

**MODELACIÓN DE ESTRUCTURAS DE SARDINEL ALIGERADO REFORZADAS CON  
BARRAS SÓLIDAS DE POLIPROPILENO MEDIANTE ABAQUS EXPLICIT (VERSIÓN  
ESTUDIANTIL)**



**Julian Felipe Londoño Santofimio**

**Juan Sebastian Cucunuba Gordillo**

**Bogotá, Mayo de 2021**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**MODELACIÓN DE ESTRUCTURAS DE SARDINEL ALIGERADO REFORZADAS CON  
BARRAS SÓLIDAS DE POLIPROPILENO MEDIANTE ABAQUS EXPLICIT (VERSIÓN  
ESTUDIANTIL)**

**Julian Felipe Londoño Santofimio**

**Juan Sebastian Cucunuba Gordillo**

**Proyecto de investigación como requisito para optar al título de Ingeniero Civil**

**Director: Ing. Ph.D. Juan Carlos Castro Medina**



República de Colombia  
UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CÍVIL

FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C., ABRIL DE 2021

**Nota aceptación**

---

---

---

---

Firma de tutor

---

Firma de jurado 1

---

Firma de jurado 2

Bogotá D.C., Abril de 2021

## **DEDICATORIA**

A Dios, por permitirnos culminar con nuestros estudios superiores, guiándonos en todo momento para siempre optar por el camino correcto y de esta manera alcanzar nuestras metas.

A nuestros padres, quienes siempre nos han brindado su apoyo incondicional, su confianza, su amor y su esfuerzo diario para tener todo lo necesario a lo largo de la vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por siempre guiar nuestros pasos, por darnos la sabiduría y las ganas para sacar el pregrado adelante.

A nuestro tutor de trabajo de grado, el Ing. Juan Carlos Castro Medina, que nos acompañó y nos guio durante toda la investigación, brindándonos su tiempo y sus conocimientos.

A la Universidad Militar Nueva Granada, por brindarnos la oportunidad de estudiar para ser ingenieros civiles, con la orientación del grupo de docentes que la componen.

A nuestros amigos y compañeros de clase, que recorrieron esta etapa de aprendizaje con nosotros, a los que en algún momento nos ayudaron con las dificultades que se presentan, a los que nos aconsejaron para tomar mejores decisiones y a todos aquellos que compartieron momentos de estudio con nosotros.

## CONTENIDO

<b>1. PROBLEMA .....</b>	1
1.1. IDENTIFICACIÓN.....	1
1.2. DESCRIPCIÓN.....	2
1.3. PLANTEAMIENTO .....	2
<b>1. ALCANCE .....</b>	3
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	4
2.1. Objetivo general .....	4
2.2. Objetivos específicos.....	4
<b>3. ANTECEDENTES.....</b>	5
<b>4. JUSTIFICACIÓN.....</b>	8
<b>5. MARCO REFERENCIAL.....</b>	9
5.1. MARCO TEÓRICO.....	9
5.1.1. Concreto .....	9
5.1.2. Concreto endurecido .....	10
5.1.2.1. Propiedades del concreto endurecido .....	10
5.1.2.1.1. Elasticidad.....	10
5.1.2.1.2. Resistencia .....	11
5.1.2.1.3. Durabilidad .....	12
5.1.3. Polipropileno.....	13
5.1.4. Propiedades mecánicas del polipropileno .....	14
5.1.5. Propiedades térmicas del polipropileno .....	15
5.1.6. Propiedades eléctricas del polipropileno .....	16
5.1.7. Propiedades químicas del polipropileno .....	17
5.1.8. El polipropileno como propuesta de material adicional en la industria de la construcción.....	18
5.1.8.1. Propiedades de resistencia en concreto reforzado con fibras de nailon y polipropileno .....	19
5.1.8.2. Fibras de polipropileno en la resistencia al impacto del concreto .....	19
5.1.8.3. Fibras de polipropileno en la durabilidad del concreto empleado en reposaderos .....	20
5.1.8.4. Fibras de polipropileno en el comportamiento de fractura de concreto de baja, normal y alta resistencia.....	20

5.1.8.5. Fibras de polipropileno de alto rendimiento en revestimientos de hormigón de túneles de agua .....	21
5.1.9. Sardinel (bordillo).....	21
5.1.9.1. Dimensiones de un sardinel.....	22
5.1.9.1.1. Altura .....	22
5.1.9.1.2. Longitud.....	22
5.1.9.1.3. Espesor.....	23
5.1.10. Sardinel A10 .....	23
5.1.11. Sardinel BR-4.....	24
5.1.12. Sardinel especial tipo B .....	24
5.1.13. Abaqus .....	25
5.1.13.1. Ventajas .....	26
5.1.13.2. Funciones.....	26
5.2. MARCO CONCEPTUAL.....	27
5.2.1. Partes de un sardinel .....	27
5.2.1.1. Aligeramiento.....	27
5.2.1.2. Arista. ....	27
5.2.1.3. Capa superficial.....	28
5.2.1.4. Cara frontal.....	28
5.2.1.5. Cara inferior.....	28
5.2.1.6. Cara superior.....	28
5.2.1.7. Cara trasera.....	28
5.2.1.8. Cara vista.....	29
5.2.1.9. Chaflán.....	29
5.2.1.10. Extremo. ....	29
5.2.1.11. Perfil. ....	29
5.3. MARCO LEGAL .....	30
5.3.1. Normas técnicas Colombianas .....	30
5.3.2. NTC 4109.....	31
5.3.3. NTC 2871.....	31
5.3.4. NSR- 10 Titulo C .....	31
5.3.5. Manual para el diseño y construcción del espacio público.....	32

<b>5.4. MARCO AMBIENTAL.....</b>	<b>32</b>
5.4.1. Problemática ambiental del plástico residual.....	32
5.4.1.1. Residuos sólidos en Colombia.....	33
5.4.1.2. Problemática ambiental .....	34
<b>6. METODOLOGÍA.....</b>	<b>35</b>
6.1. Diseño del elemento .....	36
6.2. Caracterización de los elementos .....	37
6.3. Reacciones.....	38
6.4. Ejecución del modelo .....	40
6.5. Gráficas .....	42
<b>7. CAPITULOS.....</b>	<b>44</b>
7.1. Zona elástica Sardinel A10 .....	45
7.2. Zona elástica Sardinel BR-4.....	46
7.3. Zona elástica Sardinel Especial Tipo B.....	47
7.4. Zona plástica Sardinel A10 .....	48
7.5. Zona plástica Sardinel BR-4 .....	50
7.6. Zona plástica Sardinel Especial Tipo B .....	51
7.7. Representación gráfica de distribución de carga en sardinel A10 sin refuerzo .....	53
7.8. Representación gráfica de distribución de carga en sardinel A10 reforzado con acero.	54
7.9. Representación gráfica de distribución de carga en sardinel A10 reforzado con polipropileno .....	56
7.10. Representación gráfica de distribución de carga en sardinel BR-4 sin refuerzo .....	57
7.11. Representación gráfica de distribución de carga en sardinel BR-4 reforzado con acero	59
7.12. Representación gráfica de distribución de carga en sardinel BR-4 reforzado con polipropileno .....	60
7.13. Representación gráfica de distribución de carga en sardinel especial tipo B sin refuerzo .....	62
7.14. Representación gráfica de la distribución de carga en sardinel especial tipo B reforzado con acero .....	63
7.15. Representación gráfica de distribución de carga en sardinel especial tipo B reforzado con polipropileno.....	65
<b>8. CONCLUSIONES .....</b>	<b>67</b>
<b>9. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>69</b>

<b>10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	71
<b>11. ANEXOS .....</b>	73
ANEXO 1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS SARDINELES .....	73
11.1. SARDINEL A10.....	73
11.2. SARDINEL BR-4.....	75
11.3. SARDINEL ESPECIAL TIPO B .....	77
ANEXO 2 DATOS ZONA ELÁSTICA .....	79
ANEXO 3 DATOS ZONA PLÁSTICA .....	88

### **Lista de tablas**

Tabla 1 Propiedades mecánicas del PP .....	15
Tabla 2 Propiedades térmicas del PP.....	16
Tabla 3 Propiedades eléctricas del PP .....	17
Tabla 4 Propiedades químicas del PP .....	18
Tabla 5 Elementos a modelar.....	35
Tabla 6 Propiedades requeridas por Abaqus.....	38
Tabla 7 Dimensiones nominales de las barras de refuerzo .....	44

### **Lista de ilustraciones**

Ilustración 1 Partes de un sardinel. ....	30
Ilustración 2 Exportación del modelo de AutoCAD a Abaqus.....	36
Ilustración 3 Sardinel de tres dimensiones en Abaqus.....	37
Ilustración 4 Aparato de carga para ensayos de flexión en especímenes de concreto .....	38
Ilustración 5 Ubicación cargas y apoyos .....	39
Ilustración 6 Distribución tetraédrica del elemento .....	40
Ilustración 7 Ejecución del modelo.....	41
Ilustración 8 Gráficas obtenidas por Abaqus .....	42
Ilustración 9 Simulación de aplicación de carga en sardinel A10 sin refuerzo .....	53
Ilustración 10 Simulación de aplicación de carga en sardinel A10 reforzado con acero .....	55
Ilustración 11 Simulación de aplicación de carga en sardinel A10 reforzado con polipropileno.	56

Ilustración 12 Simulación de aplicación de carga en sardinel BR-4 sin refuerzo .....	58
Ilustración 13 Simulación de aplicación de carga en sardinel BR-4 reforzado con acero.....	59
Ilustración 14 Simulación de aplicación de carga en sardinel BR-4 reforzado con polipropileno	61
Ilustración 15 Simulación de aplicación de carga en sardinel especial tipo B sin refuerzo .....	62
Ilustración 16 Simulación de aplicación de carga en sardinel especial tipo B reforzado con acero .....	64
Ilustración 17 Simulación de aplicación de carga en sardinel especial tipo B reforzado con polipropileno .....	65
Ilustración 18 Ficha técnica Sardinel A10 .....	73
Ilustración 19 Dimensiones de Sardinel A10.....	74
Ilustración 20 Ficha técnica Sardinel BR-4 .....	75
Ilustración 21 Dimensiones de Sardinel BR-4.....	76
Ilustración 22 Ficha técnica Sardinel especial tipo B .....	77
Ilustración 23 Dimensiones de Sardinel especial tipo B.....	78
Ilustración 24 Datos de la modelación en zona elástica del Sardinel A10 .....	81
Ilustración 25 Datos de la modelación en zona elástica del Sardinel BR-4.....	84
Ilustración 26 Datos de la modelación en zona elástica del Sardinel especial tipo B .....	87
Ilustración 27 Datos de la modelación en zona plástica del Sardinel A10 .....	90
Ilustración 28 Datos de la modelación en zona plástica del Sardinel BR-4 .....	93
Ilustración 29 Datos de la modelación en zona plástica del Sardinel especial tipo B .....	96

### **Listado de figuras**

Figura 1 Zona elástica del sardinel A10 .....	45
Figura 2 Zona elástica del Sardinel BR-4 .....	46
Figura 3 Zona elástica del Sardinel Especial Tipo B .....	47
Figura 4 Zona plástica del Sardinel A10.....	49
Figura 5 Zona plástica del Sardinel BR-4.....	50
Figura 6 Zona plástica del Sardinel Especial Tipo B.....	51

## GLOSARIO

**Apoyos** Son aparatos que sirven para transmitir las reacciones verticales y horizontales producidas por diferentes acciones a la infraestructura, estos deben responder de la mejor manera ante la aplicación de fuerzas.

**Carga aplicada** Es la fuerza externa que actúa de manera directa sobre un elemento.

**Coeficiente de Poisson** Es un indicativo que referencia la deformación que tiene un cuerpo cuando se le aplican cierto tipo de esfuerzos, este coeficiente es característica de cada material y es un valor adimensional.

**Desplazamiento** Es el cambio de posición de un punto dentro de un cuerpo, por la acción de fuerzas externas.

**Disipación de energía** Es la energía cinética que por acción de ciertas fuerzas se le resta a la energía generada por alguna fuerza externa aplicada, esta energía se desperdicia en forma de calor.

**Dureza** Es la resistencia que presenta un cuerpo a ser perforado por un objeto de mayor resistencia.

**Ensayo** En los ensayos se determinan los parámetros o propiedades mecánicas, físicas o químicas del producto en análisis, todo esto bajo procedimientos estandarizados.

**Flexión** Es la acción de doblar un cuerpo, cambiando su forma inicial.

**Modelación en 3D** Es el proceso digital de crear cuerpos tridimensionales virtuales usando tecnología específica.

**Módulo de elasticidad** Es un parámetro que permite conocer el comportamiento de un material elástico, según la dirección donde se le aplica una fuerza. Este es un parámetro que indica directamente la rigidez de un material, mientras mayor es el modulo más rígido es.

**Prefabricados** Son elementos que ya fueron fabricados con antelación y están preparados para su montaje en obra.

**Recubrimiento** Es la distancia mínima que debe dejar entre el elemento de refuerzo y la cara superficial del elemento estructural.

**Refuerzo** Es la acción de reforzar por medio de un elemento o pieza que mejora la resistencia de la estructura, generalmente estos elementos son varillas de acero especificadas.

**Rigidez** Es la capacidad que tiene un cuerpo para aponerse a ser doblado por alguna fuerza externa que actué sobre su superficie

**Zona elástica** Esta zona elástica tiene la característica de recuperar la longitud inicial en el momento que las tensiones aplicadas se detienen.

**Zona plástica** Es la zona donde se presentan incrementos de carga más bajos y seguidos, en comparación con la zona elástica, esta zona se representa en la parte más alta de la curva.

## **RESUMEN**

El presente trabajo investigativo, presenta los resultados obtenidos en la modelación de sardineles de diferentes tipos, reforzados con acero y polipropileno, con el fin de evaluar la viabilidad de este último material como alternativa de refuerzo en elementos estructurales utilizados en obra.

Esta modelación, realizada en el software Abaqus, simula condiciones reales que permiten obtener parámetros como la resistencia final en cierto desplazamiento, el módulo de elasticidad, la energía disipada y la representación gráfica de la distribución de las cargas aplicadas.

El polipropileno, como material de refuerzo y en ciertos casos específicos, alcanzo mejores resultados que los que presento el acero empleado como refuerzo.

## **INTRODUCCIÓN**

La presente investigación muestra los resultados obtenidos durante el proceso de modelación en Abaqus de diferentes tipos de sardinel de concreto sin refuerzo y con dos alternativas de refuerzo, como acero y polipropileno. Estos elementos son sometidos a una simulación de ensayos de resistencia a la flexión para determinar su resistencia final y los parámetros que caracterizan cada objeto, tales como, el módulo de elasticidad y la capacidad de disipar energía.

Gracias al software, se generan gráficas de esfuerzo y deformación de cada uno de los elementos modelados, permitiendo realizar el análisis del comportamiento de cada objeto en su rango plástico y elástico. Por otra parte, el programa ilustra la distribución de energía que generan las cargas aplicadas y los apoyos que actúan directamente sobre el elemento.

Al efectuar esta investigación se establece al polipropileno, como material de estudio, una alternativa para mejorar la resistencia final en los elementos de concreto.

## 1. PROBLEMA

### 1.1. IDENTIFICACIÓN

Actualmente en Colombia no se está aprovechando los residuos que se generan, existe una falta de conocimiento sobre los beneficios que un adecuado sistema de reciclaje ofrece. La basura generalmente se compone de un 47% de materia orgánica (comida) y 53% de residuos inorgánicos (vidrio, papel, plástico, textiles, etc.), todos desechos que se pueden reutilizar.

El polipropileno es el material con el que generalmente se fabrican las botellas de plástico que presentan una densidad mayor a las que se realizan con polietileno, también se encuentra en las tapas de estos envases. “El proceso de elaboración de estos objetos a base de plástico genera emisiones de CO<sub>2</sub> de 3.5 kg CO<sub>2</sub>/ kg de plástico, en el caso del polipropileno reciclado es de 1.70 kg CO<sub>2</sub>/ kg polipropileno”. (¿Cuánto CO<sub>2</sub> Emite El Plástico? - Plataforma ZEO, n.d.)

En la industria de la construcción la elaboración de elementos de refuerzo para el concreto, como el hierro y el acero genera un impacto ambiental negativo para nuestro planeta. Durante el proceso de elaboración de estos materiales se realizan procesos de explosión en rocas férricas generando emisiones de gases en la atmósfera, adicionándole que durante su producción también se realizan procesos de combustión y calentamiento del metal que generan aún más gases contaminantes. “La elaboración de elementos en acero genera 1.68 kg de Co<sub>2</sub>/kg acero.” (ArcelorMittal Redujo Un 12% Sus Emisiones En 2012, n.d.)

## 1.2. DESCRIPCIÓN

En la construcción se utilizan inimaginables cantidades de materiales naturales, así mismo de elementos prefabricados metálicos, químicos y otros recursos que se utilizan durante el proceso constructivo para mejorar los resultados finales. Además, es bien conocido el deterioro ambiental que se realiza durante la fabricación de estos materiales y durante las obras, esto es algo que no se podrá cambiar, por lo menos en nuestra actualidad, sin embargo, como ingenieros tenemos la responsabilidad de reivindicarnos con el medio ambiente de alguna u otra forma.

La propuesta consiste en modelar pequeñas estructuras en concreto reforzadas con diferentes materiales, esta modelación dará lugar a nuevos estudios que comprueben su viabilidad y con esto reducir la cantidad de residuos plásticos.

## 1.3. PLANTEAMIENTO

Los ingenieros civiles tienen la obligación de analizar diferentes alternativas en el uso de materiales, que generen reducción de costos y una mejor trabajabilidad en la obra. Por ello, nace la pregunta ¿Cómo se pueden emplear nuevos materiales más económicos y más ligeros, que ayuden a remplazar a los convencionales de alto costo, de difícil adquisición o de difícil manejo? Para ello, es necesario comenzar evaluando el comportamiento de estos nuevos materiales en elementos estructurales de pequeñas dimensiones o de bajas exigencias durante su uso.

## 1. ALCANCE

Esta investigación pretende modelar en Abaqus dos tipos de refuerzo para un mismo tipo de sardinel para esto se deben conocer las propiedades mecánicas que presenta un sardinel tipo A-10 con refuerzo de polipropileno, esto con el fin de poder compararlas con las propiedades mecánicas de un sardinel tipo A-10 con refuerzo de acero.

La opción de construir el elemento desde cero, no es posible por la situación de salud mundial, la mejor forma de realizar la investigación es mediante una modelación que simule las condiciones reales que va a soportar la estructura.

En el aspecto económico resulta más rentable realizar este tipo de propuestas, ya que no se necesita invertir en la compra de materiales y se minimiza la probabilidad de cometer errores en un laboratorio implicando sobre costos innecesarios.

Está claro que las metodologías y los materiales empleados en las construcciones no van a cambiar tan fácil si se ponen en juego variaciones en temas de resistencia o durabilidad, sin embargo, con las investigaciones ya realizadas se pueden comenzar a realizar prototipos de elementos estructurales reforzados con estos materiales de plástico en algún escenario de una construcción. Esta investigación pretende apoyar estos estudios e impulsar un criterio ambiental positivo dentro de la ingeniería civil.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo general

Determinar la capacidad del polipropileno reciclado como refuerzo en diferentes tipos de sardinel

### 2.2. Objetivos específicos

- Conocer la problemática ambiental causada por los residuos plásticos
  - Comprender la necesidad de nuevas tecnologías en el sector de la construcción
  - Definir las propiedades mecánicas del acero y del polipropileno
  - Estudiar la capacidad del polipropileno como un recurso adicional en la industria de la construcción.
  - Definir como se planea utilizar el polipropileno en la construcción de un sardinel
  - Determinar las dimensiones y propiedades de los sardineles a modelar
  - Modelar cada sardinel en el software Abaqus y detallar el comportamiento de cada elemento
- Identificar el tipo de sardinel que mejor se adapte al refuerzo que se plantea en la investigación.
- Comparar los esfuerzos de flexión del sardinel.

### 3. ANTECEDENTES

Con respecto al tema de reutilización de materiales aplicado en la construcción civil, se puede encontrar una gran variedad de investigaciones, ensayos, artículos, publicaciones, entre otros. A partir de estos se realizará la investigación propuesta en el presente documento. A lo largo de la búsqueda de información del tema, se encuentran trabajos de grado realizados por diferentes Ingenieros egresados de diferentes universidades, en este caso se apoyaran las hipótesis y los resultados obtenidos por trabajos realizados en la Universidad Cooperativa de Colombia Sede Villavicencio, Universidad De Los Andes, Escuela Colombiana De Ingeniería Julio Garavito, Universidad Del Santa (Perú) y por supuesto, trabajos realizados por estudiantes de la Universidad Militar Nueva Granada.

El primer documento guía corresponde a un estudio investigativo para un trabajo de grado de la Universidad Cooperativa de Colombia en donde se estudia el comportamiento de sardineles reforzados con fibras PET obteniendo diversos resultados en diferentes ensayos de laboratorio.

“El prototipo de sardinel aligerado con PET (Polietileno Tereftalato); tiene como objetivos realizar el análisis del estado del arte; generar un modelo de sardinel con el respectivo diseño de mezcla, y realizar los ensayos físicos y mecánicos. Mediante el análisis del estado del arte se llevó a cabo el uso del PET, en los diferentes procesos y sistemas constructivos, verificando en las recicladoras que efectivamente si era el PET, reutilizable. Se desarrolla un sardinel reutilizando el plástico polietileno tereftalato de muchos de los envases que se utilizó, como las botellas.

Los ensayos físicos y mecánicos permitieron arrojar datos por los cilindros de prueba 7 días: cilindro, diámetro, longitud, peso, resistencia KN y MPa. Así mismo, prueba de 14 y 28 días respectivamente. La metodología aplicada presentó un enfoque cualitativo – cuantitativo (mixto), tipo de investigación experimental, como fuente de recolección de información, se tuvo en cuenta (primarias – secundarias)”. (Rivera, Brian; Méndez, Jhoan; Saza, Wilber, 2017)

La segunda fuente de información acerca del tema es un trabajo de grado realizado en 2017 por Michael Léctor y Edson Villarreal dos estudiantes de Ingeniería Civil en la Universidad Del Santa en Perú, su proyecto de investigación tuvo por nombre “Utilización de materiales plásticos de reciclaje como adición en la elaboración de concreto en la ciudad de Nuevo Chimbote”

“Con esta investigación se busca poder elaborar un nuevo concreto ecológico y a su vez más ligero que el convencional, que nos ayude a generar un entorno más limpio y crear una nueva cultura de reciclaje, reduciendo la contaminación ambiental generada por los plásticos PET que tardan más de 500 años en descomponerse” (Léctor Lafitte & Villarreal Brragán, 2017)

Otro de los documentos es un trabajo de grado de Paola Zafra para optar al título de Especialista en estructuras en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito en el año 2015. Este trabajo lleva por nombre “Estudio de la influencia de la restricción en la fisuración por contracción plástica en losas de concreto con agregados reciclados y uso de microfibras”

“Un programa experimental se realizó para investigar la fisuración por contracción plástica en losas de concreto con agregados reciclados, (ACR) en muestras de 1,00 m x 0,60 m x 0,08 m, relación agua cemento 0,50, y tres contenidos diferentes de agregados reciclados (0%, 50% y 100%). Se utilizaron dos tipos de formaletas, si y con restricción lateral, la cual es provista por ganchos de acero rígido de diámetro 5 mm a manera de pestañas fijados mediante soldadura a lo largo de todo el perímetro a una altura de 5 cm desde el fondo de la formaleta y con una separación de 10 cm entre ellos.”(Dennis & Collazos, 2015)

Básicamente, estos son los dos documentos referenciados que realizaron investigaciones y ensayos que tienen en común temas con la investigación a realizar, cabe resaltar que una diferencia significativa es que el material empleado en estas tesis es PET reciclado, mientras que en esta investigación se utilizara polipropileno reciclado y polietileno comercial. Los demás documentos consultados fueron utilizados como guía para desarrollar conceptualmente el proyecto.

#### 4. JUSTIFICACIÓN

Con base en el problema ambiental que existe por la elaboración del acero para construcción y en la mala disposición final del plástico que en muchas ocasiones termina por contaminar a lo largo de su vida útil, se plantea dar uso al plástico reciclado en obras de construcción.

La idea principal de esta investigación consiste en determinar la capacidad del polipropileno reciclado como alternativa de refuerzo en los sardineles de tipo A-10. Además, incentivar a la buena disposición de plástico y reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en la industria del acero.

A nivel personal, se realiza esta investigación como proyecto investigativo con el fin de optar al título de Ingeniero Civil. Adicionalmente, pero no menos importante, por tener una investigación propia que pueda servir de ayuda dentro del gremio de la ingeniería, tanto a profesionales, como a estudiantes interesados en el tema.

## 5. MARCO REFERENCIAL

### 5.1. MARCO TEÓRICO

#### 5.1.1. Concreto

EL concreto es un material conformado por partículas de material granular grueso (agregados minerales o relleno) embebidos en una matriz dura de material (cemento o ligante) que llena los espacios vacíos entre las partículas y burbujas manteniéndolas juntas. (GRUPO DE INGENIEROS, n.d.).

El concreto es considerado como el material más empleado en el campo de la construcción, esto se debe a las ventajas que presenta el material en función a su resistencia, duración, impermeabilidad, economía y la facilidad en la que se puede producir.

El hormigón o concreto es una roca fabricada por el hombre, diseñada y producida de acuerdo a normas establecidas para fines y aplicaciones que se requieren en un proyecto determinado y con las características de economía, facilidad de colocación, velocidad de fraguado y apariencia adecuada según su aplicación. (ARAFERNÁNDEZ Rosalba, 2010).

El concreto se puede moldear en diferentes formas, es duradero y es el material de construcción más atractivo en términos de su resistencia a la compresión, ya que ofrece la mayor resistencia por costo unitario. Su uso cada vez es más fundamental para la construcción sustentable. (*Concreto Premezclado - CEMEX*, n.d.)

## 5.1.2. Concreto endurecido

El concreto se encuentra en estado endurecido después que ha fraguado, empieza a ganar resistencia y se endurece. Las propiedades del concreto endurecido son la resistencia, la durabilidad, la elasticidad y la durabilidad.(Мещерякова & Понтак, n.d.).

### 5.1.2.1. Propiedades del concreto endurecido

#### 5.1.2.1.1. Elasticidad

En general, es la capacidad del concreto de deformarse bajo carga, sin tener deformación permanente. El concreto no es un material elástico estrictamente hablando, ya que no tiene un comportamiento lineal en ningún tramo de su diagrama carga vs deformación en compresión, sin embargo, convencionalmente se acostumbra definir un “Módulo de elasticidad estático”. (Léctor et al., 2017).

El Módulo de Elasticidad del concreto o Módulo de Young es considerado uno de los más importantes parámetros en el diseño y construcción de estructuras de concreto reforzado. El Módulo de Elasticidad se calcula a 0.45 de la  $f'_c$  como la pendiente secante del diagrama esfuerzo y deformación unitaria, y en el caso del concreto el valor aumenta con el tiempo dependiendo de la resistencia, por lo que es dependiente del concreto en particular. En general a mayor resistencia del concreto y mayor densidad se tiende a obtener mayor módulo de elasticidad, sin embargo dependiendo de los componentes y dosificación del concreto o mortero los valores pueden diferir de manera apreciable, hasta un 20%. (*Ing . Rodrigo Quimbay Herrera, MSc, n.d.*).

