



INSTITUTO SUPERIOR  
MINERO METALÚRGICO DE MOA  
Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ

MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
FACULTAD DE METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

# TRABAJO DE DIPLOMA

en opción al título de Ingeniero Mecánico

## SELECCIÓN DE LA ALEACIÓN Y TECNOLOGÍA DE FUNDICIÓN DE TAMBORAS DE ÓMNIBUS YUTONG

**Autor:** Enedys Hernández Del Rosario

**Tutores:** Dr. C. Isnel Rodríguez González

Dr. C. Eulices Fernández Maresma

Ing. Eider Gresesqui Lobaina

Moa – 2016  
“Año 58 de la Revolución”

## PENSAMIENTO

---

*“La ciencia está en conocer la oportunidad y aprovecharla en hacer lo que conviene a nuestro pueblo con sacrificio de nuestras personas; y no en hacer lo que conviene a nuestras personas con sacrificio de nuestro pueblo.”*

**José Martí**

## **DECLARACIÓN DE AUTORIDAD**

Yo: Enedys Hernández del Rosario autor de este trabajo de Diploma y los tutores Dr.C Isnel Rodríguez Fernández y Ing. Eider Gresesqui Lobaina declaramos la propiedad intelectual de este servicio del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa para que disponga de su uso cuando estime conveniente.

---

Tutor: Dr.C Isnel Rodríguez Fernández

---

Ing. Eider Gresesqui Lobaina

---

Diplomante: Enedys Hernández del Rosario

## DEDICATORIA

---

*A mi abuela Elba Aguirre Terrero por su esfuerzo, apoyo y enseñanzas que son las cualidades que me han formado y guiado durante mi vida, quien con su artífice de guía y ejemplo constante supo exigirme en la vida para diseñarme un futuro próspero y con virtudes.*

*A todos los que con su apoyo han hecho posible la culminación de mis estudios, en especial a mi novia Mailen Vielza Mustelier y mi suegra Iliana Mustelier Gómez por su apoyo incondicional en todo momento.*

*A mis padres Enedis Hernández Gómez y Rosa Del Rosario Aguirre.*

*A los fieles de su tradición histórica que sirven a la patria y se encuentran en la primera línea de esta colosal batalla de ideas que protagoniza el pueblo cubano.*

*Y al resto de mis familiares y amigos que siempre me apoyan, dedico este anhelado fruto de mi esfuerzo.*

## AGRADECIMIENTOS

---

*A mis padres y mi suegra que con mucho sacrificio, constante apoyo, cariño y preocupación hicieron posible que llegara hasta aquí, a mi novia y amistades.*

*A mis tutores por su entrega y apoyo en todo momento.*

*A todos los demás profesores que han contribuido con nuestra formación.*

*A la Revolución por darnos la oportunidad de estudiar.*

*A mis compañeros de aula, por compartir los gratos momentos de la especialidad.*

*A todos los que incondicionalmente contribuyeron a la materialización de este trabajo de diploma.*

*A todos muchas gracias.*

## RESUMEN

En este trabajo de diploma se realiza una valoración de cómo lograr mejorar la tecnología de fundición utilizada en la Empresa Mecánica del níquel, “Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche”, con el objetivo seleccionar y evaluar a escala de laboratorio, una aleación para fabricar tamboras de ómnibus Yutong; así como proponer una nueva tecnología de fundición según el equipamiento disponible en la empresa, para contribuir a la reparación de los ómnibus de manera más efectiva por parte de la industria militar y ómnibus nacionales. Para realizar el estudio, se desarrolló un análisis de las fracturas originadas en la superficie de la tambora de freno en condiciones de operación de los ómnibus. Para el desarrollo de la investigación se emplearon técnicas de microscopía óptica y electrónica de barrido (MEB), detectando la presencia de fases secundarias precipitadas en las tamboras averiadas durante el funcionamiento. A través del empleo de la simulación con el método de los elementos finitos (MEF), se establecieron las características tenso-deformacionales a temperaturas entre 40 y 50°C y condiciones de cargas similares a las de trabajo. Los ensayos a escala de laboratorio y la aplicación a escala industrial posibilitaron caracterizar las aleaciones empleadas para la fabricación de las tamboras, por último se rediseño y desarrollo una tecnología de fundición; y tratamiento térmico que nos permitiera lograr esta producción. Como resultado de los ensayos se demostró que la aleación más adecuada es la de Fe 21 Ni. Al valorar y considerar los estudios realizados por otros autores, se llega a la conclusión de que la forma constructiva de los agujeros de ventilación no responde a una adecuada distribución de tensiones, por lo que se recomienda la utilización de este rediseño de la pieza y la tecnología de fundición planteada.

## **ABSTRACT**

In this diploma work he/she is carried out a valuation of how to be able to improve the foundry technology used in the Mechanical Company of the nickel, "Major Gustavo Machín Hoed of Beche", with the objective to select and to evaluate to laboratory scale, an alloy to manufacture bus tambours Yutong; as well as to propose a new foundry technology according to the available equipment in the company, to contribute to the repair of the bus in a more effective way on the part of the military industry and national bus. To carry out the study, an analysis of the fractures was developed originated in the surface of the control tambour under conditions of operation of the bus. For the development of the investigation they were used technical of optic and electronic microscopy of sweeping (MEB), detecting the presence of secondary phases precipitated in the tambours damaged during the operation. Through the employment of the simulation with the method of the finite elements (MEF), the characteristics settled down tense-deformacionales to temperatures between 40 and 50°C and condition from similar loads to those of work. The rehearsals to laboratory scale and the application to industrial scale facilitated to characterize the alloys used for the production of the tambours, lastly you redraws and I develop a foundry technology; and thermal treatment that allowed us to achieve this production. As a result of the rehearsals it was demonstrated that the most appropriate alloy is that of Faith 21 Neither. When valuing and to consider the studies carried out by other authors, you reaches the conclusion that the constructive form of the ventilation holes doesn't respond to an appropriate distribution of tensions, for what the use is recommended of this I redraw of the piece and the technology of outlined foundry.

# ÍNDICE

|                                                                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>                                                                                     | <b>1</b>  |
| <b>CAPÍTULO I. ANTECEDENTES Y ACTUALIDAD DEL TEMA.....</b>                                                   | <b>5</b>  |
| 1.1. Equipos empleados para el transporte de pasajeros.....                                                  | 5         |
| 1.1.1. Clasificaciones del transporte público.....                                                           | 5         |
| 1.1.2. Caracterización de los medios usados para el transporte público.....                                  | 6         |
| 1.1.3. Ventajas y desventajas del transporte público .....                                                   | 9         |
| 1.2. Trenes de rodajes de los equipos de transporte .....                                                    | 10        |
| 1.3. Sistemas de freno.....                                                                                  | 12        |
| 1.3.1. Los diversos tipos de estos dispositivos que se estudiarán se clasifican de la manera siguiente.....  | 12        |
| 1.3.2. Caracterización de los distintos tipos de freno.....                                                  | 13        |
| 1.4. Materiales para la elaboración de tambores de los equipos de transporte de pasajeros .....              | 16        |
| 1.5. Fundamentos teóricos sobre la fundición de metales.....                                                 | 18        |
| 1.5.1. Solidificación de las piezas fundidas.....                                                            | 20        |
| 1.5.2. Influencia de los materiales de moldeo.....                                                           | 22        |
| 1.5.3. Secuencia de los procesos de fundición.....                                                           | 23        |
| 1.6. Conclusiones del Capítulo I.....                                                                        | 26        |
| <b>CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>                                                                | <b>27</b> |
| 2.1. Determinación de la disponibilidad de los carros para el transporte de pasajeros                        | 27        |
| 2.2. Determinación de los esfuerzos en las tambores de freno de los equipos de transporte de pasajeros ..... | 28        |
| 2.3. Métodos, procedimientos y condiciones experimentales.....                                               | 31        |
| 2.4. Selección y preparación de muestras.....                                                                | 31        |
| 2.4.1. Análisis químico de los materiales empleado.....                                                      | 33        |
| 2.4.2. Análisis fractográfico.....                                                                           | 34        |
| 2.4.3. Análisis metalográfico.....                                                                           | 34        |
| 2.4.4. Determinación de las propiedades mecánicas.....                                                       | 34        |
| 2.4.5. Cálculo del carbono equivalente.....                                                                  | 35        |
| 2.4.6. Dureza superficial.....                                                                               | 37        |
| 2.5. Modelación y simulación de elementos seleccionados .....                                                | 37        |
| 2.5.1. Pasos a seguir para la ejecución del Método de Elemento Finito.....                                   | 37        |
| 2.5.2. Modelación de la tambora delantera fabricada por China Zhengzhou Yutong Group Lts., Co.....           | 38        |

|                                                      |                                                                                                         |           |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.5.3.                                               | Modelación de la tambora trasera fabricada por China Zhengzhou Yutong Group Lts., Co.....               | 38        |
| 2.6.                                                 | Análisis estadístico y prueba de significancia.....                                                     | 39        |
| 2.6.1.                                               | Formulación de la hipótesis estadística.....                                                            | 40        |
| 2.7.                                                 | Tecnología de fundición para la fabricación de tambores traseros y delanteros...41                      |           |
| 2.7.1.                                               | Parámetros del cálculo para la obtención de piezas por fundición.....                                   | 41        |
| 2.7.2.                                               | Cálculo de los espesores mínimos de pared.....                                                          | 42        |
| 2.7.3.                                               | Determinación de la posición de la pieza en las cajas de moldeo.....                                    | 42        |
| 2.7.4.                                               | Análisis de las sobremedidas de maquinado.....                                                          | 43        |
| 2.7.5.                                               | Calculo de la masa de la pieza.....                                                                     | 43        |
| 2.7.6.                                               | Dimensiones de los orificios fundidos.....                                                              | 44        |
| 2.7.7.                                               | Análisis de la contracción de fundición.....                                                            | 44        |
| 2.7.8.                                               | Determinación de la inclinación de la plantilla.....                                                    | 44        |
| 2.7.9.                                               | Determinación del plano divisor de la plantilla y el molde.....                                         | 45        |
| 2.7.10.                                              | Determinación de la posición del macho y sus portadas.....                                              | 46        |
| 2.7.11.                                              | Cálculo del rechupe específico en el Fe- 21 Ni.....                                                     | 46        |
| 2.7.12.                                              | Cálculo y diseño de las mazarotas.....                                                                  | 46        |
| 2.7.13.                                              | Cálculo de la cantidad de mazarotas.....                                                                | 47        |
| 2.7.14.                                              | Cálculo de las dimensiones de las mazarotas.....                                                        | 47        |
| 2.7.15.                                              | Cálculo del sistema de alimentación.....                                                                | 48        |
| 2.7.16.                                              | Determinación de las dimensiones de las cajas de moldeo.....                                            | 50        |
| 2.7.17.                                              | Tecnología para el tratamiento térmico de las tambores.....                                             | 50        |
| 2.8.                                                 | Conclusiones del Capítulo II.....                                                                       | 51        |
| <b>CAPITULO III. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....</b> |                                                                                                         | <b>52</b> |
| 3.1.                                                 | Comportamiento de la disponibilidad de los carros para el transporte de pasajeros .....                 | 52        |
| 3.2.                                                 | Determinación de los esfuerzos en las tambores de freno de los equipos de transporte de pasajeros ..... | 53        |
| 3.2.1.                                               | Radio dinámico.....                                                                                     | 53        |
| 3.2.2.                                               | Momento de frenaje sobre las ruedas del eje trasero producido por los frenos .....                      | 53        |
| 3.2.3.                                               | Momento de frenaje sobre las ruedas del eje delantero producido por los frenos .....                    | 54        |
| 3.3.                                                 | Composición química de las aleaciones obtenidas .....                                                   | 54        |
| 3.4.                                                 | Resultados del análisis fractográfico .....                                                             | 55        |
| 3.5.                                                 | Resultados del análisis microestructural .....                                                          | 57        |

|                              |                                                                                           |           |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.5.1.                       | Análisis de la microestructura para la muestra de Fe 21 Ni.....                           | 59        |
| 3.6.                         | Análisis de tracción.....                                                                 | 60        |
| 3.7.                         | Análisis de la susceptibilidad al agrietamiento de las aleaciones de hierro fundido ..... | 61        |
| 3.7.1.                       | Análisis del contenido de carbono y silicio en la fundición.....                          | 62        |
| 3.8.                         | Análisis de la microdureza.....                                                           | 65        |
| 3.8.1.                       | Análisis del comportamiento de la dureza para cada aleación.....                          | 66        |
| 3.8.2.                       | Análisis de regresión múltiple para dureza y distancia.....                               | 67        |
| 3.9.                         | Simulación de las tambores traseras y delanteras .....                                    | 69        |
| 3.10.                        | Comparación del comportamiento de las tensiones.....                                      | 70        |
| 3.11.                        | Prueba de hipótesis y análisis estadístico.....                                           | 71        |
| 3.12.                        | Tecnología de fundición para la fabricación de tambores traseras y delanteras             | 73        |
| 3.12.1.                      | Cálculo de los espesores mínimos de pared.....                                            | 73        |
| 3.12.2.                      | Análisis de las sobremedidas de maquinado.....                                            | 73        |
| 3.12.3.                      | Masa de la pieza.....                                                                     | 74        |
| 3.12.4.                      | Orificios fundidos.....                                                                   | 74        |
| 3.12.5.                      | Análisis de la contracción de fundición.....                                              | 75        |
| 3.12.6.                      | Cálculo del rechupe específico en el Fe- 21 Ni.....                                       | 75        |
| 3.12.7.                      | Cantidad de mazarotas que se emplean.....                                                 | 75        |
| 3.12.8.                      | Cálculo de las dimensiones de las mazarotas.....                                          | 75        |
| 3.12.9.                      | Cálculo de la sección de alimentación.....                                                | 76        |
| 3.12.10.                     | Cálculo de la duración del vertido.....                                                   | 76        |
| 3.12.11.                     | Cálculo de la velocidad específica.....                                                   | 77        |
| 3.12.12.                     | Cálculo de las áreas del sistema de alimentación.....                                     | 77        |
| 3.13.                        | Evaluación Económica.....                                                                 | 78        |
| 3.14.                        | Evaluación ecológica .....                                                                | 78        |
| 3.15.                        | Conclusiones del capítulo III .....                                                       | 79        |
| <b>RECOMENDACIONES .....</b> |                                                                                           | <b>81</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>     |                                                                                           | <b>82</b> |



## INTRODUCCIÓN

Cuba cuenta con una buena infraestructura de transporte, tanto automotor como aéreo y ferroviario que posibilita la conexión entre todos los puntos del país en término de horas. El futuro más probable a dónde va el transporte automotriz en Cuba y el resto del mundo es la sustitución del automóvil por los medios de transporte público, que son más eficientes energéticamente; situación generada por la escasez de petróleo y su consecuente aumento de precio.

El transporte público urbano es parte esencial de una ciudad, 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, este es visto como una externalidad positiva y por lo tanto podría ser subsidiado su uso con fondos públicos, por disminuir la congestión de tráfico y la contaminación (menor cantidad de Co2 por pasajero transportado). En nuestra región lo ómnibus son el medio de transporte más usado, por constituir una opción económica y por su uso práctico y eficiente en rutas de corta y mediana distancia; estos cuentan con varias líneas que enlazan todos los destinos turísticos con la capital. Existen otras empresas de viajes por ómnibus y microbuses, pero Astro es la principal de ómnibus interprovinciales y además da servicios tanto a cubanos como a turistas extranjeros.

Sin embargo debido al bloqueo económico impuesto por el gobierno de los EE.UU, que dificulta el acceso a mercados ventajosos y a fuentes de financiamiento, existiendo el riesgo permanente de la imposibilidad de importar recursos y con ello paralizarse algún sector o empresa ya sea parcial o total, con su consiguiente impacto sobre la economía y la sociedad; nos hemos visto obligados a implementar la sustitución de importaciones. Mejorar los resultados económico-productivos al disminuir el costo de producción o servicios de las empresas, para así poder sustituir las producciones importadas por las nacionales al fabricar las piezas de repuesto necesarias en los equipos de transporte de pasajeros como es el caso de las tambores de freno del ómnibus Yutong procedente de China, el cual constituye en gran medida el desarrollo del transporte público en nuestro país.



La Empresa Mecánica del Níquel (EMNI) “Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche” perteneciente al MINBAS y adscripta al Grupo Empresarial Cubaníquel, la cual lleva a cabo la fabricación y reparaciones de piezas y equipos con alcance para los servicios de Reparaciones Capitales Eléctricas, Maquinado, Proceso de apoyo, Construcciones Metálicas y Fundición, ha implementado el 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 (Alberto, 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 empresa de transporte de ómnibus provincial se dispone de varios equipos para la prestación de los servicios de la población dentro de ellos los ómnibus marca Yutong. En los últimos tiempos el tren de rodaje y el sistema de freno de dichos ómnibus, se han visto afectados por la fractura de las tambores; particularmente en los orificios de ventilación y los agujeros por donde se conectan los espárragos. Esta rotura tiene dos direcciones predominantes, una transversal que atraviesa la tambora partiendo desde los orificios ubicados en el extremo superior hasta el inferior y otra que se distribuye por todo el borde superior longitudinalmente uniendo un orificio con el otro; lo que conduce a la paralización del tren de rodaje dejando a los ómnibus fuera de servicio. La rotura de los mismos influye de manera negativa en el transporte público, ya que se dispondrá de menor equipamiento y por tanto se reduce la capacidad de transportación, afectando los horarios de viaje lo que provoca pérdidas económicas, así como por intervenciones de mantenimiento. Las tambores desechadas, por lo general, son enviadas a las cunetas de las carreteras, al desarrollar cambios de una de ellas por parte del conductor o pasan a formar parte material no utilizables en los patios de los talleres de mantenimiento y reparación, hecho que afecta el medioambiente de dichos talleres.

Entonces el **problema** a resolver es la necesidad de seleccionar una aleación y una nueva tecnología de fundición para la fabricación de las tambores de freno de los ómnibus Yutong.



El **objeto de estudio** tambores de ómnibus Yutong.

Se define como **objetivo general** del trabajo: seleccionar y evaluar a escala de laboratorio, una aleación para fabricar tambores de ómnibus Yutong; así como proponer la tecnología de fundición de las mismas según el equipamiento disponible en la Empresa Mecánica del Níquel “Gustavo Machín Hoed de Beche”.

El **campo de acción** son las aleaciones resistentes para la fabricación de los tambores de ómnibus Yutong.

A partir del objetivo general declarado se establece la siguiente **hipótesis** teniendo en cuenta las condiciones de trabajo de la Empresa Mecánica del níquel de Moa y desarrollando un estudio del comportamiento metalográfico y mecánico de las aleaciones fundidas a escala de laboratorio, se podrá seleccionar u obtener un material; así como la tecnología de fabricación por fundición, para los tambores de freno de los ómnibus Yutong; que garantice las exigencias de su utilización en la industria del transporte cubano.

Con el objetivo de guiar, controlar y evaluar la investigación se definieron los siguientes **objetivos específicos**:

1. Seleccionar una aleación para fabricar tambores y mejorar el diseño de manera tal que responda a las exigencias de trabajo de los ómnibus Yutong.
2. Evaluar el comportamiento metalográfico de las aleaciones analizadas a escala de laboratorio.
3. Obtener la distribución de tensiones, a través de la modelación por elementos finitos en los tambores.

Para lograr el cumplimiento de los objetivos propuestos, se plantean las siguientes **tareas de trabajo**:

1. Actualizar el estado del arte en relación con la temática de los equipos de transporte de pasajeros, a partir del análisis y la sistematización de los trabajos precedentes encontrados en la literatura científico-técnica.
2. Análisis de la composición química de las muestras obtenidas.



3. Evaluación de las propiedades mecánicas de las variantes, de aleaciones, así como el comportamiento microestructural y de desgaste.
4. Diseño estadístico de los experimentos.
5. Rediseño de las tablas de los equipos de transporte de pasajeros ómnibus Yutong.
6. Valoración de resultados.

## **CAPÍTULO I. ANTECEDENTES Y ACTUALIDAD DEL TEMA**

---

### **Introducción**

Para poder desarrollar el estudio de una temática es de vital importancia, conocer los avances de la humanidad entorno al tema estudiado; para así aprovechar al máximo los conocimientos de las generaciones anteriores y poder sacar conclusiones serteras evitando asi posibles errores a causa de la falta de conocimiento y experiencia.

Este capítulo tiene como objetivo

- Definir los aspectos teóricos que permitan actualizar el conocimiento sobre el transporte de pasajeros, así como materiales antifricción utilizados para tamboras de frenos.

### **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 ferrys. En el transporte interregional también coexiste el transporte aéreo y el tren de alta velocidad (Aparicio, F.; Vera, C.; Díaz, V., 1995).

#### **1.1.1. Clasificaciones del transporte público**

Transporte terrestre

- Transporte por carretera
- Autobús – Autobús de tránsito rápido – Trolebus – 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 – Telecabina
- Aerolínea

### **1.1.2. Caracterización de los medios usados para el transporte público.**

El transporte público permite el desplazamiento de personas de un punto a otro en el área de una ciudad. 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. Tampoco debemos olvidar que hay personas que, teniendo auto, a veces no lo usan por los atascos o las dificultades de estacionar y prefieren (al menos en algunas ocasiones) el transporte público, que es visto como una externalidad positiva y por lo tanto podría ser subsidiado su uso con fondos públicos por disminuir la congestión de tráfico y la contaminación (menor cantidad de contaminantes por pasajero transportado).

#### **1.1.2.1. Trenes para el transporte público**

El tren es un tipo de transporte público inter-urbano (figura1.1), más usado para el transporte de pasajeros masivos, cubriendo una ruta entre dos puntos bastante alejados, siendo generalmente de responsabilidad nacional. A veces son de responsabilidad regional, cuando son usados como medio de transporte de pasajeros en una gran ciudad, o entre diferentes ciudades próximas una de la otra. Generalmente, a los pasajeros de trenes inter-urbanos no les es concedido el derecho de transferencia para otros medios de transporte público de una determinada ciudad sin antes pagar una tasa integral para el uso del transporte. (Aparicio, F.; Vera, C.; Díaz, V., 1995).



