



TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE COACALCO

OPTIMIZACIÓN DE UNA PIEZA MECÁNICA POR MEDIO DE ELEMENTO FINITO Y TAGUCHI CON ACERO GALVANIZADO

TESIS

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Especialidad
AUTOMATIZACIÓN

Presenta:

OZMAN BERNARDO FRÍAS ENCISO

No. de Matrícula 08091158

Asesor: MTRO. IRVING MENDOZA PAZ

Coacalco de Berriozábal, Enero, 2024

RESUMEN

La investigación está basada en la optimización de una pieza mecánica. La cual será diseñada en un software que nos permite realizar simulaciones para determinar la deformación y desplazamiento que tendrán al aplicarles una fuerza. Se le harán distintas modificaciones en algunas de sus dimensiones para obtener distintos resultados. mediante el método de arreglo ortogonal de Taguchi se realizará una comparación de datos para determinar cuál de las modificaciones que se le realizo fue la que menor obtuvo deformación y de esa manera poder demostrar que al efectuar cambios sobre el diseño podemos mejorar el rendimiento, para poder elegir la pieza que sea más optima.

ÍNDICE

Contenido

GENERALIDADES DEL PROYECTO	4
INTRODUCCIÓN	4
JUSTIFICACIÓN	5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
ANTECEDENTES	6
OBJETIVOS	8
ALCANCES Y LIMITACIONES	9
IMPACTOS ESPERADOS Y VIABILIDAD	10
MARCO TEÓRICO.....	11
DESARROLLO.....	22
RESULTADOS	32
CONCLUSIONES.....	34
COMPETENCIAS DESARROLLADAS	35
FUENTES DE INFORMACIÓN	36
ANEXOS	37

CAPITULO I

GENERALIDADES DEL PROYECTO

INTRODUCCIÓN

Cuando por alguna necesidad se requiere fabricar una pieza mecánica, se debe contemplar el tipo de material y un diseño adecuado, que cumpla de manera eficiente con los requisitos solicitados. El boceto se puede elaborar en algún software de diseño. En estos softwares también se pueden realizar pruebas mecánicas de la pieza para determinar algunos errores de diseño entre otros. Es por lo cual esta investigación estará enfocada en la optimización de una pieza mecánica específica. Esta misma será alterada en algunas de sus dimensiones de diferentes maneras, con los cuales se realizará a cada una de sus modificaciones un análisis de deformación y desplazamiento a través del software de diseño SolidWorks para obtener resultados variados que serán utilizados para determinar que pieza obtuvo mayor alteración.

Utilizando la ecuación del método ortogonal de Taguchi en un software de cálculos matemáticos llamado MatCad se aplicará a cada uno de los valores obtenidos en el análisis de deformación y desplazamiento, mostrando distintos resultados los cuales serán comparados para determinar cuál de todos ellos tiene menor deformación y desplazamiento,

Al término de la investigación quedara demostrado que al realizar pequeñas modificaciones al diseño de la pieza mecánica se puede obtener un resultado más eficiente en cuanto a los análisis realizados.

JUSTIFICACIÓN

Existen diferentes métodos y maneras de diseñar una pieza mecánica, para ello se considera la dimensión y forma que debe llevar, al variar uno de estos se modificaran algunas de sus propiedades mecánicas los cuales pueden influir en su vida útil.

Actualmente existen softwares de diseño que te permiten simular el comportamiento de algunas propiedades mecánicas, por lo tanto, el proyecto busca determinar estos parámetros de forma experimental mediante el estudio de la deformación en estos elementos (En otras palabras, se busca identificar cuál es el mejor diseño, variando sus dimensiones. comparándolas entre ellas para así elegir cuál es la mejor opción y de esta manera prevenir errores y fallas que puedan afectar el rendimiento de la pieza mecánica).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El rendimiento de una pieza mecánica influye directamente de su diseño, al modificar una de sus propiedades esta puede tener un mayor o menor desempeño. Por lo cual se pretende realizar varias simulaciones alterando algunas de sus dimensiones, para poder determinar cuál de estas variaciones es la más optima. la necesidad de realizar una simulación es poder identificar posibles fallas y errores de diseño que afectaran directamente al desempeño de la pieza. Al no aplicarse se corre el riesgo de que la pieza tenga fallas o una vida útil más corta.

ANTECEDENTES

1. González (2019) en su tesis “Introducción al método del elemento finito: SolidWorks y Matlab” muestra una introducción a los simuladores del elemento finito conocidos como CAE (ingeniería asistida con computadora) para el cálculo de las deformaciones de la estructura bajo las cargas aplicadas en un mismo caso en dos programas diferentes los cuales son SolidWorks y Matlab.

En su trabajo muestra un ejemplo de la estructura de un bastidor al cual le realiza un análisis por medio de elemento finito que tiene como objetivo conocer los resultados máximos y mínimos de tensión en los materiales y diseños.

Al término de la investigación concluye que al realizar pruebas detalladas al diseño mediante SolidWorks y Matlab se pueden resolver interrogantes sobre cuáles son los materiales adecuados y limitaciones de diseño mediante el software de diseño y como aplicarlo.

2. En la investigación de la revista ProScience, Montijo (2020) presenta el artículo nombrado “Cálculo de esfuerzos mediante simulación con elementos finitos: una herramienta para implementarse en ingeniería” en el cual realiza una simulación de análisis estático a 3 geometrías distintas en 2 softwares distintos los cuales son SolidWorks e Inventor, además pretende realizar un análisis teórico. aplicando los mismos parámetros en ambos pretende realizar una comparación entre ellos y analizar los resultados.

A lo largo de su investigación pretende demostrar las capacidades de los materiales implementados, los resultados obtenidos en ambos casos y algunos porcentajes de errores mediante elemento finito.

En conclusión su trabajo demuestra que la implementación de AEF con SolidWorks, Autodesk resulta una técnica más rápida y precisa para poder realizar análisis estructurales, que un análisis teórico, presentado datos y porcentajes de error en cada uno de ellos.

3. RAMOS (2020) presenta en su investigación “CÁLCULO POR ELEMENTOS FINITOS DE LAS GUÍAS DE UN MINITORNO” un mini torno en el cual algunas de partes son sometidas a un análisis estático para determinar la tensión y desplazamiento en dichas piezas.

El análisis se enfoca en las guías del carro transversal que es en donde se aplica una fuerza que puede afectar directamente al desempeño del mini torno

Al concluir la investigación presentan datos donde en una de las 2 guías sufre una mayor deformación debido al diseño aplicado.

4. En la tesis de Catota (2020) “*Análisis de las propiedades mecánicas de la junta soldada de un acero estructural (A588) con el proceso GMAW mediante la implementación del método de Taguchi*” escuela politécnica, facultad de ingeniería mecánica” en su trabajo aplica el método de Taguchi a un acero, al cual de igual manera que en mi investigación realiza modificación al proceso de soldadura para obtener distintos análisis estructurales y determinar su comportamiento, en su desarrollo aplica el método ortogonal L9 de Taguchi el mismo aplicado en mi investigación, su análisis va al campo experimental desarrollado en físico obteniendo resultados reales de la pieza fabricada, realizando pruebas de dureza y tomando micrografías para el análisis de la soldadura.

Al final de su trabajo demuestra mediante el método de Taguchi cuál de sus probetas obtuvo una unión más eficiente mediante la variación en el proceso de soldado.

OBJETIVOS

Objetivo general

Comparar los distintos diseños de una pieza mecánica específica para demostrar cual es el que menor deformación y esfuerzo para obtener el diseño optimo.

Objetivos específicos

1. Dibujar en un software de diseño la pieza mecánica y modificar sus dimensiones de 9 maneras distintas.
2. Realizar una simulación de elemento finito en SolidWorks de cada uno de los diseños para obtener los valores de la deformación y desplazamiento.
3. Utilizar el método ortogonal de Taguchi con todos los resultados de las simulaciones.
4. Elegir el diseño más optimo mediante la comparación de los resultados obtenidos.

ALCANCES Y LIMITACIONES

ALCANCES

- Obtener un conocimiento previo para así poder corregir errores
- Sirve como base para alguna otra pieza que sea distinta a la presentada
- Adquirir varias opciones y poder elegir la que más sea adecuada
- Tener un aproximamiento al resultado final

LIMITACIONES

- Al no fabricarse la pieza no se pueden realizar estudios que sostengan la veracidad de lo calculado
- Al realizarse con una pieza mecánica específica no puede aplicarse directamente con alguna otra, aunque sea similar

IMPACTOS ESPERADOS Y VIABILIDAD

Impactos esperados:

Ofrecer diferentes opciones de diseño de una sola pieza y mostrar su comportamiento y rendimiento

Aportar resultados para una futura investigación similar

Detectar posibles errores de una forma virtual.

Demostrar parte de la importancia del diseño en la fabricación de piezas mecánicas.

Viabilidad:

Esta investigación es viable ya que al utilizar softwares es accesible a la mayoría de personas que deseen realizarlo, a nivel personal se tiene el conocimiento previo ya sea en algunas materias relacionadas o por prácticas realizadas dentro de la formación académica, a nivel institucional se tiene el asesoramiento de profesores y equipo necesario de trabajo para poder llevar a cabo la investigación, los recursos económicos son relativamente bajos ya que al contar con computadoras e internet se tiene la mayor parte de los recursos necesarios para trabajar en el proyecto.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

1.1 Método de elementos finitos

Es un método en el cual divide la pieza en un número finito de secciones, unidas por nodos entre sí, a esta se le conoce como malla. Al tener un número mayor de divisiones se obtiene la solución más exacta, esto dependerá de la exactitud que se desee.

Este método determina el comportamiento de una estructura ante las cargas sustituyendo la solución continua, exacta y en la mayoría de los casos imposible del sistema de ecuaciones diferenciales que conforman el problema elástico por una solución discontinua o discreta y, por tanto, aproximada. Para ello discretiza la estructura, es decir, la divide en elementos no diferenciales, o elementos finitos, interconectados entre sí a través de un determinado número de puntos, que llamaremos nodos. Después de estudiar cada elemento por separado se recompone la estructura restableciendo el equilibrio y la compatibilidad de desplazamientos en los nodos, lo que da lugar a un sistema de ecuaciones algebraicas. La resolución de este sistema de ecuaciones permite hallar los desplazamientos de los nodos y, a partir de ellos, las restantes incógnitas de la estructura (Vázquez, 1992).

Como se puede ver en la siguiente imagen los nodos y elementos de un mallado

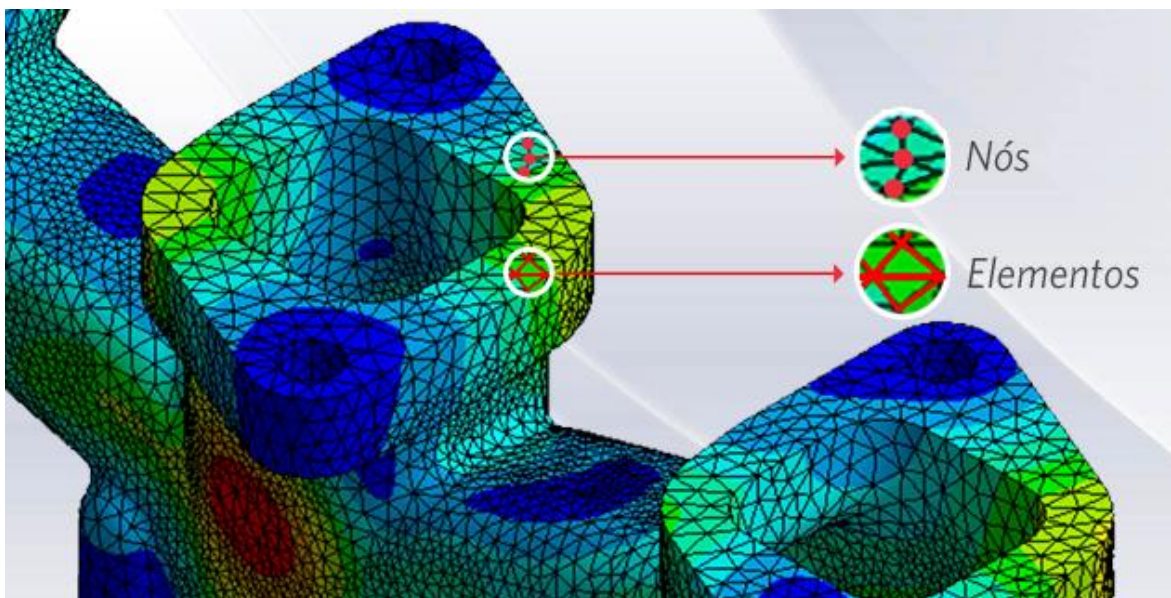


Ilustración 1 REPRESENTACIÓN DE NODOS Y ELEMENTOS

Otra definición puede ser

El método de elementos finitos, se trata de un método numérico para la solución de problemas de ingeniería, empleado para la resolución de problemas que involucran un alto grado de complejidad, de matemáticas aplicadas así como las fisicomatemáticas, ya que la gran mayoría de los problemas que se presentan en estas áreas, comúnmente involucran geometrías complejas, cargas no distribuidas y determinación de propiedades de materiales, por lo que no es posible obtener alguna solución analítica directamente de la expresión. (Brunet, 2015)

1.2 Elemento finito en SolidWorks

SolidWorks es un software de diseño en el cual se pueden realizar distintas simulaciones, una de las cuales es el elemento finito, este programa es muy útil para realizar de manera exacta y rápida. Este software ofrece una breve del elemento finito

El software utiliza el Método de elemento finito (FEM). El FEM es una técnica numérica para analizar diseños de ingeniería. El FEM está aceptado como el método de análisis estándar debido a su generalidad y compatibilidad para ser implementado en computadoras. El FEM divide el modelo en numerosas piezas pequeñas de formas simples llamadas "elementos", que reemplazan eficazmente un problema complejo por muchos problemas simples que deben ser resueltos de manera simultánea.

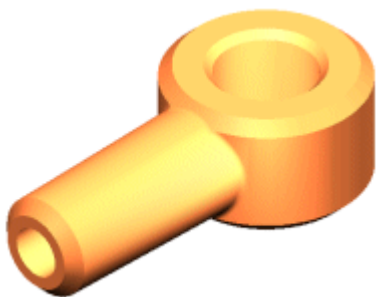


Ilustración 2 Modelo CAD de una pieza

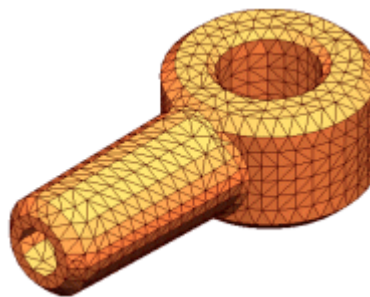


Ilustración 3 Modelo subdividido en piezas pequeñas (elementos)

Los elementos comparten puntos comunes denominados "nodos". El proceso de división del modelo en pequeñas piezas se denomina mallado.

El comportamiento de cada elemento es bien conocido bajo todas las situaciones de soporte y carga posibles. El método de elemento finito utiliza elementos con formas diferentes.

La respuesta en un elemento, en cualquier momento, se interpola desde la respuesta en los nodos del elemento. Cada nodo está descrito en detalle por un cierto número de parámetros, según el tipo de análisis o del elemento utilizado. Por ejemplo, la temperatura de un nodo describe por completo su respuesta en el análisis térmico. Para el análisis estructural, la respuesta de un nodo está descrita, por lo general, por tres traslaciones y tres rotaciones. Se denominan grados de libertad (GDL). El análisis que utiliza FEM se denomina Análisis de elementos finitos (FEA).

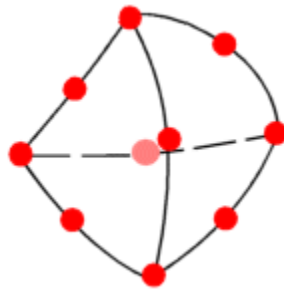


Ilustración 4 REPRESENTACION DE NODOS

Un elemento tetraédrico. Los puntos rojos representan nodos. Las aristas de un elemento pueden ser curvadas o rectas.

El software formula las ecuaciones que rigen el comportamiento de cada elemento teniendo en cuenta su conectividad con los demás elementos. Estas ecuaciones hacen referencia a la respuesta de cargas, restricciones y propiedades del material conocidas.

El programa organiza las ecuaciones en un conjunto mayor de ecuaciones algebraicas simultáneas y resuelve las desconocidas.

En el análisis de tensión, por ejemplo, el software encuentra los desplazamientos en cada nodo y, posteriormente, el programa calcula las deformaciones unitarias y finalmente las tensiones. (Dassault, Systèmes, 2016)

El software ofrece los siguientes tipos de estudios:

Tipo de estudio		Icono del estudio	
Estático		Gráfico de historia-tiempo	
Frecuencia		Armónico	
Pandeo		Vibración aleatoria	
Térmico		Espectro de respuesta	
Estudio de diseño		Caída	
Estático no lineal		Fatiga	
Dinámico no lineal		Diseño de recipiente a presión	

Tabla 1 TIPOS DE ESTUDIOS

2.1 ACERO GALVANIZADO

El acero galvanizado es un tipo de acero que se recubre con varias capas de zinc, por lo cual cuenta con una protección contra la oxidación a causa de las condiciones de humedad e inclemencias del clima que hacen que aparezca corrosión en el metal. Esto hace que sea un material más duradero y resistente. Este acero recubierto tiene una variedad de aplicaciones, en las que se incluye su uso en la construcción y fabricación de componentes industriales.

¿Qué es el acero galvanizado y para qué se utiliza?

El galvanizado es un proceso que consiste en recubrir el acero y el hierro con una capa de zinc que le aporta una protección contra la corrosión atmosférica. El término de galvanizado proviene del físico y médico italiano Luigi Galvani, quien comprobó con sus trabajos que el metal se puede recubrir con otro, en la medida en que sea el metal de carga mayor el que se deposite sobre la carga menor. Este descubrimiento dio paso al proceso de galvanizado, proceso electroquímico que permite revestir el metal con otro mediante diferentes procesos.

Se trata de un material que se destina para la fabricación de una variedad de componentes industriales, entre ellos, las estanterías metálicas. Además, cada vez es más frecuente encontrar mobiliario en el hogar que se fabrica con este tipo de acero que brinda a las estancias un toque más moderno.

¿Qué tipo de acero es el acero galvanizado?

El acero es una aleación de hierro con carbono, en el caso del acero galvanizado se procesa con un tratamiento final para recubrirlo con varias capas de zinc. Con este procedimiento se convierte en un material más resistente a las rayaduras, tiene un acabado más duradero y dispone de una protección contra la oxidación. También, se considera atractivo y más resistente que el hierro o que el acero sin galvanizar.

Propiedades del acero galvanizado

El **metal galvanizado** al estar constituido por varias capas de aleaciones zinc-hierro, cuenta con una cobertura en la totalidad de la superficie de la pieza, por lo cual dispone de las siguientes propiedades:

- Resistencia a la abrasión.
- Resistencia a la corrosión atmosférica, de agua dulce y agua de mar.
- Alta fuerza y durabilidad ante daños mecánicos.
- Límite elástico.
- Resistencia a tracción.
- Alargamiento total
- Coeficiente de endurecimiento.
- Ductilidad.

Características del acero galvanizado

El acero galvanizado por su composición forma una aleación metalúrgica entre el hierro y el zinc, generando varias capas intermetálicas de distinta composición. La capa más externa que tiene más contenido de zinc, se caracteriza por su aspecto estético y una superficie gris brillante metálica.

Tipos de galvanizado que existen ¿cuáles son?

A continuación, te dejamos los principales tipos de acero galvanizado que son utilizados convencionalmente en la producción de diferentes materiales dentro de la industria, en la construcción y para la fabricación de herramientas:

1. Galvanizado en caliente: Este tipo de galvanizado sumerge al acero en zinc a una temperatura aproximada de entre 435 a 450 C° para que ambos metales se fundan y generen una excelente adherencia de recubrimiento. En el proceso se van creando varias capas de aleación hasta conseguir el espesor óptimo. Por su nivel de fusión ofrece una mayor dureza y resistencia

ante los agentes externos, por lo cual se considera ideal para su uso a la intemperie.

