

TRABAJO DE DIPLOMA

Tesis para optar por el título de Ingeniero Mecánico

Rediseño de las tamboras de freno del tren delantero para ómnibus
Yutong

Autor: Jorleydis Perdomo Labañino

Tutores: Dr.C. Isnel Rodríguez González

Ing. Maribel Cañete Utria

Ing. Eider Gresesqui Lobaina

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo: Jorleydis Perdomo Labañino, autor del presente trabajo de diploma y los tutores Dr.C. Isnel Rodríguez González, Ing. Maribel Utria Cañete y el Ing. Eider Gresesqui Lobaina, declaramos la propiedad intelectual del mismo al servicio del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa para que esta entidad disponga de su uso cuando estime conveniente.

Dr.C. Isnel Rodríguez González

Ing. Eider Gresesqui Lobaina

Ing. Maribel Cañete Utria

Jorleydis Perdomo Labañino

PENSAMIENTO

“No habrá dificultad que no seamos capaces de vencer, ni error que no pueda evitarse si puede preverse, ni deje de rectificarse rápidamente, si llega a cometerse”.

“Y siempre mediremos, por encima de todo un Técnico y un Científico no por sus conocimientos, sino por el grado de humildad y modestia con que sea capaz de aportar sus conocimientos”.

“Fidel Castro Ruz”

AGRADECIMENTOS

En primer lugar agradezco de todo corazón a Dios por alumbrarme el camino para llegar hasta aquí y poner en mi camino a personas que me han ayudado e instruido.

A mis tutores Dr.C. Isnel Rodríguez González, Ing. Maribel Cañete Utria, Ing. Eider Gresesqui Lobaina, por la confianza depositada, por su constante preocupación y por la ayuda prestada para la realización de mi tesis.

A mis padres, por darme el apoyo necesario para poder continuar y terminar mi carrera.

A mi abuela y abuelo, por todos los apoyos dado en los momentos difíciles, por la preocupación, y por todos los consejos.

A mis amigos por estar siempre a mi lado en los momentos difíciles y ayudarme a alcanzar este éxito.

A todas mis familias por la preocupación y los ánimos de seguir adelante y buscar un mejor futuro.

A mis compañeros de estudio, por durante estos cinco años darme su ayuda y compañía.

A todos los profesores del Departamento de Ingeniería Mecánica por servirme de ejemplo y contribuir en mis deseos de seguir el camino al futuro.

A los que de una forma u otra me apoyaron y ayudaron en la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

En primer lugar dedico mi tesis a mis padres Yenairis Labañino Guzmán y Jorge Luis Perdomo Navarro.

A mi abuela Inés Guzmán por apoyarme y estar conmigo en cada paso.

A mis tutores Isnel, Eider y Maribel, por confiar en mí.

A todos mis amigos y compañeros de aula

Resumen

En presente trabajo se le realiza un rediseño de las tambores delanteras, de los ómnibus Yutong modelo ZK6118HGA-6. Para este se tiene en cuenta un análisis del momento de frenado que actúa en las mismas. Se seleccionan dos muestras de Fe21 Ni y Fe24, donde se efectúa un ensayo de desgaste gravimétrico y se observa que el Fe21 Ni posee mejores propiedades y resistencia. Se realiza una simulación por el método de elementos finitos a las tambores actuales y a la rediseñada, para iguales parámetros de trabajo, donde se logra reducir las tensiones y los desplazamientos un 49 y 15 % respectivamente. Se desarrolló la tecnología de fundición para el nuevo diseño, la que muestra que para la misma es necesario el uso de cuatro mazarotas. Haciendo uso de la ficha de costo, empleada por la Unidad Empresarial de Base (UEB) de Fundición de la Empresa Mecánica del Níquel, se determinó la evaluación económica, teniendo en cuenta los procesos tecnológicos que participan en la elaboración de estas tambores, las cuales poseen un costo de 343,96 y 149,04 CUP + CUC respectivamente.

Summary

In the present work a redesign, for the front brake of the Yutong bus model ZK6118HGA-6, is realized. For this is taken into account an analysis of the braking moment that acts in the same. Then two samples of Fe21 Ni and Fe24 were selected, where a gravimetric wear test is carried out, it was observed that the Fe21 Ni has greater resistance. The finite element modeling demonstrated that it is possible to reduce the stress and displacements by 49% and 15%, respectively. It was determined, in the proposed casting technology, that it is necessary to use four spindles. The economic evaluation, making use of the cost sheet, permit to demonstrate that, for the technological processes involved in the elaboration of these drums, it is necessary to invest 343,96 and 149, 04 (CUP + CUC).

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	5
1.1. Equipos empleados para el transporte de pasajeros	5
1.1.1. Clasificación de transporte público.....	5
1.2. Trenes de rodajes de los equipos de transporte	8
1.3. Evolución histórica de los ómnibus Yutong en Cuba	9
1.4. Sistema de freno en el automóvil	9
1.4.1. Tipos de frenos.....	11
1.4.1.1. Frenos de cinta o de banda.....	11
1.4.1.2. Freno de llanta	11
1.4.1.3. Freno de estacionamiento	12
1.4.1.4. Freno de disco	12
1.4.1.5. Freno de tambor	12
1.5. Clasificación de los tambores de frenos	13
1.6. Materiales usados para la elaboración de tambores de freno	16
1.6.1. Tipos de hierros fundidos	16
1.6.1.1. Fundición gris	17
1.7. Daños y deformaciones en los tambores de freno	17
1.8. Tipos de materiales de fricción	19
1.9. Frecuencia de averías en los equipos de transporte de pasajeros.....	20
1.10. Conclusiones del capítulo I	20
CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
2.1. Determinación de la disponibilidad de los ómnibus.....	21
2.2. Cálculo del proceso de frenado	22
2.3. Selección y preparación de muestras	24
2.3.1. Ensayos de desgaste gravimétrico	26
2.3.2. Análisis fractográfico.....	27
2.3.3. Determinación de la composición química del material	27
2.4. Determinación del proceso de simulación por el método de elementos finitos	27
2.4.1. Pasos a seguir para la ejecución del método de elementos finitos	28
2.4.2. Modelación de la tambora delantera	28
2.5. Tecnología de la producción por fundición	29
2.5.1. Parámetros del cálculo para la obtención de piezas por fundición.....	29

2.5.1.1.	Cálculo de los espesores mínimos de pared	29
2.5.1.2.	Determinación de la posición de la pieza en las cajas de moldeo	30
2.5.1.3.	Análisis de las sobremedidas de maquinado	31
2.5.1.4.	Análisis de la contracción de fundición.....	31
2.5.1.5.	Cálculo de la masa de la pieza	32
2.5.1.6.	Determinación de las dimensiones de los orificios.....	32
2.5.1.7.	Cálculo de la inclinación de la plantilla	33
2.5.1.8.	Determinación del plano divisor de la plantilla y el molde.....	33
2.5.1.9.	Posición del macho y sus portadas	34
2.5.1.10.	Cálculo del rechupe específico.....	34
2.5.1.11.	Cálculo y diseño de las mazarotas	34
2.5.1.11.1.	Cálculo de la cantidad de mazarotas.....	35
2.5.1.11.2.	Cálculo de las dimensiones de las mazarotas	35
2.5.1.12.	Cálculo del sistema de alimentación.....	36
2.5.1.12.1.	Cálculo de la sección de alimentación.....	36
2.5.1.12.2.	Cálculo de la duración del vertido	37
2.5.1.12.3.	Cálculo de la velocidad específica	37
2.5.1.12.4.	Cálculo de las áreas del sistema de alimentación	37
2.5.1.13.	Determinación de las dimensiones de las cajas de moldeo	38
2.6.	Conclusiones del capítulo II	38
CAPITULO III. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....		39
3.1.	Comportamiento de la disponibilidad de los ómnibus	39
3.2.	Determinación de los esfuerzo del proceso de frenado.....	40
3.2.1.	Resultado del cálculo del radio dinámico	40
3.2.2.	Determinación de momento de frenado en las tambores delantera.....	40
3.3.	Selección y preparación de las muestras.....	40
3.3.1.	Ensayo de desgaste gravimétrico	41
3.3.2.	Análisis fractográfico.....	42
3.3.3.	Composición química del material	43
3.4.	Simulación por el método de elementos finitos para la tambora delantera	44
3.5.	Cálculo de la tecnología de la producción por fundición.....	46
3.5.1.	Parámetros del cálculo para la obtención de piezas por fundición.....	47
3.5.1.1.	Cálculo de los espesores mínimos de pared	47
3.5.1.2.	Posición de la pieza en las cajas de moldeo	47
3.5.1.3.	Análisis de las sobremedidas de maquinado	48

3.5.1.4. Análisis de la contracción de fundición.....	48
3.5.1.5. Cálculo de la masa de la pieza	48
3.5.1.6. Dimensiones de los orificios	49
3.5.1.7. Determinación de la inclinación de la plantilla	49
3.5.1.8. Determinación del plano divisor de la plantilla y el molde.....	49
3.5.1.9. Determinación de la posición del macho y sus portadas	50
3.5.1.10. Determinación del rechupe específico en el Fe- 21 Ni	50
3.5.1.11. Cálculo y diseño de las mazarotas	51
3.5.1.11.1. Cálculo de la cantidad de mazarotas.....	51
3.5.1.11.2. Cálculo de las dimensiones de las mazarotas	51
3.5.1.12. Cálculo del sistema de alimentación.....	52
3.5.1.12.1. Cálculo de la sección de alimentación.....	52
3.5.1.12.2. Cálculo de la duración del vertido	52
3.5.1.12.3. Cálculo de la velocidad específica	52
3.5.1.12.4. Cálculo de las áreas del sistema de alimentación	52
3.5.1.13. Determinación de las dimensiones de las cajas de moldeo	53
3.6. Evaluación económica	53
3.7. Evaluación ecológica	54
3.8. Conclusiones del capítulo III	54
BIBLIOGRAFÍA	57



INTRODUCCIÓN

La sustitución de importaciones es una de las prioridades económicas actuales del país. Esta tarea está basada con el fin de mejorar los resultados económico-productivos al disminuir el costo de producción o servicios de las empresas que sustituyan las producciones importadas por las nacionales.

La industria del Níquel cuenta con empresas productoras de concentrados de níquel y cobalto, otras que brindan servicios a estas empresas productoras. Las empresas de servicios constituyen la fuente fundamental para garantizar la sustitución de importación de esas empresas productoras y terceros clientes, con ello disminuir su costo por concepto de mantenimiento y mejorar las utilidades.

Una de estas, es la Empresa Mecánica del Níquel “Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche” cuya misión es mantener la disponibilidad técnica y operacional de la industria cubana del Níquel y terceros clientes, garantizando los mantenimientos y reparaciones en el tiempo previsto con calidad y bajos costos.

La Empresa Mecánica del Níquel “Gustavo Machín Hoed de Beche” se diseñó con el objetivo de fabricar las piezas de repuesto para las industrias del níquel fundamentalmente, donde se formulan periódicamente los estados financieros en correspondencia con los requerimientos establecidos por el organismo correspondiente en términos de tiempo, calidad y veracidad. Garantizando con esto la correcta aplicación del manual de la contabilidad de costo de la empresa y el cumplimiento de las medidas organizativas para su correcto funcionamiento.

El flujo productivo de la misma empieza en el departamento de Ingeniería y diseño, donde se realizan los planos de las piezas, los cuales se elaboran según los requerimientos técnicos especificados por el cliente, teniendo en cuenta las Normas Cubana de diseño. Una vez elaborado el plano este es dirigido a los talleres en donde se desarrolla su fabricación que puede ser por fundición o maquinado (ver anexo 1).

El conjunto de las instalaciones permite efectuar la producción de una amplia variedad de la línea de fabricación. La posibilidad de ejecución comprende realización de las reparaciones generales de equipos de transporte, minería, equipos eléctricos, de fundición de piezas y la fabricación de estructuras.



En los últimos tiempos esta empresa se ha dirigido al estudio de la fabricación de tambores de freno, aunque cabe resaltar que la mayor parte de las investigaciones se ha centralizado en la tecnología de fundición (Reynosa, 2012). En este caso se han desarrollado piezas exclusivamente en dos únicos tipos de materiales Hierro 21 (con Ni) e Hierro 24. Producto que es obtenido en hornos de inducción, utilizando como método el moldeo químico con resina furánicas autofraguante, con el fin de garantizar las propiedades mecánicas y la composición química empleada en la norma de las tambores de los ómnibus.

Situación problemática

En la base de ómnibus de la Empresa de Servicio a la Unión del Níquel (ESUNi) se han venido detectando frecuentes roturas de las tambores delanteras de los ómnibus Yutong, en los fundamentales concentradores de tensiones, como son los agujeros de fijación y los agujeros elaborados para garantizar la ventilación de la tambora, a partir de lo que surge y crece la grieta que produce la inhabilitación total debido a la poca resistencia mecánica. También se produce el desgaste acelerado con una pérdida de gran cantidad de material, dada la baja durabilidad. Cuando se produce dicha rotura los conductores tienen que desarrollar acciones de desarme y sustitución o llamar y pedir ayuda a otros ómnibus para el trasbordo de dichos pasajeros, estas roturas generan determinados riesgos para la vida de los pasajeros, debido a que no se puede frenar de una manera uniforme. En el taller donde se producen las sustituciones, las tambores son acumuladas o enviada al patio de los mismos, lo que genera una afectación para el medio ambiente. Los ómnibus averiados por este tipo de rotura son retirados de circulación, por lo que la empresa dispone de un equipo menos para ofrecer servicio a la población, con las consiguientes pérdidas económicas.

Problema

Frecuentes roturas, por fractura, de las tambores de freno en el tren delantero para ómnibus Yutong de la base de ómnibus de la Empresa de Servicio a la Unión del Níquel (ESUNi) en Moa.

Objeto de estudio

Tambores delanteras de freno para ómnibus Yutong.



Objetivo general

Proponer el diseño y la tecnología de fundición de las tambores delanteras, para ómnibus Yutong, que garantice la resistencia mecánica y un incremento de la durabilidad para las condiciones de explotación de la base de ómnibus de la Empresa de Servicio a la Unión del Níquel (ESUNi), según el equipamiento disponible en la Empresa Mecánica del Níquel “Gustavo Machín Hoed de Beche”.

Campo de acción

Diseño de las tambores delanteras de frenado para ómnibus Yutong.

Hipótesis

Si se desarrolla un análisis de las condiciones de trabajo y las cargas que actúan, para el instante de frenado, en el tren delantero de los ómnibus Yutong, entonces se podrá proponer el diseño y la tecnología de fabricación, por fundición, que responda a las condiciones actuales de explotación de la base de ómnibus de la Empresa de Servicio a la Unión del Níquel (ESUNi), de acuerdo con el equipamiento disponible en la Empresa Mecánica del Níquel “Gustavo Machín Hoed de Beche”.

Objetivos específicos

1. Analizar el diseño y las condiciones de explotación para las tambores delanteras actuales y el desarrollado por la Empresa Mecánica del Níquel.
2. Proponer un diseño que mejore la geometría de las tambores delanteras e incremente la resistencia mecánica de las mismas.
3. Desarrollar la tecnología de fundición que responda al nuevo diseño de las tambores delanteras.

Tareas

1. Establecimiento del estado del arte sobre la explotación y mecanismos de frenado.
2. Análisis del diseño de las tambores delanteras actuales.
3. Evaluación del diseño de las tambores delanteras, desarrollado en la empresa Mecánica del Níquel.
4. Propuesta del diseño para mejorar la geometría y la resistencia de las tambores delanteras.



5. Desarrollo de la tecnología de fundición para el nuevo diseño de las tambores delanteras.
6. Valoración de los resultados, efectos económicos y ambientales.



CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

Introducción

A la hora de desarrollar el estudio de una temática es de gran importancia, conocer los avances de la humanidad en torno al tema estudiado; para así aprovechar al máximo los conocimientos de las generaciones anteriores y poder adquirir soluciones eficaces, impidiendo así posibles errores a causa de la falta de conocimiento y experiencia.

Objetivo del capítulo:

- Definir los aspectos teóricos que permitirán llevar a cabo la investigación propuesta.
- Conocer el estado del arte de la temática analizada, realizando una revisión bibliográfica que permita la orientación de los objetivos del trabajo.

