate Constant P	5			<input type="checkbox"/>
19	Effective Stress	Tabular			
20	Scale	1			<input type="checkbox"/>
21	Offset	0	MPa		<input type="checkbox"/>

(Fuente: Autor)

#### 3.4.5.4 Acero ASTM 569

Este material forma parte de los componentes que permiten la protección del mecanismo de elevación, que son las tapas laterales además forman parte de los refuerzos de las bases y elementos de apertura de la tapa de la bóveda como bisagras en el contenedor. Las propiedades mecánicas utilizadas se pueden visualizar en la tabla 3.19.

**Tabla 3.19** Propiedades mecánicas del acero A 569.

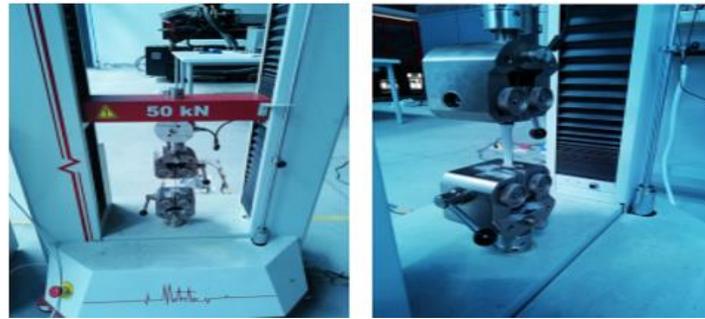
Properties of Outline Row 7: ASTM A569 (T amb)					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7880	kg m <sup>-3</sup>		<input type="checkbox"/>
4	Isotropic Elasticity			<input type="checkbox"/>	
5	Derive from	Young's Mod...			
6	Young's Modulus	2E+11	Pa		<input type="checkbox"/>
7	Poisson's Ratio	0.3			<input type="checkbox"/>
8	Bulk Modulus	1.6667E+05	MPa		<input type="checkbox"/>
9	Shear Modulus	76923	MPa		<input type="checkbox"/>
10	Plastic Strain Failure			<input type="checkbox"/>	
11	Maximum Equivalent Plastic Strain EPS	0.3			<input type="checkbox"/>
12	Cowper Symonds Piecewise Linear Hardening			<input type="checkbox"/>	
13	Piecewise Linear Hardening				
14	Strain Rate Correction	Scale Yield S...			
15	Initial Yield Stress A	350	MPa		<input type="checkbox"/>
16	Strain Rate Constant C	40			<input type="checkbox"/>
17	Strain Rate Constant P	5			<input type="checkbox"/>
18	Effective Stress	Tabular			
19	Scale	1			<input type="checkbox"/>
20	Offset	0	MPa		<input type="checkbox"/>

(Fuente: Autor)

### 3.4.6 Ensayos de materiales

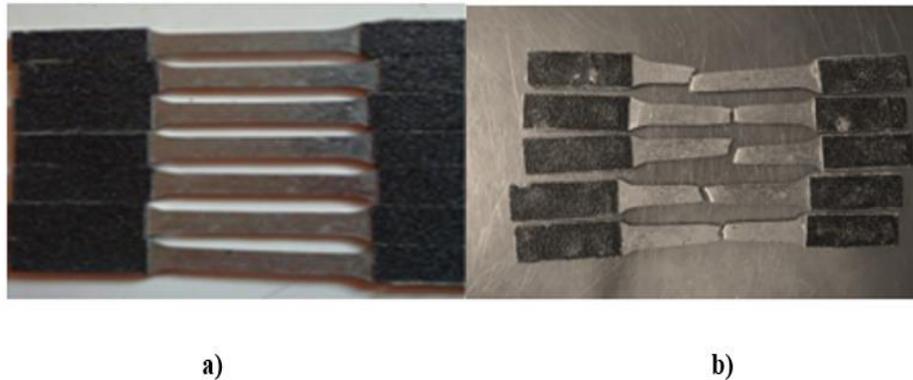
#### 3.4.6.1 Ensayo a tracción

El ensayo realizado según la especificación ASTM E8, permite cuantificar las propiedades mecánicas del acero galvanizado A653, adquiriendo así, valores referenciales sobre el material utilizado en la fabricación de los contenedores los cuales serán utilizados en los diversos estudios de simulación. Para la obtención de dichas propiedades, la normativa declara las dimensiones específicas que deberán tener las probetas, para la obtención de resultados deseados. Conjuntamente, la adaptación de la probeta a la máquina de tracción es un parámetro clave y el espesor es determinante para lograr una sujeción estable. La figura 3.26 muestra cómo se realizó el ensayo traccionante sobre el acero galvanizado.



**Figura 3.26** Máquina para ensayo traccionante 50kN. (Fuente: Autor)

El proceso de mecanizado de las probetas igualmente afecta a la calidad de las curvas de esfuerzo- deformación, por lo cual, las probetas deberán ser maquinadas en frío, en este ensayo la preparación se realizó mediante corte por cizalla para obtener las aproximaciones más cercanas a las condiciones de trabajo real. Otros procesos de corte deberán ser controlados mediante un adecuado método de refrigeración para no obtener variaciones significativas en los resultados. En la figura 3.27 se muestra la fractura de las probetas luego del ensayo.



**Figura 3.27** Probetas de tracción ASTM E8. a) Antes del ensayo. b) Después del ensayo. (Fuente: Autor)

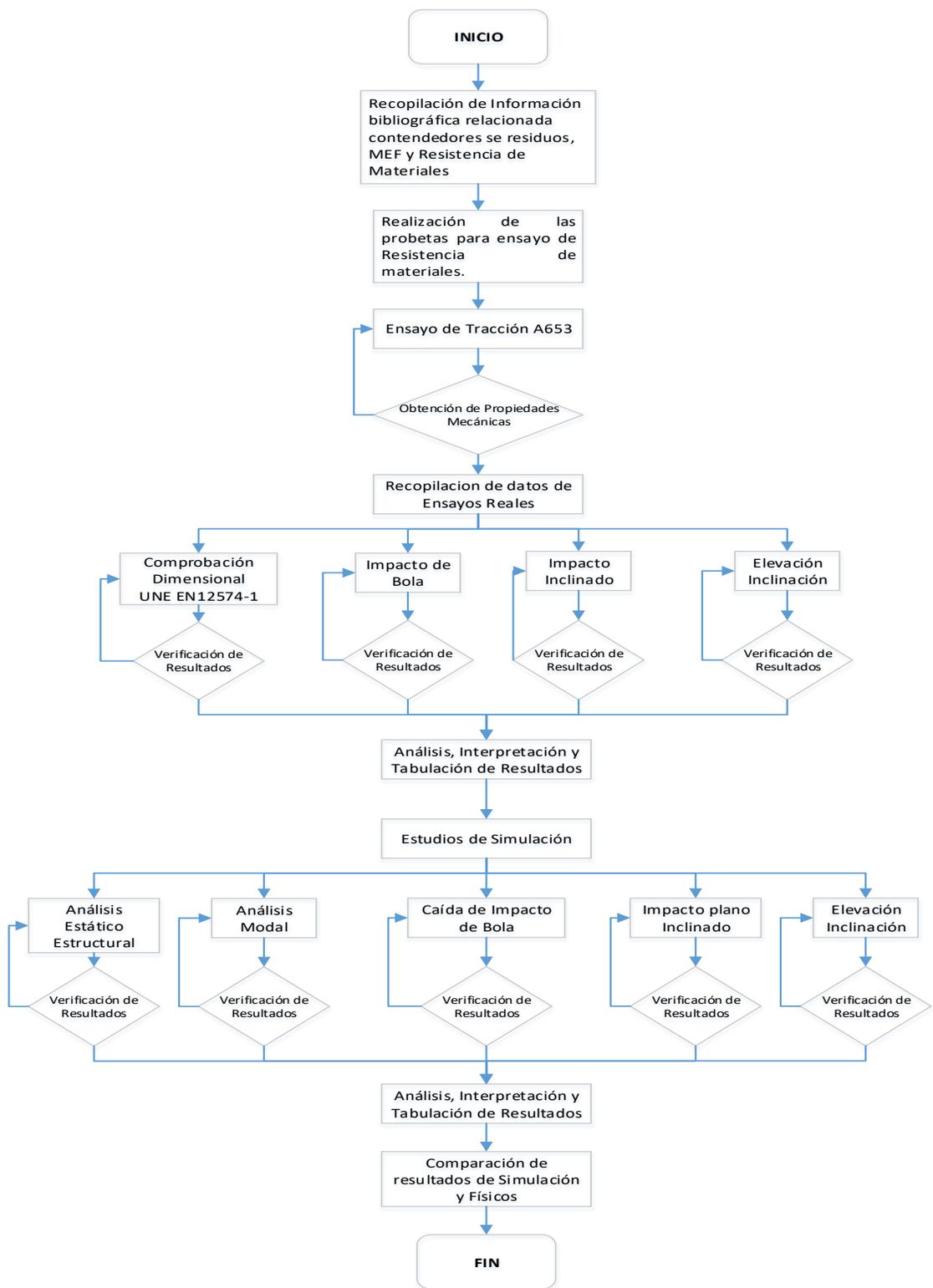
### **3.5 Plan de procesamiento y análisis**

Se realizará recolección de información del ensayo a tracción para la obtención de las propiedades mecánicas del material galvanizado, el cual los diferentes estudios de simulación, los datos recabados se expresarán de manera tabular y gráfica, haciendo más fácil su interpretación. Los ensayos de materiales nos permitirán obtener puntos característicos de esfuerzo y deformación, como son: el límite de fluencia, el esfuerzo último, módulo de elasticidad, y porcentaje de deformación, los cuales permitirán definir el comportamiento de los materiales frente a los diversos ensayos descritos en la normativa española.

Una vez obtenidas las propiedades mecánicas se procede a preparar el modelo digital, el cual debe ser minuciosamente examinado para evitar errores que puedan afectar a la calidad de la malla y a los resultados. Las estimaciones de condiciones de frontera deberán ir conforme a lo descrito en la normativa UNE EN 12574-2, en la cual se especifican los parámetros necesarios para la realización de cada uno de los ensayos. En el caso de ensayos de impacto las velocidades serán determinantes para obtener buenos resultados, y aquellos ensayos en los cuales la carga nominal juega un papel fundamental como: el ensayo a tracción y de estabilidad, las fuerzas involucradas nos permitirán simular comportamiento del sistema con mayor exactitud.

Posteriormente se realizará las pruebas físicas a los contenedores donde se obtendrán datos según cada ensayo correspondiente lo cual permitirá hacer un análisis estadístico sobre los resultados obtenidos y finalmente poder comprobar dichos resultados, con las estadísticas establecidas por el programa de simulación.

En el diagrama de flujo de la figura 3.28 se puede observar como es el procedimiento para la realización de este proyecto experimental.



**Figura 3.28** Procesamiento de la información. (Fuente: Autor)

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Recolección de datos

La recolección de la información inicia con la caracterización de las propiedades mecánicas del material galvanizado A653, la resistencia a la fluencia de 306 Mpa, resistencia última de 350 Mpa y porcentaje de elongación 40 % fueron los datos obtenidos del ensayo de tracción según lo estipula la norma ASTM E8 como se evidencian en las tablas 4.1-4.5. El siguiente paso es la verificación visual de los contenedores, revisando cualquier tipo de borde afilado, zona rugosa, decoloración, o algún aspecto que dificulte la manipulación o funcionalidad del contenedor de 2400 l. Seguidamente, ha de revisarse las 21 dimensiones declaradas en la normativa UNE EN 12574-1, las cuales deben ser medidas dentro de cierto rango de tolerancia. Posteriormente se verifica la variación dimensional real respecto a las medidas de diseño ideales, obteniendo porcentajes de error que permiten localizar aquellas dimensiones que tienen gran porcentaje de variación.

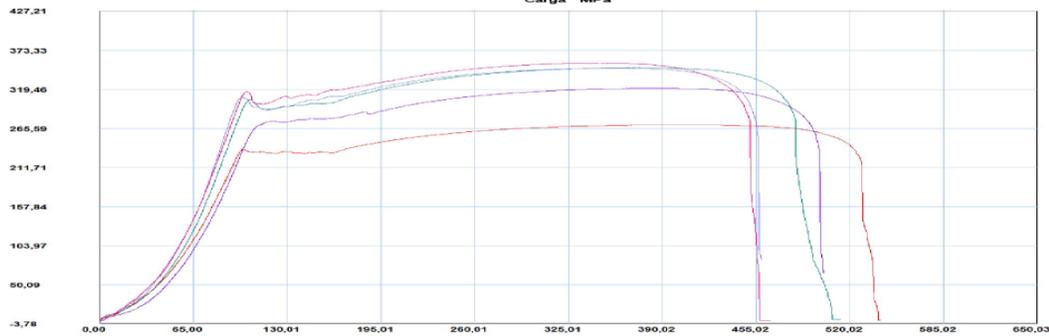
En seguida se procede con el primer ensayo de impacto de bola a la temperatura T2, en 35 puntos de impacto en todo el contenedor, 15 en la base y 20 en las tapas según las alturas especificadas para cada caso formando para dichos impactos, perfiles de deformación en los cuales se evidencia la deformación máxima en cada punto.

El segundo ensayo se realizó según lo indica la normativa UNE EN12574-2, con un contenedor de 3200 L haciendo las veces de pared rígida, un carro para desplazar el contenedor, 19 sacos de 25 kg y uno de 10 kg para conseguir la carga nominal, un montacargas para el desplazamiento y demás aspectos de seguridad referente al ensayo y por supuesto un espacio con una superficie inclinada dentro de la empresa que permita realizar el ensayo.

El ensayo de elevación inclinación en la parte práctica queda justificada mediante, la toma dimensional en el cantón Rumiñahui según lo estipula la norma UNE EN 12574-1, con lo cual se estima que no existe variación en las medidas especificadas, debido a la manipulación en carga y descarga del contenedor según los ciclos establecidos.

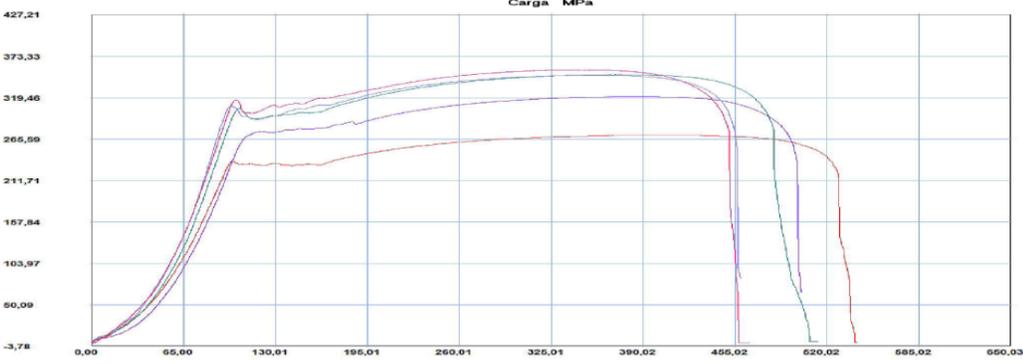
#### 4.1.1 Propiedades mecánicas de los materiales del contenedor

**Tabla 4.1** Ensayo de tracción de acero galvanizado A653, probeta 01.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 			
<b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>			
<b>Probeta N°</b>	01	<b>Muestra:</b>	Pletina 12.5x50 mm
<b>Norma Aplicable:</b>	ASTM E8/E8M-16a		
<b>Lugar de Ensayo</b>	Centro de Fomento Carrocero Metalmecánico, H. Gobierno Provincial de Tungurahua		
<b>Fecha de Ejecución:</b>	20/08/2018	<b>Realizado por:</b>	Gustavo Pomaquero
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Diego Núñez
<b>Espesor:</b>	1.45 mm	<b>Longitud Calibrada:</b>	50 mm
<b>Ancho:</b>	12.38 mm	<b>Material:</b>	Galvanizado A653
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>			
			
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>			
<b>Carga Máxima:</b>	6768.79 N	<b>Longitud Inicial:</b>	50 mm
<b>Área Inicial:</b>	17.951 mm <sup>2</sup>	<b>Longitud Final:</b>	73.058 mm
<b>Humedad Relativa:</b>	53.4 %	<b>Temperatura</b>	20.1° C
<b>RESULTADOS CALCULADOS</b>			
<b>Resistencia Última a la Tracción (Sut):</b>	377.07	<b>Límite de Fluencia</b>	330.40 Mpa
<b>Porcentaje de Elongación:</b>	46.12 %	<b>Módulo de Elasticidad:</b>	200000 Mpa

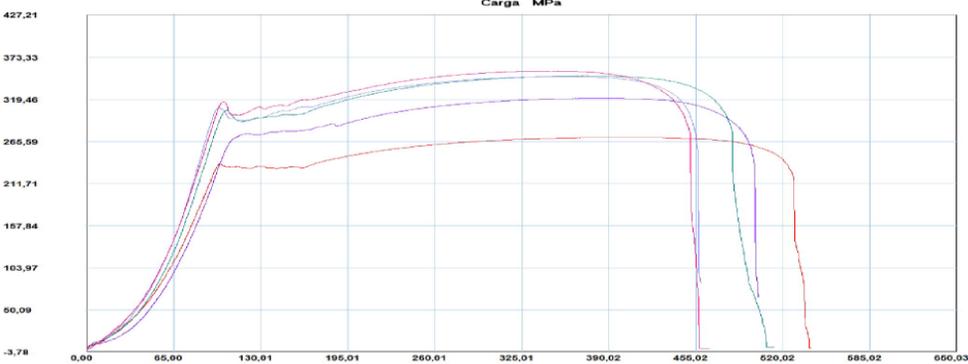
(Fuente: Autor)

**Tabla 4.2** Ensayo de tracción de acero galvanizado A653, probeta 02.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 			
<b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>			
<b>Probeta N°</b>	02	<b>Muestra:</b>	Pletina 12.5x50 mm
<b>Norma Aplicable:</b>	ASTM E8/E8M-16a		
<b>Lugar de Ensayo</b>	Centro de Fomento Carrocero Metalmecánico, H. Gobierno Provincial de Tungurahua.		
<b>Fecha de Ejecución:</b>	20/08/2018	<b>Realizado por:</b>	Gustavo Pomaquero
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Diego Núñez
<b>Espesor:</b>	1.44 mm	<b>Longitud Calibrada:</b>	50 mm
<b>Ancho:</b>	12.61 mm	<b>Material:</b>	Galvanizado A653
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>			
			
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>			
<b>Carga Máxima:</b>	6352.25 N	<b>Longitud Inicial:</b>	50 mm
<b>Área Inicial:</b>	18.1584 mm <sup>2</sup>	<b>Longitud Final:</b>	71.512 mm
<b>Humedad Relativa:</b>	53.4 %	<b>Temperatura</b>	20.1° C
<b>RESULTADOS CALCULADOS</b>			
<b>Resistencia Última a la Tracción (Sut):</b>	349.82 Mpa	<b>Límite de Fluencia</b>	302.9 Mpa
<b>Porcentaje de Elongación:</b>	43.02 %	<b>Módulo de Elasticidad:</b>	200000 Mpa

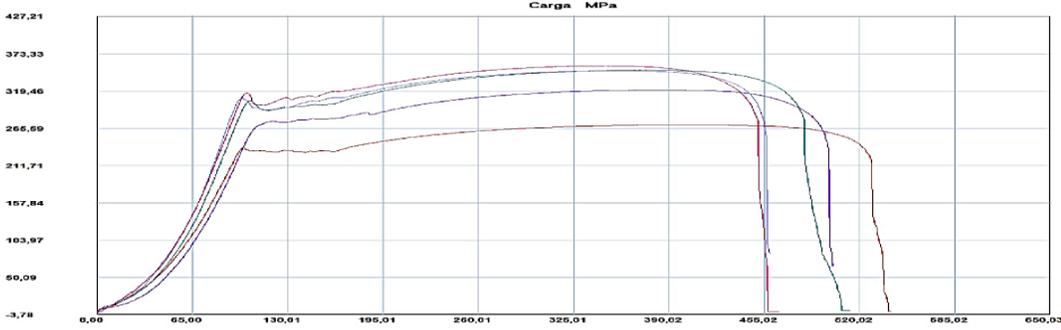
(Fuente: Autor)

**Tabla 4.3** Ensayo de tracción de acero galvanizado A653, probeta 03

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 			
<b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>			
<b>Probeta N°</b>	03	<b>Muestra:</b>	Pletina 12.5x50 mm
<b>Norma Aplicable:</b>	ASTM E8/E8M-16a		
<b>Lugar de Ensayo</b>	Centro de Fomento Carrocerero Metalmecánico, H. Gobierno Provincial de Tungurahua		
<b>Fecha de Ejecución:</b>	20/08/2018	<b>Realizado por:</b>	Gustavo Pomaquero
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Diego Núñez
<b>Espesor:</b>	1.58 mm	<b>Longitud Calibrada:</b>	50 mm
<b>Ancho:</b>	12.69 mm	<b>Material:</b>	Galvanizado A653
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>			
			
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>			
<b>Carga Máxima:</b>	6439.03 N	<b>Longitud Inicial:</b>	50 mm
<b>Área Inicial:</b>	20.0502 mm <sup>2</sup>	<b>Longitud Final:</b>	72.131 mm
<b>Humedad Relativa:</b>	53.4 %	<b>Temperatura</b>	20.1° C
<b>RESULTADOS CALCULADOS</b>			
<b>Resistencia Última a la Tracción (Sut):</b>	321.15 Mpa	<b>Límite de Fluencia:</b>	275.11 Mpa
<b>Porcentaje de Elongación:</b>	44.26%	<b>Módulo de Elasticidad:</b>	200000 Mpa

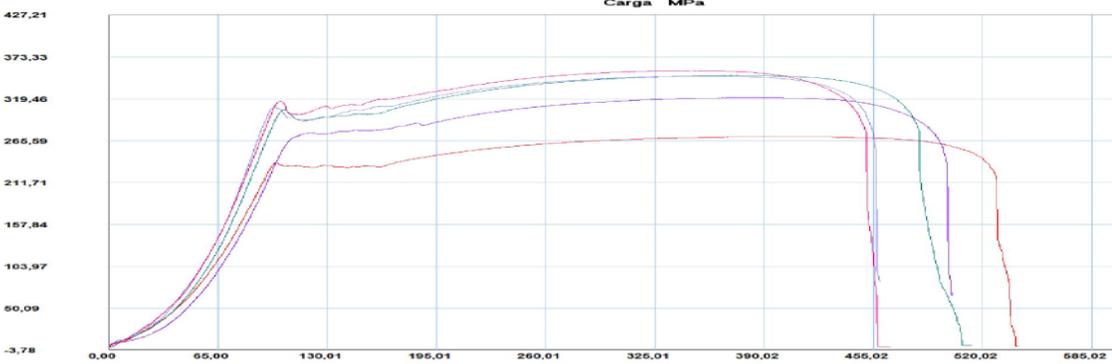
(Fuente: Autor)

Tabla 4.4 Ensayo de tracción de acero galvanizado A653, probeta 04.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 			
<b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>			
<b>Probeta N°</b>	04	<b>Muestra:</b>	Pletina 12.5x50 mm
<b>Norma Aplicable:</b>	ASTM E8/E8M-16a		
<b>Lugar de Ensayo</b>	Centro de Fomento Carrocero Metalmecánico, H. Gobierno Provincial de Tungurahua		
<b>Fecha de Ejecución:</b>	20/08/2018	<b>Realizado por:</b>	Gustavo Pomaquero
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Diego Núñez
<b>Espesor:</b>	1.44 mm	<b>Longitud Calibrada:</b>	50 mm
<b>Ancho:</b>	12.67 mm	<b>Material:</b>	Galvanizado A653
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>			
			
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>			
<b>Carga Máxima:</b>	6366.45 N	<b>Longitud Inicial:</b>	50 mm
<b>Área Inicial:</b>	18.2448 mm <sup>2</sup>	<b>Longitud Final:</b>	70.23 mm
<b>Humedad Relativa:</b>	53.4 %	<b>Temperatura</b>	20.1° C
<b>RESULTADOS CALCULADOS</b>			
<b>Resistencia Última a la Tracción (Sut):</b>	348.95 Mpa	<b>Límite de Fluencia</b>	307.70 Mpa
<b>Porcentaje de Elongación:</b>	40.46%	<b>Módulo de Elasticidad:</b>	200000 Mpa

(Fuente: Autor)

**Tabla 4.5** Ensayo de tracción de acero galvanizado A653, probeta 05

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 			
<b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>			
<b>Probeta N°</b>	05	<b>Muestra:</b>	Pletina 12.5x50 mm
<b>Norma Aplicable:</b>	ASTM E8/E8M-16a		
<b>Lugar de Ensayo</b>	Centro de Fomento Carrocero Metalmecánico, H. Gobierno Provincial de Tungurahua		
<b>Fecha de Ejecución:</b>	20/08/2018	<b>Realizado por:</b>	Gustavo Pomaquero
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Diego Núñez
<b>Espesor:</b>	1.45 mm	<b>Longitud Calibrada:</b>	50 mm
<b>Ancho:</b>	12.33 mm	<b>Material:</b>	Galvanizado A653
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>			
			
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>			
<b>Carga Máxima:</b>	6364.87 N	<b>Longitud Inicial:</b>	50 mm
<b>Área Inicial:</b>	17.8785 mm <sup>2</sup>	<b>Longitud Final:</b>	70.085 mm
<b>Humedad Relativa:</b>	53.4 %	<b>Temperatura</b>	20.1° C
<b>RESULTADOS CALCULADOS</b>			
<b>Resistencia Última a la Tracción (Sut):</b>	356.01 Mpa	<b>Límite de Fluencia</b>	315.41 Mpa
<b>Porcentaje de Elongación:</b>	40.17 %	<b>Módulo de Elasticidad:</b>	200000 Mpa

(Fuente: Autor)

En la tabla 4.6 se puede apreciar todos los resultados arrojados por el ensayo a tracción del acero A653, del cual se tomaron los valores promedios para las 5 probetas ensayadas para la caracterización del material en los diversos estudios de simulación.

**Tabla 4.6** Resumen datos dimensionales probetas y resultados de ensayo A653.

	<b>Fuerza Máxima (N)</b>	<b>Fuerza de Fluencia (N)</b>	<b>Fuerza de Rotura (N)</b>	<b>Resistencia a la Tracción (Mpa)</b>	<b>Límite de Fluencia (Mpa)</b>	<b>Resistencia a la Rotura (Mpa)</b>
	6768,79	5930,98	6297,03	377,07	330,4	350,79
	6352,25	5500,23	5405,57	349,82	302,9	297,69
	6439,03	5516,01	5490,77	321,15	275,11	273,85
	6366,45	5613,84	5542,84	348,95	307,7	303,8
	6364,87	5639,08	5329,83	356,01	315,11	298,11
<b>Promedio</b>	6458,278	5640,028	5613,208	350,599	306,244	304,848
<b>Desviación Estándar Sn-1</b>	176,909	173,395	390,823	20,005	20,31	28,148
<b>Coefficiente de Variación CV</b>	2,74	3,07	6,96	5,71	6,63	9,23

(Fuente: Autor)

#### 4.1.2 Ensayos reales.

##### 4.1.2.1 Aspectos visuales

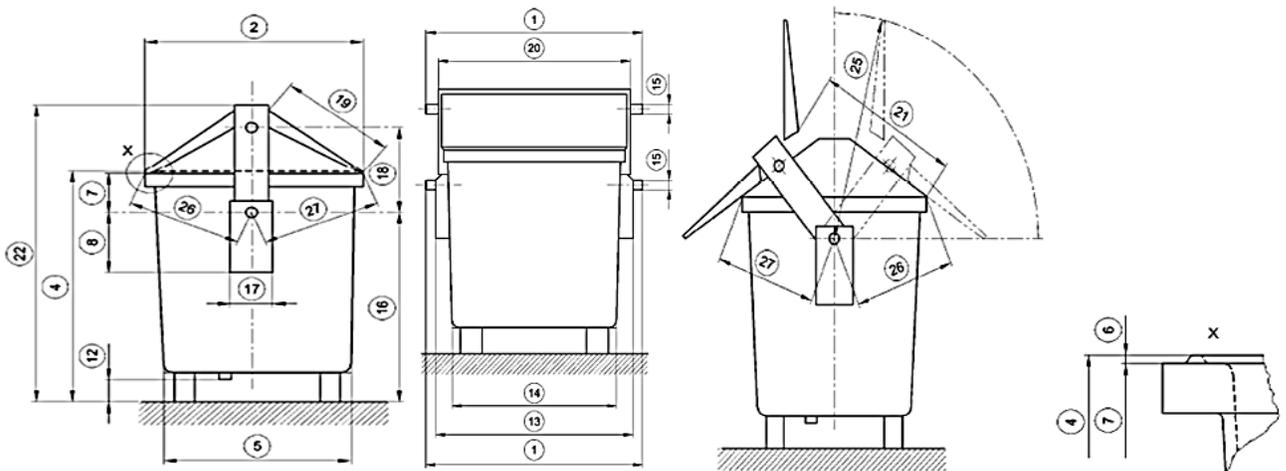
Los aspectos visuales permiten identificar defectos superficiales como bordes afilados o zonas rugosas, los cuales pueden afectar la manipulación de los contenedores. De igual forma se examinan ciertos aspectos que puedan afectar la resistencia debido al ambiente de trabajo produciendo decoloraciones por lo cual se debe tener estricto control sobre el recubrimiento superficial de pintura cuantificándolo en micras bajo estándar. Por lo cual el contenedor a la distancia de 1m y en toda su periferia no debe presentar ningún tipo de daño, grieta, burbuja, decoloración, y tampoco bordes afilados. Como se puede observar en la figura 4.1 el contenedor a un metro de distancia no presenta ninguna de las consideraciones visuales preestablecidas en la norma.



**Figura 4.1** Aspectos visuales a 1m. (Fuente: Autor)

#### 4.1.2.2 Tamaños y dimensiones

La comparación dimensional del contenedor según lo estipulado en la norma UNE EN 12574-1, nos permitirá verificar la funcionalidad respecto a dimensiones nominales. Para toda dimensión establecida se especifican tolerancias mínimas y máximas. Existen en total 27 dimensiones, de las cuales únicamente 22 se aplican a contenedores con soporte giratorio de carga lateral. Una vez medidas las dimensiones reales del contenedor se podrá verificar el grado de deformación luego de los ensayos, las figuras 4.2, 4.3 y la tabla 4.7, dan evidencia de las dimensiones tomadas del contenedor de descarga lateral.

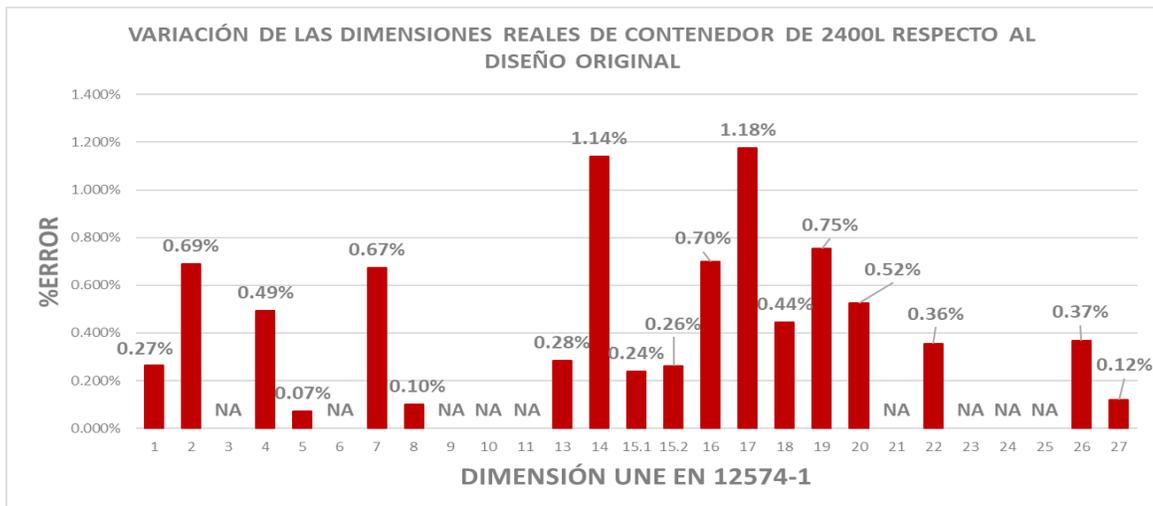


**Figura 4.2** Dimensiones establecida por UNE-EN 12574-1. (Fuente: Autor)

**Tabla 4.7** Criterios de aceptación dimensional y error de modelo contenedor.

Numero de Dimensión	Dimensión Nominal (mm)	Dimensión Real (mm)	Dimensión Modelo	Error %	Aceptación y Rechazo
1	1880±10	1885	1880	0,266%	Aceptada
2	1520 máx.	1314	1305	0,690%	Aceptada
3	1470 máx.	NA	NA	NA	Solo tapa plana
4	1350 máx.	1221	1215	0,494%	Aceptada
5	1350 máx.	1114	1113,2	0,072%	Aceptada
6	15 máx.	1.86	0	NA	Aceptada
7	240 ±50	216,45	215	0,674%	Aceptada
8	460 mín.	502	502,5	0,100%	Aceptada
9	460 máx.	NA	NA	NA	Aceptada
10	0 a 90	NA	NA	NA	Solo tapa plana
11	$80^{+5}_0$	NA	NA	NA	Solo tapa plana
12	30 mín.	37,7	42,82	11,957%	Aceptada
13	1760±10	1765	1760	0,284%	Aceptada
14	1650 máx.	1562	1580	1,139%	Aceptada
15	40±2	42	42	0,000%	Aceptada
15	40±2	38	38,1	0,262%	Aceptada
16	1050±50	1007	1000	0,700%	Aceptada
17	160±10	168	170	1,176%	Aceptada
18	450±50	448	450	0,444%	Aceptada
19	450 mín.	703	697,75	0,752%	Aceptada
20	1750 máx.	1745	1735,89	0,525%	Aceptada
21	650 mín.	931	931	0,000%	Aceptada
22	1820 máx.	1696	1690	0,355%	Aceptada
23	0 a 150	NA	NA	NA	Solo tapa plana
24	490±60	NA	NA	NA	Solo tapa plana
25	1700 máx.	1352	1352	0,000%	Aceptada
26	820 máx.	688	685,47	0,369%	Aceptada
27	820 máx.	686	685,18	0,120%	Aceptada

(Fuente: Autor)



**Figura 4.3** Variación dimensional del contenedor respecto al modelo digital.

(Fuente: Autor)

#### 4.1.2.3 Capacidad declarada del contenedor.

La capacidad del contenedor se ha determinado con un cálculo aproximado, tomando las dimensiones principales del contenedor, considerándolo como la suma de los volúmenes de una pirámide truncada y un prisma triangular para las dimensiones reales descritas en la tabla 4.8. se comprueba que la capacidad del contenedor es 2431 L con un error respecto al valor nominal de 1.29 % debido a la simplificación del cálculo.

**Tabla 4.8** Determinación de la capacidad del contenedor.

<b>Cálculo de la capacidad declarada del contenedor</b>	
<b>Volumen de Pirámide Truncada</b>	
$A1 = L1 * L2$	
$A1 = 1565 \text{ mm} * 1111 \text{ mm}$	
$A1 = 1738715 \text{ mm}^2$	
$A2 = L3 * L4$	
$A2 = 1582 \text{ mm} * 1228 \text{ mm}$	
$A2 = 1942696 \text{ mm}^2$	
$VPtr = \frac{H1}{3} (A1 + A2 + \sqrt{(A1) * (A2)})$	
$VPtr = \frac{1130 \text{ mm}}{3} (1738715 \text{ mm}^2 + 1942696 \text{ mm}^2$	
$+ \sqrt{(1738715 \text{ mm}^2) * (1942696 \text{ mm}^2)})$	
$VPtr = 2.07893 * 10^9 \text{ mm}^3$	

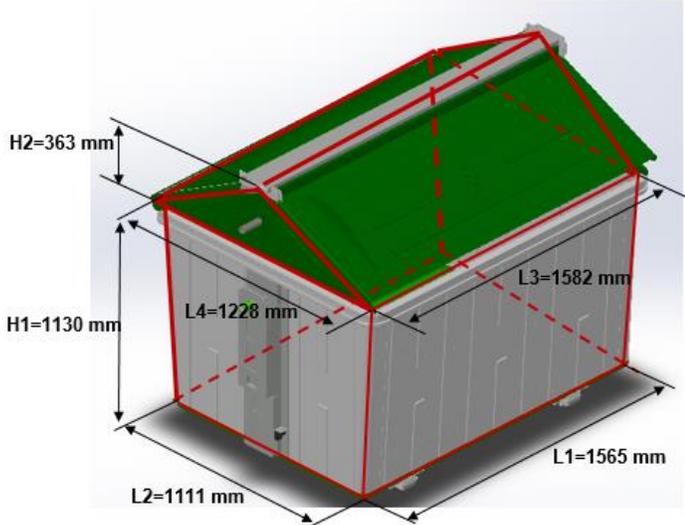
**Tabla 4.8** Determinación de la capacidad del contenedor. Continuación

$VP_{tr} = 2078.93 L$

**Volumen de prisma triangular.**

$$VPt = \frac{L4 * H2}{2} * L3$$
$$VPt = \frac{1228 mm * 363 mm}{2} * 1568 mm$$
$$VPt = 3.52599 * 10^8 mm^3$$
$$VPt = 352.599 L$$

**Volumen total de contenedor.**

$$VT = VP_{tr} + V_{pt}$$
$$VT = 2078.93 L + 352.599 L$$
$$VT = 2431 L$$


(Fuente: Autor)

#### **4.1.3.3.1. Peso en función de la densidad y la altura de llenado.**

Los cálculos aproximados que se realizan a continuación, pretenden obtener una relación entre la variación del volumen del llenado del contenedor. Una presión hidrostática aplicada al contenedor que permita obtener la carga nominal, estará en función de la altura de llenado, la densidad del material que se aplica y del área de la base del contenedor donde la presión es máxima. La altura calcula a continuación está en función de la densidad de  $500 \text{ kg/m}^3$  del HDPE que menciona la norma UNE EN12574-2, para el llenado del contenedor y así conseguir la carga requerida para las basuras pesadas.

$$P = \rho * g * h \quad (3.10)$$

$$\frac{F}{A} = \rho * g * h$$

$$h = \frac{F}{A * \rho * g}$$

$$h = \frac{9417.6 \text{ N}}{1.739 \text{ m}^2 * 500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h = 1.104 \text{ m}$$

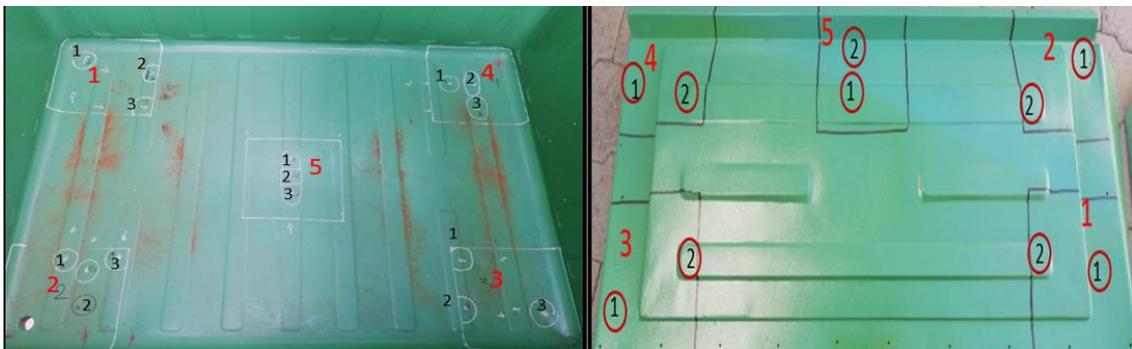
#### 4.1.2.4 Impacto de caída de bola

El ensayo fue realizado según las condiciones preestablecidas en la normativa UNE-EN 12574-2, la temperatura de -18 °C las secciones a impactar se consiguió con hielo seco, el cual puede llegar a alcanzar temperaturas de hasta -70°C, el acondicionamiento de la superficie entre 10 a 15 minutos para lograr la transferencia de calor por conducción, así mismo, se realizó el control de temperatura mediante un termómetro infrarrojo, teniendo en cuenta que el equilibrio térmico por el ambiente circundante hace aumentar la temperatura aproximadamente 1° cada dos segundos, el ensayo ha de realizarse lo más aislado posible, además hay que tomar en cuenta el rango permisible de la temperatura para el impacto. Las distancias de impacto para la base como se tenía previsto anteriormente fueron de 1.5 m y de 0.8 m para las tapas. Las mediciones de las deformaciones debido al impacto fueron cuantificadas mediante un reloj palpador magnético el cual permitió trazar unas curvas de deflexión para cada punto de medida teniendo variaciones significativas según el punto de impacto. Los valores típicos de deformación tanto para las tapas y base oscilaban entre 1.5 y 2 mm, incluso se obtuvo valores críticos de deflexión de hasta 4.95 mm en secciones cerca de las uniones, donde no se presentaba un apoyo fijo mitigara el efecto por impacto. En la figura 4.4 se puede observar el impactador con su masa final luego de incorporar un tornillo de sujeción.



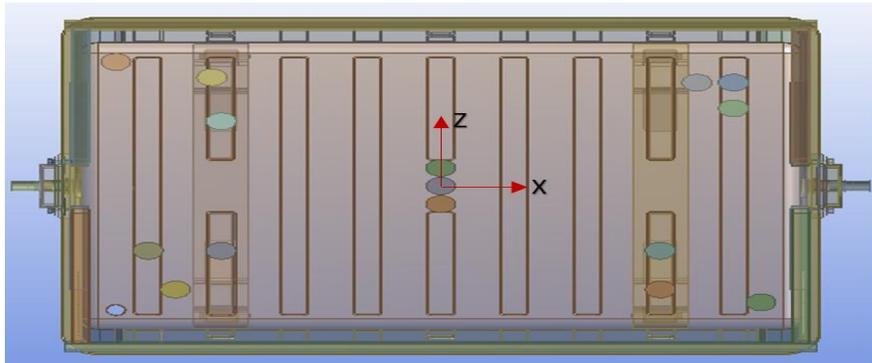
**Figura 4.4** Masa final de dispositivo de impacto (Fuente: Autor)

En la figura 4.5 se puede observar la definición de los puntos de impacto, para las distintas áreas se realizó comprobando el paralelismo con un punto de referencia por el cual sea posible desplazar el palpador magnético.



**Figura 4.5** Delimitación de áreas y secciones de impacto. (Fuente: Autor)

Para el posicionamiento de impactador en la simulación se midieron las distancias hacia los puntos de impacto realizados respecto a un punto de referencia central en la base del contenedor, el punto 2 del área 5 de impacto coincide relativamente con el origen de coordenadas tomado para las mediciones por lo cual se procede a colocar las ubicaciones para los diferentes puntos de impacto. En la figura 4.6 se puede observar el posicionamiento de los impactadores.



**Figura 4.6** Posicionamiento de impactadores en la base del contenedor. (Fuente: Autor)

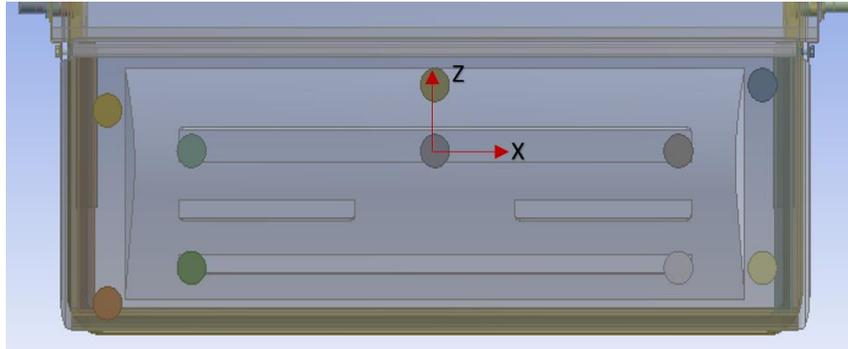
La tabla 4.9 muestra las coordenadas para cada impactador lo cuales se ubican en referencia a la figura 4.6 para la base del contenedor.

**Tabla 4.9** Coordenadas de impactadores para la base.

Áreas	Punto de Impacto	Coordenada x (mm)	Coordenada y (mm)	Coordenada z (mm)
Área 1	1	-656	0	443
	2	-450	6	378
	3	-422	6	220
Área 2	1	-622	6	-579
	2	-526	0	-363
	3	-421	6	-222
Área 3	1	419	6	-221
	2	430	6	-358
	3	645	0	-414
Área 4	1	507	0	362
	2	584	6	365
	3	581	6	272
Área 5	1	0	0	70
	2	0	0	0
	3	0	0	-70

(Fuente: Autor)

De la misma manera la figura 4.7 muestra la ubicación del centro de coordenadas utilizado en la tabla 4.10 para la ubicación de los impactadores en las tapas para realizar las simulaciones de los impactos.



**Figura 4.7** Posicionamiento de impactadores en las tapas del contenedor.(Fuente: Autor)

**Tabla 4.10** Coordenadas de impactadores para las tapas.

Áreas	Punto de Impacto	Coordenada x	Coordenada y	Coordenada z
Área 1	1	677	-207	-210
	2	490	-183	-204
Área 2	1	675	-21	118
	2	485	0	0
Área 3	1	-679	-251	-275
	2	-490	-183	-204
Área 4	1	-675	-8	72
	2	-485	0	0
Área 5	1	0	0	0
	2	0	33	71

(Fuente: Autor.)

#### 4.1.2.4.1 Resultados de ensayo balístico

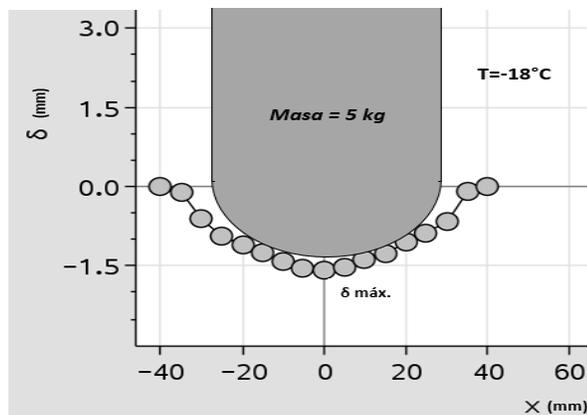
La temperatura de medida para el ensayo estuvo entre -20 y -18 °C dentro de la tolerancia establecida para realizar la prueba de impacto. Luego del ensayo, las mediciones fueron tomadas en distancias de 5 mm en la mayoría de los casos formando perfiles de

deformación se encontraban dentro del diámetro del dispositivo de bola aproximadamente de 60 a 70 mm, y en otros casos donde la rigidez de la superficie, no permitía grandes deformaciones el ratio de medición fue 50 mm, dichas longitudes de medida se presentaron tanto en la base como en las tapas, el procedimiento de ensayo de impacto se puede visualizar en la figura 4.6. El anexo 5 permite visualizar las curvas de deformación medidas, y en las tablas 4.10 y 4.11 se puede observar un resumen de las deflexiones máximas producidas por los impactos por cada área.



**Figura 4.8** Ensayo de impacto de bola. a) Verificación de temperatura de impacto. b) Medición con palpador magnético. (Fuente: Autor)

El promedio general para las deformaciones descritas en las tablas 4.11 y 4.12 es de 1.55 mm con lo cual se estima que la deformación plástica en contenedor es mínima, una representación del impacto se puede observar en la figura 4.9.



**Figura 4.9** Representación de deformación plástica por impacto. (Fuente: Autor)

**Tabla 4.11** Deflexión de base del contenedor.

Áreas	y máx.	Promedio áreas
Área 1		
Sección 1	-1,51	-2.043
Sección 2	-3,38	
Sección 3	-1,24	
Área 2		
Sección 1	-4,95	-2.473
Sección 2	-1,96	
Sección 3	-0,51	
Área 3		
Sección 1	-4,92	-2.423
Sección 2	-1,1	
Sección 3	-1,25	
Área 4		
Sección 1	-2,05	-2,88
Sección 2	-4,95	
Sección 3	-1,66	
Área 5		
Sección 1	-0,57	-0,773
Sección 2	-0,83	
Sección 3	-0,92	
Promedio Total		-2.1184

(Fuente: Autor)

**Tabla 4.12** Deflexión de tapas 1 y 2 del contenedor

Tapa 1			Tapa 2		
Áreas	y máx.	Promedio Áreas	Áreas	y máx	Promedio Áreas
Área 1			Área 1		
Sección 1	-0,68	-0,595	Sección 1	-0,98	-0,61
Sección 2	-0,51		Sección 2	-0,24	
Área 2			Área 2		
Sección 1	-2,01	-1,785	Sección 1	-1,66	-1,455
Sección 2	-1,56		Sección 2	-1,25	

**Tabla 4.12** Deflexión de tapas 1 y 2 del contenedor. Continuación

Área 3			Área 3		
Sección 1	-1,55	-1,465	Sección 1	-1,25	-0,935
Sección 2	-1,38		Sección 2	-0,62	
Área 4			Área 4		
Sección 1	-1,09	-1,105	Sección 1	-0,58	-0,835
Sección 2	-1,12		Sección 2	-1,09	
Área 5			Área 5		
Sección 1	-3,46	-2,58	Sección 1	-1,66	-1,375
Sección 2	-1,7		Sección 2	-1,09	
Promedio Total		-1,506	Promedio Total		-1,042

(Fuente: Autor)

Como los describe la normativa UNE EN 12574-2 los impactos realizados no deben producir deformaciones excesivas en el contenedor ni tampoco debe presentarse cedencia de las soldaduras, dado que las deformaciones se encuentran en un rango de deformación plástica muy pequeño para afectar la funcionalidad del contenedor se procede a dar como válida la resistencia del contenedor a dicho ensayo. No obstante, las mediciones tomadas de este ensayo servirán para validar el modelo de simulación posteriormente.

#### **4.1.2.5 Impacto plano inclinado**

El desarrollo del ensayo de impacto de plano inclinado depende de la condición específica de velocidad para las caras y esquinas de 1.85 m/s y 1.3 m/s respectivamente, para el estudio de simulación únicamente el parámetro velocidad, predomina el comportamiento de las deformaciones y esfuerzos producidos por el choque contra la pared rígida. Para el ensayo real se realiza un cálculo en función de un ángulo de inclinación variable tal que la condición de velocidad no se vea afectada.

##### **4.1.2.5.1 Resistencia a la carga nominal**

La carga establecida debe ser semejante a la masa de HDPE como se especificó en el capítulo 3 y debe tener un valor de 960 kg, para lo cual se cargaron 19 sacos de 50 kg y uno de 10 kg. Es importante verificar la resistencia a la carga estipulada en la norma UNE EN 12574-2 antes de realizar los ensayos posteriores, en la figura 4.10 se muestra la masa

de los sacos y la colocación de los mismos dentro del contenedor, el cual no presento afectación alguna por la carga aplicada.



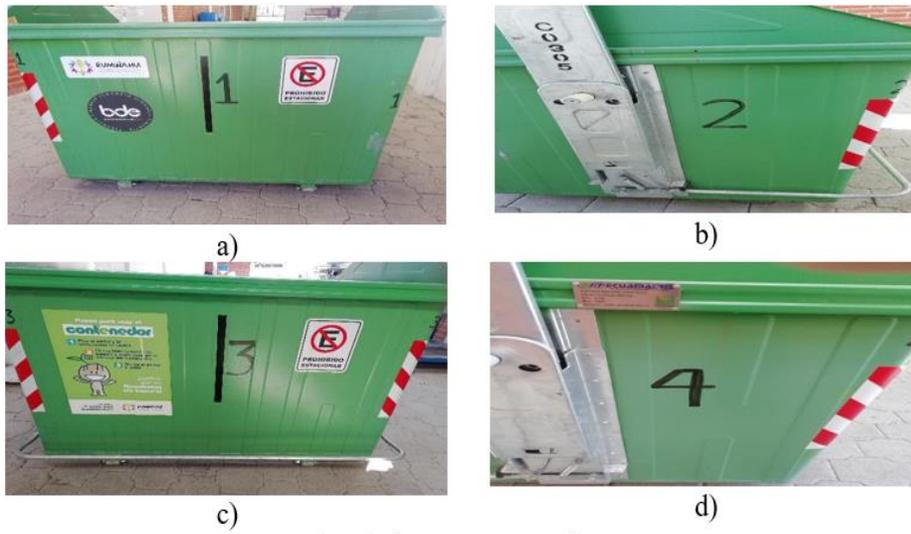
**Figura 4.10** Masa de sacos para ensayo de impacto. a) Medición de masa b) Carga del contenedor. (Fuente: Autor)

El cálculo de la relación distancia velocidad del contenedor para la realización de ensayo dependió de la masa total de impacto, incluyendo la de carro para desplazar el contenedor. Como condición preliminar, ha de comprobarse la adaptabilidad del carro mostrado en la figura 4.11. para la ejecución de ensayo impacto inclinado del contenedor.



**Figura 4.11** Carro de acero para desplazamiento de contenedor. (Fuente: Autor)

Se procede a numerar las caras del contenedor según su orden específico descrito en la norma UNE EN 12574-2 en relación a las caras y esquinas para realizar los impactos, empezando con 1 con la cara equipada para el camión recolector como se indica en las figuras 4.12. y 4.13.



**Figura 4.12** Numeración de las caras según la Norma UNE EN12674-2 a) Cara 1. b) Cara 2. c) Cara 3 d) Cara 4. (Fuente: Autor)



**Figura 4.13** Numeración de las esquinas según la norma UNE EN12574-2 a) Esquina 1.2 b) Esquina 2.3 c) Esquina 3.4 d) Esquina 4.1. (Fuente: Autor)

Un contenedor de 3200 L con una capacidad 1.3 veces mayor que la del contenedor de 2400 L, conjuntamente con una plancha de acero de 10 mm de espesor sirvieron de superficie rígida para la realización del impacto sobre la superficie inclinada, la figura 4.14 muestra la disposición del contenedor y de la plancha para la realización de los impactos.



**Figura 4.14** Superficie de impacto. (Fuente: Autor)

Los impactos para las caras y esquinas del contenedor se realizaron en las instalaciones de Ecuamatrix teniendo a disposición un montacargas para desplazamiento de la carga nominal y para el posicionamiento del contenedor para los diversos impactos como se observa en la figura 4.15.



a)

b)

**Figura 4.15** Posicionamientos. a) Posicionamiento de carga nominal b) Posicionamiento de contenedor. (Fuente: Autor)

#### 4.1.2.5.2 Impacto de cara frontal

La velocidad promedio del contenedor para los impactos según los parámetros calculados y el tiempo medido resulto en 1.954 m/s el cual representa un error de 5.2 % respecto al

valor nominal estipulada en la normativa UNE EN 12574-2 En la figura 4.16 se muestra el desplazamiento del contenedor hasta su impacto.



**Figura 4.16** Impacto frontal de contenedor 2400 L. (Fuente: Autor)

#### **4.1.2.5.3 Impacto de cara lateral**

Para los impactos laterales se utilizó una plancha de acero de 10 mm de espesor teniendo una mayor superficie de impacto como se observa en la figura 4.17, la velocidad aproximada medida según la distancia calculada y el tiempo transcurrido fue aproximadamente 1.829 m/s con un error de 1.82% Considerándose inapreciable respecto a lo estipulado en la norma UNE EN 12574-2



**Figura 4.17** Impacto lateral de contenedor 2400 L. (Fuente: Autor)

#### **4.1.2.5.4 Impacto de esquina**

El impacto de esquina se realizó a una velocidad promedio de 1.424 m/s con un error mínimo del 9.53 %, obteniendo deformación únicamente en el pedal de apertura para los impactos realizados, en la figura 4.18 Se puede observar que el impacto concentra la afectación en el refuerzo del contenedor, sin generar deformaciones en el mismo.



**Figura 4.18** Impacto de esquina de contenedor 2400 L. (Fuente: Autor)

#### 4.1.2.5.5 Resultados de ensayo de impacto.

Para los impactos realizados se midió el tiempo transcurrido en las distancias calculadas que se pueden visualizar en el capítulo 3 con un error máximo de hasta el 13.92% y errores mínimos de hasta 1.35 %. El error es un poco considerable dado que la condición específica de velocidad es sensible a la variación del tiempo y dicha variación se da debido a la dificultad del control del desplazamiento del contenedor sobre la superficie inclinada en la tabla 4.13 se puede observar el error en detalle y los tiempos tomados para los distintos impactos del contenedor.

El impacto en la cara donde se ubica el pedal de apertura es extremadamente sensible a cualquier esfuerzo por los impactos realizados por lo cual se omitió en este trabajo experimental.

**Tabla 4.13** Condiciones de impacto del contenedor.

<b>Tipo de Ensayo</b>	<b>Número de impacto</b>	<b>Distancia promedio Recorrida (m)</b>	<b>Tiempo promedio Trascorrido (s)</b>	<b>Velocidad de Ensayo (m/s)</b>	<b>Error %</b>
Impacto de Cara Frontal	1	2.4	1.28	1.875	1.35%
	1	2.4	1.18	2.034	9.94%
Impactos de Caras Laterales	2	2.4	1.34	1.791	3.19%
	2	2.4	1.33	1.805	2.43%
	4	2.4	1.38	1.739	6 %
	4	2.4	1.21	1.983	7.21%
Impacto de esquina	1.2	1.2	0.82	1.463	12.53%
	1.2	1.2	0.84	1.428	9.84%

**Tabla 4.13** Condiciones de impacto del contenedor. Continuación.

Impacto de esquina	1.2	1.2	0.82	1.463	12.53%
	1.2	1.2	0.84	1.428	9.84%
	2.3	1.2	0.83	1.445	11.15%
	2.3	1.2	0.86	1.395	7.30%
	3.4	1.2	0.81	1.481	13.92%
	3.4	1.2	0.87	1.379	6.07%
	4.1	1.2	0.86	1.395	7.3%
	4.1	1.2	0.85	1.411	8.53%

(Fuente: Autor)

#### **4.1.2.6 Ensayo de elevación inclinación.**

Este ensayo representa una limitación en el aspecto práctico para la investigación, debido al impacto económico que implica tener a disponibilidad un camión que cumpla las características de la normativa UNE EN 1501-2, para la realización de los ciclos de trabajo sobre el contenedor. Sin embargo, para los contenedores puestos en servicio en el cantón Rumiñahui, los 100 ciclos de carga fueron cumplidos el mes de agosto, ya que la recolección de residuos en el sector es continua, los contenedores al menos han resistido 140 ciclos de carga y descarga por lo cual, se procede a verificar si las dimensiones que se especifican en la normativa UNE EN 12574-1 han cambiado de manera significativa, en la tabla 4.15 se especifica cada una de las dimensiones tomadas y el error de modelo para cada una de ellas, las mediciones se realizaron en la provincia de Pichincha en el cantón Rumiñahui, urbanización molinos de viento.

La figura 4.19 muestra cómo se realiza la elevación del contenedor en el cantón Rumiñahui, además se denota la ubicación de contenedor en la tabla 4.14 de cual fueron tomadas las dimensiones para la verificación de la afectación del contenedor debido a la elevación.



**Figura 4.19** Elevación de contenedor en cantón Rumiñahui.

(Fuente: Autor)

**Tabla 4.14** Especificación de ubicación contenedor para medición.

<b>REGISTRO DIMENSIONAL CONTENEDOR EN SERVICIO</b>		
<b>Lugar:</b> Cantón Rumiñahui, (Conjunto Molinos de Viento)	<b>Latitud:</b> -0,345002 <b>Longitud:</b> -78,4484	<b>Fecha:</b> 31 Agosto de 2018

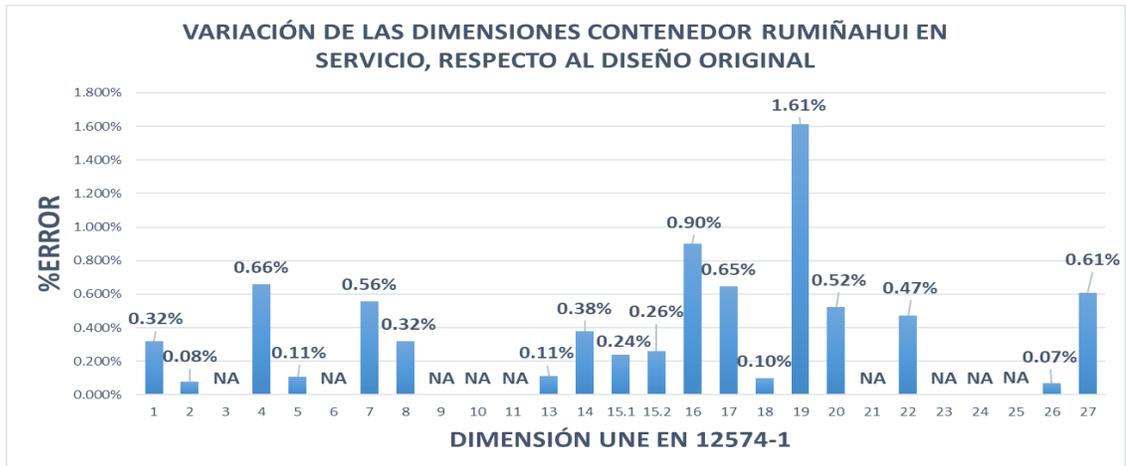
(Fuente: Autor)

**Tabla 4.15** Dimensiones de contenedor en servicio luego de cumplir 100 ciclos de carga. (Fuente: Autor)

N° Dimensión	Dimensión Nominal	Dimensión Real	Dimensión Modelo	Error %	A/R
1	1880±10	1886	1880	0,319%	Aceptada
2	1520 máx.	1306	1305	0,077%	Aceptada
3	1470 máx.	NA	NA	NA	Solo tapa plana
4	1350 máx.	1223	1215	0,658%	Aceptada
5	1350 máx.	1112	1113,2	0,108%	Aceptada
6	15 máx.	1.7	0	NA	Aceptada
7	240 ±50	216,2	215	0,558%	Aceptada
8	460 mín.	500,9	502,5	0,318%	Aceptada
9	460 máx.	NA	NA	NA	Solo tapa plana
10	0 a 90	NA	NA	NA	Solo tapa plana
11	80±5	NA	NA	NA	Solo tapa plana
12	30 mín.	38	42,82	11,256%	Aceptada
13	1760±10	1758	1760	0,114%	Aceptada
14	1650 máx.	1574	1580	0,380%	Aceptada
15	40±2	42,1	42	0,238%	Aceptada
15	40±2	38,2	38,1	0,262%	Aceptada
16	1050±50	1009	1000	0,900%	Aceptada
17	160±10	171,1	170	0,647%	Aceptada
18	450±50	449,55	450	0,100%	Aceptada
19	450 mín.	709	697,75	1,610%	Aceptada
20	1750 máx	1745	1735,89	0,525%	Aceptada
21	650 mín.	932	932	0,000%	Aceptada
22	1820 máx	1698	1690	0,473%	Aceptada
23	0 a 150	NA	NA	NA	Solo tapa plana
24	490±60	NA	NA	NA	Solo tapa plana
25	1700 máx.	1350	1350	0,000%	Aceptada
26	820 máx.	685	685,47	0,069%	Aceptada
27	820 máx.	681	685,18	0,610%	Aceptada

(Fuente: Autor)

En la figura 4.20 se puede ver la variación dimensional del contenedor en referencia a las dimensiones establecidas en el diseño obteniendo un error máximo de 1.61% para la dimensión funcional que representa la distancia de la tapa hasta el borde del refuerzo.



**Figura 4.20** Variación dimensional del contenedor de Rumiñahui respecto al modelo digital. (Fuente: Autor)

## 4.2 Análisis de resultados

Los resultados aquí presentados refieren a los diversos estudios de simulación, de los cuales se han de detallar en síntesis la afectación que tiene el contenedor de 2400 L frente a los ensayos estipulados en la norma UNE EN 12574-2, los análisis se basan en criterios de esfuerzo y deformación refieren a estimaciones cualitativas que permitirán verificar la hipótesis planteada en el capítulo 3.

### 4.2.1 Ensayos de simulación

A continuación, se muestra en un listado las simulaciones realizadas para la comprobación de la resistencia mecánica del contenedor de 2400 L. Para cada caso particular se describen las condiciones de frontera empleadas y las consideraciones de calidad y estadísticas de mado.

- Análisis estático
- Análisis modal
- Análisis explícito dinámico de impacto de bola (drop test)
- Análisis explícito dinámico de impacto de contenedor en inclinación
- Análisis a fatiga de contenedor debido a la elevación.

#### 4.2.1.1 Análisis estático

El análisis estático estructural se realiza para verificar el comportamiento del contenedor cuando se encuentra cargado en su respectivo lugar de acopio, este puede permanecer sujeto a los esfuerzos producidos por la carga hasta que se empiece el proceso de recolección, esta es una condición importante dado que los contenedores pasan la mayor parte del tiempo cargados. Al mismo tiempo este tipo de análisis permite verificar las uniones establecidas entre los componentes del contenedor, la calidad de la malla establecida y prever errores en el solucionador.

##### 4.2.1.1.1 Condiciones de frontera

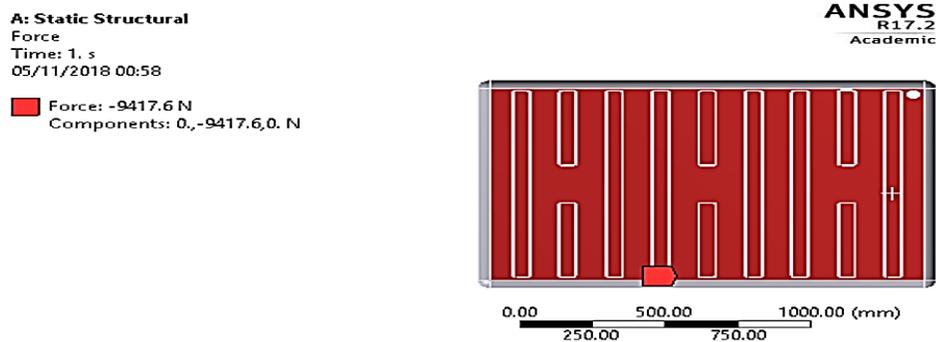
En el momento de servicio del contenedor, los puntos de apoyo se encuentran sobre las ruedas del contenedor, debido a la fricción entre los componentes las ruedas difícilmente rotan sobre los ejes de los pernos que sostiene a las ruedas, por lo cual se asume apoyos fijos para dos ruedas y apoyos móviles en las dos ruedas restantes con libre desplazamiento en la dirección z, aproximando así las condiciones reales del contenedor. La figura 4.21 muestra las condiciones establecidas para el ensayo de resistencia a carga nominal.



