

Universidad Internacional SEK

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Maestría en diseño industrial y procesos

Diseño mecánico mediante simulación por elementos finitos de un bastidor para
un equipo automático de perforación de elementos estructurales.

Javier Wong Baros

Nota de Autor

Autor: Javier Enrique Wong-Baros Ing. Facultad de Arquitectura e Ingeniería, Universidad
Internacional SEK

Director: Gustavo Adolfo Moreno-Jimenez M.Sc.

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a: jewong.mdin@uisek.edu.ec

Declaración Juramentada

Yo, Javier Enrique Wong Baros, con cédula de identidad 1714331715, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Javier Wong

Índice general

Introducción	10
Antecedentes	10
Planteamiento Del Problema	15
Fuente AISC	17
Justificación	17
Estado Del Arte	20
Análisis de tecnologías para control CNC.	26
Análisis elementos finitos para diseño mecánico.	28
Propuesta De Investigación	28
Objetivo General.	29
Objetivos Específicos.	29
Método	30
Modalidad De Investigación	30
Diagrama de procesos P&ID.	31
Diseño Componentes Mecánico	32
Especificaciones técnicas del equipo.	32
Diseño configuración general de bastidor.	33
Selección tipo de taladro.	35
Selección unidad de deslizamiento para eje Y (elevación).	35
Selección de herramienta de corte.	36
Selección de soporte de herramienta.	37
Selección de piñón cremallera eje X.	37
Selección de sistema hidráulico y pistón de sujeción.	38
Diseño Componentes Eléctricos	39
Selección de marca de motor y driver.	40
Selección de motor principal.	43
Manipulación Experimentales o Intervenciones	45
Evaluación de precisión de perforaciones.	45
Resultados	47
Diseño Mecánico De Bastidor.	47
Validación de software de elementos finitos con metodo analitico.	47
Simulación CAD/CAE De Bastidor	49
Simulación CAD/CAE De Torre de Perforación	50
Mejoras Ergonómicas	51
Prototipado Funcional	51
Resultados De Pruebas De Ubicación De Perforaciones	51
Discusión	52

DISEÑO DE BASTIDOR PARA EQUIPO DE PERFORACIÓN AUTOMÁTICO	3
Discusión De Resultados	52
Conclusiones	54
Recomendaciones	55
Referencias	57
Anexos	61

Índice de figuras

Figura	Contenido
<u>Figura 1</u>	Beneficios del uso del acero para una economía circular
<u>Figura 2</u>	Consumo de acero per cápita en la región
<u>Figura 3</u>	Demanda de acero por región.
<u>Figura 4</u>	Aplicaciones de corto, mediano y largo ciclo de vida
<u>Figura 5</u>	Proceso de perforación convencional
<u>Figura 6</u>	Análisis de fatiga muscular de Rodgers
<u>Figura 7</u>	Apparatus for sawing and drilling of structural shapes
<u>Figura 8</u>	Machine for processing structural shapes
<u>Figura 9</u>	Multiple spindle drilling machine for landslide protection wide flange beams
<u>Figura 10</u>	Multiple spindle drilling machine for wide flange beams
<u>Figura 11</u>	Structural beam drilling machine
<u>Figura 12</u>	Diagrama de proceso de diseño
<u>Figura 13</u>	Diagrama P&ID de todos los componentes
<u>Figura 14</u>	Esquema de configuración básica de equipo de perforación
<u>Figura 15</u>	Diseño de mesa del bastidor y elementos móviles
<u>Figura 16</u>	Unidad hidráulica disponible
<u>Figura 17</u>	Proveedores de componentes eléctricos
<u>Figura 18</u>	Tiempo de aceleración/torque para serie ASDA-A2
<u>Figura 19</u>	Protocolos disponibles para conexión de serie ASDA-A2
<u>Figura 20</u>	Esquema de conexión de motor, driver y controlador
<u>Figura 21</u>	Software para selección del motor principal equipo
<u>Figura 22</u>	Par de datos tomados para medición de desviación
<u>Figura 23</u>	Vista isométrica de equipo de perforación
<u>Figura 24</u>	Calculo de inercia de sección cuadrada
<u>Figura 25</u>	Fórmulas para cálculo de deflexión en vigas en cantiliver

Índice de tablas

Tabla	Contenido
<u>Tabla 1</u>	Errores típicos en operaciones de soldadura
<u>Tabla 2</u>	Tolerancias admisibles de perforaciones AISC Tabla J3.3M
<u>Tabla 3</u>	Tiempos de proceso manual vs automático para 4 perforaciones
<u>Tabla 4</u>	Patentes de invención relacionadas con máquinas de perforación automáticas.
<u>Tabla 5</u>	Análisis de referencias relativas a tecnología CNC
<u>Tabla 6</u>	Especificaciones del equipo
<u>Tabla 7</u>	Comparativo de modelos de taladrado disponibles.
<u>Tabla 8</u>	Unidades de deslizamiento para eje Y
<u>Tabla 9</u>	Brocas seleccionadas
<u>Tabla 10</u>	Tipos de soporte requeridos para broca
<u>Tabla 11</u>	Especificaciones técnicas de la unidad hidráulica

Indice de anexos

Anexo	Contenido
Anexo A	Planos de conjunto de equipo de perforación
Anexo B	Informe de análisis de elementos finitos para validación por metodo analitico
Anexo C	Informe de análisis de elementos finitos de mesa
Anexo D	Informe de análisis de elementos finitos de torre de perforación

Resumen

El presente trabajo de titulación describe el diseño mecánico de un bastidor, validado por simulación por análisis de elementos finitos, para un equipo automático de perforación de elementos estructurales de hasta 400 mm de tamaño. El equipo puede posicionar con precisión perforaciones sobre un plano de 2 ejes (X, Y) y accionar la perforación a través del eje ortogonal a la superficie (Z)

Para el desarrollo del proyecto se consideraron los tiempos de producir una perforación de forma manual y se determinó que existe un potencial de mejora de 270% en tiempos de producción así como mejoras sustanciales en la precisión de la ubicación de las perforaciones mediante la implementación de un equipo que realice la tarea automáticamente.

Se propusieron varios diseños preliminares a la empresa auspiciante hasta determinar una configuración viable de fabricación con la tecnología disponible y presupuesto planteado por la empresa auspiciante.

Los entregables del proyecto son planos de sus componentes estructurales así como la determinación del dispositivo de taladro proporcionado por un proveedor externo . Los componentes principales son validados con un análisis por elementos finitos.

Palabras clave:

CNC, elementos finitos, perforación, taladrado, punzonado, PLC, rendimiento operativo, AISC, AWS, Endplate.

Abstract

The present work describes the mechanical design of a frame, validated by simulation by finite element analysis, for an automatic drilling rig for structural elements up to 400 mm in size. The equipment can precisely position perforations on a 2-axis plane (X, Y) and drive the perforation through the axis orthogonal to the surface (Z)

For the development of the project, the times of producing a perforation manually will be considered and it was determined that there is a potential for improvement of 270% in production times as well as substantial improvements in the precision of the location of the perforations through the implementation of a computer that performs the task automatically.

Several preliminary designs were proposed to the sponsoring company until a viable manufacturing configuration was determined with the available technology and budget proposed by the sponsoring company.

The deliverables of the project are drawings of its structural components as well as the determination of the drilling device provided by an external supplier. The main components are validated with a finite element analysis.

Key words:

CNC, Finite Element, Drilling, Drilling, Punching, PLC, Operating Performance, AISC, AWS, Endplate.

Introducción

Antecedentes

En una economía circular sostenible los consumidores reducen su carga sobre la naturaleza de manera de garantizar la permanencia de los recursos por largos periodos de tiempo. El uso del acero como material es fundamental para lograr una economía circular ya que los componentes de acero se pueden reutilizar o remanufacturar y reciclar indefinidamente y de manera efectiva. El uso del acero tiene las siguientes características :

- Reducción: Con el acero existe la posibilidad de reducir el peso de los componentes y la cantidad de energía consumida.
- Rehusó: Significa darle otro uso adicional a la original sin alterar sus propiedades físicas y el acero cumple con esta característica
- Remanufactura: El proceso de restauración de productos de acero para dejarlos como nuevos y esto es factible
- Reciclaje: Al final de su ciclo de vida el acero puede ser reciclado para crear nuevas formas y nuevas aplicaciones. (Figura 1):

Figura 1

Beneficios del uso del acero para una economía circular

Usos de acero en economía circular. Fuente: worldsteel.org

Las Naciones Unidas ha definido el objetivo De desarrollo sostenible No. 12 en relación a una producción y consumo responsables en donde pone énfasis en que el actual degradación ambiental proviene de un progreso económico y social no sostenible e invita a todos los ciudadanos a un consumo y producción sostenible aumentando la eficiencia de los recursos y promoviendo estilos de vida sostenibles

Acorde a World Steel Association el consumo acero promueve una economía circular que aporta a una producción y consumo responsables y existe una demanda creciente en el mundo y en la región de sudamérica (Figura 2 y 3). El acero tiene aplicaciones de corto, mediano y largo ciclo de vida. Los productos típicos de corto uso son recipientes para alimentos y herramientas. Asimismo las aplicaciones de mediano ciclo de uso son automóviles y electrodomésticos, pero la mayor cantidad de aplicaciones y consumo se da en el uso de infraestructuras de largo ciclo de vida como son puentes, edificios, casas, infraestructura de

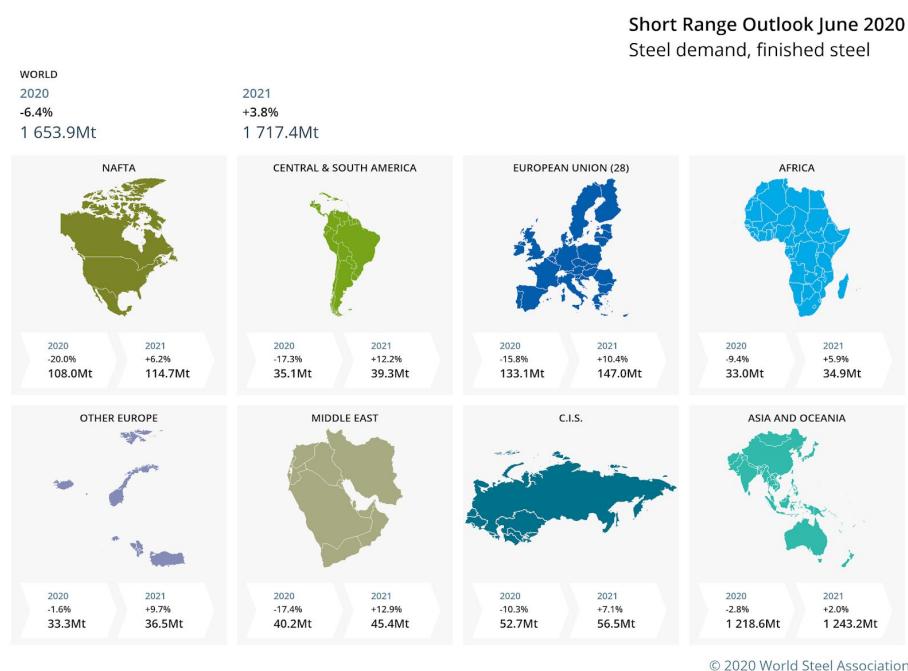
transporte (naviera, trenes y tubería) abarcando cerca del 51% del total del consumo de acero en el mundo ([worldsteel](https://www.worldsteel.org/) s.f.) (Figura 4)

Figura 2
Consumo de acero per cápita en la región



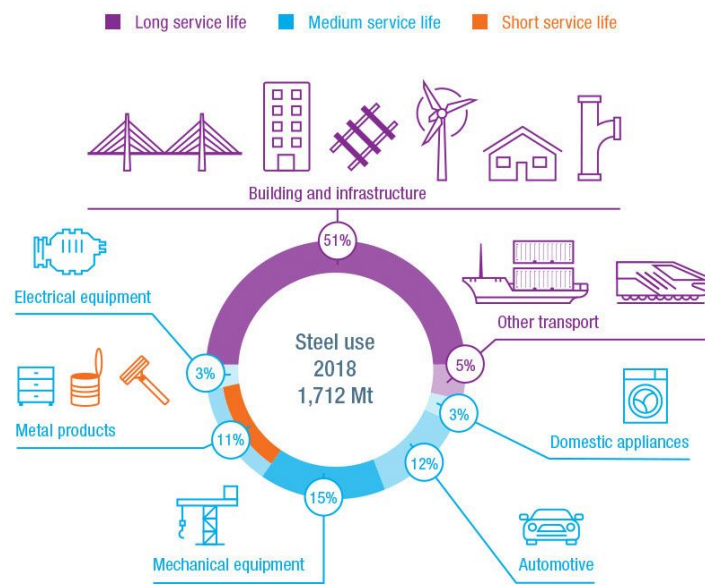
Tendencia creciente sostenida de consumo de acero en la región durante los últimos años. Fuente: worldsteel.org

Figura 3
Demanda de acero por región.



Latinoamérica presenta un incremento significativo de demanda de acero para el 2021. Fuente: worldsteel.org

Figura 4
Aplicaciones de corto, mediano y largo ciclo de vida



La construcción de infraestructura ocupa gran parte del consumo de acero. Fuente: worldsteel.org

La construcción de infraestructura con acero para uso residencial y comercial ha tenido un creciente aumento en la región y el mundo debido a sus ventajas competitivas en relación a la construcción tradicional en hormigón armado o de madera. Se puede mencionar las siguientes ventajas en el uso de acero para construcción de infraestructura:

- Alta resistencia mecánica y reducido peso logrando diseño de estructuras de grandes luces
- Uniformidad de las propiedades del acero en largos periodos del tiempo
- Bajo mantenimiento de las estructuras de acero
- Ductilidad logrando fluir localmente, evitando así fallas prematuras en caso de sismos

- Tenacidad para absorber energía en grandes cantidades
- Posibilidad de prefabricar los miembros de una estructura y lograr rapidez de montaje
- Gran facilidad para unir diversos elementos por medio de soldadura o pernos
- Posible reutilización después de desmontar una estructura.
- Disminución del tiempo de construcción en 40% comparado con otros sistemas convencionales. Punto que influye directamente en la inversión realizada en la obra.

Se debe resaltar que una de las cualidades más atractivas del acero para su uso en la construcción de infraestructura (Figura 4) es su posibilidad de prefabricación de elementos para luego ser montado en sitio. Existen varias opciones para ensamble de los elementos prefabricados en sitio:

- Uniones remachadas
- Uniones soldadas
- Uniones empernadas

Las uniones remachadas (o roblones) fueron las que inicialmente se usaron para unir estructuras. Actualmente ya no se usan los remaches por su dificultad de utilización y su baja productividad. La mayoría de las uniones de estructuras metálicas se realizan la implementación de soldadura y en otras ocasiones por conexiones con pernos. Las ventajas de tiempos de instalación de conexiones empernadas no se han podido aprovechar debido a las dificultades de ejecución en fábrica de perforaciones en los elementos estructurales.

Planteamiento Del Problema

Las uniones soldadas plantean dificultades de ejecución en los sitios de montaje pues requieren personal altamente calificado para su ejecución, donde por variadas condiciones (limitaciones de acceso, seguridad, climáticas) pueden ser complejas de realizarlas adecuadamente. Este tipo de conexiones requieren adicionalmente la inspección posterior a su ejecución (inspección visual y de ensayos no destructivos) para asegurar el nivel de calidad requerido por las normas de fabricación. Un resumen de los errores típicos en operaciones de soldadura se muestra en Tabla 1.

Todas estas exigencias requeridas para ejecutar las uniones soldadas hacen que su costo sea elevado y su tiempo de ejecución largo lo que implica mayores costos de montaje de estructuras. Sin embargo por no disponer de una tecnología eficiente para producir conexiones empernadas se sigue utilizando la soldadura como medio preferido de conexión de elementos estructurales en el mercado ecuatoriano.

Tabla 1

Errores típicos en operaciones de soldadura

Etapa de soldadura	Errores típicos durante la operación
Preparación de bisel	Incorrecta preparación de bisel. (ángulo de bisel o separación de raíz)
Parámetros de soldadura	Selección inadecuada de parámetros de soldadura (electrodo, amperaje, voltaje)
Procedimiento de soldadura	Se requiere un procedimiento de soldadura aprobado previo ejecución de actividades
Ejecución de soldadura	La ejecución depende en gran medida de la habilidad del operario asignado. Se requiere calificación de soldador
Inspección de soldadura	Todas las soldaduras requieren una inspección posterior para asegurar su calidad.

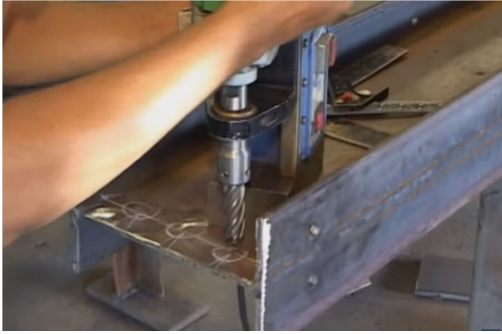
Las uniones empernadas resuelven los problemas inherentes a las uniones soldadas pues no requieren personal técnico altamente calificado para ser ejecutado, son de muy rápida ejecución y los requisitos de inspección posterior son básicos y fáciles de ejecutar.

La construcción de infraestructura con uniones empernadas no es nueva en el Ecuador, pero su aplicación es escasa y limitada en el mercado local debido a las dificultades de ejecutar perforaciones en fábrica de manera eficiente, rápida y precisa.

Las uniones empernadas simplifican enormemente las tareas y complejidades en el montaje pero a su vez la ejecución es compleja etapa de fabricación pues requiere consumo de grandes cantidades de tiempo de operario para su ejecución ([Figura 5](#)) y además la precisión de las ubicaciones no está garantizada por ser una operación manual. Existen soluciones de maquinaria automatizada de perforación en USA y Europa pero sus costos no son accesibles para la industria ecuatoriana.

Figura 5.
Proceso de perforación convencional





Paso 1: Marcado de ubicación de perforaciones, Paso 2: Marcado de centro de perforaciones, Paso 3: Perforación con taladro magnético.

La empresa auspiciante de este estudio ha detectado dentro de su línea de producción de estructuras metálicas la necesidad de mejorar su productividad y precisión en la ejecución de perforaciones requeridas para realizar conexiones empernadas.

Por los motivos planteados y por solicitud de la empresa auspiciante se requiere desarrollar maquinaria de precio accesible y de baja complejidad para la producción de perforaciones con un proceso automático y de alta precisión ([Tabla 2](#)).

Tabla 2

Tolerancias admisibles de perforaciones AISC Tabla J3.3M

Diámetro perno	Perforación estándar
M16	18mm
M20	20mm
M22	24mm

Fuente [AISC](#)

Justificación

Un estudio de tiempos de ejecución de perforaciones sobre elementos estructurales, realizado dentro de las instalaciones de la empresa auspiciante, evidencia un potencial de mejora en tiempo de la menos un 270% acorde a datos mostrados en [Tabla 3](#)

Tabla 3.

Comparativo de productividad manual - automática

Proceso	Tiempo en proceso manual (minutos)	Tiempo en proceso automático estimado (minutos)
Ubicación de perfil en posición de trabajo	2,0 min	2,0 min
Localización del centro de la perforación	2,0 min	0 min
Marcación de centro de perforacion	0,5 min	n/a
Broca inicial de diámetro 6mm	2,5 min	n/a
Broca final de diámetro 12mm	4,0 min	2,0 min
TOTAL	11,0 min	4,0 min

Comparativo de tiempos de proceso de perforación manual vs automático (estimado) para 4 perforaciones tomadas en fábrica.

Los equipos disponibles para realizar automáticamente las tareas de perforación de elementos estructurales son generalmente multicabezal y pueden llegar a costar varios cientos de miles de dólares dependiendo de la configuración requerida y se justifica en volúmenes de producción muy altos que no maneja ningún fabricante en el Ecuador.

La empresa auspiciante tiene la necesidad de mejorar la productividad de su línea de fabricación de estructura metálicas apertadas con la finalidad de ser más competitivos en el mercado local. La empresa auspiciante requiere producir elementos estructurales con perforaciones a velocidades mayores a las realizadas actualmente de forma manual y para ello es necesario automatización el proceso en varias de sus etapas de fabricación para lograr una reducción de costos, errores y mejorar el nivel de satisfacción de sus cliente. Sin embargo, no existe una oferta de equipamiento al alcance de las fábricas locales.

“El aumento de la productividad, como consecuencia de la automatización de equipos, sin incurrir en altos costos de diseño, ni adquisición de equipos nuevos, permite que muchos de

los pequeños empresarios tengan acceso a alta tecnología a bajo costo y no requieren de grandes capitales de inversión para ser más competitivos, actualizar equipos o desarrollar nuevos.” ([Deloitte](#))

Una condicionante que estableció la empresa auspiciante es que la fabricación del equipamiento para perforación pueda ser realizado con la tecnología y maquinarias disponibles en su planta de fabricación. Así mismo se estableció un presupuesto referencial que no se menciona en este trabajo de investigación por razones de confidencialidad.

Adicionalmente se puede mencionar que las operaciones de perforación ejecutadas manualmente conllevan un gran esfuerzo físico por parte del operador. Un análisis ergonómico con las herramientas provistas por [ergocenter](#) arrojan los resultados que se muestran en [Figura 6](#).

