



TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE COACALCO

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

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

INGENIERÍA ELECTROMECHANICA

Especialidad
(AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL)

Presenta:

Carlos Armando Morales Rodríguez

Matrícula: 201221177

Asesor: Mtro. Irving Mendoza Paz.

Coacalco de Berriozábal, diciembre, 2023.

DEDICATORIA

A mi madre María Guadalupe Rodríguez Báez por poner en mi toda su fe y su confianza de ver este sueño hecho realidad, por cuidarme y bendecirme cada día brindándome su apoyo y cariño incondicional.

A mi padre Armando Morales Chávez por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me han influenciado siempre por el valor mostrado para salir adelante.

A mi esposa Sandra Jazmin Galindo Navarro por su apoyo, por estar presente en cada momento. Por darme sus positivos consejos, por su confianza, por ser mi pareja y amiga.

A mi hijo Leonardo Devitt Morales Galindo que constituye la fuerza y razón que me impulsa a superarme con metas y objetivos trazados para ser un ejemplo a seguir en su vida.

A la universidad Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco (TesCo) por permitirme lograr dar un paso más hacia el éxito. Por convertirme en profesional competitivo lleno de conocimientos y expectativas.

Infinitas gracias a todos ustedes por todo lo que me han dado todo esto se lo debo a ustedes de manera muy especial ...
Muchísimas gracias

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	5
INTRODUCCIÓN	5
JUSTIFICACIÓN	6
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
ANTECEDENTES	7
OBJETIVOS	9
ALCANCES Y LIMITACIONES	10
IMPACTOS ESPERADOS Y VIABILIDAD	11
MARCO TEÓRICO.....	12
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

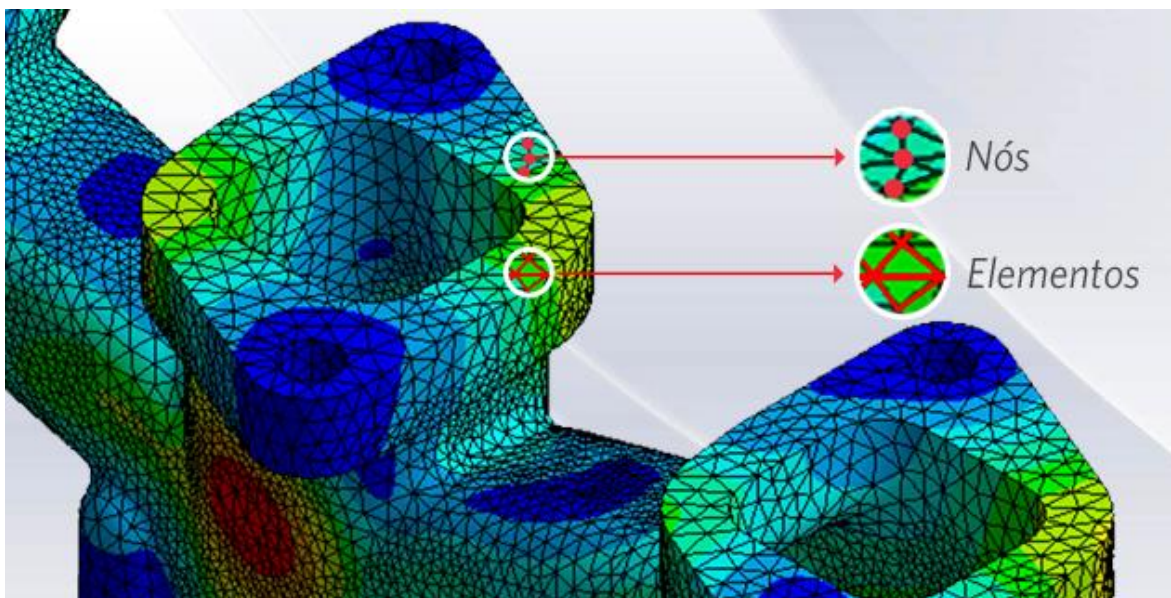


Ilustración 1 REPRESENTACIÓN DE NODOS Y ELEMENTOS

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.

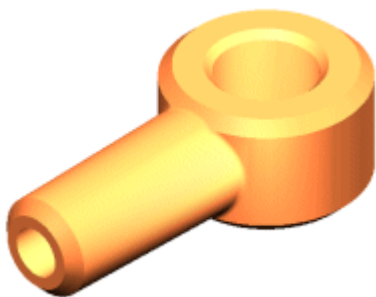


Ilustración 2 Modelo CAD de una pieza

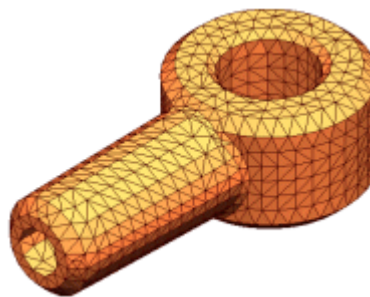


Ilustración 3 Modelo subdividido en piezas pequeñas (elementos)

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).

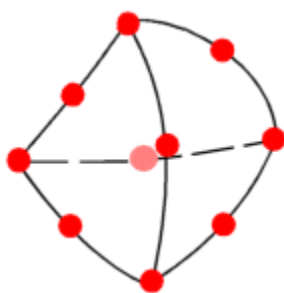


Ilustración 4 REPRESENTACION DE NODOS

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 Porcelana

La porcelana está hecha de una mezcla calentada de sílice, arcillas, feldespato y materiales de sílex de pequeños tamaños de partículas. Estos materiales se combinan en diferentes proporciones – hasta que alcanzan sus propiedades de fuego y sin fuego - para formar diferentes tipos de porcelana. Echemos un vistazo a estos materiales uno tras otro.

Arcilla: En general, la composición exacta de la arcilla generalmente dependería de dónde se extraiga. Aun así, la arcilla a menudo tendría propiedades estrechamente relacionadas independientemente de dónde se obtenga. Por ejemplo, todas las arcillas se vitrifican sólo a altas temperaturas. La única excepción es cuando el umbral de vitrificación se ha reducido mediante la adición de algunos materiales. Además, las arcillas disparadas tienden a añadir alguna contribución refractaria al producto terminado. Al igual que con el vidrio, mantienen su forma cuando se calientan. La porcelana, por lo tanto, combina la baja porosidad del vidrio con la capacidad de arcilla para conservar su forma. Por lo tanto, su popularidad para el uso doméstico. Generalmente, la arcilla utilizada para hacer porcelana es arcilla de bola y arcilla china, y se componen principalmente de silicato de aluminio hidroeléctrico y kaolinito.

Feldspar: Este material se compone principalmente de pedernal y silicato de aluminio. Flint es un tipo de cuarzo duro utilizado como fundente en una mezcla de porcelana. Los fundentes se pueden utilizar para reducir la temperatura a la que se forma el vidrio líquido, generalmente a unos 1000 a 1300oC. En esta fase líquida, los granos utilizados en la formación de unión porcelana firmemente juntos a través de la vitrificación.

Sílice: La sílice es un compuesto químico formado por una combinación de silicio y gas de oxígeno; dos de los elementos más abundantes en la tierra. Existe naturalmente en formas cristalinas, amorfas e impuras como se ve en cuarzo, ópalo, y arena respectivamente. De todos los tipos de relleno, la sílice es la más utilizada para disparar el cuerpo de porcelana. Además de facilitar el disparo y la formación del cuerpo, también ayuda a mejorar las propiedades físicas del producto final.

Piedra china: Utilizada en la fabricación de porcelana ósea (ver más tarde), la piedra de porcelana es una forma parcialmente kaolinizada y rica en feldespato de granito que no lleva hierro. A menudo colocado con caolina, su composición mineral incluye mica, cuarzo y feldespato. La similitud de la piedra china con la petuntse - que se utiliza para hacer porcelana de pasta dura - es presumiblemente la razón por la que se convirtió en un componente clave de la porcelana ósea.

Kaolin: Kaolin es un mineral de arcilla que lleva la fórmula general $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$. Se forma a partir de la intemperie de otros materiales aluminosilicate y es de color blanco. Se utiliza en la mayoría de la cerámica moderna.

Ceniza ósea: La ceniza ósea es los huesos calcinados, molidos y finamente en polvo de los animales, utilizados en la fabricación de porcelana. La ceniza ósea típica consiste en aproximadamente 56% por óxido de calcio de peso, 42% pentóxido de fósforo con el equilibrio de agua. La fórmula generalmente acordada para la ceniza ósea es $\text{Ca}_5(\text{OH})(\text{PO}_4)_3$. El proceso de calcinación se lleva a cabo alrededor de 1.000 °C. La ceniza ósea se utiliza en pasta blanda y porcelanas de porcelana ósea, tiene el efecto de reemplazar la petuntse de pastas duras(3). La ceniza ósea tiene otras aplicaciones en los campos de la metalurgia, mecanizado y fertilizantes.

Proceso de fabricación de porcelana

Después de haber seleccionado las materias primas requeridas y sacar las cantidades requeridas por peso, se hacen para someterse a una serie de pasos preparatorios. Para empezar, son aplastados y luego purificados. Después de eso, se mezclan antes de ser sometidos a varios procesos de formación. El proceso de formación podría ser cualquiera de prensado, fundición, formación de plástico rígido o formación de plástico suave. La elección del proceso de formación normalmente dependería del tipo de vajilla de porcelana que se va a producir. Después de formar el cuerpo de porcelana, se dispara después de lo cual puede ser acristalado. El acristalamiento es el proceso de disparar sobre un cuerpo cerámico una capa de vidrio decorativo. Finalmente, la porcelana se dispara. Algunas porcelanas se forman y disparan de tal manera que se les conoce como 'bisque', es decir, no tienen la coloración blanca tradicionalmente asociada.

En resumen, el proceso de fabricación de porcelana consiste en el triturado de materiales a utilizar, la limpieza y mezcla de dichos materiales, el proceso de formación del cuerpo, el disparo y luego el acristalamiento y re-disparo si es necesario.

Usos de porcelana

Materiales de construcción

La porcelana es ampliamente utilizada como una forma de material de construcción, especialmente para acabados de suelo. Básicamente, hay dos tipos de baldosas de porcelana utilizadas en edificios. Son baldosas de porcelana esmaltadas y de cuerpo completo. Las baldosas de porcelana esmaltada son azulejos con acabado de esmalte en la parte superior. El esmalte se añade generalmente para añadir color y acabado a la baldosa. Estos tipos de azulejos se utilizan generalmente con fines decorativos debido a su acabado fino y decoración en lugar de para fines más prácticos.

Por el contrario, las baldosas de porcelana de cuerpo completo no tienen ningún tipo de esmalte sobre su parte superior. Se utilizan principalmente para pisos, paredes y encimeras, ya que no tienen esmaltes que podrían ser fácilmente erosionados de la abrasión y el uso constante.

Las baldosas de porcelana se pueden utilizar para suelos en áreas de alto tráfico, como en centros comerciales debido a la dureza y dureza de los materiales. Generalmente no son porosos y no absorbentes. Por lo tanto, se pueden utilizar para suelos y superficies que se exponen regularmente a bacterias.

Aislamiento eléctrico

Este es uno de los usos más comunes de la porcelana. Además de ser resistentes a los golpes térmicos, también son buenos aislantes y se utilizan en áreas de alta tensión. Se utilizan en el aislamiento de antenas, así, así, como en terminales de cable de alta tensión. La sociedad estadounidense de la cerámica incluso sugiere que son una parte esencial de los componentes electrónicos que aseguran el correcto funcionamiento de los dispositivos de telecomunicaciones como teléfonos inteligentes y computadoras. La porcelana puede comportarse de una manera superior a los aislamientos eléctricos de tipo polímero, pero tiene un costo más alto.

Medicina

Esto podría ser una sorpresa para unos pocos; sin embargo, la porcelana también se utiliza en la medicina. Se utiliza en la odontología para la fabricación de chaquetas de porcelana también conocido como gorras y coronas. Una chaqueta de porcelana se utiliza en la odontología para proteger la superficie de un diente débil o roto. Por lo general, se recomienda para la reconstrucción de los dientes que han sido arruinados por grandes agujeros y caries o se han roto previamente. En algunos casos, se utilizan para ayudar a remodelar, blanquear o alinear mejor los dientes existentes. Es imperativo tener en cuenta que son similares a un diente natural y por esta razón se utilizan para los dientes anteriores. Porcelana en entornos dentales se cita por su dureza, pero también fuerza flexural relativa cuando se acristala. Una revisión más amplia sobre el uso de la porcelana en entornos médicos está aquí.

Arte

A pesar de su uso como material utilitario, la elegancia y la belleza de la porcelana la convierten en una interesante elección de material artístico. En tiempos antiguos, la gente descubrió que aparte de ser exquisitamente hermosa y elegante en el diseño, los objetos de porcelana también eran duraderos. En consecuencia, la porcelana se utilizó para coleccionables. En los tiempos modernos, se recogen como tesoros y se venden por grandes sumas.

Tesoros antiguos como quemadores de incienso utilizados en ceremonias de sacrificio o figuras de tumbas de cementerios ahora se recogen como tesoros y se almacenan en museos o se venden a precios enormes.

Propiedades de material

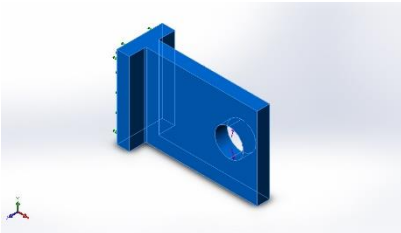
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: Porcelana Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de Mohr-Coulomb Límite de tracción: 1.7234e+08 N/m² Límite de compresión: 5.5149e+08 N/m² Módulo elástico: 2.2059e+11 N/m² Coefficiente de Poisson: 0.22 Densidad: 2,300 kg/m³ Módulo cortante: 9.0407e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 1.08e-05 /Kelvin	Sólido 1(Línea de partición1)(CORRIDA-9)
Datos de curva:N/A		

Tabla 2 PROPIEDADES MECANICAS DE PORCELANA

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	$S/N = -10 \cdot \log (\Sigma(Y^2)/n)$

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

La pieza de estudio

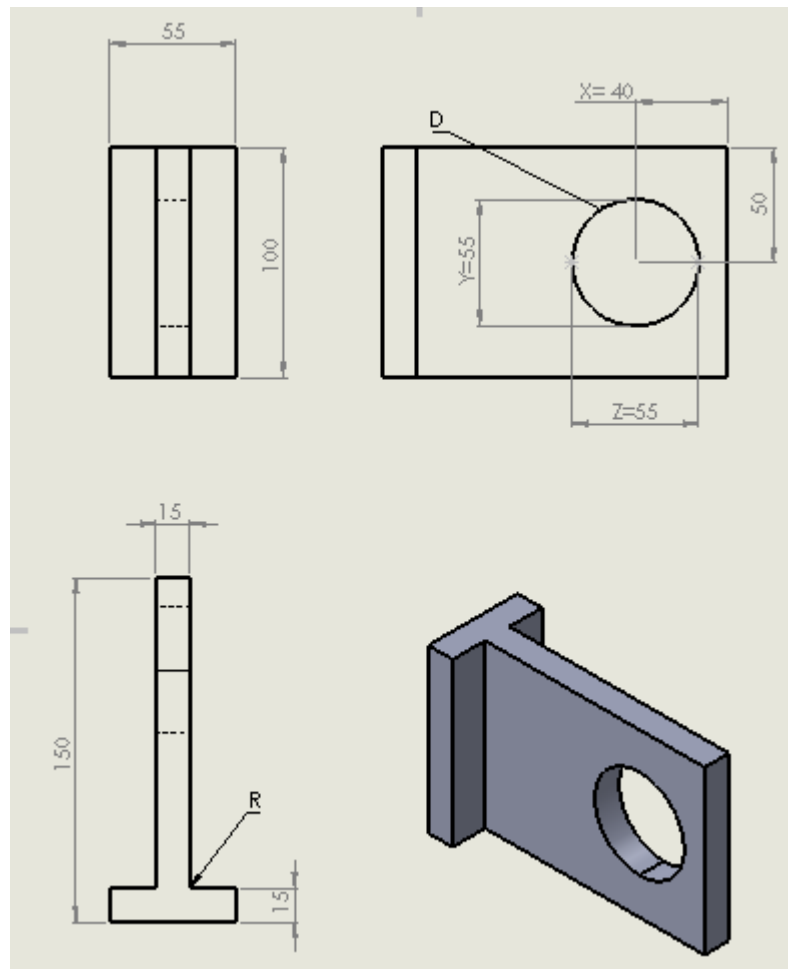


Ilustración 5 PLANO DE PIEZA MECANICA ACOTADO

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.