Figura1.1. Tren de pasajeros

#### **1.1.2.2. Transbordador**

El transbordador (ferry) cubren ciertos tramos entre dos puntos separados por una masa de agua (figura 1.2), que no poseen acceso entre sí por medio de puentes o túneles, o cuando tales conexiones están muy alejadas de rutas de interés público.



Figura 1.2. Un transbordador (ferry)

#### **1.1.2.3. Bicicletas públicas**

Desde hace algunos años también se ofrecen sistemas de alquiler público de bicicletas (figura 1.3). Son diferentes de los alquileres convencionales porque las estaciones forman una red por la ciudad y posibilitan así recorridos unidireccionales (one way) para llegar al centro de trabajo, de estudio o ir de compras. Así las bicicletas son accesibles para todos y se disminuye el problema de robo de las bicicletas privadas. Los usuarios tienen que identificarse electrónicamente antes de recoger una bicicleta para evitar el robo y vandalismo (Aparicio, F.; Vera, C.; Díaz, V., 1995).



figura 1.3. Bicicletas públicas

#### **1.1.2.4. Otros tipos de transporte público**

Taxi: usado por personas que prefieren confort y agilidad o cuando otro transporte público en una región dada es inexistente.

Ascensor: Facilitan bastante el movimiento vertical de personas en edificios y torres.

Escaleras mecánicas: desplazan personas en cortas distancias.

Helicóptero: usados por personas que no se arriesgan al tráfico de la ciudad.

Autobús escolar: usado para la locomoción de estudiantes, de sus casas a sus escuelas.

Autobús inter-urbano: usado para el transporte de personas entre diferentes ciudades.

#### **1.1.2.5. Autobús para el transporte público**

Los autobuses son prácticos y eficientes en rutas de corta y mediana distancia (Figura 1.4), siendo frecuentemente el medio de transporte más usado, por constituir una opción económica. Las compañías de transporte buscan establecer una ruta basada en un número aproximado de pasajeros en el área a ser tomada, una vez establecida la ruta; se construyen las paradas de autobuses a lo largo de esa ruta (Aparicio, F.; Vera, C.; Díaz, V., 1995).



figura 1.4. Ómnibus para el transporte de pasajeros

Sin embargo, dada su baja capacidad de pasajeros no son eficientes en rutas de mayor uso. Los autobuses en rutas altamente usadas, producen mucha contaminación, debido al mayor número de autobuses que son necesarios para el transporte eficiente de pasajeros. En este caso, es mejor el metro, otra posibilidad es la construcción de un tramo único y especial para los autobuses, es decir, la implementación de un Sistema de Buses de Tránsito Rápido; con lo cual es posible llegar a capacidades cercanas a las de un sistema de metro, y mucho mayores que las de un sistema de tranvías. Uno de los ejemplos más interesantes de un sistema de buses de alta capacidad es TransMilenio en Bogotá.

### **1.1.3. Ventajas y desventajas del transporte público**

Los transportes públicos son mucho más eficaces que los transportes individuales en términos de consumo de energía, excepto el avión, que es el modo de transporte más contaminante por pasajero.

No obstante, depende del tipo de empleo medio; en el caso de los desplazamientos domicilio-trabajo, este tipo es estructuralmente bajo ya que todos los desplazamientos se hacen en un sentido por la mañana y en el otro al final de la jornada. Se habla entonces de migración pendular, crea dos zonas de sobreactividad al principio y al final de la jornada. La curva de la actividad de los transportes públicos sigue esta evolución de la demanda y presenta dos picos que corresponden a las horas punta en cada extremidad y una depresión en el centro que corresponde a una actividad mínima durante las cuales los vehículos están menos frecuentados. Este fenómeno se llama camello en la jerga de los transportes de pasajeros.

Los transportes públicos facilitan la circulación, un autobús por ejemplo; puede transportar a más de a 60 personas utilizando la misma superficie que dos coches que por término medio están ocupadas por 1,08 personas. Los transportes públicos no ocupan espacio de aparcamiento.

En proporción a los viajeros que llevan, los transportes públicos ocupan mucho menos espacio, consumen menos energía en su uso, menos recursos en su construcción, que el automóvil privado.

Los transportes públicos con carril reservado o subterráneos no sufren problemas de atascos.

Dichos transportes pueden requerir, según el medio utilizado inversiones importantes. Sin embargo, el automóvil privado también requiere inversiones muy cuantiosas (calles, túneles, autopistas, sitio para aparcamiento, etc.), que en muchos casos se financian con impuestos.

Además no prestan el mismo servicio que un medio de transporte individual; somete al usuario a horarios o se limita el transporte de equipaje. Se acusa a los transportes públicos de "rígidez de trayectos" y de "rígidez de horarios". La "rígidez de trayectos"

significa que el trayecto está ya definido de antemano (esto obviamente no se puede aplicar al taxi). La "rigidez de horarios" se refiere a que sólo se puede encontrar a determinadas horas. Sin embargo, con una buena red de transporte público se pueden cubrir todos los trayectos posibles (con transbordo o sin ellos) con un tiempo de espera corto.

Pueden ser más rápidos que los transportes individuales, a condición de que las redes sean bastante densas y los servicios de comunicación bastante frecuentes, lo que no es el caso a menudo, por ejemplo, para los desplazamientos de suburbio a suburbio o en el medio rural.

El uso de medios de transporte de forma masiva contribuye a la disminución de los atascos en las ciudades y para fomentarlo, algunas ciudades como Londres han creado un servicio de peajes.

En medio urbano, conviene señalar que la bicicleta es un modo de transporte cuya eficacia supera en algunas condiciones a la de los transportes públicos, en términos de rapidez, de flexibilidad de utilización y consumo de energía. Sin embargo, no garantiza el mismo servicio, ni el mismo nivel de comodidad en particular; en casos de inclemencias del tiempo.

Muchas de las ventajas e inconvenientes de los transportes públicos se pueden examinar comparando con las ventajas e inconvenientes del automóvil.

## **1.2. Trenes de rodajes de los equipos de transporte**

Las acciones de frenado, junto con las de control direccional y las del sistema de tracción, representan las maniobras básicas en la conducción. Por tanto, los componentes de una instalación de frenado deberán diseñarse para aprovechar al máximo la presión aplicada por el conductor y para que dicha presión sea la mínima posible. (Alonso, J. M., 1990.)

El servofreno permite amplificar la presión ejercida en el pedal cuando actúan los frenos reduciendo el esfuerzo necesario para aplicar la fuerza de frenado. En la mayoría de los sistemas de frenado de los automóviles el amplificador de frenado esta combinado con el cilindro principal o bomba de freno. Esto se debe a que es esencial que el amplificador no limite la precisión en el control de la fuerza de frenado. Existen dos tipos de amplificadores

de uso general, el de vacío y el hidráulico; ambos funcionan aprovechando una fuente de energía que ya está presente en el vehículo.

El amplificador por vacío es el sistema usado en la mayoría de los turismos y utiliza la depresión generada en los colectores de admisión del motor (motores de gasolina), o la fuerza producida por la bomba de vacío en los vehículos diesel (0,5-0,9 bar), para amplificar la fuerza producida en el pedal. Cuando se accionan los frenos, esta fuerza suplementaria aumenta en proporción directa a la fuerza del pedal y continúa aumentando hasta que alcanza la máxima presión del ciclo. Esta presión, cercana a la de bloqueo de las ruedas delanteras, está entre 60 y 100 bar, dependiendo del vehículo. Por encima de estos niveles no se incrementa la presión.

El amplificador de freno hidráulico puede ser instalado en aquellos vehículos que generan una baja presión interna (por ejemplo, diesel) y que ya están equipados con una fuente de energía hidráulico, como por ejemplo un dirección asistida. Este amplificador es mucho más compacto y proporciona una mayor presión de ciclo (alrededor de 160 bar) que el de vacío. Una desventaja es la respuesta esponjosa del pedal.

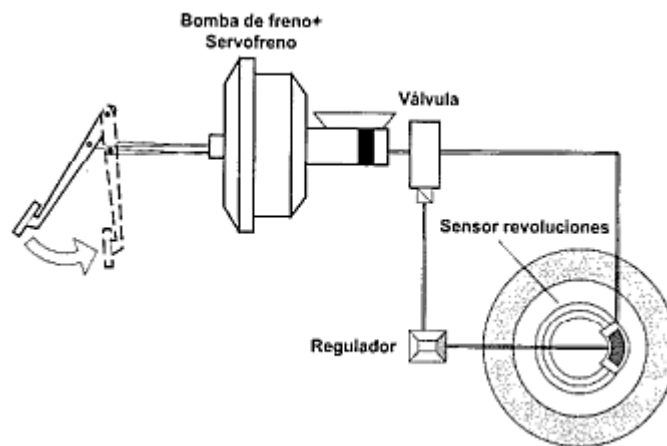


Figura 1.5. Esquema del funcionamiento del sistema de freno

En cualquiera de los casos una vez garantizado el funcionamiento del servofreno el mecanismo sigue su curso por sí mismo como se muestra en la figura 1.5, o sea, luego de que el conductor acciona el pedal, se aumenta la presión en la bomba provocando la circulación del fluido por todo el conducto a través de la válvula, produciendo un par de frenado; a partir del sistema de accionamiento de las zapatas que se encuentra sujeta a

los componentes de la suspensión del vehículo, el cual actúa sobre las tambores que gira solidario con la rueda permitiendo reducir la velocidad de las yantas hasta detenerlas.

### 1.3. Sistemas de freno

Los frenos son elementos de máquinas de vital importancia en los procesos, donde se requiere llevar la velocidad de trabajo a cero en el menor tiempo posible, sin que sea una situación traumática; además de servir de seguridad para la vida de las personas que son usuarias del equipamiento de una empresa o servicio. (Luque P.; Álvarez D.; Vera C., 2005)

Las funciones principales de los frenos son

1. Lograr que el elemento estático absorba todo el torque del elemento móvil, hasta detenerlo totalmente; es considerado puramente freno.
2. Lograr acelerar el elemento estático, se comporta como un embrague.

#### 1.3.1. Los diversos tipos de estos dispositivos que se estudiarán se clasifican de la manera siguiente

- De aro (tambor) con zapatas internas expandibles.
- De aro (tambor) con zapatas externas contráctiles.
- De banda.
- De disco o de tipo axial.
- Del tipo cónico.
- Tipos diversos.

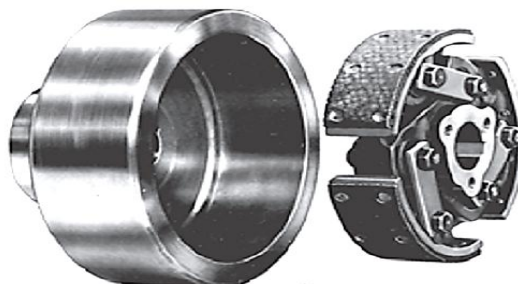


figura1.6. Partes del accionamiento de freno

Los elementos fundamentales por los que están compuestos los frenos (Figura1.6) son



1. Tambora: superficie cilíndrica o cilindro.
2. Bandas o zapata: están en contacto con el material de fricción. Es una superficie en forma de arco.
3. Mecanismo de barras: permite acercar o separar mediante su accionamiento las bandas o zapata de la tambora.

### **1.3.2. Caracterización de los distintos tipos de freno**

La energía cinética del vehículo se transforma en los frenos en forma de calor, que en los sistemas tradicionales incrementa la temperatura de las zapatas y los tambores, disminuye la eficacia de la frenada debido a la dilatación del tambor.

#### **1.3.2.1. Frenos de disco**

Tratando de conseguir una mejor disipación del calor producido en el sistema de frenos, se diseñaron los frenos de disco, que en la actualidad son utilizados principalmente en los ejes delanteros, debido a que los pares de frenada son mayores en estos ejes. En cuanto se refiere a los vehículos industriales, existe también la tendencia de sustituir los frenos de tambor por frenos de disco. (Luque P.; Álvarez D.; Vera C., 2005)

En este tipo de freno, la fuerza de frenado se obtiene por la aplicación de fuerzas axiales sobre un disco solidario con el eje de la rueda. Como el rango de deceleración debe ser mantenido en frenada continua y en paradas desde altas velocidades. Los frenos deben reunir tres características principales

- Una adecuada absorción y disipación de calor.
- Suficiente aire sobre los frenos que permita disipar el calor generado al frenar.
- Las pastillas de freno deben mantener sus propiedades de fricción en un amplio rango de temperaturas.

El disco propiamente dicho se encuentra atornillado a la rueda. La mordaza o “pinza” (también llamada clíper) de freno aloja un embolo hidráulico (bombín de freno). Entre los bombines y el disco se interpone una pastilla o placa de freno, siendo  $r_e$  y  $r_i$ , los radios exterior e interior respectivamente. Esta zapata o pastilla va montada sobre la pinza de freno, de tal manera que cuando la presión hidráulica desplaza los pistones de los bombines; estos ejercen una fuerza ( $F_{zap}$ ) sobre la pastilla que a su vez presiona contra el

disco, deteniendo su movimiento. En la figura 1.7 se ha representado un freno de un solo bombín hidráulico; EN este caso la pastilla derecha es empujada por el cilindro hasta que contacta con el disco; posteriormente, debido a la posibilidad de desplazamiento de la mordaza respecto al disco, la presión hidráulica actúa sobre el fondo del bombín desplazando la mordaza transversalmente y presionando la otra pastilla. Las fuerzas de frenado en estos frenos se generan en la superficie de un disco que gira solidario con la rueda, mientras que una pinza con forma de U se sujeta a los componentes de la suspensión del vehículo.

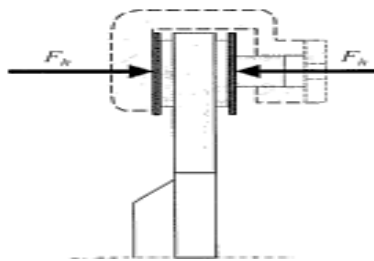


Figura 1.7. Fuerza que actúa sobre las pastillas

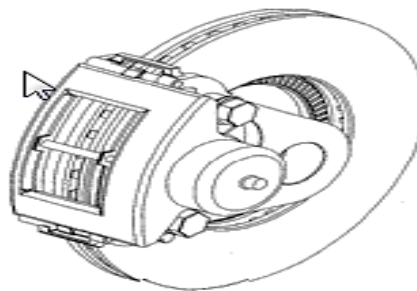


Figura 1.8. Frenos de disco ventilados

Si se hace una clasificación desde el punto de vista del disco, los frenos pueden ser ventilados o macizos. Dada la circunstancia de que la forma de obtener el frenado se produce por la conversión de la energía del vehículo (cinética + potencial) en calor, todos los frenos deben estar dotados de sistemas que permiten la rápida evacuación de calor que en ellos se genera. De algún modo, todos los tipos de frenos aprovechan alguna corriente de aire ambiente, si se considera un vehículo en movimiento, y todos son por consiguiente ventilados. Sin embargo, se llaman frenos de disco ventilados a aquellos que poseen un disco de freno más ancho de lo normal dotado en su interior de conductos por los que pueda pasar el aire. Se puede ver en Figura 1.8 un ejemplo de disco ventilado,

que está formado por dos discos superpuestos, separados entre sí por medio de conductos de paso de aire. De esta forma, la eliminación de calor se produce mucho más rápidamente y ello hace que puedan utilizarse pastillas de materiales más duros, con lo que se aumenta de una manera considerable el rendimiento de los frenos.

### 1.3.2.2. Frenos de tambor

El sistema de frenos de tambor ha sido y es uno de los mecanismos de freno más utilizados. Existen distintos diseños y construcciones de acuerdo con el tipo de accionamiento que vaya a realizar el empuje de las zapatas, el cual, a su vez, depende de varios factores, entre los que destaca, y desempeña un papel muy importante, la consideración del conjunto de la masa que se tiene que frenar.

#### 1.3.2.2.1. Frenos de tambor con Leva en S

Su nombre proviene de la forma que tiene la leva, similar a una S; como se muestra en la figura 1.9. En este sistema las dos zapatas están articuladas en uno de sus dos extremos y provistas de un muelle de retorno. En el entorno de los extremos se encuentra una leva que tiene, por su diseño, un claro parecido con la letra S. (Luque P.; Álvarez D.; Vera C., 2005)

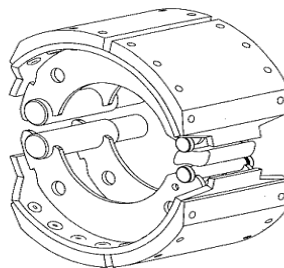


figura1.9. Freno de tambor con leva en S

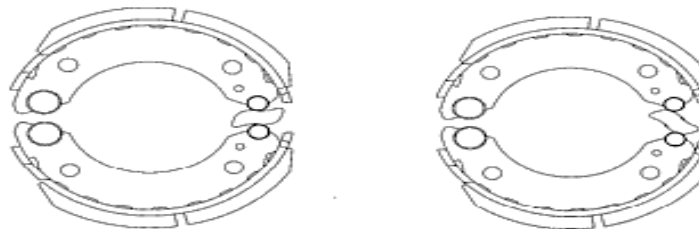


Figura 1.10. Accionamiento de freno de tambor con leva en S

Al girar la leva actúa sobre dos rodillos, por medio de los cuales se facilita el suave desplazamiento de la misma, realizando la apertura de las zapatas. En general, este tipo de accionamiento de las zapatas de los frenos es uno de los más utilizados y se encuentra en muchas ocasiones. El movimiento de la palanca de freno determina la posición de la leva y, con ello, la abertura de las zapatas, generándose la fuerza de frenado al aplicarse estas sobre la superficie interna del tambor. Cuando cesa la acción, el muelle antagonista hace retornar la varilla a su posición de reposo, de modo que la leva vuelve a colocarse en el centro y los forros de las mordazas dejan de tocar con el tambor, siendo ésta posición la acción desfrenada.

Se puede contemplar en la Figura 1.10 la leva en S ha girado contactando con los cilindros y provocando el giro de las zapatas, con este movimiento los muelles se estiran; aumentando la fuerza de compresión que tiende a recuperar la posición inicial de reposo.

#### **1.4. Materiales para la elaboración de tambores de los equipos de transporte de pasajeros**

El material que se emplea para fabricar los tambores de freno, es la Fundición Gris, ya que garantiza una estabilidad de las prestaciones durante el período de vida de las tambores. También son sometidos a estudios de dureza, para así estar en el rango que corresponde a una calidad excelente.

Las tambores de freno deben ser de 207-255 HB (Grados Brinel) de dureza, la composición básica del material de las tambores de freno es una Fundición Gris que contiene aproximadamente un 92% de hierro y el 8% restante de los componentes son tales como, Si de 1.6 a 1.8 %, Mn de 0.6 a 0.8 %, P de 0.001 a 0.15 %, S de 0.001 a 0.12 y el Ni de 0.4 a 0.6 %, con esta composición se garantiza la calidad de un elemento de frenado (Reinosa A., 2012).

El hierro fundido o hierro colado al igual que el acero, es una aleación formada principalmente por hierro y carbono y se diferencia de este en: mayor contenido de carbono, así como de las impurezas como fósforo, azufre, manganeso y silicio. Desde el punto de vista tecnológico tiene mayor fluidez, poca propensa a la deformación plástica (mayor fragilidad) (Reinosa A., 2012).

Al analizar la microestructura de los hierros fundidos veremos que estas están formadas por el grafito en estado libre y por una base metálica, de acuerdo a la constitución de la base metálica los hierros fundidos pueden ser:

1. Perlíticos; la estructura está formada por perlita y grafito, la perlita contiene aproximadamente 0,8 % carbono.
2. Ferríticos; su estructura consta de ferrita y grafito, prácticamente todo el carbono estará en forma de grafito.
3. Ferríticos–perlíticos; la estructura estará formada de ferrita, perlita y grafito, la cantidad de carbono que se combina con el hierro será aproximadamente de 0,8 %.

Como se ha dicho anteriormente, las propiedades de los hierros fundidos dependen de la base metálica y de la forma en que se encuentra el grafito, en la tabla 1, se muestran algunas de las propiedades mecánicas de los tres tipos más conocido de hierros fundidos, con la base metálica ferrítica o perlítica.

**Tabla 1. Propiedades mecánicas de los hierros fundidos.**

| Propiedades mecánicas        | Hierro fundido gris |            | Hierro fundido maleable |            | Hierro fundido de alta resistencia |            |
|------------------------------|---------------------|------------|-------------------------|------------|------------------------------------|------------|
|                              | Ferríticos          | Perlíticos | Ferríticos              | Perlíticos | Ferríticos                         | Perlíticos |
| Resistencia a tracción, Mpa. | 120-200             | 250-320    | 300-400                 | 400-700    | 400-550                            | 600-800    |
| Dureza, HB                   | 117-148             | 207-255    | 117-190                 | 140-190    | 127-187                            | 200-285    |

Como se puede observar la resistencia mecánica de los hierros fundidos perlíticos es superior que en el caso de los ferríticos y la plasticidad es menor, además de la ferrita y de la perlita por medio del tratamiento térmico se puede obtener otras estructuras (como martensita), que posee mayor resistencia que la ferrita y la perlita.

Sin embargo, las propiedades del hierro fundido gris fundamentalmente se determina por la forma del grafito y éstas no se cambian por medio del tratamiento térmico, pues el tratamiento térmico en los hierros fundidos grises se utiliza con el fin de aumentar las propiedades mecánicas.

El tratamiento térmico en los hierros fundidos tiene como fines específicos

- Eliminar tensiones internas surgidas durante la solidificación de la aleación.
- Disminuir la dureza y mejorar la maquinabilidad de la pieza fundida.
- Cambiar las propiedades mecánicas de la pieza variando la base metálica.

El tratamiento térmico para los hierros fundidos puede dividirse en dos grupos; los que aumentan y los que reducen la estabilidad de la estructura.

Los primeros se refieren a aquellos que como resultado de la grafitización, homogenización, esferoidización, coalescencia, descomposición de la austenita y a la correspondiente transformación de los productos de esta descomposición (austenita  $\Rightarrow$  martensita) o (austenita  $\Rightarrow$  trostita  $\Rightarrow$  sorbita  $\Rightarrow$  perlita). A estos corresponden los distintos regímenes de recocido y revenido, en resultado de los cuales las fases inestables o relativamente estables se transforman en otras más estables. A los segundos se refieren aquellos regímenes de tratamientos térmicos que conducen a la formación de fases menos estables: disminución del grado de grafitización (grafito  $\Rightarrow$  cementita) o la formación de soluciones sobresaturadas y fases más dispersas de otras menos dispersas. Estos procesos se realizan por medio del temple y la normalización. Es importante señalar que la mayoría de los casos de tratamiento térmico cambia solamente la estructura de la matriz y no influye en la forma de las inclusiones de grafito (Reinosa A., 2012).