Figura 6.
Análisis de fatiga muscular de Rodgers



Rodgers Muscle Fatigue Analysis

Date: 2/7/2020	Task: Perforacion
Company: Steel	Supervisor: Javier Wong
Dept: Produccion	Evaluator: Javier Wong

Table A	Effort Level (If the effort cannot be exerted by most people, enter 4 for Effort)			Scores			Overall Priority	
Region	Light (1) (Borg: 0-3)	Moderate (2) (Borg: 4-6)	Heavy (3) (Borg: 7+)	Effort Level	Cont. Effort Duration	Effort Frequency		
				See Table A	See Table B			
Neck	Neutral neck: head turned partly to side; back or forward slightly; back leaning forward 0-20 degrees	Head turned to side; head fully back; head forward about 20 degrees	Same as moderate but with force or weight; head stretched forward (chin tucked into chest)	3	3	3	N/A	
Shoulders	Neutral arms; arms slightly away from sides; arms extended with some support	Arms away from body, no support; working overhead or behind	Exerting forces or holding weight with arms away from body or overhead	Right	2	3	3	N/A
				Left	2	3	3	N/A
Back	Standing; sitting with lumbar support; leaning to side or bending slightly; arching back	Bending forward; no load; lifting moderately heavy loads near body; working overhead	Lifting or exerting force while twisting; high force or load while bending	4	3	3	N/A	
Arms/ Elbows	Neutral; arms away from body; no load; light forces lifting near body; no twisting	Rotating arm while exerting moderate force	High forces exerted with rotation; lifting with arms extended	Right	2	3	3	N/A
				Left	2	3	3	N/A
Wrists/ Hands/ Fingers	Light forces or weights handled close to body; straight wrists; comfortable power grips	Grips with wide or narrow span; moderate wrist angles, especially flexion; use of gloves with moderate forces	Pinch grips; strong wrist angles; slippery surfaces	Right	1	3	3	N/A
				Left	1	3	3	N/A
Legs/ Knees	Standing; walking without bending or leaning; weight on both feet	Bending forward, leaning on table; weight on one side; pivoting while exerting force	Exerting high forces while pulling or lifting; crouching while exerting force	Right	3	3	3	N/A
				Left	3	3	3	N/A
Ankles/ Feet/ Toes	Standing; walking without bending or leaning; weight on both feet	Bending forward, leaning on table; weight on one side; pivoting while exerting force	Exerting high forces while pulling or lifting; crouching while exerting force	Right	2	3	3	N/A
				Left	2	3	3	N/A

Table B	Score = 1	Score = 2	Score = 3	Score = 4
Continuous Effort Duration	< 6 s	6 - 20 s	20 - 30 s	> 30 s
Effort Frequency	< 1 / min	1 - 5 / min	6 - 15 / min	> 15 / min

Notes/ Comments

Source: Rodgers, Suzanne H. (1992). A functional job evaluation technique, *Occupational Medicine: State of the Art Reviews*. 7(4):679-711.

Se evidencia factores altos de fatiga en todas las partes del cuerpo.

Estado Del Arte

Los fabricantes de maquinaria para procesamiento de perfiles estructurales han desarrollado varias patentes desde el año 1969 para un procesamiento automatizado de operaciones de corte, perforación y marcado. En la [Tabla 4](#) podemos observar un resumen del

estado del arte en relación a este tipo de máquinas para perforar perfiles a través principalmente de patentes de los diferentes fabricantes de maquinarias.

Tabla 4.
Patentes de invención relacionadas con máquinas de perforación automáticas.

Patente	Año	Título / Referencia	Ref
US5161298A	1990	Apparatus for sawing and drilling of structural shapes	1
US4667383A	1983	Machine for processing structural shapes	2
US4149819A	1976	Multiple spindle drilling machine for landslide protection wide flange beams	3
US3977804A	1974	Multiple spindle drilling machine for wide flange beams	4
US3584523A	1969	Structural beam drilling machine	5

Fuente 1 [Stursberg, B.](#) 2 [Peddinghaus, R.](#) 3 [Kitagawa, T. \(s. f.\)](#) 4 [Kitagawa, T.](#) 5 [George, W. P.](#)

Estado del arte en relación a los equipos disponibles para realizar trabajos de perforación

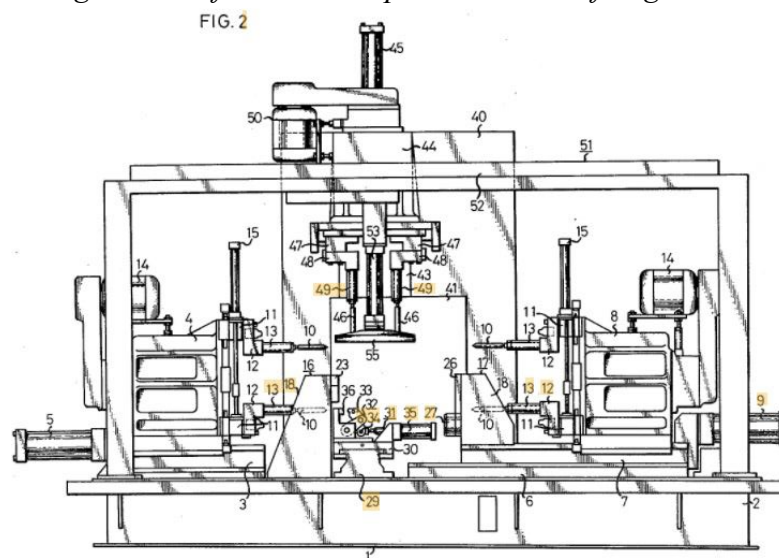
En la patente US5161298A verificamos una máquina combinada de corte y taladrado para formas de acero estructural como vigas I tiene una unidad de sierra circular y la unidad de taladro montada en una base común ([Figura 7](#))

Figura 7.
Apparatus for sawing and drilling of structural shapes

En la patente No. US4149819A se visualiza una máquina de perforación de husillo múltiple para vigas, comprende un dispositivo de alimentación para transportar en una máquina, coloca una viga, dispositivo de alimentación detiene el operación de transporte, los medios de posicionamiento se insertan en agujeros previamente perforados en la viga. ([Figura 9](#))

Figura 9.

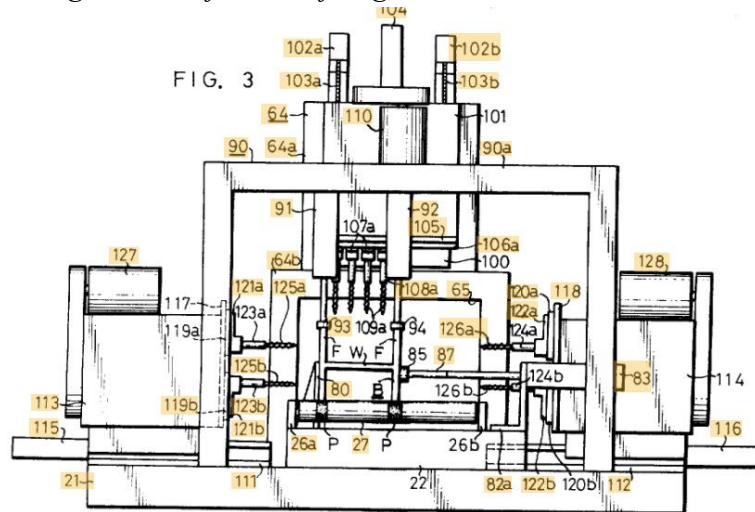
Multiple spindle drilling machine for landslide protection wide flange beams



Esquema general del equipo Fuente: Patente US4149819A

En la patente No. US3977804A se verifica una máquina de perforación de husillo múltiple puede perforar simultáneamente una pluralidad de perforaciones para insertar los remaches o los pernos a través de la banda. Un dispositivo de soporte montado en el lado superior de una mesa de máquina que detiene la viga de brida ancha es alimentado por un dispositivo de alimentación sobre el mismo y lo soporta en una posición de perforación predeterminada ([Figura 10](#))

Figura 10.

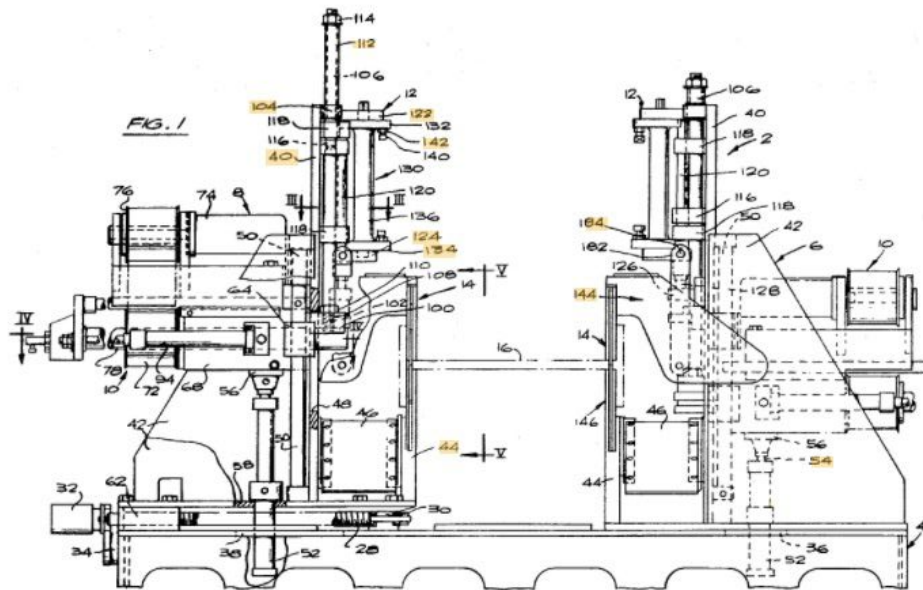
Multiple spindle drilling machine for wide flange beams

Esquema general del equipo Fuente: Patente US3977804A

La patente No. US3584523A consiste en una máquina para formar los agujeros en viga estructural que comprende una máquina de perforación que tiene soportes de perforación relativamente móviles. Cada soporte de perforación tiene un taladro montado en él que se mueve perpendicularmente a la dirección de movimiento relativa de los soportes. ([Figura 11](#))

Figura 11.

Structural beam drilling machine



Esquema general del equipo Fuente: Patente US3584523A

De una revisión los proveedores actuales de tecnologías para perforación automática de elementos estructurales se evidencia que las soluciones disponibles actualmente implican presupuestos de inversión de varias decenas de miles de dólares, lo cual hace prohibitivo su adquisición por parte de empresas Ecuatorianas de baja capacidad instalada y cuyo volumen de procesamiento no justifica su compra.

El presente trabajo de investigación pretende encontrar una configuración más sencilla y versátil para lograr perforaciones automáticas sobre un miembro estructural con un solo cabezal de perforación y sin la opción de sierra de corte que se puede realizar en otras estaciones de trabajo.

Análisis de tecnologías para control CNC.

Se han identificado diferentes papers y artículos sobre variados enfoques, métodos y tecnología empleados por diferentes autores para lograr el control de servomotores y motores de paso en diferentes aplicaciones. Evaluar estas opciones nos permite un panorama más amplio. Se analizan a continuación en la Tabla 5.

Tabla 5.

Análisis de referencias relativas a tecnología CNC

Autor	Título	Descripción
Iwashita	Servomotor Controller	Control de servomotores con un procesamiento de bucle (ciclo cerrado) de corriente proporcional integral (PI). Además un modo de procesamiento de voltaje con un bucle integral proporcional (I-P)
Garcia Jose	Pantografo CNC con Servo Motores para Diferentes Aplicaciones	Pantografo para corte con servomotores industriales y una tarjeta multiejes en base de pulsos. Además su sa el software Mach3 para interpretar lenguajes para máquinas CNC (código G)
Raut, M. Shete	Mini CNC para circuitos PBC usando Arduino	Máquina tridimensional de bajo costo para dibujo de PBC basado en un microcontrolador Arduino de alta precisión y fiabilidad.
WEI QIN	CNC a escala costo efectiva para maquinado	Mini fresadora de alta precisión y rentable con un driver DeltaTau PMAC y un controlador Arduino. Calibración y prueba de varios procedimiento de autocomprobación para cumplir estándares industriales
Hasan, Md. M.	Plotter CNC de bajo costo usando microcontroladores	Usa motores paso a paso para eje X y Y y un servomotor para el eje Z. Se una arduino IDE como programación y el software CAMotics para generar el código G. El software de procesamiento es GCTRL.
Wei, X.	Diseño de un CNC de 3 ejes basado en xPc Target	Equipo CNC de perforación diseñado en un entorno SIMULNK y compilado en VC Compiler. El sistema se basa en xPC Target
Munoz, L. R	Máquina CNC de 4 grados de libertad usando arquitectura abierta	CNC de bajo costo usando arquitectura abierta OSEC (Open System Environment for Controller) LinuxCNC

<u>Armas, L</u>	Maquina CNC con servomotores	Máquina CNC de 3 y 4 ejes a través de la plataforma de Sistema Embebido Beaglebone Black (hardware libre) con una pantalla LCD para manipulación y conexión vía HDIM y ethernet
<u>Sofer, P</u>	CNC para perforación de tarjetas electrónicas con un PLC	CNC de 3 ejes. Exporta datos desde EAGLE a través de un protocolo de comunicación DDE que envía coordenadas a un PLC
<u>Ginting, R</u>	CNC de 3 ejes de pequeña escala para industria	CNC de 3 ejes para corte, grabado, y marcado de objetos usando ARDUINO y controladores de motores.
<u>Mora, J</u>	CNC para corte con plasma	CNC de 3 ejes con tarjeta de adquisición de datos TEPPERONLINE, Control Driver M542T, motores de paso
<u>Jegan, R</u>	Diseño de un plotter XY	CNC con motores paso a paso controlado por Arduino Nano

Del análisis de todas las referencias citadas en Tabla 1 se evidencia que se trata de aplicaciones de escala pequeña y para uso experimental, educativo o de bajo costo. Su investigación se enfoca en lograr conexión entre los diferentes elementos del sistema (software de diseño, controlador, driver, motores de diferentes marcas o proveedores) y usan generalmente Arduino UNO como controlador.

Debido a las exigencias requeridas para el funcionamiento del equipo de perforación en un ambiente industrial dentro de una línea de producción se ha optado por adquirir componentes de alta fiabilidad, capacidad de procesamiento de altos amperajes ya que se espera que los motores del sistema sobrepasen los 2kW y donde tarjetas Arduino u otras marcas podrían tener problemas de funcionamiento o sobrecalentamiento.

Análisis elementos finitos para diseño mecánico.

La empresa auspiciante dispone de una licencia de Solidworks Professional que dispone de una herramienta de validación FEA denominada SimulationXpress.

Acorde al proveedor ([Dassault Systèmes](#)) SimulationXpress es una herramienta de verificación de diseño incorporada para probar diseños de piezas rápida y fácilmente dentro del software de diseño mecánico 3D con precisión adecuada para la aplicación ([SOLID SOLUTIONS](#)). Con esta herramienta podremos:

- Verificar que el diseño funcionará y se comportará según lo previsto.
- Determinar si el diseño genera demasiada carga en determinados componentes, lo que posiblemente cause roturas o deflexiones excesivas.
- Investigar rápidamente una amplia gama de diseños, eliminando así los peores diseños y destacando los mejores. Usar el análisis de diseño para probar sus diseños es mucho más rápido y menos costoso que construir y probar prototipos físicos.
- Realizar una verificación de diseño de primera mano en piezas simples
- Determinar el factor de seguridad y deformaciones máximas de las piezas diseñadas para garantizar rigidez del componente.

Propuesta De Investigación

El presente trabajo de investigación persigue una mejora en la productividad de ejecución de perforaciones sobre elementos estructurales respecto de las condiciones actuales en las que se ejecutan manualmente. Para lograr este objetivo se requiere el diseño de un equipo para automatizar el proceso de perforación.

El trabajo de investigación persigue los siguientes objetivos:

Objetivo General.

Realizar el diseño mecánico mediante simulación por elementos finitos con software SolidWorks Simulation Xpress de un bastidor y sus componentes funcionales para un equipo automático de perforación de elementos estructurales.

Objetivos Específicos.

El presente trabajo de investigación persigue los siguientes objetivos específicos:

1. Generar el diseño CAD 3D del bastidor, carro móvil y cabezal perforador del equipo con software CAE SolidWorks considerando las capacidades de fabricación de la empresa auspiciante
2. Montar el diseño 3D de cabezal perforador, proporcionado por el fabricante, sobre el bastidor y carro móvil para validar funcionalidad y detectar interferencias.
3. Validar los resultados del software comparando los resultados con una metodología analítica.
4. Validar la rigidez y esfuerzos mecánicos de los componentes mecánicos.
5. Mejorar las condiciones de trabajo de operarios, reduciendo posición forzadas, manipulación de pesos grandes (taladros y otras herramientas) durante la operación.
6. Planteamiento de metodología de validación de precisión de perforaciones cuando se ejecute la fabricación.

Método

Modalidad De Investigación

La metodología para desarrollar este proyecto de investigación está determinada por dos partes importantes.

- 1) Selección de componentes: Esta parte del proceso de investigación se refiere a la búsqueda de proveedores de componentes para el equipo de perforación. La investigación se enfoca en conocer los componentes comercialmente disponibles en el mercado para su posterior uso y montaje sobre el diseño del bastidor. .
- 2) Diseño de bastidor: Luego de una preselección de componentes se procedió a diseñar diferentes posibilidades de bastidores que se adapten a dichos componentes y que a su vez puedan ser fabricados con la capacidad instalada de la empresa auspiciante. Se tuvo varios procesos iterativos de selección de componentes y diseño de bastidor hasta llegar a la solución más viable. (Figura 12).

Figura 12.

Diagrama de proceso de diseño

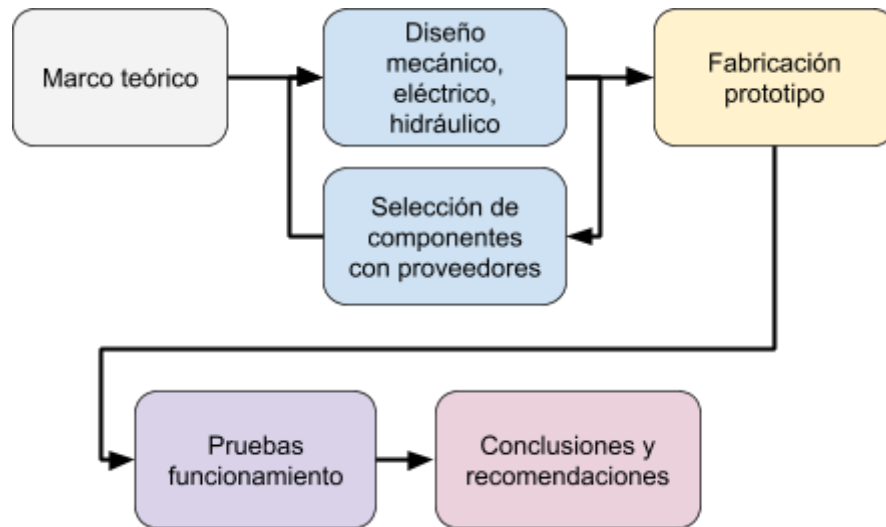
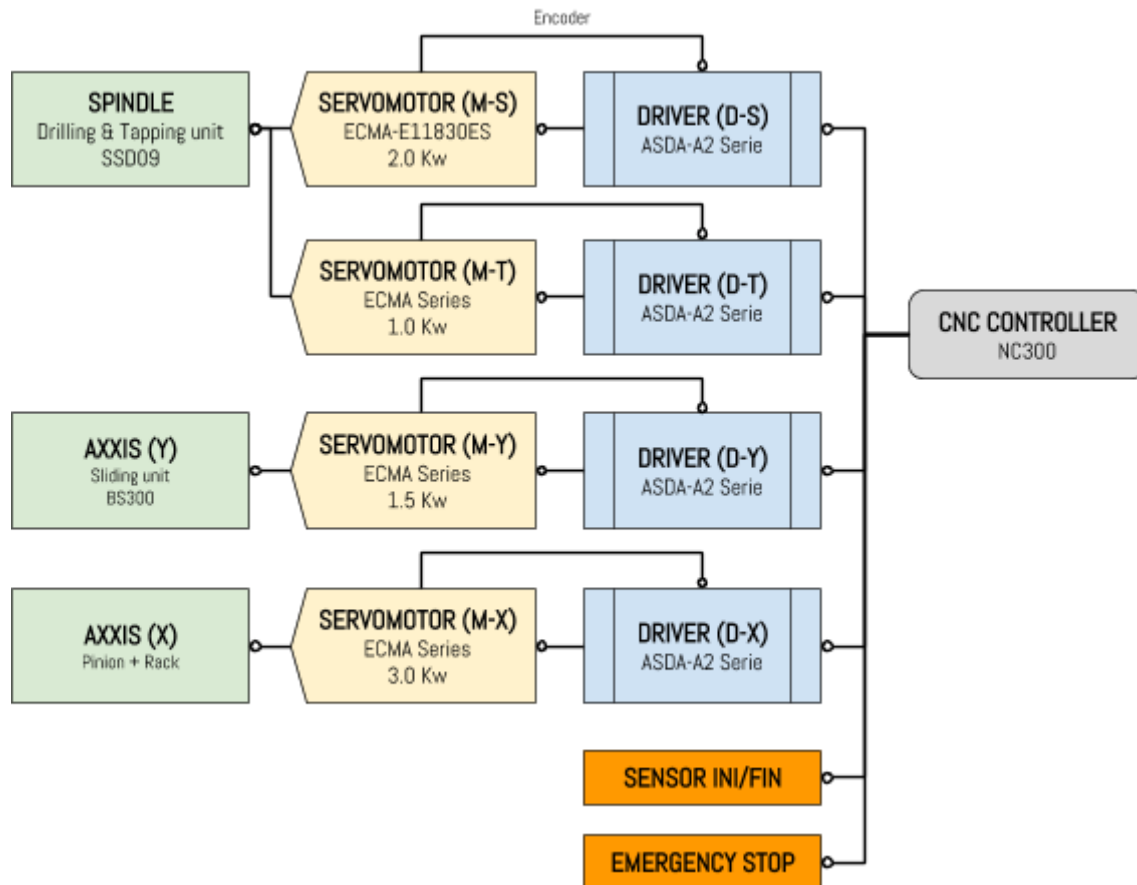


Diagrama de procesos P&ID.