1.1. Equipos empleados para el transporte de pasajeros

El transporte público es el término aplicado al transporte colectivo de pasajeros, a diferencia del transporte privado los viajeros de transporte público; tienen que adaptarse a los horarios y a las rutas que ofrezca el operador. Incluye diversos medios como autobuses, trolebuses, tranvías, trenes, ferrocarriles suburbanos o ferry. En el transporte interregional también coexiste el transporte aéreo y el tren de alta velocidad (Aparicio *et al*, 1995).

1.1.1. Clasificación de transporte público

El transporte público permite el desplazamiento de personas de un punto a otro en el área de una ciudad y es, por tanto, parte esencial de las ciudades. Disminuye la contaminación, ya que se usan menos automóviles para el transporte de personas, además de permitir el desplazamiento de personas que, no tienen auto y necesitan recorrer largas distancias.

Transporte terrestre:

- Transporte por carretera
- Autobús – Autobús de tránsito rápido – Trolebús – Taxi
- Transporte por ferrocarril
- Tranvía – Tren ligero – Metro – Tren – Tren de alta velocidad

Transporte marítimo y fluvial:

- Transbordador (ferry) – Catamarán – Lancha colectiva – Góndola

Transporte aéreo:

- Teleférico – Telecabinas
- Aerolínea

Autobús: el autobús (también conocido como ómnibus) es un vehículo diseñado para el transporte de personas (figura 1.1). Generalmente es usado en los servicios de transporte público urbano e interurbano, y con trayecto fijo. Su capacidad puede variar entre 10 y 120 pasajeros (Aparicio *et al*, 1995).



Figura 1.1. Autobús de configuración sencilla, Australia (fuente: Gonzalez, 2005)

Autobús expreso: son soluciones de transporte de media y alta capacidad en superficie; basadas en autobuses que circulan por carriles exclusivamente reservados, y son accesibles solo desde las estaciones. Una de las ventajas que se esgrimen a su favor es que los costos de construcción tienden a ser inferiores a los de sistemas como los metros o tranvías, teniendo una capacidad de movilización de pasajeros similar. Sin embargo, a diferencia de los sistemas subterráneos, ocupan un espacio vial en la superficie, lo que puede dificultar su implantación en grandes urbes densamente urbanizadas y alterar el flujo del tránsito de las mismas (Aparicio *et al*, 1995).

Bicicleta: la bicicleta es un vehículo de transporte personal de propulsión humana (figura 1.2), es decir por el propio viajero. Fueron muy populares en la década de 1890, en los años 50, 70, y ahora su uso nuevamente ha venido a crecer considerablemente en todo el mundo. Su diseño y configuración básico ha cambiado poco desde el primer modelo de transmisión de cadena desarrollado alrededor de 1885 (Aparicio *et al*, 1995).



Figura 1.2. Bicicletas públicas en Ciudad de México(fuente: Koeppel, 2007).

Ferrocarril: el ferrocarril es un sistema de transporte terrestre de personas y mercancías guiado sobre carriles o rieles (Figura 1.3). Aunque normalmente se entiende que los raíles son de acero o hierro, que hacen el camino o vía férrea sobre la cual circulan los trenes, dentro de esta clasificación se incluyen medios de transporte que emplean otros tipos de guiado, tales como los trenes de levitación magnética. Se trata de un transporte con ventajas comparativas en ciertos aspectos, tales como el consumo de combustible por tonelada/kilómetro transportada, la entidad del impacto ambiental que causa o la posibilidad de realizar transportes masivos, que hacen relevante su uso en el mundo moderno (Aparicio *et all*, 1995).



Figura 1.3. Transporte de mercancías por ferrocarril (fuente: Martínez, 2010)

Avión: los aviones de transporte de pasajeros, también denominados aviones comerciales son los que las compañías aéreas usan explícitamente para el transporte de pasajeros (figura 1.4). Se suelen dividir en dos categorías; aviones de pasillo único (*narrow-body*), con un diámetro de fuselaje entre 3 y 4 metros de ancho y aviones de doble pasillo (*wide-body*) con un fuselaje entre 5 y 6 metros de ancho. Uno de los aviones de pasillo único más vendidos en el mundo es el Boeing 737.



El avión de pasajeros con mayor capacidad de transporte de viajeros es el Airbus A380, avión que puede llegar a transportar alrededor de 800 personas (Aparicio *et al*, 1995).



Figura 1.4. Boeing 767 de la FACH (fuente: Martínez, 2010)

Barco de pasajeros: es la nave específicamente diseñada para el transporte, generalmente colectivo, de pasajeros (figura 1.5). Según la duración del viaje y el propósito general para el que es construido, el barco puede tener muchas instalaciones, llegando a los grandes barcos de crucero (Aparicio *et al*, 1995).



Figura1.5. Barco de pasajeros (fuente: <http://www.cruceros.es/>)

1.2. Trenes de rodajes de los equipos de transporte

En todo proceso de frenado de un vehículo, se produce una transformación de la energía cinética acumulada debido a su velocidad en energía calorífica provocado por el rozamiento entre superficies, con el consiguiente aumento de la temperatura global del sistema. Este es el principio que rige cualquier sistema de frenado. Las tambores de frenos son la superficie contra la cual interactúa el frenado del vehículo, lo que provoca una reducción de la velocidad (Zhengzhou Yutong Bus Co., Ltd. 2006).



El freno de tambor es un tipo de freno en el que la fricción se causa por un par de zapatas que presionan contra la superficie interior de un tambor giratorio, el cual está conectado al eje o la rueda.

1.3. Evolución histórica de los ómnibus Yutong en Cuba

Como una de las alternativas para resolver el déficit de ómnibus en Cuba, para garantizar la transportación de trabajadores y estudiantes, se logró la contratación en el año 2007 de los primeros ómnibus Yutong procedentes de China, lo cual ha permitido elevar la disponibilidad. Para lograr el mantenimiento de esta técnica se hace necesario la importación sistemática de piezas de repuesto, tales como la tamboras delanteras de los ómnibus Yutong, con el objetivo de disminuir los costos de importación por este concepto, la Empresa de Ómnibus Nacionales y la Industria Militar solicitaron el desarrollo de esta tecnología para obtener la fabricación de las tamboras delanteras para ómnibus Yutong, teniendo en cuenta que en años anteriores se logró la fabricación de tamboras para otros modelos de ómnibus (Reinosa, 2012).

1.4. Sistema de freno en el automóvil

El sistema de frenado tiene como misión la de aminorar la velocidad del vehículo, llegando incluso a detenerlo (figura 1.6). Esta disminución de velocidad se hará a voluntad del conductor y se conseguirá de una forma segura y con el mínimo esfuerzo. Además, ha de llevar un sistema que permita poder detener el vehículo, si se avería parte del circuito. Otra dotación de la que dispondrá el sistema, es la que le inmovilice cuando se deje estacionado (freno de estacionamiento o de mano).

Para la disminución de la velocidad se ha de producir una transformación de energía mecánica en energía calorífica, al hacer rozar una parte fija, llamada pastilla o zapata, con una parte móvil, llamada disco o tambor, respectivamente. La fricción entre estos elementos produce la fuerza necesaria para reducir la velocidad y convierte la energía mecánica del vehículo en energía calorífica que se transmite al aire (Andrino, 2006).

El sistema de frenos utilizado de manera adecuada y bien mantenido es un medio seguro de detener el vehículo.

El sistema neumático están formado por tres circuitos: el de los frenos de servicio, accionado a través del pedal de freno; el de los frenos de estacionamiento, aplicándose o no por el

conductor a través de una palanca; y el de los frenos de emergencia, que utiliza parte del circuito del freno de servicio y del de estacionamiento, en caso de que no exista presión de aire (Andrino, 2006).

Un freno es un dispositivo utilizado para detener o disminuir el movimiento de algún cuerpo, generalmente, un eje, árbol o tambor. Los frenos son transformadores de energía, por lo cual pueden ser entendidos como una máquina por ser, ya que transforman la energía cinética de un cuerpo en calor o trabajo y en este sentido pueden visualizarse como “extractores” de energía. A pesar de que los frenos son también máquinas, generalmente se les encuentra en la literatura del diseño como un elemento de máquina y en literaturas de teoría de control pueden encontrarse como actuadores.

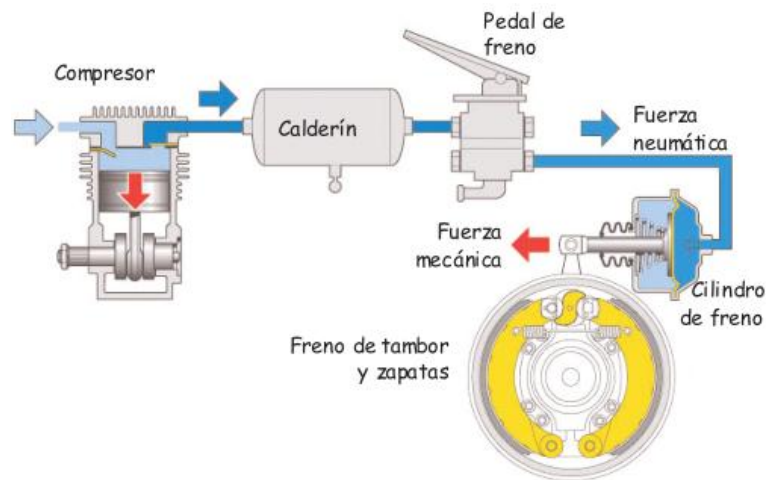


Figura1.6. Esquema básico del sistema de freno de un automóvil (fuente: Andrino, 2006)

En los automóviles cuando se frena, debido a la altura, sobre la calzada, del centro de gravedad, se produce una mayor distribución del peso del coche sobre el eje delantero. Este efecto de distribución no uniforme de carga sobre el eje delantero es mayor cuanto mayor es la deceleración y el centro de gravedad más alto (Andrino, 2006).

Por este motivo en todos los coches los sistemas de frenado son más potentes en el eje delantero que en el trasero. De hecho se suele diseñar los frenos para que se bloqueen antes en el eje delantero que en el trasero incluso en seco, ya que es más fácilmente solucionable un su viraje que un sobre viraje. Para mejorar aún más la frenada, en vehículos de competencia se usan repartidores de frenada manuales ya que el reparto de frenada ideal no es siempre el mismo, por ejemplo, en mojado y seco ya que la deceleración es diferente y con ella el reparto de peso sobre los ejes (Andrino, 2006).

1.4.1. Tipos de frenos

Los frenos son elementos de máquinas que absorben toda la energía cinética y potencial en un proceso de frenado, dando como resultado la detención de las partes en movimiento. Teniendo en cuenta los elementos que intervienen en la acción del frenado, se pueden clasificar en:

1.4.1.1. Frenos de cinta o de banda

Utilizan una banda flexible, las mordazas o zapatas se aplican para ejercer tensión sobre un cilindro o tambor giratorio que se encuentra solidario al eje que se pretenda controlar (figura 1.7). La banda al ejercer presión, ejerce la fricción con la cual se disipa en calor la energía cinética del cuerpo a regular.

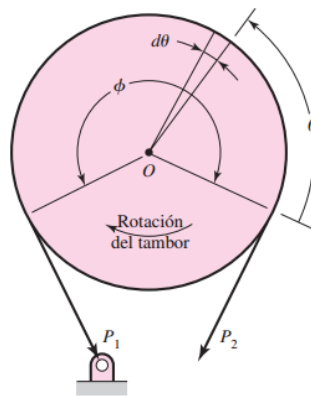


Figura 1.7. Freno de cinta de un ford T (fuente: Richard, 2008)

1.4.1.2. Freno de llanta

Utilizan como cuerpo móvil la llanta de una rueda. Actúan bajo la presión ejercida sobre ambos lados de la misma. Son muy utilizados en bicicletas (figura 1.8).



Figura 1.8. Freno de llanta de una biccicelta (fuente: García, 2012)

1.4.1.3. Freno de estacionamiento

El freno de mano o freno de estacionamiento (figura 1.9) es un sistema que inmoviliza el vehículo cuando está parado, ya sea manual o automáticamente. También está disponible para parar el vehículo en caso de fallo del freno de servicio (función de emergencia). En la inmensa mayoría de los vehículos ligeros se acciona con la mano y mediante un cable acciona las ruedas traseras.



Figura 1.9. Freno de estacionamiento (fuente: García, 2012)

1.4.1.4. Freno de disco

Un freno de disco es un dispositivo cuya función es detener o reducir la velocidad de rotación de una rueda (figura 1.10). Hecho normalmente de acero, está unido a la rueda o al eje.

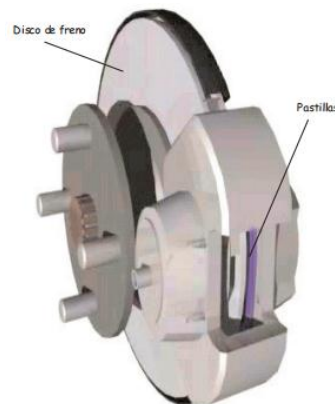


Figura 1.10. Freno de disco de un automóvil (fuente: Andrino, 2006)

1.4.1.5. Freno de tambor

El freno de tambor (figura 1.11) es un tipo de freno en el que la fricción se causa por un par de zapatas o pastillas que presionan contra la superficie interior de un tambor giratorio, el cual está conectado al eje o la rueda (Andrino, 2006).

Constituido por los siguientes elementos:

- 1) **Tambor:** Es la parte móvil que va unida a la rueda. Su interior va mecanizado para facilitar el acoplamiento adecuado de las zapatas.
- 2) **Plato de freno:** Es la parte fija que va unida a la estructura del vehículo. Está formado por un plato-soporte de chapa, las zapatas de freno, los mecanismos de accionamiento y los elementos de fijación y regulación.
- 3) **Zapatas:** Las zapatas son elementos importantísimos en la eficacia del sistema de frenado. Estas zapatas están formadas por dos chapas de acero, a las cuales se fijan unos forros de freno o fundas; esta unión puede ser mediante remaches o bien pegadas con cola.

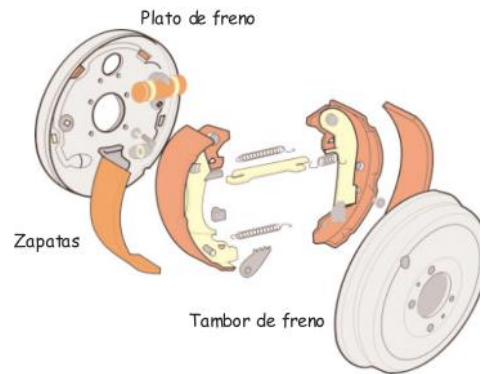


Figura 1.11. Mecanismo de un freno de tambor (fuente: Andrino, 2006)

Funcionamiento. Cuando se acciona el pedal de freno, el mecanismo de empuje de las zapatas hace que éstas se abran, girando sobre los pivotes. Esto hace que los forros de las zapatas entren en contacto con el tambor de freno, disminuyendo la velocidad de giro del mismo y con ello la de la rueda. Cuando no se acciona el pedal de freno, un muelle recuperador que une las dos zapatas, hace volver éstas a su posición inicial (Andrino, 2006).

1.5. Clasificación de los tambores de frenos

Según su tipo los frenos de tambor pueden clasificarse con sistemas *simplex*, *dúplex*, *twinplex* y *duo-servo*.

La característica del **sistema simplex** es que las zapatas disponen de un punto de apoyo fijo sobre el que pivotan al ser accionadas (figura 1.12). Este sistema tiene un bombín de freno de doble efecto. Cuando se acciona el pedal de freno, la zapata primaria y secundaria se pone en contacto con el tambor de freno. La particularidad de este sistema es que la zapata de freno primaria, debido a su montaje, se apoya en el tambor en contra del giro del



mismo obteniendo así una presión ejercida superior sobre la superficie de frenado del tambor. Por el contrario, la zapata secundaria se apoya en el tambor en el sentido de giro del mismo, lo que hace que la zapata tienda a salir rechazada, traduciéndose en una menor presión ejercida sobre el tambor, respecto a la zapata primaria.

El inconveniente de este sistema es que debido a que la presión ejercida por las zapatas no es homogénea en toda la superficie de frenado del tambor, la frenada obtenida no es muy eficaz (Proaño, 2014).

