



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA
UNIDAD PROFESIONAL TICOMAN

INGENIERIA AERONÁUTICA

SEMINARIO DE TITULACIÓN

"ANÁLISIS DEL SISTEMA DE FRENADO PARA UN VEHÍCULO ARENERO"

REPORTE FINAL DE INVESTIGACIÓN

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN AERONÁUTICA
PRESENTAN:

GAMA RUIZ ARIEL
TOVAR LÓPEZ RUBÉN

MÉXICO D.F. OCTUBRE 2009



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
 UNIDAD TICOMÁN

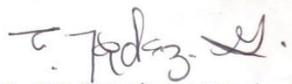
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE: INGENIERO EN AERONÁUTICA
 POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN: SEMINARIO
 DEBERÁ PRESENTAR: LOS C. PASANTES:
GAMA RUIZ ARIEL
TOVAR LÓPEZ RUBÉN

“ANÁLISIS DEL SISTEMA DE FRENADO PARA UN VEHÍCULO ARENERO”

	OBJETIVO
	JUSTIFICACIÓN
	INTRODUCCIÓN
CAPÍTULO I	SISTEMA DE FRENADO
CAPÍTULO II	MODELADO DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS
CAPÍTULO III	EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS
CAPÍTULO IV	ANÁLISIS NUMÉRICO DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS
	CONCLUSIONES
	BIBLIOGRAFÍA

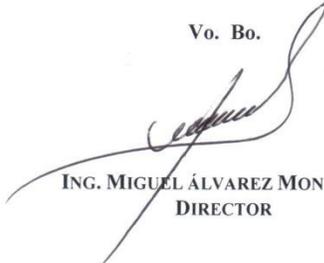
México, DF., a 23 de octubre de 2009.

A S E S O R E S


 ING. ABEL HERNÁNDEZ GUTIÉRREZ


 LIC. DAVID TORRES ÁVILA

Vo. Bo.


 ING. MIGUEL ÁLVAREZ MONTALVO
 DIRECTOR



I. P. N.
 ESCUELA SUPERIOR DE
 INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
 UNIDAD TICOMÁN
 DIRECCIÓN

ÍNDICE

OBJETIVO	1
JUSTIFICACION	2
INTRODUCCIÓN	3
1 SISTEMA DE FRENADO	5
1.1 SISTEMA DE FRENADO	5
1.2 TIPOS DE FRENOS DE FRICCIÓN	5
1.2.1 FRENOS MECÁNICOS	5
1.2.2 FRENOS HIDRÁULICOS	6
1.3 TIPOS DE FRENO DE FRICCIÓN POR ACCIONAMIENTO HIDRÁULICO	6
1.3.1 FRENO DE BLOQUE O DE ZAPATA	6
1.3.1.1 REGLAJE	6
1.3.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS FRENOS DE ZAPATA	8
1.3.2 FRENO DE DISCO CALIBRADOR	8
1.3.2.1 DESVANECIMIENTO	8
1.3.2.2 REGLAJE	9
1.3.2.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS FRENOS DE DISCO	9
1.4 ELEMENTOS DES SISTEMA DE FRENADO DE DISCO CALIBRADOR	9
1.4.1 SERVOFRENO	10
1.4.2 BOMBA DE FRENO	10
1.4.3 VÁLVULA DOSIFICADORA	11
1.4.4 CALIBRADOR	11
1.4.4.1 PINZAS DE PISTÓN OPUESTO	12
1.4.4.2 PINZAS DE DOBLE PISTÓN	13
1.4.4.3 PINZAS DESLIZANTES	13
1.4.5 TUBERIAS Y LATIGUILLOS	14
1.4.6 LÍQUIDO DE FRENOS	14

1.4.6.1	CAPACIDAD HIGROSCÓPICA	15
1.4.6.2	CLASIFICACIÓN	16
1.4.7	PASTILLAS DE FRENO	16
1.4.7.1	CARACTERÍSTICAS DE LAS PASTILLAS DE FRENO	17
1.4.7.2	ELEMENTOS DE LAS PASTILLAS	17
1.4.8	DISCO DE FRENO	17
1.5	MATERIALES Y PROVEEDORES	20
1.5.1	DISCO DE FRENO	20
1.5.2	TUBERIAS Y LATIGUILLOS	20
1.5.3	PASTILLAS DE FRENO	21
1.6	SISTEMAS DE PRODUCCIÓN	27
1.6.1	PASTILLAS DE FRENO	27
1.6.2	LATIGUILLOS	28
2	MODELADO DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS	31
3	EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS	53
3.1	DEFINICION DEL MÉTODO	53
3.2	INFORMACIÓN BÁSICA SOBRE ANÁLISIS NO LINEAL	54
3.2.1	CAUSAS DEL COMPORTAMIENTO NO LINEAL	54
3.2.2	ESTADOS CAMBIANTES	54
3.2.3	NO LINEALIDADES GEOMÉTRICAS	54
3.2.4	NO LINEALIDADES DEL MATERIAL	54
3.3	PANDEO EN PLACAS	55
3.4	ANÁLISIS DE CONTACTO	58
4	ANÁLISIS NUMÉRICO DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS	61
4.1	MODELO	61
4.2	MALLADO	61
4.3	ANÁLISIS DE CONTACTO	62
4.4	ZONAS DE CONTACTO	62
4.5	ANÁLISIS DE PANDEO	62
4.6	RESULTADO DE LOS ANÁLISIS DE CONTACTO	62
4.6.1	ESFUERZOS	62
4.6.2	DESPLAZAMIENTOS	63
4.7	RESULTADO DEL ANÁLISIS DE PANDEO	65

4.7.1	ESFUERZOS	65
4.7.2	DESPLAZAMIENTOS	66
	CONCLUSIONES	70
	BIBLIOGRAFÍA	71

OBJETIVO

Se diseñara, construirá y analizará, haciendo uso de software ingenieriles, el modelo virtual propuesto del sistema de frenado de un carro arenero tomando como referencia mecanismos actualmente utilizados en el mercado.

Objetivo secundario: Desarrollar un proyecto de ingeniería de forma colectiva poniendo en práctica habilidades como el trabajo en equipo, comunicación, la utilización de herramientas asistidas por el ordenador, la retroalimentación de información, entre otras.

Plantear el diseño de un carro arenero en base a información y a mecanismos ya desarrollados para construir, mediante softwares de uso ingenieril, el modelo virtual. Haciendo el análisis de los diferentes sistemas por separado así como para el modelo en conjunto.

JUSTIFICACIÓN

Haciendo uso del software CATIA y ANSYS se creara el modelo virtual del sistema de frenado propuesto de un carro arenero, para después realizar todos los análisis correspondientes y verificar si es un buen diseño o no. Posteriormente y si las condiciones de tiempo, herramientas y materiales lo permiten se construirá físicamente ya sea parte del sistema o en su totalidad.

El sistema automotor es uno de los mas importantes en cuanto a ingeniería se refiere y al desarrollar un proyecto de este tipo se espera poner en práctica las habilidades adquiridas a través del curso. Al modelar y analizar el sistema de frenado del carro arenero se tendrá una visión más clara de como se trabaja en la realidad fuera del aula, para que al final se obtenga un producto, no necesariamente físico, con las características requeridas para satisfacer una necesidad en especial.

INTRODUCCIÓN

Uno de los sistemas fundamentales de todo vehículo automóvil es el que le confiere la capacidad a reducir su velocidad incluso llegando a detenerlo sí así lo decide el conductor. Dicho sistema es el sistema de frenado.

El principio de funcionamiento de un sistema de frenado es la reducción de la energía cinética y/o potencial para transformarla en energía calorífica. Con esta transformación de energía se consigue la reducción de la velocidad del vehículo.

En el presente trabajo se plasma de manera detallada todo el proceso seguido para diseñar el sistema de frenado para un vehículo arenero, desde la concepción de la idea hasta su manufactura. Cabe aclarar que no fue posible construir todos y cada uno de los elementos que conforman el sistema debido a la complejidad del proceso de obtención, por lo tanto se optó por comprar dichos elementos.

El sistema es hidráulico de disco calibrador, como el que comúnmente utilizan los vehículos impulsados por motor diesel o gasolina. Se fija un rotor en forma de disco acoplado al eje delantero del vehículo. Las balatas de fricción, que solo cubren una pequeña porción del disco, están contenidas en un conjunto llamado calibrador (caliper), y son oprimidas contra el disco mediante presión hidráulica, de ahí su nombre.

El modelado virtual y los distintos análisis no lineales relacionados al sistema se efectúan en los softwares CATIA y ANSYS respectivamente, con la ayuda de algunos otros como son AUTOCAD para el trazo de los planos. Además se presenta información acerca de los materiales, con sus características, empleados en el sistema así como proveedores, costos y los procesos de producción para este proyecto en específico.

CAPITULO I

1.1 SISTEMA DE FRENADO

Los sistemas de máquinas requieren controles cuando hay un cambio de velocidad o en la dirección del movimiento de uno o más componentes. Cuando al principio arranca un aparato, debe acelerarse hasta su velocidad de funcionamiento. Cuando termina su función, con frecuencia el sistema debe detenerse.

Un freno es un dispositivo para detener un sistema en movimiento, o para disminuir su velocidad o controlarla en cierto valor, bajo condiciones variables.

El sistema de freno principal, o freno de servicio, permite controlar el movimiento del vehículo, llegando a detenerlo si fuera preciso de una forma segura, rápida y eficaz, en cualquier condición de velocidad y carga en las que rueda. Para inmovilizar el vehículo, se utiliza el freno de estacionamiento, que puede ser utilizado también como freno de emergencia en caso de fallo del sistema principal. Debe cumplir los requisitos de inmovilizar al vehículo en pendiente, incluso en ausencia del conductor.

Un freno es eficaz, cuando al activarlo se obtiene:

- La detención del vehículo en un tiempo y distancia mínimos.
- La estabilidad de frenada es buena cuando el vehículo no se desvía de su trayectoria.
- Una frenada es progresiva, cuando el esfuerzo realizado por el conductor es proporcional a la acción de frenado.

Hay distintos sistemas de frenos, el más utilizado actualmente es el sistema hidráulico con discos adelante y tambores atrás, anteriormente se utilizaban los frenos mecánicos, sistema que hoy ya está obsoleto.

1.2 TIPOS DE FRENOS DE FRICCIÓN

Los frenos que usan superficies de fricción, como medio de transmitir el par torsional para parar un mecanismo, se pueden clasificar según la geometría general de las superficies de fricción, y según el método empleado para accionarlas.

1.2.1 FRENOS MECÁNICOS

En este tipo de frenos al momento de presionar el pedal con la fuerza de tu pie, un cable transmitía la fuerza para tratar de frenar el vehículo, estos tipos de

frenos dejaron de ser funcionales cuando la potencia de los motores empezó a desarrollarse, porque debido a las altas velocidades que empezaron a desarrollar los vehículos se requería de un gran esfuerzo físico para lograr frenar un auto, por lo tanto este sistema de frenado quedo totalmente obsoleto y se evoluciono hacia los frenos hidráulicos, pues con un esfuerzo mucho menor se logra una potencia de frenado mucho mayor.

1.2.2 FRENOS HIDRÁULICOS

En el sistema hidráulico cuando es presionado el pedal del vehículo un embolo conocido como cilindro maestro se encarga de impulsar hidráulicamente el liquido de frenos por toda la tubería, hasta llegar a los frenos colocados en las llantas y lograr frenar el vehículo.

Los materiales de fricción que se utilizan son conocidos como balatas y suelen ser piezas metálicas, semi-metálicas o de cerámica que soportan muy altas temperaturas y son los que crean la fricción contra una superficie fija; que pueden ser o tambores o discos; y así logran el frenado del vehículo. Las balatas son piezas que sufren de desgaste y se tienen que revisar y cambiar en forma periódica.

1.3 TIPOS DE FRENOS DE FRICCIÓN POR ACCIONAMIENTO HIDRÁULICO

1.3.1 FRENO DE BLOQUE O DE ZAPATA

Las balatas curvas y rígidas del material de fricción son oprimidas contra la superficie de un tambor, desde su exterior o interior, y ejercen una fuerza tangencial que detiene la carga.

Actualmente los frenos de tambor solamente se utilizan en las llantas traseras, y solo de ciertos vehículos, debido a que los frenos de disco poseen mucha mayor fuerza de frenado son los que se utilizan en la mayoría de los coches como frenos delanteros y la tendencia indica que todos los coches terminarán usando frenos de disco en las cuatro llantas.

1.3.1.1 REGLAJE

El desgaste que se produce en las frenadas debido al rozamiento de las zapata contra el tambor, hace que aquellas queden cada vez más separadas de éste en posición de reposo, lo que supone un mayor recorrido muerto en la acción de frenado y el envío de mayor cantidad de líquido desde la bomba.

Para corregir esto se debe de realizar un reglaje periódico de los frenos, que consiste en aproximar las zapatas al tambor lo máximo posible, pero sin que llegue a producirse el rozamiento entre ambos. Para realizar esta función se colocan en este tipo de freno unas excéntricas (Fig. 1.3.1) que limitan el recorrido tope de las zapatas hacia su posición de reposo. Mediante ellas se aproximan las zapatas al tambor cuanto sea necesario.

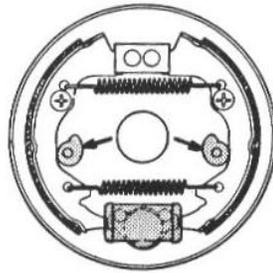


Fig. 1.3.1 Sistema de excéntricas para el reglaje de aproximación de las zapatas.

Las excéntricas forman cuerpo con un eje, cuyo extremo posterior sobresale por la parte trasera del plato portazapatillas, siendo así accesibles aun con la rueda montada, lo cual supone que la operación de reglaje puede ser efectuada sin necesidad de desmontar ningún componente. Hoy en día, la mayoría de vehículos disponen de un sistema de reglaje automático para sus frenos de tambor.

La Fig. 1.3.2 muestra en alzada y vista superior uno de los sistemas de reglaje automático, utilizado por Bendix.

Está constituido por una palanca (C), que articula en su parte superior con la zapata primaria, que en su extremo inferior está provista de muescas en forma de dientes de sierra, con las cuales engrana el trinquete (D), empujado por el muelle (F). Entre ambas zapatas se acopla la bieleta (B), fijada a la secundaria por el muelle E y acoplada a la primaria en la ventana (L) de la palanca (C). Ambas zapatas se mantienen en posición de reposo por la acción del muelle (R).

La holgura de montaje J determina el juego ideal entre zapata y tambor.

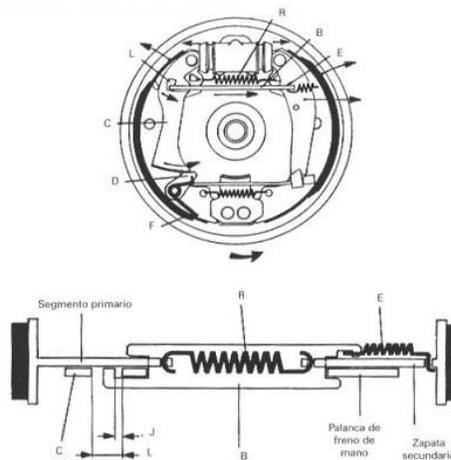


Fig. 1.3.2 Reglaje automático de aproximación de las zapatas.

1.3.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS FRENS DE ZAPATA

- La dilatación transversal bajo el efecto del aumento de temperatura tiende a disminuir el juego entre disco y pastillas; de todas formas, esta dilatación es más pequeña que la radial de los frenos de tambor, lo que facilita el reglaje y simplifica los dispositivos de reglaje automático.
- Mayor eficiencia (las balatas hacen contacto en una superficie mayor).
- Refrigeración escasa.
- Sistema más complejo.

1.3.2 FRENO DE DISCO CALIBRADOR

Las balatas de freno de disco se ponen en contacto con el disco giratorio, mediante presión de fluido que actúa sobre un pistón en el calibrador (caliper). Las balatas son redondas, o en forma de riñón, para cubrir más superficie del disco. Sin embargo, una ventaja del freno de disco estriba en que el disco queda expuesto a la atmósfera e intensifica la disipación de calor. Además, como el disco gira con la máquina que se va a controlar, la disipación de calor aumenta. El efecto de enfriamiento mejora la resistencia a la fusión de este tipo de freno, en comparación con el freno de zapata.

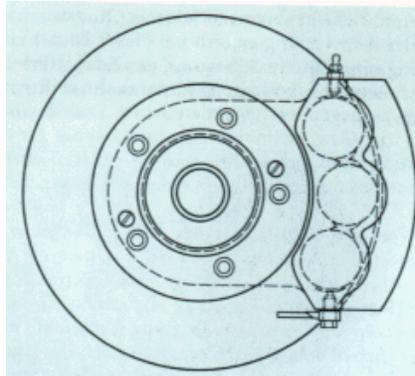


Fig. 1.3.3 Freno de disco calibrador.

1.3.2.1 DESVANECIMIENTO

La eficiencia del freno puede disminuir considerablemente poco después de que comienza a actuar continuamente, fenómeno que se conoce por el término en inglés fade (desvanecimiento, debilitación). Esto se debe principalmente a una disminución importante del coeficiente de rozamiento a las altas temperaturas de superficie inducidas, y se puede remediar hasta cierto punto mediante un proyecto adecuado del sistema de frenos.

1.3.2.2 REGLAJE

En el sistema de frenado de disco no se necesita reglaje debido a que cuando cesa la acción de frenado, una vez que disminuye la presión hidráulica, el propio alabeo del disco hace que las pastillas se separen ligeramente de él. A una distancia mínima, sin que lleguen a rozar. Con este movimiento retrocede el pistón al mismo tiempo la distancia necesaria, adaptándose al recorrido al desgaste de las pastillas.

1.3.2.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS FRENOS DE DISCO

- El equilibrio de las presiones en ambas caras del disco suprime toda reacción sobre el eje (delantero o trasero) del vehículo; además, estas presiones axiales no producen deformaciones de la superficie de frenado.
- El disco se encuentra al aire libre y, por ello, su refrigeración está asegurada, retardándose la aparición del fading.
- Los cilindros de freno están situados en el exterior y son mejor refrigerados que en los frenos de tambor, resultando más difícil la aparición del fading por aumento de temperatura del líquido de frenos.

- El mantenimiento es mucho más sencillo en comparación al freno de zapatas.
- Menor peso total

1.4 ELEMENTOS DEL SISTEMA DE FRENADO DE DISCO CALIBRADOR

El sistema de frenos de un vehículo moderno está compuesto por los siguientes elementos:

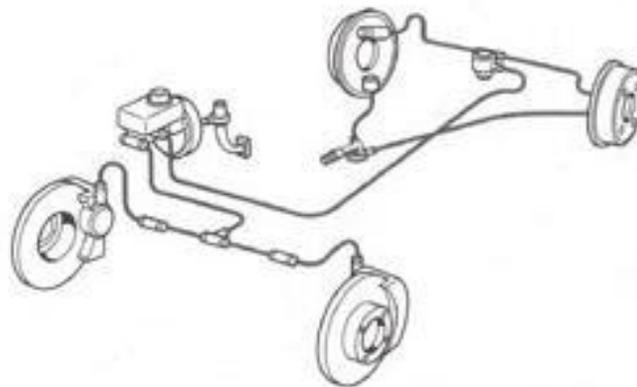


Fig. 1.4.1 Posición de los elementos del sistema de frenado de disco.

1.4.1 SERVOFRENO

El servofreno es el sistema por el cual la fuerza que hay que ejercer sobre el pedal, para presurizar el circuito a una misma presión, se reduce. Es decir, es un elemento que reduce el esfuerzo que necesita el conductor para presurizar el circuito pisando el pedal.

Las ventajas del servofreno no son exclusivamente las de poder realizar una presión mayor sobre el circuito hidráulico, y por consiguiente, sobre los pistones de las pinzas con un mayor descanso del pie. Si no que lo que se consigue es una mejor dosificación de la frenada.