La interacción entre todos los componentes del sistema se muestra en la Figura 13

Figura 13.
Diagrama P&ID de todos los componentes



Esquema P&ID del proceso de control del sistema

Diseño Componentes Mecánico

Especificaciones técnicas del equipo.

Las especificaciones técnicas y alcance de trabajo del equipo se detallan en la Tabla 6 de acuerdo a las necesidades de la empresa auspiciante.

Tabla 6.

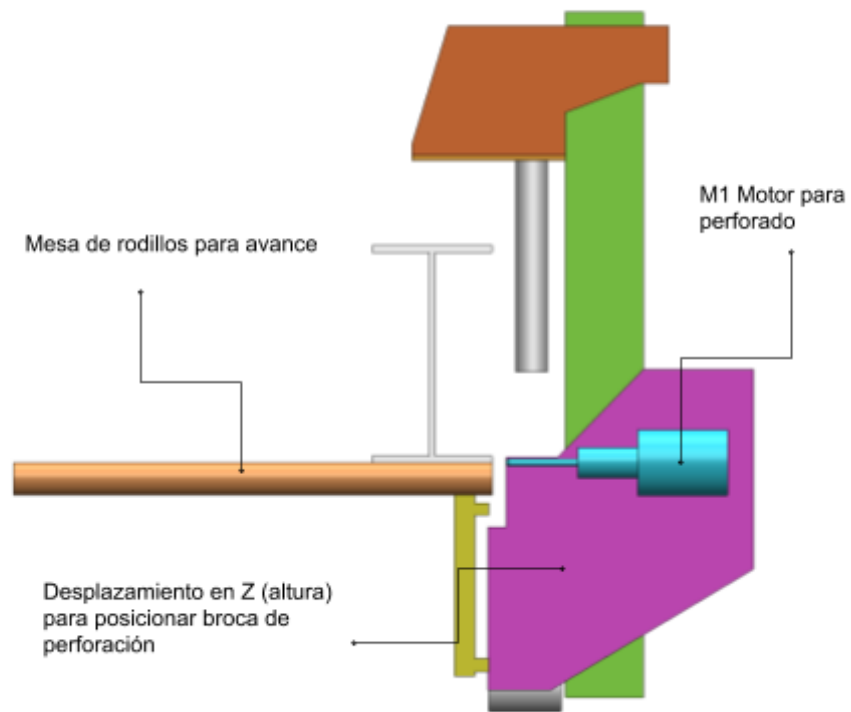
Especificaciones del equipo

Parámetro	Alcance o especificación
Tipo de elemento	Elementos estructurales tipo: I, HEB, HSS, ángulos
Dimensiones elemento	Dimensiones máximas de 400 mm (ej: HEB 400)
Materiales	Acero A36 , Gr. 50 o equivalentes
Longitud elemento	6 metros
Espesores pared	10 mm máximo
Desempeño perforaciones	100 perforaciones por hora (deseable)
Diametro perforacion	¼ a ¾ in

Potencia motor principal 3 Kw

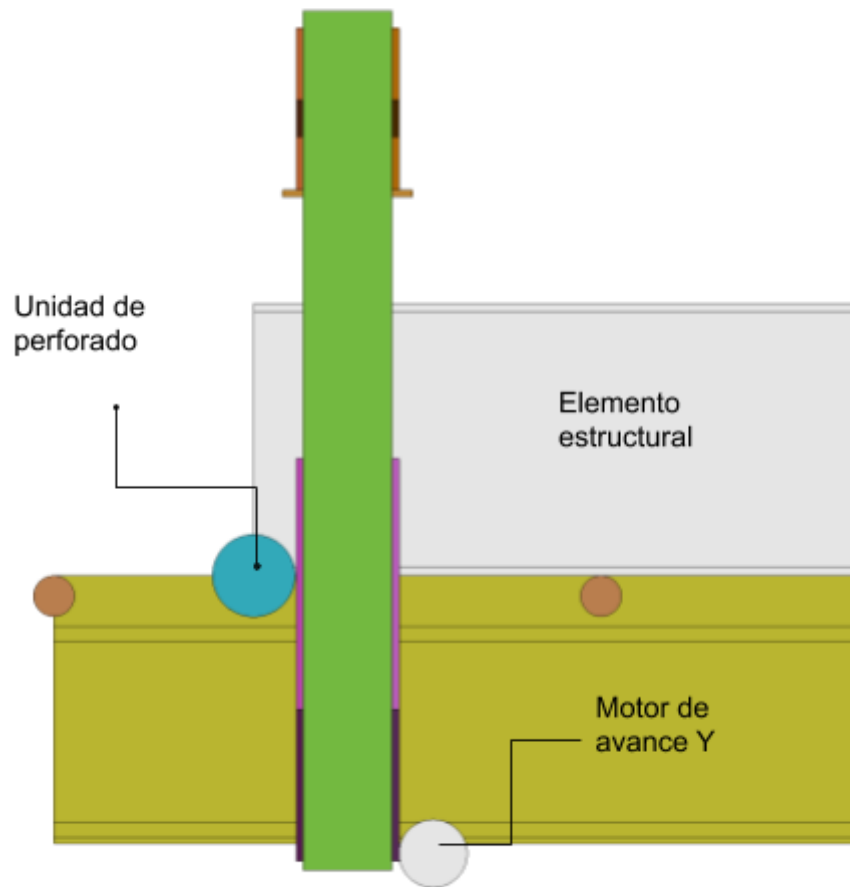
Diseño configuración general de bastidor.

VISTA LATERAL DEL EQUIPO



Vista frontal esquemática del equipo de perforación

VISTA FRONTAL DEL EQUIPO



Vista lateral esquemática del equipo de perforación

El diseño de la máquina y de sus sistema de automatización incluye a los siguientes sistemas:

- Diseño de mesa de rodillos para soporte y avance de elementos
- Diseño de sistema de avance de elemento hasta posición de perforación (longitud desplazamiento = 6 metros)
- Diseño de 1 cabezal de perforación con desplazamiento X (a lo ancho de elemento) y Z (altura)

- Diseño de sistema de posicionamiento para punto “cero” del elemento.

Selección tipo de taladro.

Se buscó en diferentes plataformas industriales de compras on-line. Varios proveedores mostraron su interés en proveer el equipo de taladrado con las especificaciones dadas. El proveedor seleccionado se encuentra localizado en Taiwan y nos presentó varias configuraciones de equipos que se muestran en la Tabla 7.

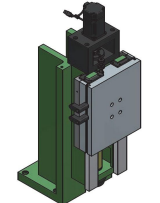
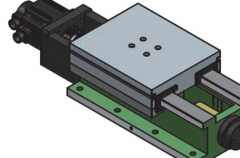
Tabla 7.
Comparativo de modelos de taladrado disponibles.

Figura	Tipo	Selección
	Unidad de taladrado con capacidad de roscado	Se selecciona este componente por su capacidad de roscado que es deseable para el proceso.
	Unidad de taladrado sencilla	No se selecciona este componente por no disponer de la capacidad de taladrado.

Selección unidad de deslizamiento para eje Y (elevación).

El mismo proveedor de la unidad de taladrado ha seleccionado una unidad de deslizamiento compatible que cubra los bancos de desplazamiento requeridos en el diseño se validaron dos opciones una con soporte transversal y soporte longitudinal se selecciona la unidad con soporte longitudinal al tener mayor carrera y menor costo. En la Tabla 8 se observan ambas configuraciones .

Tabla 8.
Unidades de deslizamiento para eje Y

Figura	Tipo	Selección
	Unidad de deslizamiento con soporte transversal	Mayor costo que unidad de deslizamiento con soporte longitudinal
	Unidad de deslizamiento con soporte longitudinal	Se selecciona este componente pues tiene mayor carrera y es de menor costo. Implica un mayor esfuerzo en el diseño del soporte.

Selección de herramienta de corte.

Se ha determinado el uso de las herramientas de corte especificadas en la Tabla 9 dada su disponibilidad en el mercado local ya que se requiere provisión continua de este consumible durante la operación de taladrado.

Tabla 9.
Brocas seleccionadas

Figura	Tipo	Selección
	Drill bit with 12mm Reduced Parallel Shank Drill	Herramienta de facil adquisicion en mercado local
	Drill with MT2 shank	Herramienta de facil adquisicion en mercado local
	Annular cutter	Herramienta de alto desempeño para corte pero de costo elevado y disponibilidad local.

Selección de soporte de herramienta.

Se ha solicitado al proveedor del equipo de perforación que exista versatilidad para adaptar diferentes herramientas de perforación. La solución pasa por tener un acople universal BT40 en donde se puede adaptar a boquillas tipo ER y MT y con ellas sujetar las herramientas de corte seleccionadas.

No se ha escogido un porta herramienta tipo “Chuck” o mandril por la dificultad de apriete de herramienta, su tiempo de recambio y sobretodo por su limitada sujeción en diámetros grandes. Todas las configuraciones analizadas se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10.

Tipos de soporte requeridos para broca

Figura	Tipo	Selección
	ER Tool Holder BT40-ER32	Se incluido como porta herramienta
	MT Tool holder BT40-MT2	Se incluido como porta herramienta

Selección de piñón cremallera eje X.

Se ha seleccionado el proveedor YYC Machinery Co. De sus manuales de partes se ha preseleccionado el siguiente:

- Rack accuracy Accuracy up to 1/32"
- Rack stroke 7.0 ~ 7.5 meter
- Expect below series CHTMH-DIN10

- Series CHTMH-DIN 10 Helical Hardened Racks
- Quality Grade DIN 10
- Material S50C
- Right Hand Angle 19°31'42"
- Hardness: HRC 50~55°
- Surfaces: Sand-blasted.
- Total Pitch Error: $F_p / 1000 \leq 0.15 \text{ mm}$

Selección de sistema hidráulico y pistón de sujeción.

Se usará una unidad hidráulica disponible en la empresa auspiciantes con las siguientes especificaciones técnicas (Tabla 11 y Figura 16). Se valida que dicho equipo podría aplicar una fuerza de apriete de 9270 lb (4200 Kgf) con un pistón de 2 in de diámetro.

Tabla 11.

Especificaciones técnicas de la unidad hidráulica

Especificación	Valor
Voltage	220V/60HZ
Power	2.2 KW
Motor	3 HP
Ports	SAE6
Tank material	Steel
Relief Preassure	2950 PSI
Pump Pressure	Adjustable
Pump Displacement	2.1 CC/Rev
Tank Size	10L (2.64gallons)
Motor Speed	3400 RPM
Pump rated flow	$\geq 4.5 \text{ (L / min)}$
Pump Type	Hydraulic
Inlet Port	1/4" 18 SAE
Outlet Port	1/4" 18 SAE
Valving	Solenoid Operation with included remote cord set

Fuente: Amazon.com

Figura 16.
Unidad hidráulica disponible.



Esquema de unidad hidráulica disponible en al empresa auspiciante

Diseño Componentes Eléctricos

Existe una variedad importante de proveedores de componentes eléctricos a nivel mundial.

La figura 17 indica algunos de ellos

Figura 17.
Proveedores de componentes eléctricos



ABB Ltd.



Rockwell
Automation Inc.



Siemens AG



Emerson



Schneider electric



WEG S.A.



General Electric
Company



Delta electronics Inc.



Mitsubishi electric



Ametek

Se ha seleccionado el proveedor Delta Group por ser el partner del proveedor de componentes mecánicos y esto garantiza total compatibilidad entrega todos los componentes.

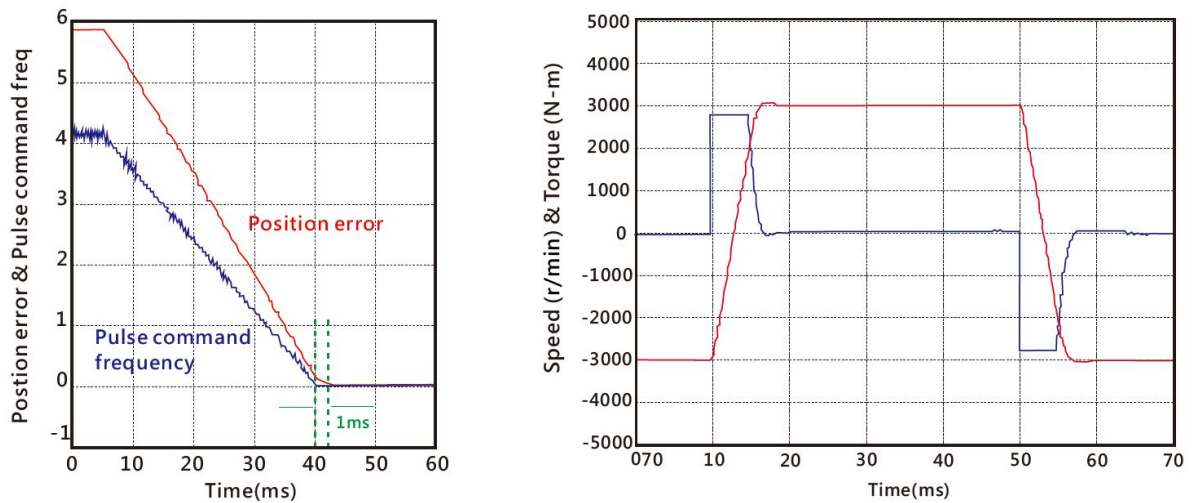
Selección de marca de motor y driver.

Delta Electronics, Inc., dispone de servomotores de la serie ASDA-A2 de alto rendimiento con control de movimiento. La serie ASDA-A2 ofrece un excelente control de movimiento mediante la incorporación de la función de cámara electrónica incorporada (E-CAM).

La serie ASDA-A2 también admite varios protocolos de comunicaciones industriales, como CANopen, DMCNET, EtherCAT que ofrece un mayor rendimiento y comunicaciones de alta velocidad y permite conducir para integrarse con otra parte de la automatización de manera más eficiente y efectiva. Características de la serie ASDA-A2 son

- Alta precisión de posicionamiento: Los servomotores de la serie ECMA cuentan con codificadores incrementales con resolución de 20 bits que pueden eliminar comandos inestables a baja velocidad, operación suave del motor y mejora la precisión del posicionamiento.
- Codificador absoluto compatible. La posición del motor de 17 bits no se perderá cuando se corta la alimentación.
- Alta capacidad de respuesta
- Hasta una respuesta de frecuencia de 1 kHz.
- Tiempo de estabilización por debajo de 1 ms.
- 7ms de tiempo de aceleración para velocidades de -3000 r / min a 3000 r / min con una carga vacía. (Figura 18) ([Delta Electronics, Inc.](#)).

Figura 18.

Tiempo de aceleración/torque para serie ASDA-A2Fuente: Delta Electronics, Inc

En la Figura 19 y Figura 20 se muestran esquemas de conexión entre los diferentes componentes del sistema del motor, driver y controlador.

Figura. 19.

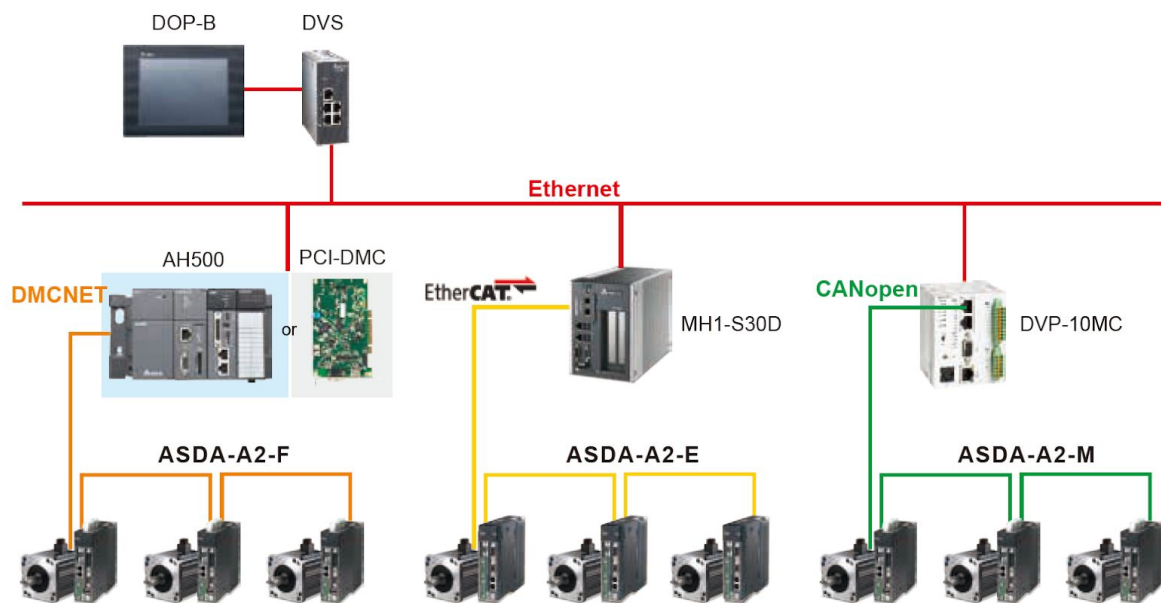
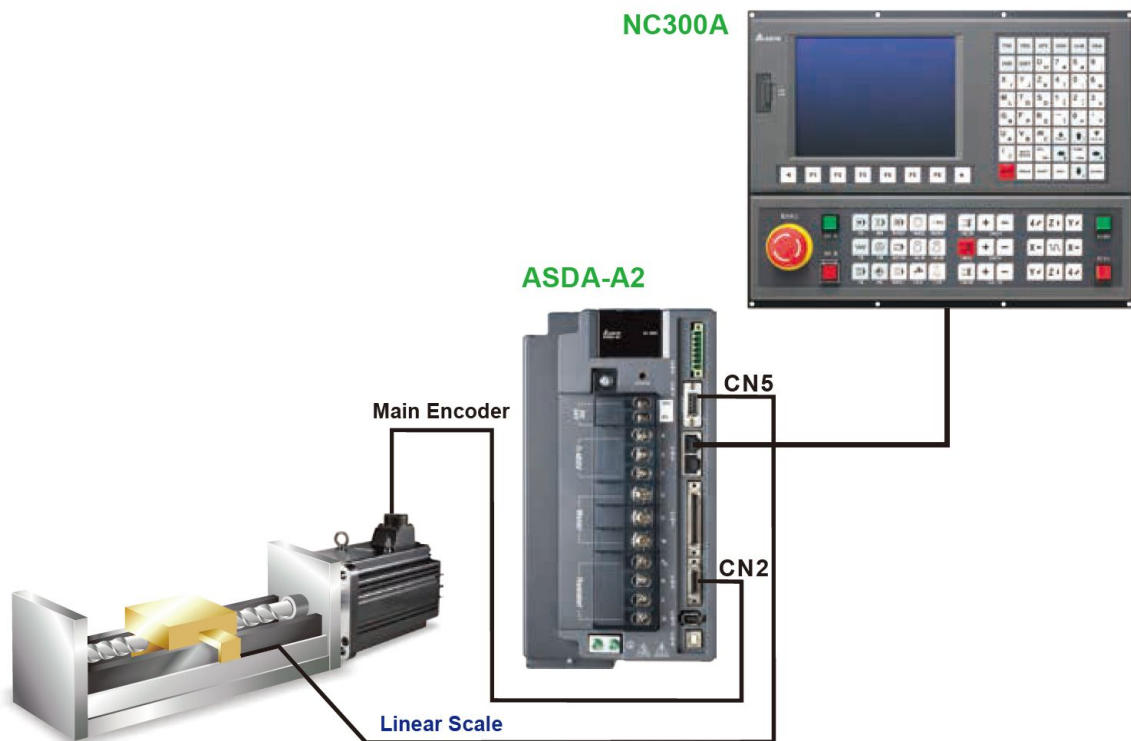
Protocolos disponibles para conexión de serie ASDA-A2Fuente: Delta Electronics, Inc

Figura 20.

Esquema de conexión de motor, driver y controlador



Fuente: Delta Electronics, Inc

Debido a la confiabilidad del equipo requerido para uso industrial así como las altas potencias necesarias para los motores se ha decidido con la empresa auspiciantes que se usarán las soluciones nativas del Delta para motores, driver . Los controladores podrán ser de marca delta u otros compatibles según disponibilidad y soporte local.