### 5.1.2.1.2. Resistencia

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ , MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi). Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión, se emplean fundamentalmente para determinar que la mezcla de concreto suministrada cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada ( $f'_c$ ) para una estructura determinada. En la mayoría de los países la edad normativa en la que se mide la resistencia mecánica del concreto es la de 28 días, aunque hay una tendencia para llevar esa fecha a los 7 días. Es frecuente determinar la resistencia mecánica en períodos de tiempo distinto a los de 28 días, pero suele ser con propósitos meramente informativos. Las edades más usuales en tales casos pueden ser: 1, 3, 7, 14, 90 y 360 días. En algunas ocasiones y de acuerdo a las características de la obra, esa determinación no es solo informativa, si no normativa, fijado así en las condiciones contractuales. (*¿Por Qué Se Determina La Resistencia a La Compresión En El Concreto? / CEMEX Peru, n.d.*)

Al diseñar una estructura, los constructores se valen de la resistencia especificada,  $f'_c$ , y especifican que el concreto cumpla con el requerimiento de resistencia estipulado en los documentos del contrato del trabajo. La mezcla de concreto se diseña para producir una resistencia promedio superior a la resistencia especificada. (*¿Por Qué Se Determina La Resistencia a La Compresión En El Concreto? / CEMEX Peru, n.d.*)

### 5.1.2.1.3. Durabilidad

La durabilidad del concreto puede definirse como su capacidad para resistir la acción del medio ambiente circundante, los ataques químicos, biológicos, la abrasión y cualquier otro proceso de deterioro. La vida útil de una estructura, la cual está íntimamente relacionada con su comportamiento bajo determinadas condiciones de servicio, durante un periodo de tiempo determinado, como el periodo de tiempo en el cual conserva los requisitos previstos de seguridad, funcionalidad y aspecto, con costos razonables de mantenimiento. (*Durabilidad Del Concreto / ARGOS 360*, n.d.)

Sin embargo, debido a las diversas etapas de una estructura, se pueden definir diferentes etapas de vida útil:

-Vida útil del proyecto: es el periodo de tiempo que ha sido previsto por el diseñador estructural para que se dé inicio al deterioro del concreto, es decir, cuando la barrera de protección del concreto ha sido afectada por el agente agresor, pero aún no ha debilitado la estructura.

-Vida útil de servicio: es el periodo de tiempo contado desde que se inicia la construcción de la estructura, hasta que completa un cierto y nivel aceptable de deterioro. Es un periodo muy variable, debido a que cada proyecto tiene un cierto y determinado nivel de aceptación.

-Vida útil última: es el período de tiempo desde que se inicia la construcción de la estructura hasta que presenta colapso parcial o total.

-Vida útil residual: es el periodo de tiempo contado a partir de la fecha de inspección, en la que la estructura aún puede soportar las cargas para las cuales fue diseñada, sin poner en riesgo la vida de sus habitantes. Si periódicamente se realiza a la estructura un proceso de mantenimiento o de rehabilitación, se da origen a una nueva vida útil, cuya duración dependerá del tipo de mantenimiento o rehabilitación realizada. (*Durabilidad Del Concreto / ARGOS 360, n.d.*)

### 5.1.3. Polipropileno

El polipropileno (PP) es ampliamente utilizado para la producción de plásticos moldeados debido a la excelente combinación de propiedades que presenta como peso ligero y resistencia al impacto (Karian, 2003). Por otro lado, es posible determinar cómo se comporta mecánicamente el material en función de la resistencia a la tensión y su deformación, este ultimo de acuerdo al módulo elástico o también conocido módulo de Young, que se determina con los ensayos de tracción y flexión.

Este material puede variar en su tamaño y forma por efecto de la temperatura. “Algunos trabajos realizados con materiales poliméricos reciclados justifican la disminución en el peso molecular del polímero a causa de los procesos termomecánicos” (Hermanova, 2009).

El polipropileno es comercializado en cantidades gigantes, aun se siguen estudiando sus propiedades con el fin de potencializar sus aplicaciones. En la actualidad, la industria del plástico presenta desconocimiento en las propiedades fisicoquímicas del material, esto limita el aprovechamiento del material.

El polipropileno se transforma fundamentalmente por inyección, extrusión en planchas, láminas planas (llamadas cast Polypropylene; CPP), tubos y láminas sopladas, moldeo por soplado, calandrado, compresión, mediante la formación de espumas, co-extrusión y soldadura. El PP es apto para termo conformar y conformar en frío. En cambio, no es apto para ser soldado por HF y sólo se puede pegar después de hacerle un tratamiento previo, como por ejemplo una oxidación por ataque con una mezcla de ácido sulfúrico y crómico. La metalización galvánica sólo es posible en algunos PP que contienen TiO<sub>2</sub>. (*Polipropileno / CMEmaterials*, n.d.)

Este material al ser sólido y rígido en la mayoría de los casos presenta capacidades para soportar fuerzas o factores externos que puedan afectar su composición física o química, de acuerdo con lo anterior, al igual que el PE, el PP tiene ciertas propiedades mecánicas, térmicas, eléctricas y químicas.

#### 5.1.4. Propiedades mecánicas del polipropileno

Empíricamente hablando, se conoce que el PP es un material muy rígido, por ejemplo, las tapas plásticas de las botellas son deformadas únicamente cuando se le aplica una fuerza importante. Ahora, teóricamente hablando, esta definición se complementa con los valores de las diferentes propiedades mecánicas que expone la Universidad de Barcelona en la tabla 11.

**Tabla 1**  
*Propiedades mecánicas del PP*

Propiedad	Unidad	Valor
Módulo elástico	GPa	0.896 - 1.550
Coeficiente de Poisson		0.405 - 0.427
Resistencia mecánica a la compresión	MPa	25.1 - 55.2
Resistencia mecánica a la tracción	MPa	27.6 - 41.4
Tenacidad a la fractura (Klc)	m <sup>1/2</sup>	3 - 4.5
Comportamiento a traccion	%	100 - 600
Dureza	HV	6.2 - 11.2

Nota. Las fibras de vidrio proporcionan un fuerte reforzamiento. La presencia de elastómeros en la cadena incrementa la resistencia al impacto pero disminuye el módulo. Tiene buena resistencia a la fractura. Datos recuperados de “Polipropileno”, UNIVERSIDAD DE BARCELONA, s.f.

Estas propiedades se pueden analizar y comparar con las de diferentes productos utilizando métodos de prueba estandarizados. Por ejemplo, las propiedades de tracción de los plásticos, como la resistencia a la tracción y la rigidez, se pueden determinar según la norma DIN EN ISO 527 aplicando durante unos instantes una carga en una dirección con un ensayo de tracción. (*Plásticos con buenas propiedades mecánicas / Ensinger, n.d.*)

El PP posee buena rigidez, dureza y resistencia superficial; logrando así una buena estabilidad dimensional.

### 5.1.5. Propiedades térmicas del polipropileno

De acuerdo con los valores de la tabla 12 se puede concluir que el PP es un excelente aislante térmico. Se considera aislante térmico aquel material que tiene una conductividad térmica menor que 0.50 W/m·K y una resistencia mayor que 0.25 m<sup>2</sup>·K/W. (Palomo, 2010)

**Tabla 2**  
*Propiedades térmicas del PP*

Propiedad	Unidad	Valor
Módulo elástico	GPa	0.172 - 0.283
Coeficiente de Poisson		0.439 - 0.457
Resistencia mecánica a la compresión	MPa	10.8 - 17.4
Resistencia mecánica a la tracción	MPa	13.3 - 26.4
Tenacidad a la fractura (Klc)	m <sup>1/2</sup>	1.21 - 3.39
Comportamiento a traccion	%	100 - 650
Dureza	HV	2.70 a 4.40

Nota. El valor del coeficiente de dilatación térmica lineal, el de la conductividad térmica y el de la capacidad calorífica específica son evaluados en temperatura ambiente Datos recuperados de “Polipropileno”, UNIVERSIDAD DE BARCELONA, s.f.

Las propiedades térmicas de los PP se ven reflejadas al momento de su elaboración. El primer estado, al igual que en los PE, es líquido, para lograr este estado se debe conocer, por lo menos, la temperatura de fusión.

### 5.1.6. Propiedades eléctricas del polipropileno

Las enormes posibilidades de diseño y acabados de los materiales plásticos han motivado que hayan cobrado un gran protagonismo en sectores como el eléctrico-electrónico. Por sus características aislantes tradicionalmente han sido importantes para aplicaciones como fundas protectoras de cableados eléctricos, así como elementos eléctricos diversos como enchufes, regletas, conmutadores, etc. (*Conductividad Eléctrica de Materiales Plásticos*, n.d.)

El valor de la resistividad de la tabla 13 indica que el PP es un aislante eléctrico que se comporta, en este ámbito, de igual manera que el vidrio, el cuarzo, el azufre, el teflón, el caucho, la madera o el diamante.

**Tabla 3**  
*Propiedades eléctricas del PP*

Propiedad	Unidad	Valor
Resistividad específica	ohm·m	> 10e15
Constante dieléctrica	0	2.1 - 2.3

Nota. Se tienen en cuenta estos valores en PP empleados como tuberías para cableado, por seguridad. Datos recuperados de “Polipropileno”, UNIVERSIDAD DE BARCELONA, s.f.

### 5.1.7. Propiedades químicas del polipropileno

Químicamente, existen tres tipos de polipropilenos: isotáctico, atáctico y sindiotáctico. El polipropileno isotáctico es aquel en que todos los grupos metilo de la cadena quedan dispuestos en la misma dirección en la cadena principal. Existen dos tipos más de polipropileno: el atáctico, donde los metilos se colocan de forma desordenada sobre el canal principal, y el sindiotáctico, donde los metilos se colocan de forma regular alternada en sentidos opuestos. El isotáctico es el único que es utilizado para aplicaciones en ingeniería de materiales, mientras que la atáctico no se utiliza en ingeniería de materiales pero si tiene algunas aplicaciones. Aquí se comenta la isotáctico.

(*Polipropileno / CEMaterials*, n.d.)

A diferencia del PE y como se observa en la tabla 14, el PP tiene una excelente resistencia a los ácidos en general y a los solventes orgánicos.

**Tabla 4**  
*Propiedades químicas del PP*

Propiedad	Valor
Resistencia a los ácidos	Tiene muy buena resistencia a los ácidos débiles y fuertes
Resistencia a los álcalis	Tiene elevada resistencia a los álcalis, tanto fuertes como débiles
Resistencia a los disolventes orgánicos	Tienen muy buena resistencia a los disolventes orgánicos
Abosrción de agua	Absorbe débilmente el agua
Resistenica al oxigeno	Resistencia muy pobre frente a la oxidación a 500°C
Resistencia al ozono	Tiene baja resistencia al ozono y a la luz

Nota. Su buena resistencia a los álcalis, hace del PP el mejor plástico para ser combinado o estar en contacto con metales de todo tipo.  
Datos recuperados de “Polietileno de Baja Densidad”, UNIVERSIDAD DE BARCELONA, s.f.

El polipropileno tiene muy buena resistencia al agua, tanto dulce como salada. Se trata de un material inflamable. Su resistencia a la radiación UV es baja. Normalmente es un polímero sensible a metales oxidantes como el cobre, el manganeso o el cobalto. (*Polipropileno / CMEmaterials*, n.d.)

#### **5.1.8. El polipropileno como propuesta de material adicional en la industria de la construcción**

En busca de crear nuevas tecnologías y emplear nuevos materiales para apoyar el sector de la construcción a nivel mundial, surge la opción de evaluar diferentes tipos de materiales plásticos que puedan ayudar a mejorar diferentes propiedades del concreto, las fibras PET, de polipropileno, de polietileno de baja y de alta calidad, están aprobadas y certificadas para la venta en gran cantidad de países. En este numeral se exponen algunos proyectos de investigación acerca del efecto de utilizar fibras de polipropileno en diferentes elementos de concreto con diversos objetivos.

### **5.1.8.1. Propiedades de resistencia en concreto reforzado con fibras de nailon y polipropileno**

El potencial de resistencia del hormigón reforzado con fibra de nailon se investigó frente al del hormigón reforzado con fibra de polipropileno, con un contenido de fibra de 0,6 kg/m<sup>3</sup>.

Las resistencias a la tracción, a la compresión, al fraccionamiento y el módulo de ruptura (MOR) del hormigón de fibra de nailon mejoraron en un 6,3%, 6,7% y 4,3%, respectivamente, sobre las del hormigón de fibra de polipropileno. En cuanto a la resistencia al impacto, las resistencias a la primera fisura a la falla y el aumento porcentual de los golpes posteriores a la primera fisura mejoraron más para el hormigón de fibra de nailon que para su homólogo de polipropileno. Además, el potencial de reducción de grietas por contracción también mejoró más para el mortero reforzado con fibra de nailon. Las mejoras mencionadas anteriormente se derivaron de que las fibras de nailon registraron una mayor resistencia a la tracción y posiblemente debido a su mejor distribución en el hormigón. (Song et al., 2005)

### **5.1.8.2. Fibras de polipropileno en la resistencia al impacto del concreto**

En este artículo, la carga de impacto es el resultado de simulaciones numéricas de concreto simple (PC) y de concreto reforzado con fibras (FRC). Se compararon pruebas de datos experimentales que se basaron en un procedimiento recomendado por el comité 544 de la ACI. Las muestras de concreto se prepararon con dos proporciones de cemento 0.36 y 0.46, fibras de acero con extremos enganchados con una relación de aspecto de 80 al 0.5% y fracciones de volumen del 1% y fibras de polipropileno al 0.2%, 0.3% y 0.5% en volumen. Los resultados del análisis tanto numérico como experimental indicaron que el aumento de la fracción de volumen de fibra incrementó la resistencia al impacto de las probetas de hormigón. El aumento de la

resistencia al impacto fue mayor para la resistencia normal que para el hormigón de alta resistencia. Los resultados también demostraron que las fibras de acero son más efectivas para aumentar la resistencia al impacto que las fibras de polipropileno. (Alavi Nia et al., 2012)

#### **5.1.8.3. Fibras de polipropileno en la durabilidad del concreto empleado en reposaderos**

Este estudio investiga el efecto de la fibra de polipropileno (PPF) tanto en la durabilidad como en las características físicas y mecánicas del hormigón para su aplicación en reposaderos. Se realizaron pruebas de penetración rápida de cloruro (RCPT), de penetración de agua, ultrasónicas y de sorptividad para indicar los efectos del PPF sobre la durabilidad. Además, se realizaron pruebas de resistencia a la compresión, a la tracción por división y a la flexión en tres puntos, y al consistómetro Vee-Bee (VB) para indicar las características físicas y mecánicas del hormigón armado PPF. Además, para estudiar las microestructuras y la zona de transición interfacial, y significar los elementos, se utilizaron respectivamente el microscopio electrónico de barrido (SEM) y el análisis de difracción de rayos X (XRD). Se observó que el PPF podría reducir la permeabilidad y la porosidad capilar mediante el efecto de bloqueo de los poros. Los resultados muestran que la cantidad ideal de PPF ha mejorado la durabilidad del hormigón al reducir la velocidad de las ondas ultrasónicas, la difusión del cloruro, la penetración del agua y la capacidad de absorción. El PPF también ha mejorado la resistencia a la tracción y la flexión, aunque tiene una resistencia a la compresión reducida. (Ramezanianpour et al., 2013)

#### **5.1.8.4. Fibras de polipropileno en el comportamiento de fractura de concreto de baja, normal y alta resistencia**

El estudio que se realizó consiste en evaluar la influencia de las propiedades de fibras de polipropileno en hormigón armado con fibra, para el cual se sometieron a pruebas de deflexión de

tres puntos una serie de vigas con muescas. Al final de este estudio se determinó que en cada una de las mezclas de hormigón la resistencia a la tracción, resistencia a la compresión y el módulo de ruptura mejoraron por la influencia que tuvo el polipropileno, en una mezcla de hormigón se obtuvo un aumento de 13% en el módulo de elasticidad.

#### **5.1.8.5. Fibras de polipropileno de alto rendimiento en revestimientos de hormigón de túneles de agua**

La investigación hace referencia a la aplicación de fibras de polipropileno de alto rendimiento en el revestimiento de hormigón de túneles de agua. Para esto, se realiza una comparación entre el hormigón armado con fibras de acero y el hormigón armado con fibras de polipropileno.

La absorción de agua en todas las mezclas es evaluada cuando alcanzaron 28 días. Al final de las pruebas realizadas en las muestras de hormigón de fibra de acero fueron más efectivas que las fibras de polipropileno. En las pruebas de compresión realizadas, se observó que las fibras de polipropileno no tuvieron efectos significativos ya que se evidenció un aumento del 3.3% en la resistencia a la compresión siendo menor que el aumento del 16.8% que presentaron las fibras de acero.

#### **5.1.9. Sardinel (bordillo)**

Pieza aligerada prefabricada en concreto de 4 MPa de módulo de rotura a 28 días, con acabado liso. Se instala sobre una capa de mortero de nivelación, sobresaliendo mínimo 20 centímetros respecto al nivel de la calzada vehicular, con juntas de 1 centímetro de espesor en mortero 1:4. Su función es delimitar el área de circulación peatonal en el andén. (Sardineles - ABENSALA, n.d.)

El Sardinel es la individualización del extremo de la estructura de un andén, que a modo de muro, define el desnivel entre éste y la vía, confina los materiales que lo componen y resiste el impacto de las llantas de los vehículos que circulan por la vía. (Alcaldía de Bucaramanga, 2013)

### **5.1.9.1. Dimensiones de un sardinel**

Los sardineles suelen ser elementos prefabricados que se adquieren en puntos de venta autorizados, sin embargo, estos elementos pueden ser fabricados in situ. En cualquiera de los dos casos, se deben tener en cuenta las dimensiones que se registran en las normativas y procurar que los elementos no se salgan considerablemente de estos rangos.

#### **5.1.9.1.1. Altura**

Los sardineles están definidos por su altura total, que comprende la altura del andén (altura de servicio) de 200 mm, y la profundidad de empotramiento dentro del nivel inferior (de la cuneta o del pavimento), que debe ser: mínimo 150 mm, de la rasante hacia abajo, para cunetas de concreto o pavimentos monolíticos (concreto o asfalto); y mínimo, 120 mm de penetración dentro de la base, para los pavimentos segmentados (adoquines, losetas). (Alcaldía de Bucaramanga, 2013)

#### **5.1.9.1.2. Longitud**

Para cada perfil de las unidades de sardinel, se definen tres longitudes nominales: 800 mm, 400 mm y 200 mm. Siempre se deben utilizar las unidades de mayor longitud disponible para cada proyecto y lugar, las restantes longitudes solo se recomiendan para los ajustes que sean necesarios y producir las curvas requeridas. (Alcaldía de Bucaramanga, 2013)

### 5.1.9.1.3. Espesor

El espesor estándar (ancho), de los diferentes tipos de sardinel, debe ser de 200 mm, para que junto con la banda texturizada alerta, de 200 mm de ancho, que se coloca junto al sardinel, hacia adentro del andén o separador, se ajuste al módulo de 200 mm o múltiplo de este, definido para el espacio público, y se produzca la franja de servidumbre de vía, franja de seguridad propuesta como elemento constitutivo del andén. (Alcaldía de Bucaramanga, 2013)

Tabla 5

Especificaciones técnicas de los sardineles

Nombre	Código	Largo	Ancho	Alto
Sardinel Recto	UC-S10	80	20	50
	UC-S11	40	20	50
	UC-S12	20	20	50
Sardinel Rampa Peatonal	UC-S20	80	40	50
	UC-S21	40	40	50
	UC-S22	20	40	50
Sardinel (Rampa) Vehicular	UC-S40	80	40	50
	UC-S41	40	40	50
	UC-S42	20	40	50
Sardinel Remate Rampa Peatonal	UC-S30	40	20	50
Sardinel Remate Rampa Vehicular	UC-S50	60	40	50

Medidas en cm

Nota. Las dimensiones de los sardineles pueden presentar variaciones dependiendo de la compañía que los fabrica o de las necesidades de la obra.

### 5.1.10. Sardinel A10

Pieza aligerada prefabricada en concreto de 4 MPa de módulo de rotura a 28 días, con acabado liso. Se instala sobre una capa de mortero de nivelación, sobresaliendo mínimo 20 cm respecto al nivel de la calzada vehicular, con juntas de 1 cm de espesor en mortero 1:4. Su

función es delimitar el área de circulación peatonal en el andén. (*Concretarte - Prefabricados de Concreto, Pegantes, Morteros.*, n.d.-a)

Las especificaciones completas del sardinel A10 en cuanto a sus dimensiones, características físicas, uso en obra y mantenimiento se encuentran referenciadas en el anexo 1.

### **5.1.11. Sardinel BR-4**

Pieza aligerada prefabricada en concreto de 4 MPa de módulo de rotura a 28 días, con acabado liso. Se instala sobre una capa de mortero de nivelación, con juntas de 1 cm de espesor en mortero 1:4, en rampas o pasos peatonales, de manera que exista continuidad en el sardinel. Las diferencias de altura y geometría respecto al sardinel A - 10 o el bordillo A - 80 serán asumidas par las piezas de ajuste A-90, A-95 o A-100 según el caso. (*Concretarte - Prefabricados de Concreto, Pegantes, Morteros.*, n.d.-b)

Las especificaciones completas del sardinel BR-4 en cuanto a sus dimensiones, características físicas, uso en obra y mantenimiento se encuentran referenciadas en el anexo 2.

### **5.1.12. Sardinel especial tipo B**

Pieza aligerada prefabricada en concreto de 4 MPa de módulo de rotura a 28 días, con acabado liso. Se instala sobre una capa de mortero de nivelación, con juntas de 1 cm de espesor en mortero 1:4, de manera que permita salvar la diferencia de altura entre la calzada y el andén, exclusivamente en calzadas vehiculares. La diferencia de geometría respecto al sardinel A-10 será asumida por la pieza de remate A-115. (*Concretarte - Prefabricados de Concreto, Pegantes, Morteros.*, n.d.-b)

Las especificaciones completas del sardinel especial tipo B en cuanto a sus dimensiones, características físicas, uso en obra y mantenimiento se encuentran referenciadas en el anexo 3.

### 5.1.13. Abaqus

Actualmente, los grupos de ingeniería suelen realizar la simulación de productos mediante herramientas de simulación del nicho de diferentes proveedores para simular distintos atributos de diseño. (Versión Más Reciente | ABAQUS - Dassault Systèmes®, n.d.)

El uso de productos de software de varios proveedores genera ineficiencia y aumenta los costes. SIMULIA ofrece una serie escalable de productos de análisis unificados que permite a todos los usuarios, independientemente de su experiencia en simulación o foco de dominio, colaborar y compartir perfectamente datos de simulación y métodos aprobados sin perder la fidelidad de la información. (Versión Más Reciente | ABAQUS - Dassault Systèmes®, n.d.)

La serie de productos de análisis de elementos finitos unificado de Abaqus ofrece soluciones potentes y completas para problemas de ingeniería rutinarios y más sofisticados que abarcan un amplio espectro de aplicaciones industriales. Por ejemplo, en el sector de la automoción, los grupos de trabajo de ingeniería pueden tener en cuenta las cargas de vehículo completas, la vibración dinámica, los sistemas de varios cuerpos, el impacto/golpe, los elementos estáticos no lineales, el acoplamiento térmico y el acoplamiento estructural acústico gracias a una estructura de datos de modelos común y a una tecnología de solver integrada. Las mejores empresas de su clase se benefician del análisis de elementos finitos unificado de Abaqus con el fin de consolidar sus procesos y herramientas, reducir los costes y la ineficiencia,

y aumentar la ventaja competitiva. (Versión Más Reciente | ABAQUS - Dassault Systèmes®, n.d.)

### 5.1.13.1. Ventajas

- Correlación mejorada entre las pruebas y los resultados del análisis
- Mayor eficiencia en la generación de modelos
- Transferencia de datos mejorada entre simulaciones
- Reducción de los gastos en formación y en el conjunto de herramientas de FEA en la empresa
- Personal más flexible mediante la estandarización de una única funcionalidad completa para la simulación estructural

### 5.1.13.2. Funciones

- Análisis lineal y no lineal que incluye no linealidades geométricas, de material y de contacto.
- Modelos de material para metales, materiales compuestos, tejido humano, caucho, termoplásticos y otros.
- Fracturas y fallos de material
- Sólidas funciones de contacto
- Informática de alto rendimiento

## 5.2. MARCO CONCEPTUAL

### 5.2.1. Partes de un sardinel

El sardinel A10 es el más utilizado en la construcción de vías y andenes, esto se debe a su distribución volumétrica, es decir, es un elemento relativamente pequeño y liviano que brinda facilidad al momento de su ubicación en las obras, además de brindar un buen diseño a la vista de los transeúntes. Por otra parte, este sardinel es el que presenta mayor oferta comercialmente en Colombia, por todo esto nace la importancia de conocer las partes que constituyen este elemento.

Los sardineles de otras características cuentan con las mismas partes, sin embargo, las variaciones se presentan en las dimensiones de cada uno, se puede decir que sus partes siempre son iguales, lo que cambia es el volumen de cada uno.

#### 5.2.1.1. Aligeramiento.

Cada una de las perforaciones longitudinales y cilíndricas, generadas dentro de las unidades prefabricadas para bordillos, cunetas o topellantas, para reducir el peso de las mismas, facilitar su manejo y optimizar el uso del material, sin sacrificar su comportamiento estructural.  
(Técnica, 2008)

#### 5.2.1.2. Arista.

Línea que marca la unión entre dos planos o caras de un bordillo o cuneta. (Técnica, 2008)

#### **5.2.1.3. Capa superficial.**

Capa de concreto con características diferentes a las de la masa de concreto predominante de una unidad prefabricada. (Técnica, 2008)

#### **5.2.1.4. Cara frontal.**

Superficie conformada por un plano vertical o por uno vertical y otro inclinado, que va a estar en contacto con el tráfico y la intemperie, en unidades prefabricadas o en tramos elaborados en el sitio. En las cunetas es la cara que va a estar en contacto con la estructura del pavimento. (Técnica, 2008)

#### **5.2.1.5. Cara inferior.**

Superficie horizontal inferior de fundación o de apoyo; de las unidades prefabricadas en tramos elaborados en el sitio y que sirve de apoyo a estas unidades. (Técnica, 2008)

#### **5.2.1.6. Cara superior.**

Superficie horizontal superior, que va a estar en contacto con el tráfico y la intemperie en unidades prefabricadas o en tramos elaborados en el sitio y que en las cunetas conforma la sección húmeda de las mismas. (Técnica, 2008)

#### **5.2.1.7. Cara trasera.**

Superficie vertical posterior opuesta a la cara frontal en unidades prefabricadas o en tramos elaborados en el sitio, que va a estar en contacto con el contrafuerte o con cualquier otra estructura de respaldo en los bordillos. En las cunetas es la cara que va a estar en contacto con el bordillo o con las estructuras de respaldo. (Técnica, 2008)

#### **5.2.1.8. Cara vista.**

Cada una de las caras, de un bordillo, cuneta o topellanta, que están expuestas al tráfico. En un bordillo y en un topellanta en lo general son la cara superior y la frontal. En una cuneta es la cara superior. (Técnica, 2008)

#### **5.2.1.9. Chaflán.**

Inclinación de la cara frontal de un bordillo. (Técnica, 2008)

#### **5.2.1.10. Extremo.**

Cara de una unidad prefabricada que conforma una junta con la cara adyacente de otra unidad. (Técnica, 2008)

#### **5.2.1.11. Perfil.**

Geometría que tiene el conjunto de las caras vistas de los bordillos o cunetas. (Técnica, 2008)

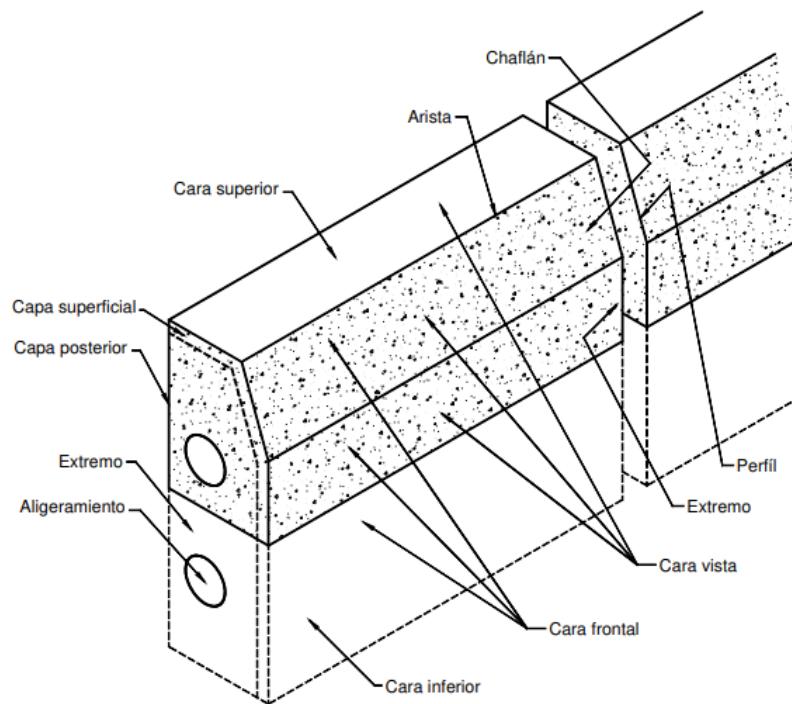


Ilustración 1 Partes de un sardinel. Nota. La ilustración hace referencia a todos los elementos geométricos de una unidad de sardinel o bordillo

### 5.3. MARCO LEGAL

#### 5.3.1. Normas técnicas Colombianas

Es el organismo nacional de normalización de Colombia. Entre sus labores se destaca la creación de normas técnicas y la certificación de normas de calidad para empresas y actividades profesionales. El representante de la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) en Colombia, es ICONTEC, este último es un organismo sin ánimo de lucro que trabaja para fomentar la normalización, metodología, certificación y gestión de la calidad en Colombia. Dentro del campo de la normalización su función es desarrollar, promover y guiar la aplicación de las Normas Técnicas Colombianas. (Normalización - Icontec, n.d.)