2. Galvanizado en frío: En este caso se consigue al aplicar pinturas con alto contenido de zinc con brochas o pistolas. Generalmente se utiliza para realizar reparaciones por cortes o quemaduras, aunque también se emplea para proteger determinadas piezas de acero. Cabe destacar que la capa que se produce es más delgada, por lo que su resistencia ante golpes y abrasión es menor, así como su durabilidad.
3. Galvanizado zincado o electrozincado: En este acabado se reviste de zinc el acero a través de la transferencia de iones metálicos. Se utiliza un equipo especial que permite el flujo de corriente continuo para crear la capa galvanizada. Este tipo de galvanizado ofrece una protección más baja que los anteriores, por lo que su uso es más estético siendo adecuado para exteriores e interiores.

Proceso de galvanizado del acero

Para conseguir el acero galvanizado se somete a un proceso que se basa en distintas etapas, también existen distintos procesos por los cuales se puede conseguir esta aleación. Sin embargo, el más común es el que se realiza por inmersión en caliente que consiste en un baño de zinc fundido a 450°C. Durante esta inmersión se produce una reacción de difusión entre el zinc y el acero que forma varias capas de aleación que quedan cubiertas.

¿Cuál es mejor el acero inoxidable o galvanizado?

Aunque el acero inoxidable y el acero galvanizado tienen un acabado similar y se utilizan en ambientes corrosivos, suelen tener diferencias en cuanto a fabricación, composición y por lo tanto en propiedades, a continuación, te dejamos las cualidades de cada uno para que valores cuál es mejor en términos de funcionalidad.

Como lo hemos mencionado a lo largo de este blog, el acero galvanizado es un material que contiene zinc y que utiliza un baño caliente para crear su recubrimiento. En el caso del acero inoxidable se forma de una aleación de hierro con cromo y carbono, entre otros elementos como el níquel que aumentan su resistencia a la corrosión.

En cuanto a resistencia el acero galvanizado es más débil que el acero inoxidable, debido a que contiene solo una capa externa de recubrimiento anticorrosivo que se desgasta con el tiempo, no ofrece protección contra la oxidación durante largos

periodos. Por tanto, las propiedades físicas del acero inoxidable son diferentes, pues suele ser resistente a la corrosión gracias a su efecto molecular conocido como pasivación, en el que el óxido de cromo cura o restaura los daños en el metal.

Por su parte, el acero galvanizado al ser menos resistente, su precio es más barato, por ello se utiliza en proyectos de menor presupuesto que el acero inoxidable, aunque tiene una variedad de aplicaciones que van desde la producción de alimentos hasta la industria.

Ventajas del acero galvanizado

- Resistencia a la corrosión que se produce en la atmósfera, que evita que la humedad, cloruros y sulfuros afecten al acero.
- Es un tipo de acero que tiene una alta durabilidad.
- Apariencia estética y brillante.
- Sin mantenimiento, lo que se ve reflejado en el coste-beneficio.
- Es fácil de manejar, puede ser soldado, atornillado, pintado y combinado con todo tipo de piezas.
- En un material reciclable.

¿Qué tan resistente es el galvanizado?

El acero galvanizado tiene una gran resistencia al calor, además puede durar y conservarse en perfectas condiciones hasta más de 70 años lo que hace que sea un material muy rentable.

- En entornos rurales se considera que cuenta con una vida útil de hasta 150 años.
- En ambientes industriales y costa tiene una durabilidad de entre 50-100 años.
- En entornos muy corrosivos puede durar hasta 25 años.

Aplicaciones del acero galvanizado

El acero con recubrimiento de zinc, como se ha mencionado anteriormente tiene aplicación en la industria y en la construcción por lo cual lo podemos encontrar en productos estructurales como rejillas, láminas lisas, acanaladas y en rollos, así como en alambres de acero, cables, placas, piezas de fundición, tuberías, tornillos, tuercas, entre otras herramientas.

Este material también se puede emplear en puentes y carreteras, en armaduras para cubiertas, columnas, vigas largueros, luz, señalización, barandas, cercas, así

como sirve como material prima para elaborar tendidos eléctricos, bienes de equipos originales, tanques, en refuerzos de acero para losas de hormigón, así como para los accesorios de construcción como canalones, caballetes, esquinero y demás.

Propiedades de material

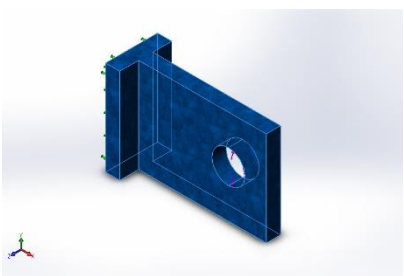
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: Acero galvanizado Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 2.03943e+08 N/m² Límite de tracción: 3.56901e+08 N/m² Módulo elástico: 2e+11 N/m² Coeficiente de Poisson: 0.29 Densidad: 7,870 kg/m³	Sólido 1(Línea de partición1)(CORRIDA-1)
Datos de curva:N/A		

Tabla 2 PROPIEDADES MECANICAS DE ACERO GALVANIZADO

3.1 MÉTODO DE TAGUCHI (arreglo ortogonal)

El método de Taguchi permite elegir un producto o proceso que funcione con mayor eficiencia en un entorno.

El método Taguchi se expone como una herramienta eficiente para el diseño y optimización de procesos y productos, debido a que se centra en la identificación y evaluación de las variables con mayor influencia en la salida del proceso, en la reducción de los efectos de los factores no controlables y en la reducción de la variación del desempeño del proceso. El método se basa en el estudio de los efectos principales generados por la ocurrencia de algo no controlado e incorpora en su análisis las variaciones que afectan en forma negativa a la calidad.

El método Taguchi no solo se emplea en la investigación de las relaciones causales, sino que busca desarrollar un modelo matemático de causa y efecto y contribuir a la selección de los efectos principales para consolidar la robustez del diseño del producto y del proceso. (Sarache, 2014)

Otra definición se puede leer de la siguiente manera

Dentro del diseño de experimentos es común utilizar un criterio de optimalidad que permita a través de un proceso de selección formar una fracción con las mejores propiedades, también llamado “diseño óptimo”. Estos diseños a diferencia de los diseños clásicos son más eficientes en cuanto al número de corridas necesarias para obtener información útil en la región experimental.

El diseño óptimo proporciona una conexión más directa entre el diseño experimental y el rendimiento estadístico al enmarcar la selección del diseño como un problema de optimización, en el que se minimizan los errores estándar o se maximizan los parámetros de no centralidad (Morris, 2011)

Este método se base en crear un arreglo ortogonal en la imagen se muestran los tipos de arreglos según Taguchi

Número de factores a analizar	Arreglo ortogonal	Número de corridas
Entre 2 y 3	L4	4
Entre 4 y 7	L8	8
Entre 8 y 11	L12	12
Entre 12 y 15	L16	16
Entre 16 y 31	L32	32
Entre 32 y 63	L64	64

Tabla 3 ARREGLO ORTOGONAL

En esta otra tabla 5 se observan algunos criterios que se toman en cuenta a la otra de realizar los cálculos

Criterio	Descripción	Ecuación
D-optimalidad	Una matriz D-óptima es aquella para la cual la varianza generalizada se minimiza para el modelo lineal estándar.	$D_{\text{optimalidad}} = X'X = \frac{1}{ (X'X)^{-1} }$ (1)
A-optimalidad	Una matriz A-óptima es aquella que minimiza la varianza promedio de los coeficientes estimados.	$A_{\text{optimalidad}} = \min(\text{trasto}(X'X)^{-1}) = \sum_{i=1}^p C_{ii}$ (2)
V-optimalidad	Una matriz V-óptima es aquella donde la selección de candidatos elegidos tiene la varianza promedio de la predicción más baja.	$V_{\text{optimalidad}} = \min\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X'_i * (X'X)^{-1} * X_i)\right)$ (3) Donde: para un candidato X_i la predicción de la varianza es $d(X_i) = X'_i * (X'X)^{-1} * X_i$ X_i es un vector que representa a un diseño simple y X'_i representa la transpuesta del vector
G-optimalidad	Una matriz G-óptima es aquella que minimiza la varianza más alta de predicción de un diseño.	$G_{\text{optimalidad}} = \min\left(\max\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X'_i * (X'X)^{-1} * X_i)\right)\right)$ (4)
E-optimalidad	Una matriz E-óptima minimiza la varianza más alta de predicción del diseño.	$E_{\text{optimalidad}} = \min(\max(\text{valorespropios}(X'X)))$ (5)

Tabla 4 CRITERIOS

En otra tabla encontramos los parámetros para la señal de ruido (signal noise) S/N

Relación de señal a ruido	Meta del experimento	Características de los datos	Fórmulas de relaciones de señal a ruido
Más grande es mejor	Maximizar la respuesta	Positivos	$S/N = -10 * \log(\Sigma(1/Y^2)/n)$
Nominal es mejor	Definir el objetivo de respuesta y usted desea basar la relación de	Positivos, cero o negativos	$S/N = -10 * \log(\sigma^2)$

Relación de señal a ruido	Meta del experimento	Características de los datos	Fórmulas de relaciones de señal a ruido
	señal a ruido en desviaciones estándar solamente.		
Nominal es mejor (predeterminado)	Definir el objetivo de respuesta y usted desea basar la relación de señal a ruido en medias y desviaciones estándar	No negativos con un "cero absoluto" en los que la desviación estándar es cero cuando la media es cero	$S/N = 10 \times \log ((\bar{Y}^2) \div \sigma^2)$ La fórmula ajustada es: $S/N = 10 \times \log ((\bar{Y}^2 - s^2 \div n) \div s^2)$
Más pequeño es lo mejor	Minimizar la respuesta	No negativos con un valor objetivo de cero	$S/N = -10 \times \log (\Sigma(Y^2)/n)$

Tabla 5 RELACION DE SEÑAL DE RUIDO

CAPÍTULO III

DESARROLLO

Mediante el software de diseño SolidWorks se realizó un plano acotado de la pieza mecánica a la que se le realizarán las pruebas. para determinar cuál es el diseño más óptimo

El material de la pieza es un Fundición gris

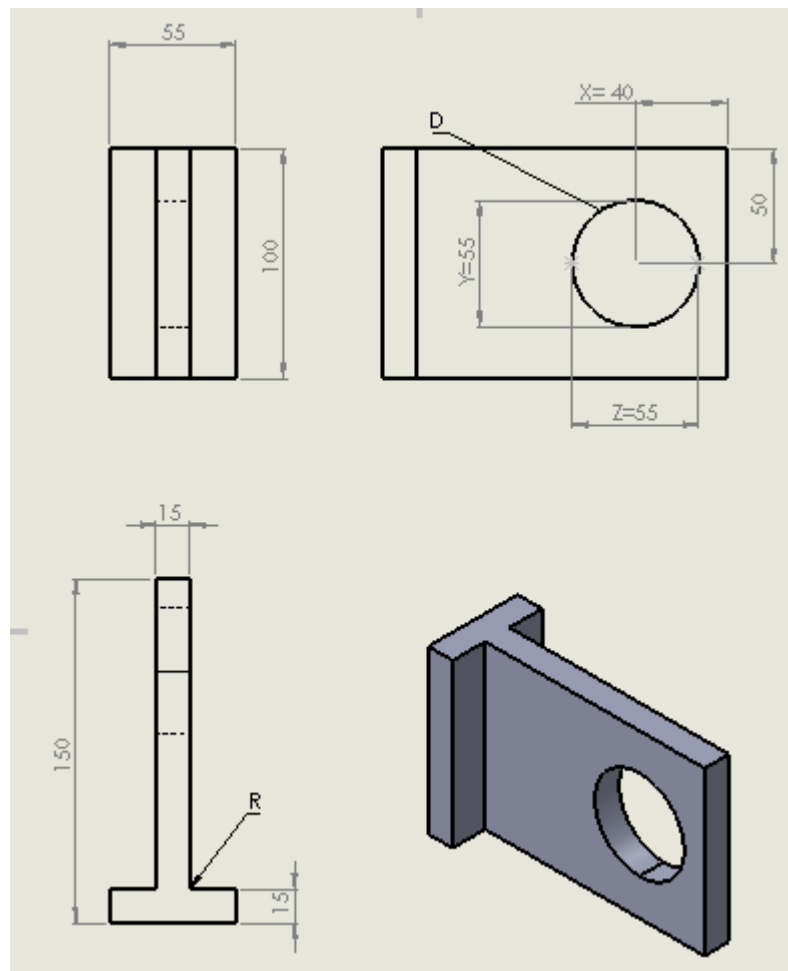


Ilustración 5 PLANO DE PIEZA MECANICA ACOTADO

En la imagen se representan los valores de algunas medidas con letras, estos valores son los que serán modificados

Se realizarán 9 piezas a las que llamaremos corridas. tomando como base el plano presentado. Cada uno de estos diseños serán alterados en sus valores D, R, X, Y, Z.

D: representa el diámetro del barreno, en caso de ser un círculo, de lo contrario será indicado por los valores de Y, Z.

R: valor de radio.

X: posición del barreno

Los valores que se le darán a cada una de las corridas serán en base a la siguiente tabla

CORRIDA	R (mm)	D (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	MALLADO
1	SIN RADIO	55	40	N/A	N/A	3
2	1.5	N/A	45	20	35	2
3	3	N/A	25	24	24	1
4	1.5	35	40	N/A	N/A	1
5	3	N/A	45	20	25	3
6	SIN RADIO	N/A	24	24	25	2
7	3	25	40	N/A	N/A	2
8	SIN RADIO	N/A	45	20	25	1
9	1.5	N/A	24	24	25	3

Tabla 6 VALORES ASIGNADOS

A la tabla se le agregaron los valores de mallado estos son valores que se utilizaran más adelante en las simulaciones.

Una vez teniendo las 9 corridas cada una con sus respectivas dimensiones lo siguiente fue seccionar en 2 partes la zona donde se le agregara la carga en las simulaciones

Para esto se creó una línea de partición en el centro del barreno.

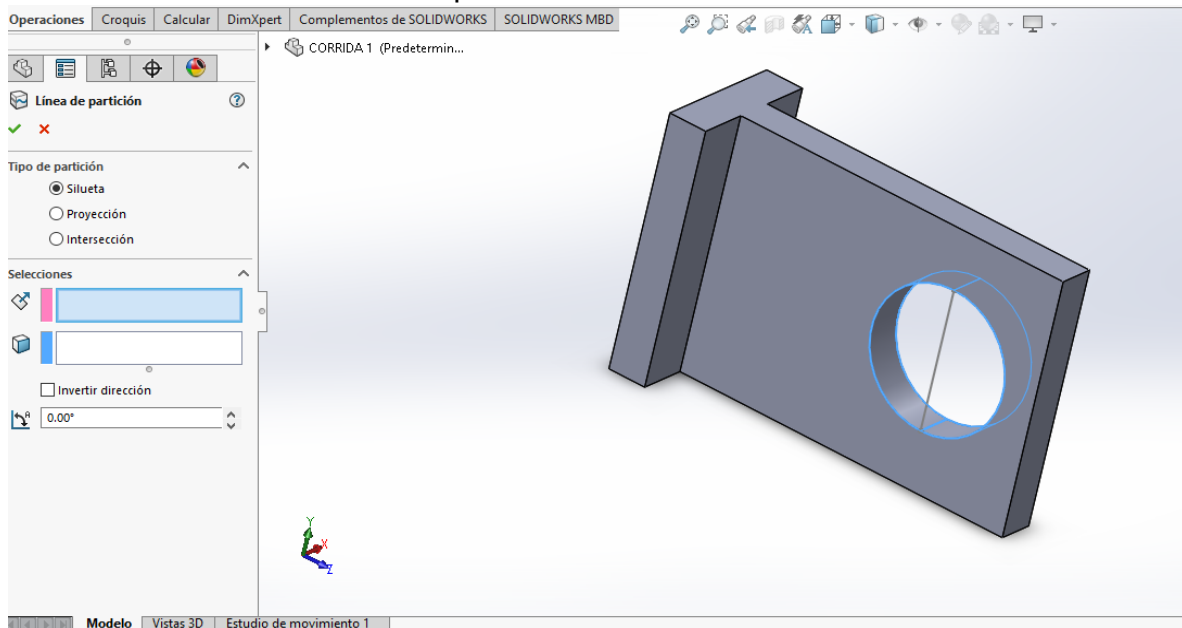


Ilustración 6 SECCION DEL BARRENO

el siguiente paso fue hacer el análisis estático mediante el complemento de simulación en SolidWorks. Para esto lo primero fue asignar nuestro material con el cual trabajaremos en este caso fue aluminio 1060 H-16

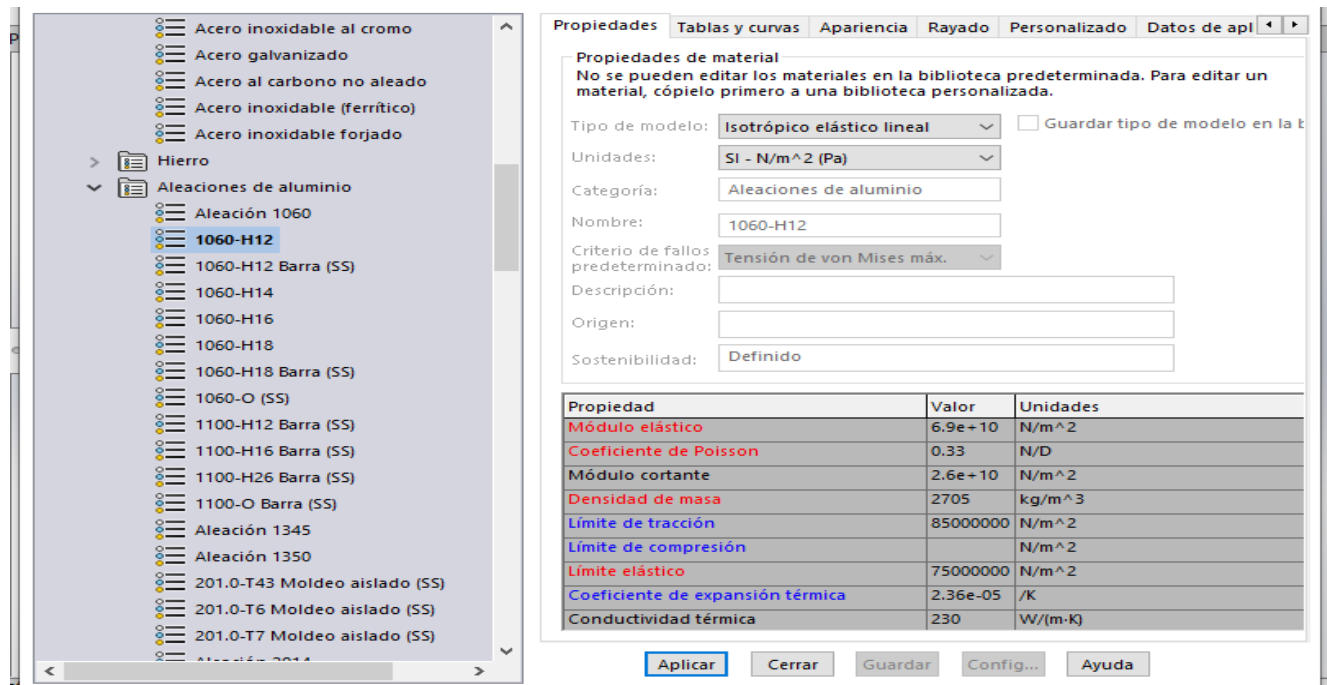


Ilustración 7 SELECCION DE MATERIAL

Al ya tener el material seleccionado, otros parámetros a tomar en cuenta fueron:

- La sujeción de la pieza

En esta parte se seleccionó una geometría fija tomándola de la parte posterior de la pieza