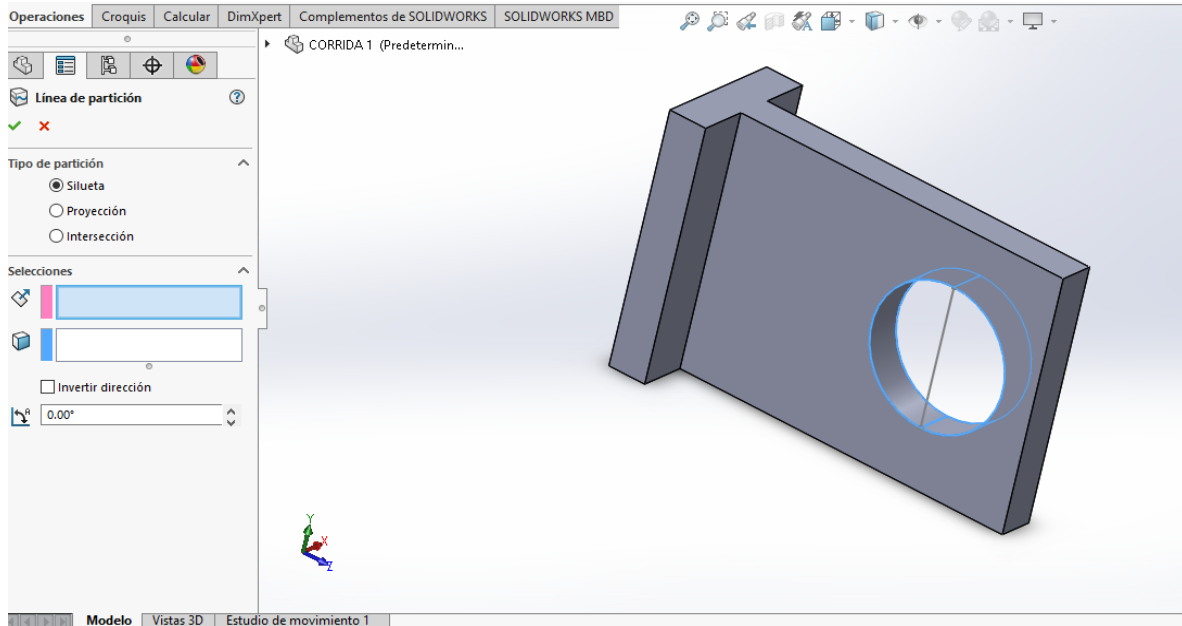


Ilustración 6 SECCION DEL BARRENO

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

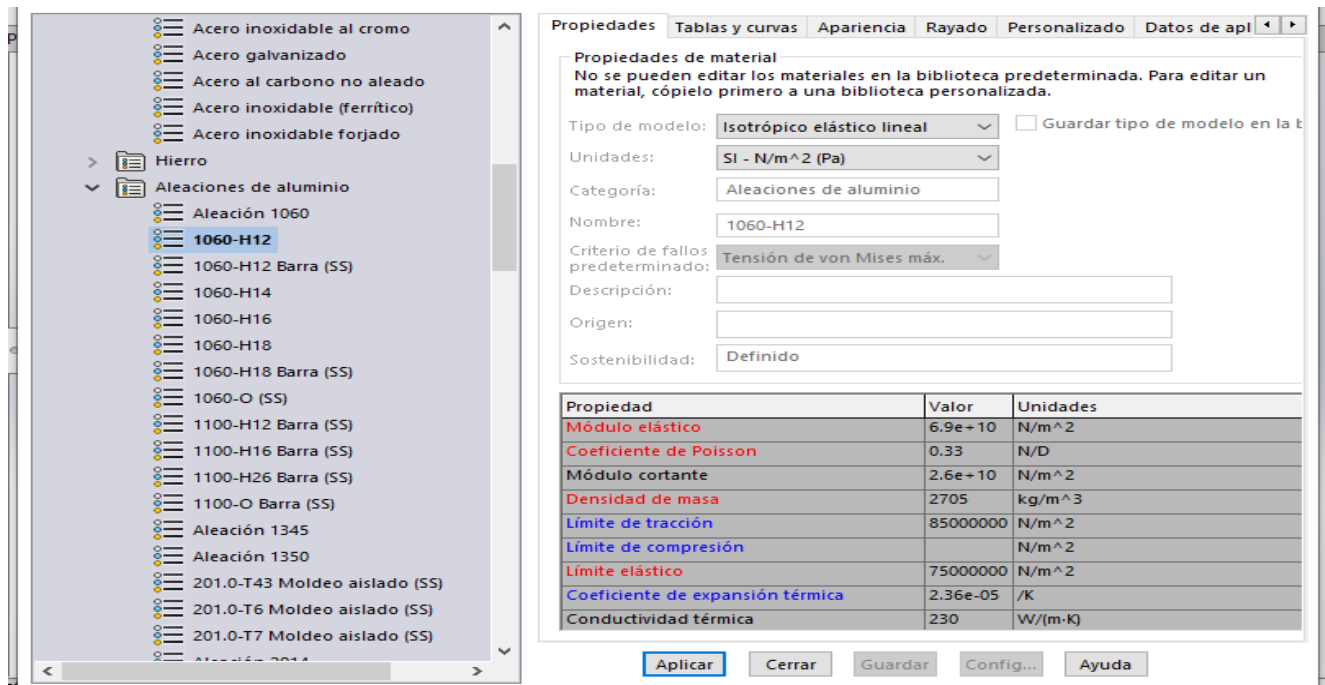


Ilustración 7 SELECCION DE MATERIAL

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

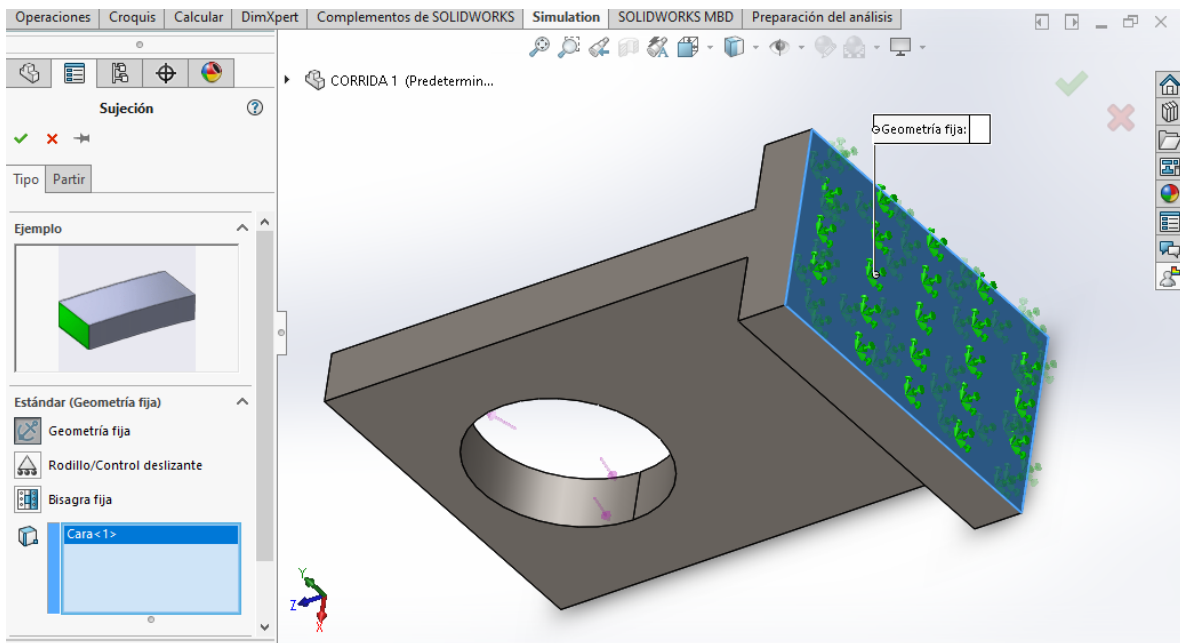


Ilustración 8 SUJECION DE PIEZA

- 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

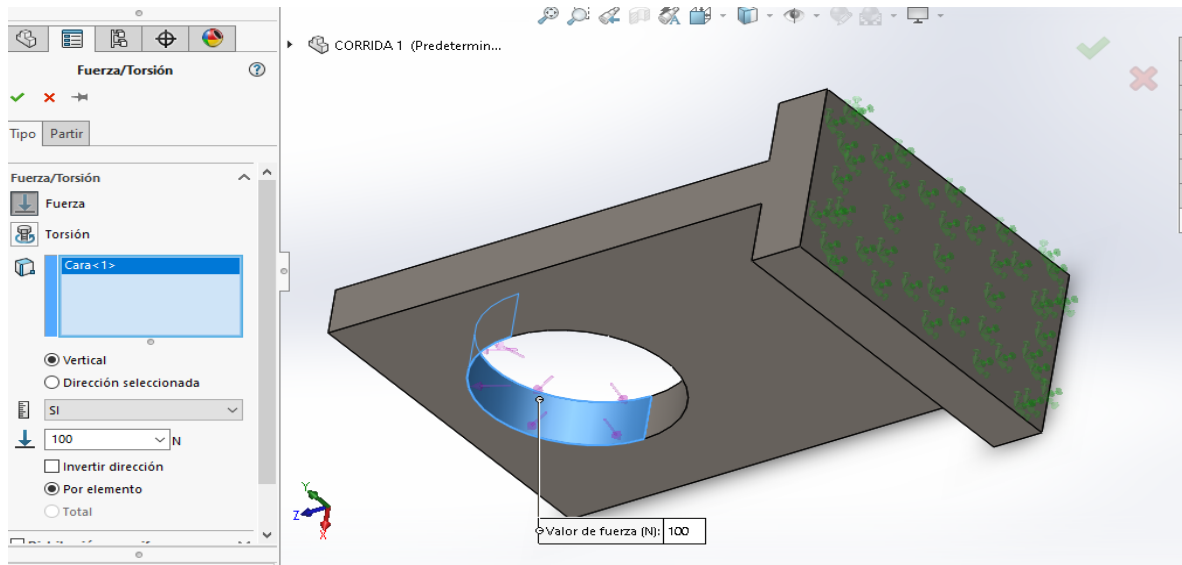


Ilustración 9 ASIGNACION DE CARGA

- 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

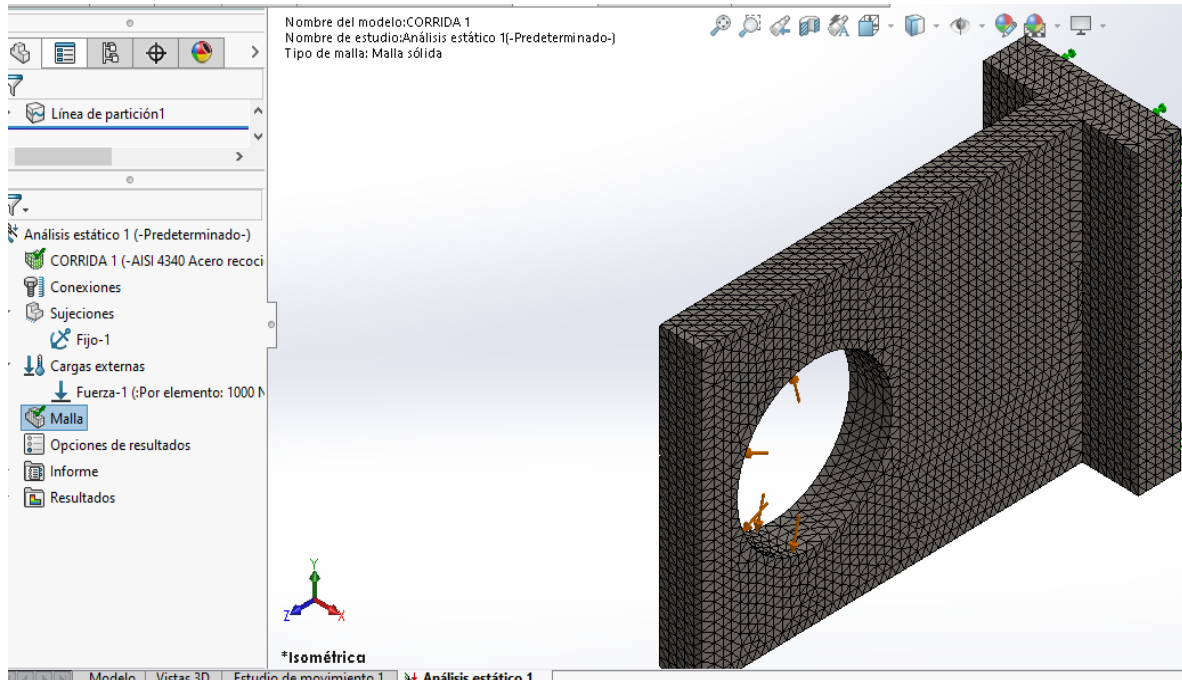


Ilustración 10 SELECCION DE MALLADO

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

Tensión de Von Mises $2.425 \times 10^6 \text{ N/m}^2$

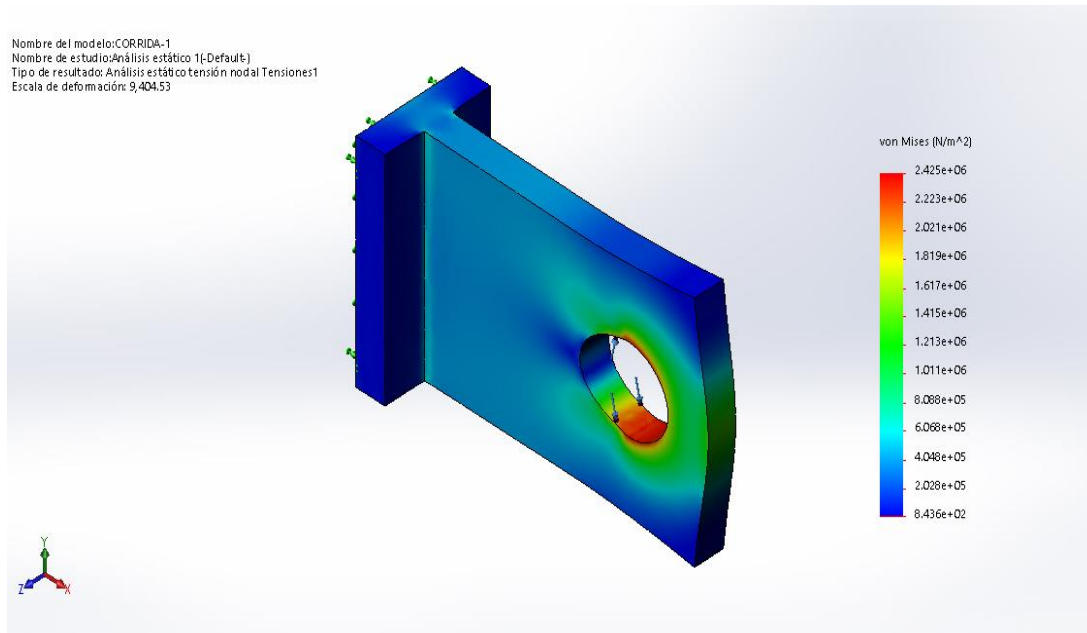


Ilustración 11 ANALISIS DE TENCION

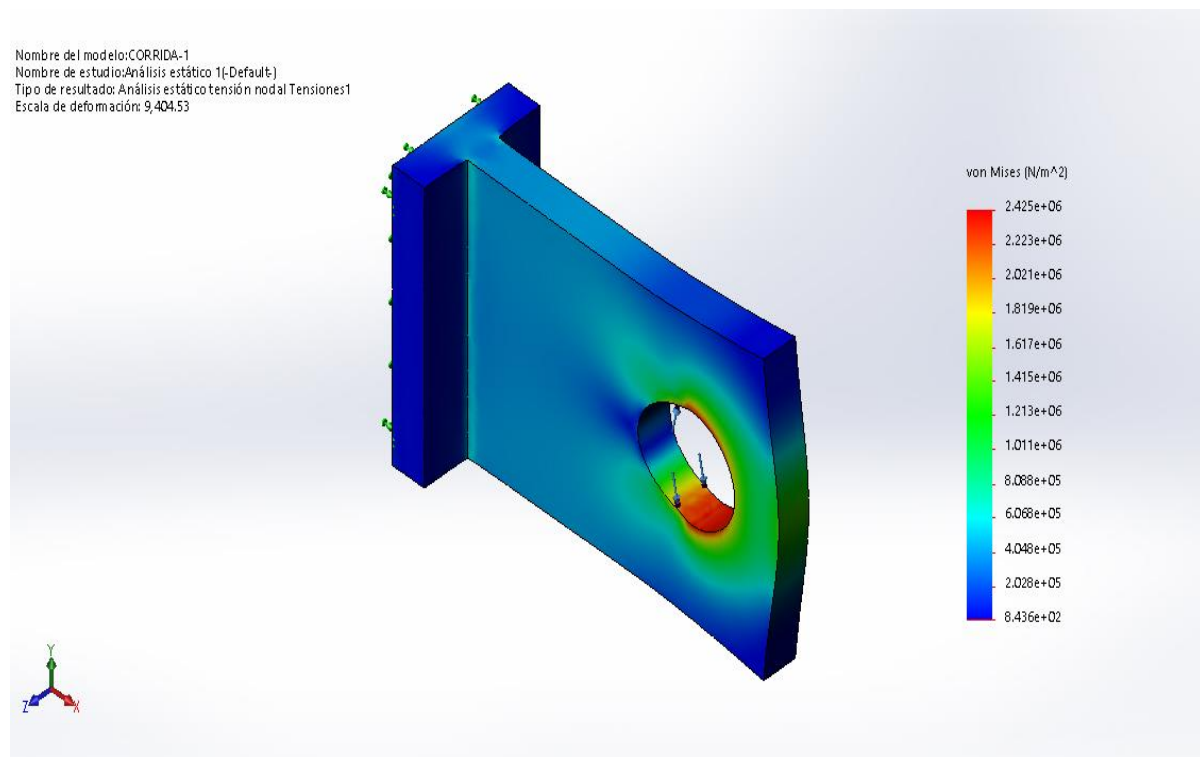


Ilustración 12 ANALISIS DE DEZPLANZAMIENTO

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

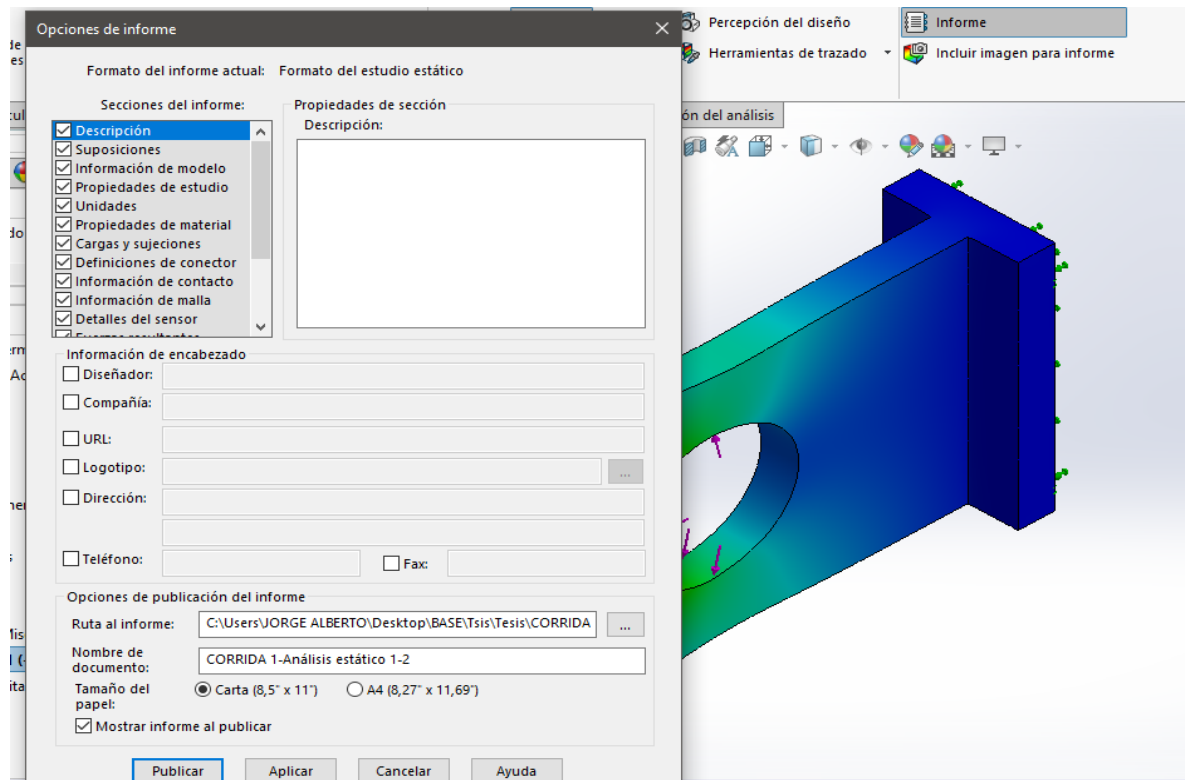


Ilustración 13 CREACION DE INFORME

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

	VARIABLES DE ENTRADA		VARIABLES DE SALIDA	
	SIN S/N		CON S/N	
RUN	σ	δ	S/N σ	S/N δ
1	3.627e+06 N/m ²	7.092e-04 mm		
2	3.568e+06 N/m ²	5.391e-04 mm		
3	3.997e+06 N/m ²	7.869e-04 mm		
4	3.688e+06 N/m ²	7.095e-04 mm		
5	3.541e+06 N/m ²	5.752e-04 mm		
6	3.989e+06 N/m ²	7.982e-04 mm		
7	3.648e+06 N/m ²	7.11.e-04 mm		
8	3.552e+06 N/m ²	5.398e-04 mm		
9	3.988e+06 N/m ²	7.889e-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)**

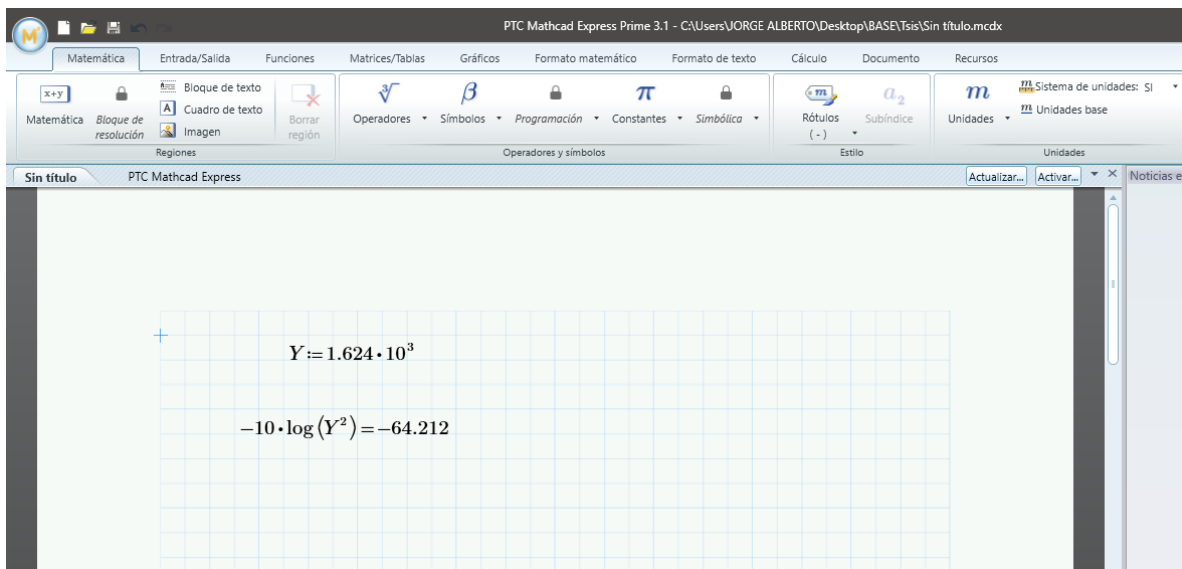


Ilustración 14 ECUACION EN MATHCAD

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

RUN	VARIABLES DE ENTRADA		VARIABLES DE SALIDA	
	SIN S/N		CON S/N	
	σ	δ	S/N σ	S/N δ
1			131.691	62.985
2			11.048	65.367
3			132.035	65.082
4			131.336	62.981
5			130.983	62.804
6			132.039	61.958
7			131.241	62.959
8			131.009	65.355
9			132.015	62.06

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 optima 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 valla 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	3.627e+06 N/m ²	7.092e-04 mm	131.691	62.985
2	3.568e+06 N/m ²	5.391e-04 mm	11.048	65.367
3	3.997e+06 N/m ²	7.869e-04 mm	132.035	65.082
4	3.688e+06 N/m ²	7.095e-04 mm	131.336	62.981
5	3.541e+06 N/m ²	5.752e-04 mm	130.983	62.804
6	3.989e+06 N/m ²	7.982e-04 mm	132.039	61.958
7	3.648e+06 N/m ²	7.11.e-04 mm	131.241	62.959