### 5.3.2. NTC 4109

Esta norma establece la clasificación, características físicas y mecánicas, designación y métodos de ensayo para bordillos, cunetas y topellantas<sup>1</sup> de concreto, prefabricados o construidos en el sitio, para uso en redes viales urbanas, carreteras nacionales o en zonas para uso peatonal. (Técnica, 2008)

### 5.3.3. NTC 2871

Esta norma es una adopción idéntica (IDT) por traducción de la norma Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading) ASTM C 78:2002

Este método de ensayo se utiliza para determinar la resistencia del concreto a la flexión mediante el uso de una viga simple con carga en los tercios medios. (ICONTEC, 1997)

### 5.3.4. NSR- 10 Titulo C

El título C de la NSR-10 está basado en el documento “Requisitos de Reglamento para concreto estructural (ACI 318”-8)” preparado por Comité ACI 318 del American Concrete Institute al cual se le han introducido modificaciones para adaptarlo al medio colombiano. (AIS, 2010)

El título C proporciona los requisitos mínimos para el diseño y la construcción de elementos de concreto estructural de cualquier estructura construida según los requisitos NSR-10 del cual el título C forma parte. Este también cubre la evaluación de resistencia de estructuras existentes. (AIS, 2010)

### 5.3.5. Manual para el diseño y construcción del espacio público

Este manual es un instrumento que define los parámetros y elementos para el diseño y la construcción de los componentes básicos del espacio público de la ciudad de Bucaramanga.

Las personas que participan tanto en el diseño como en la construcción del espacio público, son profesionales y/o técnicos idóneos que conocen los procedimientos de construcción que garantizan la estabilidad y seguridad de las obras ejecutadas.

Cualquier fallo o accidente resultante del mal diseño o construcción de dicho espacio público y sus componentes o de la mala utilización de la información contenida en el presente documento, no conllevará responsabilidad alguna para la administración municipal, la oficina asesora de planeación de Bucaramanga, o para los profesionales que participaron en la elaboración de este manual. (Alcaldía de Bucaramanga, 2013)

## 5.4. MARCO AMBIENTAL

### 5.4.1. Problemática ambiental del plástico residual

El polipropileno es empleado para la fabricación de múltiples elementos de uso diario como baldes, recipientes, autopartes e incluso ropa deportiva. Sin embargo, con este material se hacen elementos en plástico de un solo uso, como el caso de las botellas y las tapas de plástico. En Bogotá, en el relleno sanitario Doña Juana por día llegan más de 800 toneladas de residuos plásticos que se terminan desperdiciando, creando grandes emisiones de CO<sub>2</sub> contaminando el medio ambiente de la ciudad y afectando la salud pública.

#### 5.4.1.1. Residuos sólidos en Colombia

Según datos de la Superintendencia de Servicios Públicos (2017) (en adelante, SSP) en Colombia se generaron 10.3 millones de toneladas de residuos sólidos (SSP, 2018). En promedio, Colombia dispuso alrededor de 30.081 Ton/día de residuos sólidos. La cifra promedio de generación de residuos sólidos en un hogar colombiano es de 4.3 Kg/día (DANE, 2018)

Según información del año 2017, en el caso de Bogotá, en la principal ciudad del país se generan diariamente 6.265 toneladas. De esto, 56% corresponden a plásticos donde se incluyen los de un solo uso. Esta cifra demuestra que: i) más de la mitad de los residuos generados por los 45,5 millones de colombianos son potencialmente reducibles, reusables e incluso reciclables y; ii) la capacidad de carga de los rellenos sanitarios<sup>1</sup> podría aumentar con un adecuado y efectivo manejo de residuos sólidos (SSP, 2018).

Es importante resaltar que el consumo de este material plástico en Colombia es de 1.250.000 ton/año (2019, DANE) en materias primas, materiales y empaques consumidos y comprados. Además, en promedio un colombiano genera 24 kg al año (DANE, 2018).

Las ciudades son los lugares en donde hay un mayor consumo generalizado de bienes y servicios como agua, energía, alimentos y transporte, por lo tanto, son el lugar en donde se generan grandes volúmenes de residuos. Esto, sumado a que las personas se acostumbraron a la inmediatez y la comodidad referentes a un ritmo de vida frenético, han llevado a que el cuidado del ambiente y el interés por un desarrollo sostenible hayan pasado a segundo plano.  
(Universidad de los Andes & Greenpeace Colombia, 2019)

#### 5.4.1.2. Problemática ambiental

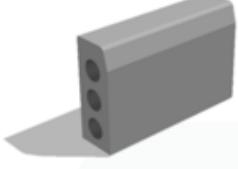
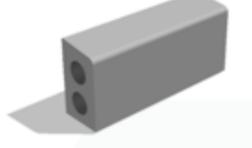
De acuerdo con Crawford (2017), hay aproximadamente 150 millones de toneladas de plásticos en el océano y aproximadamente 8 millones de toneladas de plásticos ingresan anualmente en él. Teniendo en cuenta estos datos, se predice que la cantidad de plástico que ingresa al océano cada año aumentará a alrededor de 16 millones de toneladas para 2030, y aproximadamente a 32 millones de toneladas para 2050, por lo cual se estima que, en términos de peso, habrá más plásticos en el océano que peces en 2050. Estos plásticos acaban en el océano debido a que son tan ligeros que se transportan fácilmente por medio del viento o los ríos que desembocan en el mar (Crawford, 2017)

Las Naciones Unidas señalan que los plásticos, desechos y demás residuos que llegan por las corrientes marinas y de los ríos quedan atrapadas en las raíces de los árboles de mangle generando contaminación y cambiando la función original del ecosistema. Los desechos de plásticos que se encuentran con más frecuencia son botellas, empaques de comida, bolsas plásticas, así como recipientes de icopor (ONU, 2016). A su vez, la mencionada organización resalta que aunque son bien conocidos los beneficios de estos ecosistemas, la falta de conciencia sobre el deterioro y el estado actual hace que la situación ecológica de los manglares siga empeorando (ONU, 2016).

## 6. METODOLOGÍA

Los elementos que se modelaran para la investigación corresponden a tres tipos diferentes de sardinel que se especifican en la tabla 5, cada sardinel se modela sin refuerzo y con el refuerzo especificado, en este caso, barras de acero y barras de polipropileno.

**Tabla 5**  
Elementos a modelar

Sardinel A10 sin refuerzo	Sardinel BR-4 sin refuerzo	Sardinel especial – Rampa
Sardinel A10 reforzado con acero	Sardinel BR-4 reforzado con acero	Sardinel especial – Rampa reforzado con acero
Sardinel A10 reforzado con polipropileno	Sardinel BR-4 reforzado con polipropileno	Sardinel especial – Rampa reforzado con polipropileno
		

Nota. Los tipos de sardinel expuestos cumplen con la misma función general, sin embargo, su geometría permite que se puedan adaptar a diferentes superficies.

La modelación en cada uno de los elementos está basada por un proceso patrón de cinco pasos. El diseño del elemento, la caracterización del mismo, se definen las ubicaciones de los apoyos y de las cargas, se ejecuta el modelo y finalmente se obtienen las gráficas que se deseen.

Las gráficas obtenidas en los diferentes modelos se clasifican en tres partes, es decir, primero se realiza una modelación en donde se observa la zona elástica, luego la zona plástica y finalmente el punto de rotura. Por lo anterior, cada elemento consta de tres gráficas, las cuales en realidad conforman el comportamiento grafico de la fuerza contra el desplazamiento que sufre dicho elemento.

### 6.1. Diseño del elemento

El elemento inicialmente se dibuja en dos dimensiones con coordenadas cartesianas en el software AutoCAD, allí se ilustra el extremo del sardinel con sus respectivas medidas como se da evidencia en la ilustración 2. Una vez terminado el plano este se guarda en formato .DFX con el fin de poder ser exportado al software Abaqus.

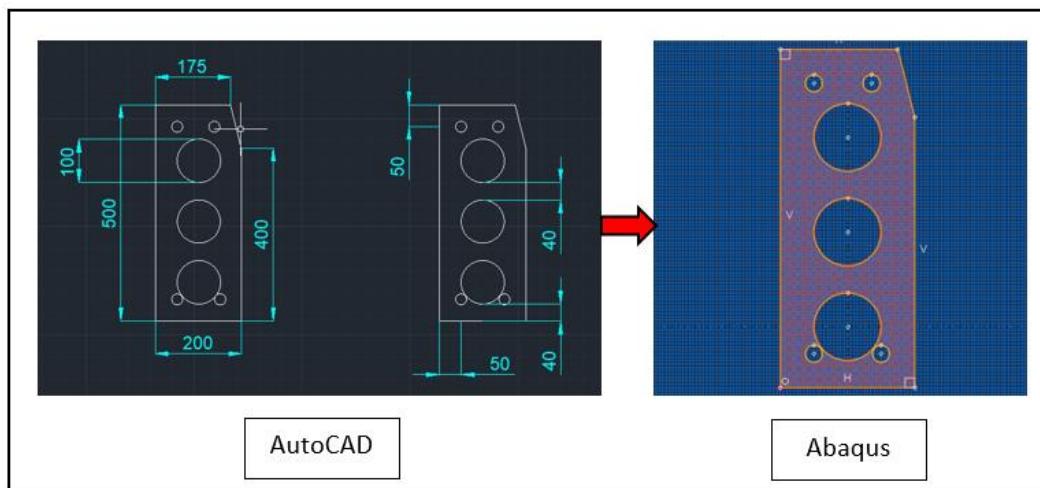


Ilustración 2 Exportación del modelo de AutoCAD a Abaqus

El elemento, cuando es importado en Abaqus es modificado para asignarle una profundidad, es decir, adoptar un valor en el eje z para generar una tercera dimensión y que así

se observe el elemento de manera sólida. La ilustración 3 representa un sardinel A10 con todas sus características geométricas.

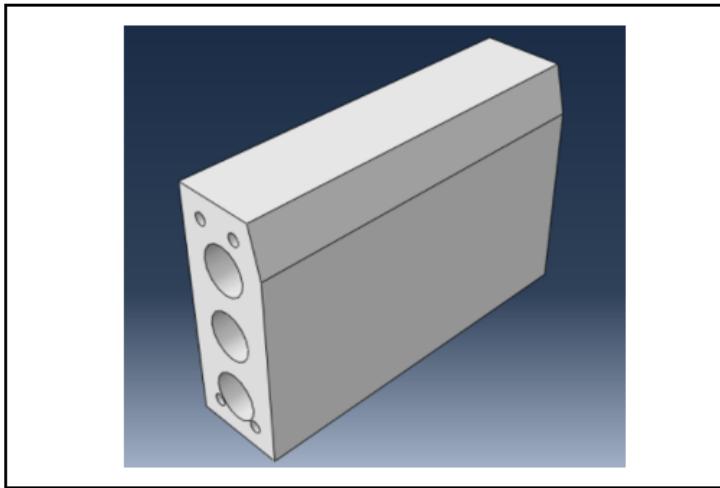


Ilustración 3 Sardinel de tres dimensiones en Abaqus

En este punto de la modelación del elemento se asegura que el modelo tiene las dimensiones especificadas por los planos correspondientes.

## 6.2. Caracterización de los elementos

La función “Property” en Abaqus brinda la opción de definir las propiedades de cada uno de los elementos que se emplearan en la modelación.

Para definir el comportamiento elástico de los elementos, el software requiere conocer datos como la densidad, el módulo de elasticidad también conocido como el módulo de Young y la relación de Poisson de cada uno de los materiales de estudio. Mientras que, para obtener la gráfica representativa de la zona plástica del elemento, se tienen en cuenta variables como la tensión de la fluencia y la deformación plástica de los materiales integrados. Los datos necesarios para ilustrar los gráficos correspondientes se encuentran ubicados en la tabla 6.

**Tabla 6.**  
*Propiedades requeridas por Abaqus*

Material	Densidad [Kg/mm <sup>3</sup> ]	Módulo de elasticidad [Mpa]	Relación de Poisson	Tensión de fluencia [Mpa]	Deformación plástica
Concreto	0.000002238	21538.12	0.2	21	0
Acero	0.00000785	200000	0.3	270	0
Polipropileno	0.0000009	1223	0.416	41.4	0

Nota. El valor obtenido del módulo de elasticidad del concreto se obtiene mediante la siguiente ecuación propuesta en la NSR-10 título C Ec=4700√(f' c).  
 Datos recuperados de "Polipropileno", UNIVERSIDAD DE BARCELONA, s.f. (<http://www.ub.edu/cm/materials/es/content/polipropileno>)  
 Datos recuperados de "Acero", ALACERO, s.f. (<https://www.alacero.org/es/page/el-acero/caracteristicas-del-acero>)  
 Datos recuperados de "Hormigón-propiedades", s.f. (<https://www.engineeringtoolbox.com/concrete-properties>)  
 Datos recuperados de "Resistencia a la tracción del polipropileno", (2015-2021) (<http://polymerdatabase.com/Commercial%20Polymers/PP.html>)  
 Datos recuperados de "Resistencia a la tracción del acero", s.f. ([https://www.steelconstruction.info/Steel\\_material\\_properties](https://www.steelconstruction.info/Steel_material_properties))

### 6.3. Reacciones

Los elementos son sometidos a ensayos de flexión basados en la NTC 2871 en donde la carga es aplicada en los tercios medios, así como se indica en la ilustración 4. Mientras que, los apoyos están ubicados a una pulgada de cada extremo.

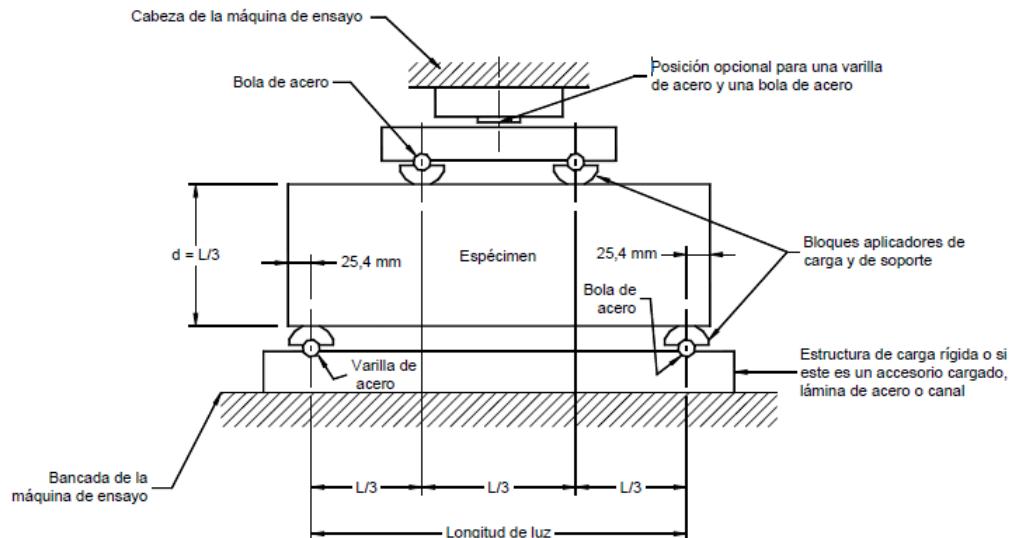


Ilustración 4 Aparato de carga para ensayos de flexión en especímenes de concreto.  
 Nota. Este aparato se puede utilizar invertido. Si la máquina de ensayo aplica fuerzas a través de una cabeza de asiento esférico, el pivote central se puede omitir, siempre y cuando se aplique un bloque de carga sobre una varilla y el otro sobre una esfera.  
 Datos recuperados de "NTC-2871" (ICONTEC, 1997)

La norma indica que el aparato de carga debe contar con un grosor específico en cada apoyo, sin embargo, el software Abaqus únicamente permite distribuir la carga linealmente sobre el área transversal en donde se ve afectado el elemento.

Una vez especificadas las ubicaciones de todas las reacciones, el software enseña la dirección de las fuerzas aplicadas, en caso de estar correcto se procede a seguir con el modelo. Las direcciones y las posiciones tanto de las cargas, como de los apoyos se ven reflejados en la ilustración 5.

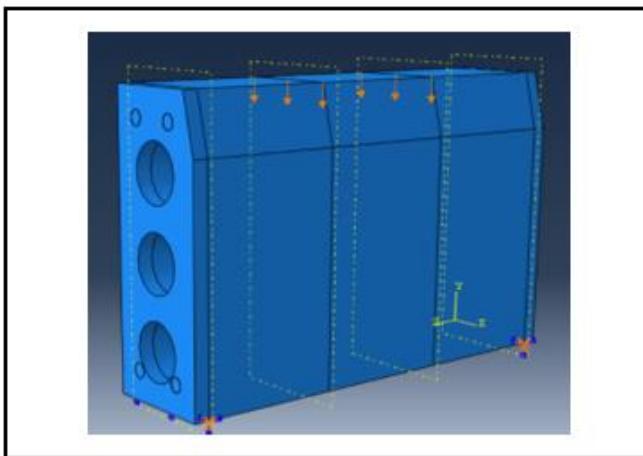


Ilustración 5 Ubicación cargas y apoyos

Para concluir con la parte de diseño del modelo este se debe distribuir en pequeños elementos finitos, de manera predeterminada el elemento se secciona por tetraedros que se distribuyen a lo largo de toda la superficie del elemento tal como se evidencia en la ilustración 6, esta actividad de separar el elemento, principalmente se realiza para que el software pueda obtener una lectura más completa de cada una de las partes de los elementos, desde su superficie, su masa sólida y las zonas de aligeramiento.

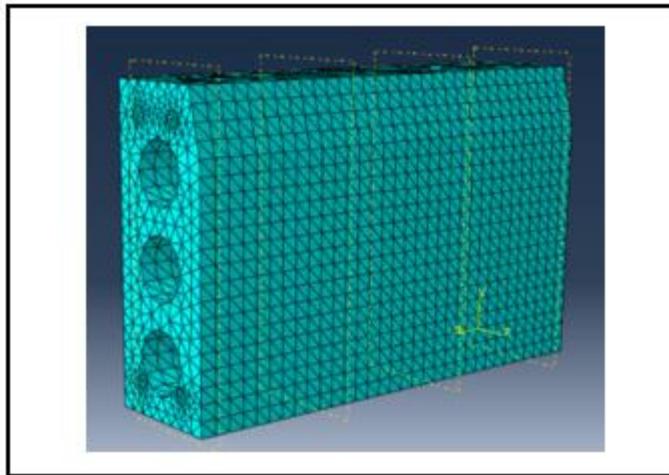


Ilustración 6 Distribución tetraédrica del elemento

#### 6.4. Ejecución del modelo

Para concluir con la modelación del elemento, este debe ser ejecutado, es decir, el software realiza un análisis completo en donde se da evidencia de los posibles errores que se hayan presentado en la caracterización de los materiales o en el manejo del programa. Por otra parte, se resaltan las advertencias que se consideran de mayor importancia y que podrían afectar los resultados de la modelación.

La ilustración 7 refleja el análisis numérico que se realiza de acuerdo con la precisión que se desee ejecutar el modelo, en este caso la precisión es proporcional al tiempo estimado de lectura de todos los tetraedros. Este tiempo de lectura se determina depende del procesador de la maquina donde se esté desarrollando la modelación, en el caso de los tres sardineles, este tiempo corresponde a 0.1 segundos.

modelacion-10mm Monitor							
Job: modelacion-10mm Status: Completed							
Step	Increment	Total Time	CPU Time	Step Time	Stable Time Inc	Kinetic Energy	Total Energy
1	1448	0.00274014	120.1	0.00274014	1.67414e-06	213.675	2.2585
1	2753	0.00500081	201.1	0.00500081	1.67412e-06	696.904	2.29737
1	4749	0.00840225	321	0.00840225	1.75578e-06	1982.88	2.36858
1	5681	0.01000001	376.5	0.01000001	1.67408e-06	2966.13	2.37544
1	7703	0.0134106	496.3	0.0134106	1.67407e-06	6020.07	2.39209
1	8647	0.01500003	551.9	0.01500003	1.67408e-06	7501.63	2.4068
1	10682	0.0184185	671.8	0.0184185	1.6741e-06	9394.27	2.43948
1	11602	0.02000003	726	0.02000003	1.7558e-06	9391.43	2.47183
1	13628	0.0234499	845.9	0.0234499	1.75583e-06	7454.36	2.54065
1	14541	0.02500003	900	0.02500003	1.67412e-06	6071.16	2.55566
1	16569	0.0283979	1019.9	0.0283979	1.67406e-06	2907.35	2.57312
1	17526	0.03000005	1076.6	0.03000005	1.67409e-06	1860.6	2.58563
1	19554	0.0334207	1196.5	0.0334207	1.67408e-06	504.131	2.59308
1	20495	0.03500004	1252.6	0.03500004	1.67406e-06	355.255	2.61592
1	22502	0.0383721	1372.5	0.0383721	1.67398e-06	381.972	2.66
1	23475	0.04000007	1431.1	0.04000007	1.67402e-06	347.058	2.64197
1	25466	0.0433486	1551	0.0433486	1.67399e-06	650.068	2.68982
1	26454	0.0450015	1611.4	0.0450015	1.67399e-06	1084.8	2.7326
1	28437	0.04832	1731.3	0.04832	1.67405e-06	3098.29	2.71741
1	29440	0.05000009	1791.9	0.05000009	1.67394e-06	4555.28	2.75024
1	31429	0.0533309	1911.8	0.0533309	1.674e-06	7810.67	2.75537
1	32427	0.0550002	1971.7	0.0550002	1.67399e-06	9041.62	2.76245
1	34113	0.0582728	2001.6	0.0582728	1.67308e-06	603.6	2.77981

Log Errors ! Warnings Output Data File Message File Status File

Submitted: Tue Jan 26 11:17:48 2021

Started: Analysis Input File Processor

Search Text

Text to find:   Match case

Ilustración 7 Ejecución del modelo

Durante la ejecución, el programa realiza la cuenta de la energía cinética empleada en cada incremento de tiempo, así como el tiempo empleado por el procesador. En la parte inferior se detallan las advertencias que el software considera importantes, generalmente estas advertencias hacen referencia a los intervalos del tiempo de lectura establecidos. Por otra parte, también se citan los errores en caso de presentarse, en este caso, los errores generalmente corresponden a una mala caracterización de los materiales.

## 6.5. Gráficas

Finalmente como resultado de una correcta modelación, el programa ilustra diferentes tipos de graficas en donde se puede comparar el comportamiento elástico y plástico de cada uno de los sardineles con cada uno de los refuerzos implementados, en la ilustración 8 se detalla un ejemplo de la gráfica obtenida, en este caso de fuerza contra desplazamiento en un rango elástico.

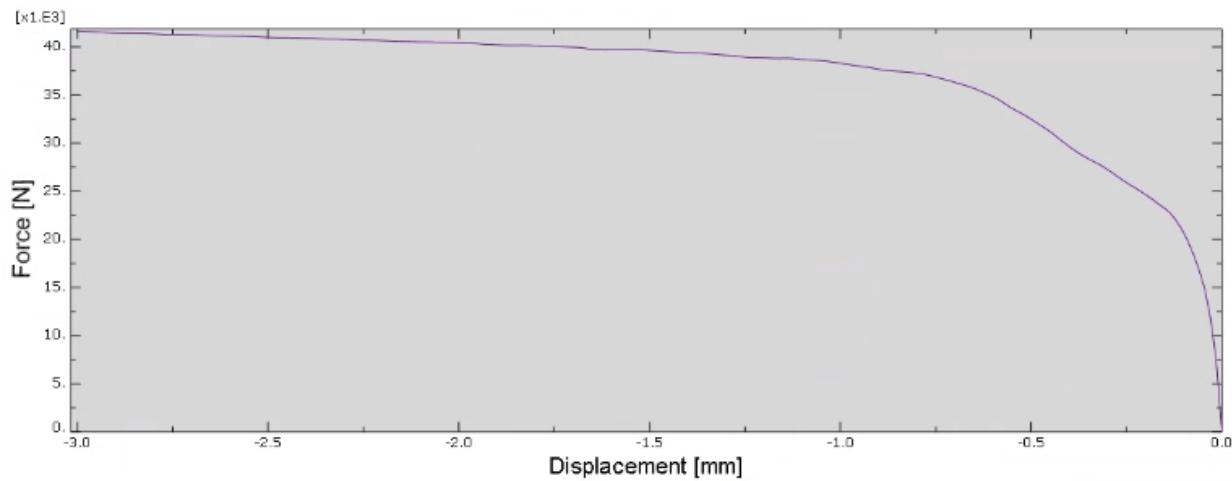


Ilustración 8 Gráficas obtenidas por Abaqus. Nota. Las unidades de fuerza corresponden a N/mm<sup>2</sup> o MPa, mientras que, las unidades de desplazamiento están mm.

El primer grupo de graficas corresponde al comportamiento elástico de los tres sardineles sin refuerzo y con los dos refuerzos propuestos, para obtenerlas únicamente se introducen las propiedades elásticas de cada material, es decir, el módulo de elasticidad y la relación de Poisson. Inicialmente la gráfica se limita hasta que la aplicación de carga genere un desplazamiento de 10 mm en el elemento.