### **1.5. Fundamentos teóricos sobre la fundición de metales**

La fundición es el procedimiento más antiguo para dar forma a los metales, fundamentalmente radica en fundir y colar metal líquido en un molde de la forma y tamaño deseado para que allí solidifique. Al penetrar el metal líquido en el molde comienza el proceso de transferencia de calor que provoca a la larga la solidificación del metal. Para los aceros en comparación con la fundición de hierros, poseen menor fluidez y exige una temperatura más alta para su vertido en los moldes, lo que provoca que se experimente una mayor contracción (2 %) y mayores defectos en las piezas fundidas, por lo que, la obtención de piezas de acero sin defectos depende decisivamente de la construcción correcta de la pieza a moldear, es decir, de que no surjan acumulaciones locales del metal y existan pasos suaves de una sección a otra, de un correcto cálculo de los sistema de



alimentación que permita el llenado de metal en el molde de una forma suave y sin turbulencia para evitar acumulaciones y absorciones de gases en el mismo, de propiedades específicas en los materiales de moldeo que garanticen la solidificación del metal en el mismo y de la composición química del metal que se quiera obtener.

Pudiéndose resumir las siguientes propiedades tecnológicas más importantes para efectuar la fundición como, la fluidez, la contracción (volumétrica y lineal); la disposición de la aleación, la segregación, a la creación de grietas calientes, la absorción de gases y creación de porosidades de gas (Malishev 1975)

Definiéndose algunos de los términos a continuación

#### Fluidez

Es la propiedad de los metales y aleaciones en estado fundido de llenar la cavidad del molde y reproducir con exactitud los contornos de la cavidad del molde. Una buena fluidez de la aleación asegura la obtención de piezas compactas de elevada calidad, la disminución de sopladuras de gas y cavidades de contracción del llenado incompleto.

La capacidad del metal o la aleación de llenar la cavidad del molde depende de sus propiedades físicas, la viscosidad y la tensión superficial. Además ejerce influencia sobre la fluidez el contenido de impurezas en el metal o la aleación; la disposición a la oxidación y la extracción del calor del molde de fundición.

#### Contracción

Propiedad de los metales y aleaciones de reducir su volumen durante la solidificación y enfriamiento. Se acostumbra a diferenciar las contracciones lineal y volumétrica las cuales no se expresan en valores absolutos, sino en relativos.

Donde la contracción lineal comienza con cierta anterioridad, después de crearse un esqueleto bastante resistente de cristales que tienen contacto mutuo, capaz de resistir la presión de la aleación líquida; por consiguiente la temperatura del inicio de la contracción lineal será la temperatura que se halla entre el líquido y el sólido.

La contracción volumétrica o de fundición se llama a la diferencia entre las dimensiones lineales del modelo y la pieza, esta contracción se diferencia de la contracción lineal por el hecho de que la primera depende no sólo de las propiedades y el estado del metal y la

aleación, sino también de la estructura de la pieza, la estructura del molde y algunos otros factores (Malishev, 1975; Biedermann, 1965; Salcines, 1985).

Porosidades de contracción:

Es la acumulación de pequeñas oquedades (poros) de forma irregular, los cuales se formaron en la pieza como resultado de la contracción volumétrica al no haber afluencia de metal líquido (Malishev, 1975; Biedermann, 1965; Salcines, 1985).

Segregación:

Es la heterogeneidad de la composición química de la aleación en diferentes partes de la pieza fundida, surge en el proceso de solidificación de la pieza, como resultado de la distinta solubilidad de los diversos componentes de la aleación en sus fases sólida y líquida. La segregación provoca la heterogeneidad de las propiedades mecánicas en las distintas partes de la pieza, pudiendo provocar la ruptura de las piezas durante su explotación (Malishev, 1975).

#### **1.5.1. Solidificación de las piezas fundidas**

Al penetrar el metal en el molde comienza el proceso de transferencia de calor que provoca a la larga la solidificación del metal. Este proceso de transferencia se efectúa a régimen no estacionario, es decir, que el gradiente de temperatura y las propiedades termo físicas del metal cambian continuamente a lo largo del tiempo.

La solidificación del metal comienza de las paredes del molde hacia el interior del mismo, lo que hace que exista un frente de solidificación que avanza hacia el interior del molde en función de la disminución de la temperatura con el tiempo, (Wlodaver 1966; Titov, 1981; Goyos y Martinez, 1985), aseguran además que la forma del frente de solidificación tiene una gran importancia práctica, pues la característica del rechupe depende del tipo de frente. Se presentan cuatro formas principales de frente; frente plano, columna, dendrítico, con nucleación independiente.

En la solidificación de piezas o de lingotes, las leyes de escala son distintas para cada uno de los diferentes problemas encontrados. Si consideramos al líquido como un todo, la convección puede variar de acuerdo a la tercera potencia de la dimensión lineal de la pieza que se fabrica; igualmente, la solidificación puede variar según una ley cuadrática,

variando de manera simultánea los esfuerzos térmicos creados por los cambios volumétricos de forma lineal con la dimensión (Titov y Stepanov, 1981).

Al tomar en cuenta los efectos de la convección, se puede decir que principalmente el proceso de solidificación de una pieza está referido a las etapas de fusión de la aleación, seguido de la transferencia de calor de la aleación líquida dentro de las cucharas para ser vaciada en los moldes, y la remoción del calor que dé como resultado la transformación líquido-sólido. Durante la solidificación, el líquido se mueve a través de los cristales dendríticos para alimentar la contracción volumétrica producida por la cristalización. Este hecho, conduce a efectos de desaparición de cristales dendríticos durante el movimiento del flujo de metal líquido, y a la segregación mediante concentración de átomos de soluto en algunas regiones de la pieza.

En aquellas regiones donde el flujo ha creado trayectorias, la continua contracción crea un descenso en la presión del líquido residual que puede llegar a ser negativa, lo que genera succión de la superficie de la pieza. Esto continuará hasta que toda la pieza haya solidificado, a menos que los esfuerzos hayan crecido hasta valores suficientemente altos para crear una repentina disipación de gas o de vapor, lo que generará una cavidad. Al paralizarse el hundimiento de la superficie, se inician otros eventos que conducen a la creación de defectos internos (Kumar y Chadwick, 1972; Vashukov, 1978).

Para el tecnólogo de fundición es muy importante conocer cómo progresa la solidificación y cuál es su secuencia dentro de la pieza, porque esa información le ayuda a diseñar adecuadamente tanto las mazarotas como el sistema de entradas al molde, lo que le permite obtener productos sanos y libres de rechupes (Flemings, 1983).

Plantean (Kurz y Fisher, 1986 y Flemings, 1983), que el tecnólogo debe conocer que la distribución térmica en una pieza varía en función de la distancia desde un sumidero de calor como lo son los enfriadores y las paredes del molde; así como también, a partir de fuentes de generación de calor como suplementos, materiales exotérmicos y mazarotas. Al mismo tiempo, debe saber cómo lograr una solidificación direccional y/o progresiva, para la eliminación de cavidades y rechupes en las zonas críticas de una pieza, consideran además que la transferencia de calor tiene una íntima relación con la geometría de la pieza y con las propiedades tanto del metal o de la aleación y del molde.

El rechupe (Guliaev, 1978 y Pero-Sanz, 1996) es consecuencia de la contracción del metal líquido en el molde durante las etapas en que el metal está en estado líquido y durante la solidificación. Cuando se habla de alimentar el rechupe, o lo que es lo mismo, de suministrar a la pieza una cantidad extra de metal para compensar la contracción o rellenar la cavidad del rechupe, en realidad lo que se está haciendo es compensar la contracción. El procedimiento usual, para garantizar que no aparezca la cavidad del rechupe en la pieza, se debe a que la mazarota aporte la cantidad de metal líquido suficiente para compensar la contracción en estado sólido para llenar la cavidad del rechupe. Para que tenga lugar la alimentación de la contracción deben cumplirse dos condiciones

- Que exista la suficiente cantidad de metal líquido (se garantiza con un adecuado diseño de la mazarota).
- Que el metal líquido alimente las cavidades de rechupe (se garantiza con una selección adecuada de la posición de la mazarota).

Además de las condiciones de diseño y posición de las mazarotas, existen características propias del metal que dificultan o favorecen la alimentación de la contracción.

(Guliaév, 1978): Plantea que la velocidad de todo el proceso de enfriamiento está determinada cuantitativamente por dos magnitudes

1. La velocidad de formación de los centros de cristalización.
2. La velocidad de crecimiento de los cristales.

### **1.5.2. Influencia de los materiales de moldeo**

Debido a que la selección de los materiales empleados para la construcción de moldes tienen una gran importancia en la obtención de piezas fundidas, si no se utilizan materiales adecuados y de buena calidad, las piezas fundidas que se obtengan presentarán deficiencias, tales como, aspecto rugoso o huecos, rajaduras, rechupes. Defectos provocados por una mezcla imperfecta en la confección de moldes, a continuación se citan las propiedades que deben reunir los materiales a emplear para el moldeo.

Tienen que ser plásticos es decir deben permitir una preparación cómoda del molde, de ella depende que el material reproduzca de manera exacta la forma de la plantilla de la pieza fluyendo y aglomerándose alrededor del mismo.

Han de ser consistentes y resistentes, sin ser impermeables, es decir deben soportar los efectos de la colada sin que se produzcan desmoronamientos o roturas del molde a causa de la presión del metal líquido.

Deben ser porosos; es decir poseer una permeabilidad suficiente para dejar escapar los gases que se desarrollan durante la colada.

Refractarios para soportar las altas temperaturas de la fundición sin romperse, agrietarse o fundirse, además no deben vitrificarse, es decir no debe cubrirse la pieza fundida con una masa fundida.

Malos conductores del calor a fin de que el enfriamiento de la colada se efectúe en forma paulatina (Salcines, 1985).

### **1.5.3. Secuencia de los procesos de fundición**

La posibilidad de fundir un metal o una aleación depende de su composición (fijada por el intervalo de solidificación), temperatura de fusión y tensión superficial del metal fundido. Todos estos factores determinan su fluidez. Se utilizan tres tipos de fundición (Gutiérrez, 2007):

- En lingoteras se usa la fundición de primera fusión a la que se añaden los elementos de aleación necesarios que posteriormente se depositan en lingoteras de colada por gravedad o a presión.
- Colada continua en este tipo se eliminan las bolsas de aire y las secreciones, tanto longitudinales como transversales. Mediante este sistema se obtienen barras, perfiles.
- Fundición en moldes se extraen las piezas completas.

Las etapas del proceso de fundición por el método en moldes perdidos de arena con fraguado en frío mediante resina furánicas y catalizador utilizado en la UEB fundición de la empresa mecánica del níquel “Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche” consta de las etapas siguientes:



1. Estudio de factibilidad
2. Elaboración de la tecnología de fundición (carta tecnológica).
3. Elaboración de la Plantilla
4. Preparación de la mezcla y confección del Molde
5. Ensamble del Molde.
6. Preparación de la carga
7. Vertido de la aleación
8. Desmolde, limpieza y acabado
9. Tratamiento térmico.
10. Certificación de calidad del producto fundido

Una vez confeccionada la tecnología de fundición y plasmada en la carta tecnológica (documento que rige las exigencias y secuencia de operación en todas las etapas del proceso), el proceso de fabricación se desarrolla en tres aristas de forma simultánea.

Cada una de las etapas del proceso presenta características y particularidades que son necesarias controlar para obtener piezas fundidas libre de defectos. De modo que a continuación se exponen las características principales de cada etapa del proceso de obtención de piezas fundidas.

- Estudio de factibilidad es realizado por el especialista en mercadotecnia, el cual posee amplios conocimientos de fundición, y es el responsable de brindarle al cliente las especificaciones del producto que se le puede fabricar atendiendo a las exigencias de sus necesidades en cuanto a piezas fundidas y el precio de su producto.
- Elaboración de la carta tecnológica es realizado por los tecnólogos de fundición quienes plasman en un documento la secuencia de operación y las especificaciones de los productos a utilizar en cada una de las etapas del proceso.
- Elaboración de la plantilla una vez confeccionada la tecnología de fundición y plasmada en la carta tecnológica, se procede a la elaboración de la plantilla, en madera, con las exigencias plasmada en el documento.

- Elaboración de la mezcla y el molde confeccionado la plantilla, se procede a la elaboración de la mezcla; para el caso de la mezcla de fraguado en frío con resina y catalizador, se dispone de un equipo mezclador capaz de mezclar según proporciones recomendada por la carta, las cantidades de arena, resina y catalizador, y es depositada sobre la plantilla en una caja metálica, para elaborar el molde, donde al fraguarse la mezcla y retirarse la plantilla quedará confeccionado el molde.
- Ensamble de los moldes los moldes preparados son trasladado al área de ensamble donde se unen las dos partes del molde (parte inferior y parte superior) que formaran la pieza en su conjunto y se introduce de ser necesarios los machos que formarán las cavidades interiores. Dejando de esta forma el molde listo para recibir el metal líquido que se solidificará en su interior.
- Preparación de la carga simultáneamente en la medida que se confecciona el molde se elabora la carga metálica, que se fundirá en los hornos de inducción la cual garantizará la aleación de la pieza contenida en la documentación tecnológica.
- Vertido de la aleación fundida la carga metálica en los hornos de inducción se extrae el metal de los hornos a la temperatura recomendada por la documentación y es vertida a temperatura definida en los moldes confeccionados para la pieza.
- Desmolde, limpieza y acabado una vez vertido el metal líquido en el molde se deja en reposo el tiempo establecido en la carta y luego se procede a su desmoldeo y limpieza superficial.
- Tratamiento térmico Se efectúa el tratamiento térmico en hornos a fines al proceso, calentando la pieza en dicha instalación hasta una temperatura establecida que permita lograr en la pieza fundida la estructura interna deseada según la composición química de la aleación que garantice la estabilidad durante su posterior utilización.
- Certificación de calidad del producto fundido Es efectuado por el especialista de calidad quien inspecciona y certifica la calidad del producto fundido a entregar al cliente con las especificaciones del documento tecnológico.



## **1.6. Conclusiones del Capítulo I**

1. La bibliografía consultada reporta importantes contribuciones al desarrollo de técnicas de fundición, para los hierros que garanticen obtener piezas fundidas de calidad.
2. Los elementos teóricos analizados permiten asegurar que es posible la fabricación, por el método de fundición, de las tambores de freno de los ómnibus Yutong.
3. En los trabajos consultados existe poco referencia sobre las tambores fabricadas por fundición.

## CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

---

En este capítulo determinamos los materiales y métodos que vamos a utilizar para la selección de la aleación apta para la fabricación de las tamboras de freno y, el desarrollo de una nueva tecnología de fundición.

El **objetivo** del presente capítulo es proyectar los parámetros fundamentales por los que están constituidos los distintos materiales empleados en la obtención de las tambora así como la tecnología de fundición de las tamboras traseras y delanteras del ómnibus Yutong.

### 2.1. Determinación de la disponibilidad de los carros para el transporte de pasajeros

El factor de disponibilidad de un equipo o sistema es una medida que nos 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.

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.

Disponibilidad del equipo: Es la relación 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. Determinación de los esfuerzos en las tambores de freno de los equipos de transporte de pasajeros

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 P.; Álvarez D.; Vera C., 2005)

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  $M_{fd}$  y  $M_{ft}$  aplicados en sentido opuesto a su movimiento. Cuando esto sucede, el suelo reacciona con una fuerza sobre el neumático, denominada fuerza de frenado, que trata de mantenerlo girando.

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  $F_{f-disco}$  aplicada a una distancia del eje de la rueda. En este caso el par de frenado sería:

$$M_f = F_{f-disco} \cdot r_{disco}$$

Siendo:

$r_{disco}$ - radio medio del disco de freno, donde se 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:

$$M_f = F_{f-tambor} \cdot r_{tambor}$$

Siendo:

$r_{tambor}$  - radio medio del tambor de freno, donde se supone 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:

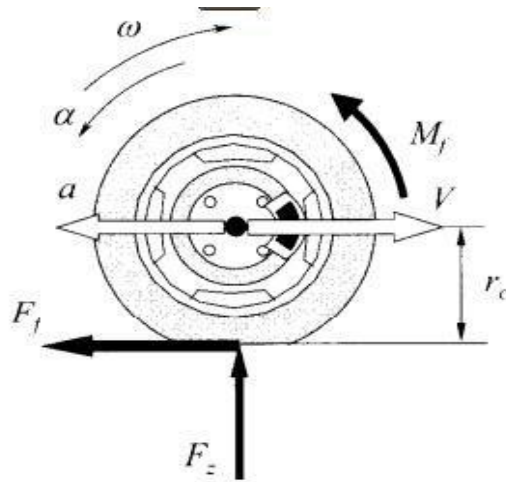


Figura 2.1. Diagrama del cuerpo libre de la rueda

$$M_f - F_f \cdot r_c = I \cdot \alpha$$

Para lo que:

$r_c$ : 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.

$\alpha$ : 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:

$$M_f = F_f \cdot r_c$$



Si aplicamos esta teoría a la Yutong y considerando la ficha técnica del equipo (Anexo 1), donde se relaciona el peso del puente trasero y delantero, entre otros datos extraídos del Manual de Introducción del Autobús de Serie ZK6118HGA, se obtiene las siguientes ecuaciones:

$$M_{hp} = r_{dp} \cdot P_{hp} \quad (2.2)$$

$$M_{ht} = r_{dt} \cdot P_{ht} \quad (2.3)$$

**Dónde**

$M_{hp}, M_{ht}$ : Momento de frenaje sobre las ruedas de los ejes traseros y delanteros producidos por los frenos.

$P_{hp}, P_{ht}$ : Fuerza de frenaje sobre las ruedas de los ejes traseros y delanteros que actúa en la periferia de las ruedas en los puntos de contacto de las ruedas con el camino.

$r_{dp} = r_{dt}$ : Radio dinámico, en este caso son iguales pues las yantas tienen las mismas dimensiones

Radio dinámico

$$r_d = \frac{D_0}{2} + b_0 \cdot (1 - \lambda) \quad (2.4)$$

Dónde:

$D_0$ : Diámetro de la llanta

$b_0$ : Ancho de la llanta

$\lambda = 0.11$ : Coeficiente que depende del tipo de vehículo

Se supone que entre las ruedas frenadas y el camino no hay deslizamiento por lo tanto debe cumplir que:

$$P_{hp} \leq P_{\mu p} = G_p \cdot \mu \quad (2.5)$$

$$P_{ht} \leq P_{\mu t} = G_t \cdot \mu \quad (2.6)$$

Dónde:

$P_{\mu p}, P_{\mu t}$ : Fuerza de adherencia de las ruedas traseras y delanteros

$G_p, G_t$ : Peso de los puentes traseros y delanteros



$\mu = 0.8$ : Coeficiente de adherencia, depende de las condiciones y estructura del camino

Sustituyendo en la ecuación anterior se obtiene que:

$$M_{hp} = r_{dp} \cdot P_{hp} = G_p \cdot \mu \cdot r_{dp} \quad (2.7)$$

$$M_{ht} = r_{dt} \cdot P_{ht} = G_t \cdot \mu \cdot r_{dt} \quad (2.8)$$

### 2.3. Métodos, procedimientos y condiciones experimentales

Las fallas en las tambores de freno son de constante preocupación debido a las considerables pérdidas económicas y efectos secundarios que implican; por lo que se hace necesario definir las regularidades del comportamiento de las mismas. Dichas regularidades se caracterizan por rasgos peculiares de las aleaciones a investigar, su estructura y propiedades conjuntamente con factores de construcción, pueden influir sobre las mismas.

Lo planteado implica la aplicación de técnicas de ensayos para identificar el carácter de las roturas que se presentan en las tambores de freno. Se deduce entonces la necesidad de considerar si las fallas están asociadas a dificultades de los materiales empleados para su fabricación o a problemas relacionados con la construcción, geometría o insuficiente resistencia mecánica.

Se planificaron los experimentos siguientes en estado virgen y después de la falla:

1. Análisis químico.
2. Análisis fractográfico.
3. Análisis metalográfico.
4. Ensayos de dureza y microdureza.
5. Ensayos de tracción.
6. Simulación del comportamiento a las tensiones.

### 2.4. Selección y preparación de muestras

En el taller 08 de la Empresas Mecánica del Níquel Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche, donde se fabrican tambores 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 usamos un ejemplar de las tamboras fabricada por China Zhengzhou Yutong Group Lts., Co, de HT 250 como patrón, de igual forma se compararan las tres aleaciones con la norma ASTM A 159-83 (Reapproved 1993) la cual plantea que para las piezas de tamboras de frenos, se exige que se fabriquen de hierro gris con un material grado G3500b, compuestos según la tabla X1.2, con una dureza HB= 207 - 255,  $\Phi$  impresión Brinel= 4.2 - 3.8 mm (bola  $\Phi$  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-12B 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  $\mu$  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.
4. 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.
5. 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.

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

#### 2.4.1. Análisis químico de los materiales empleado

La composición química de las probetas, se desarrolló con el empleo de un espectrómetro cuántico de masa (Espectrolab-230) perteneciente a la Empresa Mecánica del Níquel, para lo cual se limpiaron las superficies, con el empleo de papeles abrasivos, tomando tres muestras para cada probeta, separadas las mismas por una distancia de 1 cm. El material que se usó como patrón A 278M Clase 275 (comparable al HT 250), según la Normas ASTM A 278M-93 y NC 16-33:80, al igual que la composición química exigida por la norma internacional que se muestra en la tabla 2.1 y 2.2 donde se reflejan los valores de ambos materiales.

