

INSTITUTO TECNOLOGICO NACIONAL DE TUXTLA GUTIERREZ

DEPARTAMENTO DE METAL MECANICA

INFORME TECNICO DE RESIDENCA PROFESIONAL

PROYECTO:

**DESARROLLO DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO APLICADO AL DISEÑO DE
ESFUERZOS EN UN SISTEMA DE TRANSMISION DE POTENCIA PARA PROCESAR
POLIETILENO EN ROTACION BIAxIAL**

PRESENTA:

WILMAR ALEXIS DOMINGUEZ HERNANDEZ

CARRERA:

INGENIERIA MECANICA

ASESOR INTERNO:

M.C. SAUL DE JESUS MOLINA DOMINGUEZ

ASESOR EXTERNO:

ING. JAVIER VEGA CAMPOS

PERIODO:

ENERO – JUNIO 2016

BERRIOZABAL, CHIAPAS A 10 DE JUNIO DEL 2016



ROTOINNOVACION SA DE CV

INFORME TECNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

C. WILMAR ALEXIS DOMINGUEZ HERNANDEZ



VO. BO



VO. BO

AGRADECIMIENTOS

Primero que nada quiero agradecer a Dios el privilegio de la vida, y el permitirme concluir con mis estudios, por darme las fuerzas para seguir adelante a pesar de los momentos de dificultad, su fortaleza en mi ha logrado sacarme adelante frente a toda adversidad.

Quiero agradecer a mis Padres: Mario Domínguez Sánchez y María Luz Hernández Jiménez porque han depositado en mi vida la enseñanza más grande que hubiesen podido dar, su amor y su entrega abnegada con mi persona es algo que jamás podría pagarles, mi anhelo es estarle siempre agradecido honrándoles y respetándoles.

Aprovecho este espacio también para agradecer a mis 11 hermanos, que siempre han estado ahí para apoyarme y darme ánimos, para corregirme, gracias a Dios por mis hermanos que siempre son un gran tesoro de amor y valentía.

Por ultimo expreso mi agradecimiento y respeto a mis maestros de la universidad sin duda alguna llevo sus enseñanzas guardadas en mi mente. Especialmente al M.C. Saúl de Jesús Molina Domínguez, quien me asesoro durante este informe y desarrollo del proyecto, muchas gracias.

RESUMEN EJECUTIVO

El informe técnico de mi residencia profesional que lleva por tema:

DESARROLLO DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO APLICADO AL DISEÑO DE ESFUERZOS EN UN SISTEMA DE TRANSMISION DE POTENCIA PARA PROCESAR POLIETILENO EN ROTACION BIAxIAL

Es un modelo de preparación académica e ingenieril que pretende dar a conocer las experiencias vividas en la empresa Rotoinnovacion, que fue donde realice mi proyecto de residencia, es interesante puntualizar que esta empresa se dedica principalmente al desarrollo de la fabricación de Tinacos.

Básicamente el problema a resolver consiste en desarrollar el método del elemento finito a la transmisión de potencia.

Esto es lo que aquí establecemos; este método como una potente herramienta para establecer los parámetros de diseños más sofisticados.

Es de suma importancia mencionar que haremos uso de una máquina de rotación biaxial, y que usamos el modelo más apropiado para desarrollar el método del elemento finito.

CONTENIDO

1	INTRODUCCION.....	1
2	JUSTIFICACION.....	3
3	OBJETIVOS	5
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	5
3.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	5
4	DETERMINACION DEL AREA DE TRABAJO	6
4.1	GENERALIDADES DE LA PLANTA DE ROTOINNOVACION	6
4.1.1	Información de contacto	7
4.1.2	Rotoinnovación ofrece los siguientes productos	8
4.2	CARACTERISTICAS DE ROTOINNOVACION.....	8
4.3	PRODUCTOS	8
4.4	TECNOLOGÍA.....	13
4.5	OFICINA DE TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO (OTC).....	14
4.5.1	Políticas de la OTC.....	14
4.5.2	Servicios de la OTC:	15
4.5.3	Como nace la OTC.....	16
4.5.4	Estructura Organizacional:.....	17
5	PROBLEMA A RESOLVER	19
6	ALCANCES Y LIMITACIONES	21
7	FUNDAMENTO TEORICO	22
7.1	¿QUE ES EL ROTOMOLDEO?	22
7.2	HISTORIA DEL ROTOMOLDEO	22
7.3	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ROTOMOLDEO.....	24
7.4	TIPOS DE MAQUINAS DE ROTOMOLDEO	25
7.4.1	Flama Abierta	25
7.4.2	Horno Shuttle o lineal	26
7.4.3	Basculante Rock and Roll	27
7.4.4	Carrousel	28
7.5	METODO DEL ELEMENTO FINITO (MEF)	28

7.5.1	¿Qué es el método del elemento finito?	29
7.6	SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA	32
7.6.1	¿Qué es un sistema de transmisión de potencia?	32
7.6.2	Tipos de transmisión de potencia	33
7.6.2.1	Transmisión por fricción.....	34
7.6.2.2	Transmisión por correas.....	34
7.6.2.3	Transmisión por ruedas dentadas.....	35
7.6.2.4	Transmisión por cadenas	35
7.6.2.5	Transmisión por cadenas dentadas.....	36
7.6.2.6	Relaciones importantes de las transmisiones.....	37
7.7	CONCEPTO DE ESFUERZO.....	38
7.7.1	Repaso general de mecánica de materiales y estática	38
7.7.1.1	Concepto de esfuerzo.....	41
7.7.2	Tipos de esfuerzos	44
7.7.2.1	Esfuerzos uniformemente distribuidos	44
7.7.2.2	Esfuerzos normales para vigas en flexión	45
7.7.2.3	Esfuerzos cortantes para vigas en flexión	47
7.7.2.4	Torsión.....	51
7.7.2.5	Esfuerzos de von mises (teoría de la energía de distorsión (ted)).....	54
8	METODOLOGIA DE PROYECTO	55
8.1	DOCUMENTACIÓN DEL PROYECTO.....	56
8.2	BÚSQUEDA DEL FUNDAMENTO TEÓRICO DEL PROYECTO.....	56
8.3	¿QUÉ SE PRETENDE CON EL ANÁLISIS?	56
8.4	¿CÓMO VA A SER LA GEOMETRÍA QUE VAMOS A ANALIZAR?	57
8.5	¿QUÉ CONDICIONES DE CONTORNO IMPONEMOS SOBRE EL SISTEMA A ESTUDIAR?	66
8.5.1	detalles del programa Ansys 14.0 para el sistema a estudiar	66
8.5.2	Análisis de los elementos físicos que generan los resultados para simular	71
	Deformación total: La deformación total se ve en la cruz, como lo vemos en las figura 82. La deformación máxima es 1879.7 mm	78
8.6	¿QUÉ RESULTADOS ESPERAMOS OBTENER?	81
9	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	87

1 INTRODUCCION

La producción es el factor más importante para el desarrollo integral de toda empresa, que requiere que su productividad sea efectiva y eficaz, los márgenes de calidad exigen que para la elaboración de cualquier producto se cuente totalmente con los cuatro recursos normalizados en cuanto a organización se refiere, a saber:

1. – Recursos humanos
2. – Recursos financieros
3. – Recursos materiales
4. – Recursos técnicos o tecnológicos

Estas demandas son los elementos que se requieren para que una empresa pueda lograr sus objetivos. Toda organización empresarial es el conjunto de recursos humanos, económicos, materiales y técnicos, para el crecimiento de una actividad productora de bienes y servicios que satisfacen las necesidades de cierta comunidad.

Es de interés particular en la redacción de este documento enfocarse al cuarto recurso, llamado: Recursos técnicos o tecnológicos, porque este punto revela aquellos aspectos de interés ingenieril, además de que se cubrirán temas académicos, con el propósito fundamental por el cual se elabora este proyecto educacional y formativo.

La Planta Rotoinnovación S.A. de C. V. es una empresa joven pero exitosa en el mercado laboral que procesa polietileno para la fabricación de productos plásticos, siendo el producto de mayor demanda los tinacos, mediante el uso del proceso del rotomoldeo biaxial.

En el siguiente trabajo se hace referencia a la importancia que en Rotoinnovación se le da a la constante implementación de mejoras, y actualizaciones a los equipos con los que se cuenta. Con el objetivo racional de mejorar los productos y sobre todo cumplir con el compromiso para el medio ambiente, por eso creamos productos y servicios que cuidan y ahorran energía para nuestro planeta

La empresa tiene cinco máquinas activas, a las cuales por medio de la inspección, se le han hecho las observaciones pertinentes para la elaboración de una sexta máquina.

El análisis de esto es permitirá diseñar un sistema de rotación biaxial, para el proceso de polietileno en la fabricación de tinacos.

La finalidad es la de implementar una máquina de rotomoldeo, con las mejoras (que se plasmaran más adelante en este documento) señaladas para reducir costos y mejorar la productividad de los tinacos, así como la estructura misma de la maquinaria.

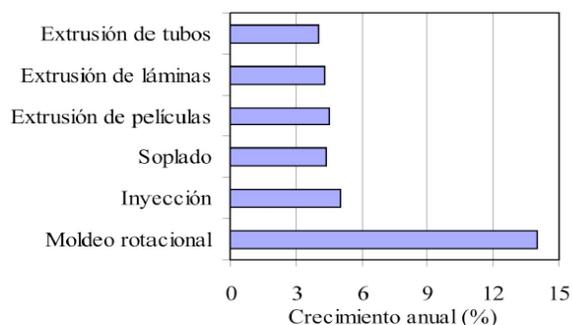
2 JUSTIFICACION

Existen en la industria de los plásticos muchos métodos para el procesado del polietileno entre algunos podemos mencionar [1]:

- Moldeado por prensa
- Moldeado por prensado en inyección
- Inyección
- Soplado de cuerpos huecos
- Termoformado
- Calandrado
- Extrusión
- Fundición
- Rotomoldeo

Para el rotomoldeo a diferencia de lo que ocurre con las otras técnicas de transformación descritas anteriormente, el calentamiento y enfriamiento del plástico tiene lugar en el interior del molde en el que no se le aplica presión.

El crecimiento del rotomoldeo frente a otras técnicas es demasiado ponderado como lo muestra la gráfica 1.



Gráfica 1. "Crecimiento anual promedio del moldeo rotacional frente a otras técnicas de transformación para los años 1996-2000" **TECNOLOGIA DE POLIMEROS M. BELTRAN Y A. MARCILLA**

Por lo mencionado anteriormente, es posible resaltar la importancia del rotomoldeo y aunado a ello diseñar un sistema de "Rotomoldeo Biaxial".

Este proyecto se validara con la respectiva teoría, aplicando métodos de CAD, analizando el método del elemento finito aplicado al diseño de esfuerzos en la transmisión de potencia en la máquina de rotación biaxial.

Existen máquinas de rotación biaxial dentro de la planta, pero estas están operando de una manera ruda, sin que tengan las optimizaciones de la dimensiones, así como los torques necesarios, para que este en un correcto funcionamiento.

Pero con este proyecto lo que queremos lograr minimizar el par necesario para producir el balanceo de tal forma que se aseguren los esfuerzos y reducir las dimensiones de la estructura y minimizar la potencia necesaria además de usar las relaciones de transmisión adecuadas para la operación de la máquina. Asegurando una mejora en la producción y en el manejo de la máquina para el operador, además de ser más analíticos para el mantenimiento de la misma.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar el moderno método del elemento finito en una máquina de rotación biaxial que procesa polietileno para la fabricación de tinacos.

Este método de diseño nos mostrara los posibles errores en la construcción de la misma, que nos indicara lo que se puede corregir y emplear para mejorarla.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1.- Investigación y revisión bibliográfica referente a los sistemas de rotación biaxial
- 2.- Diseños de modelos 3D, usando un paquete CAD
- 3.- Análisis de esfuerzos por medio del elemento finito del modelo 3D
- 4.-Diseño de planos de montaje y memorias de cálculo
- 5.- Reporte final

4 DETERMINACION DEL AREA DE TRABAJO

4.1 GENERALIDADES DE LA PLANTA DE ROTOINNOVACION [2]

Rotoinnovación es una de las 11 organizaciones finalistas de la XVII edición del premio nacional de tecnología e innovación (PNTI). Ser finalistas significa el máximo reconocimiento (Figura 1) empresarial de México.

Rotoinnovación es una compañía que está convencida de que las participantes de la XVII edición del PNTI son organizaciones que buscan mejorar su desempeño y que promueven valores. Sin duda alguna Rotoinnovación forma parte de esas organizaciones que participan activamente en hacer de México un mejor lugar para vivir.



Figura 1. SISTEMA DE CERTIFICACION

4.1.1 Información de contacto [3]

- Dirección: 9A. Oriente sur no. s/n (ver Figura 2)
- Código postal y municipio: 29130 Berriozábal (Chiapas)
- Colonia: Linda vista
- ID:425505
- Nombre Unidad: Rotoinnovacion S.A. De C.V.
- Razón social: Rotoinnovación S.A. De C.V.
- Actividad económica: 326193 - Fabricación De Envases Y Contenedores De Plástico Para Embalaje Con Y Sin Reforzamiento
- Estrato Personal: 0 A 5 Personas
- Número de Teléfono:9612128834I: (961)6155333
- Sector: Industrias manufactureras
- Subsector: Industria del plástico y del hule
- Rama: Fabricación de productos de plástico
- Subrama: Fabricación de otros productos de plástico
- Clase: Fabricación de otros productos de plástico de uso industrial sin reforzamiento
- N° de empleados: 12
- Fecha de constitución: 12 de enero de 2011
- Categorías: Fabricación de otros productos de plástico

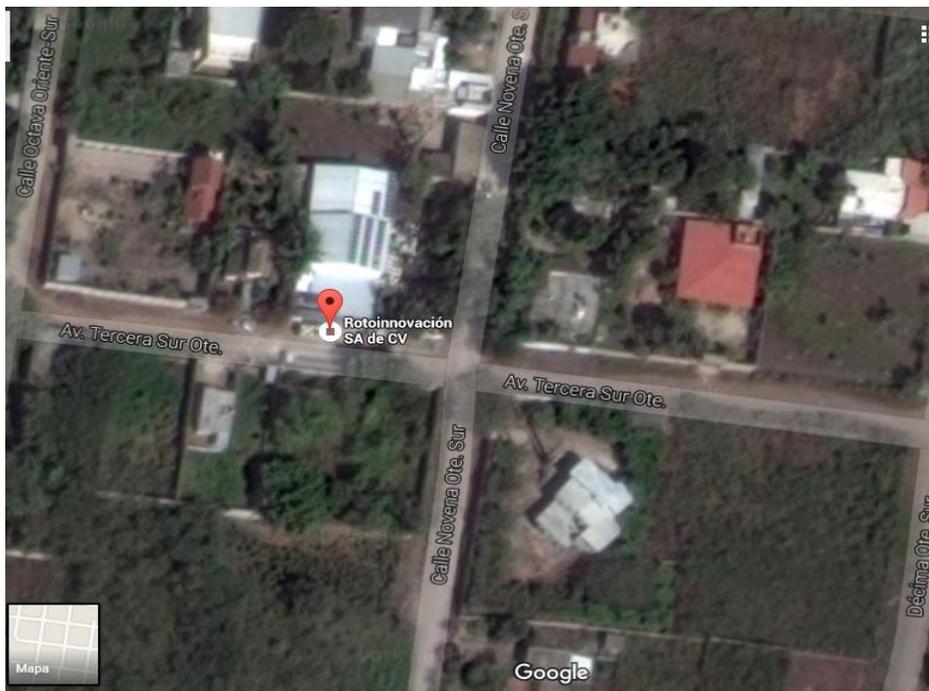


Figura 2. UBICACIÓN ACTUAL DE LA PLANTA DE ROTOINNOVACION

4.1.2 Rotoinnovación ofrece los siguientes productos [4]

Rotoinnovación es una empresa competente en el mercado que ofrece los siguientes productos (ver figura 3):

- Tinacos, cisternas, tanques BIOPLAS®.
- Plantas de tratamiento de aguas residuales con capacidad desde una casa habitación, hoteles, hospitales hasta sistemas municipales BIOPLAS®. patentado por Wetlands SA de CV.
- Servicios de oficina de transferencia de conocimiento (oficina certificada).
- Procesos ecológicos utilizando energía solar fotovoltaica, con calentamiento por microondas, resistencias eléctricas, radiación, aire caliente, e inducción magnética patentes hechas por Rotoinnovación SA de CV.
- Moldes de aleación de aluminio, patentes hechas por el instituto de materiales de la UANL y por Rotoinnovación SA de CV.



Figura 3. NUESTROS PRODUCTOS

4.2 CARACTERISTICAS DE ROTOINNOVACION

En Rotoinnovación se cuenta con tres ejes fundamentales en cuanto a satisfacción del servicio que se ofrece, a saber:

1. Productos (Tinacos y maquilas)
2. Tecnología
3. Oficina de Transferencia de Conocimiento (OTC)

4.3 PRODUCTOS

Tinaco para el almacenamiento de líquidos (Figura 4):

Realizado con la más alta tecnología en rotomoldeo, ofreciendo la mejor resistencia e higiene en productos de polietileno, nuestros beneficios nos respaldan! La marca BIOPLAS® es un sinónimo de innovación y calidad.



Figura 4. TINACO DE ALMACENAMIENTO DE LIQUIDOS

Sobre su fácil instalación:

- FLOTADOR Y VARIALLA DE ALUMINIO (Figura 5): Elaborado de una sola pieza con refuerzos que lo hacen más resistente. Cuenta con una tuerca metálica que asegura de mejor forma la varilla.

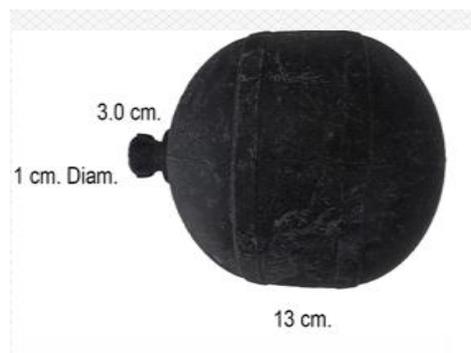


Figura 5. FLOTADOR DE TINACO

- JARRO DE AIRE (Figura 6): Incluye tapa de capuchón. Menor acumulación de sarro. No requiere de apriete con herramienta.



Figura 6. DIMENSIONES DEL JARRO DE AIRE

- VÁLVULA DE TANQUE (Figura 7): Empaque de alta resistencia con ajuste para altura de la varilla. Por su fácil instalación no requiere de apriete con herramienta.



Figura 7. VALVULA DE TANQUE

- TAPA DE CUATRO MANIJAS (Figura 8): Con un diámetro de 54cm. para broquel de tinaco. Cierre de tipo rosca, cierre de un sexto de vuelta, fácil instalación.

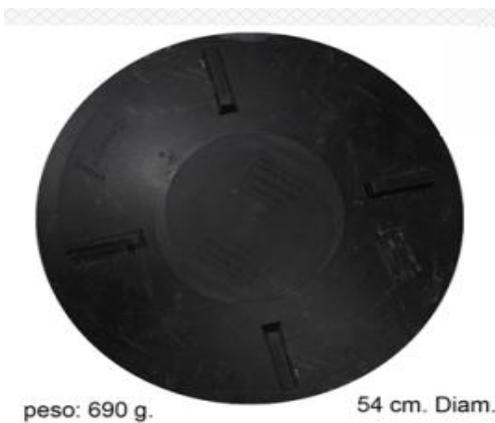


Figura 8: TAPA DE CUATRO MANIJAS

- BRIDA REFORZADA CON EMPAQUE DE ALTA RESISTENCIA (Figura 9): Empaque de alta resistencia. Fácil instalación. No requiere de apriete con herramienta.

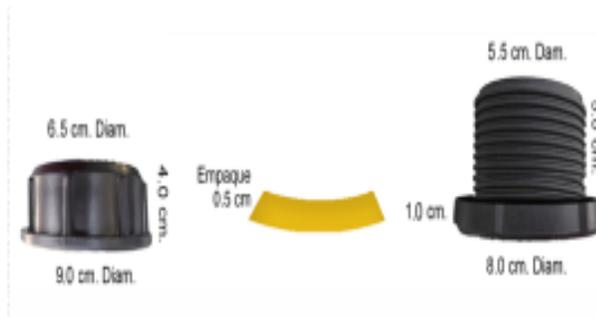


Figura 9. BRIDA CON EMPAQUE DE ALTA RESISTENCIA

- VÁLVULA MULTICONECTORA CON ENTRADA Y SALIDA (Figura 10): Multiconector para tubería de 1/2", 3/4" y 1". Menor acumulación de sarro. No requiere de apriete con herramienta.



Figura 10. VALVULA CONECTORA CON ENTRADA Y SALIDA

Maquila para lo cual también se trabaja en esta empresa:

Algunos de los sectores donde Rotoinnovación S.A. de C.V. da soluciones son:

- AUTOMOTRIZ (Figura 11): Depósitos de combustible, guardabarros, conductos de aire, salpicaderos. Piezas de carrocería, asientos, entre muchos otros.



Figura 11. DEPOSITO DE COMBUSTIBLE

- MOBILIARIO DE DISEÑO E ILUMINACIÓN (Figura 12): Butacas, sillas, taburetes, sillones, lámparas de pie, lámparas colgantes, plafones. Maceteros, percheros, estanterías, entre muchos otros.



Figura 12. MOBILIARIO DE ILUMINACION

- AGROINDUSTRIA, GANADERÍA Y PESCA: Silos para semillas, tolvas ganaderas, abrevaderos, contenedores (Figura 13) para almacenar y procesar (aceite, shampoo, leche, café, productos del mar, aceite, quesos, agua, entre muchos otros).



Figura 13. CONTENEDORES INDUSTRIALES

- MOBILIARIO MUNICIPAL Y URBANO (Figura 14): Papeleras, parques infantiles, bancos, farolas, jardineras. Contenedores recogida de residuos urbanos, contenedores para el reciclaje, entre muchos otros.



Figura 14. CONTENEDORES DE RESIDUOS URBANOS

- CONSTRUCCIÓN: Tinacos (Figura 15), registros, biodigestores, baños dignos. otros depósitos de agua, depuradoras, arquetas, conductos de agua, separadores de grasas, entre muchos otros.



Figura 15. TINACOS

- VARIOS: Juguetes, canoas.kayacs, palets, tanques, depósitos. Entre muchos otros (Figura 10 repetida).



Figura 10 (repetida). VALVULA CONECTORA CON ENTRADA Y SALIDA

4.4 TECNOLOGÍA

Después de 10 años de investigación y desarrollo, presentamos la tecnología más avanzada del rotomoldeo.

Nuestra tecnología esta patentada, en el 2015 presentamos un compendio de temas sobre el Rotomoldeo, donde incluimos información técnica y del mercado a nivel mundial, entre otros temas como estrategias de mercado, fórmulas de la innovación, entre Otros.

Maquina Ecológica que es la más económica en el mercado internacional y de gran precisión, llamada SMARTTEC (Figura 16).

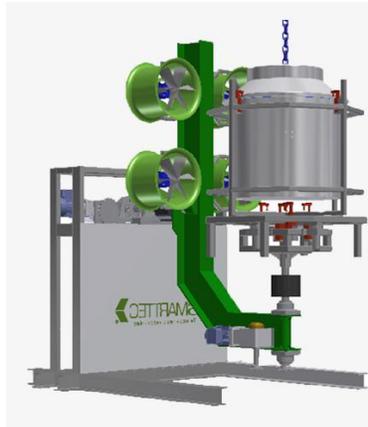


Figura 16. MAQUINA SMARTTEC

4.5 OFICINA DE TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO (OTC)

4.5.1 Políticas de la OTC

En Rotoinnovación tenemos un compromiso con el medio ambiente, por eso creamos productos y servicios que cuidan y ahorran energía para nuestro planeta.

Rotoinnovación en su cumplimiento de su Visión, y en relación la instrumentación de proyectos clave para acelerar la transferencia de tecnología del rotomoldeo, ha creado la OTC Rotoinnovación. La Misión de la OTC es poner en valor y acelerar la transferencia de los resultados de la investigación y el desarrollo de proyectos, de forma proactiva y eficiente. Para ello enumera los siguientes principios que enmarcan la política de transferencia de Rotoinnovación S. A. de C. V.

Experiencia.

Conocimiento.

Habilidad.

Capacidad.

Calidad.

Superar las expectativas del cliente.

Confidencialidad.

Innovar.

Eficiencia y ser oportuno.

4.5.2 Servicios de la OTC:

"Necesidad - Proyecto: Idea + Concepto + Innovación - Transferencia de Conocimiento - Incubación". Lo cual podemos ver en la figura 17.

Nuestra OTC proporciona servicios para la transferencia del conocimiento, misma que generará el ambiente idóneo para la creatividad. De este modo, la OTC es el medio perfecto para alcanzar nuevos mercados, con la participación de investigadores, especialistas y proyectos basados en la Innovación. Nuestros servicios con experiencia demostrada son:

- Consultoría:

Financiamiento de Proyectos de Innovación.

Protección Intelectual de productos, de tecnología y de toda la empresa para evitar demandas y asegurar el valor intelectual.

Investigación de mercados e Inteligencia competitiva.

Vigilancia tecnológica y del estado del arte.

Planeación de la Estratégica tecnológica y/o Mapa de Ruta.

Planeación y administración de proyectos.

Asesoría en el manejo de proyectos de investigación e innovación.

Administración y logística de la cadena de proveedores del rotomoldeo.

- Innovación y Desarrollo:

Desarrollo de nuevos productos, procesos, servicios y tecnologías.

Modelo de negocios.

Optimización de productos, procesos y/o tecnologías.

Prueba de productos o servicios y evaluación de impacto económico.

Pruebas experimentales y en Planta Piloto.

Protección de la propiedad intelectual.

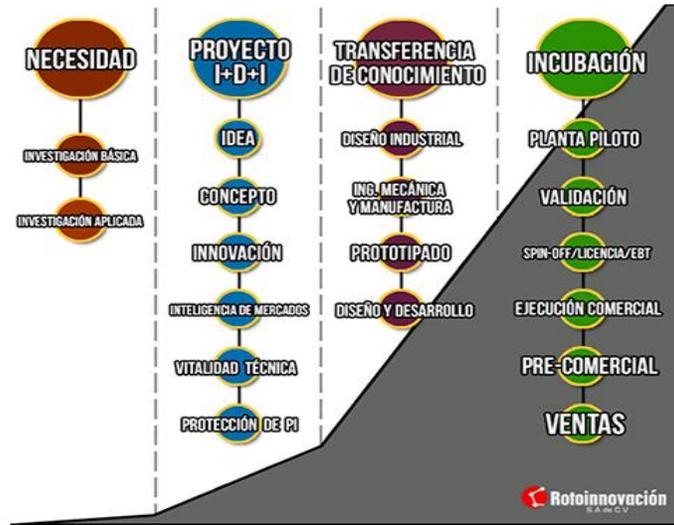


Figura 17. SERVICIOS DE LA OTC

4.5.3 Como nace la OTC

Rotoinnovación S.A. de C. V. está al frente a lo largo del ecosistema en innovación. Somos una compañía que se especializa en la rentabilidad del capital.

Nos dedicamos a la investigación, diseño y desarrollo de proyectos, validación en planta y transferencia de conocimiento y nuevas tecnologías. Somos un grupo interdisciplinario de científicos, gestores y expertos en diversos temas proporcionando un conjunto convincente de los servicios cuya garantía es nuestra experiencia en la transferencia de conocimiento, propiedad intelectual, la incubación y transferencia de nuevas técnicas y tecnologías.

Nuestro equipo cuenta con una amplia experiencia en diversos temas de la Industria. Toda nuestra Compañía está Certificada en ISO 9001:2008, incluyendo todos nuestros procesos de proyectos de investigación, tecnología y transferencia de conocimiento (Certificados por el CONACyT, SE Federal e INADEM).