En el segundo grupo se incorporan los datos que representen el comportamiento plástico, como lo son la tensión de fluencia y la deformación plástica que tiene cada material,

para estas gráficas es necesario extender el límite de desplazamiento hasta 30 mm, todo esto para tener una claridad del punto en el que la curva se estabiliza y mantiene su trayectoria de manera constante.

A pesar de que el programa genera la representación gráfica de estas curvas, también brinda la serie de los datos numéricos que se emplean para realizar las diferentes series. De acuerdo con lo anterior, estos datos son graficados en Excel con el fin de ilustrar las curvas de los refuerzos de cada sardinel en la misma gráfica y así comparar visualmente el comportamiento de cada elemento.

## 7. CAPITULOS

El primer grupo de representaciones graficas corresponde a la proyección lineal del esfuerzo de cada sardinel. Para determinar la zona elástica y plástica de cada elemento, la modelación se divide en dos secciones, en el primer caso el desplazamiento se limita a 10 mm, mientras que en el segundo, el desplazamiento llega a ser de 30 mm. La modelación de la zona elástica tendrá en cuenta propiedades como el módulo de elasticidad y relación de Poisson. Por otro lado, la modelación de la zona plástica tiene como prioridad incluir los valores de la tensión de fluencia y la deformación plástica de cada material.

En el caso del diseño de las varillas de acero y de las barras de polipropileno se toman como referencia las especificaciones de la NSR-10 en el titulo c ilustradas en la tabla 7.

Tabla 7 Dimensiones nominales de las barras de refuerzo

Designación de la barra (véase la nota)	Diámetro de referencia en pulgadas	DIMENSIONES NOMINALES			Masa kg/m
		Diámetro mm	Área mm <sup>2</sup>	Perímetro mm	
No. 2	1/4"	6.4	32	20.0	0.250
No. 3	3/8"	9.5	71	30.0	0.560
No. 4	1/2"	12.7	129	40.0	0.994
No. 5	5/8"	15.9	199	50.0	1.552
No. 6	3/4"	19.1	284	60.0	2.235
No. 7	7/8"	22.2	387	70.0	3.042
No. 8	1"	25.4	510	80.0	3.973
No. 9	1-1/8"	28.7	645	90.0	5.060
No. 10	1-1/4"	32.3	819	101.3	6.404
No. 11	1-3/8"	35.8	1006	112.5	7.907
No. 14	1-3/4"	43.0	1452	135.1	11.380
No. 18	2-1/4"	57.3	2581	180.1	20.240

Nota. El número de la barra indica el número de octavos de pulgada del diámetro de referencia. Datos recuperados de “NSR-10 título c – tabla c.3.5.3-2” (AIS, 2010)

En el caso de ambos materiales, los elementos se modelaron con varillas y barras No. 8 o de una pulgada. El recubrimiento de igual manera fue determinado de acuerdo con esta normativa para el caso especial de estos elementos tiene un valor de 50 mm.

## 7.1. Zona elástica Sardinel A10

Una vez el sardinel es diseñado, con sus respectivas propiedades en cada uno de los materiales que lo componen, este mismo se modela aplicando una carga suficiente para que el desplazamiento alcance un valor de 10 mm en un tiempo establecido de 0.1 segundos. La lectura del comportamiento que el software alcanza a obtener en este periodo de tiempo se ve reflejado en la figura 1.

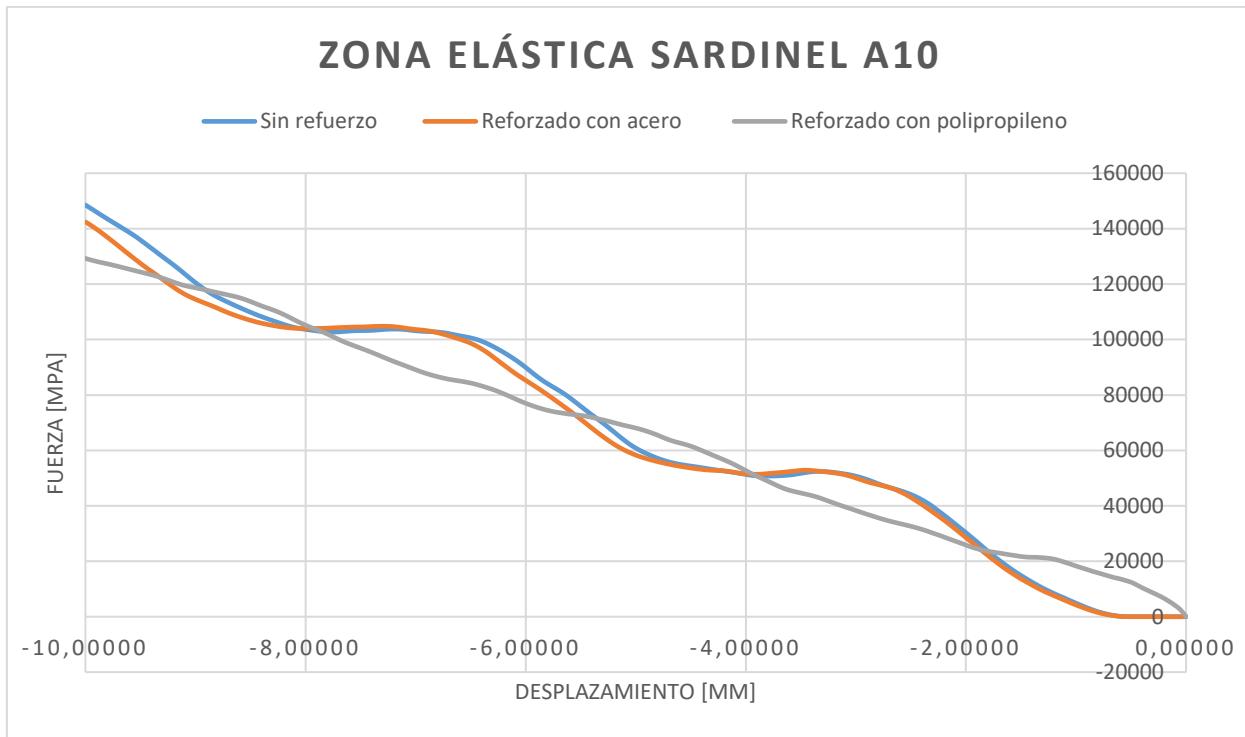


Figura 1 Zona elástica del sardinel A10

De acuerdo con las curvas obtenidas en la figura 1, se determinaron ciertas características, tales como el módulo de elasticidad y la energía disipada por cada tipo de refuerzo utilizado en este sardinel. El módulo de elasticidad resultante en el sardinel modelado sin refuerzo es de 14187 MPa, el del sardinel reforzado con acero es de 13722 MPa y finalmente el sardinel reforzado con polipropileno obtuvo un módulo de elasticidad de 12745 MPa.

Cada uno de estos parámetros anteriormente enunciados, fueron obtenidos calculando la pendiente de las curvas correspondientes para cada elemento, este proceso se realiza directamente desde Excel para mantener una mejor precisión.

La energía disipada es equivalente al área total bajo la curva, para calcular dicha área, se utiliza el procedimiento de la regla trapezoidal.

De igual manera, se calculó la energía para el sardinel sin refuerzo, reforzado con acero y polipropileno, con unos valores de 689,43 J, 670,86 J, y 661,81 J respectivamente.

## 7.2. Zona elástica Sardinel BR-4

La figura 2 representa el comportamiento elástico que presenta el sardinel BR-4 al tener un desplazamiento de 10 mm.

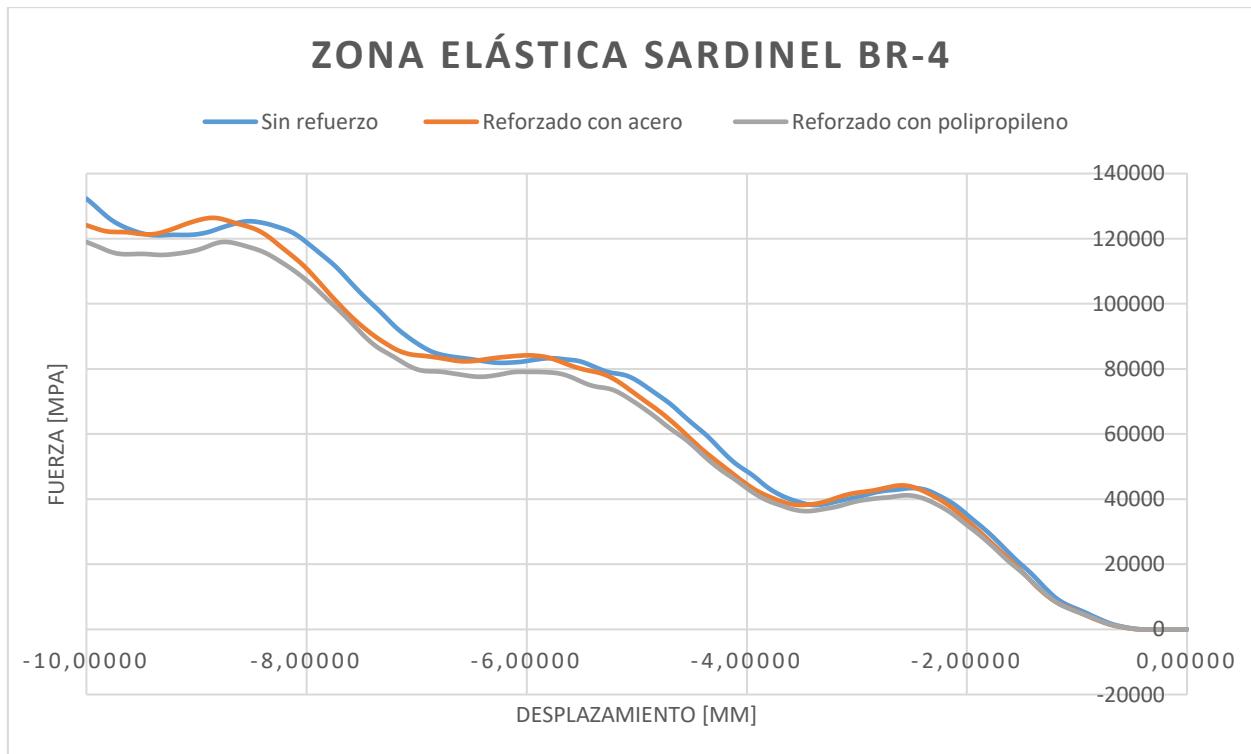


Figura 2 Zona elástica del Sardinel BR-4

La similitud que se presenta en las curvas de este elemento, son visualmente más evidentes que en el Sardinel A10. Sin refuerzo este elemento obtuvo un módulo de elasticidad de 13790, reforzado con acero de 13517 y con polipropileno 12840.

La energía total disipada es de 681,44 J para el sardinel BR-4 sin refuerzo, 661,13 J para el sardinel reforzado con acero y de 630,25 J para este mismo elemento reforzado con polipropileno.

### 7.3. Zona elástica Sardinel Especial Tipo B

La zona elástica, al igual que en los anteriores casos, se evalúa hasta que la carga aplicada genere un desplazamiento de 10 mm, en la figura 3 están graficadas las curvas resultantes de la simulación realizada.

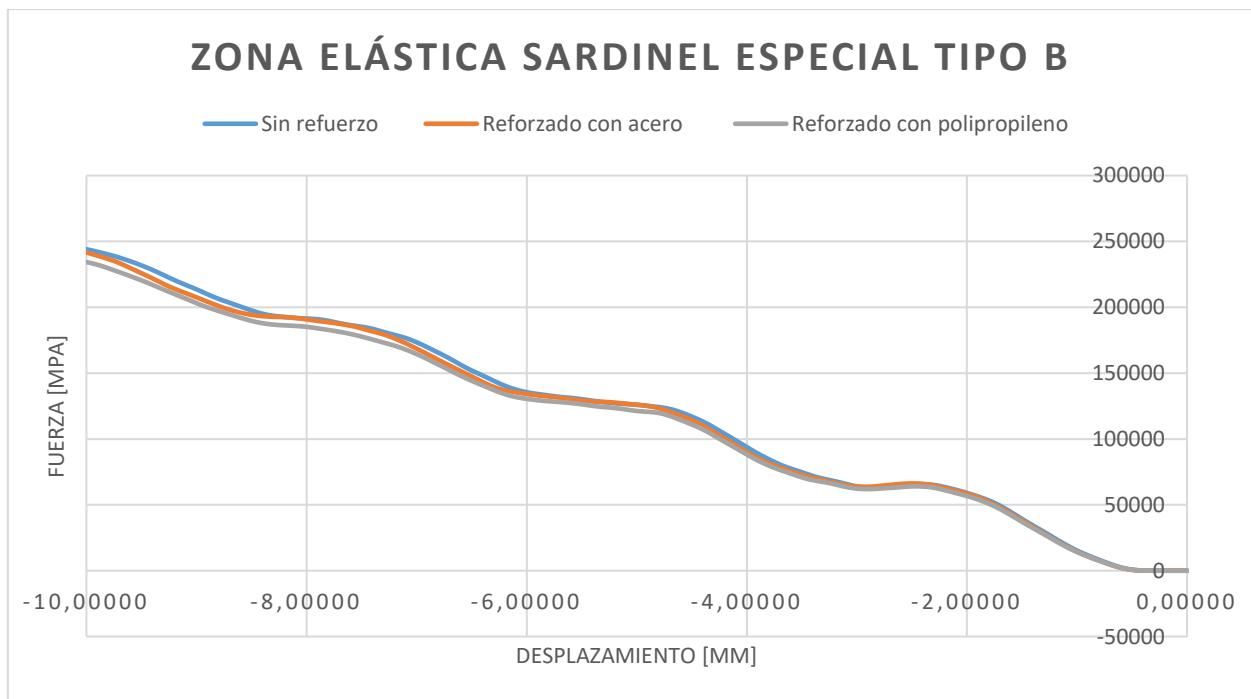


Figura 3 Zona elástica del Sardinel Especial Tipo B

Las pendientes obtenidas por Excel de cada una de las curvas representan el módulo de elasticidad que estos elementos obtienen en dicho rango elástico. De acuerdo con lo anterior, en el sardinel sin refuerzo se obtuvo un valor de 24338 MPa, en el sardinel reforzado con acero uno de 23901 MPa y en el sardinel reforzado con polipropileno 23287 MPa.

El área total bajo la curva, es decir, la energía disipada por el elemento sin refuerzo es de 1194,26 J, por el sardinel reforzado con acero es de 1173,86 J y por el sardinel reforzado con polipropileno finalmente es de 1143,55 J.

#### 7.4. Zona plástica Sardinel A10

Para observar la zona plástica de la modelación de los elementos, se extendió el desplazamiento ocasionado por la carga aplicada a 30 mm, esto con el fin de detallar el momento en el que la curva se estabiliza. En este punto de la modelación se registran los valores de tensión de fluencia y deformación plástica de cada material. La figura 4 representa el comportamiento plástico que tiene el sardinel A10 sin refuerzo y reforzado con los materiales propuestos.

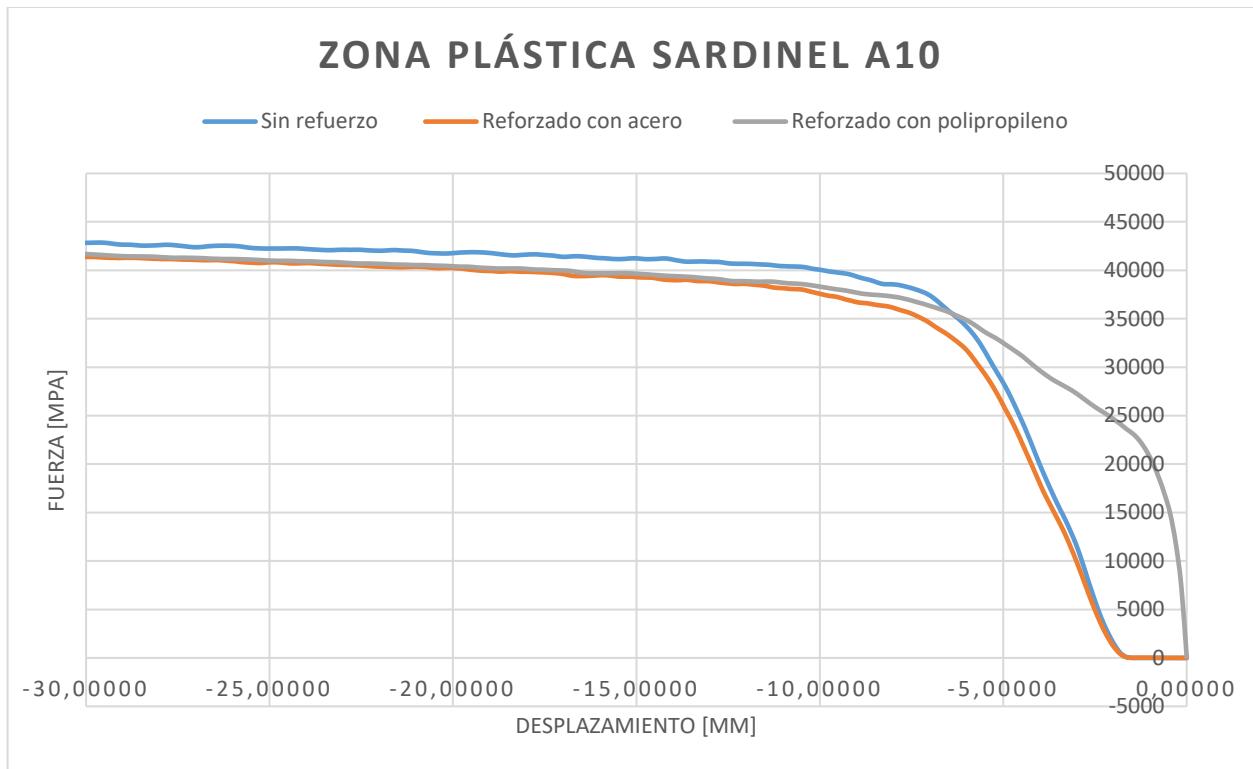


Figura 4 Zona plástica del Sardinel A10

El módulo de elasticidad de cada elemento se calcula de igual manera que se obtuvo para la zona elástica, no obstante, este valor se ve afectado por los nuevos parámetros incluidos y por el cambio en el desplazamiento.

Para este elemento se obtuvieron módulos de 1060,8 MPa para el sardinel sin refuerzo, de 1064,4 MPa para el sardinel reforzado con acero y de 584,1 MPa para el sardinel reforzado con polipropileno.

La energía disipada por el sardinel sin refuerzo es de 1064,94 J, por el sardinel reforzado con acero de 1012,86 J y finalmente, por el sardinel reforzado con polipropileno es de 1110,55 J.

## 7.5. Zona plástica Sardinel BR-4

La figura 5 ilustra el comportamiento plástico que tiene el sardinel BR-4 con cada uno de sus refuerzos al completar un desplazamiento de 30 mm.

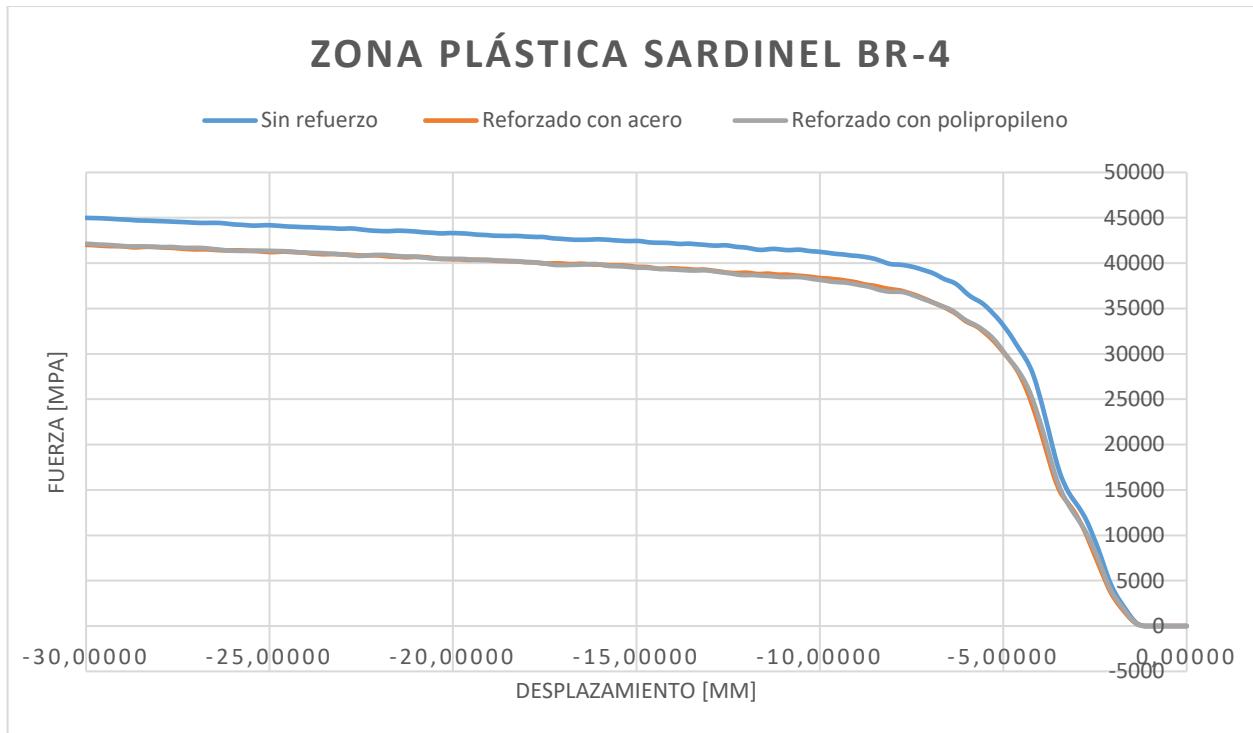


Figura 5 Zona plástica del Sardinel BR-4

Las curvas que representan el comportamiento del sardinel reforzado con acero y del sardinel reforzado con polipropileno visualmente presentan una gran similitud y esto se puede corroborar con el módulo de elasticidad obtenido en estos dos elementos. Para el caso del sardinel reforzado con acero, se tiene un módulo de elasticidad de 10075 MPa y para el sardinel reforzado con polipropileno de 10060 MPa. El sardinel sin refuerzo presento una diferencia importante con respecto a los otros dos elementos, con un módulo de 10504 MPa.

La energía disipada total por el sardinel que no lleva refuerzo es de 1117,35 J, de acuerdo con el gran parecido entre las curvas de los elementos reforzados, su energía disipada,

también es muy similar, para el sardinel reforzado con acero se obtuvo un valor de 1038,36 J y para el reforzado con polipropileno un valor de 1039,19 J.

### 7.6. Zona plástica Sardinel Especial Tipo B

El sardinel especial tipo B es el que presenta menores diferencias entre cada modelo, en la figura 6 las curvas de los elementos están alineadas de la misma forma con pequeñas variaciones.

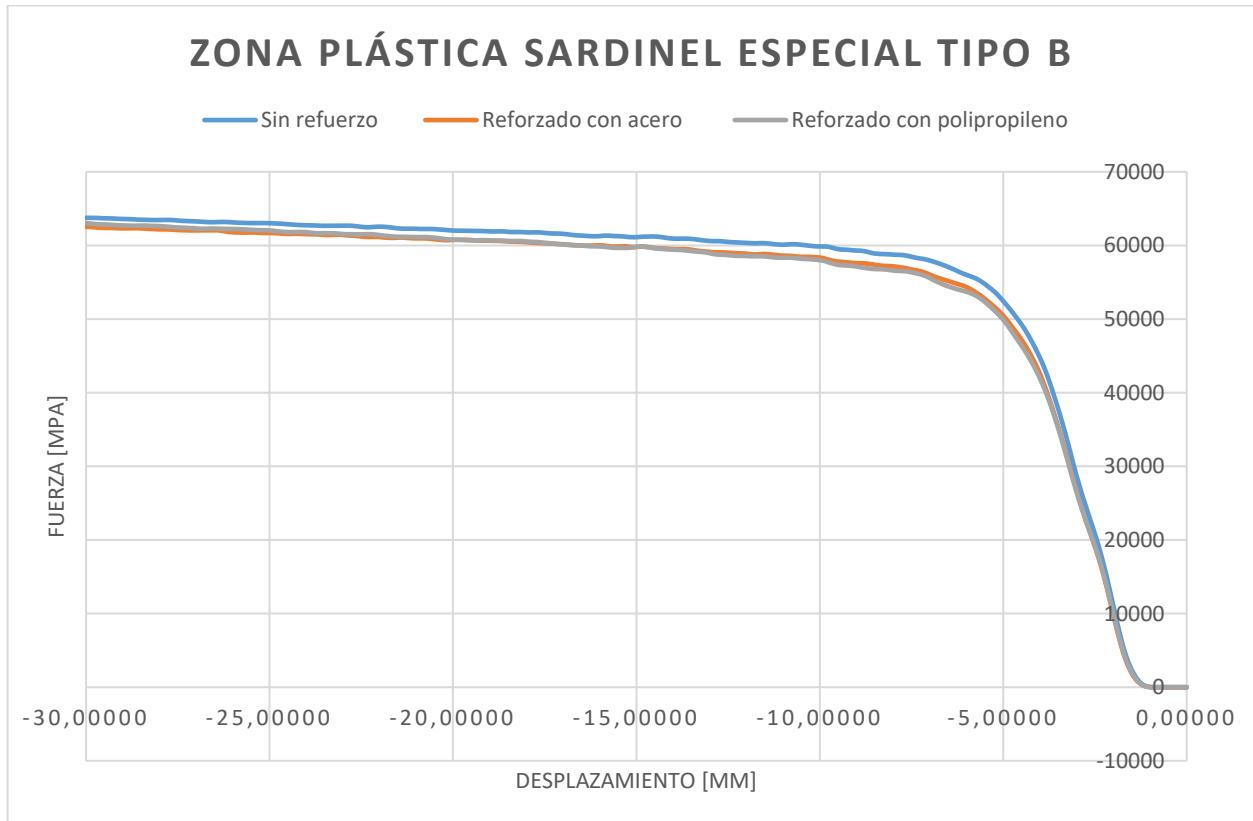


Figura 6 Zona plástica del Sardinel Especial Tipo B

El módulo de elasticidad del sardinel sin refuerzo, reforzado con acero y con polipropileno, equivale a 1313,7 MPa, 1323,2 MPa y 1351,3 MPa respectivamente. Es el sardinel que presenta mayor similitud en sus módulos en los tres modelos realizados.

La energía disipada por cada elemento, cumple con el parecido que se observa en la figura 7, los datos obtenidos para este parámetro corresponden a 1639,49 J para el sardinel sin refuerzo, 1596,82 J para el sardinel reforzado con acero y 1595,68 J para el sardinel reforzado con polipropileno.

## 7.7. Representación gráfica de distribución de carga en sardinel A10 sin refuerzo

Los puntos donde se aplicó la carga al sardinel A10 sin refuerzo durante la modelación se ven reflejados en la ilustración 9, donde también se observa la distribución que tiene la carga a lo largo de todo el elemento.