Tabla 2.1. Composición química de la probeta de fundición gris HT 250

| Fundición gris HT 250 |     |     |      |      |      |      |
|-----------------------|-----|-----|------|------|------|------|
| C                     | Si  | Mn  | S    | P    | Cu   | Ni   |
| 3.4                   | 1.8 | 0.9 | 0.02 | 0.01 | 0.36 | 0.03 |

Tabla 2.2. Requerimientos de la norma ASTM-A158-93

| Grado G 3500b |      |         |      |           |      |        |      |         |      |               |      |
|---------------|------|---------|------|-----------|------|--------|------|---------|------|---------------|------|
| Carbono       |      | Silicio |      | Manganeso |      | Azufre |      | Fósforo |      | Aleaciones    |      |
| Min           | Máx. | Min     | Máx. | Min       | Máx. | Min    | Máx. | Min     | Máx. | Min           | Máx. |
| 3.4           | -    | 1.3     | 1.8  | 0.6       | 0.9  | -      | 0.12 | -       | 0.15 | Como requiera |      |

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 ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) 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  $\text{Fe}_3\text{C}$  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.

#### **2.4.2. Análisis fractográfico**

Las superficies de fractura, las macro y micro grietas se estudiaron fractográficamente a través de la observación visual y la microscopía con aumentos de 20X en un microscopio óptico de la marca OLYMPUS BX51M, el que posee magnificación de hasta 1000X. (Barsom, J., 1994)

#### **2.4.3. Análisis metalográfico**

El análisis microestructural consistió en la observación de la muestra China (fundición gris HT 250) como patrón para establecer el comportamiento de los materiales de las muestras antes y después del tratamiento térmico, considerando cada una de las aleaciones estudiadas. Este comportamiento también se calificó de acuerdo con la Norma Internacional ASTM, en la designación A 159-83 “. La cual en su acápite X1.3 “Microestructura”, plantea que para las piezas de tamboras de frenos, se exige que se fabriquen de hierro gris, con una microestructura de matriz perlítica laminar. (Sturla, A.; Castellano, E. 1951)

#### **2.4.4. Determinación de las propiedades mecánicas**

El ensayo de tracción permite determinar varias características mecánicas importantes de los materiales, las que pasan a ser criterios de su calidad; al mismo tiempo permiten juzgar con suficiente exactitud el comportamiento del material cuando está sometido a otros tipos de solicitaciones. (Estrada-Cingualbres, R., 2001)

La máquina de ensayo impone la deformación desplazando el cabezal móvil a una velocidad seleccionable; se utilizan dispositivos especiales para medir los desplazamientos producidos en la probeta, en unidades de longitud. Utiliza en su parte

frontal una escala graduada en unidades de fuerza donde se puede leer con facilidad el valor de la carga aplicada de acuerdo a la escala utilizada. También consta de un sistema para gráficos, que permite obtener el diagrama de tracción del material ensayado; en el eje de las abscisas se registra el alargamiento y en el eje de las ordenadas las cargas actuantes.

Para la realización de este ensayo se utilizan probetas normalizadas de acuerdo a las normas existentes, pueden ser probetas largas en las cuales la longitud de trabajo ( $L_0$ ) es  $10d$  y probetas cortas donde  $L_0 = 5d$ .

En estos ensayos pueden utilizarse probetas de sección transversal no circular: cuadrada y rectangular, en este caso la longitud  $L_0$  se determina por la siguiente expresión:

$$L_0 = 11.3\sqrt{S_0} \quad \text{Probetas largas} \quad (2.9)$$

$$L_0 = 5.65\sqrt{S_0} \quad \text{Probetas cortas} \quad (2.10)$$

En la Figura 2.2 se muestra un croquis de probetas normalizadas para tracción.

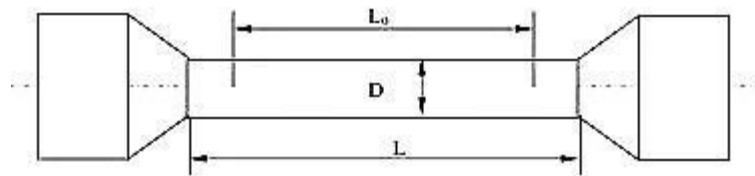


Figura 2.2. Probeta normalizada para un ensayo de tracción

#### 2.4.5. Cálculo del carbono equivalente

El espesor combinado se define como la suma de los espesores que concurren a la junta. El carbono equivalente de la fundición en función del carbono, el silicio y el fósforo:

$$\%C_{eq} = \%C + \frac{(\%Si + \%P)}{3} \quad (2.11)$$

Donde:

$\%C_{eq}$  - carbono equivalente; %

$\%C$  - carbono; %

$\%Si$  - silicio; %



%P - fósforo; %

La influencia combinada del carbono y el silicio normalmente se evalúa mediante la expresión siguiente:

$$C_{eq} = \%C + 0,3(\%Si) + 0,33(\%P) - 0,27(\%Mn) + 0,4(\%S) \quad (2.12)$$

Donde:

%Mn - manganeso; %

%S - azufre; %

El cálculo del CE permite evaluar el efecto de la composición de los elementos en las fundiciones no aleadas. Permite estimar si una determinada fundición será hipo o hipereutéctica durante la solidificación.

#### 2.4.5.1. Contenido de carbono y silicio en la fundición

A efectos de determinar el contenido de C y Si del metal base se utilizan las curvas de enfriamiento ya que los hierros fundidos son considerados aleaciones ternarias de hierro, carbono y silicio. El contenido de C y Si de una fundición solidificada metaestablemente puede calcularse en función de los valores temperatura de transformación eutéctica (CET) y temperatura de arresto de líquidus (TAL), en base a las fórmulas siguientes según (Dardati *et al.*, 2004).

$$Si[\%] = \frac{2085,4 - C_{ET}}{22,7} \quad (2.13)$$

$$C[\%] = \frac{(2\,994 - T_{AL} - 53,07 \cdot \%Si)}{212,3} \quad (2.14)$$

$$T_{AL} = 1569 - 97,3 \left( C + \frac{1}{4} Si \right) \quad (2.15)$$

Donde:

$C_{ET}$  - carbono equivalente total; %

$T_{AL}$  - temperatura de líquidus de la austenita; oC



El contenido de manganeso varía en función de la matriz deseada, típicamente, puede ser tan baja como 0,1 % para hierros ferríticos y tan alta como 1,2 % para hierros perlíticos, ya que el manganeso es un fuerte promotor de la perlita.

$$\%Mn = 1,7(\%Si) + 0,15 \quad (2.16)$$

Se determina la cantidad de manganeso en la fundición, este puede modificar la microestructura del grafito ya que incide sobre su proceso de crecimiento. Cuando hay presencia de manganeso, promueve la resistencia a la grafitización; por lo tanto, el contenido de manganeso necesario para reaccionar con azufre, sirve para retener microestructuras perlíticas, generando así las matrices perlíticas en las fundiciones de hierro.

#### **2.4.6. Dureza superficial**

El ensayo de microdureza se aplicó para la determinación de la dureza de los volúmenes microscópicamente pequeños de la aleación. Para el ensayo se utilizó un microscopio modelo: PMT-3 No 168, Berkovich (1952), del laboratorio de microscopia de minas del ISMM Moa. La superficie de la probeta se prepara de la misma manera que para el análisis microestructural (desbaste y pulido).

El número de dureza HV se determinó por el tamaño de las huellas. Para determinar la microdureza (HVN) de las probetas de análisis se realizó el ensayo para una carga de 20 g, donde se midió los diámetros de las huellas de la punta del diamante con 136°, con una penetración en un tiempo de 15 segundos, las medidas se tomaron para los puntos de prueba seleccionados a una distancia de 1 cm la superficie de las probetas.

### **2.5. Modelación y simulación de elementos seleccionados**

La metodología que se va a utilizar en este caso está relacionada con el software complementario SolidWorks versión 2013, donde se determinarán las zonas de mayores concentraciones de tensiones bajo condiciones de carga especificada; para las tambores de freno de los Ómnibus Yutong, usando la discretización de los “Nodos intermedios”. (Oliver, J.; Hueste, A.; Blanco, S., 2005)

#### **2.5.1. Pasos a seguir para la ejecución del Método de Elemento Finito**

1. Elaboración del modelo geométrico en 3D de las piezas.

2. Creación de un estudio para cada caso.
3. Selección del material utilizando la biblioteca de materiales del SolidWorks.
4. Aplicación de las condiciones de frontera.
5. Aplicación de las cargas correspondientes para cada una de las piezas.
6. Corrida de los estudios para la obtención de los resultados.

### 2.5.2. Modelación de la tambora delantera fabricada por China Zhengzhou Yutong Group Lts., Co

En la figura 2.3 a), se muestra el modelo geométrico de la tambora, esta presenta nueve agujeros por donde se une a las yantas, 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. En la figura 2.3 b), se muestra el mallado de la tambora, el mismo se realizó fino para obtener mayor precisión.

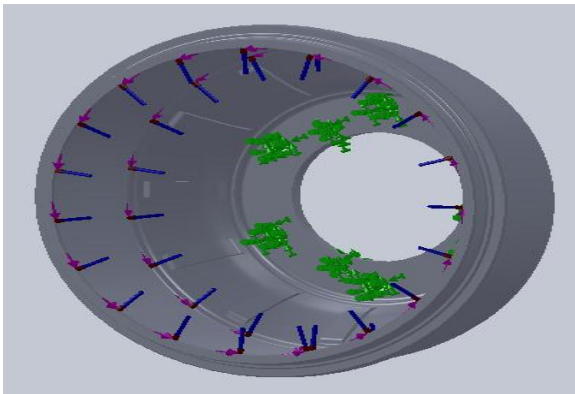


Figura 2.3 a). Cargas y condiciones de frontera para la tambora

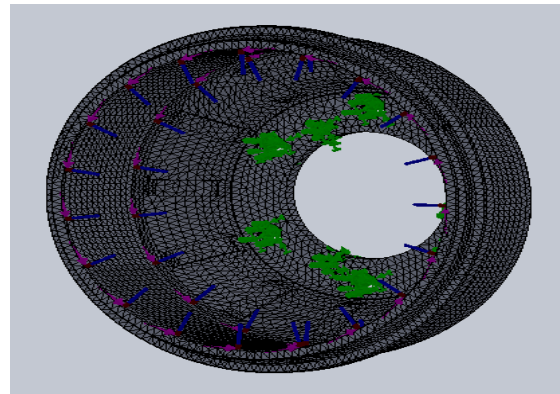


Figura 2.3 b). Mallado de la tambora.

### 2.5.3. Modelación de la tambora trasera fabricada por China Zhengzhou Yutong Group Lts., Co

En la figura 2.4 a), se muestra el modelo geométrico de la tambora, esta presenta diez agujeros por donde se une a las yantas, 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. En la figura 2.4 b), se muestra el mallado de la tambora, el mismo se realizó fino para obtener mayor precisión.

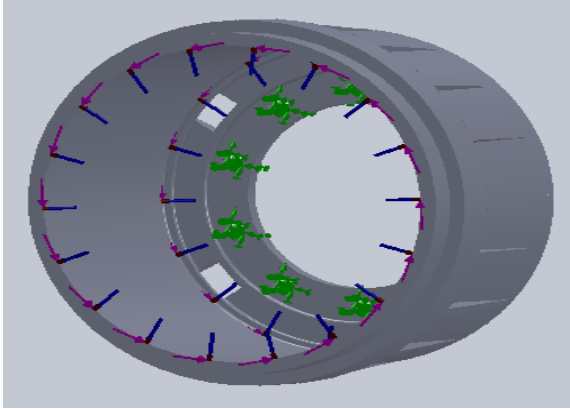


Figura 2.4 a). Cargas y condiciones de frontera para la tambora

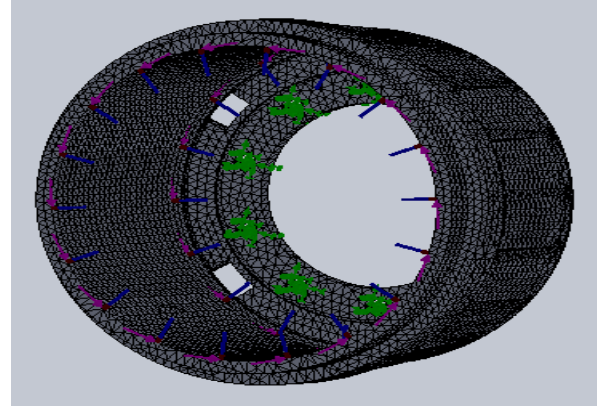


Figura 2.4 b). Mallado de la tambora.

El mismo procedimiento se siguió para modelar las tambores rediseñadas, las cuales sufrieron cambios tanto en sus espesores como en los radios de curvatura.

## 2.6. Análisis estadístico y prueba de significancia

Para comprobar la idoneidad del método y los modelos propuestos se desarrolló el tratamiento estadístico de los resultados, simulados y experimentales, con la utilización del tabulador Microsoft Excel 2003 y el paquete estadístico Statgraphics, lo que permitió establecer la necesaria correspondencia entre las observaciones teóricas y las experimentales.

La prueba de significación entre los resultados teóricos (frecuencia esperada) y los experimentales (frecuencia observada) se realiza mediante la prueba de “t-Student”, para medias de dos muestras emparejadas, la que posibilita establecer si hay diferencia o no entre las medias de los datos.

El valor de la prueba “t” se calcula (Sánchez y Torres, 1989; Freund y Simona, 1992; Vilar, 2006) por la ecuación:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_{xy}} \sqrt{\left( \frac{n_x n_y}{n_x + n_y} \right)} \quad (2.17)$$

Donde:

$\bar{x}_1$  y  $\bar{x}_2$  - medias de las series de datos comparadas.

$S_{xy}$  - desviación media cuadrática ponderada.



$n_x$  y  $n_y$  - tamaño de las series  $X_i$  e  $Y_i$ .

Como el tamaño de la muestra en cada serie es igual, entonces:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_{xy}} \sqrt{\frac{n}{2}} \quad (2.18)$$

Por lo que la desviación estándar ponderada se calcula de la siguiente manera:

$$S_{xy}^2 = \frac{(n_x - 1)S_x^2 + (n_y - 1)S_y^2}{n_x + n_y - 2} \quad (2.19)$$

Según Freund y Simona (1992) y Sánchez y Torres (1989) es necesario determinar la probabilidad de cometer un error casual o error tipo dos, teniendo en cuenta que no se conoce la varianza de la población aunque se puede estimar conociendo la varianza de la muestra:

$$\vartheta(\mu) = f(d_{fm}) \quad (2.20)$$

Siendo:

$d_{fm}$  - relación entre la diferencia de las medias y la varianza.

$$d_{fm} = \frac{|\mu_1 - \mu_0|}{s} \quad (2.21)$$

$\vartheta(\mu)$  - probabilidad de ocurrencia de un error de estimación.

Se determina  $\vartheta(\mu)$  en dependencia del número de muestras y del resultado de la relación entre la diferencia de las medias y la varianza.

### 2.6.1. Formulación de la hipótesis estadística

La idoneidad de los modelos con una distribución de tensiones más uniforme, se realiza a través de la comprobación de que hay una diferencia significativa entre las variables de salida o si es resultado de la aleatoriedad.

Sobre la base de los planteamientos anteriores se establecen las hipótesis siguientes:

$$H_0: |t_{abs}| > \frac{t_{\alpha/2, n-1}}{2}; \text{ para } N-1 \text{ grados de libertad}$$

$$H_1: |t_{abs}| \leq \frac{t_{\alpha/2, n-1}}{2}; \text{ para } N-1 \text{ grados de libertad}$$

Donde:



$H_0$  - hipótesis nula

$H_1$  - hipótesis alterna.

t - estadístico "t" observado.

La toma de decisiones se realiza teniendo en cuenta que si bajo la hipótesis estadística asumida se cumple la desigualdad  $t_{abs} > t_{0.05}$ , entonces se rechaza  $H_0$  y se concluye que la diferencia entre las varianzas es significativa. El valor  $t_{0.05}$ , se selecciona para un nivel de significación  $\alpha_t = 0.05$  y  $v_1 = N - 1$  grados de libertad.

## **2.7. Tecnología de fundición para la fabricación de tambores traseros y delanteros**

La fabricación de piezas aplicando las técnicas de fundición comienza primeramente con análisis detallado del plano de la pieza para determinar su factibilidad, en la cual el tecnólogo de fundición determina los parámetros técnicos para la elaboración de la plantilla y las demás secuencias de operaciones hasta obtener la pieza, para lograr este objetivo se tiene en cuenta el material a emplear, el tipo de moldeo que se debe de aplicar, el tipo de horno a utilizar, los materiales de carga que vamos a emplear, se determina la pintura, la temperatura de vertido, el tiempo de reposo del molde antes de fundir y después de fundida la pieza.

### **2.7.1. Parámetros del cálculo para la obtención de piezas por fundición**

Dentro de la factibilidad para obtener una pieza fundida, está el análisis de la geometría de la pieza, para lograr que al solidificar quede libre de defectos indeseables.

Para lograr esto, fue necesario realizar una serie de cálculos que permitieran establecer el correcto llenado de la pieza en un tiempo determinado, a una temperatura establecida y con la permanencia adecuada en el molde que permita lograr la solidificación libre de defectos.

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

Cálculo de los espesores mínimos de pared.

Determinación de la posición y plano de división de la pieza en las cajas de moldeo.



Cálculo del peso de la Pieza

Análisis de la contracción de fundición.

Cálculo del Sistema de Alimentación. Dimensiones del alimentador, escoriador y tragadero.

Cálculo y diseño de las mazarotas.

Determinación de las dimensiones de la caja de moldeo.

Determinación de los elementos básicos de los procesos de colada, enfriamiento y desmoldeo de la pieza.

### **2.7.2. 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.

$$N = \frac{2(l) + b + h}{3}; (m) \quad (2.22)$$

Donde:

N - dimensión equivalente;(m)

L - longitud (m)

b - ancho (m)

h – altura (m)

### **2.7.3. Determinación de la posición de la pieza en las cajas de moldeo**

Para obtener las piezas fundidas de alta calidad en moldes de mezcla es necesario saber junto con otros factores la influencia de la gravedad. En la parte superior de la cavidad del molde se concentran los poros de gas, defectos a causa de la escoria, cavidades de contracción y porosidad. Por lo que la mayor parte de la pieza debe quedar en la caja inferior para evitar defectos en la pieza por causa de deformaciones y facilitar el montaje del molde. Para eliminar el surgimiento de sopladuras de gas, la posición elegida durante



el llenado tiene que asegurar la salida de los gases, preferentemente por encima de los machos.

Teniendo en cuenta estos aspectos las tambores traseras y delanteras se ubican completamente en la parte inferior del molde, evitando los defectos de la pieza por causa de deformaciones y lo que facilita el montaje del molde, garantizando la obtención del producto con el mínimo de poros y cavidades; asegura la ubicación correcta del sistema de alimentación así como sus mazarotas y salida de los gases, además se evita el desprendimiento de la superficie del molde al interactuar con el metal líquido.

#### **2.7.4. 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 tambores delanteras y traseras se seleccionan teniendo en cuenta las dimensiones reales de diseño de la pieza según Goyos y Martínez, (1985).

#### **2.7.5. Calculo 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 material.

$$P = V * \rho \quad (2.23)$$

$$V = \pi h (r_1^2 - r_2^2) \quad (2.24)$$

Donde:

V: Volumen de la pieza; dm<sup>3</sup>

$r_1$  : Radio mayor; m

$r_2$  : Radio menor; m

$\rho$  : Peso específico del hierro= 7,85 kg/dm<sup>3</sup>

P: Masa de la pieza; kg



### 2.7.6. Dimensiones de los orificios fundidos

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

$$d \leq 0.3h + 10 \quad (2.25)$$

Donde:

d: diámetro del agujero. (mm).

h: altura del agujero. (mm)

### 2.7.7. 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.

$$E = \frac{l_m - l_p}{l_p} \cdot 100\% \quad (2.26)$$

Donde:

E - contracción de fundición %

Lm - dimensión de la plantilla mm

Lp - dimensión de la pieza fundida mm

### 2.7.8. Determinación de la inclinación de la plantilla

La inclinación de la fundición, es la que se le da a las superficies de moldeos y machos para facilitar su extracción después de ser moldeados (Belay, (1970); Goyos y Martínez, (1985)).

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  $\alpha^0 = 2^0$  según Goyos y Martínez (1985), como se puede observar en la figura 2.5.

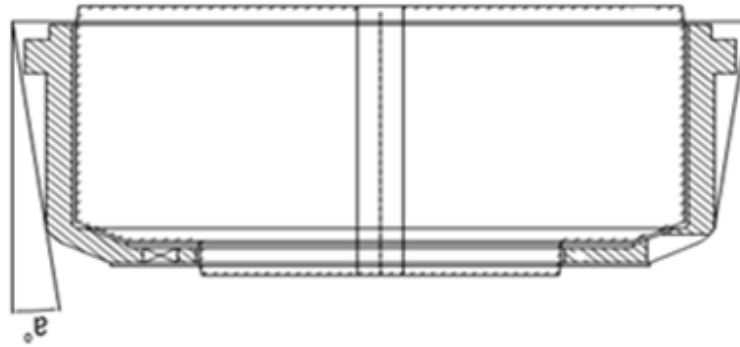


Figura 2.5 Tipo de inclinación para las tambores delanteras y traseras.

#### 2.7.9. Determinación del plano divisor de la plantilla y el molde

En correspondencia con el análisis de la ubicación de la pieza en el molde se realiza el análisis del plano de división de la plantilla y el molde. Este plano de división se determina según la forma de la pieza junto a sus exigencias técnicas y las posibilidades prácticas del taller. Como se puede observar en la figura 2.6. La misma debe de asegurarse la comodidad del moldeo y fácil extracción de la plantilla con una mínima cantidad de partes sueltas de esta. El plano divisorio seleccionado debe de asegurar la comodidad del apisonado, acabado, pintado, secado, montaje y control de las dimensiones del molde; la seguridad de colocación de los machos, y la extracción fácil de la plantilla del molde.

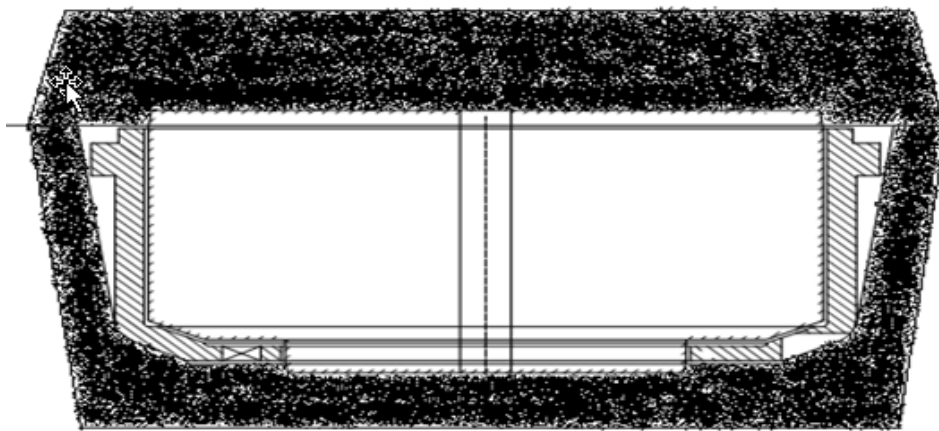


Figura 2.6. Ubicación de la plantilla en el molde con la inclinación de salida.