Figura 18. CONSTANCIA DE AFILIACION A LA OTC

Certificada por:



Figura 19. CERTIFICACION APROBADA POR CONACYT

4.5.4 Estructura Organizacional:

"Rotoinnovación cuenta con un grupo de trabajo profesional y capacitado en diversas áreas para el desarrollo de nuevas tecnologías."

Nuestra estructura organizacional es sólida y con mucha experiencia académica e industrial, nos permite como personas y como grupos trabajar juntos de una manera efectiva y eficaz, está compuesta por gente profesional y preparada, que trabaja para llevarle a usted la mejor calidad en el desarrollo de productos, creando así una ética y actitudes de trabajo duro, lealtad, confidencialidad y de calidad.

- Principios básicos de nuestra organización:

Eficacia.

Eficiencia.

Organización formal.

- Estructura organizativa:

Director General.

Gerente de Desarrollo de Proyectos de Innovación.

Gerente de Administración de Proyectos.

Gerente de Recurso Humano, Especialistas y Expertos en Innovación.

Gerente de Calidad.

Gerente de Mercadotecnia.

5 PROBLEMA A RESOLVER

El objetivo de este proyecto de residencia es Diseñar un sistema de rotación biaxial, para el proceso de polietileno en fabricación de productos plásticos, mediante; el desarrollo del método de elemento finito aplicado al diseño de esfuerzos en un sistema de transmisión de potencia para procesar polietileno en rotación biaxial.

Para la realización de este proyecto se tomó en cuenta aquellas sugerencias que se validaron de acuerdo a una inspección detallada en las maquinas con las que cuenta la planta de Rotoinnovacion, donde se hace ver las deficiencias en el ámbito estructural de las mismas, situaciones que aunque permiten el buen funcionamiento del procesado del polietileno, podrían mejorarse.

Las maquinas actuales fueron construidas de una manera muy rudas, en cuanto a estética se refiere, y no se tomaron en cuenta algunos fenómenos físicos importantes, pero que en un principio es casi imposible de detectar.

Un detalle físico es que la rotación biaxial en el balanceo, parte de un detalle muy elemental como es el juego de niños llamado: sube y baja, en este se sabe por experiencia que el fulcro es muy importante y que este determinara el torque que las personas proporcionan, y que inclusive si pensamos en un punto de apoyo variable, llegara un momento que no importa que en un lado del juego este una persona pequeña con poco peso y del otro lado una persona grande y con más peso, en el que la persona pequeña dominara a la mayor, el desatino de esto es que para este juego intervienen, la masa, la distancia, el punto de apoyo, y es una razón física, misma que se aplica para este sistema de rotación biaxial.

Las maquinas que están en operación actual tienen que tener un contrapeso porque si no quedan suspendidas, y pueden provocar la quema de material por exceso de calor del mismo, ahora bien el contrapeso que se tiene actualmente son blocs amarrados con alambre de construcción, lo cual hace que las maquina se vean mal.

Por otro lado este contrapeso provoca un mayor esfuerzo, que a su vez repercute directamente en la transmisión de potencia, de manera que se obliga a tener un motor con más caballaje, y un motor reductor más potente.

Sabemos que esto se puede reducir considerablemente, si tomamos en cuenta el material a usar, y usar el material adecuado (como podría ser reducir los ejes), en las

dimensiones adecuadas, con los ángulos adecuados, y para esto necesitamos notablemente la intervención de un sistema de diseño asistido por computadoras.

Esta es la parte más interesante de este proyecto, debido a que se genera la iniciativa ingenieril para ser formado en el campo laboral.

Aunado a esto debemos incluir un cálculo con las potencias y relaciones de transmisión estimadas con motores de la máquina actual. Pero esperamos se pueda reducir la potencia necesaria a un motor de medio HP a lo máximo y con esto disminuir el costo de la transmisión y por ende de la electrónica de potencia.

6 ALCANCES Y LIMITACIONES

En este proyecto de residencia se pretende lograr los siguientes resultados:

- Estudiar el par necesario para producir el balanceo de tal forma que se aseguren los esfuerzos.
- Estudiar el par necesario para producir la rotación de tal forma que se aseguren los esfuerzos.
- Reducir las dimensiones de la estructura.
- Minimizar la potencia necesaria.
- Encontrar las partes o elementos de la máquina que son propensos a fallar

Entre las limitaciones que tendremos en este proyecto son:

- Este análisis solo abarcará a la nueva máquina y no en las demás
- Este proyecto será tratado de manera muy puntual como un instrumento didáctico, debido que estaremos diseñando pero eso no implica la construcción del mismo debido a que, es necesario contar con el capital que el alumno no tiene, sin embargo si se construye será evaluación de la misma empresa, en el tiempo que ellos lo indiquen, que podría pasar los 6 meses de la residencia.
- El diseño de este mecanismo es a manera de simulación, pero no por eso significa que no repercute en el área de la ingeniería sino que forma parte de una de las primeras etapas del diseño mecánico.
- Este trabajo está dedicado a la parte mecánica, sin considerar la electrónica de potencia.
- No se considera aquí la parte de control automático de cada movimiento en el sistema.

7 FUNDAMENTO TEORICO

7.1 ¿QUE ES EL ROTOMOLDEO?

El moldeo rotacional o rotomoldeo es un proceso de manufactura que se emplea para fabricar artículos huecos, usando como insumo principal algún polímero, el rotomoldeo es el único proceso que permite la fabricación de piezas de gran volumen, libres de esfuerzos residuales y a costos relativamente bajos. Si bien el rotomoldeo se usa principalmente en la fabricación de contenedores o tanques, hay otra gran variedad de artículos que se fabrican con este proceso y que no necesariamente son de gran tamaño. [5]

El proceso de rotomoldeo (ver figura 20) consiste de cuatro etapas como se observa en la figura

- Carga de materia prima en el molde
- Calentamiento
- Enfriamiento
- Extracción de la pieza

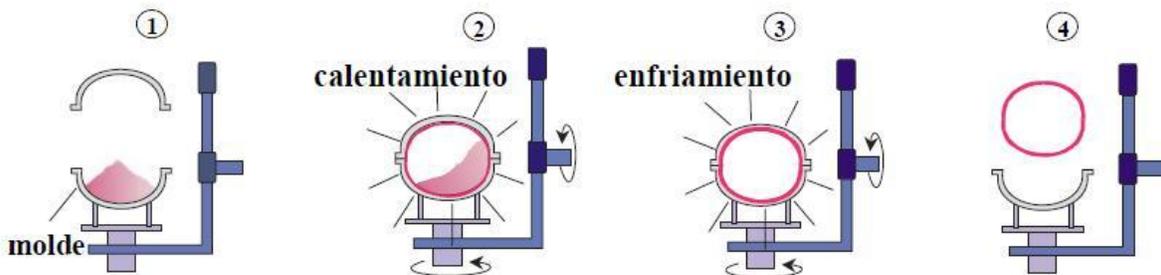


Figura 20. PROCESO DE ROTOMOLDEO

7.2 HISTORIA DEL ROTOMOLDEO

El proceso de rotomoldeo comenzó en el año de 1855 en la industria militar cuando el británico R. Peters patentó el moldeo para los cascos de misiles balísticos y otras piezas huecas; aplicando el principio básico del proceso de rotomoldeo, pero con la diferencia que se hacía el uso de la fuerza centrífuga para mantener el contacto entre el material y el molde. Diez años más tarde el norteamericano T. J. Lovegrove presentó un sistema mejorado que permitía la producción de material bélico con paredes más uniformes. [6]

En los primeros años del siglo XX, el rotomoldeo empezó a usarse para fabricar diversos productos huecos. Por ejemplo, en 1905 F. A Voelke moldeó objetos de cera; en 1910 los norteamericanos G. S. Baker y G. W. Peras fabricaban huevos de chocolate, Y R. J. Powell producía objetos de yeso en 1920, prescindiendo de la fuerza centrífuga, este sistema utilizaba por primera vez las ventajas del moldeo con rotación lenta con una relación 4:1.

En 1932, el inglés W. Kay fabricaba balones de caucho; la máquina que desarrolló presentaba un sistema de transmisión muy semejante a los usados actualmente. Así el proceso de rotomoldeo de plásticos fue básicamente desarrollado en los años de 1940. En esta época no ofrecía muchas ventajas porque no había variedad en materiales capaces de ser rotomoldeados. Sin embargo dos décadas después, mejoras en el control del proceso y con el desarrollo de plásticos en polvo resultó en un incremento significativo del uso de este proceso.

En 1946 la empresa Unión Carbide introdujo el primer compuesto comercial de PVC líquido en plastificante, mejor conocido como plastisol, que dos años más tarde sería usado como materia prima para el rotomoldeo. El plastisol se convirtió en el material que el rotomoldeo requería para iniciar la ampliación de su mercado y empezar a notarse comercialmente. La gran versatilidad del PVC fue la característica que más contribuyó a su aceptación.

Con el descubrimiento del polietileno, el rotomoldeo explora nuevas aplicaciones que limitaban al PVC, sin embargo su presentación comercial era en gránulos que no son posibles transformar por el proceso de rotomoldeo. Años más tarde en 1955 la compañía Pallman Pulverizing Company, Inc. desarrolló la tecnología de molinos que permitían la obtención de polvo muy fino a partir de plásticos con baja temperatura de fusión sin emplear agentes refrigerantes.

Con este cambio en la presentación del polietileno en pocos años el rotomoldeo tuvo una amplia aceptación en el mercado. Esta industria gozó de un alto crecimiento gracias al uso de los polietilenos.

Nuevos materiales como el policarbonato, descubierto en 1964, se emplea en la fabricación de luminarias transparentes, en 1970 apareció el polietileno entrecruzado para diversas aplicaciones dentro de la industria del transporte alrededor de la misma fecha, el polietileno y la poliamida reforzados con fibra de vidrio iniciaron la introducción del rotomoldeo en nuevos mercados.

En la actualidad el polietileno es el material más usado en el proceso de rotomoldeo con un índice del 90%. Pero día con día aparecen otros materiales capaces de ser procesados por este método.

7.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ROTOMOLDEO

Debido a todos estos avances y sus características particulares, el proceso presenta una serie de ventajas que son:

- El producto final está libre de esfuerzos residuales.
- Hay ahorro significativo de material ya que las piezas son huecas.
- Si se desea reducir el espesor de un producto, no hay necesidad de mecanizar. El espesor podrá reducirse disminuyendo la cantidad de material.
- No hay pérdidas de material ya que todo queda depositado en la pieza.
- Se pueden producir de piezas de gran volumen.
- Los artículos pueden tener múltiples capas del mismo u otro material.
- Se pueden tener piezas de gran calidad y detalles debido el material puede fluir hasta en zonas muy angostas.
- Moldes de varias piezas pueden producir productos sin dejar marcas.
- Se pueden moldear productos completamente diferentes en un mismo equipo.

Sin embargo, el proceso también tiene limitaciones que deben superarse. Las desventajas más importantes son:

- El acabado superficial puede resultar pobre como consecuencia de la alta porosidad. Además, un alto contenido de burbujas dentro del producto implica malas propiedades mecánicas. La eliminación completa de las burbujas implica largos tiempos de calentamiento y esto podría degradar el material si no se hace con cuidado.
- No se aprovecha correctamente la energía porque los moldes deben calentarse hasta altas temperaturas, enfriarse hasta un temperatura adecuada para el desmolde y volverse a calentar nuevamente. Esto normalmente se hace por convección forzada de aire dentro de un horno, lo que resulta en un mal aprovechamiento del calor.
- El costo de los materiales es relativamente alto porque al ser adquiridos en forma de granza deben someterse a un proceso de molienda. En la actualidad, los materiales usados todavía son limitados en contraste con otros procesos.
- Las etapas de carga y descarga requieren mucha mano de obra y podrían resultar costosas.

Todas desventajas presentan restos importantes para la ingeniería y son los aspectos en los que se deben trabajar para optimizar el proceso.

7.4 TIPOS DE MAQUINAS DE ROTOMOLDEO

Existen diversos tipos de máquinas, desde unas pequeñas y sencillas, hasta otras de grandes diámetros de giro con sofisticado sistema eléctrico de control.

En cuanto a sistemas de calentamiento las máquinas se dividen en las de flama abierta y las de horno o llama cerrada:

- Flama Abierta
- Horno:
 - Shuttle o lineal
 - Basculante (Rock & Roll)
 - Carroussel

7.4.1 Flama Abierta [7]

El calentamiento (ver figuras 21 y 22) se da mediante una serie de quemadores alrededor del molde, lo que ocasiona que la mayor parte del calor que se produce vaya hacia el medio ambiente. Por otro lado, estas máquinas no pueden realizar giros biaxiales al mismo tiempo. Producción de piezas de grandes dimensiones con moldes de bajo costo.



Figura 21. MAQUINA DE ROTOMOLDEO DE FLAMA ABIERTA EN USO



FIGURA 22. MAQUINA DE FLAMA ABIERTA EN DESCANSO

7.4.2 Horno Shuttle o lineal [7]

Esta es una máquina de brazo único que se mueve la torreta del molde de ida y vuelta entre las cámaras calefacción y enfriamiento (ver figura 23).

Esta máquina mueve el molde en una dirección lineal de entrada y salida a las cámaras calefacción y enfriamiento.



FIGURA 23.MAQUINA DE ROTOMOLDEO LINEAL

7.4.3 Basculante Rock and Roll [7]

Para necesidades de rotomoldeo de gran tamaño.

El horno central tiene capacidad para moldes de 7 metros de largo y 3 de diámetro para piezas de gran tamaño (ver figuras 24 y 25), tales como tanques, barcos, etc.

En la figura se ve el orden de operación.

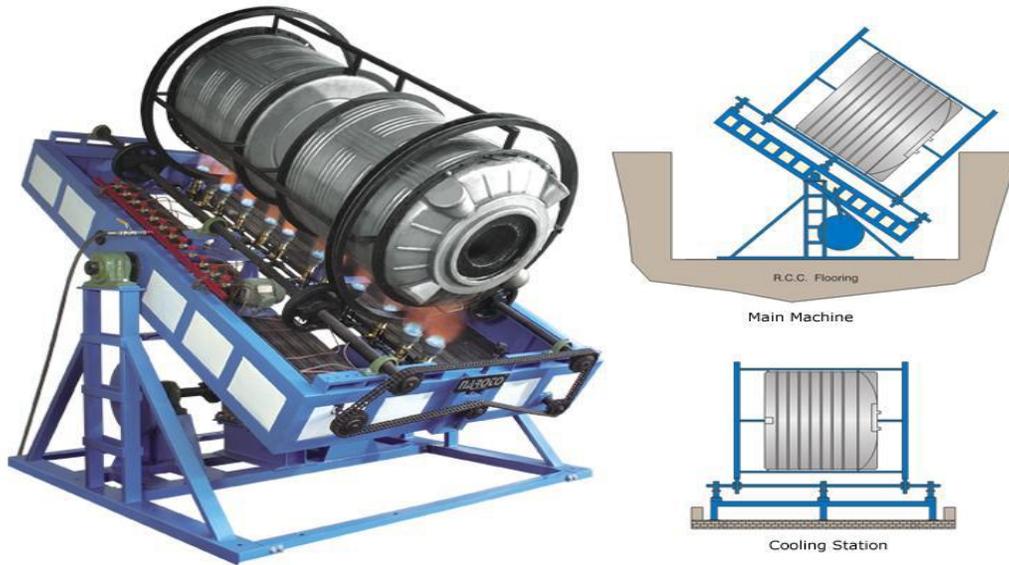


Figura 24. MAQUINA DE ROTOMOLDEO BASCULANTE ROCK AND ROLL



FIGURA 25. MAQUINA DE ROTOMOLDEO BASCULANTE ROCK AND ROLL EN DESCANSO

7.4.4 Carroussel [7]

Se caracteriza por tener múltiples brazos (ver figura 26), es una maquina muy eficiente en la fabricación de partes secuenciales en grandes cantidades, y cuenta con 5 estaciones.

Cada etapa del proceso se realiza en un área específica, minimizando el tiempo de actividad.



FIGURA 26.MAQUINARIA DE ROTOMOLDEO DE TIPO CARROUSSEL

7.5 METODO DEL ELEMENTO FINITO (MEF) [8]

El método del elemento por novedoso que parezca, tiene ya varios años en su forma conceptual, ya que podemos recordar las bases del cálculo diferencial e integral propuesto por Sir Isaac Newton por tomar un ejemplo, sin embargo, el desarrollo moderno de esta técnica comienza en 1940, específicamente en el campo de la ingeniería estructural, con los trabajos de Hrennikoff en 1941 y McHenry en 1943, quienes propusieron el uso de líneas en una dimensión para representar elementos como barras o vigas para el cálculo de esfuerzos en solidos con sección transversal continua.

En 1943, el matemático Courant, propuso el arreglo para la solución de esfuerzos añadiendo una variación. Después añadió la aplicación del método de funciones interpolares sobre subregiones triangulares que conformaban una región entera obteniendo resultados numéricos aproximados. En 1947 Levy, desarrollo el método de

flexibilidad y fuerza, y en 1953 su trabajo, sugirió la aplicación de un nuevo método (el método de rigidez y desplazamiento), el cual podría ser considerado como una alternativa viable para el análisis estático redundante de estructuras de aeronaves. Sin embargo, sus ecuaciones requerían de una gran dedicación y labor para su solución a mano, por lo que su método de solución numérica, tuvo que esperar el advenimiento de las computadoras digitales de alta velocidad para hacerse popular.

La primera vez que se trató de analizar cuerpo de dos dimensiones, fue con los trabajos de Turner et al, quien en 1965 logro la implementación de matrices de rigidez para la determinación de armaduras, elementos conformados por vigas y algún otro cuerpo bidimensional conformado por triángulos y rectángulos sometidos a esfuerzo simple. Este procedimiento, fue comúnmente conocido como “El método directo de rigidez” y se basaba principalmente en obtener una matriz de rigidez de la estructura estudiada. Al mismo tiempo del desarrollo de las computadoras digitales de alta velocidad a finales de los años 50s, trabajos como los de Turner, desarrollaron ecuaciones de rigidez fundadas en el método de elementos finitos para la solución matricial de estructuras. Pero no fue hasta 1960, cuando la frase “Elementos Finitos” fue introducida para describir este tipo de trabajos.

La frase “elementos finitos” fue introducida por primera vez por Clough, cuando por primera vez se usaron elementos finitos triangulares y rectangulares para el análisis de esfuerzos.

7.5.1 ¿Qué es el método del elemento finito? [9]

El método del elemento finito (MEF en español o FEM en inglés) es un método numérico para la resolución de ecuaciones diferenciales, utilizado en diversos problemas de ingeniería y física.

El método se basa en dividir el cuerpo, estructura o dominio (medio continuo) sobre el que están definidas ciertas ecuaciones integrales que caracterizan el comportamiento físico del problema (figura 27), en una serie de subdominios no intersectantes entre sí denominados elementos finitos. El conjunto de elementos finitos forma una partición del dominio también llamada discretización.

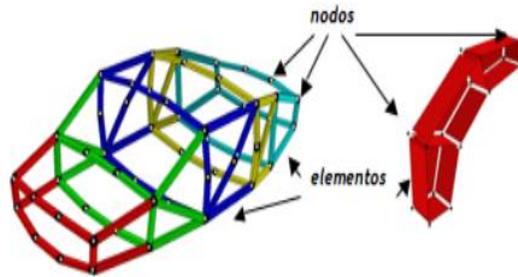


Figura 27. ELEMENTOS Y NODOS EN ELEMENTOS FINITOS

Dentro de cada elemento se distinguen una serie de puntos representativos llamados nodos. Dos nodos son adyacentes si pertenecen al mismo elemento finito, además, un nodo sobre la frontera de un elemento finito puede pertenecer a varios elementos (figura 28). El conjunto de nodos considerando sus relaciones de adyacencia se conoce como malla. Los cálculos se realizan sobre una malla o discretización creada a partir del dominio con programas generadores de mallas, en una etapa previa a los cálculos que se denomina pre-proceso. De acuerdo con estas relaciones de adyacencia o conectividad se relaciona el valor de un conjunto de variables incógnitas definidas en cada nodo y denominadas grados de libertad. El conjunto de relaciones entre el valor de una determinada variable entre los nodos se puede escribir en forma de sistema de ecuaciones lineales (o linealizadas), la matriz de dicho sistema de ecuaciones se llama matriz de rigidez del sistema. El número de ecuaciones de dicho sistema es proporcional al número de nodos.

Típicamente, el método del elemento finito se programa computacionalmente para calcular el campo de desplazamientos y, posteriormente, a través de relaciones cinemáticas y constitutivas, las deformaciones y tensiones respectivamente, cuando se trata de un problema de mecánica de sólidos deformables o más generalmente un problema de mecánica del medio continuo. El método de los elementos finitos es muy usado debido a su generalidad y a la facilidad de introducir dominios de cálculo complejos (en dos o tres dimensiones).

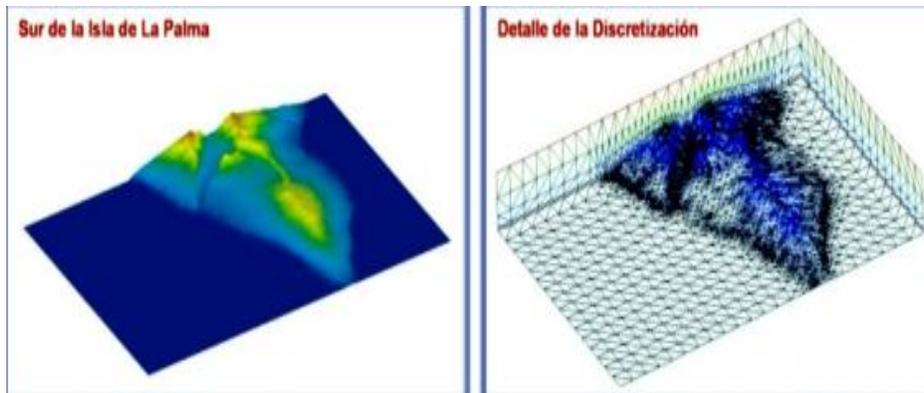


Figura 28. EJEMPLO DE DISCRETIZACION

Una importante propiedad del método es la convergencia, si se consideran particiones de elementos finitos sucesivamente más finas, la solución numérica calculada converge rápidamente hacia la solución exacta del sistema de ecuaciones

El método del elemento finito cuenta con las siguientes etapas:

FASE DE PREPROCESO

- ✓ Crear y discretizar la solución dominio en elementos finitos, esto es, subdividir el problema en nodos y elementos.
- ✓ Asumir una función forma a representar el comportamiento físico de un elemento, que es, una función continua aproximada que se asume para la solución del elemento.
- ✓ Desarrollar las ecuaciones para el elemento.
- ✓ Armar los elementos a representar en el problema completo, construir la matriz global de rigidez.
- ✓ Aplicar condiciones de frontera, condiciones iniciales y cargas.

FASE DE SOLUCION

- ✓ Resolver un conjunto de ecuaciones algebraicas lineales o no lineales simultáneas para obtener resultados globales; tal como valores de desplazamientos y temperaturas en diferentes nodos.

FASE DE POSTPROCESO

- ✓ Con base en los resultados globales obtenidos, se puede volver en el proceso de solución para conocer los valores de desplazamiento o temperatura locales en diversos nodos.

El método de elemento finito (MEF) puede ser aplicado a problemas que impliquen deformaciones y esfuerzos, ya que permite resolver ecuaciones diferenciales parciales para figuras arbitrarias, esto es debido a que las ecuaciones son muy difíciles de resolver mediante métodos analíticos, como la separación de variables que solo abarca figuras muy sencillas.

Independientemente de la naturaleza del problema, el MEF sigue los siguientes pasos:

1. Definición del problema y su dominio
2. Discretización del dominio
3. Identificación de las variables de estado
4. Formulación del problema
5. Establecimiento de los sistemas de referencia
6. Construcción de las formulaciones de aproximación de los elementos
7. Determinación de las ecuaciones al nivel de cada elemento
8. Transformación de coordenadas
9. Ensamblaje de las ecuaciones de los elementos
10. Introducción de las condiciones de contorno
11. Solución del conjunto de ecuaciones simultáneas resultantes
12. Interpretación de los resultados

7.6 SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA [10]

7.6.1 ¿Qué es un sistema de transmisión de potencia?

Un sistema de transmisión de potencia mecánica es un mecanismo encargado de transmitir potencia entre dos o más elementos dentro de una máquina. En muchos casos, estas transmisiones se realizan a través de elementos que rotan, ya que la transmisión de energía por rotación ocupa mucho menos espacio que aquella por traslación.

Una transmisión mecánica es una forma de intercambiar energía mecánica empleando el movimiento de cuerpos sólidos, como lo son los engranajes y las correas de transmisión.

Es común que la transmisión cambia la velocidad de rotación de un eje de entrada, lo que resulta en una velocidad de salida diferente. Las transmisiones se emplean en una gran variedad de aplicaciones, algunas de ellas estacionarias. Las transmisiones primitivas comprenden, por ejemplo, reductores y engranajes en ángulo recto en molinos de viento o agua y máquinas de vapor, especialmente para tareas de bombeo, molienda o elevación (norias).

En general, las transmisiones reducen una rotación inadecuada, de alta velocidad y bajo par motor, del eje de salida del impulsor primario a una velocidad más baja con par de giro más alto, o a la inversa. Muchos sistemas, como las transmisiones empleadas en los automóviles, incluyen la capacidad de seleccionar alguna de varias relaciones diferentes.

7.6.2 Tipos de transmisión de potencia

Los tipos de transmisión de potencia (ver el esquema en la figura 29) lo podemos clasificar por su estructura y elementos mecánicos son:

- ✓ Por fricción
- ✓ Por correas
- ✓ Por ruedas dentadas
- ✓ Por cadenas
- ✓ Por correas dentadas

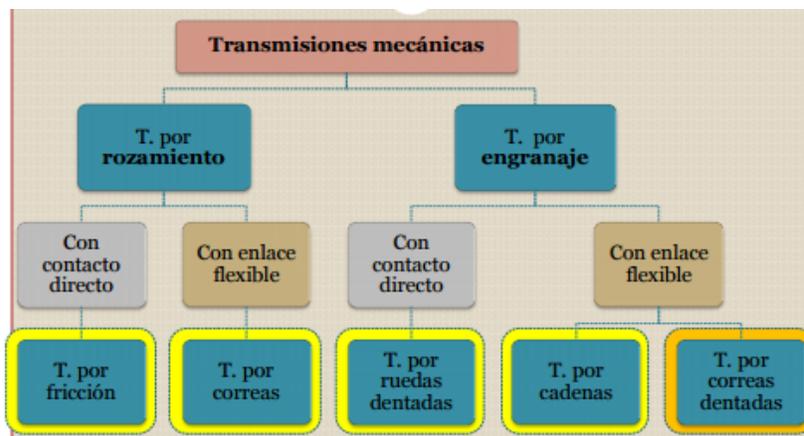


Figura 29. ESQUEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA

Recuperado de FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA 8 de sep t i e m bre de 2 0 1 2

7.6.2.1 Transmisión por fricción

Son dos poleas unidas en las cuales se mantienen un contacto directo por medio de fuerzas normales y de fricción (ver figura 30), la polea más pequeña se llama conductor y la más grande se llama conducido. Son de bajo costo, fácil construcción y bajo nivel de ruido. También tiene grandes esfuerzos de contacto y grandes fuerzas en apoyos y árboles.

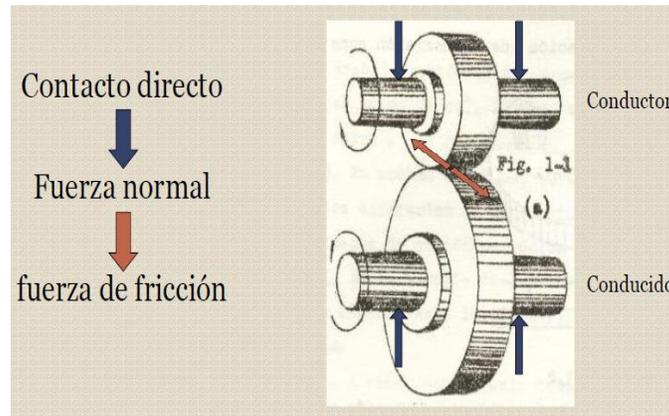


Figura 30. VEMOS LOS CONTACTOS Y FUERZAS GENERALES EN LA TRANSMISIÓN POR FRICCIÓN

7.6.2.2 Transmisión por correas

Las transmisiones por correa o con enlace flexible (ver figura 31) transmiten potencia a distancias grandes, amortiguan impactos, son muy versátiles: posiciones de los ejes y sentidos de giro, elementos comercializados, y simplifican la transmisión, con un trabajo silencioso, no requieren lubricación ni fundas especiales, pueden transmitir potencia a varios árboles.