**Figura 4.21** Restricciones de movimiento para estudio estático y modal.(Fuente: Autor)

Al momento de cargar el contenedor en el ensayos reales con la masa de 960 kg, se pudo visualizar que la mayor parte de la carga se concentraba en la base del contenedor, por lo

cual la fuerza producida por la masa dictada en la UNE EN 12574-2, tiene una equivalencia de 9417.6 N aplicado a la base del contenedor en la dirección del eje Y negativo, tomando una gravedad de 9.81 m/s<sup>2</sup> constante. En la figura 4.22 se puede visualizar la aplicación de la carga a la superficie de la base del contenedor.



**Figura 4.22** Aplicación de carga nominal. (Fuente: Autor)

#### 4.2.1.1.2 Calidad de malla

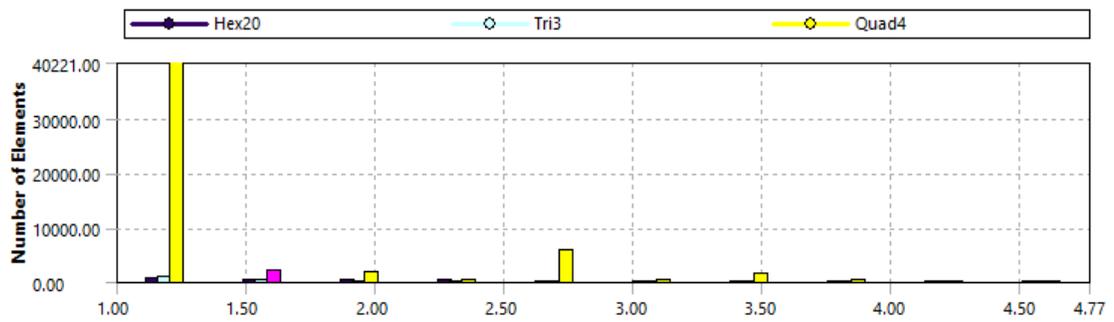
- **Aspect ratio**

El valor de ratio de aspecto promedio para los elementos que componen el contenedor está en un valor muy aceptable, la obtención de estos valores se los ha logrado con la aplicación de métodos de mallado para cada elemento sólido y Shell, obteniendo un promedio de 1.445, como se puede visualizar en la fig. 4.23 y la tabla 4.16, el mallado contiene en su mayoría elementos cuadriláteros recomendados para análisis explícitos dinámicos.

**Tabla 4.16** Relación de aspecto para análisis estático

Mesh Metric	Aspect Ratio
<input type="checkbox"/> Min	1.
<input type="checkbox"/> Max	4.773
<input type="checkbox"/> Average	1.4456
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0.66443

(Fuente: Autor)



**Figura 4.23** Estadística de tipo de elemento en mallado estático estructural.  
(Fuente: Autor)

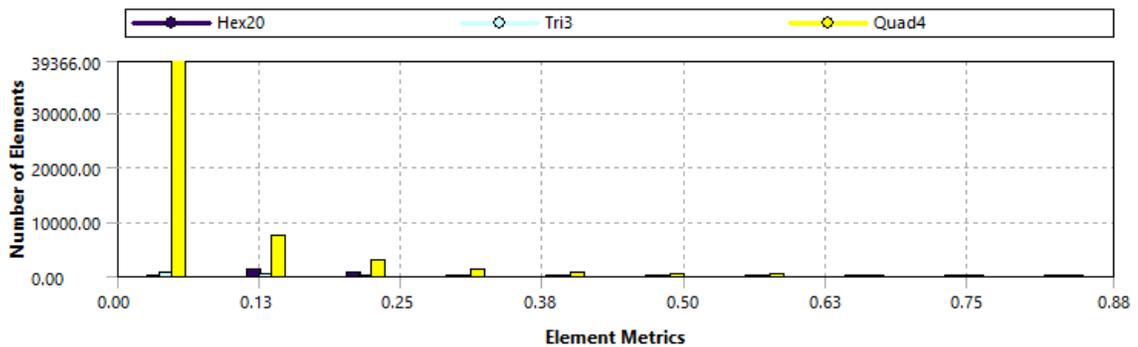
- **Skewness**

El valor de skewness es de 0.879 el cual se encuentra dentro del rango aceptable como se muestra en la tabla 4.17. Además, se puede observar en la figura 4.24 como predominan los elementos de forma cuadrangular, con lo cual se garantiza alta fiabilidad en los resultados.

**Tabla 4.17** Calidad de skewness para mallado estático.

Mesh Metric	Skewness
Min	5.0029e-011
Max	0.87902
Average	6.4502e-002
Standard Deviation	9.701e-002

(Fuente: Autor)



**Figura 4.24** Estadísticas de skewness para el mallado estático estructural.

(Fuente: Autor)

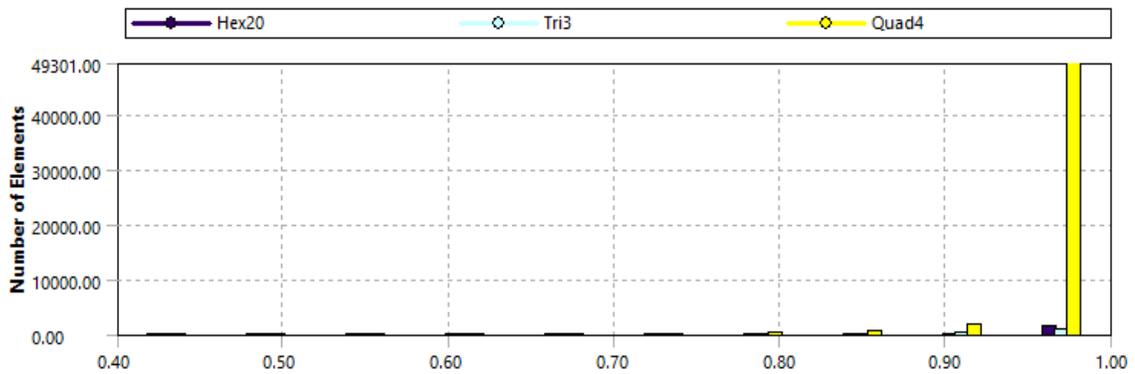
- **Ortogonalidad.**

Así mismo, la calidad ortogonal para los elementos de la malla se encuentra dentro del rango aceptable respecto a las escalas determinadas en el capítulo dos en la cual se pueden observar en la tabla 4.18 la aceptación con un valor mínimo de 0.4. La figura 4.25 muestra que el mallado tiene ortogonalidad elevada para elementos cuadrados.

**Tabla 4.18** Calidad ortogonal para mallado estático.

Mesh Metric	Orthogonal Quality
Min	0.40022
Max	1.
Average	0.9872
Standard Deviation	3.6021e-002

(Fuente: Autor)



**Figura 4.25** Estadísticas de ortogonalidad para el mallado estructural.

(Fuente: Autor)

#### 4.2.1.1.3 Resultados de simulación

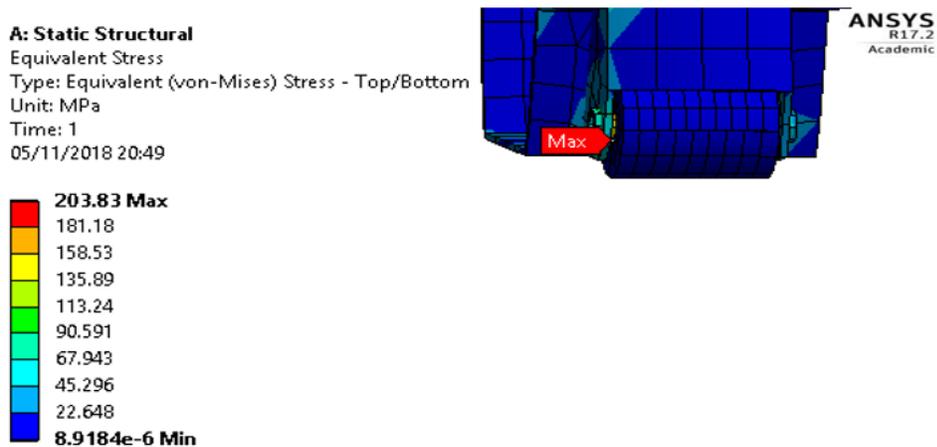
El esfuerzo máximo producido por la carga nominal se concentra los pernos hexagonales ½ x 4” UNC de soporte del contenedor, según la especificación de la tabla 4.19. La resistencia a la fluencia de este acero es 57 kpsi lo que equivale a 393 Mpa siendo el esfuerzo equivalente de Von Mises 203.83 Mpa el perno resiste a la carga que se le somete.

[34]

**Tabla 4.19** Resistencia para pernos según la SAE J429. [34]

Grade	Nominal size, inches	Full size proofload, psi	Yield strength, min, psi	Tensile strength, min, psi	Elong, min, %	RA, min, %	Core hardness, Rockwell
2	¼ - ¾ inch	55,000	57,000	74,000	18	35	B80 to B100
	¾ - 1 1/2 inch	33,000	36,000	60,000	18	35	B70 to B100

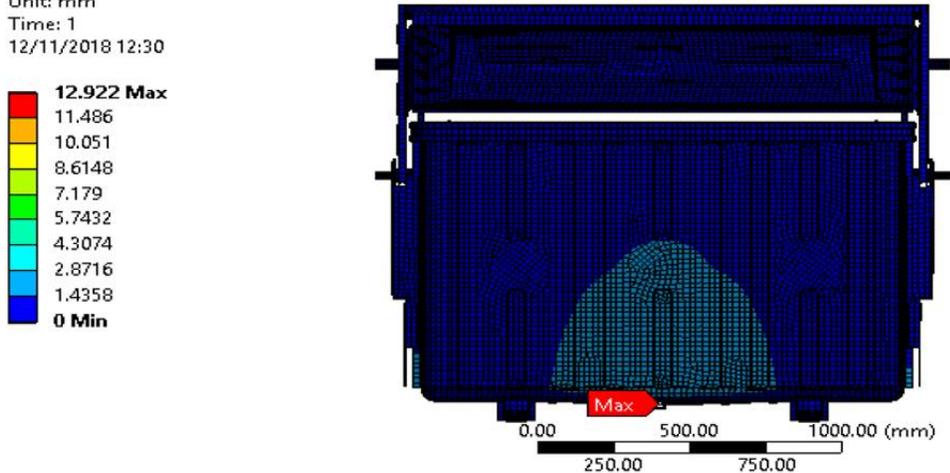
En la figura 4.26 se puede observar cómo se concentra el esfuerzo en los pernos del contenedor, dado que estos son el soporte principal del contenedor.



**Figura 4.26** Esfuerzo de Von mises máximo debido a la carga nominal. (Fuente: Autor)

En la tabla 4.20 se puede observar las condiciones para el ensayo estático estructural, además los resultados obtenidos para dicho ensayo el cual resiste las especificaciones dictadas por la norma UNE EN1274-2

**Tabla 4.20** Simulación de ensayo estructural del contenedor de 2400 L con carga nominal según UNE EN12574-2.

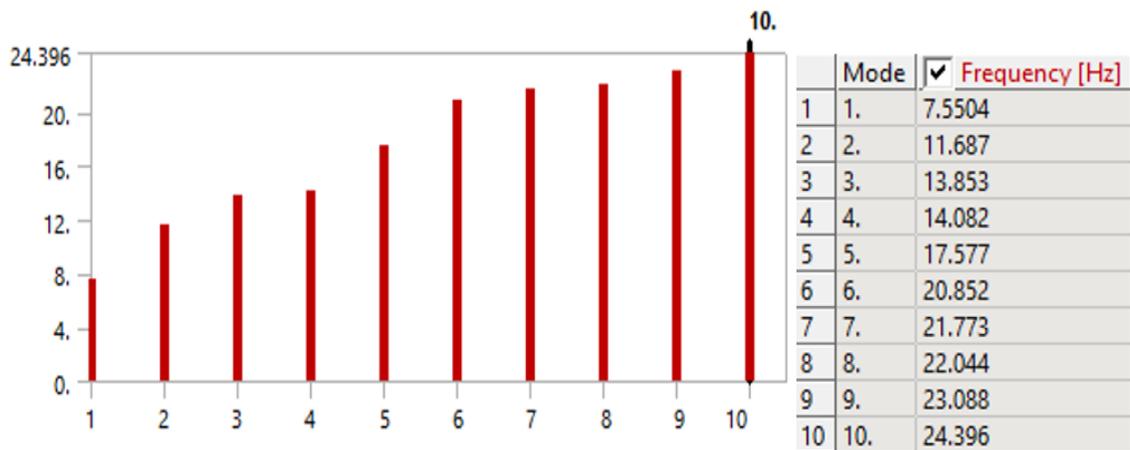
 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 			
<b>SIMULACIÓN DE ENSAYO DE ESTÁTICO ESTRUCTURAL</b>			
<b>Norma Aplicable:</b>	Contenedores fijos para residuos UNE-EN 12574-2 Requisitos de funcionamiento y métodos de ensayo		
<b>Fecha de Ejecución:</b>	26/10/2018	<b>Realizado por:</b>	Gustavo Pomaquero
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Diego Núñez
<b>Relación de Aspecto Mínima:</b>	1	<b>Relación de aspecto máxima:</b>	4.7
		<b>Skewness Máximo</b>	0.87
<b>Ortogonalidad Máxima:</b>	1	<b>Ortogonalidad Mínima:</b>	0.4
<b>Número de Elementos:</b>	54593	<b>Número de Nodos:</b>	64325
<b>Tiempo de Procesamiento:</b>	6h 33 min	<b>Número de Procesadores:</b>	1
<b>Memoria RAM: 16 GB</b>		<b>Tipo de Contenedor de Residuos: Carga Lateral 2400 L</b>	
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>			
<p><b>A: Static Structural</b>                      Total Deformation                      Type: Total Deformation                      Unit: mm                      Time: 1                      12/11/2018 12:30</p> <p style="text-align: right;"><b>ANSYS</b> R17.2 Academic</p> 			
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>			
<b>Esfuerzo mínimo:</b>	8.91e-6 Mpa	<b>Deformación mínima:</b>	0
<b>Esfuerzo máximo:</b>	203.83 Mpa	<b>Deformación máxima:</b>	12.922 mm

(Fuente: Autor)

#### 4.2.1.2 Análisis modal.

El análisis modal del contenedor nos sirve para verificar la correcta ejecución de las conexiones y restricciones del modelo y aún más importante para la estimación del tiempo empleado en el estudio explícito dinámico, es necesario hallar la frecuencia natural más baja, cuyo valor inverso representa el tiempo que debe emplearse en los análisis de impacto. En la figura 4.27 se puede observar los modos de vibración con sus respectivas frecuencias, siendo la más baja 7.55 Hz.

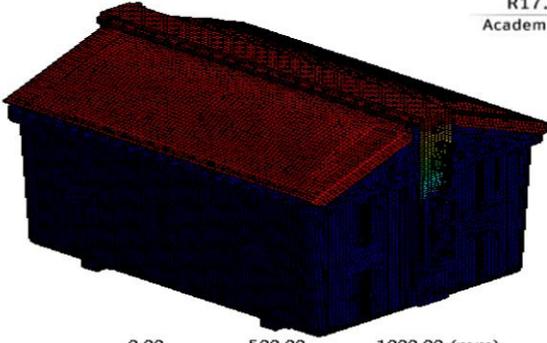
Para determinar el tiempo de simulación para el impacto de bola y para los impactos laterales se toma el valor inverso de la frecuencia más baja del análisis modal, obteniendo un valor de 0.13 s con lo cual se establece el tiempo necesario para correr el análisis según la normativa UNE EN 12574-2.



**Figura 4.27** Determinación de frecuencia natural más baja. (Fuente: Autor)

En la tabla 4.21 se puede observar las condiciones para el ensayo modal además, los resultados obtenidos para dicho ensayo, este ensayo es imprescindible para la estimación del tiempo de simulación, como se puede apreciar la mínima frecuencia genera una deformación, máxima de 4.82 mm, considerado como un desplazamiento entre las tapas del contenedor.

Tabla 4.21 Simulación de ensayo modal de contenedor de 2400 L.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 			
<b>SIMULACIÓN DE MODAL</b>			
<b>Norma Aplicable:</b>	Contenedores fijos para residuos UNE-EN 12574-2 Requisitos de funcionamiento y métodos de ensayo		
<b>Fecha de Ejecución:</b>	26/10/2018	<b>Realizado por:</b>	Gustavo Pomaquero
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Diego Núñez
<b>Relación de Aspecto Mínima:</b>	1	<b>Relación de aspecto máxima:</b>	4.7
<b>Skewness Máximo</b>	0.87	<b>Skewness Mínimo</b>	5e-11
<b>Ortogonalidad Máxima:</b>	1	<b>Ortogonalidad Mínima:</b>	0.4
<b>Número de Elementos:</b>	54593	<b>Número de Nodos:</b>	64325
<b>Tiempo de Procesamiento:</b>	1 h 20 min	<b>Número de Procesadores:</b>	1
<b>Memoria RAM:</b> 16 GB		<b>Tipo de Contenedor de Residuos:</b> Carga Lateral 2400 L	
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>			
<p><b>B: Modal</b>                      Total Deformation                      Type: Total Deformation                      Frequency: 7.5504 Hz                      Unit: mm                      12/11/2018 12:04</p>  <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p><b>4.8281 Max</b></p>  <p><b>0 Min</b></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>0.00      500.00      1000.00 (mm)                      250.00      750.00</p> </div> </div>			
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>			
<b>Frecuencia mínima:</b>	7.55 Hz	<b>Frecuencia Máxima:</b>	24.396 Hz
<b>Deformación Máxima:</b>	4.82 mm	<b>Deformación Mínima:</b>	0 mm

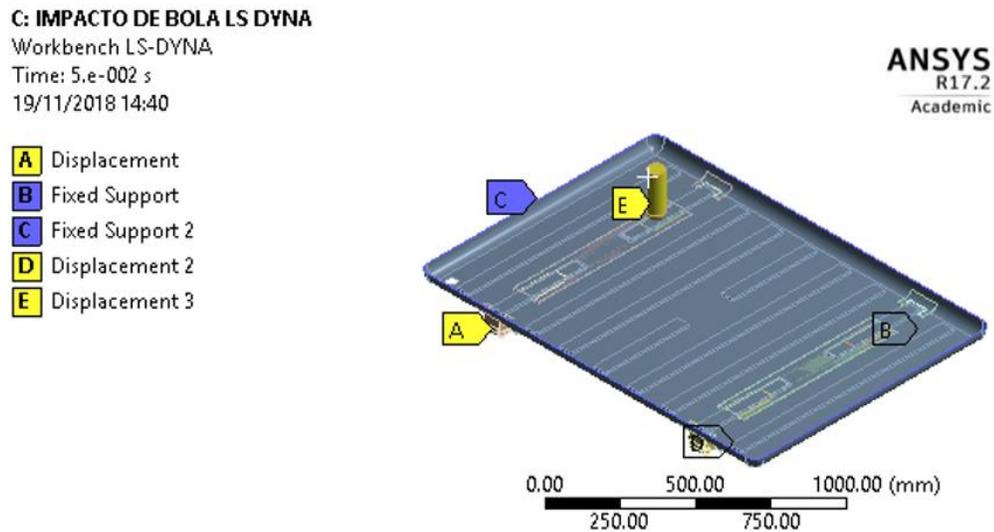
(Fuente: Autor)

### 4.2.1.3 Análisis de impacto de bola

La validación del modelo se lo ha realizado comparando los valores de deformación medidas en el ensayo real, en 5 puntos específicos de impacto respecto a los ejecutados en el ensayo explícito con lo cual se da garantía de que los resultados se aproximan de una manera aceptable. Para los impactos tanto para el de 1.5 m de la base y 0.8 m de las tapas se han realizado cálculos que determinan las velocidades a considerarse en el análisis a una distancia de 1 mm de separación entre el contenedor y la superficie de impacto.

#### 4.2.1.3.1 Condiciones de frontera impacto de base.

Se ha establecido que el desplazamiento del impactador quede restringido en las direcciones x, z dado que el tubo de impactador dirige la dirección de impacto siendo está completamente vertical. La figura 4.28 muestra las condiciones establecidas para el ensayo de impacto de bola.



**Figura 4.28** Condiciones para el impacto de bola. (Fuente: Autor)

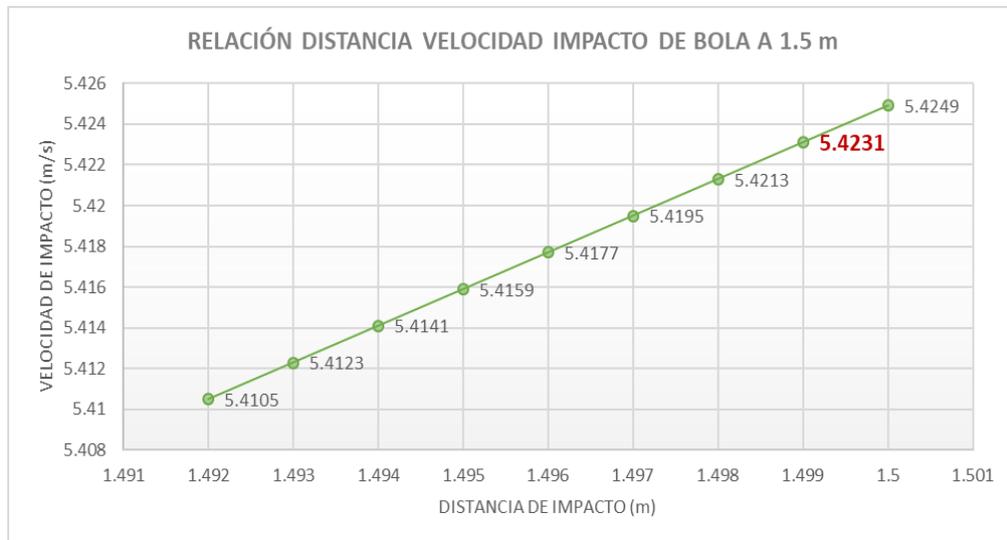
La tabla 4.22, muestran la relación entre las dos variables, la velocidad remarcada es la que ha de utilizarse en el análisis explícito dinámico para la base del contenedor. Se puede observar como la relación de velocidad es proporcional a la altura de caída.

**Tabla 4.22** Relación de distancia y velocidad para impacto de bola para base tina.

<b>Distancia (m)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>
1.492	5.4105
1.493	5.4123
1.494	5.4141
1.495	5.4159
1.496	5.4177
1.497	5.4195
1.498	5.4213
<b>1.499</b>	<b>5.4231</b>
1.5	5.4249

(Fuente: Autor)

La figura 4.29 muestra la relación establecida por la ecuación 3.3 la cual define la dependencia de la velocidad e impacto debido a la caída libre del impactador, como se puede apreciar el impacto se realiza a 1.5 m de distancia, considerando la velocidad final del impactador a 1 mm de distancia la velocidad para los impactos de la base será de 5.4231 m/s



**Figura 4.29** Gráfica de tendencia de la relación distancia a velocidad de impacto.

(Fuente: Autor)

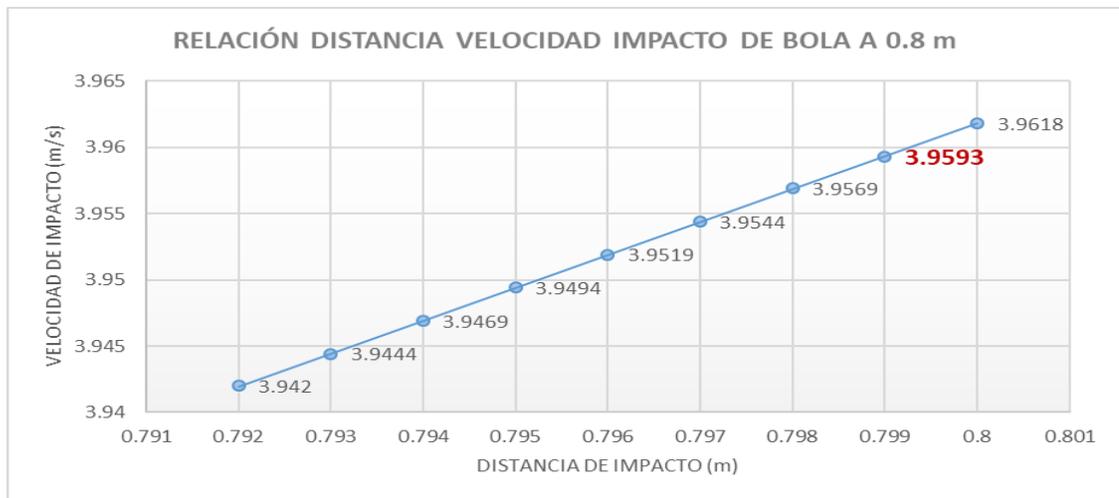
La tabla 4.23, muestran la relación entre las dos variables, la velocidad remarcada es la que ha de utilizarse en el análisis explícito dinámico para las tapas del contenedor. Se puede observar como la relación de velocidad es proporcional a la altura de caída

**Tabla 4.23** Relación de distancia y velocidad para impacto de tapas.

Distancia (m)	Velocidad (m/s)
0.792	3.942
0.793	3.9444
0.794	3.9469
0.795	3.9494
0.796	3.9519
0.797	3.9544
0.798	3.9569
<b>0.799</b>	<b>3.9593</b>
0.8	3.9618

(Fuente: Autor)

La figura 4.30 muestra la relación establecida por la ecuación 3.3 la cual define la dependencia de la velocidad e impacto debido a la caída libre del impactador, como se puede apreciar el impacto se realiza a 0.8 m de distancia, considerando la velocidad final del impactador a 1 mm de distancia la velocidad para los impactos de la base será de 3.9593 m/s



**Figura 4.30** Gráfica de tendencia de la relación distancia a velocidad de impacto.

(Fuente: Autor)

Para iniciar con el análisis de impacto en la base el primer paso es definir la velocidad de impacto en la pestaña de condiciones iniciales la velocidad de impacto del dispositivo es 5.4231 m/s a una distancia de 1 mm de la superficie de impacto.

Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
Definition	
Input Type	Velocity
Define By	Components
Coordinate System	Global Coordinate System
<input type="checkbox"/> X Component	0. mm/s
<input type="checkbox"/> Y Component	-5423.1 mm/s
<input type="checkbox"/> Z Component	0. mm/s
Suppressed	No

**Figura 4.31** Velocidad aplicada al impactador para ensayo de base. (Fuente: Autor)

Para el impacto sobre las tapas del contenedor la velocidad del dispositivo es de 3.9593 m/s la cual depende de la altura de 0.8 m establecida en la norma UNE EN 12574-2, de igual manera considerándolo a 1 mm de distancia de la superficie de impacto.

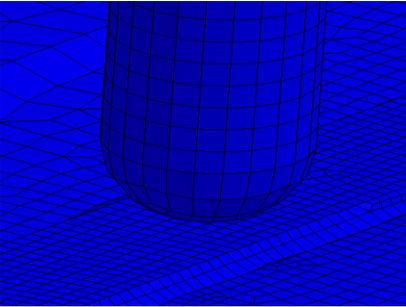
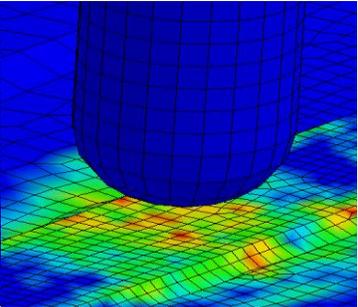
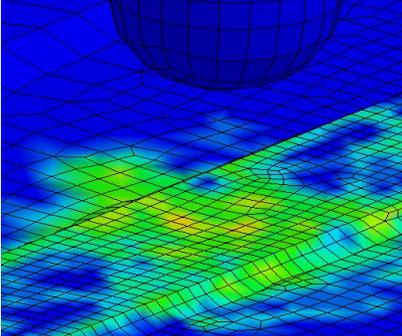
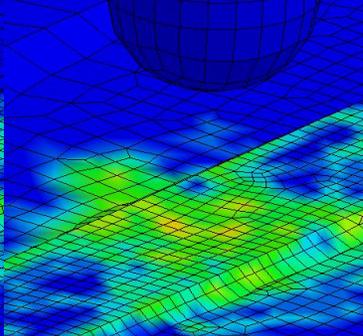
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Body
Definition	
Input Type	Velocity
Define By	Components
Coordinate System	Global Coordinate System
<input type="checkbox"/> X Component	0. mm/s
<input type="checkbox"/> Y Component	-3959.3 mm/s
<input type="checkbox"/> Z Component	0. mm/s
Suppressed	No

**Figura 4.32** Velocidad aplicada al impactador para ensayo de tapas. (Fuente: Autor)

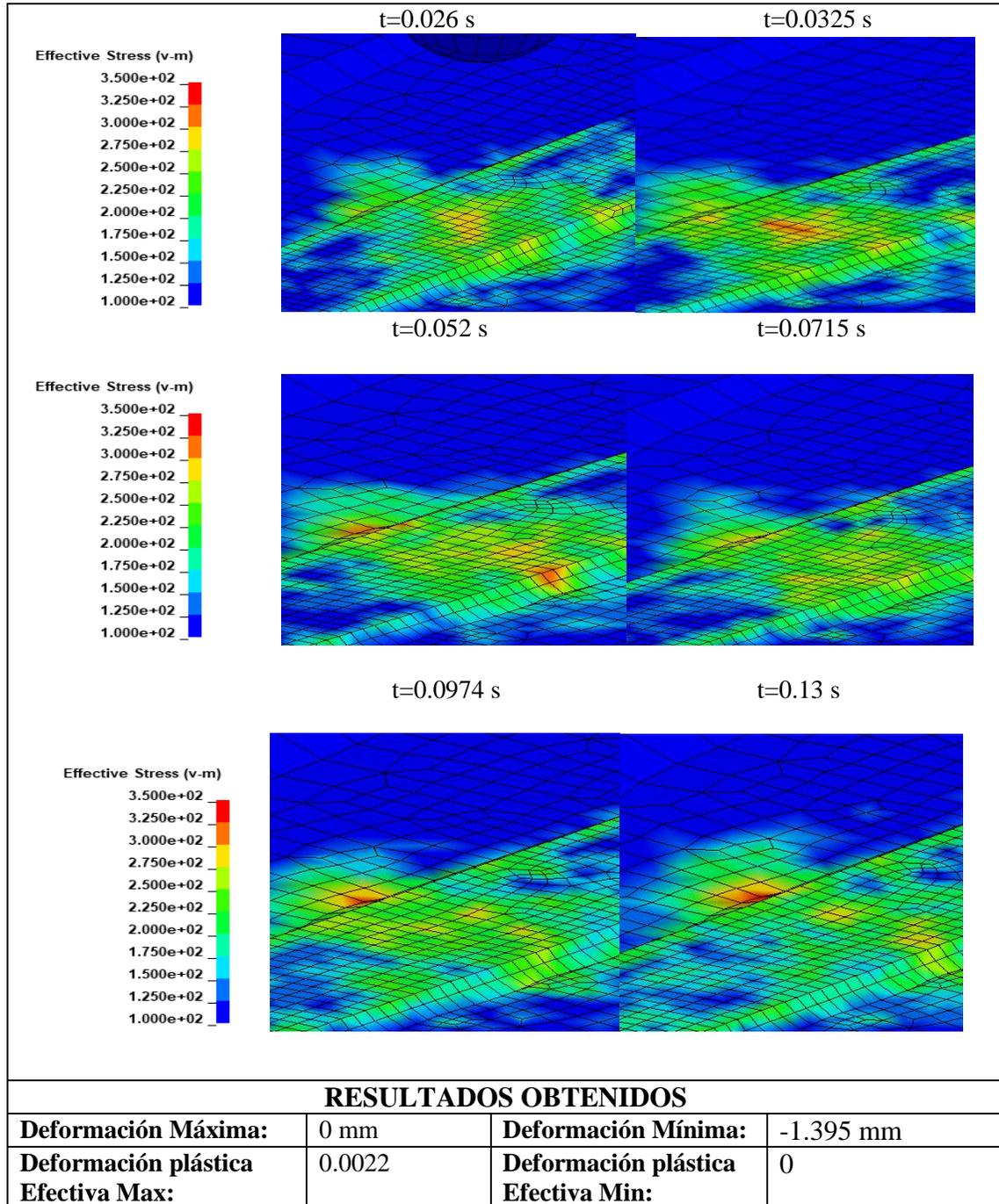
- **Resultados de Simulación**

**4.2.1.3.2 Impacto con modelo de material johnson cook.**

**Tabla 4.24** Simulación de impacto de bola johnson cook.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 			
<b>SIMULACIÓN DE ENSAYO DE IMPACTO DE BOLA.</b>			
<b>Norma Aplicable:</b>	Contenedores fijos para residuos UNE-EN 12574-2 Requisitos de funcionamiento y métodos de ensayo		
<b>Fecha de Ejecución:</b>	26/10/2018	<b>Realizado por:</b>	Gustavo Pomaquero
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Diego Núñez
<b>Relación de Aspecto Mínima:</b>	1	<b>Relación de aspecto máxima:</b>	4.77
<b>Skewness Máximo</b>	0.879	<b>Skewness Mínimo</b>	0
<b>Ortogonalidad Máxima:</b>	1	<b>Ortogonalidad Mínima:</b>	0.4
<b>Número de Elementos:</b>	54593	<b>Número de Nodos:</b>	64325
<b>Tiempo de Procesamiento:</b>	9h 35 min	<b>Número de Procesadores:</b>	1
<b>Memoria RAM: 16 GB</b>		<b>Tipo de Contenedor de Residuos: Carga Lateral 2400 L</b>	
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>			
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>t=0 s</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>t =0.006 s</p>  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;"> <p>t=0.013 s</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>t=0.019 s</p>  </div> </div>			

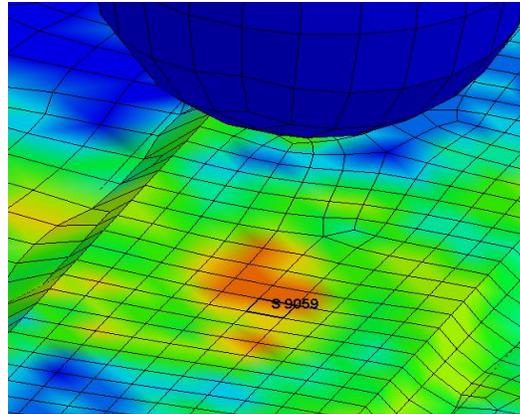
**Tabla 4.24** Simulación de impacto de bola johnson cook. Continuación.



(Fuente: Autor)

El elemento 9059 se encuentra en el punto central del impacto, es el que se ve afectado de manera directa por lo cual se evaluará, su desplazamiento en el eje y, además se

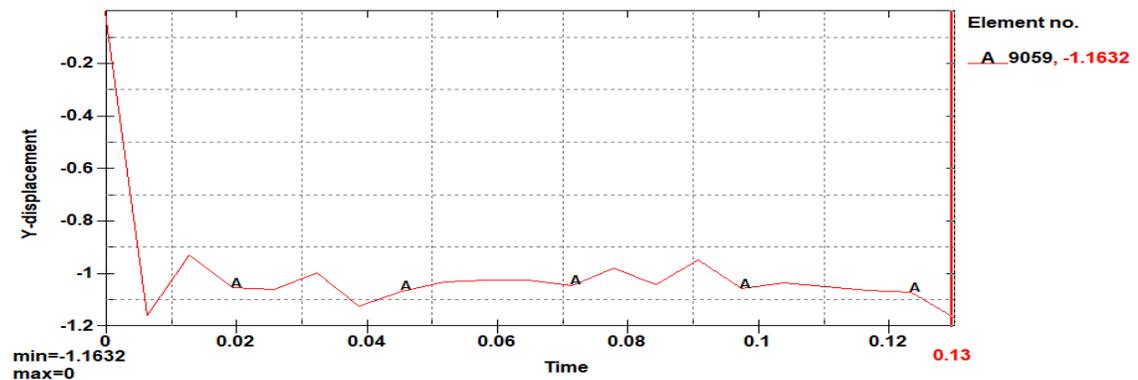
determinará su deformación plástica equivalente y el esfuerzo generado debido al impacto como se observa en la figura 4.33.



**Figura 4.33** Elemento central de impacto modelo johnson cook

(Fuente: Autor)

Como se puede visualizar en la figura 4.34, el desplazamiento máximo para el elemento 9059 es de 1.1632 un valor muy aproximado a las mediciones tomadas donde el desplazamiento máximo de los puntos de medición fue 1.24 el error debido a que son deformaciones muy pequeñas. Además, se puede visualizar que la deformación se estabiliza aproximadamente en el tiempo de 0.02 s.

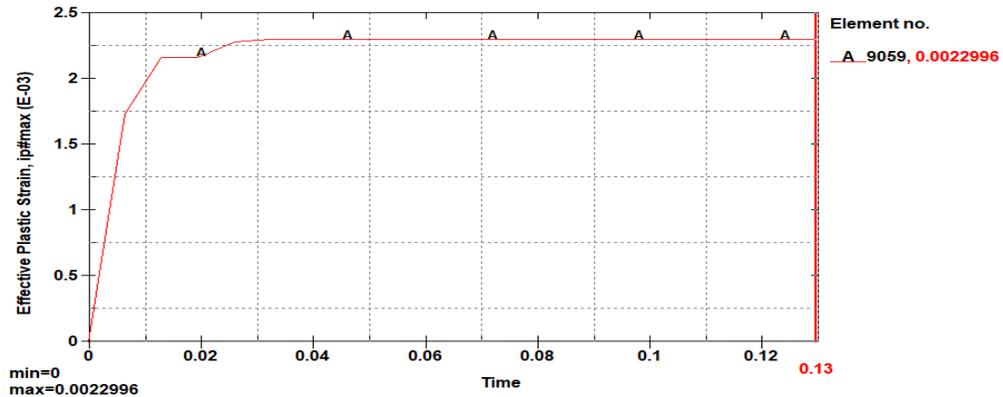


**Figura 4.34** Desplazamiento de elemento 9059 debido al impacto.

(Fuente: Autor)

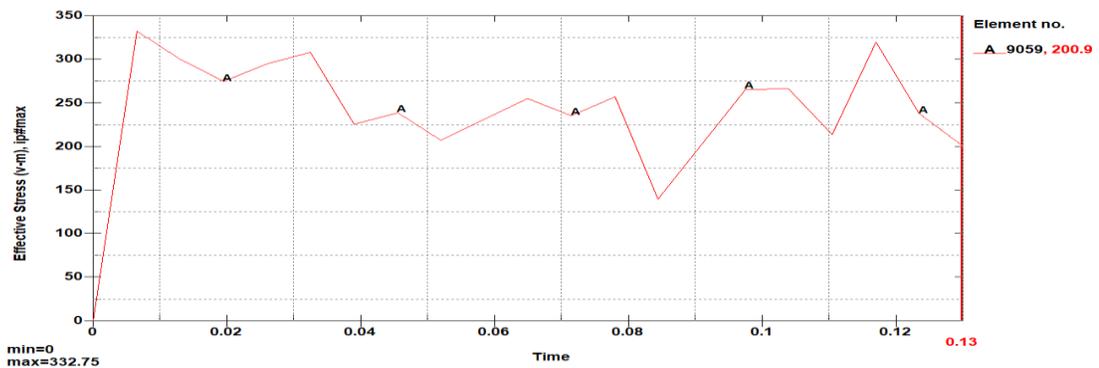
La figura 4.35 muestra el comportamiento del elemento 9059 debido al impacto el cual tiene un valor de 0.0022 en el tiempo último de análisis el cual fue 0.13 s, además se observa

un comportamiento constante aproximadamente luego de los 0.03 s, dado que no se supera el esfuerzo plástico efectivo del material que fue de 0.3, la falla plástica en el material no está presente. El valor de deformación plástica para el elemento más crítico es demasiado pequeño para ser considerable.



**Figura 4.35** Deformación plástica efectiva de elemento 9059 debido al impacto A1-S3 johnson cook. (Fuente: Autor)

El esfuerzo es máximo en el modelo en el punto central del impacto para el elemento 9059 se visualiza en la figura 4.36, el cual tiene un valor de 200.9 Mpa en el tiempo de 0.13 s. El impacto produce un esfuerzo significativo en el material, que se traducen en las deformaciones medidas y simuladas en esta investigación. La norma UNE EN12574.2 hace referencia únicamente a deformaciones excesivas y rupturas en uniones soldadas, de los ensayos experimentales se sabe que estos parámetros no están presentes. Sin embargo, se expone el esfuerzo para consideraciones de rediseño posteriores a esta investigación.



**Figura 4.36** Esfuerzo en elemento 9059 producido por impacto de bola A1-S3 johnson cook. (Fuente: Autor)

La tabla 4.25 se muestran los esfuerzos producidos debido al impacto en el modelo Johnson Cook, los cuales son fluctuantes debido al impacto de bola.

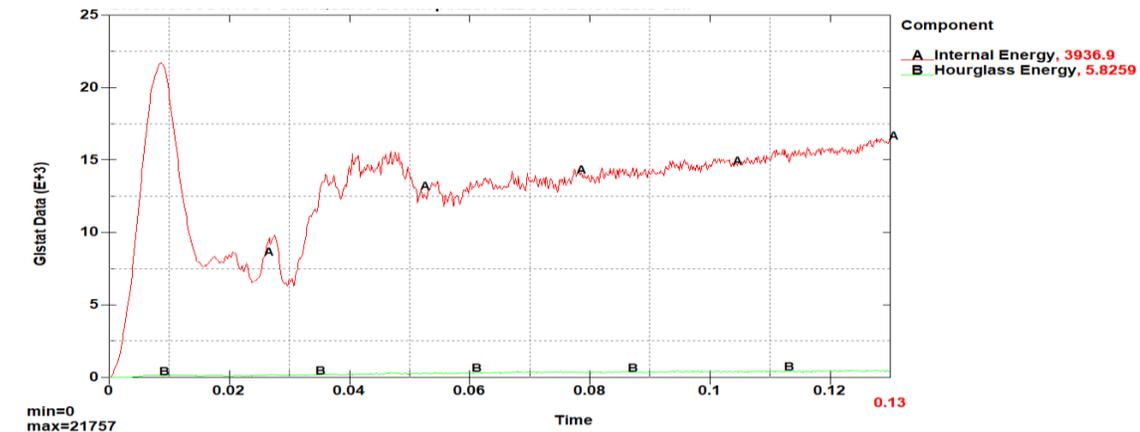
**Tabla 4.25** Esfuerzos producidos en elemento crítico 9059 johnson cook.

<b>Tiempo (s)</b>	<b>Esfuerzo Máximo (Mpa)</b>
0.	0.
6.4998e-003	332.75
1.3e-002	300.62
1.95e-002	274.89
2.6e-002	295.77
3.25e-002	308.78
3.9e-002	226.17
4.55e-002	239.03
5.2e-002	207.21
5.85e-002	231.94
6.5e-002	255.27
7.15e-002	235.78
7.8e-002	257.64
8.45e-002	139.77
9.1e-002	203.15
9.75e-002	266.15
0.104	266.78
0.1105	213.77
0.117	320.59
0.1235	238.28
0.13	200.9

(Fuente: Autor)

### **Energía hourglass johnson cook.**

La figura 4.37 presenta la comparación de la energía interna y hourglass para el impacto realizado con modelo de material Johnson Cook. Obteniendo una relación de 2.22% menor al 10% permitido para simulaciones dinámicas.



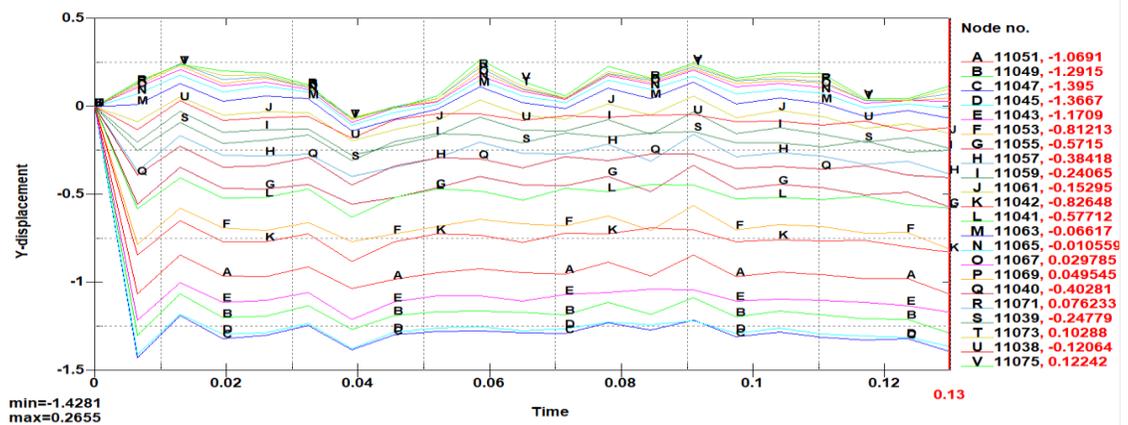
**Figura 4.37** Energía de hourglass debido al impacto área-1 sección 3 (johnson cook)

(Fuente: Autor)

• **Validación de Resultados.**

Los datos arrojados de los ensayos reales fueron perfiles de deformación permanente en las bases y las tapas del contenedor por lo cual este es el parámetro para la verificación de la funcionalidad del modelo de elemento finito.

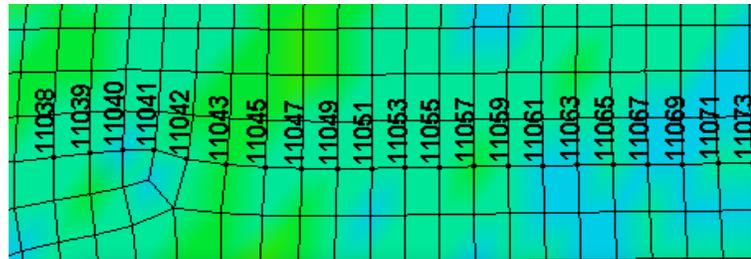
En la figura 4.38, se muestra los desplazamientos de varios nodos los cuales se encuentran cerca de la sección de impacto separados a 5 mm cada uno, el valor máximo de desplazamiento para este impacto fue de 1.395 mm, con un error respecto a la medición real de 11%.



**Figura 4.38** Desplazamientos de los nodos cercanos al punto de impacto johnson cook.

(Fuente: Autor)

En la figura 4.39 se observa los nodos afectados por el impacto de los cuales se presenta las deformaciones sobre el eje Y, para la validación del modelo se toma en consideración la deformación máxima de correspondiente al nodo 11047 que presenta una deformación máxima -1.395 mm con un error del 13% respecto al valor medido que es un valor aceptable dado la escala milimétrica de corroboración de los resultados.



**Figura 4.39** Nodos cercanos al impacto modelo johnson cook. (Fuente: Autor)

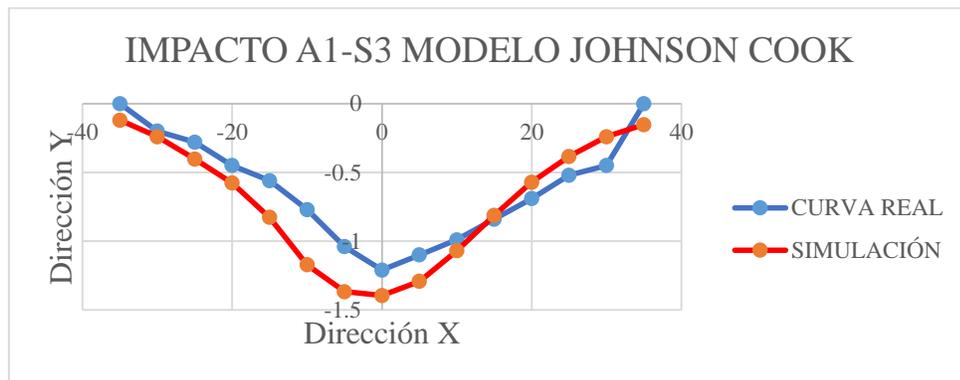
En la tabla 4.26 se puede apreciar las deformaciones tanto para los puntos medidos como para los nodos a distancias de 5 mm definido por las distancias a las cuales se realizó las mediciones de deformación. Para la simulación realizada se realizó una malla en la cara de impacto con un valor equivalente a las distancias de medida.

**Tabla 4.26** Resultados johnson cook para ensayo balístico área 1 sección 3.

N° NODO	DIRECCIÓN X (mm)	DIRECCIÓN Y (mm) REAL	DIRECCIÓN Y (mm) FEM
11039	-30	-0.2	-0.2406
11040	-25	-0.28	-0.4028
11041	-20	-0.45	-0.5771
11042	-15	-0.56	-0.8264
11043	-10	-0.77	-1.1709
11045	-5	-1.04	-1.3667
11047	0	-1.24	-1.395
11049	5	-1.1	-1.2915
11051	10	-0.99	-1.0691
11053	15	-0.84	-0.8121
11055	20	-0.69	-0.5715
11057	25	-0.52	-0.3841
11059	30	-0.45	-0.2406

(Fuente: Autor)

Como se observa en la figura 4.40 el valor máximo de deformación simulado es muy cercano al valor medido, la curva de deformación se ajusta relativamente bien, sin embargo, la apreciación de la deformación para la simulación tiene un alcance mayor. Para la estimación del error se han tomado únicamente los valores hasta donde las mediciones reales lo permitieron. El modelo Johnson Cook tiene un valor de error más elevado que el modelo Piecewise. En la tabla 4.26 se puede apreciar el error del 13% realizado para el punto de medida de máxima



**Figura 4.40** Comparación de deformación real y simulado johnson cook

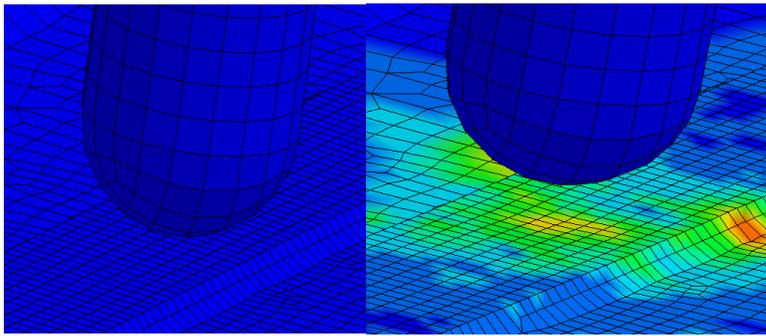
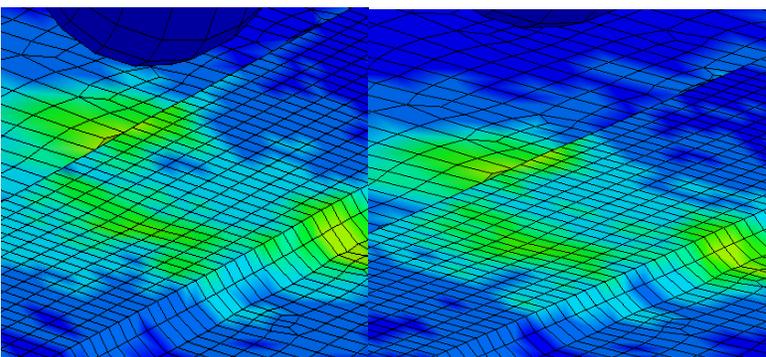
(Fuente: Autor)

#### 4.2.1.3.3 Impacto de bola piecewise linear

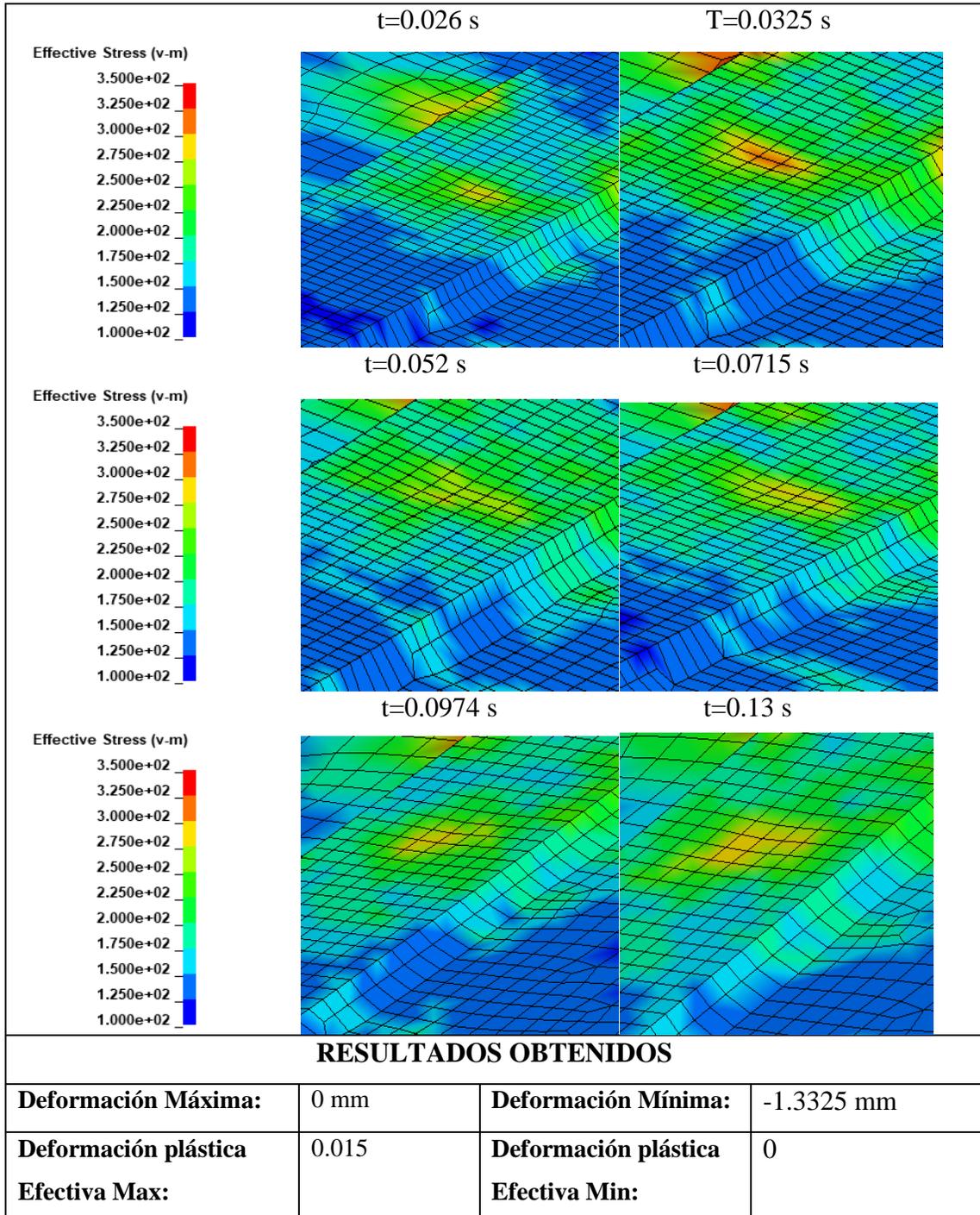
##### a) Impacto en base

El modelo Piecewise Linear esta en dependencia de la curva esfuerzo deformación, este modelo es ampliamente usado en acero estructural, a continuación, se realizar diversos impactos en la base y en las tapas para corroborar los resultados experimentales realizados, se puede observar en la tabla 4.27, los resultados en el mismo punto de impacto del modelo Johnson Cook del cual se puede verificar que los resultados para el modelo utilizado a continuación se ajusta de mejor manera al ensayo de impacto balístico.

**Tabla 4.27** Simulación de impacto de bola según área 1-sección 3 (piecewize)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 			
<b>SIMULACIÓN DE ENSAYO DE IMPACTO DE BOLA.</b>			
<b>Norma Aplicable:</b>	Contenedores fijos para residuos UNE-EN 12574-2 Requisitos de funcionamiento y métodos de ensayo		
<b>Fecha de Ejecución:</b>	26/10/2018	<b>Realizado por:</b>	Gustavo Pomaquero
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Diego Núñez
<b>Relación de Aspecto Mínima:</b>	1	<b>Relación de aspecto máxima:</b>	4.77
<b>Skewness Máximo</b>	0.879	<b>Skewness Mínimo</b>	0
<b>Ortogonalidad Máxima:</b>	1	<b>Ortogonalidad Mínima:</b>	0.4
<b>Número de Elementos:</b>	54593	<b>Número de Nodos:</b>	64325
<b>Tiempo de Procesamiento:</b>	9h 35 min	<b>Número de Procesadores:</b>	1
<b>Memoria RAM:</b> 16 GB		<b>Tipo de Contenedor de Residuos:</b> Carga Lateral 2400 L	
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>			
		<b>t=0 s</b>	<b>t=0.006 s</b>
<b>Effective Stress (v-m)</b> 3.500e+02 3.250e+02 3.000e+02 2.750e+02 2.500e+02 2.250e+02 2.000e+02 1.750e+02 1.500e+02 1.250e+02 1.000e+02			
	<b>Effective Stress (v-m)</b> 3.500e+02 3.250e+02 3.000e+02 2.750e+02 2.500e+02 2.250e+02 2.000e+02 1.750e+02 1.500e+02 1.250e+02 1.000e+02		

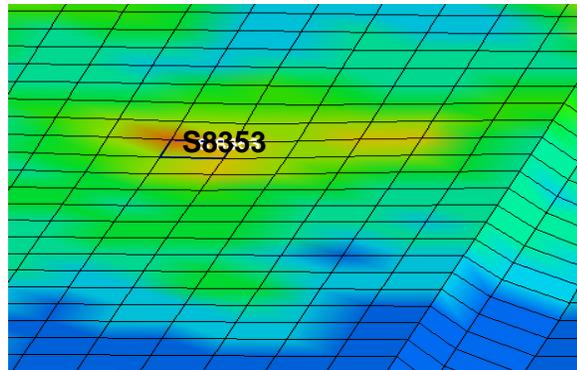
**Tabla 4.27.** Simulación de impacto de bola área 1-sección 3 (piecewise). Continuación



(Fuente: Autor)

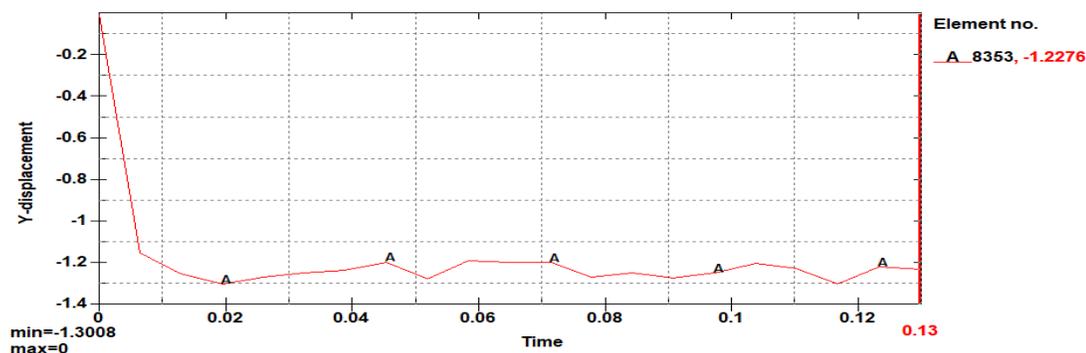
Como se puede observar en la figura 4.41, el elemento 8353 se encuentra en el punto central del impacto, el cual se ve afectado de manera directa, por lo cual se evaluará: su

desplazamiento en el eje Y, su deformación plástica equivalente y el esfuerzo generado por el impacto.



**Figura 4.41** Elemento 8353 en el punto central de impacto. (Fuente: Autor)

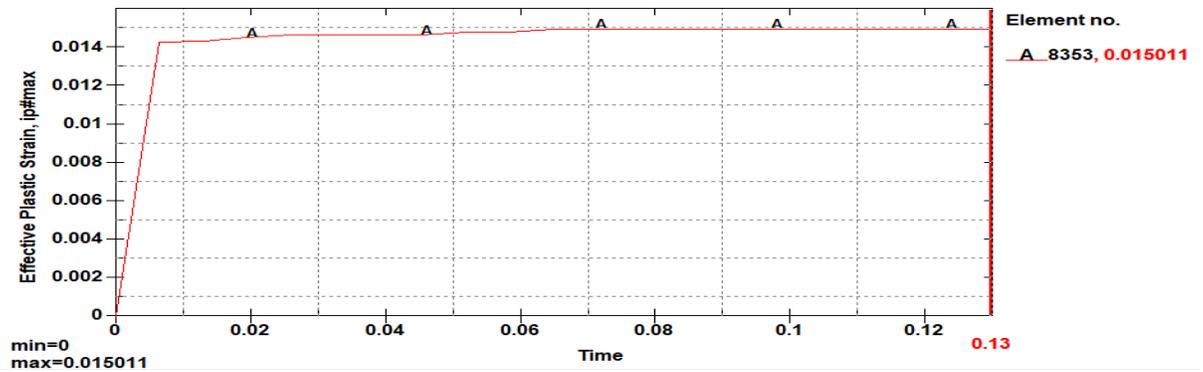
Como se puede visualizar en la figura 4.42, el desplazamiento máximo para el elemento 8353 es de 1.2276 mm, un valor muy aproximado a las mediciones tomadas donde el desplazamiento máximo de los puntos de medición fue 1.24 mm un valor mucho más aproximado que el modelo Johnson Cook. Por lo cual las simulaciones se realizarán con este modelo de material. Además, se puede visualizar que la deformación se estabiliza aproximadamente en el tiempo de 0.02 s.



**Figura 4.42** Desplazamiento en dirección Y de elemento 8353 debido al impacto. (Fuente: Autor)

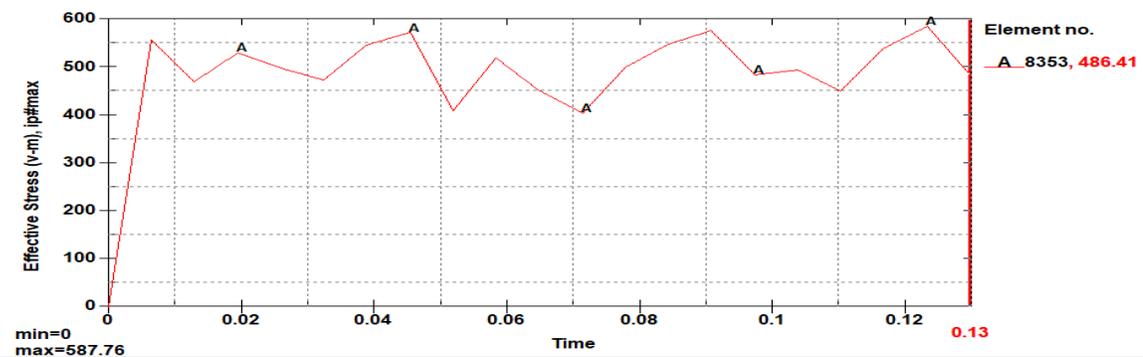
La figura 4.43 se muestra el comportamiento plástico del elemento 8353 debido al impacto el cual tiene un valor de 0.015 en el tiempo ultimo de análisis el cual fue 0.13 s, además se observa un comportamiento constante aproximadamente luego de los 0.06 s, dado que

no se supera el esfuerzo plástico efectivo del material que fue de 0.3, la falla plástica en el material no está presente.



**Figura 4.43** Deformación plástica efectiva de elemento 8353 debido al impacto. (Fuente: Autor)

El esfuerzo es máximo en el modelo en el punto central del impacto para el elemento 8353 se visualiza en la figura 4.45, el cual tiene un valor de 486.41 Mpa en el tiempo de 0.13 s. El impacto produce un esfuerzo significativo en el material, que se traducen en las deformaciones medidas y simuladas en esta investigación. La norma UNE EN12574.2 hace referencia únicamente a deformaciones excesivas y rupturas en uniones soldadas, de los ensayos experimentales se sabe que estos parámetros no están presentes.

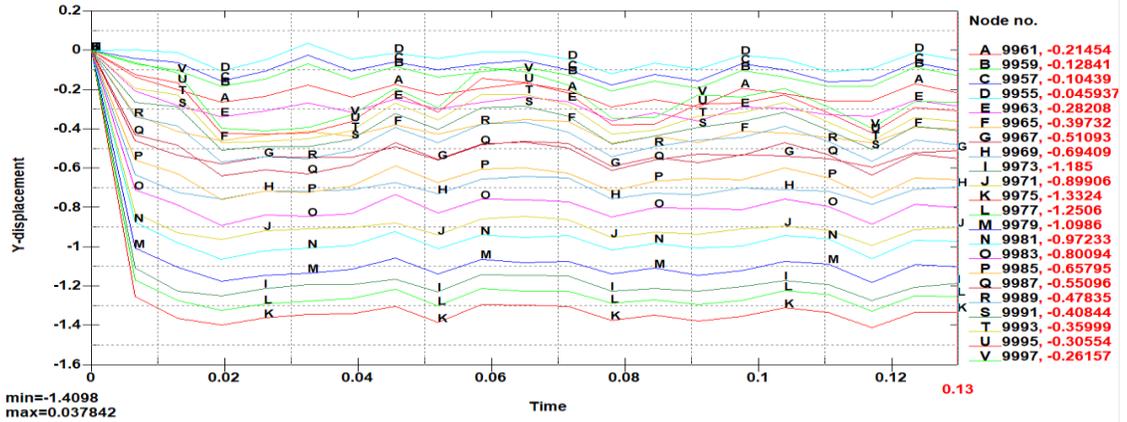


**Figura 4.44** Esfuerzo producido en el elemento 8353 debido al impacto. (Fuente: Autor)

- **Validación de resultados.**

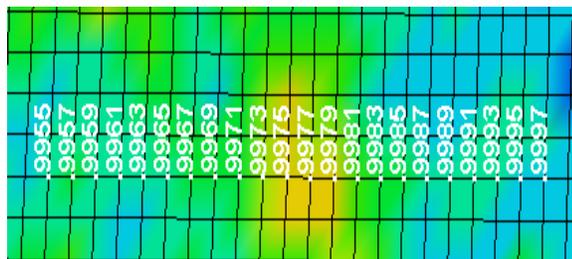
Los datos arrojados de los ensayos reales fueron perfiles de deformación permanente en las bases y las tapas del contenedor por lo cual este es el parámetro para la verificación de la funcionalidad del modelo de elemento finito.

En la figura 4.45 se muestra los desplazamientos de varios nodos los cuales se encuentran cerca de la sección de impacto separados a 5 mm cada uno, el valor máximo de desplazamiento para este impacto



**Figura 4.45** Desplazamientos de los nodos cercanos al punto de impacto A1-S3. (Fuente: Autor)

En la figura 4.46 se observa los nodos afectados por el impacto de los cuales se presenta las deformaciones sobre el eje Y, para la validación del modelo se toma en consideración la deformación máxima de correspondiente al nodo 9975 que presenta una deformación máxima -1.24 mm con un error del 7 % respecto al valor medido que es un valor aceptable dado la escala milimétrica de corroboración de los resultados.