### 2.7.10. 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 determinaron mediante las tablas 2.15 y 2.16 del texto Tecnología de la fundición, (Goyos Pérez, Leonardo Martínez) respectivamente. Para mayor información ver anexos 5 y 6.

### 2.7.11. Cálculo del rechupe específico en el Fe- 21 Ni

Para el cálculo del rechupe específico se debe tener 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.

$$RE = 4.9 - \%C \left( 2.9 - \frac{1}{\%Si} \right) + \frac{6.3 - \log d}{\%Si} \quad (2.27)$$

RE - Rechupe específico %

REC - Rechupe de la aleación: se determina según el por ciento de carbono.

Tv - Temperatura de vertido °C.

### 2.7.12. 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). Las mazarotas deben garantizar que:

El módulo de la misma debe ser un 20 % mayor que el de la pieza para que alimente satisfactoriamente la contracción de la pieza.

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.



### 2.7.13. 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:

$$i = \frac{L - nDA_{II} - mDA_{III}}{D_{cm} + 2DA_I} \quad (2.28)$$

Donde:

i- Número de mazarotas necesarias. U

Lm- 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.

n y m tienen el valor de 0, porque la pieza es circular .

Dcm- Dimensión del cuello de la mazarota según el eje de la longitud L. mm.

T- espesor mm

DA- Distancia de alimentación mm

$$DA = 1.5 \cdot T$$

### 2.7.14. 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.

Vp (Volumen a alimentar por la mazarota)

Diámetro de la esfera de metal.

$$d_0 = 0.43 \sqrt[3]{V_p} \quad (2.29)$$

Dimensiones del cuello de la mazarota.



$$B = d = 1,5 T \quad (2.30)$$

Diámetro del círculo inscripto.

$$D_m = d_o + B \quad (2.31)$$

Longitud del cuello de la mazarota.

$$h = 0,2 D_m \quad (2.32)$$

Radios de redondeamiento.

$$R = 0,2 D_m \text{ (fondo de la mazarota.)} \quad (2.33)$$

$$R_1 = 0,05 D_m \text{ (cuello de la mazarota.)} \quad (2.34)$$

Altura de la mazarota

$$H_m = d_o + 1,7 D_m \quad (2.35)$$

### 2.7.15. 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) y Goyos y Martínez, (1985).

#### 2.7.15.1. Cálculo de la sección de alimentación

$$\Sigma F\alpha = \frac{Q}{T \cdot K} \quad (2.36)$$

$\Sigma F\alpha$  = Sección de los alimentadores en  $cm^2$

$Q$  = Peso del metal Vertido en el Molde en Kg.

$T$  = Duración del vertido en  $seg$ .

$K$  = Velocidad específica de vertido en,  $\frac{Kg}{cm^2 \cdot seg}$

#### 2.7.15.2. Cálculo de la duración del vertido

$$T = S\sqrt{2 \cdot P} \cdot Q \quad (2.37)$$

$P$  = Parámetro fijo = 0.62.



$S$  = Coeficiente de rectificación para el espesor de la pieza.

### 2.7.15.3. Cálculo de la velocidad específica

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

$$g^v = \frac{Q}{V} \quad (2.38)$$

$V$  = Volumen de la pieza.

### 2.7.15.4. 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

$$\Sigma A_{al} = \Sigma F\alpha \cdot A_{al} \text{ cm}^2 \quad (2.39)$$

$A_{al}$ -área del alimentador

Sección del escoriador

$$\Sigma A_{esc} = \Sigma F\alpha \cdot A_{esc} \text{ cm}^2 \quad (2.40)$$

$A_{esc}$ -área del escoriador

Sección del tragadero

$$\Sigma A_{trag} = \Sigma F\alpha \cdot A_{trag} \text{ cm}^2 \quad (2.41)$$

$A_{trag}$  - área del tragadero

Diámetro Inferior del tragadero

$$\Sigma A_{trag} = D \text{ inferior} \quad (2.42)$$

Diámetro superior del tragadero

$$D_s = D \text{ inferior} \cdot 1,25 \text{ ó } 1,3 \text{ mm} \quad (2.43)$$

### **2.7.16. Determinación de las dimensiones de las cajas de moldeo**

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.

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 1000\*800\*250

Inferior 1000\*800\*350

### **2.7.17. Tecnología para el tratamiento térmico de las tambores**

El tratamiento térmico a emplear en las tambores traseras es el Normalizado, con un enfriamiento al aire. Ver anexo 2

En el normalizado los carburos masivos pueden removerse por grafitización a alta temperatura, como se describió anteriormente, pero la resistencia a la tracción y al desgaste se pueden retener por un tratamiento térmico de normalizado, enfriando al aire desde una temperatura por encima del rango crítico, el procedimiento es el mismo que para el recocido de alta temperatura, excepto que después de mantener la fundición durante un adecuado tiempo a temperatura, el enfriamiento se realiza más rápidamente, dependiendo principalmente del tamaño y composición de la fundición. En espesores pequeños o fundiciones aleadas, el enfriamiento debe ser lento, pudiendo incrementarse con el tamaño y la disminución de aleantes.

Una de las etapas del normalizado es el enfriamiento al aire desde una temperatura por encima del rango crítico por dos propósitos. Uno es promover la grafitización de carburos masivos, que pueden formarse durante una rápida solidificación de la fundición, mientras se evita un ablandamiento del material, que resultaría de un recocido. Con la eliminación de los carburos por el normalizado, se logra un incremento de la maquinabilidad mientras se retiene la resistencia a la tracción y al desgaste. El segundo propósito para



Metalografía y Tratamientos Térmicos, el normalizado es incrementar la resistencia al desgaste y a la tracción de aquellas fundiciones que contienen ferrita libre, producida a menudo por un muy lento enfriamiento en el molde.

## **2.8. Conclusiones del Capítulo II**

1. Las ecuaciones desarrolladas permitirán determinar el cálculo del carbono equivalente del hierro fundido en función del silicio y el fósforo, así como el cálculo de la tecnología de fundición para el proceso de fabricación de las tamboras
2. Se establecieron los procedimientos para caracterizar el comportamiento microestructural de la fundición gris antes y después de aplicarle el tratamiento térmico
3. El tratamiento aplicado garantizara el aumento de la resistencia al desgaste y a la tracción por parte de la aleación empleada.

### CAPITULO III. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

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, en este capítulo 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 tamboras traseras y delanteras de los ómnibus Yutong, con el fin de alcanzarlas las propiedades mecánicas requeridas.

#### 3.1. Comportamiento de la disponibilidad de los carros para el transporte de pasajeros

En el análisis realizado a cerca del comportamiento de la disponibilidad de los Ómnibus Yutong. El cálculo se realizó en el período de un año, se tuvo en cuenta el número total de horas del periodo (Horas Calendario) y el número de horas de mantenimiento (preventivo, correctivo) del mes correspondiente, también se consideró para el cálculo que el equipo opera 12 horas al día.

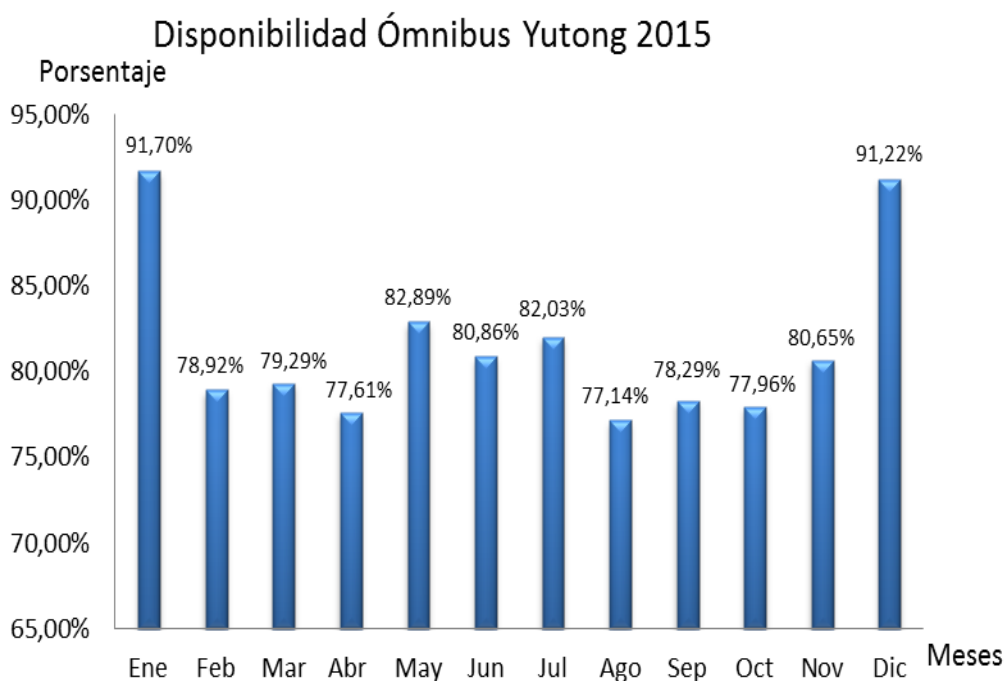


Figura 3.1. Comportamiento de la disponibilidad de los Ómnibus Yutong 2015

Los resultados del análisis de la disponibilidad demuestran cierta variación a través de todo el año, notándose que los meses de abril y agosto se presentaron con menor comportamiento con un valor de 77.61% y 77,14% respectivamente. Se puede notar en el gráfico 3.1 que 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 82.20 %.

### **3.2. Determinación de los esfuerzos en las tambores de freno de los equipos de transporte de pasajeros**

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 (kg):16500/5500(delantero)/11000(trasero). Utilizando las ecuaciones descrita en el capítulo 2 se procede con el cálculo, los resultados se muestran a continuación.

#### **3.2.1. Radio dinámico**

Para este cálculo se consideró el diámetro de la llanta  $D_0 = 0.57m$ , el ancho de la llanta  $b_0 = 0.29$  y el coeficiente landa que depende del tipo de vehículo en este caso es un carro pesado por lo que  $\lambda = 0,11$ . De acuerdo con estos datos y utilizando la ecuación 2.4 se obtiene el radio dinámico  $r_d = 0,54 m$

#### **3.2.2. Momento de frenaje sobre las ruedas del eje trasero producido por los frenos**

Teniendo en cuenta la ecuación 2.5 donde se demuestra la igualdad entre las fuerzas de frenaje y adherencia sobre las ruedas del eje trasero y considerando el peso del puente trasero  $G_p = \frac{110000}{2} = 55000N$ , 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 2.7 se obtiene el Momento de frenaje  $M_{hp} = 35200Nm$ .

### 3.2.3. Momento de frenaje sobre las ruedas del eje delantero producido por los frenos

Teniendo en cuenta la ecuación 2.6 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  $G_p = \frac{110000}{2} = 55000N$ , 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 2.8 se obtiene el Momento de frenaje  $M_{hp} = 11\,880\,N \cdot m$

### 3.3. Composición química de las aleaciones obtenidas

La composición química se tomó del resultado de tres chispas, obteniéndose el promedio de los valores para cada probeta. De esta forma se llegó a las dos variantes de aleaciones, primeramente se analizó el Fe-24 y posteriormente la muestra de Fe-21 Ni para luego establecer la relación existente de acuerdo con el grado de alta seguridad G3500b de la norma ASTM A 159-83. En la tabla 3.1 y 3.2 se muestran la composición química de ambas aleaciones.

Tabla 3.1. Propuesta de la aleación Fe-24.

| Grado G 3500b Fe-24 |         |         |           |        |         |               |
|---------------------|---------|---------|-----------|--------|---------|---------------|
| Material            | Carbono | Silicio | Manganeso | Azufre | Fósforo | Níquel        |
| Probeta             | 3.29    | 1.66    | 0.61      | 0.04   | 0.02    | 0.21          |
| ASTM A 159          | 3.4     | 1.3-1.8 | 0.6-0.9   | 0.12   | 0.15    | Como requiera |

Tabla 3.2. Propuesta de la aleación Fe-21 Ni.

| Grado G 3500b Fe-21 Ni |         |         |           |        |         |               |
|------------------------|---------|---------|-----------|--------|---------|---------------|
| Material               | Carbono | Silicio | Manganeso | Azufre | Fósforo | Níquel        |
| Probeta                | 3.55    | 1.79    | 0.62      | 0.04   | 0.02    | 0.65          |
| ASTM A 159             | ≤3.4    | 1.3-1.8 | 0.6-0.9   | ≥0.12  | ≥0.15   | Como requiera |

Al comparar la composición química establecida por las normas y las determinadas por análisis espectral, se observa que la aleación de Fe 24 difiere un poco de la norma presentando un menor contenido de carbono, sin embargo en la aleación de Fe 21 Ni puede decirse que los elementos se ajustan a las mismas lo que destaca una pequeña diferencia entre ambas aleaciones.

### 3.4. Resultados del análisis fractográfico

El análisis macroscópico arrojó como resultado fundamental la no existencia de indicios de deformaciones ni torceduras en los elementos en la zona de rotura, lo que conlleva a rechazar la posibilidad de ocurrencia de fracturas dúctiles (ver figuras 3.2 y 3.3).

En la figura 3.2 se muestra, además, que existe una serie de grietas en los orificios de ventilación (colocados para disminuir las altas temperaturas por fricción) las cuales se propagan por todo el borde superior, 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.



Figura 3.2. Zonas colapsadas de las tambores de freno

La figura 3.3 representa una vista general de la rotura catastrófica en las tambores, 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

La figura 3.4 muestra una superficie de fractura típica de las grietas como resultado de la rotura de los elementos. Se distingue un microrrelieve característico de la rotura frágil con desgarramiento o descohesión de los granos y la presencia de una microgrieta que contornea los mismos. En la zona de la imagen destacada dentro del círculo en blanco se observa la presencia de micro-deformaciones, correspondientes a bandas de deslizamiento que revelan la propagación de grietas elasto-plásticas.

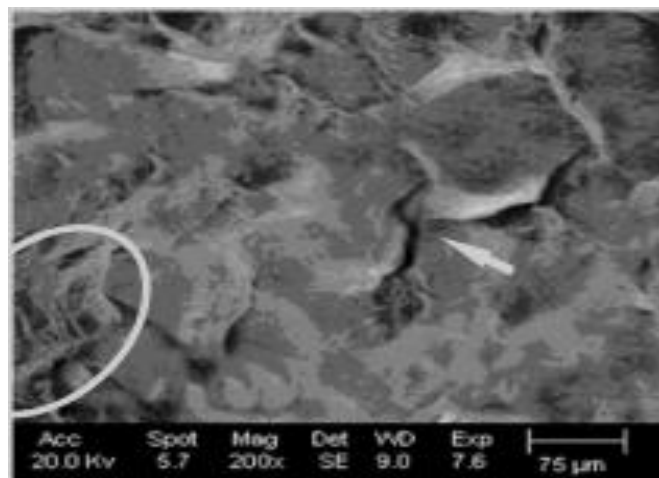


Figura 3.4. Microgrieta ramificada en un punto triple propio de superficies de fractura  
(200X)

Predominan zonas con desgarramiento y huellas de clivaje que denotan la preponderancia de la fractura frágil. La presencia de micro-deformaciones indica la ocurrencia simultánea de la fractura dúctil, a escala microscópica y la fractura frágil a escala macroscópica.

### **3.5. Resultados del análisis microestructural**

Los cambios microestructurales y en composición química de las fases de las fundiciones depende del tratamiento térmico, de la velocidad de vertido y de permanencia del material en el molde.

Las figuras 3.5 se corresponde con la muestra patrón de las tamboras Chinas (fundición gris HT 250)

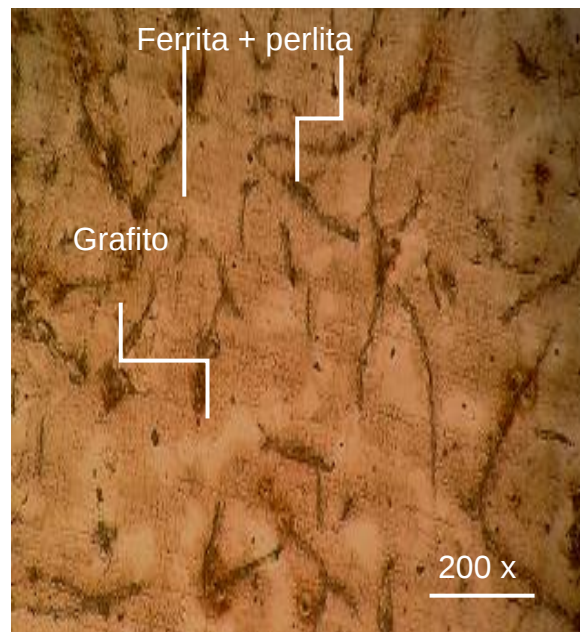


Figura 3.5. Fundición gris HT 250.

En la microestructura de la figura 3.5 se observa la presencia de hojuelas de grafito en una matriz perlítica. La hojuela presente en la microestructura es del tipo A, la cual para la mayoría de las aplicaciones se prefieren este tipo que es de tamaño “pequeño”, los tamaños grandes reducen la resistencia y ductilidad del hierro como resultado de interrumpir seriamente la continuidad del material.

El grafito tipo A, suele ser el más corriente, aparece en el centro de las piezas de cierto espesor, fabricadas con fundiciones grises ordinarias, de composición próxima a la

eutética. Este tipo de grafito es el que conviene para la fabricación de piezas para maquinaria.

En las figuras 3.6a y 3.6b se muestran las variaciones entre las fases para el Fe 24.

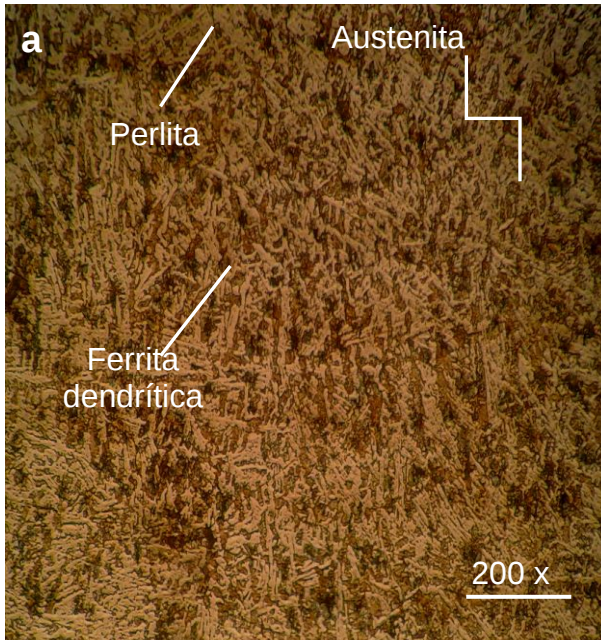


Figura 3.6a. Muestra de Fe 24 con tratamiento

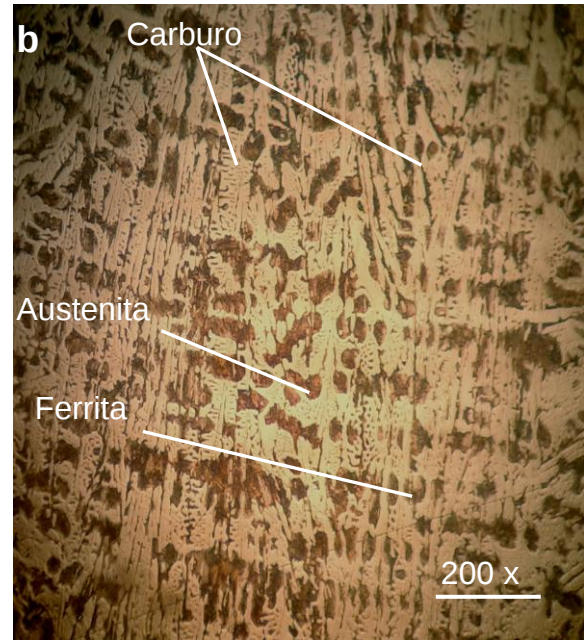


Figura 3.6b. Muestra de Fe 24 sin tratamiento.

Al observar la figura 3.6b, se aprecia una matriz de ferrita dendrítica de listoncillo o esquelética y brazos de austenita desordenada, con la formación de carburos en el interior, presentando granos gruesos tipo E en la constitución de ferrita.

La figura 3.6a presenta una matriz austenítica con perlita en los bordes de granos, donde se aprecia la formación de dendritas de ferrita. La austenita se produce debido al contenido de níquel (22.5%) en el material, el cual genera la grafitización, por otra parte la dendritas de ferrita aparece en el límite de grano, esta se forma por el contenido de carbono presente en el hierro fundido. Esta morfología resiste la transformación de la austenita durante el enfriamiento de la soldadura, puesto que se enriquecen de los elementos formadores de ferrita.

### 3.5.1. Análisis de la microestructura para la muestra de Fe 21 Ni

En las figuras 3.7a y 3.7b, se muestran los resultados microestructurales obtenidos con muestra de Fe 21 Ni.