Los servofrenos actuales más corrientes son aquellos que actúan por vacío. Estos aparatos aprovechan la depresión creada en el colector de admisión cuando se retira el pie del acelerador para aumentar la fuerza que el pie proporciona al pedal del freno.

1.4.2 BOMBA DE FRENO

La bomba de freno o cilindro principal, es el encargado de presurizar el líquido por todo el circuito hidráulico. Como la legislación actual obliga a los fabricantes de vehículos a que estos vayan provistos de doble circuito de freno, las bombas de freno son de tipo tándem.

El sistema tandem significa que la bomba dispone de dos pistones, colocados uno a continuación del otro, con los cuales se atiende al suministro del líquido a una presión igual para cada uno de los dos circuitos independientes normalmente distribuciones según una "X". Es decir, un circuito actúa sobre la rueda delantera izquierda y también sobre la trasera derecha mientras que el otro actúa sobre la rueda delantera derecha y la trasera izquierda como elemento de seguridad en el caso de problemas de pérdida de eficacia en uno de los dos circuitos.



Fig. 1.4.2 Cilindro principal.

1.4.3 VÁLVULA DOSIFICADORA

Este tipo de válvula, se usan adicionalmente y tienen diferentes funciones, aquí solo tocaremos la función de diversificar. Los vehículos con tracción delantera, traen esta válvula, para lograr la siguiente aplicación:

El cilindro maestro tiene dos circuitos, y tiene dos líneas de salida. Una línea lógicamente llevaría la fuerza del fluido hacia las ruedas traseras, y la otra haría, hacia las ruedas delanteras.

La válvula que nos ocupa, recibe la fuerza de las dos líneas y las deriva en dos circuitos, de tal manera , que un circuito, activa los frenos en forma diagonal una rueda de adelante y una de atrás y el otro circuito activa las otras dos

ruedas. La idea es que al frenar, la acción no desestabilice el vehículo, acentuando el frenado en cualquier rueda.

Algunos modelos de cilindro maestro, traen esta función incorporada, mostrando 4 líneas de salida. Si nos detenemos a pensar, en la diferencia de fuerza entre el frenado de un rotor, y el de un tambor, estaremos de acuerdo en que dentro de esta válvula necesariamente, debe tener pistones que gradúan o equilibran la fuerza, con la cual se envía el fluido hacia las ruedas. Debido a esto, en algunos casos nos encontramos, con ruedas que se quedan frenadas o que no frenan, quedando de manifiesto, el trabajo defectuoso de esta válvula.

1.4.4 CALIBRADOR (PINZA DE FRENO Ó CALIPER)

La pinza de freno es el elemento encargado de soportar las pastillas además de empujarlas contra el disco cuando se presuriza el sistema.

La pinza es un elemento crítico del sistema de freno y está sometida a esfuerzos importantes durante el frenado tales como vibraciones, excesiva temperatura y otros elementos agresivos.

Por lo tanto, la inspección, aunque sea visual, si no se dispone de una cámara ultravioleta para la detección de grietas, es muy importante.

Existen diferentes tipos de caliper (pinzas) de freno según el sistema de freno y el fabricante. Sin embargo todas se basan en el hecho de que después de liberar la presión del circuito, permiten que la pastilla de freno, continúe en contacto con el disco de freno, de forma que en la próxima frenada, el efecto de esta sea inmediato sin necesitar un tiempo de aproximación entre la pastilla y el disco de freno. Este contacto queda garantizado por los retenes del pistón del caliper, por el propio sistema hidráulico y lógicamente genera un efecto permanente de frenado (residual torque) cuyo valor es crítico para el buen funcionamiento del sistema.

Pares residuales (residual torque) de frenado altos pueden provocar el calentamiento del sistema dando lugar a problemas que se describen más adelante.

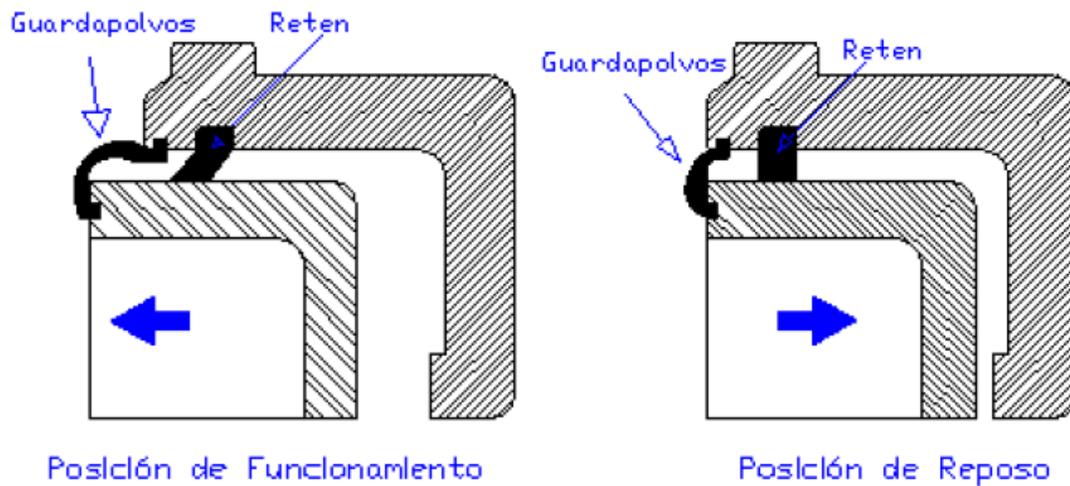


Fig. 1.4.3 Diagrama de funcionamiento del cilindro del caliper.

1.4.4.1 PINZAS DE PISTÓN OPUESTO

El freno de disco de pinzas de pistón opuesto se fija en la brida de montaje mediante dos pernos y las pinzas están montadas por encima del disco que gira con el cubo de la rueda. Los cilindros a ambos lados de las pinzas fijas están equipados cada uno con una junta que se mantiene en una ranura angular en alojamiento del cilindro. Los cilindros y pistones están protegidos contra la suciedad y agua con una cubierta antipolvo. Los conjuntos de pastillas están montados entre el pistón y el disco en la ranura de las pinzas y se mantienen en posición con pasadores. Las pinzas para las ruedas traseras pueden llevar incorporados orificios de fijación para unir un freno de mano de tipo pinzas accionado mecánicamente que sirva como freno de estacionamiento.



1.4.4 Pinzas de pistón opuesto.

1.4.4.2 PINZAS DE DOBLE PISTÓN

Su principio de funcionamiento es simple, es decir, cuando se pisa el pedal el cilindro principal presuriza el líquido de frenos que empuja por igual a cada uno de los pistones de la pinza, que a su vez empujan a las pastillas contra el disco. La ventaja de este sistema es que ambas pastillas se empujan con la misma fuerza contra el disco. El esfuerzo de pedal aplicado está siempre directamente relacionado con la fuerza de pistón (según una relación determinada por las dimensiones de los componentes), y por lo tanto con el grado de frenado. Cuando se suelta el pedal, la presión hidráulica que hay en el sistema de frenos disminuye, lo que hace que los pistones vuelvan a su posición original ayudado por la junta que existe entre los pistones y el cuerpo de la pinza (también responsable de la estanqueidad del conjunto). Al desgastarse el material de la pastilla, los pistones se deslizan más a través de la junta al frenar, con lo que compensa automáticamente el desgaste.

1.4.4.3 PINZAS DESLIZANTES

Los frenos de disco de pinzas deslizantes se han diseñado para recuperar el espacio perdido por la instalación de las suspensiones tipo McPherson, que han restringido considerablemente el espacio disponible, ya que modifican el ángulo de caída de las ruedas. Este nuevo tipo de pinza está sustituyendo a la pinza de doble pistón por sus mejores ventajas como pueden ser: que el líquido de frenos se encuentra separado de la zona de disipación de calor, gran área y volumen de pastilla de freno con lo que se consigue mayor superficie de fricción para el frenado y al ser más anchas tienen mayor vida útil, peso menor, fuerza constante en las dos pastillas y par residual reducido debido a la retracción controlada de las pastillas. El cuerpo del freno, que no está expuesto a fuerzas centrífugas, se puede fabricar tanto en versión de aluminio de una sola pieza y en versión de dos piezas con el cuerpo de aluminio y un puente de hierro fundido dúctil. Para disipar mejor el calor la pieza de aluminio puede estar provisto de aletas de disipación, es decir, se aumenta la superficie de contacto entre el medio y la propia pinza.

El principio de funcionamiento es sencillo, al pisar el pedal del freno se actúa sobre el cilindro principal (que puede ir dotado de servo o no) aumentando la presión de todo el sistema. Esta presión al ser aplicada sobre el pistón empuja la pastilla de freno interior contra el disco. Debido que la presión aplicada y el líquido encerrado actúan uniforme en todas las direcciones, se ejerce simultáneamente una fuerza reactiva en el cuerpo. Esta fuerza desliza el cuerpo sobre los pernos de guía y tira de la pastilla exterior contra el disco. El esfuerzo de frenado por lo tanto es igual a ambos lados. El ajuste de la separación de la pastilla con el disco después de completar el proceso de frenado se consigue de manera similar al de las pinzas fijas, por medio de la deformación controlada

de la junta del pistón. En este tipo de caliper, además de las comprobaciones rutinarias del pistón y sus elementos de estanqueidad, es muy importante verificar el buen deslizamiento de las guías del caliper para garantizar el reparto igual de esfuerzos sobre las dos pastillas de freno del caliper.



1.4.5 Pinzas deslizantes.

1.4.5 TUBERIAS Y LATIGUILLOS

Las tuberías y los latiguillos son los encargados de conducir el líquido de frenos, soportando la presión interna del líquido, además deben de resistir la agresión medioambiental y otros agentes agresivos del entorno.

Las tuberías de freno normalmente son tubos de acero y muchas veces están recubiertas con polímero para resistir la corrosión; usualmente tienen un ánima nominal de 2,5 mm. y un diámetro externo de 4,5 mm. Cada extremo de la tubería está carenado con carena individual o doble para que coincida con el componente en el que se coloca, y tiene montada una tuerca de tuberías macho o hembra según sea necesario.



1.4.6 Latiguillo de freno.

1.4.6 LIQUIDO DE FRENOS

El líquido de freno es el elemento que al ser presurizado por la bomba empuja los cilindros de las pinzas contra las pastillas, produciéndose así la acción de frenado. Para los usuarios de los automóviles es el eterno olvidado, es decir, muy pocos conductores dan la importancia que dicho elemento tiene. Como veremos a continuación sus características son las que aseguran una correcta frenada, pero es un elemento que con el uso y el paso del tiempo se degrada debe de ser sustituido.

Las características fundamentales del líquido de freno son las siguientes:

- Es incompresible (como todos los fluidos).
- Su punto de ebullición mínimo debe ser superior a los 230°C. Así conseguirá permanecer en estado líquido, sin entrar en ebullición, cuando las sollicitaciones de frenada sean muy exigentes.
- Debe de tener baja viscosidad para desplazarse rápidamente por el circuito.
- Debe de ser lubricante para que los elementos móviles del sistema de freno con los que se encuentra en contacto no se agarroten.
- Debe de ser estable químicamente, para no corroer los elementos del sistema de freno con los que se encuentran en contacto.

En la actualidad, la mayoría de los líquidos de freno cumplen con todos los requisitos que le son demandados, pero como contrapartida y debido a la composición de elementos que tiene, posee una propiedad que obliga a que su sustitución sea necesaria cada 2 años o 70000 km. Esta propiedad es la propiedad higroscópica, es decir, tiene una gran capacidad de absorber agua. En ambientes húmedos, bien pudiera ser necesario el proceder a su cambio antes de los plazos anteriormente indicados.

1.4.6.1 CAPACIDAD HIGRÓSCOPICA

Se podría pensar que cuando existe agua en el sistema de frenos no tendría porque modificar las cualidades del líquido, ya que es un fluido. Pero no es así ya que el agua aunque sea en estado líquido, corroe los elementos del sistema de frenos con los que está en contacto. Aunque el problema principal de la existencia de agua en el sistema de freno es que cuando la temperatura del líquido supera los 100°C el agua se evapora transformándose en vapor de agua, un gas, que si es compresible, con lo cual el pedal ira al fondo, ya que

toda la presión que nosotros estemos introduciendo en el sistema servirá para comprimir ese vapor de agua y no para actuar sobre las pastillas de freno. Además la existencia de agua en el sistema como se ve en el gráfico hace disminuir el punto de ebullición del líquido.

1.4.6.2 CLASIFICACIÓN

Los líquidos de freno dividen en la actualidad en dos grupos dependiendo de las características que presenten. Así en la actualidad se pueden comercializar dos calidades de líquido de freno.

- DOT 4: Cuyo punto de ebullición es de 255°C. Empleado en sistemas de disco/tambor o disco/disco sin ABS.
- DOT 5: Cuyo punto de ebullición es de 270°C. Debe ser el utilizado para vehículos de altas prestaciones y aquellos que vayan dotados de sistemas ABS.

Ambas calidades de líquido son miscibles entre sí, pero no se recomienda el mezclado de ambos. Aunque exista la posibilidad de mezclarlos, es conveniente leer el libro de mantenimiento del vehículo para saber, si necesitamos rellenar, que tipo de líquido emplea nuestro vehículo. Cuando procedamos a sustituir el líquido de freno es conveniente limpiar el circuito con alcohol metílico para conseguir que el líquido nuevo, conserve todas sus propiedades. Además en cualquier manipulación que se haga debe de purgarse después el sistema de freno.



1.4.7 Líquido de freno.

1.4.7 PASTILLAS DE FRENO

El sistema de frenado por disco calibrador usa superficies opuestas impulsadas entre sí, mediante materiales de fricción. La función de estos materiales es desarrollar una fuerza de fricción apreciable cuando se aplique una fuerza normal con los medios de accionamiento de freno.



1.4.8 Pastilla de freno.

1.4.7.1 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LAS PASTILLAS DE FRENO

- Presentar un coeficiente de fricción adecuado y estable a cualquier rango de temperatura y presión.
- Mantener un equilibrio entre abrasión y resistencia al desgaste.
- Una cierta compresibilidad, tanto en frío como en caliente, que haga que el material absorba vibraciones e irregularidades de la otra superficie con la que entra en contacto.
- Una buena resistencia al choque y al cizallamiento.

Para conseguir satisfacer todos estos requerimientos, cada fabricante implementa sus propias formulaciones, las cuales ensaya una y otra vez hasta conseguir los resultados que le aportan la calidad que buscaban.

1.4.7.2 ELEMENTOS DE LAS PASTILLAS DE FRENO

UNDERLAYER (Subcapa)

El underlayer es una capa de material cuya función es la de fijar el material de fricción en el soporte además de reducir la temperatura que llega al caliper.

Esta capa de material tiene su propia formulación, ya que no tiene los requerimientos que del material de fricción se esperan sino que sus funciones son las de unir la capa de material de fricción al soporte además de variar la conductividad térmica del material de fricción para que el calor no pase a través de ella y no se caliente el líquido de frenos en el caso de materiales de fricción con una alta conductividad térmica.

En definitiva, es un elemento añadido que puede implicar riesgos adicionales por lo que si puede ser evitado en el proceso, es conveniente evitar el tener que usar este elemento.

SOPORTE

El soporte es el elemento metálico cuya función es la de mantener el material de fricción en el porta pastillas de las pinzas. La característica principal es que debe de ser lo más plano posible para evitar que durante en proceso de prensado en caliente y posterior curado de las pastillas surjan fisuras entre el soporte y el material de fricción.

Los soportes se fabrican por estampación a partir de un fleje del espesor requerido. Dependiendo de la complejidad del soporte se fabrican en varios pasos, aunque es uno de los procesos más automatizados de la fabricación de las pastillas.

Los soportes son pintados con un barniz de alta resistencia para prevenir la corrosión con el paso del tiempo. La impregnación del soporte metálico con una resina de gran adherencia es una fase crítica del proceso de fabricación, ya que se debe de garantizar una correcta adherencia del material de fricción al soporte.



1.4.9 Soporte de pastillas para freno.

ANTIRRUIDOS

Las láminas antirruído son accesorios cuya función principal es la de absorber las vibraciones que se producen en el contacto entre la pastilla y el disco, evitando la aparición de ruido. Existen diferentes materiales, como son láminas de fibra de vidrio, láminas metálicas... cada aplicación lleva definida un tipo de lámina diferente dependiendo del tipo de vehículo en el cual va montada la pastilla.

La forma de fijarlas al soporte suele variar dependiendo del tipo de material de la lámina antirruído. Existen láminas que van pegadas por medio de una resina fenólica las cuales tienen que ser comprimidas contra el soporte sometido el conjunto a una temperatura de unos 150°C. Otras láminas van remachadas a los tetones del soporte. Existe otra posibilidad de que la lámina vaya fijada al soporte por medio de patillas y embutida en dos tetones del soporte, para impedir su movimiento.

Dichas láminas permiten aumentar la compresibilidad de la pastilla de freno en frío con el consiguiente efecto positivo sobre los chirridos sin aumentar sensiblemente la compresibilidad de la pastilla de freno en caliente que pudiera dar lugar a carreras del pedal excesivas.



1.4.10 Láminas antirruídos de freno.

1.4.8 DISCO DE FRENO

Los discos de freno son la superficie contra la cual interactúan las pastillas para frenar el vehículo, debido a que el disco gira solidario con las ruedas. Ese rozamiento entre discos y pastillas produce la transformación de energía cinética en energía calorífica, provocando una reducción de la velocidad. Los discos de freno no solo deben producir la transformación de energía sino que además deben conseguir que el calor producido sea transmitido a la

atmósfera lo más rápidamente posible, ya que sino, las temperaturas a las que operaría el sistema serían muy elevadas llegando incluso al colapso del sistema.



1.4.11 Discos de freno.

La geometría de los discos de frenos siempre es la misma, es decir, una superficie circular perfectamente plana.

Los discos deben de desempeñar dos funciones principales: mover el aire a su alrededor como lo haría un ventilador, y transmitir su energía a la atmósfera como lo hace un radiador.

Para cumplir la primera de sus funciones, la propia geometría del disco hace que sea posible la circulación del aire desde la campana hacía el exterior de la pista. Además la velocidad de dicho aire es mayor cuanto mayor sea la temperatura que va adquiriendo.

Este proceso se da en los discos macizos, que cumple con su función cuando la energía que han de disiparse es reducida o media. Cuando la energía térmica disipada aumenta, las superficies de un disco macizo ya no son suficientes. Si se intentase aumentar su tamaño tendríamos la limitación impuesta por el tamaño de la rueda por lo cual la solución adoptada por unanimidad es el disco ventilado que permite una mayor disipación térmica en el mismo espacio.

1.5 MATERIALES Y PROVEEDORES

1.5.1 DISCO DE FRENO

El material escogido para fabricar los discos de freno es la fundición gris nodular de grafito laminar, ya que garantiza una estabilidad de las prestaciones durante el periodo de vida de los discos. Existen también, discos de materiales compuestos en matriz de carbono, usados en la alta competición y en los frenos

de los aviones, aunque debido al alto coste que tienen son inviables para los vehículos comunes. En la actualidad se están desarrollando discos de freno en aluminio con una base de carburo de silicio, ya que su menor peso los hacen muy atractivos, pero la mala disipación de calor que tienen los hacen inviables de momento, ya que necesitan un sobredimensionamiento importante que hacen que pierdan las ventajas del reducido peso.

La composición básica del material de los discos es una fundición gris nodular de grafito laminar, que contiene entre un 92% y un 93% de hierro. Además del hierro otros componentes básicos tales como el silicio, manganeso y otros garantizan la calidad de un elemento crítico en el frenado como es el disco. En el gráfico siguiente podemos ver el porcentaje de los diferentes materiales que junto con el hierro, que supone el 93% del total, el resto de materiales suponen entre el 7% y el 8% que resta de la composición total del disco.