8	3.552e+06 N/m ²	5.398e-04 mm	131.009	65.355
9	3.988e+06 N/m ²	7.889e-04 mm	132.015	62.06

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 3.997e+06 N/m², 3.989e +06 N/m² y 3.988e+06 N/m² respectivamente en cuanto a desplazamiento fueron las corridas número 3, 6 y 9 la que el mostro un valor de 7.869e-04, 7.982e-04 y 7.889e-04 considerado el más alto entre los resultados obtenidos.

Cada uno de Estos valores presentados en la tabla 8 fueron aplicados en la ecuación **S/N= -10 Log (Y²)** 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	3.627e+06 N/m ²	7.092e-04 mm	131.691	62.985
2	3.568e+06 N/m ²	5.391e-04 mm	11.048	65.367
3	3.997e+06 N/m²	7.869e-04 mm	132.035	65.082
4	3.688e+06 N/m ²	7.095e-04 mm	131.336	62.981
5	3.541e+06 N/m ²	5.752e-04 mm	130.983	62.804
6	3.989e+06 N/m²	7.982e-04 mm	132.039	61.958
7	3.648e+06 N/m ²	7.11.e-04 mm	131.241	62.959
8	3.552e+06 N/m ²	5.398e-04 mm	131.009	65.355
9	3.988e+06 N/m²	7.889e-04 mm	132.015	62.06

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)

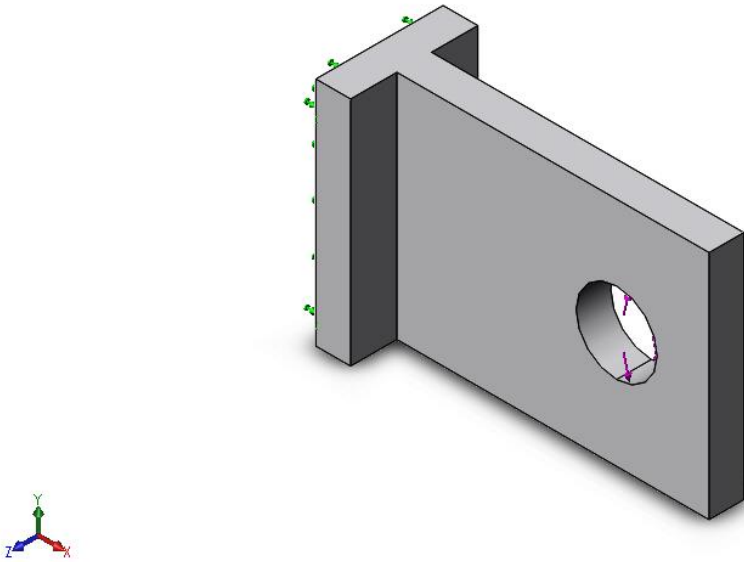
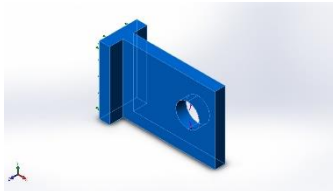
FUENTES DE INFORMACIÓN

- 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 finitos aplicado 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:0.622307 kg Volumen:0.000270568 m³ Densidad:2,300 kg/m³ Peso:6.09861 N	C:\Users\Irving\Documents\C ORRIDA DE TESIS\PROYECTO 6\CORRIDA-1.SLDPRT Oct 5 19:18:59 2023

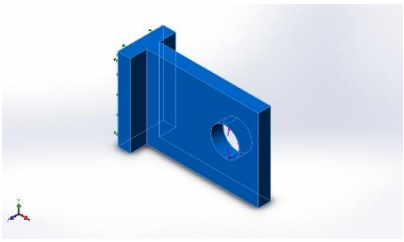
Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Análisis estático 2
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)

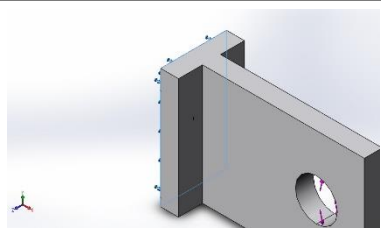
Unidades

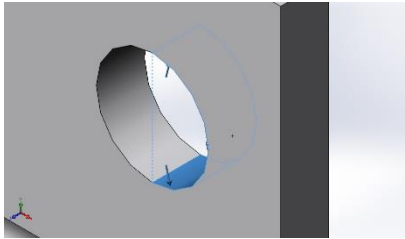
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: Porcelana Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de Mohr-Coulomb Límite de tracción: 1.7234e+08 N/m² Límite de compresión: 5.5149e+08 N/m² Módulo elástico: 2.2059e+11 N/m² Coeficiente de Poisson: 0.22 Densidad: 2,300 kg/m³ Módulo cortante: 9.0407e+10 N/m² Coeficiente de dilatación térmica: 1.08e-05 /Kelvin	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)	-955.584	-0.00105332	0.000900075	955.584
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: 1,500 N

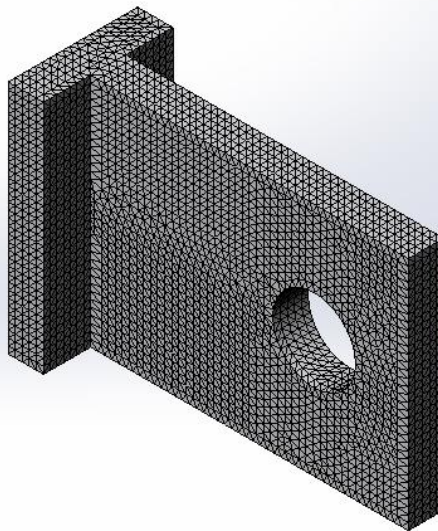
Información de malla

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 2 (-Default-)
 Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