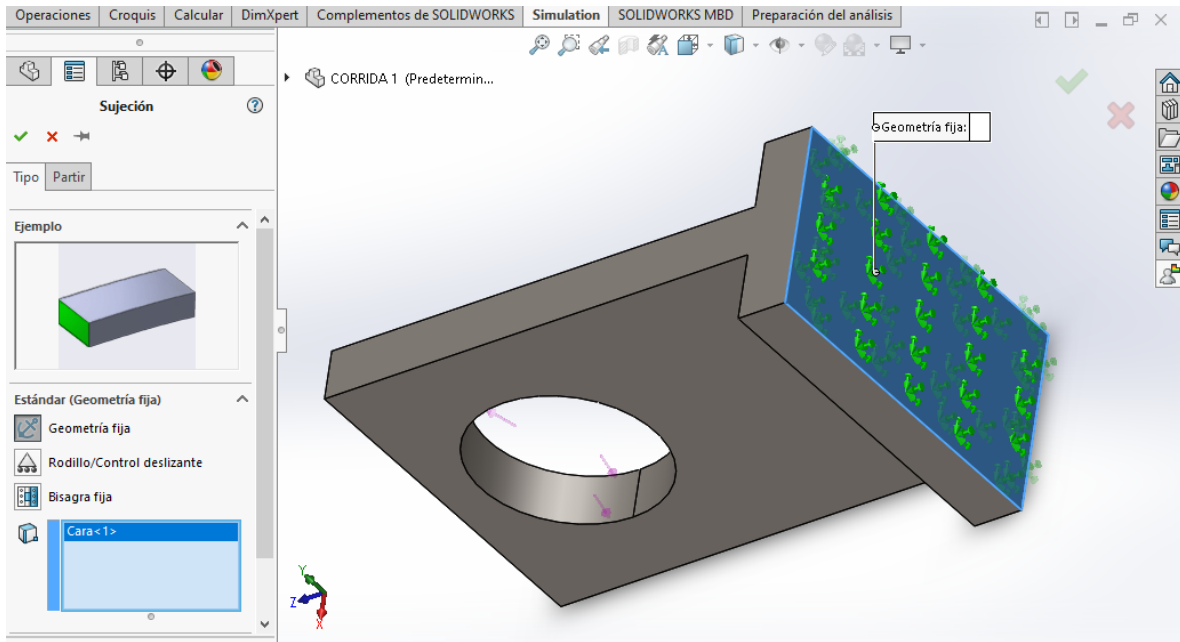


Ilustración 8 SUJECION DE PIEZA

- Asignación de carga

Se le aplico una carga de fuerza en la parte del barreno que anteriormente fue seccionada en 2 partes

El valor de la fuerza aplicada fue de 1000N

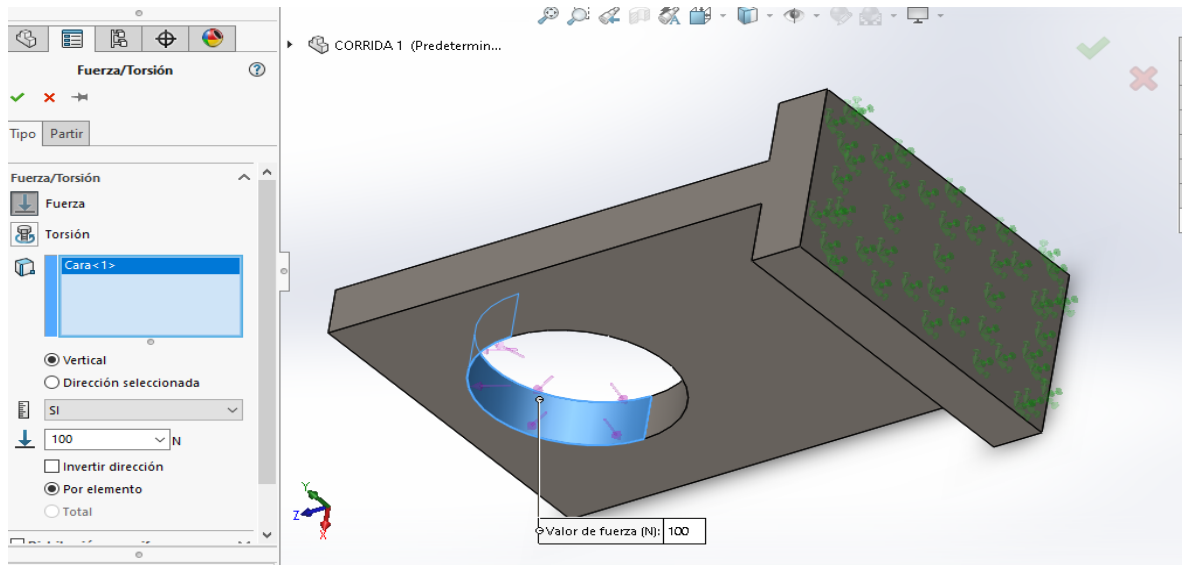


Ilustración 9 ASIGNACION DE CARGA

- Mallado

Se aplico el mayado a la pieza completa cabe mencionar que en la zona donde se seleccionó la fuerza se le dio un control de mallado

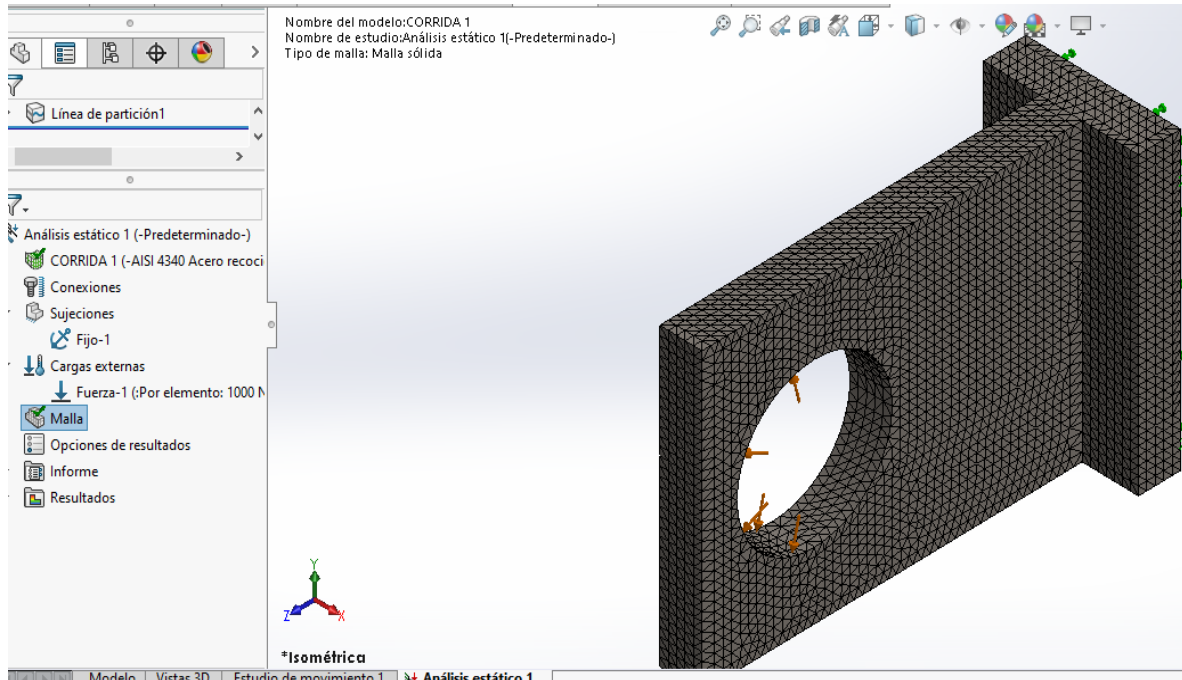


Ilustración 10 SELECCION DE MALLADO

Una vez terminado este proceso se ejecutó el estudio. Obteniendo resultados de tensión y desplazamiento

Tensión de Von Mises $2.425e+006 \text{ N/m}^2$

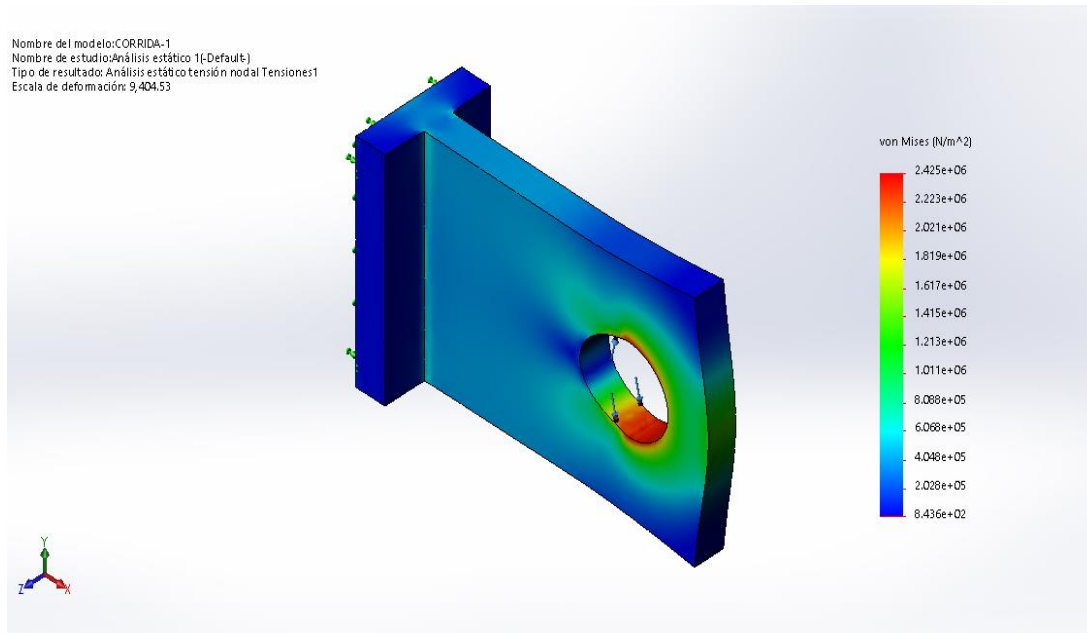


Ilustración 11 ANALISIS DE TENCION

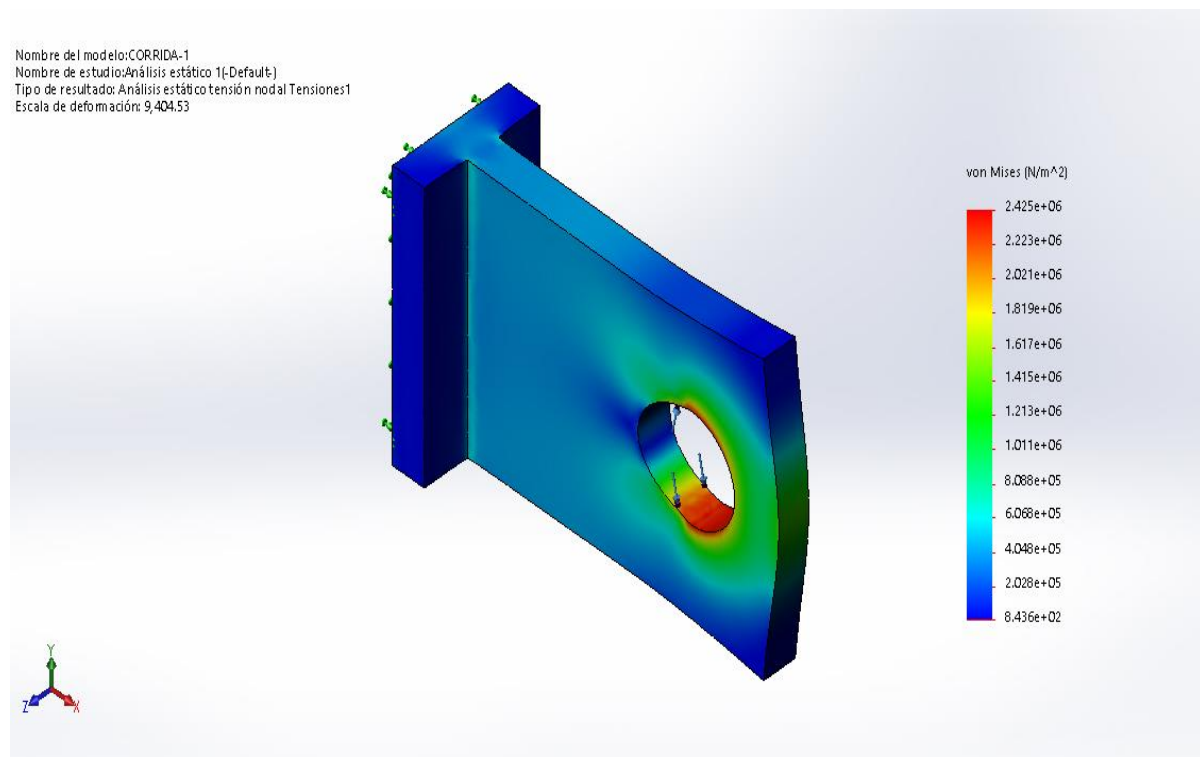


Ilustración 12 ANALISIS DE DEZPLANZAMIENTO

Se genero el informe en formato de Word para guardar estos valores

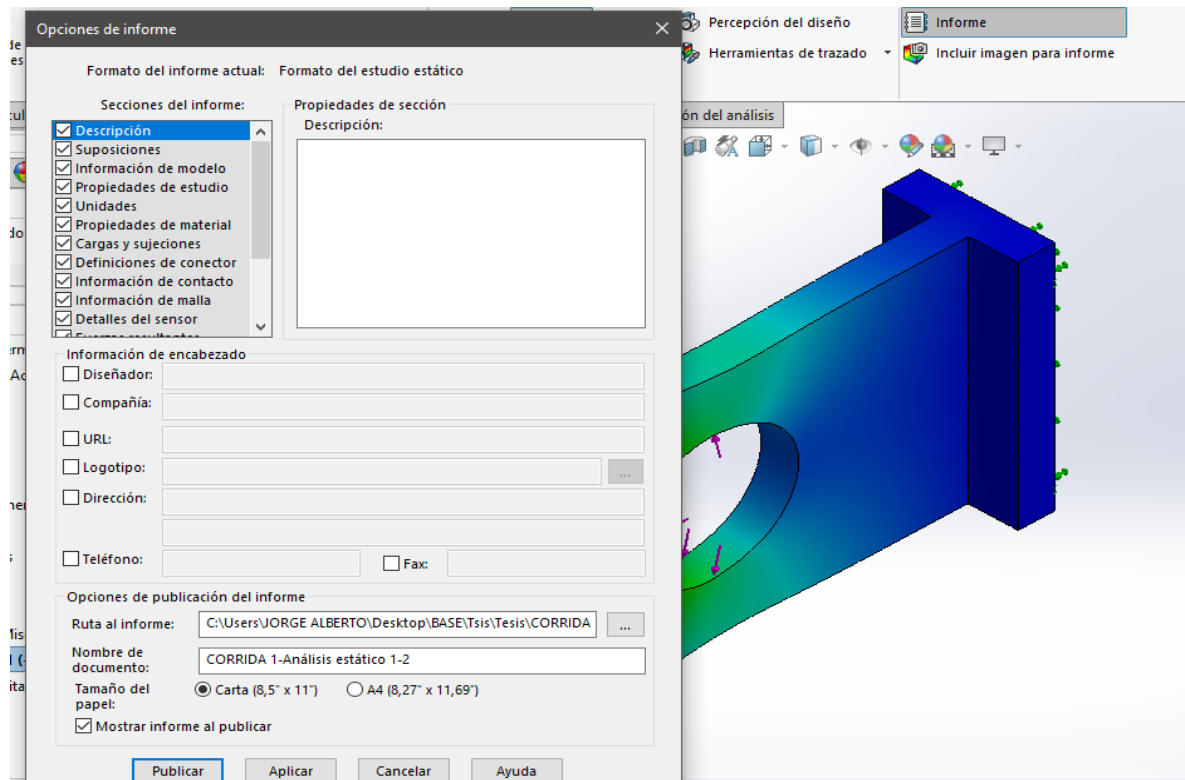


Ilustración 13 CREACION DE INFORME

Este procedimiento se aplicó a cada una de las corridas. Cabe mencionar que la sujeción, la fuerza aplicada de 1000N y la materia fue el mismo para todas las piezas. el único valor que se cambio fue el del mayado y control de malla

Para observar el resultado de cada una de las corridas independientemente véase el anexo correspondiente a cada una.

Corrida 1 (Anexo 1)

Corrida 2 (Anexo 2)

Corrida 3 (Anexo 3)

Corrida 4 (Anexo 4)

Corrida 5 (Anexo 5)

Corrida 6 (Anexo 6)

Corrida 7 (Anexo 7)

Corrida 8 (Anexo 8)

Corrida 9 (Anexo 9)

En la siguiente tabla se muestran todos los valores obtenidos de las simulaciones

RUN	VARIABLES DE ENTRADA		VARIABLES DE SALIDA	
	SIN S/N		CON S/N	
	σ	δ	S/N σ	S/N δ
1	2.429e+06 N/m ²	5.203e-04 mm		
2	2.352e+06 N/m ²	4.044e-04 mm		
3	2.662e+06 N/m ²	5.884e-04 mm		
4	2.461e+06 N/m ²	5.304e-04 mm		
5	2.357e+06 N/m ²	4.038e-04 mm		
6	2.665e+06 N/m ²	5.901e-04 mm		
7	2.440e+06 N/m ²	5.317e-04 mm		
8	2.341e+06 N/m ²	4.048e-04 mm		
9	2.652e+06 N/m ²	5.899e-04 mm		

Tabla 7 RESULTADOS DE ANALISIS DE ESTUDIO

Siendo σ el valor de Tensión de Von Mises y δ el de desplazamiento

DISEÑO DE TAGUCHI

ARREGLO ORTOGONAL

	1	2	3	4
RUN	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Tabla 8 ARREGLO ORTOGONAL DE TAGUCHI

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right]$$

Con los valores obtenidos de tensión y desplazamiento se aplicarán en una fórmula de arreglo ortogonal de Taguchi

Utilizando el programa Mathcad se aplicó la siguiente formula **S/N= -10 Log (Y²)**

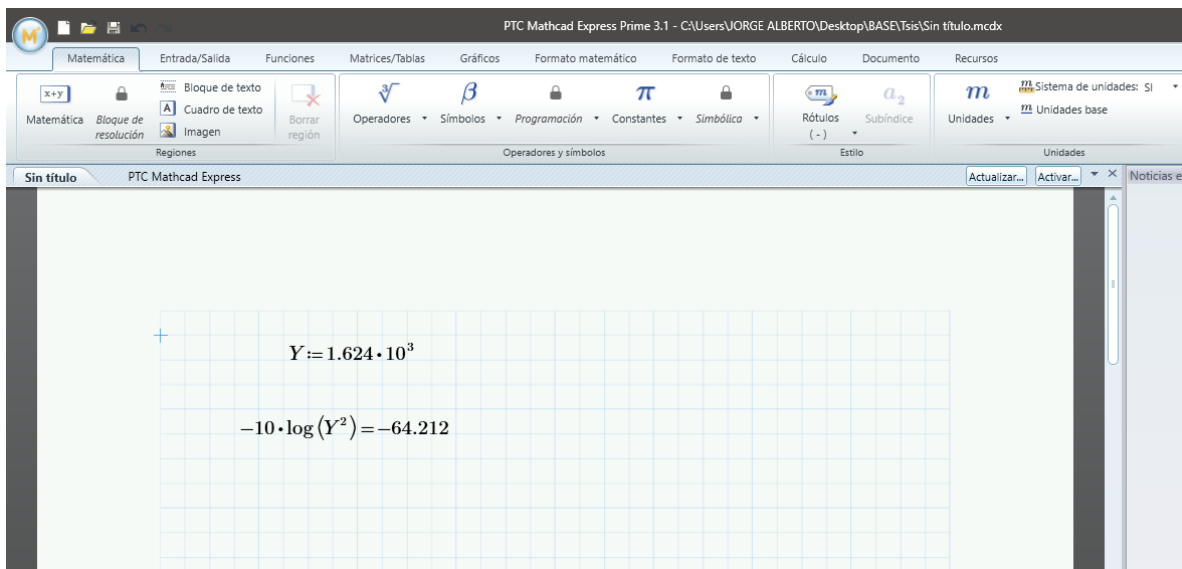


Ilustración 14 ECUACION EN MATHCAD

Los valores de “Y” son los obtenidos de tención y desplazamiento. Se realizó esta operación a cada uno de ellos anotando los resultados en la siguiente tabla.