También se ha decidido por esta opciones pues se desea evitar problemas de compatibilidad entre distintos componentes. Esto evitará la generación de software específico de conexión entre los distintos elementos del sistema recortando los tiempos de implementación y poniendo el equipo funcional a producción.

Selección de motor principal.

Usando el software “motor sizing” de [Oriental Motor Asia Pacific Pte. Ltd](http://www.orientalmotor.com) podemos dimensionar el motor requerido para el movimiento en el eje X. Se determinará un motor con un torque de 6,6 Nm. (Figura 21)

Figura 21.

Software para selección del motor principal equipo

Motor Sizing - Inputting Rack-and-Pinion Specifications

File(F) Others(O)

Transfer Mechanism

☒ Not equipped
☐ Equipped

Transfer Mechanism Calculation

* The gear reduction ratio of Oriental Motor's Geared Motor does not need to input.

Fixed Side

☐ Motor
☒ Rack

Motor Mass: 3 kg

Rack Mass: 0 kg

Load Mass: 1000 kg

External Force: 100 N

Friction Coefficient of Sliding Surface: 0

Tilt Angle: 2 deg

Other Moment of Inertia: $\times 10^{-4} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$

Moment of Inertia Calculation

Transfer Mechanism Reduction Ratio: 6.649

Load Torque (total): 6.649 N·m

Moment of Load Inertia (total): 2257.875 $\times 10^{-4} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$

* Load torque and moment of load inertia are values converted for the primary side.

Pinion

Diameter: 30 mm

Width: 15 mm

Material: Iron

Density: 7.9 $\times 10^{-3} \text{ kg}/\text{m}^3$

Mass: 1 kg

Efficiency: 1

Pinion Calculation

☐ Density
☒ Mass

<<Back Next>>

Motor Sizing - Inputting Operating Conditions

File(F) Others(O)

Motor Type

☐ Brushless Motors

☐ Stepping Motors

☒ Servo Motors

Operating Pattern

☐ Acceleration/Deceleration

☐ Self-start

Load Torque: 6,649 N·m

Moment of Load Inertia: 2257,875 X10⁻⁴ kg·m²

Calculation Method

☒ Travel Amount Specification

☐ Operating Speed Specification

Rotation Speed: 20104 r/min

The rotation speed is the value of the motor side (primary side)

Travel Time: 20 sec

Travel Amount: 6000 mm

Acceleration Time: 1 sec

Deceleration Time Stopping Time: 1 sec

<<Back Next >>

Motor Sizing - Selecting a Motor

File(F) Others(O)

Motor Operation Condition

Maximum Speed: 201,04 r/min Load Torque: 6,649 N·m Moment of Load Inertia: 2257,875 X10⁻⁴ kg·m²

Classification

Voltage: Three-Phase 200-230 VAC

Driver Type: Standard type

Series Name: All

Gear Type: All

Electromagnetic Brake: With

Cable Length (m):

Safety Factor: 2,0 Safety Factor 1 or higher

Motor Search

NX Series

An AC servo motor unit that is capable of high accuracy control with easy operation. Smooth operation can be achieved in high inertia loads or belt drive applications without manual tuning.

Motors that Meet the Conditions 5 Items The number of items can be narrowed down by selecting the series. * Click the header area to resort.

Model Name	Sizing...	Load Safe...	Instantaneo...	Effective L...	Allowed Moment ...	Maximum Speed:	Frame ...
NX640MS-1	NG	***	0,00	0,00	14,550	5500	60
NX975MS-1	NG	***	0,00	0,00	47,400	5500	85
NX940MS-PS5-1	NG	***	0,00	0,00	360,000	600	90
NX940MS-PS25-1	NG	***	0,00	0,00	9100,000	120	90
NX940MS-PS10-1	NG	***	0,00	0,00	1460,000	300	90

To TOP screen <<Back Next >>

Software para cálculo de piñón y cremallera. Fuente: [Oriental Motor Asia Pacific Pte. Ltd](http://www.orientalmotor.com)

Manipulación Experimentales o Intervenciones

Evaluación de precisión de perforaciones.

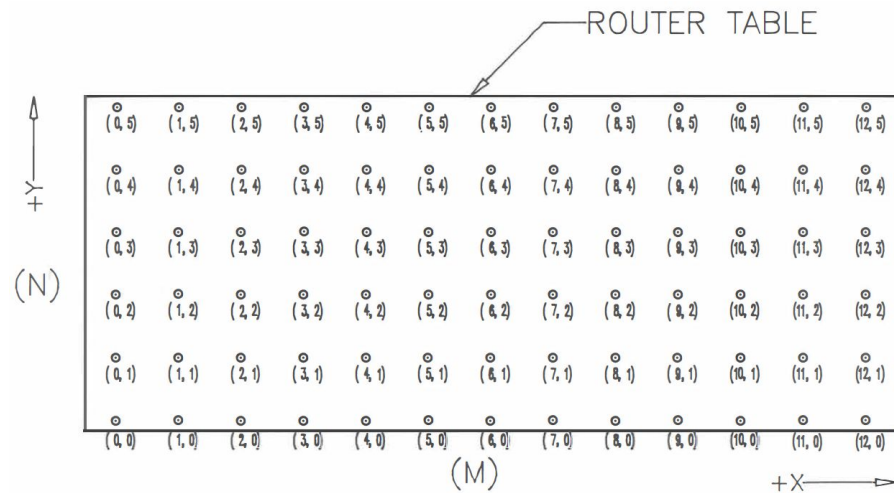
Para determinar la precisión de las ubicaciones se propone modificar la metodología propuesta por [Adams, E.](#) el siguiente el siguiente proceso:

- Programar un ciclo de inicio a fin de carrera de al menos 20 ciclos para corregir el error por servomotores fríos.
- Programar el controlador para mover el taladro en el eje X en incrementos de 50mm y por lo menos 5 ciclos completos de avance (+X,Y) y retroceso (-X,Y). (Figura 22)
- Medición con herramienta láser de la posición del taladro
- Comparar la medición láser con la posición nominal del controlador y anotar la diferencia
- Graficar las desviaciones (posición especificada vs posición real)
- Dibujar un margen de desviación de +/- 3 sigma
- Definir los siguientes tipos de errores:
 - Error de reversión promedio: Se definen como la diferencia obtenida de los valores medios en ambas direcciones de viaje para cada posición objetivo.
 - Dispersión posicional media: Representa el efecto de desviaciones aleatorias en los errores posicionales en cada posición a lo largo del eje de prueba. Pueden considerarse como una medida de la repetibilidad unidireccional.
 - Desviación posicional: Diferencia máxima en los valores medios de error posicional de todos los puntos medidos a lo largo del eje de prueba.

- La incertidumbre posicional: La desviación total a lo largo del eje de prueba y toma en cuenta los valores de desviación posicional, error de inversión y dispersión posicional en cada punto.

Figura 22.

Par de datos tomados para medición de desviación



$$\text{DATA POINT} = X(M, N)$$

Fuente: Adams,

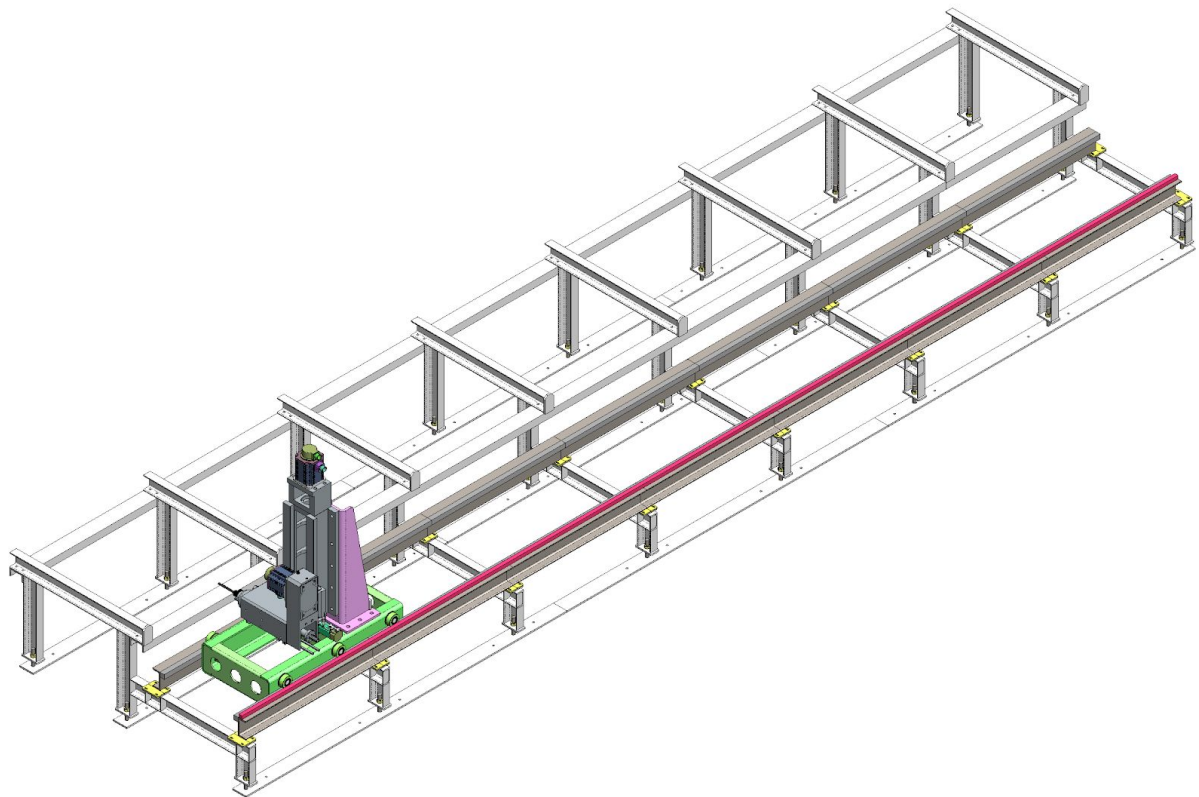
Resultados

Diseño Mecánico De Bastidor.

En Anexo A se observan los planos del conjunto del bastidor y sus componentes principales. Un esquema isométrico del equipo se observa en la Figura 23.

Figura 23

Vista isométrica de equipo de perforación



Validación de software de elementos finitos con metodo analitico.

Para la ejecución del proceso de simulación se ha utilizado Solidworks Professional - SimulationXpress. Para validar los resultados se contrasta con lo obtenidos por medios analiticos. Se va a utilizar para la validación una viga de sección rectangular de 1m de largo con una carga en el extremo de 3000 N

Para una sección cuadrada de 100x100mm el momento de inercia sería el mostrado en la [Figura 24](#).

Se realizó una validación de resultados de deflexión entre el software utilizado y un método analítico resultado en una diferencia de 0,6% muy aceptable, en la [Tabla 12](#) se muestran los parámetros de cálculo y el análisis comparativo. De esta manera quedaría validado el software para utilizarlo en otras geometrías más complejas donde no existen métodos analíticos disponibles.

Figura 24

Cálculo de inercia de sección cuadrada

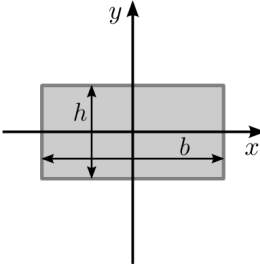
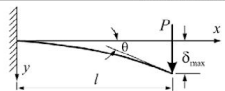
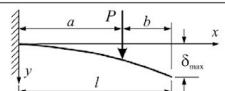
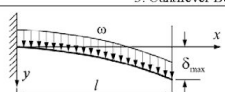
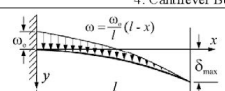
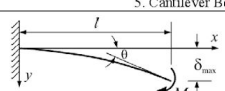
$$I_x = \frac{bh^3}{12}$$


Figura 25

Fórmulas para cálculo de deflexión en vigas en cantiliver

BEAM TYPE	SLOPE AT FREE END	DEFLECTION AT ANY SECTION IN TERMS OF x	MAXIMUM DEFLECTION
1. Cantilever Beam – Concentrated load P at the free end			
	$\theta = \frac{Pl^2}{2EI}$	$y = \frac{Px^2}{6EI}(3l - x)$	$\delta_{\max} = \frac{Pl^3}{3EI}$
2. Cantilever Beam – Concentrated load P at any point			
	$\theta = \frac{Pa^2}{2EI}$	$y = \frac{Px^2}{6EI}(3a - x) \text{ for } 0 < x < a$ $y = \frac{Pa^2}{6EI}(3x - a) \text{ for } a < x < l$	$\delta_{\max} = \frac{Pa^2}{6EI}(3l - a)$
3. Cantilever Beam – Uniformly distributed load omega (N/m)			
	$\theta = \frac{\omega l^3}{6EI}$	$y = \frac{\omega x^2}{24EI}(x^2 + 6l^2 - 4lx)$	$\delta_{\max} = \frac{\omega l^4}{8EI}$
4. Cantilever Beam – Uniformly varying load: Maximum intensity omega_0 (N/m)			
	$\theta = \frac{\omega_0 l^3}{24EI}$	$y = \frac{\omega_0 x^2}{120EI}(10l^3 - 10l^2x + 5lx^2 - x^3)$	$\delta_{\max} = \frac{\omega_0 l^4}{30EI}$
5. Cantilever Beam – Couple moment M at the free end			
	$\theta = \frac{Ml}{EI}$	$y = \frac{Mx^2}{2EI}$	$\delta_{\max} = \frac{Ml^2}{2EI}$

Fuente (AISC)

Tabla 12

Análisis comparativo de software con métodos analíticos

VARIABLE	UNIDAD	VALOR
Largo seccion	m	1
Alto seccion	m	0,1
Profundidad seccion	m	0,1
Carga aplicada	N	3,00E+03
Material	--	A36
Modulo de Young	N/m ²	2,1E+11
Inercia seccion	m ⁴	8,3E-06
Deflexión maxima	m	5,7E-04
Deflexión máxima analítica	mm	0,571
Deflexión elementos finitos	mm	0,575
% diferencia	%	-0,6%

Se observa una diferencia de 0,6% muy aceptable. El software quedará validado para análisis más complejos

Los datos analíticos se correlacionan con los de la simulación, cuyos detalles se observan en el Anexo B

Simulación CAD/CAE De Bastidor

Se han considerado las siguientes condiciones para la simulación:

Para determinar la carga de servicio sobre la mesa de trabajo se determinó que pueden existir dos perfiles HEB 400 que son los más pesados disponibles en el mercado (155 Kg/m). El espaciamiento entre pórtico y pórtico es de 1m así que el área colaborante de carga viva es de 310 Kg (3040 N) por pórtico.

Para determinar la carga de servicio sobre la sección inferior se determinó el peso de todos los componentes móviles del sistema aplicados sobre las placas de conexión (714 Kg o 7000N)

Sobre las placas base que apoyan sobre el piso se ha considerado un empotramiento fijo pues existirán conexiones con restricción de momento fijando la estructura rígidamente al piso mediante pernos de expansión.

El módulo de young seleccionado es de 2×10^{11} N/m² y un límite elástico de $2,4 \times 10^8$ N/m² correspondientes al acero A36 planeado para su fabricación.

El resultado de esta simulación del bastidor principal arroja una deformación máxima de 0,6mm aceptable y los índices de diseño son conservadores sin llegar al límite plástico. En el Anexo C se pueden observar detalles del resultado de la simulación.

Simulación CAD/CAE De Torre de Perforación

En el elemento portante del elemento de perforación se han considerado las reacciones resultantes de la perforación sobre los elementos estructurales. El Anexo XX muestra los resultados de mallado, las restricciones y cargas aplicadas y los resultados obtenidos. Se observa que la rigidez es adecuada.

Mejoras Ergonómicas

Resultado del proceso de diseño del equipo para perforar elementos estructurales se reducen las siguientes actividades

- Carga de vigas se hará con puente grúa
- No es necesario la manipulación del taladro magnético, se elimina esta operación
- No es necesario trabajar a altura del piso, todo se encuentra a un nivel de operación de 680mm y operario solo debe manipular el controlador

Prototipado Funcional

Fuera del alcance de la investigación, se realizará a posterior con al empresa auspiciante

Resultados De Pruebas De Ubicación De Perforaciones

Fuera del alcance de la investigación, se realizará a posterior con al empresa auspiciante

Discusión

Discusión De Resultados

La construcción de infraestructura dedicada a solventar necesidades de vivienda sigue siendo un problema que necesita solución desde varios enfoques, de manera de poder ofertar soluciones que mejoren el acceso a viviendas dignas con precios cada vez más accesibles sin demérito de la calidad, seguridad y reduciendo sus tiempos de ejecución.

El presente trabajo de investigación pretende contribuir con el diseño de un equipo que permita realizar perforaciones de elementos estructurales de manera rápida, eficiente y precisa con la finalidad de que las conexiones empernadas puedan hacer una solución de bajo costo y con desempeños superiores a los que se logran con conexiones soldadas.

Este trabajo adicionalmente ha contribuido en buscar una solución para mejorar la ergonomía de los operarios y trabajadores de la industria metalmecánica que fabrican elementos estructurales y que están expuestos a posturas que generan fatiga y posibles enfermedades profesionales

Todo el diseño desarrollado en este trabajo investigación ha considerado las limitantes de maquinaria y capacidad de fabricación de la empresa auspiciante sin embargo pese a estas limitaciones se ha logrado desarrollar un diseño simple y robusto y que cumpla el objetivo esperado al inicio de esta investigación

También se pudo comprobar que el diseño validado por análisis de elementos finitos es una herramienta valiosa en etapas tempranas del diseño, que eviten incurrir en costos de prototipos comprobando gran parte de los aspectos de diseño mediante software. Esto acorta en gran medida los tiempos de lanzamiento de productos y reduce significativamente su costo.

Debido a las restricciones impuestas por la crisis sanitaria se tuvo que reducir el alcance de este trabajo de investigación excluyendo la fase de prototipado y pruebas debido a que por restricciones de flujo de caja de la empresa auspiciante y no se pudo importar los componentes necesarios para su fabricación local. La empresa auspiciante se ha comprometido en otorgar los recursos para la fabricación apenas las condiciones sean favorables y poder validar los resultados de los diseños desarrollados en este trabajo de investigación.

Se pudo comprobar en el diseño virtual tridimensional la funcionalidad del equipamiento para automatizar procesos de perforación de elementos estructurales. Se verificó con el departamento de producción de la empresa auspiciantes que todos sus componentes puedan ser fabricados con la tecnología disponibles localmente.

Se pudo comprobar y validar que los resultados que arroja el software de diseño utilizados coinciden y convergen en una muy buena aproximación (0,6%). Esto valida que podamos seguir usando el software para otros modelos más complejos donde no existe metodos analiticos disponibles.

Es necesario reconocer sin embargo que existieron limitaciones en relación a la obtención de componentes especializados para el equipo, fue necesario trabajar con proveedores especializados del extranjero ya que localmente no se encontró ninguna solución. Existe aquí una ventana de oportunidad para la industria ecuatoriana para desarrollar equipamiento especializado como en el caso de unidades de perforación ampliamente utilizadas en varias industrias de manufactura

Se espera que a partir de la implementación de la fabricación del prototipo y pruebas de este equipo sea de utilidad para la empresa auspiciante y reduzca en gran medida los tiempos de ejecución y la precisión de las perforaciones.

Conclusiones

Los objetivos planteados al inicio de este trabajo de investigación fueron alcanzados:

- Se pudo generar el diseño 3D en el software solidworks de los elementos planteados en los objetivos específicos correspondientes a bastidor, carro móvil cabezal perforador. Se bosquejaron varias configuraciones posibles y luego de varios análisis se determinó que la configuración y diseño final.
- Luego de múltiples discusiones con el proveedor de los componentes del cabezal de perforación se logró obtener los modelos digitales de esos componentes y se los incluyó en el diseño integral. El contar con todos los elementos en el diseño integral nos permitió detectar interferencias que pudieran complicar su fabricación. Se espera

que cuando se fabrica el prototipo no se incurran en trabajos adicionales o ajustes no contemplados en el diseño.

- Se realizó la simulación de los principales componentes mecánicos con el software Solidworks Simulation Express y luego de varias iteraciones en el diseño se logró elementos rígidos con deflexiones menores a 0,5 mm garantizando de esta manera rigidez de los componentes que determinan la precisión de las ubicaciones
- La altura de la mesa de trabajo se configuró basado en la altura de la mesa de trabajo de la siguiente estación de corte de manera que no existan variaciones de altura entre ambos sistemas que incurran en esfuerzo del operario.

El desarrollo de maquinaria diseñada y fabricada en Ecuador es una alternativa para mejorar la competitividad de las empresas sin tener que invertir en equipos importados complejos y en muchas ocasiones sobredimensionados en relación a las necesidades y demandas del mercado local

Recomendaciones

El trabajo el presente Trabajo de investigación presenta una base para fabricar equipos de perforación de mayor capacidad para elementos estructurales de mayor esbeltez que se usan en grandes obras de infraestructura

También se recomienda una investigación alrededor de sistemas alternativos de control de motores (drivers y controladores de servomotores) de menor costo pero con fidelidades acorde a las exigencias de la industria.

