

ESTUDIO DE LAS VARIABLES DE PROCESO EN EL ENVEJECIMIENTO DE
RINES DE ALUMINIO (ALEACIÓN AL Si 7)
EN LA EMPRESA MADEAL S.A.

LINA MERCEDES SÁNCHEZ LEÓN

SANDRA EYICED OYUELA MORENO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
INGENIERIA QUÍMICA
MANIZALES

2003

**ESTUDIO DE LAS VARIABLES DE PROCESO EN EL ENVEJECIMIENTO DE
RINES DE ALUMINIO (ALEACIÓN AL Si 7)
EN LA EMPRESA MADEAL S.A.**

LINA MERCEDES SÁNCHEZ LEÓN 396542

SANDRA EYICED OYUELA MORENO 396534

“Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Químico”

Modalidad :Pasantía

Director ad hoc: GERMÁN VELEZ

Ing. Mecánico

Directora: ALNEIRA CUELLAR BURGOS

Ing. Química.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
INGENIERIA QUÍMICA
MANIZALES

2003

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	9
INTRODUCCIÓN	11
1. RESEÑA HISTÓRICA DE LA EMPRESA.	13
<i>1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE RINES.</i>	<i>15</i>
1.1.1. FUNDICIÓN.	17
1.1.2. INYECCIÓN.	18
1.1.3. SOLUBILIZACIÓN.	19
1.1.4. ENFRIAMIENTO.	20
1.1.5. MECANIZADO.	22
1.1.6. REBABADO.	24
1.1.7. CROMATIZADO.	25
1.1.8. PINTURA:	26
1.1.9. EMPAQUE:.	28
<i>1.2 LINEA DE PRODUCCIÓN.</i>	<i>29</i>
2. CARACTERÍSTICAS DEL ALUMINIO.	30
<i>2.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO COMO MATERIA PRIMA.</i>	<i>31</i>
<i>2.2. TRATAMIENTO TERMICO EN MADEAL.</i>	<i>40</i>
2.2.1. PROCEDIMIENTO.	42
3. DESCRIPCIÓN DE LA PASANTÍA.	45
<i>3.1 METODOLOGÍA:</i>	<i>45</i>
<i>3.2. CONDICIONES INICIALES DE LOS RINES:</i>	<i>50</i>
3.2.1 APLICACIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL.	54
4. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS.	57
<i>4.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS:</i>	<i>57</i>
<i>4.2. ANÁLISIS CUALITATIVO.</i>	<i>63</i>

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	70
BIBLIOGRAFIA.	72
ANEXOS.	74

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla No. 1 Diferentes Denominaciones De La Aleación Alsi 7 ⁽³⁾	31
Tabla No.2 Comparación De La Composición Química Al Si 7 Según Norma Astm B108 Y La Materia Prima Utilizada En Madeal ⁽⁷⁾	34
Tabla No.3 Propiedades De La Aleacion Alsi7 ⁽⁵⁾	39
Tabla No.4 Cuadro Comparativo Entre El Tratamiento T6 Tradicional Y El T6 Realizado En Investigaciones ⁽⁸⁾	44
Tabla No 5 Información De Entrada De Rines.	51
Tabla No 6 Información De Entrada Cromatizado.	52
Tabla No 7 Información De Entrada Hornos.	53
Tabla No.8 Variables Del Diseño	56
Tabla No.9 Condiciones De Tratamiento De Las Pruebas	56
Tabla No.10 Resultados De Las Propiedades Mecánicas Y Pruebas De Pintura De Las Muestras Tratadas.	58
Tabla No.11 Nivel De Significancia Para La Dureza (Hb).	60
Tabla No.12 Nivel De Significancia Para La Resistencia Ultima A La Tracción(Uts).	60
Tabla No.13 Nivel De Significancia Para El Punto De Cedencia (Ys).	60
Tabla No.14 Nivel De Significancia Para El Porcentaje De Elongación (%E).	61
Tabla No.15 Valores Promedios De Las Propiedades.	62
Tabla No.16 Pruebas De Adherencia	63