**Figura 4.46** Posición de nodos cercanos a impacto A1-S3. (Fuente: Autor)

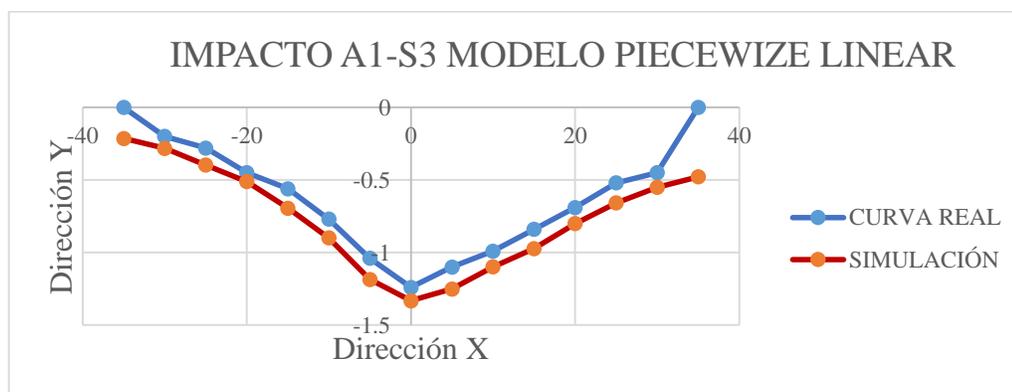
En la tabla 4.28 se puede apreciar las deformaciones tanto para los puntos medidos como para los nodos a distancias de 5 mm definido por las distancias a las cuales se realizó las mediciones de deformación para el área 1 de la sección 3 en la base.

**Tabla 4.28** Resultados para ensayo balístico A1-S3

N° NODO	DIRECCIÓN X (mm)	DIRECCIÓN Y (mm) REAL	DIRECCIÓN Y (mm) FEM
9963	-30	-0.2	-0.2821
9965	-25	-0.28	-0.3973
9967	-20	-0.45	-0.5109
9969	-15	-0.56	-0.6941
9971	-10	-0.77	-0.899
9973	-5	-1.04	-1.185
9975	0	-1.24	-1.3325
9977	5	-1.1	-1.2506
9979	10	-0.99	-1.0986
9981	15	-0.84	-0.9723
9983	20	-0.69	-0.8
9985	25	-0.52	-0.6579
9987	30	-0.45	-0.5506
9963	-30	-0.2	-0.2821
9965	-25	-0.28	-0.3973

(Fuente: Autor)

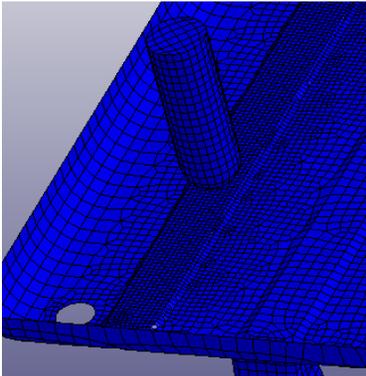
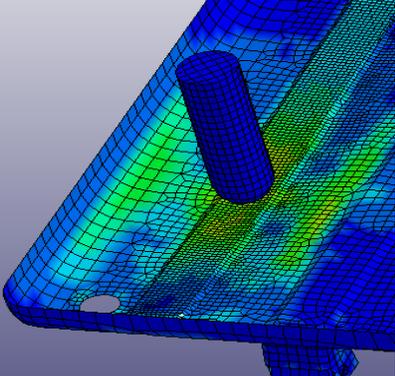
Como se observa en la figura 4.48 el valor máximo de deformación simulado es muy cercano al valor medido, la curva de deformación se ajusta relativamente bien, sin embargo, la apreciación de la deformación para la simulación tiene un alcance mayor. Para la estimación del error se han tomado únicamente los valores hasta donde las mediciones reales lo permitieron.



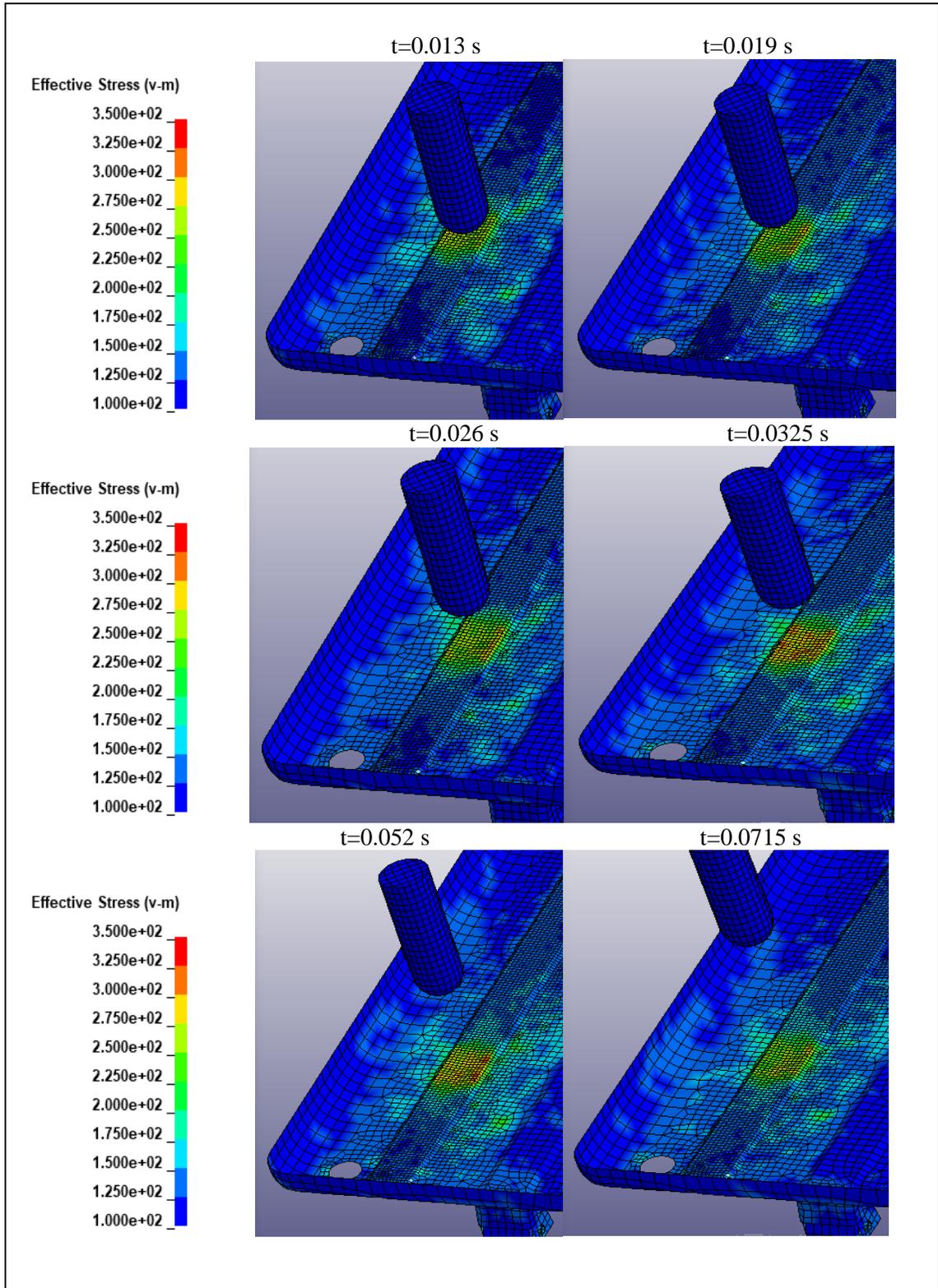
**Figura 4.47** Comparación de deformación real y simulado A1-S3. (Fuente: Autor)

En la tabla 4.29 se puede observar los resultados de deformación para el área 2, dentro de la sección 1 el cual presento una deformación máxima de 4.95 mm este es punto con mayor deformación medida dentro del contenedor.

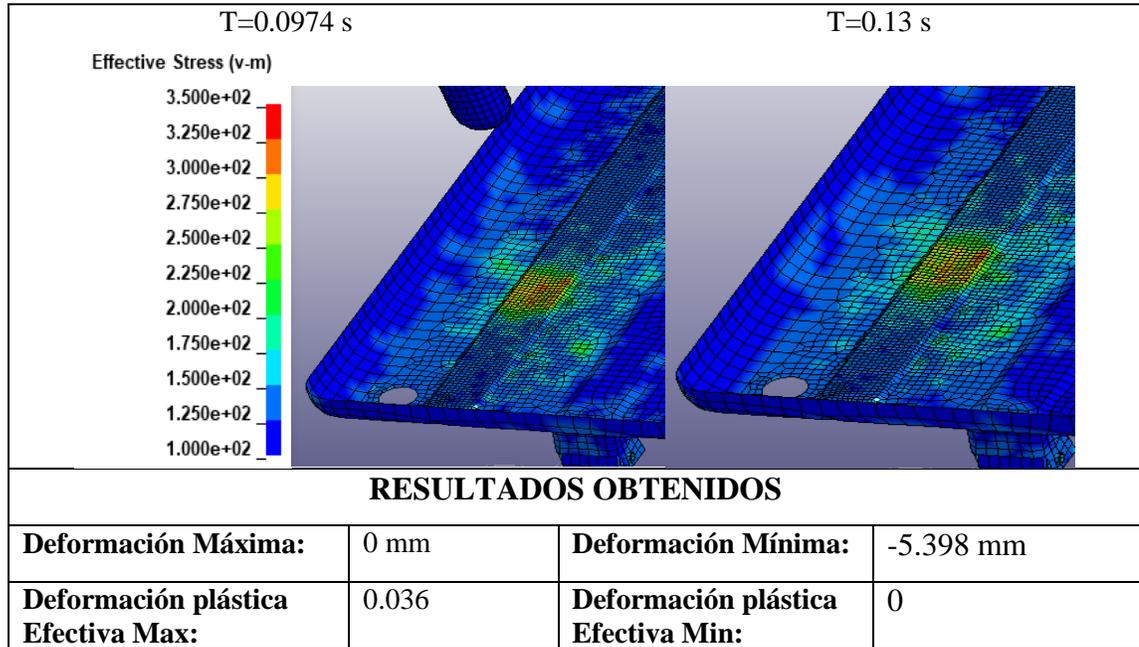
**Tabla 4.29** Simulación de impacto de bola según área 2-sección 1

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 				
<b>SIMULACIÓN DE ENSAYO DE IMPACTO DE BOLA.</b>				
<b>Norma Aplicable:</b>	Contenedores fijos para residuos UNE-EN 12574-2 Requisitos de funcionamiento y métodos de ensayo			
<b>Fecha de Ejecución:</b>	26/10/2018	<b>Realizado por:</b>	Gustavo Pomaquero	
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Diego Núñez	
<b>Relación de Aspecto Mínima:</b>	1	<b>Relación de aspecto máxima:</b>	4.77	
<b>Skewness Máximo</b>	0.879	<b>Skewness Mínimo</b>	0	
<b>Ortogonalidad Máxima:</b>	1	<b>Ortogonalidad Mínima:</b>	0.4	
<b>Número de Elementos:</b>	54593	<b>Número de Nodos:</b>	64325	
<b>Tiempo de Procesamiento:</b>	9h 35 min	<b>Número de Procesadores:</b>	1	
<b>Memoria RAM: 16 GB</b>		<b>Tipo de Contenedor de Residuos: Carga Lateral 2400 L</b>		
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>				
<b>Effective Stress (v-m)</b> 3.500e+02 3.250e+02 3.000e+02 2.750e+02 2.500e+02 2.250e+02 2.000e+02 1.750e+02 1.500e+02 1.250e+02 1.000e+02	<b>t=0 s</b>		<b>t =0.006 s</b>	
				

**Tabla 4.29** Simulación de impacto de bola según área 2-sección 1. Continuación.

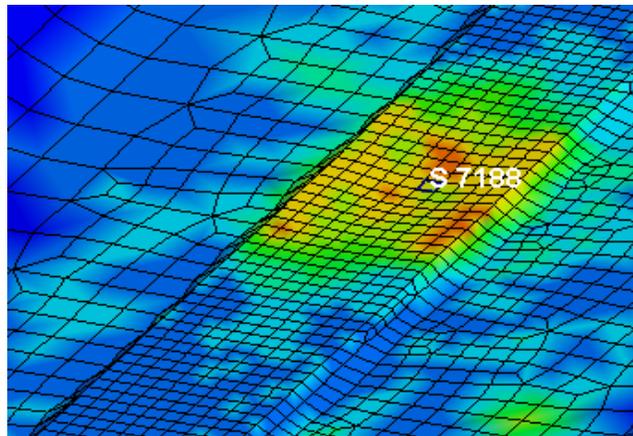


**Tabla 4.29** Simulación de impacto de bola según área 2-sección 1. Continuación.



(Fuente: Autor)

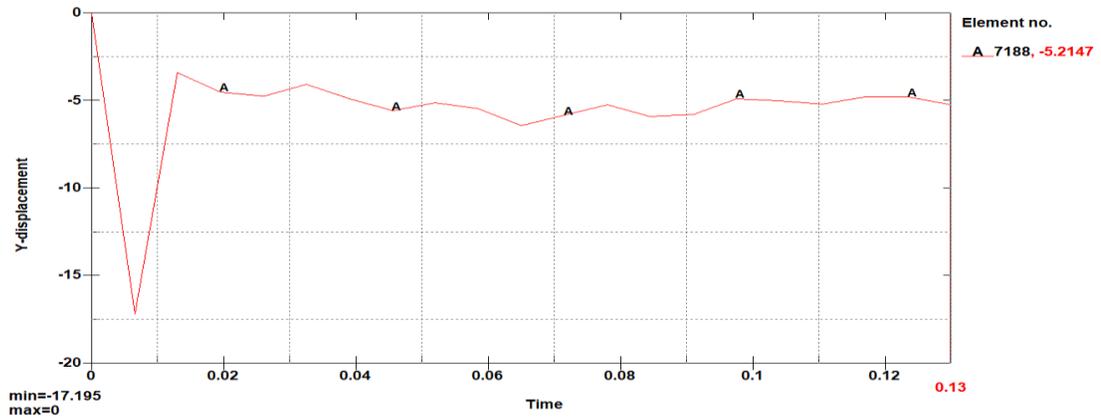
El elemento 7188 se encuentra en el punto central del impacto, es el que se ve afectado de manera directa por lo cual se evaluará, su desplazamiento en el eje y, además se determinará su deformación plástica equivalente y el esfuerzo generado debido al impacto. En la figura 4.48 se puede observar la ubicación del elemento 7188.



**Figura 4.48** Elemento 7188 en el punto central de impacto. (Fuente: Autor)

Como se puede visualizar en la figura 4.49 el desplazamiento máximo para el elemento 7188 es de -5.2147 mm un valor muy aproximado a las mediciones tomadas donde el

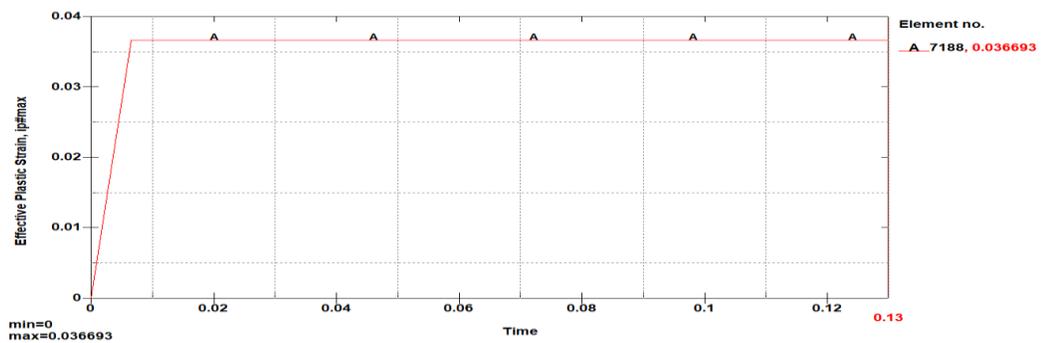
desplazamiento máximo de los puntos de medición fue 4.95 mm. Además, se puede visualizar que la deformación se estabiliza aproximadamente en el tiempo de 0.02 s.



**Figura 4.49** Desplazamiento de elemento 7188 debido al impacto.

(Fuente: Autor)

La figura 4.50 muestra el comportamiento del elemento 7188 debido al impacto el cual tiene un valor de 0.036 en el tiempo ultimo de análisis el cual fue 0.13 s, además se observa un comportamiento constante aproximadamente luego de los 0.005 s, dado que no se supera el esfuerzo plástico efectivo del material que fue de 0.3, la falla plástica en el material no está presente.

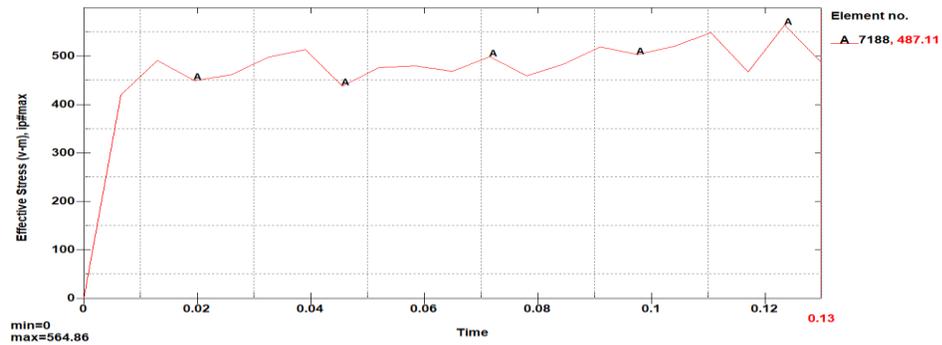


**Figura 4.50** Deformación plástica efectiva de elemento 7188 debido al impacto.

(Fuente: Autor)

El esfuerzo es máximo en el modelo en el punto central del impacto para el elemento 7188 se visualiza en la figura 4.51, el cual tiene un valor de 487.11Mpa en el tiempo de 0.13 s.

El impacto produce un esfuerzo significativo en el material, que se traducen en las deformaciones medidas y simuladas en esta investigación. La norma UNE EN12574.2 hace referencia únicamente a deformaciones excesivas y rupturas en uniones soldadas, de los ensayos experimentales se sabe que estos parámetros no están presentes.



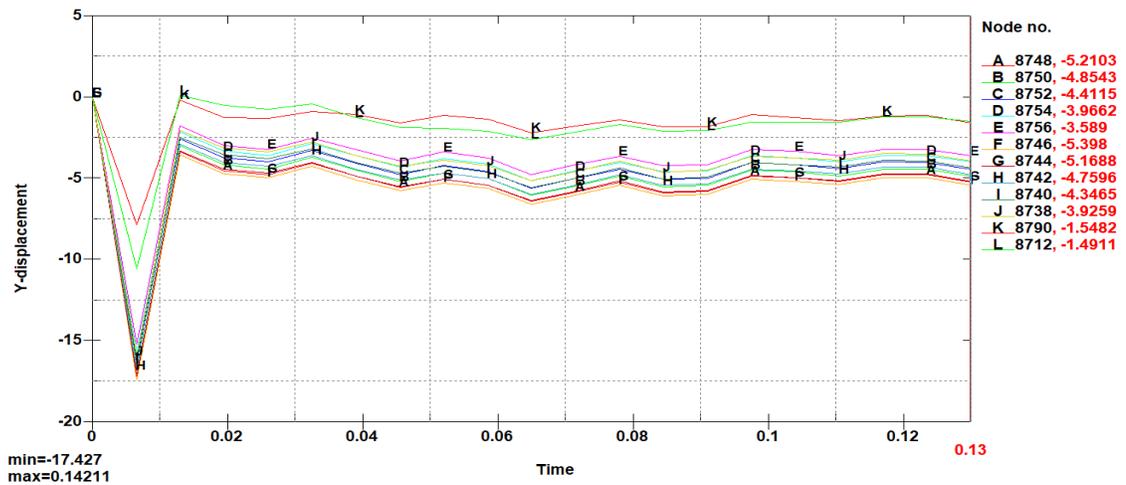
**Figura 4.51** Esfuerzo producido en elemento 7188 por impacto de bola.

(Fuente: Autor)

- **Validación de resultados.**

Los datos arrojados de los ensayos reales fueron perfiles de deformación permanente en las bases y las tapas del contenedor por lo cual este es el parámetro para la verificación de la funcionalidad del modelo de elemento finito.

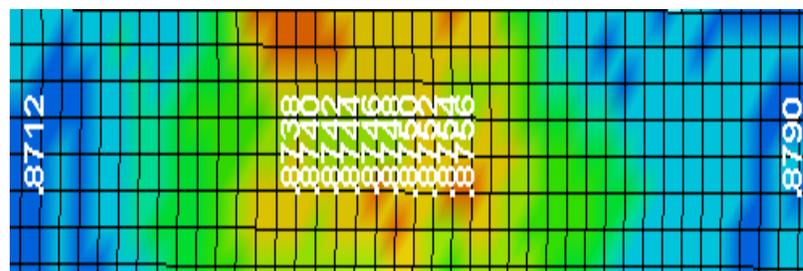
En la figura 4,52 se muestra los desplazamientos de varios nodos los cuales se encuentran cerca de la sección de impacto separados a 5 mm cada uno, el valor máximo de desplazamiento para este impacto.



**Figura 4.52** Desplazamientos de los nodos cercanos al punto de impacto A2-S1

(Fuente: Autor)

En la figura 4.53, se observa los nodos afectados por el impacto de los cuales se presenta las deformaciones sobre el eje Y, para la validación del modelo se toma en consideración la deformación máxima de correspondiente al nodo 8746 que presenta una deformación máxima -5.398 mm con un error del 9% respecto al valor medido que es un valor aceptable dado la escala milimétrica de corroboración de los resultados.



**Figura 4.53** Ubicación de nodos cercanos a impacto A2-S1 (Fuente: Autor.)

En la tabla 4.30, se puede apreciar las deformaciones tanto para los puntos medidos como para los nodos a distancias de 5 mm definido por las distancias a las cuales se realizó las mediciones de deformación. Se puede apreciar en la figura 4.53 que la deformación se extiende más allá de la zona de impacto siendo nulo hasta donde se ubican los nodos 8790 y 8712.

**Tabla 4.30** Resultados para ensayo balístico A2 -S1

Nº NODO	DIRECCIÓN X (mm)	DIRECCIÓN Y (mm) REAL	DIRECCIÓN Y (mm) FEM
8712	-25	-1.22	-1.4912
8738	-20	-2.52	-3.9259
8740	-15	-2.94	-4.3465
8742	-10	-3.55	-4.7596
8744	-5	-3.92	-5.1618
8746	0	-4.95	-5.398
8748	5	-4.11	-5.2103
8750	10	-3.31	-4.8543
8752	15	-3.12	-4.4115
8754	20	-2.52	-3.9662
8756	25	-2.32	-3.589
8790	30	-0.88	-1.5482

(Fuente: Autor)

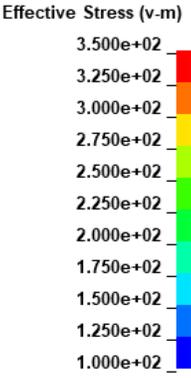
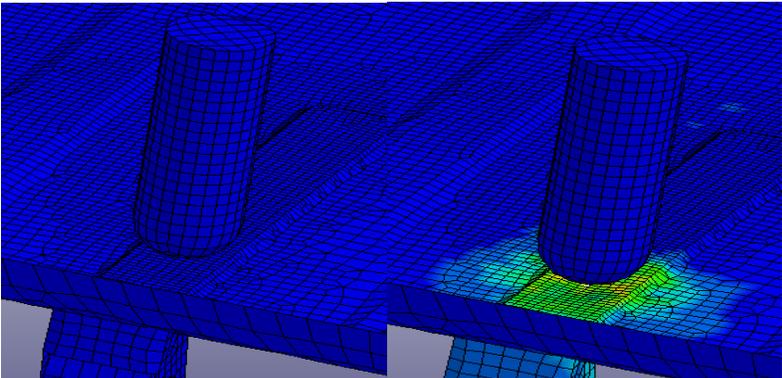
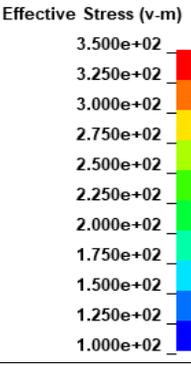
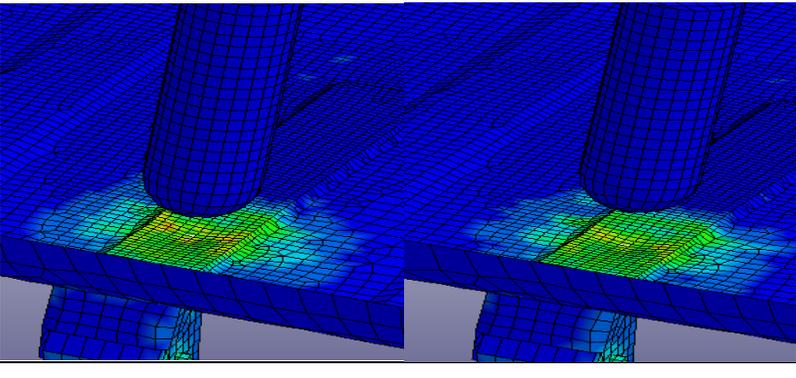
Como se observa en la figura 4.54 el valor máximo de deformación simulado es muy cercano al valor medido, la curva de deformación se ajusta relativamente bien, sin embargo, la apreciación de la deformación para la simulación tiene un alcance mayor. Para la estimación del error se han tomado únicamente los valores hasta donde las mediciones reales lo permitieron.



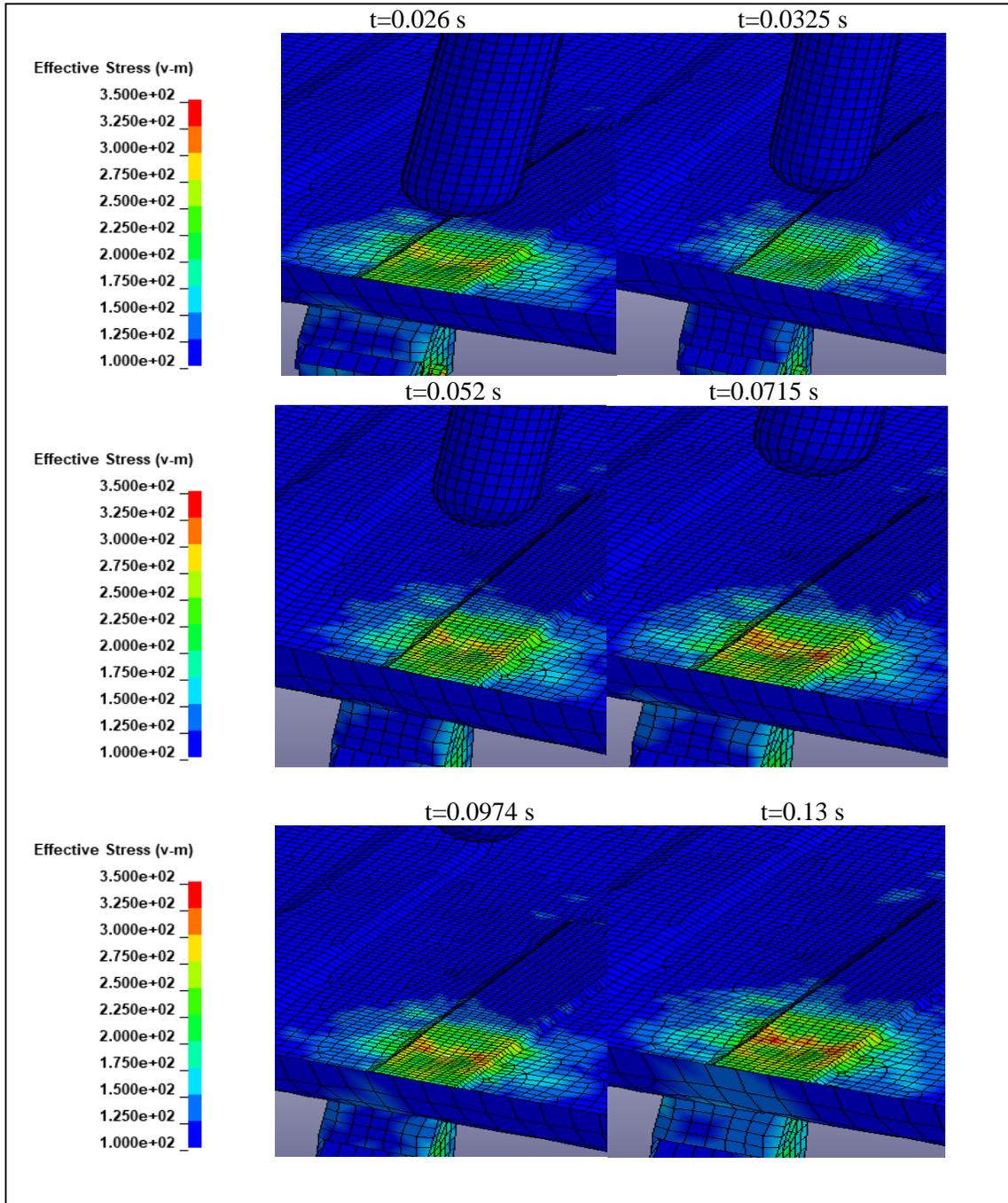
**Figura 4.54** Comparación de deformación real y simulada A2-S1. (Fuente: Autor)

En la tabla 4.31 se puede observar los resultados de deformación para el área 3, dentro de la sección 1 el cual presento una deformación máxima de 4.22 mm siendo una deformación permisible dado que no afecta a la funcionalidad y es inapreciable en relación a las dimensiones del contenedor.

**Tabla 4.31** Simulación de impacto de bola según área 3-sección 1.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 			
<b>SIMULACIÓN DE ENSAYO DE IMPACTO DE BOLA.</b>			
<b>Norma Aplicable:</b>	Contenedores fijos para residuos UNE-EN 12574-2 Requisitos de funcionamiento y métodos de ensayo		
<b>Fecha de Ejecución:</b>	26/10/2018	<b>Realizado por:</b>	Gustavo Pomaquero
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Diego Núñez
<b>Relación de Aspecto Mínima:</b>	1	<b>Relación de aspecto máxima:</b>	4.77
<b>Skewness Máximo</b>	0.879	<b>Skewness Mínimo</b>	0
<b>Ortogonalidad Máxima:</b>	1	<b>Ortogonalidad Mínima:</b>	0.4
<b>Número de Elementos:</b>	54593	<b>Número de Nodos:</b>	64325
<b>Tiempo de Procesamiento:</b>	9h 35 min	<b>Número de Procesadores:</b>	1
<b>Memoria RAM: 16 GB</b>		<b>Tipo de Contenedor de Residuos: Carga Lateral 2400 L</b>	
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>			
Effective Stress (v-m)		t=0 s	t=0.006 s
			
Effective Stress (v-m)		t=0.013 s	t=0.019 s
			

**Tabla 4.31** Simulación de impacto de bola según área 3-sección 1. Continuación.

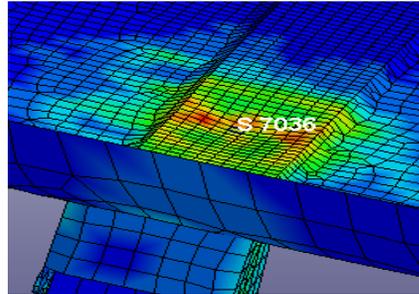


**RESULTADOS OBTENIDOS**

<b>Deformación Máxima:</b>	0 mm	<b>Deformación Mínima:</b>	-5.463 mm
<b>Deformación plástica Efectiva Max:</b>	0.052	<b>Deformación plástica Efectiva Min:</b>	0

(Fuente: Autor)

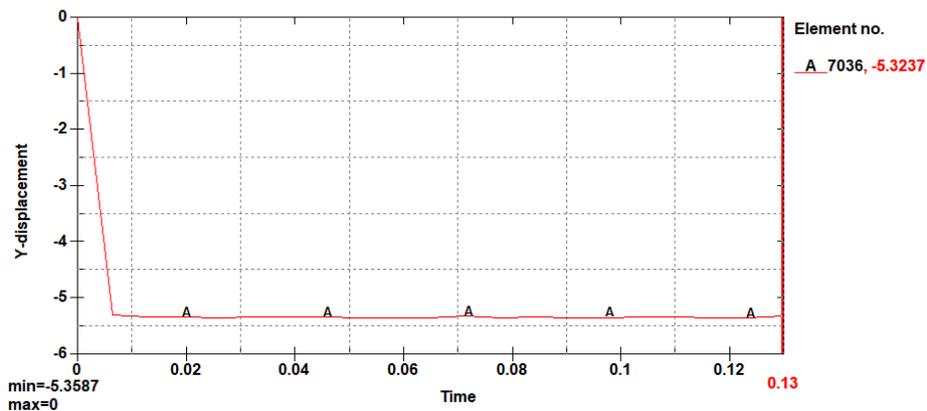
El elemento 7036 se encuentra en el punto central del impacto como se muestra en la figura 4.55, es el que se ve afectado de manera directa por lo cual se evaluará, su desplazamiento en el eje y, además se determinará su deformación plástica equivalente y el esfuerzo generado debido al impacto.



**Figura 4.55** Elemento 7036 en el punto central de impacto A3-S1.

(Fuente: Autor)

Como se puede visualizar en la figura 4.56, el desplazamiento máximo para el elemento 7036 es de -5.323 mm un valor muy aproximado a las mediciones tomadas donde el desplazamiento máximo de los puntos de medición fue 4.92 mm. Además se puede visualizar que la deformación se estabiliza aproximadamente en el tiempo de 0.0075 s .

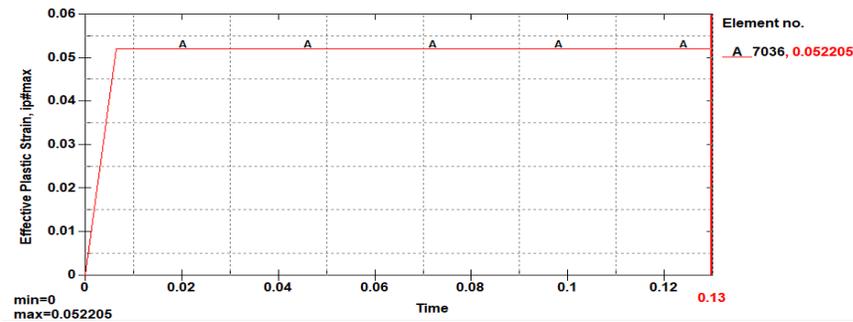


**Figura 4.56** Desplazamiento de elemento 7036 debido al impacto A3-S1.

(Fuente: Autor)

La figura 4.57 muestra el comportamiento plástico del elemento 7036 debido al impacto el cual tiene un valor de 0.052 en el tiempo ultimo de análisis el cual fue 0.13 s. Además,

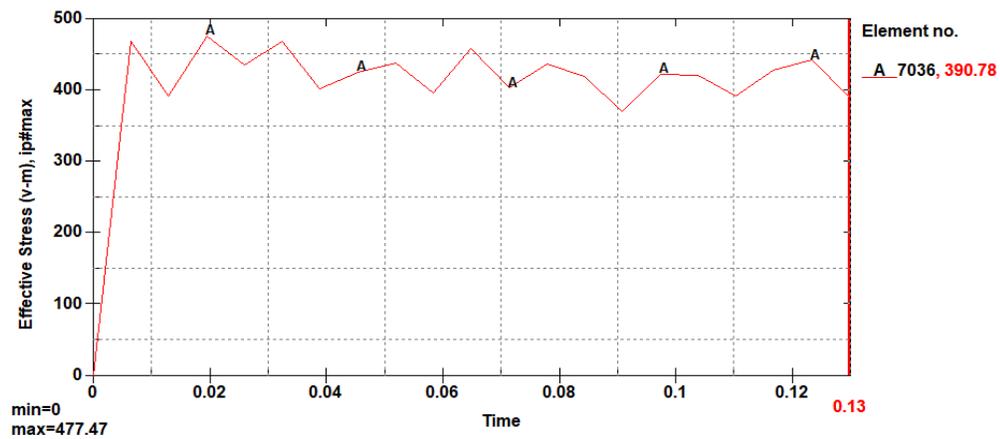
se observa un comportamiento constante aproximadamente luego de los 0.06 s, dado que no se supera el esfuerzo plástico efectivo del material que fue de 0.3, la falla plástica en el material no está presente.



**Figura 4.57** Deformación plástica efectiva de elemento 7036 debido al impacto A3-S1

(Fuente: Autor)

El esfuerzo es máximo en el modelo en el punto central del impacto para el elemento 7036 se visualiza en la figura 4.58 El cual tiene un valor de 390.78 Mpa en el tiempo de 0.13 s. El impacto produce un esfuerzo significativo en el material, que se traducen en las deformaciones medidas y simuladas en esta investigación. La norma UNE EN12574.2 hace referencia únicamente a deformaciones excesivas y rupturas en uniones soldadas, de los ensayos experimentales se sabe que estos parámetros no están presentes. Sin embargo, se expone el esfuerzo para consideraciones de rediseño posteriores a esta investigación.



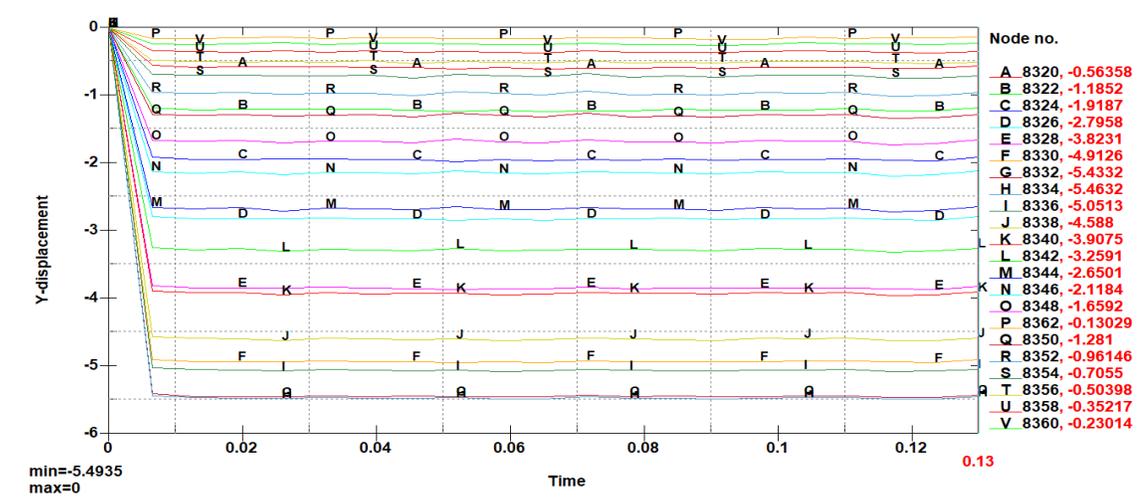
**Figura 4.58** Esfuerzo producido en elemento 7036 por impacto de bola A3-S1.

(Fuente: Autor)

- **Validación de Resultados.**

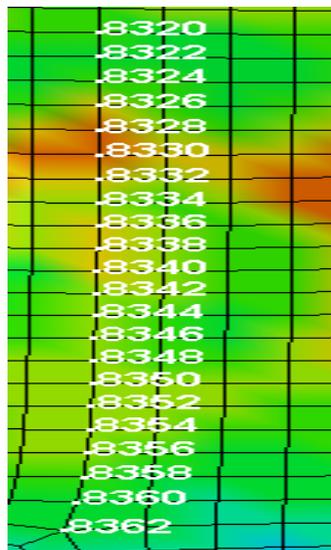
Los datos arrojados de los ensayos reales fueron perfiles de deformación permanente en las bases y las tapas del contenedor por lo cual este es el parámetro para la verificación de la funcionalidad del modelo de elemento finito.

En la figura 4. 59 se muestra los desplazamientos de varios nodos los cuales se encuentran cerca de la sección de impacto separados a 5 mm cada uno, el valor máximo de desplazamiento para este impacto



**Figura 4.59** Desplazamientos de los nodos cercanos al punto de impacto A3-S1 (Fuente: Autor)

En la figura 4.60 se observa los nodos afectados por el impacto de los cuales se presenta las deformaciones sobre el eje Y, para la validación del modelo se toma en consideración la deformación máxima de correspondiente al nodo 8334 que presenta una deformación máxima -4.92 mm con un error del 11 % respecto al valor medido, que es un valor aceptable dado la escala milimétrica de corroboración de los resultados.



**Figura 4.60** Representación de los nodos impacto A3-S1 (Fuente: Autor)

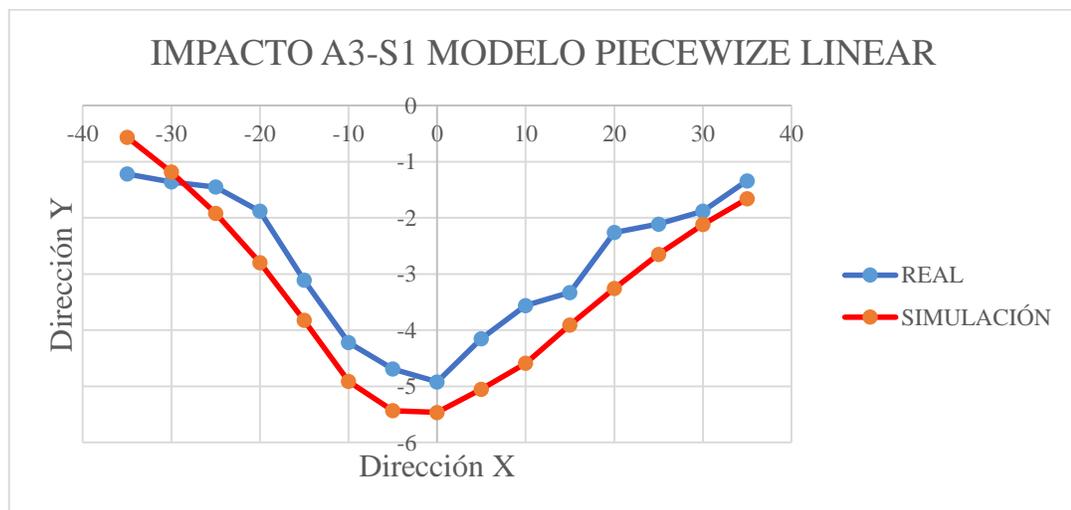
En la tabla se puede apreciar las deformaciones tanto para los puntos medidos como para los nodos a distancias de 5 mm definido por las distancias a las cuales se realizó las mediciones de deformación.

**Tabla 4.32** Resultados para ensayo balístico A3-S1

N° NODO	DIRECCIÓN X (mm)	DIRECCIÓN Y (mm) REAL	DIRECCIÓN Y (mm) FEM
8320	-35	-1.22	-0.5635
8322	-30	-1.36	-1.1852
8324	-25	-1.45	-1.9187
8326	-20	-1.88	-2.7958
8328	-15	-3.11	-3.8231
8330	-10	-4.22	-4.9126
8332	-5	-4.69	-5.4342
8334	0	-4.92	-5.4632
8336	5	-4.15	-5.0513
8338	10	-3.56	-4.588
8340	15	-3.33	-3.9075
8342	20	-2.26	-3.2591
8344	25	-2.11	-2.6501
8346	30	-1.88	-2.1184
8348	35	-1.34	-1.6592

Fuente: Autor

Como se observa en la figura 4.61 el valor máximo de deformación simulado es muy cercano al valor medido, la curva de deformación se ajusta relativamente bien, sin embargo, la apreciación de la deformación para la simulación tiene un alcance mayor. Para la estimación del error se han tomado únicamente los valores hasta donde las mediciones reales lo permitieron. Observe como los valores de deformación son muy próximos sin embargo cabe resaltar que las mediciones experimentales no presentan uniformidad de punto a punto, la línea marcada de azul es más irregular que la simulación para los puntos realizados.

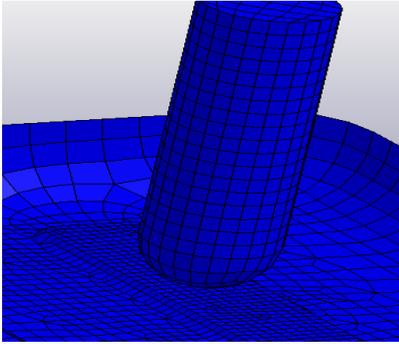
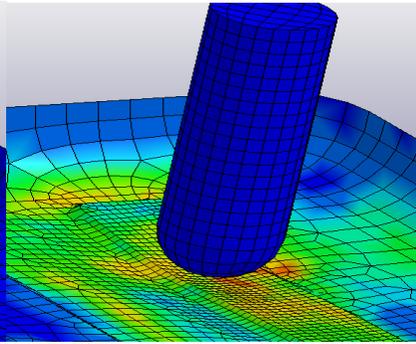
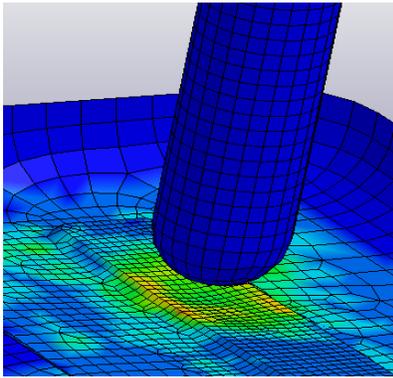
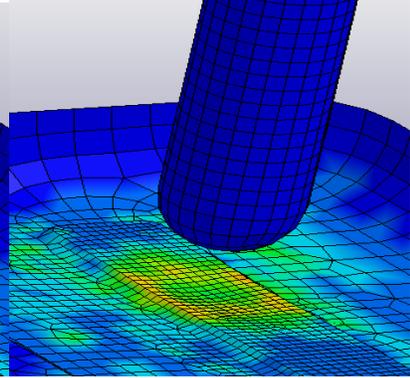


**Figura 4.61** Comparación de deformación real y simulado A3-S1.

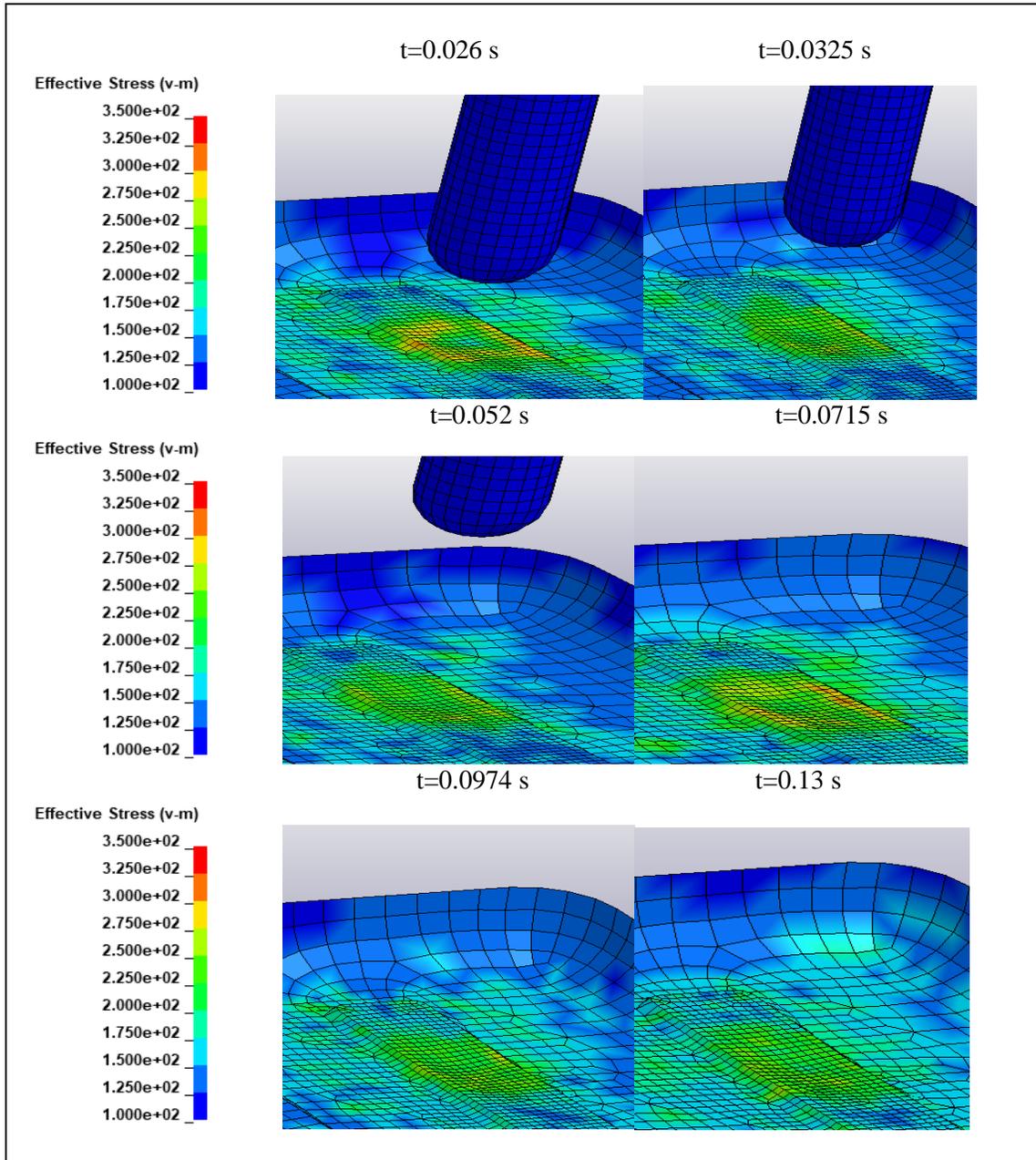
(Fuente: Autor)

En la tabla 4.33 se puede observar los resultados de deformación para el área 4, dentro de la sección 2 el cual presento una deformación máxima de 4.95 mm siendo una deformación permisible dado que no afecta a la funcionalidad y es inapreciable en relación a las dimensiones del contenedor.

Tabla 4.33 Simulación de impacto de bola según área 4-sección 2

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 			
SIMULACIÓN DE ENSAYO DE IMPACTO DE BOLA.			
<b>Norma Aplicable:</b>	Contenedores fijos para residuos UNE-EN 12574-2 Requisitos de funcionamiento y métodos de ensayo		
<b>Fecha de Ejecución:</b>	26/10/2018	<b>Realizado por:</b>	Gustavo Pomaquero
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Diego Núñez
<b>Relación de Aspecto Mínima:</b>	1	<b>Relación de aspecto máxima:</b>	4.77
<b>Skewness Máximo</b>	0.879	<b>Skewness Mínimo</b>	0
<b>Ortogonalidad Máxima:</b>	1	<b>Ortogonalidad Mínima:</b>	0.4
<b>Número de Elementos:</b>	54593	<b>Número de Nodos:</b>	64325
<b>Tiempo de Procesamiento:</b>	9h 35 min	<b>Número de Procesadores:</b>	1
<b>Memoria RAM: 16 GB</b>		<b>Tipo de Contenedor de Residuos:</b> Carga Lateral 2400 L	
RESULTADO DEL ENSAYO			
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>t=0 s</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>t =0.006 s</p>  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;"> <p>t=0.013 s</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>t=0.019 s</p>  </div> </div> <p>Effective Stress (v-m) color scale: 1.000e+02 to 3.500e+02</p>			

**Tabla 4.33** Simulación de impacto de bola según área 4-sección 2. Continuación

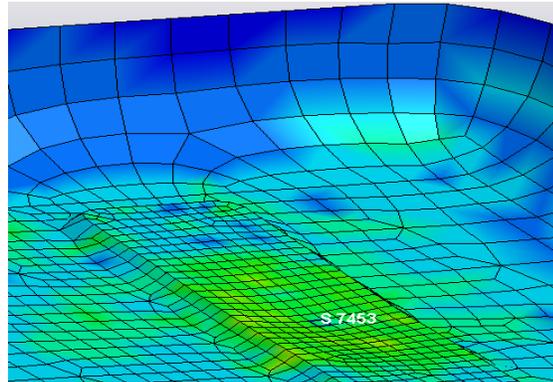


**RESULTADOS OBTENIDOS**

<b>Deformación Máxima:</b>	0 mm	<b>Deformación Mínima:</b>	-5.469 mm
<b>Deformación plástica Efectiva Max:</b>	0.019	<b>Deformación plástica Efectiva Min:</b>	0

(Fuente: Autor)

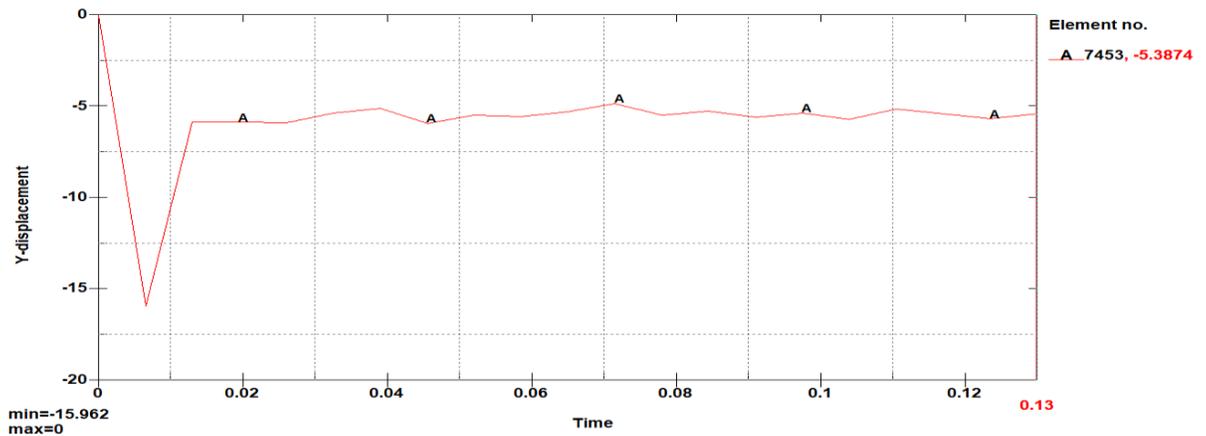
El elemento 7453 se encuentra en el punto central del impacto, es el que se ve afectado de manera directa por lo cual se evaluará, su desplazamiento en el eje Y, además se determinará su deformación plástica equivalente y el esfuerzo generado debido al impacto.



**Figura 4.62** Elemento 7453 en el punto central de impacto A4- S2

(Fuente: Autor)

Como se puede visualizar en la figura 4.63, el desplazamiento máximo para el elemento 7453 es de -5.3874 un valor muy aproximado a las mediciones tomadas donde el desplazamiento máximo de los puntos de medición fue 4.95 mm. Se puede visualizar que la deformación se estabiliza aproximadamente en el tiempo de 0.015 s.

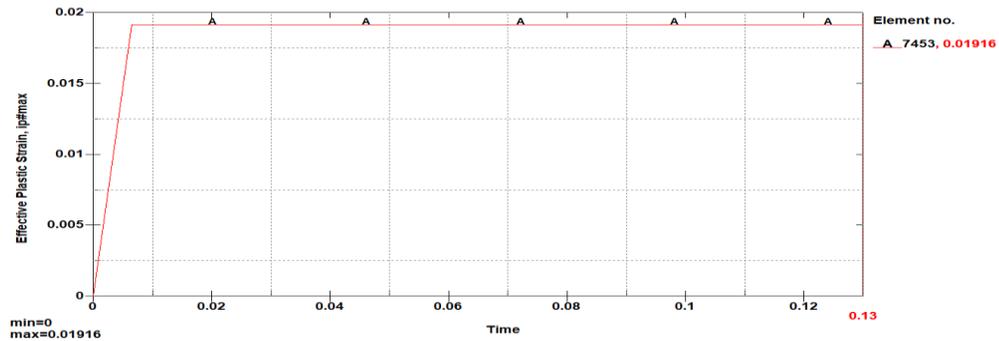


**Figura 4.63** Desplazamiento en Y de elemento 7453 debido al impacto A4-S2

(Fuente: Autor)

La figura 4.64 muestra el comportamiento del elemento 7453 debido al impacto el cual tiene un valor de 0.01916 en el tiempo último de análisis el cual fue 0.13 s, además se

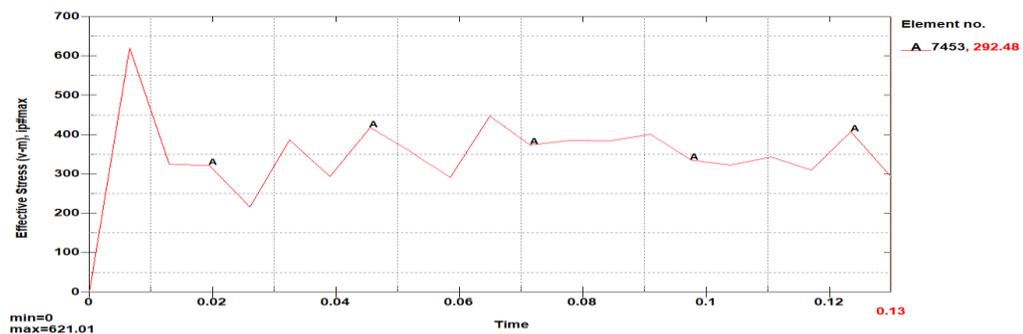
observa un comportamiento constante aproximadamente luego de los 0.008 s, dado que no se supera el esfuerzo plástico efectivo del material que fue de 0.3, la falla plástica en el material no está presente.



**Figura 4.64** Deformación plástica efectiva de elemento 7453 debido al impacto A4-S2

(Fuente: Autor)

El esfuerzo es máximo en el modelo en el punto central del impacto para el elemento 7453 se visualiza en la figura 4.65 El cual tiene un valor de 292.48 Mpa en el tiempo de 0.13 s. El impacto produce un esfuerzo significativo en el material al inicio, pero se logra estabilizar al final del tiempo de simulación, que se traducen en las deformaciones medidas y simuladas en esta investigación. La norma UNE EN12574.2 hace referencia únicamente a deformaciones excesivas y rupturas en uniones soldadas, de los ensayos experimentales se sabe que estos parámetros no están presentes. Sin embargo, se expone el esfuerzo para consideraciones de rediseño posteriores a esta investigación.



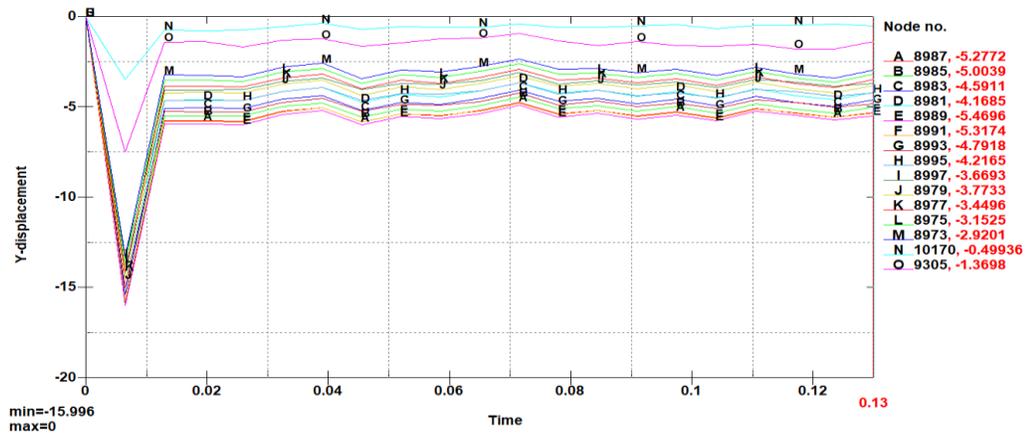
**Figura 4.65** Esfuerzo producido por impacto de bola. A4-S2

(Fuente: Autor)

- **Validación de Resultados.**

Los datos arrojados de los ensayos reales fueron perfiles de deformación permanente en las bases y las tapas del contenedor por lo cual este es el parámetro para la verificación de la funcionalidad del modelo de elemento finito.

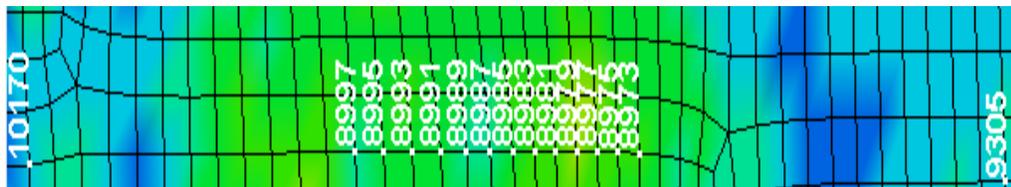
En la figura 4.66 se muestra los desplazamientos de varios nodos los cuales se encuentran cerca de la sección de impacto separados a 5 mm cada uno, el valor máximo de desplazamiento para este impacto



**Figura 4.66** Desplazamientos de los nodos cercanos al punto de impacto. A4-S2

(Fuente: Autor)

En la figura 4.67 se observa los nodos afectados por el impacto de los cuales se presenta las deformaciones sobre el eje Y, para la validación del modelo se toma en consideración la deformación máxima de correspondiente al nodo 8989 que presenta una deformación máxima -5.46 mm con un error del 10% respecto al valor medido que es un valor aceptable dado la escala milimétrica de corroboración de los resultados.



**Figura 4.67** Representación de los nodos impacto A4-S2 (Fuente: Autor)

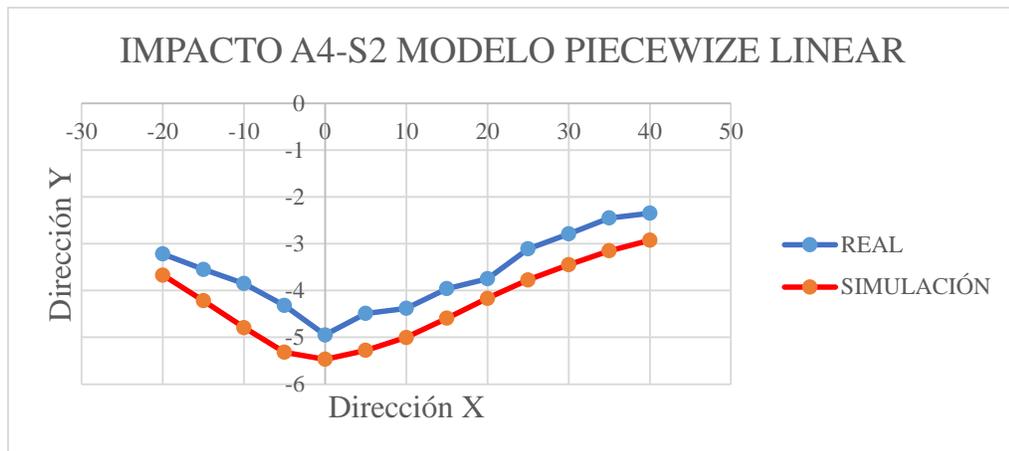
En la tabla se puede apreciar las deformaciones tanto para los puntos medidos como para los nodos a distancias de 5 mm definido por las distancias a las cuales se realizó las mediciones de deformación.

**Tabla 4.34** Resultados para ensayo balístico área 4-sección 2

<b>N° NODO</b>	<b>DIRECCIÓN X (mm)</b>	<b>DIRECCIÓN Y (mm) REAL</b>	<b>DIRECCIÓN Y (mm) FEM</b>
8997	-20	-3.22	-3.6693
8995	-15	-3.55	-4.2165
8993	-10	-3.85	-4.7918
8991	-5	-4.32	-5.3174
8989	0	-4.95	-5.4696
8987	5	-4.49	-5.2772
8985	10	-4.38	-5.0039
8983	15	-3.96	-4.5911
8981	20	-3.75	-4.1685
8979	25	-3.11	-3.7733
8977	30	-2.79	-3.4496
8975	35	-2.45	-3.1525
8973	40	-2.35	-2.9261

(Fuente: Autor)

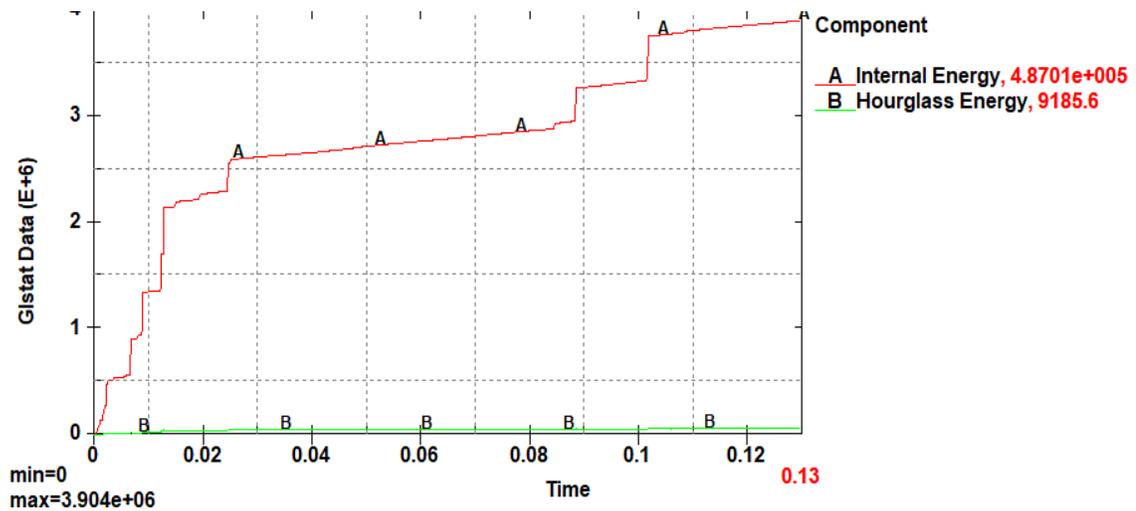
Como se observa en la figura 4.68, el valor máximo de deformación simulado es muy cercano al valor medido, la curva de deformación se ajusta relativamente bien, sin embargo, la apreciación de la deformación para la simulación tiene un alcance mayor. Para la estimación del error se han tomado únicamente los valores hasta donde las mediciones reales lo permitieron.



**Figura 4.68** Comparación de deformación real y simulado A4-S2 (Fuente: Autor)

- **Energía hourglass impacto de bola.**

Se puede observar en la figura 4.69, que la energía de hourglass en el tiempo estimado de 0.13 s se mantiene en un valor muy bajo respecto a la energía interna con una relación de 1.88 % el cual es menor al 10% permitido para simulaciones explícitas dinámicas.