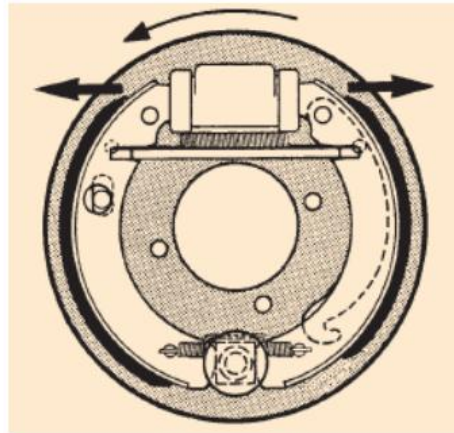


Figura 1.12. Freno de tambor sistema Simplex (fuente: Proaño, 2014)

Por otra parte el **sistema dúplex** se caracteriza porque las zapatas están montadas en serie, en forma de que ambas zapatas son primarias. Siguen teniendo un punto de apoyo sobre el que pivotan al ser accionadas, pero disponen de dos bombines de freno simples, de forma que el bombín de freno de una zapata sirve de punto de apoyo para la otra. Con esto se consigue que las dos zapatas sean primarias, es decir, que ambas zapatas apoyen contra el tambor de freno en contra de su giro. Obteniendo una frenada más eficaz, ya que la presión ejercida por las mismas es más uniforme en toda la zona de frenado del tambor que en el sistema simplex (Proaño, 2014).

En el **sistema twinplex**, los puntos de apoyo de las zapatas en lugar de ir montados fijos van montados en posición flotante (figura 1.13). Con este montaje de las zapatas se obtiene un mejor reparto de la presión ejercida sobre el tambor de freno, debido a que el efecto cuna que sufre las zapatas queda paliado (Proaño, 2014).

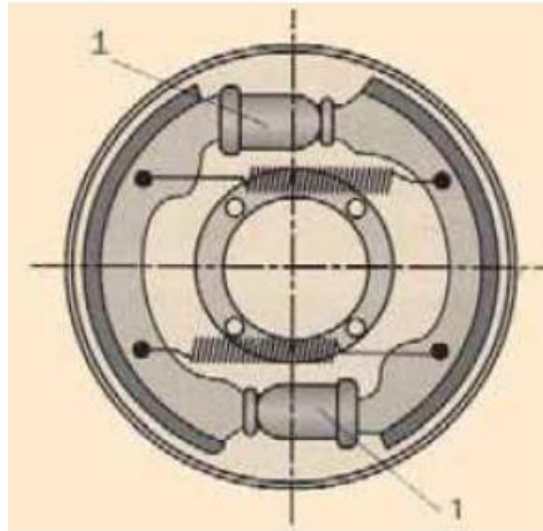


Figura 1.13. Freno de tambor Sistema *Twinplex* (fuente: Proaño, 2014)

Por otra parte, el **sistema duo-servo** se caracteriza porque el punto de apoyo consiste en una biela de acoplamiento (figura 1.14). Las dos zapatas son también primarias. Al accionar las zapatas de freno, pivotan sobre su apoyo a la vez que empujan, mediante la biela de acoplamiento, a la otra zapata. Con este sistema se consigue un reparto de la presión de frenado más uniforme por toda la superficie de frenado del tambor y del forro de la zapatas. Son muy sensibles a las variaciones de coeficiente de fricción que puedan sufrir los forros de las mismas (Proaño, 2014).

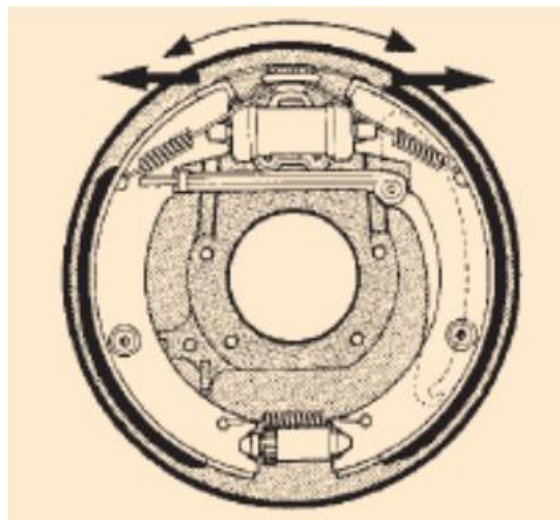


Figura1.14. Freno de tambor Sistema *Duo-Servo* (fuente: Proaño, 2014)



1.6. Materiales usados para la elaboración de tambores de freno

Los tambores de freno son fabricados de hierro fundido gris, en virtud a sus características que a continuación se señalan:

- Fácil fusión y moldeo
- Buena resistencia mecánica
- Buena resistencia al desgaste
- Buena capacidad amortiguadora
- Resistencia a la compresión
- Excelente rectificado

Sus propiedades harán del hierro fundido gris de gran importancia para la industria automovilística. Por esta razón SAE por intermedio de la especificación J-431 elaboro una clasificación de estos materiales como son:

- G2500 A: tambores de freno para servicio medio, donde el alto contenido de carbono es usado para minimizar los efectos de calentamiento.
- G3500 B: tambores de freno para servicio pesado, donde además de minimizar los efectos de calentamiento es necesario alta resistencia mecánica.
- G3500 C: tambores de freno para aplicaciones en servicios extra pesados.

1.6.1. Tipos de hierros fundidos

Los tipos de hierros fundidos pueden ser clasificados de acuerdo a la microestructura del grafito. Esta clasificación está basada en la forma en la que la mayor parte de carbono aparece en el hierro. Según esta clasificación existen cinco tipos básicos:

- Hierro gris
- Hierro blanco
- Hierro maleable
- Hierro nodular
- Hierro de grafito compacto

Cada uno de estos tipos puede ser moderadamente aleado o tratado térmicamente, sin cambiar su estructura básica.



1.6.1.1. Fundición gris

Conocida también como hierro fundido o hierro colado, la fundición gris es un tipo de aleación; es la más utilizada en la industria. Los elementos fundamentales del hierro gris son: carbono, silicio, fósforo, manganeso y azufre; la base metálica de los mismos pueden ser: ferrítica, ferrítica - perlítica, perlítica y atruchados o intermedios.

Si la composición del hierro líquido y su velocidad de enfriamiento son apropiadas, el carbono en el hierro se separa durante la solidificación y forma flóculos de grafito, esta crece con sus contornos a filados dentro del líquido y forma las hojuelas.

Cuando el hierro gris se fractura la mayor parte de ella ocurre a lo largo del grafito, así se relaciona con el característico color gris de la superficie fracturada. Las bondades del hierro gris son influenciadas por el tamaño, cantidad y distribución de los flóculos de grafito y por la relativa dureza de la matriz alrededor del grafito.

Estas propiedades son controladas principalmente por la cantidad de carbono y silicio del metal y la velocidad de enfriamiento en la solidificación. Un enfriamiento muy lento y contenidos de carbono y silicio altos tienden a producir gran cantidad de flóculos de grafito de gran tamaño y una matriz suave de baja resistencia. Estos flóculos de grafito proveen al hierro gris propiedades excelentes como altos niveles de dureza, lo que provoca buenas características de resistencia a la abrasión, resistencia al desgaste y excelente absorción de vibraciones, resultado de una relación no lineal esfuerzo-deformación a esfuerzos relativamente bajos. Varios factores influyen en la nucleación y crecimiento de los flóculos de grafito. Se utilizan técnicas especiales para obtener un grafito del tamaño apropiado y conseguir las propiedades deseadas (Reinosa, 2012).

1.7. Daños y deformaciones en los tambores de freno

Es importante tener precauciones cuando se realiza las de reparación de los frenos de un autobús debido a que se pueden encontrar problemas como son:

1.7.1. Tambora con puntos duros

Los puntos duros consisten en alteraciones provocadas en puntos aislados de la superficie de frenado del tambor, ocasionadas por altas temperaturas generadas durante las frenadas. Un punto endurecido consiste en una pequeña protuberancia que se origina en la superficie de trabajo del tambor (Proaño, 2014).



Un tambor con áreas grande de puntos duros en la superficie de frenado del tambor, necesariamente debe ser rectificado, si esta operación no se realiza tendrán como consecuencia perdida de eficiencia en el frenado, el pedal de freno vibra y el frenado es inconstante a baja velocidad.

1.7.2. Tambora con fisuras o grietas

Fisuras con más de 1 mm de profundidad exigen que el tambor sea rectificado inmediatamente. Si después de rectificado las fisuras permanecieran visibles y no fueran percibidos por la prueba de la uña, el tambor puede ser reutilizado y si en el caso de que las fisuras fueran profundas existe el peligro de quiebra del tambor, en este caso se recomienda cambiar por otro tambor nuevo (Proaño, 2014).

1.7.3. Tambora con centro alto

Algunos tambores pueden presentar variaciones en su geometría, en función de las condiciones de uso. El centro alto es una de ellas y consiste en una elevación regular en la parte central de la superficie de trabajo del tambor, esta irregularidad disminuye el contacto entre la balata y la superficie. Si esta elevación fuera superior a 1 mm, el tambor debe ser rectificado si las condiciones de medidas lo permiten. Caso contrario resultara un freno ineficiente y con ajustes prematuros de regulado en los frenos (Proaño, 2014).

1.7.4. Tambora cóncava o convexa

Son tambores que también presentan deformaciones en la superficie de trabajo de concavidad o convexidad. En este caso como el de centro alto, la deformación no debe ser superior a 1 mm, caso contrario proceder a rectificar si las condiciones de medidas lo permiten. Caso contrario también resultara un freno ineficiente y con ajustes prematuros de regulado de frenos (Proaño, 2014).

1.7.5. Tambora en cono recto

Esta deformación en cono recto puede traer consecuencias graves. Esta deformación consiste en la inclinación del plano de la superficie de contacto del tambor con el patín de freno. Esta inclinación puede generar una tolerancia de 1 mm entre la parte externa e interna del tambor como límite tolerable. Medidas superiores a 1 mm pueden comprometer seriamente el funcionamiento del conjunto de freno debido a que el patín de freno trabajara



torcido y bajo esta condición la posibilidad de quiebra y deformación en el patín de freno es inminente (Proaño, 2014).

1.7.6. Tambora ovalada

Esta deformación es una alteración geométrica de tambor, dando así la apariencia ovalada. Si esta deformación geométrica no es superior a 0.2 mm el tambor puede ser utilizado, siendo el síntoma de ovalización, la vibración del pedal de freno al aplicarlo en un proceso de frenado (Proaño, 2014).

1.8. Tipos de materiales de fricción

Los principales tipos de materiales de fricción usados en vehículos automotores y equipos industriales (Proaño, 2014) son los siguientes:

Material moldeado: Estos materiales son compuestos por fibras, resinas y cargas (figura 1.15). Estos materiales se mezclan, después se preforman en frío y posteriormente son prensadas en prensas calefaccionadas a temperaturas que oscilan de 130 a 160 °C. Este proceso de fabricación en el que se utiliza resinas en polvo se denomina elaboración por vía seca y cuando este proceso es humedecido por resinas líquidas se denomina elaboración por vía húmeda.

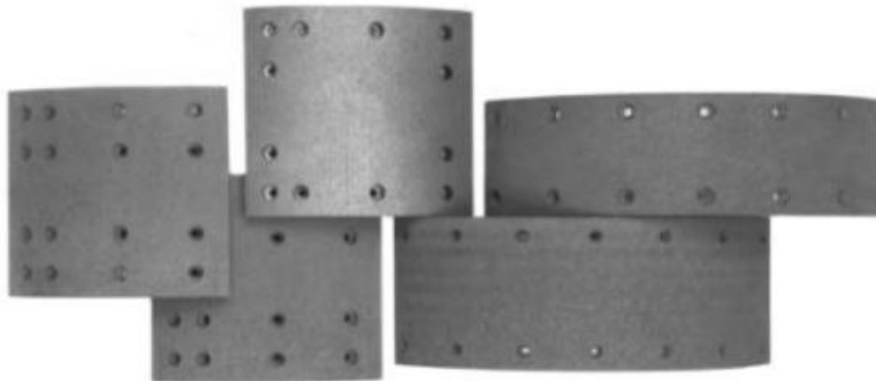


Figura 1.15. Balatas de frenos de una tambora (fuente: Proaño, 2014)

Material en rollo moldeado: En este proceso se utiliza resinas líquidas, cauchos y solventes. El proceso de fabricación es por vía húmeda y esta mezcla es extruida en laminadoras y posteriormente son sometidas a tratamiento térmico de cura. Estos rollos pueden ser con o sin malla metálica.



Material en rollo tejido: Este material está compuesto por hilos de amianto u otras fibras que son tejidas en mantas de distintos espesores, posteriormente son impregnados de resinas y cargas luego este material es sometido a tratamiento térmico de cura.

Forro de embrague tejido: Este material está compuesto de hilos de amianto u otras fibras, estos hilos son impregnados con resinas, cauchos y cargas, luego se secan y se tejen, para posteriormente prensarlos en caliente.

1.9. Frecuencia de averías en los equipos de transporte de pasajeros

El correcto uso y mantenimiento periódico son los medios eficientes de prolongar la vida útil y lograr un rendimiento económico de los autobuses. Realizar un mantenimiento adecuado y efectuar la reparación de acuerdo con las normas estándares, es una de las condiciones indispensables para que los autobuses logren el mejor efecto social y económico. Cuando se violan estos principios surgen con gran periodicidad averías que sacan a los equipos de circulación, unas de las más frecuentes son:

- Avería de la válvula protectora de cuatro bucles.
- El freno pierde funcionamiento de repente.
- El freno arrastra y atasca.

1.10. Conclusiones del capítulo I

- Se definieron aspectos teóricos que permitirán llevar a cabo la investigación propuesta.
- En la temática analizada se reportan importantes contribuciones, en el desarrollo de técnicas de fundición, en la literatura especializada.



CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

Introducción

En este capítulo se determinaran los materiales y métodos que van a utilizar para realizar el rediseño de las tamboras de frenos y el desarrollo de una nueva tecnología de fundición. El mismo tiene como **objetivo** proyectar los parámetros de cálculos para determinar el momento de frenado de la tambora delantera de la Yutong y los de la tecnología de fundición.

2.1. Determinación de la disponibilidad de los ómnibus

El factor de disponibilidad de un equipo o sistema es una medida que indica cuánto tiempo está ese equipo o sistema operativo respecto de la duración total durante la que se hubiese deseado que funcionase. Típicamente se expresa en porcentaje. Se define como la capacidad del equipo o instalación para realizar una función requerida bajo condiciones específicas sobre un periodo de tiempo determinado, asumiendo que los recursos externos requeridos son suministrados. Es un indicador determinístico que traduce los resultados de las acciones de mantenimiento a un índice combinado para un equipo o sistema. Se basa en la pregunta, "¿Está disponible el equipo en condiciones de trabajo cuando se le necesita?". Se utiliza el análisis de disponibilidad para obtener una solución que permita establecer los requisitos para la confiabilidad y la susceptibilidad de mantenimiento. Es útil para determinar cifras significativas del equipo o sistema en sí, como las de frecuencia y tipo de ocurrencia de fallos, posibilidad de reparación (tiempo de reparación activa) y análisis de trabajos de mantenimiento (Hernández, 2016).

Es la probabilidad de que el activo, en este caso los ómnibus Yutong, se encuentre en condiciones de cumplir su función en cualquier instante excepto en el tiempo de paradas para el mantenimiento, ya sea preventivo o correctivo. En este caso se tiene como disponibilidad del equipo la relación existente entre la diferencia del número total de horas del periodo (Horas Calendario) con el números de horas de mantenimiento (preventivo, correctivo) en cada ítem controlado y el número total de horas controlado (Barringer, 1997).

$$D = \frac{TPPP - TPPR}{TPPP} \cdot 100\% \quad (2.1)$$



Donde:

D - Disponibilidad; %.

$TPPP$ - Tiempo promedio para el periodo; h

$TPPR$ - Tiempo promedio para la reparación; h

2.2. Cálculo del proceso de frenado

Se define como fuerza de frenado la que se desarrolla en el contacto neumático-calzada como reacción al par que se opone al movimiento de giro de dicho neumático, estando limitada principalmente por la adherencia. Si se supera el límite de adherencia del contacto rueda-calzada, se produce el bloqueo de la rueda (Luque *et al*, 2005).

Para determinar el momento de frenado de la tambora delantera en los ómnibus Yutong se usará la metodología de cálculo de Szczepaniak y Aragón, 1974.