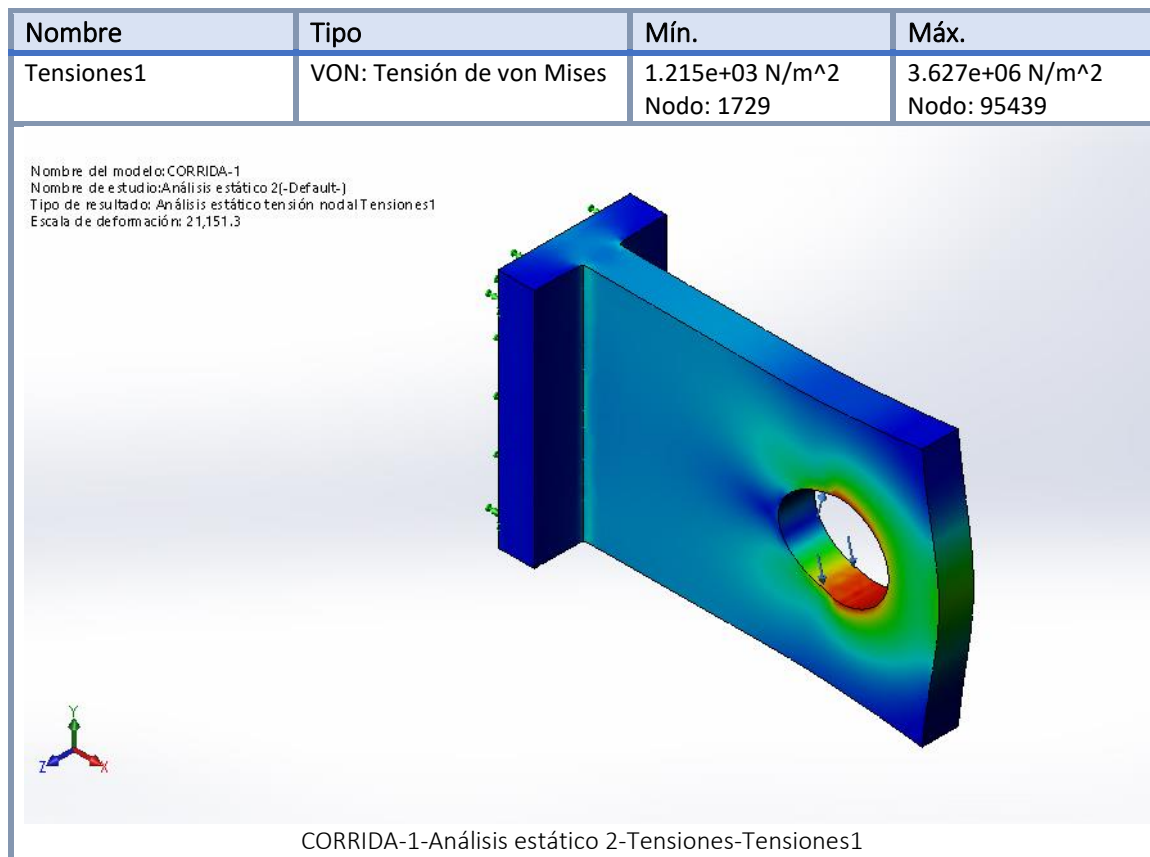
Fuerzas de reacción

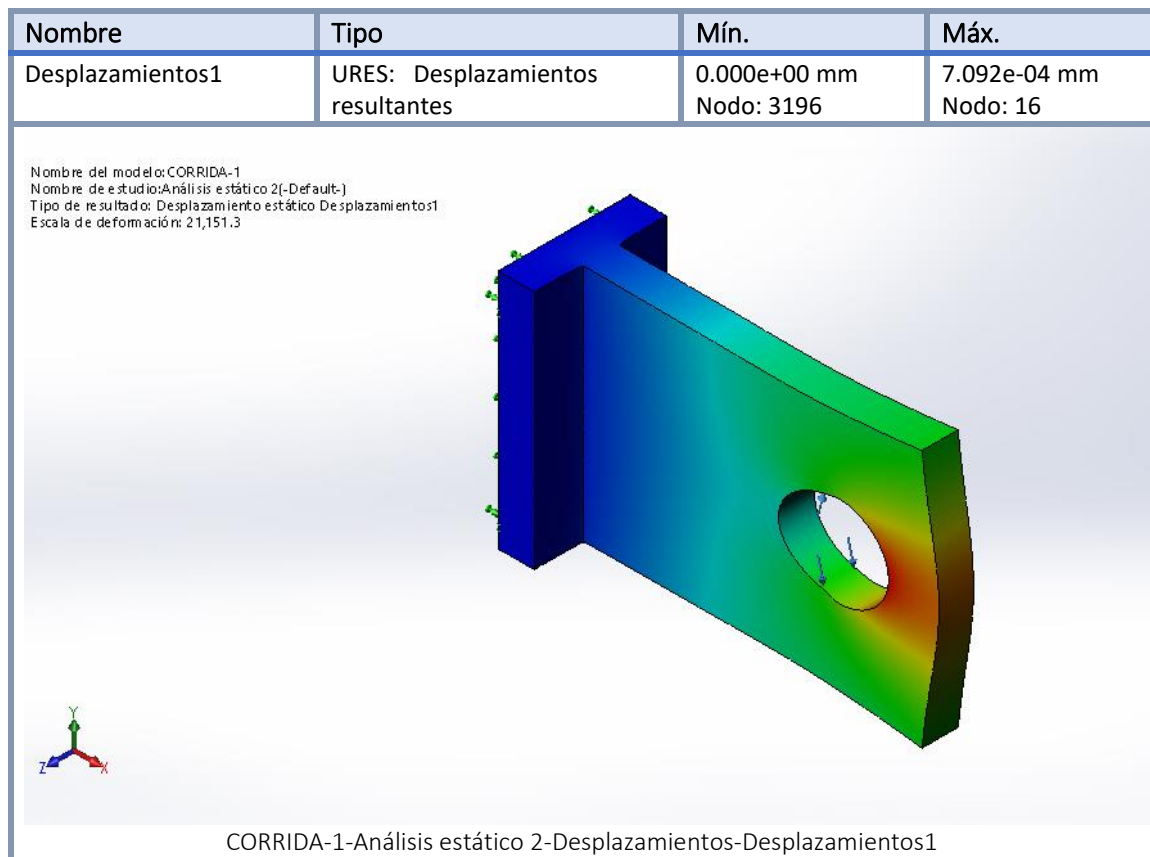
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-955.584	-0.00105332	0.000900075	955.584

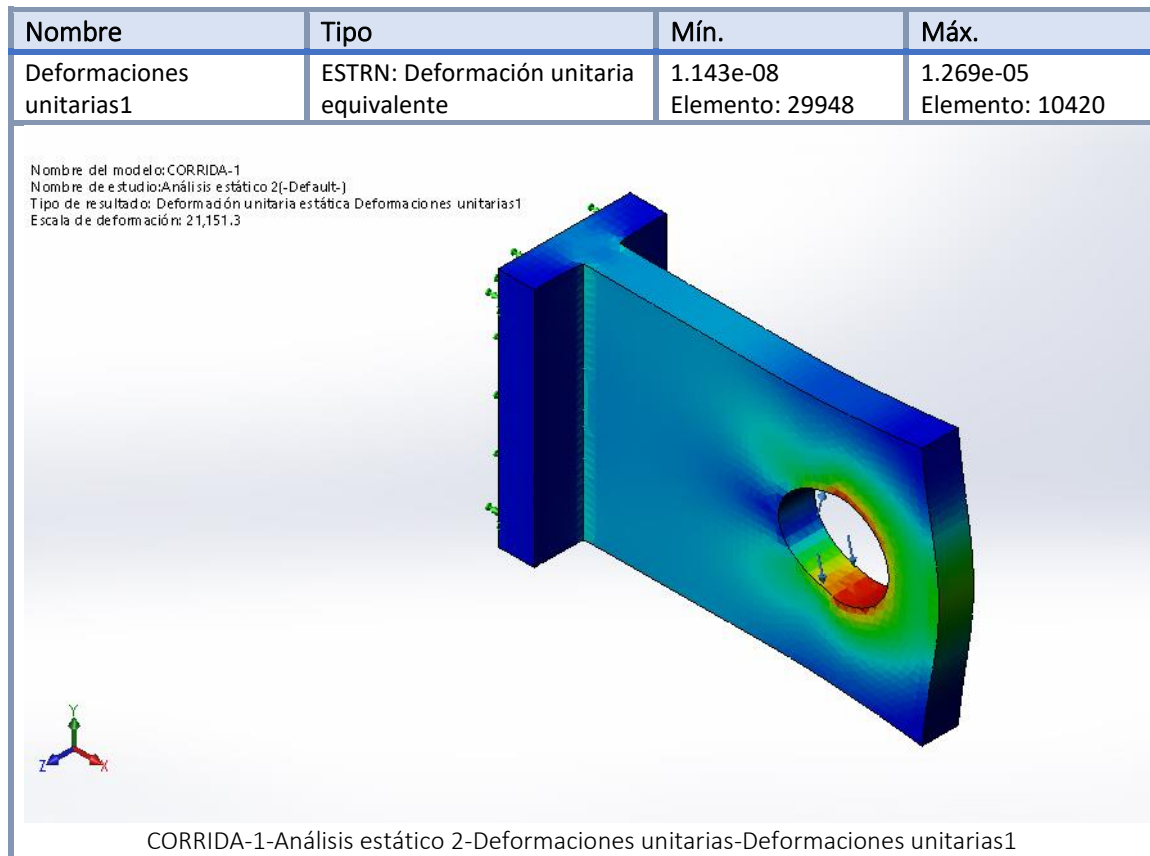
Momentos de reacción

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

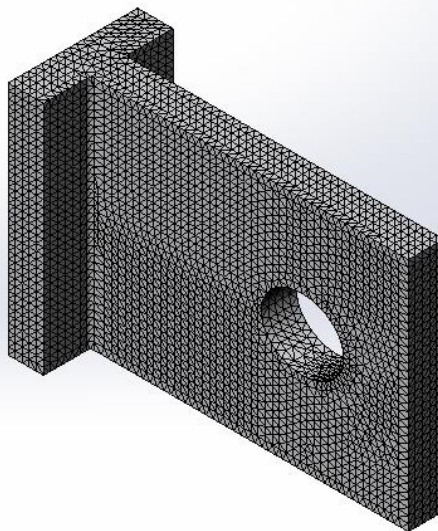
Información de malla

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

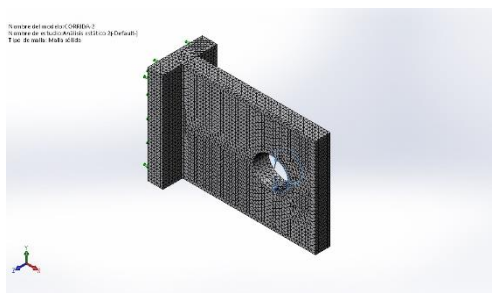
Información de malla - Detalles

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):	00:00:12
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: CORRIDA-2
 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

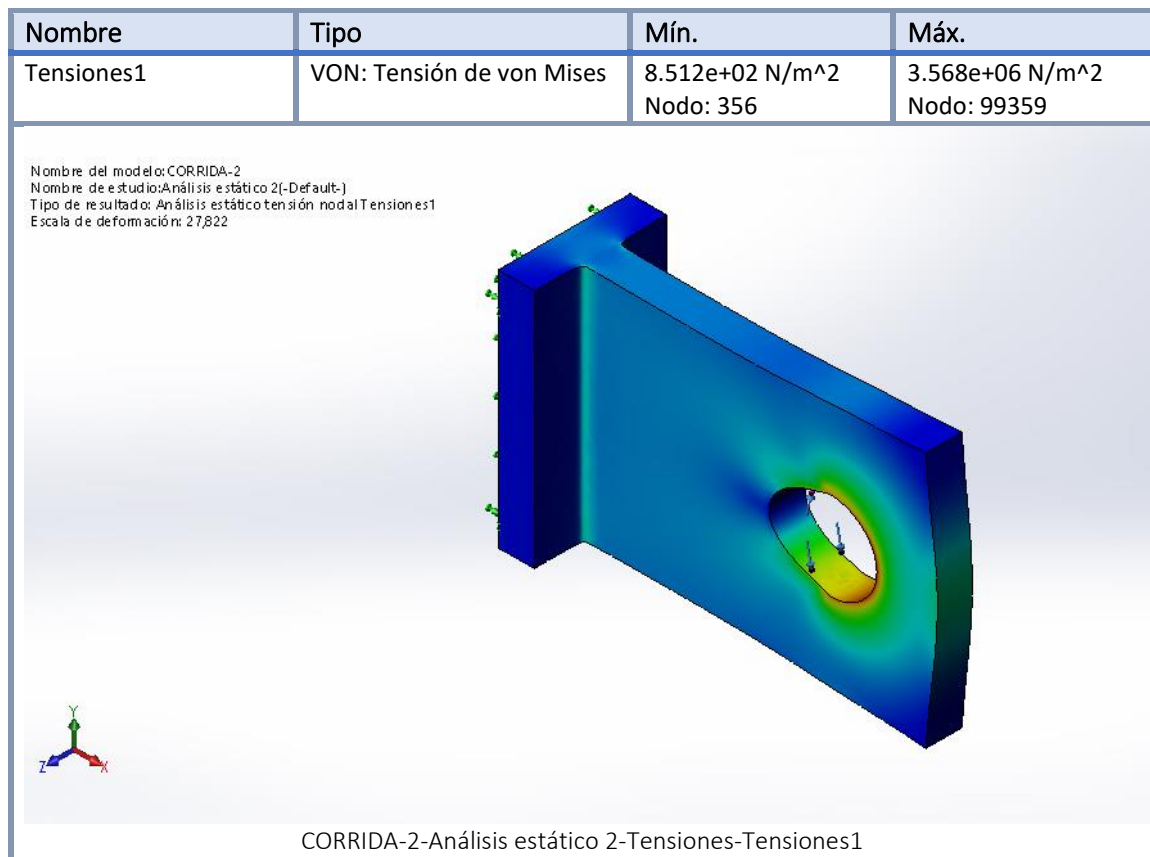
Fuerzas de reacción

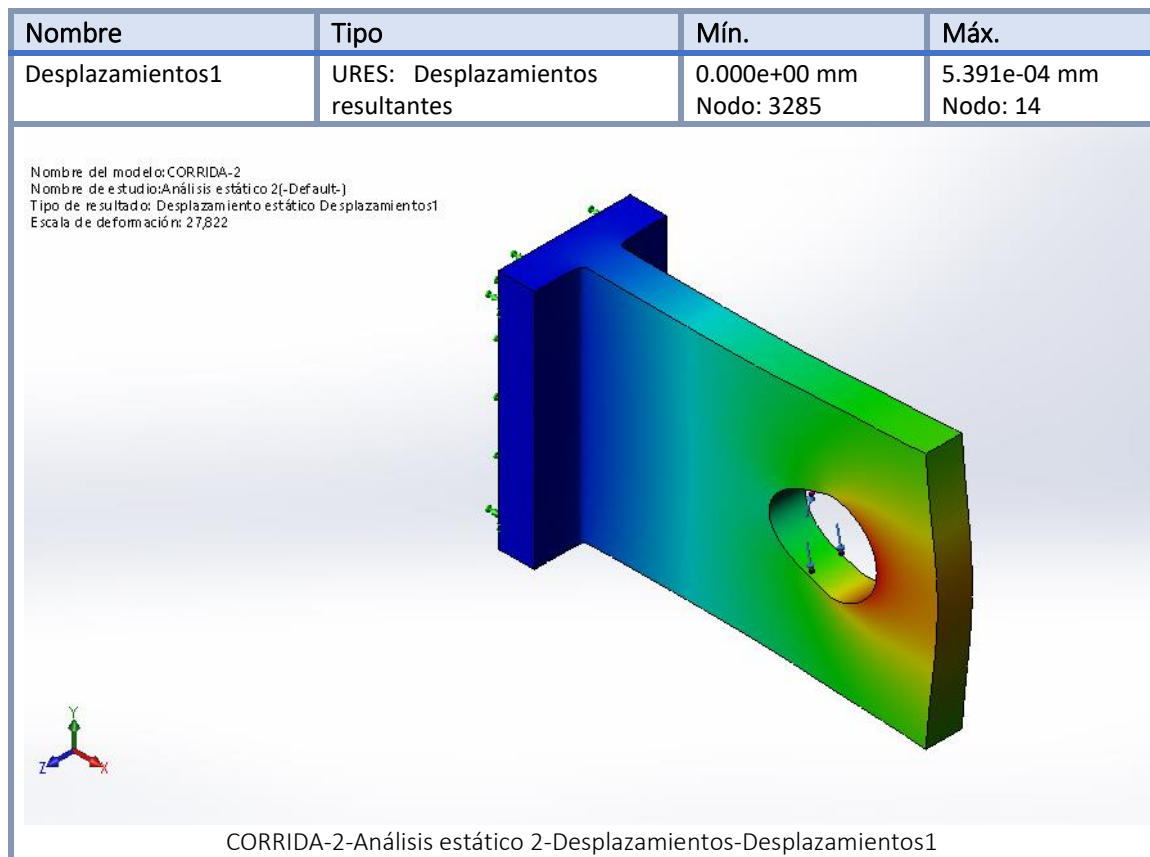
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-880.569	0.000474485	0.000767428	880.569