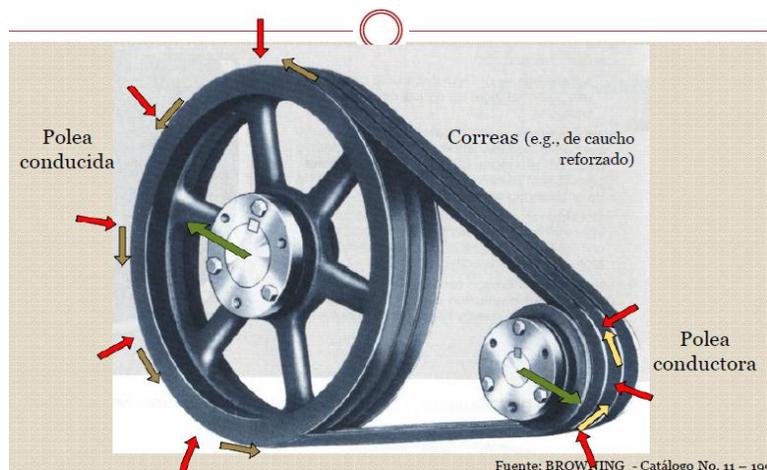


Figura 31. EJEMPLO CLÁSICO DE UN CONJUNTO DE TRANSMISIÓN DE POLEAS USANDO CORREAS

Los diferentes tipos de correas lo podemos ver en la siguiente imagen (Figura 32):

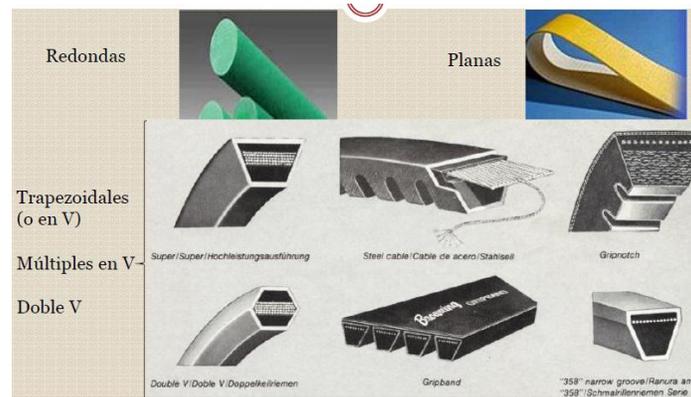


Figura 32. TIPOS DE CORREAS FLEXIBLES

7.6.2.3 Transmisión por ruedas dentadas

Las transmisiones por engranajes (ruedas dentadas) pueden ser: cilíndricas, cónicas, helicoidales, de tornillo sin fin y de cremallera. En ella se ubican dos engranes (ver figura 33), el engrane grande que se llama rueda y el engrane pequeño que se conoce como piñón.



Figura 33. LA RELACIÓN DE RUEDA-PIÑÓN POR TRANSMISIÓN POR CONTACTO DIRECTO

7.6.2.4 Transmisión por cadenas

Las transmisiones por cadenas tienen estrellas conductoras (engrane pequeño) y estrellas conducidas (engranes grandes) como se ve en la figura 34.

Este tipo de mecanismos transmiten potencia a distancias grandes, la relación de transmisión es prácticamente constante, están sometidas a menores cargas que las

transmisiones por correas (no requieren tensado inicial), hay mejor resistencia a las condiciones ambientales que las transmisiones por correas, sus elementos comercializados simplifican la transmisión y pueden transmitir potencia a varios árboles.

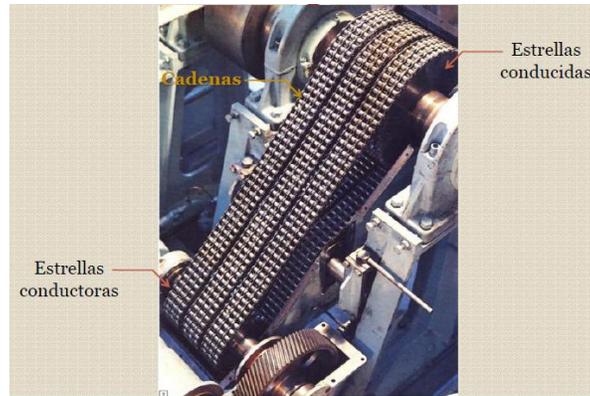


Figura 34. GENERALIDADES DE TRANSMISIÓN POR CADENAS

Las desventajas de la transmisión por cadenas entre otras es que requieren lubricación y fundas, son de alto costo, existe cierta irregularidad en su funcionamiento y requiere montaje y mantenimiento minuciosos (ver figura 35).



Figura 35. GENERALIDADES MINUCIOSAS DE LOS ELEMENTOS DE LAS CADENAS

7.6.2.5 Transmisión por cadenas dentadas

La transmisión por cadenas dentadas (ver figura 36) es un mecanismo de transmisión por engranes con enlace flexible, en donde la peculiaridad más interesante es como su nombre lo indica que esta ranurada exactamente en los dientes del engrane a tratar. Existen muchos ejemplos de este tipo de mecanismos en la industria automotriz (ver figura 37)

- ✓ Las transmisiones mecánicas son necesarias porque:
- ✓ Las velocidades de giro de las máquinas movidas son diferentes de las de los elementos motores

- ✓ Algunas máquinas requieren velocidades variables
- ✓ Algunas veces se requieren movimientos diferentes al rotativo
- ✓ Un solo motor puede mover varias máquinas u órganos de servicio

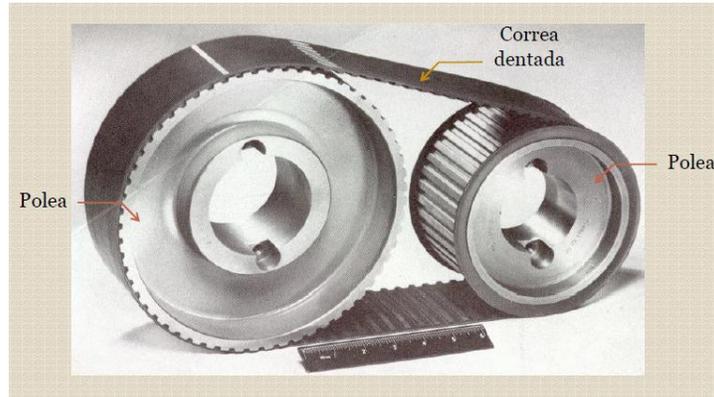


Figura 36. GENERALIDADES DE LA TRANSMISIÓN POR CADENAS DENTADAS

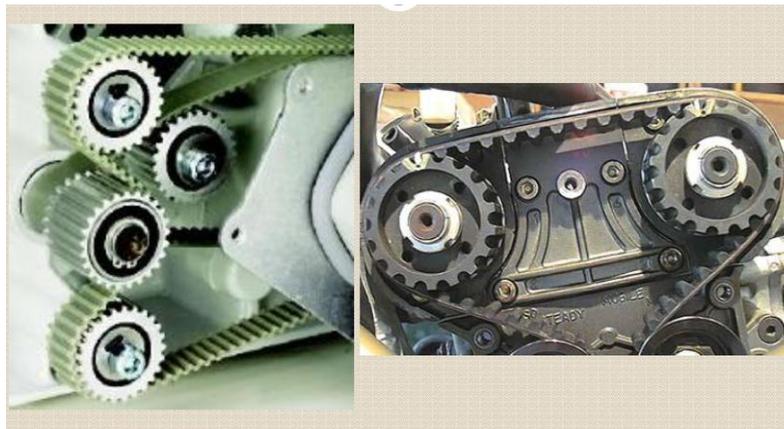


Figura 37. EJEMPLOS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ PARA LA TRANSMISIÓN POR CADENAS DENTADAS

7.6.2.6 Relaciones importantes de las transmisiones

Aquí haremos mención de tres parámetros muy importantes, a saber:

1.- Potencia: Energía a transmitir por unidad de tiempo, su ecuación es:

$$P = T * \omega \dots \dots \dots \text{ecuación 1}$$

2.- Eficiencia: Es la relación entre la potencia de salida y la de entrada como se ve en la tabla 1

$$\eta = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} \dots\dots\dots \text{ecuación 2}$$

3.- Relación de transmisión (i): Relación entre velocidades (n), ver la tabla2

$$i = \frac{n_{entrada}}{n_{salida}} \dots\dots\dots \text{ecuación 3}$$

Tabla 1 VALORES MEDIOS DE LA EFICIENCIA DE ALGUNAS TRANSMISIONES (SIN TENER EN CUENTA PÉRDIDAS EN LOS APOYOS) (OCAMPO, 1993)

Tipo de transmisión	En baño de aceite	Abierta
Dentada con ruedas cilíndricas	0,95 a 0,98	0,92 a 0,94
Dentada con ruedas cónicas	0,94 a 0,97	0,91 a 0,93
Por cadena	0,95 a 0,97	0,90 a 0,93
Por correa		0,95 a 0,96
Por fricción	0,90 a 0,96	0,75 a 0,88



Tabla 2 VALORES RECOMENDADOS DE LA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN (OCAMPO, 1993)

Tipo de transmisión	Valor medio	Valor máximo
Dentada <u>cerrada</u> con ruedas <u>cilíndricas</u> de dientes:		
• Rectos	3 – 4	10
• Helicoidales	3 – 5	10
• Bihelicoidales	4 – 6	10
Dentada <u>abierta</u> con ruedas <u>cilíndricas</u>	4 – 6	20
Dentada <u>cerrada</u> con ruedas <u>cónicas</u> de dientes <u>rectos</u>	2 – 3	6
Por cadena	2 – 4	7
Por correa:		
• Plana	2 – 4	6
• Plana con rodillo tensor	3 – 5	8
• Trapezoidal	2 – 4	7

7.7 CONCEPTO DE ESFUERZO

7.7.1 Repaso general de mecánica de materiales y estática [11 Y 12]

Entremos ahora en materia de nuestro análisis de esfuerzos para ello desarrollaremos la teoría necesaria para la misma, aquí abordaremos estos temas bajo los principios básicos de Beer-Jhonston y R.C. Hibbeler, todos ellos autores de libros de Mecánica de Materiales

La mecánica de materiales es una parte de la mecánica que estudia los efectos internos del esfuerzo y la deformación en un cuerpo sólido que está sometido a una carga externa. El propósito principal de la resistencia de materiales es añadir los conocimientos necesarios para analizar y diseñar las diversas máquinas y estructuras que soportan cargas.

La estática juega un papel muy importante en el desarrollo de la mecánica de los materiales, por ello haremos un breve repaso de esto:

Cargas externas: Un cuerpo puede tener dos tipos de cargas externas (ver figura 38), que son; las fuerzas de superficies y las fuerzas de cuerpo.

- ✓ Fuerzas de superficie. Son causadas por el contacto directo de un cuerpo con la superficie de otro. En todos los casos estas fuerzas están sobre un área. Estas fuerzas se dividen en; fuerza concentrada que se aplica a un punto sobre la superficie, fuerza linealmente distribuida $w(s)$, la carga aquí se muestra en la forma intensidad de fuerza/longitud a lo largo de un línea.
- ✓ Fuerzas de cuerpo: Se desarrolla cuando un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro sin contacto físico directo entre estos, como por ejemplo el peso que es causado por la gravitación de la tierra.

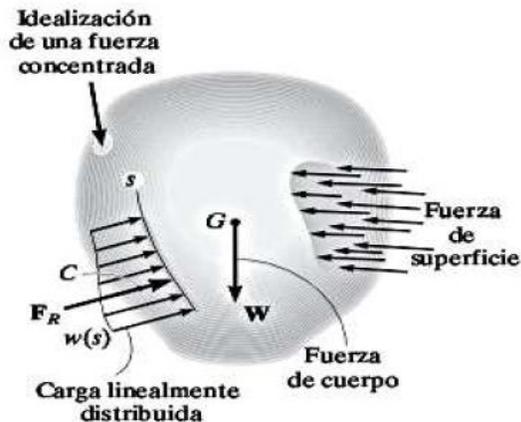
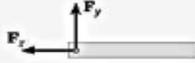
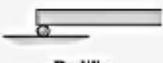
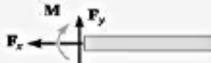


Figura 38. CUERPO QUE MUESTRA TODOS LOS TIPOS DE FUERZAS EXTERNAS QUE EXISTEN

Reacciones en los soportes: Las fuerzas de superficies que se desarrollan en los soportes de los cuerpos se llaman reacciones. La ley general para las reacciones nos dice; “si el soporte impide la traslación en una dirección dada, entonces debe desarrollarse una fuerza sobre ese elemento en esa dirección. Del mismo modo, si se impide la rotación, debe ejercerse un momento sobre el elemento”. (Ver tabla 3)

Tabla 3. TIPOS DE CONEXIONES Y REACCIONES EN LOS SOPORTES

Tipo de conexión	Reacción	Tipo de conexión	Reacción
 Cable	 Una incógnita: F	 Pasador externo	 Dos incógnitas: F_x, F_y
 Rodillo	 Una incógnita: F	 Pasador interno	 Dos incógnitas: F_x, F_y
 Soporte liso	 Una incógnita: F	 Soporte fijo	 Tres incógnitas: F_x, F_y, M

Ecuaciones de equilibrio: El equilibrio de un cuerpo requiere un balance de fuerzas y un balance de momentos, que vectorialmente se expresa así.

$$\Sigma F = 0 \dots\dots\dots \text{ecuación 4}$$

$$\Sigma M_0 = 0 \dots\dots\dots \text{ecuación 5}$$

En el sistema de coordenadas podemos escribir 6 ecuaciones escalares:

$$\Sigma F_X = 0 \quad \Sigma F_Y = 0 \quad \Sigma F_Z = 0 \dots\dots\dots \text{ecuación 6}$$

$$\Sigma M_X = 0 \quad \Sigma M_Y = 0 \quad \Sigma M_Z = 0 \dots\dots\dots \text{ecuación 7}$$

La aplicación exitosa de las ecuaciones de equilibrio depende en gran manera del Diagrama de Cuerpo Libre que tracemos, para exponer todas las fuerzas y momentos conocidos y desconocidos.

Cargas internas: En mecánica de materiales la estática se usa principalmente para determinar las cargas internas resultantes de las cargas externas que se aplican sobre el cuerpo (ver figura 39 a,b,c), para ello se usa el “método de las secciones” en general estas resultantes (ver figura 39 c,d) son la fuerza normal, la fuerza cortante y los momentos de torsión y flexionante.

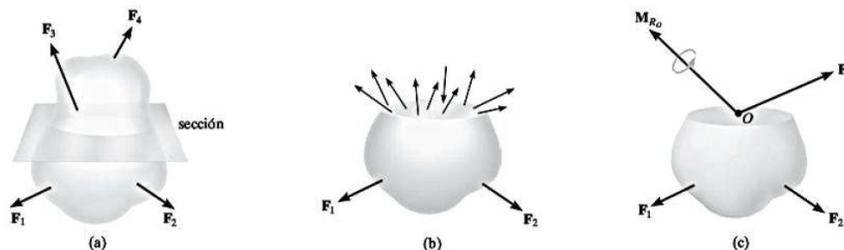


Figura 39. a) FUERZAS EXTERNAS, b) PARTE SECCIONADA, c) FUERZAS INTERNAS RESULTANTES

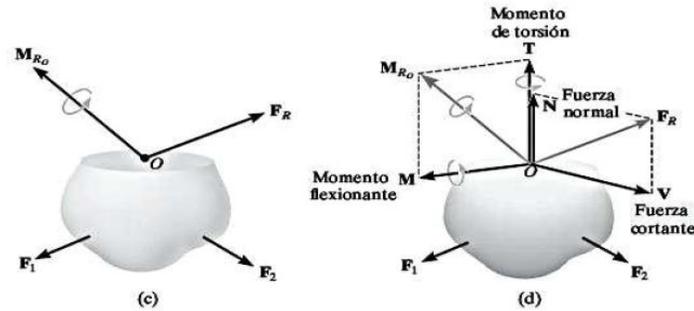


Figura 39. c) FIGURA REPETIDA, d) DESCOMPOSICION VECTORIAL DE LAS FUERZAS INTERNAS RESULTANTES

- ✓ Fuerza normal (N): Fuerza que actúa perpendicularmente al área.
- ✓ Esfuerzo Cortante (V): Tienen a ocasionar que los 2 segmentos se deslicen uno sobre otro.
- ✓ Momento de torsión (T): La carga externa tiende a torcer un segmento del cuerpo con respecto al otro alrededor de un eje perpendicular al área.
- ✓ Momento flexionante (M): Causado por cargas externas que flexionan el cuerpo respecto a un eje que se encuentra dentro del plano del área.

7.7.1.1 Concepto de esfuerzo

En el apartado anterior se vio que la fuerza y el momento que actúan en un punto específico O sobre el área seccionada de un cuerpo (ver figura 40) representan los efectos resultantes de la distribución de fuerza verdadera que actúa sobre el área seccionada (figura 41). Para resolver este problema es necesario introducir el concepto de esfuerzo.

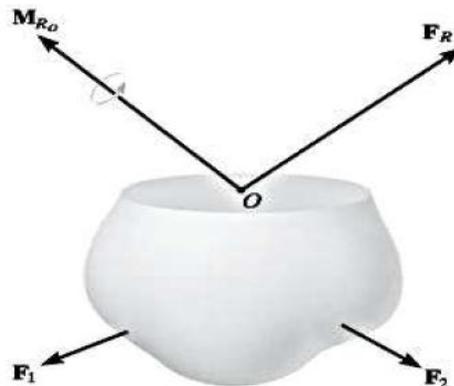


Figura 40. FUERZA Y MOMENTO INTERNOS RESULTANTES

Para este propósito haremos algunas consideraciones necesarias:

- 1.- El área seccionada esta subdividida en áreas pequeñas (ver figura), como el área ΔA , la cual al hacerse más pequeña dará lugar a dos suposiciones respecto al material.
- 2.- Se considera que el material es continuo, es decir que el material no contiene huecos.
- 3.- El material es cohesivo, es decir que todas sus partes están conectadas entre sí.

En la figura se muestra una fuerza típica finita pero muy pequeña ΔF , que actúa sobre el área asociada ΔA . Esta fuerza como todas las demás tendrá dirección única, pero para el análisis se descompondrá en sus tres componentes, $\Delta F_x, \Delta F_y, \Delta F_z$, que se toman tangente, tangente y normal al área respectivamente. Cuando ΔA se aproxima a cero, tanto ΔF y sus componentes hacen lo mismo; empero, el cociente de la fuerza y el área tenderán a un límite finito. Este cociente se llama “esfuerzo” y describe la intensidad de la fuerza interna sobre un plano específico (área) que pasa atreves de un punto.

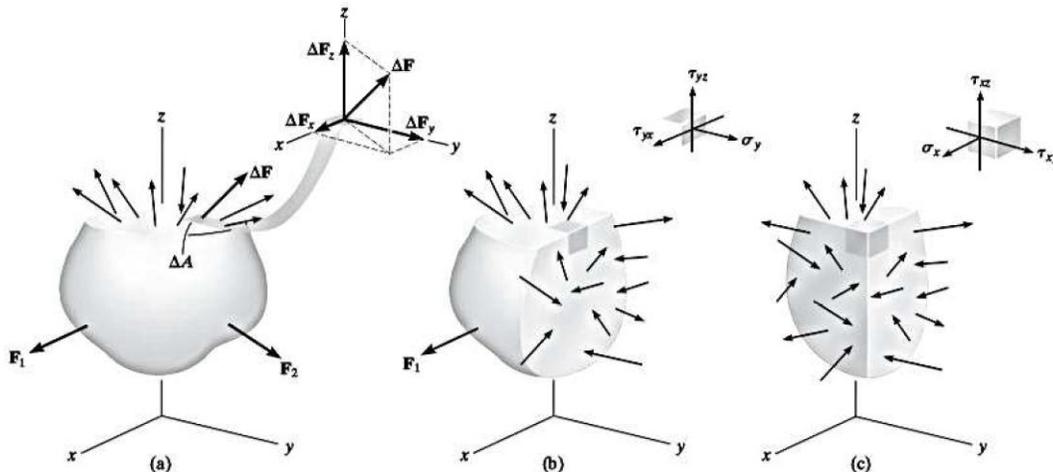


Figura 41. DISTRIBUCIÓN DE FUERZA VERDADERA QUE ACTÚA SOBRE EL ÁREA SECCIONADA

Ahora podemos concluir lo siguiente:

- ✓ Esfuerzo normal: es la intensidad de la fuerza que actúa en forma normal a ΔA , que se representa por σ (sigma). Como ΔF_z es normal al área entonces:

$$\sigma_z = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_z}{\Delta A} \dots\dots\dots \text{ecuación 8}$$

Se emplea un signo positivo para indicar un esfuerzo de tensión y un signo negativo para indicar un esfuerzo a compresión.

- ✓ Esfuerzo cortante: es la intensidad de la fuerza que actúa tangente a ΔA se llama esfuerzo cortante que se representa por τ (tau). A continuación presentamos las componentes del esfuerzo cortante:

$$\tau_{ZX} = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_X}{\Delta A} \dots \dots \dots \text{ecuación 9}$$

$$\tau_{ZY} = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_Y}{\Delta A} \dots \dots \dots \text{ecuación 10}$$

En esta notación el subíndice Z indica la orientación del área ΔA (ver figura 41) y que X y Y se usan para especificar los ejes a lo largo de los cuales actúa cada esfuerzo.

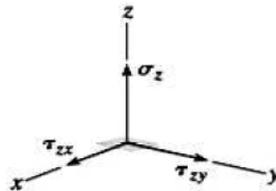


Figura 41. NOTACION DE LA ORIENTACION DE LOS EJES

- ✓ Estado general de esfuerzos: Cuando el cuerpo esta seccionado adicionalmente por planos paralelos al plano X-Z (ver figura) y al plano Y-Z (ver figura 42), entonces es posible “separar” un elemento cubico de volumen de material en el que se representa el “estado de esfuerzo” que actúa alrededor del punto elegido en el cuerpo. Este estado de esfuerzo se caracteriza por 3 componentes que actúan sobre cada cara del elemento (Figura).

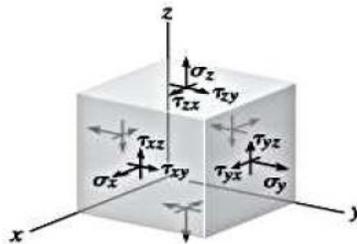


Figura 42. ESTADO GENERAL DE ESFUERZOS

- ✓ Unidades: cuando empleamos las unidades del SI, F esta expresada en newtons (N) y A en metros cuadrados (m^2), el esfuerzo entonces estará expresado en N/m^2 . Esta unidad se denomina Pascal (Pa). Sin embargo, el pascal es una unidad muy pequeña, por ello en la práctica, deben emplearse múltiplo de esta unidad, como el kilopascal (kPa), el megapascal (MPa) y el gigapascal (GPa). Se tiene entonces:

$$1kPa = 10^3 Pa = 10^3 N/m^2$$

$$1MPa = 10^6 Pa = 10^6 N/m^2$$

$$1GPa = 10^9 Pa = 10^9 N/m^2$$

Al usarse las unidades acostumbradas en Estados Unidos, la fuerza F comúnmente se expresa en libras (lb) o kilolibras (kip), y el área transversal A en pulgadas cuadradas (in^2). Así el esfuerzo se expresa en libras por pulgadas cuadradas (psi) o kilolibras por pulgada cuadrada (ksi)

7.7.2 Tipos de esfuerzos [13]

En esta sección analizaremos los diversos tipos de esfuerzos que se pueden desarrollar en estructuras y miembros estructurales, una vez más tomaremos de referente a los reconocidos autores de los libros de mecánicas de materiales; Beer-Jhonston, R. C. Hibbeler, y en este apartado veremos las teorías desarrolladas en el libro de: “Diseño en ingeniería mecánica” cuyo autor es Joseph Edward Shigley.

7.7.2.1 Esfuerzos uniformemente distribuidos

En diseño se usa el supuesto de “distribución uniforme de esfuerzos”, lo que nos da de resultados los conceptos de “*tensión pura, compresión pura y cortante puro*” dependiendo de cómo sea aplicado la carga externa al cuerpo bajo estudio. La suposición de esfuerzo uniforme significa que si se corta el objeto de estudio en una sección alejada de los extremos y se remueve una parte, se puede reemplazar su efecto aplicando una fuerza uniformemente distribuida de magnitud σA al extremo cortado. Por ello se dice que el esfuerzo σ esta uniformemente distribuido y se calcula por la ecuación:

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots \dots \dots \text{ecuación 11}$$

Para un cuerpo, como un tornillo sometido a cortante, también supone una distribución uniforme de esfuerzo. En la práctica es difícil obtener una distribución uniforme del esfuerzo cortante, pero se incluye su ecuación porque hay ocasiones en la que es necesario utilizar este supuesto.

$$\tau = \frac{F}{A} \dots \dots \dots \text{ecuación 12}$$

En el supuesto de la distribución uniforme de esfuerzo se idealiza lo siguiente:

- Que la barra sea recta y de un material homogéneo

- Que la línea de acción de la fuerza pase por el centroide de la sección (eje neutro)
- Que la sección se tome lo suficientemente alejada de los extremos y de cualquier discontinuidad o cambio abrupto en la sección transversal

7.7.2.2 Esfuerzos normales para vigas en flexión

Las ecuaciones para representar los esfuerzos normales en flexión en vigas rectas se basan en los siguientes supuestos:

- La viga se somete a flexión pura; esto significa que la fuerza cortante es nula y que no hay cargas de torsión o axiales presentes.
- El material es isotrópico y homogéneo.
- El material cumple con la ley de Hooke.
- Inicialmente la viga es recta, con una sección transversal constante en toda su longitud.
- La viga tiene un eje de simetría en el plano de la flexión.
- Las proporciones de la viga son tales que fallaría ante la flexión, en vez de fallar por aplastamiento, corrugación o pandeo lateral.
- Las secciones transversales de la viga permanecen planas durante la flexión.

La figura 43 nos muestra una parte de una viga recta sometida al momento flexionante positivo M mostrado por la flecha curva que representa el momento junto con una flecha recta que indica el vector momento. El eje X coincide con el eje neutro de la sección, y el plano XZ , que contienen los ejes neutros de todas las secciones transversales, se llama plano neutro. Los elementos de la viga que coinciden con este plano tienen un esfuerzo cero. La localización del eje neutro respecto a la sección transversal es coincidente con el eje centroidal de la sección transversal.