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1 Diagrama De Bloques De La Producción De Rines Madeal	16
Figura. 2 Fundición De Lingotes De Aluminio Por Combustión Directa.	17
Figura. 3 Inyección Y Desmolde Manual Del Rin.	18
Figura. 4 Entrada Del Rin Al Horno De Solubilización.	19
Figura. 5 Enfriamiento Del Rin.	20
Figura. 6 Inspección Del Rin Por Medio De Rayos X. Equipo Andrex.	21
Figura. 7 Mecanizado Del Rin En El Torno Leadwell.	22
Figura. 8 Cuba De Hermeticidad.	23
Figura. 9 Rebaba Manual Del Rin.	24
Figura. 10 Cromatizado De Rines.	25
Figura. 11 Aplicación De Pintura Liquida.	26
Figura. 12 Lote Empacado De Rines En Estiba De Madera Y Recubrimiento Con Plástico Termoencogible.	28
Figura. 13 Diagrama Binario De Fases ⁽³⁾	32
Figura. 14 Metalografías De La Aleación Hipoeutéctica Alsi 7% Sin Y Con Tratamiento Térmico Fotos Tomadas Del Proceso En Madeal.	38
Figura. 15 Partes Del Rin.	46

Figura. No 16 Metalografía Muestra Con 3 Horneos; 300x. Tratada Con Una Solución Hf Al 0.5%	65
Figura. 17 Reporte Prueba De Impacto.	69

LISTA DE GRÁFICOS

	pág.
Gráfico 1. Grafico Fuerza (N) Vrs. Longitud (Mm)	47
Gráfico .2. Reporte Termografía Horno Laca	66
Gráfico .3 Termografía Horno Laca.	67

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXOS 1.PLAN DE CONTROL.	75
ANEXO 2 SISTEMA DE APLICACIÓN DE LA PINTURA EN POLVO	76
ANEXO 3. PRUEBA DE DUREZA.	79
ANEXO 4. PRUEBA DE TENSIÓN (ESFUERZO A LA ROTURA)	81
ANEXO 5. ANÁLISIS METALOGRÁFICO.	87
ANEXO 6. PRUEBA DE ADHERENCIA	90
ANEXO 7. EFECTO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS SOBRE SUPERFICIES PINTADAS	91
ANEXO 8. INSTRUCTIVO PRUEBA DE CÁMARA SALINA	93
ANEXO 9 ANÁLISIS METALOGRÁFICO.	100
ANEXO 10 TERMOGRAFIAS.	102

RESUMEN

En la siguiente pasantía se estudiaron las variables de proceso para el envejecimiento térmico de rines elaborados por la empresa Madeal S.A. a partir de la aleación Aluminio Silicio al 7% (AlSi 7)

Para ello se realizaron pruebas fisicoquímicas que permiten evaluar la incidencia de las variables de proceso tales como:

- ✓ Prueba de tensión (destrutivo) realizada en la máquina universal de pruebas(22).
- ✓ Prueba de dureza, determinada con en el durómetro Equiotuip(21).
- ✓ Prueba de impacto (destrutivo), las cuales fueron realizadas por personal de Madeal.(28)

La composición química se valoró espectro-métricamente en el equipo ARL 121.

También se apreció la efectividad del tratamiento térmico, por medio de un análisis metalográfico realizado al rin en proceso y al producto terminado; teniendo en cuenta que el proceso de envejecimiento se produce en la unidad de pintura, se observó adicionalmente la incidencia en las características de la misma analizando su comportamiento por medio de pruebas como: cámara salina, adherencia de la pintura, y resistencia a la corrosión por solventes (13-14-15).

Todos los procedimientos efectuados se realizaron según los manuales de instrucción usados por Madeal y tomados de las normas ASTM.

Se evaluaron las condiciones paramétricas actuales de tratamiento termico por medio del programa SAS (Statistics Análisis Sistem), que nos permite relacionar las variables analizadas con los diferentes tratamiento dados a las muestras.