Luego de que el equipo sea fabricado y el prototipo validado con usuarios reales se recomienda que se aplique la metodología Design Thinking con la finalidad de mejorar su experiencia de usuario añadiendo elementos que no hayan sido contemplados y que el usuario detecte que detecte para una mejor operación

Recomendamos que se sigan promoviendo y apoyando las actividades de vinculación de las empresas con las universidades con la finalidad de proveer soluciones de manufactura a las empresas locales

Referencias

- World Steel Association. (s. f.). Life cycle assessment in the steel industry. 8.
<https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:8cce0be6-0c32-4b7d-b20e-caecfaf04d9a/Life%2520Cycle%2520Assessment%25202020.pdf>
- World Steel Association. <https://www.worldsteel.org/>
- AISC (American Institute of Steel Construction). (2016). Specification for Structural Steel Buildings, ANSI / AISC 360-16. American Institute of Steel Construction, 676.
- Deloitte. La automatización está aquí para quedarse.
<https://www2.deloitte.com/co/es/pages/financial-services/articles/la-automatizacion-esta-aqui-para-quedarse.html>
- Iwashita, Y., & Okita, T. (s. f.). (54) SERVOMOTOR CONTROLLER. 12.
(US6310457B1)
- García Galindo, J. (s. f.). Apolinar y Edi—2016—Pantógrafo CNC con Servomotores para Diferentes Ap.pdf. Instituto Tecnológico Superior de Lerdo.
- Raut, M., Shete, G., Shinde, V., & Suryawanshi, A. (2019). AUTOMATIC MINI CNC MACHINE FOR PCB DRAWING USING ARDUINO. 06(06), 4.
- Adams, E. L., Rast, E. D., & Bennett, N. D. (1995). CNC router evaluation procedures (NE-GTR-201; p. NE-GTR-201). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. <https://doi.org/10.2737/NE-GTR-201>
- Sanan, R. (s. f.). CNC router in 2D.pdf. School of Science and Technology University of Management and Technology.
- Delgado, J. (2019). CNC Router para madera Peru.pdf. UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”.

WEI QIN. (s. f.). DESIGN AND ANALYSIS OF A SMALL-SCALE COST-EFFECTIVE CNC MILLING MACHIN. University of Illinois at Urbana-Champaign.

Hasan, Md. M., Khan, Md. R., Noman, A. T., Rashid, H., Ahmed, N., & Reza, S. M. T. (2019). Design and Implementation of a Microcontroller Based Low Cost Computer Numerical Control (CNC) Plotter using Motor Driver Controller. 2019 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE), 1-5. <https://doi.org/10.1109/ECACE.2019.8679123>

Wei, X., Jihong, C., & Jin, Y. (2009). Design of servo system for 3-axis CNC drilling machine based on XPC target. 2009 ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management, 447-450. <https://doi.org/10.1109/CCCM.2009.5268085>

Munoz, L. R., Villanueva, M. G., & Gomez, M. S. (2013). Development of a computer numerically controlled router machine with 4 degrees of freedom using an open architecture. 2013 IEEE International Autumn Meeting on Power Electronics and Computing (ROPEC), 1-6. <https://doi.org/10.1109/ROPEC.2013.6702719>

Armas, L. V. N., & Mideros, D. (s. f.). DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA CNC MULTIFUNCIÓN EN BASE A SERVOMOTORES DC SIN ESCOBILLAS PARA CONTROLAR EL MOVIMIENTO A TRAVÉS DEL SISTEMA DE COORDENADAS CARTESIANAS USANDO LA PLATAFORMA BEAGLEBONE BLACK. 147.

Sofer, P., Skuta, J., & Gebauer, J. (2012). Drilling of circuit boards using CNC controlled by programable logic controller. Proceedings of the 13th International Carpathian Control Conference (ICCC), 711-714. <https://doi.org/10.1109/CarpathianCC.2012.6228738>

Ginting, R., Hadiyoso, S., & Aulia, S. (2017). Implementation 3-Axis CNC Router for Small Scale Industry. 12(17), 6.

Chen, C.-S., & Sun, Y. T. A. (2017). Intelligent Computer-aided Process Planning of Multi-axis CNC Tapping Machine. IEEE Access, 5, 2913-2920.

<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2671864>

Mora, J. (s. f.). IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO - CNC DE CORTE POR PLASMA PARA OPTIMIZAR EL PROCESO Y LA CALIDAD DE CORTE. Universidad Técnica de Cotopaxi.

Jegan, R. R., Gnanasundaram, E., Gowtham, M., Sivanesan, R., & Thiyagarajan, D. (2018). Modern Design and Implementation of XY Plotter. 2018 Second International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT), 1651-1654. <https://doi.org/10.1109/ICICCT.2018.8473093>

Stursberg, B. (s. f.). APPARATUS FOR SAWING AND DRILLING OF STRUCTURAL SHAPES (PatentN.ºUS5161298).

<https://patents.google.com/patent/US5161298A/en?q=drill+machine+beams&oq=drill+machine+beams>

Peddinghaus, R. (s. f.). MACHINE FOR PROCESSING STRUCTURAL SHAPES (Patent N.º US4667383.pdf).

<https://patents.google.com/patent/US4667383A/en?q=drill+machine+beams&oq=drill+machine+beams>

Kitagawa, T. (s. f.). MULTIPLE SPINDLE DRILLING MACHINE FOR LANDSLIDE PROTECTION WIDE FLANGE BEAMS (Patent N.º US4149819A).

<https://patents.google.com/patent/US4149819A>

Kitagawa, T. (s. f.). MULTIPLE SPENDLE DRILLING MACHINE FOR WIDE FLANGE BEAMS (Patent N.º US3977804).

<https://patentimages.storage.googleapis.com/02/1d/83/1094b515328a54/US3977804.pdf>

George, W. P. (s. f.). STRUCTURAL BEAM DRILLING MACHINE (Patent N.º US3584523).

<https://patentimages.storage.googleapis.com/4e/07/b4/5c7465dcf02ccc/US3584523.pdf>

Delta Electronics, Inc. (s. f.). <http://www.deltaww.com/>

YYC Machinery Co, Ltd. (s. f.). <https://www.yycdrives.com/index.html>

Oriental Motor Asia Pacific Pte. Ltd. (s. f.). Motor Sizing Software (4.1.4) [Computer software]. <https://www.orientalmotor.com.sg/>

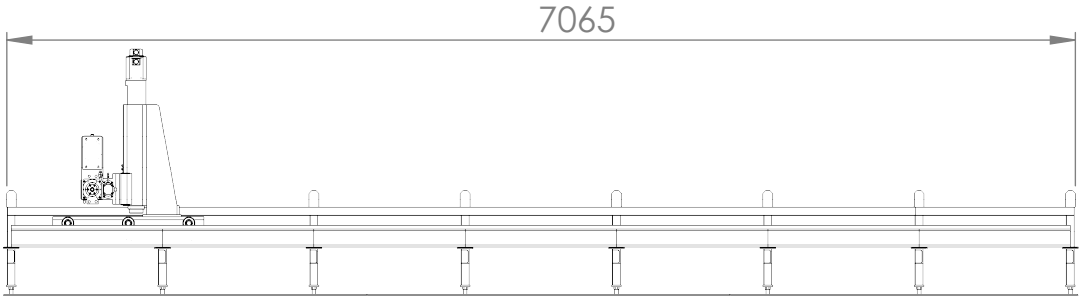
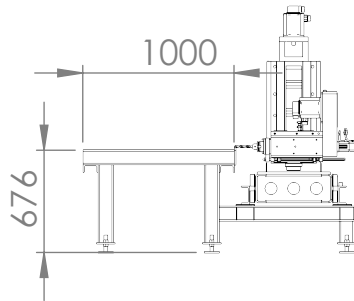
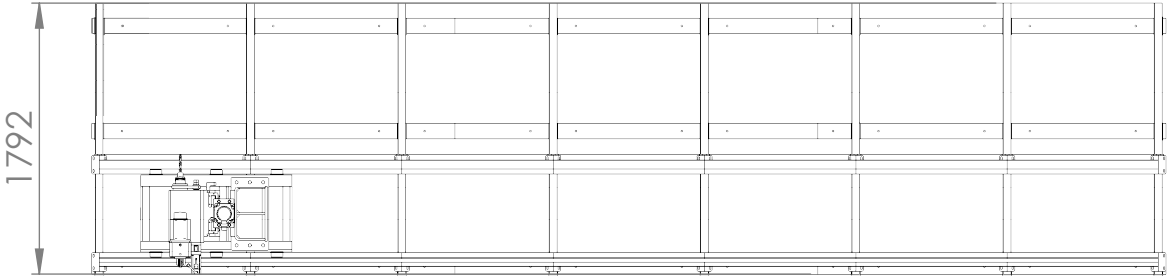
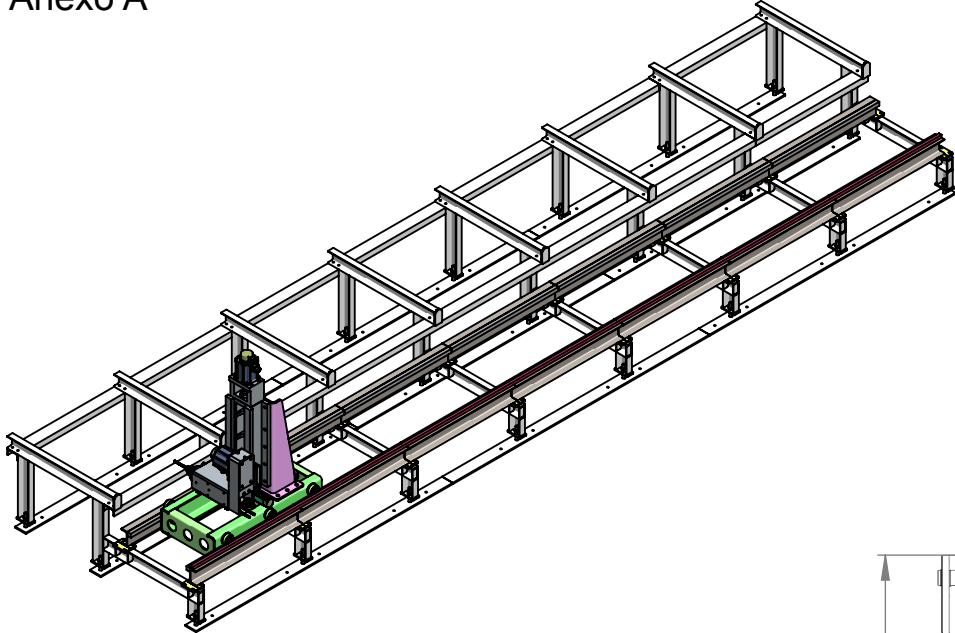
SOLID SOLUTIONS MANAGEMENT LTD. (s. f.). So how accurate is SOLIDWORKS Simulation?

<https://www.solidsolutions.co.uk/blog/2017/09/so-how-accurate-is-SOLIDWORKS-simulation/#.XzgW1-hKhIk>

Dassault Systèmes. (s. f.). SUPERIOR PRODUCT DESIGN THROUGH POWERFUL IN-CAD SIMULATION.

Anexos

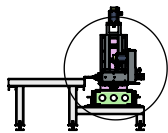
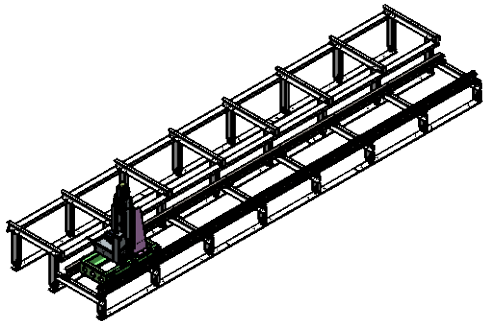
Anexo A



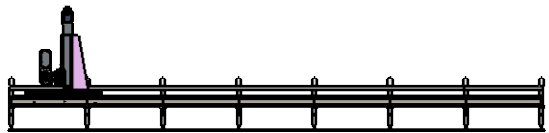
DESCRIPCION	DRILL LINE	CODIGO 551-00-00
DIBUJADO	JWong 1/9/2020	
APROBADO	JWong 1/9/2020	

 **Steelinc**
Innovación en acero

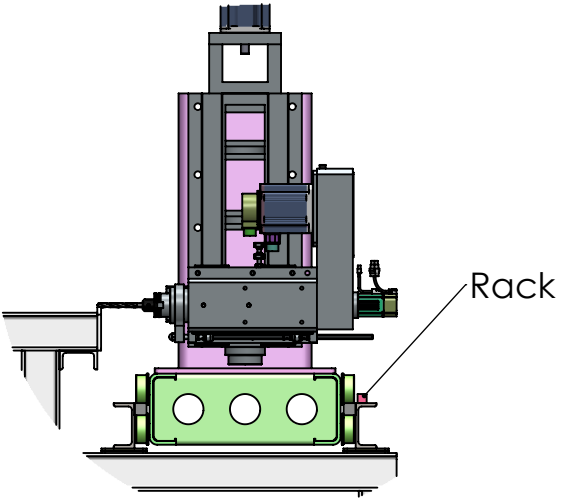
Anexo A



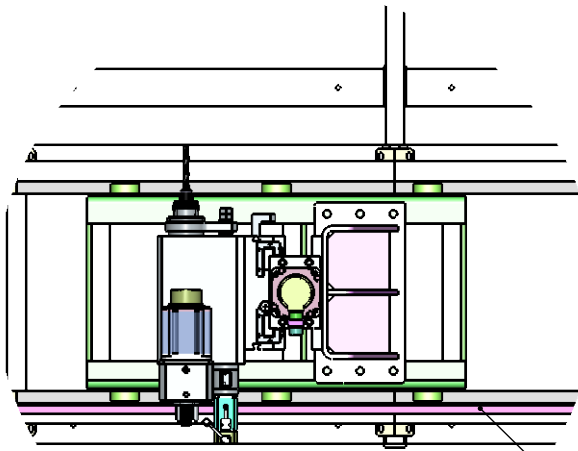
A



B

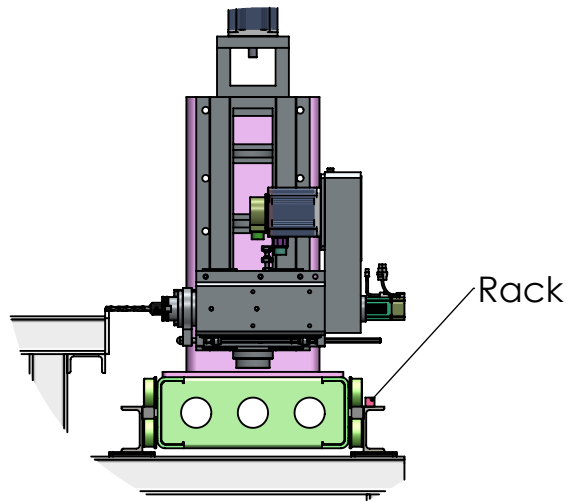
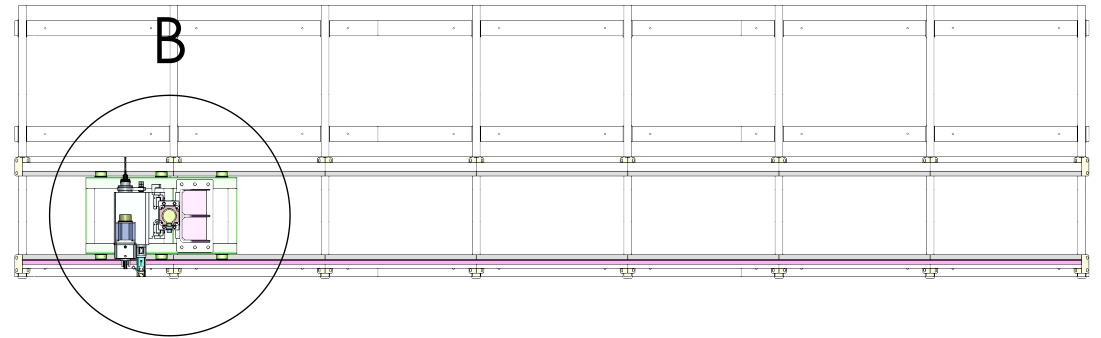
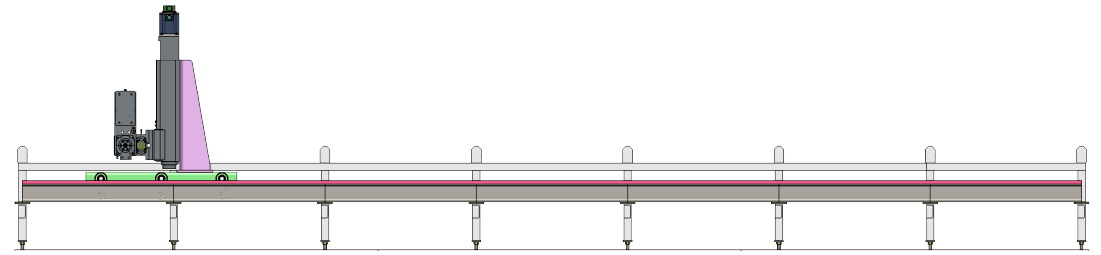
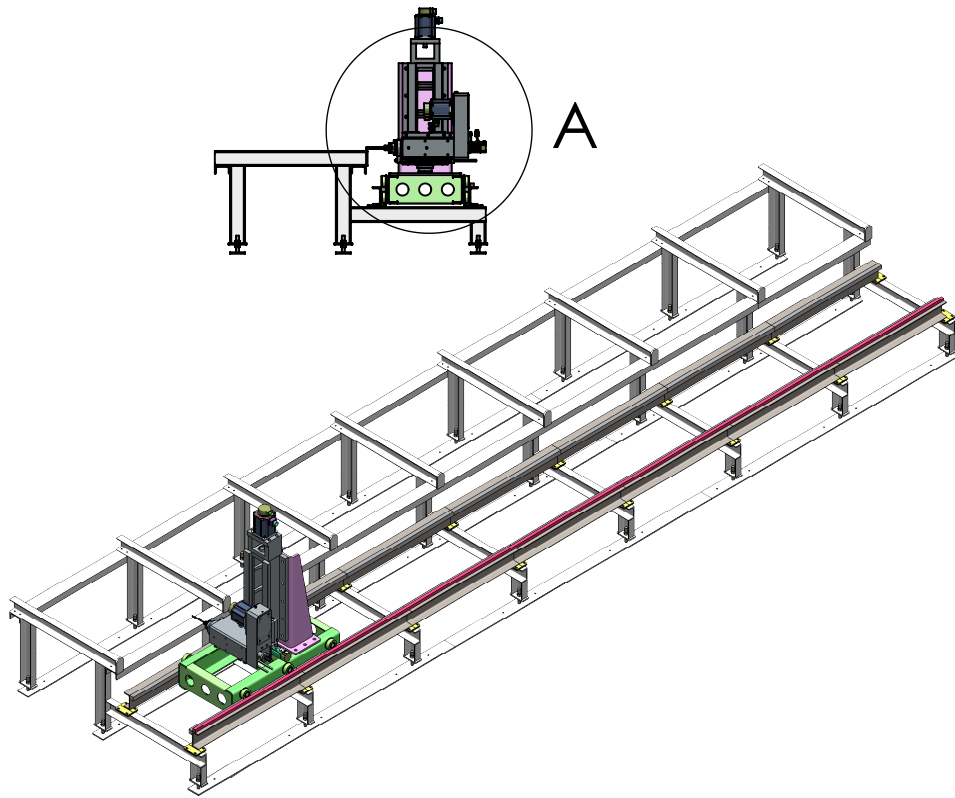