	VARIABLES DE ENTRADA		VARIABLES DE SALIDA	
	SIN S/N		CON S/N	
RUN	σ	δ	S/N σ	S/N δ
1			127.709	65.511
2			127.429	67.864
3			128.504	64.607
4			127.822	65.508
5			127.447	67.877
6			128.507	64.581
7			127.748	65.487
8			127.358	67.855
9			128.471	64.584

Tabla 9 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA ECUACION

Con los datos obtenidos se realizó una comparación entre ellos y se determinó que la corrida 3 tiene los valores más bajos, lo cual representa que esta es la opción más óptima de todas las que se analizaron durante este proyecto. Demostrando que al variar algunos parámetros de la pieza y realizando algunas simulaciones y cálculos podemos elegir cuál de ellas es la más óptima para el uso que se le vaya a dar.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En la primera parte del desarrollo si le hicieron modificaciones de dimensión a la pieza presentada de 9 distintas maneras

Obteniendo las piezas con sus valores en las varíales de acuerdo con la tabla 7

CORRIDA	R (mm)	D (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	MALLADO
1	SIN RADIO	55	40	N/A	N/A	3
2	1.5	N/A	45	20	35	2
3	3	N/A	25	24	24	1
4	1.5	35	40	N/A	N/A	1
5	3	N/A	45	20	25	3
6	SIN RADIO	N/A	24	24	25	2
7	3	25	40	N/A	N/A	2
8	SIN RADIO	N/A	45	20	25	1
9	1.5	N/A	24	24	25	3

Tabla 10 VALORES ASIGNADO

A cada una de las piezas se le realizo un estudio de análisis estático mediante SolidWoks a este análisis se le dieron valores tales como mallado, fuerza, sujeción y tipo de material.

El resultado obtenido de cada análisis se muestra en la tabla 8

RUN	VARIABLES DE ENTRADA		VARIABLES DE SALIDA	
	SIN S/N		CON S/N	
	σ	δ	S/N σ	S/N δ
1	2.429e+06 N/m ²	5.203e-04 mm	127.709	65.511
2	2.352e+06 N/m ²	4.044e-04 mm	127.429	67.864
3	2.662e+06 N/m ²	5.884e-04 mm	128.504	64.607
4	2.461e+06 N/m ²	5.304e-04 mm	127.822	65.508
5	2.357e+06 N/m ²	4.038e-04 mm	127.447	67.877
6	2.665e+06 N/m ²	5.901e-04 mm	128.507	64.581
7	2.440e+06 N/m ²	5.317e-04 mm	127.748	65.487
8	2.341e+06 N/m ²	4.048e-04 mm	127.358	67.855
9	2.652e+06 N/m ²	5.899e-04 mm	128.471	64.584

Tabla 11 RESULTADOS DE ANALISIS DE ESTUDIO

Esto nos muestra valores de tensión y desplazamiento que nos permite observar cual de todos los resultados obtuvo mayor y menor deformación y desplazamiento.

Siendo las corridas número 3, 6 y 9 las que mayor tensión obtuvo arrojando un valor de 2.662e+006 N/m², 2.665e+006 N/m² y 2.652e+006 N/m² respectivamente en cuanto a desplazamiento fueron las corridas número 3, 6 y 9 la que el mostro un valor de 5.884e-04, 5.901e-04 y 5.899e-04 respectivamente, considerado los más altos entre los resultados obtenidos.

Cada uno de Estos valores presentados en la tabla 8 fueron aplicados en la ecuación $S/N = -10 \log(Y^2)$ mostrando resultados mostrados en la tabla 8 en la sección S/N σ y S/N δ

RUN	VARIABLES DE ENTRADA		VARIABLES DE SALIDA	
	SIN S/N		CON S/N	
	σ	δ	S/N σ	S/N δ
1	2.429e+06 N/m ²	5.203e-04 mm	127.709	65.511
2	2.352e+06 N/m ²	4.044e-04 mm	127.429	67.864
3	2.662e+06 N/m²	5.884e-04 mm	128.504	64.607
4	2.461e+06 N/m ²	5.304e-04 mm	127.822	65.508
5	2.357e+06 N/m ²	4.038e-04 mm	127.447	67.877
6	2.665e+06 N/m²	5.901e-04 mm	128.507	64.581
7	2.440e+06 N/m ²	5.317e-04 mm	127.748	65.487
8	2.341e+06 N/m ²	4.048e-04 mm	127.358	67.855
9	2.652e+06 N/m²	5.899e-04 mm	128.471	64.584

Tabla 12 RESULTADOS DE ANALISIS DE ESTUDIO

Comparando los valores de la tabla 8 se demuestra que la corrida n°3, n°6 y n°9 es la que menor tención y desplazamiento obtuvieron

CONCLUSIONES

Al modificar las dimensiones de la pieza de distintas maneras y luego realizar una simulación de análisis estático en el software SolidWorks se obtuvieron los valores de desplazamiento y tención. También se observó el comportamiento que tendría la pieza al aplicarle una fuerza, al utilizar la ecuación de Taguchi para arreglos ortogonales se realizó la comparación de resultados para determinar cuál de todas las modificaciones que se le hicieron a la pieza obtuvo el menor valor de desplazamiento y tención para identificar cual ellas es la más óptima para su posible fabricación

Así demostramos que al realizar pequeñas modificaciones en las dimensiones de la pieza alteraremos algunas de sus propiedades que pueden influir directamente en el rendimiento y vida útil de una pieza.

COMPETENCIAS DESARROLLADAS

Específicas

Identificar formular y resolver problemas de ingeniería aplicando los principios básicos de las ciencias básicas e ingeniería. (al identificar alguna falla o al presentar una propuesta).

Analiza, sintetiza, diseña, simula, construye e innova productos, procesos, equipos y sistemas mecatrónicos, para impactar positivamente en su entorno con una actitud investigadora, de acuerdo con las necesidades tecnológicas, sociales actuales y emergentes. (al proponer mejoras innovadoras)

Genéricas

interpreta información técnica de las áreas que componen la Ingeniería Mecatrónica para la transferencia, adaptación, asimilación e innovación de tecnologías de vanguardia. (cuando se lee las especificaciones de alguna maquina)

transmitir ideas, facilitar conocimientos y trabajar con responsabilidad colectiva para la solución de problemas y desarrollo de proyectos con un sentido crítico y autocrítico. (proponer o cuestionar una propuesta con argumentos firmes).

Desarrollar y conducir una experimentación adecuada; analizar e interpretar datos y utilizar el juicio ingenieril para establece conclusiones (realizando breves pruebas antes de dar una opinión o conclusión)

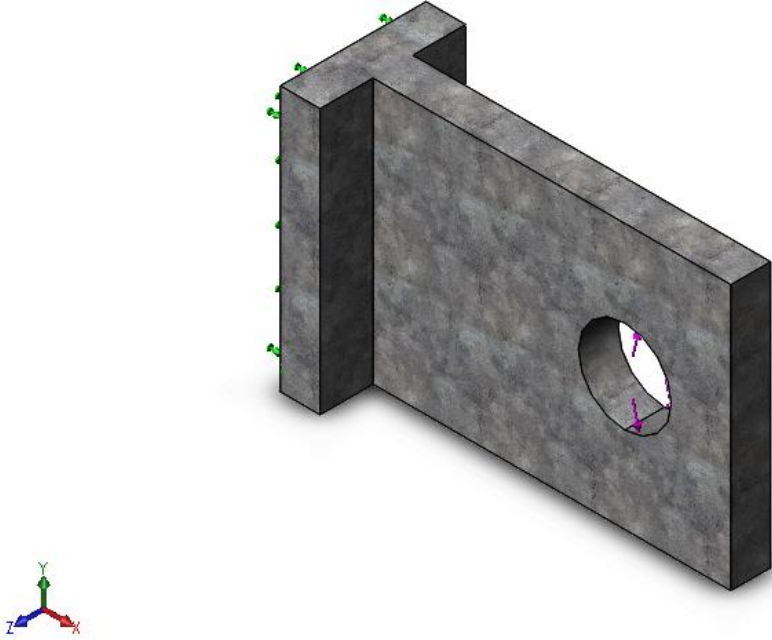
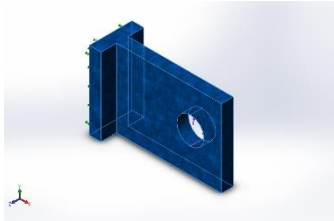
FUENTES DE INFORMACIÓN

- Brunet, J. (2015). *CÁLCULO Y ANÁLISIS MEDIANTE HERRAMIENTAS CAD*. ESPAÑA.
- CATOTA, T. (2020). *ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA JUNTA SOLDADA DE UN ACERO ESTRUCTURAL (A588) CON EL PROCESO GMAW MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO DE TAGUCHI*. ESCUELA POLITÉCNICA, FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, Quito.
- Dassault, Systèmes. (2016). *Ayuda de SOLIDWORKS*. Obtenido de http://help.solidworks.com/2016/spanish/solidworks/cworks/c_Basic_Concepts_of_Analysis.htm
- González, o. o. (2019). *Introducción al método del elemento finito: Solidworks y Matlab*. (tesis de licenciatura), Universidad Autónoma del Estado de México,.
- Montijo, E. (2020). Cálculo de esfuerzos mediante simulación con elementos finitos: una herramienta para implementarse en ingeniería. *Pro Sciences*, 9. Obtenido de <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol4iss34.2020pp70-78>
- Morris, D. (2011). *diseño de experimentos una introduccion basada en modelos lineales*. florida: chapman & hall.
- Sarache, W. (2014). Mejoramiento de la calidad del café soluble utilizando el método Taguchi. chile. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052014000100011
- sis, a. (2012). *Composicion quimica*.
- vázquez, m. (1992). *el método de los elementos finitosaplicado al analisis estructural*. españa: Noela-madrid.

ANEXOS

Anexo 1 (Resultados de simulación de corrida 1-9)

Información de modelo

 Nombre del modelo: CORRIDA-1 Configuración actual: Default			
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Línea de partición1 	Sólido	Masa:2.12937 kg Volumen:0.000270568 m³ Densidad:7,870 kg/m³ Peso:20.8679 N	C:\Users\Irving\Documents\C ORRIDA DE TESIS\PROYECTO 6\CORRIDA-1.SLDPRT May 23 08:41:06 2023

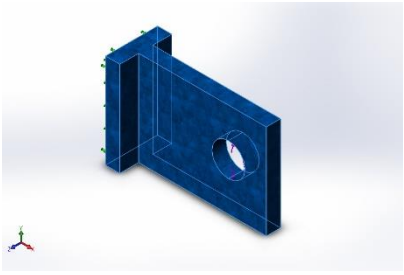
Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\Irving\Documents\CORRIDA DE TESIS\PROYECTO 6)

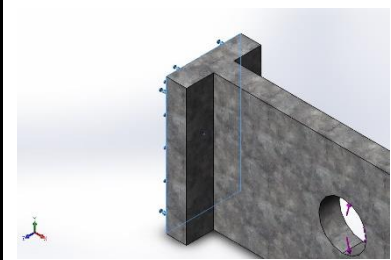
Unidades

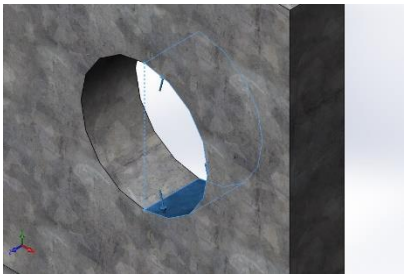
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: Acero galvanizado Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 2.03943e+08 N/m² Límite de tracción: 3.56901e+08 N/m² Módulo elástico: 2e+11 N/m² Coefficiente de Poisson: 0.29 Densidad: 7,870 kg/m³	Sólido 1(Línea de partición1)(CORRIDA-1)
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-637.06	-8.83713e-05	0.000920299	637.06
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 1,000 N

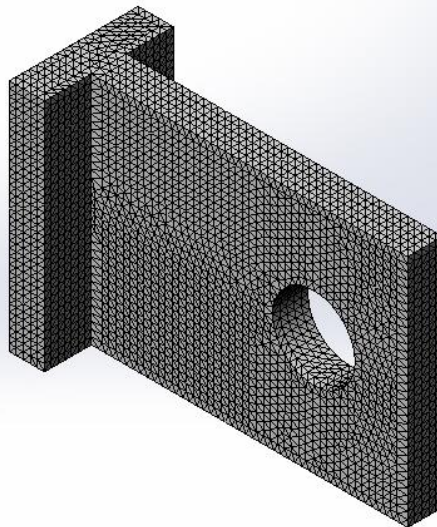
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	3 mm
Tolerancia	0.15 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	95773
Número total de elementos	64088
Cociente máximo de aspecto	5.6105
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99.8
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:13
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: CORRIDA-1
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Default-)
 Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

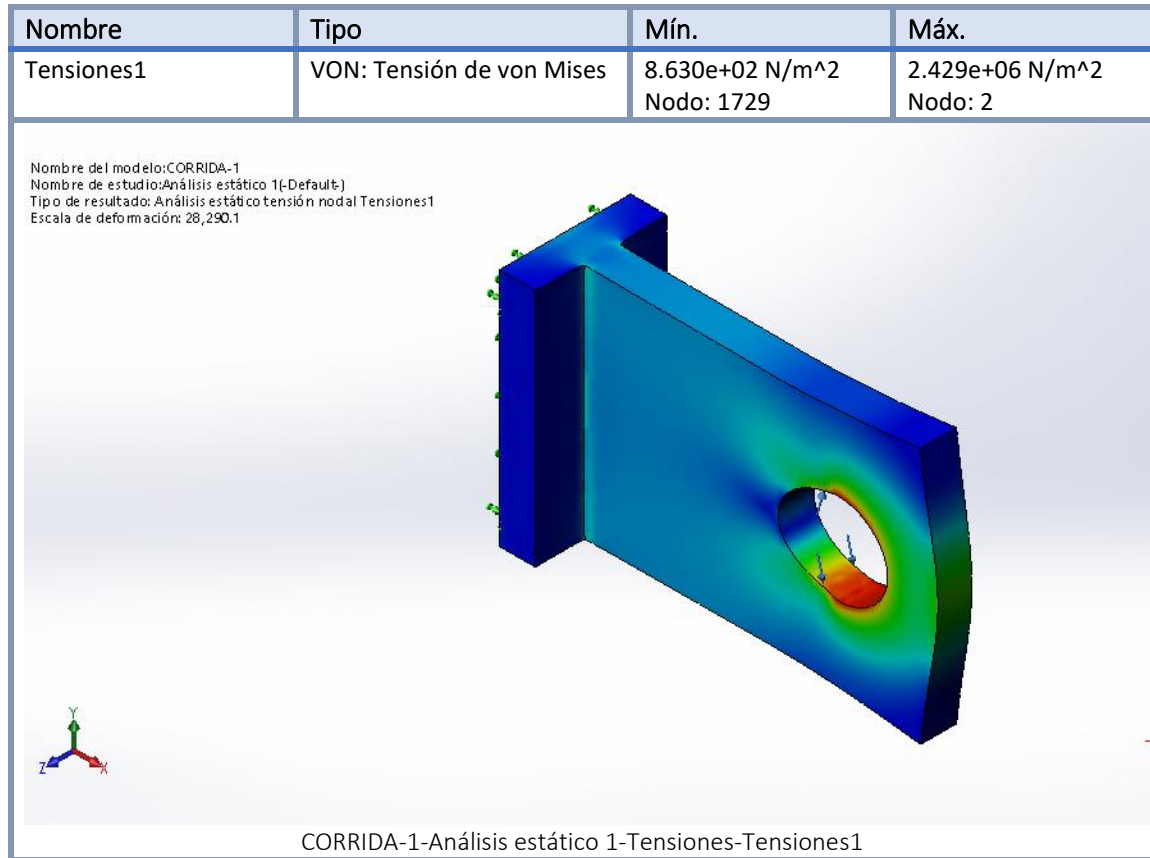
Fuerzas de reacción

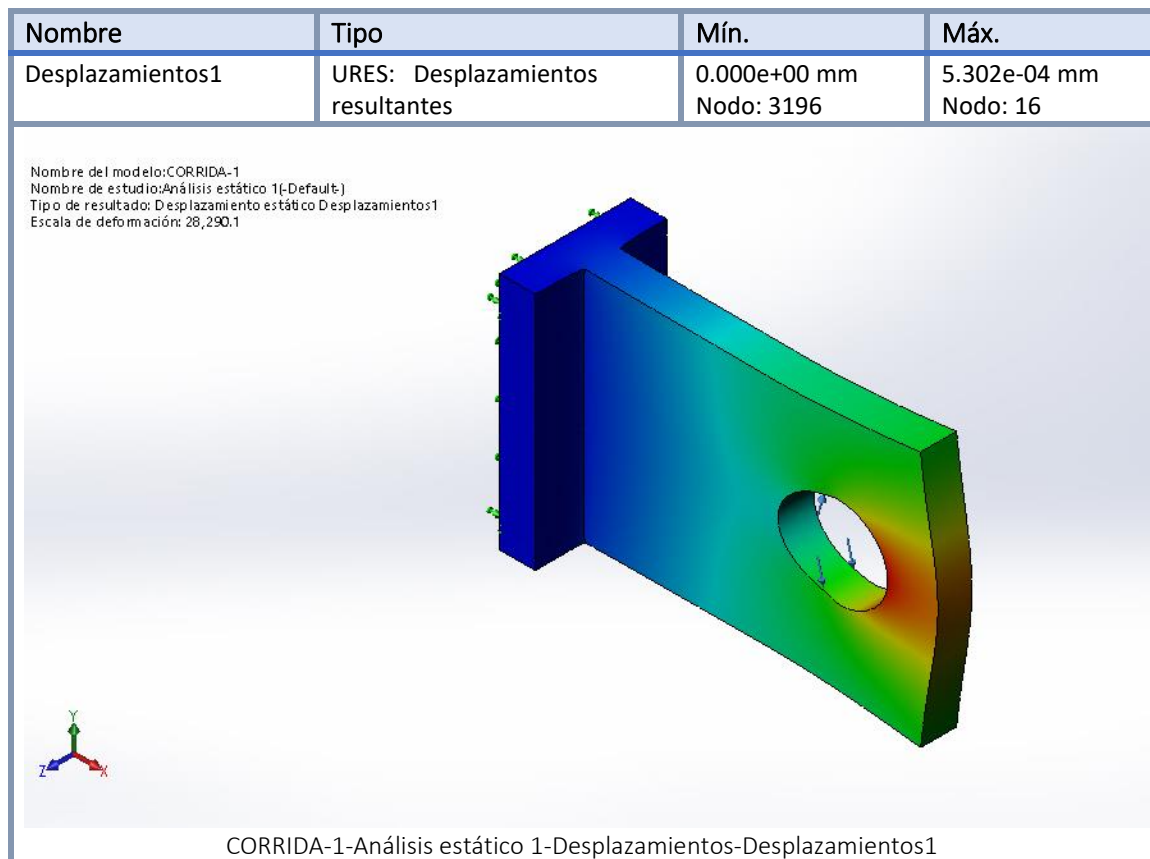
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-637.06	-8.83713e-05	0.000920299	637.06

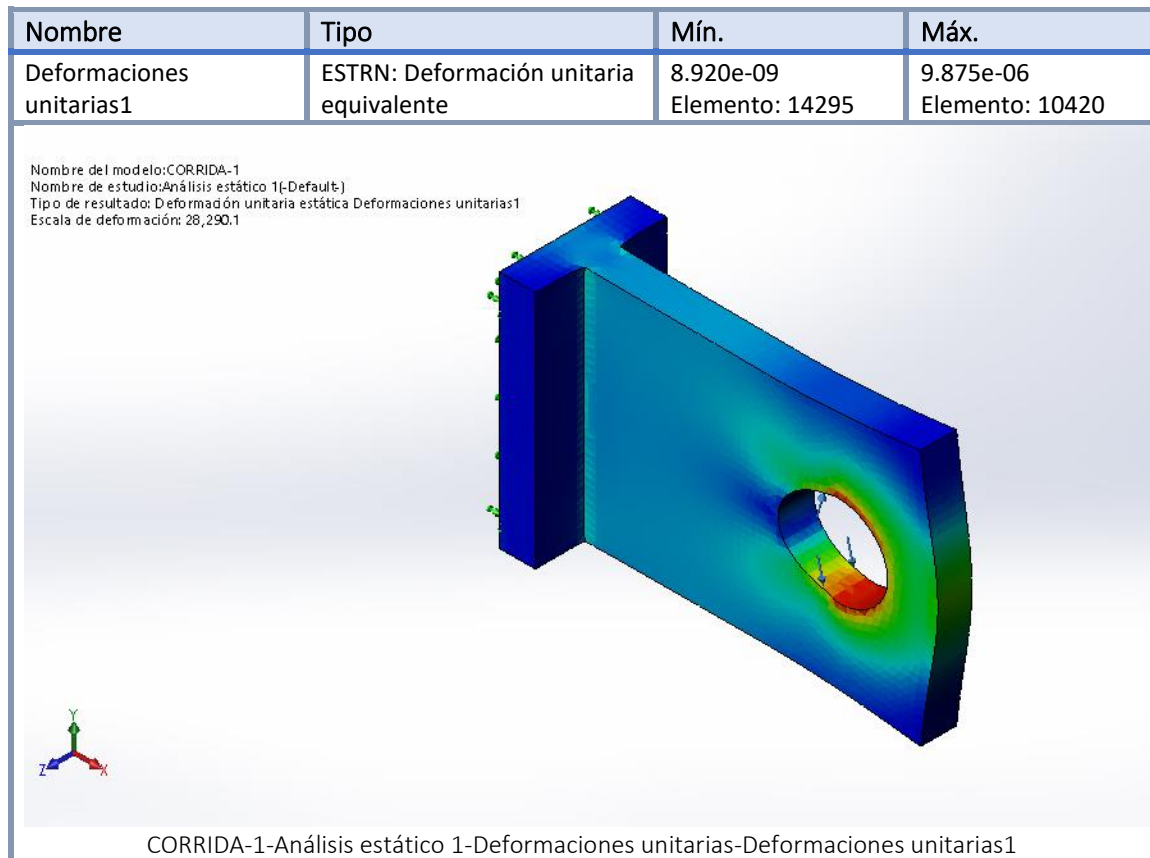
Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