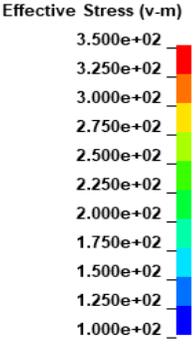
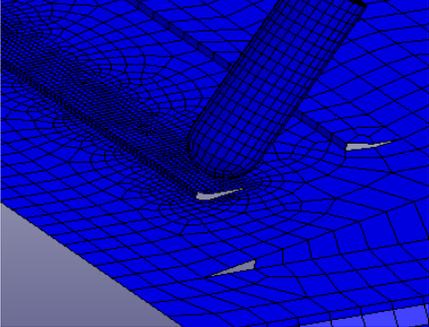
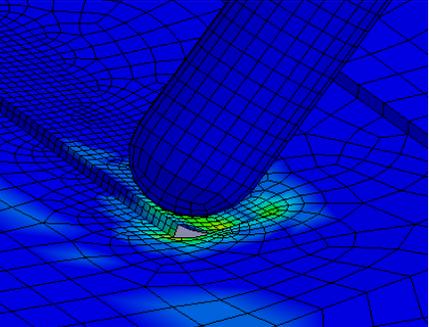
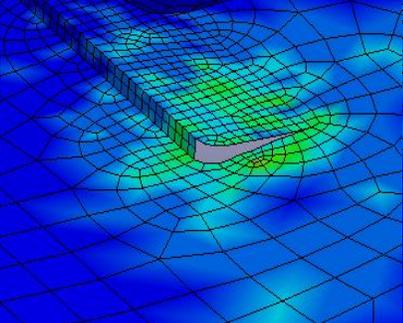
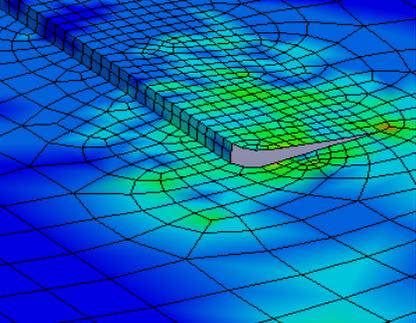


**Figura 4.69** Energía hourglass para impacto de bola en base.

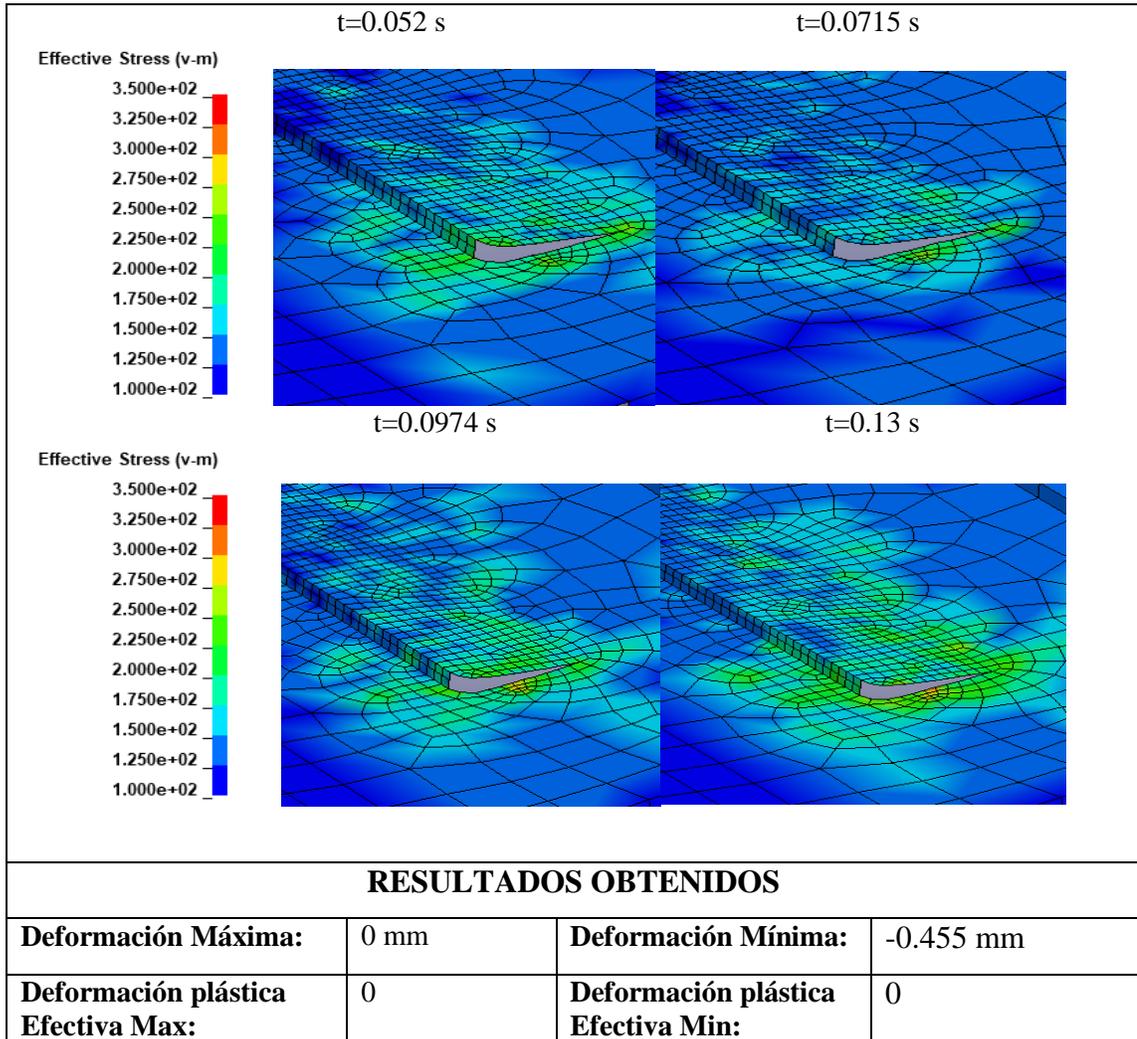
(Fuente: Autor)

- **Impacto en tapas**

**Tabla 4.35** Simulación de impacto de bola tapas área 1-sección 2

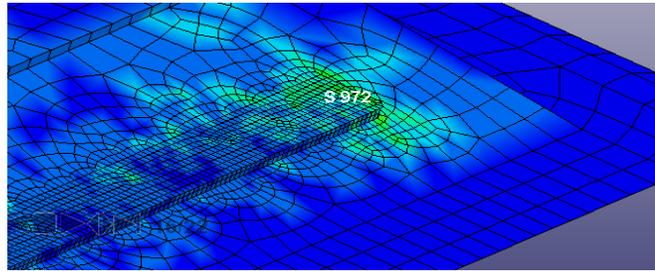
 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 			
<b>SIMULACIÓN DE ENSAYO DE IMPACTO DE BOLA.</b>			
<b>Norma Aplicable:</b>	Contenedores fijos para residuos UNE-EN 12574-2 Requisitos de funcionamiento y métodos de ensayo		
<b>Fecha de Ejecución:</b>	26/10/2018	<b>Realizado por:</b>	Gustavo Pomaquero
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Diego Núñez
<b>Relación de Aspecto Mínima:</b>	1	<b>Relación de aspecto máxima:</b>	4.77
<b>Skewness Máximo</b>	0.879	<b>Skewness Mínimo</b>	0
<b>Ortogonalidad Máxima:</b>	1	<b>Ortogonalidad Mínima:</b>	0.4
<b>Número de Elementos:</b>	54593	<b>Número de Nodos:</b>	64325
<b>Tiempo de Procesamiento:</b>	9h 35 min	<b>Número de Procesadores:</b>	1
<b>Memoria RAM:</b> 16 GB		<b>Tipo de Contenedor de Residuos:</b> Carga Lateral 2400 L	
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>			
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <span>t=0 s</span> <span>t =0.006 s</span> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">      </div>			

**Tabla 4.35** Simulación de impacto de bola tapas área 1-sección 2. Continuación.



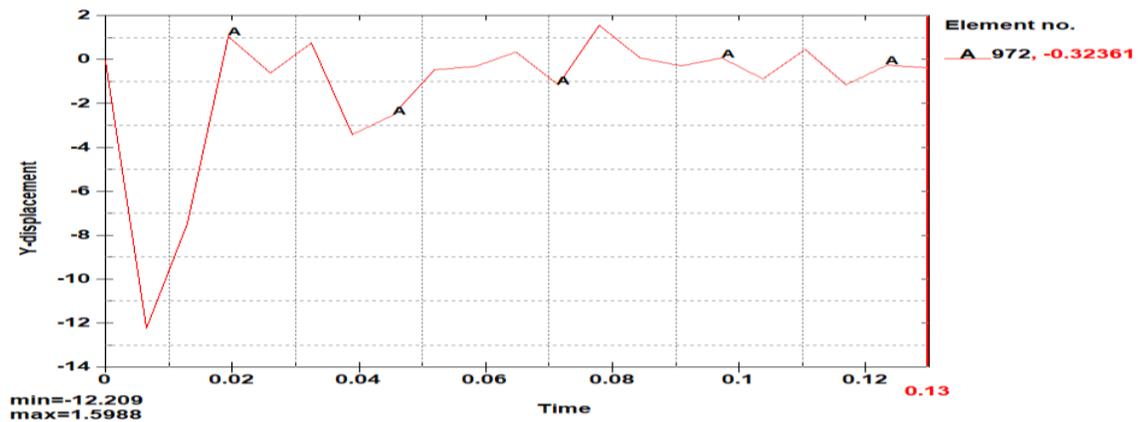
(Fuente: Autor)

El elemento 972 se encuentra en el punto central del impacto, es el que se ve afectado de manera directa por lo cual se evaluará, su desplazamiento en el eje Y, además se determinará su deformación plástica equivalente y el esfuerzo generado debido al impacto. La figura 4.70 muestra la ubicación del elemento 972 elemento con mayor



**Figura 4.70** Elemento 972 en el punto central de impacto A1-S3 tapa 1. (Fuente: Autor)

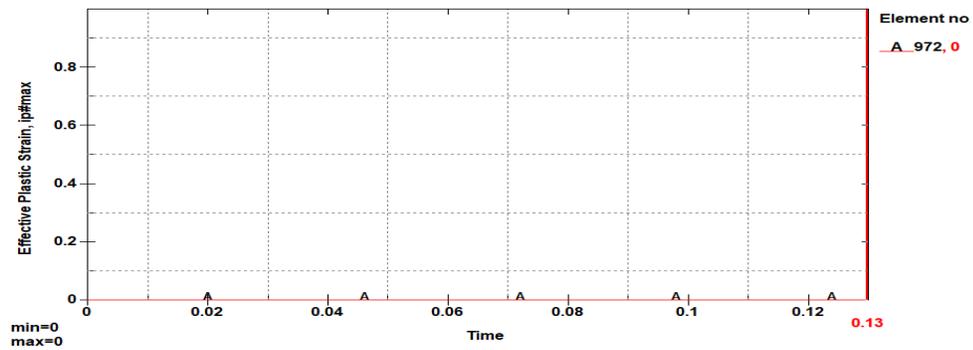
Como se puede visualizar en la figura 4.71, el desplazamiento máximo para el elemento 972 es de 0.323 mm un valor muy aproximado a las mediciones tomadas. Además, se puede visualizar que la deformación se estabiliza aproximadamente en el tiempo de 0.09 s con valores de deformación entre 0 y 2 mm.



**Figura 4.71** Desplazamiento de elemento 972 debido al impacto. A1-S2 tapa 1

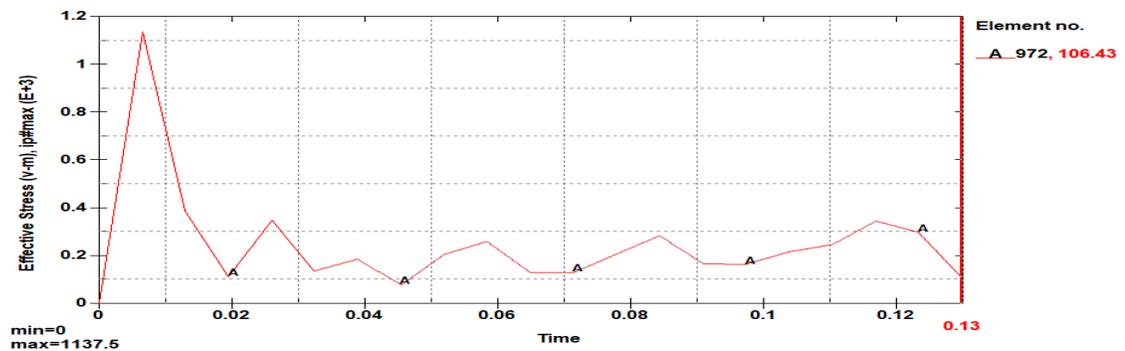
(Fuente: Autor)

La figura 4.72, muestra el comportamiento del elemento 972 debido al impacto el cual tiene un valor de 0. en el tiempo ultimo de análisis el cual fue 0.13 s, además se observa un comportamiento constante aproximadamente luego de los 0.06 s, dado que no se supera el esfuerzo plástico efectivo del material que fue de 0.3, la falla plástica en el material no está presente.



**Figura 4.72** Deformación plástica efectiva de elemento 972 debido al impacto A1-S2 tapa 1. (Fuente: Autor)

El esfuerzo es máximo en el modelo en el punto central del impacto para el elemento 972 se visualiza en la figura 4.73, el cual tiene un valor de 106.43 Mpa en el tiempo de 0.13 s. El impacto produce un esfuerzo significativo en el material al inicio del impacto sin embargo se estabiliza conforme transcurre el tiempo. La norma UNE EN12574.2 hace referencia únicamente a deformaciones excesivas y rupturas en uniones soldadas, de los ensayos experimentales se sabe que estos parámetros no están presentes.



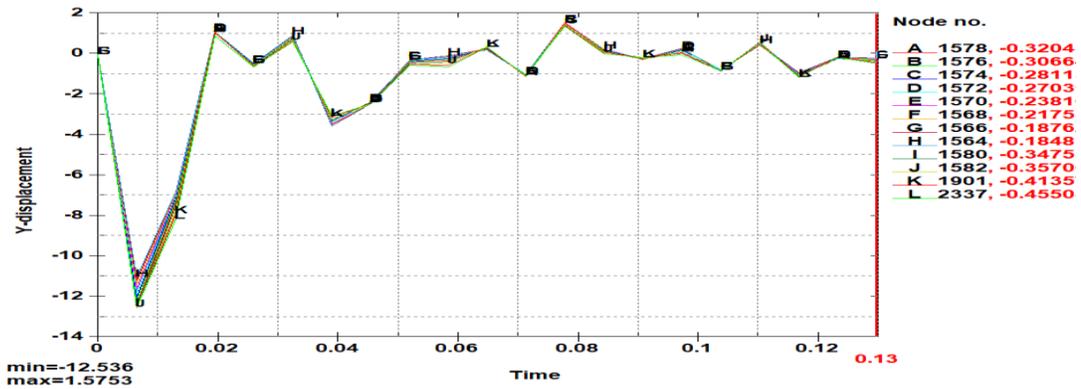
**Figura 4.73** Esfuerzo producido por impacto de bola. A1-S2 tapa 1

(Fuente: Autor)

### Validación de resultados.

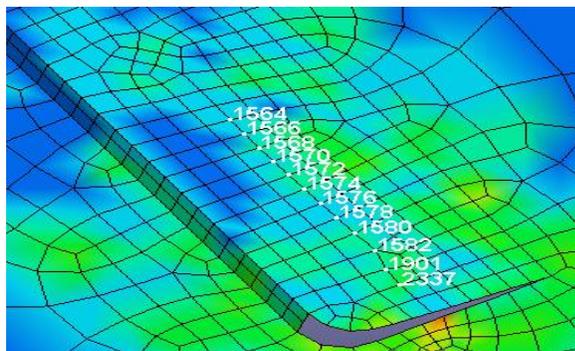
Los datos arrojados de los ensayos reales fueron perfiles de deformación permanente en las bases y las tapas del contenedor por lo cual este es el parámetro para la verificación de la funcionalidad del modelo de elemento finito.

En la figura 4. Se muestra los desplazamientos de varios nodos los cuales se encuentran cerca de la sección de impacto separados a 5 mm cada uno, el valor máximo de desplazamiento para este impacto



**Figura 4.74** Desplazamientos de los nodos cercanos al punto de impacto. A1-S2 Tapa 1  
(Fuente: Autor)

En la figura 4.75 se observa los nodos afectados por el impacto de los cuales se presenta las deformaciones sobre el eje Y, para la validación del modelo se toma en consideración la deformación máxima de correspondiente al nodo 2337 que presenta una deformación máxima -0.455 mm con un error del 11% respecto al valor medido que es un valor aceptable dado la escala milimétrica de corroboración de los resultados.



**Figura 4.75** Nodos cercanos al impacto A1-S2 tapa 1. (Fuente: Autor)

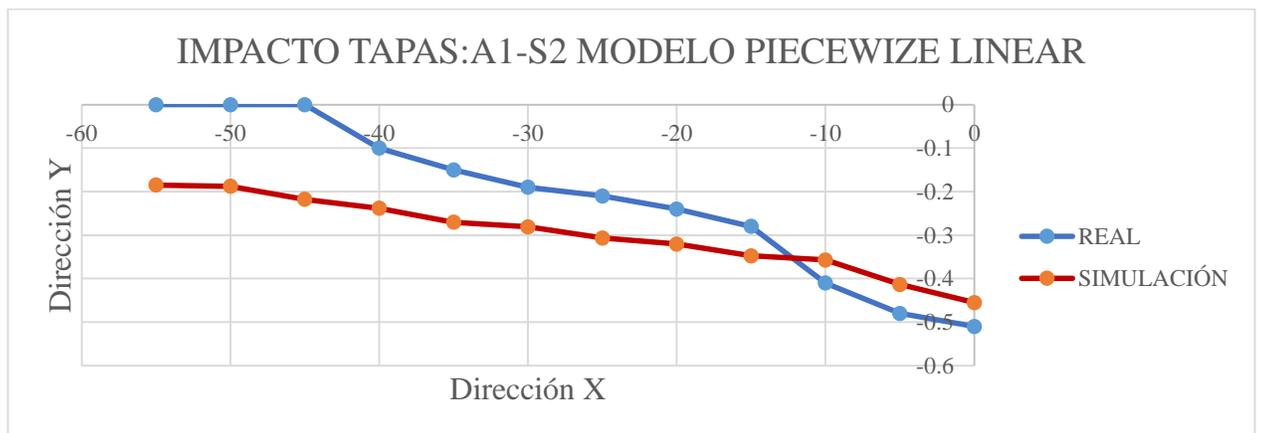
En la tabla 4.37 se puede apreciar las deformaciones tanto para os puntos medidos como para los nodos a distancias de 5 mm definido por las distancias a las cuales se realizó las mediciones de deformación.

**Tabla 4.36** Resultados para ensayo balístico área 1 sección 2 tapa 1

Nº NODO	DIRECCIÓN X (mm)	DIRECCIÓN Y (mm) REAL	DIRECCIÓN Y (mm) FEM
1564	-55	0	-0.1848
1566	-50	0	-0.1876
1568	-45	0	-0.2175
1570	-40	-0.1	-0.2381
1572	-35	-0.15	-0.2703
1574	-30	-0.19	-0.2811
1576	-25	-0.21	-0.3066
1578	-20	-0.24	-0.3204
1580	-15	-0.28	-0.3475
1582	-10	-0.41	-0.357
1901	-5	-0.48	-0.4135
2337	0	-0.51	-0.455

(Fuente: Autor)

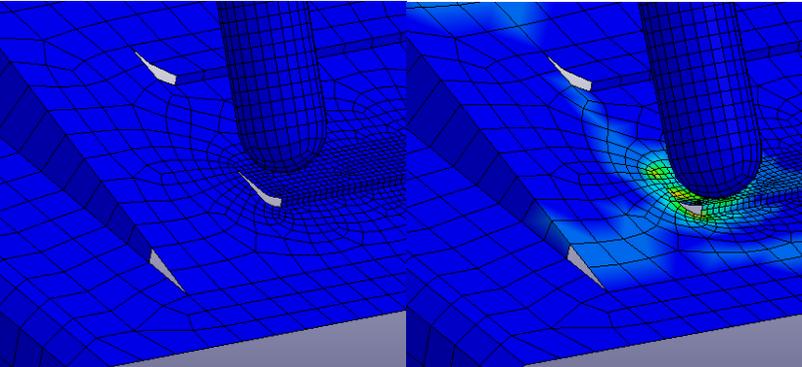
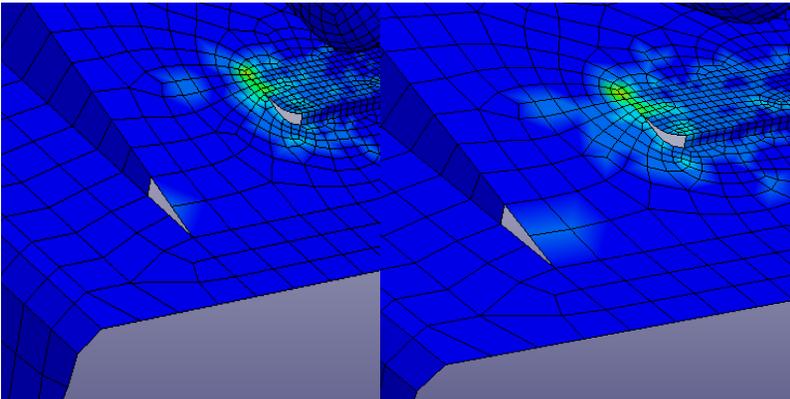
Como se observa en la figura 4.76, el valor máximo de deformación simulado es muy cercano al valor medido, la curva de deformación se ajusta relativamente bien, sin embargo, la apreciación de la deformación para la simulación tiene un alcance mayor. Para la estimación del error debido a la dificultad de medición en el área seleccionada se da un cambio en el comportamiento de las curvas de análisis sin embargo el punto mínimo es el que tiene un valor en 0 en x.



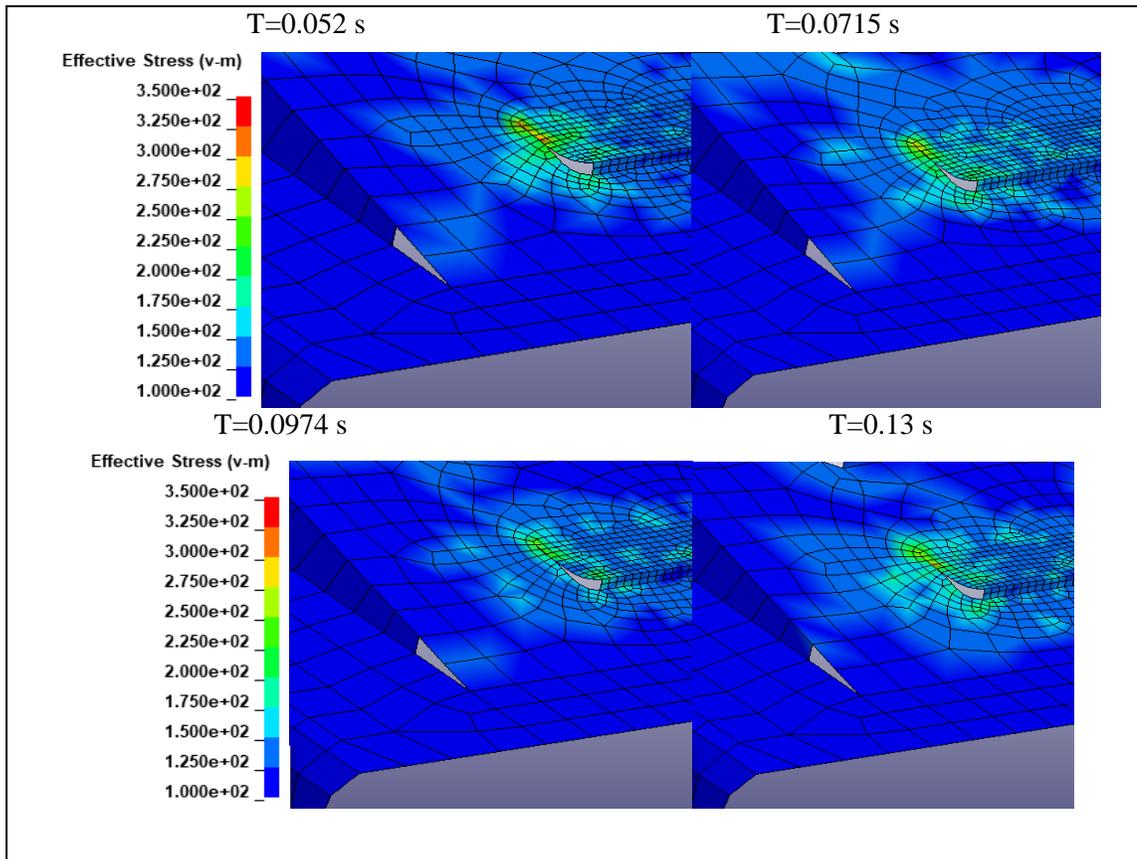
**Figura 4.76** Comparación de deformación real y simulado A1-S2. tapa 1.

(Fuente: Autor)

Tabla 4.37 Simulación de impacto de bola según área 3- sección 2, tapa 2.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 			
<b>SIMULACIÓN DE ENSAYO DE IMPACTO DE BOLA.</b>			
<b>Norma Aplicable:</b>	Contenedores fijos para residuos UNE-EN 12574-2 Requisitos de funcionamiento y métodos de ensayo		
<b>Fecha de Ejecución:</b>	26/10/2018	<b>Realizado por:</b>	Gustavo Pomaquero
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Diego Núñez
<b>Relación de Aspecto Mínima:</b>	1	<b>Relación de aspecto máxima:</b>	4.77
<b>Skewness Máximo</b>	0.879	<b>Skewness Mínimo</b>	0
<b>Ortogonalidad Máxima:</b>	1	<b>Ortogonalidad Mínima:</b>	0.4
<b>Número de Elementos:</b>	54593	<b>Número de Nodos:</b>	64325
<b>Tiempo de Procesamiento:</b>	9h 35 min	<b>Número de Procesadores:</b>	1
<b>Memoria RAM: 16 GB</b>		<b>Tipo de Contenedor de Residuos:</b> Carga Lateral 2400 L	
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>			
	t=0 s	t=0.006 s	
<b>Effective Stress (v-m)</b> 3.500e+02 3.250e+02 3.000e+02 2.750e+02 2.500e+02 2.250e+02 2.000e+02 1.750e+02 1.500e+02 1.250e+02 1.000e+02			
	t=0.026 s	t=0.0325 s	
<b>Effective Stress (v-m)</b> 3.500e+02 3.250e+02 3.000e+02 2.750e+02 2.500e+02 2.250e+02 2.000e+02 1.750e+02 1.500e+02 1.250e+02 1.000e+02			

**Tabla 4.37** Simulación de impacto de bola según área 3- sección 2, tapa 2. Continuación

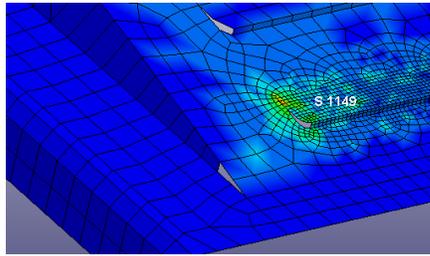


**RESULTADOS OBTENIDOS**

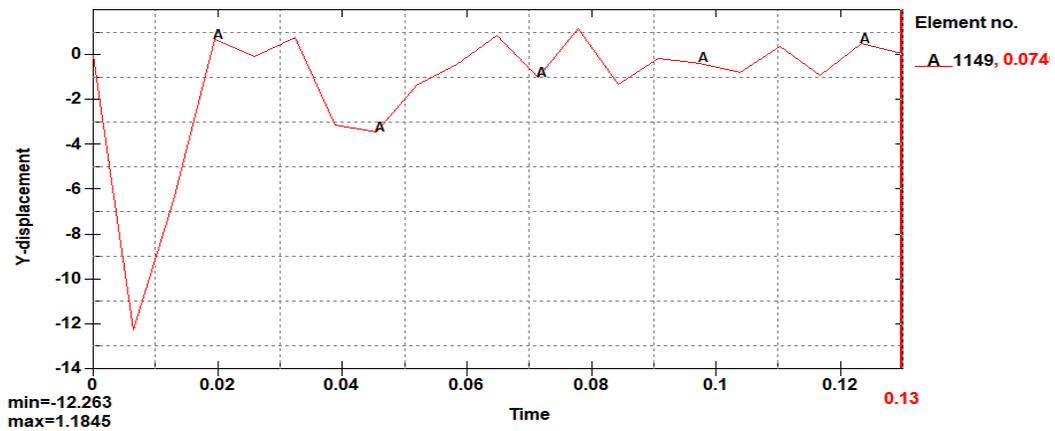
<b>Deformación Máxima:</b>	0 mm	<b>Deformación Mínima:</b>	-1.308 mm
<b>Deformación plástica Efectiva Max:</b>	0	<b>Deformación plástica Efectiva Min:</b>	0

(Fuente: Autor)

El elemento 1149 se encuentra en el punto central del impacto, es el que se ve afectado de manera directa por lo cual se evaluará, su desplazamiento en el eje y, además se determinará su deformación plástica equivalente y el esfuerzo generado debido al impacto.



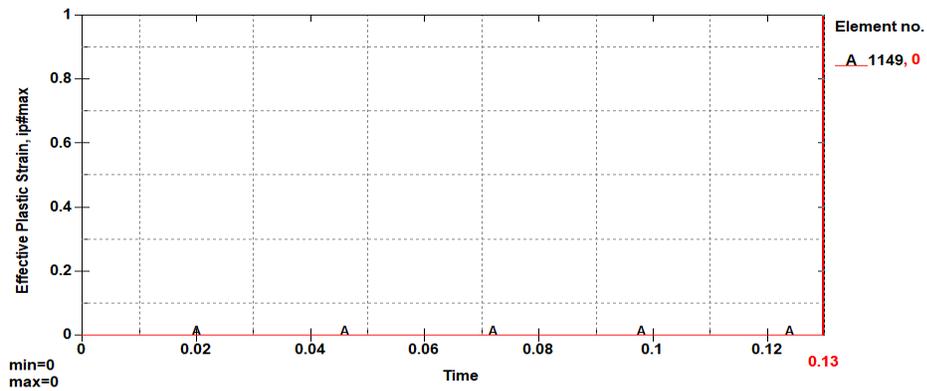
**Figura 4.77** Elemento 1149 en el punto central de impacto A3-S2- tapa 2. Fuente: Autor  
 Como se puede visualizar en la figura 4.78 el desplazamiento máximo para el elemento 1149 fluctúa entre 0 y -1 los valores de la deformación se mantienen dentro de este rango. Además, se puede visualizar que la deformación se estabiliza aproximadamente en el tiempo de 0.08 s.



**Figura 4.78** Desplazamiento en Y de elemento 1149 debido al impacto. A3-S2 tapa 2.

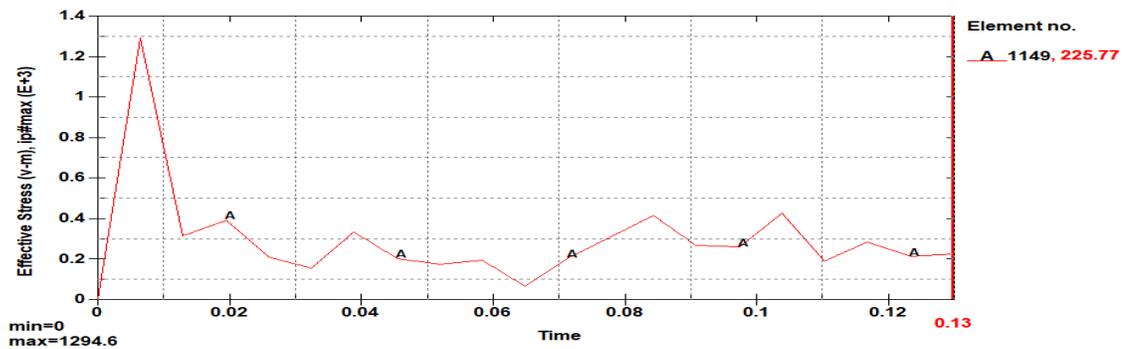
(Fuente: Autor)

La figura 4.79 muestra el comportamiento del elemento 1149 debido al impacto el cual tiene un valor de 0 dado que no se supera el esfuerzo plástico efectivo del material que fue de 0.3, la falla plástica en el material no está presente.



**Figura 4.79** Deformación plástica efectiva de elemento 1149 debido al impacto. A3-S2 tapa 2. (Fuente: Autor)

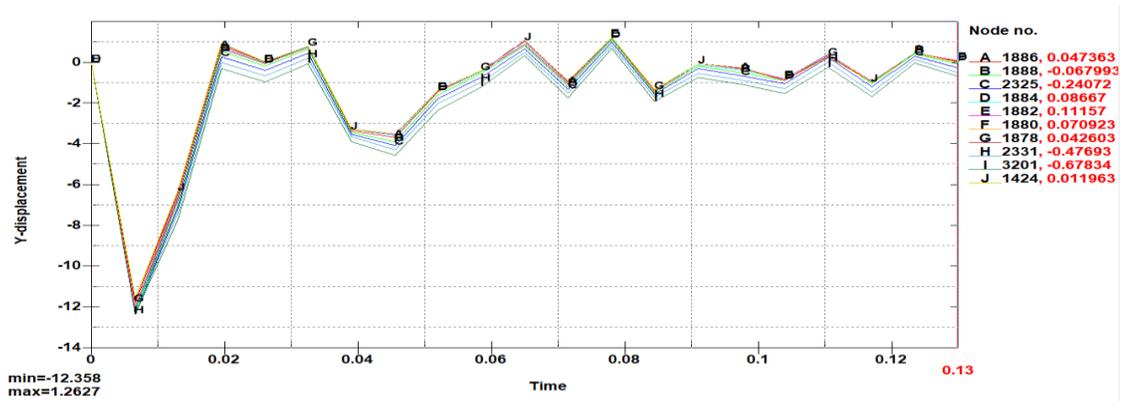
El esfuerzo es máximo en el modelo en el punto central del impacto para el elemento 1149 se visualiza en la figura 4.80, el cual tiene un valor de 225.77 Mpa en el tiempo de 0.13 s. El impacto produce un esfuerzo significativo en el material, que se traducen en las deformaciones medidas y simuladas en esta investigación. La norma UNE EN12574.2 hace referencia únicamente a deformaciones excesivas y rupturas en uniones soldadas, de los ensayos experimentales se sabe que estos parámetros no están presentes.



**Figura 4.80** Esfuerzo producido por impacto de bola. A3-S2 tapa 2 (Fuente: Autor)

- **Validación de Resultados.**

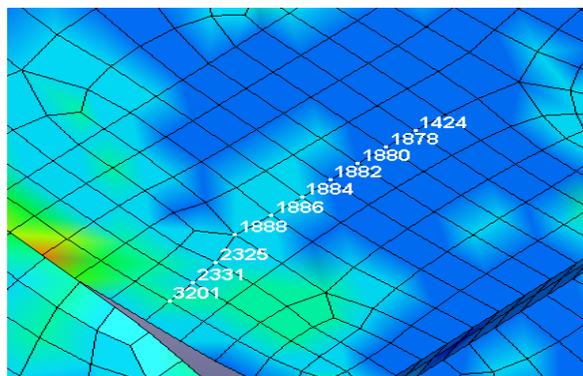
En la figura 4.81 se muestran los desplazamientos de varios nodos los cuales se encuentran cerca de la sección de impacto separados a 5 mm cada uno, el valor máximo de desplazamiento para este impacto se encuentra en el nodo 3201.



**Figura 4.81** Desplazamientos de los nodos cercanos al punto de impacto. A3-S2 tapa 2

(Fuente: Autor)

En la figura 4.82 se observa los nodos afectados por el impacto de los cuales se presenta las deformaciones sobre el eje Y, para la validación del modelo se toma en consideración la deformación máxima de correspondiente al nodo 3201 que presenta una deformación máxima -0.62 mm con un error del 9% respecto al valor medido que es un valor aceptable dado la escala milimétrica de corroboración de los resultados.



**Figura 4.82** Nodos cercanos al impacto A3-S2. tapa 2. (Fuente: Autor)

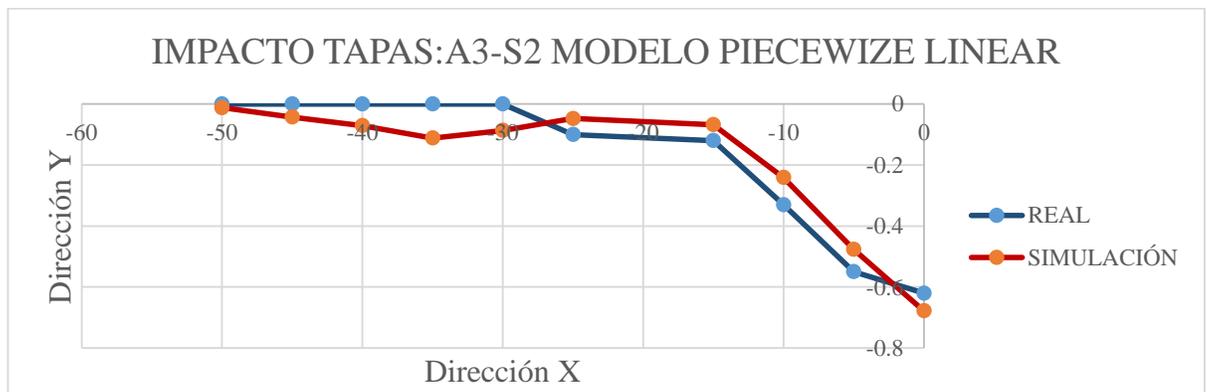
En la tabla 4.38, se puede apreciar las deformaciones tanto para los puntos medidos como para los nodos a distancias de 5 mm definido por las distancias a las cuales se realizó las mediciones de deformación.

**Tabla 4.38** Resultados para ensayo balístico Área 3 sección 2 Tapa 2

N° NODO	DIRECCIÓN X (mm)	DIRECCIÓN Y (mm) REAL	DIRECCIÓN Y (mm) FEM
1424	-50	0	-0.0119
1878	-45	0	-0.0426
1880	-40	0	-0.0709
1882	-35	0	-0.1115
1884	-30	0	-0.0866
1886	-25	-0.1	-0.0473
1888	-15	-0.12	-0.0679
2325	-10	-0.33	-0.2407
2331	-5	-0.55	-0.4769
3201	0	-0.62	-0.6783

(Fuente: Autor)

Como se observa en la figura 4.83, el valor máximo de deformación simulado es muy cercano al valor medido, la curva de deformación se ajusta relativamente bien, sin embargo, la apreciación de la deformación para la simulación tiene un alcance mayor. Para la estimación del error debido a la dificultad de medición en el área seleccionada se da un cambio en el comportamiento de las curvas de análisis sin embargo el punto mínimo es el que tiene un valor en 0 en x.

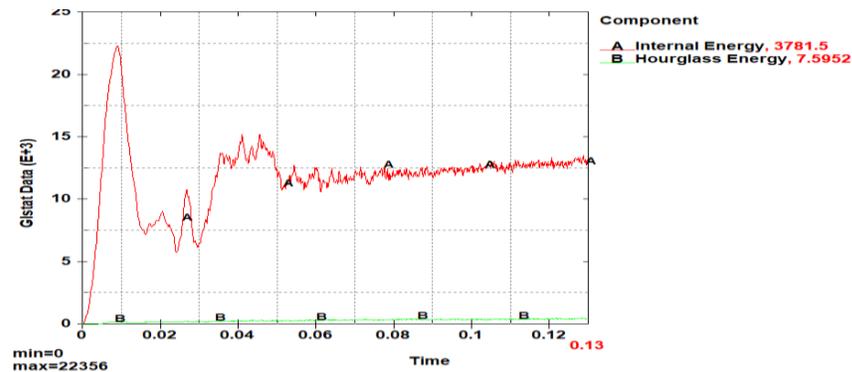


**Figura 4.83** Comparación de deformación real y Simulado A3-S2 Tapa 2

(Fuente: Autor)

### Energía Hourglass para impacto de tapas.

Se puede observar en la figura 4.84, el hourglass en el tiempo estimado de 0.13 s se mantiene en un valor muy bajo respecto a la energía interna con una relación de 0.2 % el cual es menor al 10% permitido para simulaciones explícitas dinámicas.



**Figura 4.84** Energía hourglass tapas para t=0.13 s.

(Fuente: Autor)

En la tabla 4.39 se muestra un resumen para los esfuerzos producidos para cada uno de los impactos, siendo los correspondientes a la base los de los elementos 8353, 7188,7036 7453 y 972,1149 para las tapas, los cuales presentan una concentración de esfuerzo de Von Mises elevado dado que se genera deformación plástica en el material. El criterio de evaluación para los estudios de simulación es la deformación plástica efectiva. La cual es permisible siempre y cuando no afecte a la funcionalidad del contenedor según lo estipulado en la norma UNE EN12574-2.

**Tabla 4.39** Tabla de esfuerzos para los distintos puntos de impacto en las tapas.

Tiempo	Elemento 8353	Elemento 7188	Elemento 7036	Elemento 7453	Elemento 972	Elemento 1149
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
6.4998e-003	559.73	420.63	469.12	621.01	1137.5	1294.6
1.3e-002	471.58	491.62	393.21	325.25	387.66	316.25
1.95e-002	532.88	450.46	477.47	322.04	111.44	393.86
2.6e-002	500.58	462.93	436.3	204.52	348.21	210.72
3.25e-002	474.15	499.12	469.48	387.59	135.47	157.41
3.9e-002	548.91	514.47	403.1	293.66	185.4	334.2
4.55e-002	574.69	439.47	426.39	418.89	78.4	202.56
5.2e-002	409.87	477.39	439.84	358.63	206.61	176.87

5.85e-002	521.74	480.13	396.46	291.37	257.83	194.22
6.5e-002	454.1	469.15	459.14	447.72	127.85	65.749
7.15e-002	406.19	499.39	404.06	374.5	129.32	205.9
7.8e-002	501.41	460.	438.13	386.42	204.86	311.9
8.45e-002	549.48	484.2	420.89	384.19	283.68	416.13
9.1e-002	577.72	520.38	370.51	401.28	166.49	266.86
9.75e-002	486.29	504.22	423.46	335.6	162.5	259.14
0.104	497.12	520.76	422.	323.2	214.26	426.77
0.1105	451.18	549.02	392.99	344.62	245.06	190.42
0.117	541.28	468.63	429.4	309.47	344.52	284.27
0.1235	587.76	564.86	443.43	408.19	298.29	213.52
0.13	486.41	487.11	390.78	292.48	106.43	225.77

(Fuente: Autor)

La tabla 4.40 muestra los errores estimados para los distintos impactos balísticos realizados en el contendor tanto para la base como para las tapas, se puede apreciar que las deformaciones son tan pequeñas que un criterio de error debido a estas deformaciones genera errores máximos del 11% hasta valores mínimos de un 7%, que dependen de varios factores como la ubicación correcta de los impactadores, de las condiciones de unión de componentes e incluso de la rigidez establecida debido a la afectación de la temperatura en las propiedades mecánicas especialmente en el módulo elástico es cual se varió dentro de rangos permisibles para asemejar los resultados simulados a las mediciones experimentales obteniendo los siguientes valores.

**Tabla 4.40** Estimación de error para impactos balísticos.

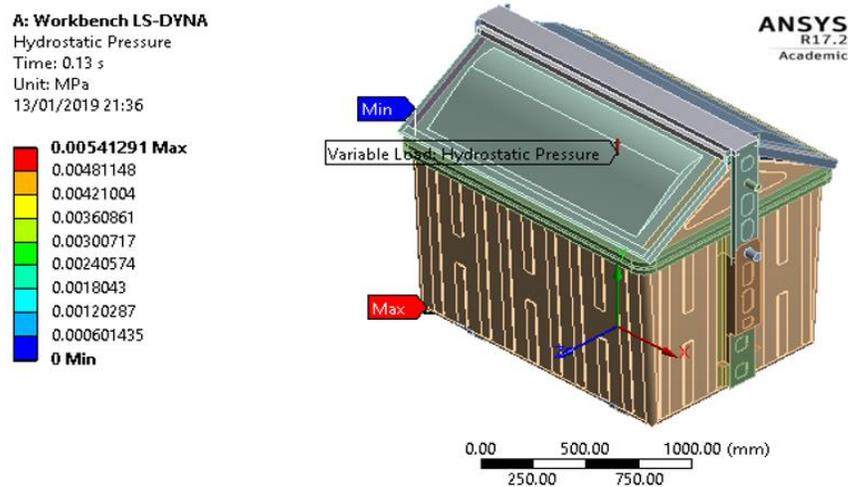
<b>NODOS</b>	<b>DESPLAZAMIENTO MÁXIMO REAL</b>	<b>DESPLAZAMIENTO MÁXIMO FEM</b>	<b>ERROR</b>
9975	-1.24	-1.3325	7%
8746	-4.95	-5.398	9%
8334	-4.92	-5.4632	11%
8989	-4.95	-5.4696	10%
2337	-0.51	-0.455	11%
3201	-0.62	-0.6783	9%

(Fuente: Autor)

#### 4.2.1.4 Análisis de impacto inclinado.

El ensayo de impacto en el estudio explícito, se lo realizará para las distintas posiciones especificadas en la UNE EN12574-2, a una distancia de 1 mm para evaluar los resultados producidos por el impacto. Las distancias calculadas según los datos experimentales para lograr la velocidad de 1.85 m/s y 1.3 m/s se establecen aquí como relaciones de distancia y velocidad.

La carga nominal de 9417 N se aplica en la base calculada como una presión hidrostática equivalente, así mismo el desplazamiento del contenedor se ve restringido en la dirección Y, para aproximar las condiciones sobre la superficie inclinada, además la superficie de impacto es una superficie rígida con un desplazamiento restringido en todos sus grados de libertad y con una apertura para que pueda pasar el dispositivo giratorio. En la figura 4.85. se puede apreciar la aplicación de la carga como una presión hidrostática.



**Figura 4.85** Presión hidrostática aplicada al contenedor según carga UNE EN 12574-2.

(Fuente: Autor)

Como se puede observar en la tabla 4.41 la densidad del fluido es equivalente a la densidad del HDPE que recomienda la normativa UNE EN12574-2 con un valor de 500 kg/m<sup>3</sup> y la altura de llenado es la calculada para tener una equivalencia con la carga nominal.

**Tabla 4.41** Condiciones para aplicación de presión hidrostática.

Type	Hydrostatic Pressure
Coordinate System	Global Coordinate System
<input type="checkbox"/> Fluid Density	5.e-007 kg/mm <sup>3</sup>
Suppressed	No
<b>Hydrostatic Acceleration</b>	
Define By	Components
<input type="checkbox"/> X Component	0. mm/s <sup>2</sup> (ramped)
<input type="checkbox"/> Y Component	9806.6 mm/s <sup>2</sup> (ramped)
<input type="checkbox"/> Z Component	0. mm/s <sup>2</sup> (ramped)
<b>Free Surface Location</b>	
<input type="checkbox"/> X Coordinate	0. mm
<input type="checkbox"/> Y Coordinate	1104. mm
<input type="checkbox"/> Z Coordinate	0. mm
Location	Click to Change

(Fuente: Autor)

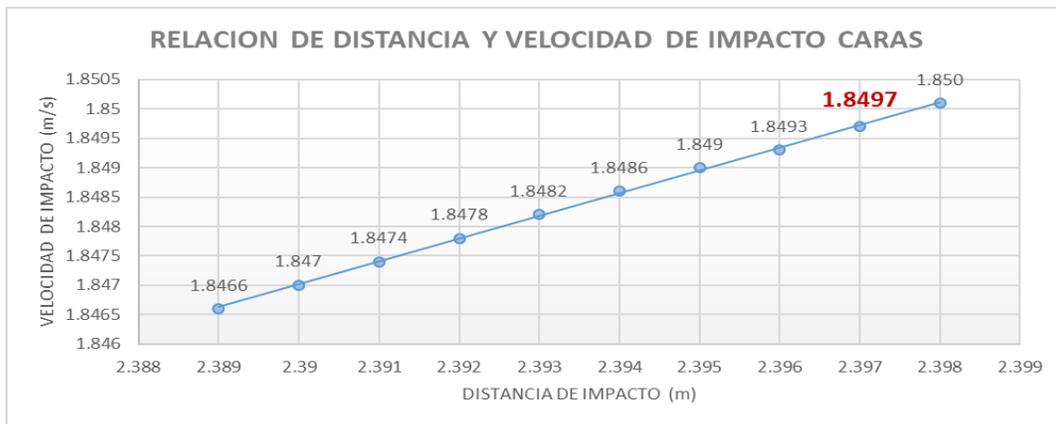
#### 4.2.1.4.1 Ensayo de caras

La relación de la velocidad y la distancia viene definida por la ecuación cinemática que gobierna el desplazamiento del contenedor, descrita en el capítulo 3 mediante esta relación se define la velocidad de impacto para cada cara del contenedor. En la tabla 4.42 y en la figura 4.86, se visualizan los valores para las velocidades calculadas en el impacto a 1 mm de distancia de la velocidad dictada por la UNE EN 12574-2.

**Tabla 4.42** Relación de distancia y velocidad para impacto de caras.

<b>Distancia (m)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>
2.389	1.8466
2.39	1.847
2.391	1.8474
2.392	1.8478
2.393	1.8482
2.394	1.8486
2.395	1.849
2.396	1.8493
<b>2.397</b>	<b>1.8497</b>
2.398	1.850

(Fuente: Autor)



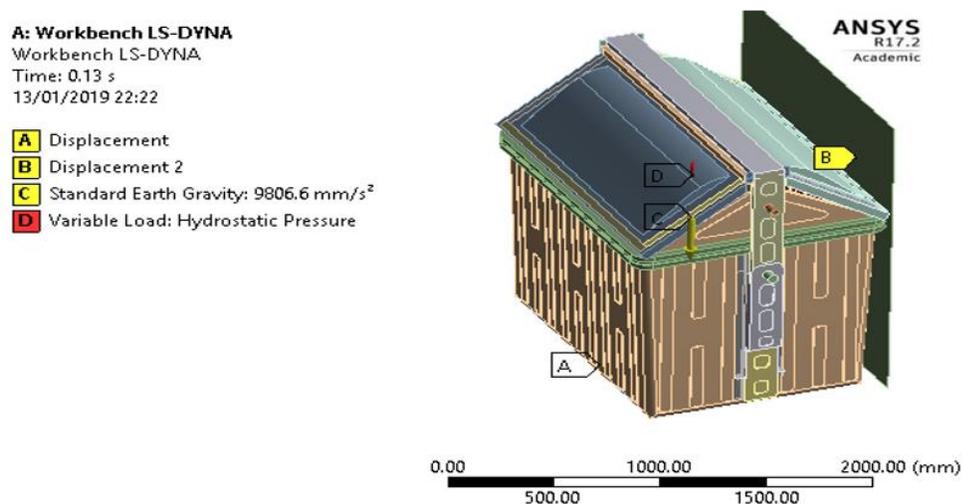
**Figura 4.86** Grafica de relación distancia a velocidad de impacto para caras.

(Fuente: Autor)

### a) Impacto frontal

#### Condiciones de frontera

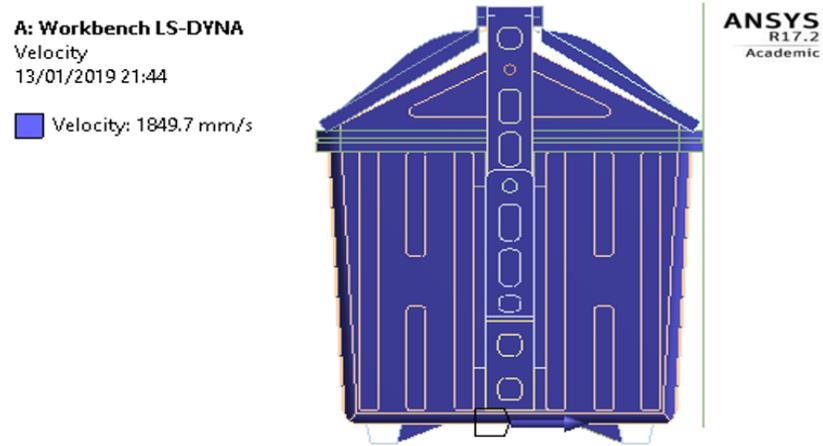
En la figura 4.87 se puede observar las condiciones establecidas para el ensayo de las caras del contenedor entre ellas el desplazamiento del contenedor restringido en la dirección Y, la restricción de la superficie de impacto, la carga aplicada como presión hidrostática y la aceleración de la gravedad para aproximar de mejor manera el ensayo de impacto frontal.



**Figura 4.87** Condiciones de frontera para impacto frontal

(Fuente: Autor)

En la figura 4.88 se puede observar la aplicación de la velocidad calculada a una distancia de 1 mm, todos los componentes del contenedor se desplazan hacia la superficie de impacto frontal a la misma velocidad.



**Figura 4.88** Velocidad para impacto frontal (Fuente: Autor)

En la tabla 4.43 se puede apreciar la afectación de los elementos aledaños al impacto gracias a la escala coloreada para todos los intervalos en el tiempo se puede observar la escala de esfuerzo donde el color rojo representa la mayor afectación de los elementos, con lo cual deducimos que la mayor concentración de esfuerzos de von mises, están presentes en la unión de la tapa 3 del contenedor.

Tabla 4.43 Simulación de impacto frontal de contenedor.

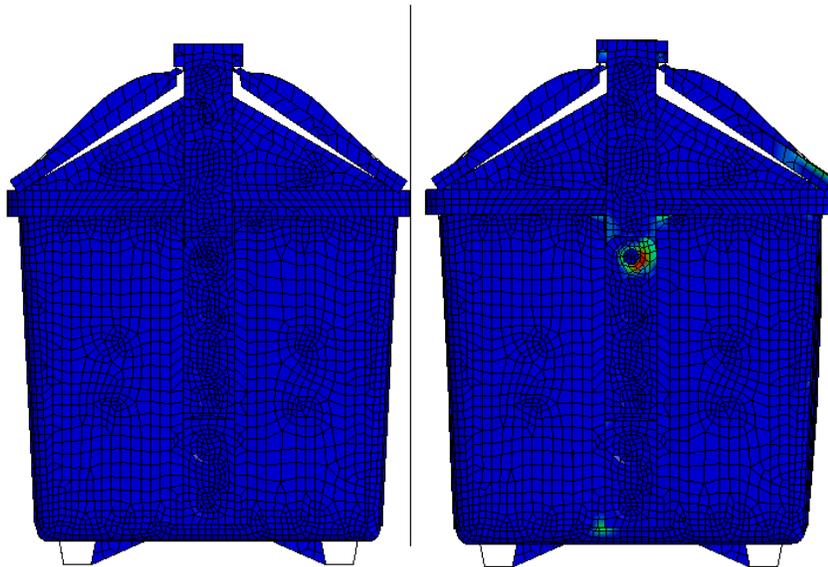
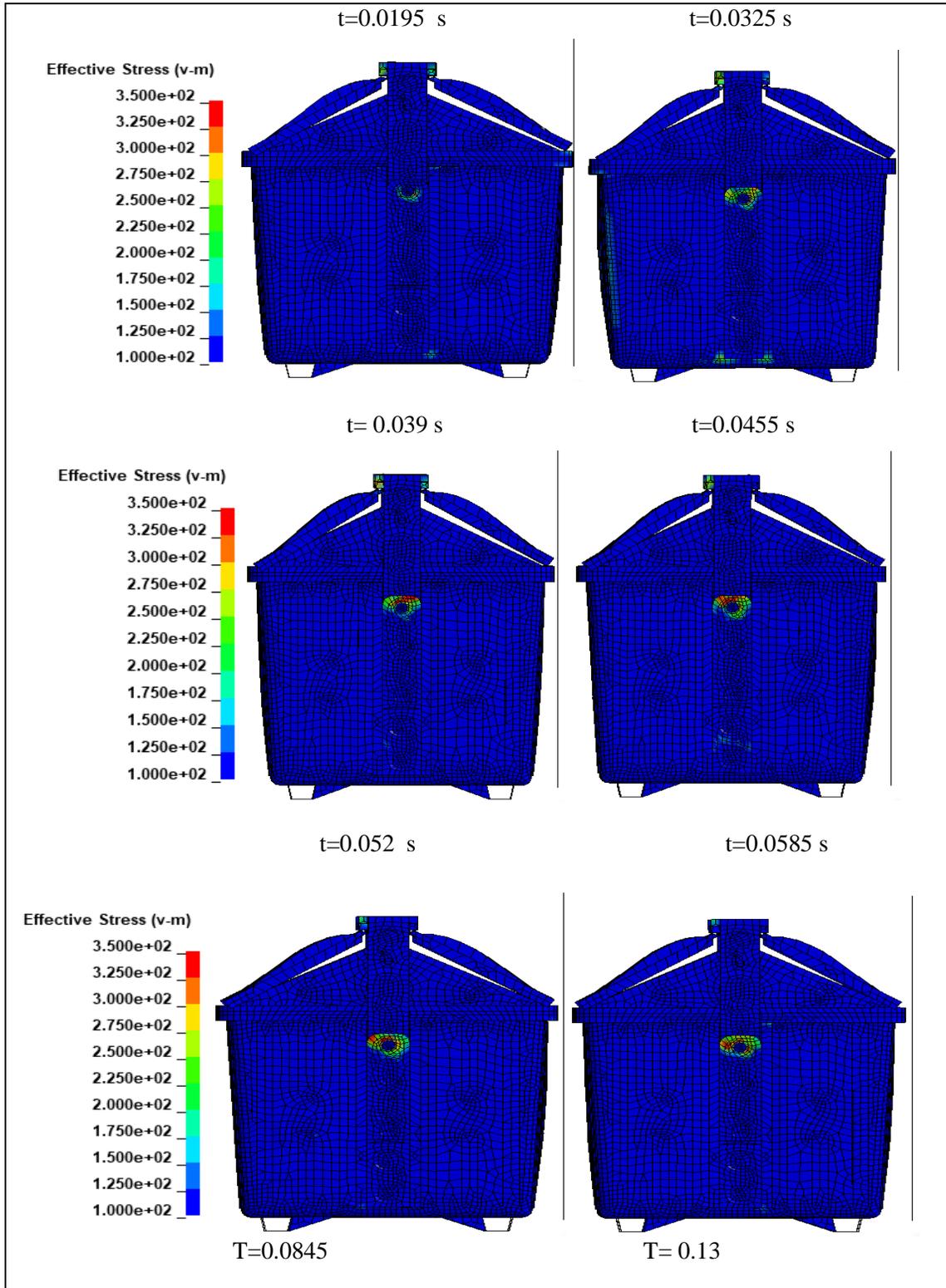
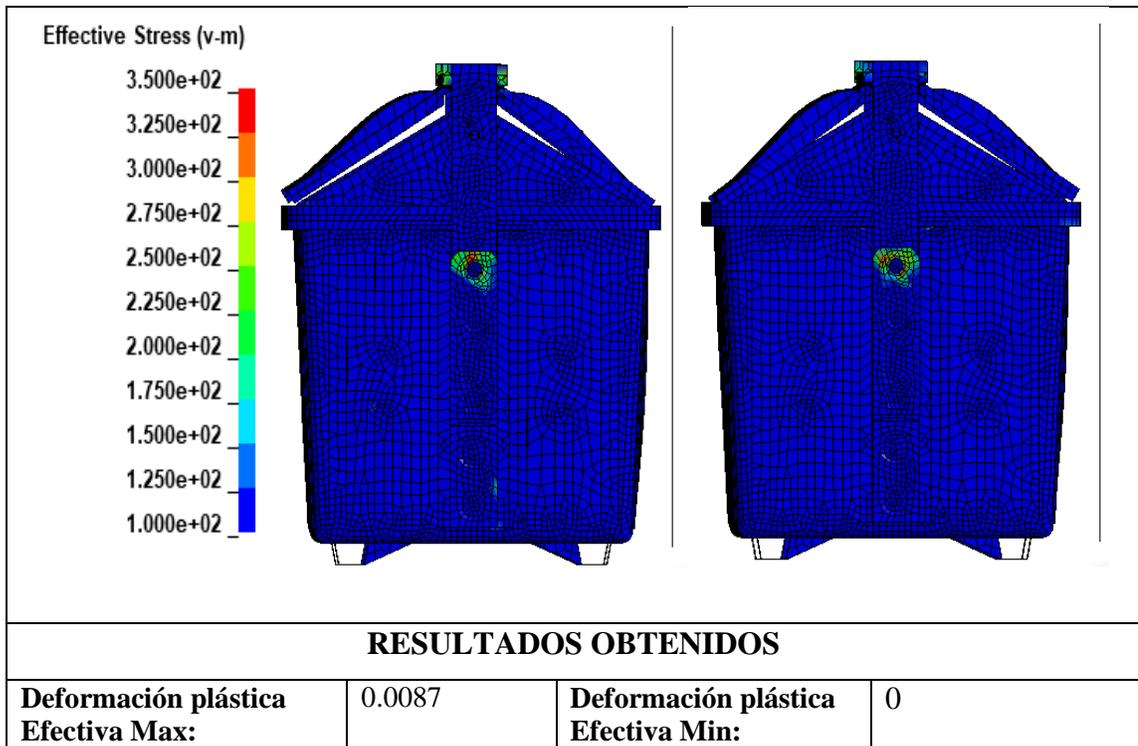
 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 			
SIMULACIÓN DE ENSAYO DE IMPACTO FRONTAL			
<b>Norma Aplicable:</b>	Contenedores fijos para residuos UNE-EN 12574-2 Requisitos de funcionamiento y métodos de ensayo		
<b>Fecha de Ejecución:</b>	28/12/2018	<b>Realizado por:</b>	Gustavo Pomaquero
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Diego Núñez
<b>Relación de Aspecto Mínima:</b>	1	<b>Relación de aspecto máxima:</b>	4.77
<b>Skewness Máximo</b>	0.879	<b>Skewness Mínimo</b>	0
<b>Ortogonalidad Máxima:</b>	1	<b>Ortogonalidad Mínima:</b>	0.4
<b>Número de Elementos:</b>	54593	<b>Número de Nodos:</b>	64325
<b>Tiempo de Procesamiento:</b>	19h 24 min	<b>Número de Procesadores:</b>	1
<b>Memoria RAM:</b> 16 GB		<b>Tipo de Contenedor de Residuos:</b> Carga Lateral 2400 L	
RESULTADO DEL ENSAYO			
T=0		T = 0.006	
<b>Effective Stress (v-m)</b> 3.500e+02 3.250e+02 3.000e+02 2.750e+02 2.500e+02 2.250e+02 2.000e+02 1.750e+02 1.500e+02 1.250e+02 1.000e+02			

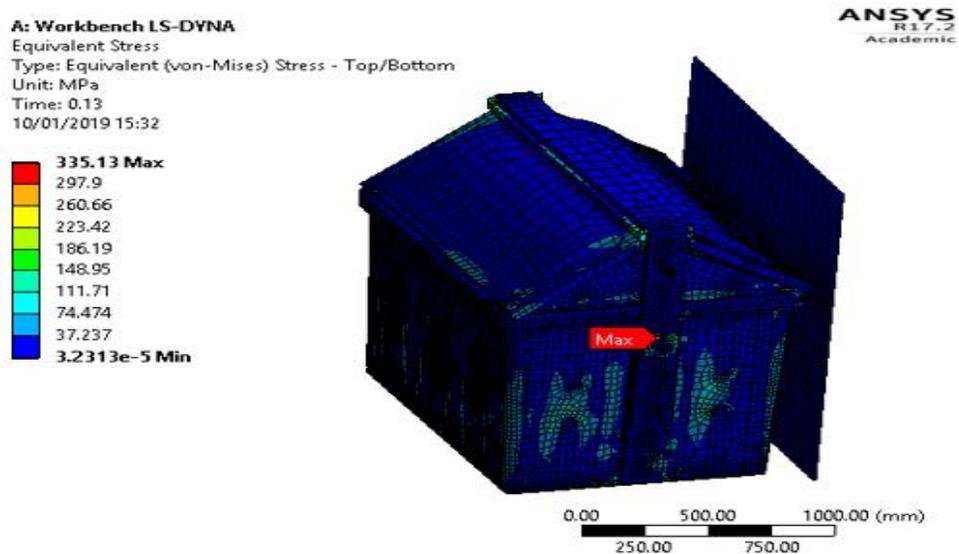
Tabla 4.43 Simulación de impacto frontal de contenedor. Continuación.





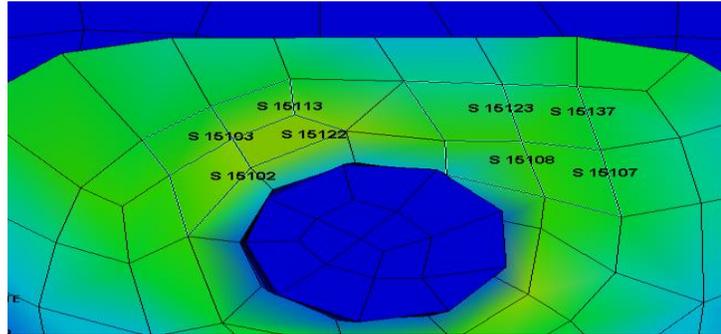
(Fuente: Autor)

En la figura 4.89 se puede observar la zona donde el esfuerzo es mayor debido al impacto frontal del contenedor, el cual resultó en la Tapa 3, por lo cual se procede a evaluar las deformaciones y esfuerzos producidos en la zona de mayor afectación.