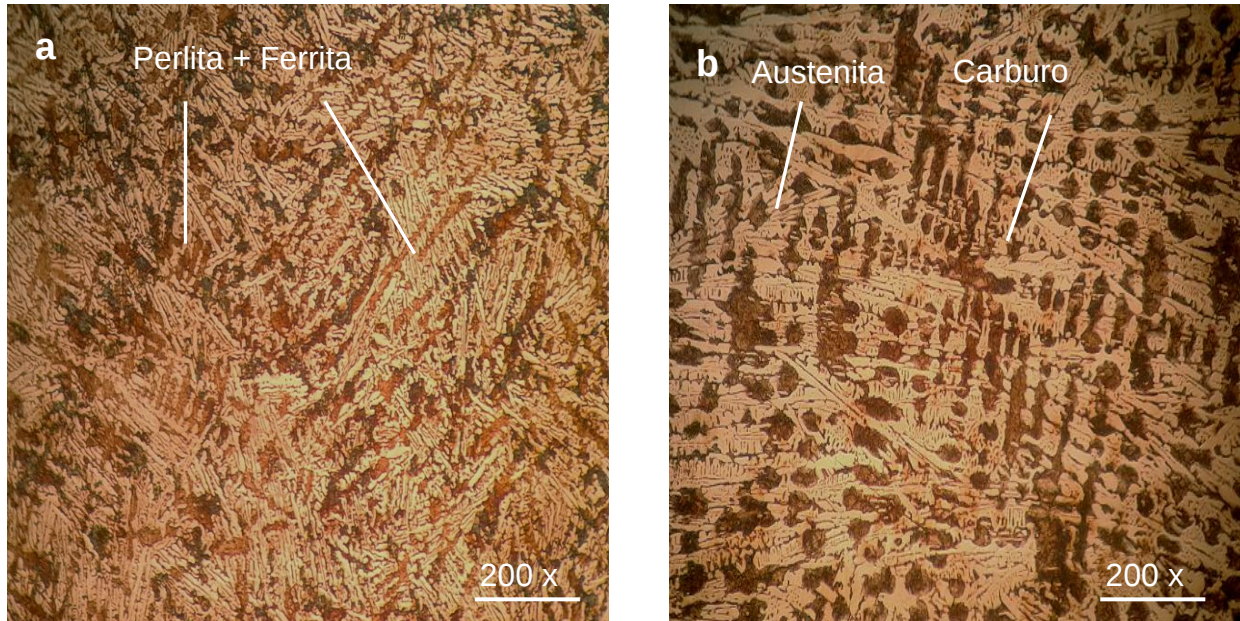


Figura 3.7a Muestra de Fe 21 Ni con tratamiento

Figura 3.7b. Muestra de Fe 21 Ni sin tratamiento

En la muestra sin tratamiento térmico figuras 3.7b obtenida del proceso de fundición se puede observar una estructura dendrítica y carburos donde estos carburos pueden alcanzar dureza de hasta 900HV. Luego del tratamiento térmico figura 3.7a se ha obtenido una estructura de perlita más ferrita acicular pero con menor dureza con relación a la microestructura fundida ya que aquí se ha normalizado la estructura y se han eliminado los carburos por tanto y demás se ha disminuido también la dureza. Las diferencias que caben destacar son la disminución de la fracción volumétrica de austenita retenida al aumentar la temperatura de los tratamientos térmicos, de igual forma se observa una disminución en el tamaño de los granos de ferrita y el contenido de carburo de hierro. El contenido de carburo puede llegar a disminuirse con un revenido a 575 °C.

Las estructuras obtenidas han sido producto a ciclo de calentamiento y enfriamiento. Las mismas se han formado al calentar de 850 – 950 °C, el material, donde no existe la



formación de grafito o esta formación tiene poca importancia, ya que la temperatura de mantenimiento no es apropiada para el depósito de gran cantidad de grafito.

Al calentar a 950 °C, se ha formado la austenita que durante la permanencia a esta temperatura habrá formación de una pequeña cantidad de grafito y luego, en un enfriamiento sin precauciones muy especiales, al pasar la zona eutectoide, se formará perlita.

La figura 3 (Fe 24 con TT) muestra los porcentajes de austenita retenida respecto de la ferrita y la perlita, obtenidos en las muestras, tras ser sometida al tratamiento térmico. Se aprecia un mínimo en el contenido de austenita retenida, a la temperatura de 1 000 °C y un aumento, a partir de esta temperatura. Mientras que al calentar la muestra en estado bruto de moldeo a temperaturas inferiores a 1 000 °C se produce, sin duda, una precipitación de carburos que contribuye a disminuir el contenido de carbono y el grado de aleación de la austenita y favorecer, así, su transformación en el enfriamiento subsiguiente, para las temperaturas superiores a los 1 000 °C ocurre lo contrario, la puesta en solución de los carburos precipitados: la austenita aumenta su contenido en carbono y aleantes, estabilizándose.

Observando ambas microestructuras y considerando que en el Fe 21 Ni se presenta una matriz de perlita más ferrita mientras que para el Fe 24 se observa una matriz austenítica se concluye que aunque ninguno de los dos materiales cumple con lo planteado por la norma, el que mayor matriz perlítica posee es el Fe 21 Ni considerándose este como el más adecuado para la tambora.

### **3.6. Análisis de tracción**

El propósito del ensayo de tracción consiste en determinar, mediante el proceso de tracción de una probeta metálica hasta la rotura (figura 3.8) sus características mecánicas ( $\sigma_r$ : Límite de rotura). Teniendo en cuenta la norma E-8, por la que se rige el combinado mecánico de Moa, para desarrollar dicho ensayo se diseñaron dos probetas con las siguientes dimensiones, diámetro de  $d=19\text{mm}$  y longitud de trabajo de  $L_0 = 15\text{mm}$ .



Figura 3.8. Probetas de Fe 21 Ni y Fe 24 antes y después del ensayo.

Al someter cada aleación al ensayo de tracción se obtuvo un límite de rotura de 140 MPa para el Fe 21 Ni y 88 MPa para el Fe 24. Según los resultados arrojados por el ensayo de tracción el Fe 21 Ni entra en la norma ASTM A48 en la clase 20 (con matriz ferrítica para hierro fundido gris). Aunque no cumple con el grado de exigencia (G3500b) de la norma ASTM A159-83 es el material que más se acerca a la misma.

### **3.7. Análisis de la susceptibilidad al agrietamiento de las aleaciones de hierro fundido**

En las fundiciones, las propiedades mecánicas dependen de la cantidad y forma del grafito en la matriz ferrosa y como el carbono puede estar combinado en forma de carburo de hierro ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) o existir como carbono libre en forma de grafito, se hace necesario determinar el carbono equivalente el cual predice en qué tipo de solidificación se encuentra la fundición analizada.

Por la ecuación 2.11 se determinó el carbono equivalente para cada aleación de fundición gris, donde para:

El Fe 24 con un contenido de carbono de 3.29 %, contenidos de fósforo y silicio de 0,02 y 1,66 % respectivamente este parámetro es de 3,85 %.



El Fe 21 Ni con un contenido de carbono de 3.55 %, contenidos de fósforo y silicio de 0,02 y 1,79 % respectivamente este parámetro es de 4.15 %.

El carbono calculado en función del fósforo y el silicio clasifica a las fundiciones grises objeto de estudio del tipo hipoeutéctico según el diagrama hierro-carbono, valor por debajo del punto eutético (valores hipoeutéticos) donde la transformación austenítica da como resultado la matriz perlítica o ferrítica de la aleación.

Se determinó el carbono equivalente total por la ecuación 2.12 donde se consideran los elementos químicos que intervienen en la fundición, el resultado del porcentaje equivalente de carbono total es de 3.64 % para el Fe 24 y 3.94 % para el Fe 21 Ni de carbono total, estos resultados justifican que la solidificación de las aleaciones objeto de estudio es hipoeutéctico

En la fundición gris, los altos contenidos de carbono equivalente CE y de C, son indicios de fragilidad en el material, porque la tenacidad de la aleación disminuye con el aumento en el contenido de carbono, pues el carbono libre en forma de grafito se comporta como un material cerámico que fragiliza la matriz.

De este modo se observa que por encima de la temperatura crítica 911 °C los aceros están constituidos sólo por austenita, una solución sólida de carbono en hierro  $\gamma$ , y su microestructura en condiciones de enfriamiento lento dependerá por tanto de las transformaciones que sufra ésta.

### **3.7.1. Análisis del contenido de carbono y silicio en la fundición**

Las fundiciones de hierro se encuentran en una composición de carbono equivalente por debajo del 4,3%, es decir, son de carácter hipoeutéctico. Para determinar la influencia que ejerce el silicio y el carbono en la fundición, por las ecuaciones 2.13 y 2.14 se calcularon estos parámetros, resultando que:

Para el Fe 24 el silicio es de 2.85 %, para determinar el contenido de carbono se consideró la ecuación 2.14 que tiene en cuenta la temperatura de líquidus de la austenita, donde la misma es de 1 208 oC, por lo que el carbono presente sería de 7.99 %.



Para el Fe 21 Ni el silicio es de 3,15 %, para determinar el contenido de carbono se consideró la ecuación 2.14 que tiene en cuenta la temperatura de líquidus de la austenita, donde la misma es de 1180 oC, por lo que el carbono presente sería de 8.09 %.

El contenido de silicio en las fundiciones es de 2 a 5 %, un contenido aún mayor podría evitar la formación de las zonas con carburos de hierro que fragilizan la pieza producida, dado que el silicio aumenta la fluidez del líquido y afecta el proceso de solidificación promoviendo la grafitización; sin embargo, cuando el contenido es menor al 1 % no es suficiente para ello. Por cada 1 % de silicio, la composición eutéctica se desplaza hacia la izquierda del diagrama aproximadamente 0,3 % de carbono, lo cual abate la temperatura a la cual la aleación empieza a solidificar.

El contenido de manganeso se calculó por la ecuación 2.16 en correspondencia con el silicio presente. Según el resultado del manganeso, el efecto del azufre puede ser balanceado con este elemento, sin manganeso en el hierro el indeseable compuesto sulfuro de hierro (FeS) se formará en el límite de grano, pero si el azufre se balancea con manganeso, se formará sulfuro de manganeso (MnS), el cual es menos dañino puesto que se distribuye dentro del grano. La relación óptima entre el manganeso y el azufre para una estructura libre de sulfuro de azufre y máxima cantidad de ferrita es: 3,3 %.

Normalmente las composiciones empleadas en la producción son cercanas a la eutéctica, de manera que durante el enfriamiento del material, desde la temperatura de colada hasta la temperatura ambiente, se producen dos cambios de fase fundamentales: La solidificación del eutéctico y la transformación eutectoide. (Lu, L.; Nogita, K.; Dahle, A., 2005)

Las propiedades mecánicas del material se relacionan directamente con la microestructura final del mismo que se obtiene después de la última transformación de fase, cuando la pieza ya alcanzó la temperatura ambiente. Por las ecuaciones 3,1 y 3,2 se determinó el carbono eutéctico y el carbono eutectoide de la fundición gris, los resultados obtenidos son:

Para el carbono eutéctico:



$$C_{eut} = 4,3 - \frac{\%Si}{3} \quad (3.1)$$

Para el carbono eutectoide:

$$C_{eut} = 0,9 - \frac{\%Si}{9} \quad (3.2)$$

Para el Fe 24 el valor del carbono eutectoide es  $C_{eut} = 3,74 \%$  y el carbono eutectoide es  $C_{eutect} = 0,71 \%$ .

Para el Fe 21 Ni el valor del carbono eutectoide es  $C_{eut} = 3,70 \%$  y el carbono eutectoide es  $C_{eutect} = 0,70 \%$ .

Los resultados obtenidos se muestran en las figuras 3.9a y b, para la tambora de Fe 24 y en la figura 3.10 a y b para la tambora de Fe 21 Ni, los cuales son diagramas establecidos para la determinación del carbono eutéctico (a) y el carbono eutectoide (b).



Figura 3.9(a). Carbono eutéctico para el Fe 24.

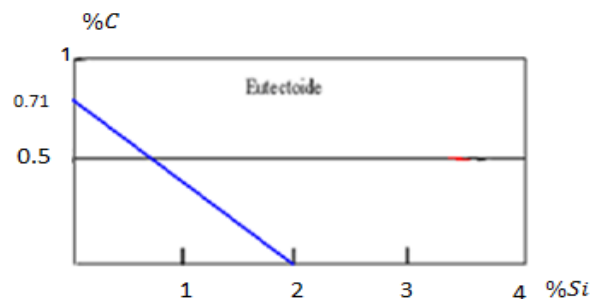


Figura 3.9 (b). Carbono eutectoide para el Fe 24.

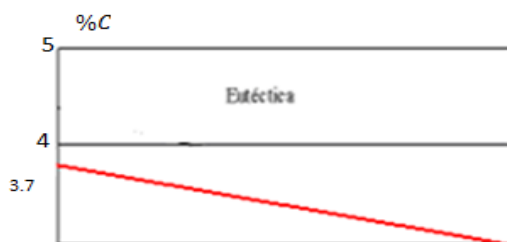


Figura 3.10(a). Carbono eutéctico para el Fe 21 Ni.

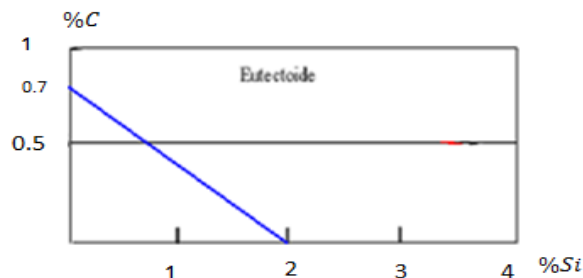


Figura 3.10 (b). Carbono eutectoide para el Fe 21 Ni.



Los contenidos en carbono de las aleaciones eutécticas y eutectoides del diagrama estable varían con el contenido en silicio de las fundiciones y son inferiores a los que corresponden al diagrama metaestable. En las transformaciones del diagrama estable, para una temperatura determinada, la austenita es capaz de disolver menor cantidad de carbono que el que disuelve, a la misma temperatura, cuando las transformaciones se hacen de acuerdo con el diagrama metaestable.

Sin embargo, el proceso de solidificación también tiene una gran importancia en las características físicas de la fundición, pues condiciona la transformación eutectoide posterior a través de factores tales como las microsegregaciones, el tamaño y la morfología de los granos.

### **3.8. Análisis de la microdureza**

En la tabla 3.3 se reportan los resultados de dureza obtenidos de acuerdo al material empleado. Se muestra un esquema de la secuencia de mediciones de durezas realizados en correspondencia con las distintas aleaciones.

Tabla 3.3. Resultados de las mediciones de dureza.

| Materiales  | HT 250 | Fe 21 Ni CT | Fe 24 CT |
|-------------|--------|-------------|----------|
| Dureza (HB) | 209    | 285         | 295      |
| Dureza (HV) | 220    | 300         | 310      |

Se realizó con el objetivo de determinar la diferencia entre la dureza de las aleaciones, de acuerdo con la variación asociada a las geometrías de las probetas, ya que existe una ligera diferencia entre los puntos de prueba de las mismas. Como se observa en la tabla 3.3, para la aleación de Fe 24, existe un incremento de la dureza desde 288 hasta 298 HB, para el Fe 21 Ni va desde 282 hasta 286 HB y con el HT 250, es desde 207 hasta 210 HB.

### 3.8.1. Análisis del comportamiento de la dureza para cada aleación

A partir de las mediciones de dureza realizadas en correspondencia con las distancias medidas en las diferentes zonas de la pieza, se analizó cada una para las distintas aleaciones. En el grafico 3.11 se muestra el comportamiento.

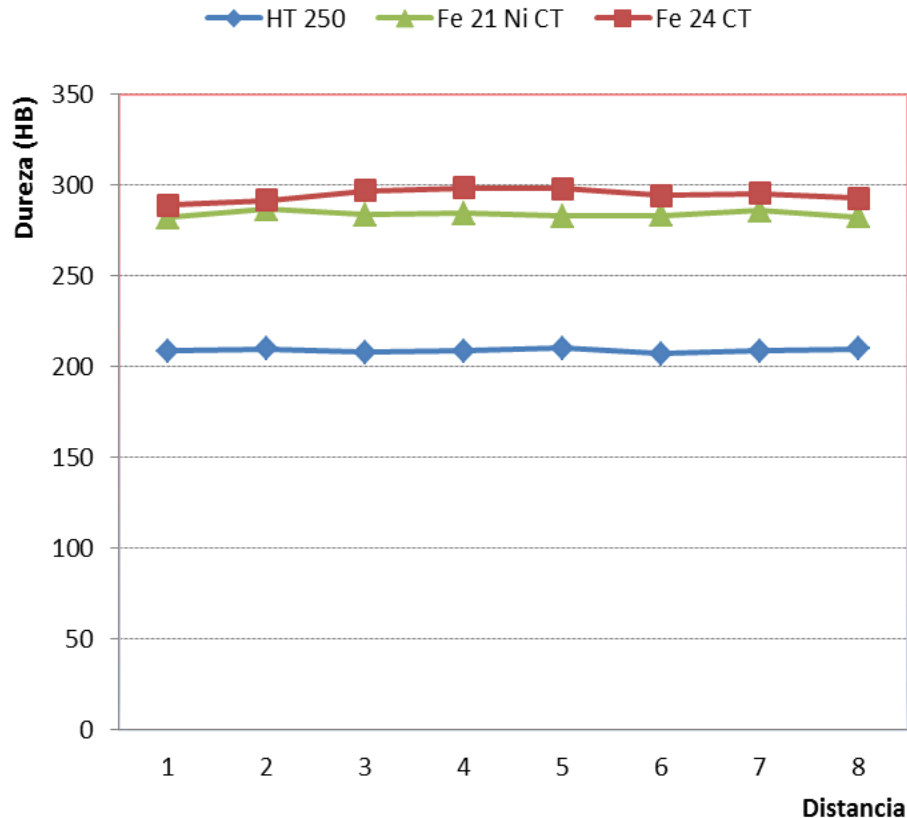


Grafico 3.11. Comportamiento de la dureza vs distancia en las zonas.

Por los resultados obtenidos en la figura 3.11 se puede plantear que para diferentes distancias medidas, no existe un gran incremento de la dureza en las aleaciones. Estos resultados se atribuyen a que con el tratamiento térmico se logra una estructura bastante homogénea aunque por otra parte se muestra una gran diferencia entre los distintos materiales como consecuencia de la variedad que existe entre los granos de ferrita que se presentan mucho más gruesos al igual que los precipitados de austenita.

### 3.8.2. Análisis de regresión múltiple para dureza y distancia

El análisis de regresión se desarrolla para observar la relación estadística que existe entre dos o más variables cuando se cosechan, es decir para saber si son o no estadísticamente significativas cada una de estas variables.

En este caso se realizó el análisis estadístico para evaluar la incidencia de la dureza según la distancia medidas en cada zona de las aleaciones. En la tabla 3.4 se muestra el análisis de regresión múltiple.

Tabla 3.4. Análisis de regresión múltiple para dureza y distancia

| Error                                              |                   | Estadístico |                |            |         |
|----------------------------------------------------|-------------------|-------------|----------------|------------|---------|
| Parámetro                                          | Estimación        | estándar    | T              | P-Valor    |         |
| CONSTANTE                                          | -89,229           | 313,858     | -0,284298      | 0,7903     |         |
| Fe 21 Ni CT                                        | -0,213891         | 0,697116    | -0,306823      | 0,7743     |         |
| Fe 24 CT                                           | 0,25755           | 0,342024    | 0,753019       | 0,4933     |         |
| HT 250                                             | 0,376356          | 1,13793     | 0,330739       | 0,7574     |         |
| Análisis de varianza                               |                   |             |                |            |         |
| Fuente                                             | Suma de cuadrados | GL          | Cuadrado medio | Cociente-F | P-Valor |
| Modelo                                             | 6,23388           | 3           | 2,07796        | 0,23       | 0,8698  |
| Residuo                                            | 35,7661           | 4           | 8,94153        |            |         |
| Total (Corr.)                                      | 42,0              | 7           |                |            |         |
| R-cuadrado = 14,8426 porcentaje                    |                   |             |                |            |         |
| R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 0,0 porcentaje   |                   |             |                |            |         |
| Error estándar de est. = 2,99024                   |                   |             |                |            |         |
| Error absoluto medio = 2,00065                     |                   |             |                |            |         |
| Estadístico de Durbin-Watson = 0,336134 (P=0,0034) |                   |             |                |            |         |
| Autocorrelación residual en Lag 1 = 0,609982       |                   |             |                |            |         |



La salida muestra los resultados del ajuste a un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre Distancia y 3 variables independientes. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Distancia} = -89,229 - 0,213891 \cdot \text{Fe 21 Ni CT} + 0,25755 \cdot \text{Fe 24 CT} + 0,376356 \cdot \text{HT 250}$$

Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es mayor o igual a 0.10, no existe relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 90% o superior.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 14,8426% de la variabilidad en Distancia. El estadístico R-cuadrado ajustado, que es más conveniente para comparar modelos con diferentes números de variables independientes, es 0,0%. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos que es 2,99024. Este valor puede usarse para construir los límites de predicción para las nuevas observaciones seleccionando la opción Informes del menú del texto. El error absoluto medio (MAE) de 2,00065 es el valor medio de los residuos. El estadístico Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se han introducido los datos en el fichero. Dado que el p-valor es inferior a 0.05, hay indicio de una posible correlación serial. Represente los residuos frente al orden de fila para ver si hay algún modelo que pueda verse.

Para decidir la simplificación del modelo, tenga en cuenta que el p-valor más alto en las variables independientes es 0,7743, perteneciendo a Fe 21 Ni CT. Puesto que el p-valor es superior o igual a 0.10, este término no es estadísticamente significativo para un nivel de confianza del 90% o superior. Por tanto, debería considerar quitar Fe 21 Ni CT del modelo.

La ecuación de distancia es el modelo para hallar el error del experimento, a través de esta se determina de acuerdo con las bases de datos cual aleación presenta menor dureza, o sea que cuando él desarrolla un rango de valores entre todas las bases de datos en este caso el Fe 21 Ni y el Fe 24 presentan valores casi iguales por lo que se queda con el de mayor significancia (mayor dureza) despreciando el que menor dureza presenta que en este caso es el Fe 21 Ni.

### 3.9. Simulación de las tambores traseras y delanteras

Una vez escogido el material para las tambores que en este caso es una fundición gris, se fijaron por las caras y las aristas de los orificios destinados a unir las tambores con las llantas, luego se le aplicó un momento de 11880 Nm y una temperatura de 40°C.