SUMMARY

In the following internship the process variables were studied for the thermal aging of rines elaborated by the company Madeal CORP. starting from the alloy Aluminum Silicon to 7% (AlSi 7)

For they were carried out it tests physical-chemical that allow to evaluate the incidence of the such process variables as:

- ✓ Test of tension (destructive) carried out in the universal machine of test (22).
- ✓ Test of hardness, certain with in the durómetro Equiotuip(21).
- ✓ Proves of impact (destructive), which were carried out for personal of Madeal. (28)

The chemical composition was valued spectrum-metrically in the team ARL 121.

The effectiveness of the thermal treatment was also appreciated, by means of an analysis of the change in the microstructure carried out to the rin in process and to the finished product; keeping in mind that the aging process takes place in the unit of painting, it was observed the incidence additionally in the characteristics of the same one analyzing its behavior by means of tests as: saline camera, adherence of the painting, and resistance to the corrosion for solvents (13-14-15).

All the made procedures were carried out according to the instruction manuals used by Madeal and taken of the norms ASTM.

The current parametric conditions of thermal treatment were evaluated by means of the program SAS (Statistics Analysis Sistem) that allows to be related the variables analyzed with the different treatment given to the samples.

INTRODUCCIÓN

La producción de rines en aluminio ha aumentado su demanda comparado con los fabricados en acero al poseer buena presentación, mayor resistencia a la corrosión, bajo peso y mejores características mecánicas(1).

Manufacturas de Aluminio S.A. Madeal, fue creada en el año 1989 por la organización Chaid Neme Hermanos S.A., en la ciudad de Manizales con el objeto de fabricar rines de aluminio. En la actualidad elabora y comercializa rines de diferentes referencias los cuales son destinados al consumo nacional e internacional en países como Venezuela y Ecuador, con proyectos para competir en el mercado americano.

Madeal como empresa líder en el mercado suramericano en la producción de rines de lujo ha trabajado durante estos años la aleación de aluminio silicio al 11% como materia prima, la cual posee las características propias del aluminio, pero los altos costos del silicio como principal componente hacen cada vez más apremiante la necesidad de reducir su contenido en la aleación. Por esta razón la empresa se ve en la necesidad de implementar un nuevo proceso de producción, cambiando la materia prima usada por la aleación aluminio silicio al 7%, que ofrece al ser tratado térmicamente una alta resistencia mecánica y la facilidad de obtener rines más livianos; lo que permite generar productos con mejores características mecánicas y competir en otros mercados donde se exige la fabricación del rin en esta aleación.

Razones que motivaron al desarrollo de este proyecto ya que la implementación del tratamiento térmico como nuevo proceso productivo dentro de la empresa, carecía de un control sobre las diferentes variables del proceso en la unidad de

pintura (área de envejecimiento) , donde además de brindarse color al rin, se efectúa la modificación interna de la estructura del metal, que le brinda las propiedades mecánicas requeridas convirtiéndose en la etapa más susceptible a generar cambios en el producto final.

1. RESEÑA HISTÓRICA DE LA EMPRESA.

MANUFACTURA DE ALUMINIO S.A. – MADEAL, fue creada en el año 1989, por la organización Chaid Neme Hermanos s.a., en la ciudad de Manizales con el objeto de fabricar Rines en Aluminio(1).

Las etapas de montaje y puesta a punto de la maquinaria con la asesoría PROTTO HERMANOS de Argentina, se realiza en el año 1990, la empresa contaba aproximadamente con 50 empleados. Para este momento tenían tres (3) máquinas inyectoras, un horno volcable, dos líneas de hidrocopiado (máquina Bagilety Torno Protto) y cuatro (4) matrices que permite alcanzar una producción de 17.595 rines en el año 1991 y 25.757 en 1992.

Se fabrica entre Madeal y COFRE (Empresa de la Organización Chaid Neme) las matrices para otros rines. De esta manera se logra entregar una producción total de 71.334 rines al terminar el año de 1993.