Si se actúa con el freno de servicio, al presionar sobre el pedal de freno se incrementa la presión en el circuito, convirtiéndose esta, en los dispositivos de las ruedas, en pares y aplicados en sentido opuesto a su movimiento. Cuando esto sucede, el suelo reacciona con una fuerza sobre el neumático, denominada fuerza de frenado, que tratara de mantenerlo girando (Hernández, 2016).

El dispositivo que genera el par de frenado en las ruedas, lo que el reglamento define como freno, puede ser un freno de disco o un freno de tambor. La forma de generar el par en ambos es muy similar. Si se dispone de un freno de disco, al incrementar la presión en el circuito de frenos se desplazan unas pastillas que, al rozar contra el disco, generan una fuerza de fricción de valor aplicada a una distancia del eje de la rueda. En este caso el par de frenado sería:

$$M_f = F_{f-disco} \cdot r_{disco} \quad (2.2)$$

Donde r_{disco} es el radio medio del disco de freno, por lo que supone aplicada la fuerza de frenado en el disco.

En el caso de que el freno sea de tambor, el proceso por el cual se genera el par es similar, siendo su valor de:

$$M_f = F_{f-tambor} \cdot r_{tambor} \quad (2.3)$$



Donde r_{tambor} es el radio medio del tambor de freno, suponiendo aplicada la fuerza de frenado en dicho tambor.

Si se utiliza el diagrama del cuerpo libre de la rueda (figura 2.1), la relación entre el par de frenado debido al sistema de frenos y la fuerza de frenado en el suelo será:

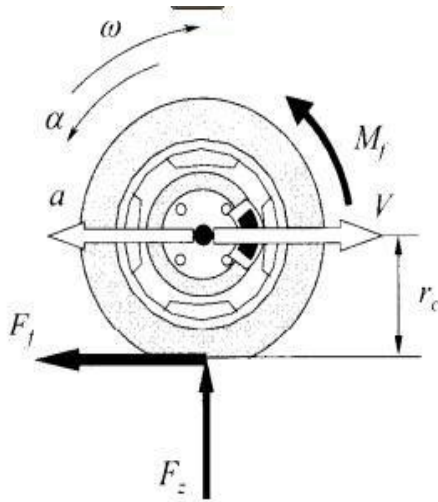


Figura 2.1. Diagrama del cuerpo libre de la rueda (fuente: Hernández, 2016)

$$M_f - F_f \cdot r_c = I \cdot \alpha \quad (2.4)$$

Con:

r_c .- es el radio bajo carga del neumático, que puede considerarse igual al radio efectivo.

I .- es el momento de inercia de todas las masas unidas a la rueda.

α .- es la aceleración angular de la rueda.

F_f .- es la fuerza de frenado que se genera en el suelo.

Por tanto, el par de reacción del suelo sobre la rueda será:

$$M_f = F_f \cdot r_c \quad (2.5)$$

Si esta aplica esta teoría a la Yutong, considerando la ficha técnica del equipo (anexo 2), donde se relaciona el peso del puente delantero, entre otros datos extraídos del manual de introducción del autobús de serie ZK6118HGA-6, se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$M_{hp} = r_{dp} \cdot P_{hp} \quad (2.6)$$



Con:

M_{hp} .- momento de frenaje sobre las ruedas del eje delantero producido por los frenos; N·m

P_{hp} .- fuerza de frenado sobre las ruedas del tren delantero, que actúa en la periferia de las ruedas, en los puntos de contacto de las ruedas con el camino; N

r_d .- radio dinámico de las ruedas delanteras; m

El cálculo del radio dinámico depende del diámetro de la llanta, el ancho de la llanta y de un coeficiente que depende del tipo de vehículo.

$$r_d = \frac{D_0}{2} + b_0 \cdot (1 - \lambda) \quad (2.7)$$

Por lo que:

D_0 .- diámetro de la llanta; m

b_0 .- ancho de la llanta; m

$\lambda = 0,11$.- coeficiente que depende del tipo de vehículo

Se supone que entre las ruedas frenadas y el camino no hay deslizamiento. Para que sea posible el movimiento sin deslizamiento debe cumplir que:

$$P_{hp} \leq P_{\mu p} = G_p \cdot \mu \quad (2.8)$$

Con:

$P_{\mu p}$.- fuerza de adherencia de las ruedas delanteras; N

G_p .- peso de los puentes delanteros; N

μ .- coeficiente que depende de las condiciones y estructura del camino

Sustituyendo en la ecuación anterior se obtiene la siguiente expresión:

$$M_{hp} = r_{dp} \cdot P_{hp} = G_p \cdot \mu \cdot r_{dp} \quad (2.9)$$

2.3. Selección y preparación de muestras

En la Unidad Empresarial de Base (UEB) de fundición de la Empresas Mecánica del Níquel “Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche”, se fabrican tamboras de freno en dos únicas aleaciones Fe-24 y Fe-21 Ni. Se pudieron obtener dos probetas metálicas



representativas de cada aleación, mediante el vertido del metal líquido en un molde previamente confeccionado, de cada una se cogió un ejemplar y se le aplicó el tratamiento térmico que llevan las tambores (normalizado). En conjunto con estas muestras usó un ejemplar de las tambores fabricada por China Zhengzhou Yutong Group Lts., Co, de HT 250 como patrón, de igual forma se compararan las dos aleaciones con la norma ASTM A 159-83 (*Reapproved* 1993) la cual plantea que para las piezas de tambores de frenos, se exige que se fabriquen de hierro gris con un material grado G3500b, con una dureza HB = 207 - 255, Φ impresión Brinel = 4.2 - 3.8 mm (bola Φ 10 mm, carga de 3000 kg), grafito Tipo VII, dimensiones clases 3 - 5, distribución A, con matriz de perlita laminar según ASTM A 247- 67 (*Reapproved* 1998).

Se realizaron operaciones de preparación y pulido en el laboratorio de Ciencia de los Materiales del ISMM de Moa, para lo que se siguió la siguiente secuencia:

1. Fresado: las secciones de corte se maquinaron en una fresadora vertical 6P-12E con refrigeración constante.
2. Rectificado: se rectificaron dos caras en una rectificadora horizontal 6T-82-1 con refrigeración continua y los análisis se realizaron en dichas caras.
3. Pulido: se utilizó una pulidora metalográfica modelo *Rathenow-43* con el uso de papeles abrasivos de diferente granulometría (350; 500; 600 y 800), paños de fieltro y una solución de pasta abrasiva de óxido de cromo con granulometría de 3 μ m.
4. Ataque: se sumergió en ácido nítrico (peso específico 1,42) + 100 ml alcohol– *Rectif* (*Nital*), en una cantidad de 1 - 5 ml durante 15 segundos a un minuto a temperatura de 20°C.
5. Limpieza: se sumergieron en acetona para eliminar restos no deseados. Finalmente se introducen en un recipiente con etanol absoluto, lo que elimina impurezas y humedad.
6. Secado: se secaron con aire caliente a presión para eliminar cualquier vestigio de humedad.
7. Ensayo de tracción: se efectuó a partir de la fundición de dos tarugo, de acuerdo con las dimensiones que requiere la norma E-8. Una vez obtenido el producto se le aplicó un proceso de maquinado en un torno 16K20 donde finalmente se obtuvieron las probetas según las dimensiones que exige la norma para el desarrollo del estudio de tracción (Hernández, 2016).



A continuación se describe el conjunto de métodos, procedimientos y técnicas que complementaron los experimentos realizados.

2.3.1. Ensayos de desgaste gravimétrico

El ensayo típico para el desgaste gravimétrico es el llamado “*roll paper*”, donde un cilindro con papel de lija en la superficie con el que conociendo las condiciones y parámetros del ensayo tales como velocidad en min^{-1} , tipo de abrasivo y peso de la carga, se podrá conocer el comportamiento posterior del material controlando la pérdida de masa (Paumier, 2013). Este ensayo realizado según la norma ASTM G65-81 también tiene una variante en la que se utiliza un cilindro o rodillo de goma y se va depositando un mineral abrasivo, habitualmente sílice, y controlando igualmente la pérdida de masa en la probeta.

El ensayo de desgaste gravimétrico se realizó en una pulidora automática (*PM 52 D. Automatic Metallographic Sample Grinding and Polishing Machine*) marca *echoLAB*, perteneciente a la Empresa Mecánica del Níquel de Moa. Para esto, primeramente se pesaron las probetas. Luego se colocó en el disco rotatorio de la pulidora metalográfica el cual gira a 1000 min^{-1} , un papel abrasivo con granos de óxido de silicio de grado 180 como sustancia abrasiva. Se fijaron las probetas en el portaprobetas del equipo girando a 50 rev min^{-1} . Luego de encender la máquina de ensayos se aplica una carga de 0,1 N y se activó el cronómetro para un tiempo de 20 minutos. Culminado el tiempo de 20 minutos se retiraron las probetas y se realizó el segundo proceso de pesaje de las mismas. Antes de pesar cada una de las probetas se limpiaron con agua y luego con alcohol absoluto para retirar los residuos y el abrasivo seguido de un secado por aproximadamente 4 minutos.

La pérdida de peso se determinó utilizando la expresión:

$$\Delta P = G_i - G_f \quad 2.10$$

Donde:

ΔP .- pérdida de peso por desgaste abrasivo gravimétrico; g

G_i .- peso inicial de la pieza; g

G_f .- peso final; g



2.3.2. Análisis fractográfico v

Las superficies de fractura, se observaron mediante un análisis visual, este se realizó con tambores delanteras que se encontraban fracturada después de la explotación. Donde se observaron los radios de curvaturas de la pieza en esa zona y el espesor de la misma.

2.3.3. Determinación de la composición química del material

Los resultados del análisis químico se obtienen en un espectrómetro cuántico de masa *Belec Compact Port (Mobile Spectrometer for Metal Analysis)* para base hierro, marca SPECTROLAB 230 con electrodo de carbón bajo arco sumergido en atmósfera de argón. El análisis consiste en una chispa que ataca la muestra, lee el espectro y en función de la longitud de onda se determinan los componentes del material. El chispeo se realiza en tres puntos de cada probeta con una atmósfera de argón para eliminar el oxígeno. De la serie de mediciones se determina un promedio, obteniendo así el porcentaje de cada elemento que conforma la aleación.

Estas variables controlan la fundición, o sea la condición del carbono y también su forma física. El carbono puede estar combinado en forma de carburo de hierro (Fe_3C) o existir como carbono libre en forma de grafito. La forma y distribución de las partículas de carbono sin combinar influye en forma determinante sobre las propiedades mecánicas del hierro fundido. Estas aleaciones se clasifican por lo tanto, según el estado en que se encuentra el carbono en la microestructura, así como por la microestructura de la matriz.

Los principales elementos de aleación son carbono y silicio. El alto contenido de carbono incrementa la cantidad de grafito o de Fe_3C e incrementa el potencial de grafitización y fluidez del hierro fundido, sin embargo su resistencia se ve afectada, ya que se promueve la formación de ferrita y el engrosamiento de la perlita aumentando la fragilidad de la aleación (Hernández, 2016).

2.4. Determinación del proceso de simulación por el método de elementos finitos

El método de elementos finitos que se utilizara para realizar el diseño y la simulación del funcionamiento mecánico y la geometría de las tambores de freno del tren delantero de los ómnibus Yutong es el programa SolidWorks versión 2013, donde se determinarán las zonas de mayores concentraciones de tensiones bajo condiciones de carga especificada; para las



tamboras de freno del tren delantero de los Ómnibus Yutong, usando la discretización de los “Nodos intermedios”.

2.4.1. Pasos a seguir para la ejecución del método de elementos finitos

Para realizar la simulación de una pieza por el método de elementos finitos mediante el software SolidWorks es recomendable utilizar los siguientes pasos:

1. Elaboración del modelo geométrico en tres dimensiones (3D) de las piezas.
2. Creación de un estudio.
3. Selección del material utilizando la biblioteca de materiales del SolidWorks.
4. Aplicación de las condiciones de frontera.
5. Aplicación de las cargas.
6. Corrida de los estudios para la obtención de los resultados.
7. Análisis y procesamiento de los resultados obtenidos.

2.4.2. Modelación de la tambora delantera

En la figura 2.2a se muestra el modelo geométrico de la tambora, esta presenta diez agujeros por donde se une a las llantas, 5 ranuras de forma cuadrada por donde recibe la ventilación y una superficie liza interior que entra en contacto con las zapatas de freno. Se tomará como geometría fija los agujeros de unión y la carga se le aplicará en la superficie liza interior. Luego de aplicar las cargas fue posteriormente sometida al proceso de separación en elementos finitos (mallado) de forma satisfactoria. Estos fueron separados en 35 123 elementos finitos, de forma tetraédrico, se realizó lo más fino posible para obtener mayor precisión.



Figura 2.2a. Modelo geométrico de la tambora



figura 2.2 b. Mallado de la tambora



2.5. Tecnología de la producción por fundición

En algunos casos el diseño de una pieza se determina según las condiciones de trabajo y no puede ser variado, pues esto provoca la necesidad de cambiar algunos conjuntos. En este caso el fundidor debe utilizar los medios técnicos de fundición para obtener la pieza solicitada, aunque desde el punto de vista de fundición tal diseño tenga como consecuencia, complicaciones en el proceso tecnológico y encarecimiento. En muchos casos, sin embargo, el trabajo común del diseñador y el tecnólogo fundidor, permiten mejorar la construcción de la pieza y mejorar su tenacidad (Goyos y Martínez, 1985).

2.5.1. Parámetros del cálculo para la obtención de piezas por fundición

Para la obtención de las tambores delanteras por fundición, se siguieron los pasos que se enumeran a continuación y las recomendaciones que se proponen en Belay (1970), Goyos y Martínez (1985):

1. Cálculo de los espesores mínimos de pared.
2. Determinar la posición de la pieza en las cajas de moldeo.
3. Determinación de las sobremedidas de maquinado.
4. Análisis de la contracción de fundición.
5. Determinación de la inclinación de la plantilla de fundición.
6. Determinar el plano de división del molde y de la plantilla y su posición en el molde.
7. Determinar la posición del macho y sus portadas.
8. Cálculo del rechupe específico.
9. Cálculo y diseño de las mazarotas.
10. Realizar los cálculos, determinar su posición así como los dibujos de los sistemas de alimentación.
11. Determinar las dimensiones de la caja de moldeo.

2.5.1.1. Cálculo de los espesores mínimos de pared

Según Goyos y Martínez (1985) y Belay (1970) para fabricar la pieza primero se debe determinar si la misma se puede obtener por fundición. Para ello debe analizarse si sus espesores mínimos se pueden lograr por el método de fundición elegido.

$$N = \frac{2(l) + b + h}{3} \quad (2.11)$$



Donde:

N .- dimensión equivalente; m

l . – longitud; m

b . – ancho; m

h . – altura; m

Una vez determinado el valor del parámetro (N) se busca en el gráfico de la figura 2.1 (Goyos y Martínez, 1985), el espesor mínimo correspondiente a la aleación dada.

Para las piezas con $N < 0,5$ m, el espesor de las paredes puede ser de 1,5 a 2,0 mm. Para $N > 8$ m se tomará 30 mm.

2.5.1.2. Determinación de la posición de la pieza en las cajas de moldeo

Para obtener las piezas fundidas de alta calidad en el molde de mezcla es necesario tener en cuenta junto con otros factores la influencia de la gravedad. En la parte superior de la cavidad del molde se encuentran los poros de gas, defectos a causa de escoria, cavidades de concentración y porosidad. Por lo que deben seguirse las recomendaciones que a continuación se dan a la hora de colocar la pieza en el molde:

1. La mayor parte de la pieza o toda la pieza es necesario situarla en una parte del molde, preferiblemente en la parte inferior para evitar defectos en la pieza por causa de deformaciones y facilitar el montaje del molde.
2. Las superficies más importantes que son sometida al maquinado, es necesario situarla en el fondo o en caso extremo vertical u oblicua.
3. La posición de la pieza durante el llenado y la solidificación se debe corresponder con la forma de solidificación de la aleación, asegurando la obtención de piezas fundidas con porosidades de contracción mínimas y la cantidad mínima de porosidades.
4. La posición más ventajosa para las paredes delgadas de la pieza es la posición inferior, vertical u oblicua.
5. No se recomienda situar las grandes superficies en la parte superior. De ser inevitable se recomienda dividirla con nervios de contracción en superficies menores, y si son de gran longitud las superficies, el llenado se realizara en posición inclinada.