Las características básicas de la fundición de los discos la podemos ver la siguiente tabla.

Propiedades Físicas	Magnitud
Resistencia a la tracción	240 N/mm ²
Dureza	170-250 HB

Tabla 1.5.1 Propiedades físicas de los materiales usados en discos de freno.

1.5.2 TUBERIAS Y LATIGUILLOS

Como ya se había mencionado las tuberías de freno normalmente son tubos de acero y muchas veces están recubiertas con polímero para resistir la corrosión; usualmente tienen un ánima nominal de 2,5 mm. y un diámetro externo de 4,5 mm. Cada extremo de la tubería está carenado con carena individual o doble para que coincida con el componente en el que se coloca, y tiene montada una tuerca de tuberías macho o hembra según sea necesario.

Los tubos flexibles están contruidos en capas, de los que el revestimiento, ha de ser resistente al aceite mineral, y el externo a partículas duras y daños producido por piedras, agua, sal y demás contaminantes que puedan existir en la carretera. El producto que se utiliza es un polímero de mezcla de etileno propileno dieno (EPDM).

1.5.3 PASTILLAS DE FRENO

Para los elementos de fricción en embragues y frenos se utilizan varios materiales distintos, y muchos de ellos son patentados por determinado

fabricante. En el pasado eran comunes varios compuestos de base de asbesto con coeficientes de fricción del orden de 0.35 a 0.50. Se ha demostrado que el asbesto es un riesgo para la salud y ahora se emplaza por compuestos moldeado de polímeros y hule. Cuando se requiere flexibilidad, el material base se teje en forma de una tela y a veces se refuerza con alambre metálico, se satura con una resina y se cura. También se usan en corcho y la madera. En ambientes rigurosos se emplean, hierro colado, hierro u otros metales sinterizados, o materiales con grafito. La tabla 1.5.2 muestra los intervalos aproximados del coeficiente de fricción, y la presión que pueden resistir los materiales.

Material de fricción	Coefficiente de fricción dinámica		Intervalo de presiones	
	Seco	En aceite	(psi)	(kPa)
Compuestos modelados	0.25-0.45	0.06-0.10	150-300	1035-2070
Materiales tejidos	0.25-0.45	0.08-0.10	50-100	345-690
Metal sinterizado	0.15-0.45	0.05-0.08	150-300	1035-2070
Corcho	0.30-0.50	0.15-0.25	8-15	55-100
Madera	0.20-0.45	0.12-0.16	50-90	345-620
Hierro colado	0.15-0.25	0.03-0.06	100-250	690-1725
A base de papel		0.10-0.15		
Grifito / resina		0.10-0.14		

Tabla 1.5.2 Coeficientes de fricción para materiales usados en pastillas de freno.

Para aplicaciones automotrices, la Society of Automotive Engineers (SAE) establece las normas. En la norma SAE J866 se define un conjunto de códigos para clasificar los materiales de fricción de acuerdo con el coeficiente de fricción independientemente del material usado. La tabla 1.5.3 muestra esos códigos.

Letra código	Coefficiente de fricción
C	No mayor que 0.15
D	Mayor de 0.15, pero no mayor que 0.25
E	Mayor de 0.25, pero no mayor que 0.35
F	Mayor de 0.35, pero no mayor que 0.45
G	Mayor de 0.45, pero no mayor que 0.55
H	Mayor de 0.55
Z	No clasificado

Tabla 1.5.3 Códigos para clasificar los materiales de fricción en base a la norma SAE J866.

Las tablas 1.5.4, 1.5.5, 1.5.6 y 1.5.7 muestran una serie de proveedores existentes en el mercado.

Proveedores de: Pastillas de freno			
Pais	Proveedor	Producto	Contacto
	DISTRIBUIDORA MEDITERRANEA	Pastillas de freno	Bouchardo 982 Col. 0 Córdoba, Córdoba Contactar
	FRENO	Pastillas de freno, Bloques de freno	Esq. Bocanegra y Faucett Col.Callao 051 Callao, Lima Contactar
	FILTROS NOA	Pastillas de Freno, Líquidos para frenos	Avenida J.B.Justo 2513 Col. 4000 S.M.de Tucumán, Tucumán Contactar
	Fers Resins	Resinas para pastillas de freno, Resinas para frenos	GRAN VIAL, 4 Col. 8170 Barcelona, Cataluña Contactar
	Basf Mexicana	FRENO 5%	Insurgentes Sur 975 Col.Cd. de los Deportes 3710 MEXICO, Distrito Federal Contactar
	Motriservicio	Freno, Freno de aire	Antonio de roda 110 Col.Abastos 78316 San Luis Potosí, San Luis Potosí Contactar
	Entorno Industrial	Sistema de freno, Ajustador de freno, Sensor para freno, Ajustador automático de freno	Juan Sarabia No. 205 Col.Nueva Santa Maria 02800 Azcapotzalco, Distrito Federal Contactar
	Sew Eurodrive	motores freno	Bldv. tullitlán Oriente No. 2-G Col.Ex- Rancho de Santiago 54900 México, Edo. de Méx. Contactar
	ECUATORIANA DE SOLVENTES	Líquido de freno	AV. CASUARINAS #100 Y KM. 9.5 VIA DAULE SUCURSAL. QUITO. AV. LOS GUABOS Y EL INCA Col.Norte 593 GUAYAQUIL, GUAYAS Contactar
	YORKA DE MEXICO	lucos de freno	AV. SANTA ROSA DE VITERBO 3 Col.PARQUE INDUSTRIAL FINSA 76246 EL MARQUES, QUERETARO Contactar
	Industrial Magza	motores freno, embragues freno	Av. Dr. Gustavo Baz No. 281 Col.Hacienda Echeagaray 53300 Naucalpan, Edo. de Méx. Contactar
	GRUPO KORN	cajas de freno	Estado de Israel 4553 Col.Villa Crespo 1185 Buenos Aires, Capital Federal Contactar
	EDREMAR ECUADOR	PARTES DE FRENO	PICHINCHA 823 y SUCRE EDIFICIO SARJI - 10º piso - OFC 1007 Col.CENTRO 1001 GUAYAQUIL, GUAYAS Contactar
	FUNDIDORES DE FORTIN	tambores de freno	na Col.na 0 na, na Contactar
	Montacargas del Valle de México	zapatas de freno, cilindros de frenos	Norte Tres No. 4940 Col.Panamerica 07770 México, D.F. Contactar

Tabla 1.5.4 Proveedores de pastillas de freno.

Proveedores de: mangueras de frenos			
Pais	Proveedor	Producto	Contacto
	Jose de la Torre	mangueras de frenos, repuestos de herraje de frenos	Av. Patriotismo No. 399-3 Piso Col.San Pedro de los Pinos 03800 México, D.F. Contactar
	PINTO MAQUINARIAS	Mangueras para frenos, Mangueras para dirección	Avenida Gallesio 234 Col. 2800 Zárate, Bs. As. Contactar
	MANGUERAS Y REFACCIONES INDUSTRIALES	Mangueras FRENOS DE AIRE, MANGUERA FRENOS DE AIRE	Hacienda de Vanegas # 60 Col.Mansiones del Valle 76185 Querétaro, Querétaro Contactar
	Frenos Hidráulicos	Mangueras para frenos FHASA/W, Tubos para frenos FHASA/W	Av. la Presa 6 Col.San Juan bhuatepec 54180 Tlalnepantla, Edo. de Méx. Contactar
	Gates de México	Mangueras retráctiles para frenos de aire, Mangueras	Cerrada de Galeana N° 5 Col.Toluca 54060 Tlalnepantla, Estado de México Contactar
	Entorno Industrial	Matracas auto ajustables para frenos o ajustadores automáticos de frenos rectas, curvas y offset, Frenos, Sistemas de frenos, Módulos frenos	Juan Sarabia No. 205 Col.Nueva Santa María 02800 Azcapotzalco, Distrito Federal Contactar
	Gimbel Mexicana	Frenos, Herramientas llantas / frenos	Prol. Moliere No. 46 Esq. Andromaco Col.Ampliación Granada 11529 D.F, México Contactar
	Acat Mexicana	Frenos	Nonoalco 143 Col.Churubusco 64590 Monterrey, N.L. Contactar
	Movi ruedas	Frenos.	Norte 92 No. 4310 Col.Malinche 07899 México, Distrito Federal Contactar
	Servicio Industrial Cerámico	Frenos	Av. Raúl Rangel Frías No.550 Col.Burócratas del Estado Nte. 64380 Monterrey, Nuevo León Contactar
	Industrial Magza	frenos, frenos neumaticos	Av. Dr. Gustavo Baz No. 281 Col.Hacienda Echeagaray 53300 Naucalpan, Edo. de Méx. Contactar
	Dema	Frenos	Tiziano #62 Esq. Periférico Col.Alfonso XII 1460 , Distrito Federal Contactar
	MERCK INDUSTRIAL	frenos, FRENOS INDUSTRIALES NEUMATICOS	ALLENDE 517 SUR Col.CENTRO 66400 SAN NICOLAS DE LOS GARZA, SAN NICOLAS DE LOS GARZA Contactar
	Grupo Idimsa	Frenos	Santa Monica No. 418 Col.Ampliación Vicente Villada 57000 Estado de Mexico, Edo. de Méx. Contactar
	Frenar	Frenos	Viveros de Atizapan #47 Col.VIVEROS DEL VALLE 54060 Tlalnepantla, Estado de México Contactar

Tabla 1.5.5 Proveedores de mangueras de freno

Solicitudes de productos relacionados con: mangueras de frenos						
ID	Producto	Consumo	País del cliente	Estado	Puesto	Observaciones
136482	Mangueras para frenos de aire	1 Piezas Única vez		Querétaro	Jefe Depto. Nuevos Proyectos	Requiero manguera de 3.20 mts. de longitud,, con conexiones rapidas para tractocamion, ... más
273732	Mangueras para Frenos	2 Piezas Única vez		Hidalgo	Gerente	Mangueras para frenos traseros de tambor winstar mod 95 N/P BH-380325 & BH-380326 más
5650	mangueras de hule	174000 Piezas Anual		Aguascalientes	gerente comercial	largo de las piezas mas o menos de 400 mm más
6072	RESINAS DE SILICON	20000 Kilogramos Anual		DISTRITO FEDERAL	JEFE DE PRODUCCION	SOLICITO INFORMACION DE ESTE PRODUCTO (RESINA DE SILICON PARA EXTRUSION). más
6461	negro de humo	10 Toneladas Anual		Pichincha	Gerente Propietario	más
6934	mangueras de plástico	15 Kilogramos Anual		EDO. MEX.	JEFE DE COMPRAS	más
8275	Diocil ftalato	60 Toneladas Anual		Perú	no esta asignado	más
8635	mangueras de teflon	100 Kilogramos Anual		Morelos	Gerente de Ingeniería	más
8653	liquido frenos	288000 Onzas Anual		Cundi	gerente	PARA DISTRIBUCIÓN más
8889	mangueras de plástico	122222 Toneladas Anual		nuevo leon	Ingenieria de proyectos	más

Tabla 1.5.6 Proveedores de mangueras de freno.

Empresas relacionadas con: mangueras de frenos		
Pais	Empresa	Contacto
	FRENOS Y EMBRAGUES MITRE	Mitre 4420 Col. 1678 Caseros, Bs. As. Contactar
	FRENOS Y MECANISMOS (TRW)	AV. LA GRIEGA 101 Col.PARQUE INDUSTRIAL QUERETARO 76220 QUERETARO, QUERETARO Contactar
	Frenos Hidraulicos Automotrices	Av. La Presa No. 6 Col.San Juan lxhuatepec 54180 México, D.F. Contactar
	Frenos Hidráulicos	Av. la Presa 6 Col.San Juan lxhuatepec 54180 Tlalnepantla, Edo. de Méx. Contactar
	marcelo alberto silva	9 de julio 477 Col.San Luis 5700 san luis, san luis Contactar
	MANGUERAS Y TALLER ESPECIALIZADO DE POZA	Montes de oca 801 Local B Col.27 de Septiembre 0 Poza Rica, Veracruz Contactar
	Comercializadora de Bandas y Mangueras	Aviadero No 121 Col.Felipe Angeles 15310 México, D.F. Contactar
	Mangueras y Conexiones de Puebla	. Col. ... Contactar
	MANGUERAS METALICAS FLEXIBLES	CIRCUITO BALVANERA 14 Col.FRACCIONAMIENTO AGROINDUSTRIAL 76920 CORREGIDORA, QUERETARO Contactar
	Vinilos y Mangueras	Eugenio A. Benavides 211 Col.Moises Saénz 66450 Apodaca, N.L. Contactar

Tabla 1.5.7 Proveedores de frenos hidráulicos.

1.6 SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

1.6.1 PASTILLAS DE FRENO

La fabricación de material de fricción es un proceso bastante estandarizado. Las variables del proceso son las que cada fabricante define en función del tipo de materiales que emplea, es decir, de la composición que defina. A grandes rasgos los pasos fundamentales que se deben de seguir a la hora de fabricar son:

EL PROCESO DE MEZCLADO: Es uno de los principales pasos dentro del proceso de fabricación, ya que su misión es la de mezclar todos los componentes de forma homogénea. Para conseguir una buena homogeneización de la mezcla, el mezclador está provisto de un eje central que hace girar los componentes en forma de ochos y en otro eje dos cuchillas batidoras que son las que van homogeneizando la mezcla. En este proceso, uno de los factores críticos es el tiempo que los diferentes materiales pasen en el mezclador, ya que este periodo debe estar definido dependiendo del tipo de fibras que se vayan a mezclar. Cada fibra tiene un tiempo de apertura, es decir, un periodo en el cual su longitud es la mayor posible, a partir de ahí lo que sucede es que las fibras se van acortando con lo cual no realizaran la función anteriormente descrita.

PRENSADO EN CALIENTE: La misión del prensado en caliente es la de aglutinar los diferentes componentes. Por una parte, con la presión que se realiza se consiguen una reducción del volumen, pero a su vez con la temperatura lo que se hace es fundir las resinas para que estas fluyan por todo el material ligando los diferentes elementos. Este proceso lleva asociado unos ciclos de prensado, es decir, que la prensa actuará sobre las pastillas durante un determinado tiempo, para a continuación permitir la salida de los gases. En esta etapa es en la que los soportes son pegados al material de fricción. Esto se produce por dos motivos principales, uno de ellos es que el soporte lleva impregnado una resina que consigue la adhesión del material y por otro lado, existen unos huecos pasantes en los soportes cuya función es la de alojar el material de fricción que fluye para conseguir una completa fijación del material de fricción al soporte. El tiempo típico de prensado varía de 10 a 12 minutos según la fórmula empleada para permitir el curado en prensa de las resinas.

CURADO: El proceso de curado se realiza en hornos, su misión principal es la completa polimerización de las resinas, para conseguir una perfecta compactación del material además de ir perdiendo el contenido todavía existente de volátiles. Este proceso también es función del tiempo y de la temperatura que se va alcanzando en las diferentes etapas. Esto significa que

las pastillas van sufriendo un ciclo de diferentes temperaturas, en las cuales van pasando durante un periodo determinado.

SCORCHADO: En esta última fase, el material de fricción se sube a temperaturas de 500°C o superiores bajo la acción de una placa caliente o bajo el efecto de una llama. En este último proceso se elimina una gran parte de materiales orgánicos aún existentes, el polímero (resina) se grafitiza y la pastilla de freno adquiere sus características definitivas. Este es un proceso caro y delicado por lo que muy pocos fabricantes lo incorporan a sus procesos de fabricación.

OPERACIONES DE MECANIZADO: En esta etapa las pastillas sufren diferentes procesos de mecanización para adaptarlas a las características dimensionales requeridas por cada aplicación. Es decir, por un lado se rectifican para conseguir el espesor de material de fricción necesario. Otro de los procesos que pueden sufrir es la realización de catas o ranuras, al igual que los chaflanes.

PUESTA DE ACCESORIOS: Durante esta etapa se le añaden a las pastillas todos los elementos complementarios tales como los muelles, resortes, avisadores, etc.

MARCADO Y ESTUCHADO: Las pastillas están finalizadas solo queda marcarlas y estucharlas para poderlas servir a los diferentes clientes.

1.6.2 LATIGUILLOS

Para la fabricación de los latiguillos se emplea tela de rayón de capas múltiples para las dos capas de refuerzo, que resisten la presión del tubo flexible. Los tubos flexibles de frenos están diseñados para funcionar a una presión de 100 bares, su presión de rotura es unas 5 veces mayor.

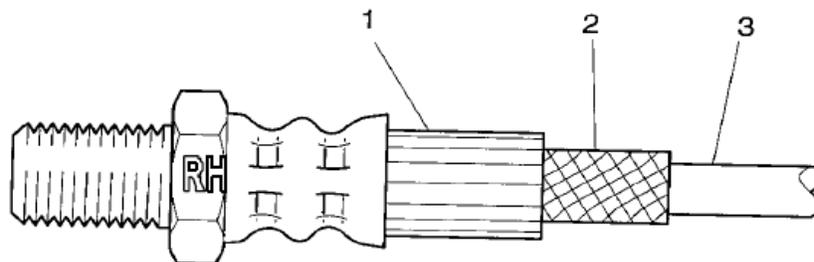


Fig. 1.6.1 Constitución del latiguillo para freno.

La membrana interior del tubo flexible ha de ser resistente al líquido de frenos (3). El material empleado es EPDM ya que es muy poco permeable. El material

de la capa interior es de rayón por presentar unas muy buenas cualidades de resistencia de presión interna (2). Algunos tubos flexibles tienen fundas de plástico o acero inoxidable enrollados alrededor de los mismos para dar protección adicional contra el doblado del tubo en otros componentes (1).

Prensado: El prensado es el método más seguro, rápido y habitual de fabricar latiguillos. Los sistemas de prensado Parker garantizan un montaje preciso, estanco e indesgarrable de manguera y terminal. Es posible un ajuste exacto del diámetro de prensado con las herramientas Parkrimp o con herramientas de prensado regulables. Al realizar el prensado, es esencial una correspondencia precisa de manguera, terminal y herramienta (mordaza). Además, es importante la profundidad de inserción, un corte a escuadra correcto y un prensado limpio y sin rebabas, para asegurar una conexión correctamente formada y estanca de manguera y terminal. Utilizando las prensas Parkrimp o prensas regulables, el terminal se prensa en la manguera mediante un procedimiento seguro y suave. Un tope de profundidad con función automática permite un posicionamiento seguro del terminal. Esto garantiza el prensado correcto de latiguillos hidráulicos.



Fig. 1.6.2 Proceso de prensado para la fabricación de latiguillos de freno.

CAPITULO II

MODELADO DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS

En este capítulo se muestra cómo se llevo a cabo el modelado virtual de los elementos del sistema de frenado, los cuales se listan a continuación:

- Disco de frenos
- Caliper
- Pastillas
- Bomba de freno o cilindro principal
- Contenedor de líquido de frenos
- Pedal
- Alojamiento del pedal
- Maza

El dimensionamiento se hizo, en parte, tomando como referencia elementos existentes actualmente en el mercado y algunas otras fueron propuestas personalmente; realizando comparaciones en cuanto a tamaños, formas, medidas estándar y parámetros requeridos en el cálculo, se fueron definiendo poco a poco todos los elementos citados anteriormente.

Una vez teniendo las medidas correspondientes de cada elemento se modelaron y ensamblaron en el software CATIA para que con esto se exportaran los modelos a analizar al software ANSYS.

Los planos se crearon en el software AUTOCAD con ayuda de la norma ISO 128 acerca del dibujo mecánico.

En siguiente se muestran de manera muy general imágenes de cómo se fue dando el proceso de modelado de los elementos con sus respectivos planos de diseño.