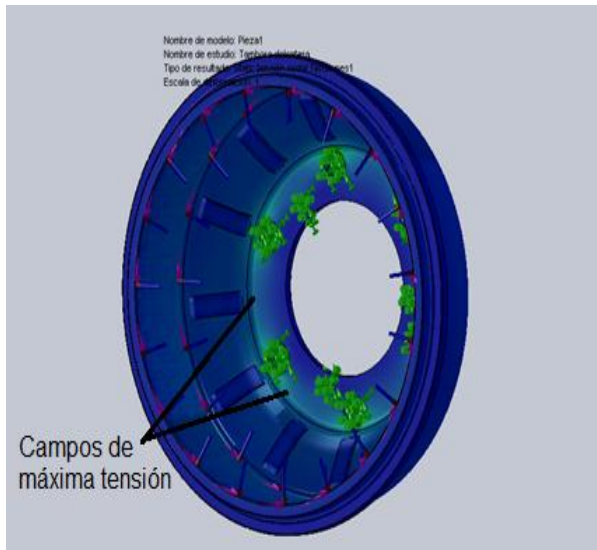


Figura 3.12a. Distribución de tensiones en la tambora delantera de fábrica.

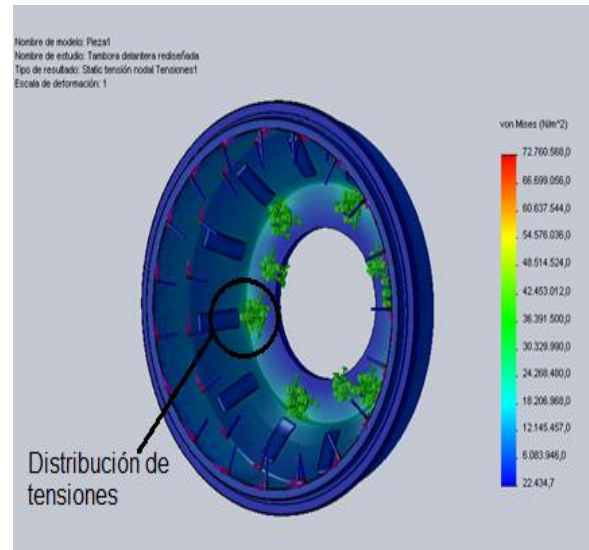


Figura 3.12b. Distribución de tensiones en la tambora delantera rediseñada.

La respuesta de la simulación de los modelos de la tambora delantera, en el dominio de las tensiones, muestra un máximo de 105.30 MPa para la tambora fabricada por China Zhengzhou Yutong Group Lts., Co. y de 72.76 MPa para la rediseñada. Como se puede observar en la figura 3.12a para la tambora de fábrica estos valores se presentan por todo el borde superior; mientras que la rediseñada presenta una distribución uniforme que se desplaza por toda la pieza (figura 3.12b).

En el caso de la tambora trasera se siguió el mismo procedimiento, con la diferencia de que a estas se le aplicó un momento de 35200 Nm.

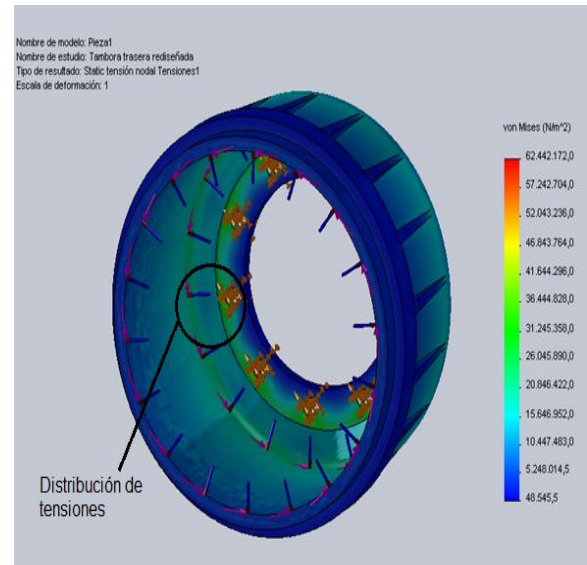
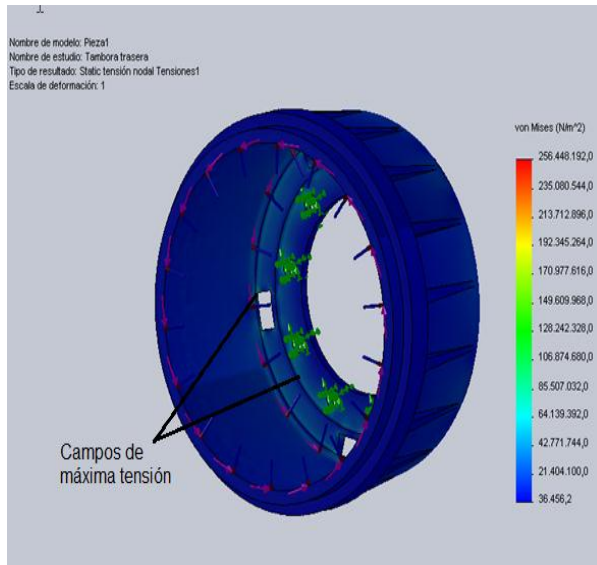


Figura 3.13a. Distribución de tensiones en la tambora trasera de fábrica.

Figura 3.13b. Distribución de tensiones en la tambora trasera de fábrica.

La respuesta de la simulación de los modelos de la tambora trasera, en el dominio de las tensiones, muestra un máximo de 256.44 MPa para la tambora fabricada por China Zhengzhou Yutong Group Lts., Co. y de 62.44 MPa para la rediseñada. Como se puede ver en la Figura 3.13a para la tambora de fábrica estos valores se presentan por todo el borde superior a partir de los orificios de ventilación; mientras que en la rediseñada se presenta una distribución más uniforme que se desplaza por toda la pieza (figura 3.13b).

### 3.10. Comparación del comportamiento de las tensiones

En las probetas analizadas, tanto en la experimentación física como en la modelación por el MEF, de las tambores con diferentes dimensiones y diseños, se pudo comprobar que hay similitudes, consistentes con el planteamiento expresado, observándose que los campos de máximas tensiones están localizados en los bordes superiores a partir de los orificios de ventilación. En la figura 3.14 se observa la analogía entre la experimentación y un modelo de elementos finitos de similares cargas.



Figura 3.14. Analogías en las probetas (a - probeta física, b - modelo FEM).

Del análisis de los resultados, la experimentación 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, lo que demuestra que:

- Si la pieza permanece con espesores mínimos pequeños y orificios de ventilación, se manifestara una rotura frágil con inicio y propagación de grietas originadas en el borde exterior de la zona crítica, lo que coincide con Shigley y Mishke (1990), Pilkey (1997), Symonds et al. (2001), Alekseev (2005) y Stiopin (2005).
- Si se varían los espesores y se retiran los agujeros se logra una distribución más uniforme, lo que dificulta la identificación del lugar de origen de la fractura.

Los resultados expuestos son, además, consistentes con la afirmación de que la transformación del diseño, modifica el campo de distribución de tensiones y el carácter de la fractura en presencia de un momento torsor a temperaturas entre 40 y 50°C, lo que permite demostrar la hipótesis planteada.

### 3.11. Prueba de hipótesis y análisis estadístico

Para contrastar las hipótesis planteadas sobre los modelos que dan soluciones particulares a la forma en que se distribuyen las tensiones longitudinal y transversalmente,

según las condiciones expuestas, se empleó el método descrito en el apartado 2.6, el procesamiento estadístico se muestra en la tabla 3.5.

Como se cumple que  $t_{abs} > t_{0.05}$  entonces, se rechaza la hipótesis nula observándose que existe diferencia significativa entre las medias de los datos en las variables analizadas, con un nivel de confianza superior al 95%.

Tabla 3.5. Prueba t para medias de los datos analizados

| <b>Prueba t para medias de dos muestras emparejadas</b> |                   |                   |
|---------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|
|                                                         | <i>Variable 1</i> | <i>Variable 2</i> |
| Media                                                   | 180,87            | 67,6              |
| Varianza                                                | 11421,6498        | 53,2512           |
| Observaciones                                           | 2                 | 2                 |
| Coeficiente de correlación de Pearson                   | -1                |                   |
| Diferencia hipotética de las medias                     | 0                 |                   |
| Grados de libertad                                      | 1                 |                   |
| Estadístico t                                           | 1,40307197        |                   |
| P(T<=t) una cola                                        | 0,19710167        |                   |
| Valor crítico de t (una cola)                           | 0,72654253        |                   |
| P(T<=t) dos colas                                       | 0,39420334        |                   |
| Valor crítico de t (dos colas)                          | 1,96261051        |                   |

Luego se calcula la probabilidad de cometer un error de tipo dos por la ecuación 2.20, a sabiendas de que el tamaño de muestra es de 2 y los demás datos de la ecuación 2.19 derivados de la tabla 3.5, se obtiene que  $\vartheta(\mu)$  tiende a cero.

El hecho de rechazar la hipótesis asumida para el nivel de significación definido permite plantear que, como los resultados experimentales son probadamente significativos, se pueden utilizar los modelos definidos para distribución de las tensiones de forma uniforme, operando en regímenes normales de explotación para las condiciones analizadas.

De esta manera, los resultados experimentales demuestran que las modificaciones realizadas al modelo fabricado por China Zhengzhou Yutong Group Lts., Co, son

consistentes con la distribución uniforme de las tensiones, ya que provoca una disminución en su valor, lo que constituye el primer aporte de la investigación.

### **3.12. Tecnología de fundición para la fabricación de tambores traseros y delanteros**

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 traseros y delanteros de los ómnibus Yutong.

#### **3.12.1. 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 (2.22) donde para la tambora trasera  $L=0.474\text{m}$ ;  $b=0.032\text{m}$  y  $h=0.255\text{m}$  el valor de  $N$  es  $0.41\text{m}$ , en el caso de la tambora delantera para  $L=0.436\text{m}$ ;  $b=0.029\text{m}$  y  $h=0.157\text{m}$  el valor de  $N$  es  $0.35\text{m}$

Para las piezas con  $N < 0,5 \text{ m}$ , el espesor de las paredes puede ser de  $1.5$  a  $2.0 \text{ mm}$ . Las piezas se pueden obtener por fundición, ya que los espesores de pared son mayores de  $8 \text{ mm}$ .

#### **3.12.2. 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 Pérez, Leonardo Martínez). En las tablas 3.6 y 3.7 se definen la dimensión básica ( $z$ ), la dimensión determinante(s) y el sobre espesor de maquinado ( $t$ ) para las tambores



traseras y delanteras respectivamente.

Tabla 3.6. Tambora trasera:

| Superficies  | Z(mm) | S(mm) | t(mm) |
|--------------|-------|-------|-------|
| Horizontales | 255   | 474   | 5     |
| Exteriores   | 474   | 474   | 5     |

Tabla 3.7. Tambora delantera:

| Superficies  | Z(mm) | S(mm) | t(mm) |
|--------------|-------|-------|-------|
| Horizontales | 157   | 436   | 5     |
| Exteriores   | 436   | 436   | 5     |

### 3.12.3. Masa de la pieza

Tambora trasera:

De acuerdo con la ecuación (2.24) y en correspondencia con los valores de  $r_1 = 2.37\text{dm}$ ,  $r_2 = 2.05\text{dm}$  y  $h = 2.55\text{dm}$ , el volumen de la pieza es  $V_p = 7.86\text{dm}^3$ .

El peso de la pieza según la ecuación (2.23) es  $P_p = 61.7\text{kg}$  ya que el peso específico del hierro es  $p_e = 7.85\text{kg/dm}^3$ .

Tambora delantera:

De acuerdo con la ecuación (2.24) y en correspondencia con los valores de  $r_1 = 2.18\text{dm}$ ,  $r_2 = 1.89\text{dm}$  y  $h = 1.57\text{dm}$ , el volumen de la pieza es  $V_p = 3.46\text{dm}^3$ .

El peso de la pieza según la ecuación (2.23) es  $P_p = 27\text{kg}$  ya que el peso específico del hierro es  $p_e = 7.85\text{kg/dm}^3$ .

### 3.12.4. Orificios fundidos

Según la ecuación (2.25) para la tambora trasera con un orificio de diámetro 22.5mm y altura 17mm con  $d = 15.1\text{mm}$  y para la tambora delantera con un orificio de diámetro 28mm y altura 13mm con  $d = 13.9\text{mm}$ .

Se recomienda realizar los orificios de cada tambora por fundición.



### **3.12.5. Análisis de la contracción de fundición**

Para ambas Tamboras la contracción libre y frenada es de 1 %, ver tabla 2.11 epígrafe 2.5.11. Goyos y Martínez, (1985).

### **3.12.6. Cálculo del rechupe específico en el Fe- 21 Ni**

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. Teniendo en cuenta la ecuación (2.27) el 3.55%C y el 1.7%Si, el rechupe es  $RE=5.9$ .

### **3.12.7. Cantidad de mazarotas que se emplean**

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 32\*69.5 para la tambora trasera y rectificando la circunferencia por el diámetro medio de la pieza la longitud es de aproximadamente  $L=423\text{mm}$ ,  $D_{cm}=69.5\text{mm}$ ,  $DA=48\text{mm}$  y considerando que  $n=m=0$  porque en la pieza no hay efectos terminales por ser circular, Si se sustituye en la expresión (2.28) la cantidad de mazarotas es  $i=3$ .

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 29\*29 para la tambora delantera y rectificando la circunferencia por el diámetro medio de la pieza la longitud es de aproximadamente  $L=310\text{mm}$ ,  $D_{cm}=29\text{mm}$ ,  $DA=43.5\text{mm}$  y considerando que  $n=m=0$  porque en la pieza no hay efectos terminales por ser circular, Si se sustituye en la expresión (2.28) la cantidad de mazarotas es  $i=3$ .

### **3.12.8. Cálculo de las dimensiones de las mazarotas**

El cálculo de las dimensiones de las mazarotas se realiza según recomendaciones de Belay, (1970); Goyos y Martinez, (1985), a continuación se presentan las dimensiones de las mazarotas. Ver anexo 5 y 6.

Para la tambora trasera



El diámetro de la esfera de metal teniendo en cuenta el volumen de la parte de la pieza a alimentar  $V=3.06\text{dm}^3$  y sustituyendo en la ecuación (2.29) es de  $d_0=58\text{mm}$ .

El cuello de la mazarota considerando el espesor de la pieza  $T=32\text{mm}$  y sustituyendo en la ecuación (2.30) es de  $B=48\text{mm}$ .

Sustituyendo en la ecuación (2.31) se obtiene el diámetro inscripto  $D_m=104\text{mm}$ .

Sustituyendo en la ecuación (2.32). La longitud del cuello de la mazarota es  $h=20.8\text{mm}$  al igual que el radio del fondo de la mazarota según la ecuación (2.33).

El radio del cuello de la mazarota según la ecuación (2.34) es  $R_1=5.2$ .

La altura de la mazarota según la ecuación (2.35) es de  $H_m=234\text{mm}$

Para la tambora trasera

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 (2.29) es de  $d_0=40\text{mm}$ .

El cuello de la mazarota considerando el espesor de la pieza  $T=29\text{mm}$  y sustituyendo en la ecuación (2.30) es de  $B=43\text{mm}$ .

Sustituyendo en la ecuación (2.31) se obtiene el diámetro inscripto  $D_m=83\text{mm}$ .

Sustituyendo en la ecuación (2.32). La longitud del cuello de la mazarota es  $h=16.6\text{mm}$  al igual que el radio del fondo de la mazarota según la ecuación (2.33).

El radio del cuello de la mazarota según la ecuación (2.34) es  $R_1=4.15$ .

La altura de la mazarota según la ecuación (2.35) es de  $H_m=113\text{mm}$

### **3.12.9. 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 (2.36)  $\Sigma F\alpha = 6.57$  para la tambora trasera y  $\Sigma F\alpha = 3.54$  para la delantera.

### **3.12.10. Cálculo de la duración del vertido**

La duración del vertido depende del coeficiente de rectificación, en el caso de la tambora trasera, para el espesor medio de la pieza  $S=1.5$  y con un parámetro fijo  $P=0.62$ , según la



ecuación (2.37)  $T=16.6\text{seg}$ . En la tambora delantera, para el espesor medio de la pieza  $S=1.5$  y con un parámetro fijo  $P=0.62$ , según la ecuación (2.37)  $T=11.78\text{seg}$ .

### **3.12.11. Cálculo de la velocidad específica**

La velocidad específica depende, de la densidad relativa de la pieza que para ambas tambora según la ecuación (2.38) es  $\delta=7.85$  por lo que la velocidad específica es  $K=1.2$

### **3.12.12. 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, ver anexo 3 y 4 carta tecnología de fundición para las tambora traseras y delanteras.

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:

Para la tambora trasera:

En el alimentador según la ecuación (2.39) el área es de  $\Sigma A_{al} = 6.57\text{cm}^2$  por lo que tendrá las siguientes dimensiones  $37*32*19$ .

En el escoriador según la ecuación (2.40) el área es de  $\Sigma A_{esc} = 7.22\text{cm}^2$  por lo que tendrá las siguientes dimensiones  $20*26*26$ .

En el tragadero según la ecuación (2.41) el área es de  $\Sigma A_{trag} = 7.55\text{ cm}^2$  por lo que el diámetro inferior es  $D_{inf.}=32\text{mm}$  y el diámetro superior es  $D_{sup.}=41.5\text{mm}$  según las ecuaciones (2.42) y (2.43) respectivamente

Para la tambora trasera:

En el alimentador según la ecuación (2.39) el área es de  $\Sigma A_{al} = 3.54\text{cm}^2$  por lo que tendrá las siguientes dimensiones  $28*23*14$ .

En el escoriador según la ecuación (2.40) el área es de  $\Sigma A_{esc} = 3.89\text{cm}^2$  por lo que tendrá las siguientes dimensiones  $15*22*22$ .



En el tragadero según la ecuación (2.41) el área 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 (2.42) y (2.43) respectivamente

### **3.13. Evaluación Económica**

Para la realización de esta valoración económica, se tomaron los datos de la ficha de costo realizada por la UEB Fundición, teniendo presente los procesos tecnológicos que participan en la elaboración de las tamboras.

El precio de la tambora trasera 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 458,62 CUP y de ellos en CUC 198,96, cuando hacemos la comparación con los precios de importación, que para la tambora trasera es de € 250,00, este precio se incrementan con la transportación que dependen de la situación geográfica del suministrador, por este análisis consideramos 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.

### **3.14. Evaluación ecológica**

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, etc. 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.



### 3.15. Conclusiones del capítulo III

1. Durante el análisis de la susceptibilidad al agrietamiento de las aleaciones en correspondencia al tipo de solidificación de las fundiciones grises, se pudo establecer que estas, según el diagrama Fe - C son del tipo hipoeutéctico.
2. Mediante el proceso de modelación por el método de elementos finitos, se logró desarrollar un diseño de las tambores donde, las tensiones provocadas por las condiciones reales de trabajo se distribuyeran uniformemente
3. Al desarrollar el análisis microestructural se observó que a través del tratamiento térmico se mantienen la formación de estructuras en las aleaciones, algunas de las cuales son propensas al agrietamiento.



## **CONCLUSIONES GENERALES**

- La aleación a emplear en la fundición de las tambores de freno es el Fe-21 Ni pues, aunque de acuerdo con la microestructura y las propiedades mecánicas no cumple con las exigencias de la norma, es la que más se asemeja a esta.
- Con el tratamiento térmico aplicado no se logran las propiedades mecánicas que requiere la aleación ya que los valores de dureza sobrepasan los requisitos de la norma, lo cual en este caso le atribuye fragilidad al material.
- La aplicación de las propuestas realizadas para la tecnología de fundición, así como las modificaciones en la forma constructiva de las tambores a partir del proceso de modelación, logran resolver la aparición de fracturas ya que este diseño presenta una distribución de tensiones más uniforme, disminuyendo los valores máximos de estas, este proceso genera un impacto económico de 458.62CUP y de ellos en CUC 198.96 para la producción una tonelada de fundición.



## RECOMENDACIONES

- Generalizar los resultados de la investigación a la construcción de tambores de freno, sometidas a similares condiciones de explotación (momento y temperaturas entre 40 y 50 °C).
- Continuar investigando los aspectos relacionados con la durabilidad de los elementos en explotación que incluyen las modificaciones derivadas de este trabajo.
- Profundizar en la determinación experimental de los factores de intensidad de tensiones del hierro fundido empleado en las tambores de freno a temperaturas superiores a 40 °C.
- En el caso de que no se pueda controlar la velocidad de enfriamiento del normalizado, aplicar un revenido para poder disminuir la dureza generada por los carburos de hierro.

## **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. Anderson, T. Fracture Mechanics Fundamentals and Applications. Ed. Taylor and Francis. 3ª edición, EUA 2006.
4. Aristizábal, R.; Silva, C.; Pérez, P.; Stanek, V.; Katz, S. Studies of a Quenched Cupola Part II: The Behavior of C, Si, Mn and S in the Metallic Charge, AFS Transactions, Vol. 117, Paper 09-104, 693-708, 2009.
5. Aparicio, F.; Vera, C.; Díaz, V. "Teoría de los Vehículos Automóviles". SP ETSII Universidad Politécnica Madrid, 1995.
6. Ashby, M. 2005. Materials selection in mechanical design. 3 the Edition Ed. Butterworth Heinemann Oxford. UK.
7. ASTM A 159-83 Standard Specification for Automotive Gray Iron Castings, 1993
8. ASTM E 139. Practice for conducting creep, creep-rupture and stress rupture tests of metallic materials.
9. ASTM E3-95. Preparation of metallographic specimens.
10. ASTM E 143. Fracture torque/stress.
11. Bailer-Jones, C.; Bhadeshia, H.; MacKay, D. Gaussian process modelling of austenite formation in steel. Materials Science and Technology. Heidelberg, Germany, 1998.
12. Balankin, A. Models of self-affine cracks in brittle and ductile materials. Philosophical Magazine Letter, 1996; 74 (5): 415-422.
13. Barsom, J. Fracture mechanics analysis of fatigue crack initiation and growth. The International Conference on Fatigue, pp. 88-98. Toronto, Ontario, Canada. 1994.
14. Belay, G. E. Tecnología de fundición. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara, 1970.
15. Biederman A., y Hassekief L. M. Tratado Moderno de Fundición del Hierro y del Acero, Editorial 1965.