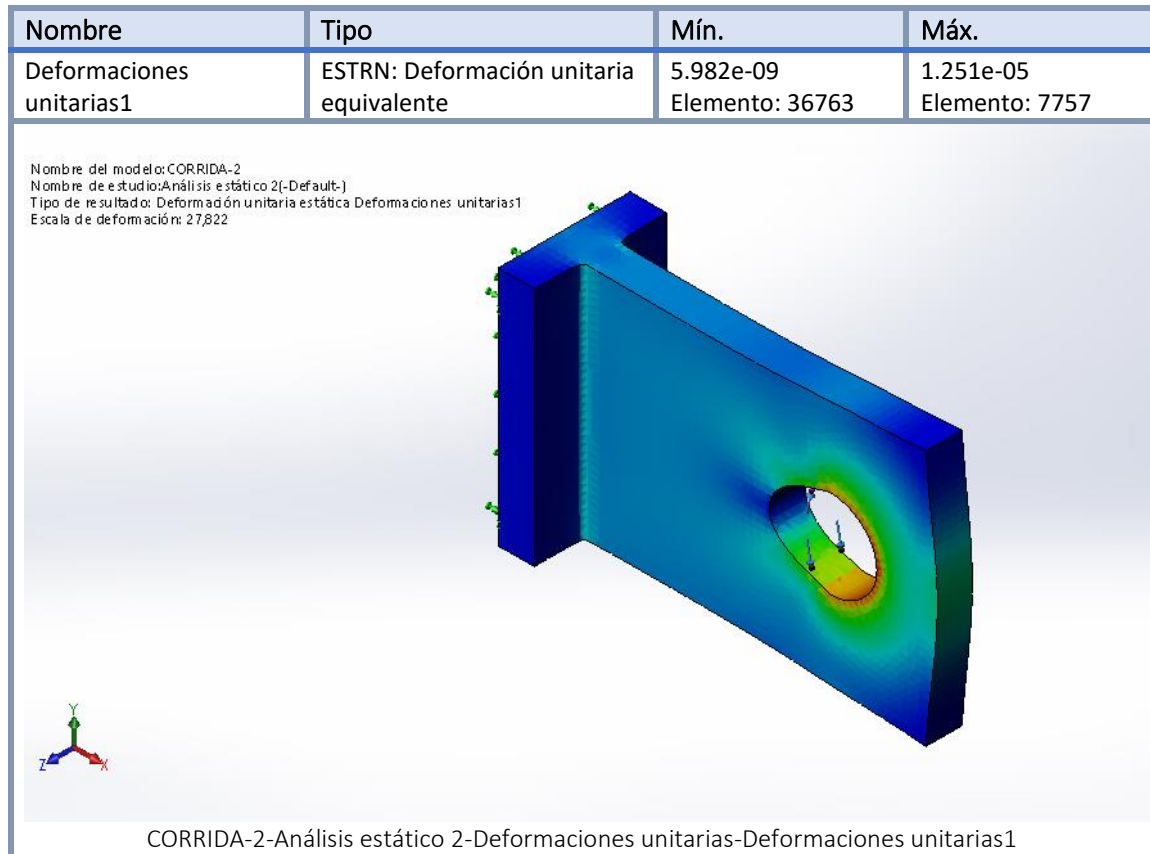
Momentos de reacción

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

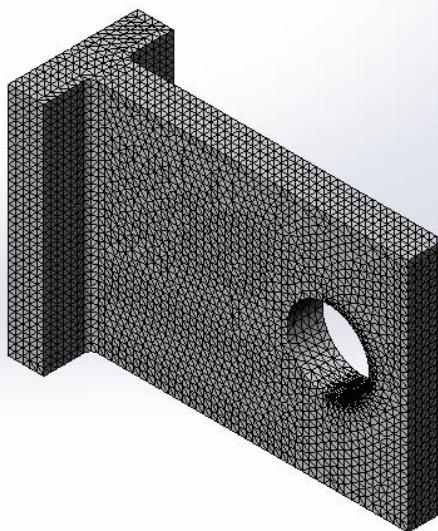
Información de malla

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

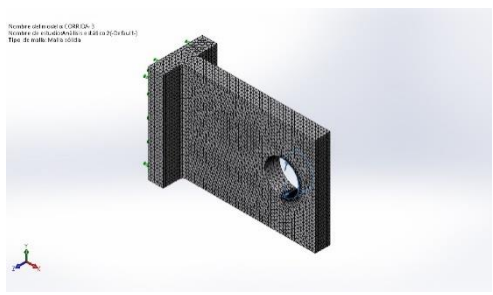
Información de malla - Detalles

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

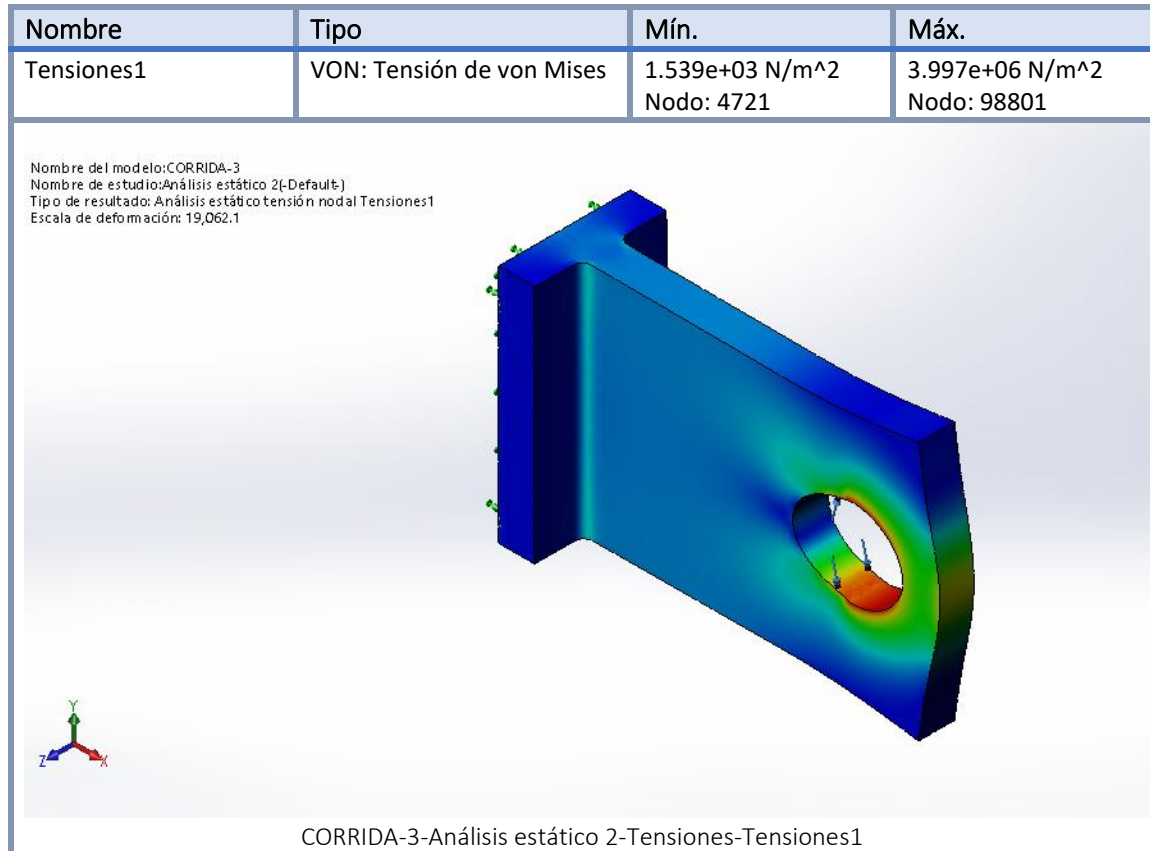
Fuerzas de reacción

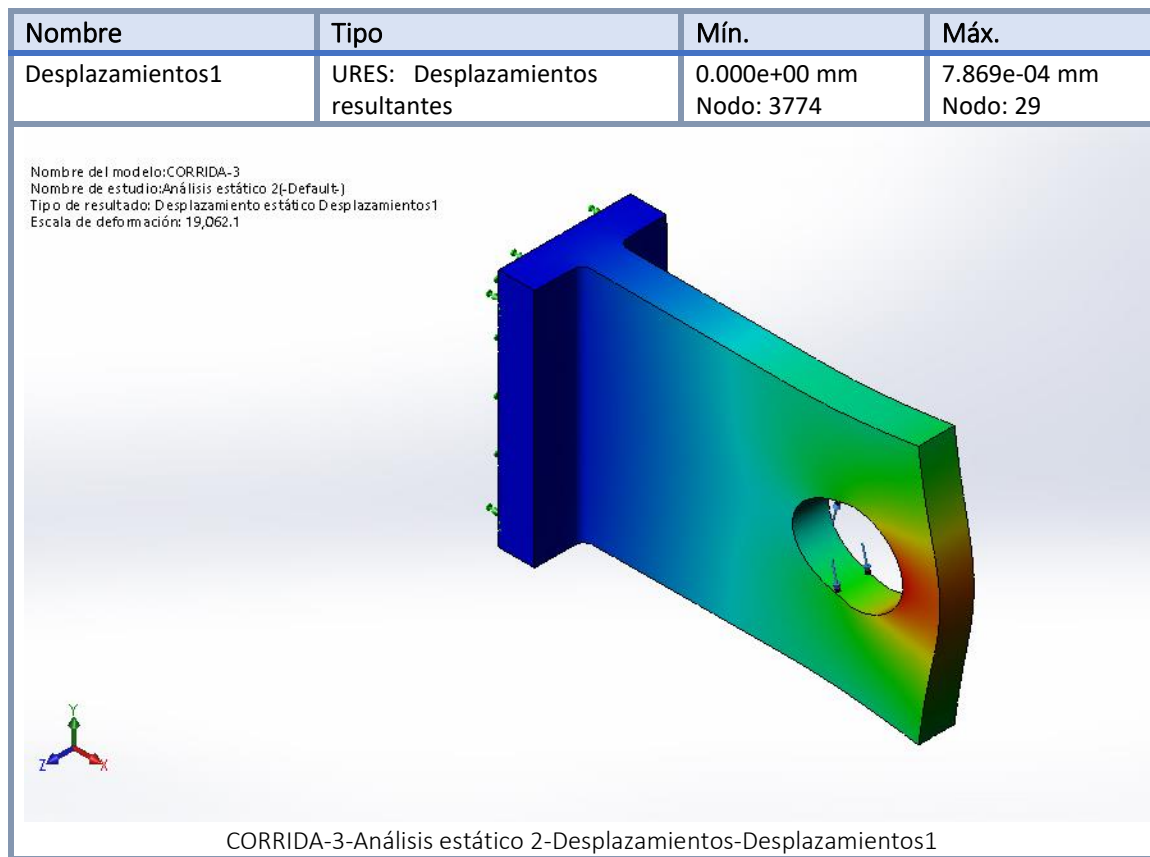
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-941.123	-0.000697859	0.00054457	941.123