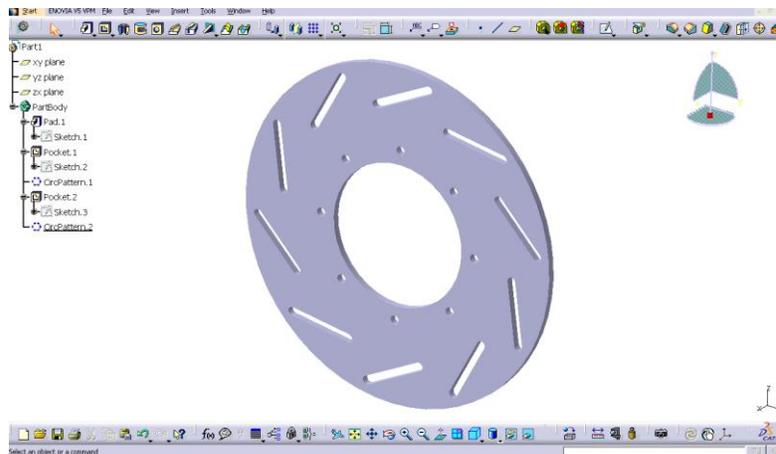


Fig. 2.1.1 Modelado del disco de freno delantero.

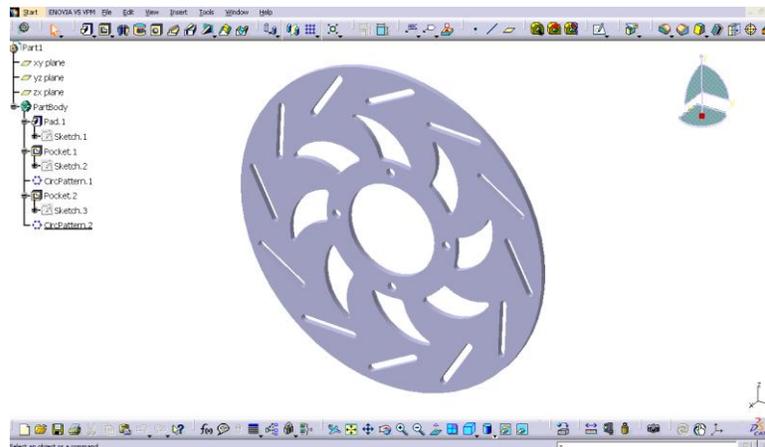


Fig. 2.1.2 Modelado del disco de freno trasero.

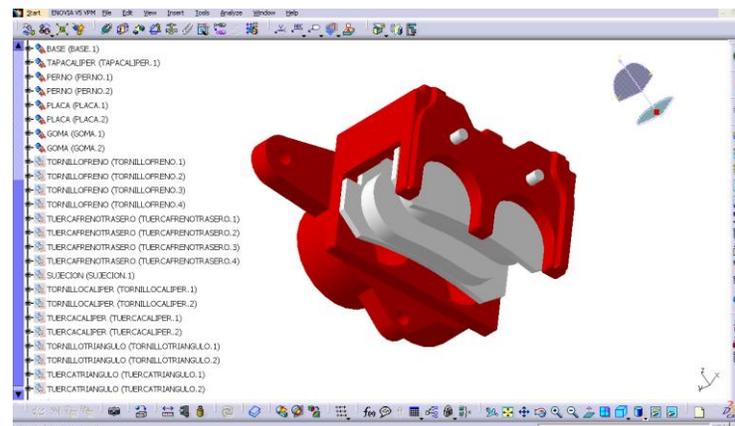


Fig. 2.1.3 Modelado del caliper.

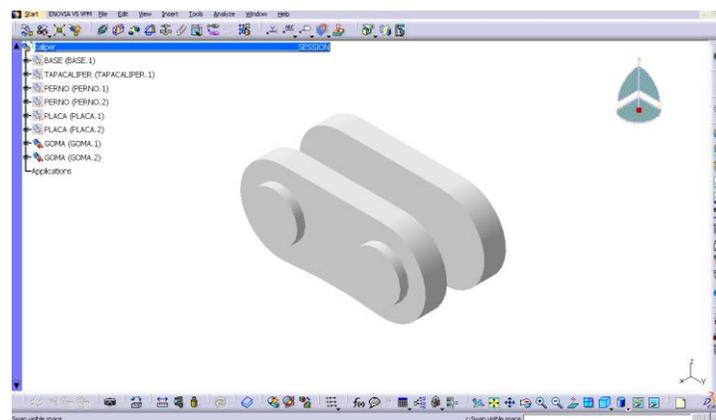


Fig. 2.1.4 Modelado de las pastillas de freno.

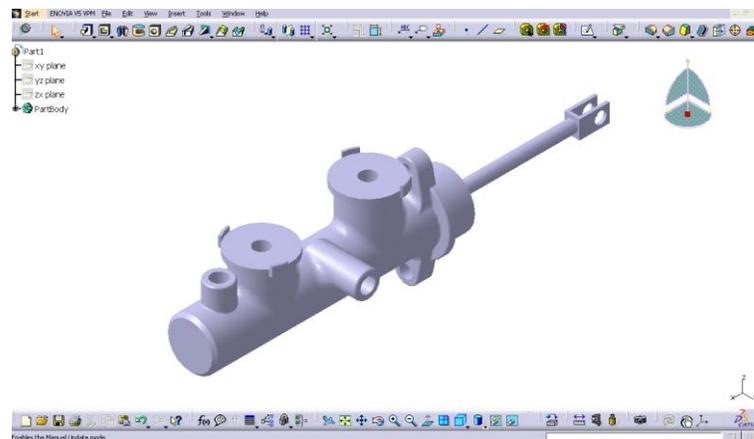


Fig. 2.1.5 Modelado del cilindro principal.

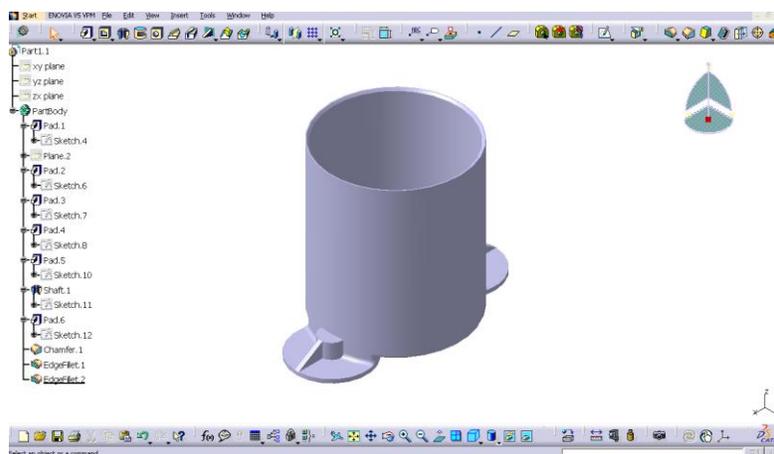


Fig. 2.1.6 Modelado del contenedor para líquido de frenos.

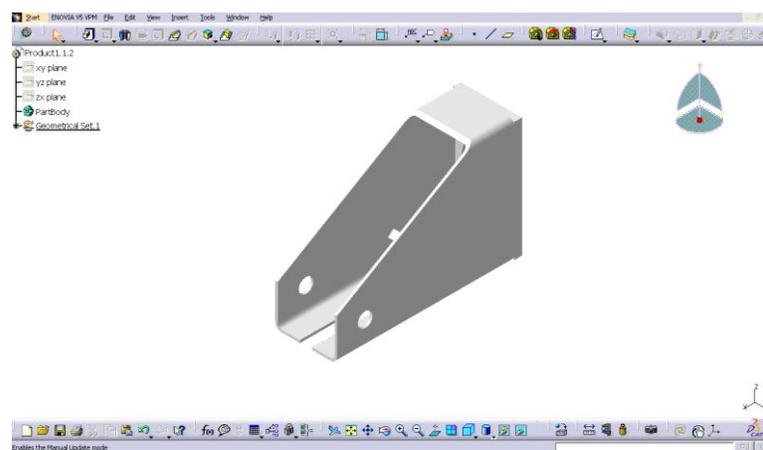


Fig. 2.1.7 Modelado del alojamiento del pedal.

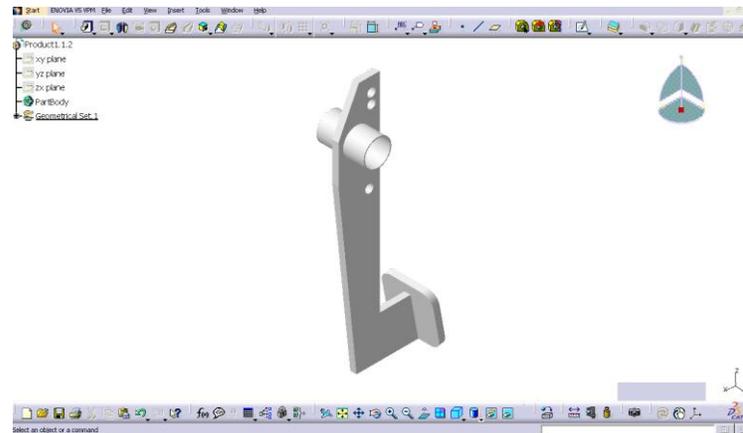


Fig. 2.1.8 Modelado del pedal.

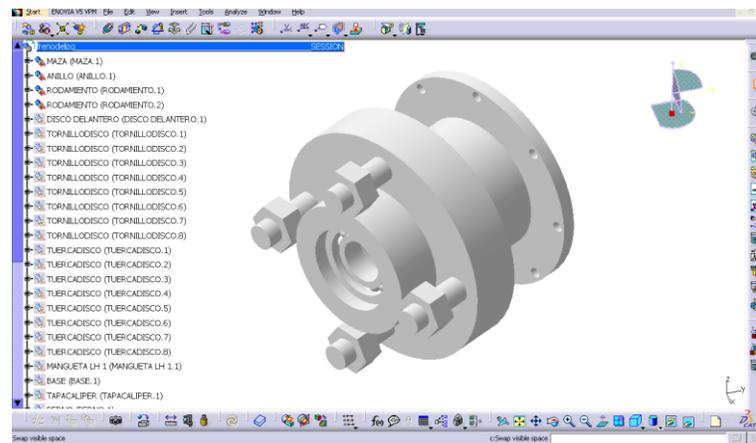


Fig. 2.1.9 Modelado de la maza.

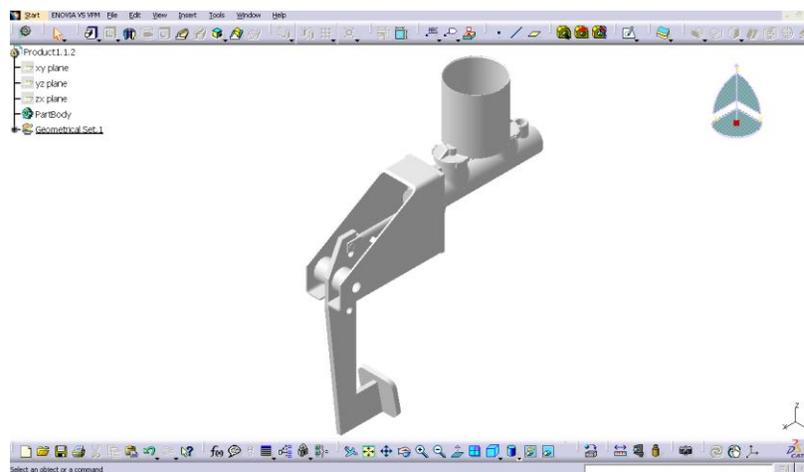


Fig. 2.1.10 Ensamble pedal-cilindro principal.

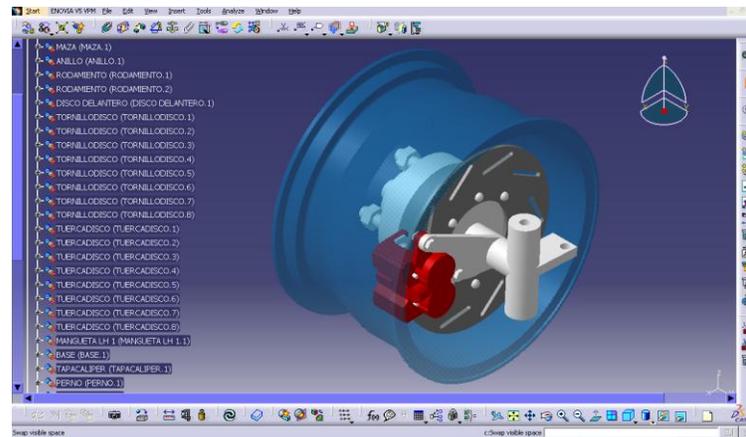


Fig. 2.1.11 Ensamble del sistema delantero izquierdo.

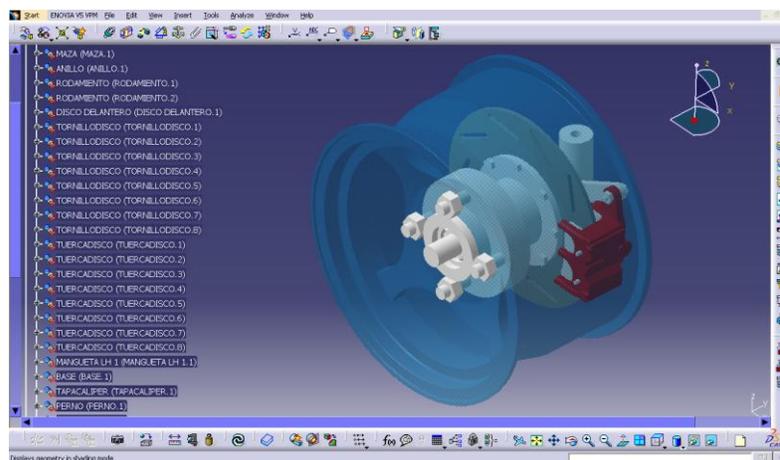


Fig. 2.1.12 Ensamble del sistema delantero derecho.

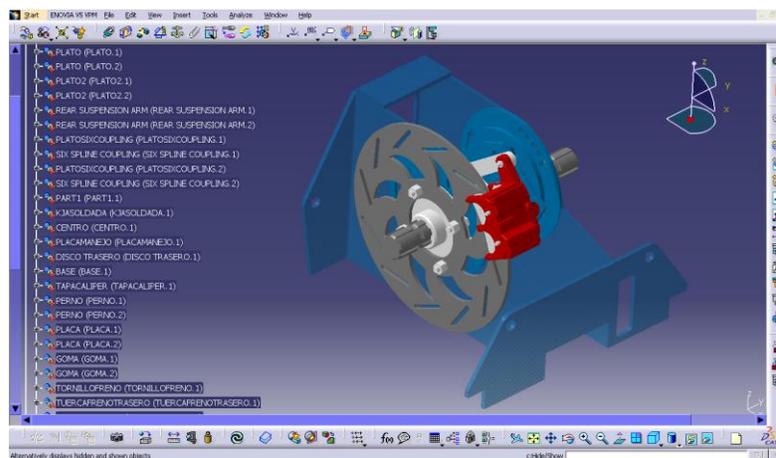


Fig. 2.1.13 Ensamble del sistema trasero.

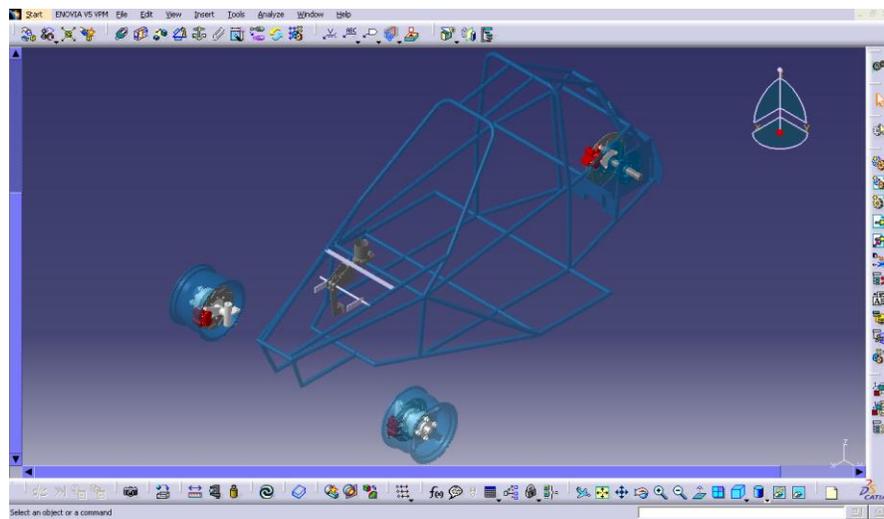
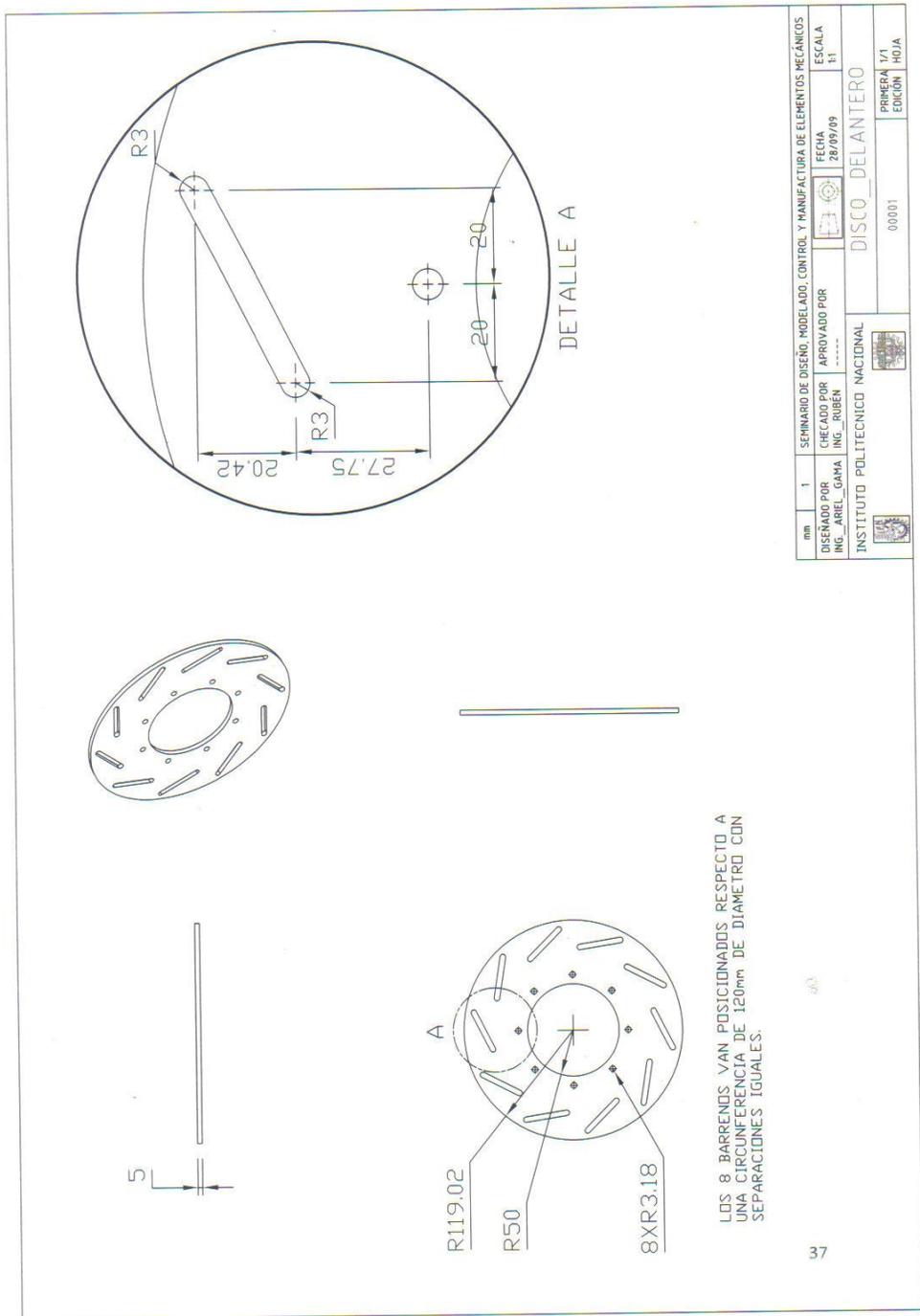
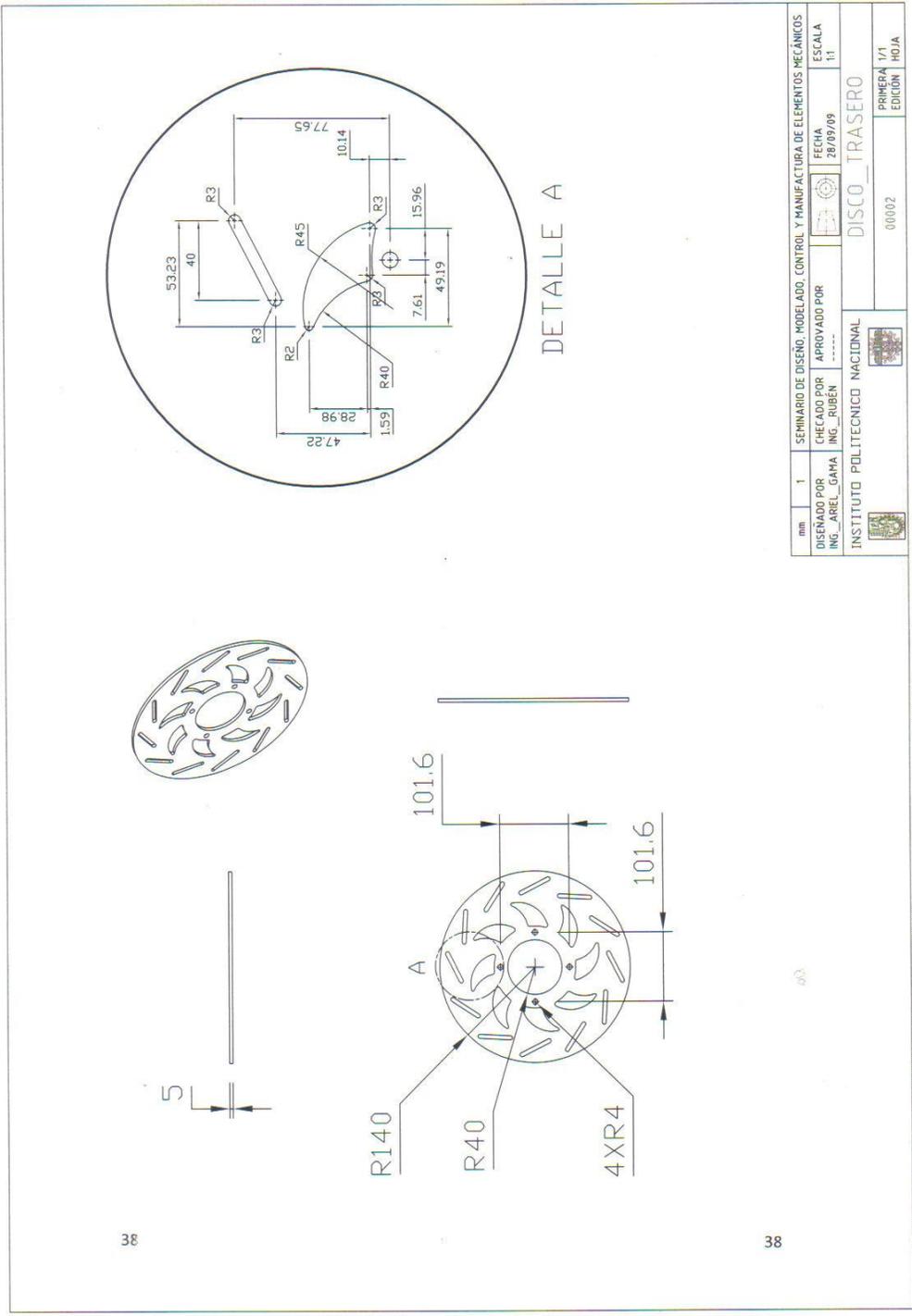