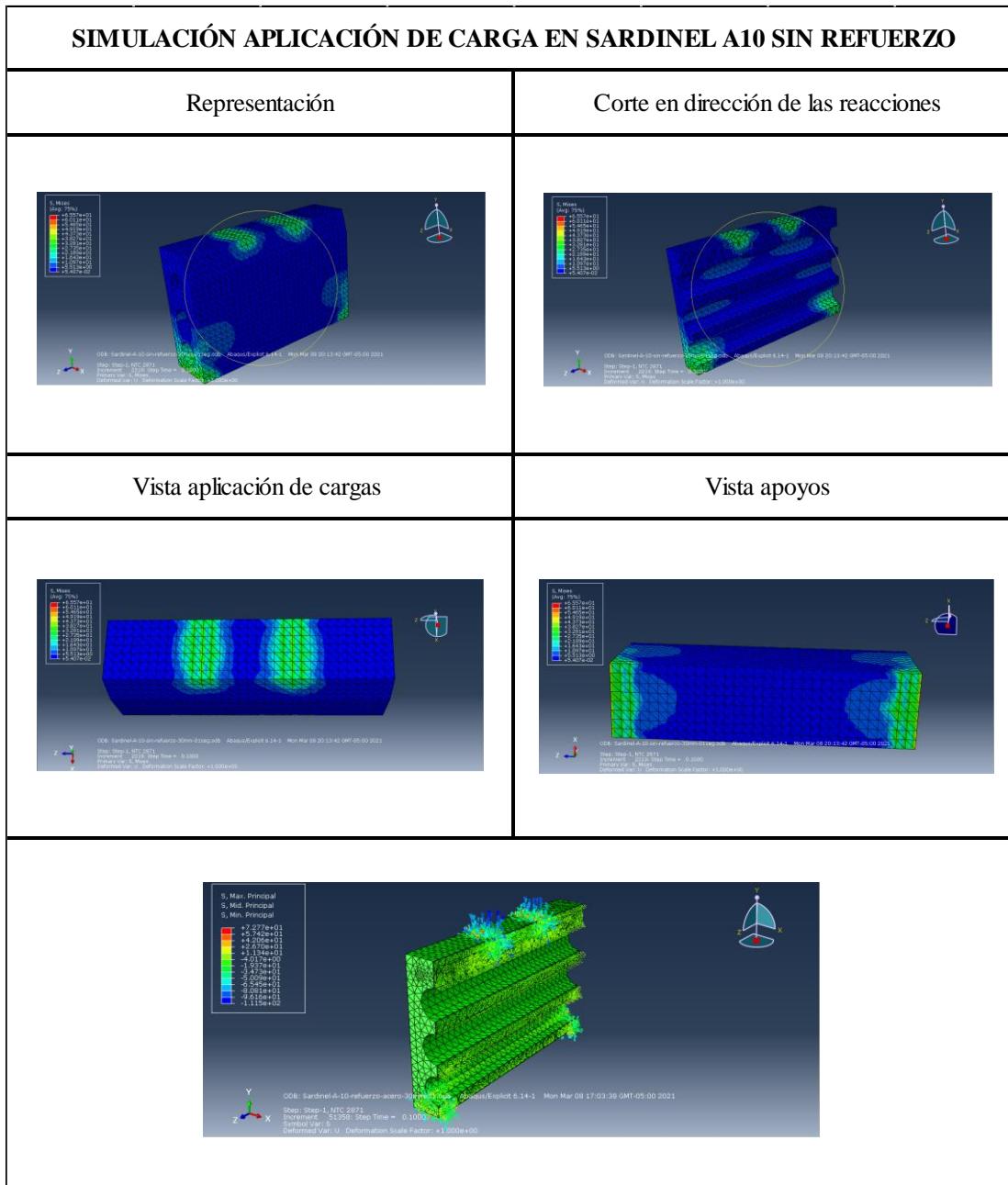


Ilustración 9 Simulación de aplicación de carga en sardinel A10 sin refuerzo

En la ilustración 9, la carga se concentra en los apoyos y en los puntos donde se aplicó la carga, no presenta una mayor distribución a lo largo del elemento, se puede observar que el centro del elemento no recibe ninguna parte de esta distribución. El elemento realizó un esfuerzo final de 65.57 MPa.

### **7.8. Representación gráfica de distribución de carga en sardinel A10 reforzado con acero**

La ilustración 10 representa la distribución de la carga sobre el sardinel A10 reforzado con acero en las zonas donde están actuando las fuerzas involucradas.

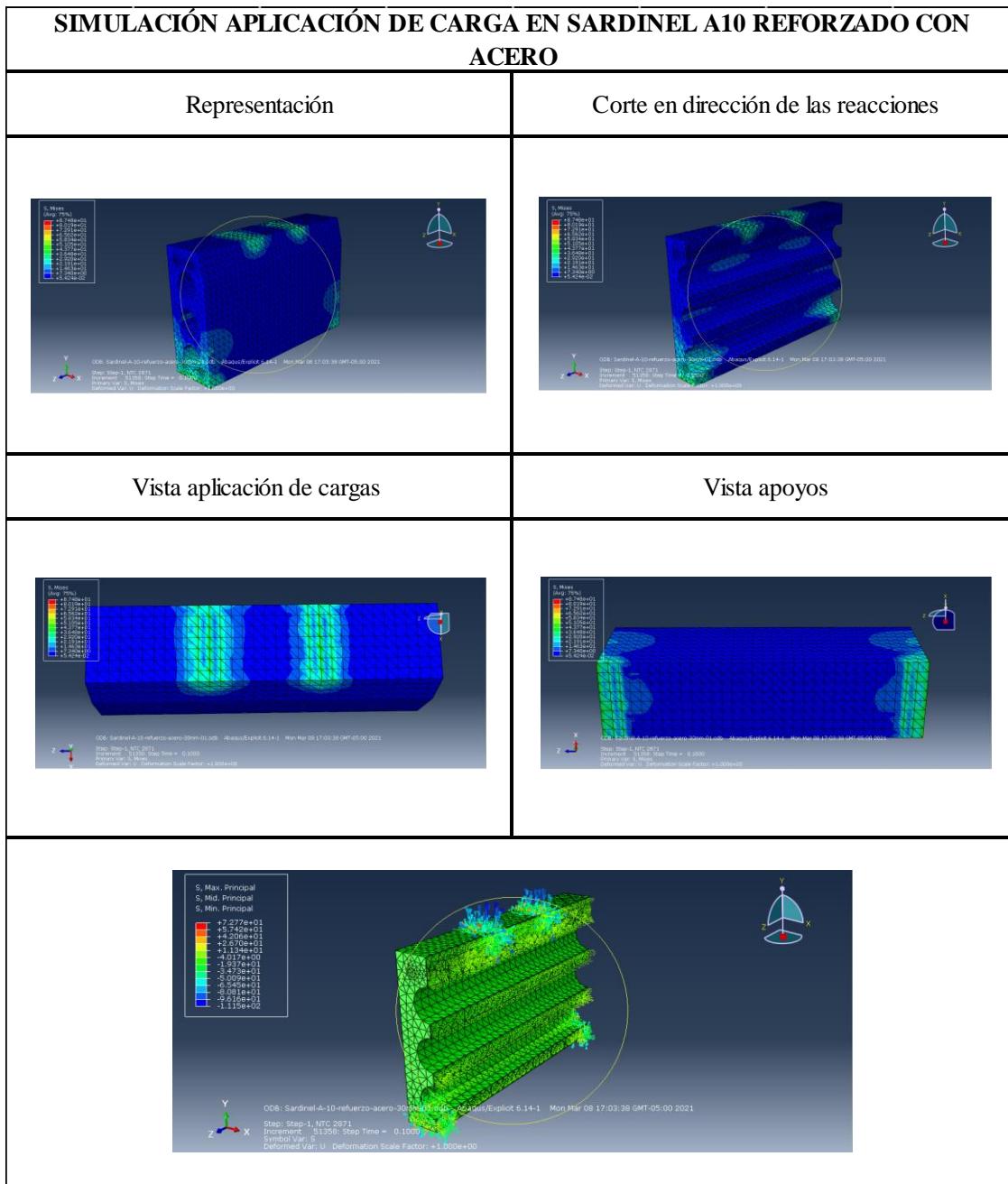


Ilustración 10 Simulación de aplicación de carga en sardinel A10 reforzado con acero

En la ilustración 10 la carga en este elemento se queda más agrupada en los puntos de contacto, con respecto al sardinel que no tiene refuerzo, esto se debe a la rigidez que brinda el acero dentro del sardinel. El elemento realizo un esfuerzo final de 87.48 MPa

## 7.9. Representación gráfica de distribución de carga en sardinel A10 reforzado con polipropileno

La distribución de la carga sobre el sardinel A10 reforzado con polipropileno en todas sus vistas superficiales y en su corte, se ve reflejada en la ilustración 11.

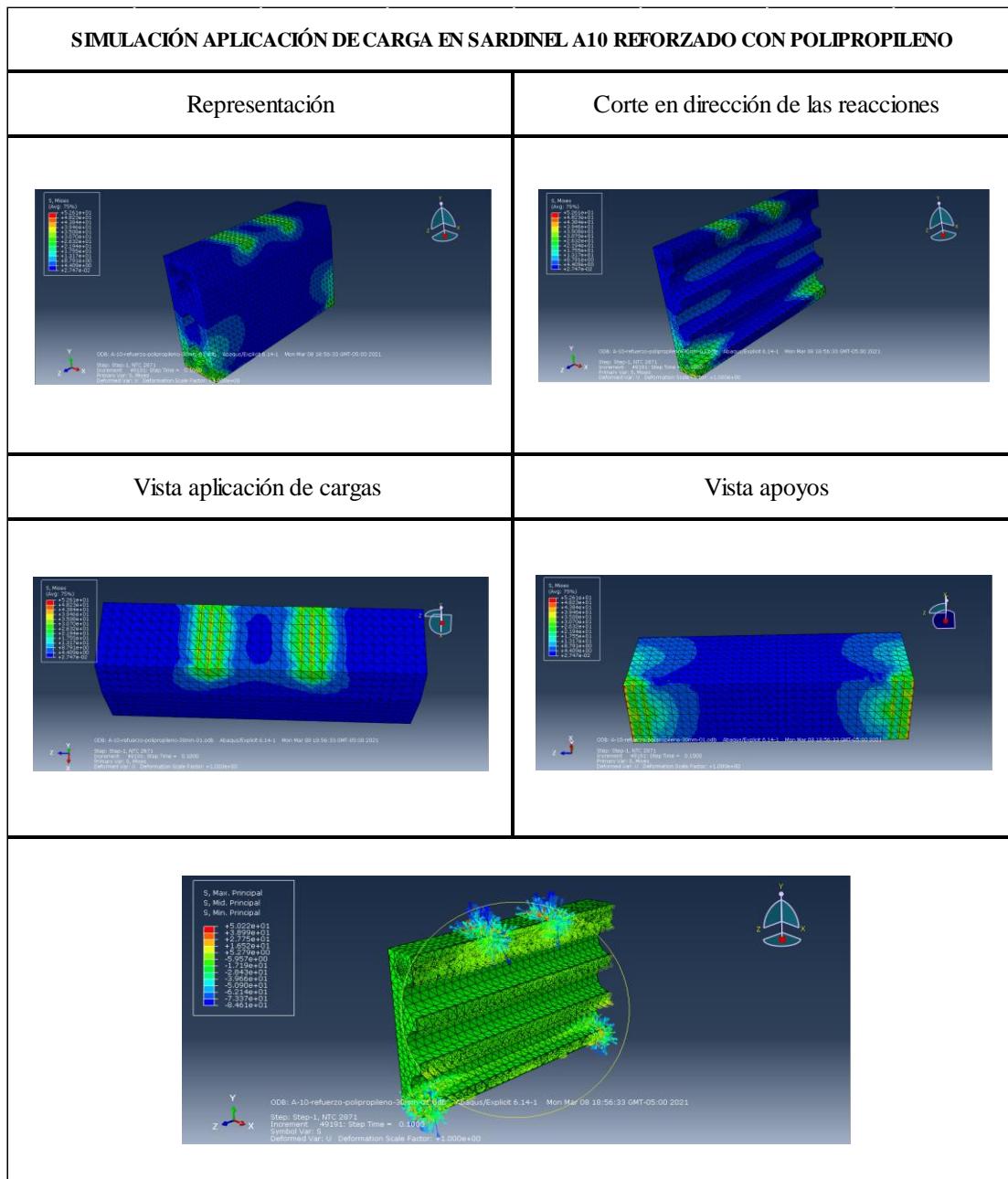


Ilustración 11 Simulación de aplicación de carga en sardinel A10 reforzado con polipropileno

Dentro del grupo del sardinel A10, este elemento es el que presenta una mejor distribución de la carga aplicada, se evidencia que la distribución llega hasta zonas muy centrales, que en los otros modelos no llega. El elemento realizó un esfuerzo final de 52.61 MPa.

#### **7.10. Representación gráfica de distribución de carga en sardinel BR-4 sin refuerzo**

Las imágenes de la simulación de la aplicación de cargas en el sardinel BR-4 sin refuerzo están incluidas en la ilustración 12, allí se observa como la distribución de la carga pasa por todas las vistas superficiales y por supuesto por el centro del elemento.

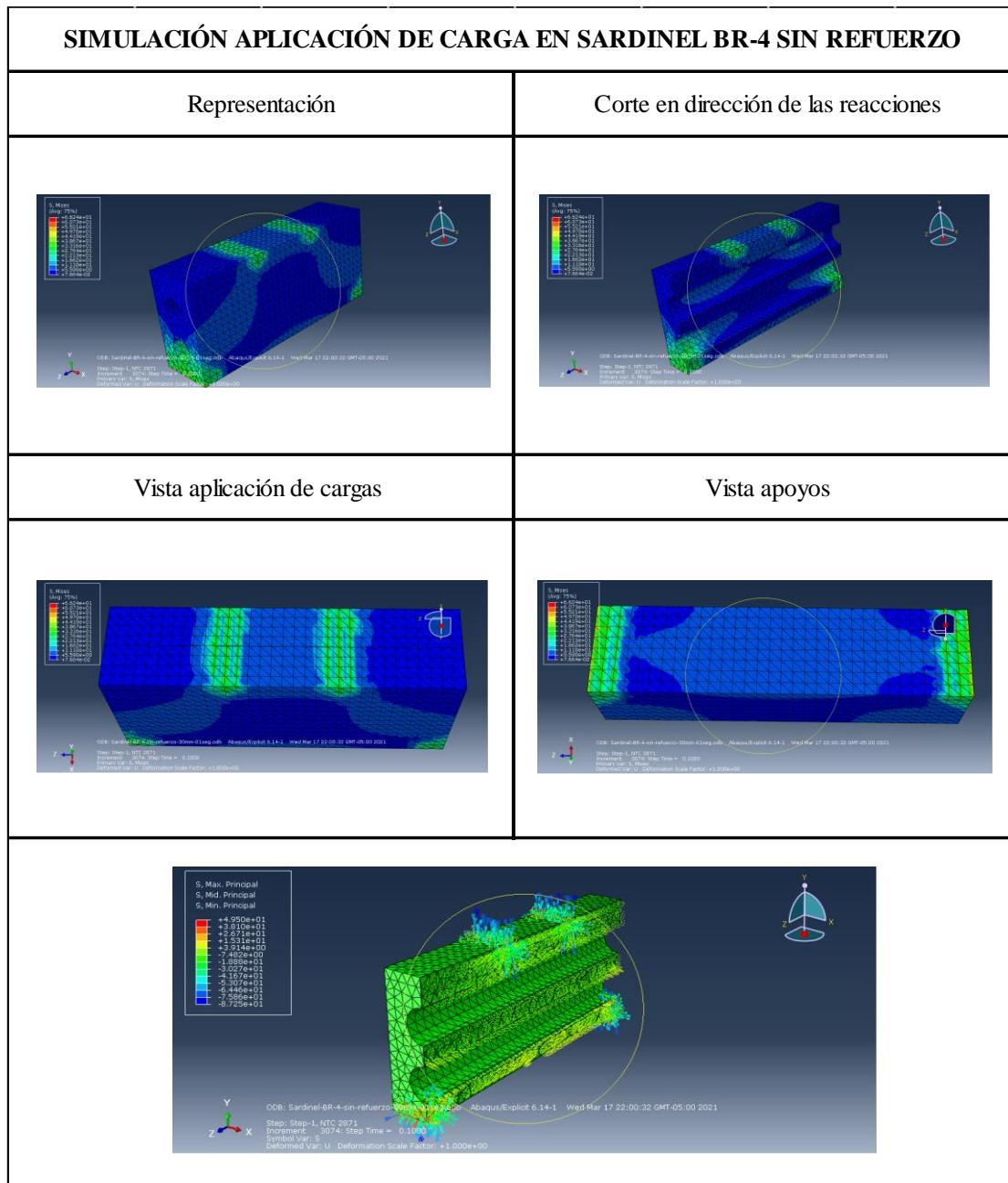


Ilustración 12 Simulación de aplicación de carga en sardinel BR-4 sin refuerzo

Con respecto a los elementos anteriores, en la ilustración 12 la carga se distribuye de mejor manera en este sardinel, porque el volumen de la carga a lo largo del sardinel llega a ser casi igual al volumen del elemento donde no se distribuye la carga. El elemento realizó un esfuerzo final de 66.24 MPa.

## 7.11. Representación gráfica de distribución de carga en sardinel BR-4 reforzado con acero

En la ilustración 13 están presentadas todas las vistas del sardinel BR-4 reforzado con acero y su respectiva distribución de la carga aplicada en la parte superior del elemento.

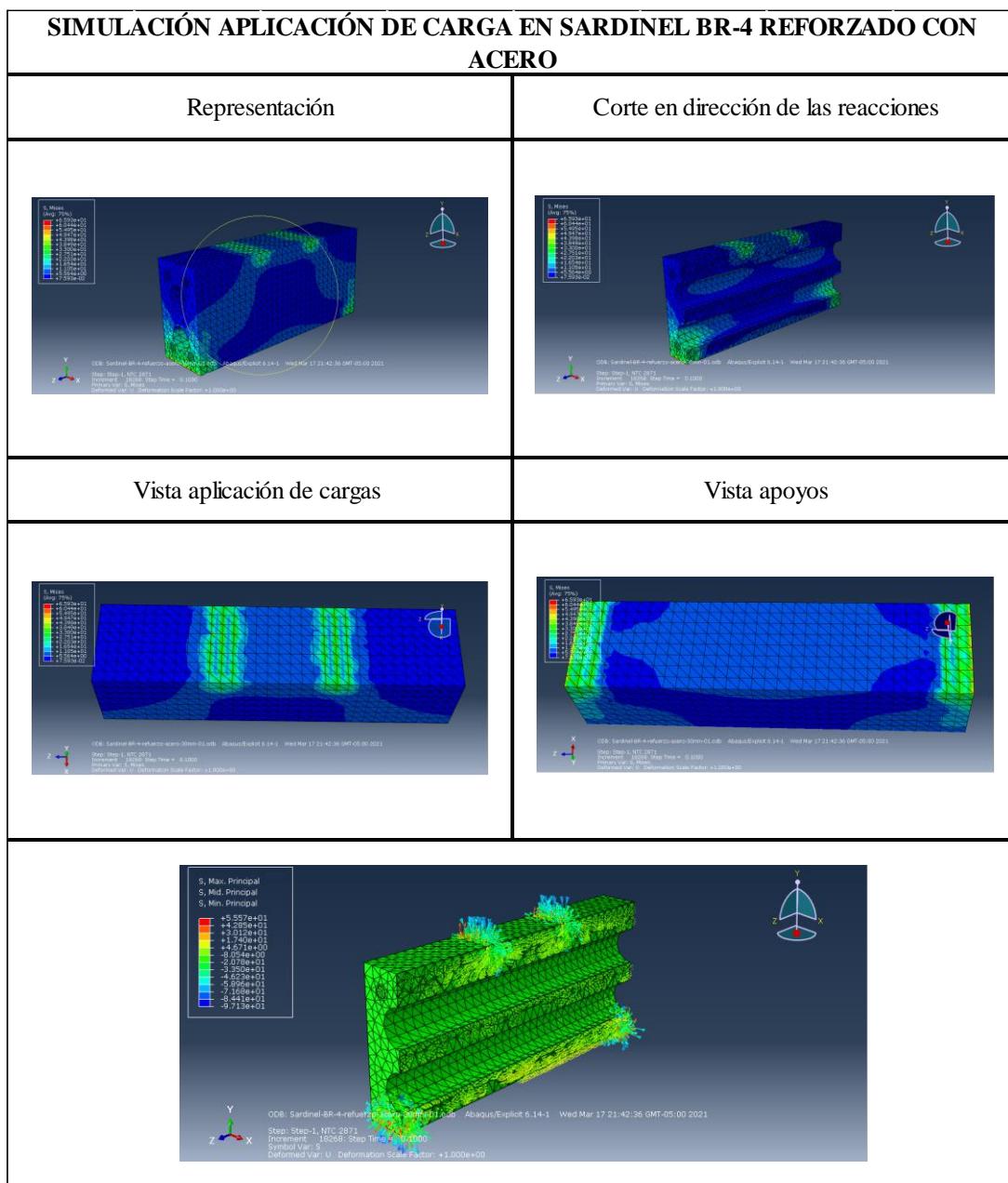


Ilustración 13 Simulación de aplicación de carga en sardinel BR-4 reforzado con acero

La diferencia gráfica de la distribución en este elemento no es muy evidente con respecto al mismo sardinel sin refuerzo, esto confirma la similitud de las modelaciones en este mismo objeto. El elemento realizó un esfuerzo final de 65.93 MPa.

#### **7.12. Representación gráfica de distribución de carga en sardinel BR-4 reforzado con polipropileno**

El polipropileno como material de refuerzo propuesto genera un cambio en la distribución de la carga en el sardinel BR-4 con respecto a los demás modelos del mismo elemento, este efecto se evidencia en las diferentes vistas de la ilustración 14.

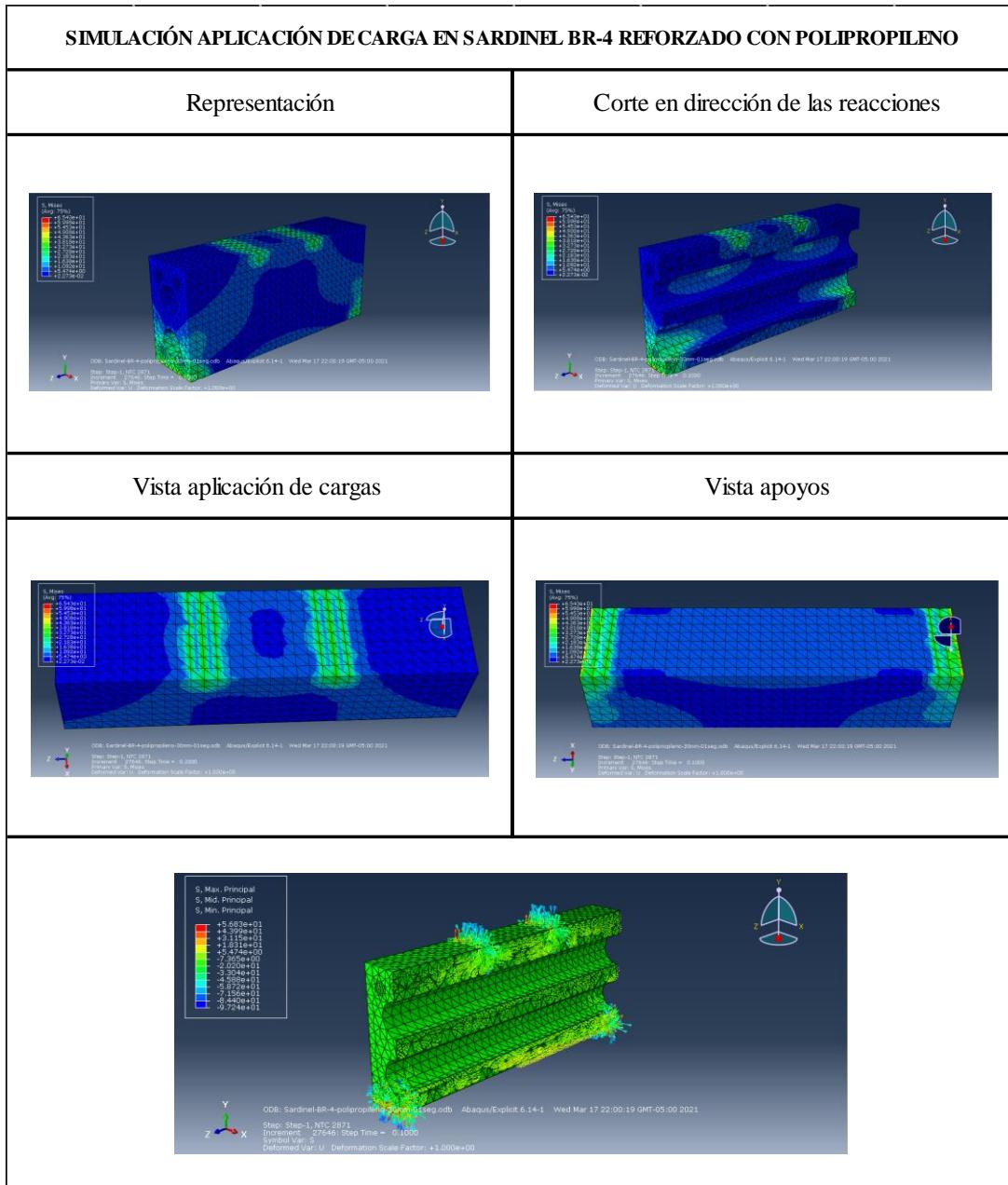


Ilustración 14 Simulación de aplicación de carga en sardinel BR-4 reforzado con polipropileno

La distribución de la carga es más notoria en el elemento reforzado con polipropileno, en la parte central se notan los efectos que las fuerzas generan en el sardinel, el volumen de carga distribuida en este modelo es probablemente el mayor. El elemento realizó un esfuerzo final de 65.43 MPa.

### 7.13. Representación gráfica de distribución de carga en sardinel especial tipo B sin refuerzo

El sardinel especial tipo B es el que cuenta con mayor volumen a comparación de los demás sardineles, la simulación de la distribución de la carga está reflejada en las imágenes de la ilustración 15, estas vistas representan las superficies externas y el centro del sardinel.