DETALLE A
ESCALA 1 : 20

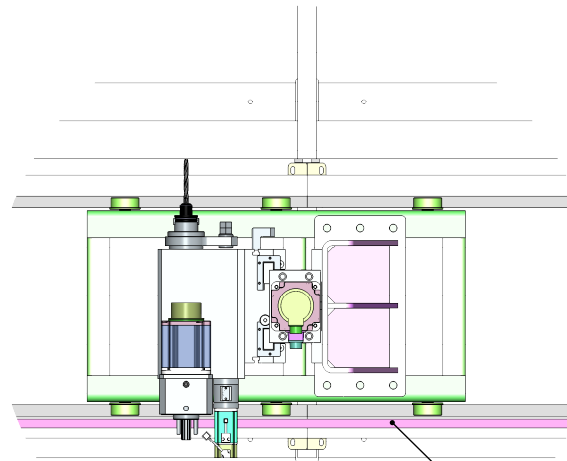


DETALLE B
ESCALA 1 : 20

Rack



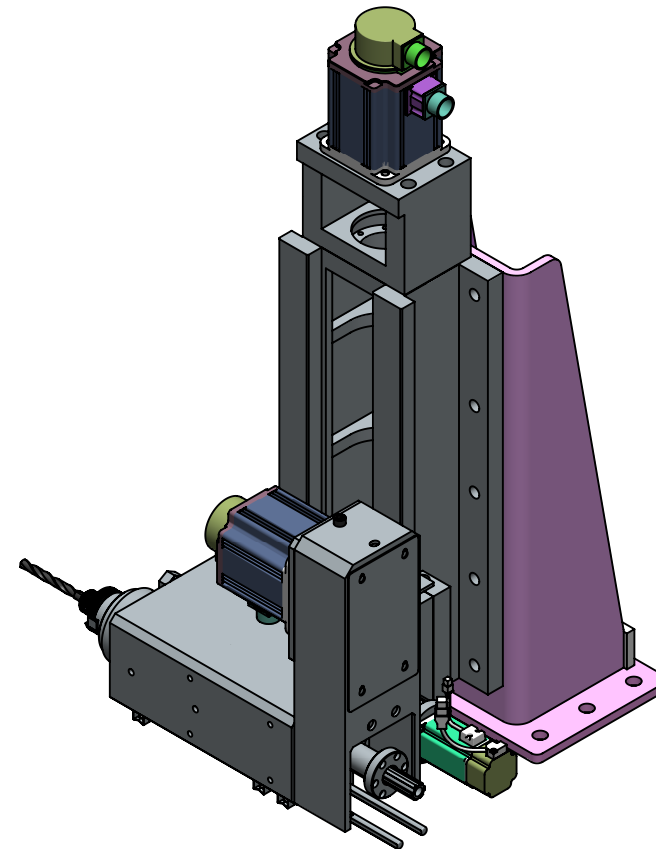
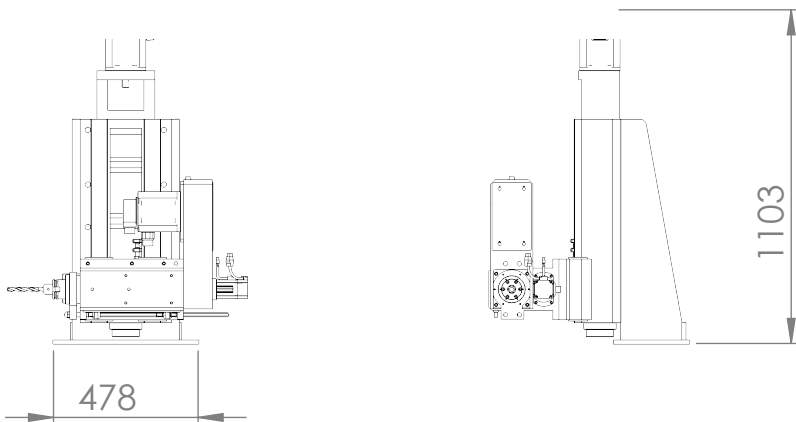
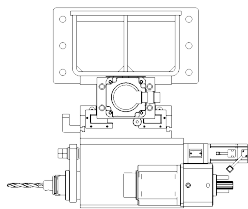
DETALLE A
ESCALA 1 : 20



DETALLE B
ESCALA 1 : 20

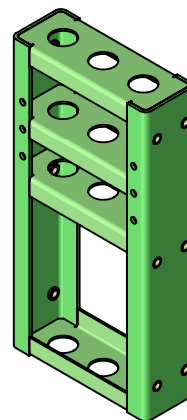
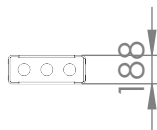
Rack

DESCRIPCION	DRILL LINE	CODIGO	551-00-00
DIBUJADO	JWong 6/8/2020	Este documento contiene informacion confidencial propiedad de Steelinc Cia. Ltd. Prohibida su reproduccion sin autorizacion	
APROBADO	JWong 6/8/2020		

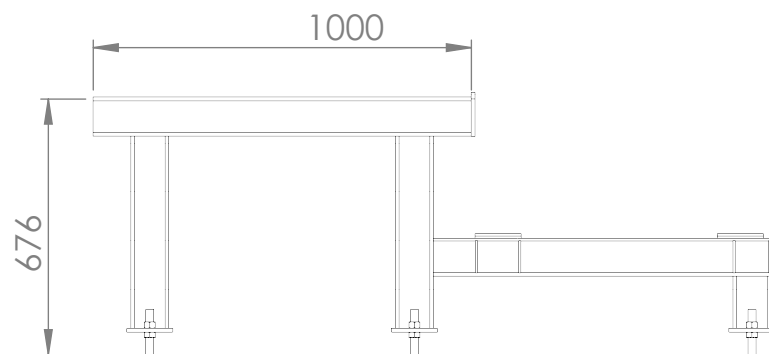
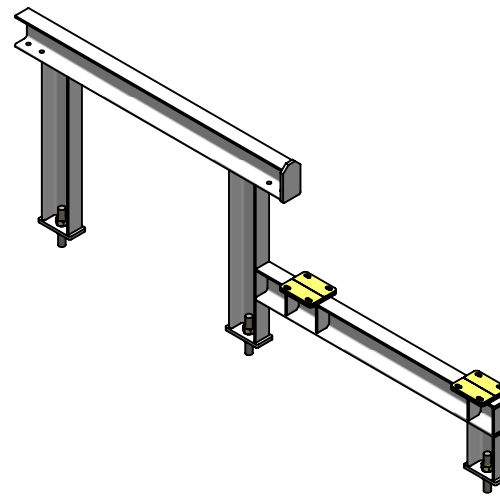


DESCRIPCION		DRILL LINE	CODIGO	551-00-00
DIBUJADO	JWong	1/9/2020		
APROBADO	JWong	1/9/2020		

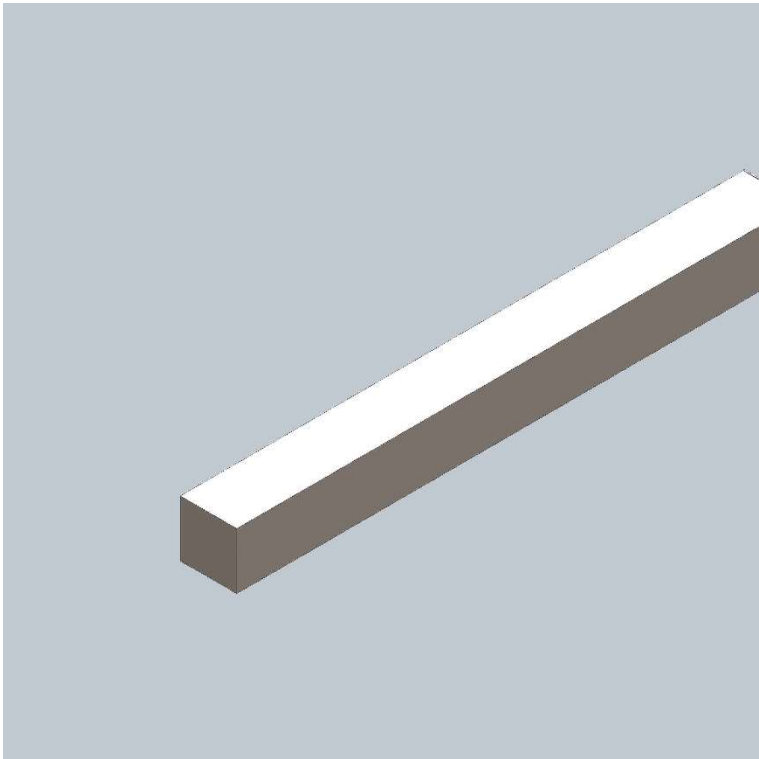
**Steelinc**[®]
Innovación en acero



DESCRIPCION	DRILL LINE	CODIGO	551-00-00
DIBUJADO	JWong 1/9/2020		
APROBADO	JWong 1/9/2020		



DESCRIPCION	DRILL LINE	CODIGO	551-00-00
DIBUJADO	JWong 1/9/2020		
APROBADO	JWong 1/9/2020		



Descripción
No hay datos

Simulación de VOLADIZO

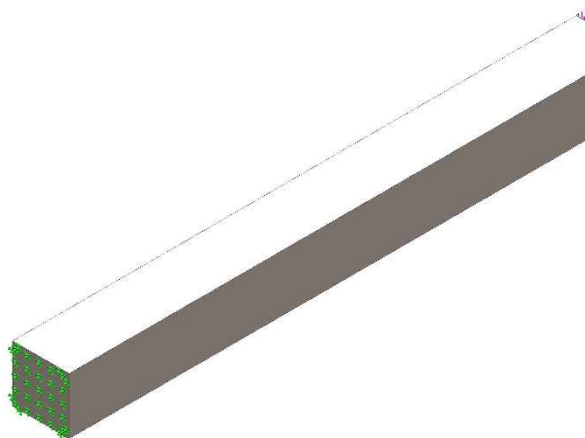
Fecha: miércoles, 7 de octubre de 2020
Diseñador: Javier Wong
Nombre de estudio: Estudio 2
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Descripción.....	1
Suposiciones	2
Información de modelo.....	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Resultados del estudio	8
Conclusión.....	11

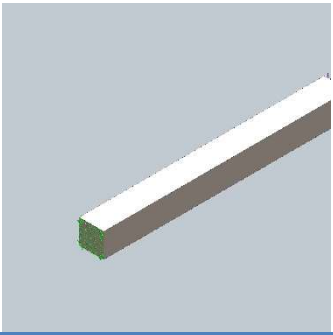


Información de modelo



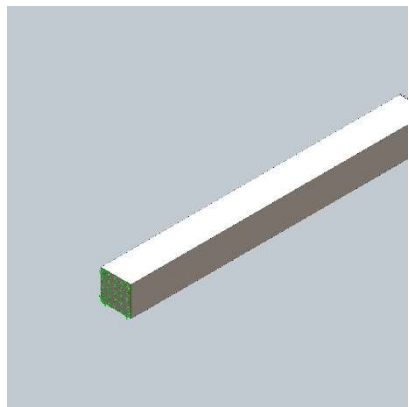
Nombre del modelo: VOLADIZO
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Saliente-Extruir1 	Sólido	Masa:77,0785 kg Volumen:0,0100102 m ³ Densidad:7.700 kg/m ³ Peso:755,37 N	G:\Mi unidad\00 SWO\PRO ESPECIAL\551 DRILL LINE\551 DRILL LINE FEA\VOLADIZO.SLDPRT Oct 7 11:08:16 2020

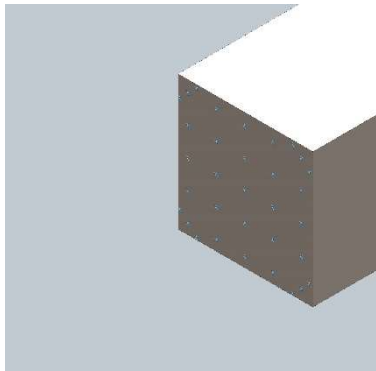


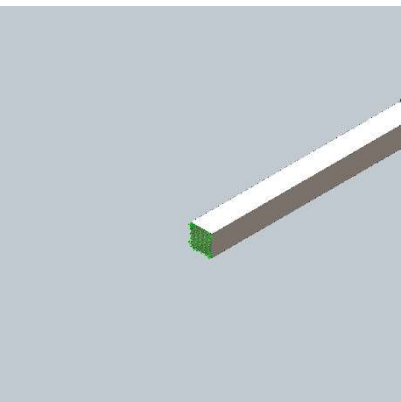
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: Acero aleado Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 620,422 N/mm² Límite de tracción: 723,826 N/mm²	Sólido 1 (Saliente-Extruir1)(VOLADIZO)



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s), 1 plano(s) Referencia: Planta Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---; ---; -3.000 N

Información de malla

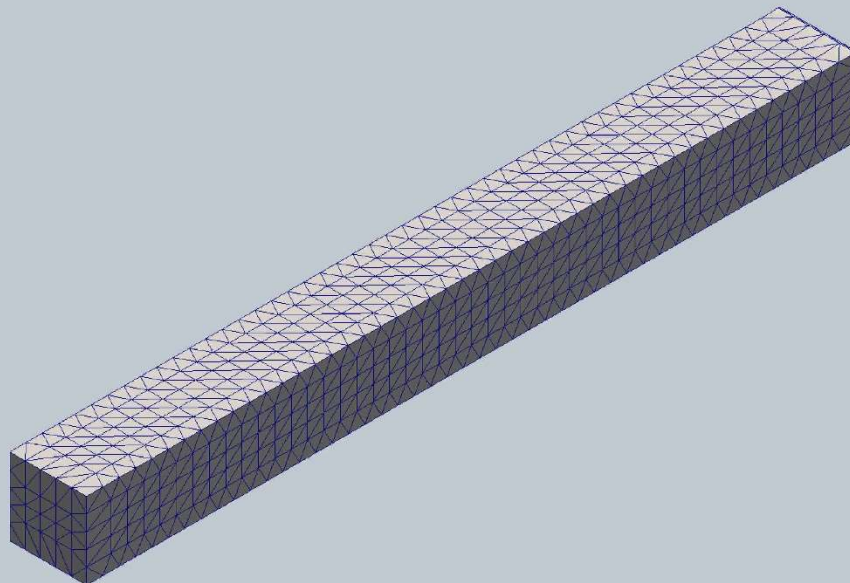
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño de elementos	21,555 mm
Tolerancia	1,07775 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	12169
Número total de elementos	7616
Cociente máximo de aspecto	12,307
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,6
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,0525
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:01
Nombre de computadora:	



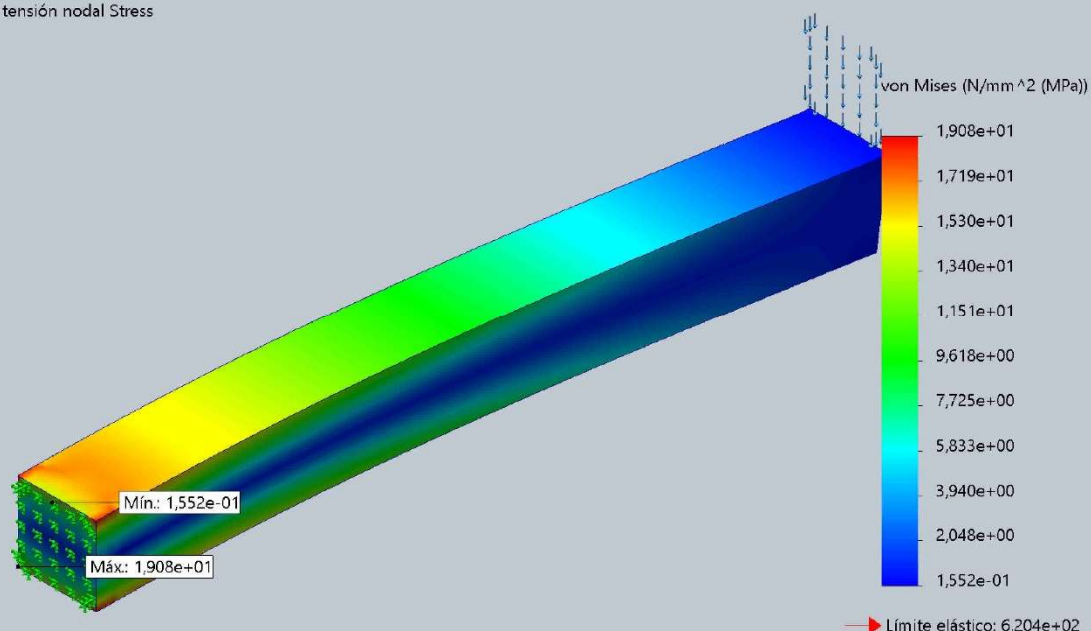
Nombre del modelo: VOLADIZO
Nombre de estudio: Estudio 2(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Stress	VON: Tensión de von Mises	1,552e-01N/mm ² (MPa) Nodo: 6544	1,908e+01N/mm ² (MPa) Nodo: 6

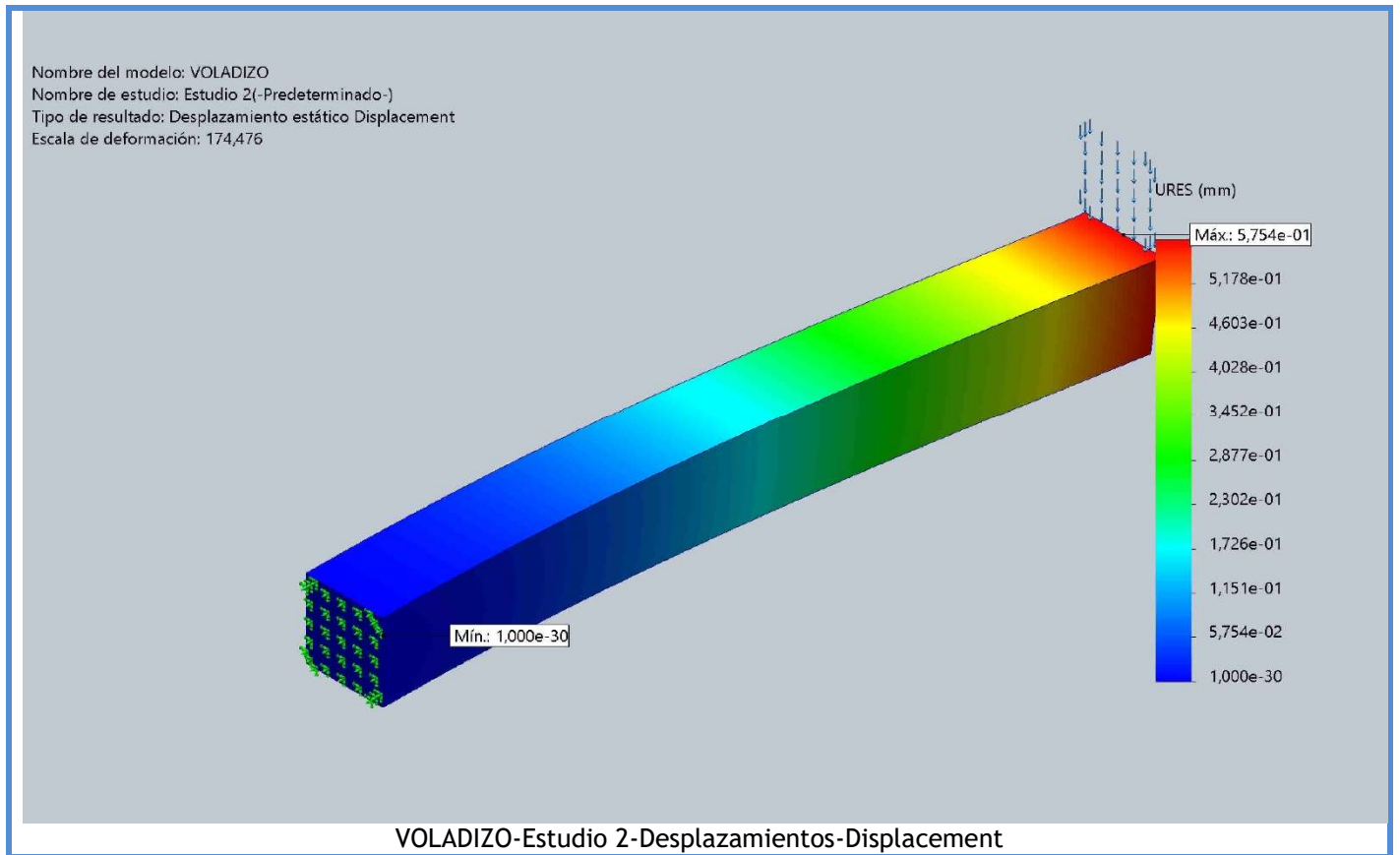
Nombre del modelo: VOLADIZO
Nombre de estudio: Estudio 2(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Stress
Escala de deformación: 174,476



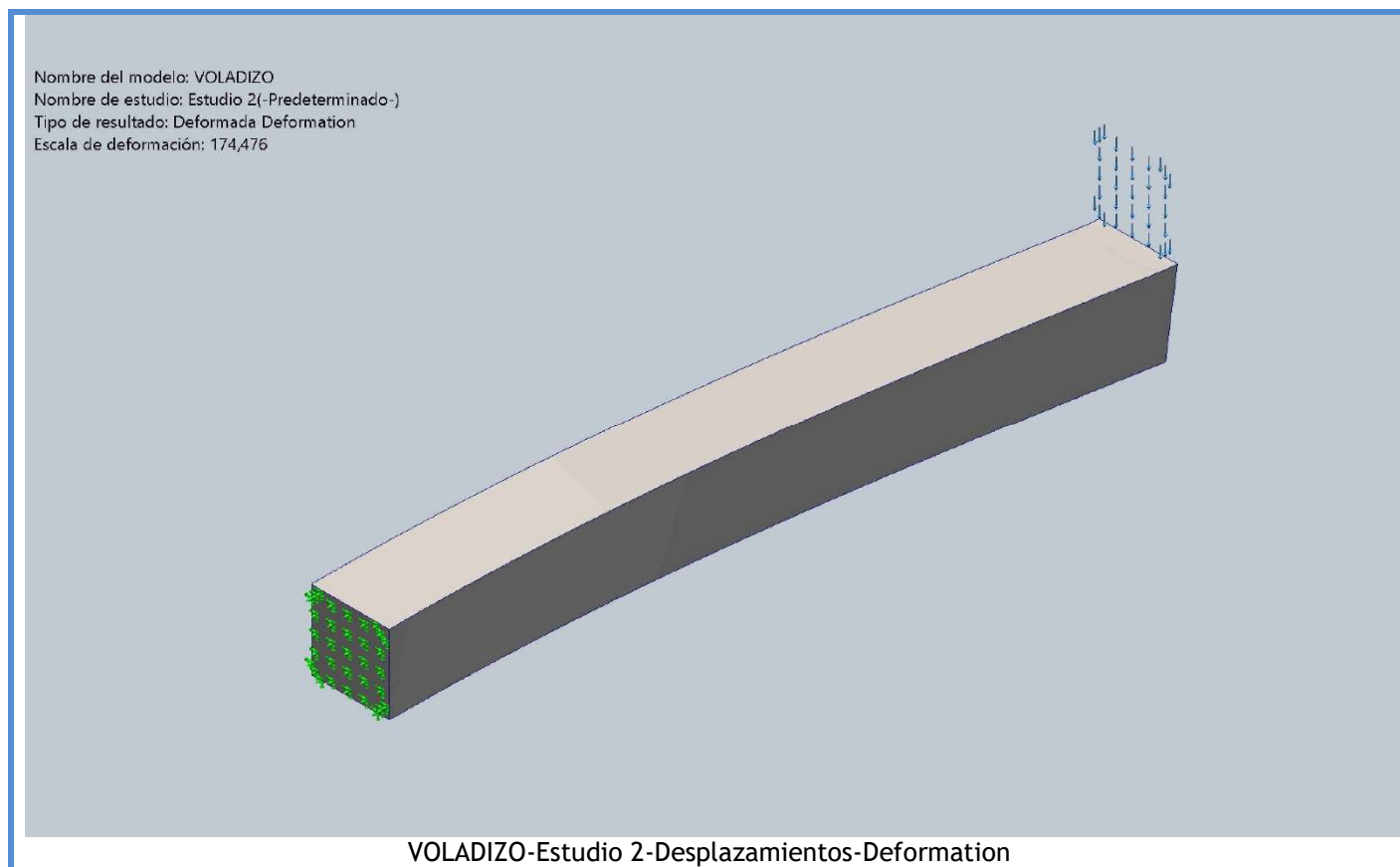
VOLADIZO-Estudio 2-Tensiones-Stress

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Displacement	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00mm Nodo: 1	5,754e-01mm Nodo: 10103