Fig. 2.1.14 Ensamble del sistema de frenado al chasis del vehículo.



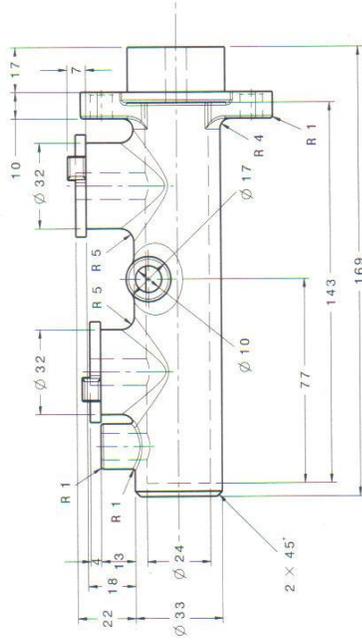
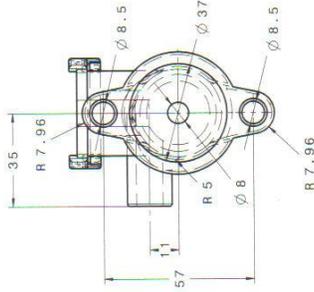
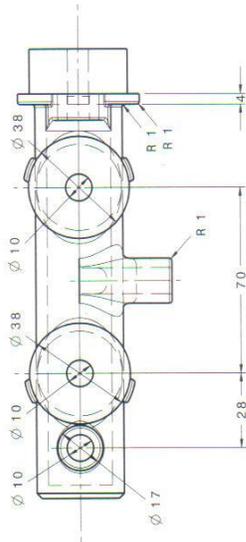
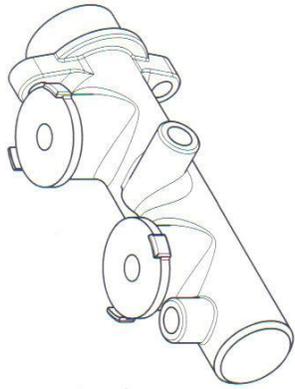
LOS 8 BARRENDOS VAN POSICIONADOS RESPECTO A UNA CIRCUNFERENCIA DE 120mm DE DIAMETRO CON SEPARACIONES IGUALES.



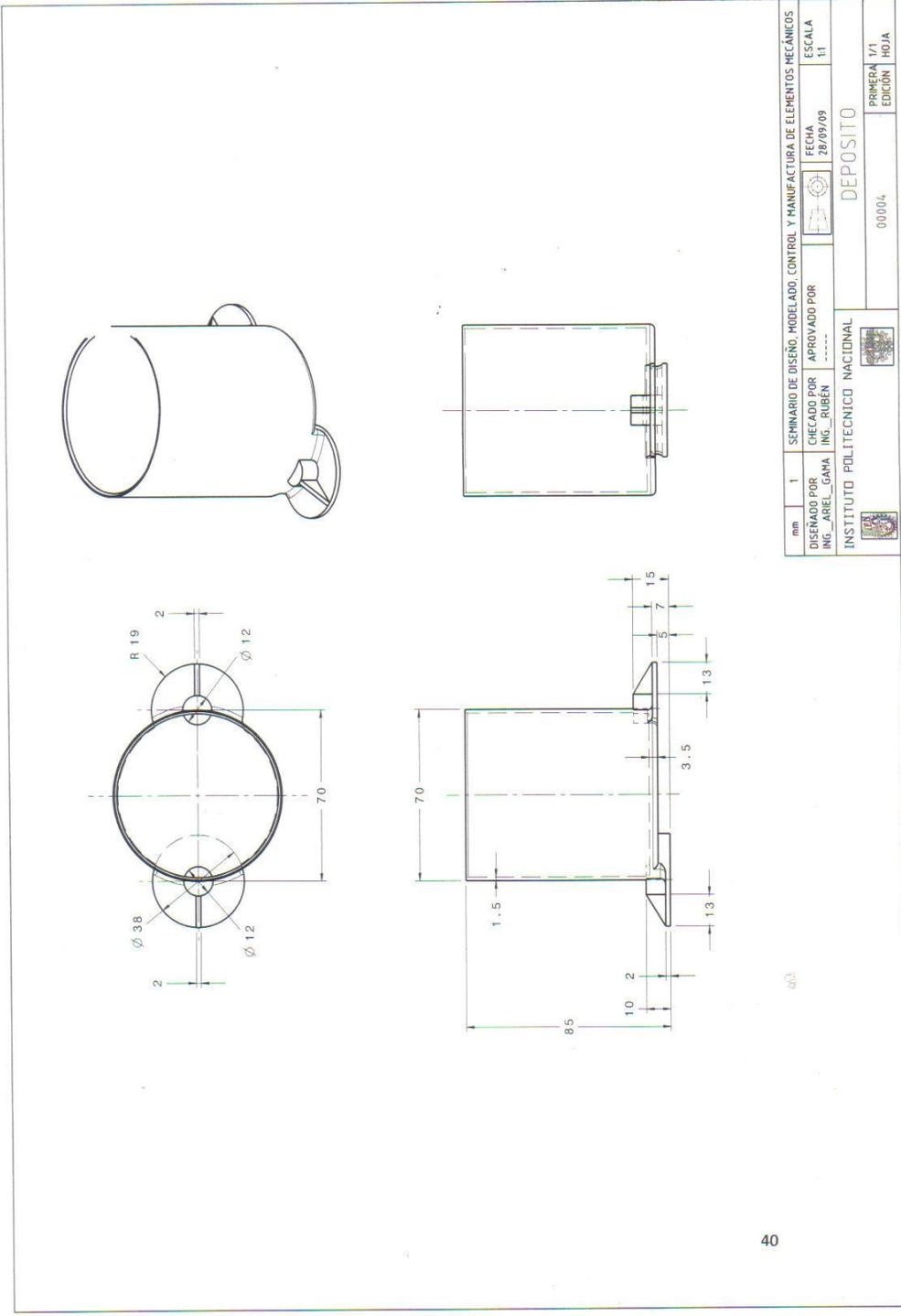
38

38

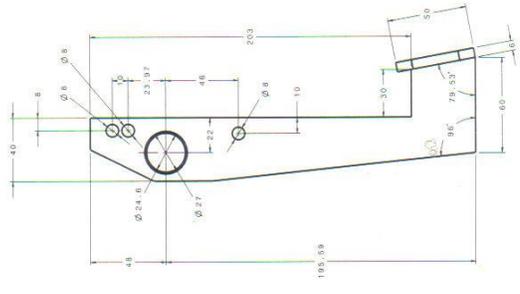
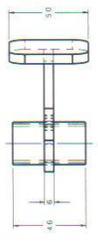
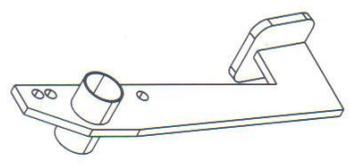
mm	1	SEMINARIO DE DISEÑO, MODELADO, CONTROL Y MANUFACTURA DE ELEMENTOS MECÁNICOS	FECHA	ESCALA
DISEÑADO POR	CHECADO POR	APROBADO POR	28/09/09	1:1
ING. AREL_GAMA	ING. RUBEN	----		
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL			DISCO TRASERO	
			00002	PRIMERA 1/1 EDICIÓN HOJA



mm	1	SEMINARIO DE DISEÑO, MODELADO, CONTROL Y MANUFACTURA DE ELEMENTOS MECÁNICOS	FECHA	ESCALA
DISEÑADO POR	CHECADO POR	APROBADO POR	28/09/09	1:1
ING. AREL GAMA	ING. RUBEN	-----		
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL			CILINDRO MAESTRO	
			00003	PRIMERA EDICIÓN
				HOJA

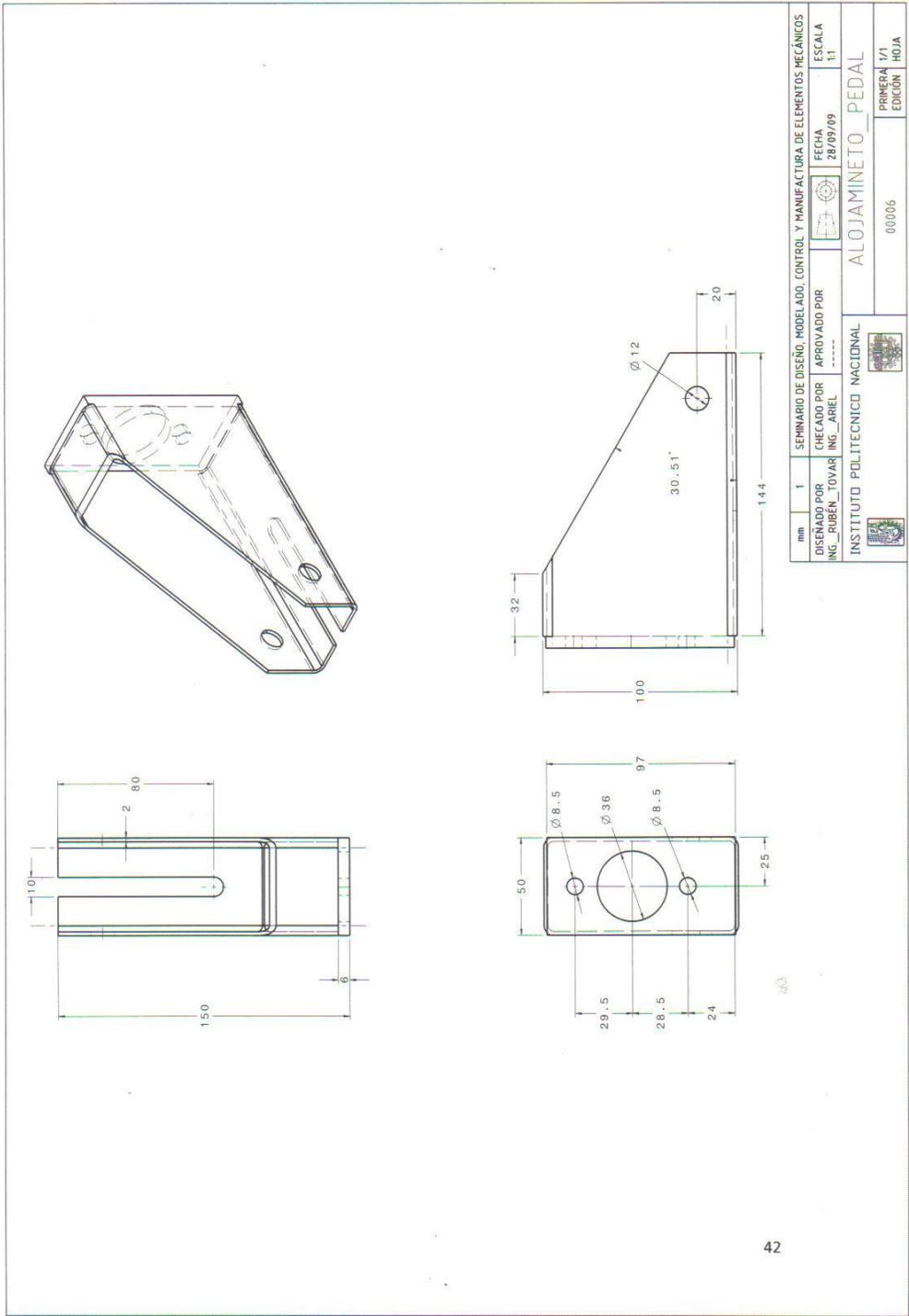


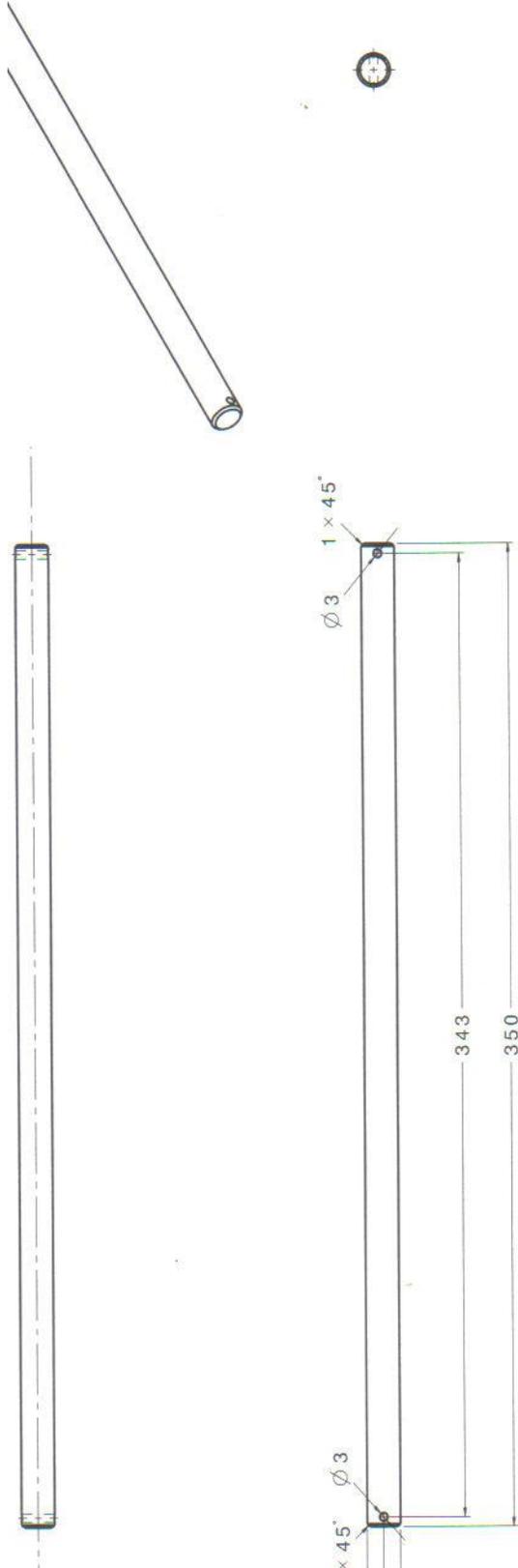
41



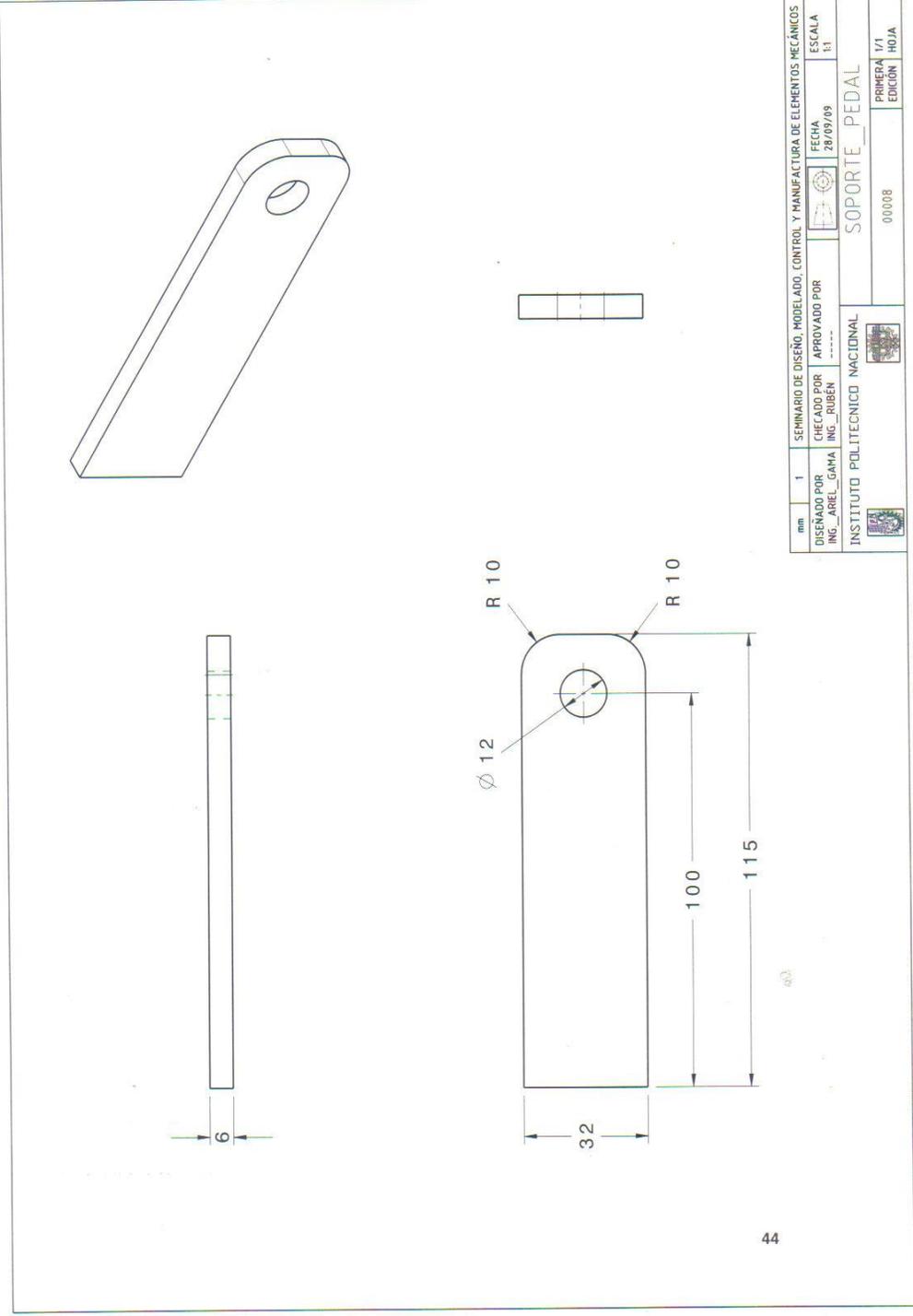
41

mm	1	SEMINARIO DE DISEÑO, MODELADO, CONTROL Y MANUFACTURA DE ELEMENTOS MECÁNICOS
DISEÑADO POR	CHECADO POR	APROBADO POR
ING_RIBBEN_TOVAR	ING_ARELL	---
FECHA	28/09/09	ESCALA
		1:1
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL		
PEDAL		
00005		
PRIMERA	1/1	HOJA
EDICIÓN		





mm	1	SEMINARIO DE DISEÑO, MODELADO, CONTROL Y MANUFACTURA DE ELEMENTOS MECÁNICOS		
DISEÑADO POR	CHECADO POR	APROBADO POR	FECHA	ESCALA
ING. ARIEL GAMA	ING. RUBÉN	----	28/09/09	1:1
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL		PERNO PEDAL		