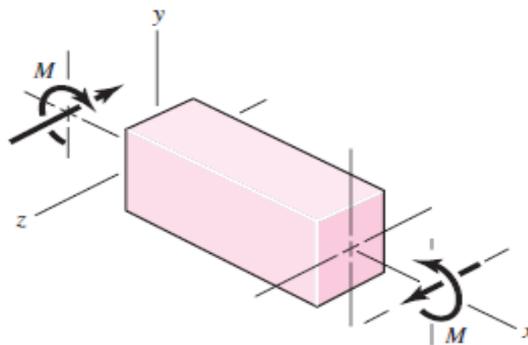


Figura 43. PORCIÓN DE VIGA SOMETIDO A UN MOMENTO FLEXIONANTE

El esfuerzo flexionante varía linealmente con la distancia desde el eje neutro (ver figura 44), Y , y viene dado por:

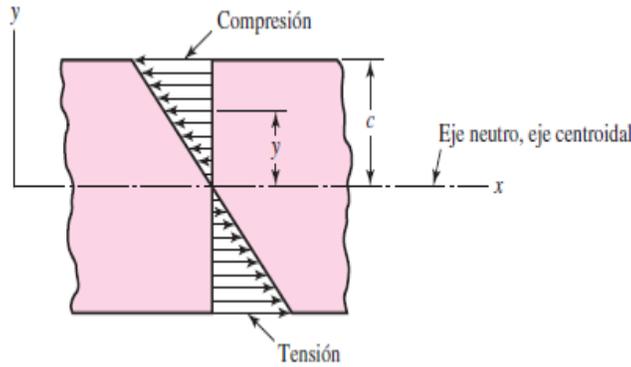


Figura 44. ESFUERZOS EN FLEXIÓN DE ACUERDO CON LA ECUACIÓN

$$\sigma_x = -\frac{My}{I} \dots \dots \dots \text{ecuación 13}$$

Donde I es el segundo momento de área alrededor del eje Z, Esto es:

$$I = \int y^2 dA \dots \dots \dots \text{ecuación 14}$$

En la figura () se muestra la distribución de esfuerzo dada por la ecuación (). La magnitud máxima del esfuerzo en flexión ocurrirá donde y tiene la magnitud más grande. Si se designa σ_{max} como la magnitud máxima del esfuerzo en flexión y c como la magnitud máxima de y ; entonces:

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I} \dots \dots \dots \text{ecuación 15}$$

La ecuación anterior puede usarse para determinar que σ_{max} es tensión o compresión. A menudo la ecuación se escribe como:

$$\sigma_{max} = \frac{M}{S} \dots \dots \dots \text{ecuación 16}$$

Donde $S = \frac{I}{c}$ se llama módulo de la sección.

7.7.2.1 Flexión en dos planos

En diseño mecánico es común que ocurra flexión en el plano XY como en el plano XZ. Considerando las secciones transversales con solo uno o dos planos de simetría, los esfuerzos de flexión están dados por:

$$\sigma_x = -\frac{M_z y}{I_z} + \frac{M_y z}{I_y} \dots \dots \dots \text{ecuación 17}$$

El primer término es igual a la ecuación 13, M_y es el momento flexionante en el plano XZ (vector momento direccionado en Y), Z es la distancia desde el eje neutro y, e I_y es el segundo momento de área con respecto al eje Y.

Para secciones transversales no circulares, la ecuación 17 es la superposición de esfuerzos causados por las dos componentes del momento flexionante. Los esfuerzos flexionantes máximos a tensión y compresión ocurren donde la sumatoria de los esfuerzos positivos y negativos más grandes, respectivamente. Para secciones transversales circulares sólidas, todos los ejes laterales son iguales y el plano que contiene el momento correspondiente a la suma vectorial de M_z y M_y contiene los esfuerzos de flexión máximos. En el caso de una viga de diámetro d , la distancia máxima desde el eje neutro es $d/2$ y de la tabla de momentos de inercia, $I = \pi d^4/64$. Entonces, el esfuerzo flexionante máximo de una sección transversal circular es

$$\sigma_m = \frac{Mc}{I} = \frac{(M_Y^2 + M_Z^2)^{1/2} (d/2)}{\pi d^4/64} = \frac{32}{\pi d^3} (M_Y^2 + M_Z^2)^{1/2} \dots \dots \text{ecuación 18}$$

7.7.2.3 Esfuerzos cortantes para vigas en flexión

Las vigas presentan fuerzas cortantes y momentos flexionantes. Sólo en ocasiones se presentan vigas sujetas a una flexión pura, es decir, vigas con fuerza cortante igual a cero. No obstante, la fórmula de la flexión se desarrolló bajo el supuesto de flexión pura vea la figura 45.

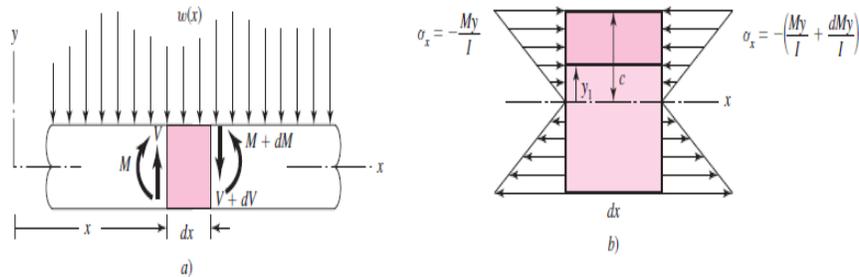


Figura 45. VIGA SOMETIDA A CORTANTE

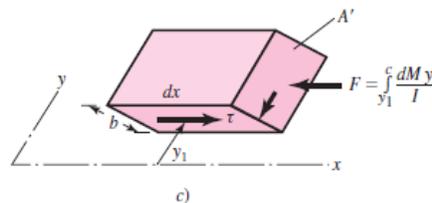


Figura 45 vista GIRADA DE CORTANTE

De hecho, la razón para suponer flexión pura simplemente fue para eliminar los efectos complicados de la fuerza cortante en el desarrollo. Para propósitos de ingeniería, la

fórmula de la flexión es válida, sin que importe si una fuerza cortante está presente o ausente. Por esta razón se utilizará la misma distribución normal del esfuerzo flexionante [ecuaciones (15) y (17)] cuando también haya fuerzas cortantes.

En la figura 45a se ilustra una viga de sección transversal constante sometida a una fuerza cortante V y a un momento flexionante M en x. Debido a la carga externa y a V, la fuerza cortante y el momento flexionante cambian con respecto a x. En x + dx la fuerza cortante y el momento flexionante son V + dV y M + dM, respectivamente. Si sólo se consideran fuerzas en la dirección x, en la figura 45b se muestra la distribución de esfuerzo σ_x debido a los momentos flexionantes. Si dM es positiva, con el momento flexionante en crecimiento, los esfuerzos sobre la cara derecha, para un valor dado de y, son mayores que los esfuerzos sobre la cara izquierda. Si posteriormente se aísla el elemento y se realiza un corte en y = y1 (vea la figura 45 b), la fuerza total en la dirección x estará dirigida hacia la izquierda con un valor de

$$\int_{y_1}^c \frac{(dM)y}{I} dA \dots \dots \dots \text{ecuación 19}$$

Como se ve en la vista girada de la figura 45c. Para lograr el equilibrio se requiere una fuerza cortante sobre la cara inferior, que se dirija hacia la derecha. Esta fuerza cortante da lugar a un esfuerzo cortante τ , donde, si se supone uniforme, la fuerza es $\tau b dx$. Por lo tanto:

$$\tau_b dx = \int_{y_1}^c \frac{(dM)y}{I} dA \dots \dots \dots \text{a)}$$

El término dM/I puede sacarse de la integral y b dx suele colocarse en el lado derecho de la ecuación; entonces, de la ecuación (3-3) con $V = dM/dx$, la ecuación a) se convierte en:

$$\tau = \frac{V}{Ib} \int_{y_1}^c y dA \dots \dots \dots \text{ecuación 20}$$

En esta ecuación, la integral es el primer momento del área A

con respecto al eje neutro (vea la figura 45c). Esta integral se designa comúnmente como Q. Entonces,

$$Q = \int_{y_1}^c y dA = \bar{y}' A' \dots \dots \dots \text{ecuación 21}$$

donde, para el área aislada de y_1 a c, y testada prima es la distancia en la dirección y desde el plano neutro hasta el centroide del área A prima. Con esto, la ecuación (3-29) puede expresarse como:

$$\tau = \frac{VQ}{Ib} \dots\dots\dots \text{ecuacion 22}$$

Al utilizar esta ecuación, note que b es el ancho de la sección en $y = y_1$. Asimismo, I es el segundo momento del área de toda la sección alrededor del eje neutro.

7.7.2.3.1 Esfuerzos cortantes en vigas con sección estándar

La distribución del esfuerzo cortante en una viga depende de cómo varia Q/b como una función de y_1 . Estudiaremos la distribución del esfuerzo cortante en una viga de sección rectangular proporcionando resultados de valores máximos del esfuerzo cortante para otras secciones transversales estándar. En la figura 46 es parte de una viga sometida a una fuerza cortante V y a un momento flexionante M . Como resultado de este último, se desarrolla un esfuerzo normal σ en una sección transversal como la que se denota por A-A, la cual está en compresión arriba del eje neutro y en tensión abajo del mismo.

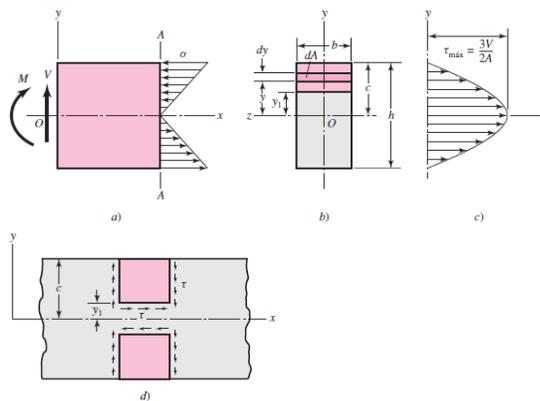


Figura 46 VIGA SOMETIDA A CORTANTE

Para investigar el esfuerzo cortante a una distancia y_1 por encima del eje neutro, se selecciona un elemento de área dA a una distancia y , arriba del eje neutro. Entonces, $dA = bdy$, y la ecuación (3-30) se convierte en

$$Q = \int_{y_1}^c y dA = b \int_{y_1}^c y dy = \frac{by^2}{2} \Big|_{y_1}^c = \frac{b}{2} (c^2 - y_1^2) \dots\dots\dots \text{ecuación 23}$$

Sustituyendo este valor de Q en la ecuación 3.31 se obtiene

$$\tau = \frac{V}{2I} (c^2 - y_1^2) \dots\dots\dots \text{ecuacion 24}$$

Ésta es la ecuación general del esfuerzo cortante en una viga rectangular. Para aprender algo acerca de ella, haga algunas sustituciones. En la tabla A-18 se muestra que el segundo momento del área de una sección rectangular es $I = \frac{bh^3}{12}$; sustituyendo $h = 2c$ y $A = bh = 2bc$ se tiene

$$I = \frac{Ac^2}{3} \dots \dots \dots \text{ecuación 25}$$

Usando el valor de I en la ecuación 3.32 y reordenando términos, se obtiene:

$$\tau = \frac{3V}{2A} \left(1 - \frac{y_1^2}{c^2}\right) \dots \dots \dots \text{ecuación 26}$$

El esfuerzo cortante máximo ocurre cuando $y_1 = 0$, que está en el eje neutro de flexión. Así,

$$\tau_{max} = \frac{3V}{2A} \dots \dots \dots \text{ecuación 27}$$

En el caso de una sección rectangular. A medida que se aleja del eje neutro, el esfuerzo cortante disminuye parabólicamente hasta que es cero en la superficie exterior donde $y_1 = \pm c$, como se muestra en la figura 46c. Aquí es particularmente interesante y significativo observar que el esfuerzo cortante es máximo en el eje neutro, donde el esfuerzo normal, debido a la flexión es cero, y que el esfuerzo cortante es cero en las superficies exteriores, donde el esfuerzo flexionante corresponde a un máximo. El esfuerzo cortante horizontal siempre está acompañado por un esfuerzo cortante vertical de igual magnitud, por lo cual la distribución se representa en un diagrama como el que se muestra en la figura 46d. En la figura 46c se ve que el esfuerzo cortante τ sobre las superficies verticales varía junto con y . Casi siempre se muestra interés por el cortante horizontal, τ en la figura 46d, el cual es casi uniforme cuando y es constante. El cortante horizontal máximo ocurre donde el cortante vertical es el mayor. Por lo general esto sucede en el eje neutro, pero quizá no sea así si el ancho b es menor en alguna otra sección. Aún más, si la sección es tal que b se pueda minimizar en un plano no horizontal, entonces el esfuerzo cortante horizontal ocurre en un plano inclinado. Por ejemplo, en un tubo, el esfuerzo cortante horizontal ocurre en un plano radial y el “esfuerzo vertical” correspondiente no es vertical, sino tangencial.

En la tabla 4 se presentan las fórmulas del esfuerzo cortante máximo por flexión para los perfiles que se usan con mayor frecuencia.

Tabla 4 FORMULAS DEL ESFUERZO CORTANTE MAXIMO AFLEXION

Forma de la viga	Fórmula	Forma de la viga	Fórmula
 Rectangular	$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{3V}{2A}$	 Circular hueca con pared delgada	$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{2V}{A}$
 Circular	$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{4V}{3A}$	 Viga I estructural (con pared delgada)	$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{V}{A_{Alma}}$

7.7.2.4 Torsión

Todo vector momento colineal con un eje de elemento mecánico es llamado “*vector de par de torsión*”, porque el momento causa que el elemento o miembro estructural se tuerza respecto a ese eje. Una barra sometida a este tipo de esfuerzo está sometida a torsión.

Como se muestra en la figura 47, el par de torsión T que se aplica a una barra se designa dibujando flechas en la superficie de la barra para indicar su dirección o dibujando flechas de vector-par de torsión a lo largo de los ejes de torsión de la barra. Los vectores de par de torsión son las flechas huecas que se muestran en el eje x de la figura 47. Observe que siguen la regla de la mano derecha para vectores.

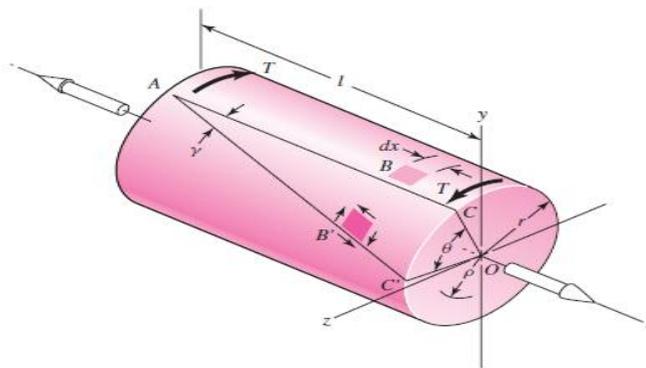


Figura 47 PAR DE TORSION T EN UNA BARRA CIRCULAR

El ángulo de giro, en radianes, de una barra solida de sección circular se calcula mediante la ecuación:

$$\theta = \frac{Tl}{GJ} \dots \dots \dots \text{ecuación 28}$$

Donde

$T = \text{Par de torsion}$

$l = \text{Longitud}$

$G = \text{Modulo de Rigidez}$

$J = \text{Momento polar de inercia}$

A través de la sección transversal se desarrollan esfuerzos cortantes. Para una barra sólida circular en torsión, estos esfuerzos son proporcionales al radio ρ y están dados por

$$\tau = \frac{T\rho}{J} \dots\dots\dots \text{ecuación 29}$$

Si se designa a r como el radio de la superficie exterior, se tiene

$$\tau_{max} = \frac{Tr}{J} \dots\dots\dots \text{ecuación 30}$$

Los supuestos que se aplicaron en el análisis son:

- Sobre la barra actúa un par de torsión puro y las secciones bajo consideración se encuentran alejadas del punto de aplicación de la carga y de un cambio de diámetro.
- Las secciones transversales originalmente planas y paralelas permanecen planas y paralelas después de la torsión, y cualquier línea radial permanece recta.
- El material obedece la ley de Hooke.

Para una sección circular solida;

$$J = \frac{\pi d^4}{32} \dots\dots\dots \text{ecuación 31}$$

Donde d es el diámetro de la barra. Para una sección circular hueca

$$J = \frac{\pi}{32} (d_0^4 - d_i^4) \dots\dots\dots \text{ecuación 32}$$

Donde los subíndices 0 e i se refieren a los diámetros exterior e interior respectivamente.

Cuando se usa la ecuación (3-37), con frecuencia es necesario obtener el par de torsión T mediante la consideración de la potencia y velocidad del eje rotatorio. Por conveniencia, cuando se emplean unidades de uso común en Estados Unidos, existen tres formas de esta relación que son

$$H = \frac{FV}{33000} = \frac{2\pi Tn}{33000(12)} = \frac{Tn}{63025} \dots\dots\dots \text{ecuación 33}$$

Dónde:

$H = \text{potencia, hp}$

$T = \text{par de torsion. lbf} * \text{pul}$

$n = \text{velocidad de rotacion del eje, rev/min}$

$F = \text{fuerza, lbf}$

$V = \text{velocidad, ft/min}$

Cuando se utilizan unidades SI, la ecuación es:

$$H = T\omega \dots\dots\dots \text{ecuación 34}$$

Dónde:

$H = \text{potencia, W}$

$T = \text{par de torsion, N} * \text{m}$

$\omega = \text{velocidad angular, rad/s}$

El par de torsión T corresponde a la potencia en *watts*, se obtiene aproximadamente por:

$$T = 9.55 \frac{H}{n} \dots\dots\dots \text{ecuación 35}$$

Donde n se expresa en revoluciones por minuto.

Hay algunas aplicaciones en maquinaria para elementos y ejes de sección transversal no circulares, donde una sección transversal poligonal regular resulta útil para transmitir el par de torsión a un engrane o a una polea que no pueda tener movimiento en dirección axial. Como se necesita una cuña o cuñero, se evita la posibilidad de fracturarlo. Saint Venant (1855) demostró que el esfuerzo cortante máximo en una barra de sección transversal rectangular $b \times c$ ocurre en la parte media del lado mayor b y tiene la magnitud;

$$\tau_{max} = \frac{T}{abc^2} \equiv \frac{T}{bc^2} \left(3 + \frac{1.8}{b/c} \right) \dots\dots\dots \text{ecuación 36}$$

Donde b es el lado mayor, c el menor y α un factor que es una función de la relación b/c, como se muestra en la siguiente tabla.

b/c	1.00	1.50	1.75	2.00	2.50	3.00	4.00	6.00	8.00	10	∞
α	0.208	0.231	0.239	0.246	0.258	0.267	0.282	0.299	0.307	0.313	0.333
β	0.141	0.196	0.214	0.228	0.249	0.263	0.281	0.299	0.307	0.313	0.333

El ángulo de giro tiene la forma;

$$\theta = \frac{Tl}{\beta bc^3 G} \dots \dots \dots \text{ecuación 37}$$

Donde β es una función de b/c, como se muestra en la tabla.

En las ecuaciones (36) y (37) b y c son el ancho (lado largo) y el espesor (lado corto) de la barra, respectivamente. Tales dimensiones no se pueden intercambiar. La ecuación (36) también es aproximadamente válida para ángulos de lados iguales; éstos se consideran como dos rectángulos, cada uno capaz de soportar la mitad del par de torsión.

7.7.2.5 Esfuerzos de von mises (teoría de la energía de distorsión (ted))

Esta teoría postula que la falla es causada por la energía elástica asociada con la deformación por cortante. El esfuerzo cortante octaédrico está dado por:

$$\tau_{oct} = \frac{1}{3} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \dots \dots \dots \text{ecuación 38}$$

El esfuerzo octaédrico producido por una tensión uniaxial ($\sigma_2 = \sigma_3 = 0$) es:

$$\tau_{oct} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sigma_1 \dots \dots \dots \text{ecuacion 39}$$

El esfuerzo octaédrico máximo ocurre en:

$$(\tau_{oct})_{limite} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sigma_e \dots \dots \dots \text{ecuacion 40}$$

Donde σ_e = esfuerzo de Von Mises.

Para un estado de esfuerzos triaxial:

$$\sigma_e = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right]^{1/2} \dots \dots \dots \text{ecuación 41}$$

Para un estado de esfuerzos biaxial, suponiendo $\sigma_3 = 0$,

$$\sigma_e = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2)^{1/2} \dots\dots\dots\text{ecuacion 42}$$

En función de los esfuerzos aplicados, para el caso biaxial:

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \dots\dots\dots\text{ecuacion 43}$$

De esta forma, la teoría de la energía de distorsión predice la falla si

$$\sigma_e = \frac{S_y}{n_s} \dots\dots\dots\text{ecuacion 44}$$

La ecuación (42) describe una elipse, que al ser trazada sobre los ejes s_1 y s_2 aparece como se muestra en la figura (48) que se indica a continuación:

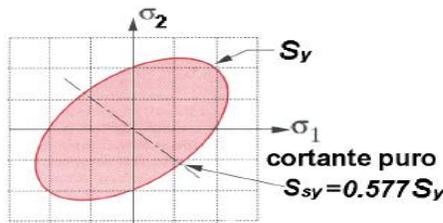


Figura 48 REPRESENTACION GRAFICA DE LA ENERGIA DE DISTORSION (TED) PARA UN ESTADO DE ESFUERZO BIAxIAL

8 METODOLOGIA DE PROYECTO

El empleo de una metodología para la realización del proyecto es una de las actividades más importantes para un desarrollo estructurado del mismo. Así pues, se

presenta a continuación de manera general, la metodología aplicada durante la realización del presente proyecto.

- Documentación del proyecto
- Búsqueda del fundamento teórico del proyecto
- ¿Qué se pretende con el análisis?
- ¿Cómo va a ser la geometría que vamos a analizar?
- ¿Qué condiciones de contorno imponemos sobre el sistema a estudiar?
- ¿Qué resultados esperamos obtener?

8.1 DOCUMENTACIÓN DEL PROYECTO

La documentación es parte fundamental de la planificación, ya que esta nos permite visualizar el panorama general de lo que vamos a investigar, tener a la mano artículos, libros, manuales y procedimientos es el primer paso a realizar para poder elaborar un fundamento teórico.

La documentación del proyecto es la parte principal o la columna vertebral de lo que se investiga, es lo que se debe hacer primero para poder llevar a cabo una propuesta de solución de lo que se está estudiando.

8.2 BÚSQUEDA DEL FUNDAMENTO TEÓRICO DEL PROYECTO

Una vez que se cuenta con la documentación previa del proyecto, es momento de analizar y seleccionar la información propia de nuestra investigación, lo que nos permite lograr la base para desarrollar la teoría con la que ya se cuenta al respecto.

En el fundamento teórico se hace una depuración intensiva de toda la información extensiva que se buscó en la documentación del proyecto. Es aquí donde concentramos los principios físicos, matemáticos y de la ciencia a tratar, con el objetivo de sustentar y justificar el porqué de lo que estamos investigando.

8.3 ¿QUÉ SE PRETENDE CON EL ANÁLISIS?

Determinar tensiones, ver cómo evoluciona el sistema, calcular esfuerzos de Von-Mises, y compararlos con un factor de seguridad. Esta pregunta nos determinará el tipo de análisis a realizar.

El objeto de nuestro estudio es desarrollar el “Método del elemento finito” aplicado a los esfuerzos en una máquina de rotación biaxial, esto es realizar un análisis estático a una estructura de rotomoldeo en dos ejes.

Desarrollando este método tan importante para el diseño, estaremos estableciendo parámetros de diseños que nos permitirán mejorar el mismo, por medio del análisis de

esfuerzos, que darán como resultados observar las posibles fallas en la estructura de la máquina.

Con lo anterior buscamos que la empresa Rotoinnovacion, cuente con mayores propuestas para diseñar sus modelos de máquinas, reduciendo al máximo las posibles fallas de la maquina en general, o rediseñar los elementos en la estructura que son propenso a fallas mecánicas estáticas, es útil mencionar, que este proyecto de residencia es útil para tener un control de las partes de máquinas, tales como ejes de balanceo y ejes de rotación, entre otros que estaremos abordando en los siguientes puntos de este escrito.

Cabe mencionar que el análisis del esfuerzo aunado a la simulación, es una parte muy objetiva que nos permitirá por medio de los paquetes de software verificar aquellos puntos máximos para esfuerzos y rigideces, y así nos dará datos claros para poder corregir los errores que puedan surgir o estén ya presentes.

Para lograr este objetivo haremos uso de dos programas de “Diseño Asistido por Computadora” CAD (por sus siglas en ingles), que son: Solidworks 2016 y Ansys Workbench 14.0.

Por lo dicho en el párrafo anterior es necesario explicar que haremos uso de 2 software con el primero el Solidworks 2016 crearemos todas las piezas y haremos los ensambles correspondientes, debido a la gran capacidad, reconocimiento y validez para la realización de este tipo de propósitos, es bien sabido el uso creciente de este programa de CAD en las universidades e industrias, sobre todo por los resultados tan eficientes que la experiencia en la ingeniería ha dado, además de usarlo como una herramienta para dibujar y hacer ensambles, también lo usare como un simulador, usando un anexo al programa que se llama “Solidworks Simulation”.

El segundo programa Ansys Workbench 14.0 lo usare por la gran capacidad de este para poder resolver simulaciones con un enfoque más prominentemente físico-matemático para resolver las ecuaciones de la teoría de esfuerzos, entonces estos resultados son más precisos incluso que los de Solidworks debido a que usa ecuaciones numéricas más complejas, por esto la simulación es más realista, esto no significa que el Solidworks no sea apropiado o que debemos desvalorizarlo, solo que es menos preciso. Lo mismo podríamos decir de Ansys Workbench 14.0 que cuenta con una sección para crear modelos pero para esto el Solidworks es más especializado, de ahí el hecho de usar a ambos programas.

8.4 ¿CÓMO VA A SER LA GEOMETRÍA QUE VAMOS A ANALIZAR?

Es un hecho que conocemos la geometría real del problema, pero a la hora de realizar su análisis deberemos simplificarla al máximo en función del objetivo del análisis, ya que la mayoría de los detalles son superfluos y lo único que conllevan es un consumo

excesivo de tiempo de cálculo y de espacio de almacenamiento. Para ello deberemos buscar posibles simetrías, antisimetrías, axisimetrías del problema, problemas de tensión o deformación planas, eliminación de detalles superfluos: radios de acuerdo, entallas. Una vez estudiada la geometría podremos decidir el o los tipos de elementos a utilizar, las características de los mismos, así como las propiedades del o los materiales (módulo de elasticidad, conductividad, etc.) a emplear.

Ahora procederé a mostrar la máquina de rotomoldeo que se usa en la planta de rotomoldeo, la cual es un ensamble en Solidworks 2016, es bueno aclarar que presento la estructura que analizare omitiendo unos elementos como son: motores y engranes, porque para el fin de nuestro estudio empleare el valor de los torques que estos producen.

En este apartado veremos la geometría general, junto con el mallado del mismo y los materiales que se usan para cada subensamble y pieza que intervengan en el sistema.

El mallado como bien sabemos es parte de la discretización del problema, y es importante debido a que tenemos que usarlo apropiadamente para no incurrir en errores, es obvio que presentamos muchos tipos de mallados pero nos quedamos con el que optimiza mayormente los resultados, es decir el que converge con el diseño estático de un modo lineal y que además como veremos en el apartado de conclusiones es muy diferente el mallado y la forma de controlar el mismo en los dos programas de CAD ya mencionados, y que compararemos en el mismo.

El reporte de los materiales son predeterminados y proporcionados por la empresa, pero las propiedades mecánicas son búsqueda nuestra, que en el caso del Ansys es muy similar a las datos que el mismo software proporciona. Aquí pues básicamente son dos tipos de materiales a usar: El Acero Estructural y el Acero Inoxidable. Sin más preámbulos mostraremos más detalladamente nuestro diseño de maquina elaborado en Solidworks 2016, que fue exportado al Ansys 14.0 con la extensión IGES.

Veamos 3 de las vistas más importantes de nuestra máquina.