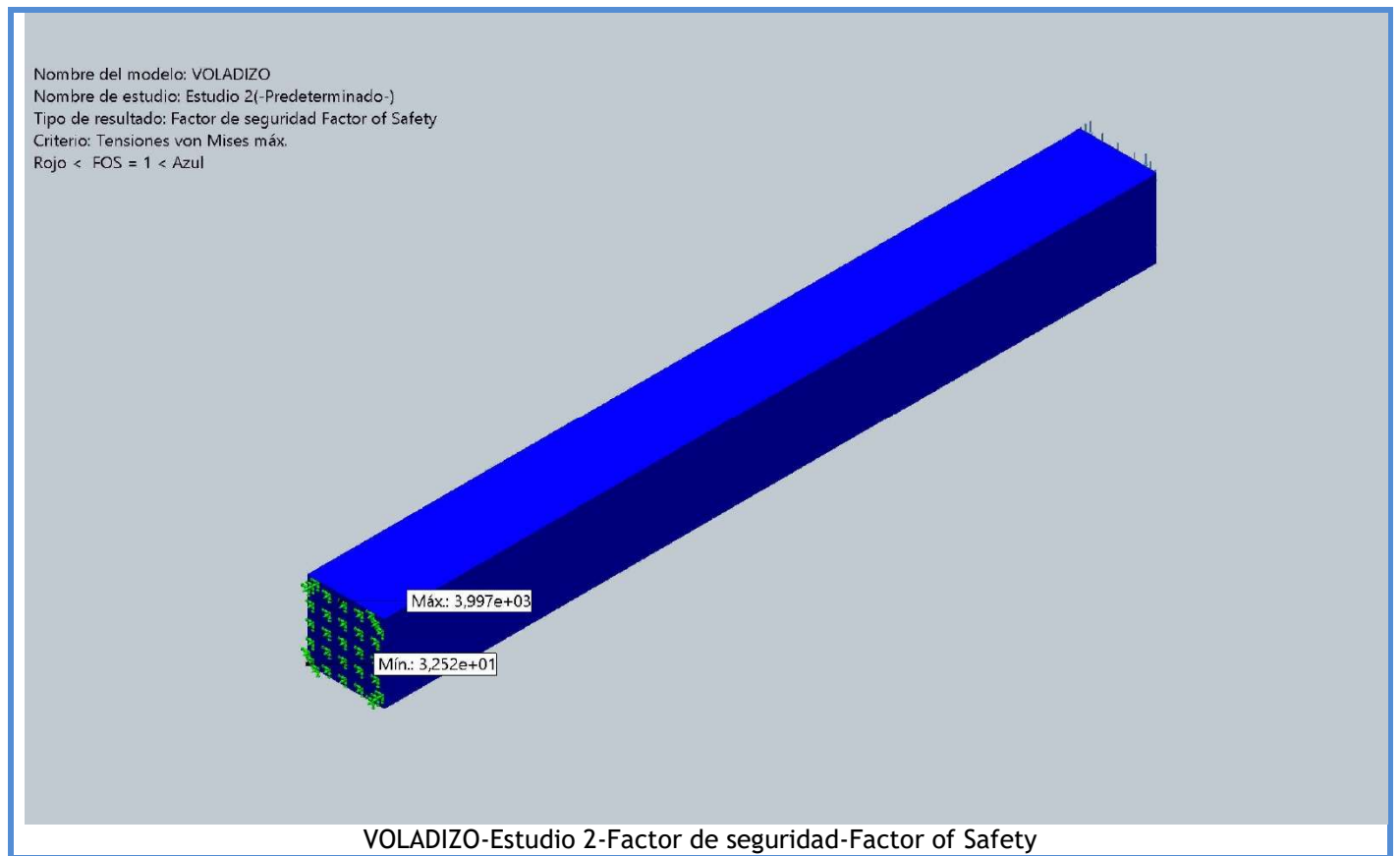




Nombre	Tipo
Deformation	Deformada

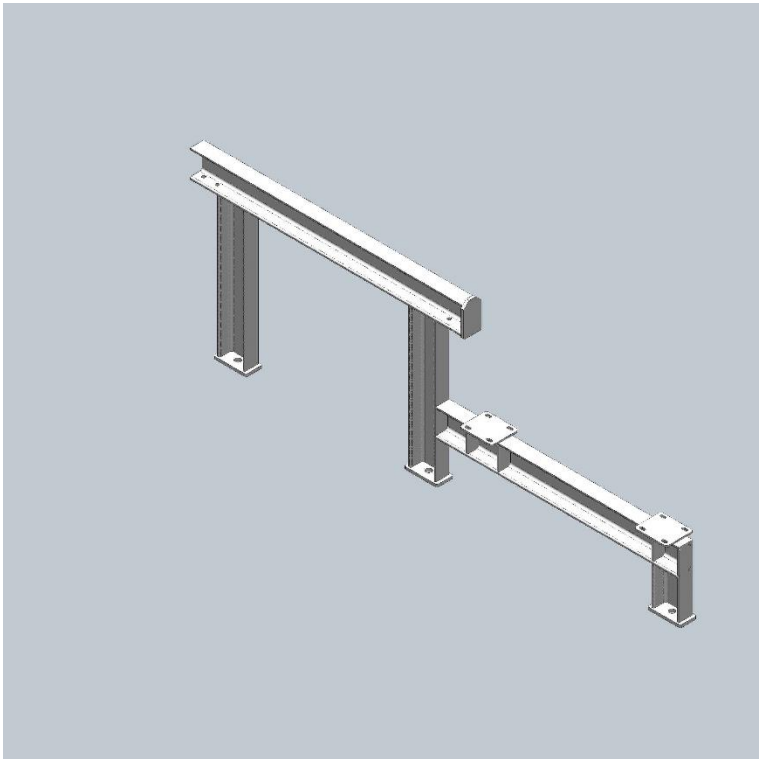


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor of Safety	Tensión de von Mises máx.	3,252e+01 Nodo: 6	3,997e+03 Nodo: 6544



Conclusión





Descripción
No hay datos

Simulación de 551-02-00 E MESA 00-2

Fecha: lunes, 5 de octubre de 2020
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: SimulationXpress Study
Tipo de análisis: Análisis estático

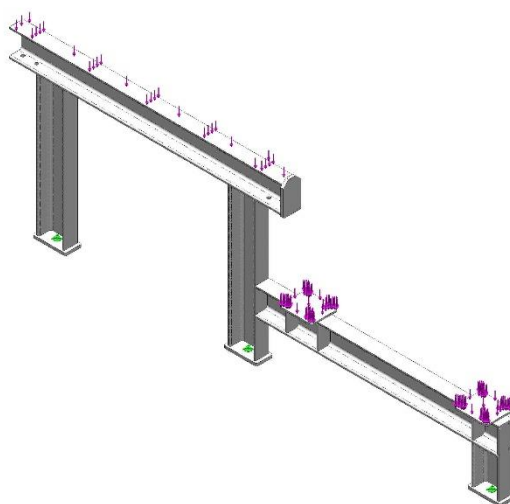
Tabla de contenidos

Descripción.....	1
Suposiciones	2
Información de modelo.....	2
Propiedades de material	3
Cargas y sujeciones	4
Información de malla	5
Resultados del estudio	7
Conclusión.....	9



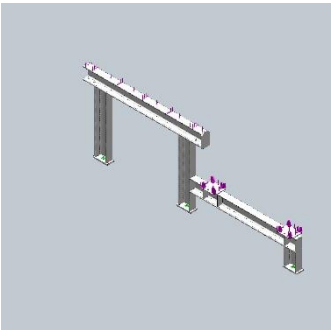
Suposiciones

Información de modelo



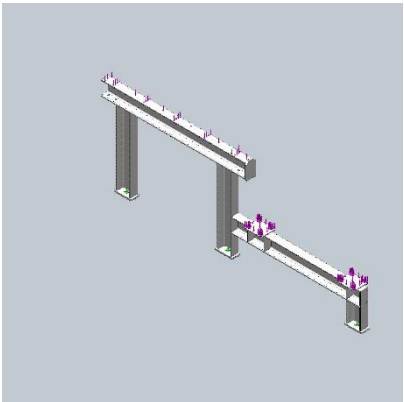
Nombre del modelo: 551-02-00 E MESA 00-2
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Combinar1 	Sólido	Masa:36,6776 kg Volumen:0,00467231 m ³ Densidad:7.850 kg/m ³ Peso:359,441 N	G:\Mi unidad\00 SWO\PRO ESPECIAL\551 DRILL LINE\551 DRILL LINE FEA\551-02-00 E MESA 00-2.SLDPRT Aug 6 21:07:25 2020

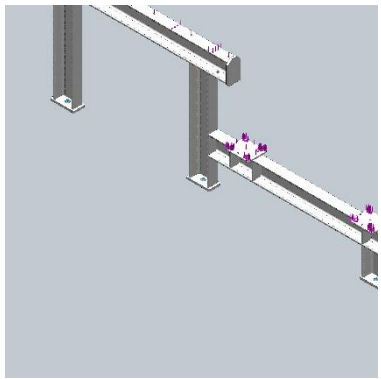


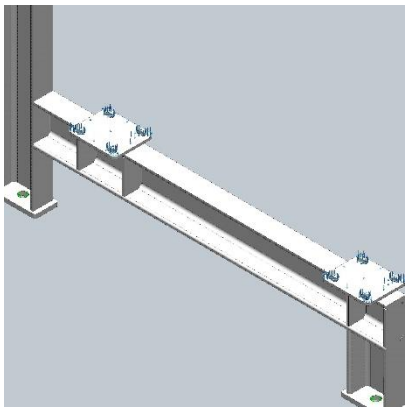
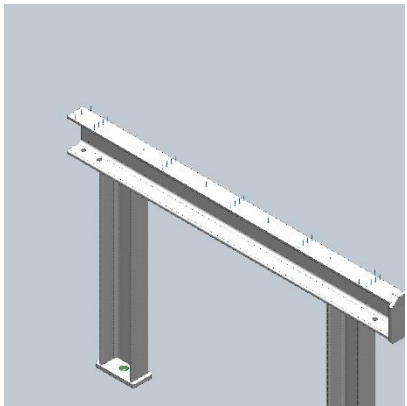
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: ASTM A36 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 250 N/mm² Límite de tracción: 400 N/mm²	Sólido 1(Combinar1)(551-02-00 E MESA 00-2)



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		Entidades: 3 cara(s) Tipo: Geometría fija

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 7.000 N
Fuerza-2		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 3.040 N



Información de malla

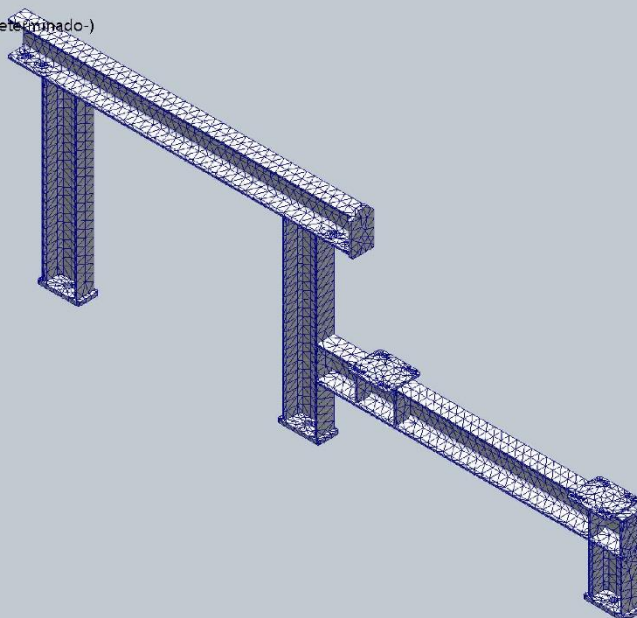
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño de elementos	22,5334 mm
Tolerancia	1,12667 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

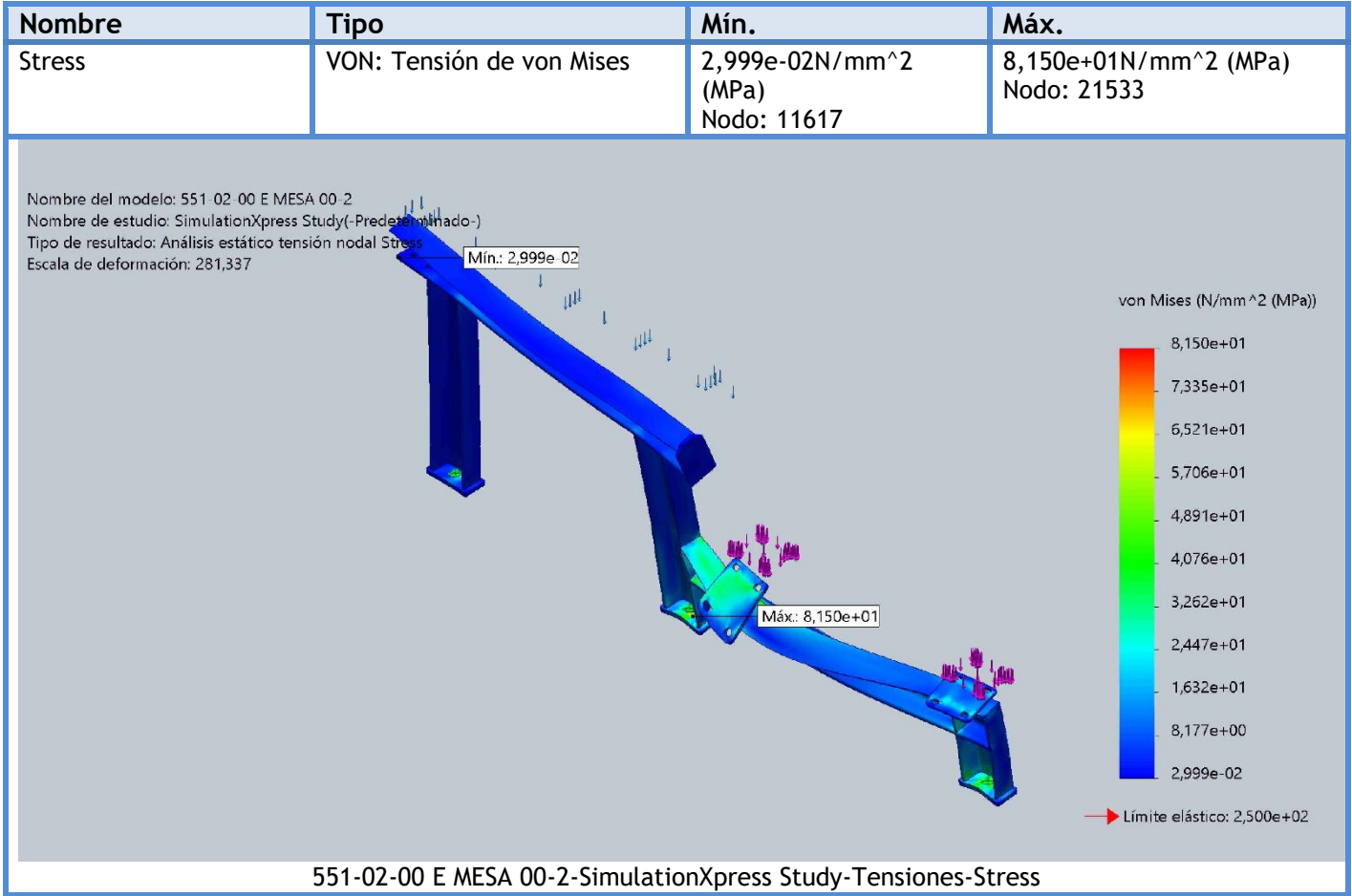
Número total de nodos	21677
Número total de elementos	10277
Cociente máximo de aspecto	20,075
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	42,5
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,195
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	



Nombre del modelo: 551-02-00 E MESA 00-2
Nombre de estudio: SimulationXpress Study(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



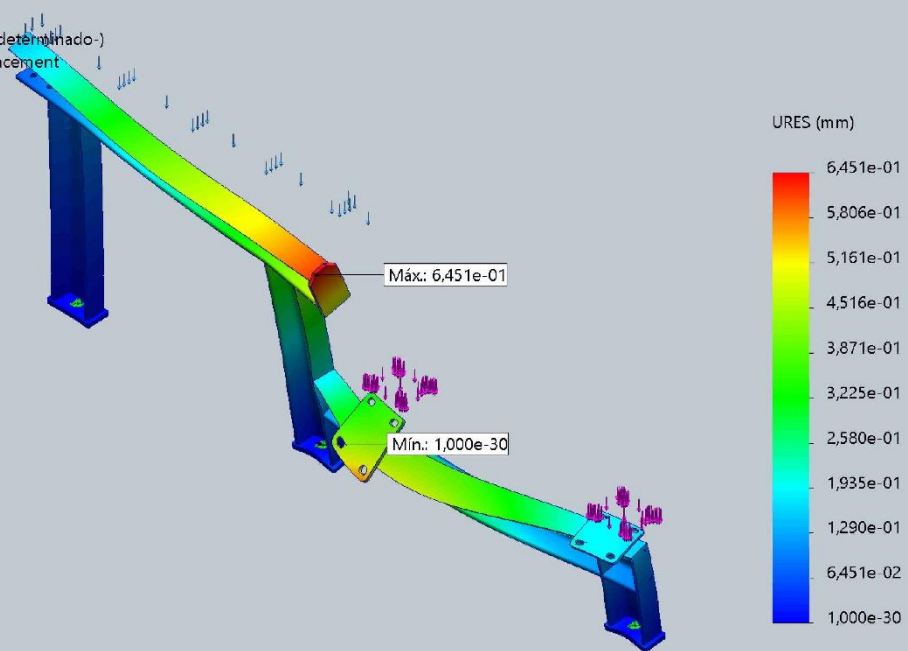
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Displacement	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00mm Nodo: 1	6,451e-01mm Nodo: 3416



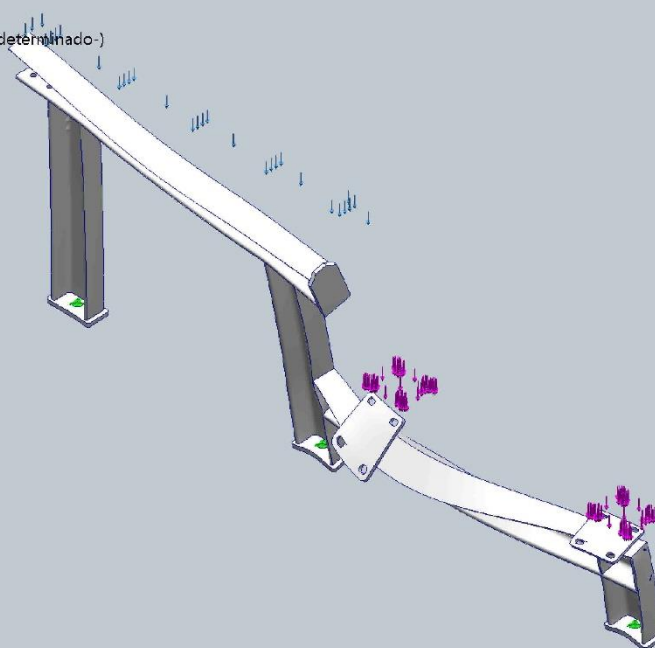
Nombre del modelo: 551-02-00 E MESA 00-2
 Nombre de estudio: SimulationXpress Study(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Displacement
 Escala de deformación: 281,337