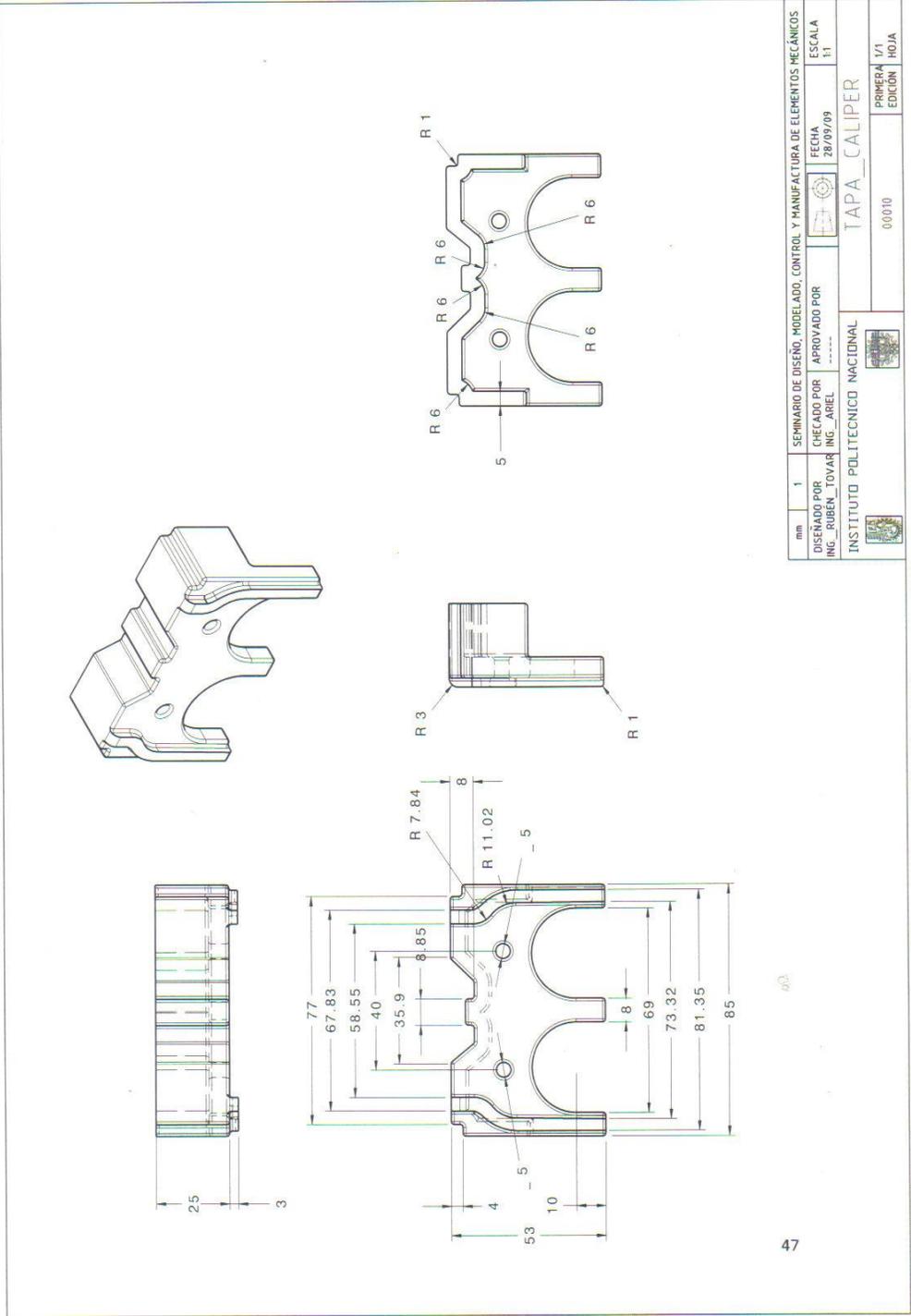


45

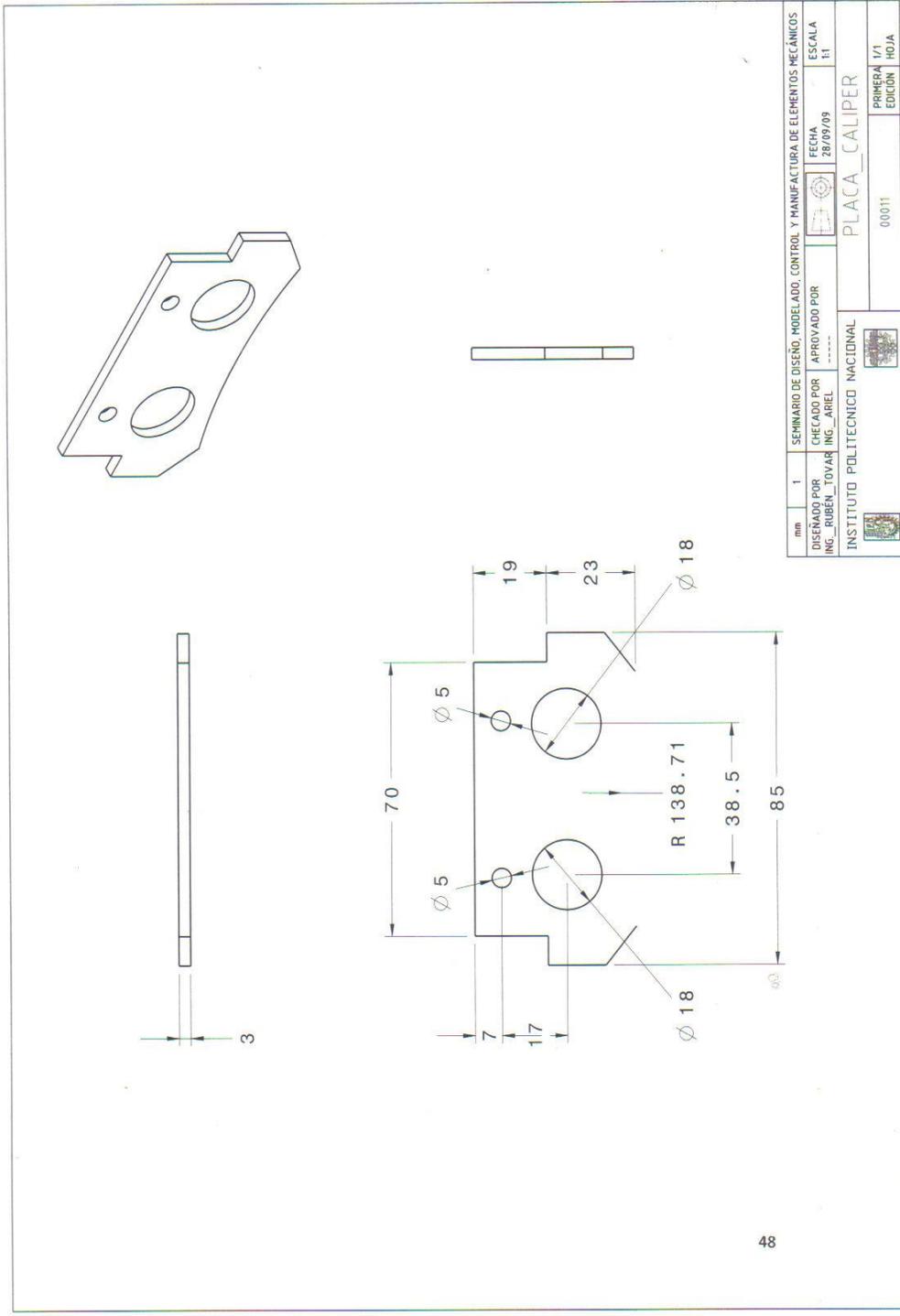
mm	1	SEMINARIO DE DISEÑO, MODELADO, CONTROL Y MANUFACTURA DE ELEMENTOS MECÁNICOS		
DISEÑADO POR	CHECADO POR	APROBADO POR	FECHA	ESCALA
ING. AREL_GANA	ING. RUBÉN	---	28/09/09	1:1
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL		BARRA_ALOJAMIENTO		
		00009	PRIMERA 1/1	EDICIÓN HOJA

LISTA DE PARTES		
Nº. PARTE	DESCRIPCIÓN	CAN
1	TAPA	1
2	BASE	1
3	GOMA	2
4	PLACA	2
5	PERNO	2

mm	1	SEMINARIO DE DISEÑO, MODELADO, CONTROL Y MANUFACTURA DE ELEMENTOS MECÁNICOS	FECHA	ESCALA
DISEÑADO POR	APROBADO POR	APROBADO POR	26/09/09	----
ING. RUBEN TOVAR	ING. AREL	BY_DATE	ENSAMBLE_CALIPER	
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL			00015	PRIMERA 1/1
			EDICIÓN	HOJA



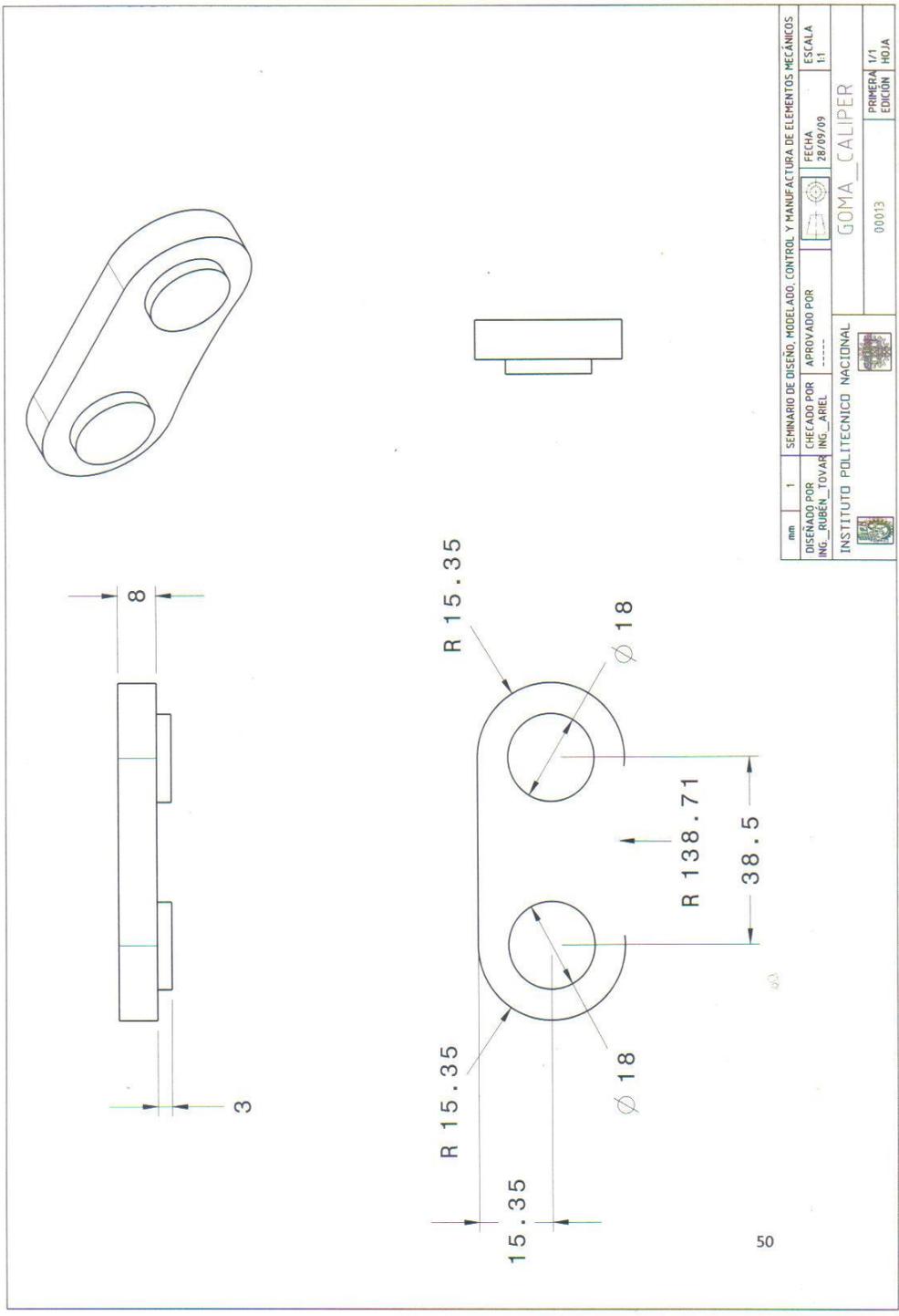
mm	1	SEMINARIO DE DISEÑO, MODELAO, CONTROL Y MANUFACTURA DE ELEMENTOS MECÁNICOS
DISEÑADO POR	CHECADO POR	APROBADO POR
ING. RUBÉN TOVAR	ING. AREL	---
FECHA	28/09/09	ESCALA
		1:1
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL		TAPA CALIPER
	00010	PRIMERA EDICIÓN
		HOJA



mm	1	SEMINARIO DE DISEÑO, MODELADO, CONTROL Y MANUFACTURA DE ELEMENTOS MECÁNICOS
DISEÑADO POR	CHECADO POR	APROBADO POR
ING. RUBEN TOVAR	ING. ARIEL	-----
FECHA	28/07/09	ESCALA
		1:1
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL		PLACA_CALIPER
	00011	PRIMERA 1/1
		EDICION HOJA

49

no	1	SEMINARIO DE DISEÑO, MODELADO, CONTROL Y MANUFACTURA DE ELEMENTOS MECÁNICOS
DISEÑADO POR	CHECADOR POR	APROVADO POR
ING. RUBEN TOVAR	ING. AREL	-----
INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL		FECHA
		28/09/09
		ESCALA
		1:1
PERNO CALIPER		
00012		PRIMERA 1/1
		EDICIÓN HOJA



CAPITULO III

EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS

3.1 DEFINICIÓN DEL MÉTODO

El método de elementos finitos es una aproximación de problemas de tal forma que:

- Un cuerpo o continuo se divide en un número finito de partes denominadas elementos, cuyo comportamiento es definido por un número finito de parámetros asociados a puntos característicos llamados nodos, que son los puntos de unión entre elementos.
- El sistema completo se forma por medio de la unión de todos los elementos.
- Las incógnitas del problema dejan de ser funciones matemáticas y pasan a ser valor de estas funciones en los nodos.

El método de elementos finitos se basa en la transformación de un cuerpo de naturaleza continua en un modelo discreto aproximado, la interpretación de lo que sucede dentro de este modelo del cuerpo aproximado, se obtiene mediante la interpolación de los valores obtenidos en los nodos, por tanto es una aproximación de los valores de una función a partir del conocimiento de un número determinado de puntos.

3.2 INFORMACIÓN BÁSICA SOBRE ANÁLISIS NO LINEAL

3.2.1 CAUSAS DEL COMPORTAMIENTO NO LINEAL

- El comportamiento no lineal se debe a varias situaciones, las cuales se pueden agrupar en los siguientes:
 1. Estados cambiantes.
 2. No linealidades geométricas.
 3. No linealidades del material.

3.2.2 ESTADOS CAMBIANTES

- Muchas estructuras presentan este tipo no lineal de comportamiento, por ejemplo, un cable está completamente holgado o tenso, un soporte de rodamiento está completamente en contacto o sin contacto; el estado puede cambiar debido a la fuerza que se aplica como en el caso del cable o por situaciones externas.

3.2.3 NO LINEALIDADES GEOMÉTRICAS

- Si una estructura presenta deformaciones largas, cambia la configuración geométrica haciendo que la estructura responda de forma no lineal, siendo caracterizada por largos desplazamientos y rotaciones.

3.2.4 NO LINEALIDADES DEL MATERIA

- La relación de los esfuerzos-deformación no lineales son características principales del comportamiento no lineal de una estructura, varios factores como la variación de las cargas, condiciones ambientales o el tiempo en el que la carga es aplicada pueden alterar las propiedades de esfuerzo-deformación de un material.

3.3 PANDEO EN PLACAS

Cuando las placas están sujetas a cargas axiales, compresión o cortantes, estas presentan pandeo. El pandeo es un fenómeno no lineal que está caracterizado por incrementos desproporcionados de desplazamientos asociados con pequeños incrementos de las cargas. El análisis de placas bajo este fenómeno envuelve la solución de un problema de eigen-valores asociado con ecuaciones diferenciales homogéneas y restringidas por condiciones límite homogéneas.

En el caso de placas isotrópicas la solución exacta para el pandeo es posible con la combinación de condiciones límite y de carga. La mayoría de los problemas de este tipo son resueltos por métodos establecidos como Rayleigh-Ritz, Galerkin y métodos de elemento y diferencia finita.