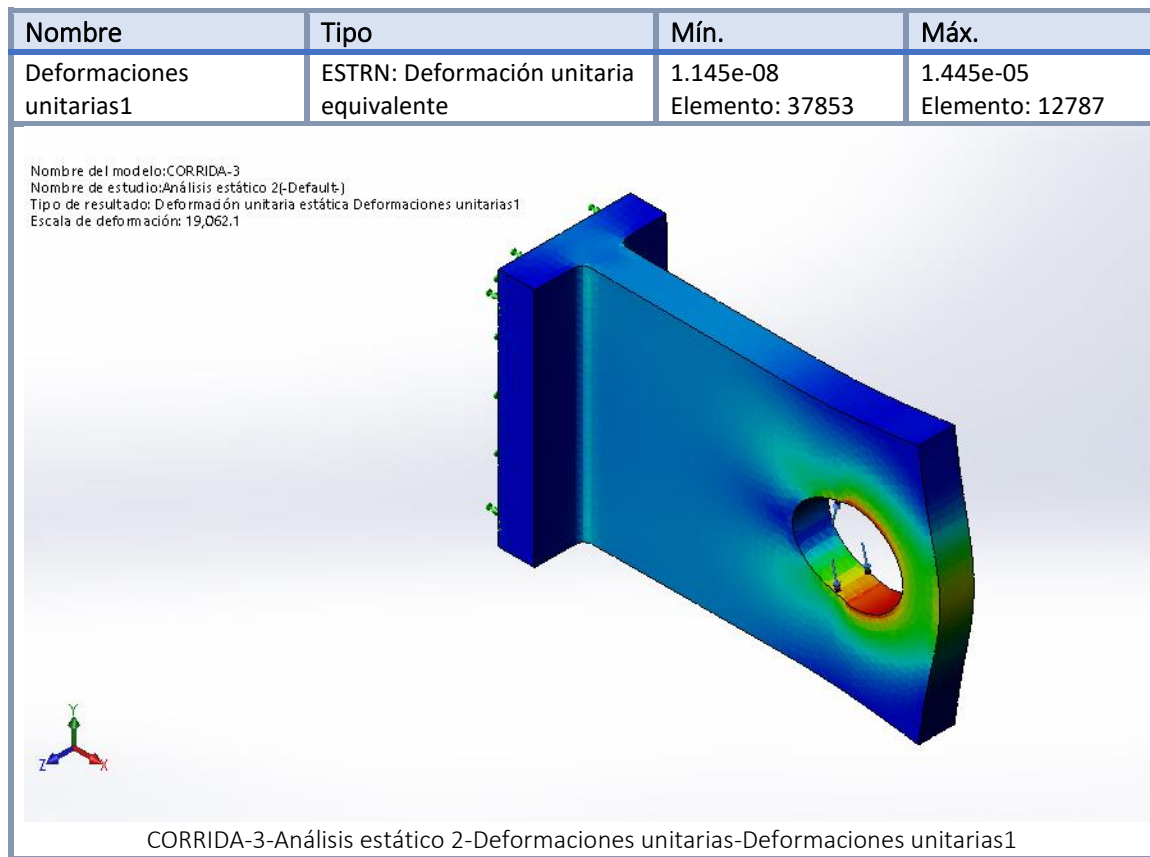
Momentos de reacción

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

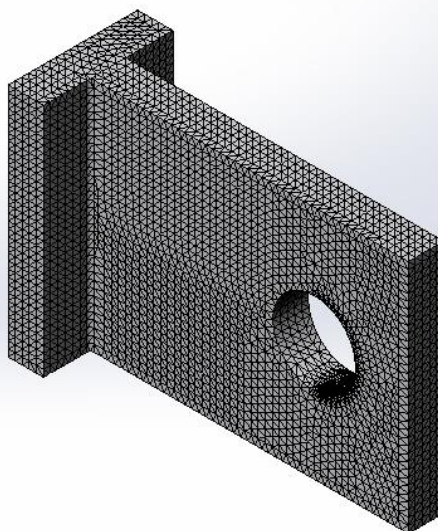
Información de malla

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

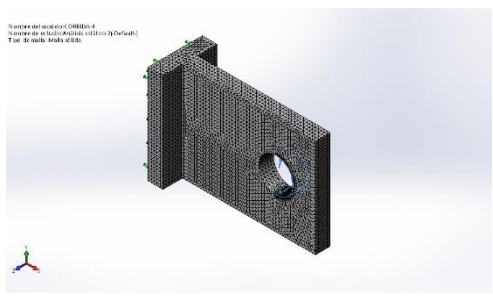
Información de malla - Detalles

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

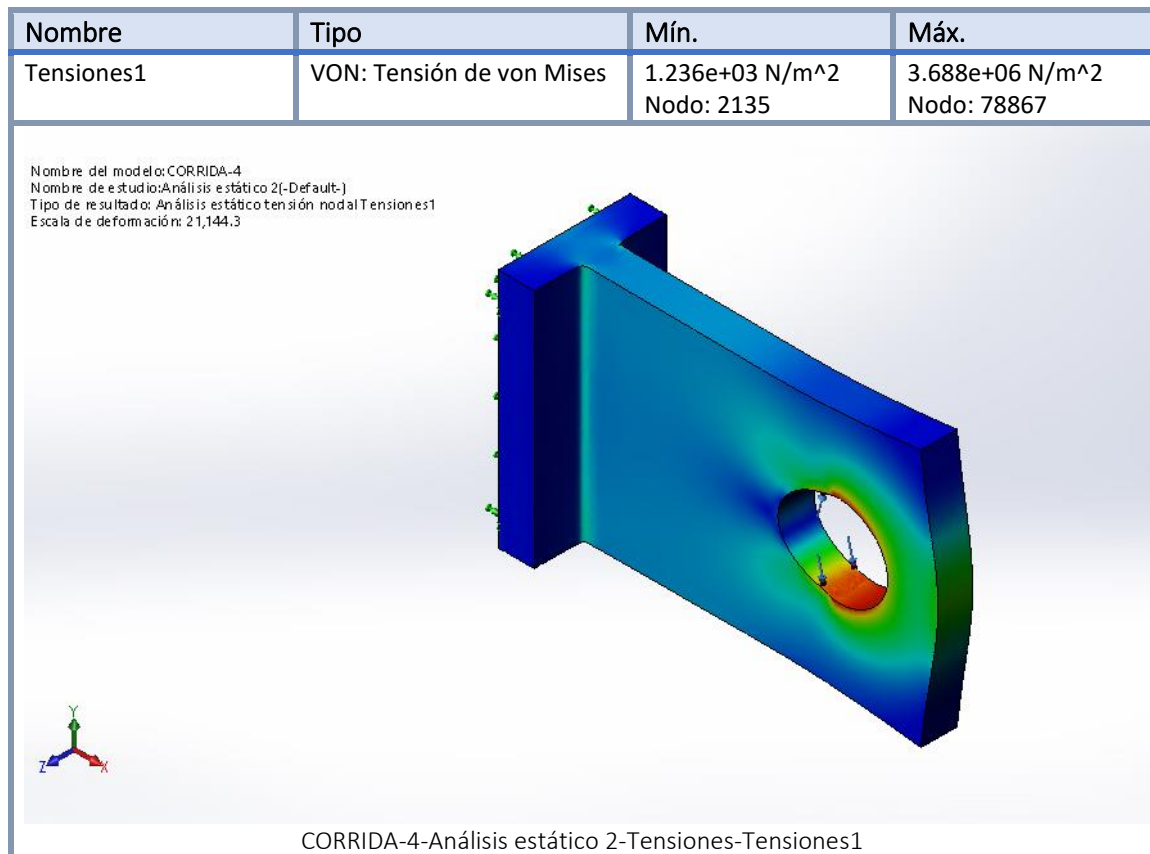
Fuerzas de reacción

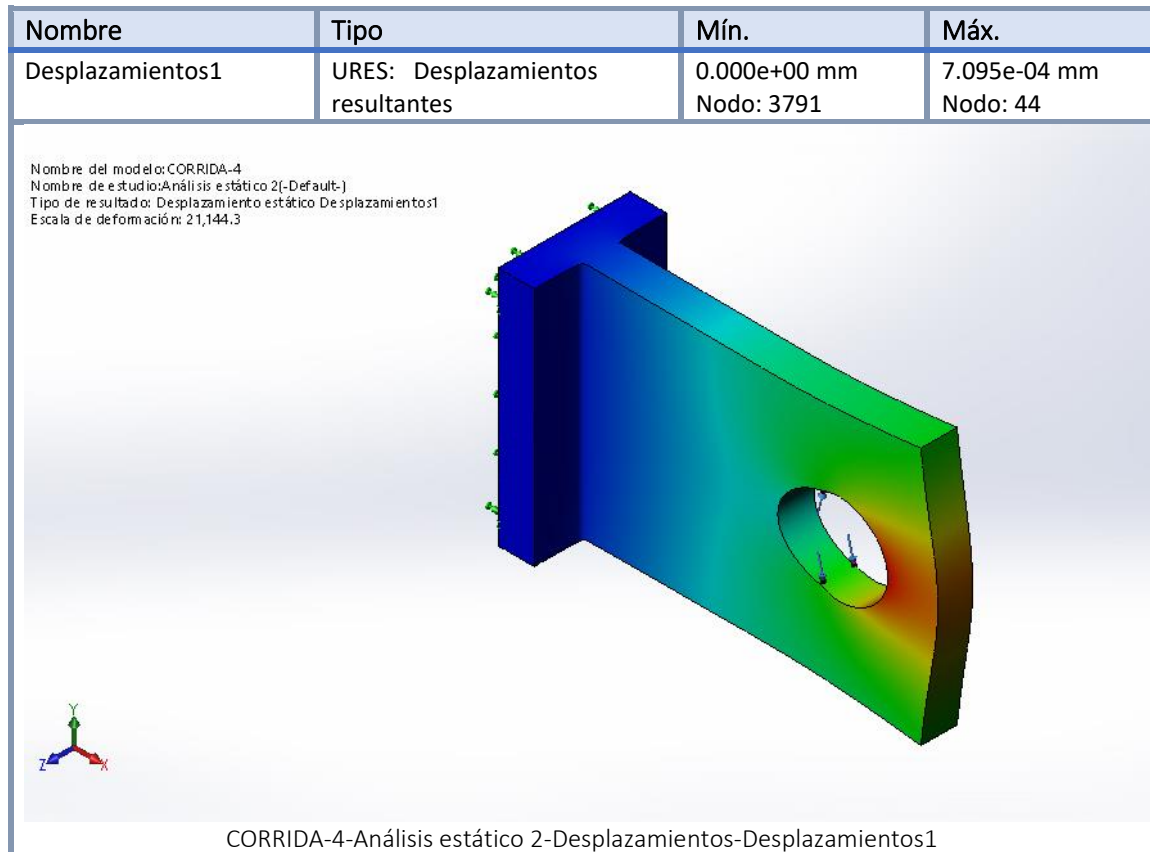
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-955.005	0.000437498	-0.00083065	955.005

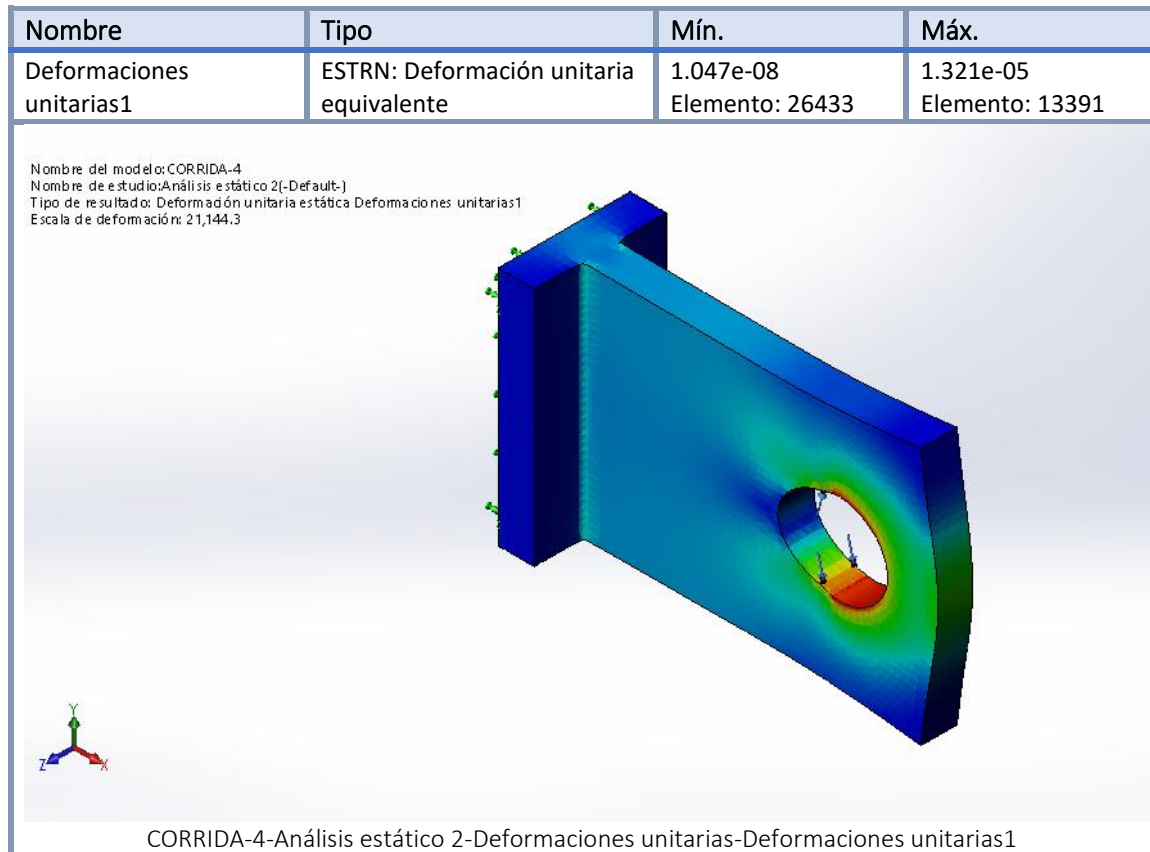
Momentos de reacción

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

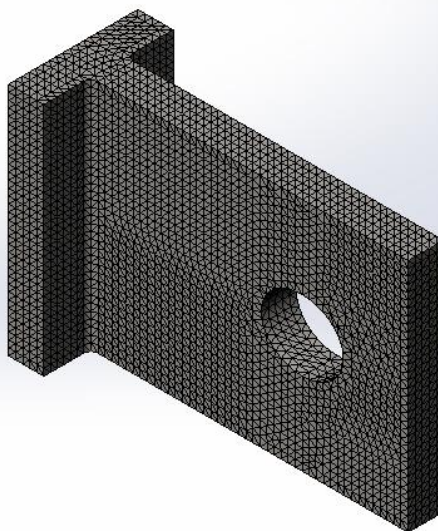
Información de malla

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):	00:00:14
Nombre de computadora:	

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



Fuerzas resultantes

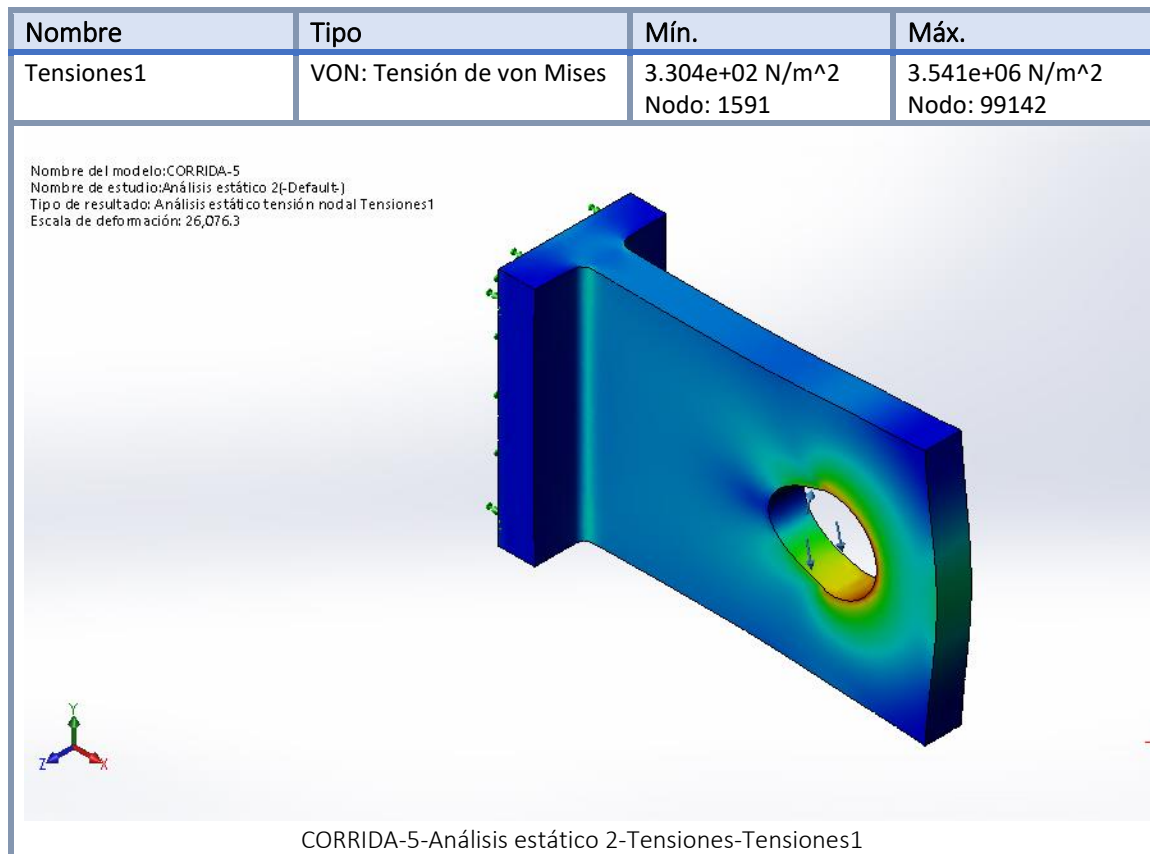
Fuerzas de reacción

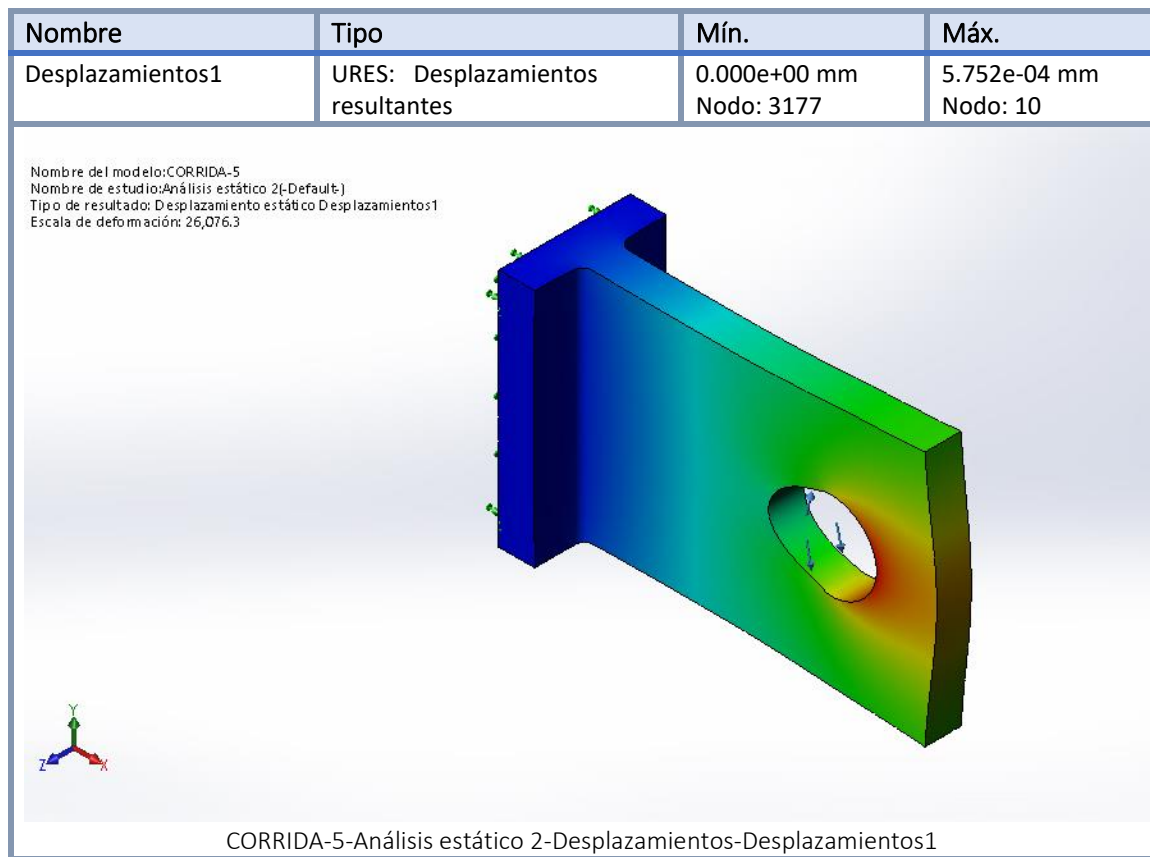
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-881.086	0.000567302	-0.000472315	881.086

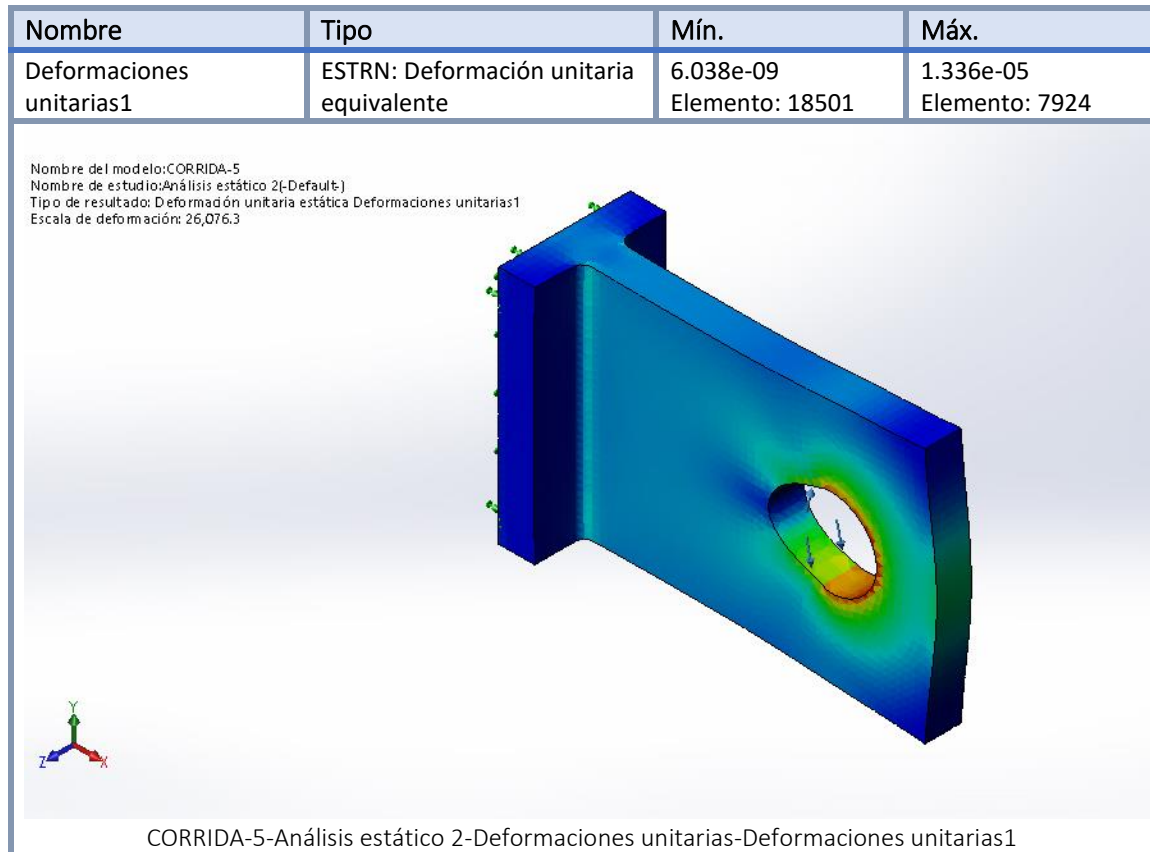
Momentos de reacción

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

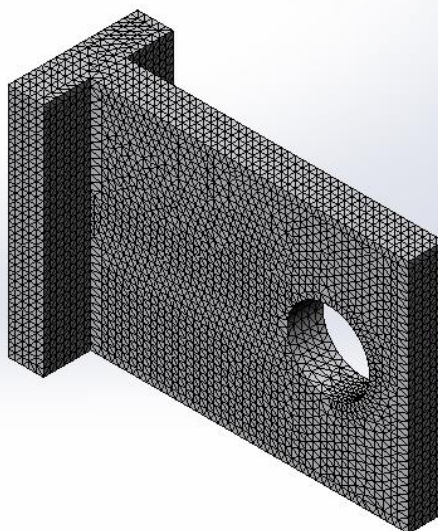
Información de malla

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

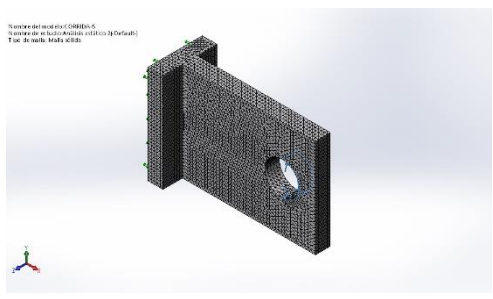
Información de malla - Detalles

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):	00:00:14
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