16. Borrajoa, J.; Martínezb, R.; Boerib, R. Aplicabilidad de Modelos Matemáticos Para Simular la Nucleación de Partículas de grafito en Fundición Esferoidal de Pequeños Espesores. s. l: Materia, 2003, Vol. 8.
17. Broek, D. Manual of fracture control for the chemical process industry. MTI. Inc., USA, 1983.
18. Callister, D. Materials science and engineering an introduction. 5 the Edition. Ed. John Wiley and Sons, USA, 2000.
19. Capello, E. Tecnología de fundición. Editorial Gustavo Gili, S. A. (3ra edición). Barcelona, 1980.
20. Catalina, A.; Guo, X.; Stefanescu, D.; Chuzhoy, L.; Pershing, M. Prediction of Room Temperature Microstructure and Mechanical Properties in Gray Iron Casting, AFS Transactions, Vol. 108 72, pp. 247-257, 2000.
21. Cahn, R.; Haasen, P. Physical Metallurgy. Part I, II y III. 4 the Edition. Ed. Elsevier Science. Amsterdam, Netherland, 1996.
22. Chacin, F. Diseño y análisis de experimentos I. Ed. FEPUVA-UCV. Caracas, Venezuela, 2000.
23. Changan, C.; Liaw, P.; Mingliang, Y.; Jie, Y. Recent developments in the thermo-mechanical fatigue life prediction. The Minerals, Metals & Materials Society, 51 (4), 1999.
24. Chavez, M.; Amaro, A.; Flores, C.; Juarez, A. González-Rivera, N. Thermal Analysis of Gray and Nodular Eutectic Cast Iron. México D.F., México. Trans Tech Publications, Switzerland, 2006, Vol. Vol. 509.
25. Colectivo de autores. Diseño de moldes y modelo. Barcelona, 2002.
26. Collini, L.; Nicoletto, G.; Conečnák, R. Microstructure and mechanical properties of pearlitic gray cast iron, Materials Science and Engineering A, Vol. 488, 529-539, 2008.
27. Dardati, P. Simulación micromecánica de la solidificación de la fundición dúctil. Córdoba, España: Universidad Nacional de Córdoba, 2005.
28. Dardati, P.; Godoy, L.; Celentano, D.; Bertorello, H. Modelo para la Simulación Numérica de la Solidificación de la Fundición Dúctil, Mecánica Computacional, Vol. XXIII, pp. 2653-2677, 2004.



29. Davis, G. Cracking failure analysis, ASM International. Ohio, USA, 1997.
30. Ecob, C. A Review of Common Metallurgical Defects in Ductile Cast Iron, Fecha de consulta: Febrero 2016.
31. Erdogan, F.; Ratwani, M. 'Fatigue and fracture of cylindrical shells containing a circumferential crack'. International Journal of Fracture Mechanics, (6): 379-392, 1970.
32. Erdogan, E. Fracture mechanics. International Journal of Solids and Structures, (27): 171–183, 2000.
33. Estrada-Cingualbres, R.; González-Utría, E. Fundamentos de la medición de tensiones y deformaciones. Dpto. Ingeniería Mecánica. Universidad de Holguín, Cuba, 2001.
34. Fernández-Levy, G. Resistencia de materiales. Ed. Pueblo y Educación. La Habana, Cuba, 1981.
35. Flemings M. C. Solidification Technology in the Foundry and Casthouse, The Metals, Society, 1983.
36. Flores Le Roux, R. Estudio de la propagación de fisuras en Materiales dúctile. Tesis para optar al grado de doctor. Departamento de Motopropulsión y Termofluidodinámica Escuela técnica superior de ingenieros aeronáuticos. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. Septiembre, 2002.
37. Freund, J.; Simona, G. Modern Statistics. 8 the Edition. Ed. Prentice Hall. New Jersey, USA, 1992.
38. Gdoutos, E. Fracture mechanics. An introduction. 2 and Edition Ed. Springer Netherlands. Democritus University of Thrace, Xanthi, Greece, 2005.
39. Goyos, P. L. y Martínez, R. H. Tecnología de la fundición II. Editora ISPJAE. 1991.
40. Griffith, A. The phenomena of rupture and flow in solids. Phil. Trans. Royal Society London, (A221): 163–198, 1920.
41. Guliaev A. P, Metalografía. Editorial MIR- Moscú, 1988.
42. Guliaev, B. B. Teoría de los Procesos de fundición. Editorial Construcción de Maquinaria. Leningrado, 1976.
43. Guo, X.; Stefanescu, D.; Chuzhoy, L.; Pershing, M.; Biltgen, G. A Mechanical Properties Model for Ductil Iron. AFS Transactions, vol. 105, pp. 47-54, 1997.
44. Hernández-Sampieri, R. Fernández-Collado, C. Baptista Lucio, P. Metodología de la Investigación. Ed. McGRAW-HILL. Santafé de Bogotá, Colombia, 1991.



45. Huaca E. “Simulación mediante el programa “Vulcan” de la fundición de tres diferentes geometrías en aluminio”, Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, universidad de Moa; Antonio Núñez Jiménez, 2011.
46. Ivanov, V. N. Diccionario Manual para fundición. Editorial Construcción de Maquinaria. Moscú, 1988.
47. Janowak, J.; Gundlach, R. Fundiciones Grises Aleadas (y2) Fundición Año XXXIII- segunda etapa- mayo-junio, 1987.
48. Jones, D. Failure analysis case studies. Elsevier Science Publishers. Amsterdam, Netherland, 1998.
49. Ju, S. Characterization of bainitic microstructures in low carbon HSLA steels. International Journal of Modern Physics B. 22 (31): 5965 – 5970, 2008.
50. Kumanin, I. B. Cuestiones de la teoría de los procesos de fundición. Editorial Construcción de Maquinarias. Moscú, 1976.
51. Kurz, W, Fisher D. J., Fundamentals of Solidification, Trans Tech Pub., 1986.
52. Kyzhikov, A. A. Fundamentos de la tecnología de fundición. Editorial Mashguiz. Moscú, 1962.
53. Luque P.; Álvarez D.; Vera C. Ingeniería del Automóvil. Sistema y Comportamiento Dinámico. Universidad Politécnica de Madrid, 2005.
54. Lu, L.; Nogita, K.; Dahle, A. Combining Sr and Na Additions in Hypoeutectic Al - Si Foundry Alloys. Materials Science and Engineering. A 399:244 - 253. 2005.
55. Moffat, W.G.; Pearsall, G.W.; Wulf J. The Structure and Properties of Materials, Vol. 1, Structure, p. 195 (2001).
56. Mogilev, V. K. y Lev, O. I. Manual del fundidor. Editorial Construcción de Maquinaria. Moscú, 1988.
57. Mertinger, V.; Nagy, E.; Tranta, F.; S'olvom, J. Strain-induced martensitic transformation in textured austenitic stainless steels, Hungary, 15 February 2007.
58. Naumenko, K. ASG Modelling of high-temperature creep for structural analysis applications, 2006. [Documento en línea: <http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl>]. Acceso: 29 de septiembre de 2008.



59. Okamoto, H. ASM (American Society Materials). Phase Diagrams for Binary Alloys. ASM International. United States of America 2000.
60. Oliver, J.; Hueste, A.; Blanco, S. Modelado tridimensional del fallo material mediante la formulación de discontinuidad fuerte de continuo. Anales de Mecánica de la Fractura. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, España, 2005.
61. Olsen, O.; Hartung, C.; Ecob C. Common Metallurgical in Grey Cast Iron, Fecha de consulta: Enero de 2016.
62. Porter, D.; Easterling, K. Phase transformations in metals and alloys, Ed. Van Norstrand Reinhold, 1981, p. 181.
63. 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.
64. Rivera, G. Estructura de Solidificación de Fundiciones de Hierro con Grafito. 2000.
65. 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.
66. Rojas M. "Efecto de la adición de aluminio en la resistencia al desgaste abrasivo del hierro fundido aleado Ni-Resist". Tesis de Doctorado, universidad de Moa; Antonio Núñez Jiménez, 2015.
67. Salcines, C. M. Tecnología de Fundición II. Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 1985.
68. Salcines, R.C. Tecnología de fundición. Editorial Pueblo y Educación. (Tomo I, 1era y 2da parte). La Habana, 1985.
69. Sánchez, R.; Torres, S. Estadística elemental. Ed. Pueblo y Educación. La Habana, Cuba, 1989.
70. Sturla, A.; Castellano, E. Metalografía microscópica: guía práctica de metalografía microscópica y macrografía. Buenos Aires: Alsina. 1951.
71. Titov, N. D. Tecnología del proceso de fundición. Editorial Mir, Moscú, 1981.
72. Vdovich, B. N. y Sosnienko, M. N. Vertido de los moldes de fundición. Editorial Escuela Superior. Moscú, 1974.



73. Vestislka, A. y otros. Fundamentos teóricos de la tecnología de fundición. Editorial Superior. Kiev, 1981.
74. Han Jun. Uso y mantenimiento diario del autobús. Zhengzhou Yutong Bus Co., Ltd. Yutong, 2006.



## ANEXO 3. Carta tecnológica de fundición para la tambora delantera

|                                                                                                                                                                             |                                       |           |                   |                     |                           |                                  |                                      |                                |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------|-------------------|---------------------|---------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|---------|
|                                                                                                                                                                             | Empresa Mecánica del Níquel           |           |                   |                     |                           |                                  | Modelo R-01 / ST-P-001               |                                |         |
|                                                                                                                                                                             | "Cmdte: Gustavo Machín Hoed de Beche" |           |                   |                     |                           |                                  | Carta del Proceso Tecnológico de     |                                |         |
|                                                                                                                                                                             | UEB de Fundición                      |           |                   |                     |                           |                                  | Fundición en Moldes de Arena         |                                |         |
| Número de Plano                                                                                                                                                             | 432007                                |           |                   |                     |                           | Orden de trabajo                 |                                      |                                |         |
| Denominación                                                                                                                                                                | Tambora de freno                      |           |                   |                     |                           | No Tecnología                    | 4H572                                | 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, %            |         |
| ASTMA 159-                                                                                                                                                                  | Fe21-Ni                               | 27        | 36                | 13,8                | 49,80                     | 49,80                            | 1                                    | 72,29                          |         |
| Sistema de Alimentación, mm                                                                                                                                                 |                                       |           |                   |                     |                           | Profundidad secado del molde, mm | Permanencia molde antes de fundir, h | Tiempo envejecim. del molde, h |         |
| ØTragadero                                                                                                                                                                  | Escoreador                            |           | Alimentador       |                     |                           |                                  |                                      |                                |         |
| 29,9                                                                                                                                                                        | 15x22x22                              |           | 28x23x14          |                     |                           | 4                                |                                      |                                |         |
| Juego de Plantilla                                                                                                                                                          |                                       |           |                   |                     | Mazarotas                 |                                  |                                      |                                |         |
| Descripción                                                                                                                                                                 |                                       | Cant.     | Descripción       |                     | Cant.                     | Núm.                             | Cant.                                | Base                           | Vértice |
| Entera                                                                                                                                                                      |                                       | 1         |                   |                     |                           | 1                                | 3                                    | D83                            | D78     |
| Sist. de Aliment, mm                                                                                                                                                        |                                       | 1         |                   |                     |                           |                                  |                                      |                                |         |
| Caja de Macho                                                                                                                                                               |                                       | 1         |                   |                     |                           |                                  |                                      |                                |         |
| Mazarota                                                                                                                                                                    |                                       | 3         |                   |                     |                           |                                  |                                      |                                |         |
|                                                                                                                                                                             |                                       |           |                   |                     |                           |                                  |                                      |                                |         |
| Caja de Moldeo                                                                                                                                                              |                                       |           |                   | Mezcla de Moldeo    |                           |                                  | Clavos de Fundición                  |                                |         |
| Posición                                                                                                                                                                    | Diám. Largo                           | Ancho     | Altura            | Tipo                | Número                    | Masa                             | Dimensiones, mm                      |                                |         |
| Sup                                                                                                                                                                         | 1000                                  | 800       | 250               | Cara                | AUTO                      | 45                               |                                      |                                |         |
| Inf                                                                                                                                                                         | 1000                                  | 800       | 350               | Cara                | AUTO                      | 45                               |                                      |                                |         |
|                                                                                                                                                                             |                                       |           |                   | Relleno             |                           | 240                              |                                      |                                |         |
|                                                                                                                                                                             |                                       |           |                   |                     |                           |                                  |                                      |                                |         |
|                                                                                                                                                                             |                                       |           |                   |                     |                           |                                  |                                      |                                |         |
| 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 Caz.       | Temp. del Metal, °C       | Duración Seg.                    |                                      |                                |         |
| A brocha                                                                                                                                                                    | Base Zirconio                         | dos manos | 500               | 1                   | 1300-1280                 | 11,7                             | 6                                    | 825                            |         |
| <b>Observaciones:</b>                                                                                                                                                       |                                       |           |                   |                     |                           |                                  |                                      |                                |         |
| Contracción 1 %, ventilar el molde superior con aguja de diámetro 4- 5 mm (en toda la superficie del molde), calentar la cazuela a 700°-800°c, realizar un molde de prueba. |                                       |           |                   |                     |                           |                                  |                                      |                                |         |
|                                                                                                                                                                             |                                       |           |                   |                     | Hoja No                   |                                  |                                      |                                |         |
|                                                                                                                                                                             |                                       |           |                   |                     |                           | Firma                            | Fecha                                | Cant hojas                     |         |
|                                                                                                                                                                             |                                       |           |                   |                     | Elaboró                   | Enedys Hdz del Ros               | 21/06/2016                           |                                |         |
| Mod                                                                                                                                                                         | Cant                                  | No Notif  | Firma             | Fecha               | Aprobó                    |                                  |                                      |                                |         |



## ANEXO 4. Carta tecnológica de fundición para la tambora trasera

|                                                                                                                                                                             |                    |                                       |                   |                     |                                  |                                      |                                  |                        |         |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------|-------------------|---------------------|----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|------------------------|---------|--------|
|                                                                                                                                                                             |                    | Empresa Mecánica del Níquel           |                   |                     |                                  |                                      | Modelo R-01 / ST-P-001           |                        |         |        |
|                                                                                                                                                                             |                    | "Cmdte: Gustavo Machín Hoed de Beche" |                   |                     |                                  |                                      | Carta del Proceso Tecnológico de |                        |         |        |
|                                                                                                                                                                             |                    | UEB de Fundición                      |                   |                     |                                  |                                      | Fundición en Moldes de Arena     |                        |         |        |
| Número de Plano                                                                                                                                                             |                    | 436035                                |                   |                     |                                  | Orden de trabajo                     |                                  |                        |         |        |
| Denominación                                                                                                                                                                |                    | Tambora de freno                      |                   |                     |                                  | No Tecnología                        |                                  | 4H572                  | Rev.    |        |
| Material                                                                                                                                                                    |                    | Masa, KG                              |                   |                     |                                  |                                      |                                  |                        |         |        |
| Noma                                                                                                                                                                        | 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, %    |         |        |
| ASTMA 159-                                                                                                                                                                  | Fe21-Ni            | 61,7                                  | 75                | 24,4                | 99,40                            | 99,40                                | 1                                | 75,45                  |         |        |
| Sistema de Alimentación, mm                                                                                                                                                 |                    |                                       |                   |                     | Profundidad secado del molde, mm | Permanencia molde antes de fundir, h | Tiempo envejecim. del molde, h   |                        |         |        |
| ØTragadero                                                                                                                                                                  | Escoreador         |                                       | Alimentador       |                     |                                  |                                      |                                  |                        |         |        |
| 41                                                                                                                                                                          | 20x26x26           |                                       | 37x32x19          |                     | —                                | 4                                    | —                                |                        |         |        |
| Juego de Plantilla                                                                                                                                                          |                    |                                       |                   |                     | Mazarotas                        |                                      |                                  |                        |         |        |
| Descripción                                                                                                                                                                 |                    | Cant.                                 | Descripción       |                     | Cant.                            | Núm.                                 | Cant.                            | Base                   | Vértice | Altura |
| Entera                                                                                                                                                                      |                    | 1                                     | —                 |                     | —                                | 1                                    | 3                                | D104                   | D84,5   | 234    |
| Sist. de Aliment, mm                                                                                                                                                        |                    | 1                                     | —                 |                     | —                                | —                                    | —                                | —                      | —       | —      |
| Caja de Macho                                                                                                                                                               |                    | 1                                     | —                 |                     | —                                | —                                    | —                                | —                      | —       | —      |
| Mazarota                                                                                                                                                                    |                    | 3                                     | —                 |                     | —                                | —                                    | —                                | —                      | —       | —      |
|                                                                                                                                                                             |                    |                                       | —                 |                     | —                                | —                                    | —                                | —                      | —       | —      |
| Caja de Moldeo                                                                                                                                                              |                    |                                       |                   | Mezcla de Moldeo    |                                  |                                      | Clavos de Fundición              |                        |         |        |
| Posición                                                                                                                                                                    | Diám. Largo        | Ancho                                 | Altura            | Tipo                | Número                           | Masa                                 | Dimensiones, mm                  |                        |         |        |
| Sup                                                                                                                                                                         | 1000               | 800                                   | 250               | Cara                | AUTO                             | 45                                   |                                  |                        |         |        |
| Inf                                                                                                                                                                         | 1000               | 800                                   | 350               | Cara                | AUTO                             | 45                                   |                                  |                        |         |        |
|                                                                                                                                                                             |                    |                                       |                   | Relleno             |                                  | 240                                  |                                  |                        |         |        |
|                                                                                                                                                                             |                    |                                       |                   |                     |                                  |                                      |                                  |                        |         |        |
|                                                                                                                                                                             |                    |                                       |                   |                     |                                  |                                      |                                  |                        |         |        |
| 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 Caz.       | Temp. del Metal, °C              | Duración Seg.                        |                                  |                        |         |        |
| A brocha                                                                                                                                                                    | Base Zirconio      | dos manos                             | 500               | 1                   | 1300-1280                        | 16,6                                 | 6                                | 825                    |         |        |
| <b>Observaciones:</b>                                                                                                                                                       |                    |                                       |                   |                     |                                  |                                      |                                  |                        |         |        |
| Contracción 1 %, ventilar el molde superior con aguja de diámetro 4- 5 mm (en toda la superficie del molde), calentar la cazuela a 700°-800°c, realizar un molde de prueba. |                    |                                       |                   |                     |                                  |                                      |                                  |                        |         |        |
|                                                                                                                                                                             |                    |                                       |                   |                     |                                  |                                      |                                  | Hoja No                |         |        |
|                                                                                                                                                                             |                    |                                       |                   |                     |                                  | Firma                                | Fecha                            | Cant hojas             |         |        |
|                                                                                                                                                                             |                    |                                       |                   | Elaboró             | Enedys Hdz del Ros               |                                      | 21/06/2016                       |                        |         |        |
| Mod                                                                                                                                                                         | Cant               | No Notif                              | Firma             | Fecha               | Aprobó                           |                                      |                                  |                        |         |        |

**ANEXO 1. Ficha técnica del ómnibus Yutong**

|                                        |                                                                                                       |                                                                               |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 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<br>(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 × Ancho × Alto(mm):11600×2500×3265(3075)                                                        |                                                                               |
| Parámetros de funciones                | Velocidad máxima(km/h):110                                                                            |                                                                               |
|                                        | Distancia de freno (m): V <sub>0</sub> =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 2. Tecnología de tratamiento térmico

| Hoja1                                                                             |                                          | CARTA TECNOLÓGICA DE TRATAMIENTO TÉRMICO                                                                       |                                   |                 |              |                                   |                    |                 |                  |                                            |                   | 07-R-59              |         |                 |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------|--------------|-----------------------------------|--------------------|-----------------|------------------|--------------------------------------------|-------------------|----------------------|---------|-----------------|--------|
|  |                                          | <b>Empresa Mecánica del Níquel.</b><br><b>Comandante “Gustavo Machín Hoed de Beche”</b><br><b>Moa-Holguín.</b> |                                   |                 |              | Denominación de la pieza.         |                    |                 |                  | Orden de trabajo.                          |                   |                      |         |                 |        |
|                                                                                   |                                          |                                                                                                                |                                   |                 |              | Tambora delantera y trasera       |                    |                 |                  | F07 - 0004                                 |                   |                      |         |                 |        |
|                                                                                   |                                          |                                                                                                                |                                   |                 |              | Nº de Plano.                      |                    |                 |                  | Tecnología No.                             |                   |                      |         |                 |        |
|                                                                                   |                                          |                                                                                                                |                                   |                 |              | 436034                            |                    |                 |                  | 382                                        |                   |                      |         |                 |        |
|                                                                                   |                                          |                                                                                                                |                                   |                 |              | Denominación y Grado del Material |                    |                 |                  |                                            |                   |                      |         | Masa Kg         |        |
| ASTM A 159 - 83 Grade G3500b                                                      |                                          |                                                                                                                |                                   |                 |              |                                   |                    | 42              |                  |                                            |                   |                      |         |                 |        |
| Número de la operación Tecnológica.                                               | Denominación de la Operación Tecnológica | Equipo Tecnológico                                                                                             | Utillaje Tecnológico Herramientas | Medio Ambiente. | Dureza (HRC) | Penetración del temple.           | Régimen de trabajo |                 |                  | Cantidad                                   |                   | Norma de Rendimiento |         | Volumen de lote | T.P.C. |
|                                                                                   |                                          |                                                                                                                |                                   |                 |              |                                   | Temperatura (oC)   | Exposición. (h) | Velocidad (oC/h) | Piezas en el Dispositivo o la Instalación. | Cargo o profesión | Grupo esc. salarial. | T Total |                 |        |
| 1.                                                                                | Normalizado                              | CW4 – 16.12/9                                                                                                  |                                   |                 |              |                                   |                    |                 |                  | 1                                          | 1                 | T-ta.                | V       | 1               | 3,08   |
|                                                                                   | Calentamiento                            |                                                                                                                | Disp.                             |                 |              |                                   | 840                |                 |                  |                                            |                   |                      |         |                 |        |
|                                                                                   | Permanencia                              |                                                                                                                |                                   |                 |              |                                   |                    | 2,00            |                  |                                            |                   |                      |         |                 |        |
|                                                                                   | Enfriamiento                             |                                                                                                                |                                   | Aire            |              |                                   |                    |                 |                  |                                            |                   |                      |         |                 |        |
|                                                                                   | Comprobación de dureza                   | DP.                                                                                                            |                                   |                 | 207 - 255 HB |                                   |                    |                 |                  |                                            |                   |                      |         |                 |        |