6. Los moldes se en posición vertical, si la pieza fundida tiene forma de cilindro y sus espesores externos e internos tienen que ser maquinados; aquí el moldeo se realizara en forma horizontal.
7. la mayor parte de las superficies a maquinar deben quedar en la parte inferior del molde.
8. Para eliminar el surgimiento de sopladuras de gas, la posición elegida durante el llenado tiene que asegurar la salida de los gases, preferiblemente por encima de los machos.
9. Los machos internos tienen que ocupar durante el llenado la posición más estable, y la fuerza sustentadora de los machos tiene que actuar en dirección de las portadas de los machos y no bajo algún ángulo.
10. La posición elegida para la pieza en el molde, debe asegurar una correcta ubicación del sistema de alimentación de la pieza.

2.5.1.3. Análisis de las sobremedidas de maquinado

La sobremedida es adicionada a las superficies, para que el proceso de maquinado pueda llevar la dimensiones de la pieza a las medidas establecidas en el diseño. Para obtener estas sobremedidas se tiene en cuenta las dimensiones básicas y determinantes.

La dimensión básica (Z) y la dimensión determinante (S) de las tamboras delanteras se seleccionan teniendo en cuenta las dimensiones reales de diseño de la pieza según Goyos y Martínez (1985). Los resultados de las sobremedidas de las diferentes superficies de la pieza se encuentran en la tabla 2.5 del epígrafe 2.5.5.

2.5.1.4. Análisis de la contracción de fundición

Se conoce como contracción de la aleación al cambio de volumen que experimenta esta durante su solidificación y enfriamiento, plantea así Belay (1970). Existen dos tipos de contracciones: las libres y las frenadas, estas van a estar determinadas fundamentalmente por la geometría y complejidad de la pieza.

$$E = \frac{l_m - l_p}{l_p} \quad (2.12)$$

Donde:

E - contracción de fundición; %

L_m .- dimensión de la plantilla; mm

L_p .- dimensión de la pieza fundida; mm



2.5.1.5. Cálculo de la masa de la pieza

La masa de la pieza se determina mediante el cálculo de su volumen multiplicado por el peso específico del hierro.

$$m = V \cdot \rho \quad (2.13)$$

$$V = \pi \cdot (h_1 \cdot r_1^2 - h_2 \cdot r_2^2 - h_3 \cdot r_3^2) \quad (2.14)$$

Con:

V .- volumen de la pieza; dm^3

r_1 .- radio mayor; dm

r_2 y r_3 radios menores; dm

h_1 .- altura mayor; m

h_2 y h_3 .- alturas menores; dm

ρ .- peso específico del hierro; kg/dm^3

m .- masa de la pieza; kg

2.5.1.6. Determinación de las dimensiones de los orificios

Según Goyos y Martínez (1985) los orificios de dimensiones pequeñas no se hacen generalmente en las piezas fundidas debido a las dificultades que presenta la eliminación de la mezcla de moldeo en estos orificios, lo que hace necesario introducir limitaciones en las dimensiones mínimas de los orificios que se hacen por fundición.

Para las piezas de fundición gris, maleables, nodulares y no ferrosas que tengan agujeros no es necesario obtenerlas de fundición usando:

$$d \leq 0,3 \cdot h + 10 \quad (2.15)$$

Para la que:

d .- diámetro del agujero; mm

h .- altura del agujero; mm



2.5.1.7. Cálculo de la inclinación de la plantilla

Si la pieza fundida no tiene las inclinaciones de construcción que permitan el fácil moldeo y aseguren la extracción de la plantilla de forma cómoda, será necesario adicionarlas. Estas inclinaciones se realizarán en aquellas superficies de la pieza que sean perpendiculares al plano divisor del molde para facilitar la extracción de la plantilla, por lo que se disponen en la dirección de extracción de esta.

La magnitud de las inclinaciones de moldeo se reglamenta según la norma cubana NC-1008. Esta norma establece las inclinaciones requeridas en los métodos metálicos o de madera para piezas de fundición gris, fundición blanca, fundición maleable, fundición de acero y de metales no ferrosos (Goyos y Martínez 1985).

2.5.1.8. Determinación del plano divisor de la plantilla y el molde

Conjuntamente con el análisis de la colocación de la pieza en el molde se realiza el análisis de la superficie de división del molde y del modelo. La superficie de división se determina según la forma de la pieza, las exigencias técnicas y las posibilidades prácticas del taller.

1. Para la determinación del plano divisor del molde y la plantilla debe tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones:
2. Debe de asegurarse la comodidad del moldeo y fácil extracción de la plantilla con una mínima cantidad de partes sueltas de esta.
3. La cantidad de divisiones del molde tiene que ser mínima en todos los casos, procurando que las superficies sean planas. Se admiten en algunos casos planos de división de sección perfilada, pero siguiendo una forma geométrica simple.
4. Cuando las partes sueltas formen parte de salientes y donde se haga difícil su extracción se hace necesario sustituir esta parte suelta por machos para facilitar el moldeo y extracción de la plantilla.
5. La cantidad de macho tienen que ser mínima, siempre que se pueda se reemplazarán varios machos por uno solo.
6. El plano divisor seleccionado debe asegurar la comodidad del apisonado, acabado, pintado, secado, montaje y el control de las dimensiones del molde; la seguridad de colocación de los machos, y la extracción fácil de la plantilla del molde.
7. La división del molde tiene que asegurar la salida fácil de los gases de todos los machos y cavidades del molde.



2.5.1.9. Posición del macho y sus portadas

La proyección de machos comienza por la determinación de las superficies y de la parte de la pieza fundida en la que tienen que dar forma acabada, según el diseño de la pieza, además se fijan los límites previos, entre los machos principales, luego se realiza un examen detallado de las condiciones de fabricación y utilización de cada macho en que se determina la dirección del apisonamiento de los mismos, su fijación con los armazones, ventilación, composición de la mezcla, condiciones de secado; control de la calidad en que se determinan los contornos, dimensión de las portadas de los machos (*printers* o apoyos) y los juegos alrededor del contorno de toda la portada (Goyos y Martínez 1985).

Para la proyección de los machos debe tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. El macho debe dar forma acabada a la superficie de la pieza fundida con la precisión adecuada, su instalación en el molde tiene que ser fácil y asegurar la posibilidad del examen y control de las dimensiones del molde.
2. La construcción del macho tiene que permitir su fácil producción y permitir su construcción en máquinas.
3. El macho tiene que asegurar la salida libre de los gases que se forman durante el llenado y la extracción fácil de la mezcla de machos de la pieza durante su limpieza.
4. El macho debe poseer gran flexibilidad, resistencia mecánica y térmica, también debe ser suficientemente resistente a la erosión.

2.5.1.10. Cálculo del rechupe específico

Para el cálculo del rechupe específico se debe tener en cuenta el tipo de aleación y el porcentaje de carbono, el valor de este tiene gran importancia en el cálculo de las mazarotas.

$$RE = 4.9 - \%C \left(2.9 - \frac{1}{\%Si} \right) + \frac{6.3 - \log d}{\%Si} \quad (2.16)$$

Siendo:

RE - rechupe específico; %

d - espesor de la pieza; mm

2.5.1.11. Cálculo y diseño de las mazarotas

La determinación de las posiciones de las mazarotas, así como la cantidad de las mismas se pueden determinar al observar la propia geometría de la pieza y analizar los módulos de



las diferentes partes de la misma, intensificándose este valor en torno a los nudos térmicos. Según el análisis, las mazarotas deben estar en correspondencia con las zonas de mayor masividad (mayor nudo térmico).

La mazarota debe contener suficiente estado líquido para alimentar la pieza teniendo en cuenta la utilización del metal de la mazarota y su propio rechupe.

2.5.1.11.1. Cálculo de la cantidad de mazarotas

Para determinar el número de mazarotas es conveniente considerar factores geométricos, la cantidad de estas, la dimensión de su cuello y la distancia de alimentación se utiliza la siguiente expresión:

$$i = \frac{L - n \cdot DA_{II} - m \cdot DA_{III}}{D_{cm} + 2DA_I} \quad (2.17)$$

En la que:

i.- número de mazarotas necesaria

L.- longitud a alimentar de la pieza; mm

n.- número de extremos libres en la longitud analizada

m.- número de enfriadores presentes en la longitud analizada

D_{cm}.- dimensión del cuello de la mazarota según el eje de la longitud *L*; mm

T.- espesor; mm

DA.- distancia de alimentación; mm

$$DA = 1,5 \cdot T \quad (2.18)$$

2.5.1.11.2. Cálculo de las dimensiones de las mazarotas

El cálculo de las dimensiones de las mazarotas se realiza según recomendaciones de Belay, (1970); Goyos y Martínez, (1985), a continuación se enumeran los parámetros a tener en cuenta en el cálculo de las dimensiones de la mazarota.

Mazarotas laterales cilíndricas

Diámetro de la esfera de metal

$$d_0 = 0,4 \sqrt[3]{V_p} \quad (2.19)$$



V_p .-volumen a alimentar por la mazarota; mm^3

Dimensiones del cuello de la mazarota

$$B = d = 1,5 \cdot T \quad (2.20)$$

Diámetro del círculo inscripto

$$Dm = d_0 + B \quad (2.21)$$

Longitud del cuello de la mazarota

$$h = 0,2 \cdot Dm \quad (2.22)$$

Radio de redondeo

$$R = 0,2 \cdot Dm \quad (2.23)$$

R .-radio del fondo de la mazarota; mm

$$R_1 = 0,05 \cdot Dm \quad (2.24)$$

R_1 .-radio del cuello de la mazarota; mm

Altura de la mazarota

$$Hm = d_0 + 1,7Dm \quad (2.25)$$

2.5.1.12. Cálculo del sistema de alimentación

El cálculo del sistema de alimentación se realiza en dos etapas: cálculo del área de control y posteriormente cálculo de tiempo de colada, teniendo como referencia las recomendaciones de Belay (1970), Goyos y Martínez (1985).

2.5.1.12.1. Cálculo de la sección de alimentación

El sistema de alimentación es el responsable de conducir el metal líquido a la cavidad del molde en el punto adecuado y a la velocidad conveniente. La mayor complejidad en estos cálculos se debe precisamente a la esencia del proceso de fundición, es decir, al hecho de que el metal pierda el calor que almacena y solidifique dentro del molde.

$$\sum Fa = \frac{Q}{T \cdot K} \quad (2.26)$$



Donde:

$\sum Fa$.-sección de los alimentadores en; cm^2

Q .- peso del metal Vertido en el Molde; kg

T .- duración del vertido en; s

K .- velocidad específica de vertido en; $\text{kg/ s} \cdot \text{cm}^2$

2.5.1.12.2. Cálculo de la duración del vertido

Para el cálculo de la duración de vertido del material en el molde hay que tener en cuenta el peso del metal que se va a verter en el molde, del coeficiente de rectificación para el espesor de la pieza y de un parámetro fijo que depende del tipo de aleación a emplear.

$$T = S\sqrt{2 \cdot P \cdot Q} \quad (2.27)$$

P .-parámetro fijo = 0,62.

S .-coeficiente de rectificación para el espesor de la pieza.

2.5.1.12.3. Cálculo de la velocidad específica

El valor de la velocidad especifica (k) varía en los límites de 0,55 – 1,2 de acuerdo con la densidad relativa de la pieza.

$$K = \frac{Q}{V} \quad (2.28)$$

V .-volumen de la pieza; dm^3

2.5.1.12.4. Cálculo de las áreas del sistema de alimentación

Después de determinadas las relaciones de la sección de alimentación se procede al cálculo de las dimensiones de los alimentadores, escoriadores y Tragadero y se normalizan las mismas según Belay (1970) en dependencia de la sección de estos.

Sección del alimentador

$$\sum Aal = \sum Fa \cdot Aal \quad (2.29)$$

Aal .-área del alimentador; cm^2

Sección del escoriador



$$\sum Aesc = \sum AFa \cdot Aesc \quad (2.30)$$

Aesc.-área del escoriador; cm²

Sección del tragadero

$$\sum Atrag = \sum Fa \cdot Atrag \quad (2.31)$$

Atrag.- área del tragadero; cm²

Diámetro Inferior del tragadero

$$\sum Atrag = Dinf \quad (2.32)$$

Diámetro superior del tragadero

$$Ds = Dinf \cdot 1,25 \quad (2.33)$$

2.5.1.13. Determinación de las dimensiones de las cajas de moldeo

Según Goyos y Martínez (1985) las dimensiones de la caja de moldeo se determinan por las dimensiones de la pieza fundida, por la cantidad de piezas en la caja de moldeo, por su posición, las dimensiones de las mazarotas, sistema de alimentación y por las dimensiones de la portada de sus machos.

2.6. Conclusiones del capítulo II

- La metodología de cálculo propuesta permitirá determinar los esfuerzos a los que van estar sometidas las tambores de frenos delanteras para ómnibus Yutong, así como la obtención de la tecnología por fundición.
- Se ha desarrollado el procedimiento experimental para la obtención de la resistencia al desgaste, por el método gravimétrico, con el empleo de papeles abrasivos con granos de óxido de silicio de grado 180.

CAPITULO III. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Introducción

El proceso de obtención de piezas por fundición es hoy día de suma importancia en la construcción de maquinaria. La aplicación fundamental de este proceso es en aquellas piezas de complejidad tal, que dificultan grandemente su obtención por otros métodos de mayor simplicidad como la forja o el maquinado entre otros.

Objetivo del capítulo: exponer los resultados de cada uno de los análisis y cálculos que permitirá realizar el diseño y la tecnología de fundición para la fabricación de tamboras delanteras de los ómnibus Yutong.

3.1. Comportamiento de la disponibilidad de los ómnibus

El cálculo de la disponibilidad se realizó en el período del año 2016, donde se tuvo en cuenta el número total de horas (horas calendario) con el número de horas de mantenimiento (preventivo, correctivo) del mes correspondiente y también se consideró para el cálculo que el equipo opera 12 horas al día (figura 3.1)

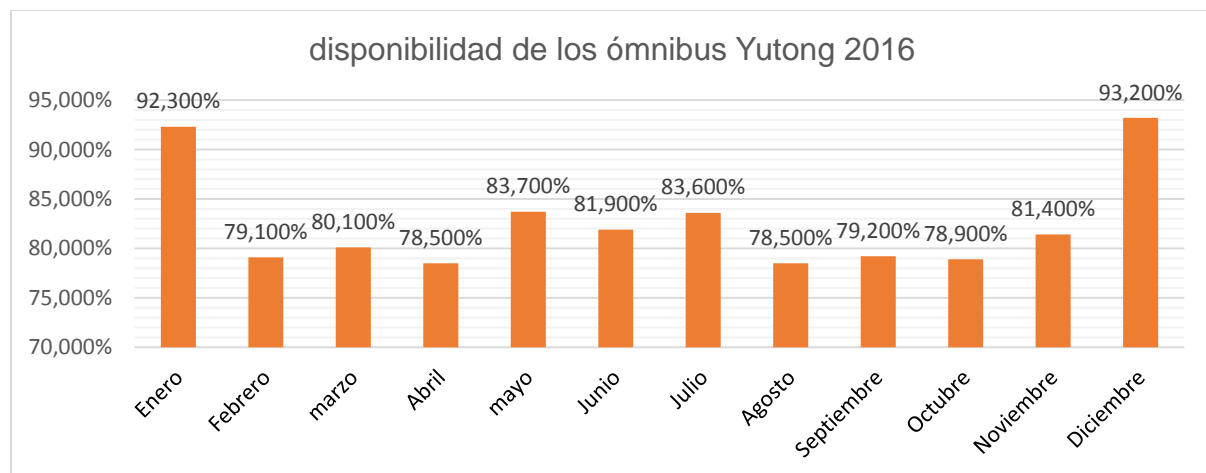


Figura 3.1. Comportamiento de la disponibilidad de los ómnibus Yutong 2016

Los resultados del análisis de la disponibilidad demuestran cierta variación a través de todo el año, notándose que en los meses de abril y agosto se presentan los valores inferiores de (78,5 %) de disponibilidad, la presencia de los picos más bajos se presenta al cabo de cuatro meses lo cual constituye el tiempo máximo que se debe esperar para la aplicación del mantenimiento. Teniendo en cuenta estos valores se pudo apreciar que el promedio en el año fue de 82,53 %.