En el siguiente año, se fabrica la cuarta máquina inyectora y se obtiene la certificación EAQF(Element Award Quality Factory) que es el reconocimiento ofrecido por el sistema de calidad exigido por SOFASA a sus proveedores. La producción se incrementa a 116.357 rines al terminar este periodo.

Con la ampliación de la producción y el mercado, en 1995, se hace una inversión de US\$ 1.000.000 en obras civiles y maquinaria; se fabrica la quinta máquina inyectora, adquiriéndose los equipos para pintura en polvo y pintura líquida, se fabrica el segundo Horno Volcable y se compra maquinaria de control numérico. Durante este año se inicia el trabajo en Q-101 (certificación exigidos a las

empresas que suministran autopartes que los califica como proveedores de excelente calidad) con FORD Venezuela. Lográndose una producción 160.176 rines.

Las certificaciones de Q101 de FORD, EAQF de Sofasa – Renault y el premio QSP(Quality Suplier Parts) – AWARD(reconocimiento): “Suplier of Year –1996” de General Motors – Colmotores. Se obtienen en el año de 1996. Se adquiere la máquina para control de calidad en el balanceo del rin (primer armónico). Durante este año se fabrican 138.062 rines.

La empresa comienza a ampliar la cobertura nacional e internacional y hacia el año 1997 amplía su carga laboral con 280 empleados (permanentes y temporales). Durante este año se duplican las matrices existentes. Se realiza una inversión en obras civiles y maquinaria de aproximadamente US\$ 1.000.000, se fabrican las inyectoras 6,7,8,9 y se complementan las líneas de control numérico. Se obtiene la certificación del Sistema de Calidad basado en la norma QS9000.

En los años siguientes se empieza a trabajar por la certificación Calidad QS9000 y en el año 1998, se realiza la primera auditoria de vigilancia al sistema de calidad, ratificando el desarrollo de la labor basada en los Principios de la Calidad Total y se obtiene el premio Q1 (calificación de primera calidad) como proveedor Ford Motor Company. Al finalizar 1998 se contaba con la colaboración de 142 personas obteniendo una producción de 222.540 rines / año.

Actualmente se cuenta con una carga fuerza laboral de 230 empleados en planta, con una producción mensual de 31.000 rines.

La cultura empresarial desarrollada en Madeal, se basa en la filosofía del mejoramiento continuo trabajando permanente en planeación estratégica,

administración del tiempo, trabajo en equipo, compromiso individual y especialmente capacitando en el uso de tecnologías limpias ya que cuenta desde el año 2000 con la certificación ISO 14000.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE RINES .

El proceso de obtención del rin en Madeal se realiza a través de la técnica de inyección del aluminio a presión en moldes de acero, a los cuales se les aplica una capa de pintura cerámica que permite usar el molde sin recubrirse del metal fundido.

Este proceso de manufactura requiere de una amplia aplicación de técnicas manuales a fin de obtener una pieza con un excelente acabado, que se logra a través de un constante control visual y metrológico del proceso.

El proceso de fabricación del rin que se describe en la figura 1 permite visualizar las diferentes transformaciones que se producen en el aluminio a partir del lingote fundido hasta la obtención de la pieza final (rin), y las diferentes etapas de tratamiento térmico que incluyen solubilización y envejecimiento este ultimo ocurre en la sección de pintura .