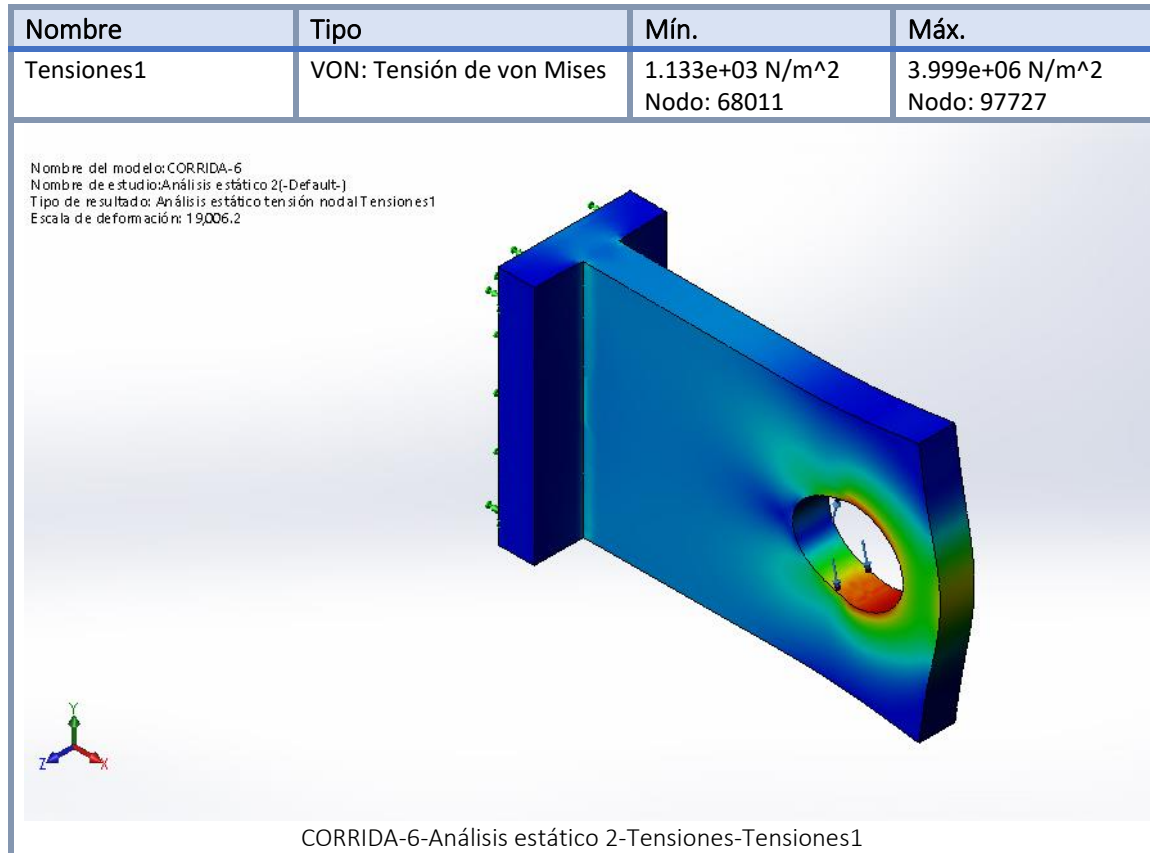
Fuerzas de reacción

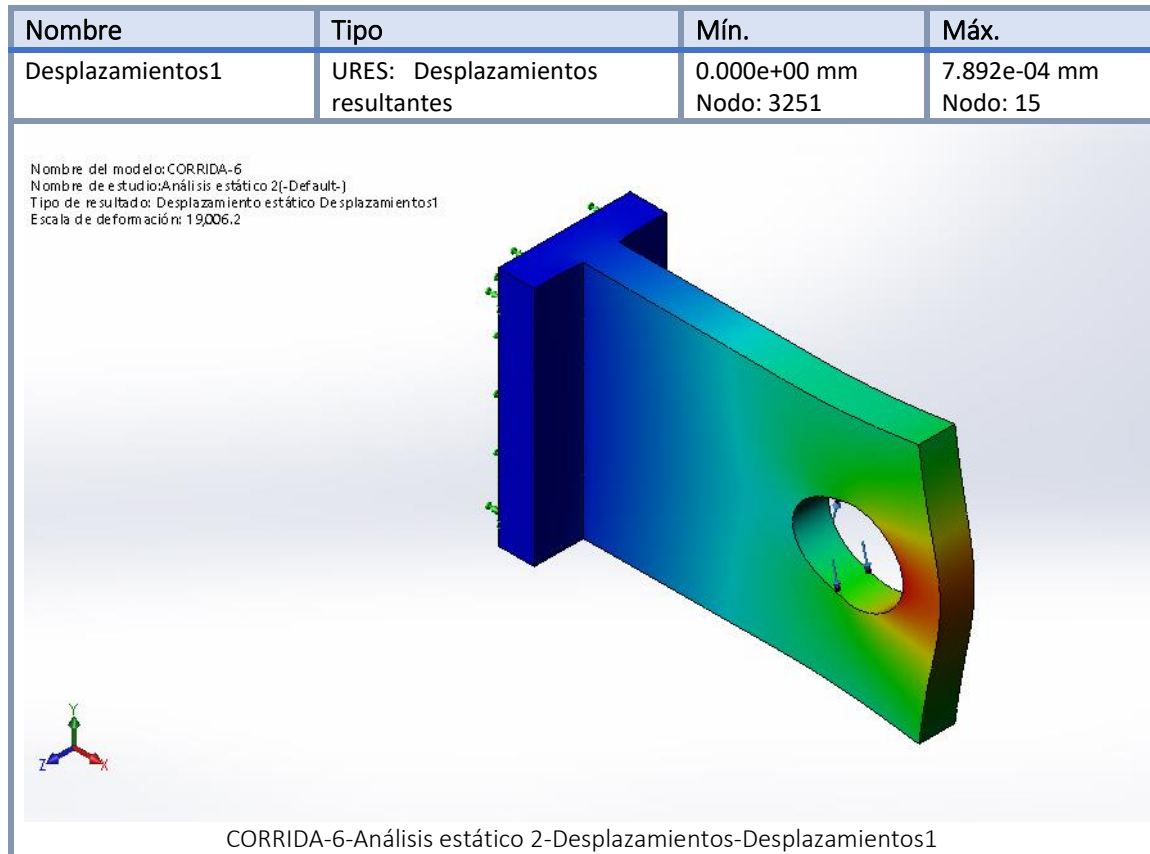
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-941.369	-0.000771217	0.000190049	941.369

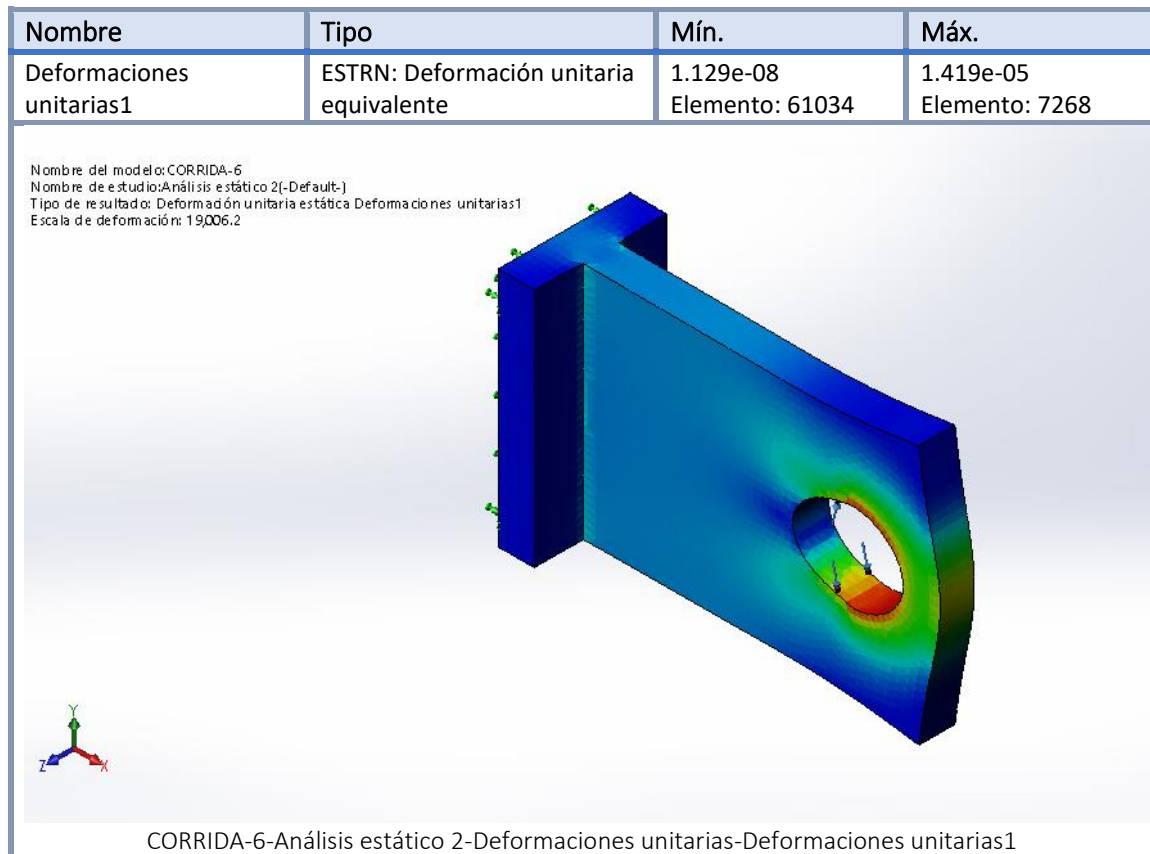
Momentos de reacción

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

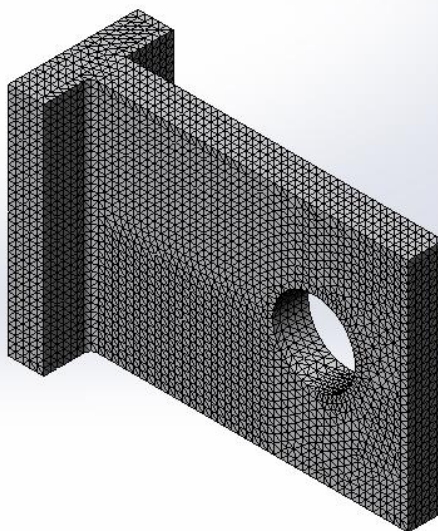
Información de malla

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

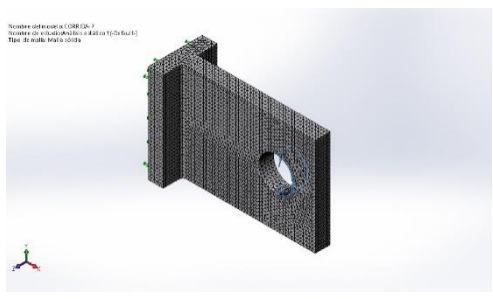
Información de malla - Detalles

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

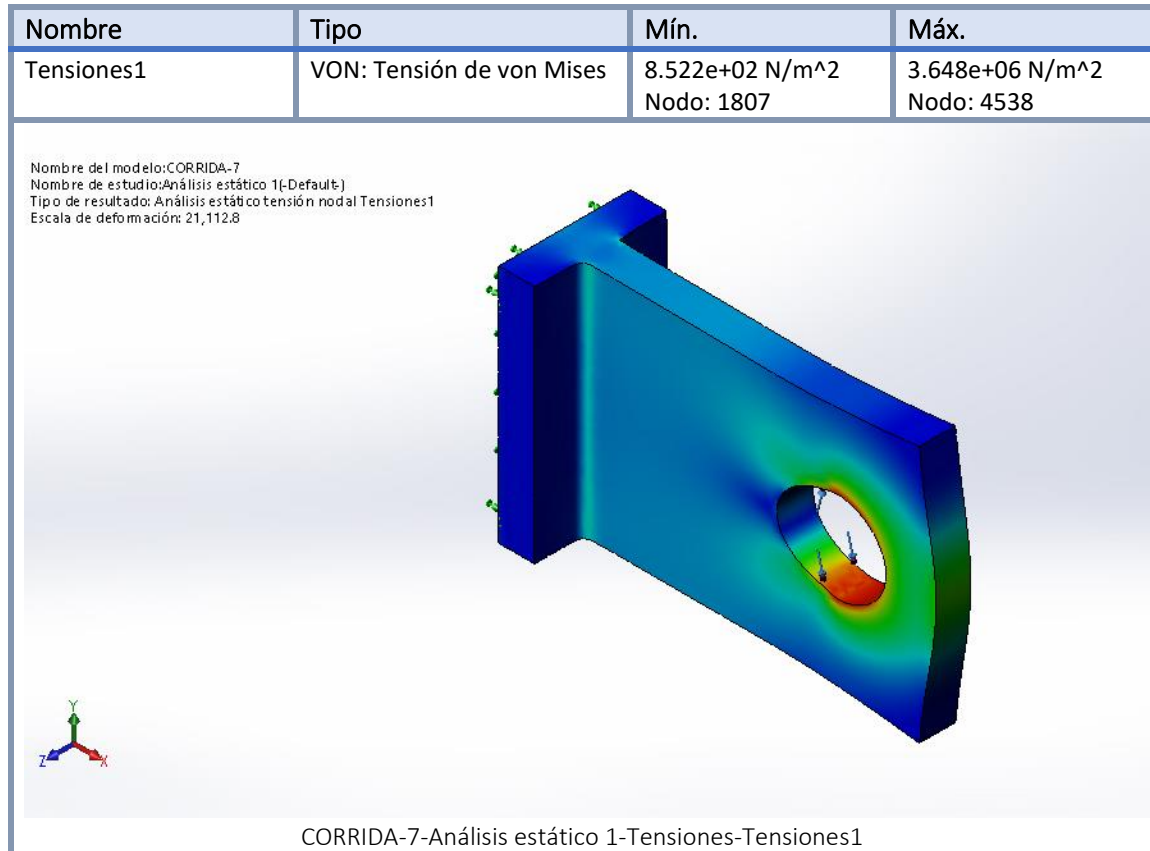
Fuerzas de reacción

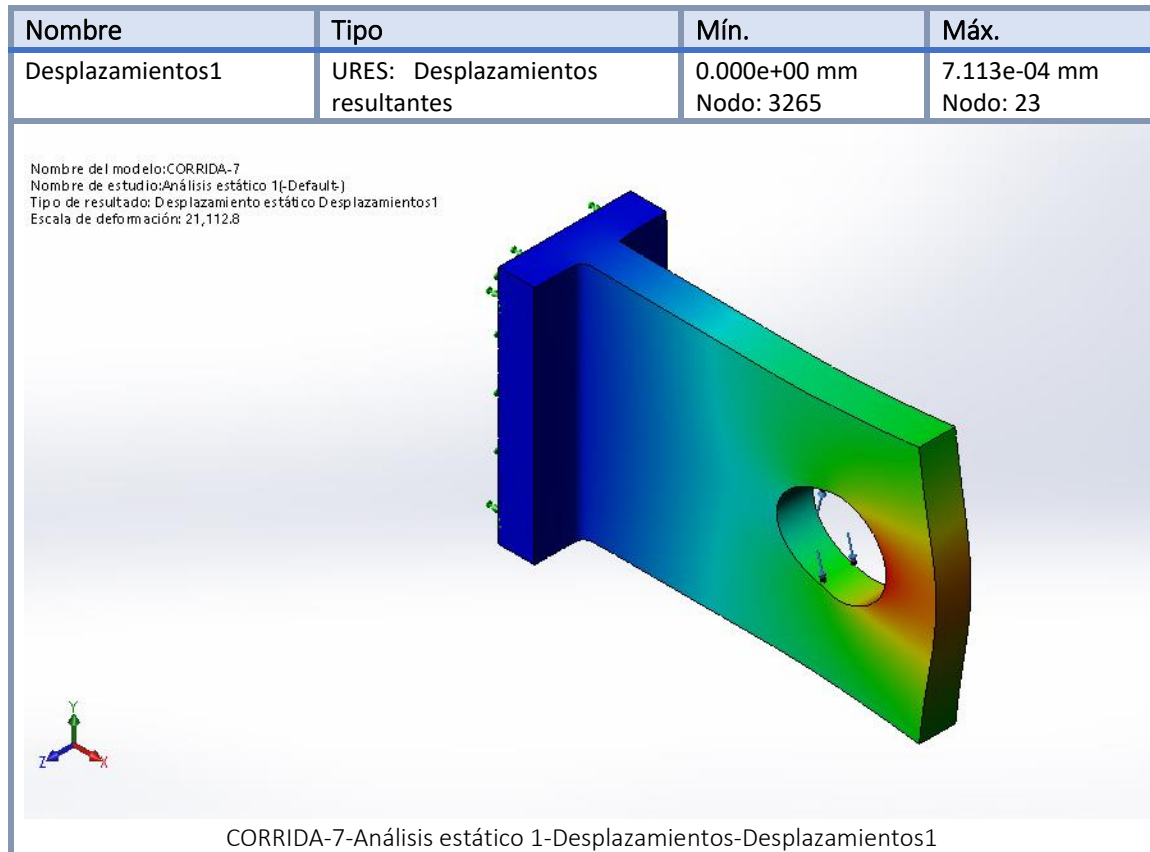
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-955.264	0.00050107	0.000942886	955.264