3.2. Determinación de los esfuerzo del proceso de frenado

Para el cálculo de los esfuerzos en las tambores de freno se tuvo en cuenta el autobús de modelo ZK6118HGA-6 (Arabia Saudita), en el cual se consideró el uso del autobús (carga de pasajeros: 54/70), el pesos totales máximos y la carga de ejes correspondientes. Utilizando las ecuaciones descrita en el capítulo 2 se procede con el cálculo, los resultados se muestran a continuación.

3.2.1. Resultado del cálculo del radio dinámico

Para ese cálculo del radio dinámico se tuvo en cuenta el diámetro de la llanta, que para este caso fue $D_0 = 0,57 \text{ m}$, el ancho de la llanta ($b_0 = 0,29 \text{ m}$) y el coeficiente que considera el tipo de vehículo (en este caso es un vehículo pesado por lo que $\lambda = 0,11$). Al sustituir los datos de las variables en la ecuación 2.7 se obtiene:

$$r_d = 0,54 \text{ m}$$

El valor de radio dinámico, obtenido, coincide con el que posee el ómnibus analizado.

3.2.2. Determinación de momento de frenado en las tambores delantera

Teniendo en cuenta la ecuación 2.8 donde se demuestra la igualdad entre las fuerzas de frenaje y adherencia sobre las ruedas del eje delantero y considerando el peso del puente delantero $G_p = \frac{55\,000}{2} = 27\,500 \text{ N}$, así como el coeficiente de adherencia que depende del camino, en este caso es de asfalto y seco por lo que $\mu = 0,8$. De acuerdo con estos datos y utilizando la ecuación 2.9 se obtiene el momento de frenado:

$$M_{hp} = 11\,880 \text{ Nm}.$$

Este momento de frenado será ejercido sobre cada una de las tambores delanteras, una vez accionado el pedal de freno.

3.3. Selección y preparación de las muestras

Una vez preparada las muestras del Fe21Ni y del Fe24 en la Empresa Mecánica del Níquel “Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche”, se le realizaron varios análisis, de los cuales se muestran los resultados a continuación:

- Ensayo de desgaste gravimétrico
- Análisis fractográfico



- Composición química del material

3.3.1. Ensayo de desgaste gravimétrico

Según Rojas (2011), se ha demostrado experimental y teóricamente que la dureza del material está correlacionada con el grado de abrasión, y que además ha quedado manifestada la dependencia de la resistencia a la abrasión, de la composición química, dureza y microestructura de un material.

El desgaste abrasivo de los cuerpos que trabajan a impacto repetido y por fricción, se caracteriza por la adherencia molecular, de cuyo resultado se presentan múltiples rasguños y cortes del metal, ocasionado por los procesos de fatiga y acritud de los materiales. Por lo tanto deben estar contruidos con un material de gran resistencia a la abrasión que garantice una elevada resistencia al desgaste durante un período de explotación razonable.

En la tabla 3.1 se muestran los valores de los pesajes realizados a las probetas de Fe24 y de Fe21 Ni correspondiente a las tamboras de Yutong.

Tabla 3.1. Valores de los pesos de las probetas

Material	probeta	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)
Fe24	1	76,908	76,47
	2	92,41	91,94
Fe21 Ni	3	104,65	104,4
	4	81,95	81,72

La tabla 3.2 refleja la cantidad de material desgastado en función de la masa en gramos, calculado a partir de los datos expuestos en la tabla anterior.

Tabla 3.2. Material desgastado

Material	probeta	ΔP (g)
Fe24	1	0,438
	2	0,47
Fe21Ni	3	0,25
	4	0,23

La variación de masa (ΔP) correspondiente a estos materiales se calculó a partir de la expresión 2.10 que relaciona la masa inicial y la masa final como la substracción de la mayor menos la menor. Como se puede observar en la tabla 3.2 la probeta de menor variación de peso es de $0,23\text{ g}$ perteneciente al Fe 21Ni. Así que como es el material más resistente al desgaste, será el que se utilizará para la tambora delantera.

3.3.2. Análisis fractográfico

El análisis visual se evidencia, que ocurre la aparición de grietas en los orificios de ventilación (colocados para disminuir las temperaturas por fricción) las cuales se propagan por todo el borde superior (ver figuras 3.2 y 3.3), y a través de la superficie interior de forma transversal. Este fenómeno toma lugar producto a la fragilidad que dichos orificios le introducen al diseño, ya que el frente de la fractura comienza por la parte interior de estos hasta propagarse por toda la pieza (Hernández, 2016).



Figura 3.2. Zonas colapsadas de las tamboras de freno (fuente: Hernández, 2016)

La figura 3.3 representa una vista general de la rotura catastrófica en las tamboras, donde se muestra más detalladamente la fractura y su consecuencia. Las flechas indican los puntos concentradores de tensiones por donde presumiblemente se inició la fractura.



Figura 3.3. Concentraciones de tensión en las tambores de freno (fuente: Hernández, 2016)

3.3.3. Composición química del material

Para la composición química de las probetas estudiadas se tomaron los resultados de tres análisis de chispas, realizados a ambos materiales, para sacar el promedio de los diferentes porcentos de cada componente. Los valores de la media sacada se expresan en las tablas 3.3 para las probetas de Fe21Ni y 3.4 para las probetas de Fe24.

Tabla 3.3. Composición química del Fe21 Ni

Grado G 3500b Fe21 Ni							
Material	C	Si	Mn	S	P	Ni	Fe
ASTM A 159	≤3,4	1,3-1,8	0,6-0,9	≥0,12	≥0,15	≥ 2,1	Resto
Probeta	3,48	1,68	0,763	0,0650	0,049	0,591	Resto

Tabla 3.4. Composición química del Fe24

Grado G 3500b Fe24							
Material	C	Si	Mn	S	P	Ni	Fe
ASTM A 159	≤3,4	1,3-1,8	0,6-0,9	≥0,12	≥0,15	≥ 2,4	Resto
Probeta	3,27	1,61	0,801	0,0532	0,040	0,119	Resto

Al comparar la composición química, establecida por las normas y, las determinadas por análisis espectral, se observa que la aleación de Fe24 difiere un poco de la norma presentando un menor contenido de carbono, sin embargo en la aleación de Fe21Ni puede decirse que los elementos se ajustan a las mismas, por lo que se destaca una pequeña diferencia entre ambas aleaciones.

3.4. Simulación por el método de elementos finitos para la tambora delantera

Para realizarle la simulación por el método de elementos finitos, a las tamboras delanteras actuales, se escogió el material en la biblioteca de SolidWorks, que en este caso es una fundición gris, y aplicadas las cargas en la cara correspondiente (donde interactúa la zapata), se realizó un análisis de los resultados, donde se obtuvieron una tensión de von Mises de 43,895 MPa. Estas tamboras actuales realizan con Fe24, el cual posee un límite de rotura de 88 MPa, por lo que el coeficiente de seguridad obtenido es de 2.

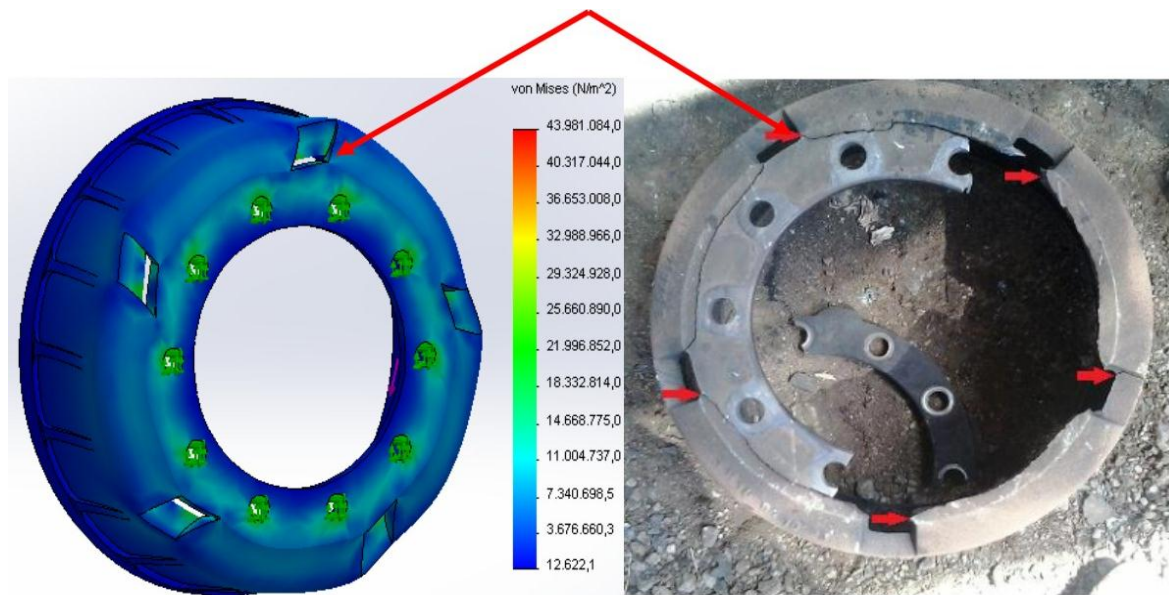


Figura 3.5. Tensiones de von Mises en las tamboras actuales

Como se puede observar estos valores se presentan por todo el borde superior, a partir de los orificios de ventilación. En las zonas de concentración de tensiones coinciden con las de las reflejadas en la imagen tomada a las tamboras actuales, según el análisis fractográfico.

En la figura 3.6 se muestran las deformaciones con valores de $2,824 \times 10^{-002}$ mm debido al momento torsor que se le aplica a la tambora, esto explica lo reflejado en el análisis

fractográfico. Como estas deformaciones son muy elevada y el límite de rotura es bajo, el material no puede soportar estas distorsiones.

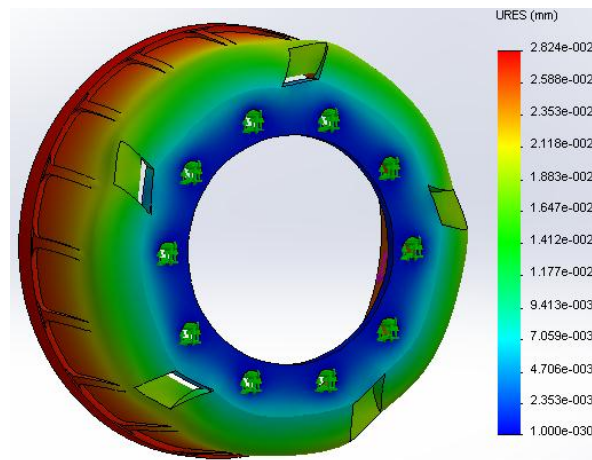


Figura 3.6. Desplazamientos tambora actual

Se realizó un nuevo diseño (ver anexo 4), se eliminaron concentradores de tensiones disminuyendo los radios de curvatura y se aumentó el espesor donde se encuentran los orificios de ventilación y los agujeros de fijación, además de cambiar a Fe21 Ni. Aplicándole las mismas condiciones de trabajo a este, las tensiones se distribuyen en gran parte de la pieza y las máximas tensiones que pueden surgir toman valor de 22,682 MPa como se puede observar en la figura 3.7. Este material posee un límite de rotura de 140 MPa, si se analiza con el de las máximas tensiones surgida en el nuevo diseño, se tiene un coeficiente de seguridad de 6,17.

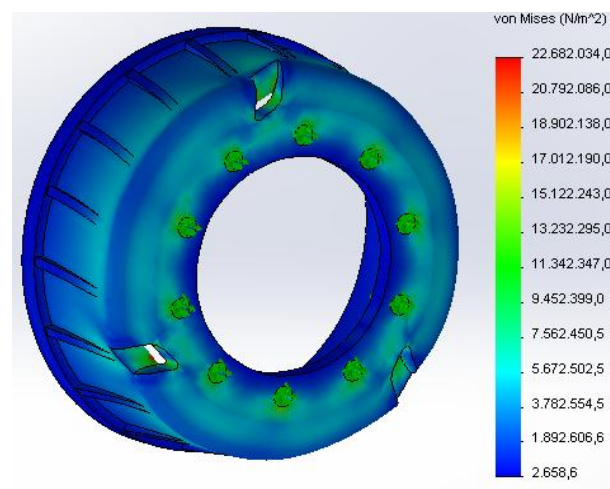


Figura 3.7. Tensión de Von Mises en el nuevo diseño

Con el nuevo diseño realizado se logró una mejor distribución de tensiones, donde las mismas disminuyen en un 49 % con respecto a las tambores actuales y el coeficiente de seguridad aumentó a 6,17.

Si se observan los desplazamientos en la figura 3.8, para el nuevo diseño, toman valores de $2,119 \times 10^{-002}$ mm, los cuales son considerablemente pequeño. Esto se logra a partir de cambio de material y del nuevo cambio de geometría.

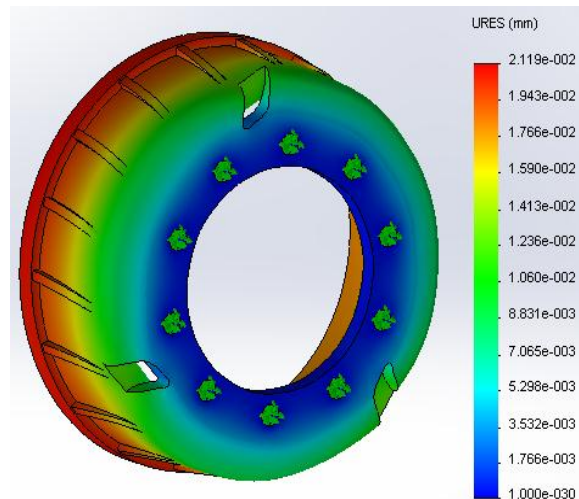


Figura 3.8 desplazamientos en nuevo diseño

Del análisis de los resultados, y la modelación realizada, resultó que tanto los espesores mínimos y los radios de curvatura como los orificios de ventilación, definen la zona donde se localiza el campo de máximas tensiones y el origen de la fractura de los elementos. Con el nuevo diseño se logró que las tensiones disminuyeran un 49 %, los desplazamientos un 15% y un aumento de un 70 % del coeficiente de seguridad, el cual garantizará suficiente seguridad para la vida de las personas.

3.5. Cálculo de la tecnología de la producción por fundición

La fundición presenta una incidencia notable en la industria mecánica de cualquier país debido a que mediante este proceso tecnológico se fabrican casi todas las piezas de repuesto, a continuación se exponen todos los resultados de cada uno de los análisis y cálculos que nos permitieron lograr la tecnología de fundición para la fabricación de tambores delanteras de los ómnibus Yutong.

3.5.1. Parámetros del cálculo para la obtención de piezas por fundición

Para la obtención de los resultados de tecnología de fabricación por fundición de las tambores delanteras, se siguieron los pasos mencionado en el capítulo II, la cual es unas de las recomendaciones que se proponen en Belay (1970) y Goyos y Martínez (1985).

3.5.1.1. Cálculo de los espesores mínimos de pared

Según Goyos y Martínez (1985) y Belay (1970) para fabricar la pieza primero se debe determinar si la misma se puede obtener por fundición. Para ello debe analizarse si sus espesores mínimos se pueden lograr por el método de fundición elegido.

De acuerdo con la ecuación (2.11) donde para la delantera para $l=0,436$ m; $b=0,029$ m y $h=0,157$ m se puede determinar el valor de:

$$N=0,35 \text{ m.}$$

La pieza no presenta grandes dificultades para su obtención por fundición. Los espesores son adecuados para el tamaño de la pieza según los criterios de cálculo de los espesores mínimos.

3.5.1.2. Posición de la pieza en las cajas de moldeo

En este caso se tuvieron en cuenta todos los aspectos influyentes para lograr la mejor solución. Por esto la pieza se ubicó en la parte inferior del molde (figura 3.9). Se colocó de forma vertical, debido a que la pieza tiene forma cilíndrica, donde la parte de los orificios ira situada hacia abajo porque en la parte superior de la cavidad del molde se encuentran los poros de gas, defectos a causa de escoria, cavidades de concentración y porosidad.