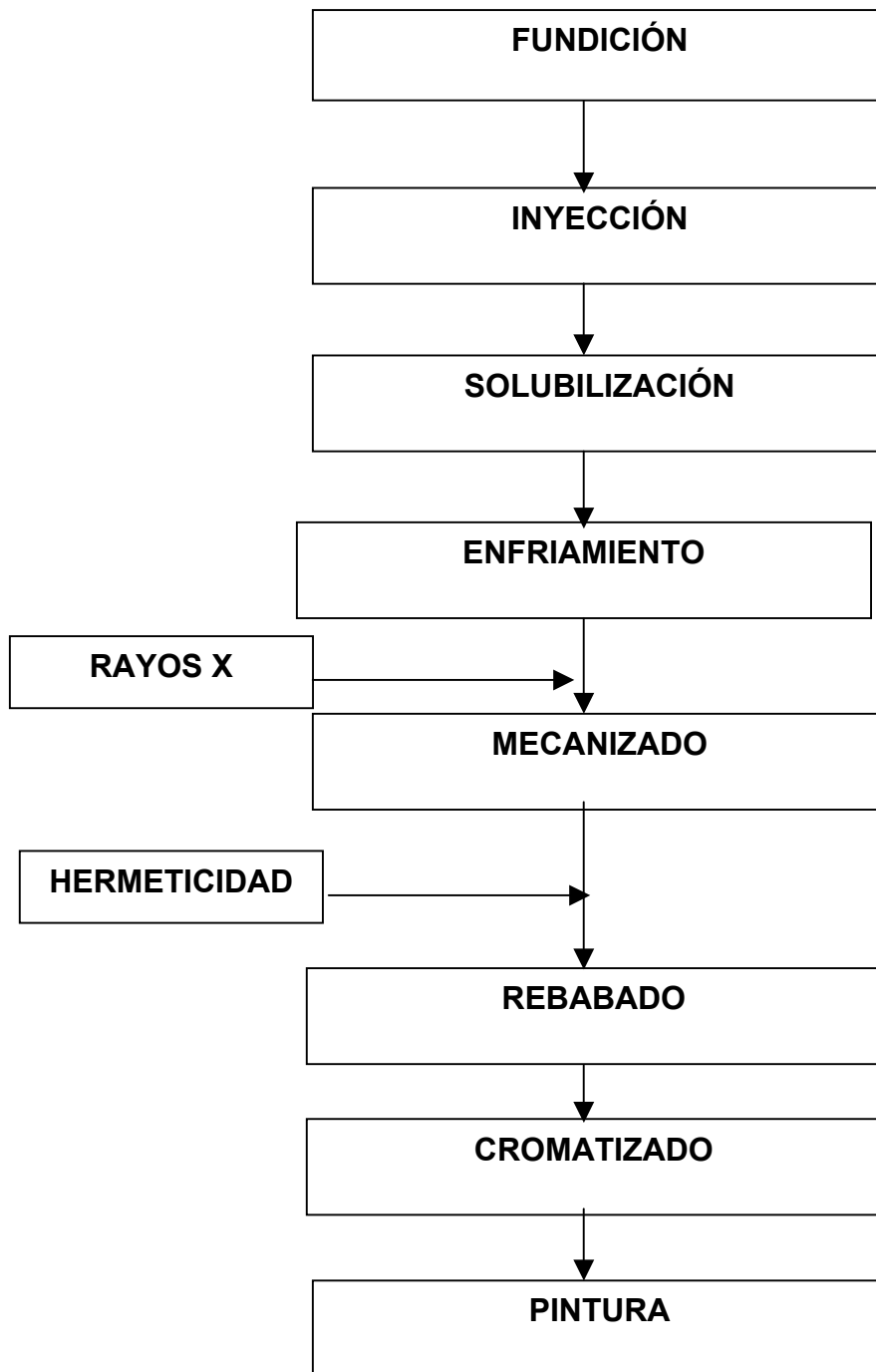


Figura 1 Diagrama de bloques de la Producción de Rines MADEAL

1.1.1. FUNDICIÓN.

El aluminio es recibido en lingotes de 20 Kg. aproximadamente, procedentes de Venezuela y Canadá; los cuales son cargados en un horno volcable de fundición con llama directa de una capacidad de 3 toneladas. Una vez fundido, el metal líquido es vaciado en cucharas refractarias, las cuales tiene una capacidad de 500kg.

En la cuchara el material es sometido a un proceso de desgasificado por inyección a presión de un gas inerte (Nitrógeno), que elimina el contenido de hidrógeno en el metal fundido por desplazamiento de volumen. En esta etapa se establece controles de temperatura, presión y composición química (Ver Anexo N° 1). En la siguiente figura se observa la alimentación del horno volcable en Madeal.