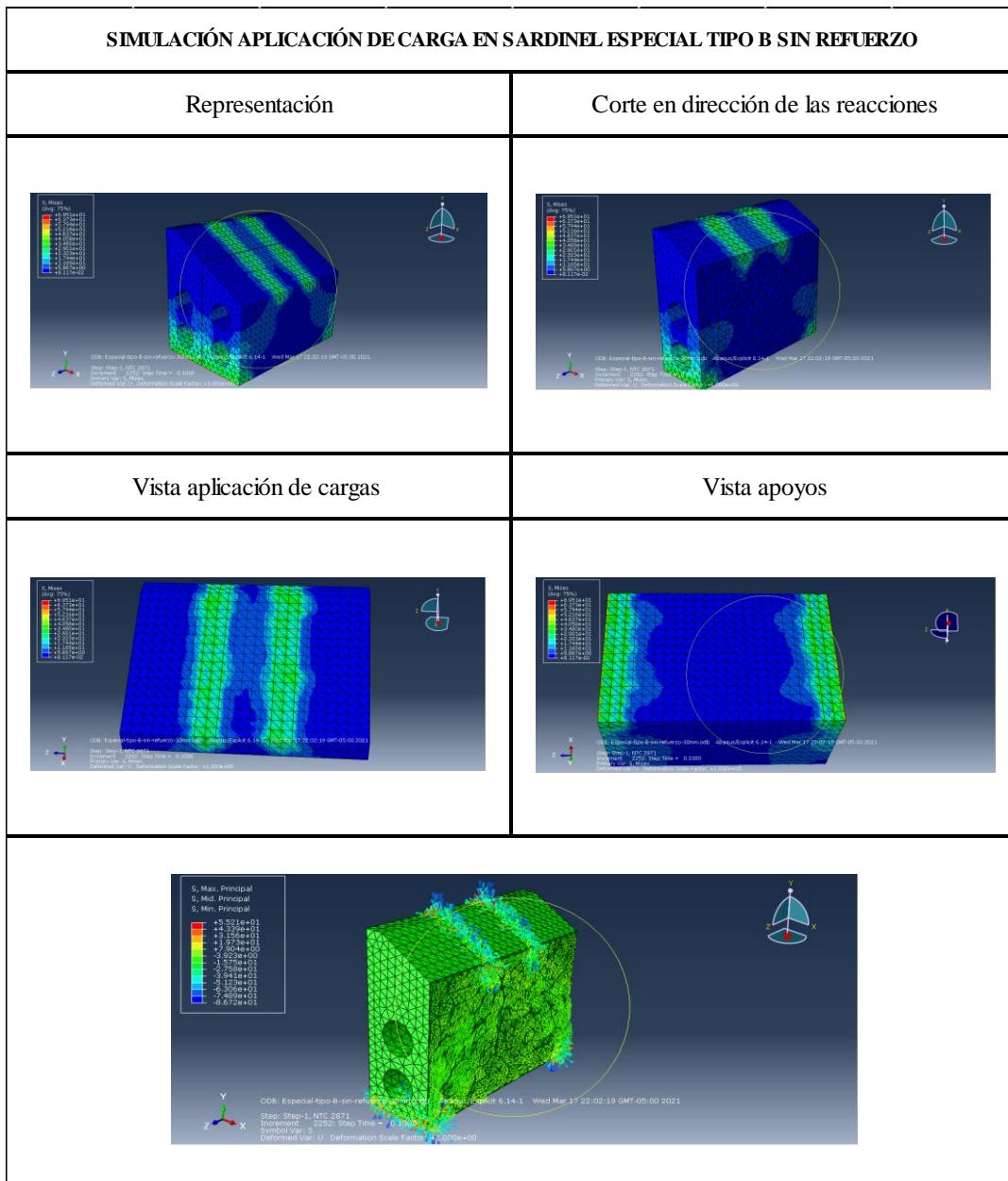


Ilustración 15 Simulación de aplicación de carga en sardinel especial tipo B sin refuerzo

En la ilustración 15, la distribución de la carga se evidencia prácticamente solo en las caras superficiales, mientras que el centro del elemento se ve poco afectado por esta distribución. El elemento realizó un esfuerzo final de 69.51 MPa.

#### **7.14. Representación gráfica de la distribución de carga en sardinel especial tipo B reforzado con acero**

Las imágenes de la simulación de la aplicación de las cargas en el sardinel especial tipo B sin refuerzo están incluidas en la ilustración 16, allí se observa como la distribución de la carga pasa por todas las caras superficiales y por el centro del elemento.

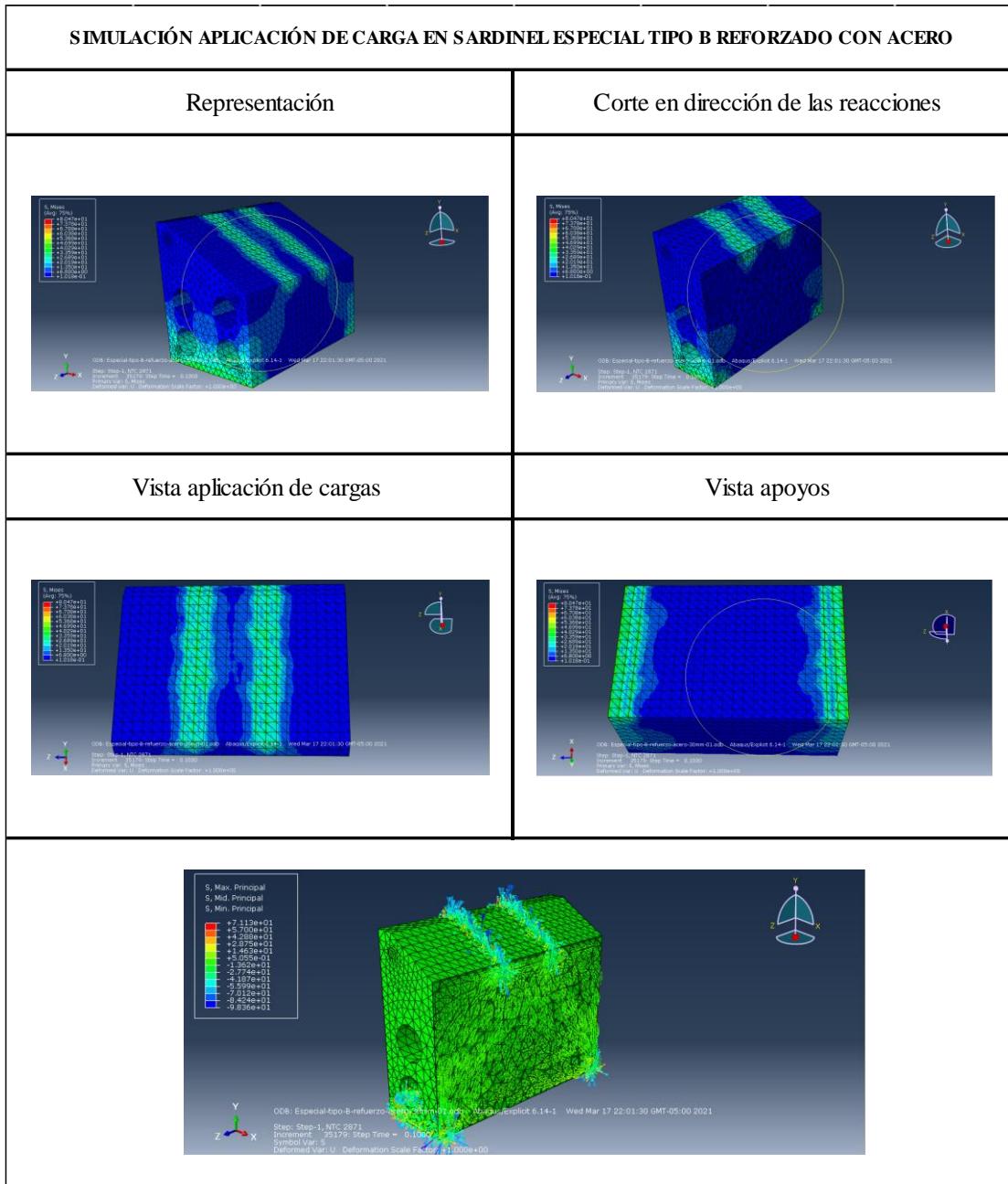


Ilustración 16 Simulación de aplicación de carga en sardinel especial tipo B reforzado con acero

Las imágenes de este elemento son similares a las imágenes del sardine especial tipo B sin refuerzo, significa que la carga se agrupa en los puntos de concentración, la carga se mantiene en el lugar donde se aplica y la fuerza producida por los apoyos se mantiene en el mismo sitio presentando una baja distribución. El elemento realizó un esfuerzo final de 80.47 MPa.

## 7.15. Representación gráfica de distribución de carga en sardinel especial tipo B reforzado con polipropileno

El último elemento en ser modelado es el sardinel especial tipo B reforzado con polipropileno, la simulación de la aplicación de carga realizada por Abaqus se refleja en la ilustración 17.

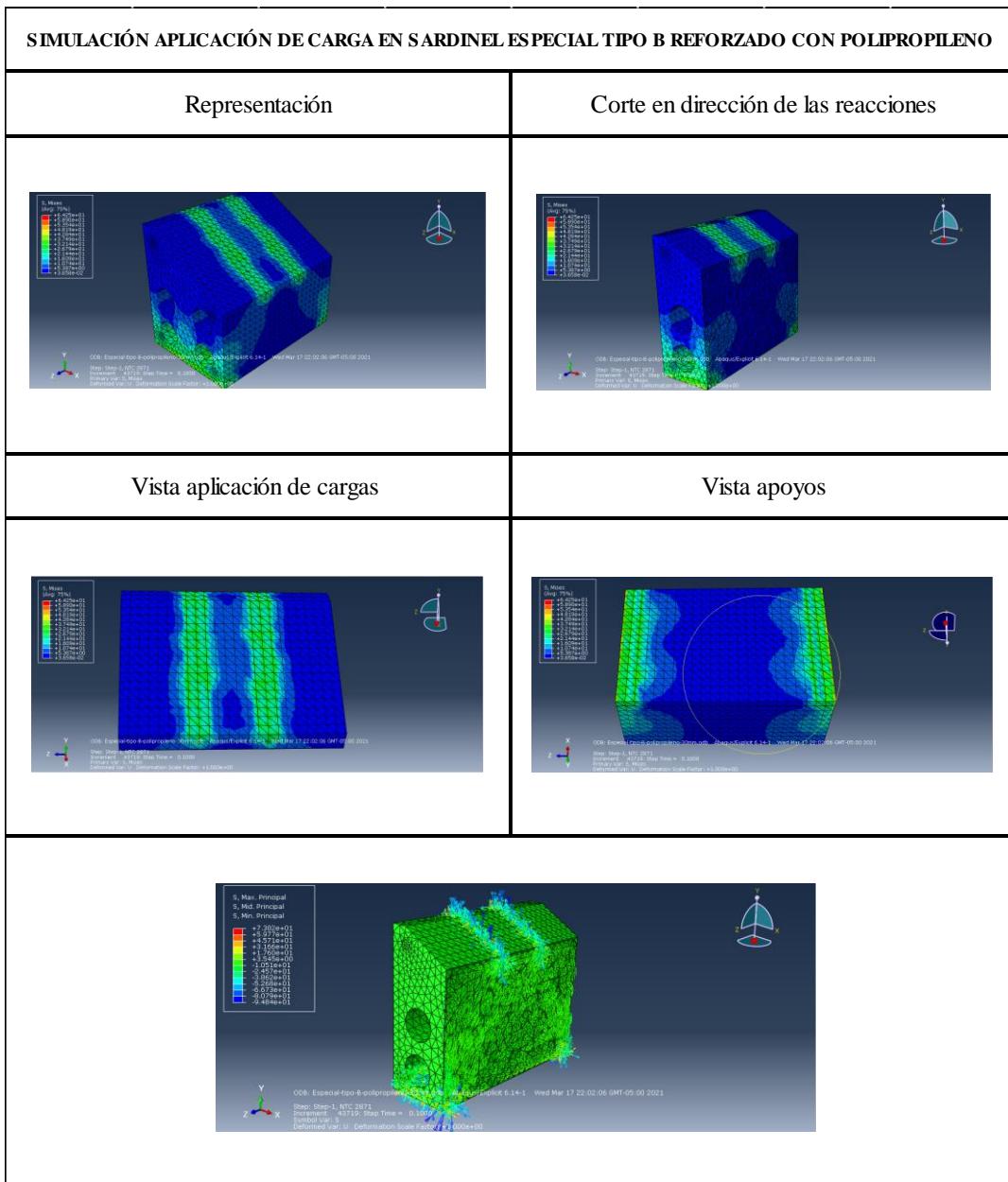


Ilustración 17 Simulación de aplicación de carga en sardinel especial tipo B reforzado con polipropileno

Este modelo de sardinel realizó un esfuerzo final de 64.25 MPa.

Sin embargo, la carga no se distribuye hasta el centro del elemento como en los otros sardineles, esto se debe al gran volumen de este elemento y al lugar de aplicación de la carga, como se evidencia en las imágenes de la ilustración 17, la distribución atraviesa una gran parte rígida de concreto y su distribución finaliza antes de llegar a la zona de aligeramiento. Mientras que, la distribución que generan los apoyos si cubre casi que los dos aligeramientos que tiene el elemento.

## 8. CONCLUSIONES

- El sardinel A10 reforzado con polipropileno tiene mayor capacidad de resistencia al impacto, esto se evidencia en las figuras 1 y 4, en el caso de la zona elástica, para desplazar el primer milímetro se requiere una fuerza de casi 20 MPa mientras que, sin refuerzo y reforzado con acero, necesita una fuerza de 50 MPa, esto quiere decir que el polipropileno inicialmente resiste aproximadamente cuatro veces más que los otros modelos en ese primer milímetro. Sin embargo, la trayectoria de la curva que representa el comportamiento del polipropileno, es la que se mantiene con la pendiente más regular, esto significa que su comportamiento elástico no cuenta con la misma capacidad de recuperación como el del acero o el del concreto sin refuerzo.
- El sardinel especial tipo B es el que cuenta con un mayor módulo de elasticidad y mayor disipación de energía, esto se debe a que este elemento es el que cuenta con el mayor volumen de los tres, además su geometría especial permite que la carga se distribuya de una mejor manera antes de involucrar el aligeramiento. Este tipo de sardinel se utiliza como un tipo de rampa y es empleado para soportar el peso de los vehículos o personas que por allí transiten. Por ello se debe que su volumen sea mucho mayor que el de los demás sardineles.
- Las curvas que representan el comportamiento de los diferentes tipos de sardinel que no tienen refuerzo, evidentemente presentaron una mejor respuesta que las curvas de los demás modelos. Sin embargo, el propósito de comparar el polipropileno con el acero como refuerzo, al menos en estas simulaciones es demasiado valido y acertado. En las figuras de la 1 a la 6 se aprecia como las curvas de los elementos que contienen estos dos materiales son similares y esto se comprueba con el valor calculado de la energía disipada en cada una de las dos curvas, en donde el sardinel A10 reforzado con acero presenta variación de 9.6% mayor que la energía

disipada por el mismo sardinel reforzado con polipropileno. El sardinel especial tipo B reforzado con acero también obtuvo una mayor disipación con respecto al reforzado con polipropileno con una variación de solo 0.07%. Por último, el sardinel BR-4 reforzado con polipropileno obtuvo una mayor disipación de energía en la zona trabajada a comparación del sardinel reforzado con acero, con una variación del 0.07%.

- El sardinel reforzado con polipropileno que presenta mayor resistencia, es el Sardinel BR-4, teniendo una diferencia de 0.80% en su resistencia con respecto a este mismo elemento reforzado con acero. Por lo tanto, se confirma la hipótesis de que el polipropileno puede llegar a ser una alternativa de refuerzo en pequeños elementos prefabricados como lo son los sardineles. No obstante, se deben tener en cuenta las especificaciones de dichos elementos, ya que en la presente investigación, se comprobó en la mayoría de modelaciones, los sardineles reforzados con acero presentaron mejores resultados.

## 9. RECOMENDACIONES

- El presente trabajo es realizado de manera teórica-digital, tiene como propósito servir de guía para futuros estudios prácticos acerca del análisis de resistencia y de comportamiento general en diferentes materiales y elementos.
- Durante la modelación de los elementos, el concreto se registró como material elástico, plástico e isotrópico. Sin embargo, no se tomó en cuenta la porosidad y fragilidad del material, es por ello, que se recomienda tener en cuenta estos parámetros adicionales para mejorar la calidad del modelo.
- El contacto o fricción entre los materiales utilizados en la modelación, no se tuvo en cuenta en esta investigación porque esto representa mayor capacidad de procesamiento de la que se tiene disponible, el hecho de incluir este parámetro en futuras simulaciones puede disminuir la incertidumbre en los resultados.
- Actualmente en el repositorio digital de la Universidad Militar Nueva Granada no se encuentra gran variedad de trabajos de grado en donde se haya utilizado el software Abaqus, por ende, esta investigación puede servir como ayuda para aquellas personas interesadas en realizar simulaciones de ensayos en 3D.
- Se recomienda incentivar el uso de este software en las asignaturas donde se requiera realizar ensayos de laboratorio, especialmente con la problemática actual de salud que se está viviendo en el mundo y que restringe el acceso presencial a las máquinas de la Universidad.

- Se deben tener en cuenta las especificaciones del procesador y de memoria RAM del computador donde se realicen las modelaciones, ya que el programa Abaqus requiere ciertas condiciones para funcionar correctamente.

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GRUPO DE INGENIEROS. (n.d.). *El Concreto Y La Naturaleza Del Concreto. 1, 1–9.*
- ¿Cuánto CO<sub>2</sub> emite el plástico? - Plataforma ZEO. (n.d.). Retrieved December 21, 2020, from <https://plataformazeo.com/es/cuanto-co2-emite-el-plastico/>
- ¿Por qué se determina la resistencia a la compresión en el concreto? / CEMEX Peru. (n.d.).
- AIS, A. C. de I. S. (2010). NCR10 - Titulo C: Concreto estructural. *Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente Nsr-10*, 590.
- Alavi Nia, A., Hedayatian, M., Nili, M., & Sabet, V. A. (2012). An experimental and numerical study on how steel and polypropylene fibers affect the impact resistance in fiber-reinforced concrete. *International Journal of Impact Engineering*, 46, 62–73.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2012.01.009>
- Alcaldía de Bucaramanga. (2013). *Manual para el diseño y construcción del Espacio Público de Bucaramanga*. 189.
- ARAfernández Rosalba, NGO T., J. H. (2010). *Concreto Asfalt*. 1–28.
- ArcelorMittal redujo un 12% sus emisiones en 2012. (n.d.). Retrieved December 21, 2020, from <http://www.metalesymetallurgia.com/?p=354887>
- Concretarte - Prefabricados de concreto, pegantes, morteros. (n.d.-a). Retrieved April 6, 2021, from <https://www.concretarte.com.co/sardinel-prefabricado-a-10>
- Concretarte - Prefabricados de concreto, pegantes, morteros. (n.d.-b). Retrieved April 6, 2021, from <https://www.concretarte.com.co/sardinel-bajo-rampa-a-85-a-86>
- Concreto premezclado - CEMEX. (n.d.).
- Conductividad eléctrica de materiales plásticos. (n.d.).
- Dennis, I., & Collazos, A. (2015). *Estudio de la fisuración por contracción plástica en losas de concreto con agregados reciclados y uso de microfibras*.
- Durabilidad del concreto / ARGOS 360. (n.d.).
- Han, E. S., & goleman, daniel; boyatzis, Richard; McKee, A. (2019). 濟無No Title No Title. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- ICONTEC. (1997). NTC 120 Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión de morteros de cemento hidráulico. *Norma Técnica Colombiana*, 9.
- Karian, H. G. (2003). Handbook of Polypropylene and Polypropylene Composites, Revised and Expanded. In *Handbook of Polypropylene and Polypropylene Composites, Revised and Expanded*. <https://doi.org/10.1201/9780203911808>

Léctor Lafitte, M. A., & Villarreal Brragán, E. J. (2017). “*Utilización de materiales plásticos de reciclaje como adición en la elaboración de concreto en la ciudad de Nuevo Chimbote.*” 1–173.

*MORTERO MEDIANTE TCTM Autor : Ing . Rodrigo Quimby Herrera , MSc.* (n.d.).

*Normalización - Icontec.* (n.d.). Retrieved December 22, 2020, from  
<https://www.icontec.org/normalizacion/>

Palomo, M. (2010). Aislantes térmicos. *Universidad Politecnica De Madrid*, 65.

*Polietileno de alta densidad / CMEmaterials.* (n.d.).

*Polipropileno / CMEmaterials.* (n.d.).

Ramezanianpour, A. A., Esmaeli, M., Ghahari, S. A., & Najafi, M. H. (2013). Laboratory study on the effect of polypropylene fiber on durability, and physical and mechanical characteristic of concrete for application in sleepers. *Construction and Building Materials*, 44, 411–418. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.02.076>

*Sardineles - ABENSALA.* (n.d.). Retrieved December 15, 2020, from  
<http://www.abensala.com/Productos/sardineles>

Song, P. S., Hwang, S., & Sheu, B. C. (2005). Strength properties of nylon- and polypropylene-fiber-reinforced concretes. *Cement and Concrete Research*, 35(8), 1546–1550. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.06.033>

Técnica, N. (2008). *NTC. 571.*

Universidad de los Andes, & Greenpeace Colombia. (2019). *Situación actual de Colombia y su impacto en el medio ambiente.* 14.  
[http://greenpeace.co/pdf/2019/gp\\_informe\\_plasticos\\_colombia\\_02.pdf](http://greenpeace.co/pdf/2019/gp_informe_plasticos_colombia_02.pdf)

*Versión más reciente / ABAQUS - Dassault Systèmes®.* (n.d.). Retrieved December 22, 2020, from <https://www.3ds.com/es/productos-y-servicios/simulia/productos/abaqus/version-mas-reciente/>

Мещерякова, Л. М., & Понтак, Л. С. (n.d.). *химияNo Title.*

## 11. ANEXOS

### ANEXO 1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS SARDINELES

#### 11.1. SARDINEL A10



Ilustración 18 Ficha técnica Sardinel A10

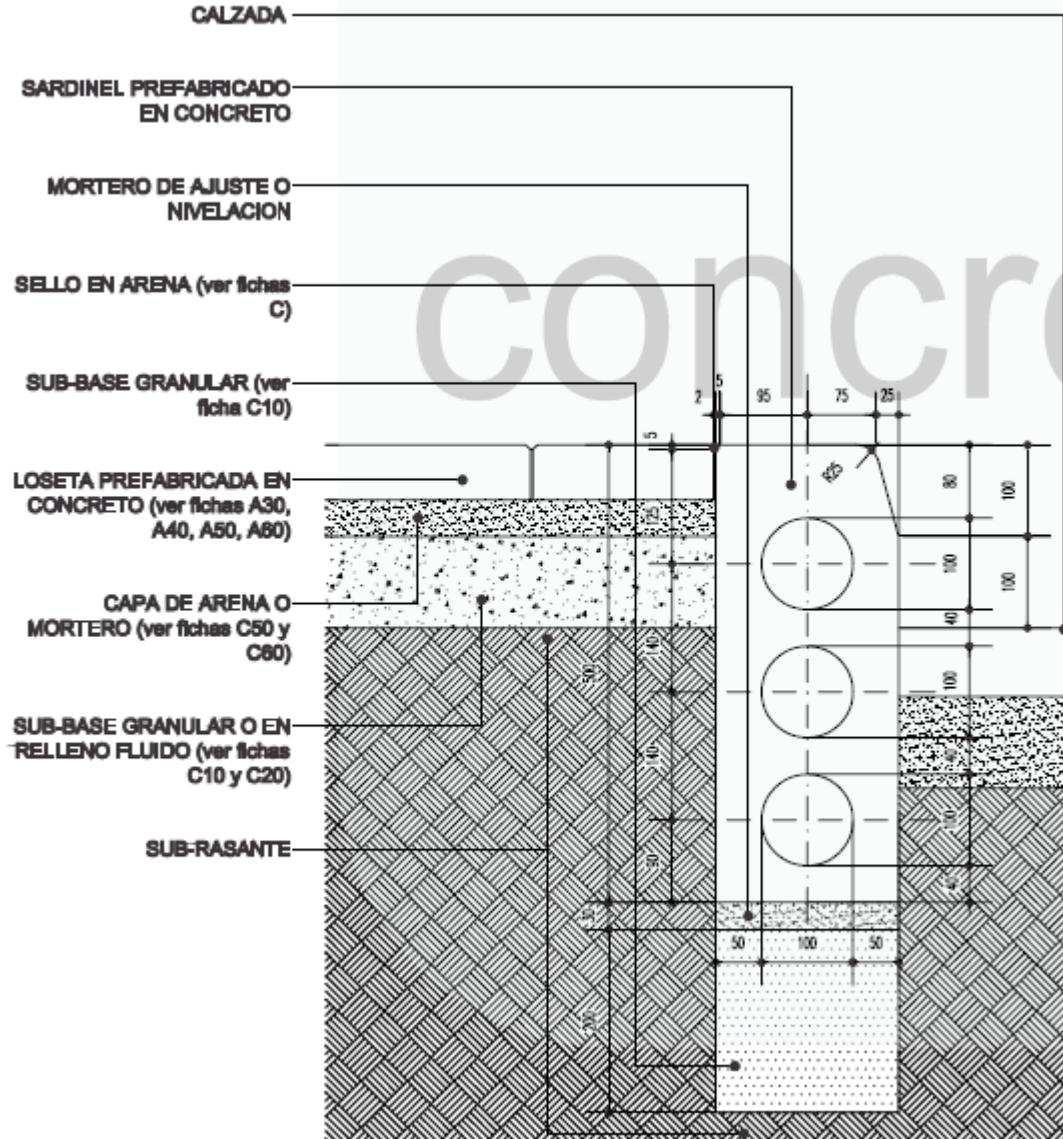
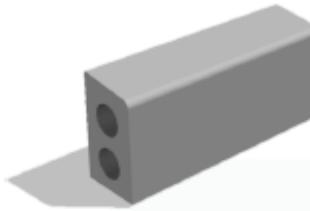


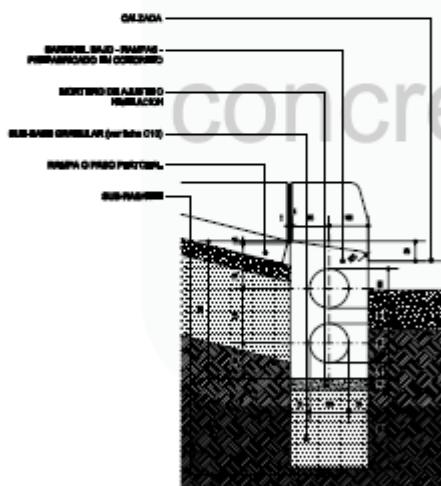
Ilustración 19 Dimensiones de Sardinel A10

## 11.2. SARDINEL BR-4

**D**ESCRIPCIÓN



**CALZADA**



**SECCIÓN 6/6**

Pieza aligerada prefabricada en concreto de 4 Mpa de modulo de rotura a 28 días, con acabado liso. Se instala sobre una capa de mortero de nivelación, con juntas de 1 cm de espesor en mortero 1:4, en rampas o pasos peatonales, de manera que exista continuidad en el sardinel. Las diferencias de altura y geometría respecto al sardinel A - 10 o el bordillo A - 80 serán asumidas por las piezas de ajuste A-90, A-95, o A-100 según el caso.