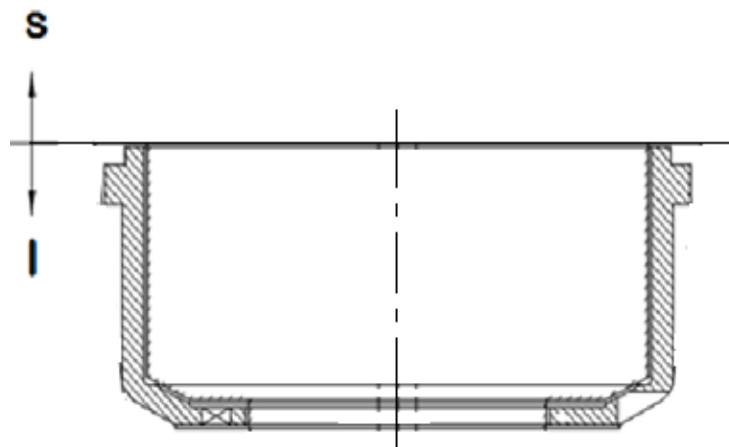


Figura 3.9. Posición de la pieza en la caja de moldeo



3.5.1.3. Análisis de las sobremedidas de maquinado

Las superficies circulares horizontales están todas conjugadas entre sí por lo que puede calcularse una sola sobremedida para las cuatro superficies partiendo de las dimensiones de las más alejadas.

La superficie cilíndrica externa solo está posicionada con respecto al eje de la pieza y será otro sistema de sobremedidas.

Las sobremedidas de maquinado van a estar dadas por el grado de precisión B-2 según la norma cubana NC-1600 obtenidas de la tabla 2.9 del texto Tecnología de la fundición, (Goyos y Martínez, 1985). En las tablas 1 se definen la dimensión básica (z), la dimensión determinante(s) y el sobre espesor de maquinado (t) para las tambores delanteras.

Tabla 1. Sobremedidas de maquinado.

Superficies	Z(mm)	S(mm)	t(mm)
Horizontales	192	462	5
Exteriores	462	462	5

Como se puede observar en la tabla anterior a la pieza se le dará una sobremedida de 5 mm en las superficies horizontales y en las exteriores

3.5.1.4. Análisis de la contracción de fundición

Para la tambora la delantera la contracción libre 1 %, ver tabla 2.11 epígrafe 2.5.11 de Goyos y Martínez (1985). Esta contracción será aumentada a la dimensión de la plantilla para que una vez solidificada la pieza fundida tenga las dimensiones nominales.

3.5.1.5. Cálculo de la masa de la pieza

De acuerdo con la ecuación (2.13) y en correspondencia con los valores de $r_1=2,31$ dm, $r_2=2$ dm; $r_3=1,2$ dm; $h_1=1,92$ dm; $h_2=1,7$ dm y $h_3=0,22$ dm el volumen de la pieza es $V_p=5,594$ dm³.

La masa de la pieza según la ecuación (2.14) es $m= 40,278$ kg ya que el peso específico del hierro es $\rho =7,85$ kg/dm³.

3.5.1.6. Dimensiones de los orificios

Según la ecuación (2.15), donde para la tambora delantera $h = 22$ mm, se obtiene como valor:

$$d = 16,6 \text{ mm}$$

Como los agujeros más pequeños que posee la tambora delantera son los de fijación con una dimensión de 22,5 mm (mayor que 16,6 mm), todos los orificios de la pieza se obtendrán por fundición.

3.5.1.7. Determinación de la inclinación de la plantilla

Las inclinaciones se realizarán en las superficies de la pieza que sean perpendiculares al plano de división del molde para facilitar la extracción de la plantilla, deben estar dispuestas en la dirección de extracción de esta, donde $\alpha = 2^\circ$ según Goyos y Martínez (1985), como se puede observar en la figura 3.10.

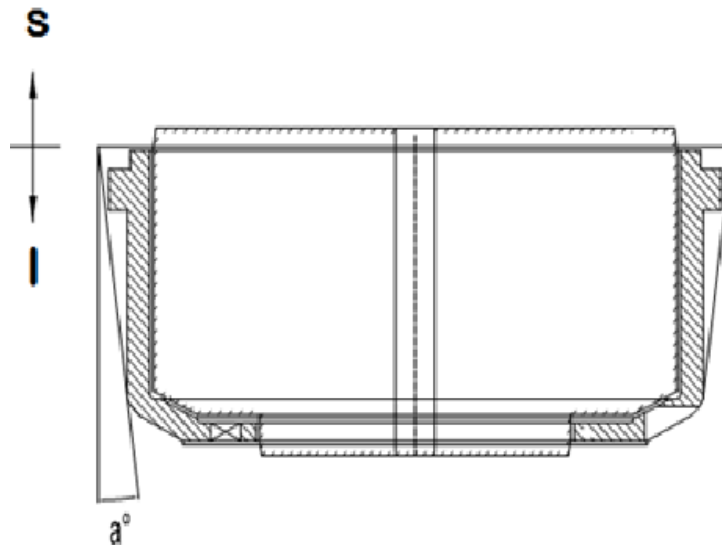


Figura 3.10 Tipo de inclinación para las tambores delanteras

3.5.1.8. Determinación del plano divisor de la plantilla y el molde

Conjuntamente con el análisis de la colocación de la pieza en el molde se realizó el análisis de la superficie de división del molde y de la plantilla. La superficie de división se determinó según la forma de la pieza, las exigencias técnicas y las posibilidades prácticas del taller. Con el plano divisor del y de la plantilla que se muestra en la figura 3.11, se garantiza comodidad para el moldeo asegurando la comodidad del apisonado, acabado, pintado,

secado, montaje y el control de las dimensiones del molde; la seguridad de colocación de los machos, y la extracción fácil de la plantilla del molde.

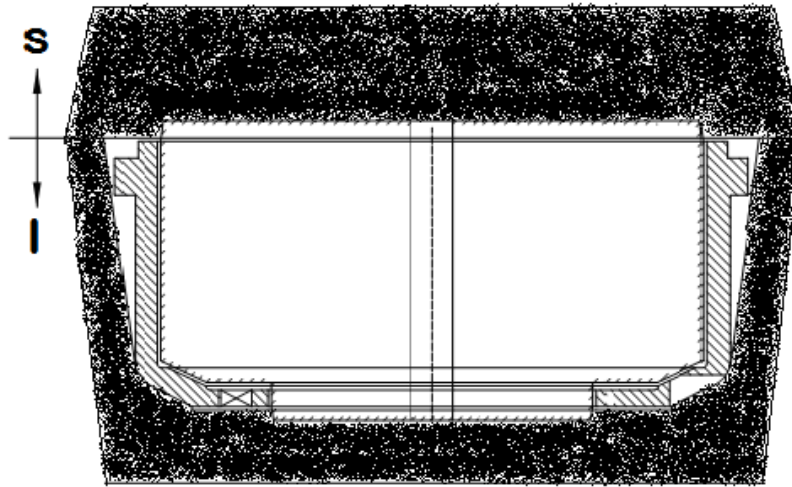


Figura 3. Ubicación de la plantilla en el molde con la inclinación de salida

3.5.1.9. Determinación de la posición del macho y sus portadas

El macho se ubica de forma vertical en la parte inferior del molde. Este debe dar forma acabada a la superficie del agujero de la pieza con la precisión recomendada, tiene que garantizar la salida libre de los gases, su fácil construcción y su fácil extracción durante el proceso de limpieza. El macho tiene que poseer gran resistencia mecánica, flexibilidad, resistencia térmica, resistencia a la erosión, según recomendaciones de Belay (1970), Goyos y Martínez (1985).

Las dimensiones de las portadas del macho y los ángulos de inclinación de estas se determinan mediante las tablas 2.14 y 2.17 del texto Tecnología de la fundición de Goyos y Martínez (1985) respectivamente. Donde se obtuvo como dimensiones de la portada de los machos (inferior y superior) 25 mm, con un ángulo de 7° .

3.5.1.10. Determinación del rechupe específico en el Fe- 21 Ni

Para el cálculo del rechupe específico se tuvo en cuenta el tipo de aleación y el por ciento de carbono, el valor de este tiene gran importancia en el cálculo de las mazarotas. Teniendo en cuenta la ecuación (2.16) el 3,48 % C y el 1,68 % Si, el rechupe es:

$$RE = 5,58 \%$$



La pieza debe poseer mazarotas que garanticen este rechupe a la hora de la solidificación, para que en la misma no surjan defectos.

3.5.1.11. Cálculo y diseño de las mazarotas

La ubicación de mazarotas se determinaron al observando la geometría de la pieza y al analizar los módulos de las diferentes partes de la misma, intensificándose este valor en torno a los nudos térmicos. Según el análisis, las mazarotas se colocarán en la parte superior de la pieza debido a que es la zona de mayor nudo térmico.

3.5.1.11.1. Cálculo de la cantidad de mazarotas

Para determinar el número de mazarotas es conveniente considerar factores geométricos, la dimensión de su cuello y la distancia de alimentación. La parte sobre la cual irán las mazarotas presenta una sección de 72x83 mm para la tambora y rectificando la circunferencia por el diámetro medio de la pieza la longitud es de aproximadamente $L = 310$ mm, $D_{cm} = 29$ mm, $DA = 43,5$ mm y considerando que $n=m=0$ porque en la pieza no hay efectos terminales por ser circular. Si se sustituye en la expresión (2.17) la cantidad de mazarotas es $i=4$.

El número de mazarotas coincide con el utilizado en la Empresa Mecánica del Níquel “Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche”.

3.5.1.11.2. Cálculo de las dimensiones de las mazarotas

El cálculo de las dimensiones de las mazarotas se realiza según recomendaciones de Belay (1970); Goyos y Martínez (1985), a continuación, se presentan las dimensiones de las mazarotas.

El diámetro de la esfera de metal teniendo en cuenta el volumen de la parte de la pieza a alimentar $V = 1,07 \text{ dm}^3$ y sustituyendo en la ecuación (2.19) es de $d_0 = 40$ mm.

El cuello de la mazarota considerando el espesor de la pieza $T = 29$ mm y sustituyendo en la ecuación (2.20) es de $B = 43$ mm.

Sustituyendo en la ecuación (2.21) se obtiene el diámetro inscripto $D_m = 83$ mm.

Sustituyendo en la ecuación (2.22). La longitud del cuello de la mazarota es $h = 16,6$ mm al igual que el radio del fondo de la mazarota según la ecuación (2.23). El radio del cuello de



la mazarota según la ecuación (2.24) es $R_1=4,15$ mm. La altura de la mazarota según la ecuación (2.25) es de $H_m=113$ mm.

Con las dimensiones de estas mazarotas se garantiza aportar el material necesario, para que todo el rechupe que ocurra en el molde, durante la solidificación de la pieza, sea absorbido por ellas.

3.5.1.12. Cálculo del sistema de alimentación

El cálculo del sistema de alimentación se realiza en dos etapas: cálculo del área de control y posteriormente cálculo de tiempo de colada, teniendo como referencia las recomendaciones de Goyos y Martínez (1985).

3.5.1.12.1. Cálculo de la sección de alimentación

La sección de los alimentadores depende del peso del metal vertido en el molde, de la duración del vertido y de la velocidad específica de vertido. Según la ecuación (2.26):

$$\sum Fa = 3,54.$$

3.5.1.12.2. Cálculo de la duración del vertido

La duración del vertido depende del coeficiente de rectificación, en el caso de la tambora delantera, para el espesor medio de la pieza $S=1,5$ y con un parámetro fijo $P=0,62$, según la ecuación (2.27):

$$T=11,78 \text{ s}$$

3.5.1.12.3. Cálculo de la velocidad específica

La velocidad específica depende, de la densidad relativa de la pieza que para la tambora es $\delta=7,85$ por lo que la velocidad específica según la ecuación (2.28) es:

$$K=1,2$$

3.5.1.12.4. Cálculo de las áreas del sistema de alimentación

Después de determinadas las relaciones de la sección de alimentación se procede al cálculo de las dimensiones de los alimentadores, escoriadores y tragadero y se normalizan las mismas según Belay (1970) en dependencia de la sección de estos.



La sección del alimentador, escoriador y tragadero depende del tamaño de la pieza, en este caso la pieza es mediana por lo que las secciones del sistema de alimentación se afectan por (1), (1.1) y (1.15) respectivamente es decir:

El área el alimentador según la ecuación (2.29) es de:

$\Sigma A_{al} = 3,54 \text{ cm}^2$ por lo que tendrá las siguientes dimensiones:

Ancho inferior = 22 mm; ancho superior = 18 mm; altura = 11 mm y longitud = 81 mm.

En el escoriador según la ecuación (2.30) el área es de:

$\Sigma A_{esc} = 3,89 \text{ cm}^2$

Por lo que tendrá las dimensiones siguientes:

Ancho inferior = 31 mm; ancho superior = 21 mm; altura = 31 mm y longitud = 180 mm.

El área tragadero según la ecuación (2.31) es de:

$\Sigma A_{trag} = 4,07 \text{ cm}^2$

Por lo que el diámetro inferior es $D_{inf.} = 23 \text{ mm}$ y el diámetro superior es $D_{sup.} = 29,9 \text{ mm}$ según las ecuaciones (2.32) y (2.33) respectivamente.

3.5.1.13. Determinación de las dimensiones de las cajas de moldeo

Las dimensiones de la caja de moldeo no deben ser excesivas porque aumenta la laboriosidad de la producción del molde y el consumo de la mezcla de moldeo. Las distancias mínimas entre las diferentes partes de la cavidad del molde y las partes de la caja de moldeo se obtienen según Goyos y Martínez, (1985).

Superior 1000x800x250 mm

Inferior 1000x800x350 mm

3.6. Evaluación económica

Para la realización de la valoración económica de la tambora delantera para ómnibus Yutong, se tomaron los datos de la ficha de costo realizada por la Unidad Empresarial de Base (UEB) de Fundación de la Empresa Mecánica del Níquel “Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche”, tendiendo presente los procesos tecnológicos que participan en la elaboración de estas tamboras.



El precio de las mismas, en el proceso de fundición, basado en los elementos de gastos que se reflejan en la ficha de precio, tales como los gastos de materia prima y materiales, gastos de fuerza de trabajo, gastos indirectos de producción, gastos generales y de administración y otros es de 343,96 y 149,04 CUP+CUC respectivamente, cuando se hacen la comparación con los precios de importación, que para la tambora delantera es de € 200.00, este precios se incrementan con la trasportación que dependen de la situación geográfica del suministrador, por este análisis se considera que económicamente es recomendable lograr potenciar la asimilación de esta producción en el taller de Fundición de la Empresa Mecánica del Níquel y de esta forma contribuir a una de las indicaciones de nuestro País que es la sustitución de importaciones.

3.7. Evaluación ecológica

Las tamboras que son desechadas se tiran en las cunetas de las carreteras o enviada a los desechos de taller de reparación, lo que trae como consecuencia contaminación para el medio ambiente. En el área de preparación de la mezcla, pueden ocurrir grandes emanaciones de partículas de polvo de las arenas, la Bentonita, y de otros aditivos que se utilizan en la propia preparación de la mezcla o en la elaboración de los moldes como son: el grafito, la arena sílice, entre otros, que se utilizan como elementos de separación de los moldes, así como aditivos para disminuir la penetración metálica en forma de polvo o pinturas. Por lo que en esta zona se necesitan sistemas de succión de polvos potentes, para evitar su dispersión al resto del taller de fundición.

3.8. Conclusiones del capítulo III

- Una vez determinado los esfuerzos a la que están sometidas las tamboras delanteras se desarrollaron las simulaciones a la desarrollada en china y a la del nuevo diseño, donde se disminuyeron las tensiones un 49 % y las deformaciones un 15 %.
- Se realizó la tecnología de fundición para la tambora delantera, en la que se determinó que se usaran tres mazarotas y un incremento del espesor en la cara de fijación.