Figura. 2 Fundición de lingotes de aluminio por combustión directa.

1.1.2. INYECCIÓN.

Después de desgasificado el metal es cargado en el horno de la maquina inyectora, donde por presión se va llenando el molde de la rueda ubicado en la parte superior del horno; se establece un control dimensional para verificar las medidas de la matriz (molde), además de verificar los tiempos de inyección y enfriamiento del mismo por medio de un control visual de la pieza semi elaborada de apariencia rústica.

En esta etapa se establece controles de temperatura, presión y composición química (Ver Anexo N° 1).



Figura. 3 Inyección y desmolde manual del rin.

1.1.3. SOLUBILIZACIÓN.

Aquí se realiza la primera fase de tratamiento térmico (por precipitación endurecida), el rin es entregado de inyección y cargado inmediatamente en un horno que tiene una longitud de 10 m y se alimenta por medio de una banda transportadora, manteniendo la pieza a una temperatura de 545°C por contacto con aire caliente.

El tiempo de residencia de los rines en el horno: 70 - 100 min. Capacidad del horno 12 -14 und. / cargue (Ver Anexo N° 1).



Figura. 4 Entrada del rin al horno de solubilización.

1.1.4. ENFRIAMIENTO.

Una vez terminada la etapa anterior, el rin es enfriado inmediatamente en una cuba con agua a 70°C por un tiempo de 90 seg., se controlan temperatura, tiempo y metrología de la rueda.; se determinan según el plan de control (Ver Anexo N° 1).

En el enfriamiento se fijan los cristales del precipitado dado en la etapa anterior y se termina la primera fase del tratamiento térmico. Mas adelante se explica detalladamente esta etapa del proceso.



Figura. 5 Enfriamiento del rin.

Control de calidad:

- RAYOS X :Los rines son llevadas por bandas transportadoras al equipo de rayos x donde se les realiza una inspección cuidadosa para detectar cualquier fisura que se presente en la pieza a través de los rayos X, la inspección se realiza al 100% de la producción. El equipo cuenta con las siguientes especificaciones: control para robot ó manipulador y control para emisión de RX, con un alcance de 0-160 Kv y de 1-10 mA, se genera la emisión de rayos X a través de un generador de alto voltaje un emisor de RX, el espectro de luz generado entra a un intensificador de imagen, el cual lo convierte en fotones de luz blanca visibles al ojo humano, se realiza en una cámara de video a blanco y negro.(Ver Anexo N° 1).