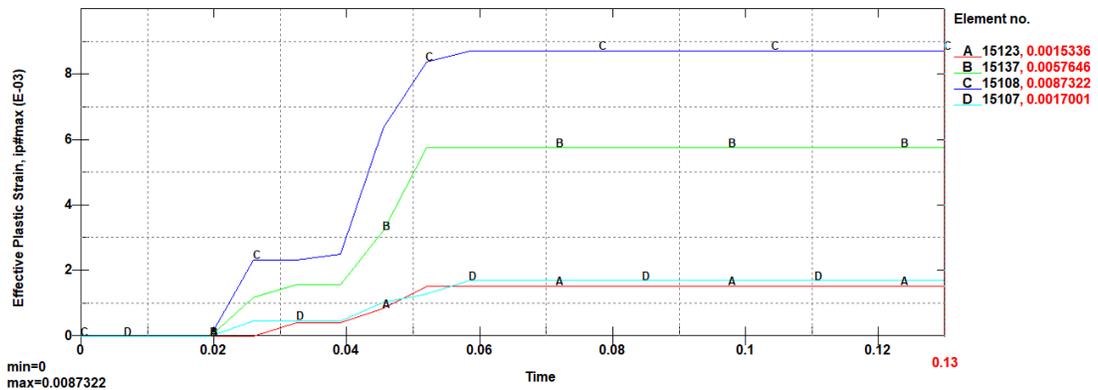
**Figura 4.89** Zona de esfuerzo máximo producido por impacto frontal.(Fuente: Autor)

La figura 4.90 muestra los elementos S15103, S 15113, S 15102, S15122, S15123, S15137, S 15108, S15107, los cuales se encuentran en la zona de mayor afectación debido al impacto frontal por lo cual se evaluará: deformación plástica equivalente y el esfuerzo generado debido al impacto.



**Figura 4.90** Elementos afectados por el impacto frontal. (Fuente: Autor)

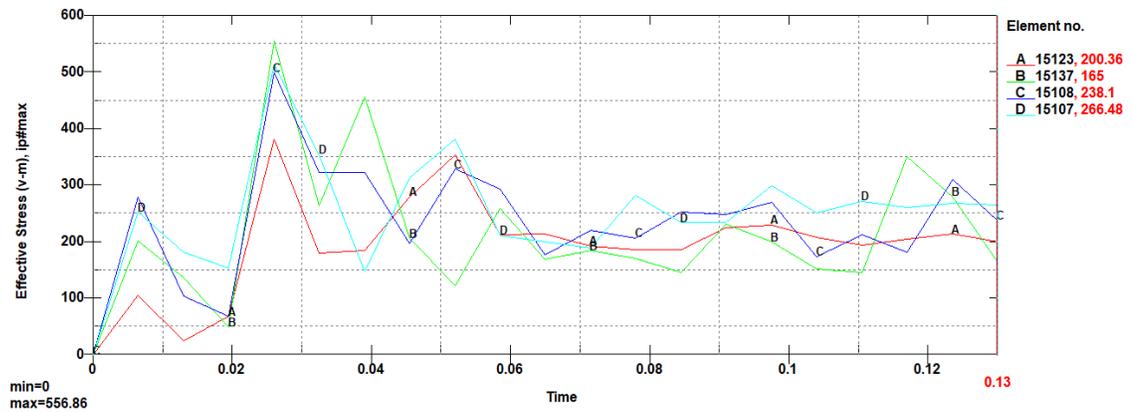
La figura 4.91 muestra el comportamiento plástico para los elementos S15103, S 15113, S 15102, S15122, S15123, S15137, S 15108, S15107 debido al impacto frontal cuyo máximo valor se presenta en el elemento S 15108 con un valor de 0.0087, en el tiempo de 0.13 s. La deformación plástica producida por este impacto es demasiado pequeña como para considerar que afecta al contenedor en su funcionalidad.



**Figura 4.91** Deformación plástica efectiva máxima de elemento afectados por impacto frontal. (Fuente: Autor)

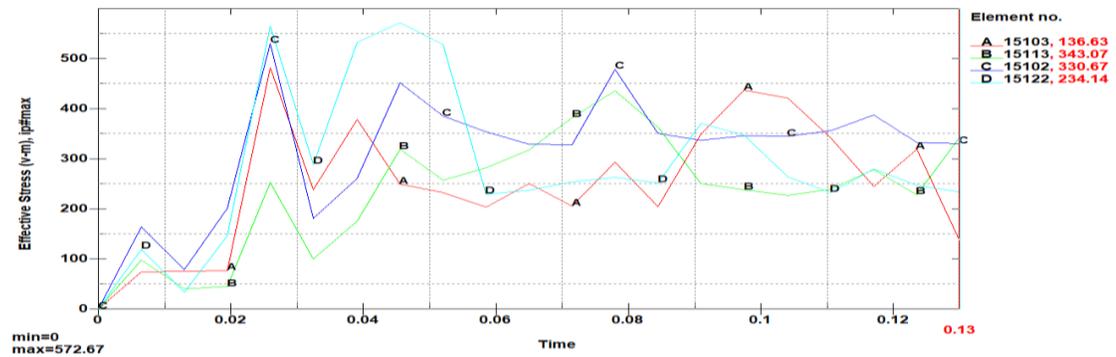
Para la zona en la cual se concentra el esfuerzo se han dividido las áreas de mayor afectación en un lado derechos debido a la concentración de los datos, de los elementos 15123, 15137, 15108 y 15107 los cuales debido al impacto presentan un elevado esfuerzo al inicio

de impacto, el cual se estabiliza a partir de los 0.06 s. En la figura 4.92 se puede observar los elementos afectados por el impacto.



**Figura 4.92** Esfuerzos producidos en los elementos del sector derecho de impacto frontal. (Fuente: Autor)

A continuación, se muestra el lado izquierdo que consta de los elementos 15103, 15113, 15102, 15122 donde el esfuerzo es mayor, se puede visualizar en la figura 4.93 al final del tiempo de análisis el esfuerzo disminuye significativamente.



**Figura 4.93** Esfuerzos producidos en los elementos del sector izquierdo de impacto frontal. (Fuente: Autor)

En la tabla 4.44 se presenta un resumen de los esfuerzos producidos por el impacto frontal del contenedor para los elementos que tienen mayor afectación. El comportamiento del esfuerzo para cada elemento justo en el momento del impacto es elevado, no obstante, como se puede observar en la tabla 4.43 el esfuerzo equivalente conforme aumenta el tiempo de simulación disminuye a valores.

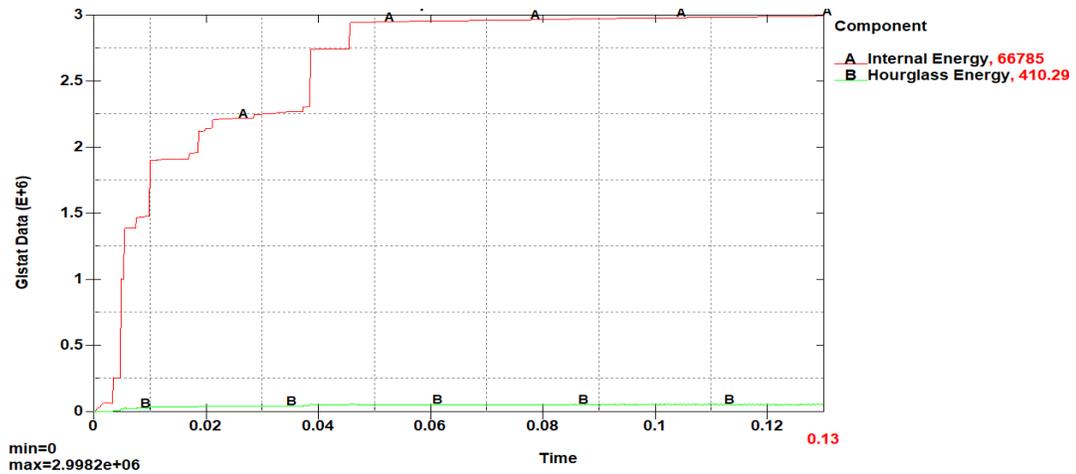
**Tabla 4.44** Esfuerzos en Mpa para elementos mayormente afectados por impacto frontal.

<b>Tiempo</b>	<b>Elemento 15123</b>	<b>Elemento 15137</b>	<b>Elemento 15108</b>	<b>Elemento 15107</b>	<b>Elemento 15103</b>	<b>Elemento 15113</b>	<b>Elemento 15102</b>	<b>Elemento 15122</b>
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
6.5e-003	105.75	126.15	279.39	252.89	74.275	98.073	163.84	119.54
1.3e-002	24.903	115.24	104.9	182.19	74.925	40.915	78.542	33.95
1.95e-002	68.015	39.281	68.996	154.46	76.841	44.74	200.99	146.34
2.6e-002	382.25	550.7	500.3	513.94	482.92	252.92	531.49	566.01
3.25e-002	180.25	228.14	323.51	355.02	239.16	100.44	181.32	289.51
3.9e-002	184.58	422.83	323.13	147.34	379.54	175.55	261.48	534.02
4.55e-002	280.11	137.86	196.81	314.61	249.68	319.27	452.39	572.67
5.2e-002	354.62	65.133	329.26	381.98	233.07	235.09	379.2	529.38
5.85e-002	128.35	188.71	294.11	211.85	203.65	282.97	278.13	229.78
6.5e-002	128.44	164.31	176.75	199.81	251.15	318.45	330.33	237.31
7.15e-002	133.76	148.67	221.13	189.67	205.63	383.13	324.83	217.73
7.8e-002	176.88	95.498	206.98	282.97	294.25	436.83	479.92	175.47
8.45e-002	91.283	81.615	252.86	234.34	204.65	363.33	291.47	145.66
9.1e-002	225.22	124.56	248.68	234.48	350.01	250.93	252.53	371.12
9.75e-002	230.28	186.34	270.79	300.16	437.62	147.65	329.83	348.01
0.104	121.45	98.556	174.55	252.18	421.7	146.43	330.09	264.53
0.1105	114.61	78.295	213.22	272.17	341.73	123.22	289.73	185.54
0.117	143.4	305.37	182.02	261.14	245.41	279.57	388.39	279.78
0.1235	129.18	161.15	310.31	269.09	319.66	199.09	332.78	170.2
0.13	108.44	132.61	238.1	266.48	116.17	343.07	188.48	211.84

(Fuente: Autor)

- **Energía hourglass**

Se puede observar en la figura 4.94, el hourglass en el tiempo estimado de 0.13 s se mantiene en un valor muy bajo respecto a la energía interna con una relación de 0.61 % el cual es menor al 10% permitido para simulaciones explícitas dinámicas.

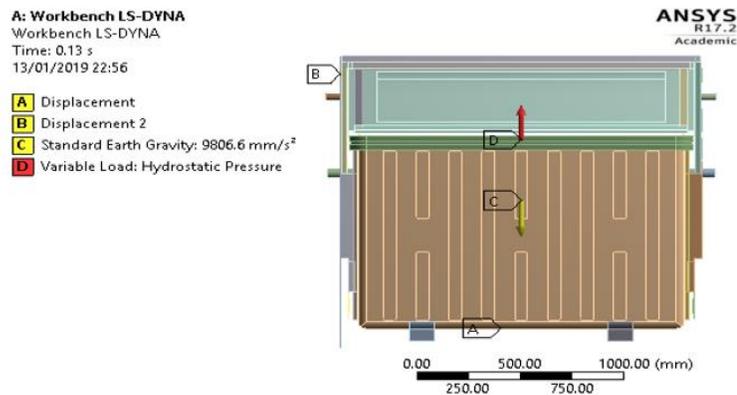


**Figura 4.94** Energía de hourglass debido a impacto frontal. (Fuente: Autor)

### b) Impacto lateral

- **Condiciones de frontera**

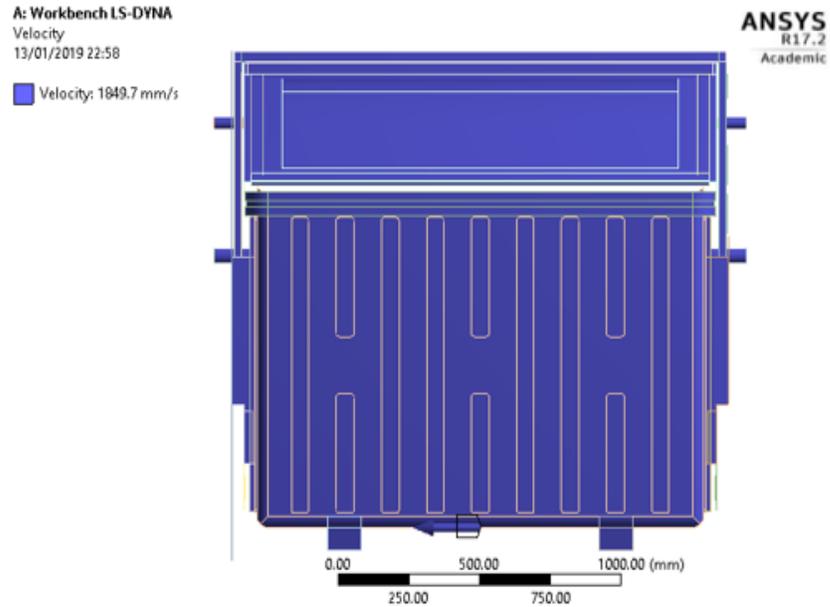
En la figura 4.95 se puede observar las condiciones establecidas para el ensayo de las caras laterales del contenedor entre ellas el desplazamiento del contenedor restringido en la dirección Y, la restricción de la superficie de impacto, la carga aplicada como presión hidrostática y la aceleración de la gravedad para aproximar de mejor manera el ensayo de impacto lateral.



**Figura 4.95** Condiciones de frontera para impacto lateral.

(Fuente: Autor)

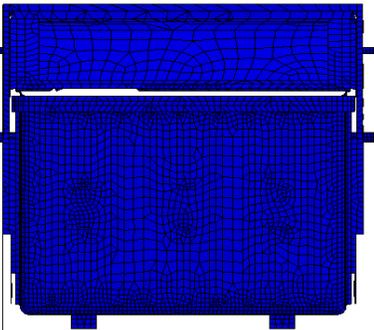
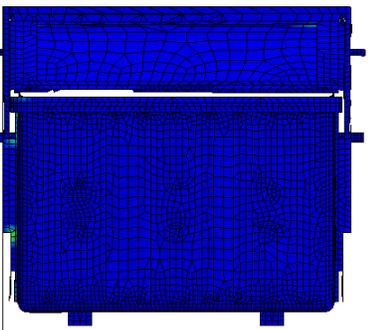
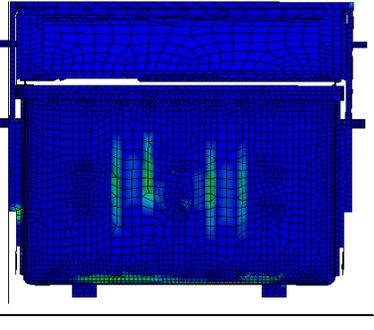
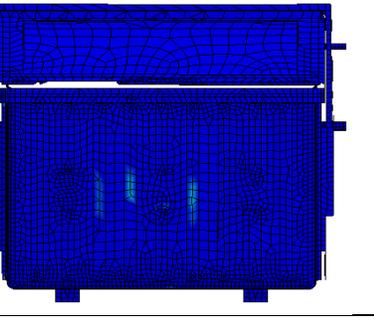
En la figura 4.96 se puede observar la aplicación de la velocidad calculada a una distancia de 1 mm, todos los componentes del contenedor se desplazan hacia la superficie de impacto lateral a la misma velocidad.

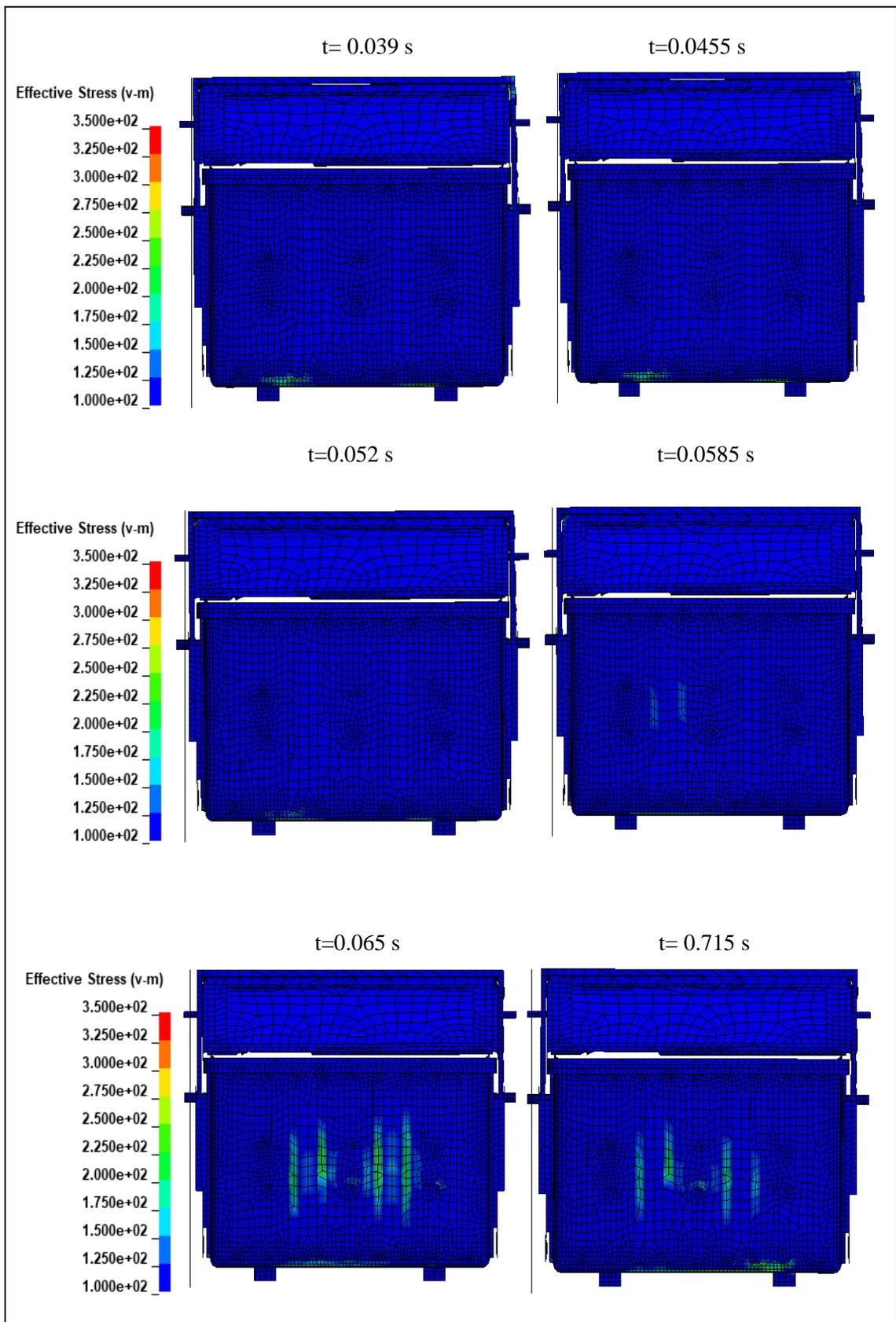


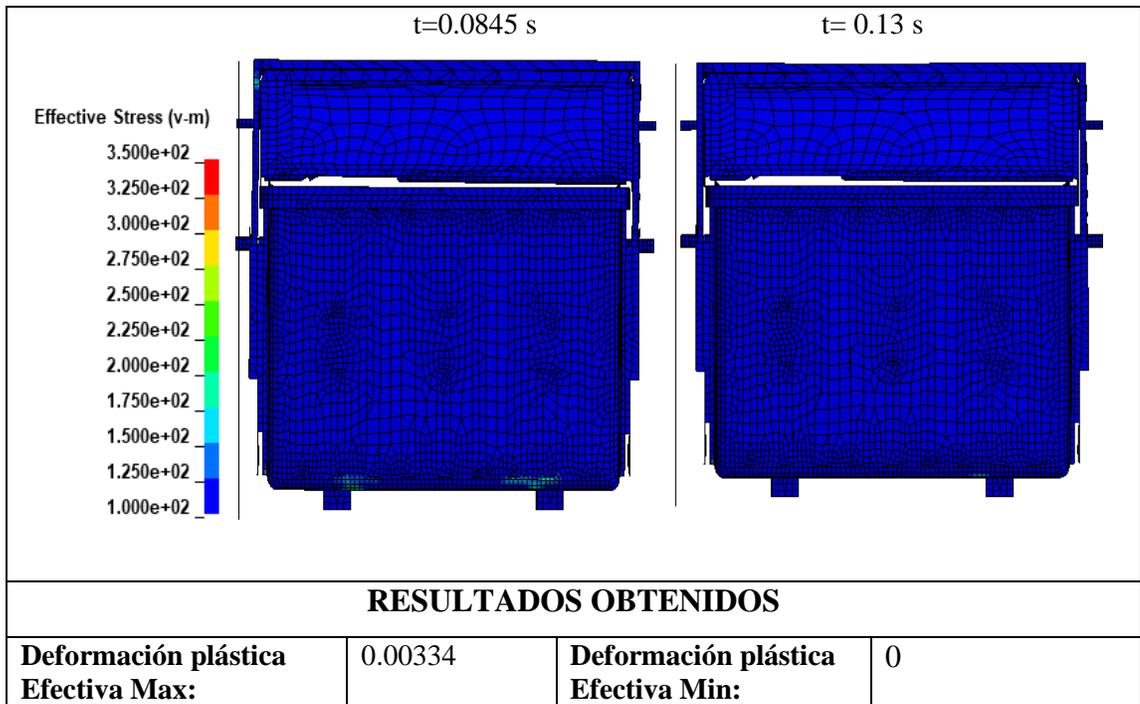
**Figura 4.96** Velocidad para impacto lateral. (Fuente: Autor)

En la tabla 4.45 se puede apreciar la afectación de los elementos aledaños al impacto gracias a la escala coloreada para todos los intervalos en el tiempo se puede observar la escala de esfuerzo donde el color rojo representa la mayor afectación de los elementos, con lo cual deducimos que la mayor concentración de esfuerzos de von mises, están presentes en la tina del contenedor

Tabla 4.45 Simulación de impacto lateral de contenedor.

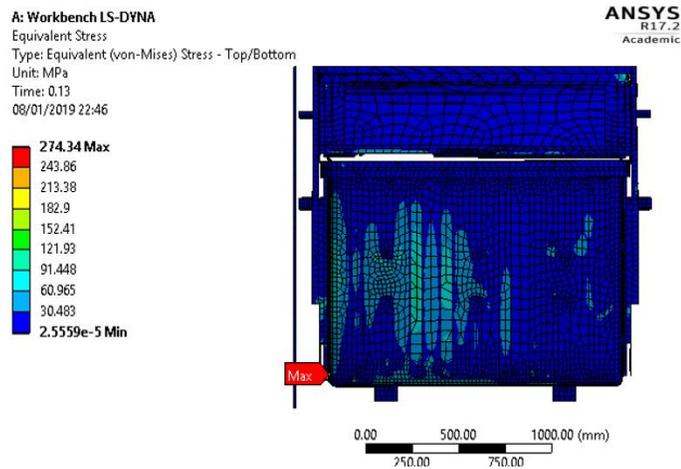
 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 			
<b>SIMULACIÓN DE ENSAYO DE IMPACTO LATERAL</b>			
<b>Norma Aplicable:</b>	Contenedores fijos para residuos UNE-EN 12574-2 Requisitos de funcionamiento y métodos de ensayo		
<b>Fecha de Ejecución:</b>	28/12/2018	<b>Realizado por:</b>	Gustavo Pomaquero
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Diego Núñez
<b>Relación de Aspecto Mínima:</b>	1	<b>Relación de aspecto máxima:</b>	4.77
<b>Skewness Máximo</b>	0.879	<b>Skewness Mínimo</b>	0
<b>Ortogonalidad Máxima:</b>	1	<b>Ortogonalidad Mínima:</b>	0.4
<b>Número de Elementos:</b>	54593	<b>Número de Nodos:</b>	64325
<b>Tiempo de Procesamiento:</b>	16h 15 min	<b>Número de Procesadores:</b>	1
<b>Memoria RAM: 16 GB</b>		<b>Tipo de Contenedor de Residuos: Carga Lateral 2400 L</b>	
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>			
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>t=0 s</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>t = 0.006 s</p>  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;"> <p>t=0.0195 s</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>t=0.0325 s</p>  </div> </div> <p>Effective Stress (v-m) color scale: 1.000e+02 to 3.500e+02</p>			





(Fuente: Autor)

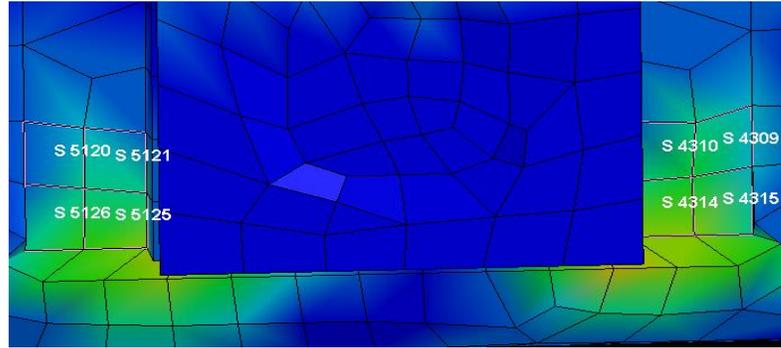
En la figura 4.97 se puede observar la zona donde el esfuerzo es mayor debido al impacto frontal del contenedor, el cual resultó en la Tapa 1, por lo cual se procede a evaluar las deformaciones y esfuerzos producidos en la zona de mayor afectación.



**Figura 4.97** Ubicación de esfuerzo máximo debido a impacto lateral.

(Fuente: Autor)

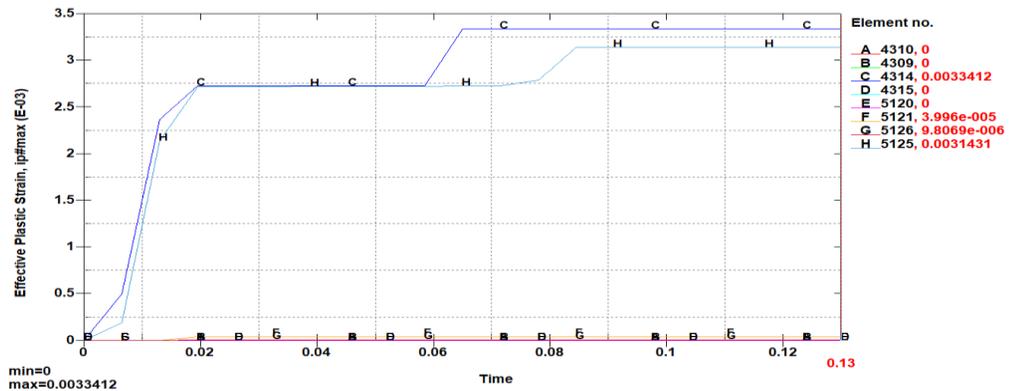
La figura 4.98 muestra los elementos S5120, S 5121, S 5126, S 5125, S 4310, S 4309, S 4314, S 4315, los cuales se encuentran en la zona de mayor afectación debido al impacto frontal por lo cual se evaluará: deformación plástica equivalente y el esfuerzo generado debido al impacto.



**Figura 4.98** Elementos afectados por impacto lateral de contenedor.

**Fuente:** Autor

La figura 4.99 muestra el comportamiento plástico para los elementos S5120, S 5121, S 5126, S 5125, S 4310, S 4309, S 4314, S 4315, debido al impacto frontal cuyo máximo valor se presenta en el elemento S 4314 con un valor de 0.00334, en el tiempo de 0.13 s. La deformación plástica producida por este impacto es demasiado pequeña como para considerar que afecta al contenedor en su funcionalidad.

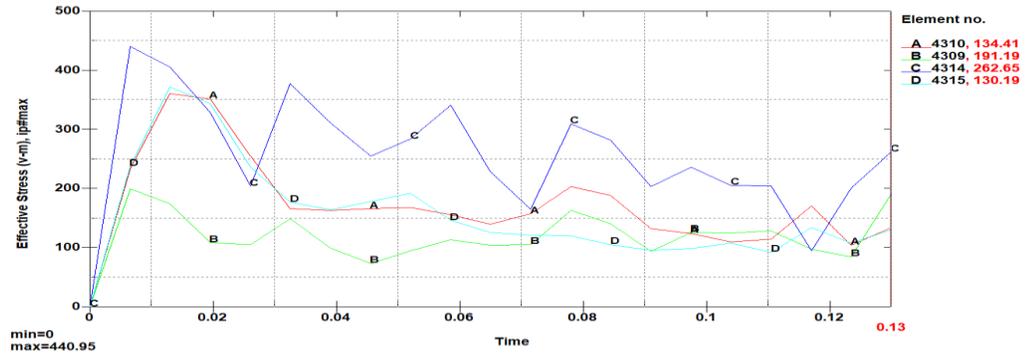


**Figura 4.99** Deformación plástica efectiva en elementos críticos por impacto lateral.

**(Fuente:** Autor)

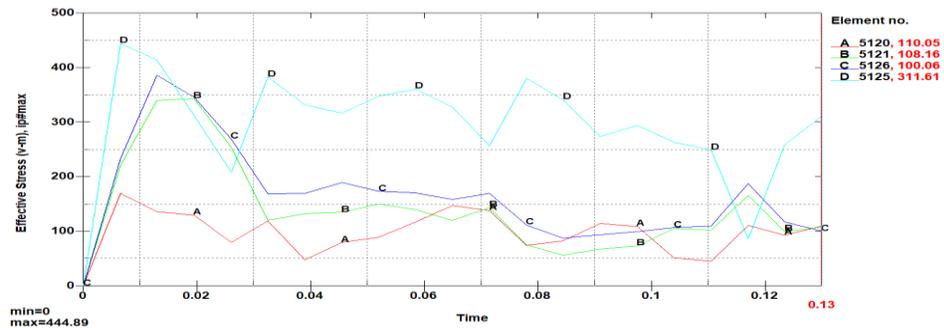
Para la zona en la cual se concentra el esfuerzo se han dividido las áreas de mayor afectación en un lado derechos como se observa en la figura 4.100, debido a la concentración de los

datos de los elementos 4310, 4309, 4314 y 4315 los cuales debido al impacto presentan un elevado esfuerzo al inicio de impacto, el cual se estabiliza a partir de los 0.06 s. El valor máximo de esfuerzo al final es el elemento 4314, cual presenta un esfuerzo equivalente de 262.65 Mpa para el tiempo de 0.13 s.



**Figura 4.100** Esfuerzos producidos en los elementos del sector derecho de impacto lateral. (Fuente: Autor)

A continuación, se muestra el lado izquierdo que consta de los elementos 5120, 5121, 5126, 5125 donde el esfuerzo es mayor, se puede visualizar en la figura 4.101 al final del tiempo de análisis el esfuerzo disminuye significativamente.



**Figura 4.101** Esfuerzos producidos en los elementos del sector izquierdo de impacto lateral. (Fuente: Autor)

En la tabla 4.46 se presenta un resumen de los esfuerzos producidos por el impacto lateral del contenedor para los elementos que tienen mayor afectación. El comportamiento del esfuerzo para cada elemento justo en el momento del impacto es elevado, no obstante, como se puede observar en la tabla 4.45 el esfuerzo equivalente, conforme aumenta el tiempo de simulación disminuye a valores permisibles.

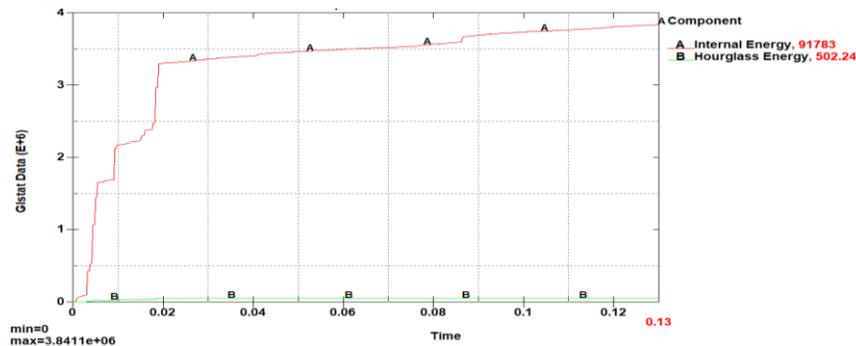
**Tabla 4.46** Esfuerzos críticos en Mpa para elementos de impacto lateral.

Tiempo	Elemento 5120	Elemento 5121	Elemento 5125	Elemento 5126	Elemento 4309	Elemento 4310	Elemento 4314	Elemento 4315
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
6.5e-003	169.95	221.56	444.89	233.85	199.35	233.6	440.95	238.14
1.3e-002	136.2	340.97	414.54	386.62	174.53	360.78	405.78	372.35
1.95e-002	129.67	343.41	312.46	346.43	108.39	352.11	329.57	344.49
2.6e-002	79.444	254.04	208.58	269.33	104.67	254.83	204.12	236.4
3.25e-002	118.81	119.93	383.37	168.76	148.72	165.85	378.39	177.09
3.9e-002	47.43	132.29	332.08	170.08	99.866	162.89	311.08	164.07
4.55e-002	79.511	134.83	316.92	189.05	73.304	165.66	255.2	177.91
5.2e-002	89.323	150.5	347.64	173.46	95.122	167.49	284.17	192.03
5.85e-002	117.22	139.67	361.34	170.54	113.63	155.85	341.51	146.24
6.5e-002	147.64	119.8	328.26	158.52	104.3	140.05	228.44	125.77
7.15e-002	138.1	143.6	256.83	169.95	105.32	157.19	164.75	121.04
7.8e-002	73.945	75.163	380.65	111.97	162.98	203.21	309.8	120.45
8.45e-002	82.558	56.037	341.69	87.232	140.77	188.76	282.46	105.53
9.1e-002	114.08	67.818	273.58	93.98	93.639	132.22	203.88	96.142
9.75e-002	108.94	73.542	294.3	99.229	125.82	124.27	236.07	98.174
0.104	51.32	104.97	263.17	106.92	125.08	109.62	205.88	107.42
0.1105	44.651	102.16	249.51	110.05	128.06	114.89	204.46	92.142
0.117	111.06	165.86	85.915	187.32	97.632	171.01	94.597	134.45
0.1235	93.217	99.705	258.62	117.18	84.88	104.52	200.69	107.68
0.13	110.05	108.16	311.61	100.06	191.19	134.41	262.65	130.19

(Fuente: Autor)

- **Energía hourglass**

Se puede observar el hourglass en el tiempo estimado de 0.13 s se mantiene en un valor muy bajo respecto a la energía interna con una relación de 0.54 % el cual es menor al 10% permitido para simulaciones explícitas dinámicas.



**Figura 4.102** Energía de hourglass debido al impacto lateral. (Fuente: Autor)

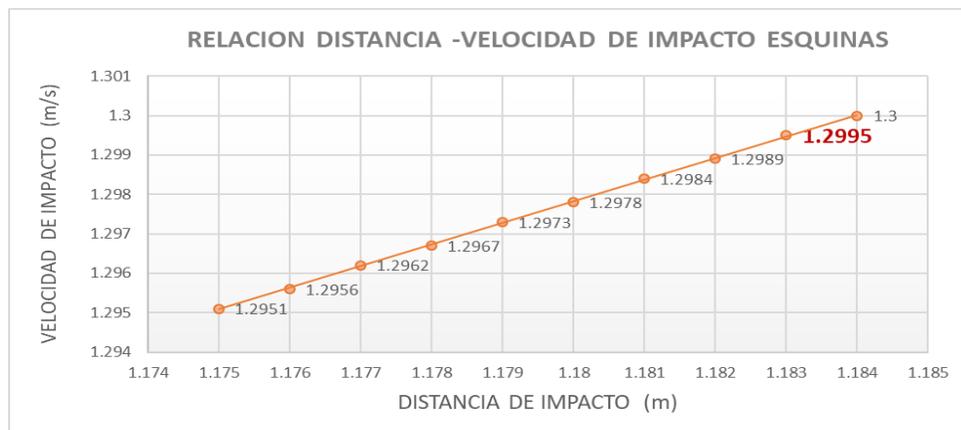
- **Impacto de esquinas**

De la misma manera que para el impacto de las caras de ha determinado la relación de la distancia con la velocidad para las esquinas la cual se observa en la tabla 4.46 y en la figura 103, donde el valor utilizado para simulaciones de impacto es el valor de 1.2995 m/s el cual es un valor determinado a una distancia de 1 mm de la superficie de impacto según lo indican los cálculos del capítulo 3.

**Tabla 4.47** Relación de distancia y velocidad para impacto de esquinas.

<b>Distancia (m)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>
1.175	1.2951
1.176	1.2956
1.177	1.2962
1.178	1.2967
1.179	1.2973
1.18	1.2978
1.181	1.2984
1.182	1.2989
<b>1.183</b>	<b>1.2995</b>
1.184	1.3

(Fuente: Autor)

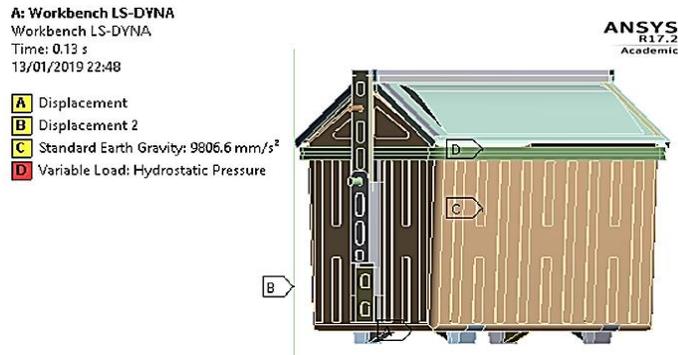


**Figura 4.103** Gráfica de relación distancia -velocidad en impacto de esquina.

(Fuente: Autor)

- **Condiciones de frontera**

En la figura 4.104 se puede observar las condiciones establecidas para el ensayo de las esquinas del contenedor, entre ellas el desplazamiento del contenedor el cual se ve restringido en la dirección Y, la restricción de movimiento de la superficie de impacto, la carga aplicada como presión hidrostática y la aceleración de la gravedad para aproximar de mejor manera el ensayo de impacto lateral.



**Figura 4.104** Condiciones de frontera para impacto de esquina. (Fuente: Autor)

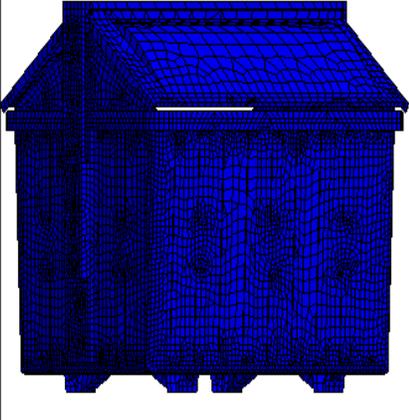
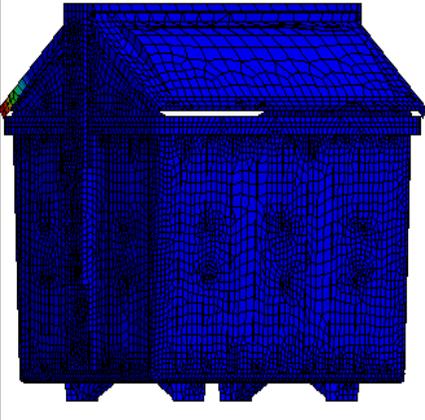
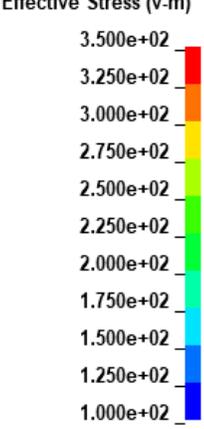
En la figura 4.105 se puede observar la aplicación de la velocidad calculada a una distancia de 1 mm, todos los componentes del contenedor se desplazan hacia la superficie de impacto de esquina a la misma velocidad. El contenedor ha sido girado 46° respecto al eje X para poder ingresar la velocidad de impacto de manera directa, de otra forma hubiese habido que utilizar componentes de velocidad en x y z.

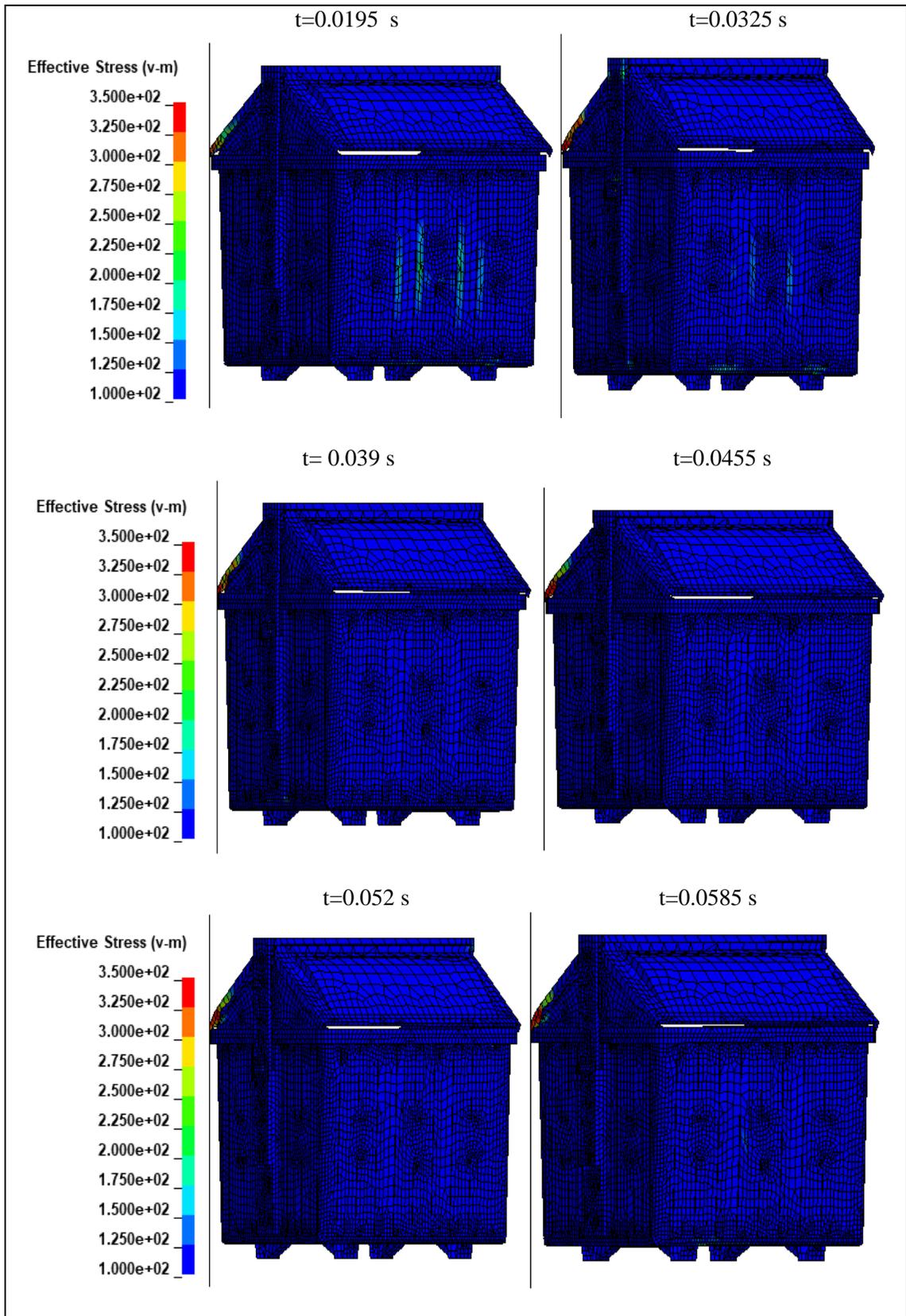


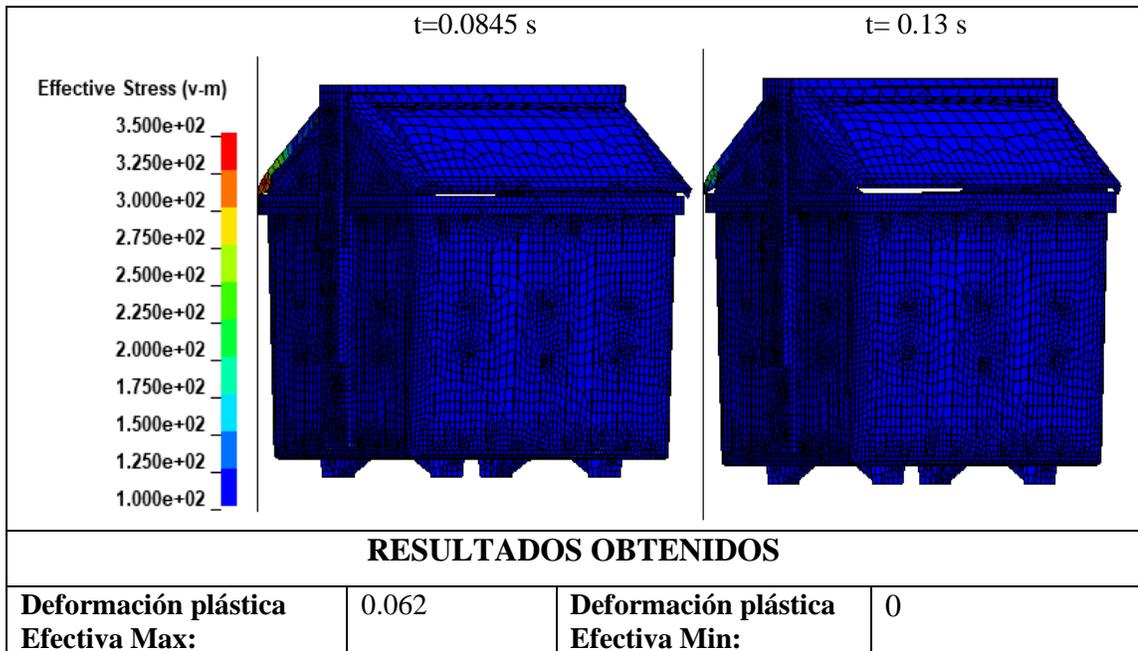
**Figura 4.105** Velocidad para impacto de esquina. (Fuente: Autor)

- **Resultados obtenidos.**

**Tabla 4.48** Simulación de impacto de esquina de contenedor.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 			
<b>SIMULACIÓN DE ENSAYO DE IMPACTO DE ESQUINA.</b>			
<b>Norma Aplicable:</b>	Contenedores fijos para residuos UNE-EN 12574-2 Requisitos de funcionamiento y métodos de ensayo		
<b>Fecha de Ejecución:</b>	28/12/2018	<b>Realizado por:</b>	Gustavo Pomaquero
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Diego Núñez
<b>Relación de Aspecto Mínima:</b>	1	<b>Relación de aspecto máxima:</b>	4.77
<b>Skewness Máximo</b>	0.879	<b>Skewness Mínimo</b>	0
<b>Ortogonalidad Máxima:</b>	1	<b>Ortogonalidad Mínima:</b>	0.4
<b>Número de Elementos:</b>	54593	<b>Número de Nodos:</b>	64325
<b>Tiempo de Procesamiento:</b>	17 h 45 min	<b>Número de Procesadores:</b>	1
<b>Memoria RAM: 16 GB</b>		<b>Tipo de Contenedor de Residuos:</b> Carga Lateral 2400 L	
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>			
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>t=0 s</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>t = 0.006 s</p>  </div> </div> <div style="margin-top: 10px;"> <p>Effective Stress (v-m)</p>  </div>			





(Fuente: Autor)

En la figura 4.106 se puede observar la zona donde el esfuerzo es mayor debido al impacto de esquina del contenedor, el cual resultó crítico en elementos de una de las tapas de la bóveda, por lo cual se procede a evaluar las deformaciones y esfuerzos producidos en la zona de mayor afectación.

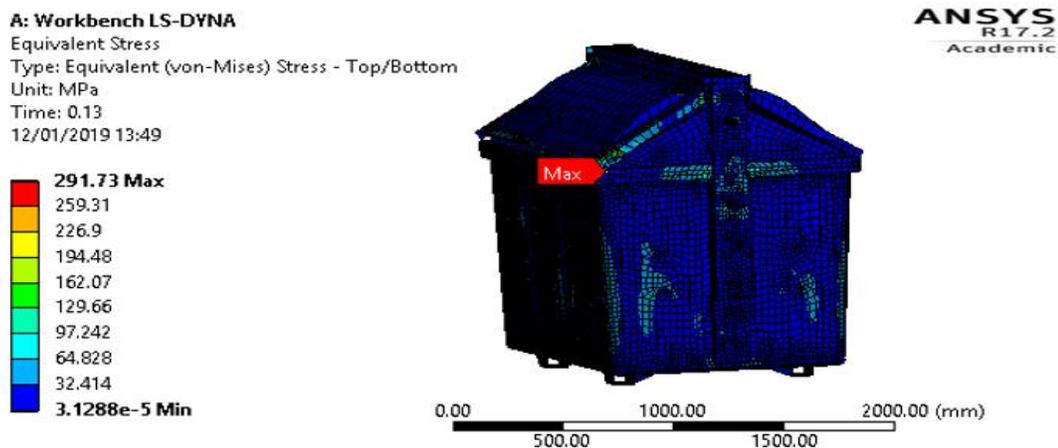
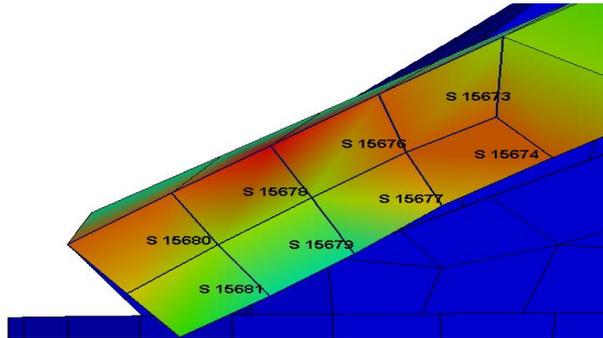


Figura 4.106 Zona de mayor afectación debido a impacto de esquina.

(Fuente: Autor)

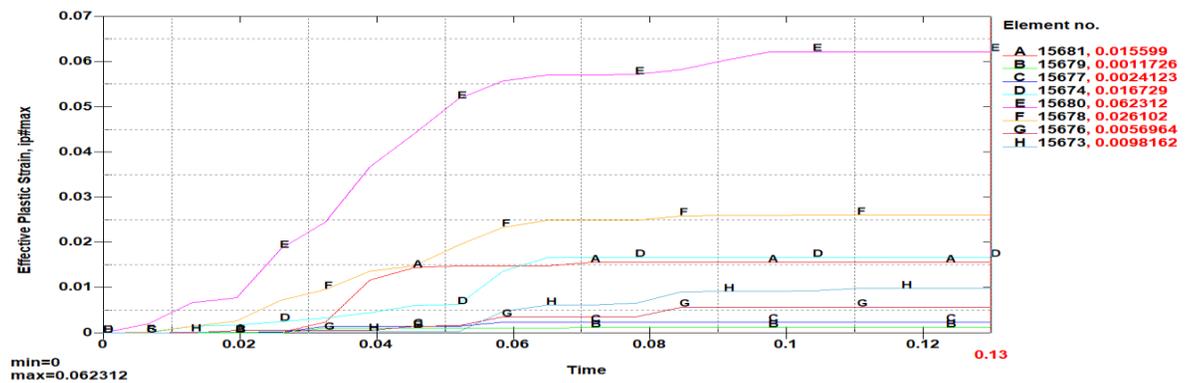
La figura 4.107, muestra los elementos S15680, S 15678, S 15676, S 15673, S 15681, S 15679, S 15677, S 15674, los cuales se encuentran en la zona de mayor afectación debido al impacto de esquina por lo cual se evaluará: deformación plástica equivalente y el esfuerzo generado debido al impacto.



**Figura 4.107** Elementos afectados por impacto de esquina.

(Fuente: Autor)

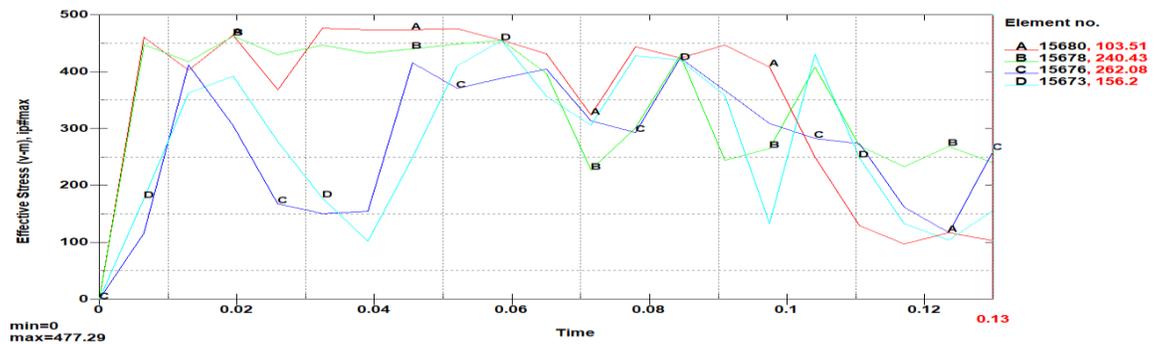
La figura 4.108 muestra el comportamiento plástico para los elementos S15680, S 15678, S 15676, S 15673, S 15681, S 15679, S 15677, S 15674 debido al impacto de esquina cuyo máximo valor se presenta en el elemento S 15680 con un valor de 0.06, en el tiempo de 0.13 s. La deformación plástica producida por este impacto es demasiado pequeña como para considerar que afecta al contenedor en su funcionalidad.



**Figura 4.108** Deformación plástica efectiva de elementos críticos por impacto de esquina.

(Fuente: Autor)

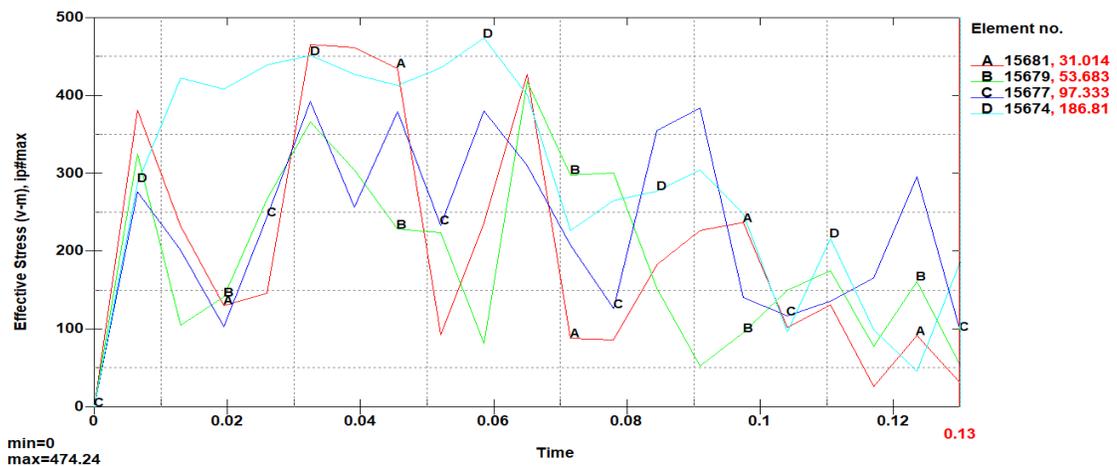
Para la zona en la cual se concentra el esfuerzo se han dividido las áreas de mayor afectación en un lado superior como se observa en la figura 4.109, debido a la concentración de los datos de los elementos 15680, 15678, 15676 y 15673 los cuales debido al impacto presentan un elevado esfuerzo al inicio de impacto, el cual se estabiliza a partir de los 0.06 s. El valor máximo de esfuerzo al final es el elemento 15676, cual presenta un esfuerzo equivalente de 262.09 Mpa para el tiempo de 0.13 s.



**Figura 4.109** Esfuerzos máximos para elementos superiores impacto de esquina.

(Fuente: Autor)

A continuación, se muestra el lado inferior que consta de los elementos 15681, 15679, 15677, 15674 donde el esfuerzo es mayor, se puede visualizar en la figura 4.110 al final del tiempo de análisis el esfuerzo disminuye significativamente.



**Figura 4.110** Esfuerzos máximos para elementos inferiores en impacto de esquina.

(Fuente: Autor)

En la tabla 4.49 se presenta un resumen de los esfuerzos producidos por el impacto de esquina del contenedor para los elementos que tienen mayor afectación. El comportamiento del esfuerzo para cada elemento justo en el momento del impacto es elevado, no obstante, como se puede observar en la tabla 4.48 el esfuerzo equivalente conforme aumenta el tiempo de simulación disminuye a valores permisibles.

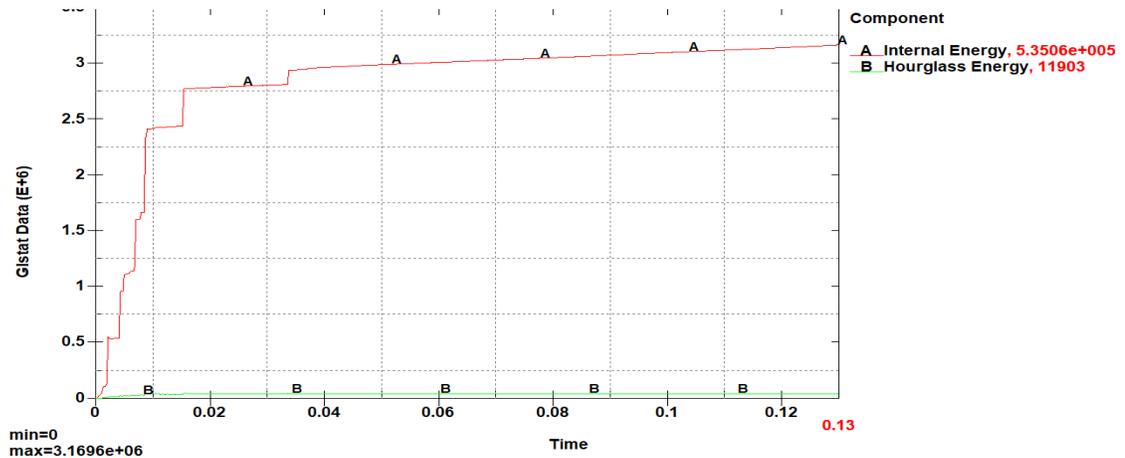
**Tabla 4.49** Esfuerzos críticos en Mpa para elementos de impacto de esquina.

<b>Tiempo (s)</b>	<b>Elemento 15680</b>	<b>Elemento 15678</b>	<b>Elemento 15676</b>	<b>Elemento 15673</b>	<b>Elemento 15681</b>	<b>Elemento 15679</b>	<b>Elemento 15677</b>	<b>Elemento 15674</b>
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
6.5e-003	461.47	448.6	116.6	177.52	382.07	325.69	276.38	288.16
1.3e-002	403.1	418.33	412.3	363.13	232.45	105.11	201.92	423.53
1.95e-002	465.12	463.5	306.	392.64	130.61	141.48	103.01	408.82
2.6e-002	368.34	430.76	168.28	278.01	146.12	267.17	244.53	439.61
3.25e-002	477.29	447.67	150.94	178.58	465.91	366.53	392.67	452.04
3.9e-002	474.56	433.62	154.98	102.62	462.68	304.59	257.01	427.87
4.55e-002	474.23	440.65	416.8	249.32	435.53	228.89	379.52	413.38
5.2e-002	477.	449.58	371.81	411.18	93.314	224.15	233.68	436.35
5.85e-002	455.67	455.56	389.1	455.51	236.78	81.606	380.5	474.24
6.5e-002	432.	397.64	405.57	357.3	427.68	418.09	310.71	401.35
7.15e-002	324.55	227.7	314.65	306.35	88.198	298.35	208.65	226.68
7.8e-002	445.05	301.82	293.93	428.69	86.032	301.5	126.3	265.9
8.45e-002	424.64	429.88	424.7	421.09	182.82	153.33	355.64	278.08
9.1e-002	447.69	245.19	367.82	359.02	226.6	52.763	385.08	305.08
9.75e-002	409.18	265.59	309.63	133.19	237.27	95.613	140.71	248.37
0.104	250.25	409.21	283.45	431.29	102.69	150.14	116.84	96.572
0.1105	129.02	269.84	274.14	249.04	131.71	175.	135.94	216.75
0.117	97.177	233.45	162.69	133.16	26.229	78.317	166.5	99.306
0.1235	117.64	269.4	117.36	103.93	91.655	161.37	296.76	45.69
0.13	103.51	240.43	262.08	156.2	31.014	53.683	97.333	186.81

(Fuente: Autor)

## Energía hourglass

Se puede observar en la figura 4.111 el hourglass en el tiempo estimado de 0.13 s se mantiene en un valor muy bajo respecto a la energía interna con una relación de 2.22 % el cual es menor al 10% permitido para simulaciones explícitas dinámicas.



**Figura 4.111** Energía de hourglass debido a impacto de esquina.

(Fuente: Autor)

### 4.2.1.5 Simulación elevación inclinación.

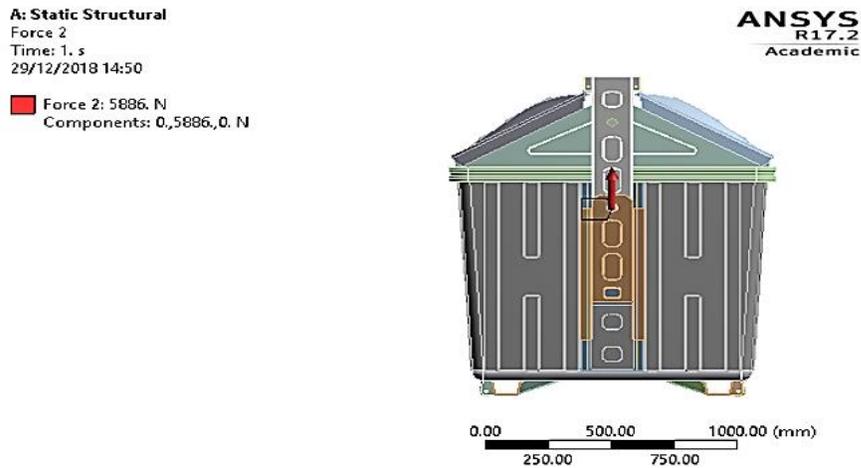
#### 4.2.1.5.1 Condiciones de frontera.

La simulación de la elevación inclinación del contenedor se lo ha realizado estimado las cargas aplicadas a los ejes para la toma como un valor porcentual máximo de la carga resistida por los camiones recolectores, con lo cual se realiza un estudio a fatiga de los componentes durante la elevación. La carga máxima que soporta los camiones recolectores es 1200 kg como se observa tabla 4.50 y en la figura 4.112, transformado a una fuerza en los ejes de elevación simétricamente distribuidos nos da una fuerza de 11772 N distribuidos para los dos ejes a una fuerza de 5886 N.

**Tabla 4.50** Especificaciones técnicas de camiones colectores Themac

Características	
Carga útil caja recolectora:	19 m <sup>3</sup>
Carga útil tolva:	4 m <sup>3</sup>
Carga útil caja recolectora :	10 - 12 toneladas
Peso máximo de elevación contenedor:	1200 kg.
Tiempo ciclo vaciado contenedor:	40 - 45 seg.
Tiempo descarga en disposición final:	120 seg.
Especificaciones de Chasis:	6x4 o 6x2, 24 volt.
Opcional:	Transmisión automática

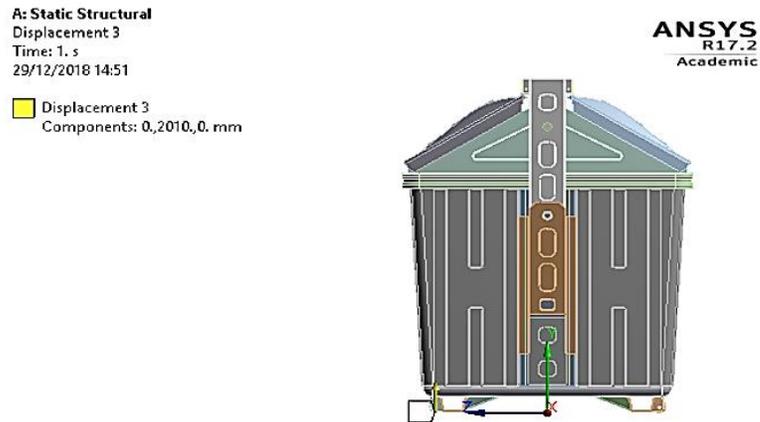
(Fuente: [1])



**Figura 4.112** Carga de elevación de contenedor.

(Fuente: Autor)

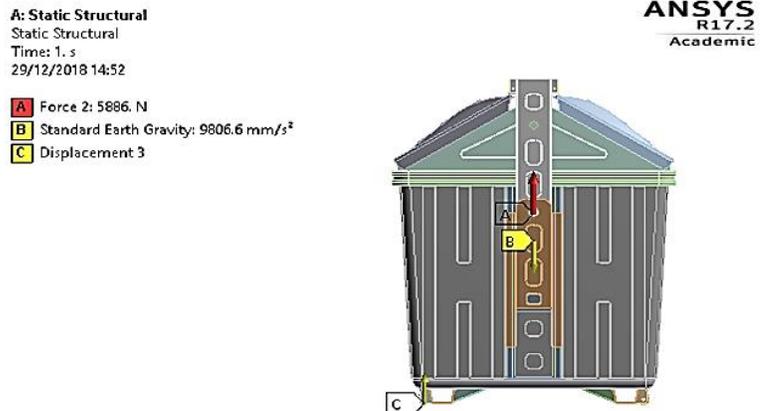
La restricción de movimiento del contenedor se lo toma como la distancia máxima que alcanza el contenedor al momento de elevación que es igual a 2010 mm como se observa en la figura 4.113, de la medición de la altura promedio que alcanza el contenedor en la elevación, tomando en consideración estos parámetros se procede a realizar el ensayo para determinar la vida, la resistencia y el ciclaje al cual el contenedor está sometido.



**Figura 4.113** Desplazamiento máximo de contenedor en el ciclo de elevación.

(Fuente: Autor)

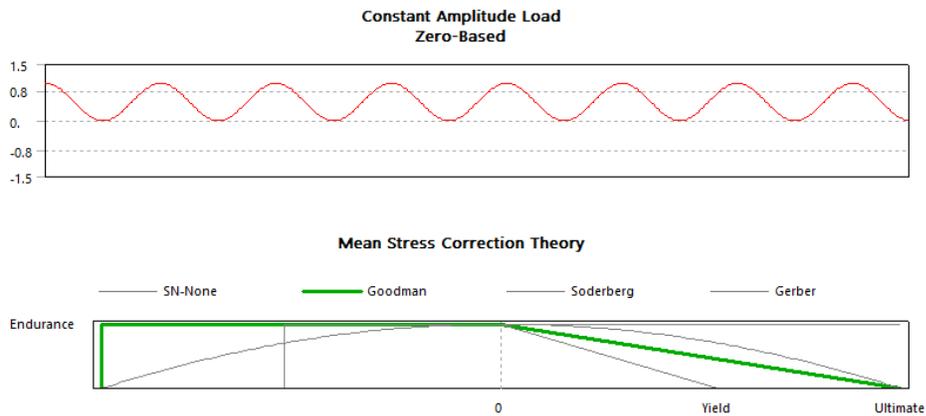
El peso de la estructura del contenedor es importante para aproximar los resultados a las condiciones reales de servicio, por lo cual se agrega la aceleración de la gravedad al modelo, en a figura 114 se pueden observar las condiciones de frontera establecidas para este estudio de simulación.