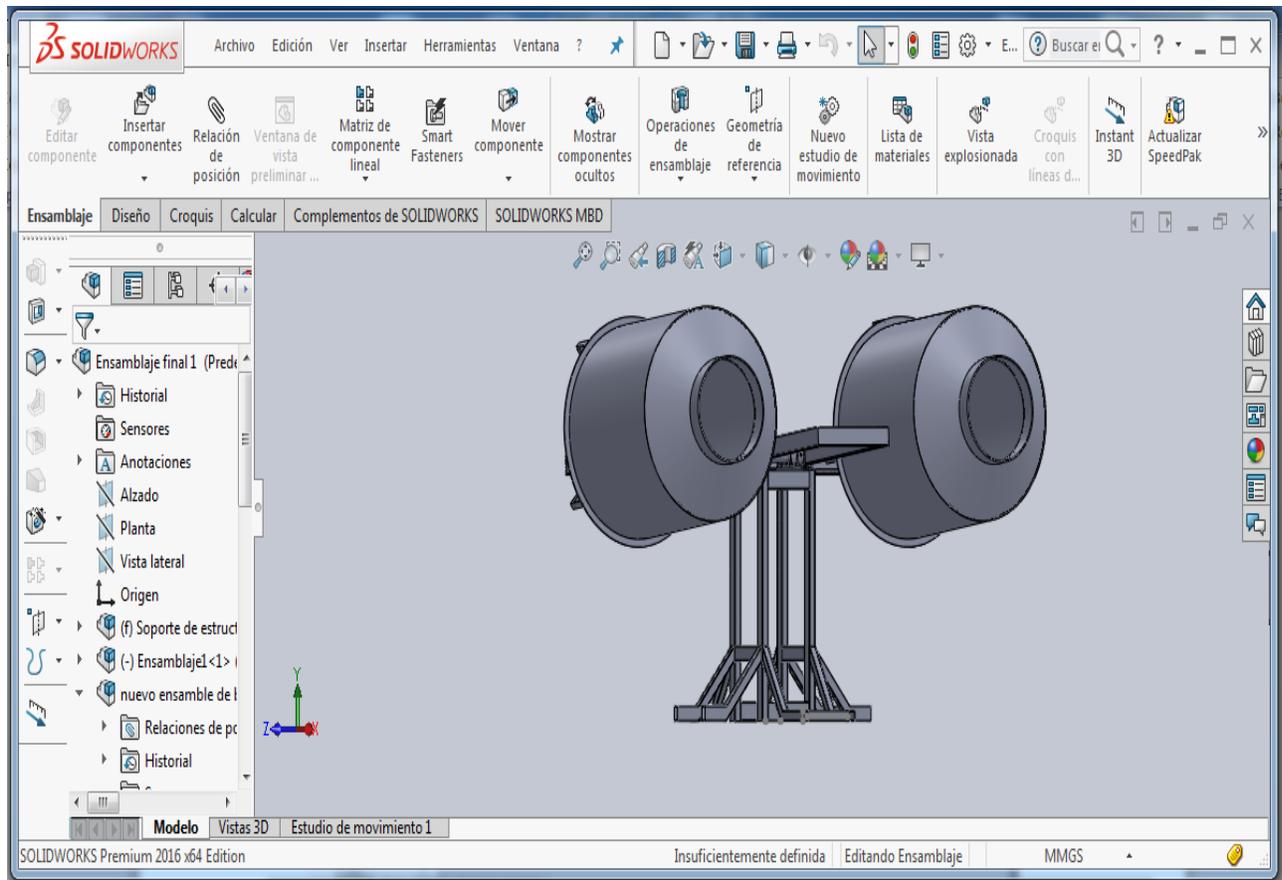


Figura 49. VISTA ISOMETRICA DE LA MAQUINA DE ROTOMOLDEO

La vista desde arriba nos va a servir para indicar que es aquí donde se van a aplicar los momentos, como vemos en la imagen podemos ver tres ejes que no proporcionan la transmisión de potencia, dos ejes que son los que sostienen a los dos molde, los cuales son llamados ejes de rotación, los cuales nos permiten rotar sobre el eje X, y hay un eje que sostiene la estructura en forma de T, este es el eje de balanceo, el cual transmite la potencia sobre el eje Z.

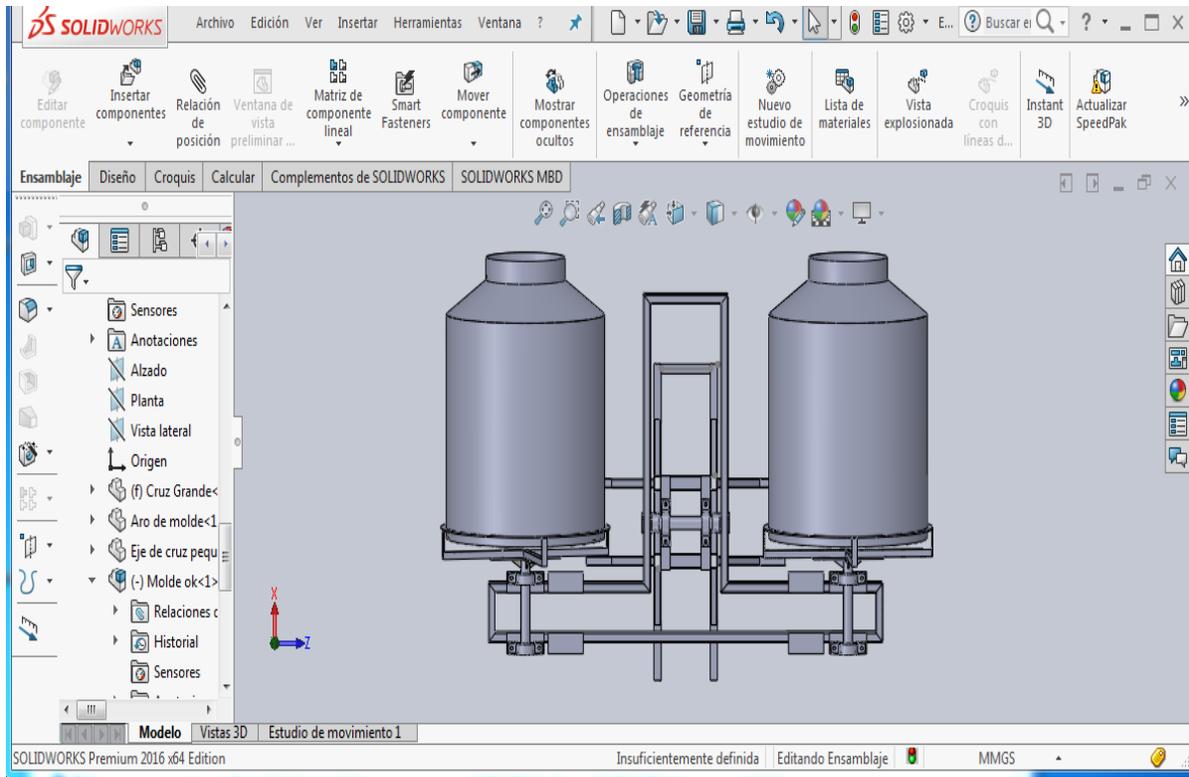


Figura 50. VISTA DE ARRIBA DE LA MAQUINA DE ROTOMOLDEO

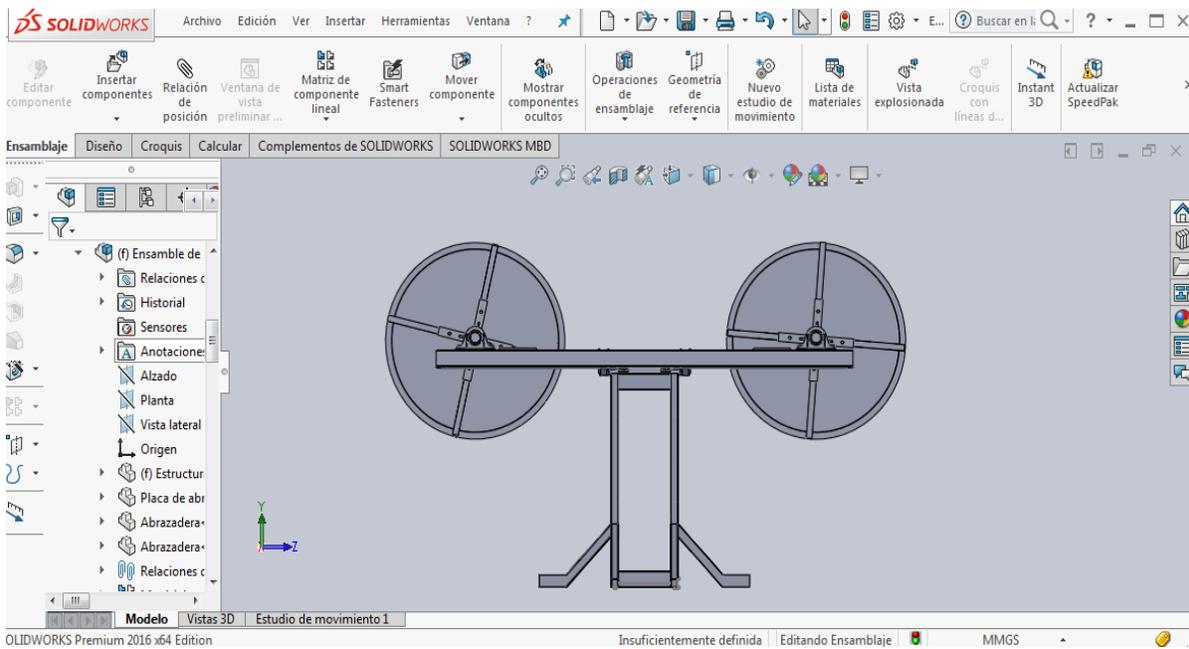


Figura 51. VISTA TRACERA DE LA MAQUINA DE ROTOMOLDEO

Ahora veamos el control de la malla para el sistema:

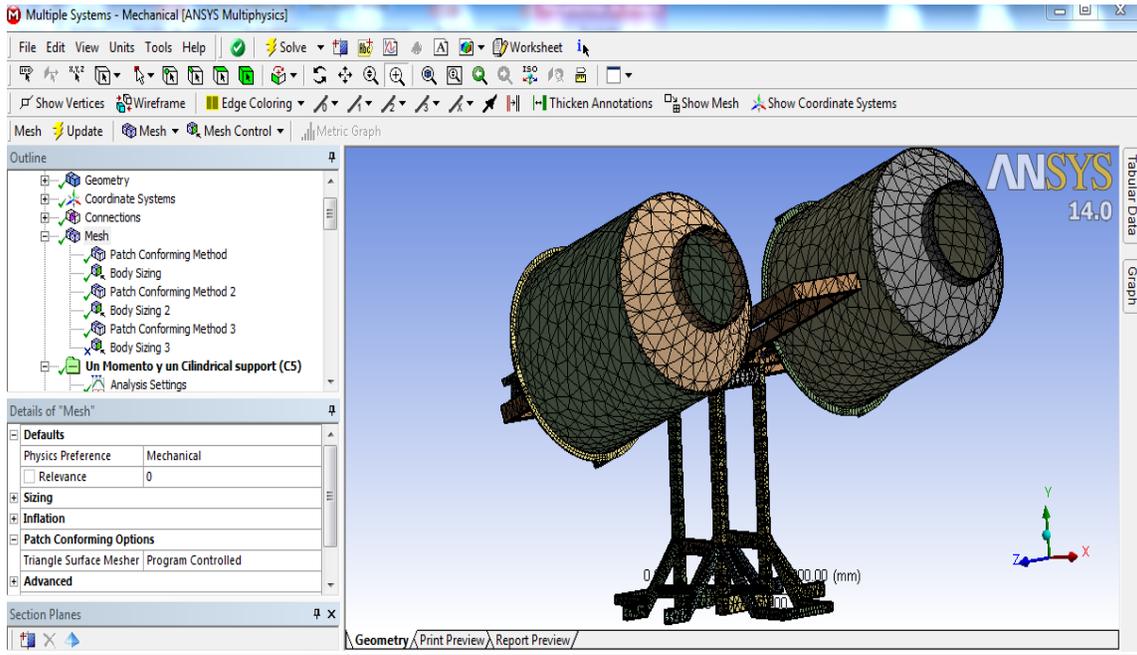


Figura 52. MALLADO DE LA MAQUINA DE ROTOMOLDEO

Como nos podemos dar cuenta en la parte de outline vemos los controladores para el mallado general, por medio de 5 controles que explicaremos a groso modo por medio de las siguientes figuras y sus respectivas explicaciones.

El primer controlador es: Patch conforming method

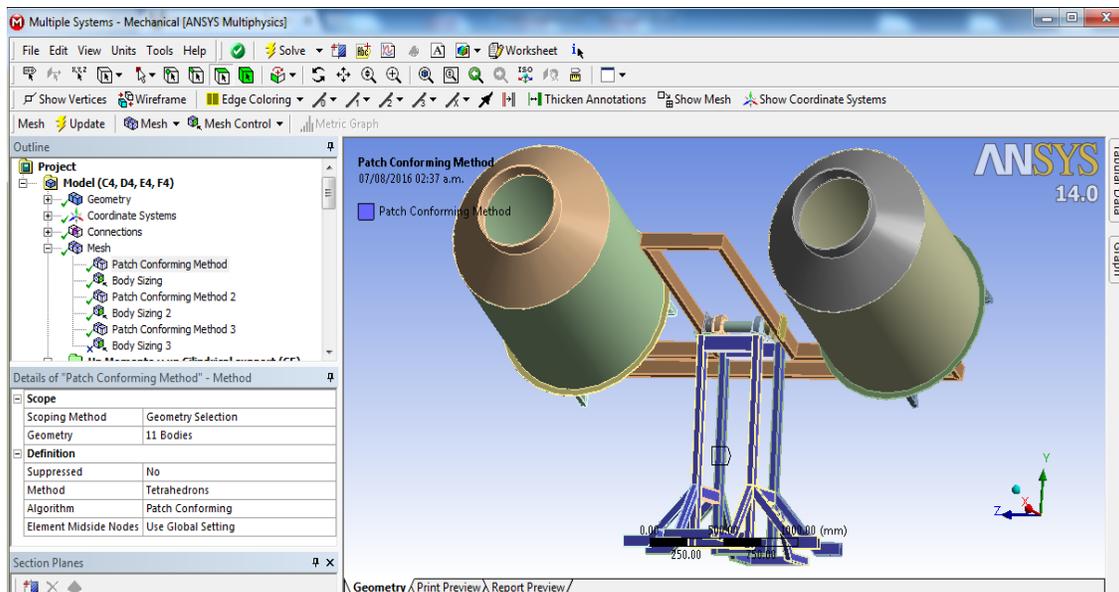


Figura 53. PARCHE CONFORME METODOS DE MALLA

El parche conforme al método de malla, se refiere básicamente en; Este método utiliza un enfoque de abajo hacia arriba (crea malla de la superficie a continuación, malla de volumen). Y Múltiples algoritmos de mallado de superficie tetraédricos se emplean para garantizar una malla de superficie de alta calidad.

El segundo controlador es: Body Sizing

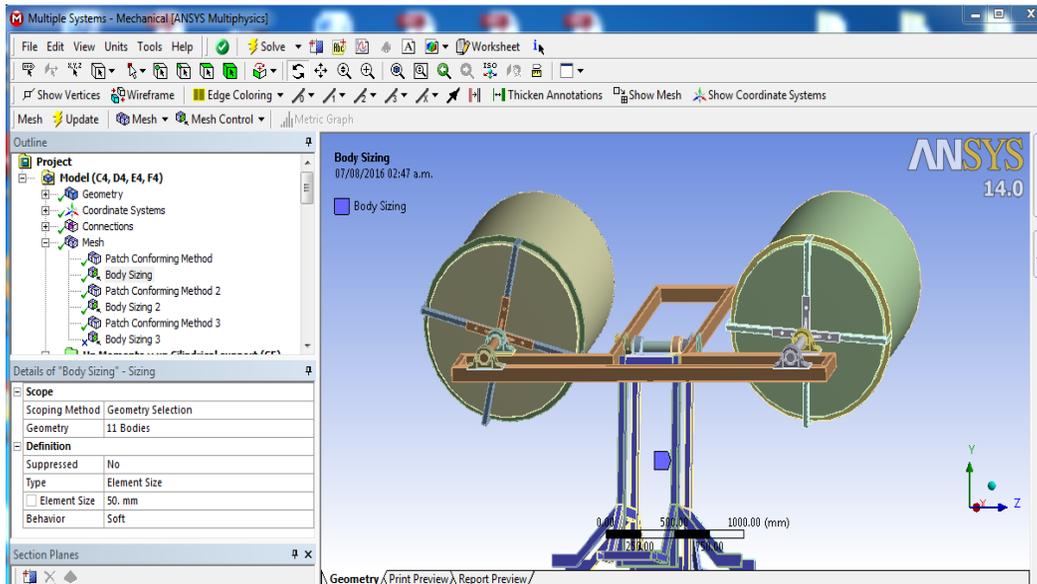


Figura 54. CUERPO DE CALIBRACION DEL MALLADO

Que significa la medida en promedio de cada malla entre nodo, que aquí es de 50 mm.

El tercer controlador es: Patch conforming method 2 (usa 21 elementos)

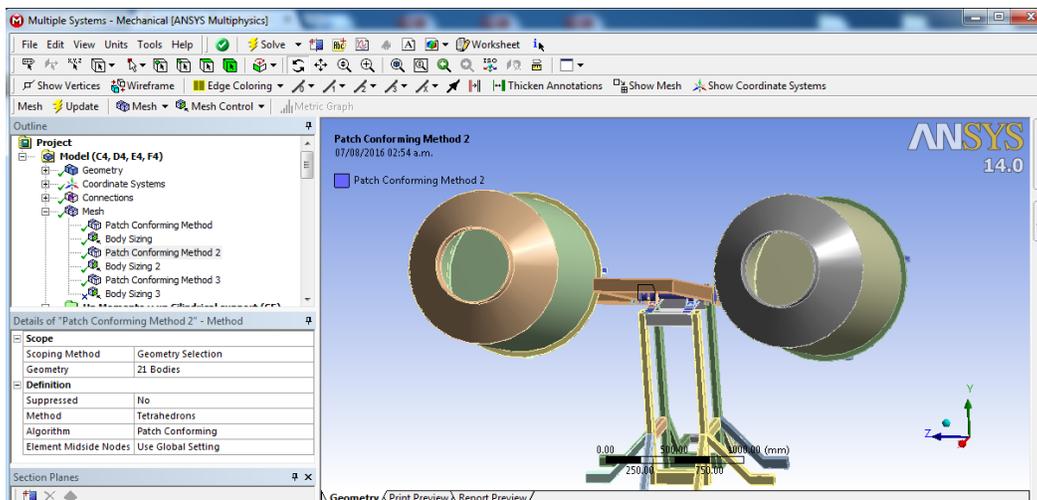


Figura 55. PARCHES CONFORME METODOS DE MALLA 2

El cuarto controlador es: Body Sizing 2 (aquí se usa 21 cuerpos con una medida general de 30 mm)

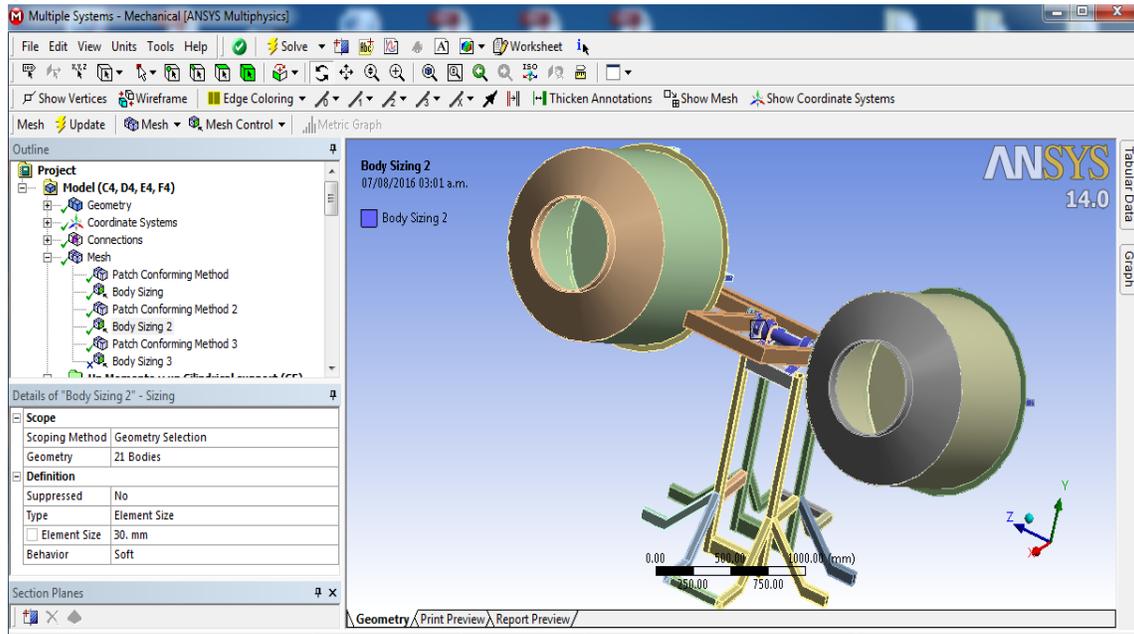


Figura 56. CUERPO DE CALIBRACION DEL MALLADO 2

El quinto controlador es: Patch Conforming Method 3.(que ahora solo usa 4 cuerpos, el mallado es tetraedrico)

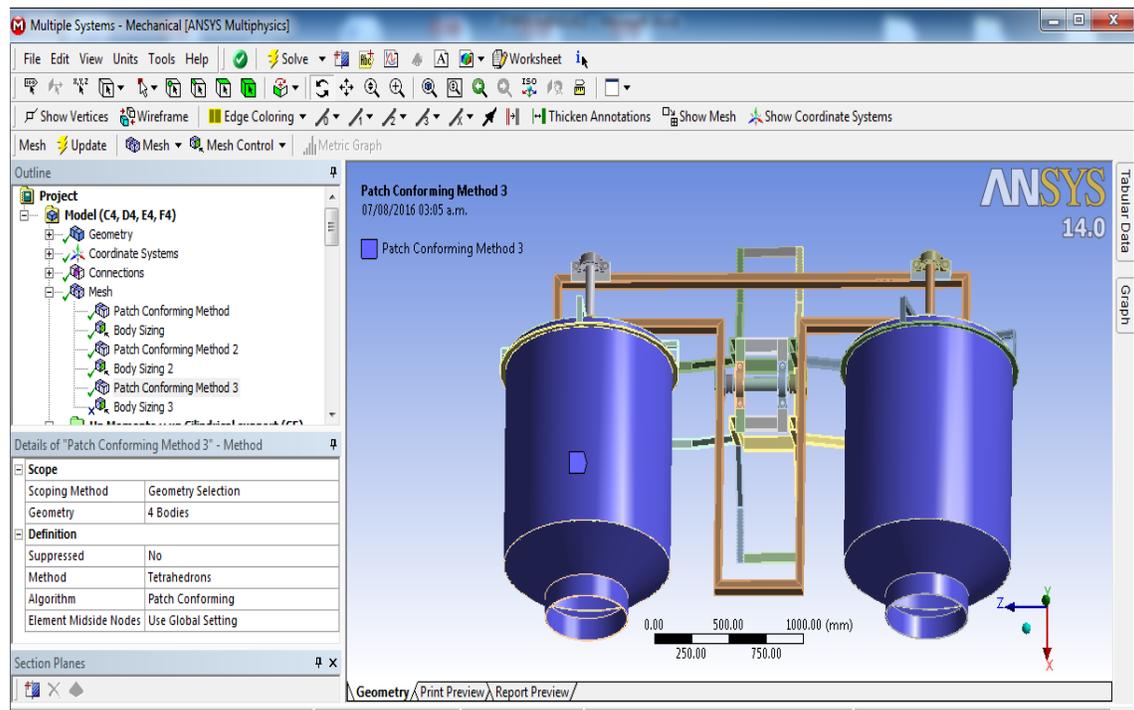


Figura 57. PARCHE CONFORME METODOS DE MALLA 3

Hemos concluido con los elementos para mallas, es momento de proceder a usar el uso de los materiales que usaremos: el acero estructural y el acero inoxidable.

Para agregar material es importante conocer los materiales a usar y sus propiedades mecánicas, elabore una investigación sobre estos materiales, y sus propiedades son muy próximas con las que se encuentran en el ANSYS 14.

Lo primero que se hace es, mantener una programación en el software, como el que se ve en la figura 58.

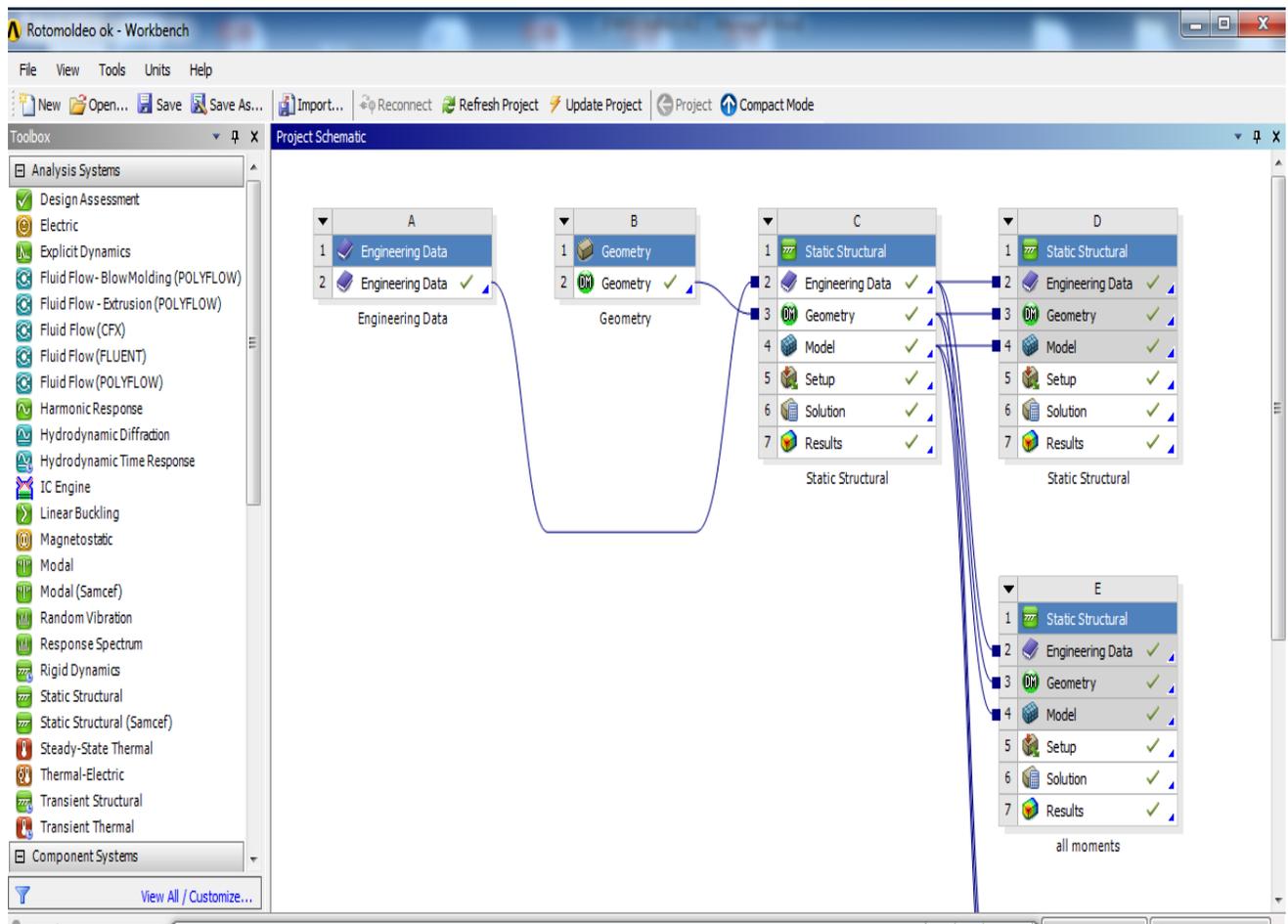


Figura 58. PROGRAMACION GENERAL DE BLOQUES Y CELULAS DE ANSYS 14.0

Lo segundo que se hace es editar el material, con lo cual podemos agregarlos en el modelo general, ver figura 59. Para esto tenemos que irnos en editar material, y elegir general material.