Resultados del estudio







CORRIDA 2

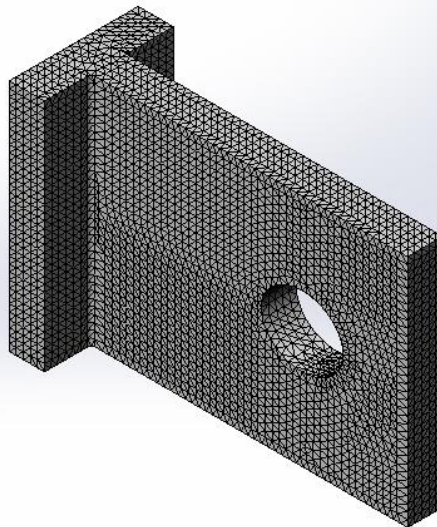
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	3 mm
Tolerancia	0.15 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

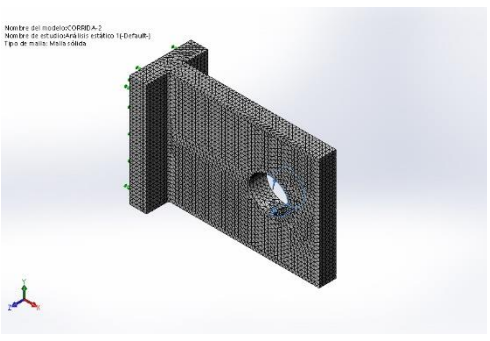
Información de malla - Detalles

Número total de nodos	99474
Número total de elementos	66666
Cociente máximo de aspecto	5.1576
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99.9
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:09
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: CORRIDA-2
 Nombre de estudio: Análisis estático 1 (-Default)
 Tipo de malla: Malla sólida



Información sobre el control de malla:

Nombre del control de malla	Imagen del control de malla	Detalles del control de malla
Control-1		Entidades: 1 cara(s) Unidades: mm Tamaño: 2 Cociente: 2

Fuerzas resultantes

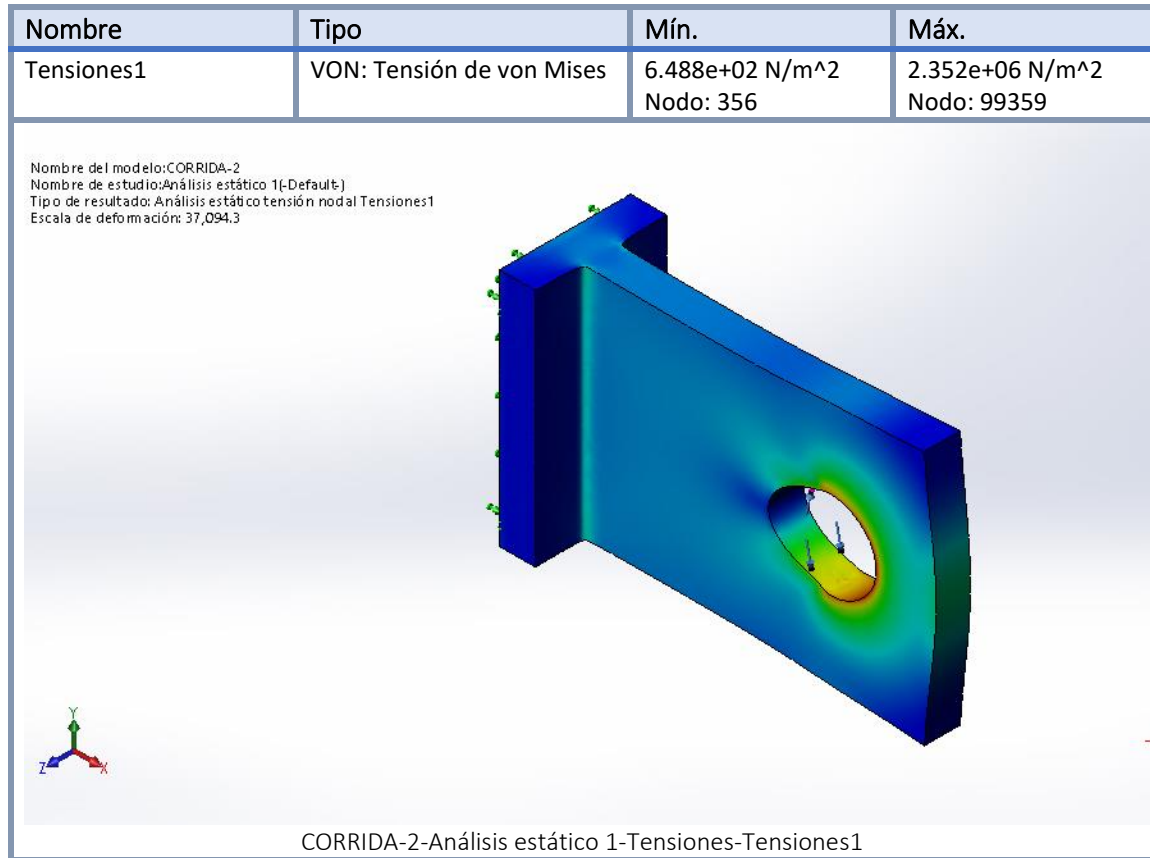
Fuerzas de reacción

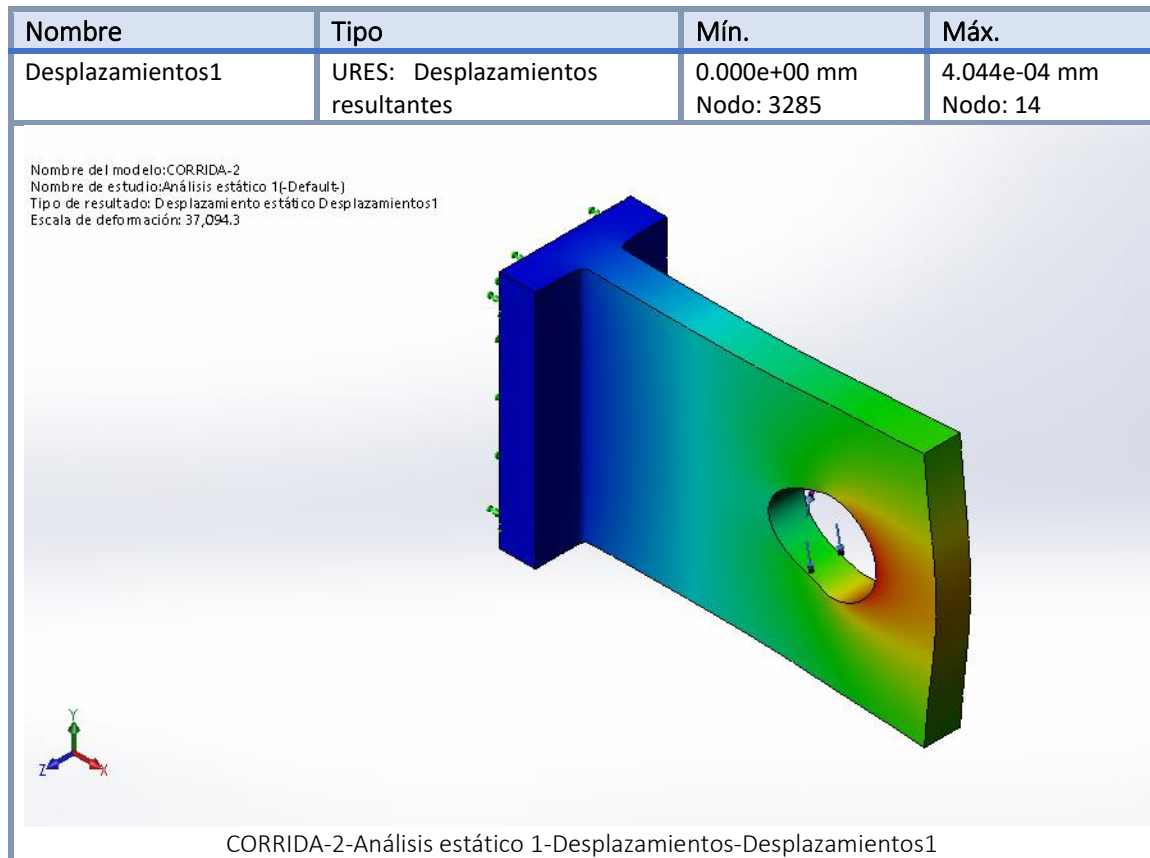
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-587.052	6.69807e-06	-0.000171673	587.052

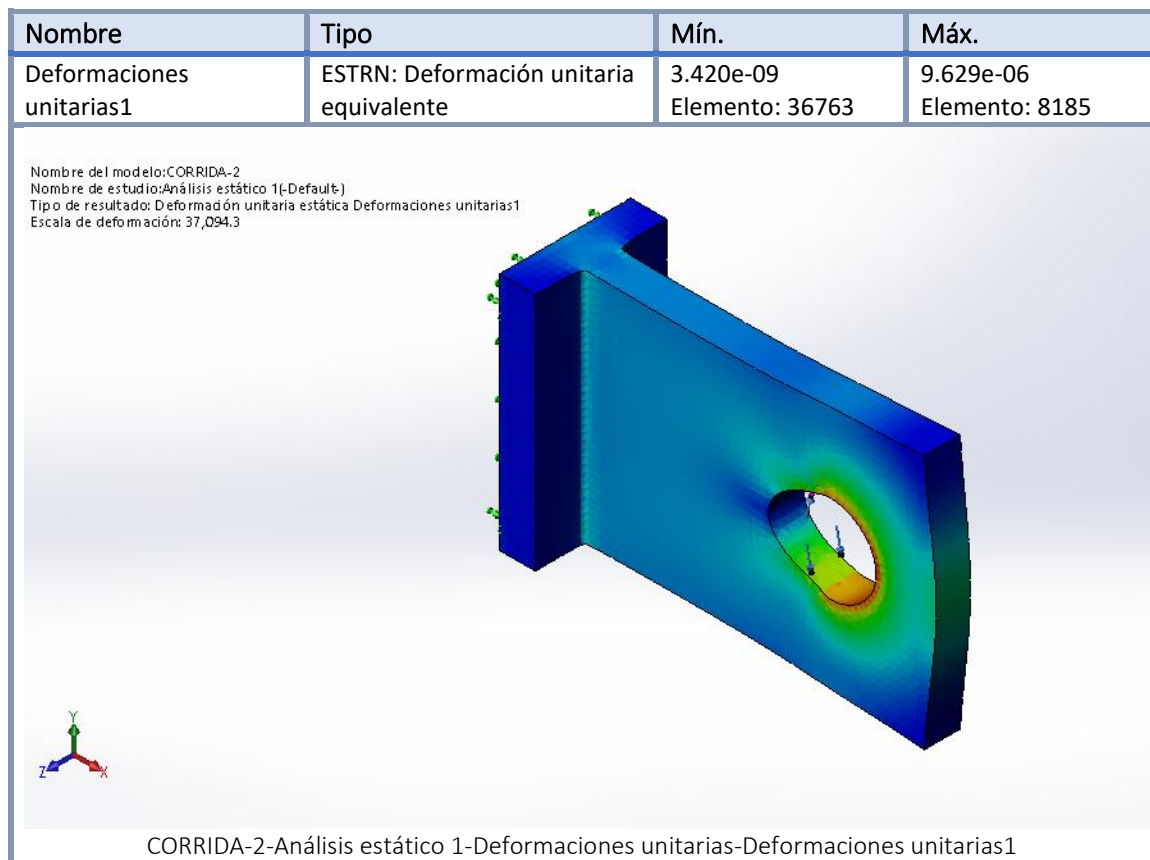
Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

Resultados del estudio







CORRIDA 3

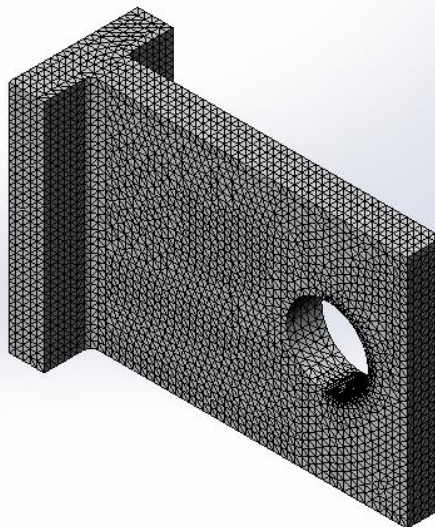
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	3 mm
Tolerancia	0.15 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

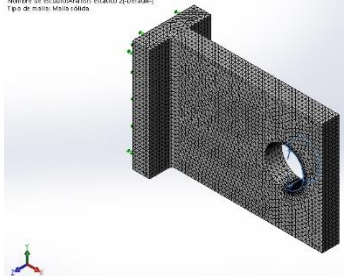
Información de malla - Detalles

Número total de nodos	114896
Número total de elementos	76914
Cociente máximo de aspecto	4.3548
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99.8
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:12
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: CORRIDA-3
Nombre de estudio: Análisis estático 2 (Default)
Tipo de malla: Malla sólida



Información sobre el control de malla:

Nombre del control de malla	Imagen del control de malla	Detalles del control de malla
Control-1		Entidades: 1 cara(s) Unidades: mm Tamaño: 1 Cociente: 1

Fuerzas resultantes

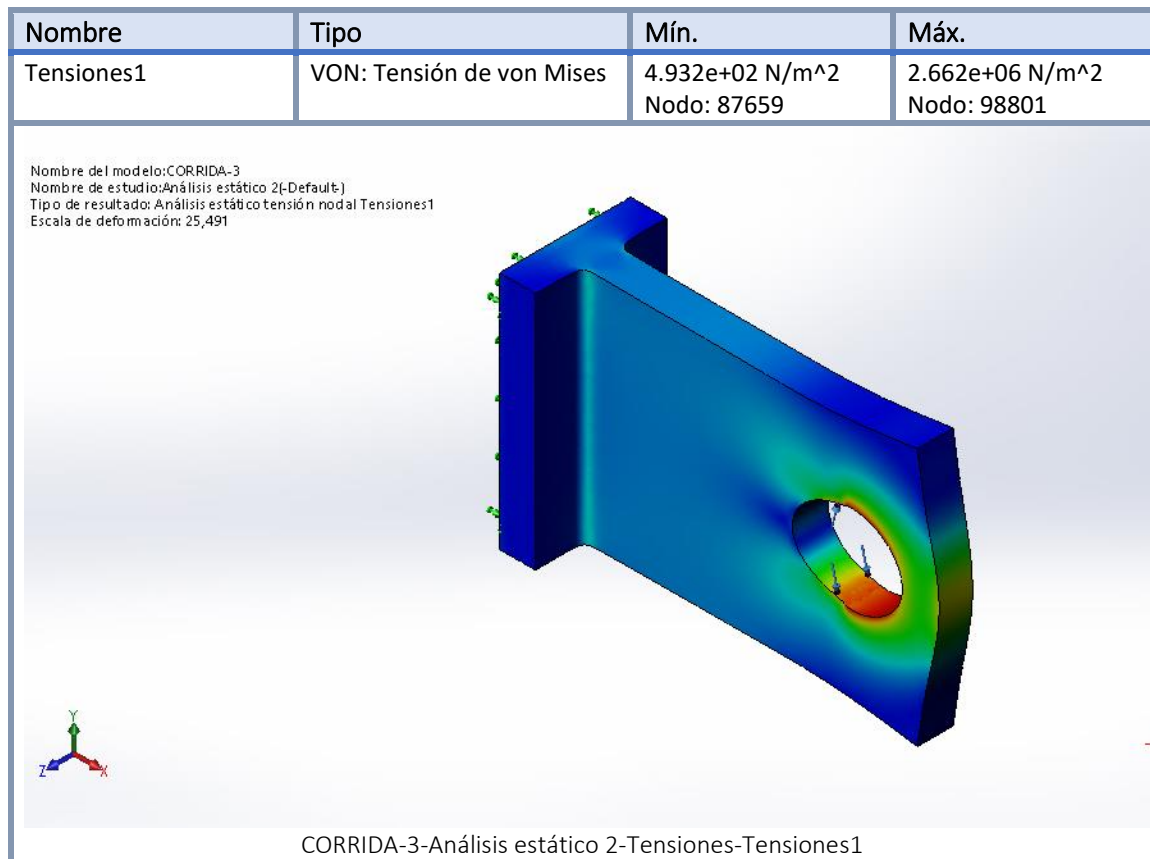
Fuerzas de reacción

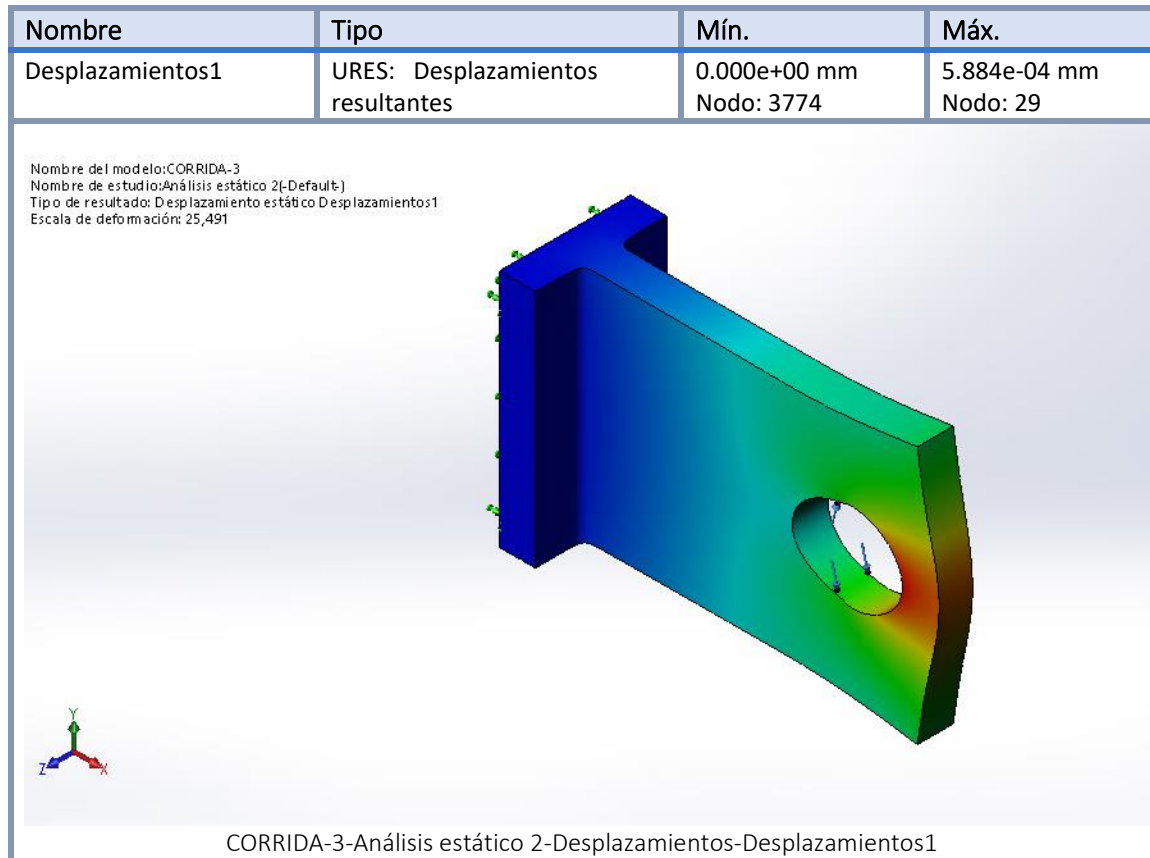
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-627.417	0.00028614	0.000102416	627.417