**Figura 4.114** Condiciones de frontera para ciclos de elevación sin carga.

(Fuente: Autor)

En la figura 4.115, la carga se aplica desde cero hasta un valor máximo, se analiza el esfuerzo con la teoría de Goodman dado que es una teoría conservadora con la cual se puede determinar la afectación del contenedor a una carga cíclica.



**Figura 4.115** Tipo de amplitud y teoría Goodman para análisis de fatiga.

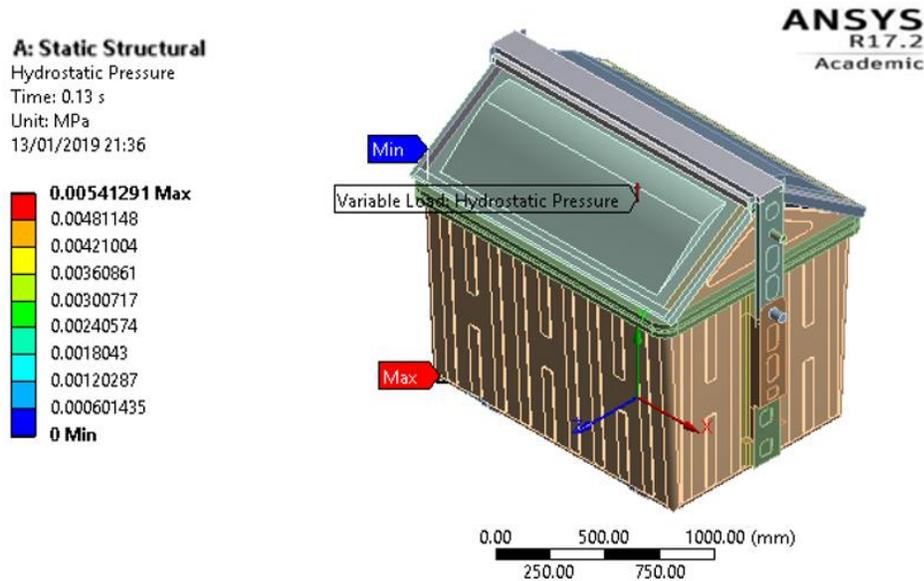
(Fuente: Autor)

Como se puede observar en la tabla 4.51, al igual que para las simulaciones de impacto la carga nominal, la densidad del fluido es equivalente a la densidad del HDPE que recomienda la normativa UNE EN12574-2 con un valor de  $500 \text{ kg/m}^3$  y la altura de llenado es la calculada para tener una equivalencia con la carga nominal.

**Tabla 4.51** Especificaciones para aplicación de carga hidrostática

Type	Hydrostatic Pressure
Coordinate System	Global Coordinate System
<input type="checkbox"/> Fluid Density	5.e-007 kg/mm <sup>3</sup>
Suppressed	No
<b>Hydrostatic Acceleration</b>	
Define By	Components
<input type="checkbox"/> X Component	0. mm/s <sup>2</sup> (ramped)
<input type="checkbox"/> Y Component	9806.6 mm/s <sup>2</sup> (ramped)
<input type="checkbox"/> Z Component	0. mm/s <sup>2</sup> (ramped)
<b>Free Surface Location</b>	
<input type="checkbox"/> X Coordinate	0. mm
<input type="checkbox"/> Y Coordinate	1104. mm
<input type="checkbox"/> Z Coordinate	0. mm
Location	Click to Change

(Fuente: Autor)



**Figura 4.116** Presión hidrostática basado en UNE EN 12574-2 análisis estático.

(Fuente: Autor)

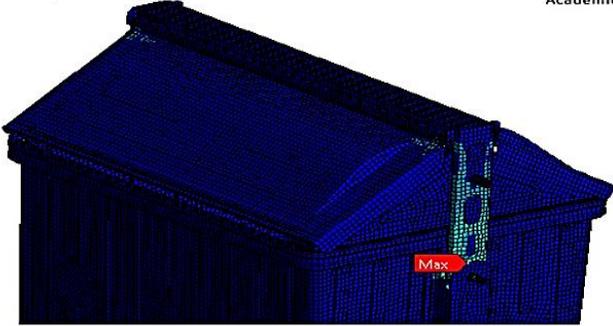
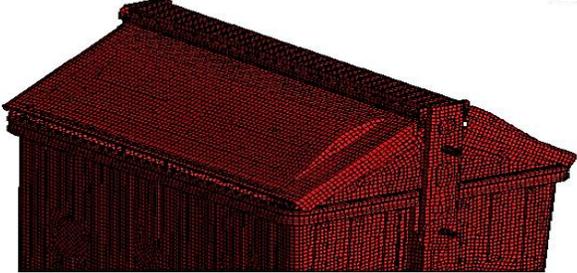
#### 4.2.1.5.2 Ensayo para 5 ciclos sin carga nominal

Para el ensayo de contenedor únicamente con la carga que representa el contenedor, se puede verificar su resistencia es superior a 5 ciclos de carga llegando a tener un ciclaje de hasta  $1e6$  ciclos, que es el límite para una vida infinita en las curvas S-N del acero estructural.

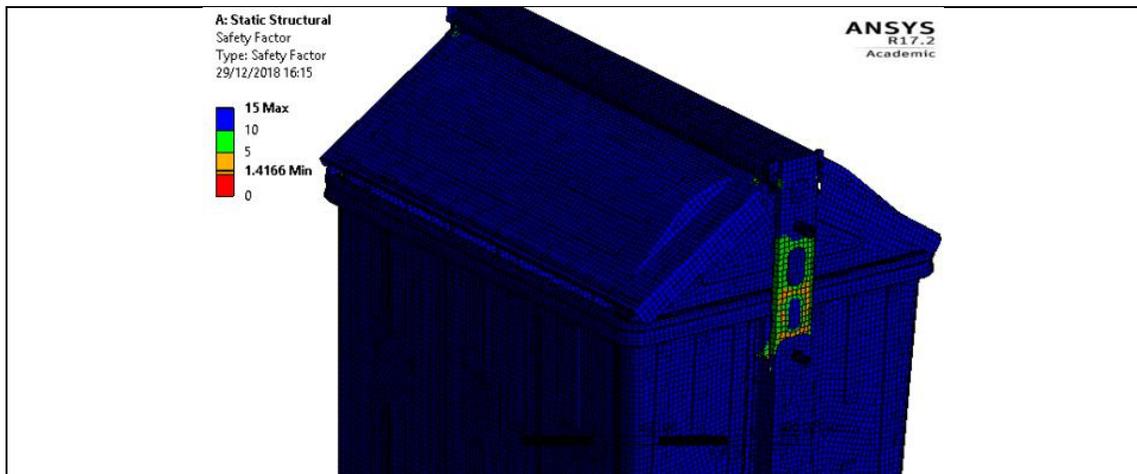
El máximo esfuerzo que resiste el contenedor se da en la Tapa 2 que es el punto de apoyo principal en el momento de la elevación del contenedor, además; el esfuerzo producido de 93.93 Mpa está muy por debajo de la resistencia a la fluencia del acero laminado en frío utilizado para la producción de esta parte. Se incluye además el factor de seguridad evaluado según el criterio de Goodman el cual incluye la afectación debido al ciclaje producido teniendo un valor máximo en la mayor parte del contenedor de 15 y un valor mínimo para los elementos de apoyo la Tapa 2 del contenedor de 1.41

- **Resultados de simulación.**

**Tabla 4.52** Simulación de elevación inclinación para 5 ciclos según UNE EN 12574-2 de contenedor vacío.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 			
<b>SIMULACIÓN DE ELEVACIÓN A CICLOS</b>			
<b>Norma Aplicable:</b>	Contenedores fijos para residuos UNE-EN 12574-2 Requisitos de funcionamiento y métodos de ensayo		
<b>Fecha de Ejecución:</b>	28/12/2018	<b>Realizado por:</b>	Gustavo Pomaquero
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Diego Núñez
<b>Relación de Aspecto Mínima:</b>	1	<b>Relación de aspecto máxima:</b>	4.77
<b>Skewness Máximo</b>	0.879	<b>Skewness Mínimo</b>	0
<b>Ortogonalidad Máxima:</b>	1	<b>Ortogonalidad Mínima:</b>	0.4
<b>Número de Elementos:</b>	54593	<b>Número de Nodos:</b>	64325
<b>Tiempo de Procesamiento:</b>	5 h 35 min	<b>Número de Procesadores:</b>	1
<b>Memoria RAM: 16 GB</b>		<b>Tipo de Contenedor de Residuos: Carga Lateral 2400 l</b>	
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>			
<p>A: Static Structural Equivalent Stress Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom Unit: MPa Time: 1 29/12/2018 16:22</p>  <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p>94.934 Max</p> <p>84.386</p> <p>73.838</p> <p>63.29</p> <p>52.742</p> <p>42.194</p> <p>31.646</p> <p>21.098</p> <p>10.55</p> <p>0.002282 Min</p> </div>  </div>			
<p>A: Static Structural Life Type: Life 29/12/2018 16:26</p>  <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p>1e6 Max</p> <p>1e6 Min</p> </div>  </div>			

**Tabla 4.52.** Simulación de elevación inclinación para 5 ciclos según UNE EN 12574-2 de contenedor vacío. Continuación.



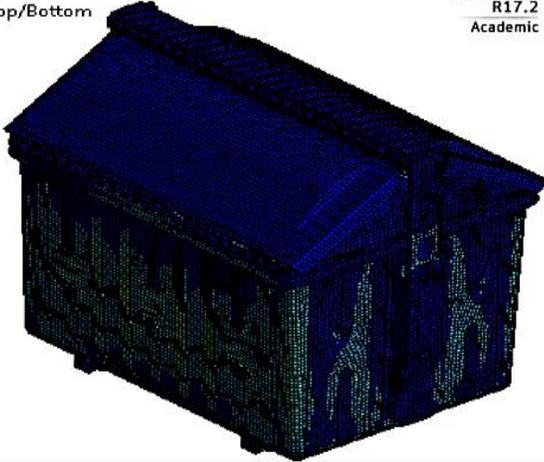
<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>			
<b>Esfuerzo Máximo:</b>	94.93 Mpa	<b>Esfuerzo Mínimo:</b>	196 Mpa
<b>Ciclos Máximos:</b>	1e6 ciclos	<b>Ciclos Mínimos:</b>	1e6 Ciclos
<b>Factor de Seguridad Máximo:</b>	15	<b>Factor de Seguridad Mínimo:</b>	1.416

#### 4.2.1.5.3 Ensayo para 100 ciclos con carga nominal

Para el ensayo de contenedor únicamente con la carga que representa el contenedor, se puede verificar su resistencia es superior a 100 ciclos de carga llegando a tener un ciclaje de hasta 1e6 que es el límite para una vida infinita en las curvas S-N del acero estructural.

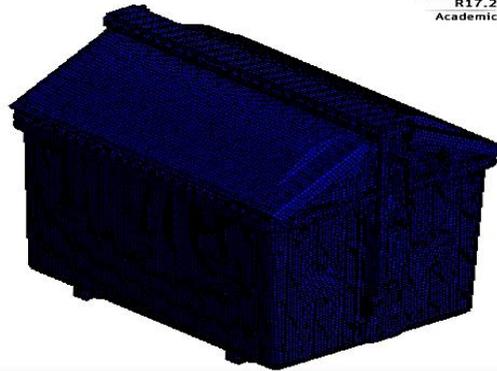
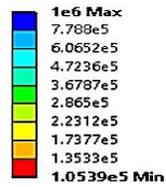
El máximo resistido por el contenedor debido a la carga nominal es de 196 Mpa está por debajo de la resistencia a la fluencia del acero galvanizado A653, utilizado en la tina el cual resiste el máximo esfuerzo. Se incluye además el factor de seguridad evaluado según el criterio de Goodman el cual incluye la afectación debido al ciclaje producido teniendo un valor máximo en la mayor parte del contenedor de 15 y un valor mínimo para los elementos de apoyo la Tapa 2 del contenedor de 0,71, no obstante, con la consideración del esfuerzo de von mises con el  $S_y$  del material genera un factor de seguridad de 1.293, sin presencia de deformación plástica.

**Tabla 4.53** Simulación de elevación inclinación para 100 ciclos según UNE EN 12574-2 para contenedor cargado.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 																							
<b>SIMULACIÓN DE ELEVACIÓN A 100 CICLOS</b>																							
<b>Norma Aplicable:</b>	Contenedores fijos para residuos UNE-EN 12574-2 Requisitos de funcionamiento y métodos de ensayo																						
<b>Fecha de Ejecución:</b>	28/12/2018	<b>Realizado por:</b>	Gustavo Pomaquero																				
		<b>Revisado por:</b>	Ing. Diego Núñez																				
<b>Relación de Aspecto Mínima:</b>	1	<b>Relación de aspecto máxima:</b>	4.77																				
<b>Skewness Máximo</b>	0.879	<b>Skewness Mínimo</b>	0																				
<b>Ortogonalidad Máxima:</b>	1	<b>Ortogonalidad Mínima:</b>	0.4																				
<b>Número de Elementos:</b>	54593	<b>Número de Nodos:</b>	64325																				
<b>Tiempo de Procesamiento:</b>	5 h 35 min	<b>Número de Procesadores:</b>	1																				
<b>Memoria RAM: 16 GB</b>		<b>Tipo de Contenedor de Residuos: Carga Lateral 2400 L</b>																					
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>																							
<p><b>A: Static Structural</b>                      Equivalent Stress                      Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom                      Unit: MPa                      Time: 1                      29/12/2018 20:25</p> <p style="text-align: right;"><b>ANSYS</b> R17.2 Academic</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <table border="1"> <tr><td style="background-color: red;">■</td><td><b>196 Max</b></td></tr> <tr><td style="background-color: orange;">■</td><td>174.22</td></tr> <tr><td style="background-color: yellow;">■</td><td>152.44</td></tr> <tr><td style="background-color: lightgreen;">■</td><td>130.67</td></tr> <tr><td style="background-color: green;">■</td><td>108.89</td></tr> <tr><td style="background-color: lightblue;">■</td><td>87.114</td></tr> <tr><td style="background-color: cyan;">■</td><td>65.338</td></tr> <tr><td style="background-color: blue;">■</td><td>43.562</td></tr> <tr><td style="background-color: darkblue;">■</td><td>21.786</td></tr> <tr><td style="background-color: black;">■</td><td><b>0.0098442 Min</b></td></tr> </table> </div>  </div>				■	<b>196 Max</b>	■	174.22	■	152.44	■	130.67	■	108.89	■	87.114	■	65.338	■	43.562	■	21.786	■	<b>0.0098442 Min</b>
■	<b>196 Max</b>																						
■	174.22																						
■	152.44																						
■	130.67																						
■	108.89																						
■	87.114																						
■	65.338																						
■	43.562																						
■	21.786																						
■	<b>0.0098442 Min</b>																						

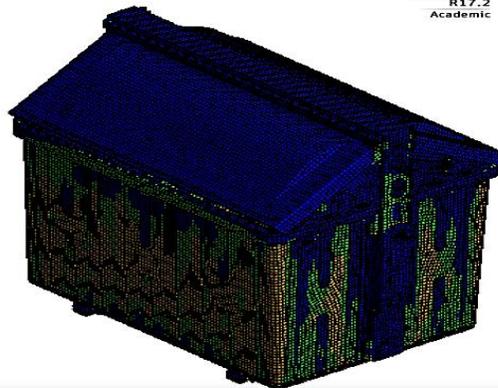
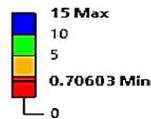
A: Static Structural  
Life  
Type: Life  
29/12/2018 20:25

ANSYS  
R17.2  
Academic



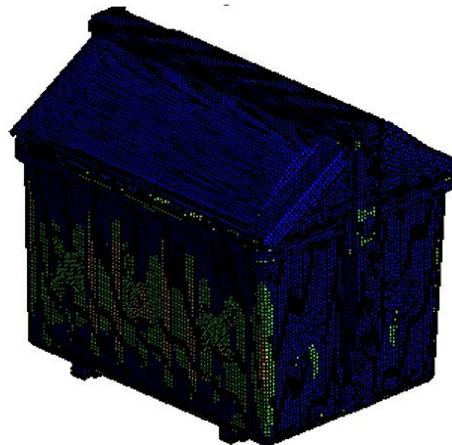
A: Static Structural  
Safety Factor  
Type: Safety Factor  
29/12/2018 20:26

ANSYS  
R17.2  
Academic



A: Static Structural  
Safety Factor  
Type: Safety Factor  
Time: 1  
13/01/2019 10:07

ANSYS  
R17.2  
Academic



### RESULTADOS OBTENIDOS

<b>Esfuerzo Mínimo:</b>	9.844e-3 Mpa	<b>Esfuerzo Máximo:</b>	196 Mpa
<b>Ciclos Máximos:</b>	1e6 ciclos	<b>Ciclos Mínimos:</b>	1.05e5 Ciclos
<b>Factor de Seguridad Máximo Goodman:</b>	15	<b>Factor de Seguridad Mínimo Goodman:</b>	0.706
<b>Factor de Seguridad Máximo:</b>	15	<b>Factor de Seguridad Mínimo:</b>	1.293

(Fuente: Autor)

### **4.3 Verificación de la hipótesis.**

Para los ensayos realizados sobre el contenedor se puede constatar primero que las deformaciones presentes para el ensayo de impacto balístico, ensayo de impacto frontal, lateral y de esquinas, no son significativas y no afectan a la funcionalidad del contenedor.

Los esfuerzos en el tiempo disminuyen considerablemente hasta valores permisibles según lo descrito en los resultados principalmente para los impactos de caras y esquinas. Así mismo, la aplicación de las cargas en el ensayo de elevación, con la carga nominal establecida en la norma UNE-EN12574-2 no afectan a la resistencia del material, resaltando que no existe deformación plástica debido al mismo, los ciclos de carga con la aplicación de la presión hidrostática equivalente y la aplicación de la fuerza del camión recolector son superiores a 5 para el contenedor sin carga y superiores a 100 para el contenedor cargado. Por los resultados expuestos y las especificaciones dadas por la norma UNE EN 12574-2, haciendo mención a la aprobación de los ensayos en su literal 4.3 cuando las deformaciones no afecten a la funcionalidad del contenedor. Por lo tanto, se prueba la hipótesis alternativa ( $H_i$ ) y se rechaza la hipótesis nula, dando por verificada la resistencia de los contenedores fabricados en Ecuamatrix CIA. LTDA.

## CAPÍTULO 5

### 5.1 Conclusiones

- Los experimentos que inciden en la resistencia mecánica del contenedor fueron el impacto balístico del cual se obtuvo una deformación máxima de 4.95 mm; el ensayo de impacto en superficie inclinada del cual, la deformación no se puede cuantificar a tal punto que es despreciable; el ensayo de fatiga en campo, con el cual se considera un error máximo respecto al diseño de 1.61 %, en la dimensión número diecinueve según UNE 12574 -1.
- Se fabricó el impactador según normativa con las dimensiones preestablecidas y la masa de 5 kg para la realización de los impactos, con el cual se realizó perfiles de deformación con múltiples impactos en el cuerpo y tapas del contenedor, de los cuales se obtuvo un promedio de deformación de 1.55 mm, la cual se considera inapreciables y con lo cual se aprueba el ensayo.
- Las propiedades mecánicas del material A653 se obtienen mediante un ensayo uniaxial de tracción, dicho material se utiliza en mayor porcentaje en la fabricación de los contenedores de 2400 litros de la empresa Ecuamatrix CIA LTDA, con los datos de dicho ensayo, se caracterizó al contenedor con un modelo de material piecewise linear, recomendada para el comportamiento del acero dado que permite una alta precisión debido a que los resultados están en dependencia de la curva de esfuerzo deformación del material galvanizado A653.
- Mediante las consideraciones para las de uniones se obtienen superficies coincidentes con topología compartida para que las ecuaciones de conservación no produzcan errores al momento de ejecutar la resolución de los estudios de simulación.
- El modelo digital del contenedor de carga lateral se optimiza discretizado la geometría con múltiples operaciones que permite obtener una malla con un porcentaje de mejora respecto al ratio de aspecto de 43.85% respecto a mallados preliminares, dichas operaciones disminuyen significativamente el tiempo de simulación y permiten obtener; para la ortogonalidad un valor mínimo de 0.4 y un valor máximo de 1; para el skewness un valor máximo de 0.87 y ratio de aspecto máximo de 4.77 con lo cual se garantiza la fiabilidad de resultados. Mediante el control de mallado se puede

obtener los valores de Hourglass inferiores 10% respecto a la energía interna con lo cual se aprueba los diversos impactos ejecutados.

- A través de los modelos de material Johnson Cook y Piecewize, se obtienen los resultados del impacto en el punto A1-S3 para ambas caracterizaciones respecto al ensayo real; por medio del modelo Johnson Cook se alcanza un error de 13% mientras que el modelo Piecewize Linear presenta un error 7 %, con lo cual se concluye que el método valido para las simulaciones es el modelo Piecewize dado su mayor ajuste en el punto de deformación máxima.
- La afectación que tiene la temperatura en las propiedades mecánicas del acero A653 se estiman en base a los resultados obtenidos investigaciones referentes al tema, redefiniendo así el modelo del material para la realización del ensayo de impacto balístico; de los cálculos de regresión lineal se estiman incrementos de 11.09%, 7.48 % y 1.61% para la resistencia a la fluencia, resistencia ultima y módulo elástico respectivamente.
- Mediante el análisis estático estructural, se define la afectación del contenedor respecto a la carga nominal en el instante de servicio estacionario verificando así que los esfuerzos se concentran en los pernos hexagonales con un valor de 203.83 Mpa, dado que el esfuerzo máximo no supera la fluencia es de 393 Mpa, la deformación producida de 12 mm, tiene lugar en la zona elástica.
- Por medio de un análisis modal se obtiene una frecuencia mínima de 7.554 Hz , cuyo valor inverso sirvió para determinar el tiempo de simulación de 0.13 s, utilizado para todos los estudios de impacto balístico, laterales y de esquinas.
- Mediante la aplicaciones de las condiciones establecidas en la norma UNE EN 12574-2 se realiza la simulación del ensayo de impacto inclinado, con lo cual se obtiene un valor de deformación plástica efectiva máxima de 0.06 y un esfuerzo de 103.61 Mpa en  $t=0.13$  s.
- La resistencia del contendor al ensayo de elevación inclinación se verifica tomando las dimensiones en servicio del contenedor y estimando el error para cada medida estipulada en la norma UNE EN 12574-1. Para la simulación de la elevación del contenedor se tomó de referencia los parámetros establecidos en la UNE EN 12574-2

y se verifico su resistencia tanto para los 5 ciclos descargado y 100 ciclos con el contenedor cargado con una presión hidrostática equivalente a la carga nominal preestablecida.

- La hipótesis principal de resistencia del contenedor en base al criterio 4.3 enunciado en norma UNE EN 12574-2 referido al control después de los ensayos el cual señala: a pesar de variaciones en deformaciones y tamaños debe ser posible elevar el contenedor con la carga nominal. Lo cual se verifico tanto en la parte práctica como en los estudios de simulación.

## **5.2 Recomendaciones.**

- Antes de realizar los ensayos establecidos en la norma se recomienda analizar la misma de tal forma que se identifique los parámetros que servirán para realizar las distintas simulaciones.
- Utilizar elementos tipo superficie para evitar excesivos elementos en el mallado, además se puede dificultar el control de los parámetros de calidad de malla debido al uso de elementos sólidos.
- Exceptuar los elementos que no aportan rigidez al modelo de simulación, para esta investigación se omitió pernos y remaches, que fueron remplazados por uniones que asemejan su función. Las conexiones en determinada estructura pueden presentar dificultad, dado que la malla no es totalmente uniforme cuando se realizan análisis explícitos dinámicos, incluso pudiendo dar complicaciones en la resolución de los estudios de simulación.
- Para replicar los ensayos de impacto balístico se recomienda tener un lugar térmicamente aislado ya que el ambiente influye de manera significativa en el equilibrio térmico lo que puede dar inestabilidad en las mediciones de deformación. Mientras que para el ensayo de impacto de las caras y esquinas de contenedor se debe tomar medidas de seguridad debido que la manipulación de la carga nominal es extremadamente complicada.

## Materiales de referencia

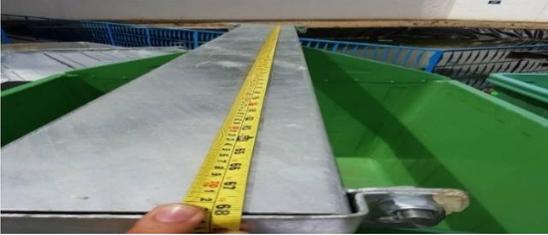
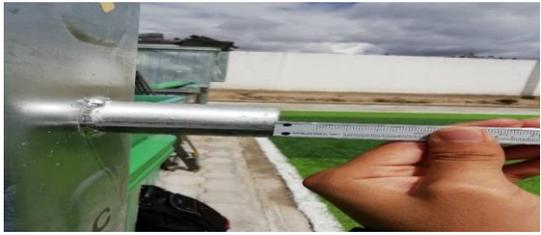
### Bibliografía

- [1] Themac. (2006, Mayo 23). *Themac Tecnologías para el Ambiente*. Available: <http://www.themac.cc/ecuador.php>
- [2] D. López, "Diseño de un contenedor de recogida de papel para su reciclaje," *Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto*, Universidad de Valladolid, Valladolid, 2015.
- [3] Rototank. (2018, Mayo 23). *Rototank Containers*. Available: <http://rototank.com/contenedores-residuos-carga-lateral.html>
- [4] Sanimobel. (Mayo 5). *Sanimobel Contenedores de Carga Lateral*. Available: <http://www.mmm-sanimobel.com/producto/superficie/carga-lateral.php>
- [5] U. ENVIROMENT. (2015, Mayo 28). Available: <https://www.unenvironment.org/news-and-stories/press-release/mounting-problem-worlds-cities-produce-10-billion-tonnes-waste-each>.
- [6] "Ambato ciudad de alta producción de desperdicios," in *El Comercio*, ed. Ambato, 2015.
- [7] M. D. L. Pérez, *Recogida y Transporte de Residuos Urbanos o Municipales*. Madrid, 2017.
- [8] Ecuamatrix (2018, Mayo 16). Available: <http://www.ecuamatrix.com>
- [9] AENOR. (2007, Junio 24). *Contenedores Fijos para Residuos*. Available: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0038116&pdf=#.WzBa3qdKjIU>
- [10] J. N. Reddy, *An Introduction to Finite Element Method*, Tercera ed., 2006.
- [11] J. Molina, *Fundamentos del Metodo de Elemento Finito*, Primera ed., 2010.
- [12] B. University, *Finite Element Method in Engineering*, Primera ed., 2012.
- [13] M. C. Graciela Bertolino, Mario Storti, Federico Teruel, *Mecánica Computacional*. San Carlos de Bariloche, 2014.
- [14] L. B. Andrea Panteghini, "Structural theory and finite element modelling of linear elastic sandwich beams subject to severe boundary conditions," *European Journal of Mechanics - A/Solids*, vol. Volume 61, 2017.
- [15] M. T. Ivo Senjanović, Neven Hadžić, Nikola Vladimir, "Dynamic finite element formulations for moderately thick plate vibrations based on the modified Mindlin theory," *Engineering Structures*, vol. Volume 136, 2017.
- [16] P. Sváček, "Numerical simulation of fluid-structure interactions with stabilized finite element method," *Advances in Engineering Software*, vol. Volume 113, pp. 1-2, 2017.
- [17] B. S. Christian Zeller, Micheal F. Zaeh., "Parameterized Extended Finite Element Method for high thermal gradients," *Journal of Computational Design and Engineering*, vol. Volume 5, pp. 329-336, 2018.
- [18] S. G. Sarvesh Kumar Mishra, Sivanandam Aravindan, "3D finite element investigations on textured tools with different geometrical shapes for dry machining of titanium alloys," *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. Volume 141, pp. 1-9, 2018.
- [19] L. B. Nicolas Soro, Yunhui Chen, Martin Veidt, Hooyar Attar, Matthew S. Dargusch., "Finite element analysis of porous commercially pure titanium for biomedical implant application," *Materials Science and Engineering: A*, vol. Volume 141, pp. 2-10, 2018.
- [20] D. V. Hutton, *Fundamentals of Finite Element Analysis*. New York: Elizabeth A. Jones, 2004.
- [21] E. L. Manuel Vásquez, *El método de Elementos Finitos Aplicado al Análisis Estructural*. Madrid, 2001.
- [22] A. Inc. (2014, Octubre 20). *ANSYS Structural Analysis Guide*. Available: [http://www.ansys.stuba.sk/html/guide\\_55/g-str/GSTRToC.htm](http://www.ansys.stuba.sk/html/guide_55/g-str/GSTRToC.htm)

- [23] Ansys. (2009, julio 3). *Workbench Mechanical Introduction*. Available: <https://www.ansys.com>
- [24] H.-H. Lee, *Finite Element Simulation with ANSYS Workbench 14*. Taiwan, 2012.
- [25] ANSYS. (2011, Julio 3 ). *Explicit Dynamics*. Available: <https://www.ansys.com/-/media/ansys/corporate/resourcelibrary/brochure/ansys-explicit-dynamics-brochure-140.pdf>
- [26] A. Inc. (julio 3, 2018). *Elements Reference Table of Contents*. Available: [http://www.ansys.stuba.sk/html/elem\\_55/chapter4/ES4-43.htm](http://www.ansys.stuba.sk/html/elem_55/chapter4/ES4-43.htm)
- [27] A. M. Alawadhi, *Finite Element Simulation Using ANSYS*. Boca Raton, 2010.
- [28] A. Inc. (2015, Julio 9). *Mesh Quality & Advanced Topics*. Available: <https://www.ansys.com>
- [29] E. F. Valero, "Aportaciones al Estudio de Máquinas Eléctricas de Flujo Axial Mediante la Aplicación del Método de Elementos Finitos," Departamento de Ingeniería Eléctrica, 2004.
- [30] B. J. G. James M. Gere, *Mécanica de Materiales*, Séptima ed. ed. México, 2009.
- [31] P. P. F. Donald R. Askeland, Wendelin J. Wright, *Ciencia e Ingeniería de Materiales*, Sexta ed. ed., 2011.
- [32] P. G. Kossakowski, "Mechanical properties of late nineteenth-century bridge steel at low temperature," *Science direct*, p. 183, 2016.
- [33] X. Z. Jian Xi, Jia Bao Yan, "Mechanical properties of high strength steel strand at low temperatures:Tests and analysis," *Science Direct*, 2018.
- [34] T. P. Company. (2019, Enero,13 ). *Materials Medium Carbon Steel Bolts in SAE J429* Available: <https://www.glaserbolt.com/materials-medium-carbon-steel-bolts-in-sae-j429-grades-2-5-8>

## ANEXOS

### Anexo 1. Registro de toma de dimensiones del contenedor de 2400 l.

Registro de toma de dimensiones contenedor 1	
<b>DIMENSIÓN 1</b>	
	
<b>DIMENSIÓN 2</b>	
	
<b>DIMENSIÓN 4</b>	
	
<b>DIMENSIÓN 5</b>	
	

**DIMENSIÓN 6**



**DIMENSIÓN 7**



**DIMENSIÓN 8**



**DIMENSIÓN 12**



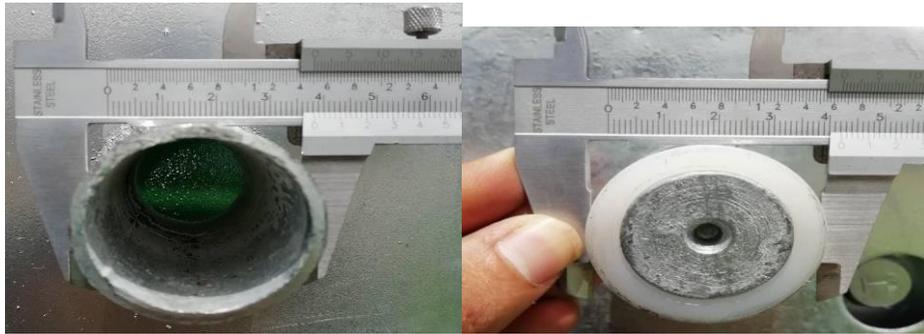
### DIMENSIÓN 13



### DIMENSIÓN 14



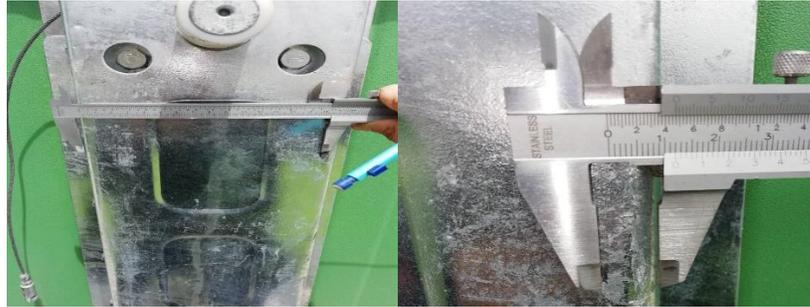
### DIMENSIÓN 15



### DIMENSIÓN 16



**DIMENSIÓN 17**



**DIMENSIÓN 18**



**DIMENSIÓN 19**



**DIMENSIÓN 20**



**DIMENSIÓN 21**



**DIMENSIÓN 22**



**DIMENSIÓN 25**



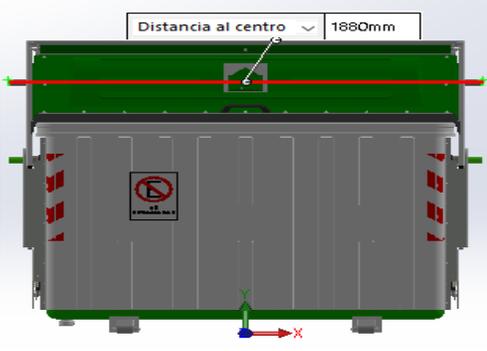
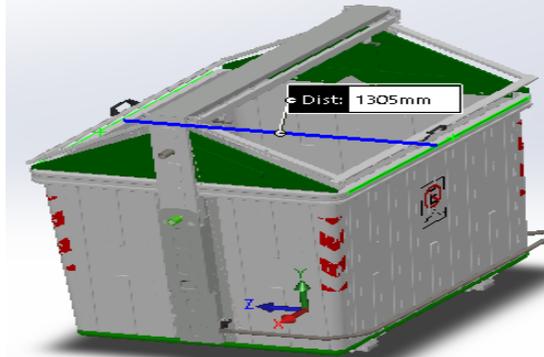
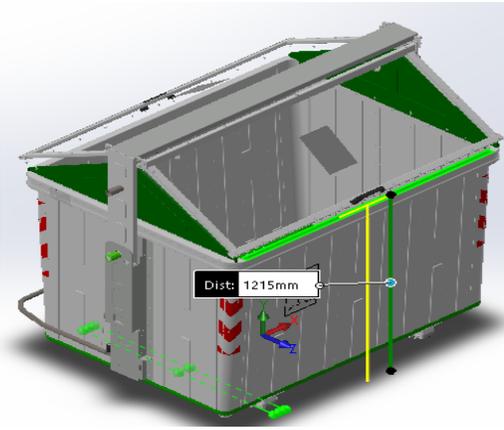
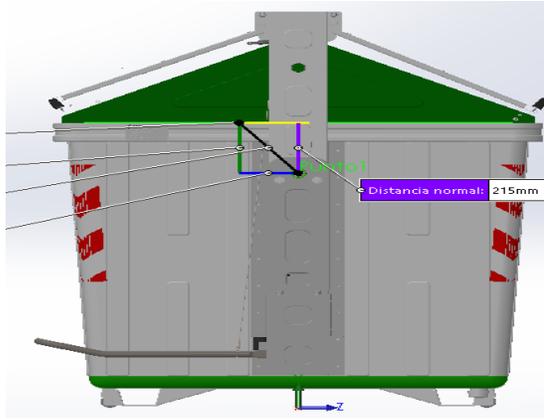
**DIMENSIÓN 26**



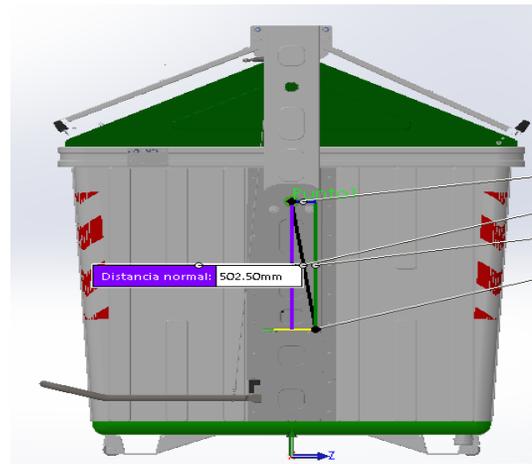
**DIMENSIÓN 27**



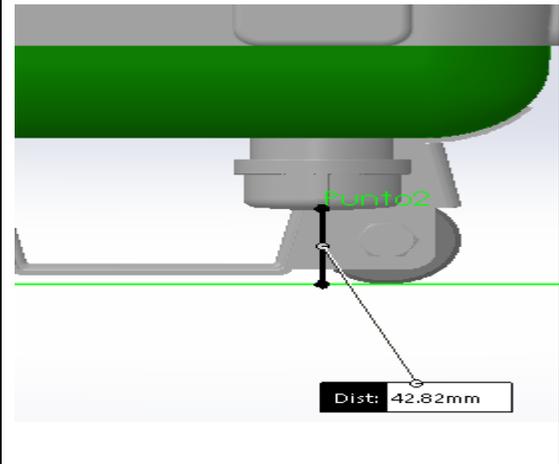
ANEXO 2. Dimensiones del diseño de contenedor digital.

<b>Dimensiones del Modelo Digital</b>	
<p><b>Dimensión 1</b></p> 	<p><b>Dimensión 2</b></p> 
<p><b>Dimensión 4</b></p> 	<p><b>Dimensión 5</b></p> 
<p><b>Dimensión 6</b></p>  <p>No existe la diferencia en el modelo digital debido a que no hay dimensión en dy.</p>	<p><b>Dimensión 7</b></p> 

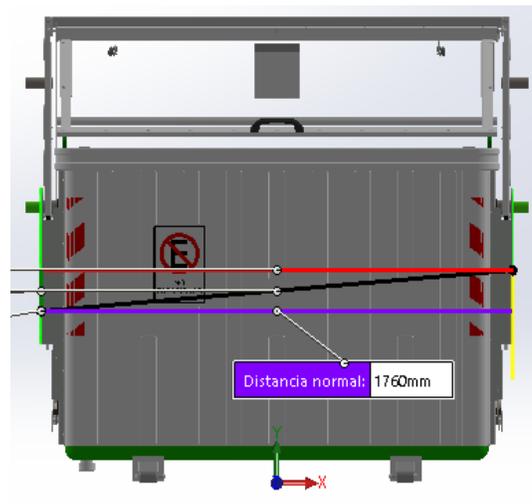
### Dimensión 8



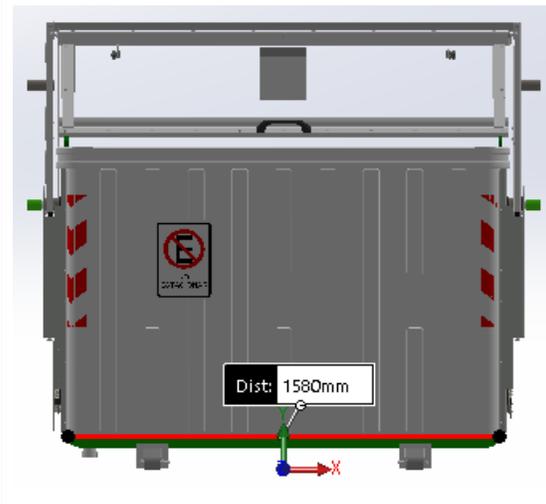
### Dimensión 12



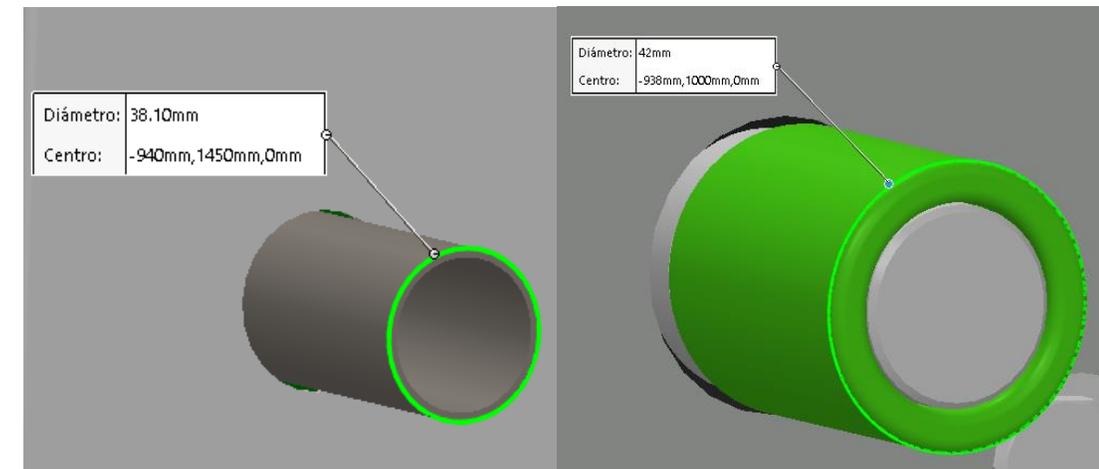
### Dimensión 13



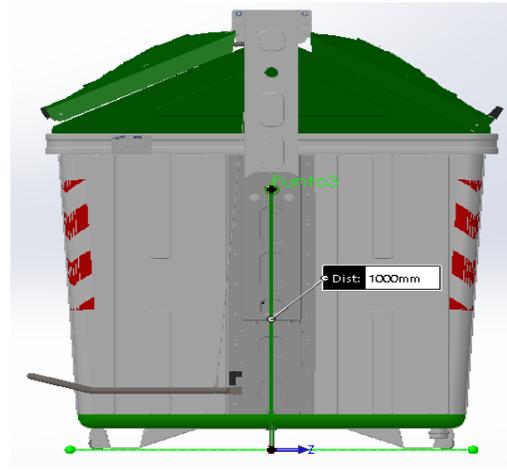
### Dimensión 14



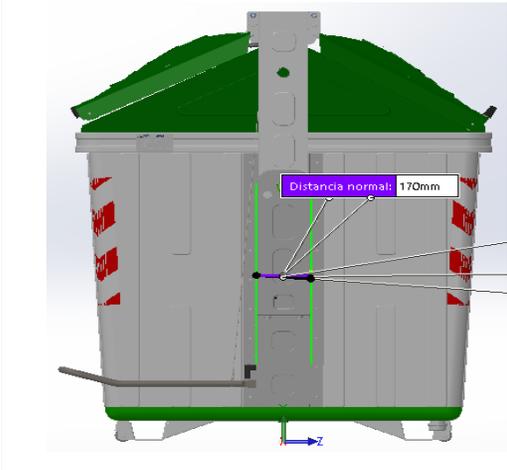
### Dimensión 15



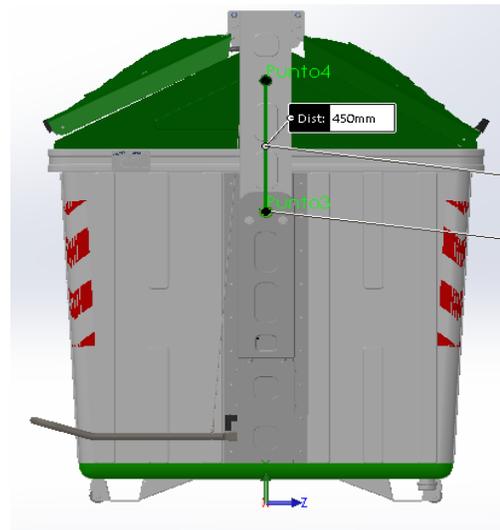
**Dimensión 16**



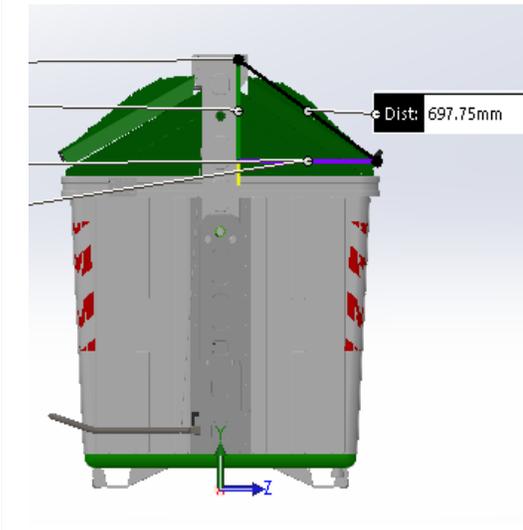
**Dimensión 17**



**Dimensión 18**



**Dimensión 19**



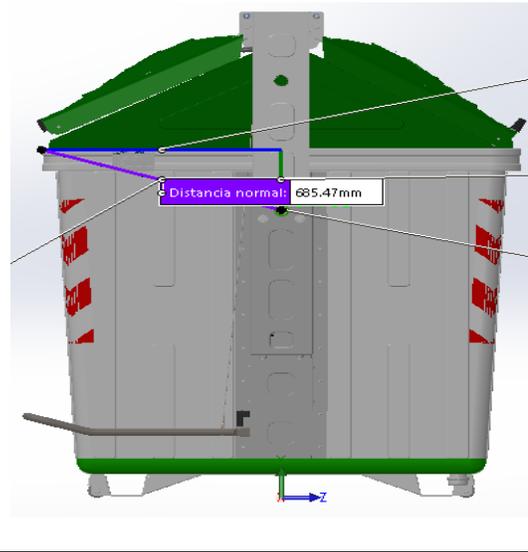
**Dimensión 20**



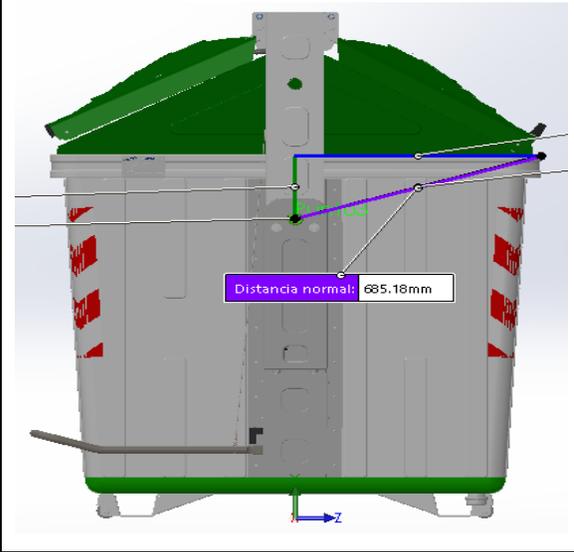
**Dimensión 22**



**Dimensión 26**



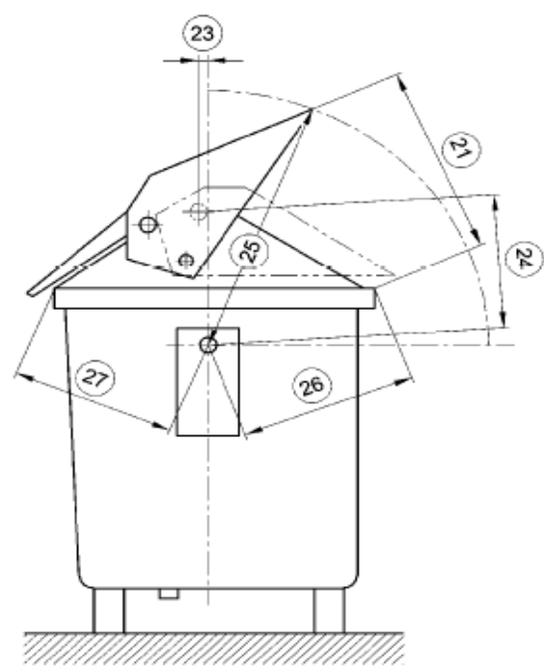
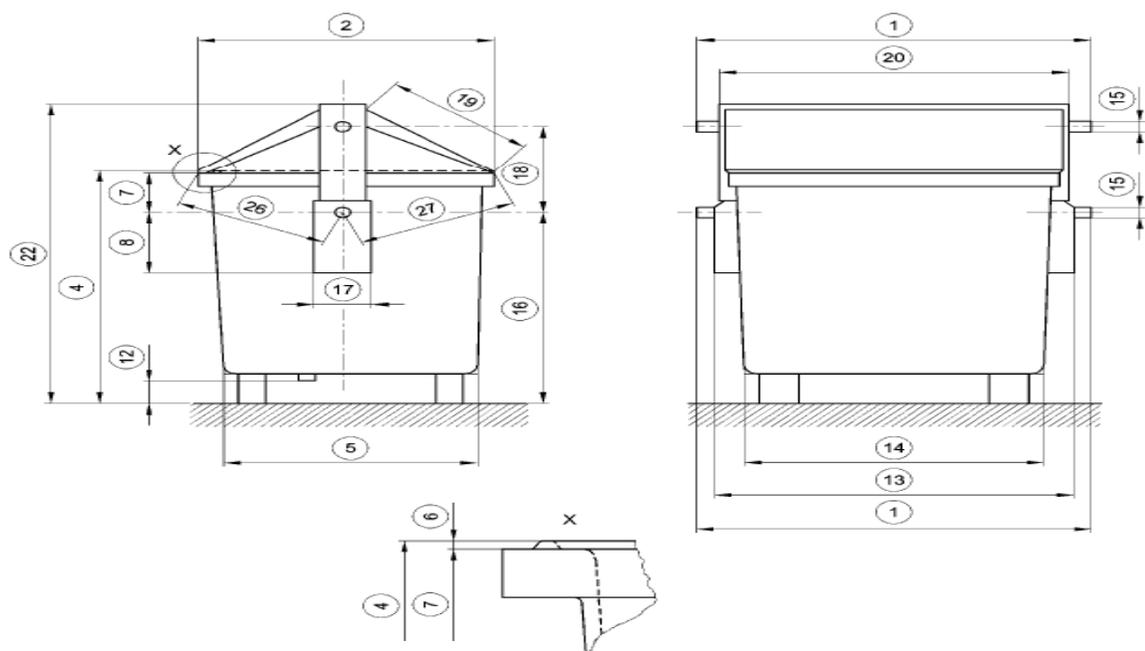
**Dimensión 27**



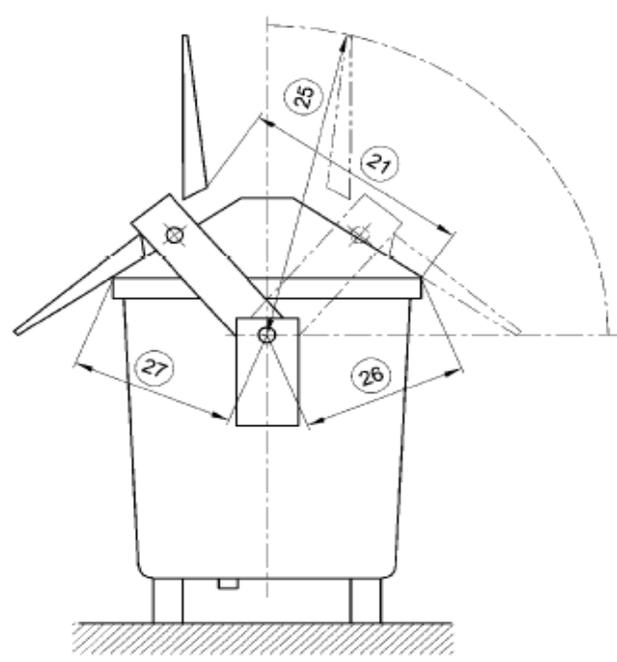
**ANEXO 3.** Dimensiones Estipuladas en la normativa UNE EN12574.

<b>Tabla 1 – Dimensiones relativas a las figuras 1, 2 y 3</b>			
Contenedores para dispositivo de elevación tipo soporte giratorio			
	Tipo F Interfaz estrecha	Tipo A Interfaz ancha	
Nº de elemento	Dimensiones mm	Dimensiones mm	Observaciones
1 <sup>a</sup>	1 380 <sup>+20</sup> <sub>-10</sub>	1 880 ± 10	importante para el dispositivo de elevación
2 <sup>a</sup>	1 520 máx.		anchura total con las tapas cerradas o abiertas
3	1 470 máx.		sólo para contenedores con tapa plana
4 <sup>a</sup>	1 350 máx.		
5	1 350 máx.		
6	15 máx.		
7	240 ± 50		
8 <sup>a</sup>	460 mín.		
9 <sup>a</sup>	460 máx.		sólo para contenedores con tapa plana
10 <sup>a</sup>	0 a 90		sólo para contenedores con tapa plana
11	80 <sup>+5</sup> <sub>0</sub>		sólo para contenedores con tapa plana
12 <sup>a</sup>	30 mín.		distancia mínima al suelo
13 <sup>a</sup>	1 260 <sup>+20</sup> <sub>-10</sub>	1 760 ± 10	importante para el dispositivo de elevación
14	1 150 máx.	1 650 máx.	
15 <sup>a</sup>	40 ± 2		
16 <sup>a</sup>	1 050 ± 50		
17 <sup>a</sup>	160 ± 10		
18 <sup>a</sup>	450 ± 50		
19	450 mín.		
20 <sup>a</sup>	1 250 máx.	1 750 máx.	dimensión total máxima para la parte superior de la estructura y la tapa
21 <sup>a</sup>	650 mín.		
22 <sup>a</sup>	1 820 máx.		
23 <sup>a</sup>	0 a 150		posición del soporte giratorio de la(s) tapa(s) para rotación asistida de la(s) tapa(s) para la operación de vaciado
24 <sup>a</sup>	490 ± 60		distancia entre el soporte giratorio y soporte giratorio de la(s) tapa(s)
25 <sup>a</sup>	1 700 máx.		distancia desde el eje del soporte giratorio al borde de la tapa medido desde 0° a 90° (apertura de la tapa)
26 <sup>a</sup>	820 máx.		máxima distancia desde el eje del soporte giratorio al borde frontal del cuerpo
27 <sup>a</sup>	820 máx.		máxima distancia desde el eje del soporte giratorio al borde trasero del cuerpo

<sup>a</sup> Dimensión obligatoria.

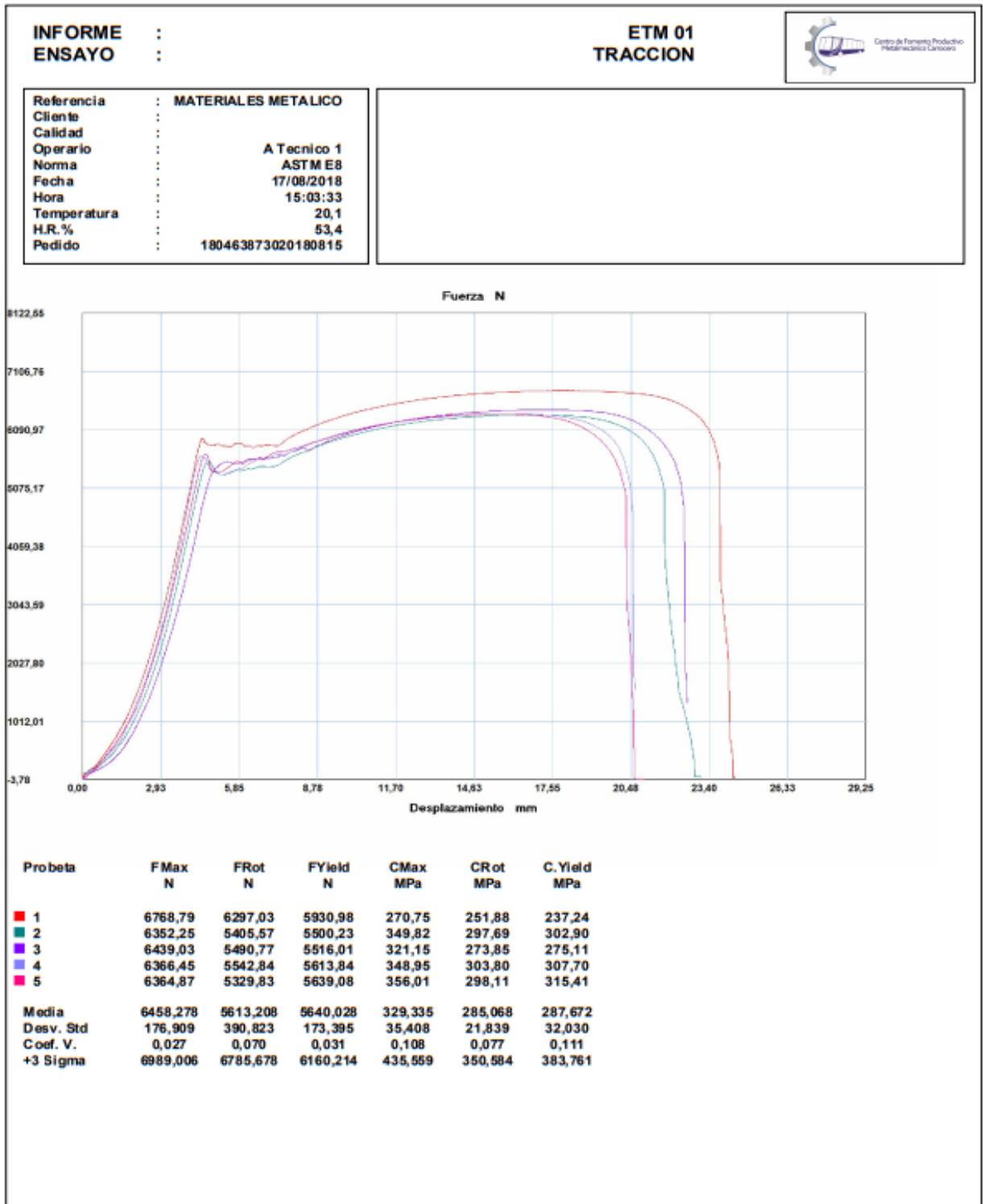


Tipo 3



Tipo 4

ANEXO 4. Resultados de ensayo de tracción A 653.