**D**IMENSIONES NOMINALES  
800X 200X350 MM

**D**IMENSIONES ESTANDAR  
790X 200X350 MM

**J**UNTA ESTANDAR  
10 MM.

**M**ANTENIMIENTO  
Reinstalar si la base falla, reemplazar en caso de rotura.

**P**ESO  
Aprox 97,44 kg.

**C**ARACTERÍSTICAS FÍSICAS  
Norma NTC 4109.

Ilustración 20 Ficha técnica Sardinel BR-4

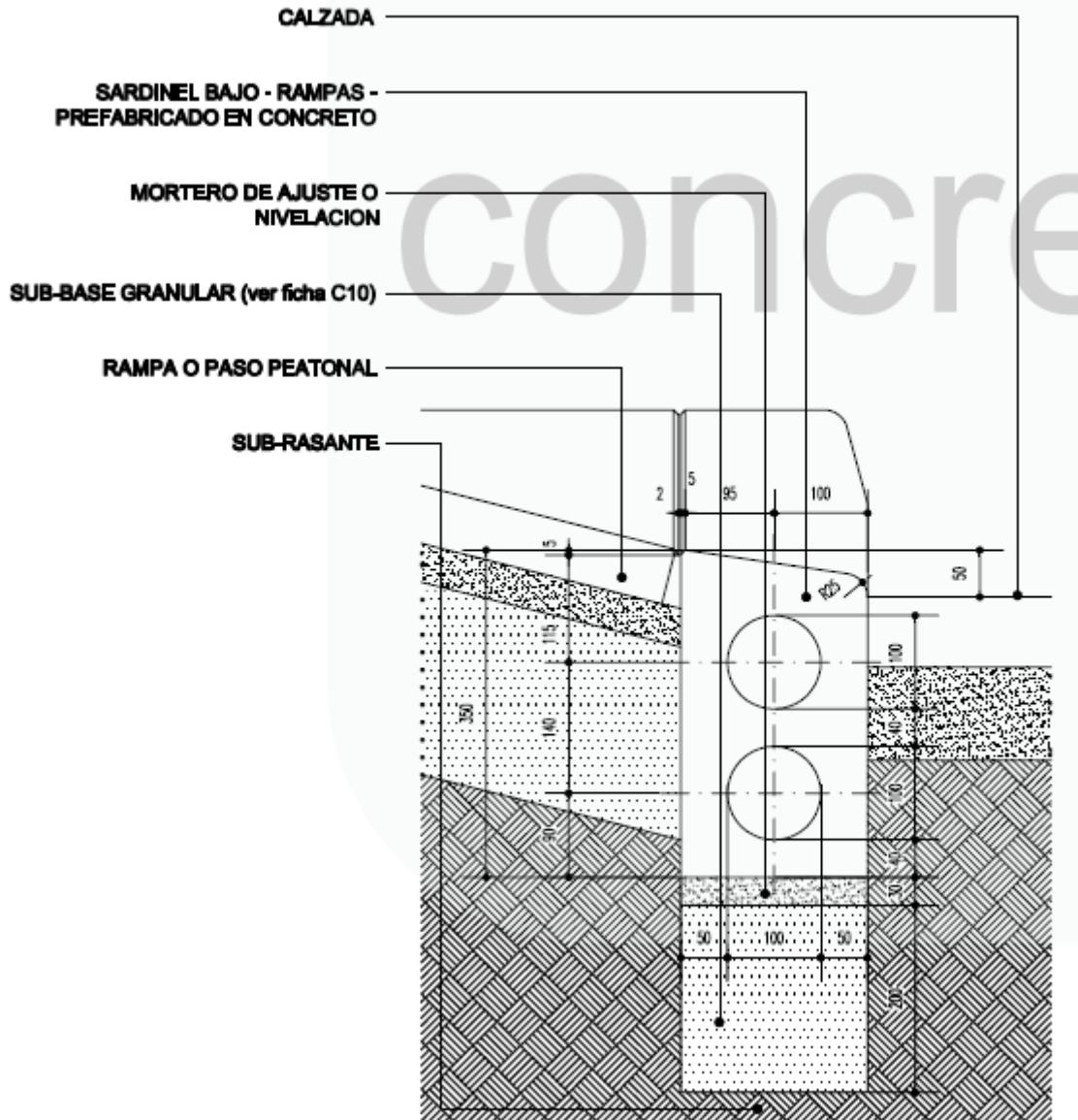
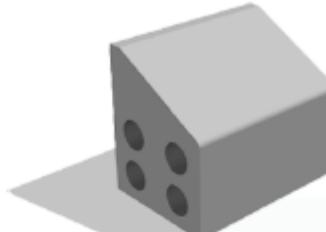


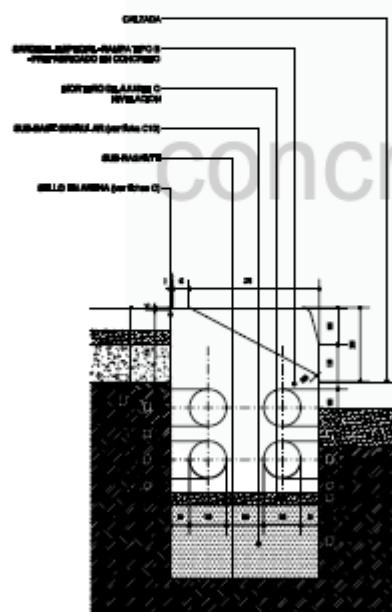
Ilustración 21 Dimensiones de Sardinel BR-4

### 11.3. SARDINEL ESPECIAL TIPO B

**D**ESCIPCIÓN



**SECCIÓN**



**SECCIÓN 616**

Pieza aligerada prefabricada en concreto de 4 Mpa de modulo de rotura a 28 días, con acabado liso. Se instala sobre una capa de mortero de nivelación, con juntas de 1 cm de espesor en mortero 1:4, de manera que permita salvar la diferencia de altura entre la calzada y el anden, exclusivamente en calzadas vehiculares. La diferencia de geometría respecto al sardinel A-10 sera asumida por la pieza de remate A-115.

**D**IMENSIONES NOMINALES  
600X400X500 MM

**D**IMENSIONES ESTANDAR  
590X400X500 MM

**J**UNTA ESTANDAR  
10 MM.

**M**ANTENIMIENTO  
Reinstalar si la base falla, reemplazar en caso de rotura.

**P**EZO  
Aprox 161,28 kg.

**C**ARACTERÍSTICAS FÍSICAS  
Norma NTC 4109.

Ilustración 22 Ficha técnica Sardinel especial tipo B

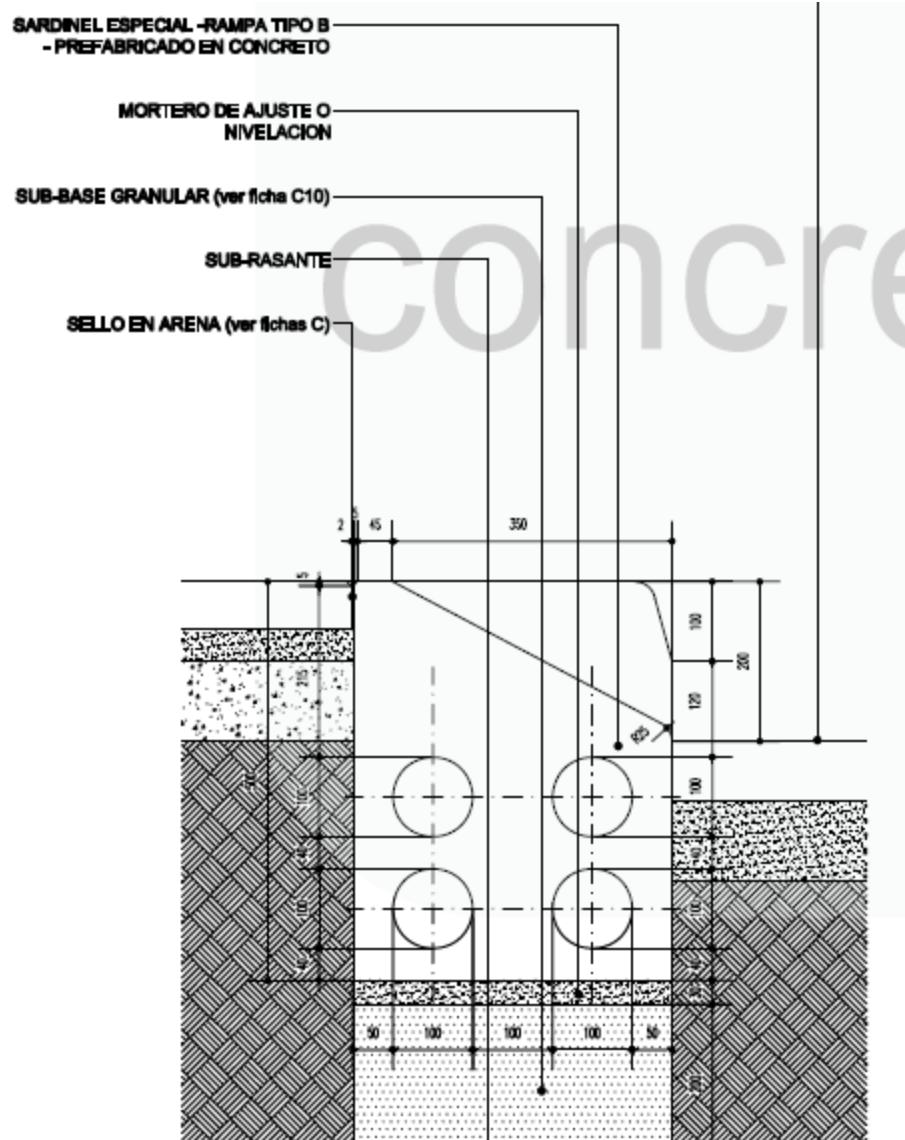


Ilustración 23 Dimensiones de Sardinel especial tipo B





0,0740133	-7,40133	103291	-5,14E+03	0,0740003	-7,39985	104700	-5,24E+03	0	-7,39976	95362,6	-4,79E+03
0,0745111	-7,45111	103224	-5,14E+03	0,0745015	-7,44993	104603	-5,22E+03	0	-7,44981	96143,9	-4,83E+03
0,0750089	-7,50089	103207	-5,14E+03	0,0750011	-7,49984	104546	-5,22E+03	0	-7,49987	96891,6	-4,85E+03
0,0755066	-7,55066	103166	-5,13E+03	0,0755007	-7,54976	104508	-5,22E+03	0	-7,54972	97618,8	-4,91E+03
0,0760044	-7,60044	103052	-5,13E+03	0,0760003	-7,59968	104453	-5,23E+03	0	-7,59978	98359,4	-4,94E+03
0,0765022	-7,65022	102904	-5,58E+03	0,0765015	-7,64976	104383	-5,21E+03	0	-7,64983	99149,5	-4,99E+03
0,0770452	-7,70452	102758	-5,11E+03	0,0770011	-7,69967	104295	-5,20E+03	0	-7,69989	100036	-5,01E+03
0,077543	-7,75430	102681	-5,11E+03	0,0775006	-7,74958	104203	-5,20E+03	0	-7,74974	100989	-5,08E+03
0,0780408	-7,80408	102722	-5,12E+03	0,0780002	-7,79949	104111	-5,21E+03	0	-7,7998	101935	-5,12E+03
0,0785386	-7,85386	102896	-5,13E+03	0,0785014	-7,84957	104028	-5,19E+03	0	-7,84985	102813	-5,15E+03
0,0790363	-7,90363	103144	-5,14E+03	0,0790001	-7,89948	104003	-5,19E+03	0	-7,89971	103609	-5,20E+03
0,0795341	-7,95341	103402	-5,15E+03	0,0795005	-7,94939	103974	-5,19E+03	0	-7,94976	104355	-5,24E+03
0,0800319	-8,00319	103670	-5,17E+03	0,0800001	-7,99930	103964	-5,21E+03	0	-7,99982	105153	-5,29E+03
0,0805297	-8,05297	103989	-5,19E+03	0,0805013	-8,04938	103997	-5,19E+03	0	-8,04988	106070	-5,31E+03
0,0810275	-8,10275	104383	-5,21E+03	0,081001	-8,09930	104075	-5,20E+03	0	-8,09973	107060	-5,38E+03
0,0815252	-8,15252	104880	-5,24E+03	0,0815005	-8,14922	104214	-5,21E+03	0	-8,14978	108081	-5,43E+03
0,082023	-8,20230	105494	-5,27E+03	0,0820001	-8,19913	104447	-5,24E+03	0	-8,19984	109054	-5,48E+03
0,0825208	-8,25208	106178	-5,30E+03	0,0825015	-8,24922	104747	-5,24E+03	0	-8,2499	109940	-5,50E+03
0,0830186	-8,30186	106863	-5,34E+03	0,0830012	-8,29914	105074	-5,25E+03	0	-8,29975	110723	-5,56E+03
0,0835164	-8,35164	107558	-5,37E+03	0,0835007	-8,34905	105463	-5,28E+03	0	-8,34981	111417	-5,59E+03
0,0840141	-8,40141	108278	-5,41E+03	0,0840003	-8,39897	105894	-5,31E+03	0	-8,39986	112131	-5,61E+03
0,0845119	-8,45119	109041	-5,45E+03	0,0845015	-8,44905	106360	-5,32E+03	0	-8,44972	112904	-5,67E+03
0,0850097	-8,50097	109851	-5,49E+03	0,0850011	-8,49896	106909	-5,35E+03	0	-8,49977	113699	-5,71E+03
0,0855075	-8,55075	110688	-5,53E+03	0,0855006	-8,54887	107516	-5,38E+03	0	-8,54983	114433	-5,74E+03
0,0860053	-8,60053	111555	-5,57E+03	0,0860002	-8,59878	108155	-5,43E+03	0	-8,59988	115070	-5,75E+03
0,086503	-8,65030	112448	-5,62E+03	0,0865014	-8,64886	108856	-5,45E+03	0	-8,64974	115593	-5,80E+03
0,0870008	-8,70008	113362	-6,18E+03	0,0870001	-8,69877	109595	-5,49E+03	0	-8,69979	116037	-5,82E+03
0,0875438	-8,75438	114385	-5,72E+03	0,0875006	-8,74868	110407	-5,53E+03	0	-8,74985	116473	-5,82E+03
0,0880416	-8,80416	115381	-5,77E+03	0,0880001	-8,79859	111264	-5,59E+03	0	-8,7997	116914	-5,86E+03
0,0885394	-8,85394	116486	-5,83E+03	0,0885014	-8,84867	112099	-5,62E+03	0	-8,84976	117361	-5,89E+03
0,0890372	-8,90372	117737	-5,90E+03	0,0890009	-8,89859	112898	-5,65E+03	0	-8,89981	117806	-5,91E+03
0,089535	-8,95350	119126	-5,97E+03	0,0895005	-8,94850	113673	-5,69E+03	0	-8,94987	118242	-5,90E+03
0,0900327	-9,00327	120619	-6,04E+03	0,0900001	-8,99841	114481	-5,76E+03	0	-8,99972	118647	-5,95E+03
0,0905305	-9,05305	122204	-6,12E+03	0,0905013	-9,04849	115365	-5,78E+03	0	-9,04978	119038	-5,97E+03
0,0910283	-9,10283	123835	-6,20E+03	0,0910009	-9,09841	116367	-5,84E+03	0	-9,09984	119486	-5,99E+03
0,0915261	-9,15261	125454	-6,28E+03	0,0915005	-9,14832	117529	-5,90E+03	0	-9,14989	120050	-6,00E+03
0,0920238	-9,20239	127003	-6,36E+03	0,0920002	-9,19823	118846	-5,99E+03	0	-9,19974	120736	-6,06E+03
0,0925216	-9,25216	128482	-6,43E+03	0,0925013	-9,24831	120272	-6,04E+03	0	-9,2498	121461	-6,10E+03
0,0930194	-9,30194	129957	-6,51E+03	0,0930008	-9,29822	121714	-6,11E+03	0	-9,29986	122146	-6,10E+03
0,0935172	-9,35172	131449	-6,58E+03	0,0935004	-9,34813	123147	-6,20E+03	0	-9,34971	122781	-6,16E+03
0,0940149	-9,40149	132954	-6,66E+03	0,0940016	-9,39821	124539	-6,25E+03	0	-9,39977	123349	-6,19E+03
0,0945127	-9,45127	134450	-6,73E+03	0,0945013	-9,44813	125936	-6,32E+03	0	-9,44982	123863	-6,21E+03
0,0950105	-9,50105	135929	-6,80E+03	0,0950008	-9,49805	127416	-6,40E+03	0	-9,49988	124351	-6,21E+03
0,0955082	-9,55082	137335	-6,87E+03	0,0955004	-9,54796	128943	-6,50E+03	0	-9,54973	124846	-6,26E+03
0,096006	-9,60060	138629	-6,93E+03	0,0960016	-9,59804	130506	-6,55E+03	0	-9,59979	125351	-6,29E+03
0,0965038	-9,65038	139854	-6,99E+03	0,0965012	-9,64795	132091	-6,63E+03	0	-9,64984	125857	-6,31E+03
0,0970016	-9,70016	141069	-7,70E+03	0,0970008	-9,69786	133688	-6,71E+03	0	-9,6999	126357	-6,31E+03
0,0975446	-9,75446	142389	-7,12E+03	0,0975003	-9,74777	135259	-6,81E+03	0	-9,74975	126838	-6,36E+03
0,0980423	-9,80423	143594	-7,18E+03	0,0980016	-9,79785	136813	-6,87E+03	0	-9,79981	127291	-6,38E+03
0,0985401	-9,85401	144833	-7,24E+03	0,0985011	-9,84776	138326	-6,94E+03	0	-9,84986	127727	-6,38E+03
0,0990379	-9,90379	146102	-7,30E+03	0,0990007	-9,89767	139770	-7,01E+03	0	-9,89972	128180	-6,43E+03
0,0995356	-9,95356	147363	-6,87E+03	0,0995003	-9,94758	141127	-7,08E+03	0	-9,94977	128695	-6,44E+03
0,1	-10,00000	148511		0,1	-9,99752	142382		0	-9,9997	129251	

Σ Área -689429,914

Σ Área -670862,226

Σ Área -661813,593

Ilustración 24 Datos de la modelación en zona elástica del Sardinel A10





0,0740282	-7,40286	99887,3	-4,92E+03	0,0740013	-7,40044	90559,4	-4,56E+03	0,0740012	-7,39979	87777,1	-4,43E+03
0,0745169	-7,45174	101443	-5,00E+03	0,074501	-7,45040	91870,4	-4,62E+03	0,0745015	-7,44979	89263,2	-4,51E+03
0,0750056	-7,50061	103070	-5,42E+03	0,0750006	-7,50036	93234,9	-4,69E+03	0,0750017	-7,4998	90916,1	-4,59E+03
0,0755269	-7,55274	104883	-5,17E+03	0,0755003	-7,55031	94715,9	-4,77E+03	0,075502	-7,54981	92675,1	-4,68E+03
0,0760156	-7,60162	106645	-5,26E+03	0,076	-7,60027	96297,7	-4,91E+03	0,0760022	-7,59982	94462	-4,77E+03
0,0765044	-7,65049	108461	-5,70E+03	0,0765052	-7,65077	97985	-4,94E+03	0,0765025	-7,64982	96182,7	-4,85E+03
0,0770257	-7,70262	110345	-5,43E+03	0,0770049	-7,70072	99756,8	-5,03E+03	0,0770028	-7,69983	97820,7	-4,93E+03
0,0775144	-7,75150	111944	-5,51E+03	0,0775046	-7,75068	101528	-5,12E+03	0,077503	-7,74984	99391,8	-5,01E+03
0,0780031	-7,80037	113381	-5,95E+03	0,0780043	-7,80063	103389	-5,21E+03	0,0780033	-7,79985	100955	-5,09E+03
0,0785244	-7,85251	114827	-5,64E+03	0,078504	-7,85059	105312	-5,31E+03	0,0785035	-7,84986	102562	-5,17E+03
0,0790131	-7,90138	116178	-5,71E+03	0,0790036	-7,90055	107197	-5,40E+03	0,0790038	-7,89987	104198	-5,25E+03
0,0795019	-7,95025	117524	-6,16E+03	0,0795033	-7,95050	109070	-5,49E+03	0,0795041	-7,94988	105768	-5,28E+03
0,08000232	-8,00239	118952	-5,84E+03	0,0800003	-8,00046	110851	-5,58E+03	0,0800001	-7,99946	107204	-5,40E+03
0,0805119	-8,05126	120235	-5,90E+03	0,0805027	-8,05041	112469	-5,66E+03	0,0805003	-8,04947	108562	-5,46E+03
0,0810006	-8,10014	121354	-6,35E+03	0,0810024	-8,10037	113922	-5,72E+03	0,0810006	-8,09948	109857	-5,52E+03
0,0815219	-8,15227	122292	-5,99E+03	0,0815021	-8,15032	115304	-5,79E+03	0,0815008	-8,14948	111051	-5,58E+03
0,0820106	-8,20114	122946	-6,43E+03	0,0820018	-8,20028	116645	-5,86E+03	0,0820011	-8,19949	112154	-5,64E+03
0,0825319	-8,25328	123528	-6,05E+03	0,0825015	-8,25024	117994	-5,93E+03	0,0825013	-8,2495	113226	-5,69E+03
0,0830207	-8,30215	124051	-6,07E+03	0,0830012	-8,30019	119405	-6,00E+03	0,0830016	-8,2995	114273	-5,74E+03
0,0835094	-8,35102	124513	-6,50E+03	0,0835009	-8,35015	120703	-6,06E+03	0,0835018	-8,34951	115230	-5,78E+03
0,0840307	-8,40316	124900	-6,11E+03	0,0840006	-8,40010	121807	-6,11E+03	0,0840021	-8,39952	116029	-5,82E+03
0,0845194	-8,45203	125182	-6,12E+03	0,0845003	-8,45006	122700	-6,21E+03	0,0845023	-8,44952	116670	-5,85E+03
0,0850081	-8,50091	125350	-6,53E+03	0,0850054	-8,50056	123377	-6,18E+03	0,0850026	-8,49954	117196	-5,87E+03
0,0855294	-8,55304	125308	-6,12E+03	0,0855051	-8,55051	123905	-6,20E+03	0,0855003	-8,54956	117697	-5,90E+03
0,0860181	-8,60191	125049	-6,10E+03	0,0860048	-8,60047	124369	-6,23E+03	0,0860033	-8,59957	118174	-5,92E+03
0,0865069	-8,65079	124646	-6,48E+03	0,0865045	-8,65043	124849	-6,25E+03	0,0865036	-8,64958	118601	-5,94E+03
0,0870282	-8,70292	124133	-6,05E+03	0,0870042	-8,70038	125385	-6,28E+03	0,087004	-8,6996	118911	-5,90E+03
0,0875169	-8,75179	123621	-6,03E+03	0,0875039	-8,75034	125878	-6,30E+03	0,0875003	-8,74922	119006	-5,95E+03
0,0880056	-8,80066	123064	-6,40E+03	0,0880036	-8,80029	126254	-6,31E+03	0,0880008	-8,79924	118804	-5,93E+03
0,0885269	-8,85278	122446	-5,97E+03	0,0885033	-8,85025	126400	-6,31E+03	0,0885001	-8,84925	118292	-5,90E+03
0,0890156	-8,90165	121954	-5,95E+03	0,0890003	-8,90021	126288	-6,30E+03	0,0890013	-8,88926	117625	-5,87E+03
0,0895043	-8,95052	121597	-6,33E+03	0,0895027	-8,95016	125975	-6,28E+03	0,0895015	-8,94926	116991	-5,84E+03
0,0900027	-9,00265	121332	-5,93E+03	0,0900024	-9,00012	125532	-6,26E+03	0,0900017	-8,99927	116473	-5,81E+03
0,0905144	-9,05152	121195	-5,92E+03	0,0905021	-9,05007	125029	-6,23E+03	0,0905002	-9,04928	116078	-5,80E+03
0,0910031	-9,10039	121153	-6,32E+03	0,0910018	-9,10003	124472	-6,20E+03	0,0910022	-9,09929	115781	-5,78E+03
0,0915244	-9,15252	121165	-5,92E+03	0,0915015	-9,14998	123839	-6,17E+03	0,0915025	-9,14929	115534	-5,77E+03
0,0920131	-9,20139	121182	-5,92E+03	0,0920012	-9,19994	123193	-6,14E+03	0,0920027	-9,1993	115309	-5,76E+03
0,0925018	-9,25026	121146	-6,31E+03	0,0925009	-9,24990	122608	-6,11E+03	0,092503	-9,24931	115127	-5,75E+03
0,0930231	-9,30239	121050	-5,92E+03	0,0930006	-9,29985	122071	-6,09E+03	0,0930032	-9,29931	115021	-5,75E+03
0,0935119	-9,35126	121022	-5,92E+03	0,0935003	-9,34981	121629	-6,14E+03	0,0935035	-9,34932	115031	-5,76E+03
0,0940006	-9,40013	121096	-6,32E+03	0,0940054	-9,40031	121375	-6,06E+03	0,0940037	-9,39933	115148	-5,76E+03
0,0945219	-9,45225	121316	-5,94E+03	0,0945051	-9,45026	121336	-6,06E+03	0,0945040	-9,44934	115275	-5,77E+03
0,0950106	-9,50112	121697	-6,36E+03	0,0950048	-9,50022	121427	-6,07E+03	0,0950042	-9,49934	115328	-5,72E+03
0,0955319	-9,55325	122236	-5,99E+03	0,0955045	-9,55017	121628	-6,08E+03	0,0955002	-9,54893	115301	-5,76E+03
0,0960206	-9,60212	122821	-6,02E+03	0,0960042	-9,60013	121880	-6,09E+03	0,0960005	-9,59893	115243	-5,76E+03
0,0965093	-9,65099	123508	-6,46E+03	0,0965039	-9,65009	122022	-6,10E+03	0,0965007	-9,64894	115233	-5,77E+03
0,0970306	-9,70312	124352	-6,10E+03	0,0970035	-9,70004	122054	-6,10E+03	0,097001	-9,69895	115346	-5,78E+03
0,0975194	-9,75199	125296	-6,15E+03	0,0975032	-9,75000	122076	-6,10E+03	0,0975012	-9,74895	115667	-5,80E+03
0,0980081	-9,80086	126465	-6,63E+03	0,0980029	-9,79995	122185	-6,11E+03	0,0980015	-9,79896	116205	-5,83E+03
0,0985294	-9,85299	127949	-6,29E+03	0,0985026	-9,84991	122496	-6,13E+03	0,0985017	-9,84897	116901	-5,86E+03
0,0990181	-9,90186	129441	-6,36E+03	0,0990023	-9,89987	122996	-6,16E+03	0,0990002	-9,89898	117621	-5,90E+03
0,0995068	-9,95073	130909	-6,48E+03	0,099502	-9,94982	123564	-6,17E+03	0,0995022	-9,94898	118303	-5,90E+03
0,1	-10,00000	132295		0,1	-9,99961	124125		0,1	-9,99875	118974	