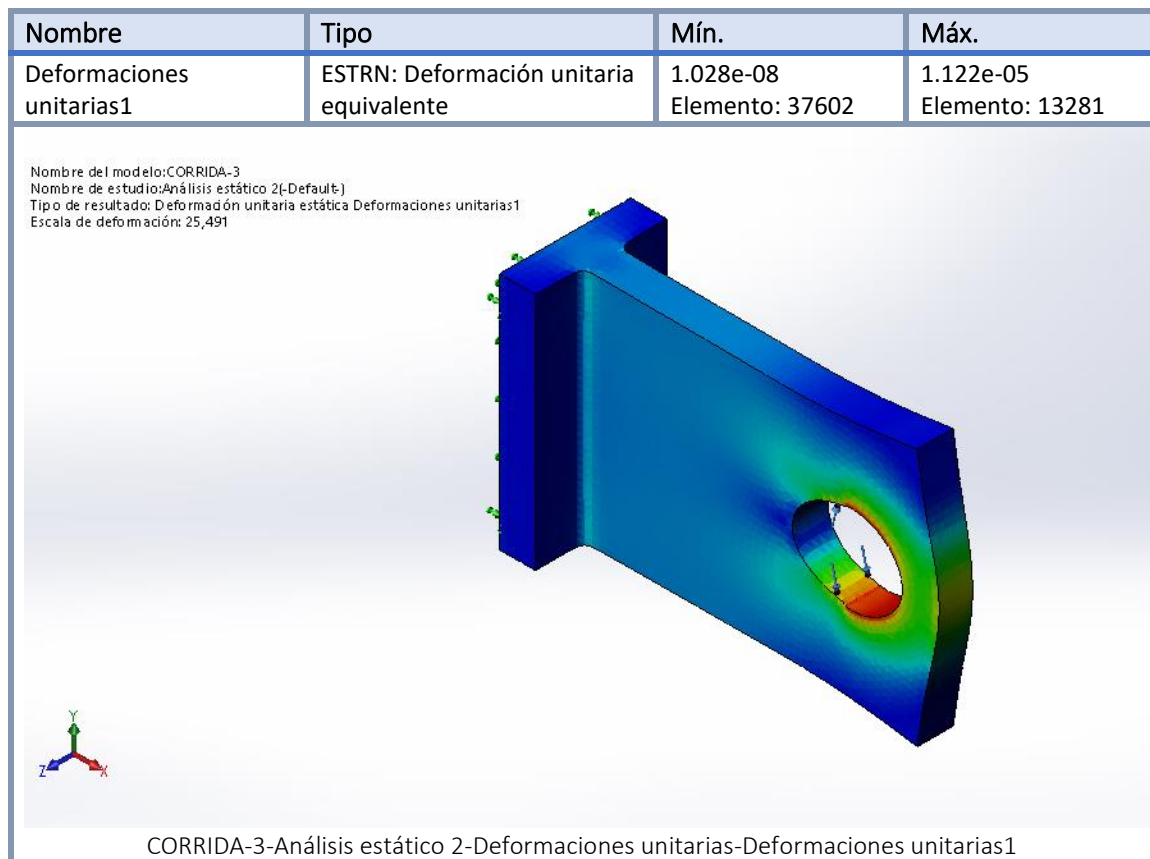
Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

Resultados del estudio







CORRIDA 4

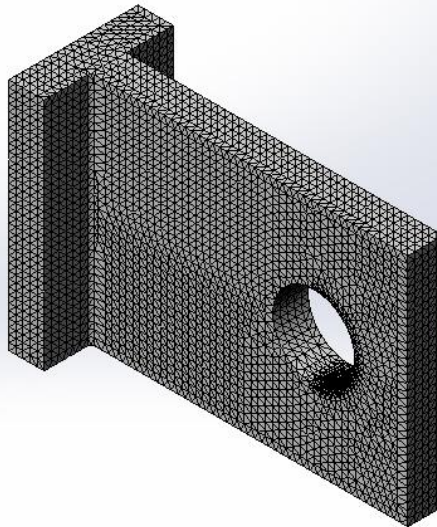
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	3 mm
Tolerancia	0.15 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

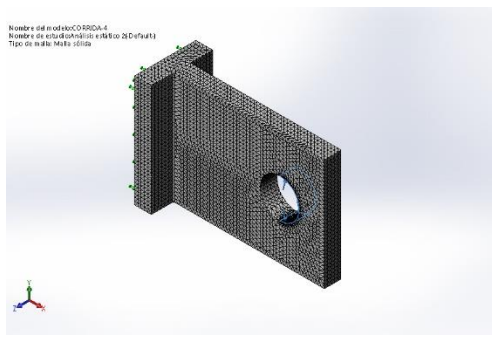
Información de malla - Detalles

Número total de nodos	115578
Número total de elementos	77468
Cociente máximo de aspecto	4.238
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99.8
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:14
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: CORRIDA-4
 Nombre de estudio: Análisis estático 2 (-Default-)
 Tipo de malla: Malla sólida



Información sobre el control de malla:

Nombre del control de malla	Imagen del control de malla	Detalles del control de malla
Control-1		Entidades: 1 cara(s) Unidades: mm Tamaño: 1 Cociente: 1

Fuerzas resultantes

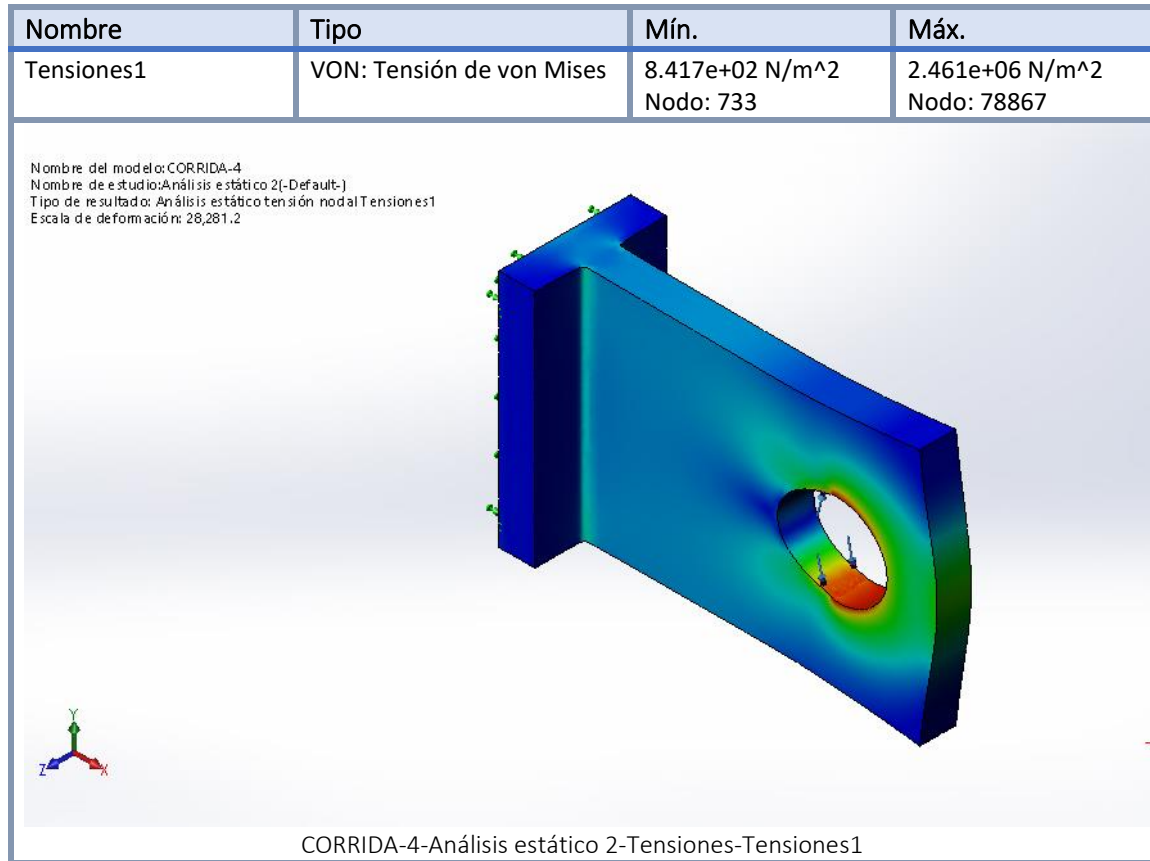
Fuerzas de reacción

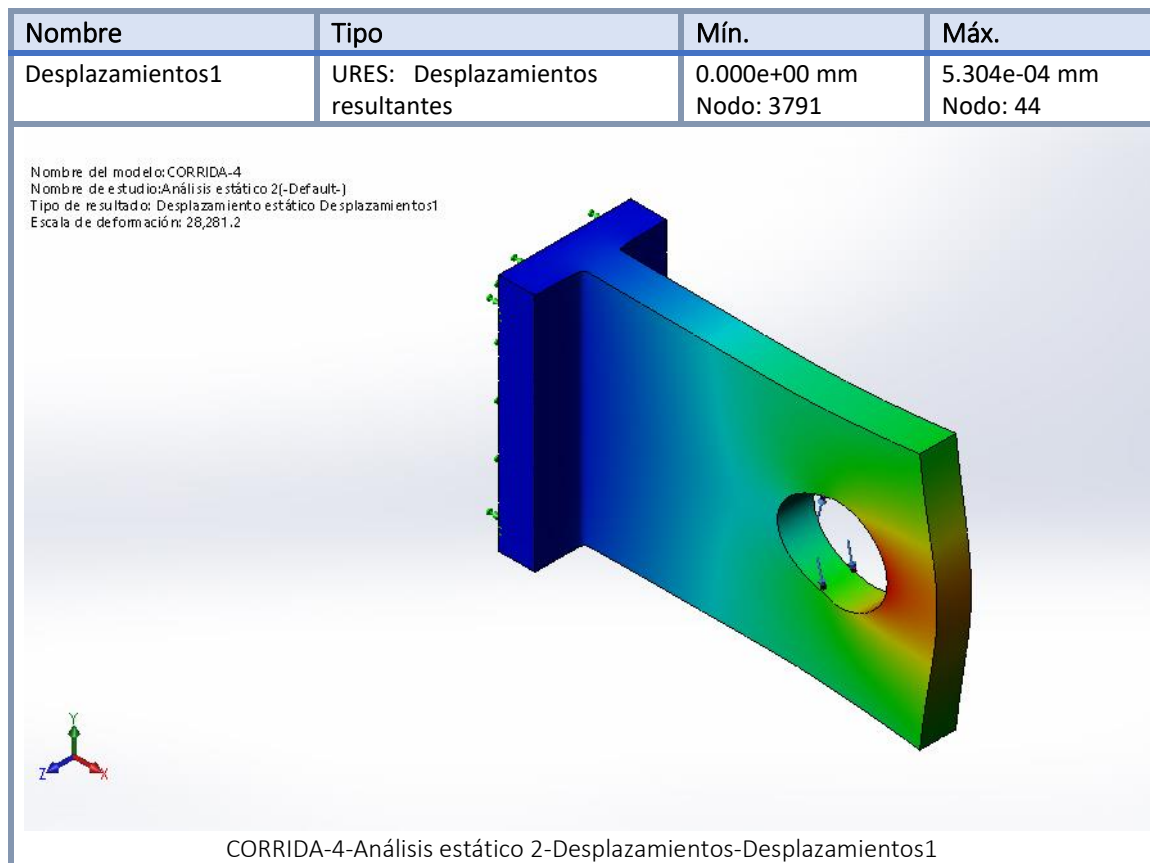
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-636.671	5.97909e-05	6.69807e-05	636.671

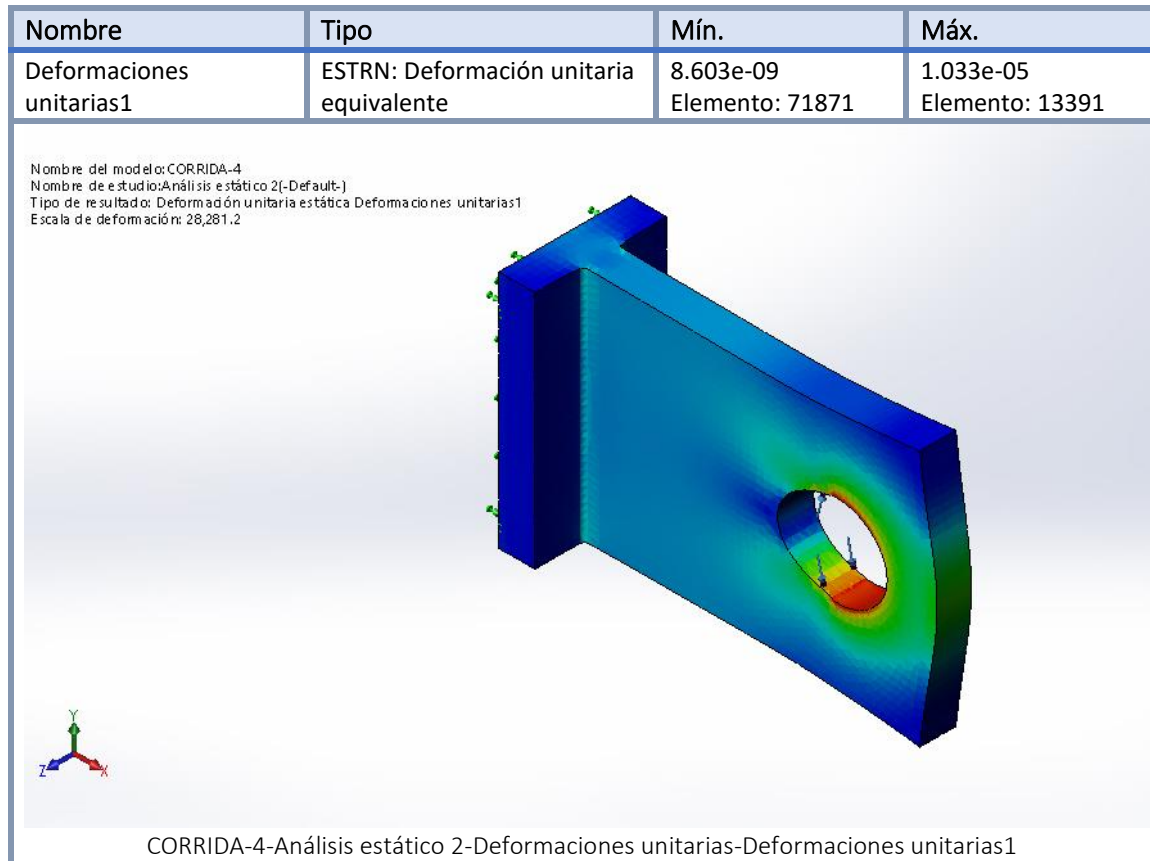
Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

Resultados del estudio







CORRIDA 5

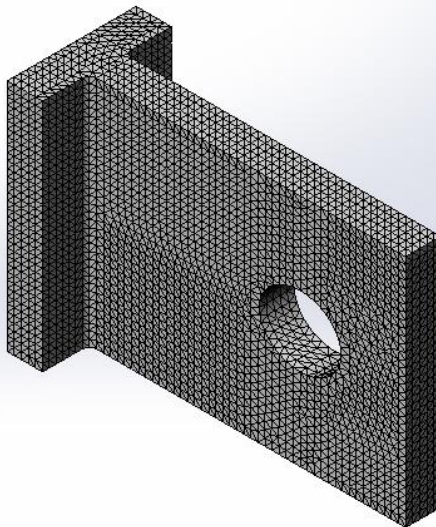
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	3 mm
Tolerancia	0.15 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	99199
Número total de elementos	66574
Cociente máximo de aspecto	3.6293
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	100
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:13
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: CORRIDA-5
 Nombre de estudio: Análisis estático 2 (-Default)
 Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

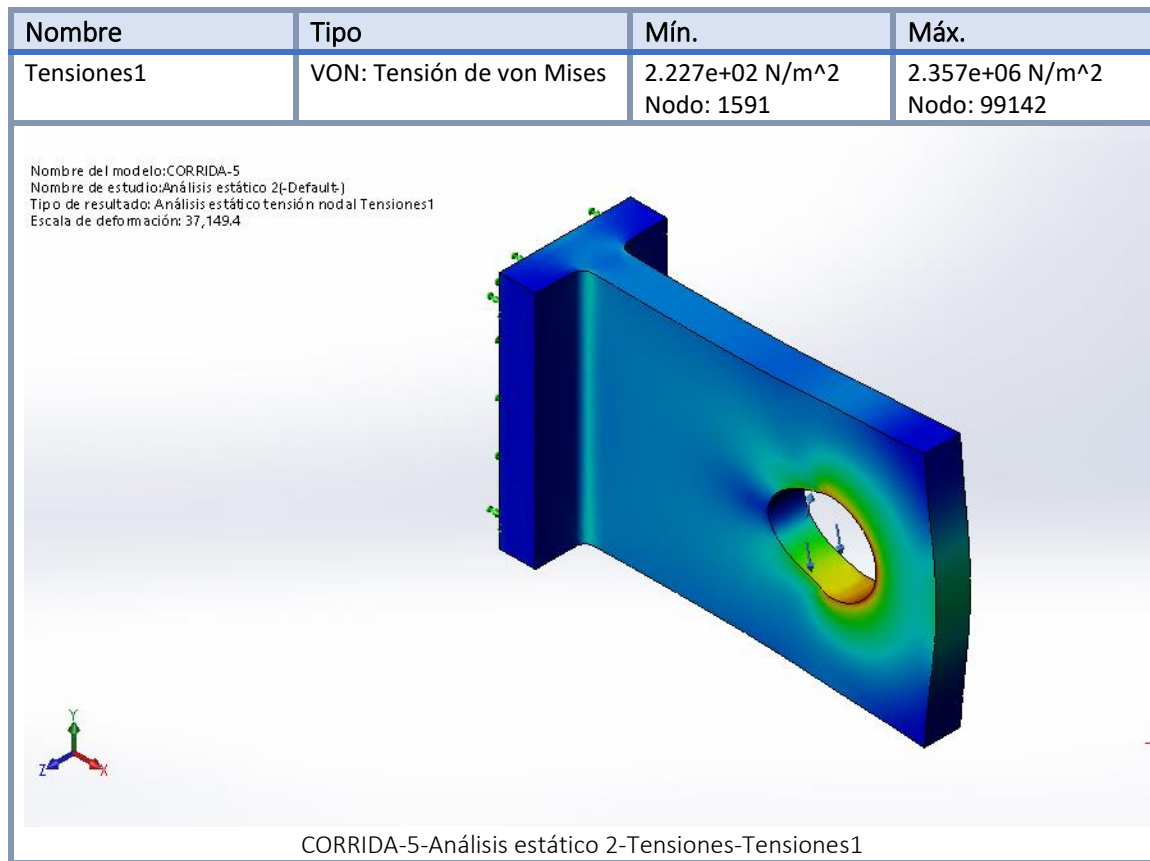
Fuerzas de reacción

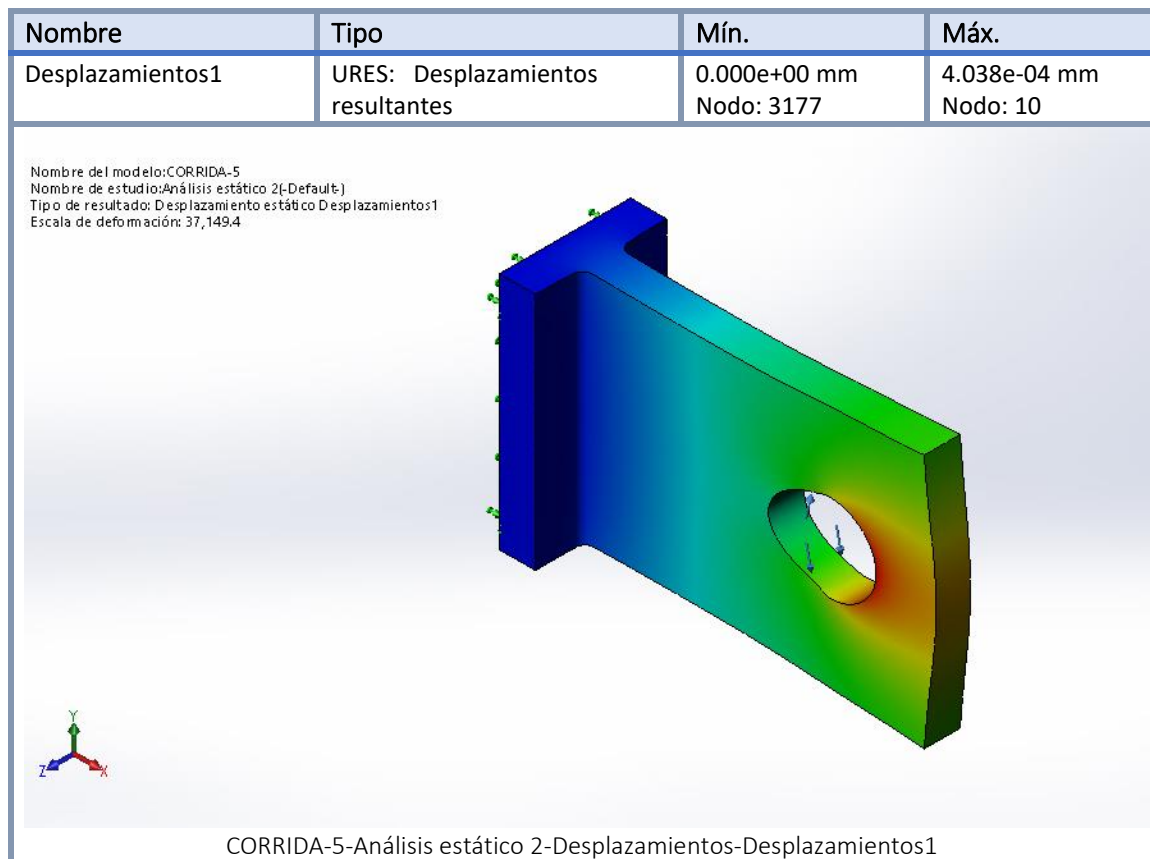
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-587.394	0.000238065	0.000219855	587.394