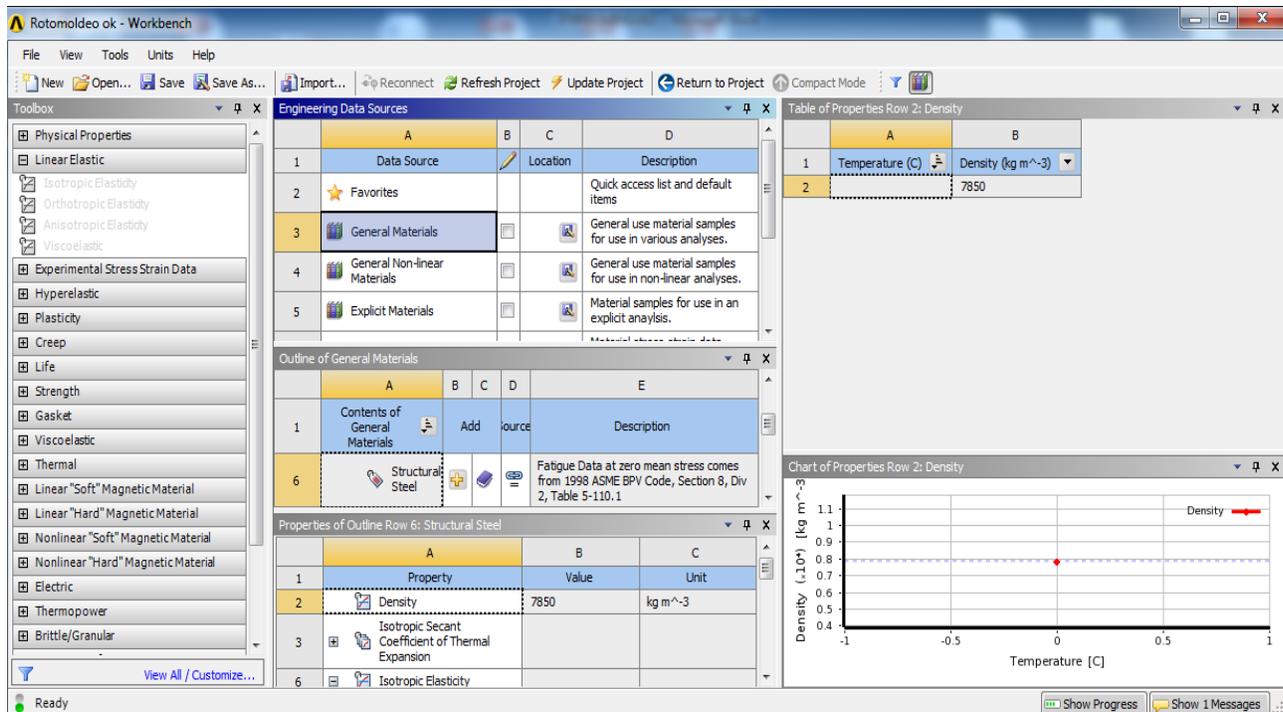


Figura 59. EDITANDO MATERIALES EN LA SIMULACION

Aquí agregamos cualquier material, o el especificado, en este caso porque sabemos los materiales esos son lo que vamos a usar.

Una vez escogidos los materiales, nos vamos a outline of Schematic, donde lo agregamos al proyecto (véase figura 60).

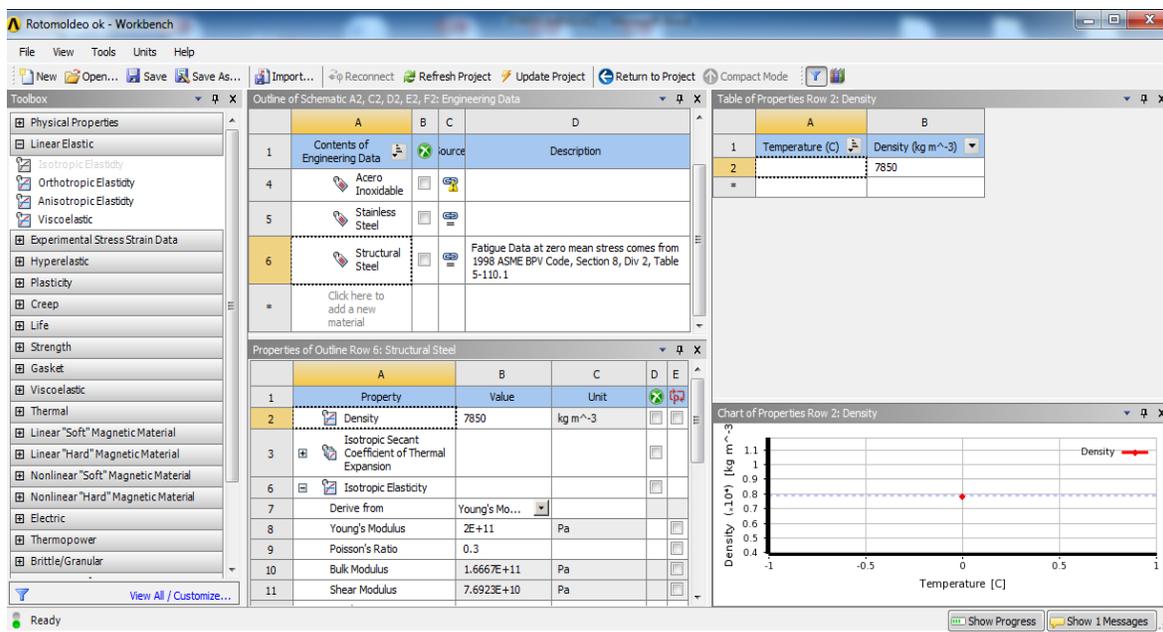


Figura 60. AGREGANDO EL MATERIAL EDITADO AL PROYECTO.

Una vez editado y agregado el material es momento de ir al modelo y registrar cada material a los elementos que intervienen el proyecto, la figura 61 nos muestra un ejemplo el elemento en verde es el que se cambiara de material..

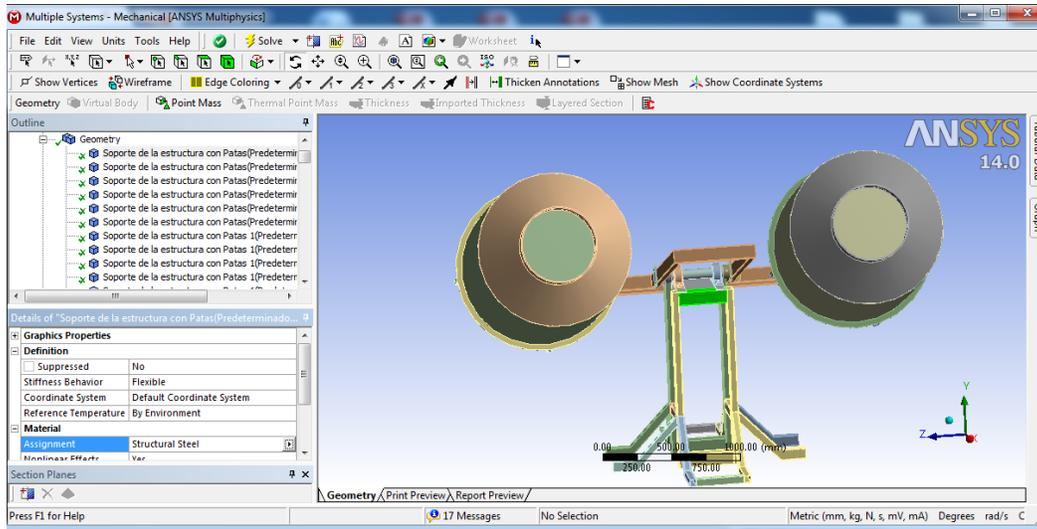


Figura 61. AGREGANDO MATERIAL AL MODELO DEL PROYECTO

8.5 ¿QUÉ CONDICIONES DE CONTORNO IMPONEMOS SOBRE EL SISTEMA A ESTUDIAR?

Las condiciones de contorno o de frontera también son conocidas, pero deberemos estudiar si son o no importantes o influyentes en el tipo de análisis que vamos a realizar (puede darse el caso, por ejemplo, de que nuestro sistema esté sometido a un cambio brusco de temperatura, pero que deseemos realizar un análisis modal para conocer sus frecuencias naturales, en cuyo caso el resultado es independiente de esta condición).

Una vez decididas las condiciones de contorno hemos de estudiar la forma de aplicarlas, si representan las condiciones reales del problema, si existe equilibrio (en el caso de que sea un análisis estático). La imposición de condiciones de contorno apropiadas es una de las decisiones más complejas a la hora de realizar un análisis por elementos finitos.

8.5.1 detalles del programa Ansys 14.0 para el sistema a estudiar

Para usar el programa CAD ANSYS 14.0, debemos decidir qué tipo de análisis debemos hacer, y seleccionar el estudio que vamos a realizar, este programa tiene un toolbox (caja de herramientas) donde seleccionamos el método estático estructural (ver figura 62). Esta selección es lo más apropiado para nuestro análisis de esfuerzos introduciendo el desarrollo del método del elemento finito, ya que nos permite usar las

teorías de diseño como el esfuerzo de Von-Mises, de esfuerzo cortante, deformaciones y tensiones, que son principalmente el objeto de nuestro estudio.

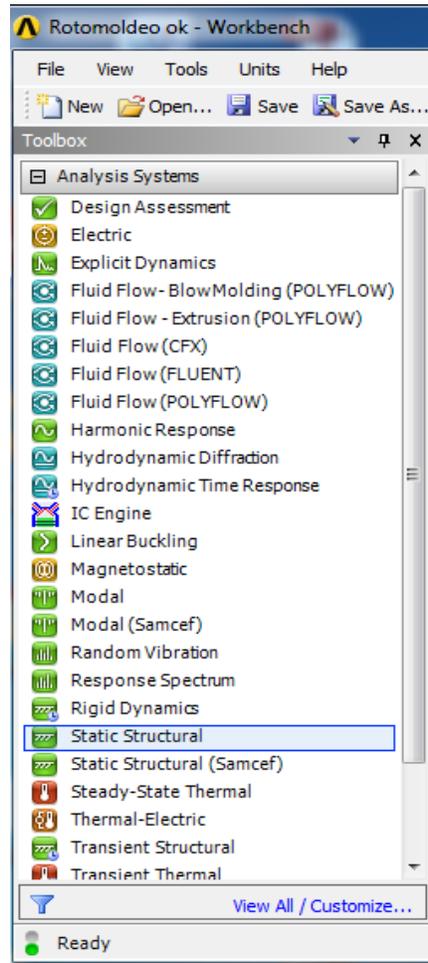


Figura 62. CAJA DE HERRAMIENTAS PARA SELECCIONAR EL TPO DE ESTUDIO A REALIZAR

Una vez seleccionado el estudio, debemos programar con los bloques que el programa tiene, e inclusive podemos ir agregando células (cada elemento de un bloque), para posteriormente unir el estudio (ver figura 63), y es que este es lo novedoso de Ansys que permite hacer múltiples estudios en un solo paquete de cálculo, aunado a esto el programa es multifísico, es decir que realiza múltiples operaciones físicas en un solo estudio, como vamos a ver en lo que resta de este apartado.

Es importante mencionar que en el momento de escoger el bloque de análisis estático, seleccionaremos la célula "Modelo" la cual abre otra pestaña que es donde se visualizan los resultados de los múltiples estudios que se hacen en la pantalla principal de Ansys.

En la pantalla de “Modelo” se realizan las operaciones físicas necesarias o que ya se decidieron hacer, el programa internamente resuelve las ecuaciones numéricas que nos darán los resultados.

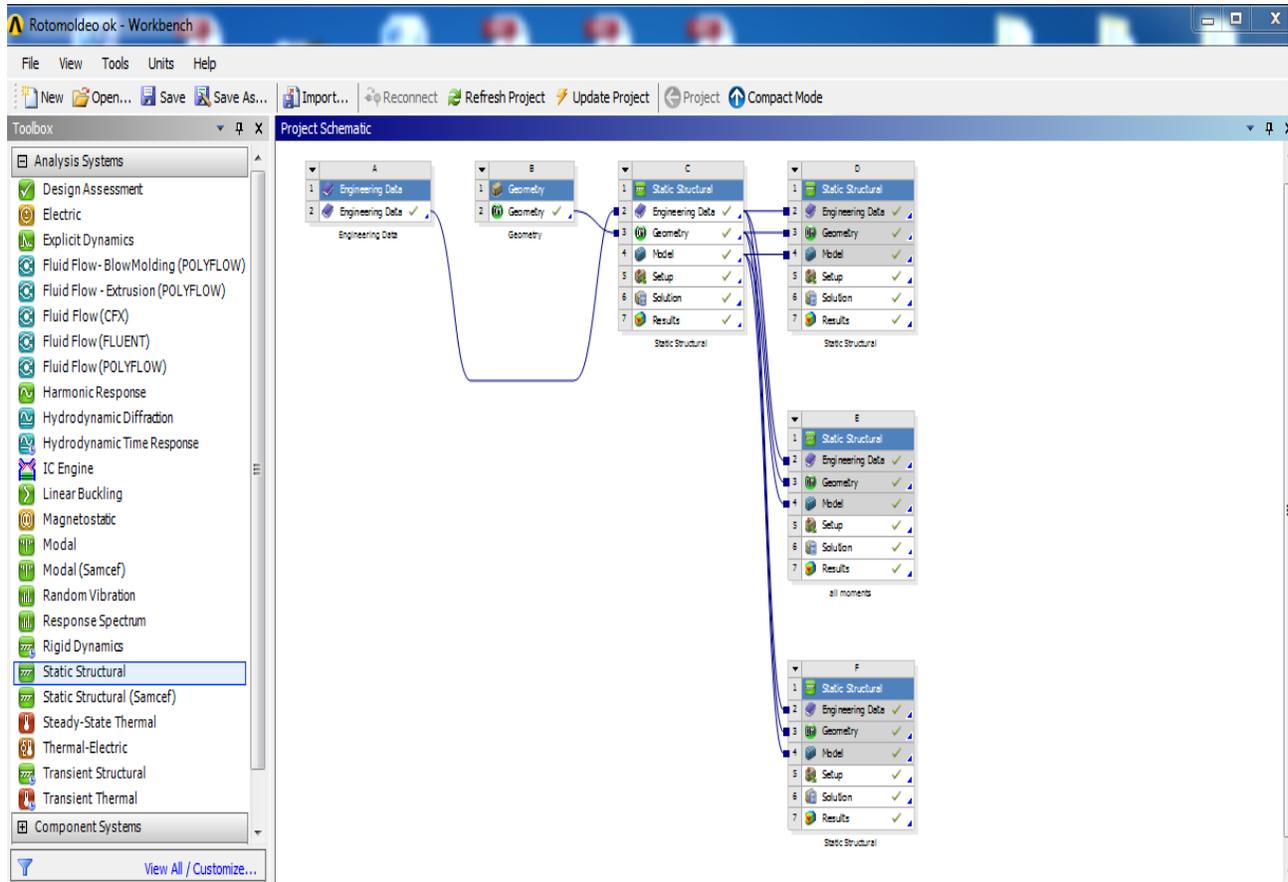


Figura 63. PROGRAMACION GENERAL EN EL ESQUEMA DEL PROYECTO

Con la programación terminada en el esquema del proyecto, procedemos ahora a seleccionar la célula de modelo, la cual nos abrirá otra ventana (ver figura 64).

La venta de modelo está dividida en 3 partes que son:

1. PROJECT (Proyecto que muestra los bloques hechos del esquema del proyecto, y es aquí donde añadimos los procesos físicos para después simularlos)
2. DETAILS OF MODEL (Detalles del modelo que es donde se registran las acciones realizadas en el Project y nos permite regular los parámetros que deben entrar en los elementos físicos)
3. GEOMETRY (Geometría exacta de nuestra proyecto, en este caso es nuestra máquina de rotomoldeo biaxial)

Las cuales veremos en las figura 65,66 y 67 respectivamente.

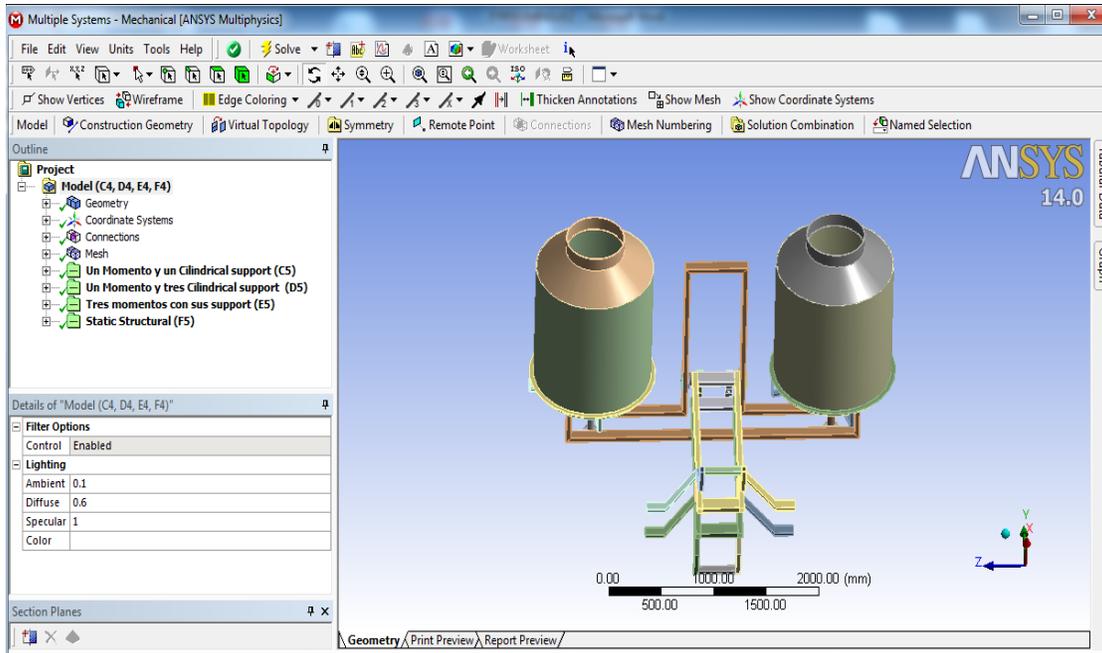


Figura 64. VENTANA DEL MODELO DE LA MAQUINA DE ROTOMOLDEO

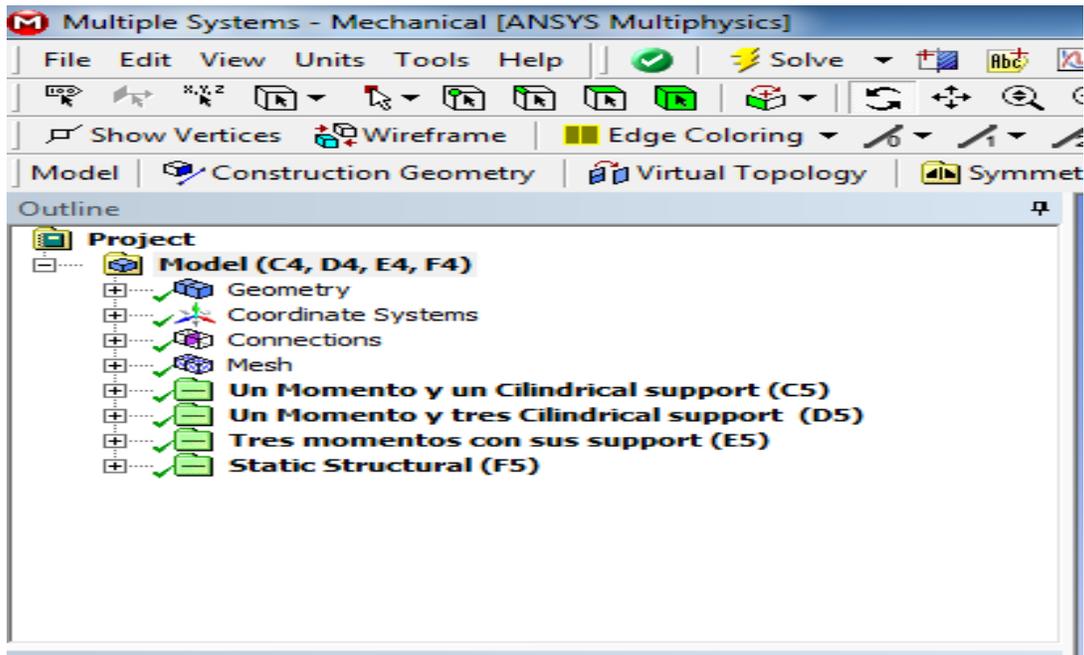


Figura 65. PARTE UNO DE LA VENTA DE MODELO "PROJECT"

Details of "Model (C4, D4, E4, F4)"	
[-] Filter Options	
Control	Enabled
[-] Lighting	
Ambient	0.1
Diffuse	0.6
Specular	1
Color	

Figura 66. PARTE DOS DE LA VENTANA DE MODELO "DETAILS OF MODEL"

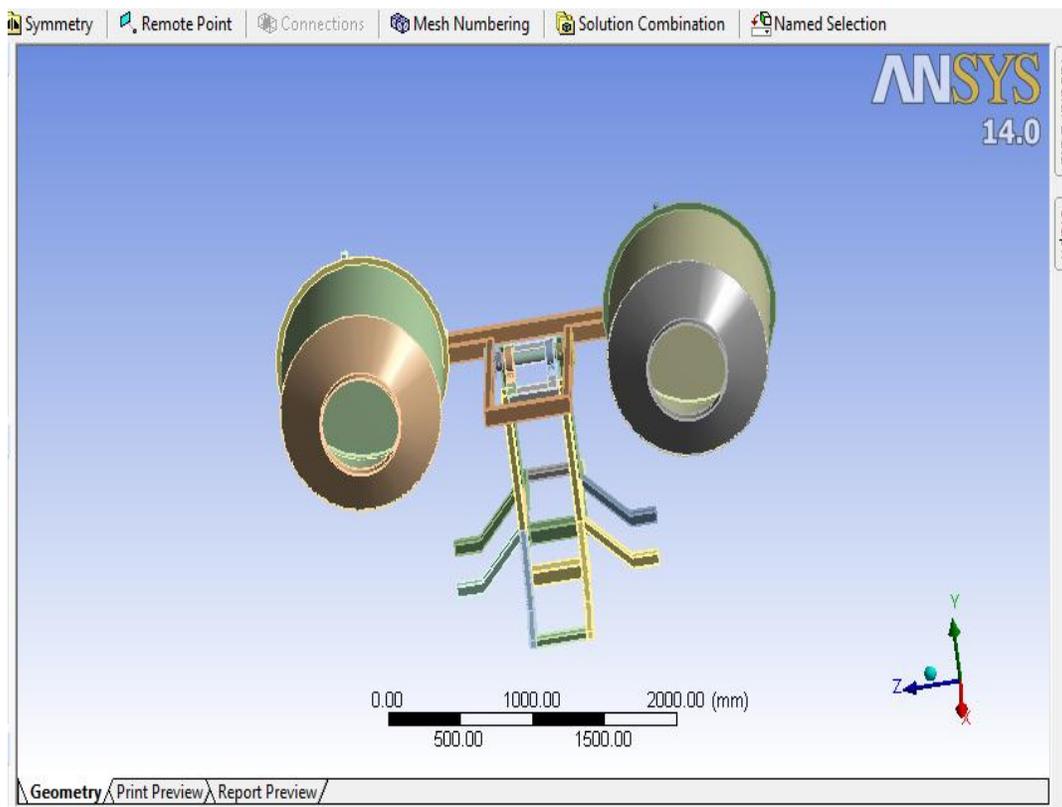


Figura 67. PARTE TRES DE LA VENTANA DE MODELO "GEOMETRY"

8.5.2 Análisis de los elementos físicos que generan los resultados para simular

En este apartado nos dedicaremos a reportar los estudios que formulamos en la pantalla de modelo, en la figura 65 vemos cuatro físicas que analizamos para la simulación de nuestro proyecto. Pero es momento de visualizar cada estudio o “SETUP”, para saber qué es lo que hicimos en este proyecto estático.

Los “SETUPS” (o las fuerzas para realizar el análisis) son:

1. Un momento y un cylindrical support
2. Un momento y tres cylindrical support
3. Tres momentos con sus support
4. Estatic estructural

Cada uno de los elementos anteriores, debe tener un “FIXED SUPPORT” que en estática es nuestro soporte de apoyo, en la maquina este soporte está en la base de las patas (ver figura 68).

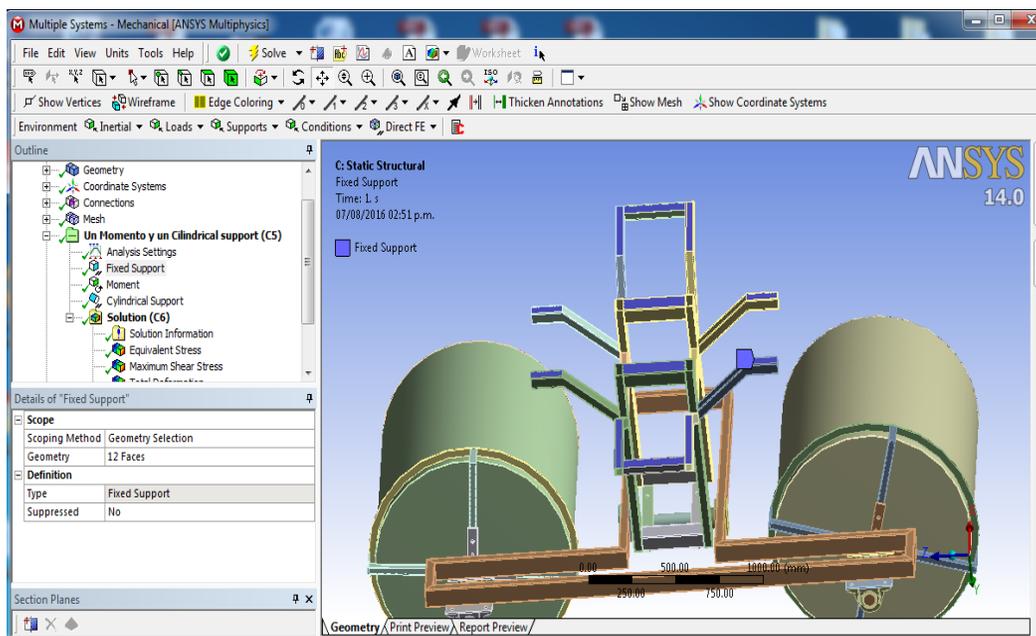


Figura 68. FIXED SUPPORT EN LAS PATAS DE LAS MAQUINA DE BALANCEO

1. Un momento y un cylindrical support (ver figura 69)

Aquí veremos el momento de balanceo que actúa sobre el eje que mueve a la estructura T y el cylindrical support es la fuerza que actúa sobre los tornillos, que son los de las placas que une a las chumaceras.

El momento del balanceo es de una magnitud de $M_{BALANCEO} = 4652000 \text{ N} * \text{mm}$, debo indicar que este dato fue proporcionado por la empresa Rotoinnovacion, y que su magnitud está en un documento de Excel, que lo vemos en el apéndice.