Conclusiones generales

1. La geometría de la propuesta de diseño de las tamboras delanteras, para ómnibus Yutong, realizada garantizará mayor resistencia mecánica, teniendo en cuenta que se reducen las tensiones en un 49 % respecto a la tambora original, lo que garantizará una mayor durabilidad de esas piezas para las condiciones de explotación de la base de ómnibus de la Empresa de Servicio a la Unión del Níquel.
2. Se determinó que el momento de frenado ejercido a las tamboras delanteras de los ómnibus Yutong (11 880 N·m), el que garantiza las paradas de la marcha cuando sean necesarias.
3. La tecnología de fundición de las tamboras delanteras, para ómnibus Yutong, desarrollada, permitió establecer 5 mm como sobremedida en la superficie a maquinar y se determinó que era necesario el uso de 4 mazarotas para el proceso de solidificación.
4. El análisis de resistencia al desgaste muestra que el hierro 21 posee mejor comportamiento para las condiciones de explotación de las tamboras delanteras de ómnibus Yutong.
5. La valoración económica realizada muestra que para obtener la tambora rediseñada es necesario un costo de 343,96 y 149,04 CUP+CUC respectivamente.



Recomendaciones

- Realizarle el proceso de maquinado, hasta dejar las tamboras delanteras de ómnibus Yutong diseñadas con las medidas correspondientes.
- Aplicar un tratamiento térmico de normalizado, antes del maquinado, para mejorar sus propiedades mecánicas.
- Recomendar a la Empresa Mecánica del Níquel y a otras empresas donde se fabriquen piezas fundidas similares a las estudiadas, aplicar los resultados obtenidos en esta investigación.



BIBLIOGRAFÍA

1. Abramos, G. G. Manual del Joven fundidor (fundición en moldes de arena- arcilla). Editorial Escuela Superior de Moscú. 1968.
2. Alonso, J. M. “Técnicas del automóvil”. Paraninfo. Madrid, 1990.
3. Andrino, J. C. Mecánica y mantenimiento simple del automóvil, 2006
4. Aparicio, F.; Vera, C.; Díaz, V. “Teoría de los Vehículos Automóviles”. SP ETSII Universidad Politécnica Madrid, 1995.
5. Biederman A., y Hassekief L. M. Tratado Moderno de Fundición del Hierro y del Acero, Editorial 1965.
6. Belay, G. E. Tecnología de fundición. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara, 1970.
7. Budynas, R. J. y Keith, J. N. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 8^{va} edición, 2008.
8. Capello, E. Tecnología de fundición. Editorial Gustavo Gili, S. A. (3ra edición). Barcelona, 1980.
9. Colectivo de autores. Diseño de moldes y modelo. Barcelona, 2002.
10. Goyos, P. L. y Martínez, R. H. Tecnología de la fundición II. Editora ISPJAE. 1991.
11. González, O. A. El transporte público colectivo, individual y masivo de pasajeros, el transporte intermunicipal y las terminales satelites en bogota, 2005.
12. Guliaev A. P, Metalografía. Editorial MIR- Moscú, 1988.
13. Guliaev, B. B. Teoría de los Procesos de fundición. Editorial Construcción de Maquinaria. Leningrado, 1976.
14. Hernández, E. “Selección de la aleación y tecnología de fundición de tamboras de ómnibus Yutong”. Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, universidad de Moa; Antonio Núñez Jiménez, 2016.
15. Han Jun. Uso y mantenimiento diario del autobús. Zhengzhou Yutong Bus Co., Ltd. Yutong, 2006.
16. <http://www.mauinariaspesadas.org/sub/>. Curso de tipos de frenos, 2017.
17. <http://www.ildaruya.com>. Grupo Huttenes- Albertus. Productos Auxiliares para la industria de la fundición. Vizcaya, 2002.
18. <http://www.ingenieriamecanica.com/diagnosis> de averías frecuentes, 2017.
19. <http://www.wikipedia.com>. La enciclopedia libre (Fundición). Barcelona, 2003.

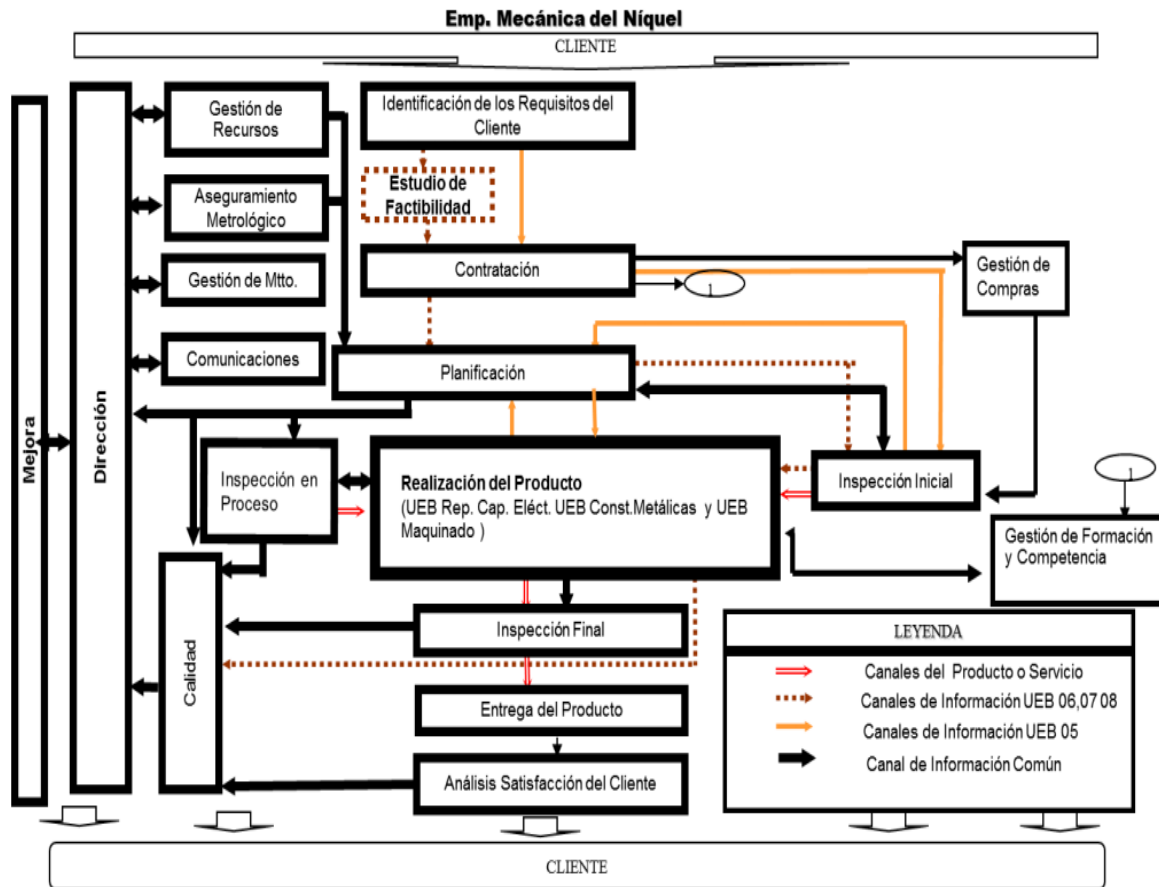


20. López, J. A. Manual técnico y de recomendaciones fricción SRL, 2011.
21. Luque P.; Álvarez D.; Vera C. Ingeniería del Automóvil. Sistema y Comportamiento Dinámico. Universidad Politécnica de Madrid, 2005.
22. Martínez, J. N. Clasificación de frenos, 2009.
23. Maujo, O. "Selección del material para la fundición de bolas empleadas en la molienda del Clinker". Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, universidad de Moa; Antonio Núñez Jiménez, 2016
24. Paumier, Y. Comportamiento microestructural del material del enfriador de mineral de la Empresa "Cdte. Ernesto Che Guevara "Tesis en opción al Título de Master en Electromecánica. 2013.
25. Pérez L. R. Diseño del sistema de frenado para un prototipo Fórmula Student. Trabajo Fin de Grado; Universidad de Sevilla, 2013.
26. Reinoso A. "Tecnología de fundición para fabricación de tambora trasera y delantera de los ómnibus Yutong". Tesis de Diplomado, universidad de Moa; Antonio Núñez Jiménez, 2012.
27. Rivera, G. Estructura de Solidificación de Fundiciones de Hierro con Grafito. 2000.
28. Rodríguez, I.; Fernández, T.; Guardado, R.; Ngendanzi, V. Modelación por elementos finitos de la ruptura del tubo en el transportador de mineral laterítico reducido. Revista Geología y Minería, XXIII (4): 1 -13, 2007.
29. Romero, M. L. Manual de tipos de frenos de tambor, 2016.
30. Rojas, M. Resistencia al desgaste de la aleación Ni-Resist con adición de aluminio como elemento de aleación. Tesis en opción al Título de Master en Metalurgia. Mención Metalurgia Física. 2011.
31. Santos, M. S. manual de mecánica de frenos de tambor
32. Salcines, C. M. Tecnología de Fundición II. Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 1985.
33. Salcines, R.C. Tecnología de fundición. Editorial Pueblo y Educación. (Tomo I, 1era y 2da parte). La Habana, 1985.
34. Suarez, P. A. Manual de procedimientos para reparación de frenos, 2013.
35. Szczepaniak, C. y Aragón, R. M. Teoría del automóvil. Editorial Pyeblo y Educación, La Habana, 1994.
36. Titov, N. D. Tecnología del proceso de fundición. Editorial Mir, Moscú, 1981.



37. Vestislka, A. y otros. Fundamentos teóricos de la tecnología de fundición. Editorial Superior. Kiev, 1981.
38. Vdovich, B. N. y Sosnienko, M. N. Vertido de los moldes de fundición. Editorial Escuela Superior. Moscú, 1974.


ANEXO 1. Flujo productivo de la Empresa Mecánica de Níquel “Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche”

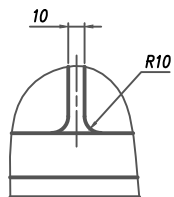


ANEXO 2. Ficha técnica del ómnibus estudiado

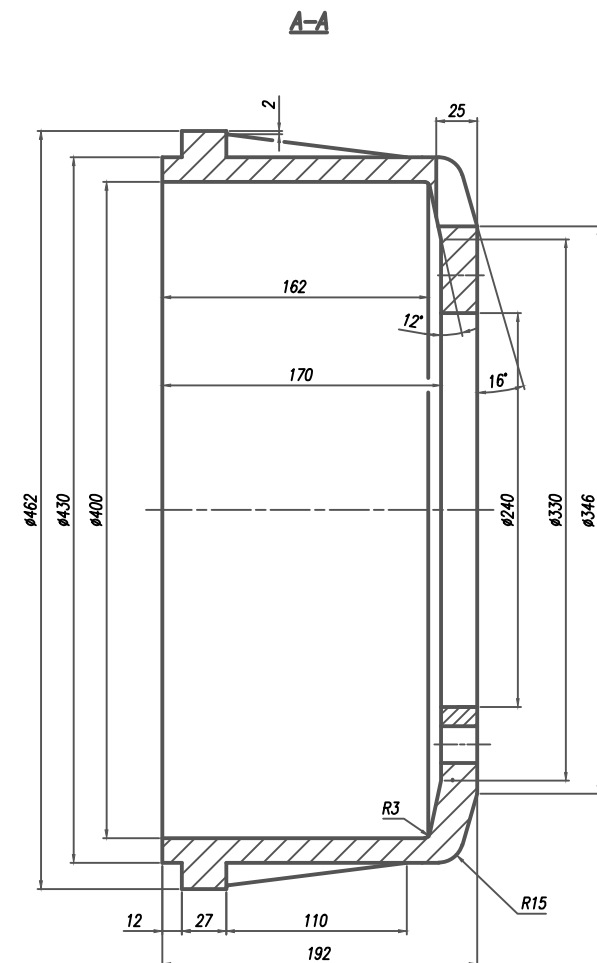
Ítem		
Modelo	Autobús de modelo ZK6118HGA-6(Arabia Saudita)	
Estándar ejecutivo		
Posición del logo y modelo del autobús	Superficie superior del manto delantero del vehículo, superficie exterior del manto lateral izquierdo	
Código VIN (contenido y posición)		Posición engravada: La viga grande de la parte trasera del marco del vehículo
El uso del autobús	Carga de pasajeros: 54/70	
Posición de placa de datos	En la pared trasera del estibo de la puerta delantera en el vagón	
Parámetros de dimensión	Largo x Ancho x Alto(mm):11600x2500x3265(3075)	
Parámetros de funciones	Velocidad máxima(km/h):110	
	Distancia de freno (m): V_0=30km/h:≤10	El diámetro mínimo de vuelta(mm)≤24
	Angulo de acercar/ alejar(°):7/7	Espacio min. al terreno(mm)195
Parámetro de pesos	Pesos totales máximos y la carga de ejes correspondientes(kg):16500/5500(delantero)/11000(trasero)	
	Peso del equipo entero y la carga de ejes correspondientes(kg): 11900/3900/8000	
Especificación del neumático	295/80R22.5	

ANEXO 3. Carta tecnológica de fundición para la tambora delantera

		Empresa Mecánica del Níquel "Cmdte: Gustavo Machín Hoed de Beche" UEB de Fundición				Modelo R-01 / ST-P-001 Carta del Proceso Tecnológico de Fundición en Moldes de Arena				
		Número de Plano 432007				Orden de trabajo E-860002				
Denominación Tambora Delantera		No Tecnología		4H501		Rev.				
Material		Masa, KG								
Norma	Marca, Descripción.	Pieza	Pieza Fundida	Sistema de Aliment.	Metal líquido para Fundir	Metal líquido en el molde	Cant piezas en el molde	Pzas Fund Útiles, %		
ASTM-159-83	G3500b(Fe21)	42	62	9,38	101,38	202,76	1	67		
Sistema de Alimentación, mm					Profundidad secado del molde, mm	Permanencia molde antes de fundir, h	Tiempo envejecim. del molde, h			
ØTragadero	Escorador		Alimentador							
Ø 38	31X21X31		22X18X11		-----	4	-----			
Juego de Plantilla					Mazarotas					
Descripción		Cant.	Descripción		Cant.	Núm.	Cant.	Base	Vértice	Altura
Entera		2	-----		-----	1	4	Ø 40	Ø 112	200
Sistema de Alimentación		1	-----		-----	-----	-----	-----	-----	-----
Caja de macho		1	-----		-----	-----	-----	-----	-----	-----
Mazarotas		8	-----		-----	-----	-----	-----	-----	-----
Caja de Moldeo				Mezcla de Moldeo			Clavos de Fundición			
Posición	Diám. Largo	Ancho	Altura	Tipo	Número	Masa	Dimensiones, mm		Cant.	
Superior	1000	800	250	cara/relleno	Autofrag	580	-----		-----	
Inferior	1000	800	200	cara/relleno	Autofrag	380	-----		-----	
Soporte			Enfriadores			Sujeción del molde				
Material	Tipo, Tamaño		Cant.	Núm.	Material	Dimensiones		Cant.	Cantidad de grapas	Masa del contrapeso.
-----	-----		-----	-----	-----	-----		-----	4	-----
Pintura Anticostra			Vertido del molde				Permanen. pieza fundida	Masa del Molde Vertido		
Forma	Descripción	Espesor	Capacidad Cazuela	Cant. de	Temp. del Metal, °C	Duración Seg.				
A brocha	Base Zirconio	2 Manos	500 Kg	1	1280-1300	20	10 horas	2162,76		
Observaciones: Contracción del metal Líquido 1%. Comprobar el peso de la pieza fundida. Ventilación en el molde superior con aguja de Ø 4 - 5 mm. Calentar la cazuela de 700-800 C. Colocar las 4 mazarotas a 90 grados y suplementarlas hasta la altura de 200 mm. Realizar dos moldes de prueba (serie cero).										
								Hoja No	1	
								Firma	Fecha	
								Elaboró		
Mod	Cant	No Notif	Firma	Fecha	Aprobó			Cant hojas		



- 1- Radios de fundición no señalados: 2...4 mm.
- 2- Tratamiento térmico: según la norma A 278M-93e1.
- 3- Las desviaciones límite de las dimensiones no toleradas tomarías según H14, h14, $\pm 1\frac{1}{2}$ según NC 16-33:80.
- 4- Eliminar aristas cortantes con biselos de 1,5x45°.
- 5- Realizar balanceo dinámico a 600 min⁻¹.



						TAMBORA DELANTERA	ISMM			
							Etapas de Elaboración			
Mod	Cont	No	Notif	Firma	Fecha		Masa	Esc	Hoja.No	Cont de hojas
Dib			U	Perdomo	22/05/17		45 kg	1:2	1	1
Proy										
Rev										
Cont.nor						Norma:	ASTM A 150-83			
Cont.téc						Materia:	Grade 63500b			
Aprob							436034			