Ilustración 25 Datos de la modelación en zona elástica del Sardinel BR-4





0,0740008	-7,40006	183598	-9,84E+03	0,0740013	-7,40102	181722	-9,10E+03	0,0740002	-7,40066	175527	-8,82E+03
0,0745354	-7,45352	184576	-9,06E+03	0,0745009	-7,45096	182817	-9,16E+03	0,0745009	-7,45076	176665	-8,88E+03
0,0750254	-7,50252	185265	-9,09E+03	0,0750005	-7,50089	183958	-9,21E+03	0,0750014	-7,50086	177771	-8,93E+03
0,0755154	-7,55152	185866	-9,12E+03	0,0755001	-7,55082	185044	-9,32E+03	0,0755018	-7,55093	178800	-8,95E+03
0,0760055	-7,60052	186453	-9,99E+03	0,0760026	-7,60104	185982	-9,31E+03	0,0760004	-7,60083	179751	-9,01E+03
0,07654	-7,65397	187176	-9,19E+03	0,0765022	-7,65098	186769	-9,34E+03	0,0765003	-7,65085	180620	-9,06E+03
0,07703	-7,70297	187968	-9,23E+03	0,0770018	-7,70091	187440	-9,37E+03	0,0770002	-7,70088	181402	-9,11E+03
0,0775201	-7,75197	188842	-9,27E+03	0,0775014	-7,75084	188070	-9,41E+03	0,0775012	-7,75101	182114	-9,12E+03
0,0780101	-7,80097	189677	-9,31E+03	0,078001	-7,80078	188654	-9,43E+03	0,0780005	-7,80098	182776	-9,18E+03
0,0785001	-7,84997	190380	-1,02E+04	0,0785006	-7,85071	189163	-9,46E+03	0,0785012	-7,85109	183423	-9,21E+03
0,0790347	-7,90343	190942	-9,36E+03	0,0790002	-7,90065	189656	-9,54E+03	0,0790021	-7,90121	184047	-9,19E+03
0,0795247	-7,95243	191247	-9,38E+03	0,0795027	-7,95087	190223	-9,51E+03	0,0795004	-7,95107	184645	-9,26E+03
0,08000147	-8,00143	191438	-9,39E+03	0,0800023	-8,00080	190822	-9,54E+03	0,0800006	-8,00113	185156	-9,28E+03
0,0805047	-8,05043	191627	-1,03E+04	0,0805019	-8,05073	191409	-9,57E+03	0,0805011	-8,05122	185545	-9,28E+03
0,0810393	-8,10388	191923	-9,41E+03	0,0810015	-8,10067	191924	-9,59E+03	0,0810005	-8,10119	185851	-9,31E+03
0,0815293	-8,15288	192260	-9,43E+03	0,0815011	-8,15060	192291	-9,61E+03	0,081501	-8,15127	186092	-9,30E+03
0,0820193	-8,20188	192619	-9,45E+03	0,0820007	-8,20054	192522	-9,62E+03	0,0820001	-8,20122	186290	-9,34E+03
0,0825093	-8,25088	193023	-1,03E+04	0,0825003	-8,25047	192662	-9,68E+03	0,0825009	-8,25134	186521	-9,36E+03
0,0830439	-8,30434	193564	-9,50E+03	0,0830028	-8,30069	192782	-9,63E+03	0,0830018	-8,30147	186862	-9,34E+03
0,0835339	-8,35334	194239	-9,54E+03	0,0835024	-8,35063	192981	-9,64E+03	0,0835006	-8,35138	187316	-9,41E+03
0,0840239	-8,40234	195153	-9,59E+03	0,0840002	-8,40056	193268	-9,66E+03	0,0840018	-8,40153	187938	-9,40E+03
0,0845139	-8,45134	196299	-9,65E+03	0,0845016	-8,45049	193696	-9,69E+03	0,0845005	-8,45143	188736	-9,50E+03
0,085004	-8,50034	197619	-1,06E+04	0,0850012	-8,50043	194306	-9,72E+03	0,0850019	-8,50161	189717	-9,50E+03
0,0855385	-8,55379	199158	-9,79E+03	0,0855006	-8,55036	195045	-9,76E+03	0,0855009	-8,55155	190861	-9,57E+03
0,0860285	-8,60279	200596	-9,86E+03	0,0860004	-8,60030	195932	-9,87E+03	0,0860003	-8,60152	192079	-9,64E+03
0,0865186	-8,65179	202053	-9,94E+03	0,0865028	-8,65052	196984	-9,87E+03	0,0865004	-8,65156	193325	-9,72E+03
0,0870086	-8,70079	203484	-1,09E+04	0,0870024	-8,70045	198171	-9,93E+03	0,0870012	-8,70168	194624	-9,76E+03
0,0875431	-8,75425	205034	-1,01E+04	0,0875020	-8,75038	199525	-1,00E+04	0,0875008	-8,75168	195944	-9,83E+03
0,0880032	-8,80325	206527	-1,02E+04	0,0880017	-8,80032	201022	-1,01E+04	0,0880004	-8,80167	197282	-9,90E+03
0,0885232	-8,85225	208160	-1,02E+04	0,0885013	-8,85025	202584	-1,02E+04	0,0885002	-8,85169	198615	-9,99E+03
0,0890132	-8,90125	209942	-1,03E+04	0,0890008	-8,90019	204204	-1,02E+04	0,0890008	-8,90179	200000	-1,00E+04
0,0895032	-8,95025	211807	-1,14E+04	0,0895005	-8,95012	205882	-1,03E+04	0,0895	-8,95174	201527	-1,02E+04
0,09000378	-9,00370	213782	-1,05E+04	0,0900001	-9,00005	207534	-1,05E+04	0,0900016	-9,00194	203214	-1,02E+04
0,09050278	-9,05270	215469	-1,06E+04	0,0905025	-9,05027	209173	-1,05E+04	0,0905018	-9,052	204959	-1,03E+04
0,0910178	-9,10170	217121	-1,07E+04	0,0910021	-9,10021	210790	-1,06E+04	0,0910015	-9,10201	206704	-1,04E+04
0,0915078	-9,15070	218823	-1,18E+04	0,0915017	-9,15014	212379	-1,06E+04	0,0915019	-9,15209	208417	-1,05E+04
0,0920424	-9,20416	220775	-1,09E+04	0,0920013	-9,20008	214027	-1,07E+04	0,0920012	-9,20206	210124	-1,06E+04
0,0925324	-9,25316	222661	-1,10E+04	0,0925009	-9,25001	215804	-1,08E+04	0,0925021	-9,25219	211838	-1,06E+04
0,0930224	-9,30216	224592	-1,11E+04	0,0930006	-9,29994	217770	-1,09E+04	0,0930022	-9,30223	213569	-1,07E+04
0,0935124	-9,35116	226518	-1,11E+04	0,0935002	-9,34988	219867	-1,11E+04	0,0935019	-9,35223	215337	-1,08E+04
0,0940025	-9,40016	228358	-1,23E+04	0,0940026	-9,40010	221937	-1,11E+04	0,0940021	-9,40229	217119	-1,09E+04
0,0945327	-9,45361	230234	-1,13E+04	0,0945022	-9,45003	223922	-1,12E+04	0,0945018	-9,4523	218854	-1,10E+04
0,095027	-9,50261	231866	-1,14E+04	0,0950018	-9,49997	225869	-1,13E+04	0,0950011	-9,50227	220513	-1,11E+04
0,0955171	-9,55161	233431	-1,15E+04	0,0955014	-9,54990	227814	-1,14E+04	0,0955019	-9,55239	222105	-1,11E+04
0,0960071	-9,60061	234909	-1,26E+04	0,096001	-9,59983	229751	-1,15E+04	0,0960011	-9,60234	223667	-1,12E+04
0,0965416	-9,65407	236433	-1,16E+04	0,0965006	-9,64977	231674	-1,16E+04	0,0965017	-9,65245	225213	-1,13E+04
0,0970317	-9,70307	237754	-1,17E+04	0,0970002	-9,69970	233494	-1,18E+04	0,097002	-9,70251	226722	-1,14E+04
0,0975217	-9,75207	238968	-1,17E+04	0,0975027	-9,74992	235152	-1,18E+04	0,0975006	-9,75241	228193	-1,15E+04
0,0980117	-9,80107	240078	-1,18E+04	0,0980023	-9,79986	236603	-1,18E+04	0,0980007	-9,80245	229659	-1,15E+04
0,0985017	-9,85007	241137	-1,29E+04	0,0985019	-9,84979	237912	-1,19E+04	0,0985011	-9,85253	231080	-1,16E+04
0,0990363	-9,90352	242246	-1,19E+04	0,0990015	-9,89972	239174	-1,20E+04	0,0990018	-9,90264	232348	-1,16E+04
0,0995263	-9,95252	243200	-1,15E+04	0,0995011	-9,94966	240393	-1,20E+04	0,0995016	-9,95266	233435	-1,17E+04
0,1	-9,99989	244068		0,1	-9,99952	241602		0,1	-10,0025	234416	

Σ Área -1194261,551

Σ Área -1173856,841

Σ Área -1143549,347

Ilustración 26 Datos de la modelación en zona elástica del Sardinel especial tipo B





7,40E-02	-22,20380	4,20E+04	-6,28E+03		7,40E-02	-22,19490	4,04E+04	-6,08E+03		7,40E-02	-22,208	4,07E+04	-6,12E+03
7,45E-02	-22,35310	4,21E+04	-6,29E+03		7,45E-02	-22,34520	4,05E+04	-6,08E+03		7,45E-02	-22,3584	4,07E+04	-6,10E+03
7,50E-02	-22,50250	4,21E+04	-6,29E+03		7,50E-02	-22,49540	4,05E+04	-6,08E+03		7,50E-02	-22,5083	4,07E+04	-6,13E+03
7,55E-02	-22,65180	4,21E+04	-6,29E+03		7,55E-02	-22,64540	4,05E+04	-6,08E+03		7,55E-02	-22,6588	4,07E+04	-6,13E+03
7,60E-02	-22,80110	4,21E+04	-6,29E+03		7,60E-02	-22,79550	4,05E+04	-6,09E+03		7,60E-02	-22,8092	4,07E+04	-6,11E+03
7,65E-02	-22,95050	4,21E+04	-6,29E+03		7,65E-02	-22,94560	4,06E+04	-6,09E+03		7,65E-02	-22,9591	4,08E+04	-6,14E+03
7,70E-02	-23,09980	4,21E+04	-6,86E+03		7,70E-02	-23,09570	4,06E+04	-6,09E+03		7,70E-02	-23,1096	4,08E+04	-6,15E+03
7,75E-02	-23,26270	4,21E+04	-6,29E+03		7,75E-02	-23,24580	4,06E+04	-6,10E+03		7,75E-02	-23,2601	4,08E+04	-6,14E+03
7,80E-02	-23,41210	4,21E+04	-6,28E+03		7,80E-02	-23,39590	4,06E+04	-6,10E+03		7,80E-02	-23,4105	4,08E+04	-6,12E+03
7,85E-02	-23,56140	4,21E+04	-6,29E+03		7,85E-02	-23,54610	4,07E+04	-6,10E+03		7,85E-02	-23,5604	4,09E+04	-6,15E+03
7,90E-02	-23,71070	4,21E+04	-6,30E+03		7,90E-02	-23,69610	4,07E+04	-6,11E+03		7,90E-02	-23,7109	4,09E+04	-6,14E+03
7,95E-02	-23,86010	4,22E+04	-6,30E+03		7,95E-02	-23,84620	4,07E+04	-6,11E+03		7,95E-02	-23,8609	4,09E+04	-6,16E+03
8,00E-02	-24,00940	4,22E+04	-6,30E+03		8,00E-02	-23,99620	4,07E+04	-6,11E+03		8,00E-02	-24,0114	4,09E+04	-6,14E+03
8,05E-02	-24,15870	4,22E+04	-6,31E+03		8,05E-02	-24,14630	4,07E+04	-6,13E+03		8,05E-02	-24,1614	4,09E+04	-6,17E+03
8,10E-02	-24,30810	4,23E+04	-6,31E+03		8,10E-02	-24,29690	4,07E+04	-6,11E+03		8,10E-02	-24,312	4,10E+04	-6,17E+03
8,15E-02	-24,45740	4,23E+04	-6,31E+03		8,15E-02	-24,44700	4,07E+04	-6,11E+03		8,15E-02	-24,4625	4,10E+04	-6,15E+03
8,20E-02	-24,60670	4,23E+04	-6,31E+03		8,20E-02	-24,59700	4,08E+04	-6,12E+03		8,20E-02	-24,6125	4,10E+04	-6,17E+03
8,25E-02	-24,75610	4,22E+04	-6,31E+03		8,25E-02	-24,74710	4,08E+04	-6,12E+03		8,25E-02	-24,763	4,10E+04	-6,14E+03
8,30E-02	-24,90540	4,23E+04	-6,31E+03		8,30E-02	-24,89690	4,08E+04	-6,12E+03		8,30E-02	-24,9129	4,10E+04	-6,17E+03
8,35E-02	-25,05470	4,22E+04	-6,31E+03		8,35E-02	-25,04690	4,08E+04	-6,14E+03		8,35E-02	-25,0634	4,10E+04	-6,18E+03
8,40E-02	-25,20410	4,23E+04	-6,31E+03		8,40E-02	-25,19740	4,08E+04	-6,13E+03		8,40E-02	-25,2139	4,10E+04	-6,16E+03
8,45E-02	-25,35340	4,23E+04	-6,31E+03		8,45E-02	-25,34770	4,08E+04	-6,12E+03		8,45E-02	-25,3638	4,11E+04	-6,19E+03
8,50E-02	-25,50270	4,23E+04	-6,33E+03		8,50E-02	-25,49770	4,08E+04	-6,12E+03		8,50E-02	-25,5144	4,11E+04	-6,17E+03
8,55E-02	-25,65210	4,24E+04	-6,33E+03		8,55E-02	-25,64760	4,08E+04	-6,14E+03		8,55E-02	-25,6644	4,11E+04	-6,17E+03
8,60E-02	-25,80140	4,25E+04	-6,34E+03		8,60E-02	-25,79790	4,09E+04	-6,13E+03		8,60E-02	-25,8144	4,11E+04	-6,19E+03
8,65E-02	-25,95070	4,25E+04	-6,35E+03		8,65E-02	-25,94790	4,09E+04	-6,13E+03		8,65E-02	-25,9649	4,12E+04	-6,19E+03
8,70E-02	-26,10000	4,25E+04	-6,93E+03		8,70E-02	-26,09770	4,10E+04	-6,15E+03		8,70E-02	-26,1154	4,12E+04	-6,17E+03
8,75E-02	-26,26300	4,25E+04	-6,35E+03		8,75E-02	-26,24770	4,10E+04	-6,18E+03		8,75E-02	-26,2653	4,12E+04	-6,20E+03
8,80E-02	-26,41230	4,25E+04	-6,35E+03		8,80E-02	-26,39820	4,11E+04	-6,15E+03		8,80E-02	-26,4158	4,12E+04	-6,19E+03
8,85E-02	-26,56160	4,25E+04	-6,35E+03		8,85E-02	-26,54790	4,11E+04	-6,16E+03		8,85E-02	-26,5662	4,12E+04	-6,20E+03
8,90E-02	-26,71100	4,25E+04	-6,34E+03		8,90E-02	-26,69800	4,10E+04	-6,17E+03		8,90E-02	-26,7167	4,12E+04	-6,18E+03
8,95E-02	-26,86030	4,24E+04	-6,33E+03		8,95E-02	-26,84820	4,11E+04	-6,16E+03		8,95E-02	-26,8666	4,13E+04	-6,21E+03
9,00E-02	-27,00960	4,24E+04	-6,33E+03		9,00E-02	-26,99830	4,11E+04	-6,17E+03		9,00E-02	-27,017	4,13E+04	-6,21E+03
9,05E-02	-27,15900	4,24E+04	-6,34E+03		9,05E-02	-27,14840	4,11E+04	-6,17E+03		9,05E-02	-27,1675	4,13E+04	-6,21E+03
9,10E-02	-27,30830	4,25E+04	-6,35E+03		9,10E-02	-27,29850	4,11F+04	-6,17E+03		9,10E-02	-27,3179	4,13E+04	-6,19E+03
9,15E-02	-27,45770	4,25E+04	-6,36E+03		9,15E-02	-27,44850	4,11E+04	-6,20E+03		9,15E-02	-27,4678	4,13E+04	-6,21E+03
9,20E-02	-27,60700	4,26E+04	-6,36E+03		9,20E-02	-27,59910	4,11E+04	-6,18E+03		9,20E-02	-27,6183	4,13E+04	-6,22E+03
9,25E-02	-27,75630	4,26E+04	-6,37E+03		9,25E-02	-27,74920	4,12E+04	-6,18E+03		9,25E-02	-27,7688	4,13E+04	-6,20E+03
9,30E-02	-27,90570	4,26E+04	-6,36E+03		9,30E-02	-27,89930	4,12E+04	-6,18E+03		9,30E-02	-27,9187	4,14E+04	-6,23E+03
9,35E-02	-28,05500	4,26E+04	-6,36E+03		9,35E-02	-28,04930	4,12E+04	-6,18E+03		9,35E-02	-28,0693	4,14E+04	-6,21E+03
9,40E-02	-28,20430	4,26E+04	-6,36E+03		9,40E-02	-28,19940	4,12E+04	-6,19E+03		9,40E-02	-28,2193	4,14E+04	-6,23E+03
9,45E-02	-28,35370	4,25E+04	-6,35E+03		9,45E-02	-28,34960	4,12E+04	-6,18E+03		9,45E-02	-28,3698	4,14E+04	-6,21E+03
9,50E-02	-28,50300	4,26E+04	-6,36E+03		9,50E-02	-28,49950	4,13E+04	-6,20E+03		9,50E-02	-28,5197	4,14E+04	-6,24E+03
9,55E-02	-28,65230	4,26E+04	-6,37E+03		9,55E-02	-28,64960	4,13E+04	-6,19E+03		9,55E-02	-28,6703	4,14E+04	-6,22E+03
9,60E-02	-28,80170	4,26E+04	-6,37E+03		9,60E-02	-28,79960	4,13E+04	-6,19E+03		9,60E-02	-28,8203	4,14E+04	-6,24E+03
9,65E-02	-28,95100	4,26E+04	-6,37E+03		9,65E-02	-28,94950	4,13E+04	-6,20E+03		9,65E-02	-28,9709	4,15E+04	-6,22E+03
9,70E-02	-29,10030	4,27E+04	-6,38E+03		9,70E-02	-29,09970	4,13E+04	-6,20E+03		9,70E-02	-29,1208	4,15E+04	-6,25E+03
9,75E-02	-29,24970	4,27E+04	-6,97E+03		9,75E-02	-29,24990	4,13E+04	-6,19E+03		9,75E-02	-29,2714	4,15E+04	-6,25E+03
9,80E-02	-29,41260	4,28E+04	-6,40E+03		9,80E-02	-29,39990	4,13E+04	-6,21E+03		9,80E-02	-29,4219	4,15E+04	-6,23E+03
9,85E-02	-29,56190	4,29E+04	-6,40E+03		9,85E-02	-29,55010	4,13E+04	-6,20E+03		9,85E-02	-29,5718	4,16E+04	-6,26E+03
9,90E-02	-29,71120	4,29E+04	-6,40E+03		9,90E-02	-29,70010	4,14E+04	-6,21E+03		9,90E-02	-29,7223	4,16E+04	-6,24E+03
9,95E-02	-29,86060	4,28E+04	-5,95E+03		9,95E-02	-29,85020	4,14E+04	-6,21E+03		9,95E-02	-29,8722	4,17E+04	-6,26E+03
1,00E-01	-29,99940	4,28E+04			1,00E-01	-30,00020	4,14E+04			1,00E-01	-30,0224	4,17E+04	

Ilustración 27 Datos de la modelación en zona plástica del Sardinel A10

$\Sigma$  Área -1064942,908

$\Sigma$  Área 10 mm -232703,499

$\Sigma$  Área -1012864,759

$\Sigma$  Área 10 mm -215051,296

$\Sigma$  Área -1110548,493

$\Sigma$  Área 10 mm -306076,831





0,0740298	-22,20930	43589,7	-6,39E+03	0,0740022	-22,19910	40863,5	-6,16E+03	0,0740031	-22,1996	40891,3	-6,14E+03
0,0745187	-22,35590	43645,8	-6,41E+03	0,0745053	-22,34990	40836,5	-6,10E+03	0,0745033	-22,3498	40847,1	-6,13E+03
0,0750075	-22,50260	43710,6	-6,84E+03	0,075003	-22,49920	40846,6	-6,10E+03	0,0750035	-22,5	40795,8	-6,08E+03
0,0755289	-22,65900	43788,5	-6,43E+03	0,0755006	-22,64840	40885,6	-6,17E+03	0,0755001	-22,649	40804,4	-6,13E+03
0,0760177	-22,80570	43824,6	-6,42E+03	0,0760038	-22,79920	40919,7	-6,11E+03	0,0760003	-22,7992	40875,2	-6,14E+03
0,0765066	-22,95230	43802	-6,86E+03	0,0765014	-22,94840	40951,5	-6,18E+03	0,0765005	-22,9494	40938,3	-6,15E+03
0,077028	-23,10880	43802,1	-6,42E+03	0,0770045	-23,09930	40966,7	-6,11E+03	0,0770008	-23,0995	40992,6	-6,16E+03
0,0775168	-23,25540	43843	-6,43E+03	0,0775022	-23,24850	41003,6	-6,19E+03	0,077501	-23,2497	41024,7	-6,16E+03
0,0780057	-23,40210	43873,9	-6,86E+03	0,0780053	-23,39940	40989,3	-6,11E+03	0,0780012	-23,3999	41056,5	-6,17E+03
0,0785271	-23,55850	43885,8	-6,44E+03	0,078503	-23,54860	40977,7	-6,12E+03	0,0785014	-23,5501	41096,9	-6,17E+03
0,0790159	-23,70510	43915,7	-6,44E+03	0,0790006	-23,69780	41020,8	-6,19E+03	0,0790017	-23,7002	41120,2	-6,18E+03
0,0795047	-23,85180	43948,7	-6,87E+03	0,0795037	-23,84860	41057,4	-6,14E+03	0,079502	-23,8504	41137,8	-6,18E+03
0,0800262	-24,00820	43958,8	-6,45E+03	0,0800014	-23,99790	41135,4	-6,21E+03	0,0800023	-24,0006	41159,4	-6,18E+03
0,080515	-24,15490	43980,7	-6,45E+03	0,0805045	-24,14870	41180,2	-6,15E+03	0,0805026	-24,1508	41180,2	-6,19E+03
0,0810038	-24,30150	44011,2	-6,89E+03	0,0810022	-24,29790	41209,1	-6,22E+03	0,0810028	-24,301	41236	-6,20E+03
0,0815253	-24,45800	44029,4	-6,46E+03	0,0815053	-24,44880	41237,6	-6,16E+03	0,0815031	-24,4512	41290,5	-6,21E+03
0,0820141	-24,60460	44067	-6,47E+03	0,0820029	-24,59800	41273,9	-6,16E+03	0,0820036	-24,6015	41315,5	-6,17E+03
0,0825029	-24,75130	44116,6	-6,90E+03	0,0825006	-24,74720	41250,6	-6,22E+03	0,0825011	-24,7509	41331,8	-6,21E+03
0,0830243	-24,90770	44158,3	-6,48E+03	0,0830037	-24,89810	41216,9	-6,15E+03	0,0830016	-24,9011	41346,9	-6,22E+03
0,0835132	-25,05440	44183,7	-6,48E+03	0,0835014	-25,04730	41236,9	-6,22E+03	0,0835023	-25,0514	41359,3	-6,22E+03
0,084002	-25,20100	44169,3	-6,91E+03	0,0840045	-25,19810	41282,2	-6,17E+03	0,0840043	-25,2017	41374,5	-6,21E+03
0,0845234	-25,35750	44137	-6,47E+03	0,0845022	-25,34740	41317,3	-6,23E+03	0,0845029	-25,3518	41377	-6,21E+03
0,0850123	-25,50410	44145,7	-6,48E+03	0,0850053	-25,49820	41353,7	-6,17E+03	0,0850027	-25,5018	41359,1	-6,22E+03
0,0855011	-25,65080	44193,3	-6,92E+03	0,0855029	-25,64740	41382,8	-6,18E+03	0,0855032	-25,6521	41343,6	-6,21E+03
0,0860225	-25,80720	44236,4	-6,49E+03	0,0860006	-25,79660	41406,7	-6,25E+03	0,0860034	-25,8023	41347,3	-6,17E+03
0,0865113	-25,95380	44262,8	-6,50E+03	0,0865037	-25,94750	41411,5	-6,18E+03	0,08651	-25,9514	41365,8	-6,21E+03
0,0870002	-26,10050	44327,9	-6,94E+03	0,0870014	-26,09670	41411,7	-6,25E+03	0,0870002	-26,1015	41382,8	-6,22E+03
0,0875216	-26,25690	44395,5	-6,52E+03	0,0875045	-26,24760	41413,6	-6,18E+03	0,0875004	-26,2517	41434,9	-6,23E+03
0,0880104	-26,40360	44437,9	-6,95E+03	0,0880021	-26,39680	41434,5	-6,25E+03	0,0880007	-26,4019	41506,5	-6,23E+03
0,0885319	-26,56000	44444,9	-6,52E+03	0,0885053	-26,54760	41475,4	-6,19E+03	0,0885009	-26,552	41561,2	-6,25E+03
0,0890207	-26,70670	44432,5	-6,51E+03	0,0890029	-26,69680	41515,6	-6,20E+03	0,0890011	-26,7022	41631,9	-6,26E+03
0,0895095	-26,85330	44432,8	-6,96E+03	0,0895006	-26,84610	41523,9	-6,26E+03	0,0895013	-26,8524	41676,3	-6,27E+03
0,0900039	-27,00980	44456,2	-6,52E+03	0,0900037	-26,99690	41514,5	-6,20E+03	0,0900029	-27,0029	41689,6	-6,24E+03
0,0905198	-27,15640	44481,8	-6,53E+03	0,0905013	-27,14610	41533,5	-6,27E+03	0,0905017	-27,1527	41683,4	-6,27E+03
0,0910086	-27,30310	44519,1	-6,96E+03	0,0910045	-27,29700	41568,4	-6,21E+03	0,091003	-27,3032	41684,9	-6,26E+03
0,09153	-27,45950	44545,6	-6,53E+03	0,0915021	-27,44620	41611,4	-6,28E+03	0,0915028	-27,4532	41719,9	-6,27E+03
0,0920189	-27,60610	44569,2	-6,54E+03	0,0920052	-27,59710	41674,2	-6,22E+03	0,0920035	-27,6035	41774,1	-6,23E+03
0,0925077	-27,75280	44597,9	-6,98E+03	0,0925029	-27,74630	41699,2	-6,22E+03	0,0925002	-27,7526	41785,8	-6,28E+03
0,0930291	-27,90920	44623	-6,55E+03	0,0930006	-27,89550	41718,3	-6,29E+03	0,0930006	-27,9029	41772,6	-6,28E+03
0,0935179	-28,05590	44640,4	-6,55E+03	0,0935037	-28,04630	41768,6	-6,24E+03	0,0935015	-28,0532	41782,6	-6,28E+03
0,0940068	-28,20250	44664,5	-6,99E+03	0,0940013	-28,19560	41794,2	-6,30E+03	0,0940017	-28,2034	41807,3	-6,28E+03
0,0945282	-28,35900	44687,6	-6,55E+03	0,0945045	-28,34640	41799	-6,23E+03	0,0945019	-28,3536	41833	-6,28E+03
0,095017	-28,50560	44698,1	-6,56E+03	0,0950021	-28,49560	41771,8	-6,30E+03	0,0950021	-28,5037	41849,4	-6,29E+03
0,0955059	-28,65230	44722,3	-7,00E+03	0,0955052	-28,46450	41737,8	-6,23E+03	0,0955023	-28,6539	41846,9	-6,29E+03
0,0960273	-28,80870	44770,6	-6,57E+03	0,0960029	-28,79570	41766,7	-6,24E+03	0,0960025	-28,8041	41845,1	-6,28E+03
0,0965161	-28,95540	44808,2	-6,57E+03	0,0965005	-28,94490	41833,8	-6,32E+03	0,0965027	-28,9542	41873,7	-6,29E+03
0,097005	-29,10200	44832,3	-7,02E+03	0,0970037	-29,09580	41864,3	-6,25E+03	0,097003	-29,1044	41922,8	-6,30E+03
0,0975264	-29,25850	44867,5	-6,58E+03	0,0975013	-29,24500	41873,3	-6,32E+03	0,0975033	-29,2546	41965,4	-6,31E+03
0,0980152	-29,40510	44907,3	-6,59E+03	0,0980044	-29,39580	41880,2	-6,25E+03	0,0980035	-29,4048	42007,5	-6,27E+03
0,098504	-29,55180	44935,3	-7,03E+03	0,0985021	-29,54500	41916,3	-6,33E+03	0,0985001	-29,5539	42034,6	-6,31E+03
0,0990255	-29,70820	44960,7	-6,59E+03	0,0990052	-29,69590	41953,1	-6,26E+03	0,0990003	-29,704	42058,9	-6,32E+03
0,0995143	-29,85480	44972,6	-6,56E+03	0,0995029	-29,84510	41995,2	-6,26E+03	0,0995007	-29,8542	42103,9	-6,31E+03
0,1	-30,00060	44991,4		0,1	-29,99420	42006,5		0,1	-30,0041	42136,4	

Ilustración 28 Datos de la modelación en zona plástica del Sardinel BR-4