### Parametros

Precarga	=	0,00	N
Caida %	=	100,00	
Retorno Automatico	=	1,00	
Limite Fuerza	=	45000,00	N
Limite Desplazamiento	=	500,00	mm
Stop Ext	=	100,00	mm

### Velocidades

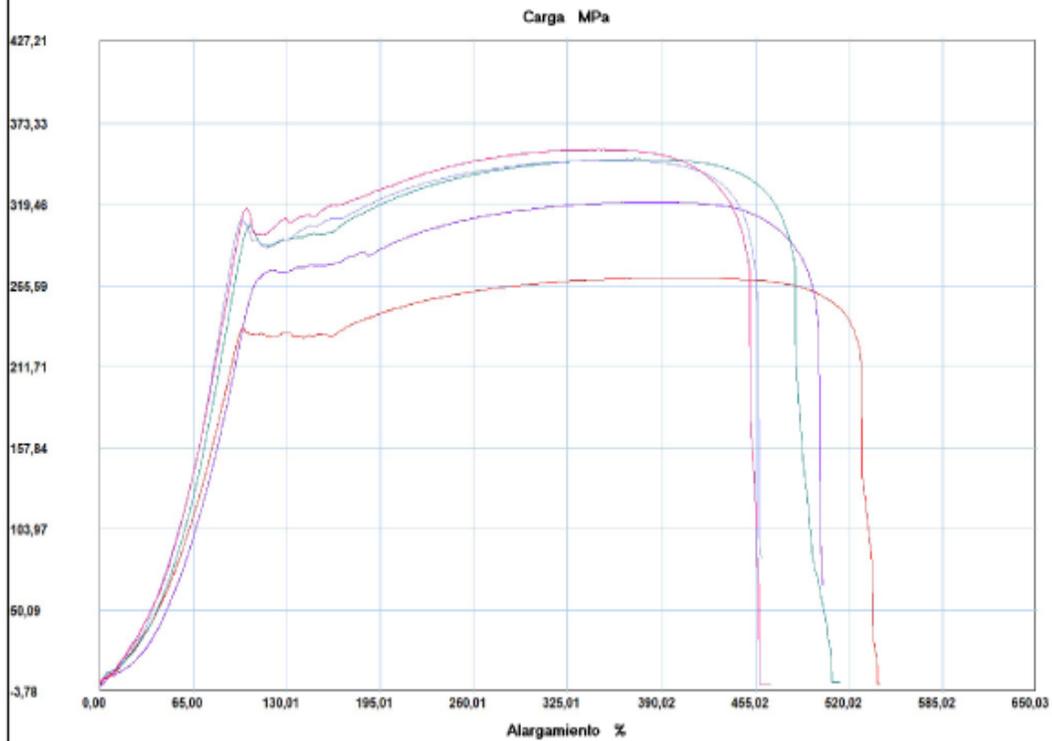
Precarga	=	10,00	mm/min
Ensayo	=	10,00	mm/min
Retorno	=	120,00	mm/min
Posicionamiento	=	300,00	mm/min

INFORME :  
 ENSAYO :

ETM 01  
 TRACCION



Referencia : MATERIALES METALICO  
 Cliente :  
 Calidad :  
 Operario : A Tecnico 1  
 Norma : ASTM E8  
 Fecha : 17/08/2018  
 Hora : 15:03:33  
 Temperatura : 20,1  
 H.R.% : 53,4  
 Pedido : 180463873020180815



Probeta	FMax N	FRot N	FYield N	CMax MPa	CRot MPa	C.Yield MPa
1	6768,79	6297,03	5930,98	270,75	251,88	237,24
2	6352,25	5405,57	5500,23	349,82	297,69	302,90
3	6439,03	5490,77	5516,01	321,15	273,85	275,11
4	6366,45	5542,84	5613,84	348,95	303,80	307,70
5	6364,87	5329,83	5639,08	356,01	298,11	315,41
Media	6458,278	5613,208	5640,028	329,335	285,068	287,672
Desv. Std	176,909	390,823	173,395	35,408	21,839	32,030
Coef. V.	0,027	0,070	0,031	0,108	0,077	0,111
+3 Sigma	6989,006	6785,678	6160,214	435,559	350,584	383,761

### Parametros

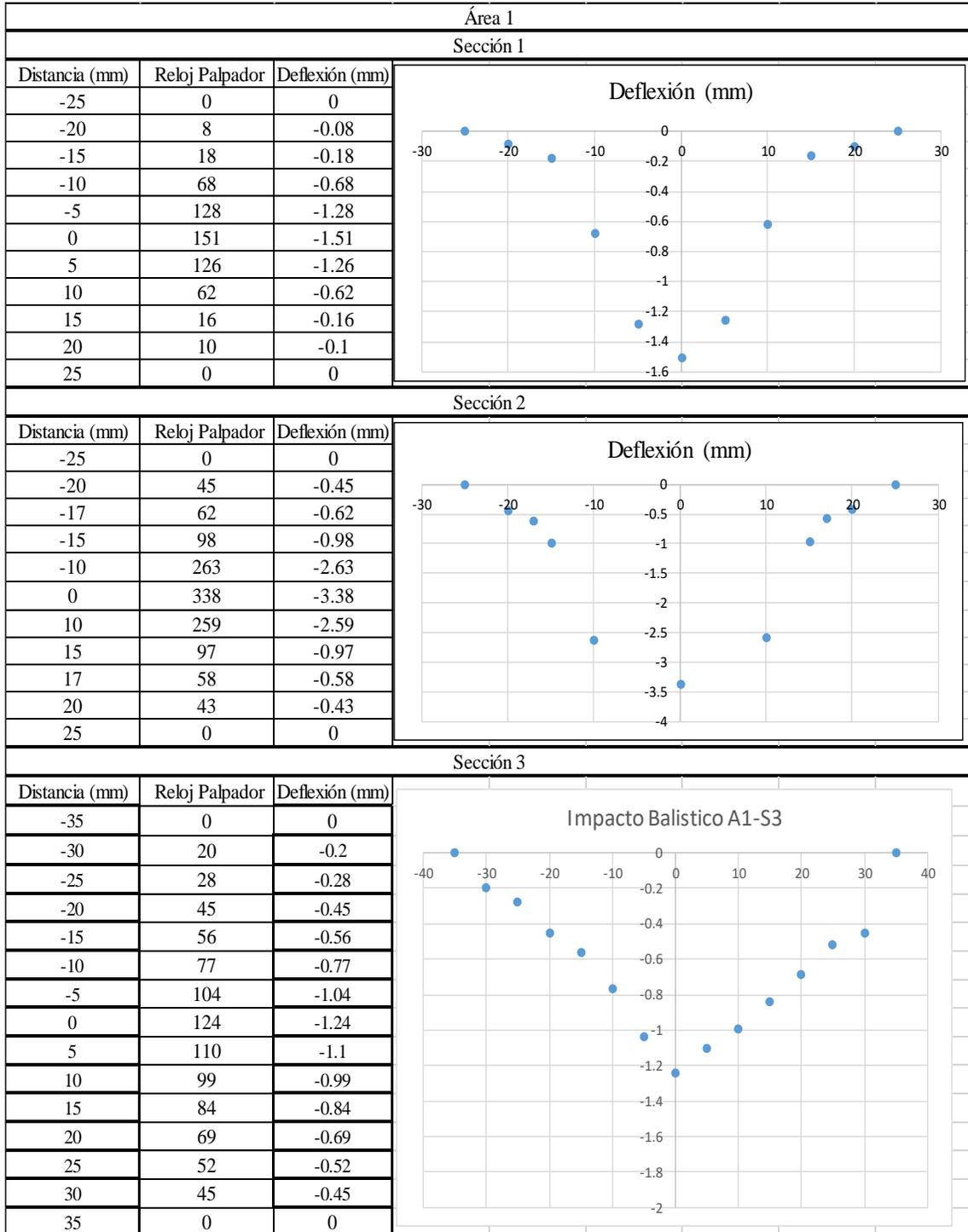
Precarga	=	0,00	N
Caida %	=	100,00	
Retorno Automatico	=	1,00	
Limite Fuerza	=	45000,00	N
Limite Desplazamiento	=	500,00	mm
Stop Ext	=	100,00	mm

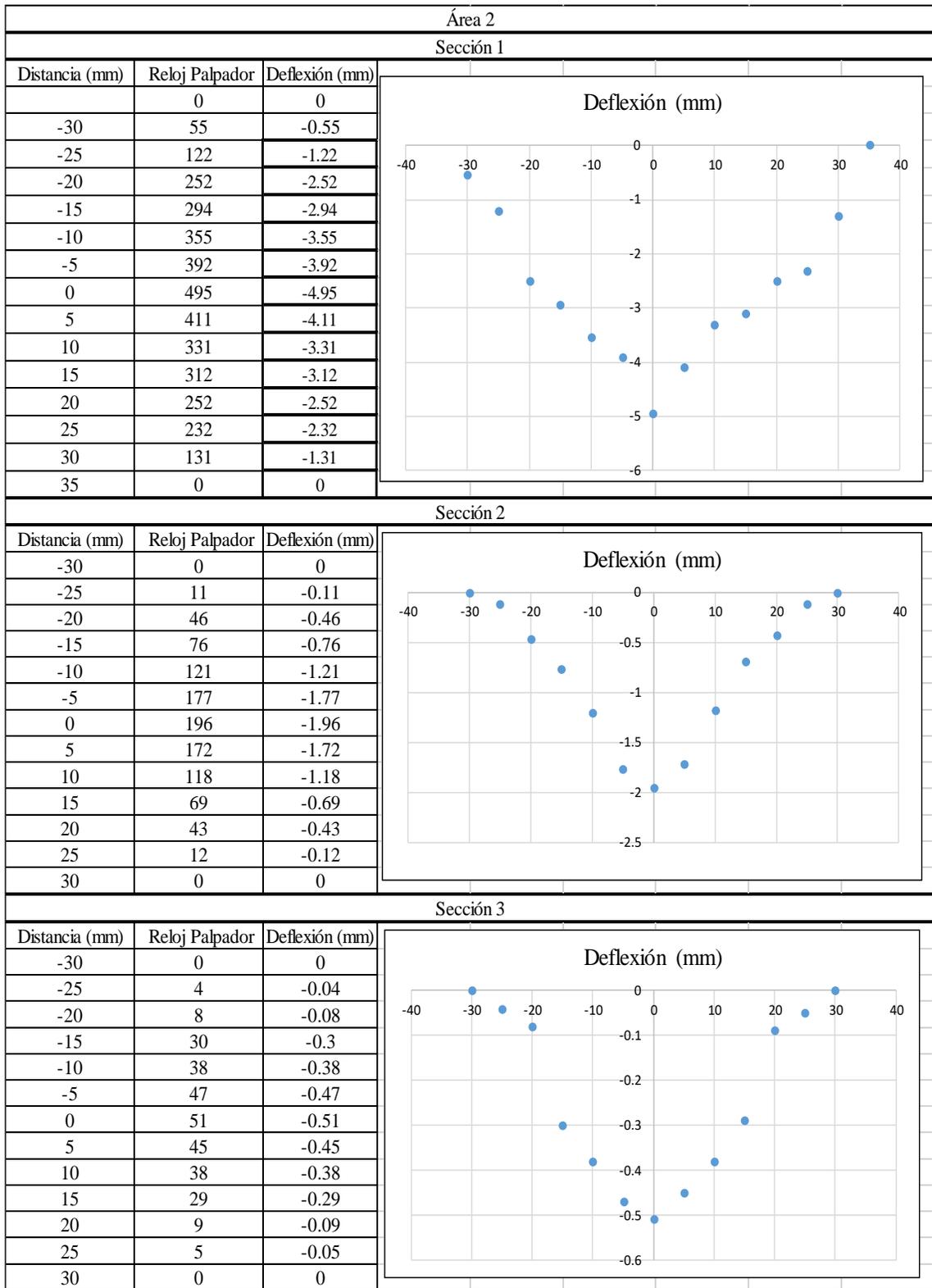
### Velocidades

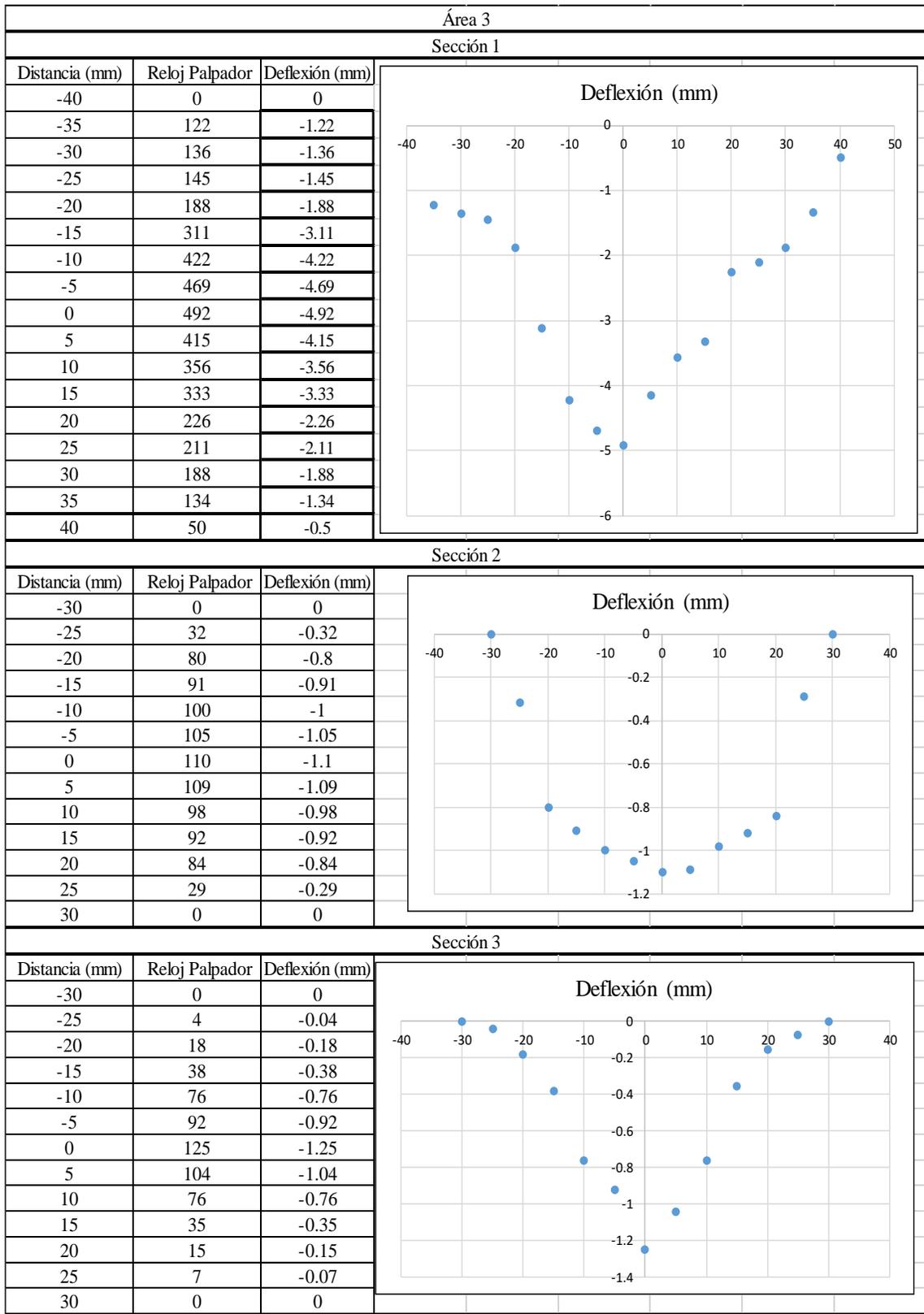
Precarga	=	10,00	mm/min
Ensayo	=	10,00	mm/min
Retorno	=	120,00	mm/min
Posicionamiento	=	300,00	mm/min

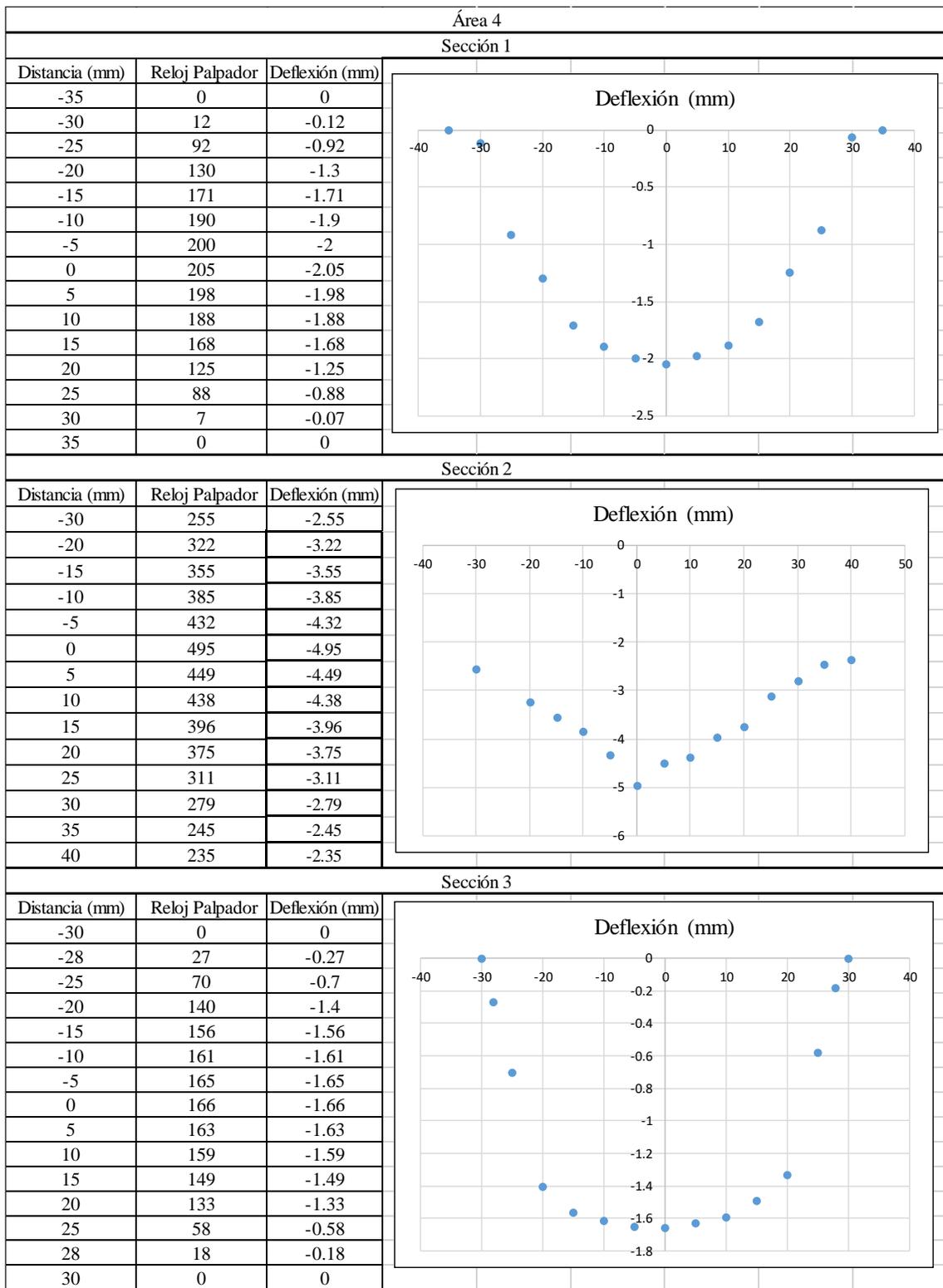
**ANEXO 5.** Perfiles de Deformación por impacto balístico.

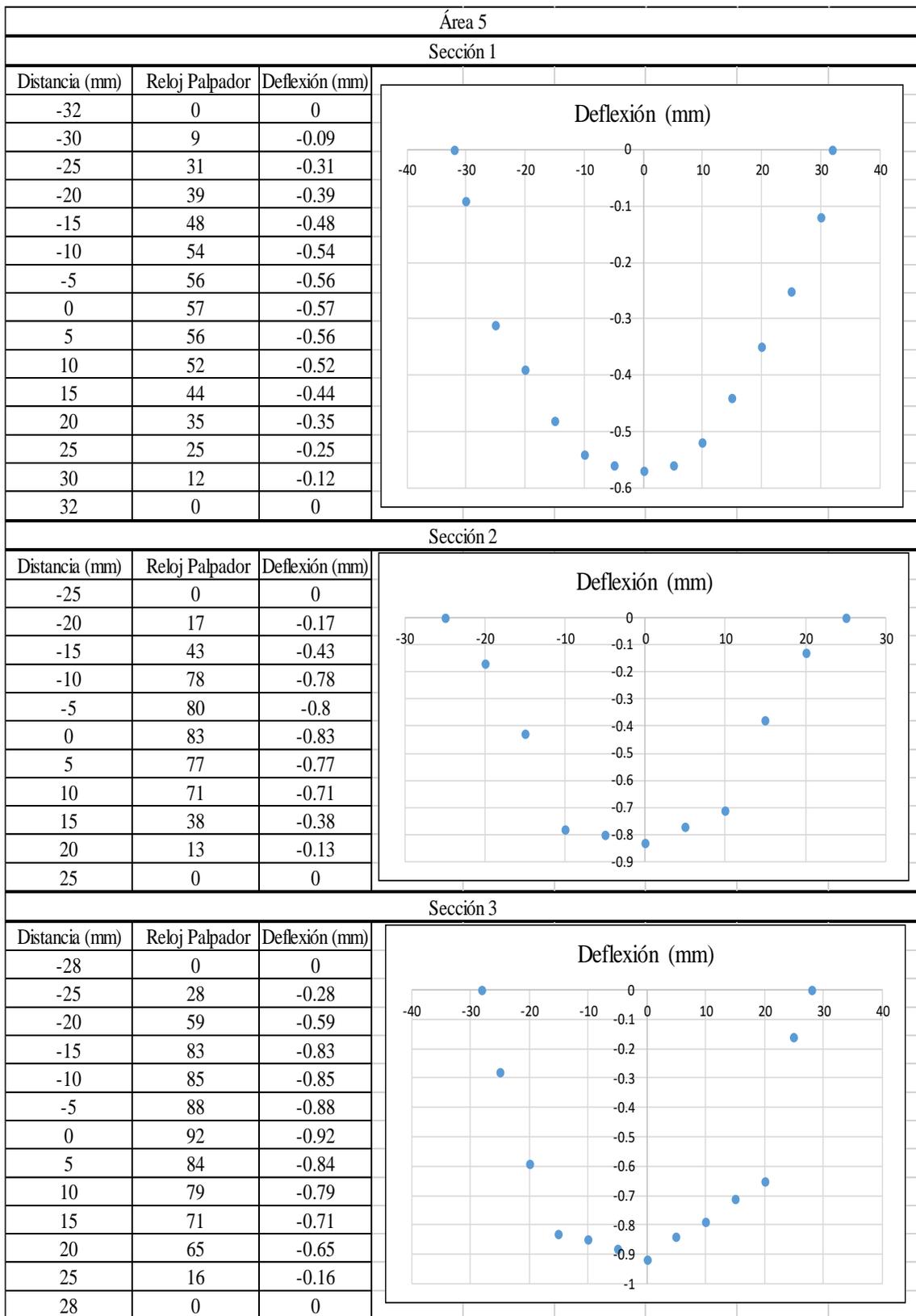
**ANEXO 5.1** Perfiles de deformación producida en la base del contenedor



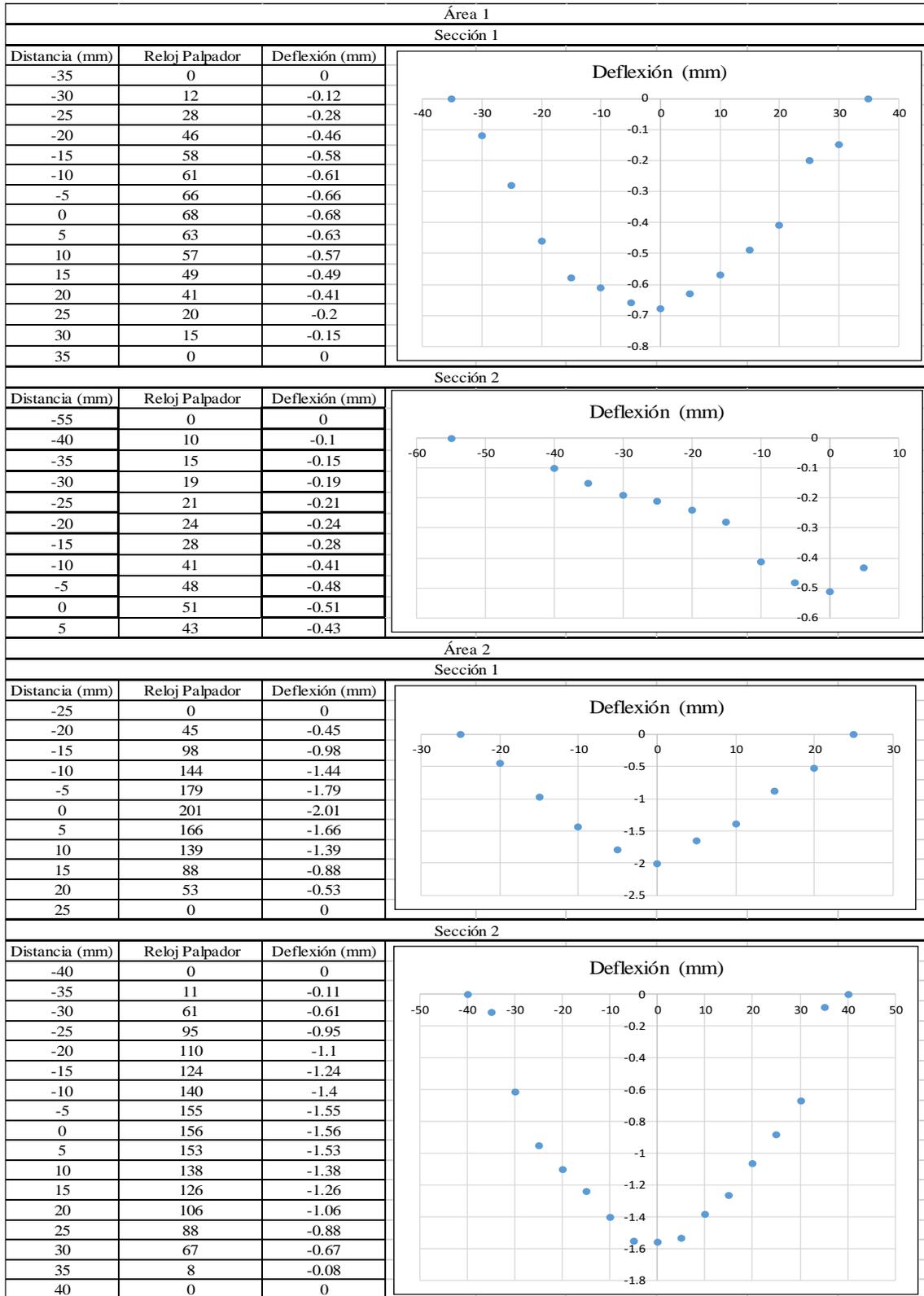








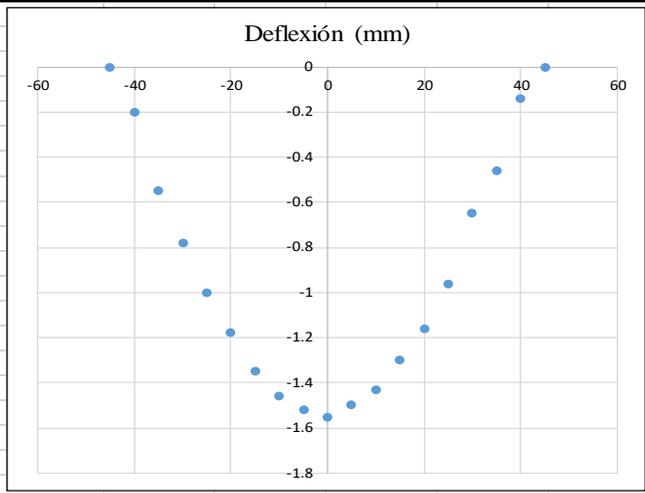
**ANEXO 5.2** Perfiles de deformación producida en las tapas de bóveda 1 del contenedor.



Área 3

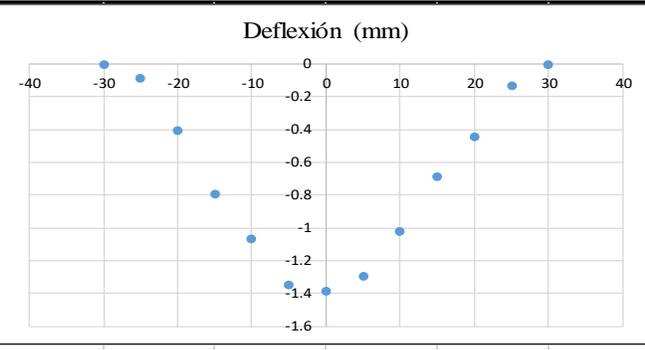
Sección 1

Distancia (mm)	Reloj Palpador	Deflexión (mm)
-45	0	0
-40	20	-0.2
-35	55	-0.55
-30	78	-0.78
-25	100	-1
-20	118	-1.18
-15	135	-1.35
-10	146	-1.46
-5	152	-1.52
0	155	-1.55
5	150	-1.5
10	143	-1.43
15	130	-1.3
20	116	-1.16
25	96	-0.96
30	65	-0.65
35	46	-0.46
40	14	-0.14
45	0	0



Sección 2

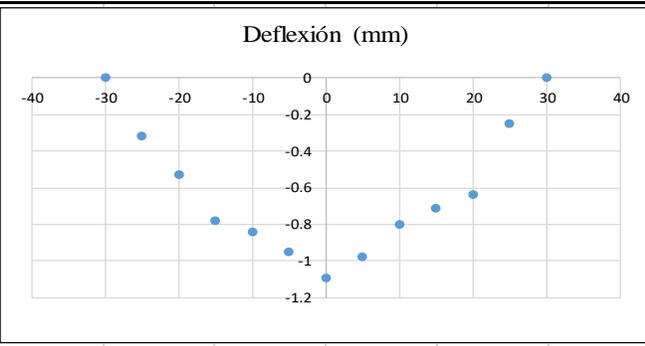
Distancia (mm)	Reloj Palpador	Deflexión (mm)
-30	0	0
-25	8	-0.08
-20	40	-0.4
-15	79	-0.79
-10	106	-1.06
-5	134	-1.34
0	138	-1.38
5	129	-1.29
10	102	-1.02
15	68	-0.68
20	44	-0.44
25	13	-0.13
30	0	0



Área 4

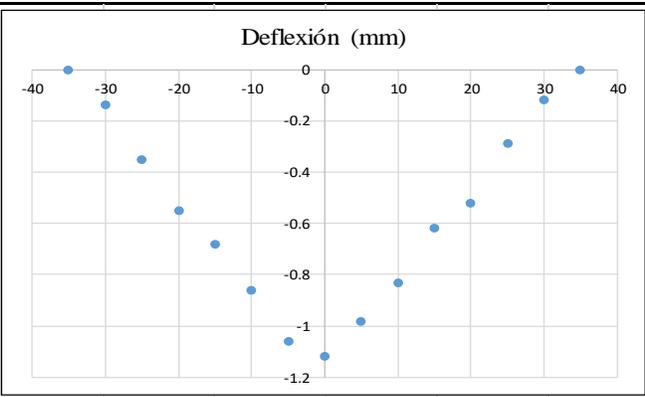
Sección 1

Distancia (mm)	Reloj Palpador	Deflexión (mm)
-30	0	0
-25	32	-0.32
-20	53	-0.53
-15	78	-0.78
-10	84	-0.84
-5	95	-0.95
0	109	-1.09
5	98	-0.98
10	80	-0.8
15	71	-0.71
20	64	-0.64
25	25	-0.25
30	0	0



Sección 2

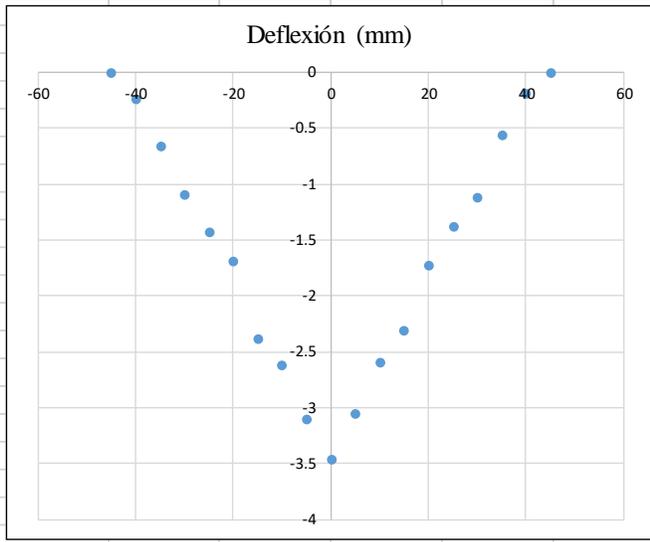
Distancia (mm)	Reloj Palpador	Deflexión (mm)
-35	0	0
-30	14	-0.14
-25	35	-0.35
-20	55	-0.55
-15	68	-0.68
-10	86	-0.86
-5	106	-1.06
0	112	-1.12
5	98	-0.98
10	83	-0.83
15	62	-0.62
20	52	-0.52
25	29	-0.29
30	12	-0.12
35	0	0



Área 5

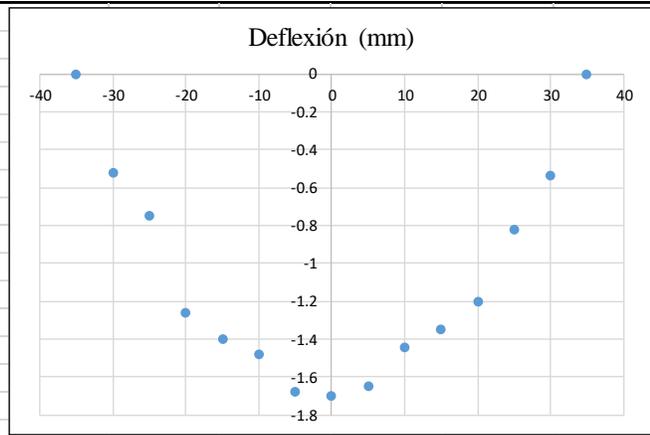
Sección 1

Distancia (mm)	Reloj Palpador	Deflexión (mm)
-45	0	0
-40	23	-0.23
-35	66	-0.66
-30	109	-1.09
-25	143	-1.43
-20	168	-1.68
-15	238	-2.38
-10	261	-2.61
-5	310	-3.1
0	346	-3.46
5	305	-3.05
10	259	-2.59
15	231	-2.31
20	172	-1.72
25	138	-1.38
30	111	-1.11
35	56	-0.56
40	18	-0.18
45	0	0

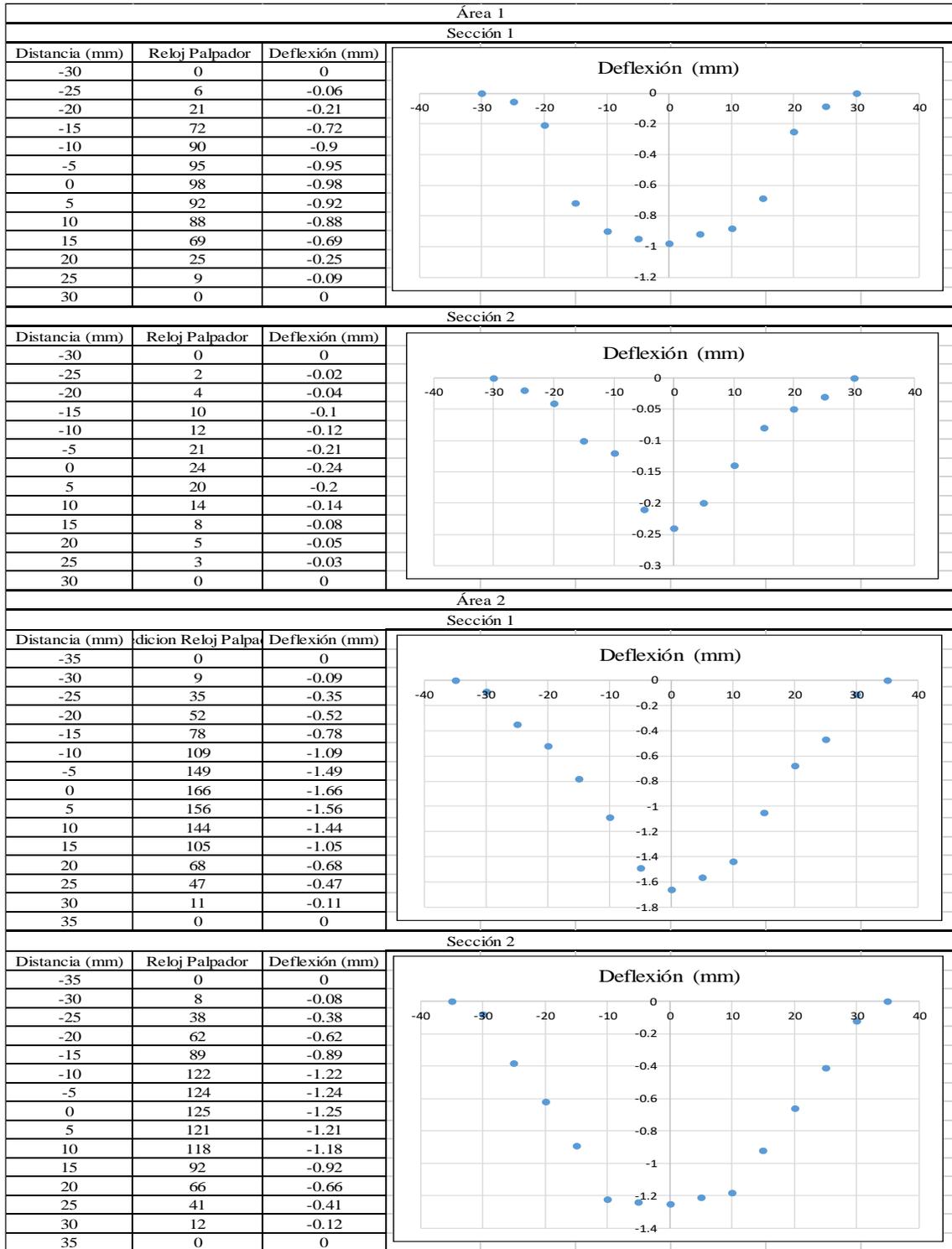


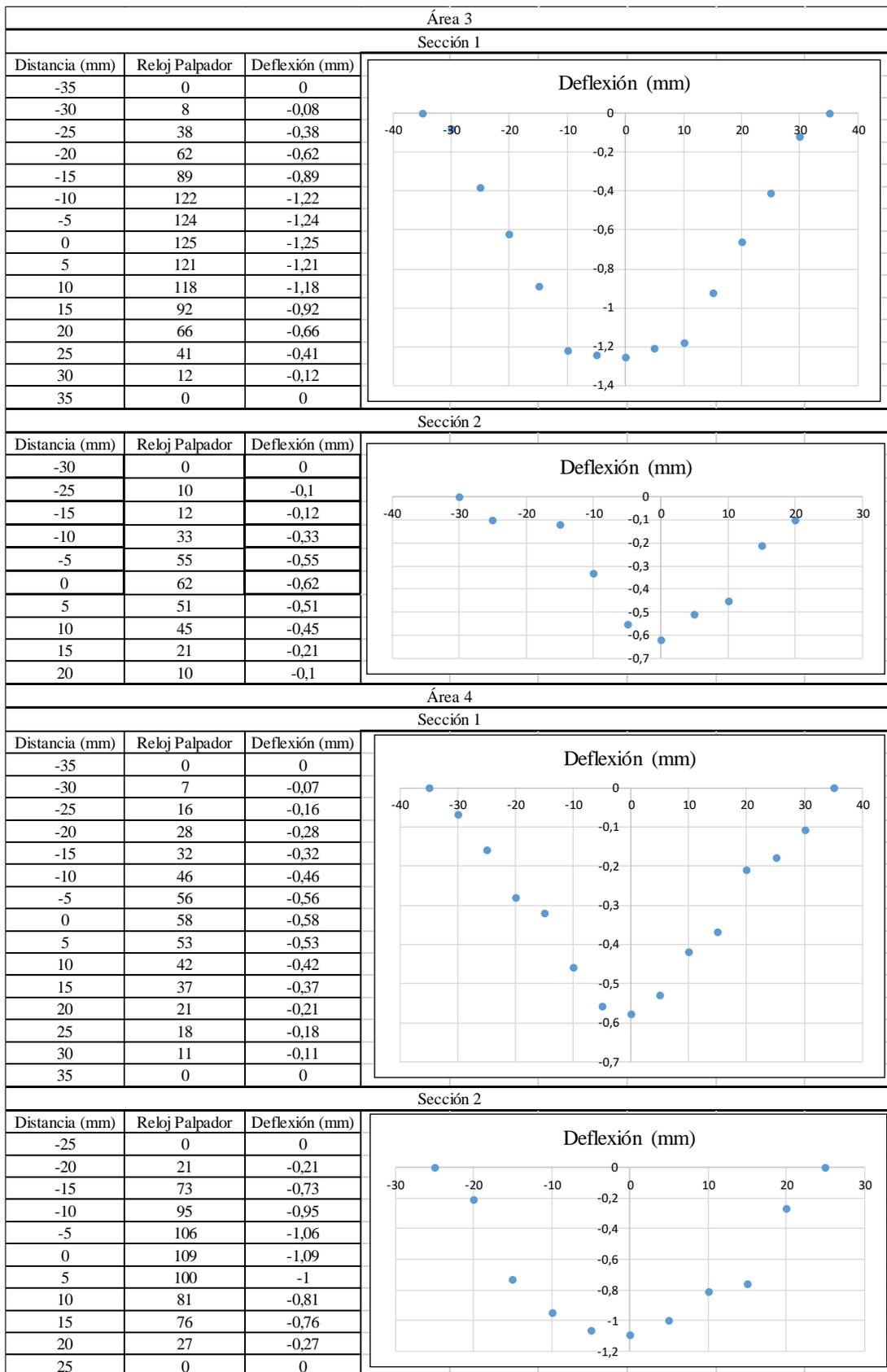
Sección 2

Distancia (mm)	Reloj Palpador	Deflexión (mm)
-35	0	0
-30	52	-0.52
-25	75	-0.75
-20	126	-1.26
-15	140	-1.4
-10	148	-1.48
-5	168	-1.68
0	170	-1.7
5	165	-1.65
10	144	-1.44
15	135	-1.35
20	120	-1.2
25	82	-0.82
30	54	-0.54
35	0	0



**ANEXO 6.3.** Perfiles de deformación producida en las tapas de bóveda 2 del contenedor.

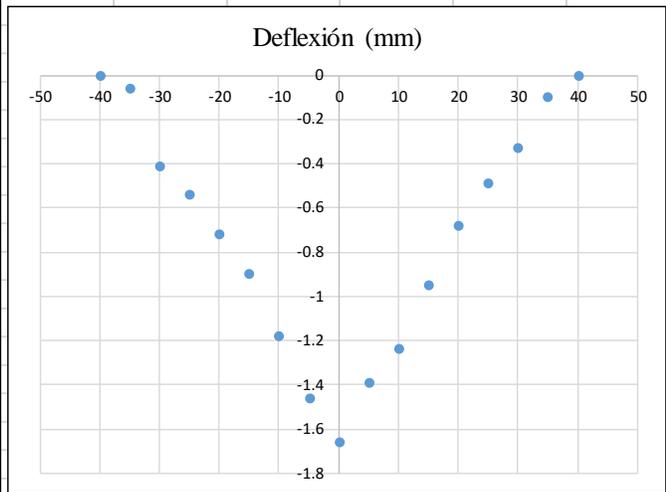




Área 5

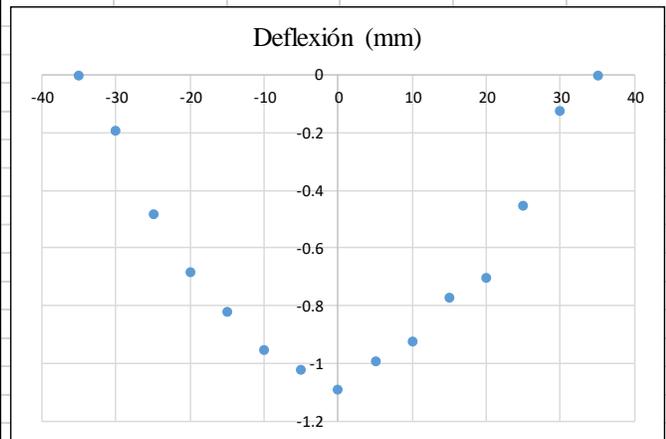
Sección 1

Distancia (mm)	Reloj Palpador	Deflexión (mm)
-40	0	0
-35	6	-0.06
-30	41	-0.41
-25	54	-0.54
-20	72	-0.72
-15	90	-0.9
-10	118	-1.18
-5	146	-1.46
0	166	-1.66
5	139	-1.39
10	124	-1.24
15	95	-0.95
20	68	-0.68
25	49	-0.49
30	33	-0.33
35	10	-0.1
40	0	0



Sección 2

Distancia (mm)	Reloj Palpador	Deflexión (mm)
-35	0	0
-30	19	-0.19
-25	48	-0.48
-20	68	-0.68
-15	82	-0.82
-10	95	-0.95
-5	102	-1.02
0	109	-1.09
5	99	-0.99
10	92	-0.92
15	77	-0.77
20	70	-0.7
25	45	-0.45
30	12	-0.12
35	0	0



**ANEXO 6.** Normativa UNE EN 12574-2

**norma  
española**

**TÍTULO**

**Contenedores fijos para residuos**

**Parte 2: Requisitos de funcionamiento y métodos de ensayo**

*Stationary waste containers. Part 2: Performance requirements and test methods.*

*Conteneurs fixes à déchets. Partie 2: Exigences de performance et méthodes d'essais.*

**CORRESPONDENCIA**

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 12574-2:2006.

**OBSERVACIONES**

Esta norma sustituye a la Norma EN 12574-2:2006 (Ratificada por AENOR).

**ANTECEDENTES**

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 134 *Gestión de Residuos Sólidos y Asimilables Urbanos, Industriales y Especiales* cuya Secretaría desempeña ATEGRUS.

Editada e impresa por AENOR  
Depósito legal: M 1453:2007

© AENOR 2007  
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

**AENOR**

Asociación Española de  
Normalización y Certificación

C Génova, 6  
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00  
Fax 91 310 40 32

21 Páginas

**Grupo 15**

Versión en español

**Contenedores fijos para residuos**  
**Parte 2: Requisitos de funcionamiento y métodos de ensayo**

**Stationary waste containers.**  
**Part 2: Performance requirements and test methods.**

**Conteneurs fixes à déchets.**  
**Partie 2: Exigences de performance et méthodes d'essais.**

**Stationäre Abfallsammelbehälter.**  
**Teil 2: Anforderungen an die Ausführung und Prüfverfahren.**

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 2005-12-28.

Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional. Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales pueden obtenerse en el Centro de Gestión de CEN, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada al Centro de Gestión, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumanía, Suecia y Suiza.

- -

## ÍNDICE

		Página
<b>PRÓLOGO</b> .....		5
<b>1</b>	<b>OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN</b> .....	6
<b>2</b>	<b>NORMAS PARA CONSULTA</b> .....	6
<b>3</b>	<b>TÉRMINOS Y DEFINICIONES</b> .....	6
<b>4</b>	<b>ENSAYOS</b> .....	6
<b>5</b>	<b>INFORME DE LOS ENSAYOS</b> .....	15
<b>ANEXO A (Normativo)</b>	<b>DISPOSITIVO PARA EL ENSAYO DE CAÍDA DE BOLA</b> .....	16
<b>ANEXO B (Informativo)</b>	<b>APARATO PARA ENSAYO DE IMPACTO LATERAL SOBRE PLANO INCLINADO</b> .....	17
<b>ANEXO C (Normativo)</b>	<b>ENSAYO DE RESISTENCIA A LA INTEMPERIE</b> .....	18
<b>ANEXO D (Informativo)</b>	<b>DESVIACIONES A</b> .....	19
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....		20
<b>Figuras</b>		
<b>Figura 1</b>	<b>Segmentos a ensayar</b> .....	10
<b>Figura A.1</b>	<b>Dispositivo para el ensayo de caída de bola</b> .....	16
<b>Figura B.1</b>	<b>Aparato para ensayo de impacto lateral sobre plano inclinado</b> .....	17
<b>Tablas</b>		
<b>Tabla 1</b>	<b>Secuencia de los impactos laterales</b> .....	11
<b>Tabla 2</b>	<b>Secuencia de los ensayos</b> .....	14

## PRÓLOGO

Esta Norma Europea EN 12574-2:2006 ha sido elaborada por el Comité Técnico CEN/TC 183 *Gestión de residuos*, cuya Secretaría desempeña DIN.

Esta norma europea debe recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a ella o mediante ratificación antes de finales de agosto de 2006, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deben anularse antes de finales de agosto de 2006.

Esta norma europea anula y sustituye a la Norma EN 12574-2:2002.

Esta norma europea es una parte de la serie de Normas EN 12574 sobre *Contenedores fijos para residuos* que comprende las partes siguientes:

- *Parte 1: Contenedores con capacidades hasta 10 000 l con tapa(s) plana(s) o abovedada(s) para dispositivos de elevación tipo soporte giratorio, doble soporte giratorio o tipo manguitos. Dimensiones y diseño;*
- *Parte 2: Requisitos de funcionamiento y métodos de ensayo;*
- *Parte 3: Requisitos de seguridad y salud.*

De acuerdo con el Reglamento Interior de CEN/CENELEC, están obligados a adoptar esta norma europea los organismos de normalización de los siguientes países: Alemania, Austria, Bélgica, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumanía, Suecia y Suiza.

## 1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta parte de la Norma EN 12574 especifica los métodos de ensayo para contenedores fijos para residuos (denominados también contenedores en el texto) de acuerdo con la Norma EN 12574-1. También se especifican los requisitos a alcanzar durante los ensayos o después de éstos.

## 2 NORMAS PARA CONSULTA

Las normas que a continuación se indican son indispensables para la aplicación de esta norma. Para las referencias con fecha, sólo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de la norma (incluyendo cualquier modificación de ésta).

EN 1501-1 *Vehículos para la recogida de residuos y sus dispositivos de elevación asociados. Requisitos generales y requisitos de seguridad. Parte 1: Vehículos para la recogida de residuos de carga posterior.*

EN 1501-2 *Vehículos para la recogida de residuos y sus dispositivos de elevación asociados. Requisitos generales y requisitos de seguridad. Parte 2: Vehículos para la recogida de residuos de carga lateral.*

prEN 1501-3 *Vehículos para la recogida de residuos y sus dispositivos de elevación asociados. Requisitos generales y requisitos de seguridad. Parte 3: Vehículos para la recogida de residuos de carga frontal.*

EN 10327 *Chapas y bandas de acero bajo en carbono para conformado en frío revestidas en continuo por inmersión en caliente. Condiciones técnicas de suministro.*

EN 12574-1:2006 *Contenedores fijos para residuos. Parte 1: Contenedores con capacidades de hasta 10 000 l con tapa(s) plana(s) o abovedada(s) para dispositivos de elevación de tipo soporte giratorio, doble soporte giratorio o tipo manguitos. Dimensiones y diseño.*

EN ISO 105-B02 *Textiles. Ensayos de solidez del color. Parte B02: Solidez del color a la luz artificial: lámpara de arco de xenón.* (ISO 105-B02:1994, incluida modificación 1:1998).

EN ISO 1461 *Recubrimientos galvanizados en caliente sobre productos acabados de hierro y acero. Especificaciones y métodos de ensayo.* (ISO 1461:1999).

EN ISO 8256 *Plásticos. Determinación de la resistencia al impacto-tracción.* (ISO 8256:2004).

ISO 2081 *Recubrimientos metálicos. Depósitos electrolíticos de cinc sobre hierro o acero.*

## 3 TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Para los propósitos de esta norma europea, son de aplicación los términos y definiciones dadas en la Norma EN 12574-1:2006.

## 4 ENSAYOS

### 4.1 Generalidades

Antes y después de los ensayos se tiene que hacer una inspección visual del contenedor con objeto de:

- comprobar que el contenedor no está dañado y no presenta ningún defecto visual;
- comprobar que las características de fabricación del contenedor a ensayar corresponden a las especificadas en la Norma EN 12574-1;
- comparar el estado del contenedor antes y después de la secuencia de ensayos.

Después de terminar los ensayos, se admitirá una cierta deformación del contenedor, pero debe seguir siendo totalmente funcional.

## **4.2 Control antes de los ensayos**

### **4.2.1 Aspectos visuales**

No debe presentar daños, grietas, burbujas, grandes decoloraciones o bordes afilados. No deben ser visibles defectos superficiales (zonas rugosas, marcas de color) a simple vista desde una distancia de 1 m.

### **4.2.2 Correspondencia con la Norma EN 12574-1**

#### **4.2.2.1 Componentes**

El cuerpo, la tapa, las ruedas y otros accesorios deben ensayarse de acuerdo con la norma pertinente al contenedor.

#### **4.2.2.2 Tamaños y dimensiones**

Las dimensiones de los contenedores y los componentes deben corresponder a los de la Norma EN 12574-1.

#### **4.2.2.3 Capacidades**

Las capacidades del contenedor y de sus partes deben corresponder a las de la norma EN 12574-1.

- a) para el cuerpo, mediante el método del depósito (véase el apartado 4.2.2.4) hasta 1 700 l, y por cálculo para contenedores de más de 1 700 l;
- b) para la tapa, por el método del depósito si es posible (véase el apartado 4.2.2.4) y en caso contrario mediante cálculo;
- c) para el contenedor, se suman los resultados obtenidos en a) y b) y se restan las capacidades que pueda haber duplicadas.

#### **4.2.2.4 Método del depósito**

El equipo de ensayo debe constar de un depósito de capacidad suficiente para contener el contenedor que se va a ensayar.

El procedimiento de ensayo es el siguiente:

- a) se coloca el contenedor vacío en un depósito, el contenedor no debe estar inclinado;
- b) se llenan simultáneamente el contenedor y el depósito con agua a una temperatura de  $(15 \pm 5)$  °C;
- c) se mide la cantidad de agua dentro del contenedor.

El resultado de la medición debe estar dentro del  $\pm 1\%$  de la capacidad declarada del contenedor.

### **4.2.3 Desviaciones límites de las masas**

Las desviaciones límites respecto a la masa declarada del contenedor son las siguientes: para contenedores de plástico  $\pm 5\%$  y para contenedores metálicos  $\pm 10\%$ .

### **4.2.4 Color**

El color debe definirse y acordarse entre el cliente y el suministrador.

### **4.2.5 Marcado**

El marcado del contenedor debe ser conforme con lo indicado en la Norma EN 12574-1.

### 4.3 Control después de los ensayos

A pesar de variaciones en deformación y tamaños, debe ser posible elevar e inclinar con seguridad el contenedor cargado según el apartado 4.5 con la carga nominal en un dispositivo de elevación designado y desplazar el contenedor sobre sus ruedas, si éstas existen.

### 4.4 Condiciones de los ensayos

Los ensayos deben realizarse a las temperaturas siguientes:

$$T_1 = (23 \pm 5) \text{ °C}$$

$$T_2 = \left(-18_{-2}^0\right) \text{ °C.}$$

La duración mínima del acondicionamiento antes de los ensayos debe ser 12 h. Si el ensayo se realiza fuera de la sala acondicionada y si la duración del ensayo es superior a 5 min, por cada período de ensayo de 5 min el contenedor se debe reacondicionar durante 15 min como mínimo antes de continuar el ensayo.

Para propósitos especiales, se puede acordar una temperatura inferior a -18 °C o superior a +23 °C; en este caso se debe indicar en el informe de ensayo.

### 4.5 Carga de ensayo

Para el cálculo de la carga de ensayo se debe tomar uno de los dos valores de densidad siguientes:

- 0,25 kg/dm<sup>3</sup> para basuras ligeras (por ejemplo, plásticos, botellas de plástico, frascos);
- 0,40 kg/dm<sup>3</sup> para basuras pesadas (por ejemplo, vidrio, papel, basura orgánica, cartón).

La carga de ensayo debe ser igual al valor de la densidad según se indica arriba multiplicado por el volumen nominal y debe estar formado por gránulos de polietileno de alta densidad (HDPE) en sacos de 25 kg con una masa específica de 0,5 kg/dm<sup>3</sup> pero nunca superior a 1 750 kg.

### 4.6 Ensayos sobre los contenedores

#### 4.6.1 Generalidades

Todos los ensayos se deben realizar sobre contenedores nuevos, de acuerdo con la secuencia de ensayos del apartado 4.10.4.

#### 4.6.2 Ensayo de impacto por caída de bola

El ensayo de impacto por caída de bola no es obligatorio para los contenedores de acero.

Debe ensayarse la capacidad de resistencia de puntos sensibles, como soldaduras y esquinas del contenedor, para soportar impactos a temperatura  $T_2$ .

Los contenedores fijos deben estar apoyados sobre sus ruedas (si existen) o sobre sus soportes.

El ensayo de caída de bola se debe realizar utilizando un cilindro de acero de 5 kg, diámetro de 65 mm, con radio final hemisférico de 32,5 mm. El cilindro de acero se introduce en un tubo vertical de plástico, con una ranura o con agujeros para permitir que escape el aire durante la caída.

Se deben someter a ensayos de impacto las zonas siguientes, de acuerdo con las condiciones mencionadas a continuación:

a) en el interior del fondo:

- en tres puntos como mínimo comenzando por el(los) punto(s) de inyección (a menos de 20 mm del punto del orificio de colada) y otros puntos potencialmente débiles (es decir, agujeros de drenaje por ejemplo);
- con una altura de caída de 1,5 m;
- con una frecuencia de 3 veces por punto de medida;

b) en salientes del cuerpo (asa, borde superior, etc.), uniones entre tapa y cuerpo, bisagras en la tapa y zonas salientes en la tapa:

- con una altura de caída de 0,8 m y;
- con una frecuencia de 2 impactos por punto de medida.

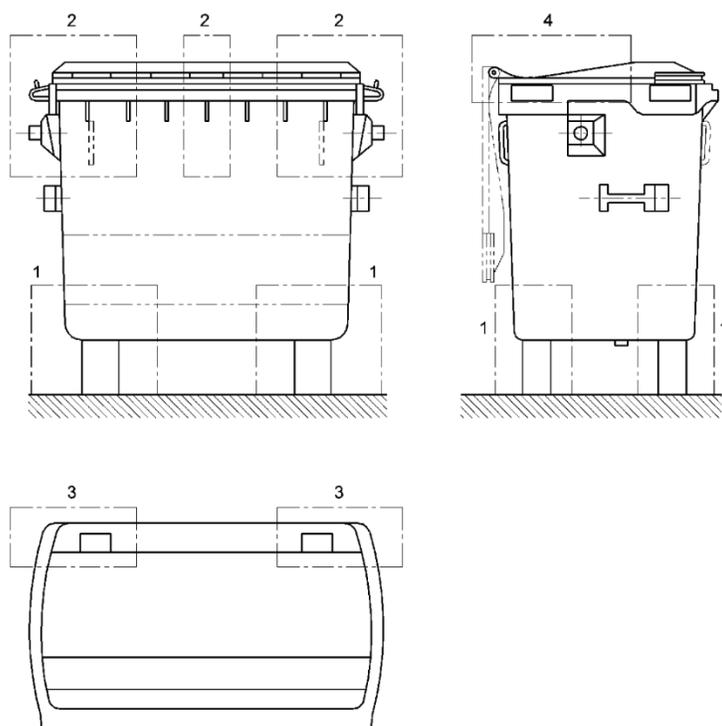
Después de los ensayos, no se permiten deformaciones permanentes o roturas susceptibles de perjudicar el uso pretendido.

El dispositivo debe estar de acuerdo con lo indicado en la figura A.1.

Se permite llevar a cabo un ensayo de segmentos con segmentos de aproximadamente un cuarto de metro cuadrado.

Se deben serrar del contenedor y ensayar al menos las siguientes áreas críticas:

- suspensiones de las ruedas de posición (véase el área 1 de la figura 1): esta área debe cortarse a una altura aproximada de 500 mm desde la parte inferior;
- receptor frontal (véase el área 2 de la figura 1): se deben ensayar ambas esquinas. El área debería ser de tamaño 300 mm × 300 mm;
- área de articulación (véase el área 3 de la figura 1): se deben ensayar ambas esquinas. El área debería ser de tamaño 300 mm × 300 mm;
- tapa (véase el área 4 de la figura 1): se debe ensayar un área comprendida desde las articulaciones hasta los puntos de inyección.



**Figura 1 – Segmentos a ensayar**

#### 4.6.3 Impacto sobre un plano inclinado

Los contenedores fijos deben someterse a ensayos de impacto en cada una de las paredes del cuerpo y en cada una de las esquinas para comprobar la resistencia a esfuerzos y roturas de las zonas sensibles, incluyendo las zonas salientes y los accesorios. Las condiciones de ensayo deben ser las siguientes:

- temperatura  $T_1$ ;
- lastre según el apartado 4.5;
- impacto contra una pared perpendicular a la dirección del movimiento;
- un total de 16 impactos según la tabla 1 (en la secuencia indicada).

Durante el procedimiento, la tapa debe estar cerrada. El contenedor cargado debe colocarse sobre un carro con una inclinación de  $10^\circ$  (diez grados) (con respecto al plano horizontal). Se deben tomar precauciones para evitar el vuelco accidental del contenedor durante el ensayo (véase la figura B.1).

En el anexo B se muestra un ejemplo de aparato adecuado.

Podrían utilizarse otros aparatos si permiten que las condiciones de impacto y velocidad sean las mismas.

La velocidad de impacto debe ser de 1,85 m/s cuando se ensaye una cara y de 1,3 m/s cuando se ensaye una esquina.

Las caras verticales del contenedor se numerarán de 1 a 4 y la cara número 1 será una de las caras grandes equipadas para el vehículo para la recogida de residuos. Las esquinas se marcarán con los números 1.2, 2.3, 3.4 y 4.1.

Después de completar los ensayos se admite una cierta deformación del contenedor, pero debe seguir siendo totalmente funcional.

Tabla 1 – Secuencia de los impactos laterales

Número impactos	Cara o esquina ensayada	Número de impactos
1 a 2	Cara 1	2
3 a 4	Esquina 1.2	2
5 a 6	Cara 2	2
7 a 8	Esquina 2.3	2
9 a 10	Cara 3	2
11 a 12	Esquina 3.4	2
13 a 14	Cara 4	2
15 a 16	Esquina 4.1	2

#### 4.7 Ensayo de estabilidad

La estabilidad estática de los contenedores vacíos y cargados sobre una pendiente de 10° (diez grados) respecto a la horizontal debe ensayarse primero en contenedores vacíos y después en contenedores llenos con la carga nominal.

El ensayo debe realizarse en condiciones de aire en calma.

Para contenedores de cuatro ruedas, los frenos, si existen, deberían impedir que las ruedas giren. Se deben adoptar otras medidas para impedir que los contenedores deslicen o rueden sin dificultar que se inclinen.

#### 4.8 Ensayos dinámicos

##### 4.8.1 Generalidades

Estos ensayos tienen como objetivo comprobar la manipulación e inmovilización de los contenedores.

##### 4.8.2 Ensayo de tracción

Se mide la fuerza necesaria para iniciar y mantener el movimiento del contenedor. Se mide la fuerza de tracción definida como fuerza horizontal y el resultado se indica en las instrucciones de uso.

El ensayo sólo debe realizarse en contenedores vacíos con cuatro ruedas únicamente para su posicionamiento.

Las fuerzas máximas para una tracción sostenida no deben ser superiores a 285 N.

Con objeto de obtener resultados comparables, todos los ensayos de fuerza se deben realizar en las condiciones siguientes:

- un contenedor nuevo;
- el suelo debe ser una superficie de hormigón horizontal plana y lisa [pendiente = 1° (un grado) como máximo];
- la fuerza de tracción debe ser de 0,1 m/s ± 0,005 m/s;
- la distancia de arrastre debe ser como mínimo de 3 m;
- la temperatura en la zona de ensayo y la del contenedor sometido a ensayo debe ser  $T_1$ ;
- el intervalo total de tolerancias del equipo debe ser el ±3% del valor medido;
- las ruedas del contenedor, antes de cada ensayo, se deben alinear en la dirección de tracción. El bloqueo de la dirección, si existe, está operativo;
- los ensayos deben realizarse tres veces.

### **4.8.3 Ensayo de inmovilización**

En una pendiente de 10° (diez grados), el contenedor bajo carga no debe rodar cuando esté aplicado el dispositivo.

## **4.9 Ensayos de elevación/inclinación**

### **4.9.1 Generalidades**

Este ensayo sirve para comprobar que el contenedor se adapta bien a los sistemas de elevación/inclinación, de acuerdo con la parte pertinente de la Norma EN 1501-1 y la Norma EN 1501-2.

El aparato debe ser un dispositivo de elevación normalizado compatible. El contenedor y el dispositivo de elevación están en el mismo plano sobre un suelo uniforme. El ensayo debería realizarse en condiciones normales de servicio y soportar la fuerza aplicada durante las operaciones de vaciado.

### **4.9.2 Elevación/inclinación del contenedor vacío**

Éste es un ensayo preliminar que se realiza después de una inspección visual del contenedor y antes de los otros ensayos.

El ensayo se realiza sobre un contenedor vacío con la(s) tapa(s) cerrada(s).

Como mínimo, deberían realizarse cinco ciclos de elevación/inclinación completos sin que se produzcan daños o funcionamiento defectuoso.

### **4.9.3 Elevación/inclinación del contenedor cargado**

El ensayo se debe realizar en las condiciones siguientes:

- la carga de ensayo según el apartado 4.5;
- un dispositivo para impedir que la carga de ensayo sea expulsada durante el mismo;
- temperatura  $T_1$ ;
- como mínimo, deben realizarse 100 ciclos;
- dispositivos de elevación de acuerdo con la parte pertinente de la Norma EN 1501;
- el contenedor debe estar enclavado con el dispositivo de elevación durante todo el ciclo.

Después de terminar el ensayo debe ser posible colocar el contenedor en el dispositivo de elevación sin elevarlo a mano.

Después de terminar el ensayo, no debe aparecer ninguna deformación permanente o deformación anormal del contenedor que dé lugar a un envejecimiento prematuro y tampoco deben aparecer cambios de dimensiones que darían lugar a dificultades en la manipulación y elevación.

## **4.10 Ensayos diversos**

### **4.10.1 Ensayos de agrietamiento por esfuerzos internos (sólo para termoplásticos)**

El procedimiento siguiente servirá para probar el nivel de esfuerzos internos que pueden afectar a algunas partes moldeadas de plástico. El ensayo debe realizarse en las condiciones siguientes:

- depósito suficientemente grande para admitir el contenedor completo;
- baño de agua con el 2% a 3% en volumen de detergente activo fuerte<sup>1)</sup>;
- temperatura del baño de  $70\text{ °C} \pm 3,5\text{ °C}$ ;
- el tiempo de inmersión debe ser de 48 h.

---

1) Un detergente adecuado es el nonil-fenol-etoxilato con un número de moles de óxido de etileno (OE) mayor o igual a 9.

Después de terminar el ensayo no deben apreciarse grietas o rasgaduras en zonas como el borde delantero, asas, mangos, bisagras, uniones de ruedas, puntos de inyección, receptor frontal, nervios de refuerzo y bordes de los nervios, que afecten al uso del contenedor.

#### **4.10.2 Ensayo de corrosión**

El contenedor debe ser resistente a la corrosión debida al estado del arte. Es responsabilidad del fabricante utilizar tratamientos superficiales o materiales que garanticen este comportamiento.

Los cuerpos y tapas, galvanizados por inmersión en caliente después de su terminación, y otras partes galvanizadas por inmersión en caliente deben cumplir los requisitos de la Norma EN ISO 1461.

Las piezas galvanizadas por electro-zincado deben cumplir los requisitos de la Norma ISO 2081.

Los cuerpos, tapas y piezas sin soldadura fabricadas a partir de chapas de acero galvanizadas continuamente por inmersión en caliente deben cumplir los requisitos de la Norma EN 10327.

#### **4.10.3 Resistencia a la intemperie**

Este ensayo sólo se aplica a contenedores o componentes de termoplásticos. El ensayo debe realizarse de acuerdo con lo indicado en el anexo C.

El material sometido a ensayo debe contener todos los aditivos del plástico básico en las proporciones utilizadas para moldear el contenedor: estabilizador, pigmentos o colorantes y, si se utilizan, materiales de relleno, otros plásticos, etc. Estos aditivos pueden influir sobre la resistencia a la intemperie del plástico.

Los resultados de la intemperie sobre los contenedores de plástico deben incluir:

- envejecimiento del material plástico;
- cambios de color.

#### **4.10.4 Método de ensayo con maniquí de niño**

##### **4.10.4.1 Equipamiento**

- Un maniquí de niño en cumplimiento con una Reglamentación Europea adecuada<sup>2)</sup>; tamaño correspondiente a un niño de 10 años. El maniquí de niño se viste con una fina sudadera de 90% de algodón como mínimo. El maniquí de niño lleva capucha.
- Un caja de plástico con forma de tubo en paralelo (dimensiones: 600 mm de longitud × 400 mm de anchura × 320 mm de altura).

##### **4.10.4.2 Método de ensayo**

El ensayo descrito a continuación debe llevarse a cabo cinco veces para cada una de las siguientes posiciones del maniquí de niño en relación con el borde del contenedor:

- centro;
- lado izquierdo;
- lado derecho.

---

2) RECE 44: Reglamentación Europea Nº 44, incluida modificación 1; disposiciones uniformes relativas a la aprobación de dispositivos de retención para ocupantes infantiles de vehículos accionados automáticamente ("restricciones a menores").

El contenedor frenado con tapa sin ensayar se coloca en una superficie plana de hormigón duro con una inclinación de 1° como máximo respecto a la horizontal.

Se colocan las piernas del maniquí de niño en la caja de plástico, de tal modo que la cabeza y los brazos estén dentro del contenedor para la posición centrada y con un brazo dentro del contenedor para la posición lateral. Se cierra la tapa manualmente hasta que ésta para sin bloqueo. Se quita la caja mediante dispositivo a una velocidad de 0,5 m/s.

#### 4.10.4.3 Criterios de aceptación

En cada una de las tres posiciones, para cualquier secuencia de ensayo, el maniquí de niño debe caer desde el contenedor cuando se quita la caja de plástico.

Se acepta que la cabeza del maniquí de niño permanezca suspendida durante una cantidad de tiempo no superior a 2 s.

#### 4.10.5 Secuencia de los ensayos

La secuencia de los ensayos a realizar en cada muestra es la que se define en la tabla 2.

**Tabla 2 – Secuencia de los ensayos**

Apartado	Ensayo	Contenedores fijos				
		Muestra 1		Muestra 2		Otras muestras
		plástico	metal	plástico	metal	
4.2.1	Aspectos visuales	0	0	-	-	-
4.2.2.2	Tamaños y dimensiones	1	1	-	-	-
4.6.2	Ensayo de impacto por caída de bola	-	-	1	-	-
4.6.3	Impacto sobre un plano inclinado	7	7	-	-	-
4.7	Ensayo de estabilidad	4	4	-	-	-
4.8.2	Ensayo de tracción	2	2	-	-	-
4.8.3	Ensayo de inmovilización	5	5	-	-	-
4.9.2	Elevación/inclinación de contenedor vacío	3	3	-	-	-
4.9.3	Elevación/inclinación de contenedor cargado	6	6	-	-	-
4.10.1	Ensayos de agrietamiento por tensiones internas (sólo para termoplásticos)	-	-	-	-	S*
4.10.2	Ensayo de corrosión	-	-	2	2	-
4.10.3	Resistencia a la intemperie	-	-	-	-	S
4.10.4	Ensayo con maniquí de niño	1	1	-	-	-

\* S significa componentes especiales nuevos:  
 - para ensayos internos: en cuerpo y tapa;  
 - para resistencia a la intemperie: cuerpo y tapa o muestra de ellos o muestra normalizada.

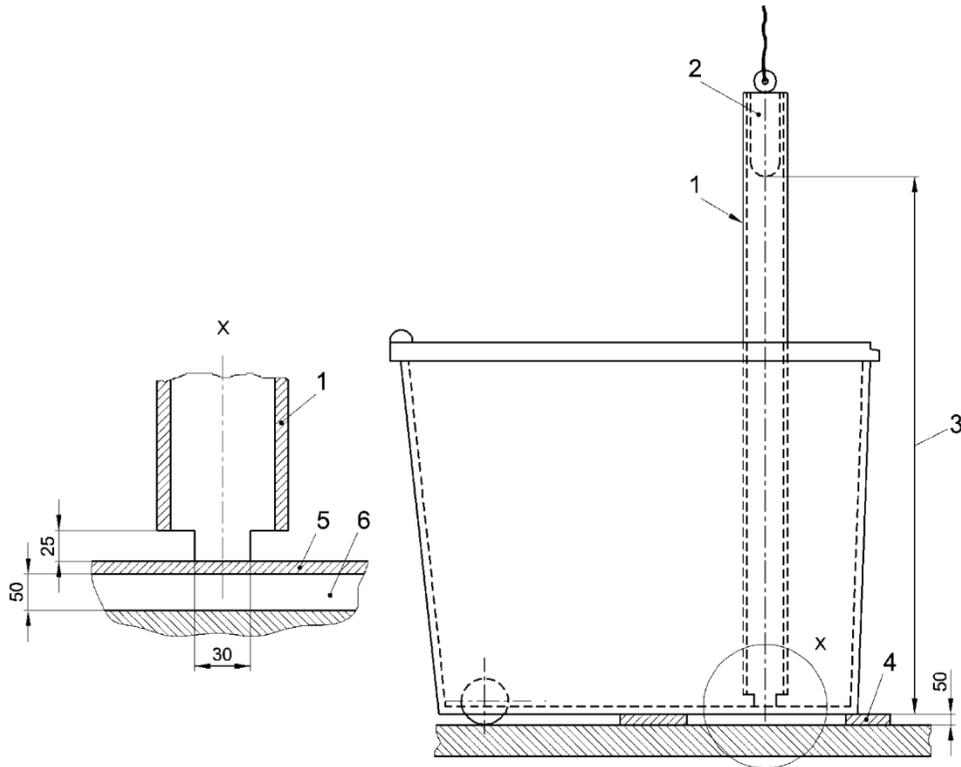
## **5 INFORME DE LOS ENSAYOS**

El informe de los ensayos debe incluir la siguiente información:

- a) el nombre y dirección del organismo que realiza los ensayos;
- b) la fecha de los ensayos;
- c) las condiciones del ensayo según la Norma EN 12574-2;
- d) descripción de los contenedores ensayados (fabricante, designación, otros);
- e) número de contenedores ensayados (véase el apartado 4.10.5);
- f) tipo de equipamiento de ensayo;
- g) los valores estipulados mencionados en el apartado 4.6.2 (caída de bola), 4.6.3 (impacto), 4.8.2 (tracción) y los ensayos estipulados de corrosión y/o resistencia a la intemperie para los materiales pertinentes;
- h) resultado de cada ensayo;
- i) cualquier desviación de las condiciones de ensayo de esta norma europea.