Asumiendo que el elemento diferencial mostrado en las siguientes figuras es rotado, el par entre las fuerzas del plano N_x , N_y y N_{xy} y las deflexiones, w , usadas para generar las ecuaciones que predicen el pandeo bajo una carga en un plano son las siguientes:

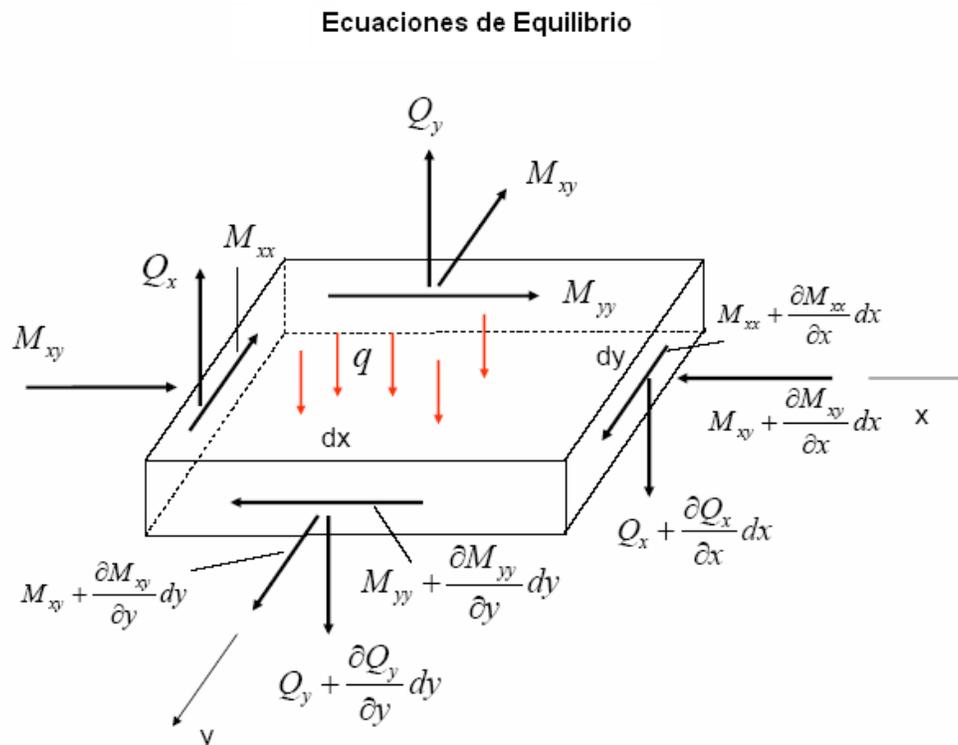


Figura: 3.1 Cargas cortantes (Q), Momentos de flexo-torsión (M), carga externa (q).

El par de fuerzas (N), fuerzas cortantes (Q), carga externa (q) con momentos de flexo-torsión son mostradas en la siguiente figura:

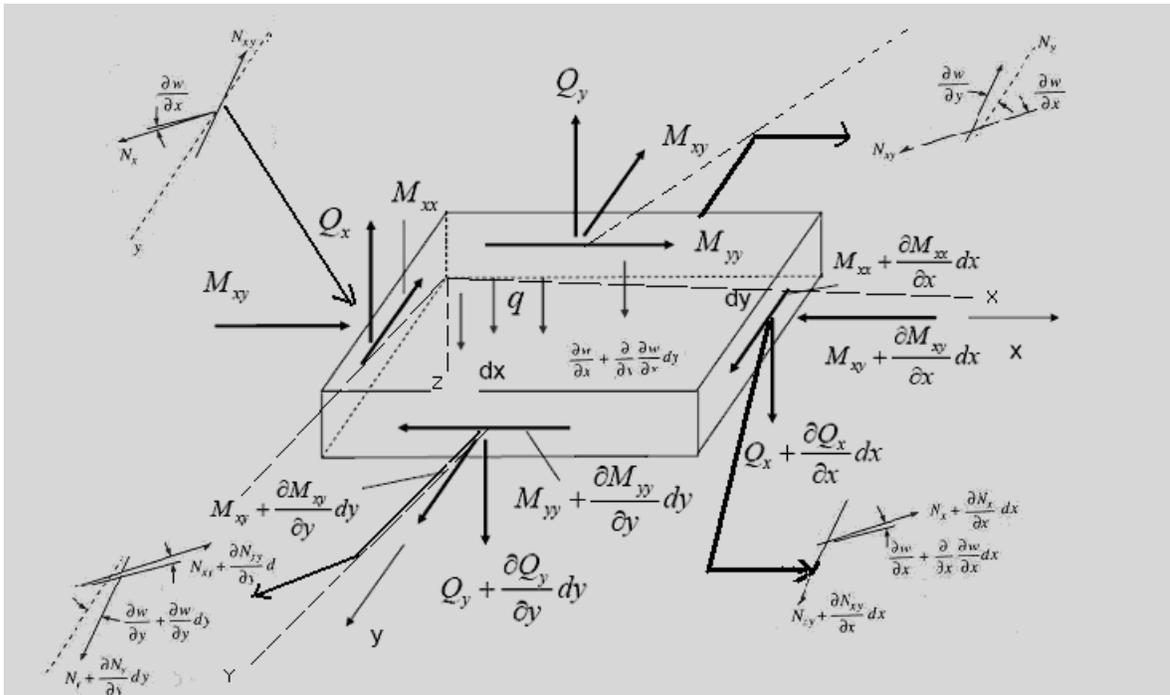


Figura: 3.2 Solución de las fuerzas y momentos producidos en el pandeo en placas.

Tomando en cuenta las componentes verticales de las fuerzas del plano, la sumatoria de fuerzas en dirección de z es:

$$\frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} + q(x, y) + N_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 2N_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + N_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0$$

(1)

Tomando en cuenta que:

$$\frac{\partial M_x}{\partial x} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial y} = Q_x$$

(2)

$$\frac{\partial M_y}{\partial y} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial x} = Q_y \quad (3)$$

La nueva ecuación queda de la siguiente forma:

$$\frac{\partial M_x}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 M_{xy}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2} + N_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 2N_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + N_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + q(x, y) = 0 \quad (4)$$

Sustituyendo la ecuación (2) en la ecuación (4) se obtiene el siguiente termino en forma expandida:

$$\begin{aligned} & D_{11} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 4D_{16} \frac{\partial^4 w}{\partial x^3 \partial y} + 2(D_{12} + 2D_{66}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + 4D_{26} \frac{\partial^4 w}{\partial x \partial y^3} + D_{22} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} - B_{11} \frac{\partial^3 u^0}{\partial x^3} \\ & - 3B_{16} \frac{\partial^3 u^0}{\partial x^2 \partial y} - (B_{12} + 2B_{66}) \frac{\partial^3 u^0}{\partial x \partial y^2} - B_{26} \frac{\partial^3 u^0}{\partial y^3} - B_{16} \frac{\partial^3 v^0}{\partial x^3} - (B_{12} + 2B_{66}) \frac{\partial^3 v^0}{\partial x^2 \partial y} \\ & - 3B_{26} \frac{\partial^3 v^0}{\partial x \partial y^2} - B_{22} \frac{\partial^3 v^0}{\partial y^3} = q(x, y) + N_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 2N_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + N_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \end{aligned} \quad (5)$$

Donde los coeficientes A, B y D son determinados por:

$$\begin{aligned} A_{ij} &= \sum_{k=1}^N (\bar{Q}_{ij})_k T \\ B_{ij} &= \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N (\bar{Q}_{ij})_k T \\ D_{ij} &= \frac{1}{3} \sum_{k=1}^N (\bar{Q}_{ij})_k T \end{aligned}$$

Donde T es el espesor de la placa.

Para placas simétricas los coeficientes B son eliminados dejando la ecuación (4) de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
& D_{11} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 4D_{16} \frac{\partial^4 w}{\partial x^3 \partial y} + 2(D_{12} + 2D_{66}) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + 4D_{26} \frac{\partial^4 w}{\partial x \partial y^3} + D_{22} \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \\
& = q(x, y) + N_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 2N_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + N_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}
\end{aligned} \tag{6}$$

3.4 ANÁLISIS DE CONTACTO

Las especificaciones de la geometría de un problema de contacto con superficies planas es la siguiente:

Una superficie plana de dimensiones $2a$ es presionada en un medio espacio elástico por una presión p , debido a que la superficie tiene esquinas rectas hace contacto con el espacio completamente con el ancho de $2a$, con fines de análisis utilicemos un bloque de espesor $8a$ y longitud $4a$ como espacio de contacto. Debido a la simetría se restringe la mitad del bloque de la siguiente manera:

$$R_f = \{(x, z) \mid 0 < x < 4a, 0 < z < 4a\} \tag{a}$$

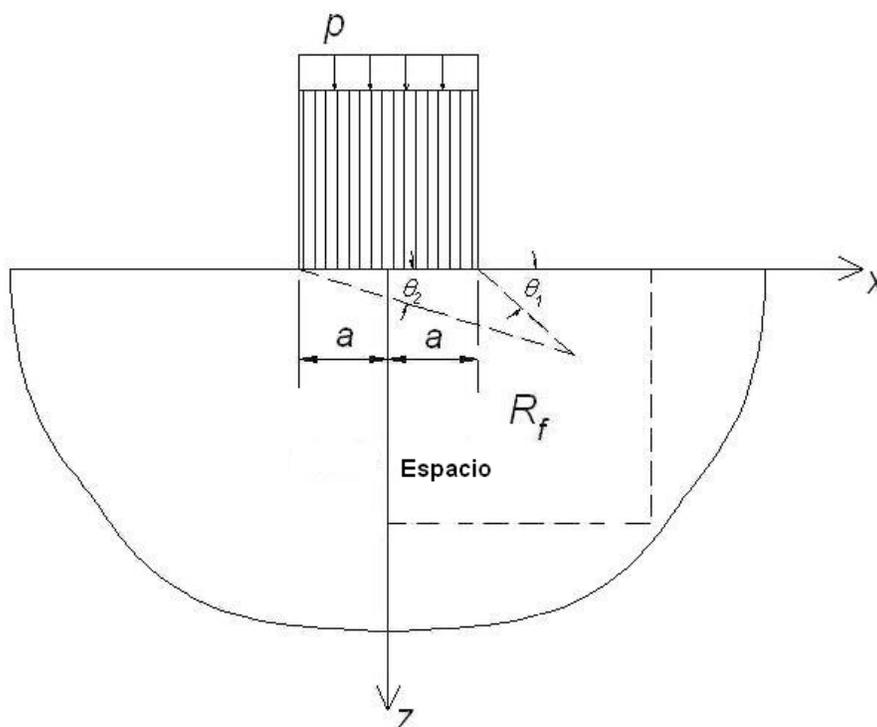


Figura: 3.3 Problema de contacto entre 2 superficies planas.

Una vez establecidas estas geometrías preliminares se buscan los esfuerzos planos $\sigma_x, \sigma_z, \tau_{xz}$ y sus respectivos desplazamientos u y w en función de x y z satisfaciendo las condiciones de simetría:

$$u = 0 \qquad \tau_{xz} = 0 \qquad (b)$$

En $x=0$ y $0 < z < 4a$ obtenemos:

$$\sigma_z = -\frac{P}{2\pi} \{2(\theta_1 - \theta_2) - (\sin 2\theta_1 - \sin 2\theta_2)\}$$

$$\tau_{xz} = \tau_{xz}^S = \frac{P}{2\pi} (\cos 2\theta_1 - \cos 2\theta_2) \qquad (c)$$

En $z=4a$ y $0 < x < 4a$ se obtiene:

$$\sigma_x = -\frac{P}{2\pi} \{2(\theta_1 - \theta_2) + (\sin 2\theta_1 - \sin 2\theta_2)\}$$

$$\tau_{xz} = \tau_{xz}^S \qquad (d)$$

Cuando $z=0$ y $0 < x < a$ y ∂ es la profundidad de la penetración, se obtiene que:

$$\sigma_z = -\frac{2pa}{\pi\sqrt{a^2 - x^2}} \qquad (e)$$

CAPITULO IV

ANÁLISIS NUMÉRICO DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS

El análisis del modelo se realizó en el software ANSYS V.11, del cual se obtuvieron los siguientes resultados.

4.1 MODELO

- El modelo a analizar consta del disco de freno hechos de acero de fundición gris a 4.5% de carbón ASTM a48 y de las pastillas hechas de amianto en aglomerado de resina moldeado en metal, alojadas en el caliper.

Nombre	Modulo de Elasticidad	Relación de Poisson	Coefficiente de Fricción	Esfuerzo de Cedencia
Disco Frontal	69 Gp	0.295	N/A	170 MPa
Disco Trasero	69 Gp	0.295	N/A	170 MPa
Pastillas	24.525 Gp	0.44	0.3-0.4	N/A

4.2 MALLADO

- Para realizar el mallado de los elementos mecánicos se utilizó el elemento Brick 8Node, controlando el tamaño de la malla en la circunferencia interior y exterior del disco de freno.

Nombre	Divisiones en circunferencia interior	Divisiones en circunferencia exterior
Disco Delantero	50	200
Disco Trasero	50	250

4.3 ANÁLISIS DE CONTACTO

- Consta de la creación de un par de superficies dentro de las cuales el disco de freno es la superficie a analizar y el área entre la pastilla y el disco es la superficie de contacto.

4.4 ZONAS DE CONTACTO

- Entre las zonas de contacto no existe separación y hay una penetración inicial de 0.1mm para simular el movimiento de la pastilla en el caliper.

4.5 ANALISIS DE PANDEO

- Consta de aplicar la presión ejercida por las pastillas hacia el disco de freno, se usó el valor de 0.6867N/mm^2 que es la presión máxima que pueden ejercer las pastillas de amianto.

4.6 RESULTADOS DEL ANALISIS DE CONTACTO

Las siguientes tablas muestran los esfuerzos y desplazamientos obtenidos del análisis de contacto.

4.6.1 ESFUERZOS

Nombre	Esfuerzo Máximo	Esfuerzo Cortante Máximo
Disco Frontal	125.889 Mpa	0.01108 MPa
Disco Trasero	18.567 Mpa	144×10^{-3} Mpa

4.6.2 DESPLAZAMIENTOS

Nombre	Desplazamientos en X	Desplazamientos en Y	Desplazamientos en Z
Disco Frontal	0.1mm	0.0254mm	0.0429mm
Disco trasero	0.1mm	0.0322mm	0.036mm