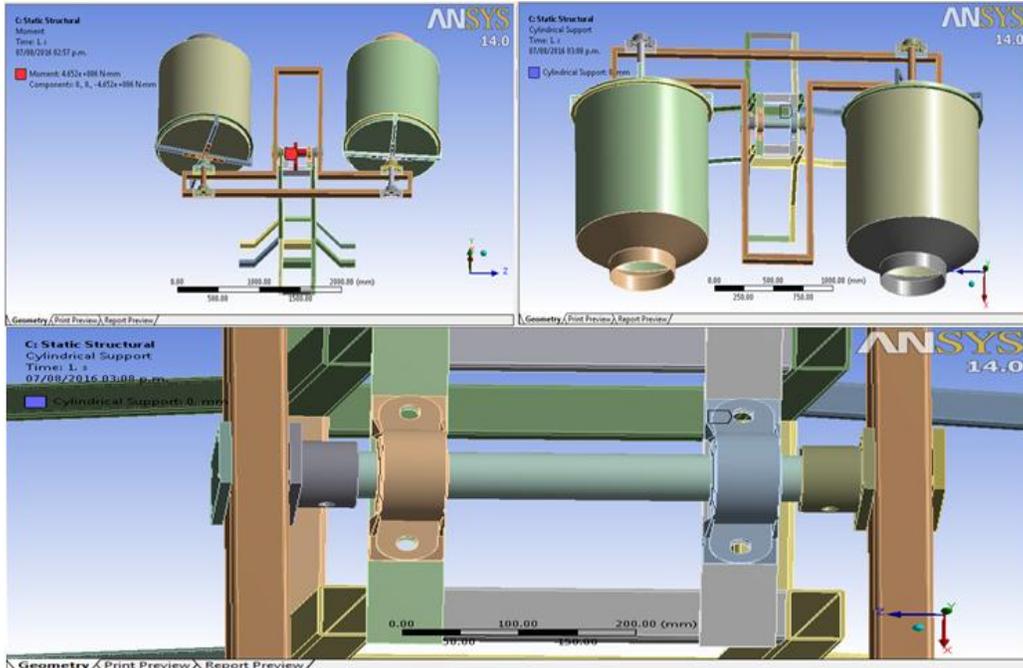


Figura 69. MOMENTO Y CYLINDRICAL SUPPORT

Una vez superpuestos los momentos y cylindrical support, hacemos la simulación correspondiente (ver figura 70), con la cual obtenemos el esfuerzo equivalente. La parte del eje se ve esforzado.

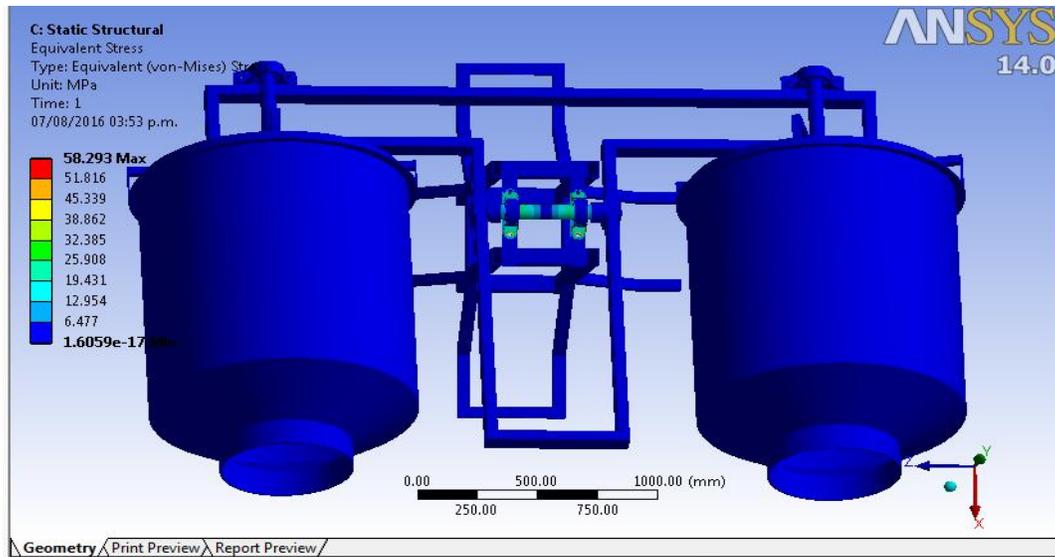


Figura 70. EJE ESFORZADO POR EL MOMENTO Y EL CYLINDRICAL SUPPORT

Para obtener el esfuerzo equivalente de Von-Mises, y obtener el valor máximo de este esfuerzo. $\sigma_{max} = 58.293 \text{ MPa}$

Este esfuerzo máximo se localiza en los elementos de las placas y chumaceras. Ver figura 71.

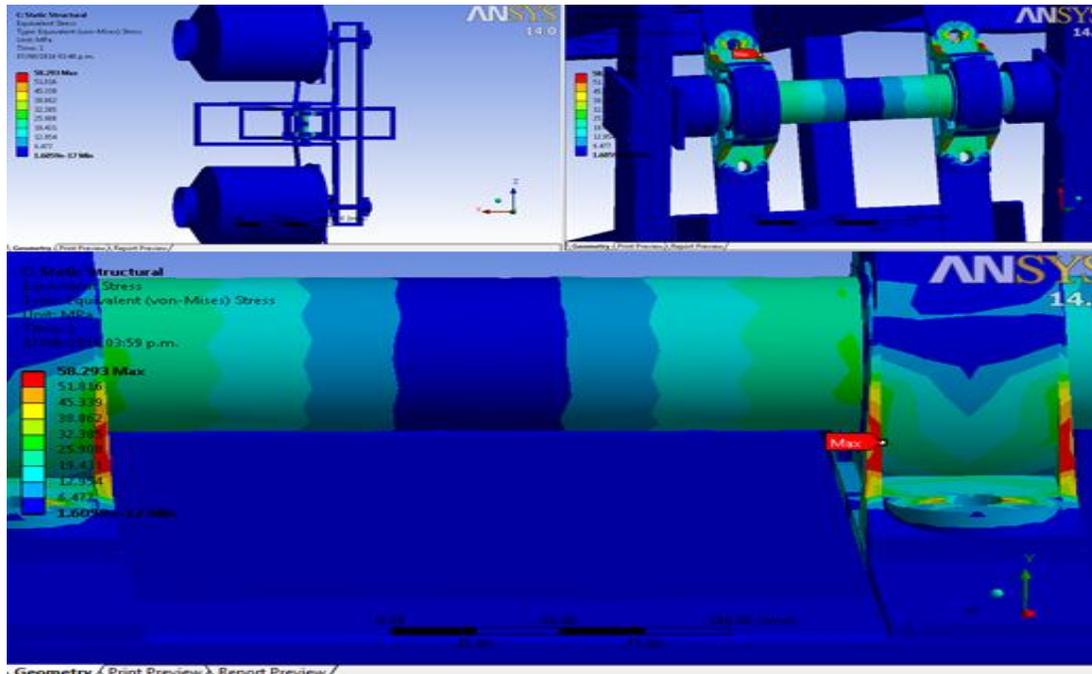


Figura 71. VISUALIZACION DEL ESFUERZO MAXIMO EN LA MAQUINA.

La deformación máxima para este análisis es de 0.49925 mm, y que se ve en la parte ultima de la T, lo cual es muy lógico, por el hecho de que soporta todo el peso cuando está en un ángulo de balanceo en la parte de abajo.

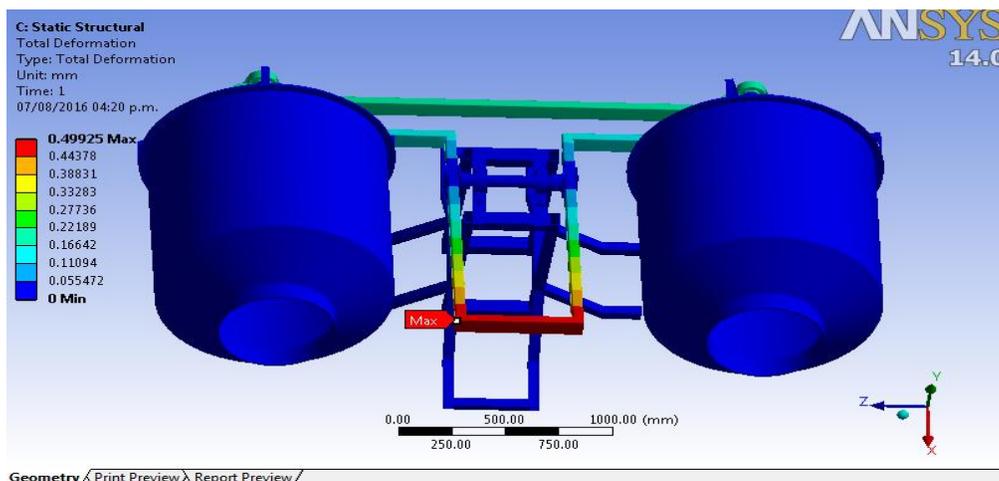


Figura 72. DEFORMACION MAXIMA PARA LOS PARAMETROS DADOS.

2. Un momento y tres cylindrical support

Este estudio es bajo los parámetros de un momento de balanceo y tres cylindrical (ver figura 73) support en los tornillos de las placas que sostienen las chumaceras del eje de balanceo, y también las placas que unen al eje de balanceo con la estructura T (ver figura 74).

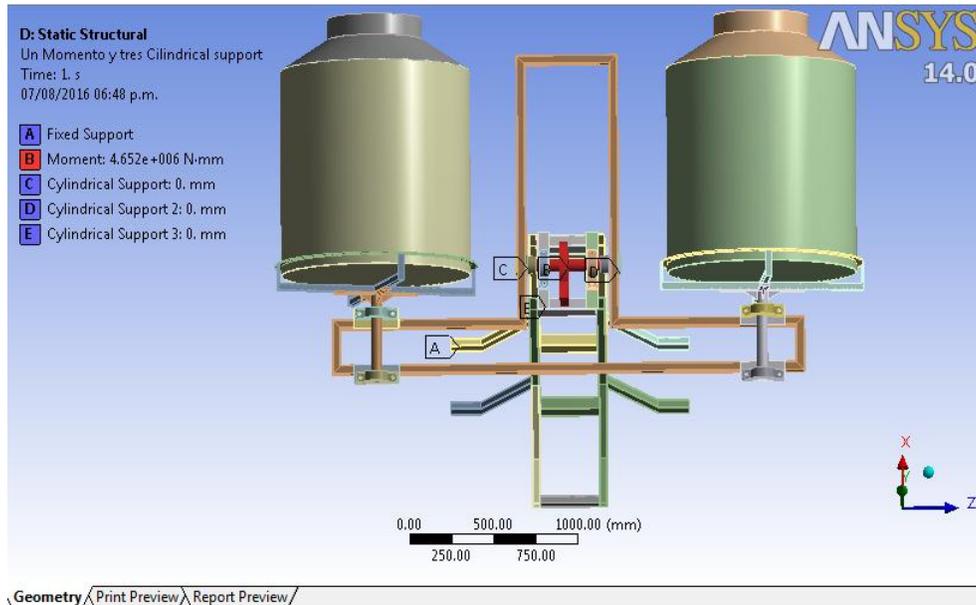


Figura 73. UN MOMENTO CON TRES CYLINDRICAL SUPPORT

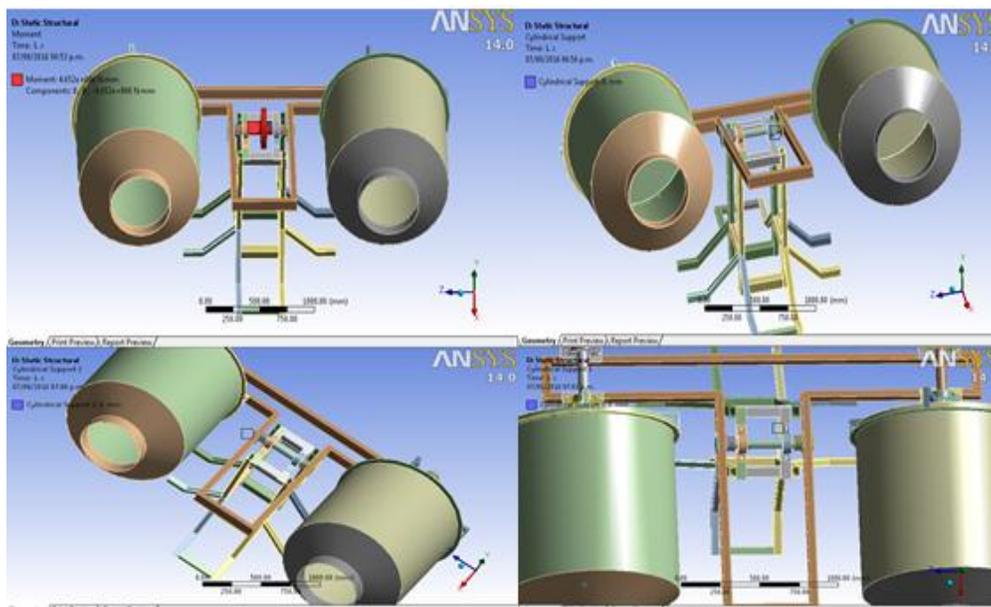


Figura 74. COLAGE DEL MOMENTO Y LOS TRES CYLINDRICAL SUPPORT

Aplicando los parametros de diseño, vemos que ahora simulando encontramos el esfuerzo equivalente o de Von Mises, y el resultado lo vemos en la siguiente figura 75.

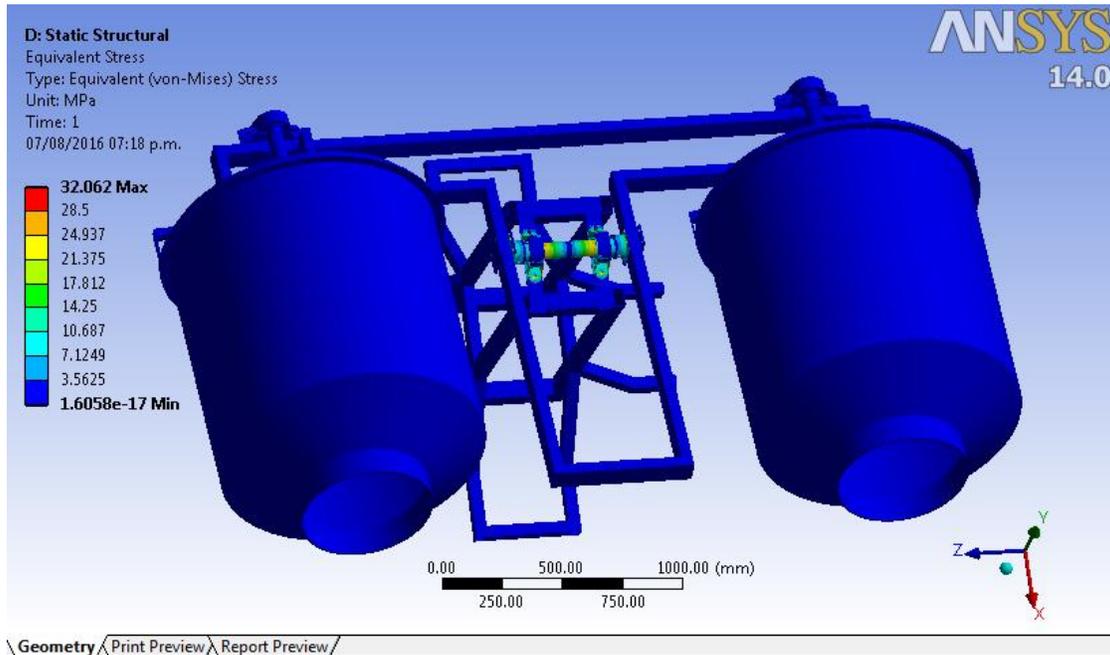


Figura 75. SIMULACION DE VON MISES

El momento de balanceo es el mismo, lo que ahora cambia es el esfuerzo maximo, que se localiza ahora en los orificios de las chumaceras como se ve en la figura 76, que es $\sigma_{MAX} = 32.062 MPa$.

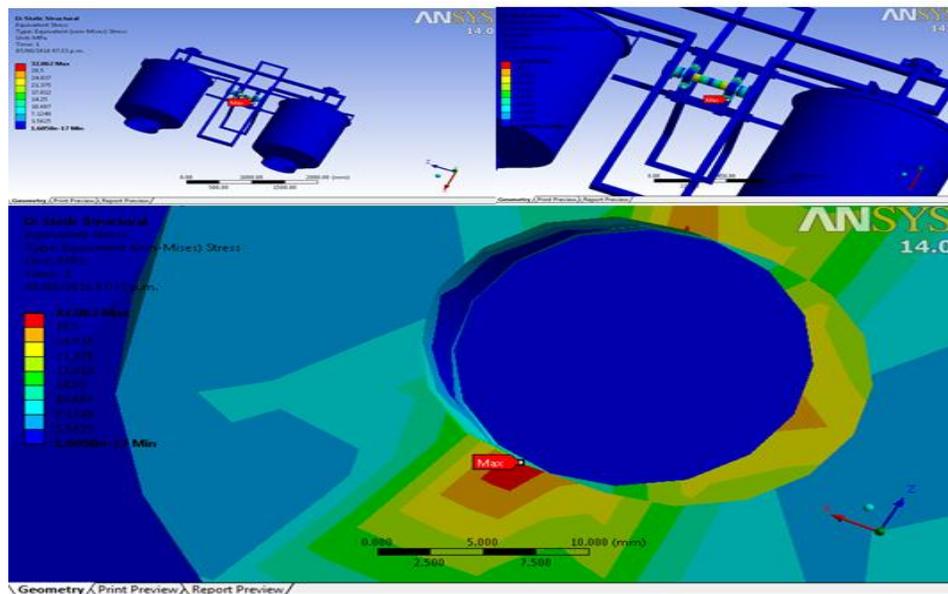


Figura 76. ESFUERZO MAXIMO EN LOS AGUJEROS DE LAS CHUMACERAS

Análisis de la deformación total: en este caso ocurre en el centro del eje, lo que nos indica que aunque se esfuerzan los orificios de las chumaceras que sostienen al eje, las deformaciones se están concentrando en el eje (figura 77).

La deformación máxima es de 0.027298 mm.

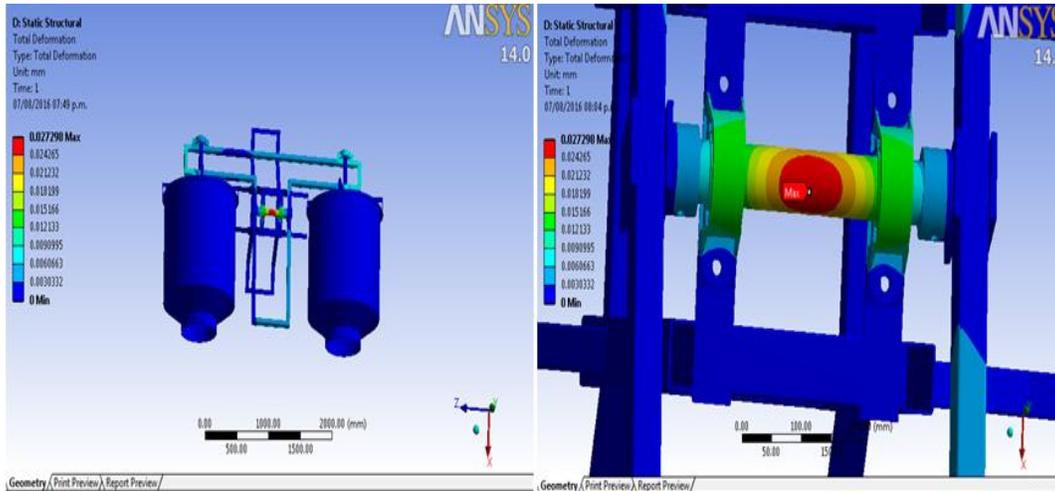


Figura 77. DEFORMACION MAXIMA EN EL EJE

3. Tres momentos con sus support (figura 78)

Analizaremos ahora los tres momentos, el momento de balanceo no cambia, pero los momentos de rotación son: $M_{ROTACION} = 4.071428 \text{ N} \cdot \text{m}$, y los cylindrical support (figura 79).

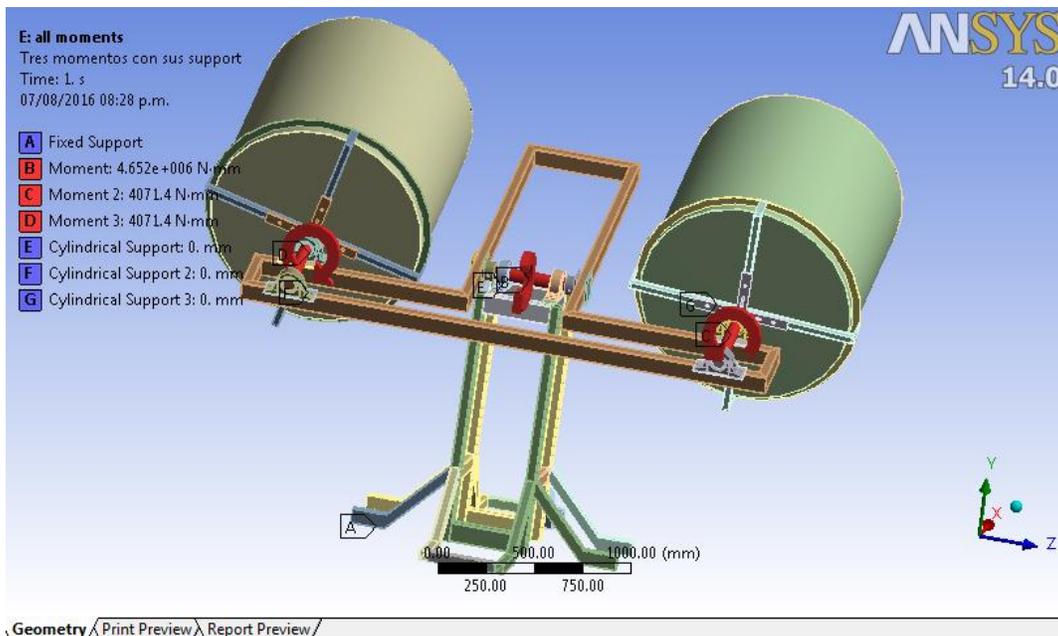


Figura 78. LOS TRES MOMENTOS Y SUS SUPPORT

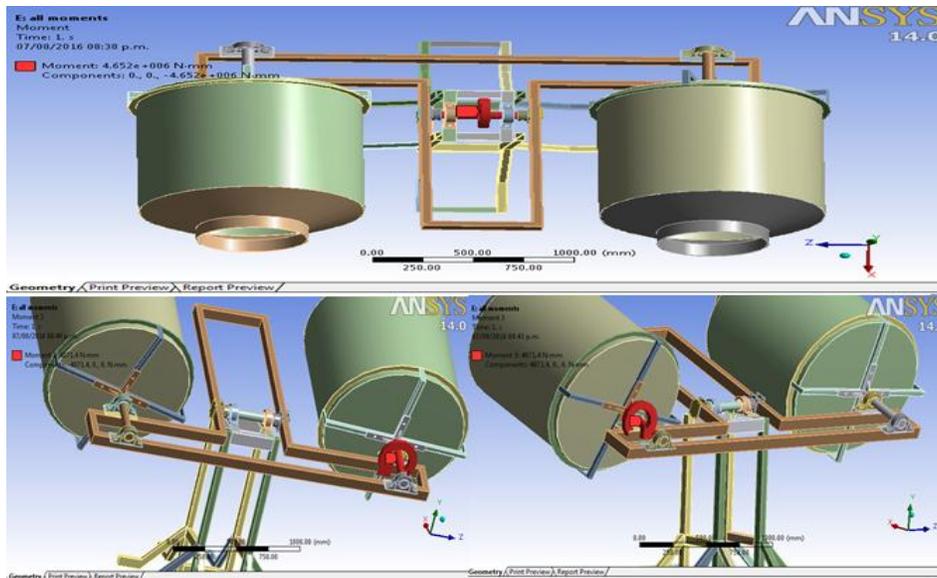


Figura 79. LOS MOMENTOS DE ROTACION Y EL DE BALANCEO

Analizando los momentos y los support para desarrollar el esfuerzo equivalente ver figura 80, vemos que ahora cambia totalmente el estado de esfuerzo.

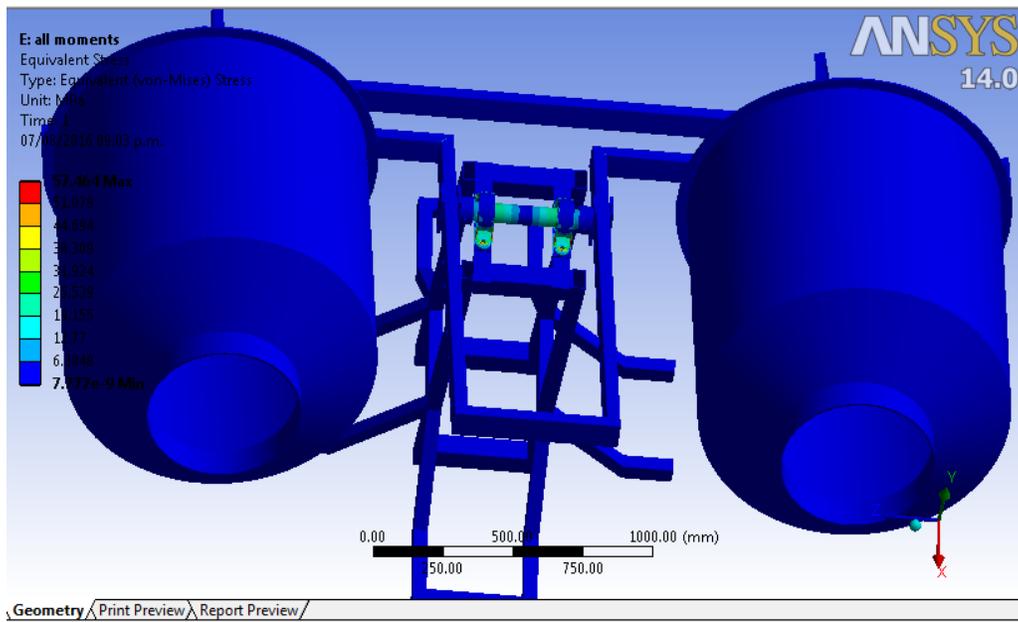


Figura 80. ESFUERZOS EQUIVALENTES PARA LOS TRES MOMENTOS

El esfuerzo equivalente máximo se desarrolla en los orificios del eje que soportan las chumaceras, ver figura 81. El esfuerzo equivalente máximo es $\sigma_{MAX} = 57.464$ MPa.

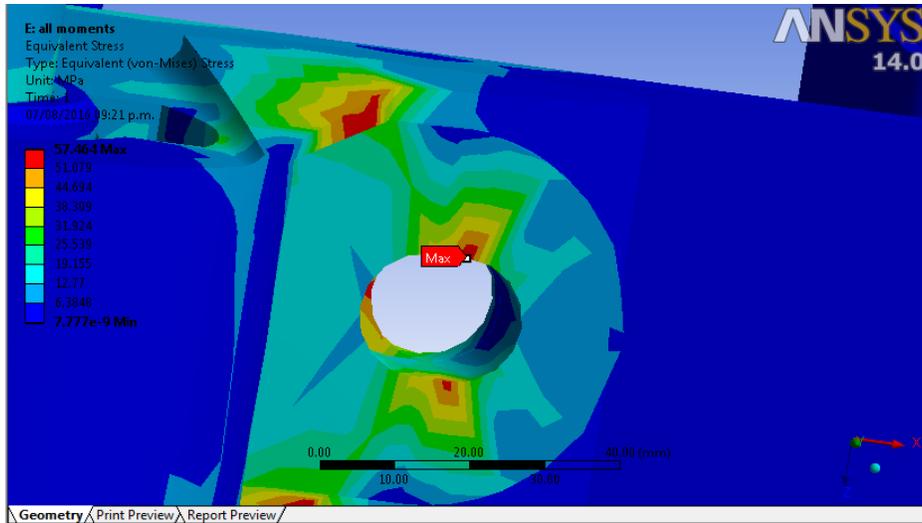


Figura 81. ESFUERZO MAXIMO EN LOS ORIFICIOS DE LAS CHUMACERAS

Deformación total: La deformación total se ve en la cruz, como lo vemos en las figura 82. La deformación máxima es 1879.7 mm

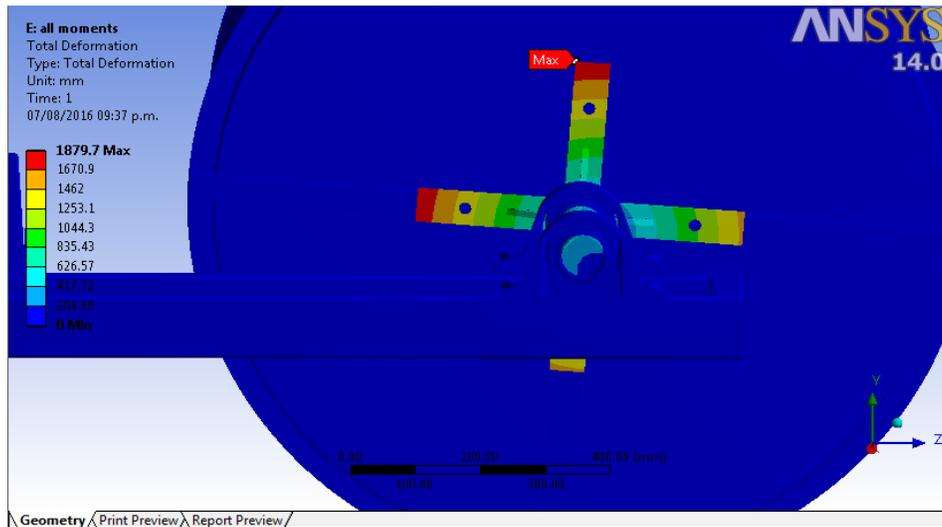


Figura 82. DEFORMACION MAXIMA EN ESTE ESTUDIO.