## DISPOSITIVO PARA EL ENSAYO DE CAÍDA DE BOLA

Medidas en milímetros



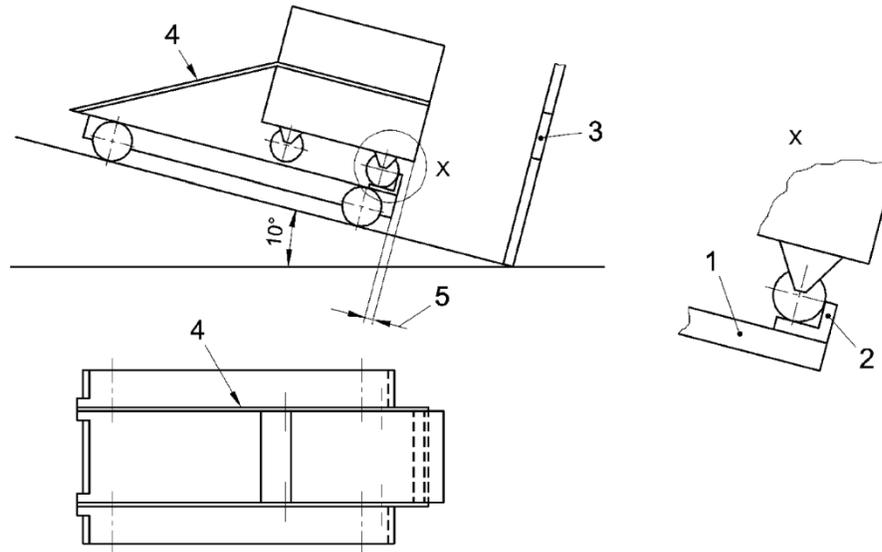
## Leyenda

- 1 Tubo vertical (diámetro interior: 70 mm)
- 2 Cilindro de acero (diámetro: 65 mm; una masa final hemisférica: 5 kg)
- 3 Altura de caída
- 4 Chapa de acero para soportar la base del contenedor a lo largo del borde
- 5 Fondo del contenedor
- 6 Espacio libre

Figura A.1 – Dispositivo para el ensayo de caída de bola

### APARATO PARA ENSAYO DE IMPACTO LATERAL SOBRE PLANO INCLINADO

Se sugiere adoptar precauciones para evitar el vuelco accidental del carro durante el ensayo de choque lateral sobre plano inclinado.



Leyenda

- 1 Carro
- 2 Ángulo de acero
- 3 Agujero en la pared de impacto para permitir el paso del soporte giratorio
- 4 Ataduras
- 5 Voladizo

**Figura B.1 – Aparato para ensayo de impacto lateral sobre plano inclinado**

### ENSAYO DE RESISTENCIA A LA INTEMPERIE

Los ensayos de resistencia a la intemperie pueden realizarse como se indica:

a) la resistencia a la intemperie en el exterior:

- la exposición de contenedores y muestras (de acuerdo con la Norma EN ISO 4892-2);
- en una zona de ensayo sometida, al menos, a la radiación prevista en su uso (por ejemplo, el total de  $0,8 \text{ MWs/cm}^2$  en 3 años equivale a 64 kLy para Europa del Norte);

b) ensayo de resistencia a la intemperie artificial (acelerada) (ensayo de xenón – de acuerdo con la Norma EN ISO 4892-2).

La correlación entre los resultados de las experiencias "natural" y "artificial" es difícil; no obstante, 2 000 h de radiación de arco de xenón equivalen a una irradiación total de  $0,8 \text{ MWs/cm}^2$ .

Resultado:

Después de ensayar la muestra de 3 mm de espesor, el valor de la resistencia a la tracción por impacto no debe ser inferior al 50% del valor inicial. La determinación de la resistencia a la tracción por choque debe efectuarse según el ejemplo tipo 3, de acuerdo con la Norma EN ISO 8256.

Para estimar la resistencia del color al blanqueo según la Norma EN ISO 105-B02, el contraste del color no debe ser superior al nivel cuatro.

## DESVIACIONES

Desviación A: Una desviación nacional debida a reglamentos, cuya modificación queda por el momento fuera de la competencia del miembro de CEN/CENELEC.

Esta norma europea no se encuentra bajo ninguna directiva de la CE. En los países correspondientes de CEN/CENELEC estas desviaciones A son válidas en lugar de lo establecido en la norma europea hasta el momento en que se supriman.

### DINAMARCA

Las Normas EN 12574-1 a -3 no cumplen la legislación nacional danesa relativa a requisitos de seguridad y salud. Esta legislación está basada en la directiva de la CEE 89/391/EC de 12 de junio de 1989 y en la directiva de la CEE 90/269/EEC de 20 de mayo de 1990.

La legislación danesa está redactada en la "Orden ejecutiva nº 867 de 13 de octubre de 1994 relativa a la realización de trabajos" y en la "Orden ejecutiva nº 1.164 de 16 de diciembre de 1994 relativa a manipulación manual", ambas publicadas por el Ministerio de Trabajo. La explicación legal de las órdenes ejecutivas está incluida en las directrices del Servicio de ambiente de trabajo (WES) danés. La directriz WES nº 4.1.0.1 de 1993 describe la "Manipulación manual y transporte de basura doméstica" y la nº 4.1.0.2 describe la "Construcción de sistemas y equipos técnicos para manipulación de basura doméstica" (anteriormente orden circular WES nº 10/1990).

Por tanto, las condiciones de manipulación manual y uso de contenedores descritas en las Normas EN 12574-1 a -3 en Dinamarca se podrán cumplir con requisitos adicionales.

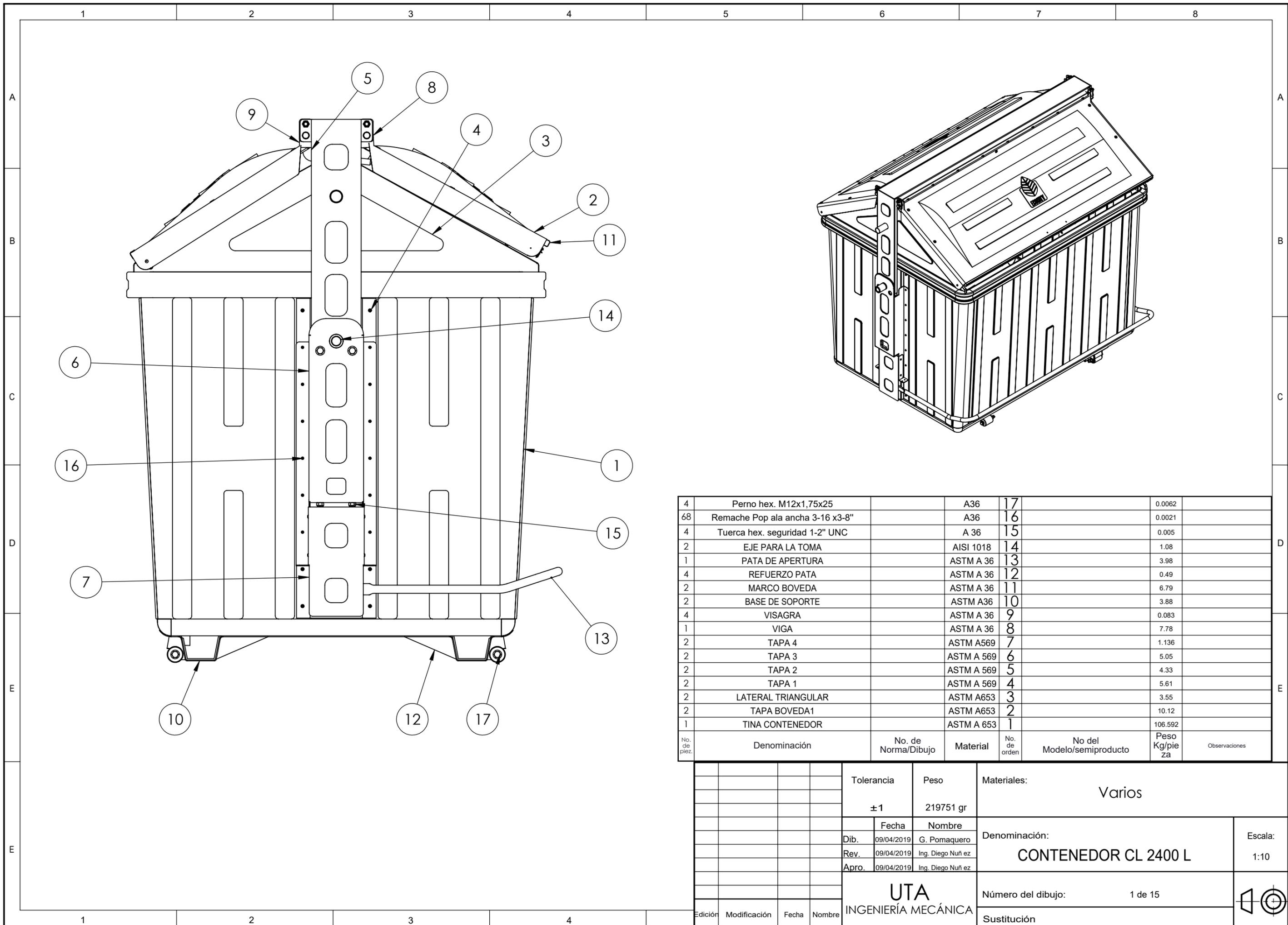
## BIBLIOGRAFÍA

- [1] EN 840-5 *Contenedores móviles para residuos. Parte 5: Especificaciones y métodos de ensayo.*
- [2] EN 12574-3:2005 *Contenedores fijos para residuos. Parte 3: Requisitos de seguridad e higiene.*
- [3] EN ISO 877 *Plásticos. Métodos de exposición directa a la intemperie, a la intemperie con luz de día filtrada por vidrio y a la intemperie intensificada usando espejos de Fresnel. (ISO 877: 1994).*
- [4] EN ISO 4892-2 *Plásticos. Métodos de exposición a fuentes luminosas de laboratorio. Parte 2: Fuentes de arco de Xenón. (ISO 4892-2: 1994).*

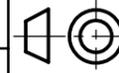
**ANEXO NACIONAL (Informativo)**

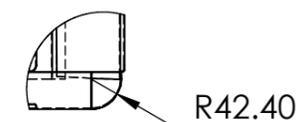
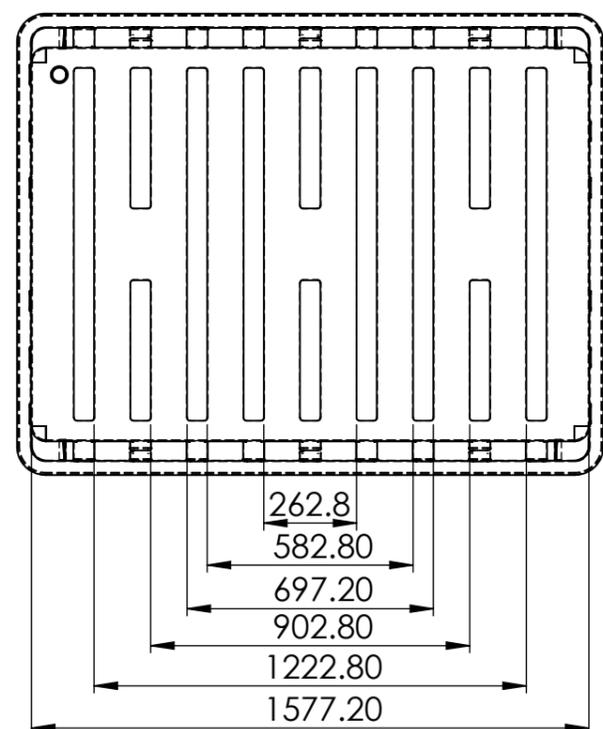
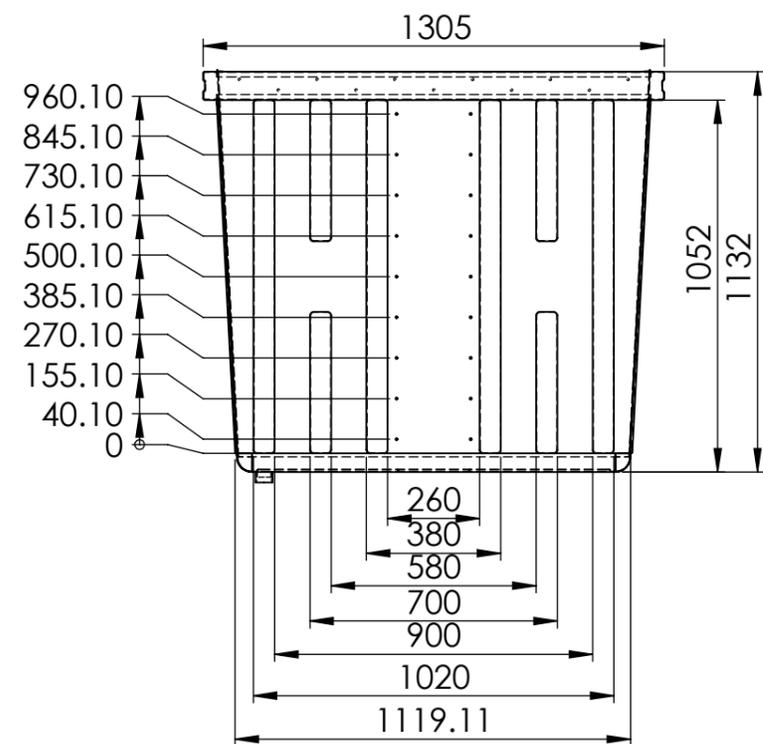
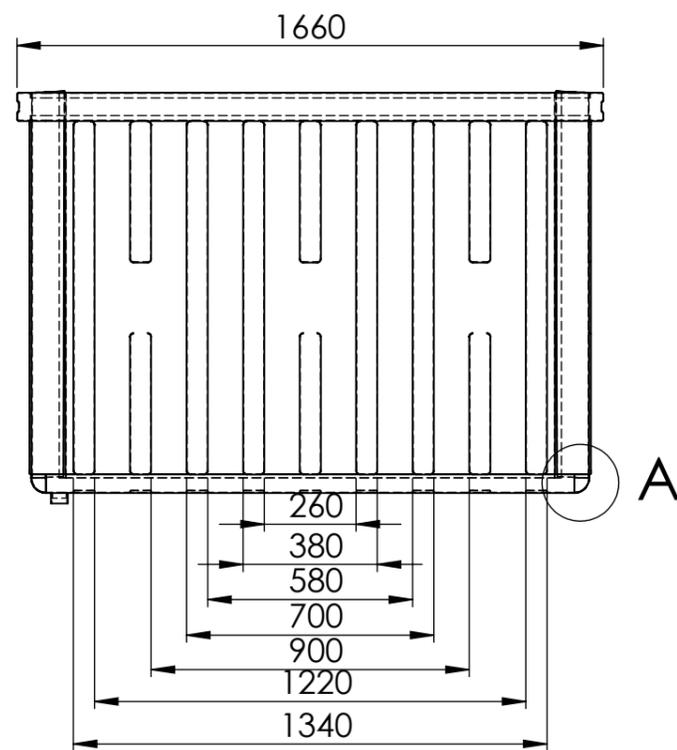
Las normas europeas o internacionales que se relacionan a continuación, citadas en esta norma, han sido incorporadas al cuerpo normativo UNE con los códigos siguientes:

<b>Norma Europea/Norma Internacional</b>	<b>Norma UNE</b>
EN 1501-1	UNE-EN 1501-1
EN 1501-2	UNE-EN 1501-2
EN 12574-1:2006	UNE-EN 12574-1:2007
EN ISO 105-B02	UNE-EN ISO 105-B02
EN ISO 1461	UNE-EN ISO 1461
EN ISO 8256	UNE-EN ISO 8256
ISO 2081	UNE 112036



4	Perno hex. M12x1,75x25	A36	17	0.0062			
68	Remache Pop ala ancha 3-16 x3-8"	A36	16	0.0021			
4	Tuerca hex. seguridad 1-2" UNC	A 36	15	0.005			
2	EJE PARA LA TOMA	AISI 1018	14	1.08			
1	PATA DE APERTURA	ASTM A 36	13	3.98			
4	REFUERZO PATA	ASTM A 36	12	0.49			
2	MARCO BOVEDA	ASTM A 36	11	6.79			
2	BASE DE SOPORTE	ASTM A36	10	3.88			
4	VISAGRA	ASTM A 36	9	0.083			
1	VIGA	ASTM A 36	8	7.78			
2	TAPA 4	ASTM A569	7	1.136			
2	TAPA 3	ASTM A 569	6	5.05			
2	TAPA 2	ASTM A 569	5	4.33			
2	TAPA 1	ASTM A 569	4	5.61			
2	LATERAL TRIANGULAR	ASTM A653	3	3.55			
2	TAPA BOVEDA1	ASTM A653	2	10.12			
1	TINA CONTENEDOR	ASTM A 653	1	106.592			
No. de pieza	Denominación	No. de Norma/Dibujo	Material	No. de orden	No del Modelo/semiproducto	Peso Kg/pieza	Observaciones

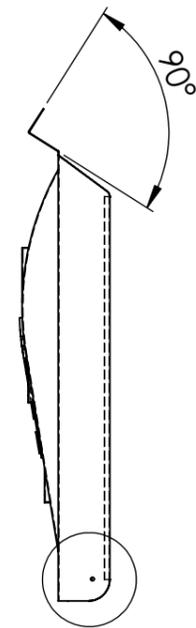
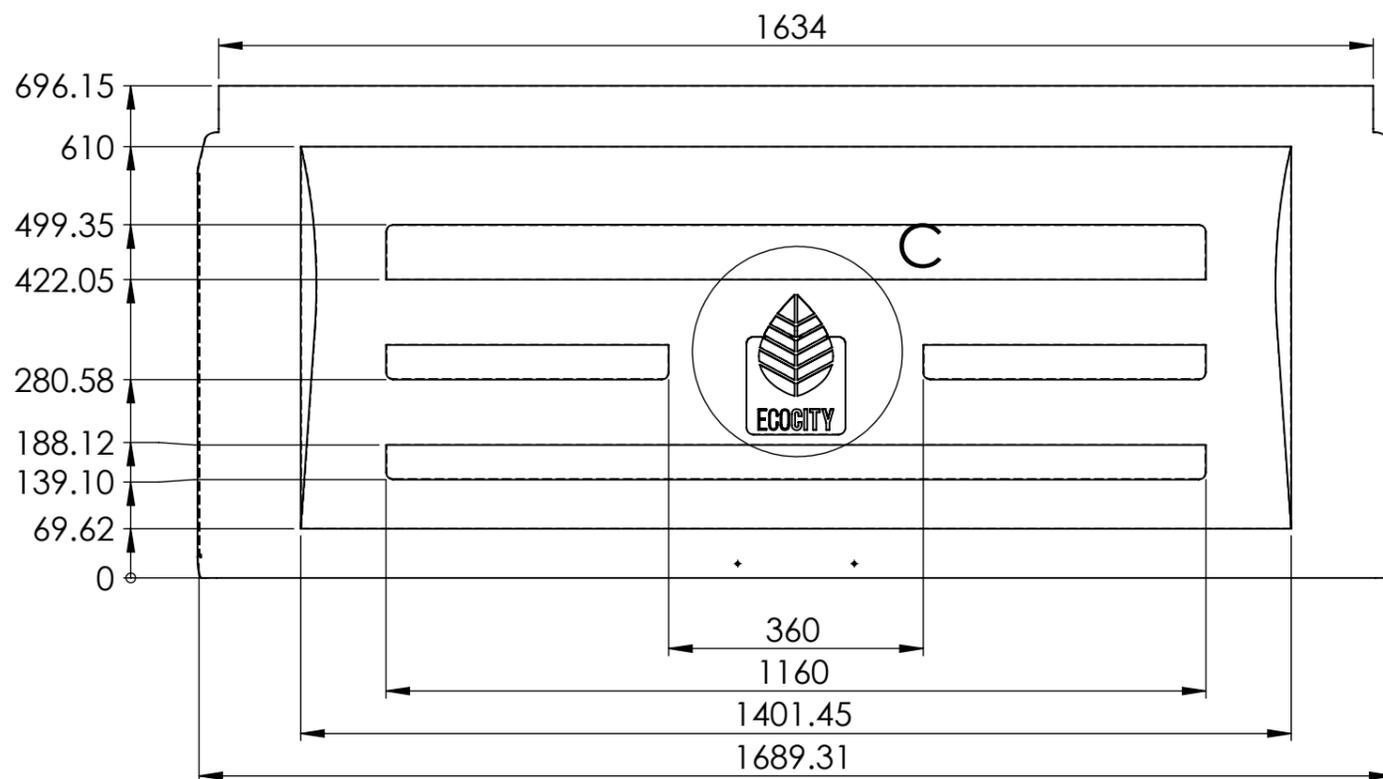
Tolerancia		Peso		Materiales:	
±1		219751 gr		Varios	
Fecha		Nombre		Denominación:	
Dib.	09/04/2019	G. Pomaquero		CONTENEDOR CL 2400 L	
Rev.	09/04/2019	Ing. Diego Nuñez		Escala:	
Apro.	09/04/2019	Ing. Diego Nuñez		1:10	
Edición				Número del dibujo:	
Modificación				1 de 15	
Fecha				Sustitución	
Nombre					
<p style="text-align: center;"><b>UTA</b> INGENIERÍA MECÁNICA</p>					



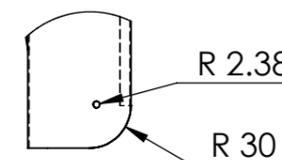
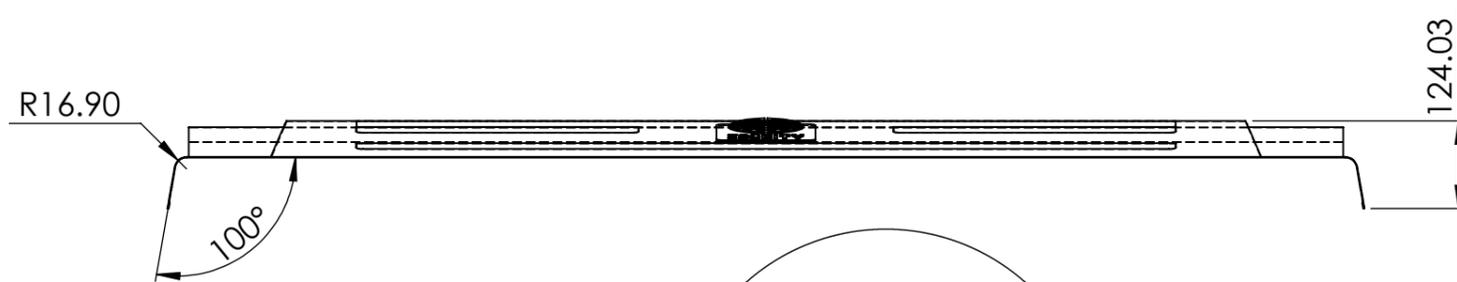
**DETALLE A**  
**ESCALA 1 : 10**

NOTA: El espesor de la tina es de 1.4 mm

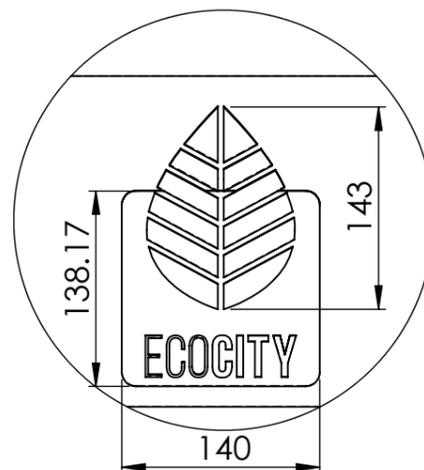
				Tolerancia	Peso	Materiales:				
				±1	106592.97gr	ASTM A653				
					Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:		
				Dib.	09/04/2019	G. Pomaquero			TINA DE CONTENEDOR	1:20
				Rev.	09/04/2019	Ing. Diego Nuñez				
				Apro.	09/04/2019	Ing. Diego Nuñez				
				<b>UTA</b> INGENIERÍA MECÁNICA			Número del dibujo:	2 de 15		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Sustitución			



B



DETALLE B  
ESCALA 1 : 5



DETALLE C  
ESCALA 1 : 5

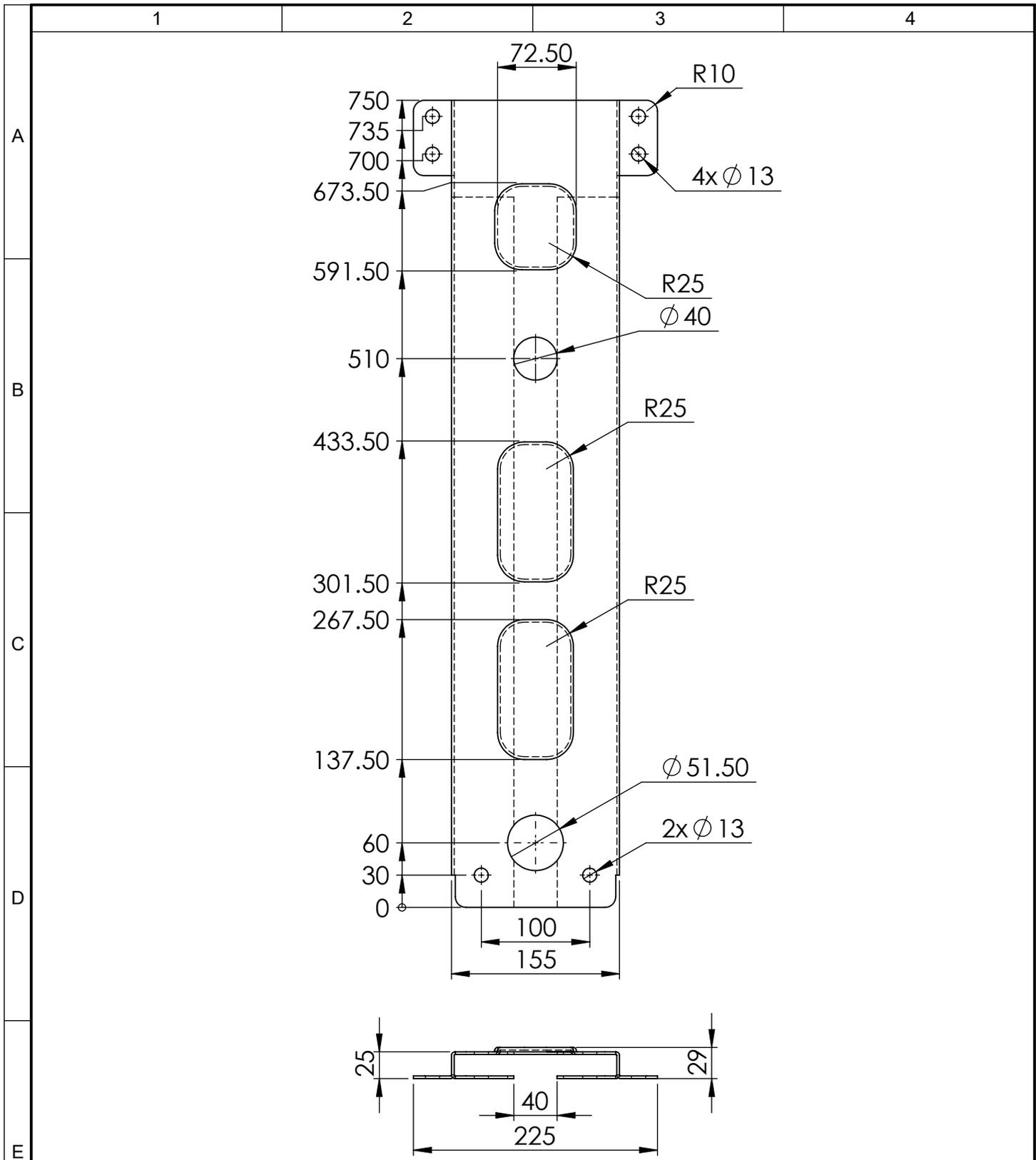
NOTA: El espesor de la lamina es de 0.9 mm.

				Tolerancia	Peso	Materiales:		
				±1	10121.69 gr	ASTM A 653		
					Fecha	Nombre	Denominación:	
				Dib.	09/04/2019	G. Pomaquero	TAPA BOVEDA	
				Rev.	09/04/2019	Ing. Diego Nuñez		
				Apro.	09/04/2019	Ing. Diego Nuñez		
				UTA INGENIERÍA MECÁNICA			Número del dibujo:	3 de 15
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Sustitución	Escala: 1:10



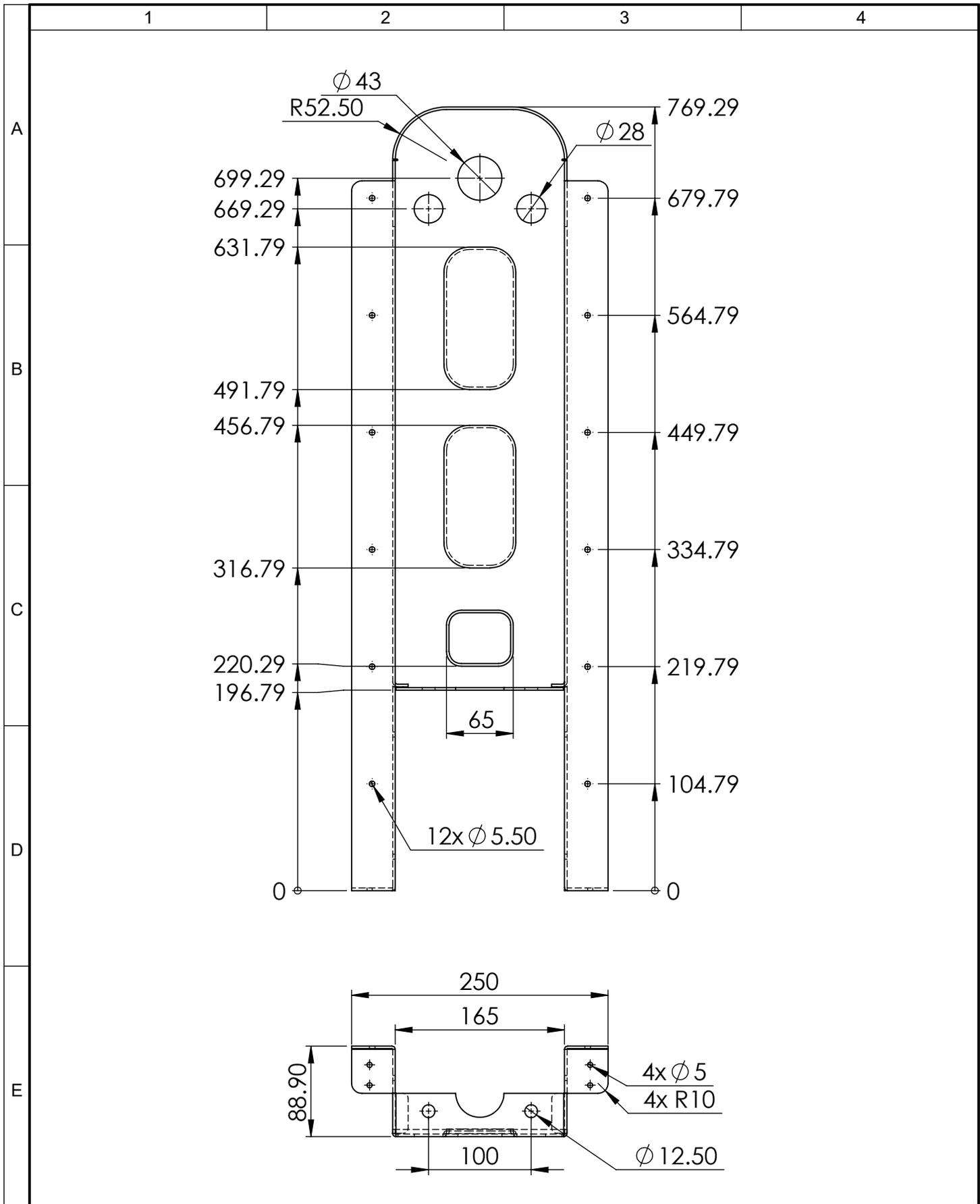






Nota: El espesor de la lamina es de 2.5 mm

				Tolerancia	Peso	Material:	
				$\pm 1$	4331.52 gr	ASTM A569	
				Fecha	Nombre	Titulo:	
				Dibujó: 09/04/2019	G. Pomaquero	Tapa Lateral 2	
				Revisó: 09/04/2019	Ing. Diego Nuñez		
				Aprobó: 09/04/2019	Ing. Diego Nuñez		
				UTA INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina:	Registro:
						6 de 15	
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	Sustitución			



				Tolerancia $\pm 1$	Peso 5050.05 gr	Material: ASTM A 569	
				Fecha	Nombre	Título: <b>Tapa Lateral 3</b>	Escala: 1:5
				Dibujó: 09/04/2019	G. Pomaquero		
				Revisó: 09/04/2019	Ing. Diego Nuñez		
				Aprobó: 09/04/2019	Ing. Diego Nuñez		
				UTA INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina: 7 de 15	Registro: 
Edición	Modificación	Nombre	Fecha			Sustitución	

1

2

3

4

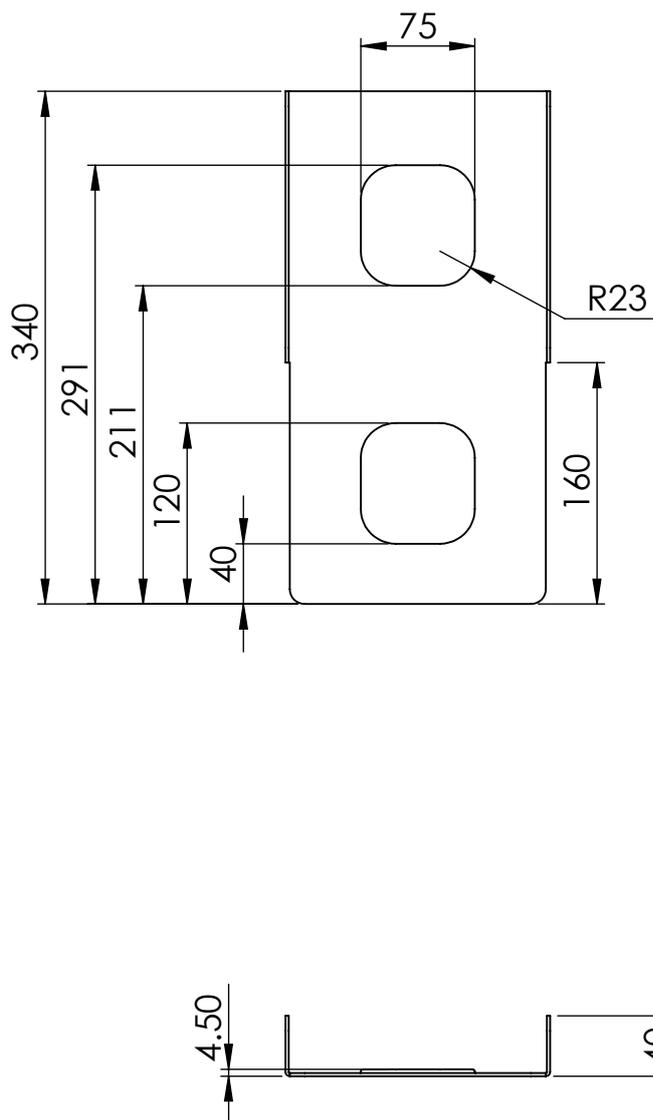
A

B

C

D

E

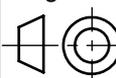


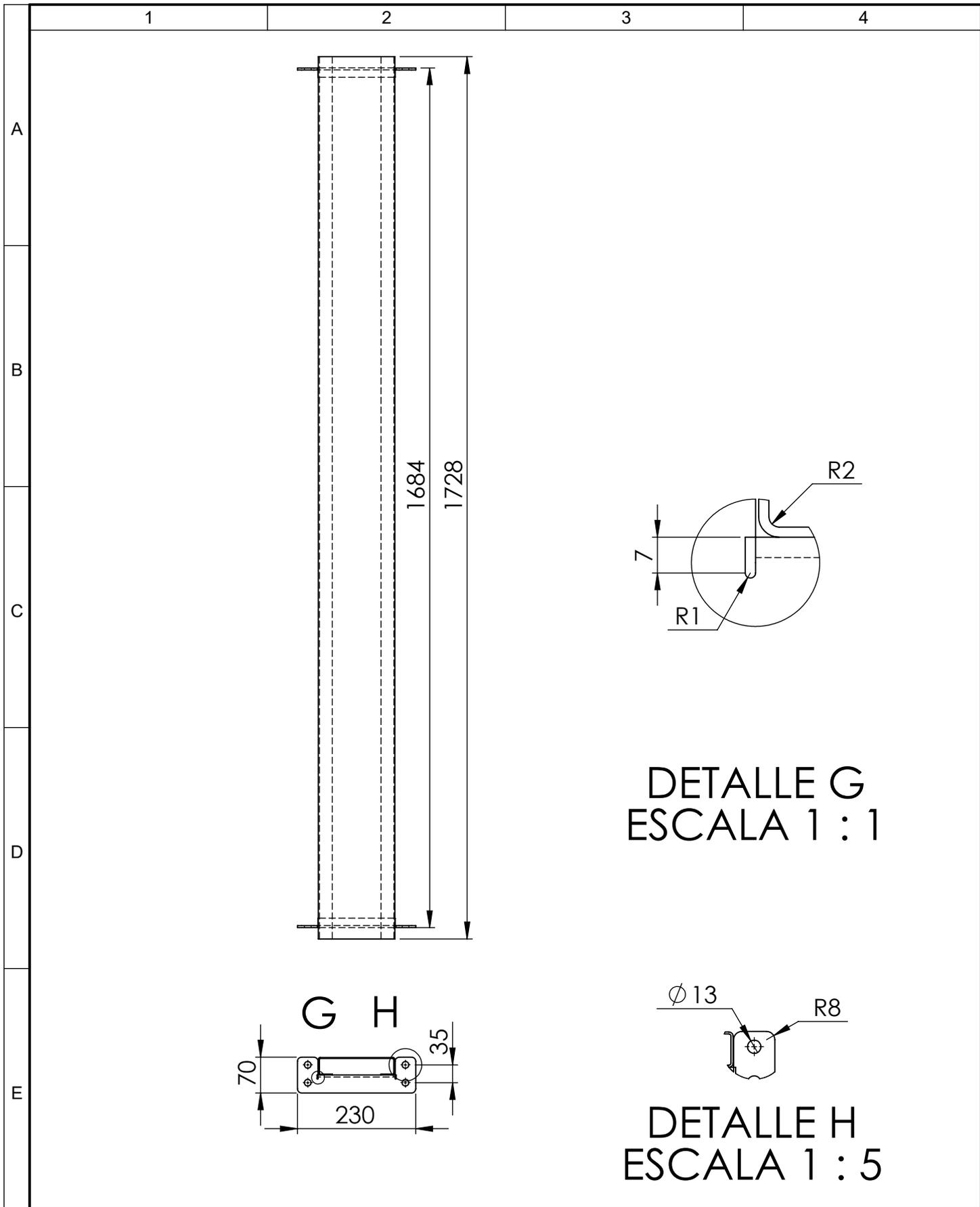
Nota: El espesor de la lamina es de 2 mm.

				Tolerancia ±1	Peso 1136.07 gr	Material: ASTM A 569	
					Fecha	Nombre	Titulo:
				Dibujó:	09/04/2019	G. Pomaquero	<b>TAPA LATERAL 4</b>
				Revisó:	09/04/2019	Ing. Diego Nuñez	
				Aprobó:	09/04/2019	Ing. Diego Nuñez	
				<b>UTA</b> INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina: 8 de 15	Registro:
Edición	Modificación	Nombre	Fecha			Sustitución	

Escala:  
1:5

Registro:

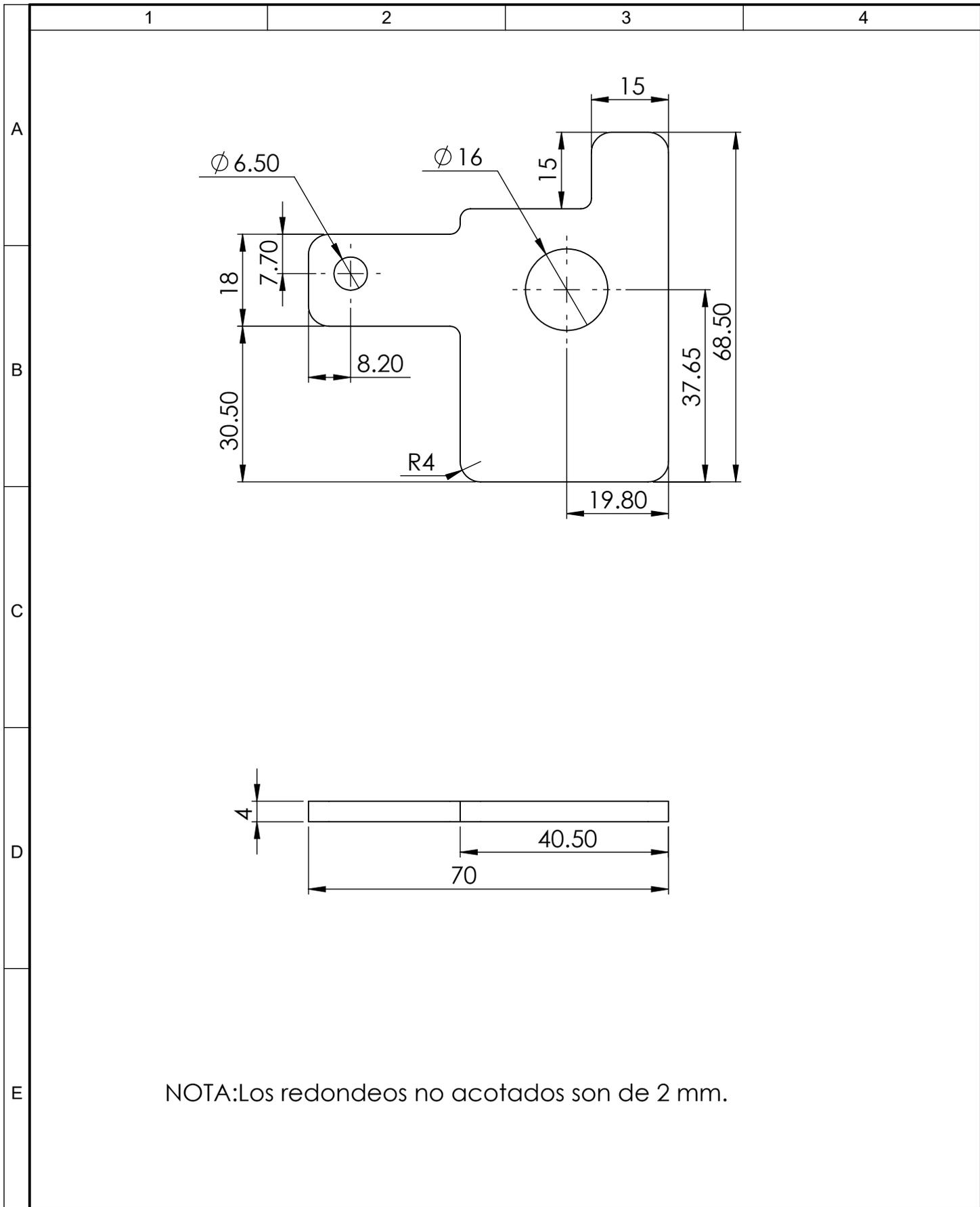




DETALLE G  
ESCALA 1 : 1

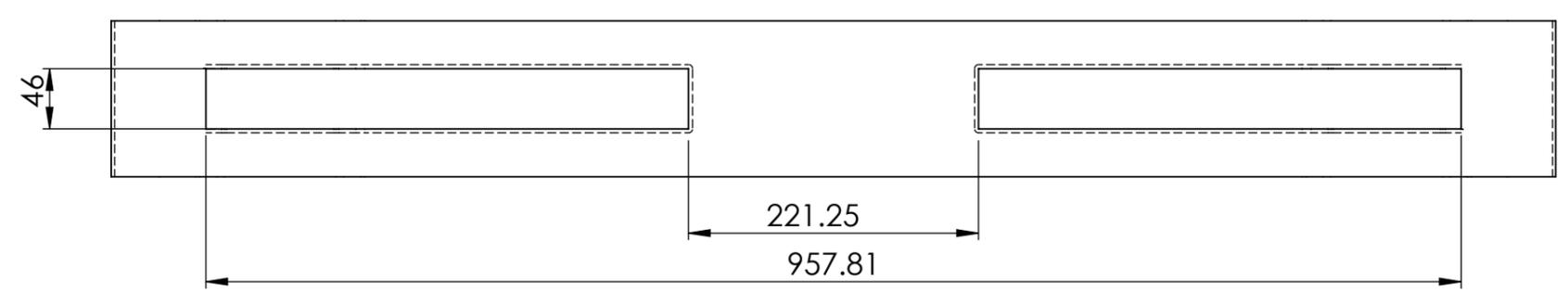
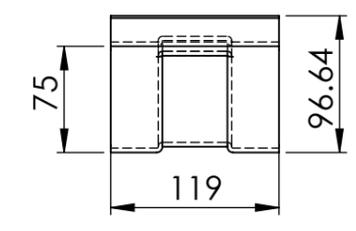
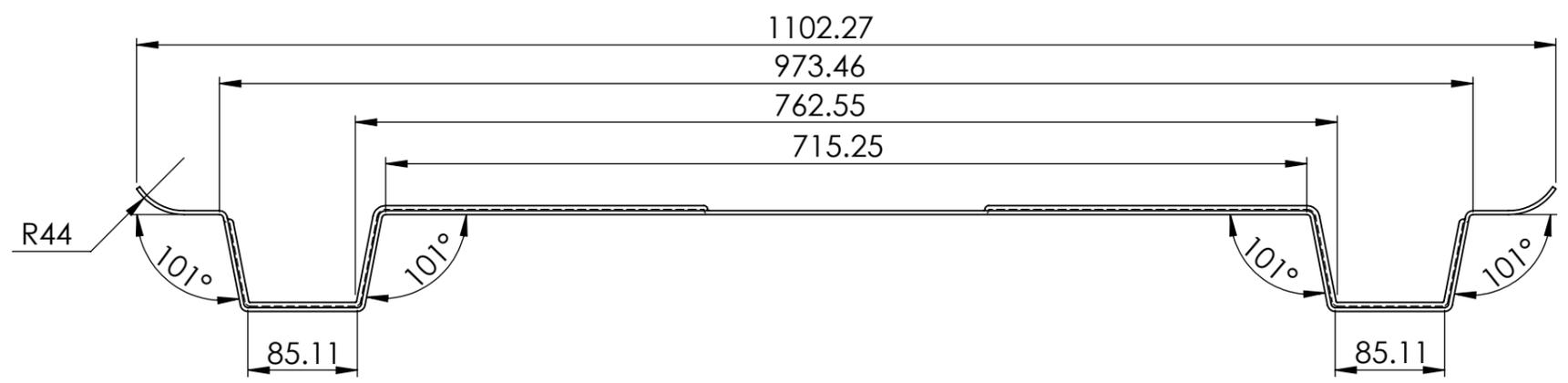
DETALLE H  
ESCALA 1 : 5

				Tolerancia ±1	Peso 7782.43 gr	Material: ASTM A 36	
						Escala: 1:10	
				Fecha	Nombre	Titulo: Viga Superior	
				Dibujó: 09/04/2019	G. Pomaquero		
				Revisó: 09/04/2019	Ing. Diego Nuñez		
				Aprobó: 09/04/2019	Ing. Diego Nuñez		
				UTA INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina: 9 de 15	Registro: 
Edición	Modificación	Nombre	Fecha			Sustitución	



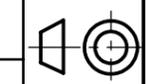
NOTA: Los redondeos no acotados son de 2 mm.

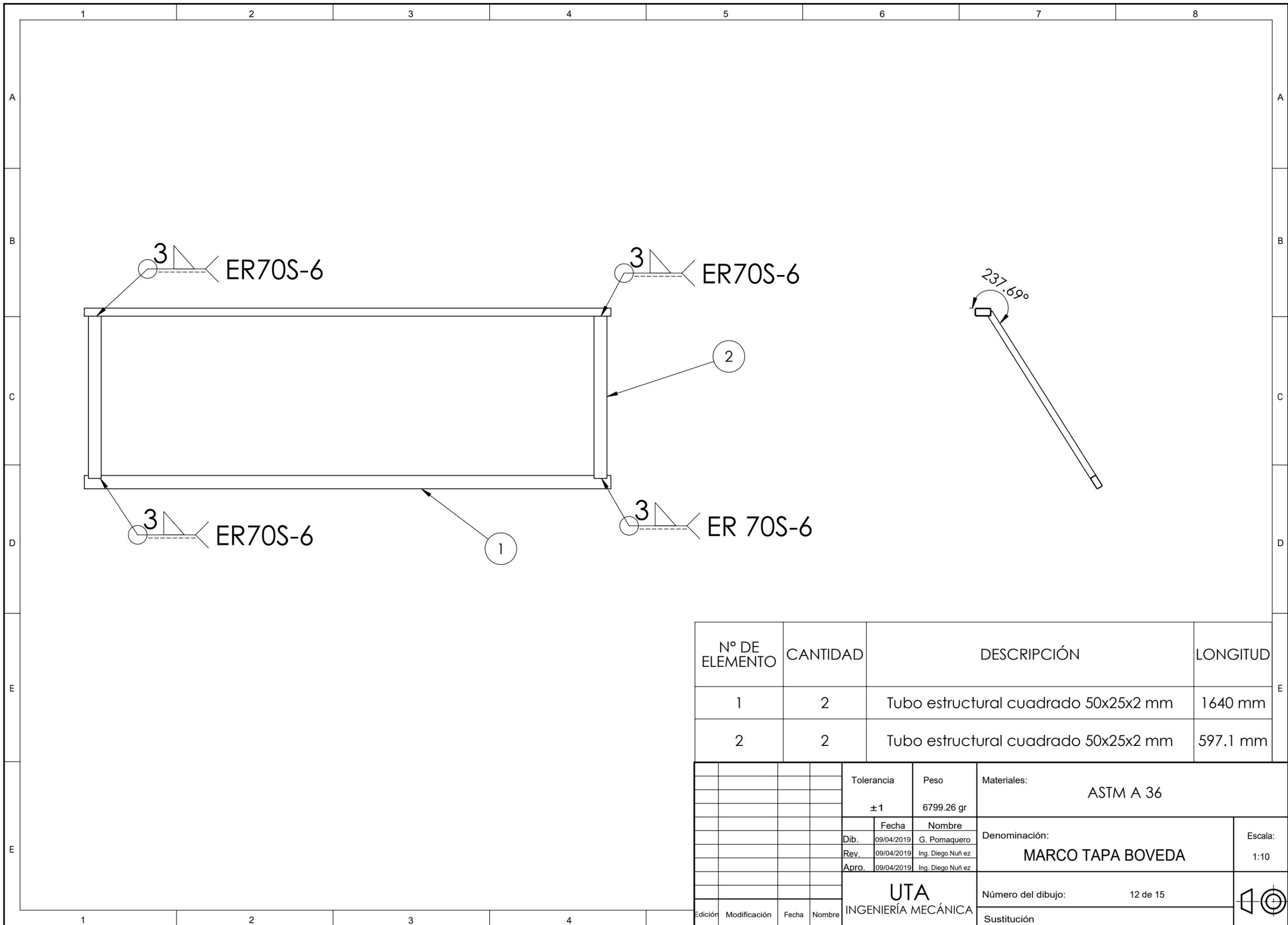
				Tolerancia ±1	Peso 83.83 gr	Material: ASTM A 36	
						Titulo: <b>BISAGRA</b>	Escala: 1:1
				Fecha	Nombre		
				Dibujó: 09/04/2019	G. Pomaquero		
				Revisó: 09/04/2019	Ing. Diego Nuñez		
				Aprobó: 09/04/2019	Ing. Diego Nuñez		
				UTA INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina: 10 de 15	Registro: 
Edición	Modificación	Nombre	Fecha			Sustitución	



NOTA:El espesor de la parte es de 3 mm.

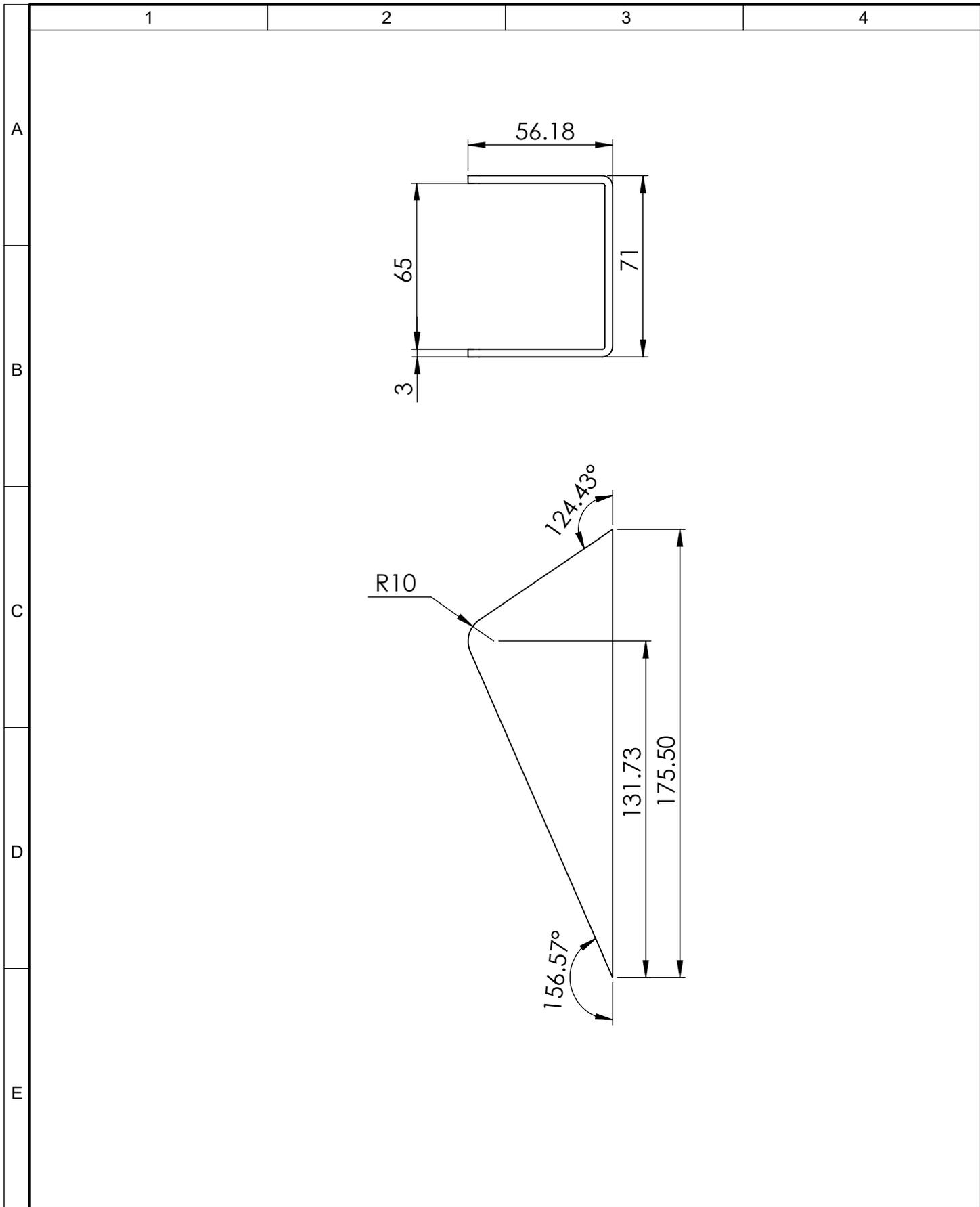
				Tolerancia	Peso	Materiales:		
				±1	3884.24 gr	ASTM A 36		
					Fecha	Nombre	Denominación:	
				Dib.	09/04/2019	G. Pomaquero	BASE SOPORTE	
				Rev.	09/04/2019	Ing. Diego Nuñez		
				Apro.	09/04/2019	Ing. Diego Nuñez		
				UTA INGENIERÍA MECÁNICA			Número del dibujo:	11 de 15
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Sustitución	Escala: 1:5



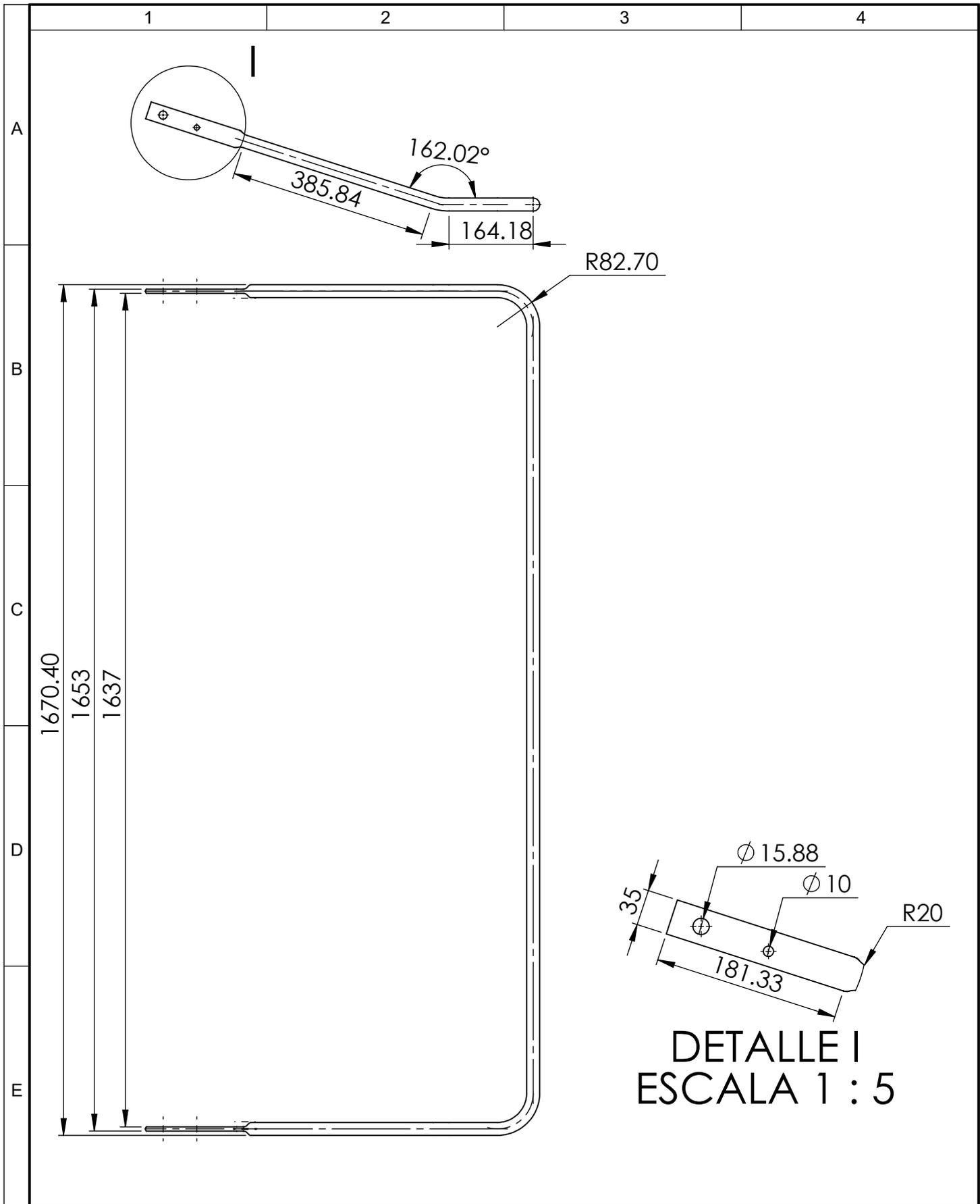


N° DE ELEMENTO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	LONGITUD
1	2	Tubo estructural cuadrado 50x25x2 mm	1640 mm
2	2	Tubo estructural cuadrado 50x25x2 mm	597.1 mm

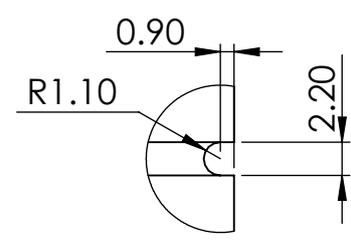
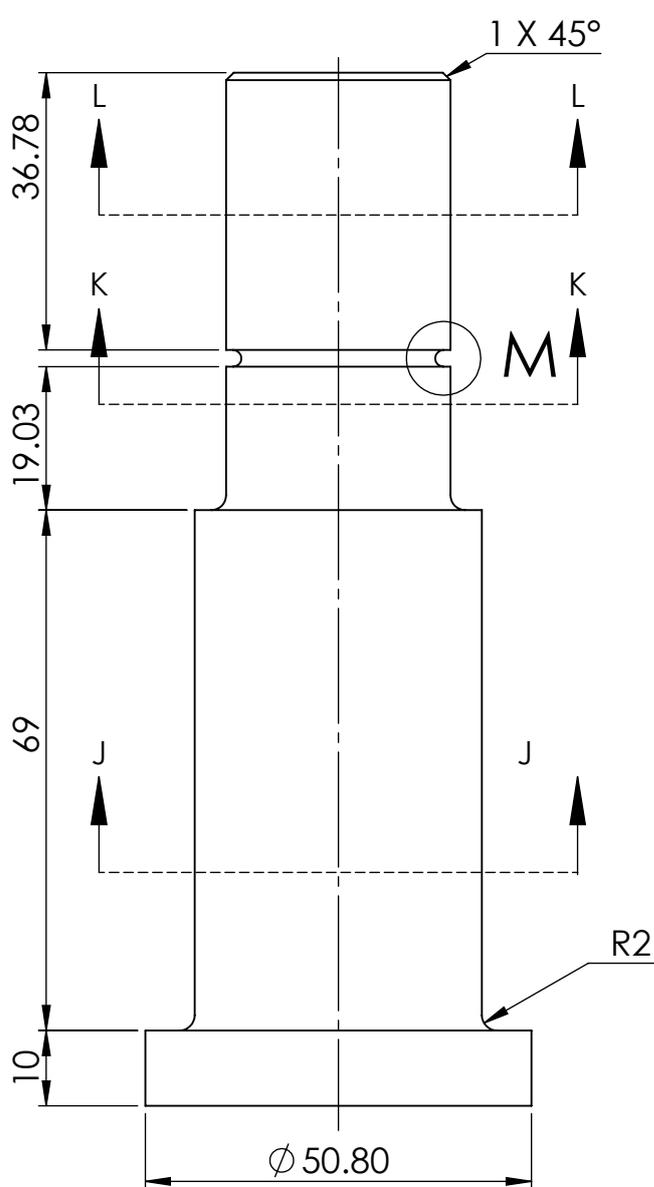
				Tolerancia	Peso	Materiales:	
				±1	6799.26 gr	ASTM A 36	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dib.	09/04/2019	G. Pomaquero	
				Rev.	09/04/2019	Ing. Diego Nuñez	
				Apro.	09/04/2019	Ing. Diego Nuñez	MARCO TAPA BOVEDA
				UTA		Número del dibujo:	12 de 15
				INGENIERÍA MECÁNICA		Sustitución	Escala:
							1:10
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



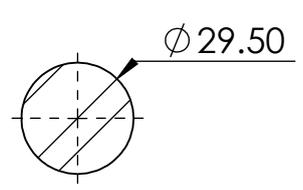
				Tolerancia ±1	Peso 494.72 gr	Material: ASTM A 36	
				Fecha	Nombre	Titulo: <b>REFUERZO PATA</b>	Escala: 1:2
				Dibujó: 09/04/2019	G. Pomaquero		
				Revisó: 09/04/2019	Ing. Diego Nuñez		
				Aprobó: 09/04/2019	Ing. Diego Nuñez	Número de lámina: 13 de 15	Registro: 
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	<b>UTA</b> INGENIERÍA MECÁNICA			



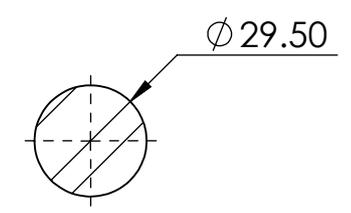
				Tolerancia ±1	Peso 3987.78 gr	Material: ASTM A 36	
						Titulo: <b>Pata Apertura</b>	Escala: 1:10
				Fecha	Nombre		
				Dibujó: 09/04/2019	G. Pomaquero		
				Revisó: 09/04/2019	Ing. Diego Nuñez		
				Aprobó: 09/04/2019	Ing. Diego Nuñez		
				UTA INGENIERÍA		Número de lámina: 14 de 15	Registro: 
Edición	Modificación	Nombre	Fecha			Sustitución	



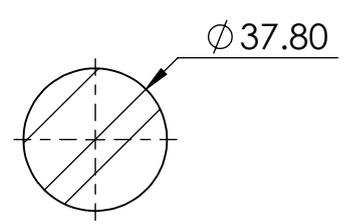
DETALLE M  
ESCALA 2 : 1



SECCIÓN L-L  
ESCALA 1 : 2



SECCIÓN K-K  
ESCALA 1 : 2



SECCIÓN J-J  
ESCALA 1 : 2

				Tolerancia ±1	Peso 1083.46 gr	Material: AISI 1018	
				Fecha	Nombre	Titulo: <b>EJE PARA TOMA</b>	Escala: 1:1
				Dibujó: 09/04/2019	G. Pomaquero		
				Revisó: 09/04/2019	Ing. Diego Nuñez		
				Aprobó: 09/04/2019	Ing. Diego Nuñez	Número de lámina: 15 de 15	Registro: 
Edición	Modificación	Nombre	Fecha	UTA INGENIERÍA MECÁNICA			