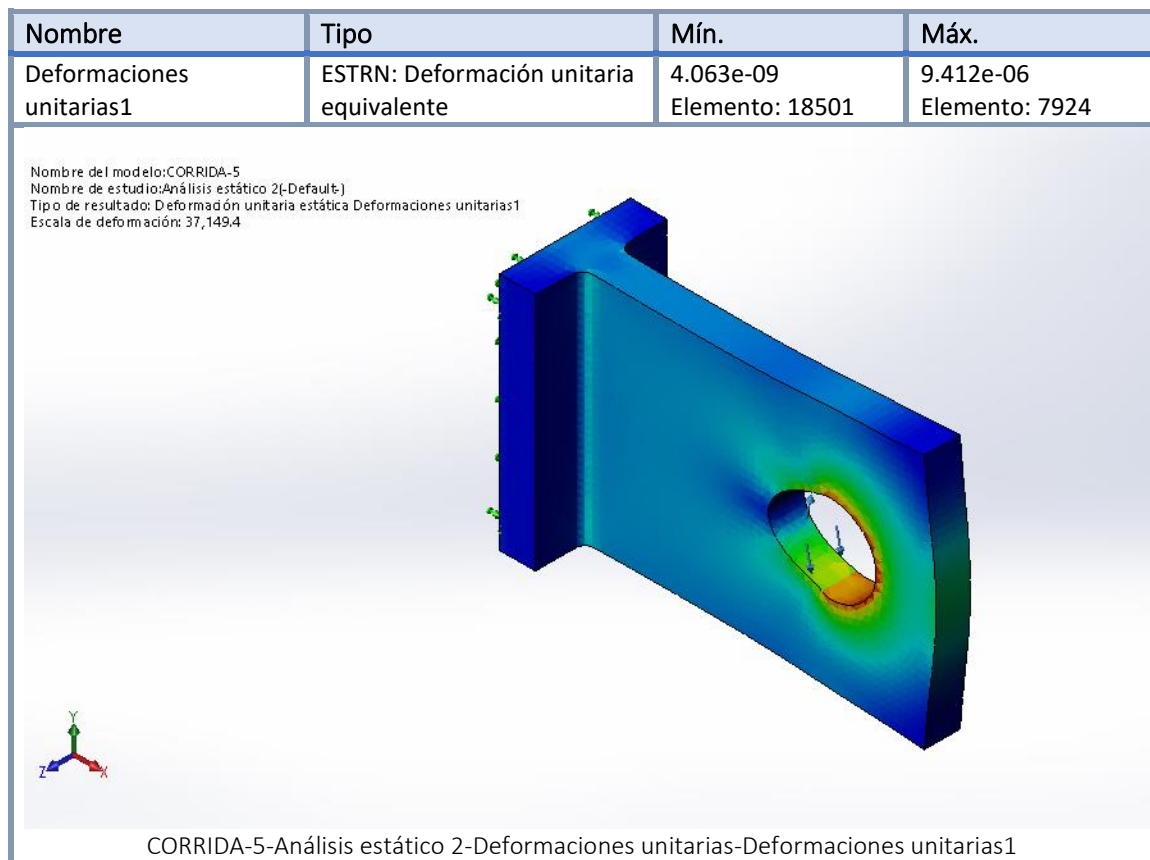
Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

Resultados del estudio







CORRIDA 6

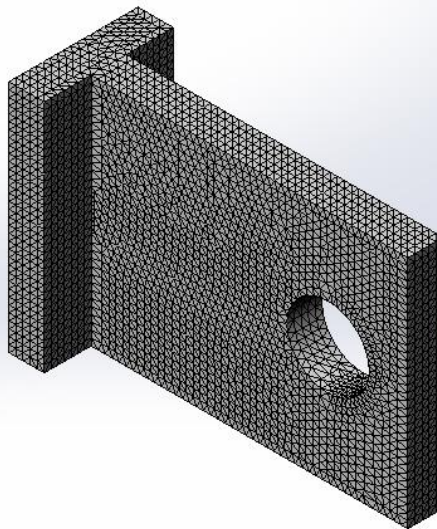
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	3 mm
Tolerancia	0.15 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

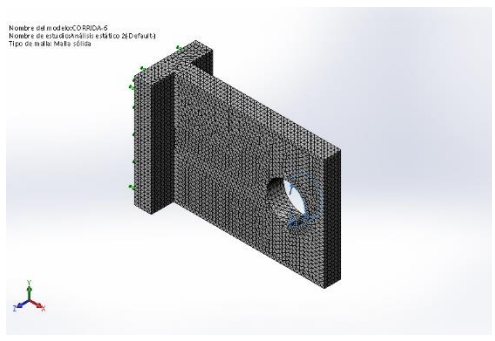
Información de malla - Detalles

Número total de nodos	97952
Número total de elementos	65564
Cociente máximo de aspecto	3.9373
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99.9
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:13
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: CORRIDA-6
 Nombre de estudio: Análisis estático 2 (-Default-)
 Tipo de malla: Malla sólida



Información sobre el control de malla:

Nombre del control de malla	Imagen del control de malla	Detalles del control de malla
Control-1		Entidades: 1 cara(s) Unidades: mm Tamaño: 2 Cociente: 2

Fuerzas resultantes

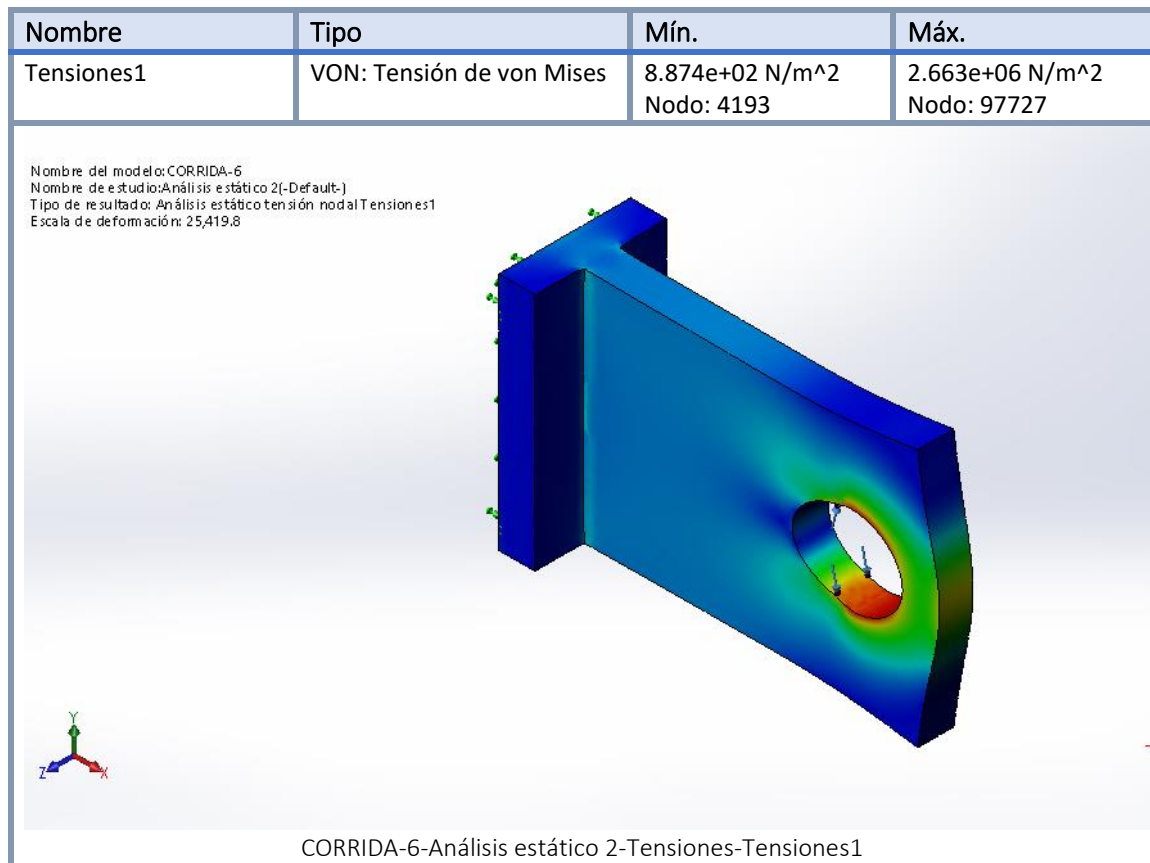
Fuerzas de reacción

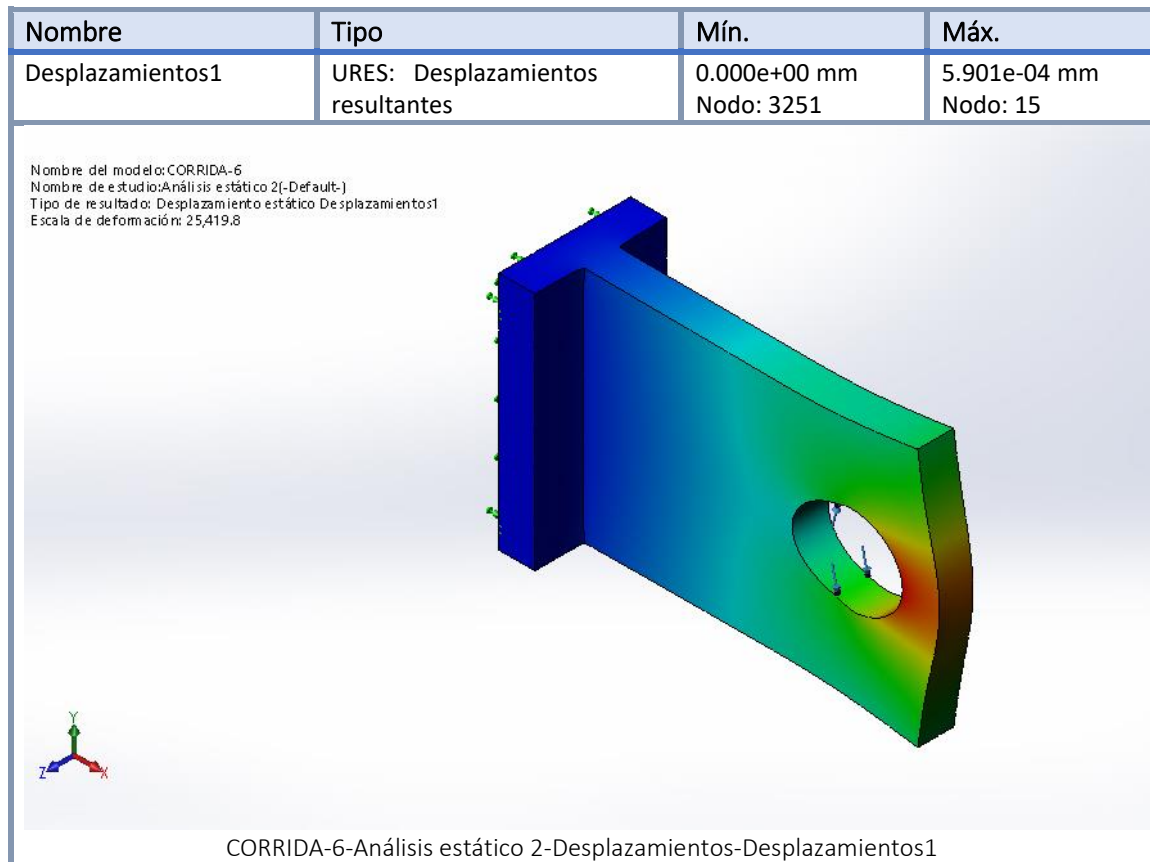
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-627.581	-0.000541098	-0.000666283	627.581

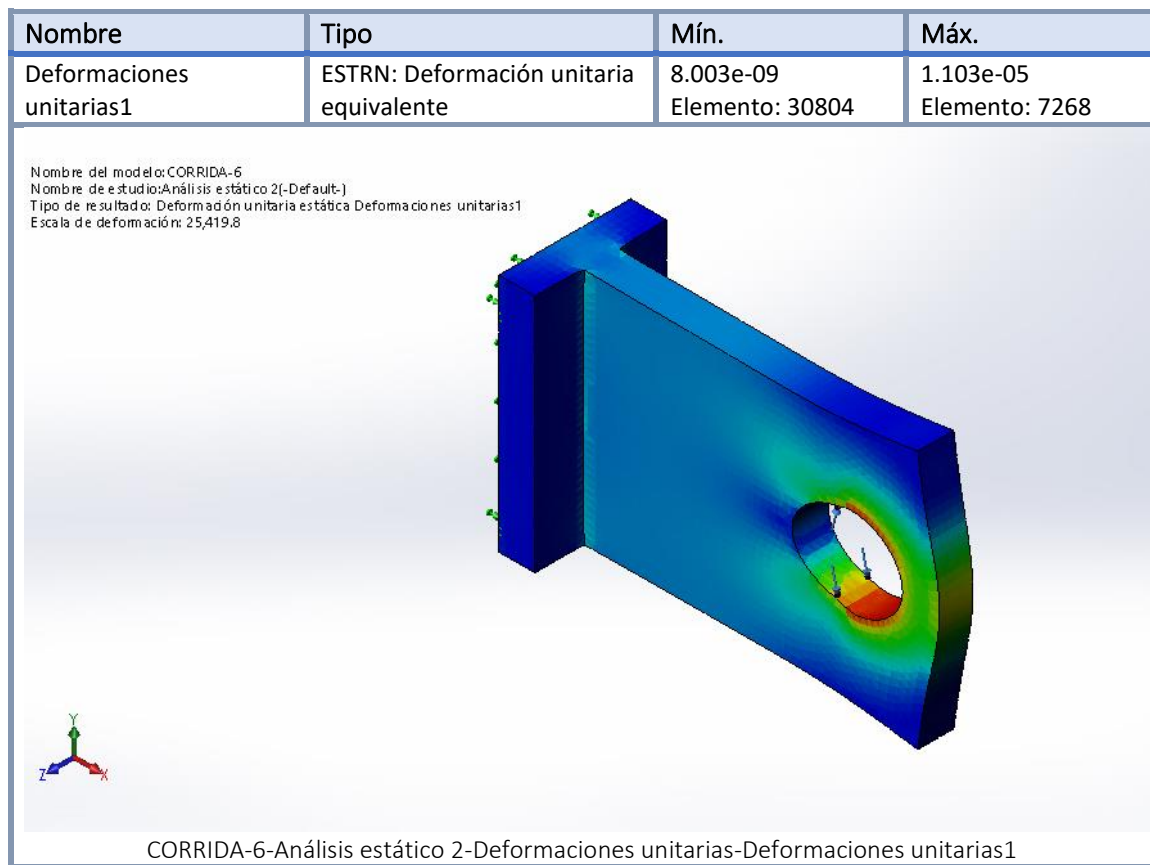
Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

Resultados del estudio







CORRIDA 7

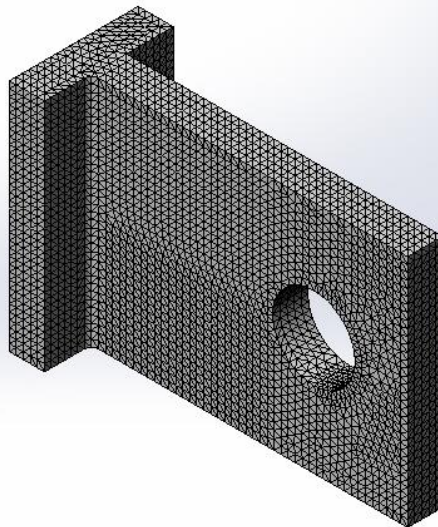
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	3 mm
Tolerancia	0.15 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

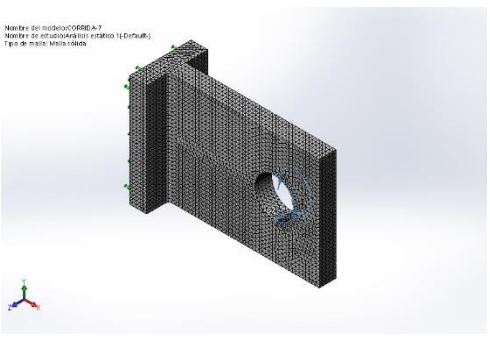
Información de malla - Detalles

Número total de nodos	100063
Número total de elementos	67078
Cociente máximo de aspecto	4.8151
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99.8
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:12
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: CORRIDA-7
 Nombre de estudio: Análisis estático 1 (-Default)
 Tipo de malla: Malla sólida



Información sobre el control de malla:

Nombre del control de malla	Imagen del control de malla	Detalles del control de malla
Control-1		Entidades: 1 cara(s) Unidades: mm Tamaño: 2 Cociente: 2