551-02-00 E MESA 00-2-SimulationXpress Study-Desplazamientos-Displacement

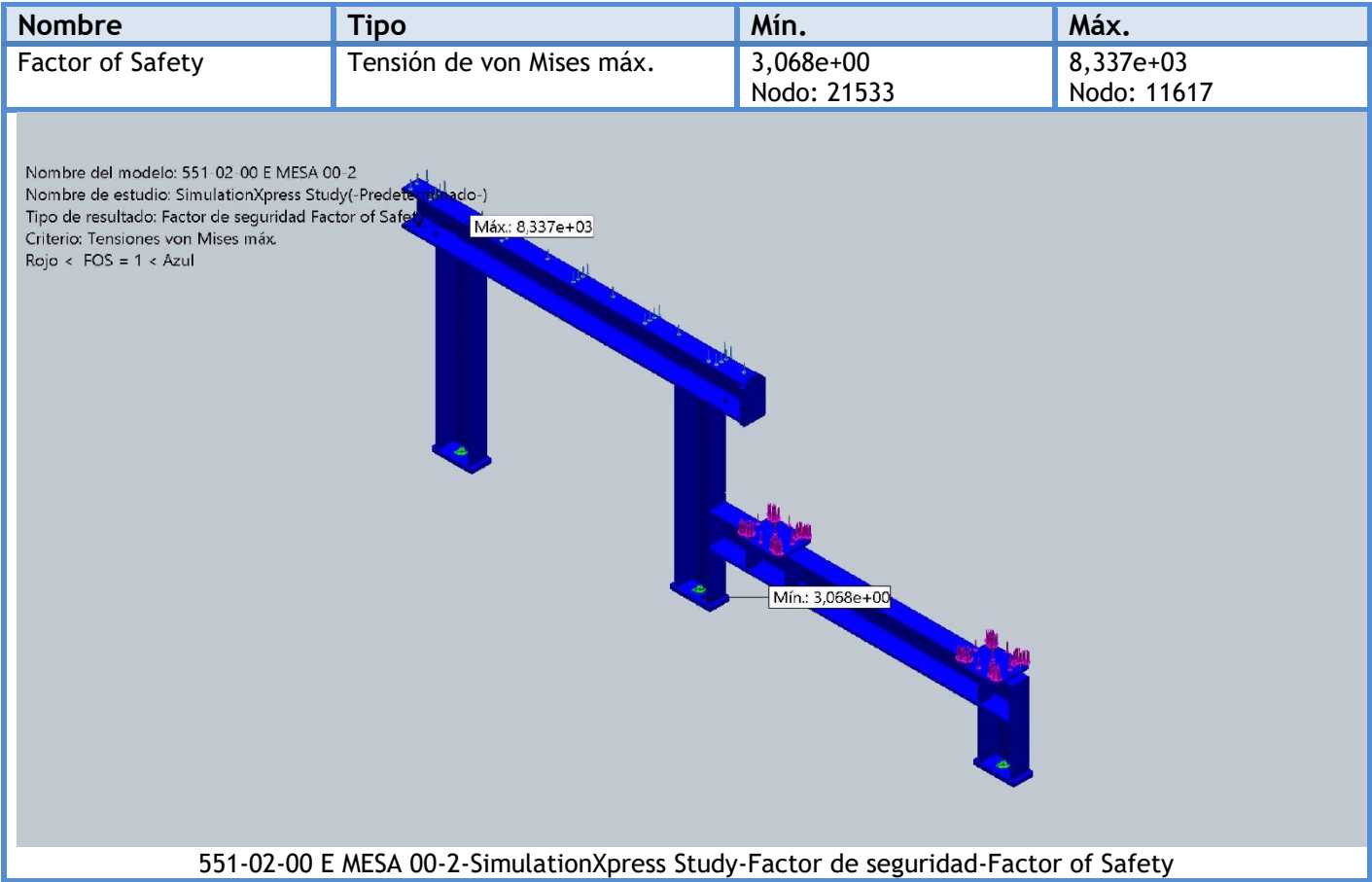
Nombre	Tipo
Deformation	Deformada

Nombre del modelo: 551-02-00 E MESA 00-2
 Nombre de estudio: SimulationXpress Study(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformada Deformation
 Escala de deformación: 281,337



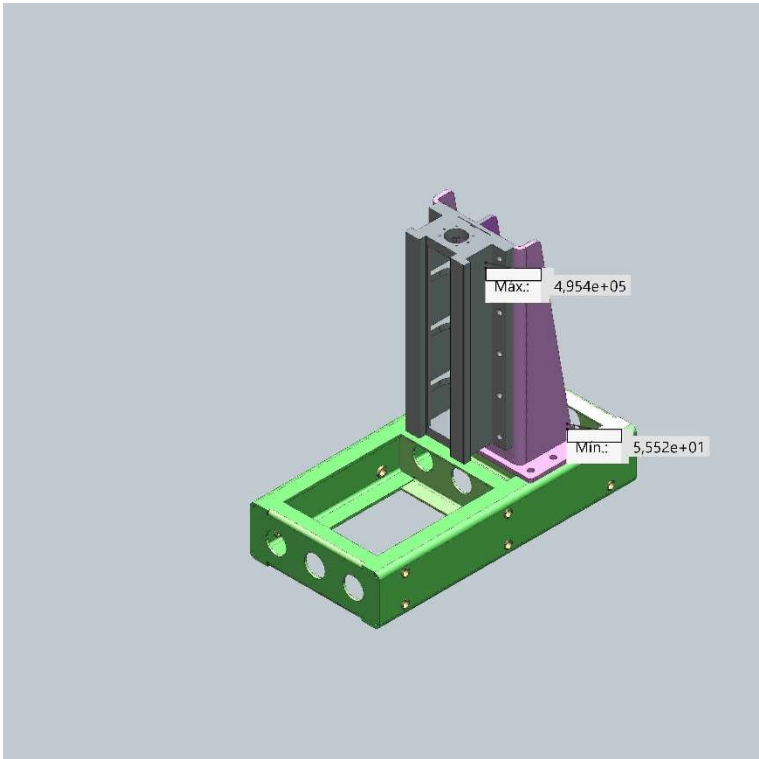
551-02-00 E MESA 00-2-SimulationXpress Study-Desplazamientos-Deformation





Conclusión





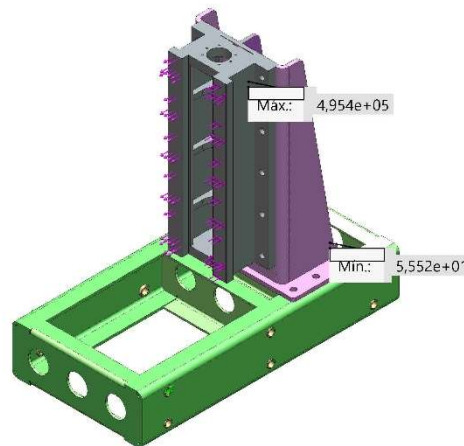
Descripción
Ensamble cabezal movil

Simulación de 551-00-01 ENSAMBLE MOVIL CABEZAL

Fecha: miércoles, 7 de octubre de 2020
Diseñador: Javier Wong
Nombre de estudio: SimulationXpress Study
Tipo de análisis: Análisis estático

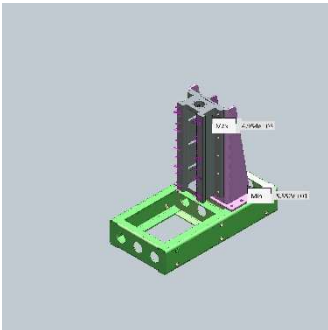
Tabla de contenidos	
Descripción.....	1
Suposiciones	2
Información de modelo.....	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	4
Información de malla	5
Resultados del estudio	7
Conclusión.....	10

Información de modelo



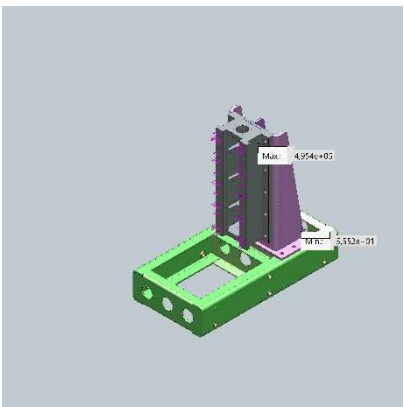
Nombre del modelo: 551-00-01 ENSAMBLE MOVIL CABEZAL
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

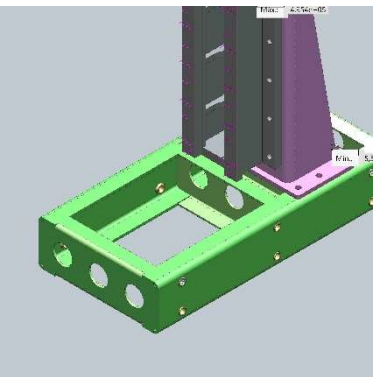
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Combinar1 	Sólido	Masa:223,638 kg Volumen:0,028489 m ³ Densidad:7.850 kg/m ³ Peso:2.191,66 N	G:\Mi unidad\00 SWO\PRO ESPECIAL\551 DRILL LINE\551 DRILL LINE FEA\551-00-01 ENSAMBLE MOVIL CABEZAL.SLDPR T Aug 6 22:14:47 2020



Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: ASTM A36 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 250 N/mm² Límite de tracción: 400 N/mm²	Sólido 1(Combinar1)(551-00-01 ENSAMBLE MOVIL CABEZAL)

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-2		Entidades: 4 cara(s) Tipo: Geometría fija

<L_LdName/>	<Label_LoadImage/>	<Label_LoadDetails/>
<LoadName/>	<Image_Load/>	<Details_Load/>



Información de malla

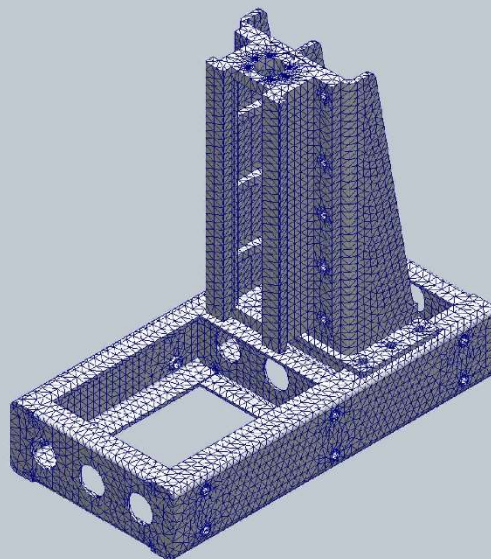
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño de elementos	20,5891 mm
Tolerancia	1,02945 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

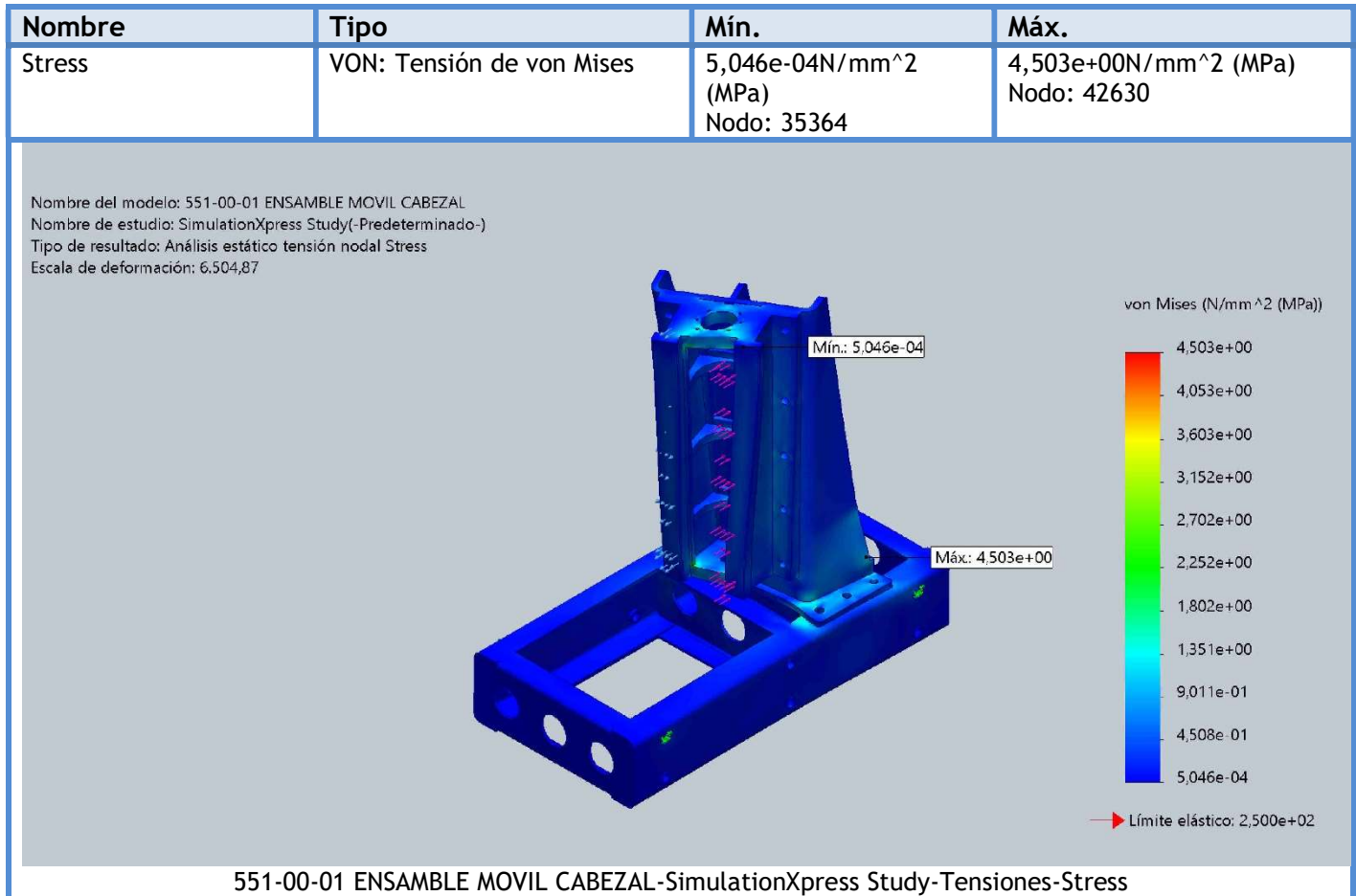
Número total de nodos	91906
Número total de elementos	48061
Cociente máximo de aspecto	20,082
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	76,2
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,227
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:18
Nombre de computadora:	



Nombre del modelo: 551-00-01 ENSAMBLE MOVIL CABEZAL
Nombre de estudio: SimulationXpress Study(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida

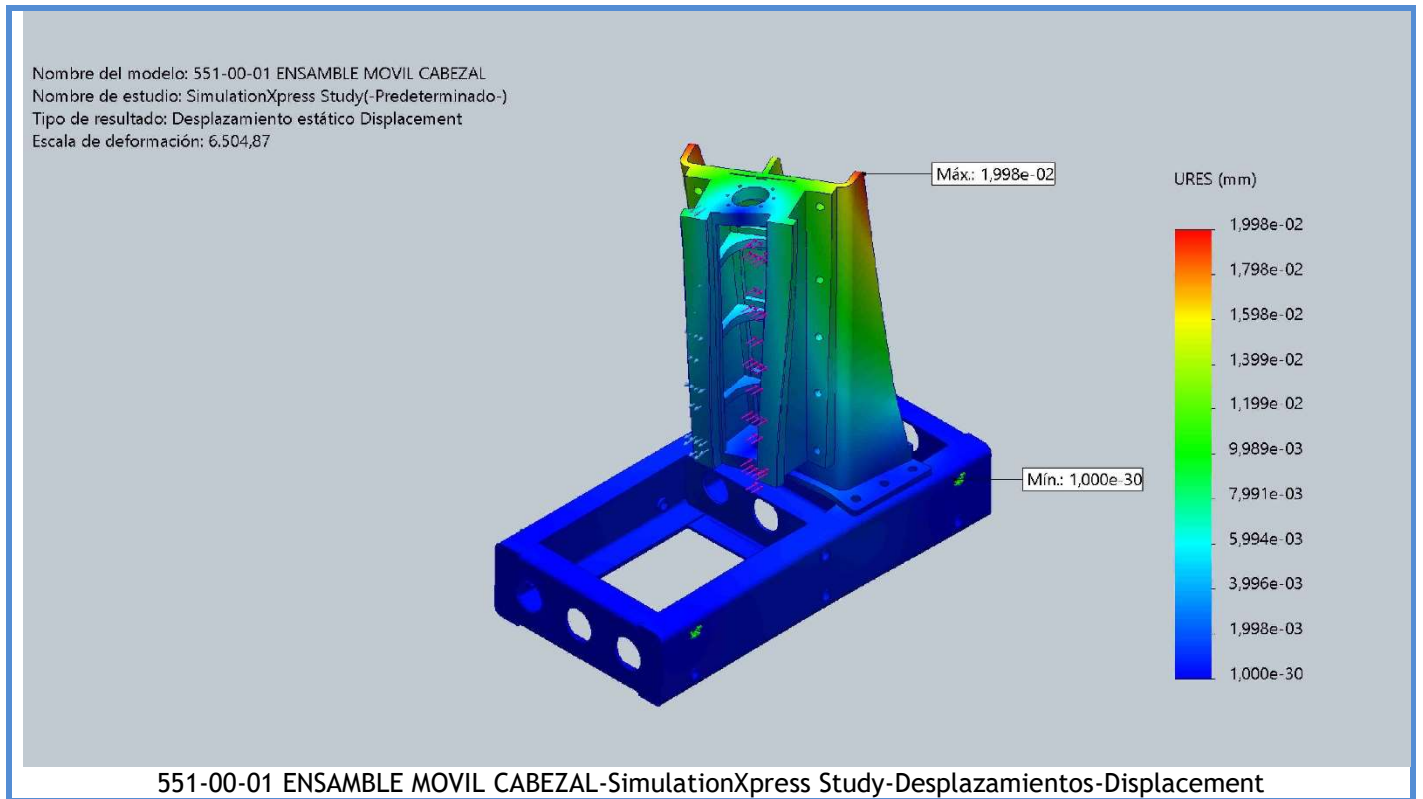


Resultados del estudio



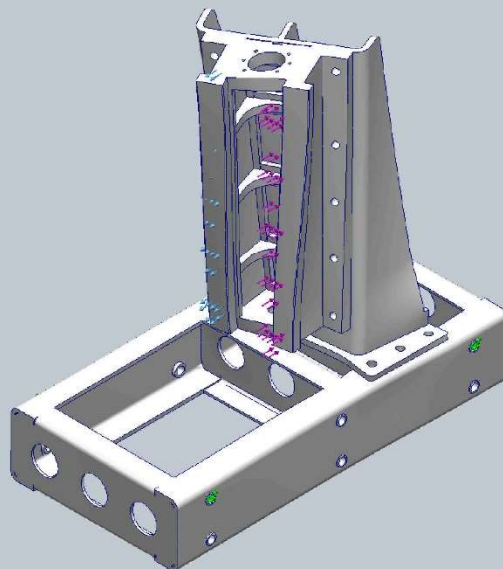
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Displacement	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00mm Nodo: 1254	1,998e-02mm Nodo: 44180





Nombre	Tipo
Deformation	Deformada

Nombre del modelo: 551-00-01 ENSAMBLE MOVIL CABEZAL
Nombre de estudio: SimulationXpress Study(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Deformada Deformation
Escala de deformación: 6.504,87

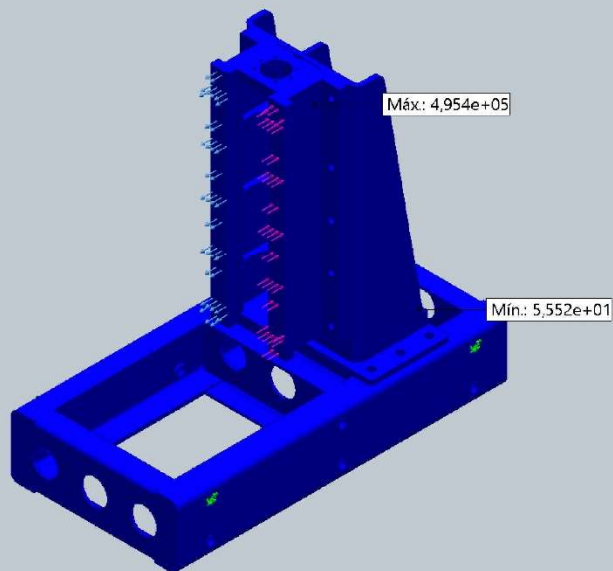


551-00-01 ENSAMBLE MOVIL CABEZAL-SimulationXpress Study-Desplazamientos-Deformation

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor of Safety	Tensión de von Mises máx.	5,552e+01 Nodo: 42630	4,954e+05 Nodo: 35364



Nombre del modelo: 551-00-01 ENSAMBLE MOVIL CABEZAL
Nombre de estudio: SimulationXpress Study(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor of Safety
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Rojo < FOS = 1 < Azul



551-00-01 ENSAMBLE MOVIL CABEZAL-SimulationXpress Study-Factor de seguridad-Factor of Safety

Conclusión