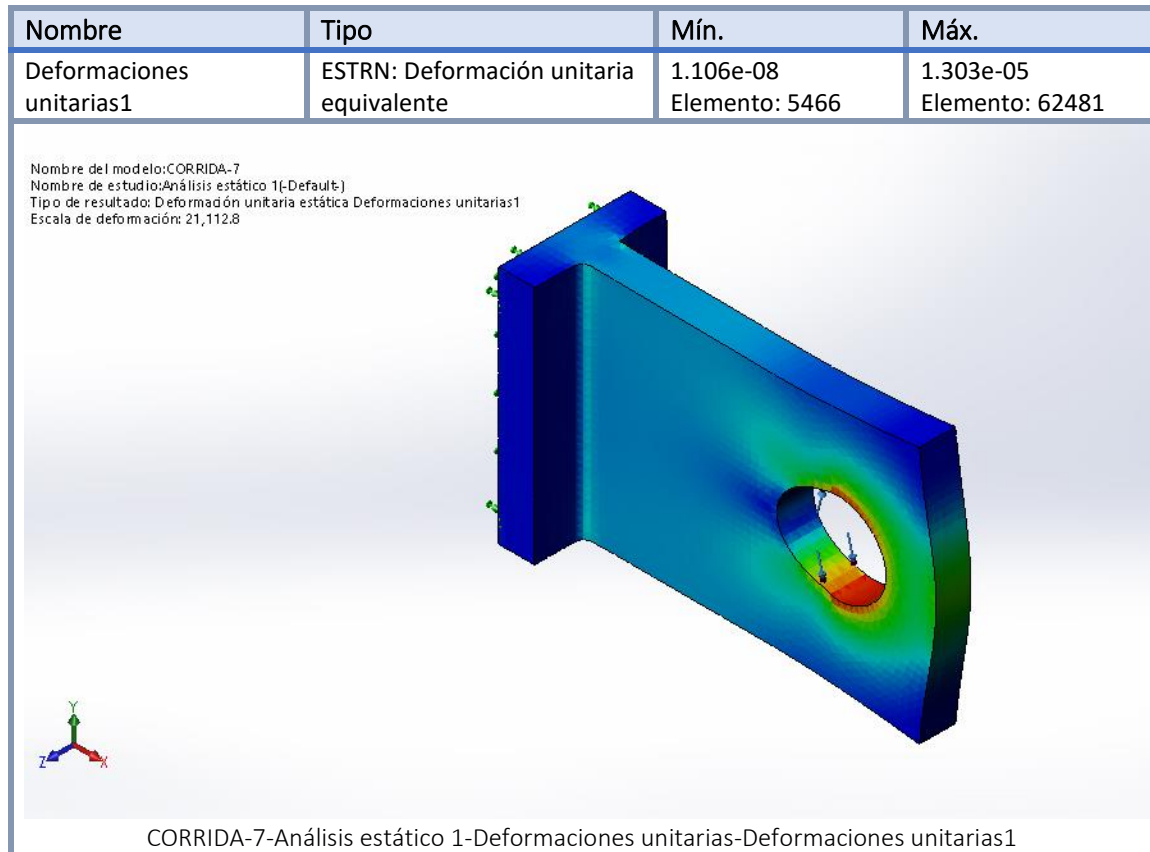
Momentos de reacción

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

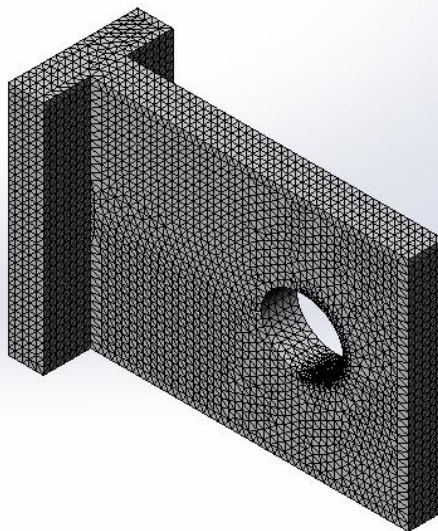
Información de malla

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):	00:00:14
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

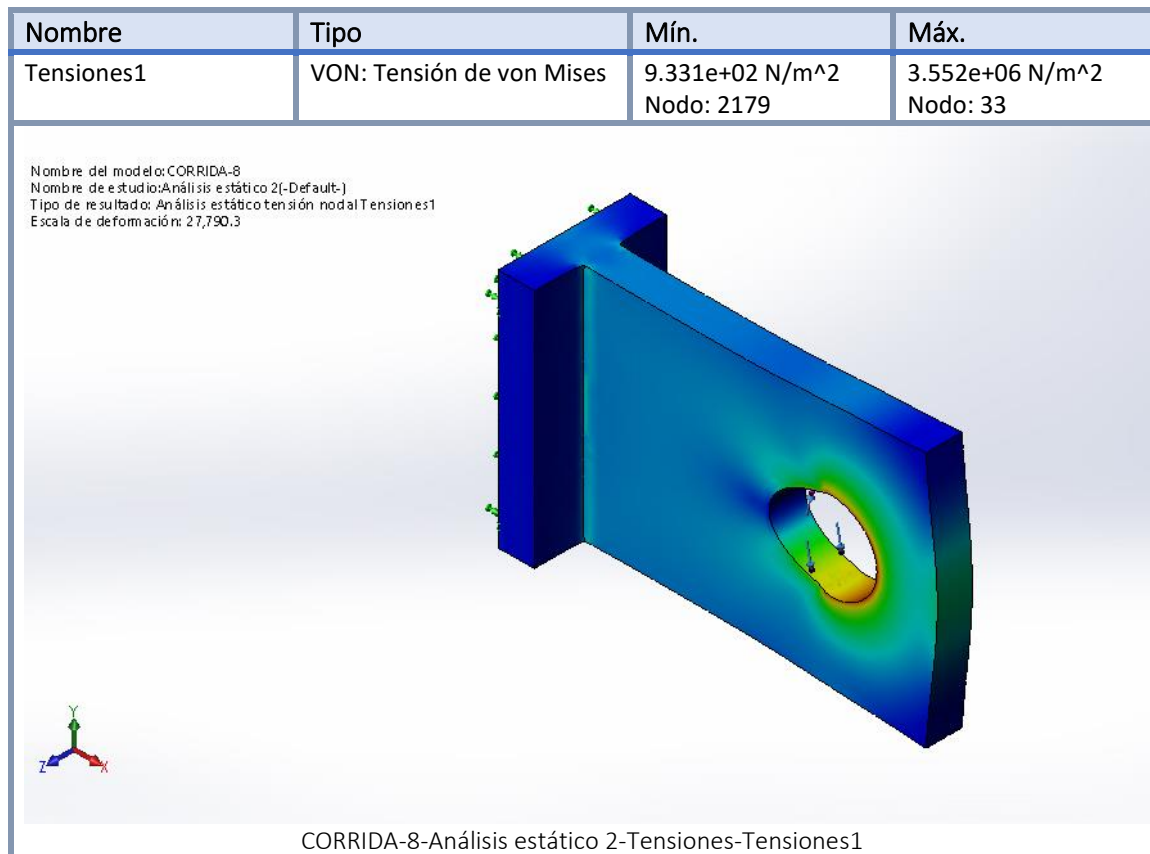
Fuerzas de reacción

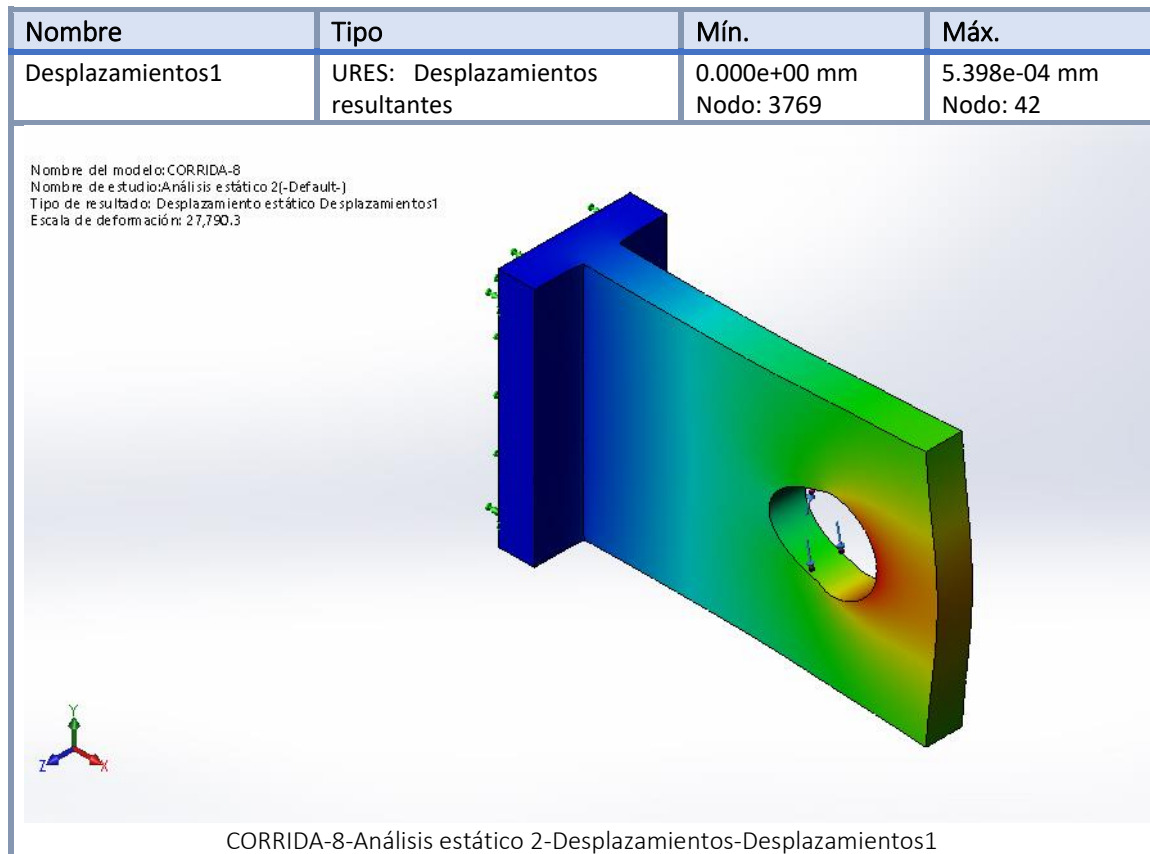
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-880.257	-1.65552e-05	-0.000446893	880.257

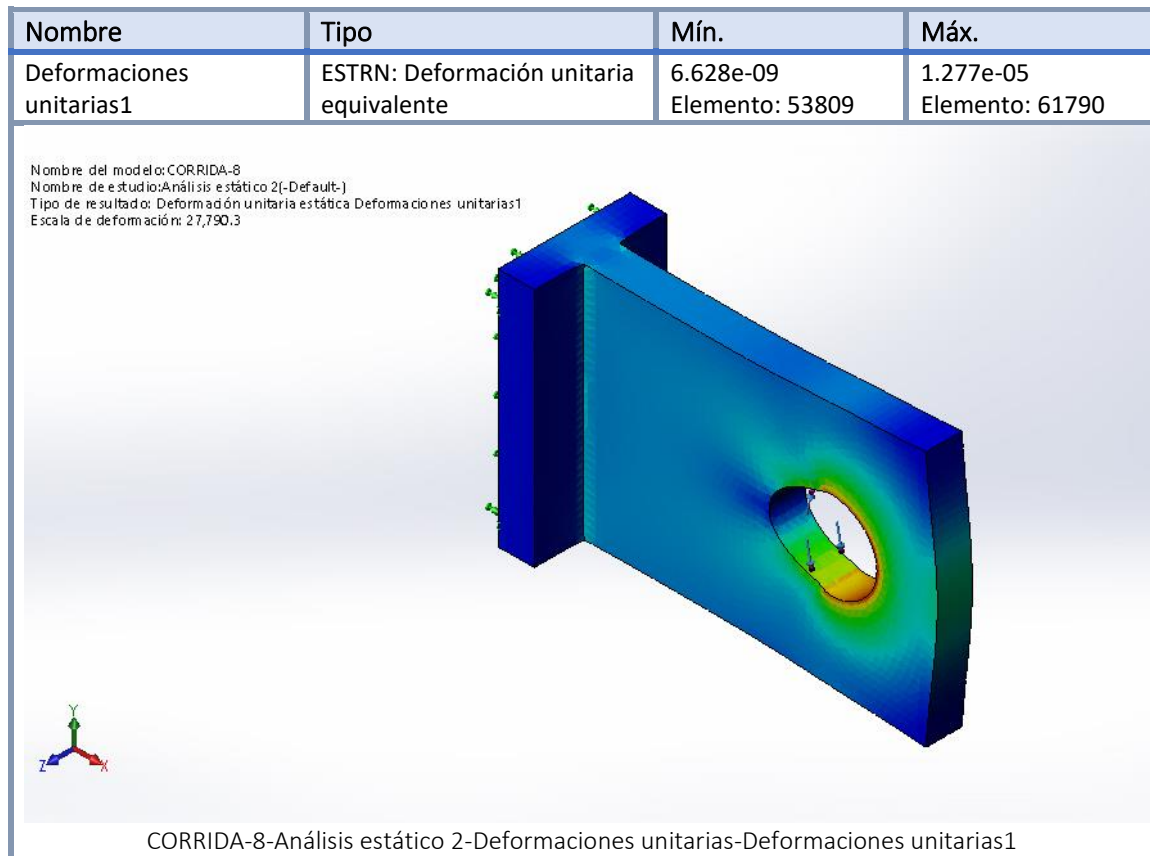
Momentos de reacción

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

Resultados del estudio







CORRIDA 9

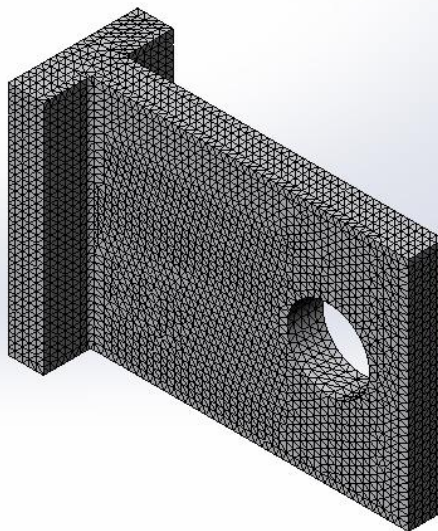
Información de malla

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):	00:00:15
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: CORRIDA-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	-942.018	-0.000638001	-0.000796285	942.018

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