NODAL SOLUTION

STEP=2
 SUB =1
 TIME=120
 SEQV (AVG)
 DMX =.170212
 SMX =125.889

ANSYS

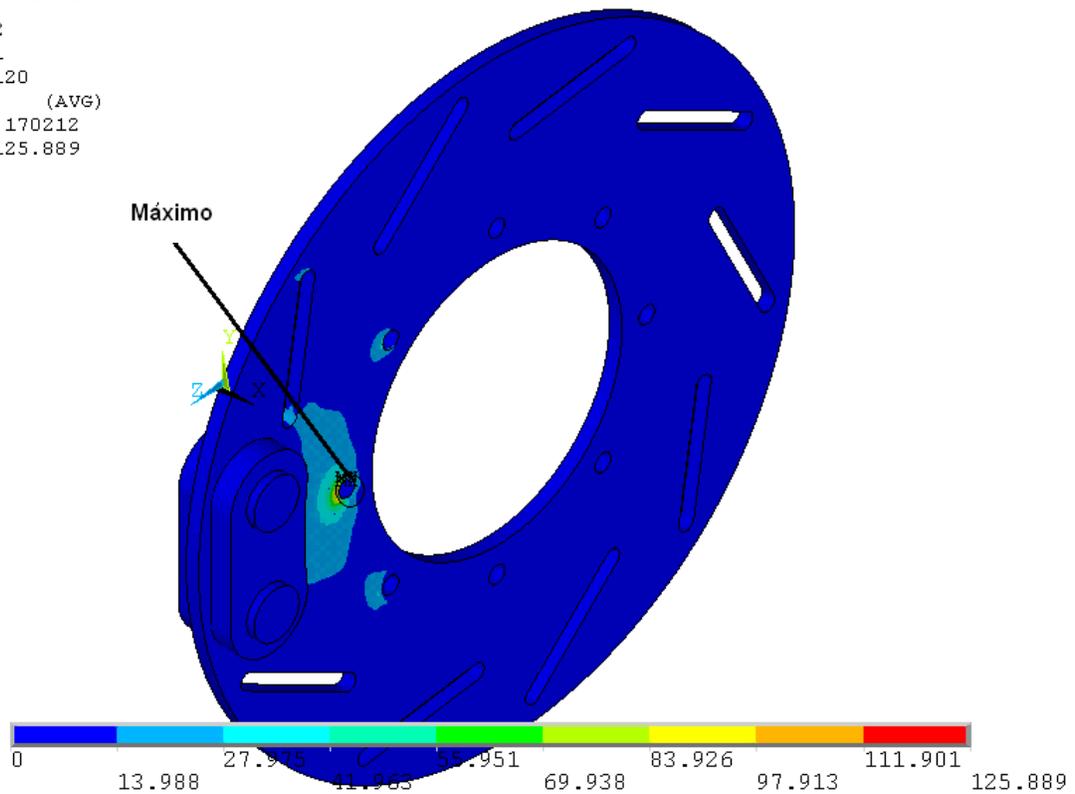


Figura 4.1 Esfuerzo máximo en el disco delantero

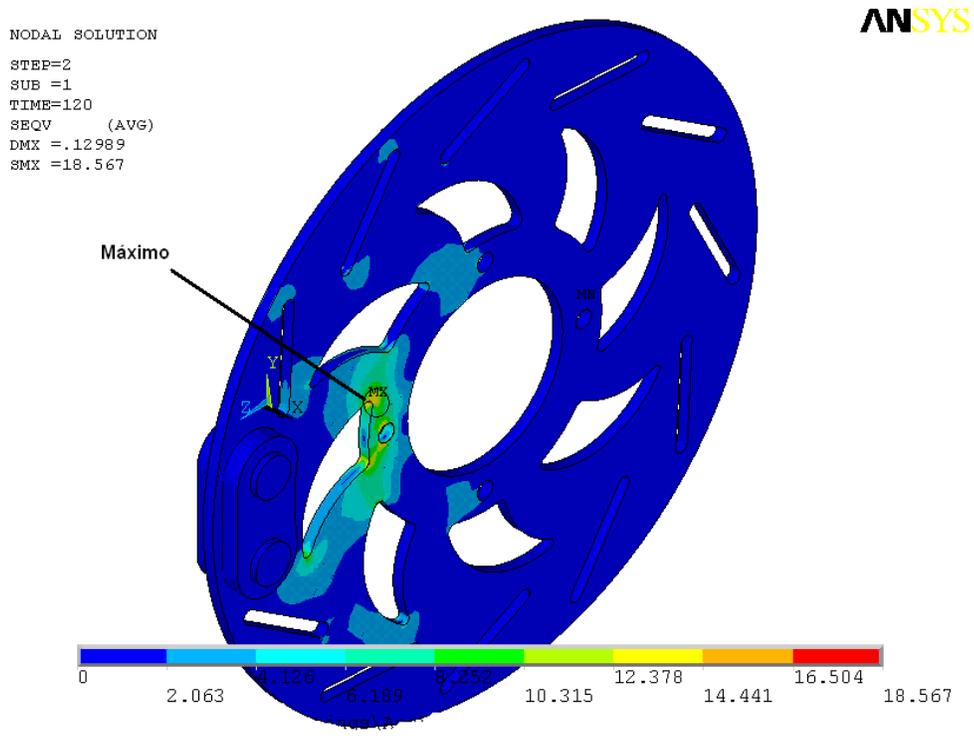


Figura 4.2 Esfuerzo máximo en el disco trasero

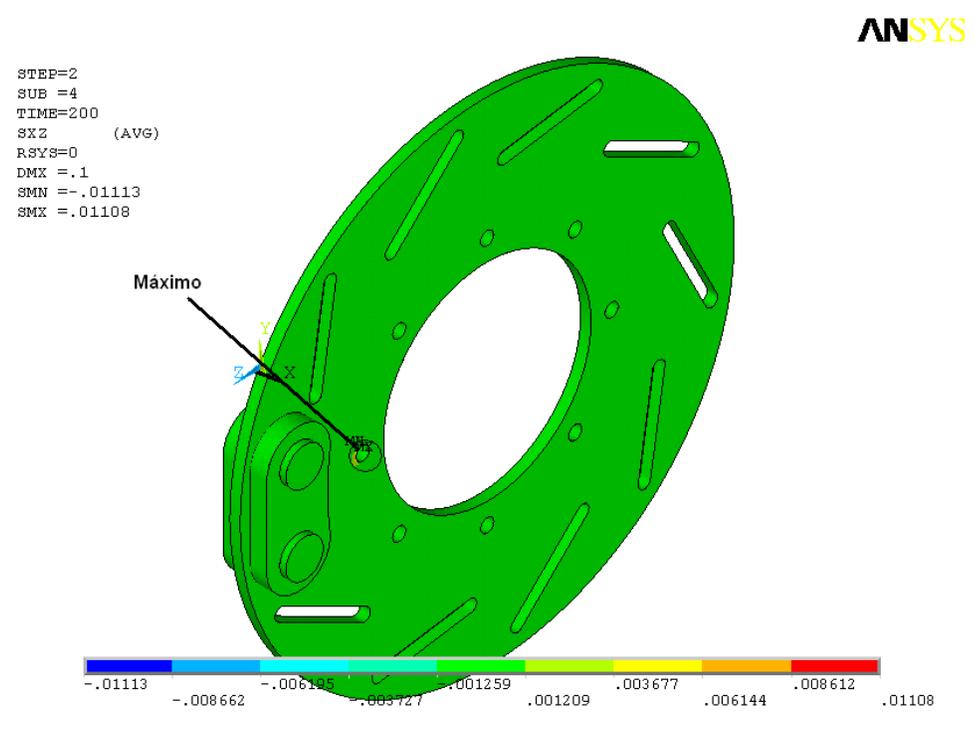


Figura 4.3 Esfuerzo máximo cortante en el disco delantero

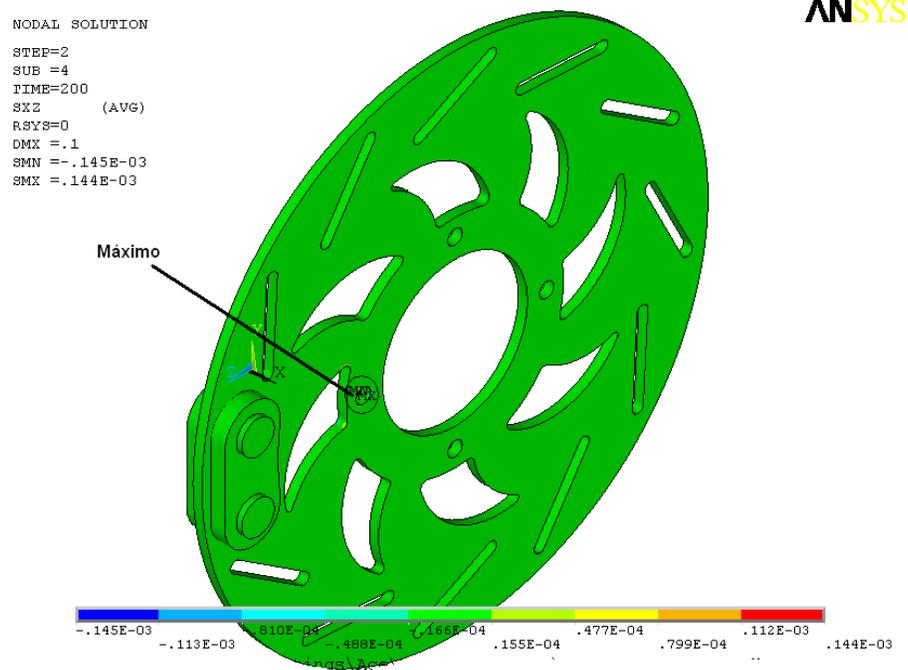


Figura 4.4 Esfuerzo cortante máximo en el disco trasero

4.7 RESULTADOS DEL ANALISIS DE PANDEO

Las siguientes tablas muestran los esfuerzos y desplazamientos obtenidos del análisis de pandeo con una presión de 0.6867 N/mm^2

4.7.1 ESFUERZOS

Nombre	Esfuerzo Máximo	Esfuerzo Cortante Máximo
Disco Frontal	83.426 Mpa	29.772 MPa
Disco Trasero	120.515 Mpa	42.713 Mpa

4.7.2 DESPLAZAMIENTOS

Nombre	Desplazamientos en X	Desplazamientos en Y	Desplazamientos en Z
Disco Frontal	0.2188mm	0.015mm	0.009mm
Disco trasero	0.477mm	0.024mm	0.011mm

NODAL SOLUTION

STEP=1
SUB =1
SEQV (AVG)
DMX =.219088
SMX =83.426

ANSYS

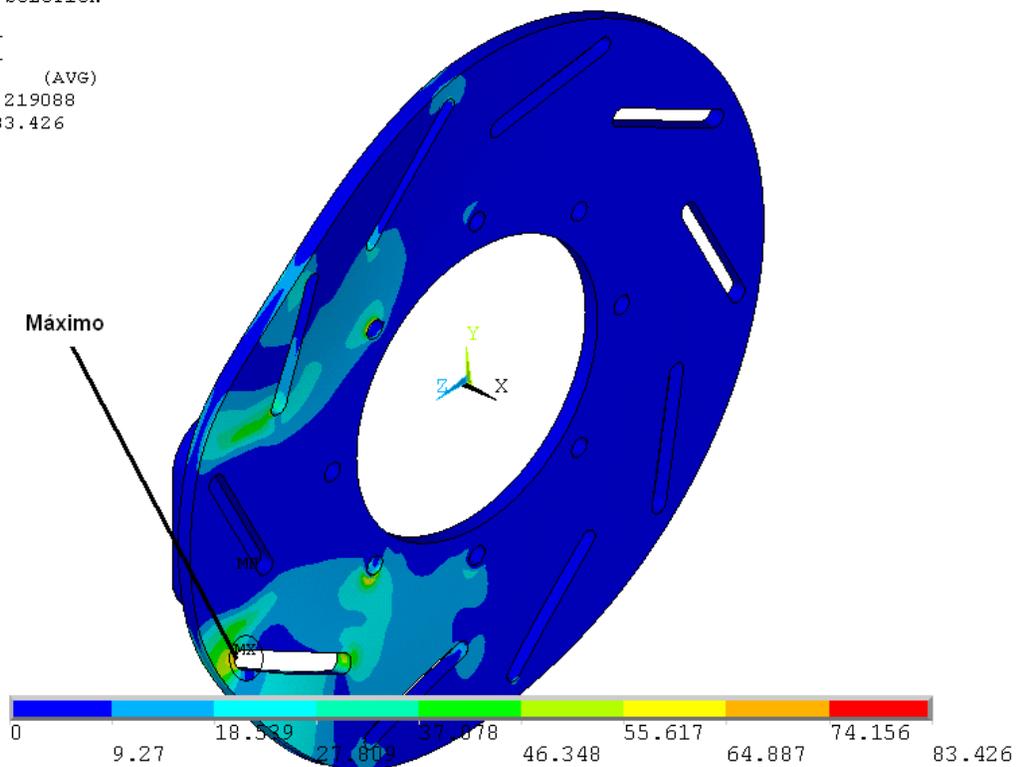


Figura 4.5 Esfuerzo Máximo en el disco delantero

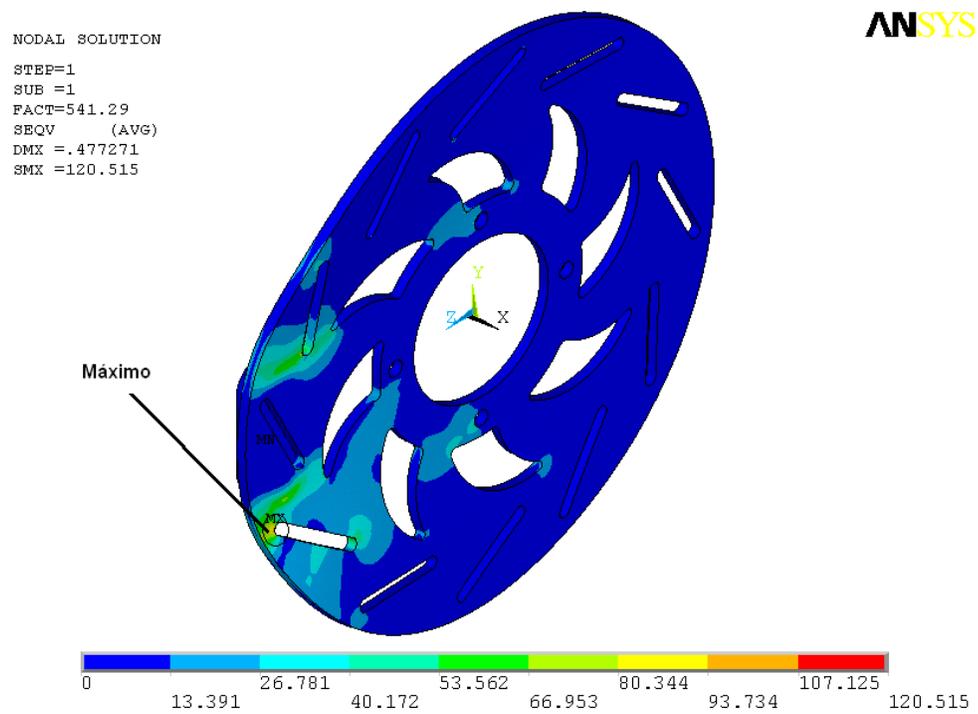


Figura 4.6 Esfuerzo Máximo en el disco trasero

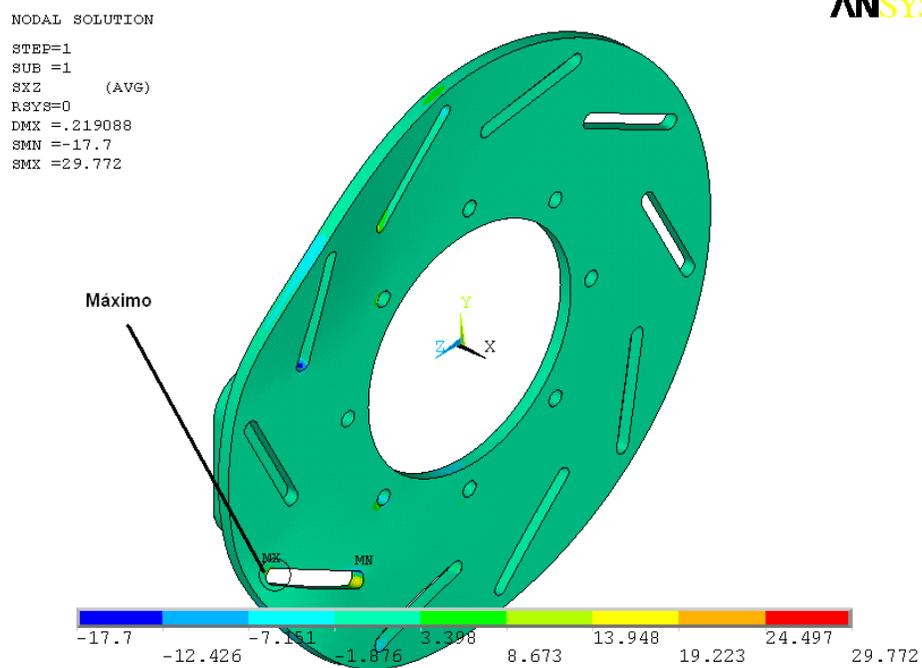


Figura 4.7 Esfuerzo cortante máximo en el disco delantero

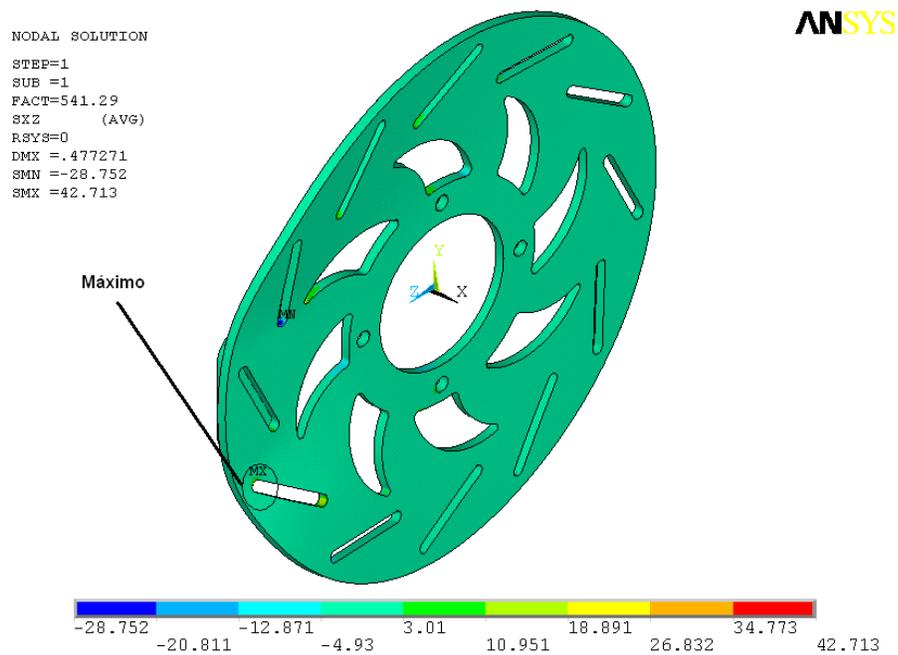


Figura 4.8 Esfuerzo cortante máximo en el disco trasero

```
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
UX      (AVG)
RSYS=0
DMX =.219088
SMN =-.006369
SMX =.218827
```

ANSYS
OCT 4 2009
12:51:00

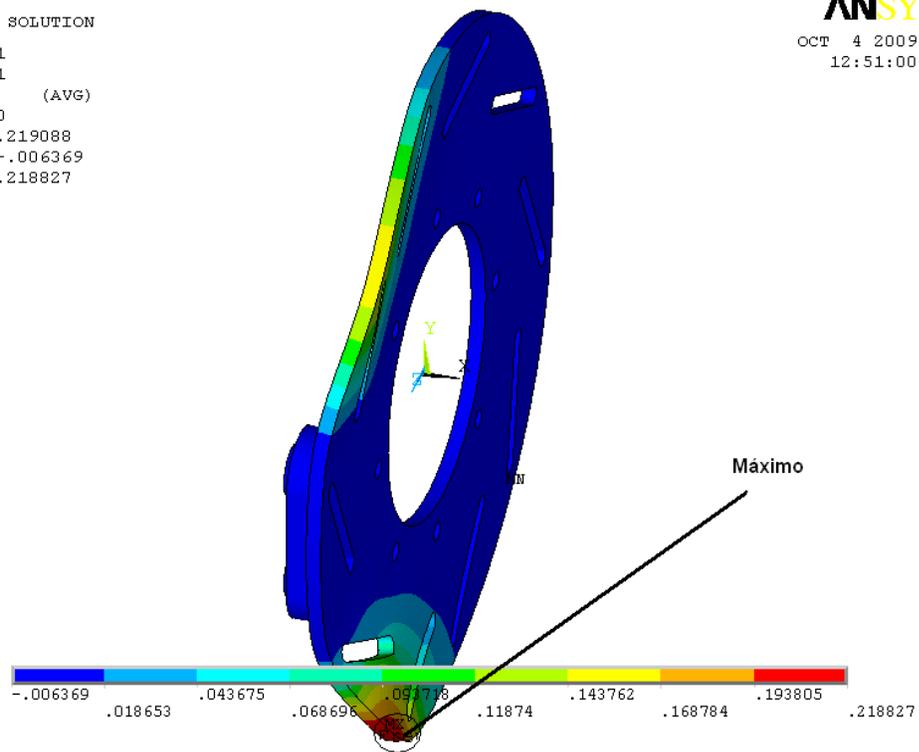


Figura 4.9 Desplazamiento máximo en el disco delantero

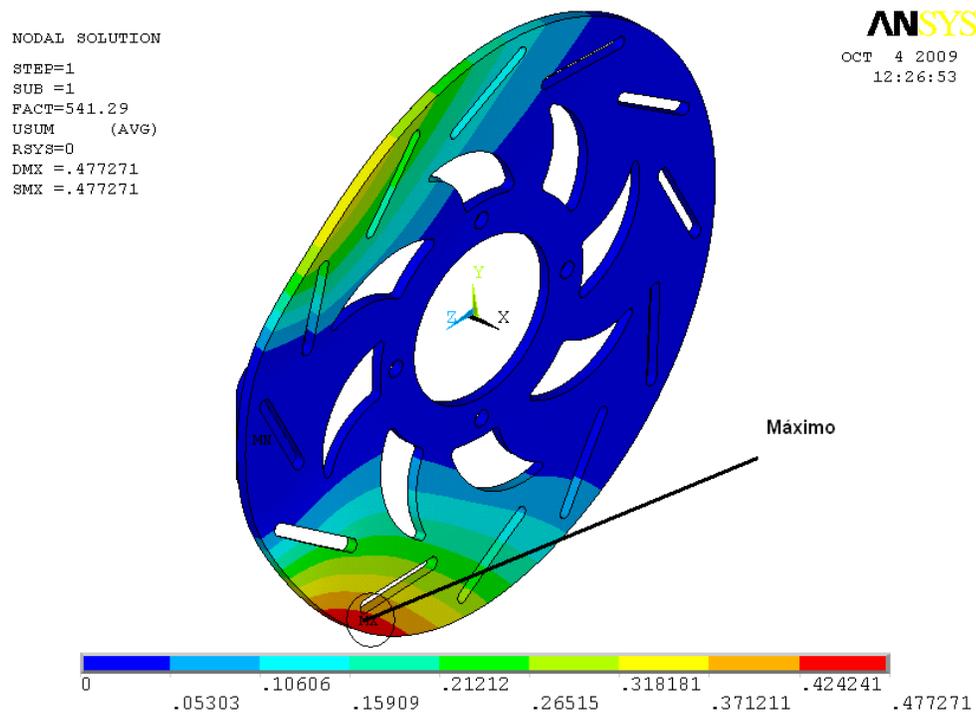


Figura 4.10 Desplazamiento máximo en el disco trasero

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en ANSYS mostrados a continuación:

Elemento	Material	Esfuerzo de cedencia del material	Esfuerzo máximo obtenido del análisis de contacto	Esfuerzo máximo obtenido del análisis de pandeo
Disco Delantero	Acero de fundición gris a 4.5% de carbón ASTM a48	170 MPa	125.889 MPa	83.426 MPa
Disco Trasero	Acero de fundición gris a 4.5% de carbón ASTM a48	170 MPa	18.567 MPa	120.515 MPa

Se concluye que los esfuerzos a los que se someten los elementos mecánicos del sistema de frenado en condiciones de uso máxima son menores a los esfuerzos de cedencia que soporta el materia del que están fabricados. Con factores de seguridad de 1.35 y 9.15 en el disco delantero y trasero respectivamente en pruebas de contacto; 2.03 para el disco delantero y 1.41 para el disco trasero en pruebas de pandeo. Por lo tanto el diseño de los elementos mecánicos es óptimo en cuanto a material y geometría para las cargas a las que normalmente es sometido este tipo de sistemas.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Robert L. Mott, *Diseño de Elementos de Máquinas*, PEARSON Educación, México, Cuarta Edición, 2006.
- 2) Virgil M. Faires, *Diseño de Elementos de Máquinas*, Limusa, México, 1997.
- 3) S. Sezer, G:B: Sinclair, *An Assessment of ANSYS Contact Elements*, Department of Mechanical Engineering Louisiana State University.
- 4) Umar Farooq, Karl Gregory, *Computational Modeling of Pseudo_Damage Induced Buckling*, European Journal of Scientific Research.
- 5) www.eurojournals.com/ejsr.htm
- 6) www.ANSYS.com