4. Estatic Estructural

Aquí el estudio es del momento de rotación (con la misma magnitud) y el cylindrical support (figuras 83 y 84) que debe tener.

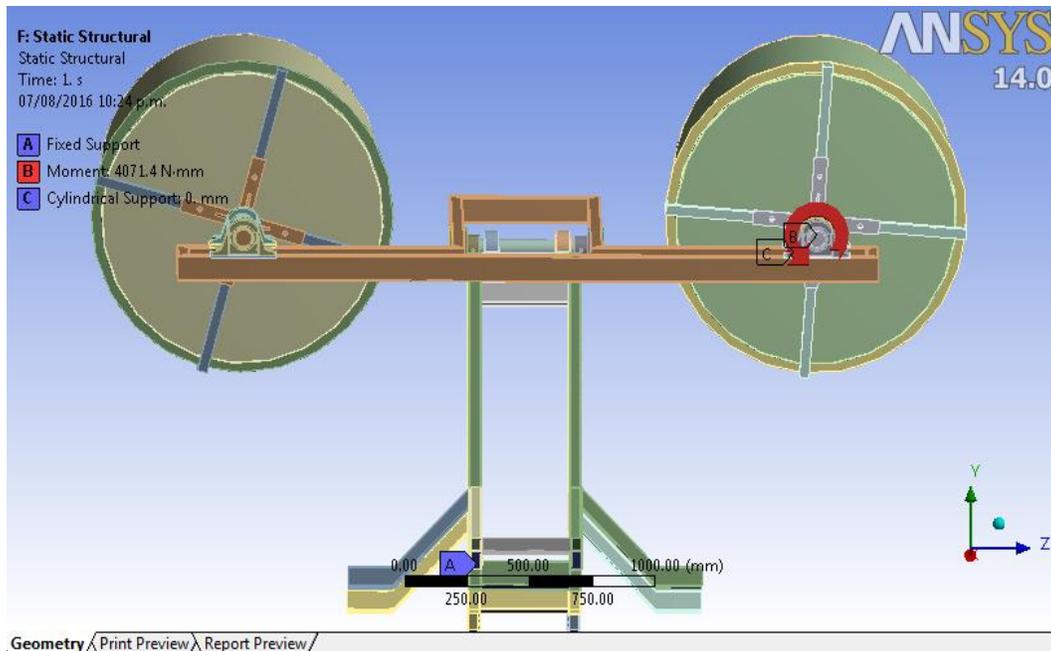


Figura 83 MOMENTO DE ROTACION Y CYLINDRICAL SUPPORT

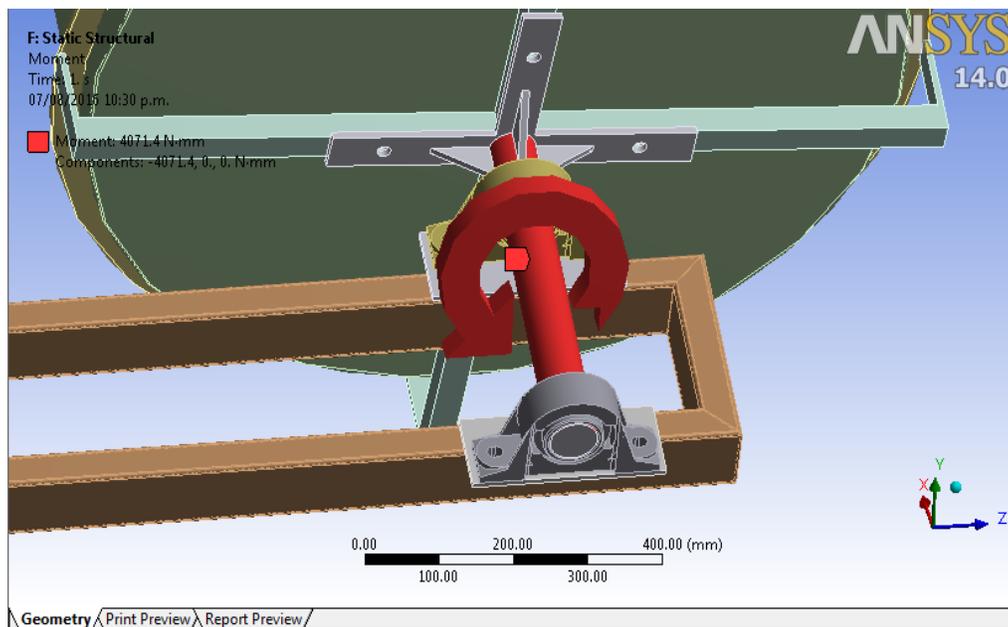


Figura 84 ZOOM DEL MOMENTO Y EL CYLINDRICAL SUPPORT

Es momento de hacer la simulación para encontrar el esfuerzo equivalente de Von Mises con estos resultados (ver figura 85).

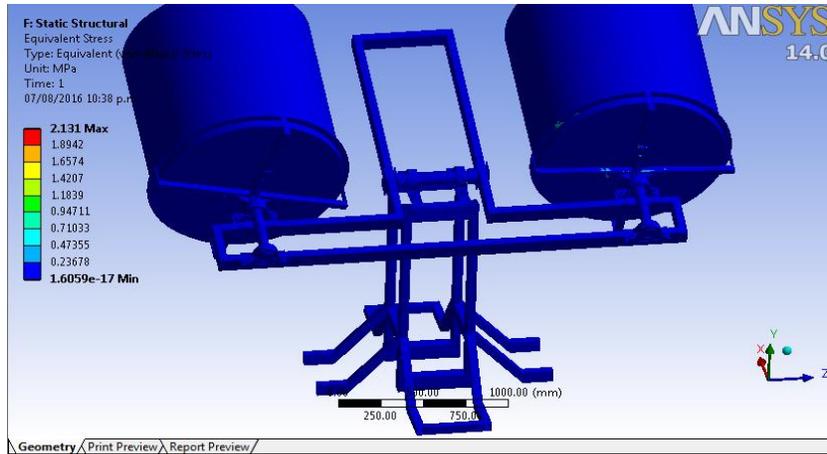


Figura 85. ESFUERZO DE VON MISES PARA EL MOMENTO DE ROTACION

El esfuerzo equivalente máximo o esfuerzo máximo es 2.131 MPa y se localiza en el aro del molde, como vemos en la figura 86.

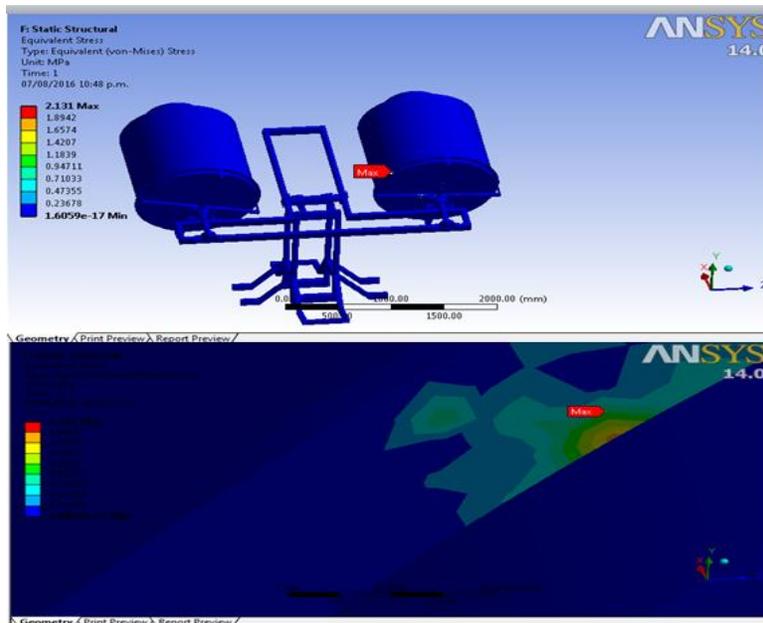


Figura 86 ESFUERZO MAXIMO EN EL ARO

La deformación total máxima es de 1879.7 mm, y lo visualizamos en la figura 87, que nos está diciendo que muy probable es que ahí falle la estructura, pero esto lo veremos concretamente en nuestra conclusión.

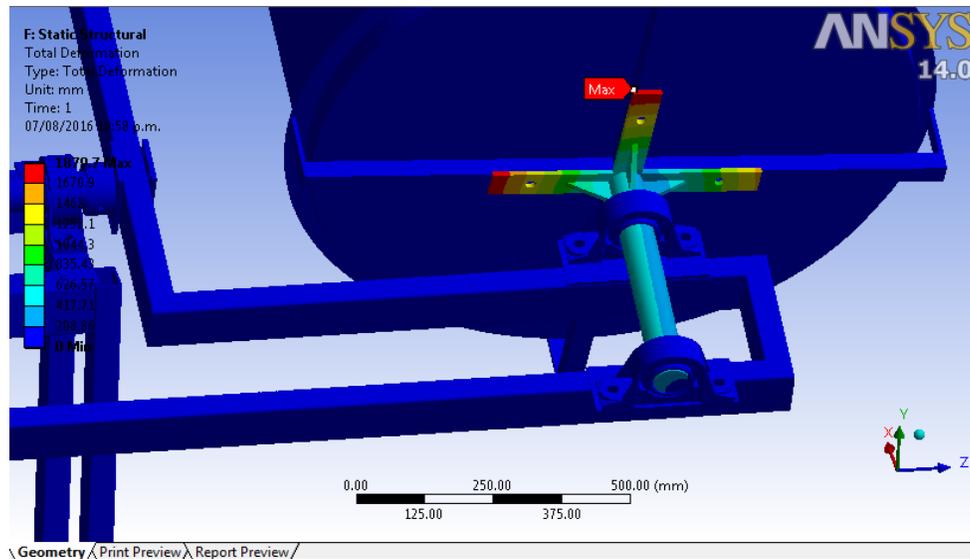


Figura 87 DEFORMACION MAXIMA EN LA CRUZ DE ROTACION

8.6 ¿QUÉ RESULTADOS ESPERAMOS OBTENER?

Para poder saber si hemos realizado correctamente el análisis o si representa bien la realidad, deberemos tener una idea de cómo va a responder. Por ejemplo, si estamos analizando una tubería sometida a presión interior y los resultados nos indican que disminuye el radio deberemos pensar que hemos modelado mal el sistema, bien en la aplicación de las cargas, en el mallado, etc.

Ahora bien según nuestra observación mientras estuvimos en la empresa, se veía que la parte que falla es la parte de la cruz pequeña con la cruz grande (veremos más sobre esto en la parte de la conclusión), nuestro análisis del elemento finito en los estudios mencionados en el apartado 8.5 nos dieron un panorama muy amplio sobre las grandes deformaciones que se daban en los elementos de la cruz pequeña y grande, como esperábamos este resultado, en esta última parte vamos a analizar a este conjunto de elementos mallando nuevamente, con fuerzas y demás momentos.

El peso del molde es de 600 N, los cuales divididos entre 4 son 150 N, los cuales debemos de analizar en esta última parte, con el esfuerzo de Von Mises y las deformaciones que se dan de una manera más real.

Veamos la pantalla del modelo (ver figura 88), donde podremos analizar cada simulación, hasta aquí hare la aclaración de aunque hacemos 3 simulaciones solo relataremos 1, debido que es más completa en cuanto a fuerza y momento.

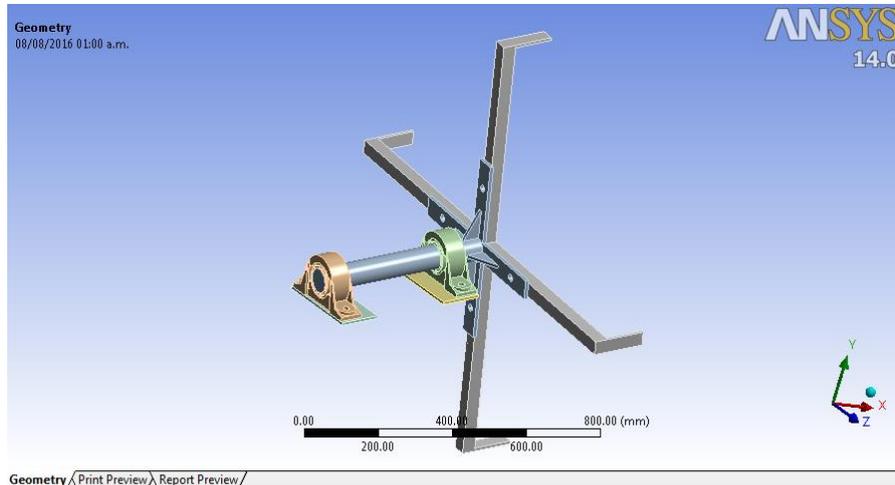


Figura 88 MODELO DE CRUZ PEQUEÑA Y GRANDE

En este mismo modelo debemos mallar o discretizar a estos elementos (figura 89), que nos permitirá analizar cada uno de las fuerzas y el momento a realizar.

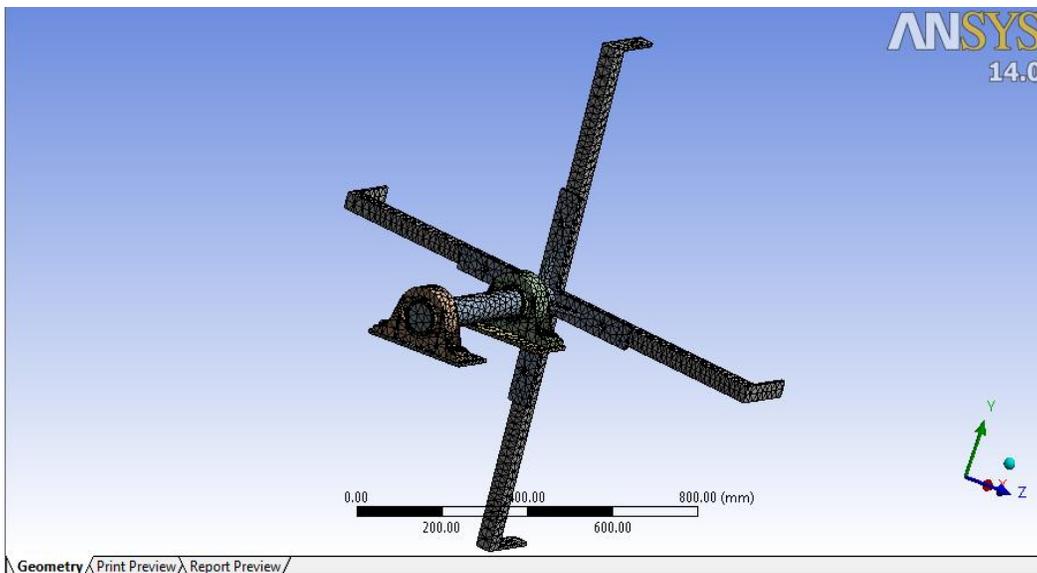


Figura 89 MALLADO AL MODELO DE CRUZ PEQUEÑA Y CRUZ GRANDE

Una vez realizado el mallado, es momento de agregar a aquellos SETUPS, como lo es las fuerzas y el momento (figura 90). Las fuerzas serán de 150 N, y la magnitud del torsor, es el momento de rotación ya mencionado antes.

Momento, 4 fuerzas con support (ver figura 90)

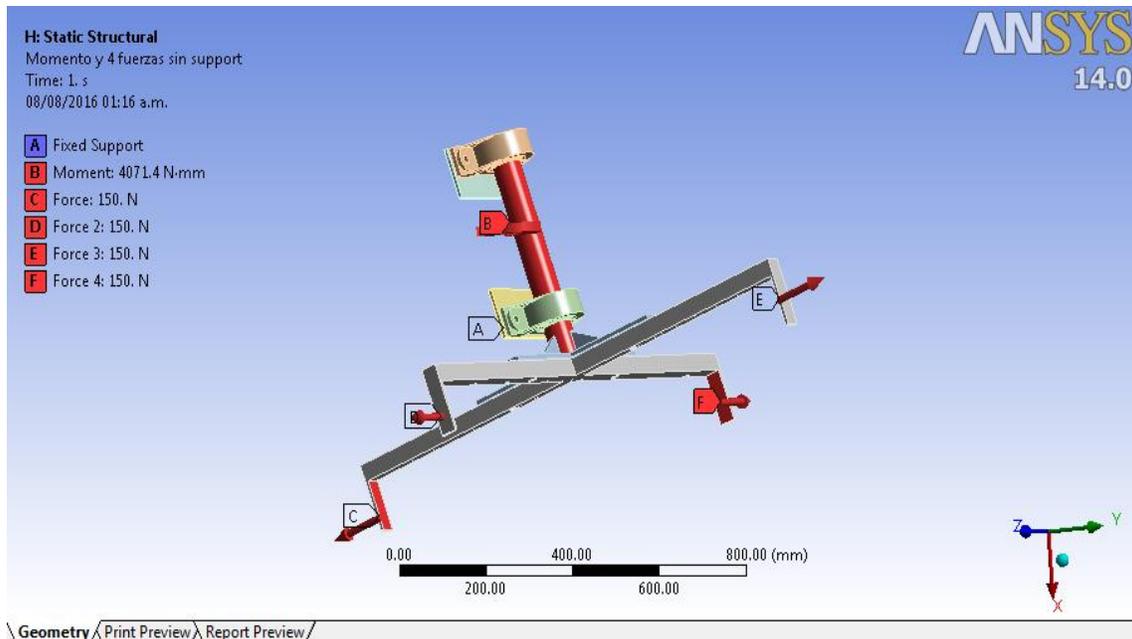


Figura 90 MOMENTO DE ROTACION Y LAS 4 FUERZAS EN EJE, CRUZ PEQUEÑA Y GRANDE
 Simulación para el esfuerzo equivalente (ver figura 91), que nos dan como resultado estos elementos de fuerzas y torsor.

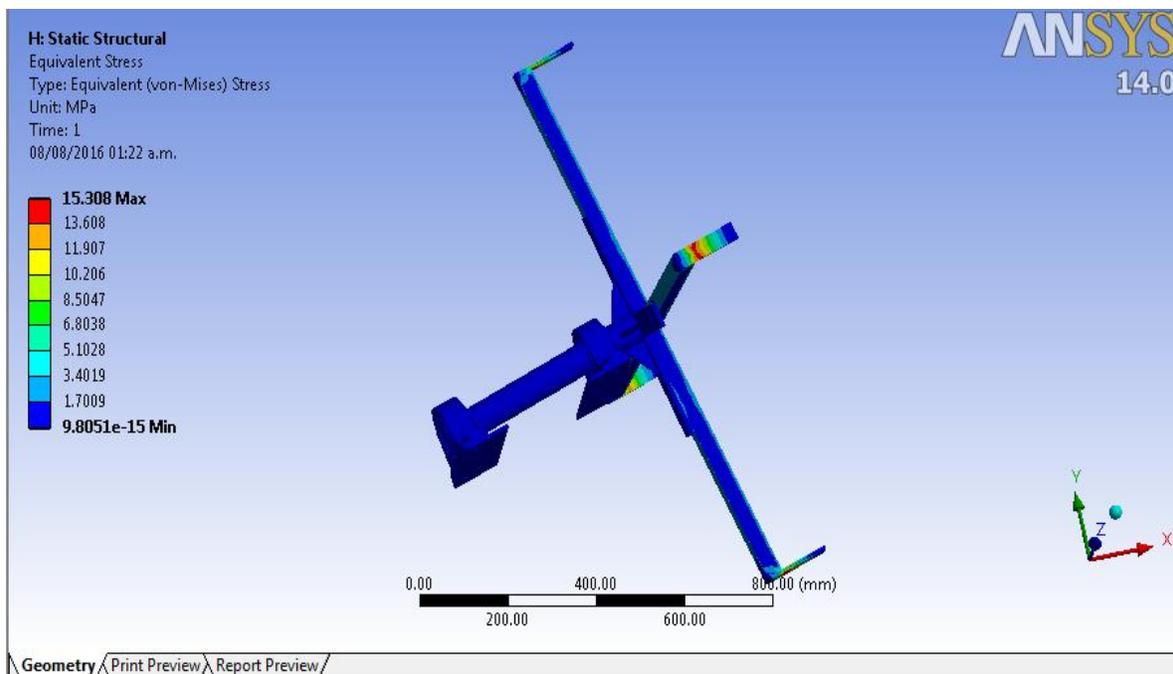


Figura 91 ESFUERZO EQUIVALENTE DE NUESTRO ESTUDIO

El $\sigma_{MAX} = 15.308 \text{ MPa}$, ver figura 92.

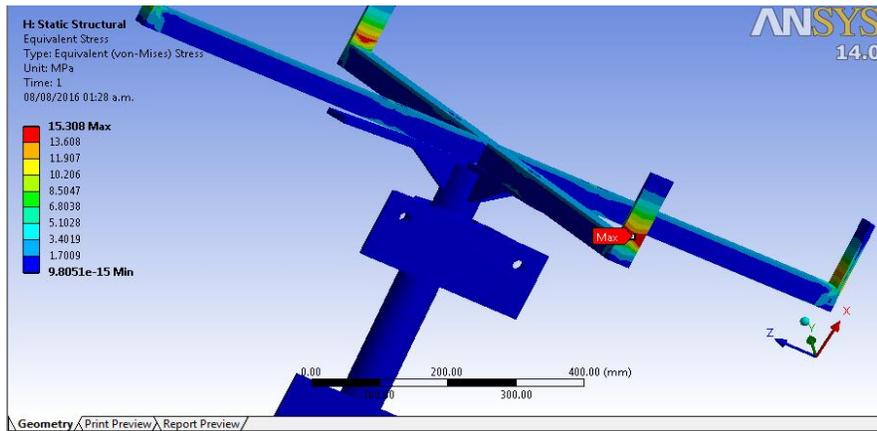


Figura 92 ESFUERZO MAXIMO EN LA CRUZ GRANDE

La deformación máxima es de 3192.8 mm (ver figura 93)

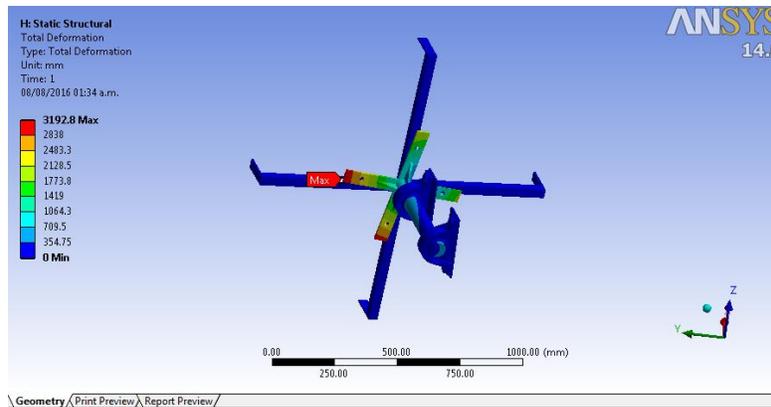


Figura 93 DEFORMACION TOTAL DEL ENSAMBLE DE CRUZ

CONCLUSION

Por todo lo dicho lo anterior vemos que toda la estructura es muy estable dentro de los parámetros lineales que se observan, y que la parte que más falla se localiza en la parte del eje de rotación, mas específicamente en la cruz pequeña y grande.

En la práctica se sabe que estos dos elementos deben ser soldados periódicamente debido al hecho que se rompen, si no con mucha facilidad, pero pues si es considerable hacer el cambio en ese sentido.

Veamos algunas fotos reales de esto:



Figura 94. CRUZ GRANDE Y PEQUEÑA EN BUEN ESTADO

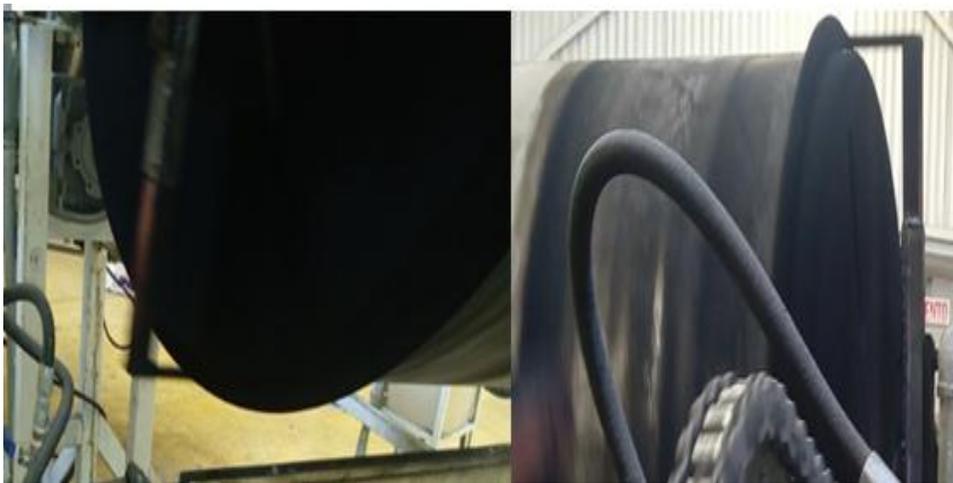


Figura 95 CRUZ GRANDE Y PEQUEÑA YA SOLDADAS Y NO SOLO ATORNILLADAS

Como sabemos por nuestro estudio realizado en el apartado 8.6, ultima seccion del mismo (ver pag 83) la deformación máxima es de 3192.8 mm. Lo que nos indca que es ahí donde realmente falla.

Y ahora sabemos que esto pasa en la vida real porque se esta esforzando demaciado en ese punto, ahora bien nuestro hemos llegado a establecer que el metodo del elemnto finito es muy bueno en este sentido del diseño estructural.

Lo dicho anteriormente es basado bajo lo real y la simulacion que han sido establecidas.

9 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] <http://www.monografias.com/trabajos32/procesamiento-plasticos/procesamiento-plasticos.shtml>
- [2] <http://www.mxempresa.com/e/empresa/rotoinnovacion-s-a-de-c-v/425505>
- [3] <http://mexiquo.com/rotoinnovacion.asp>
- [4] <http://www.rotoinnova.com/>
- [5] DISEÑO MECÁNICO DE UN SISTEMA DE ROTACIÓN BIAxIAL DE 400 kg DE CAPACIDAD PARA LA FABRICACIÓN DE JUGUETES DE PLÁSTICO MEDIANTE MOLDEO ROTACIONAL
- [6] “DISEÑO DE PIEZAS PLÁSTICAS ROTOMOLDEADAS”
- [7] <http://tecnologiaadi.blog.com/files/2012/11/ROTOMOLDEO-Grupo-8-Para-blog.pdf>
- [8] (Capitulo 2 en pdf)[
- [9] (MODELADO DE PROCESOS DE MANUFACTURA, APUNTES UNAM
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2548/011-MPM-Cap8-Final.pdf?sequence=11>)
- [10] (https://es.wikipedia.org/wiki/Transmisi%C3%B3n_mec%C3%A1nica)
- [11] MECANICA DE MATERIALES R.C. Hibbeler
- [12] MECANICA DE MATERIALES Beer-Jhonston
- [13] Diseño en ingeniería mecánica Joseph Edward Shigley