Fuerzas resultantes

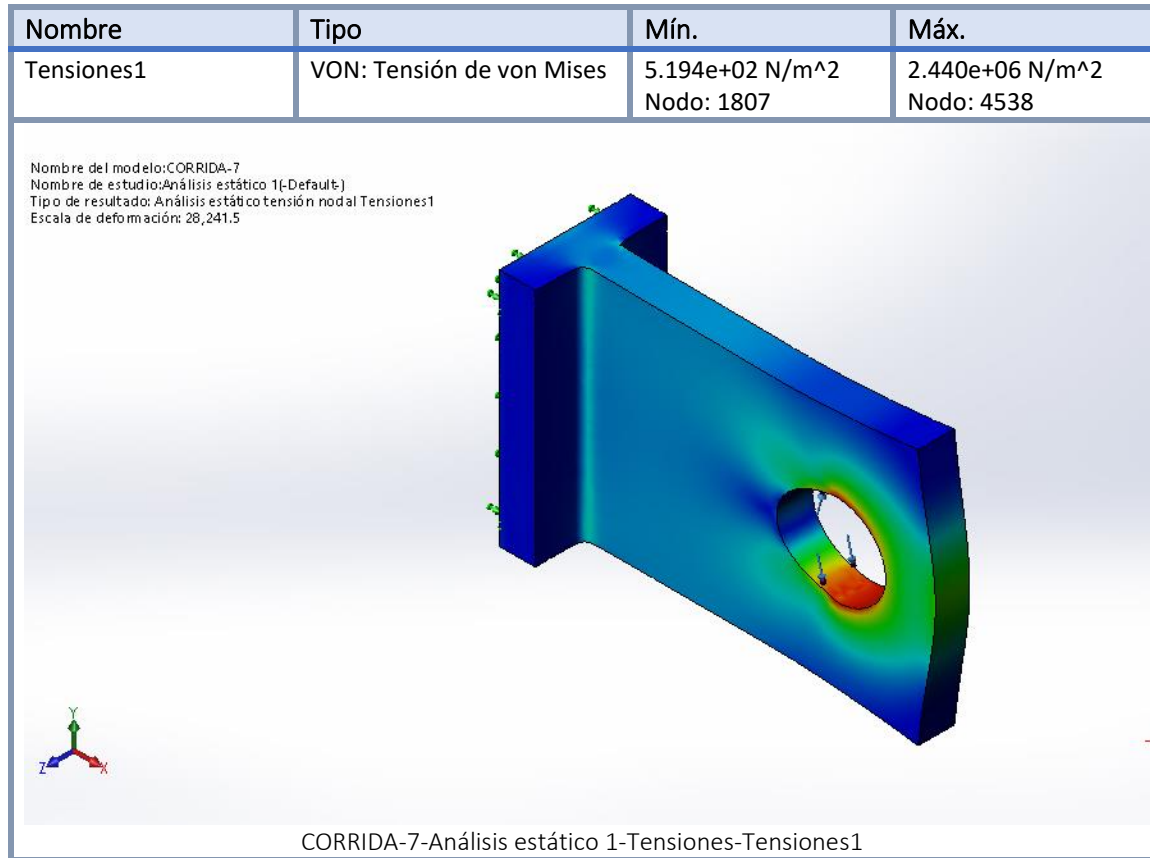
Fuerzas de reacción

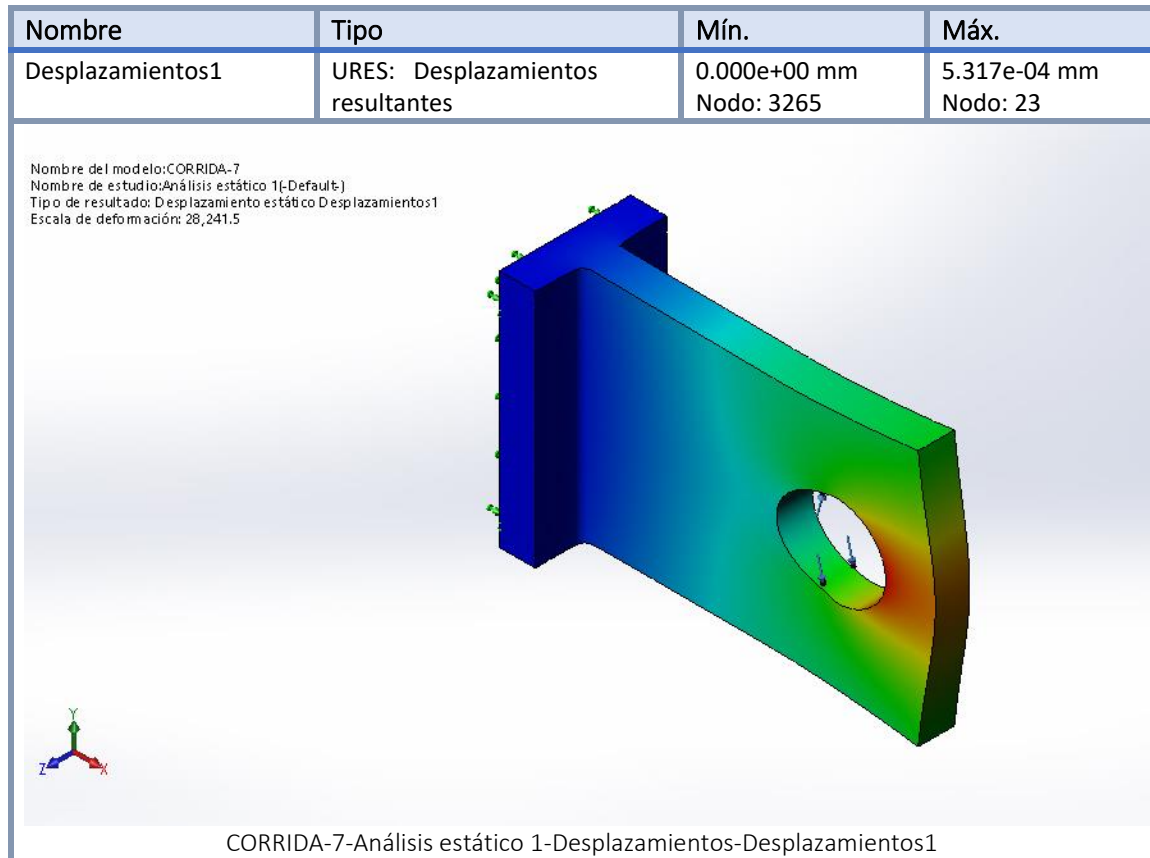
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-636.844	5.20647e-05	0.000647388	636.844

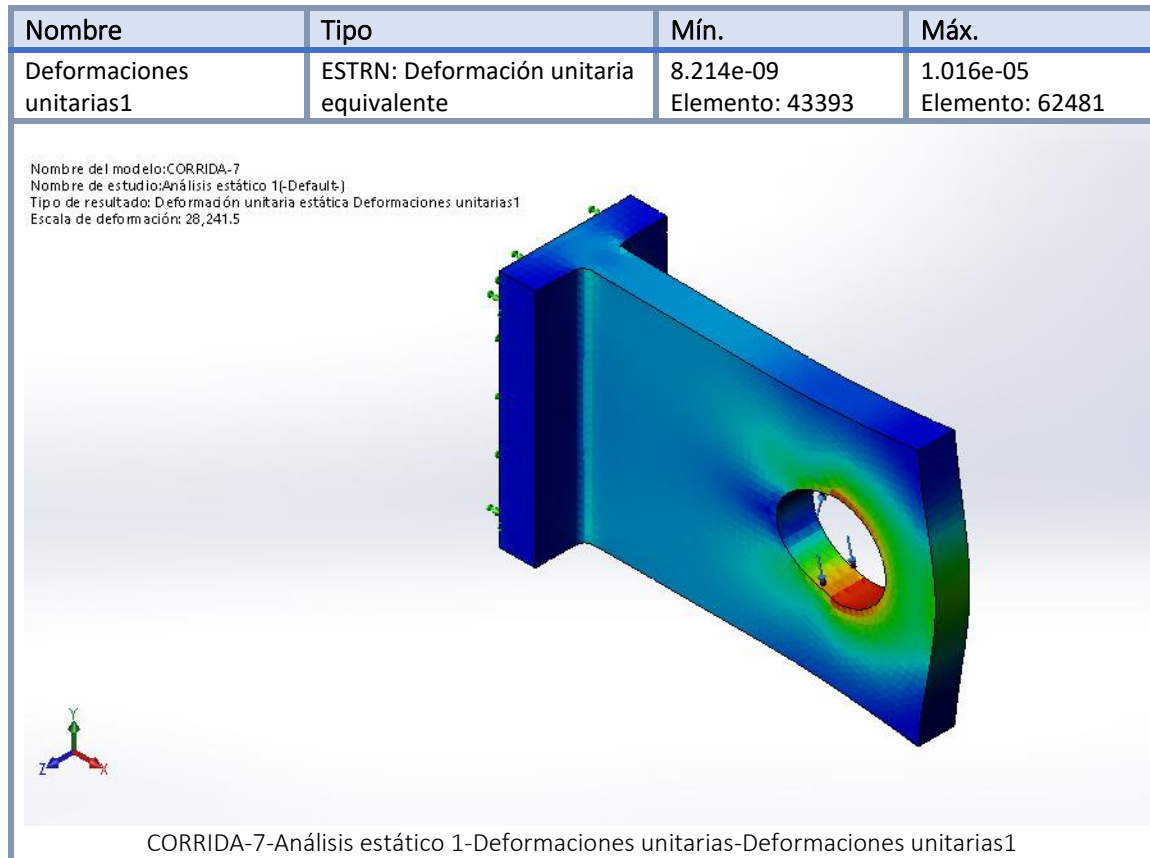
Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

Resultados del estudio







CORRIDA 8

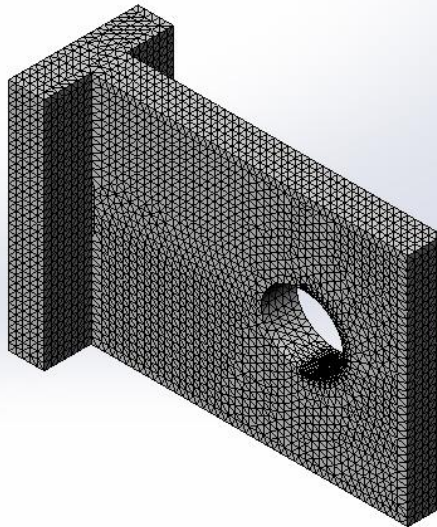
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	3 mm
Tolerancia	0.15 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

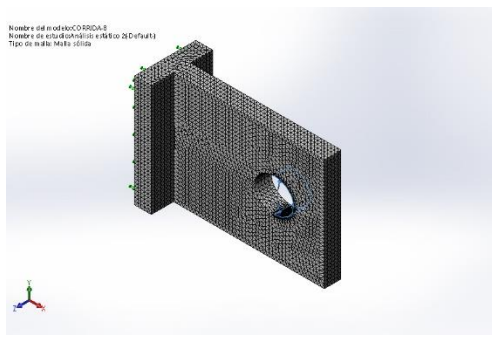
Información de malla - Detalles

Número total de nodos	114346
Número total de elementos	76630
Cociente máximo de aspecto	4.5369
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99.7
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:12
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: CORRIDA-8
 Nombre de estudio: Análisis estático 2 (-Default-)
 Tipo de malla: Malla sólida



Información sobre el control de malla:

Nombre del control de malla	Imagen del control de malla	Detalles del control de malla
Control-1		Entidades: 1 cara(s) Unidades: mm Tamaño: 1 Cociente: 1

Fuerzas resultantes

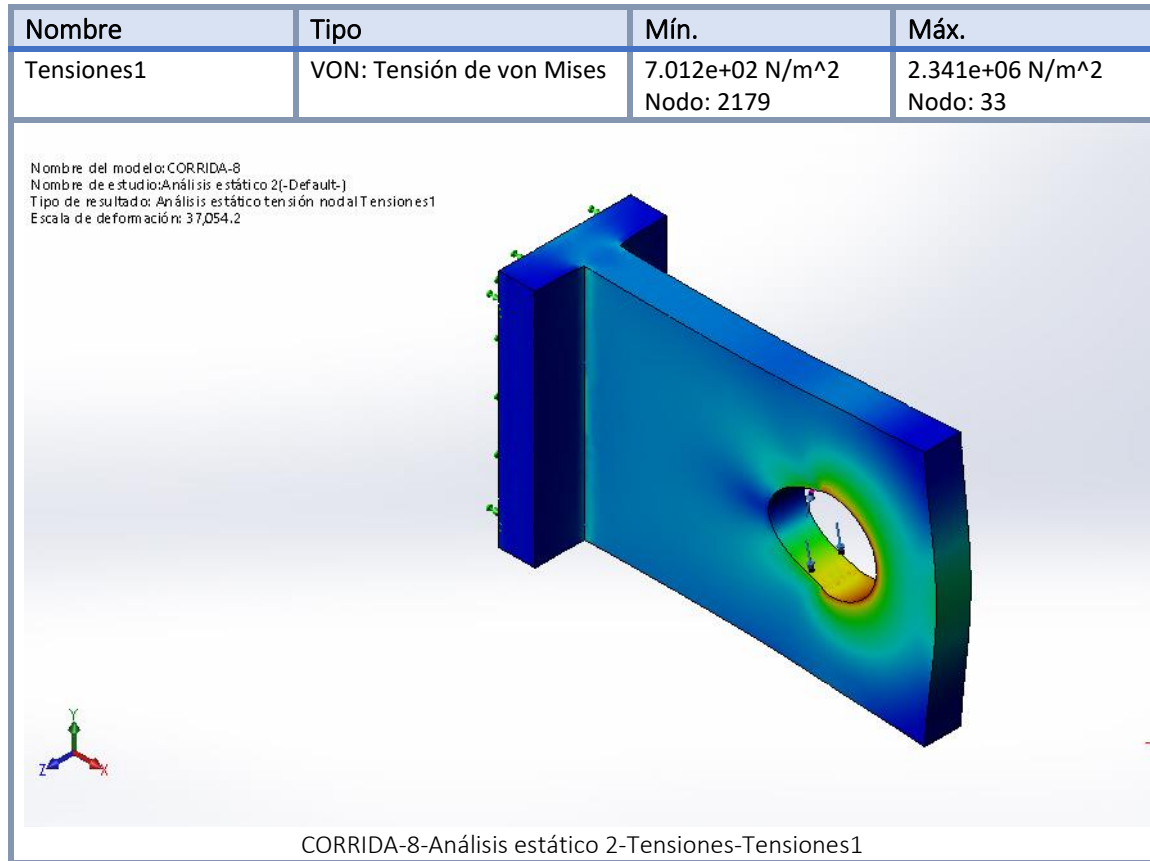
Fuerzas de reacción

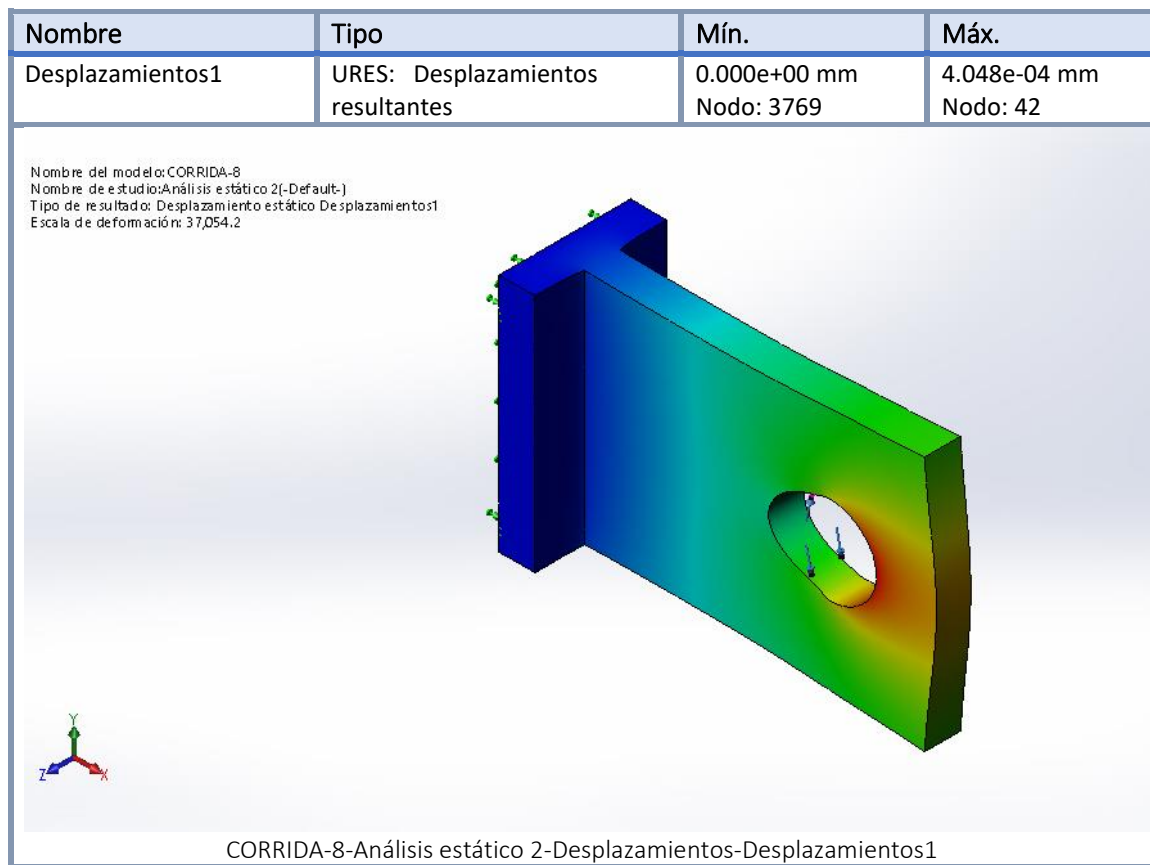
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-586.839	0.000345998	0.00136947	586.839

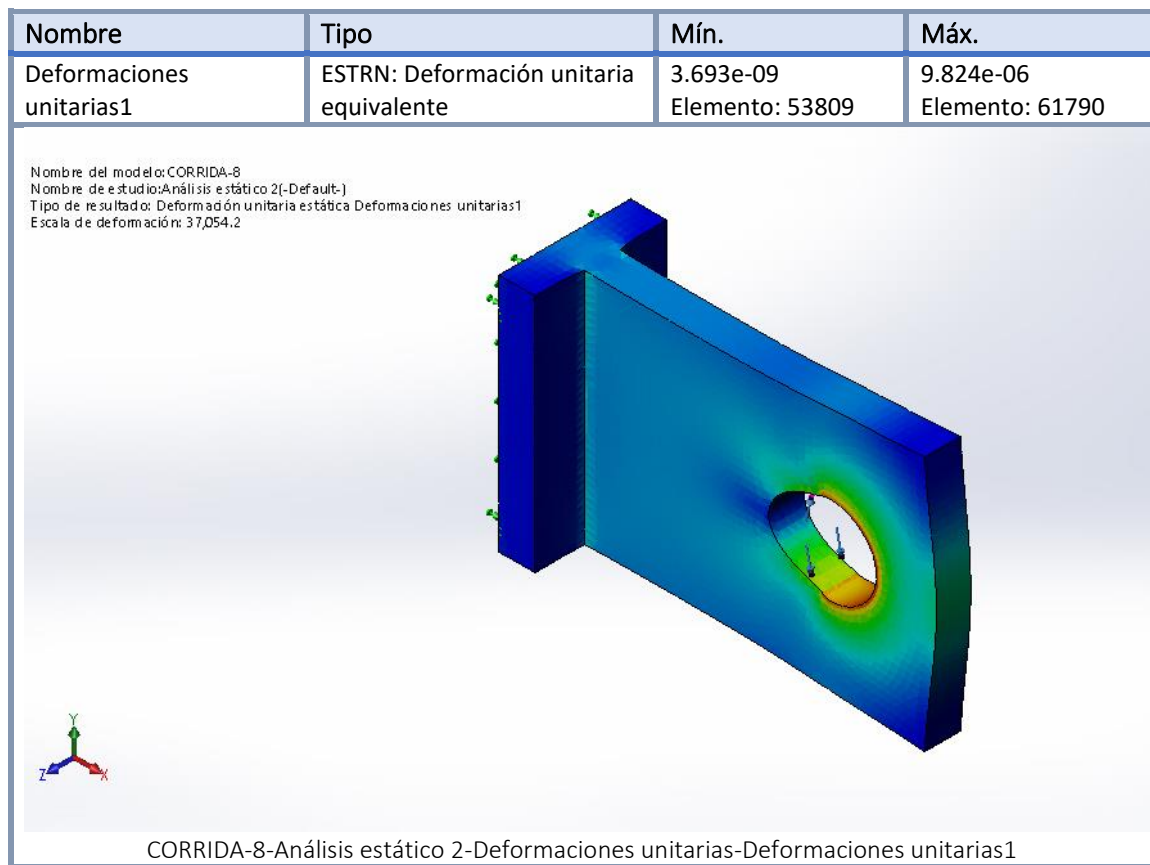
Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

Resultados del estudio







CORRIDAB9

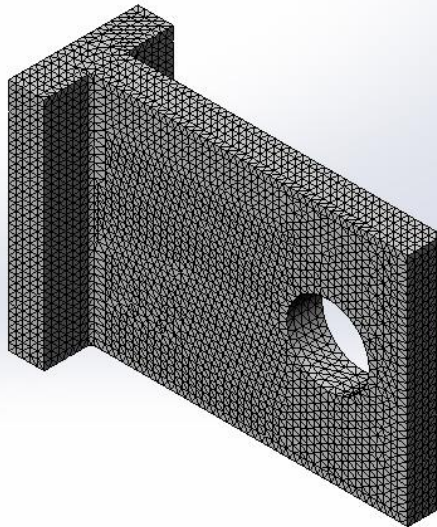
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	3 mm
Tolerancia	0.15 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	96442
Número total de elementos	64631
Cociente máximo de aspecto	3.7137
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99.9
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:13
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: CORRIDAB-9
 Nombre de estudio: Análisis estático 2 (-Default-)
 Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-628.012	0.000512294	0.000204258	628.012

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

Resultados del estudio