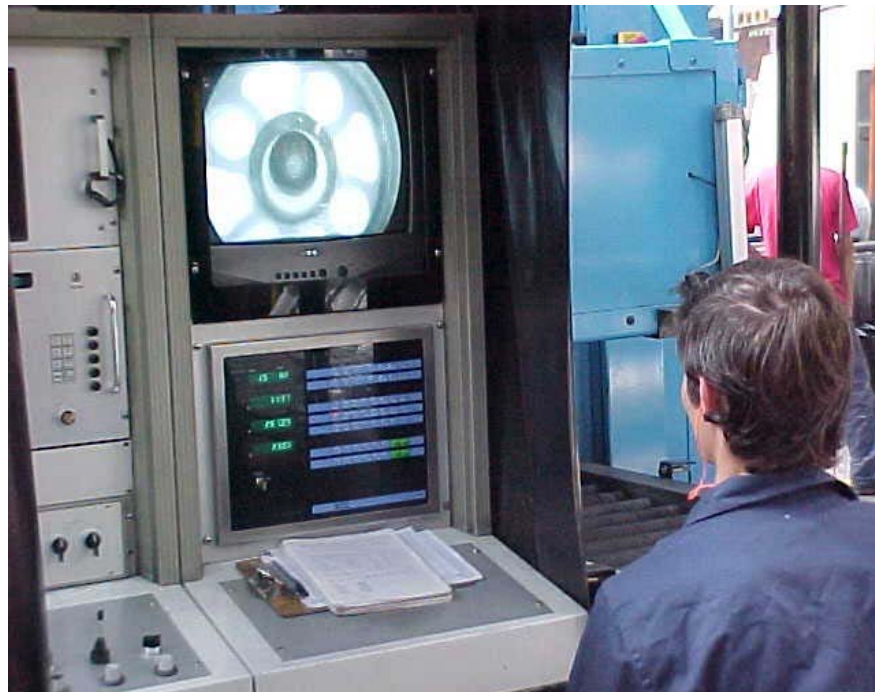


Figura. 6 Inspección del rin por medio de rayos X. Equipo ANDREX.

1.1.5. MECANIZADO.

El rin es pasado por diferentes tornos y centrales de mecanizado donde se le elaboran las pestañas de llanta, los agujeros de fijación (donde el rin va a sujetarse al eje del auto) y el agujero de válvula, las medidas de cada rin dependen del tipo de referencia que se este elaborando. El control dimensional es continuo en esta operación (Ver Anexo N° 1).



Figura. 7 Mecanizado del rin en el torno Leadwell.

Control de calidad:

- **HERMETICIDAD:** Al final de las líneas de mecanizado el rin es sumergido en una cuba con agua a temperatura ambiente, posteriormente es cubierto el centro de la rueda con una tapa de acero que ejerce un cierre hermético a través del cual es aplicado aire a presión; con el fin de observar alguna porosidad presente en la zona de llanta por formación de burbujas en el agua. Esta prueba se realiza al 100% de la producción y se rechaza cualquier tipo de poro. (Ver Anexo N° 1).



Figura. 8 Cuba de Hermeticidad.

1.1.6. REBABADO.

Las piezas son pulidas manualmente eliminando los sobrantes del metal (rebaba) antes de la aplicación de la pintura. En esta etapa el proceso de inspección es visual, su especificación es ausencia total de golpes y rebaba. (Ver Anexo N° 1).



Figura. 9 Rebaba manual del rin.

1.1.7. CROMATIZADO.

La superficie del rin es preparada para ser aplicada la pintura generando buena adherencia. Lo anterior se logra sumergiendo la rueda en una cuba con jabón que retira la grasa y el polvo, seguidamente se enjuaga el rin y se sumerge en un baño que contiene cromo+6 el cual se encarga de fijar la pintura al cargar la superficie del mismo negativamente. El cromo en exceso se retira con un ultimo enjuague, y se seca en un horno con aire caliente a 70°C para evitar humedad antes de entrar a pintura. Las especificaciones de las cubas son controladas permanentemente, por ser esta una etapa critica tanto para el proceso como en el manejo de los vertimientos industriales.(Ver Anexo N° 1).



Figura. 10 Cromatizado de rines.

1.1.8. PINTURA:

En esta etapa se aplica la pintura con base polvo o líquida y se le da la apariencia final al rin, el horneado de la pintura a altas temperaturas proporciona la segunda fase del tratamiento térmico, realizándose de esta forma el envejecimiento de los rines .

El sistema de pintura usado en Madeal es el tribo, que consiste en la aplicación de pintura electrostática por un sistema de fricción, lo que asegura una carga homogénea a través de la superficie del rin y uniformidad en la película aplicada. (Ver Anexo 2).



Figura. 11 Aplicación de pintura líquida.

Existen tres tipos de pintura dependiendo de la referencia del rin y la exigencia de la ensambladora:

- Pintura Monótono Polvo: El rin pasa por un horno de pintura base polvo a 230°C una vez sin pintura y otra con pintura, luego por un horno pintura laca a 230°C, el tiempo de residencia en cada horno es de 30 min.
- Pintura Monótono Líquida: El rin recibe una base en polvo a 230°C, y una capa de pintura líquida a 190°C, el tiempo de horneado Total es de 60 min.
- Pintura Bitono: El rin pasa por un horno de pintura base polvo a 230°C, luego se le aplica una capa de pintura líquida que se hornea a 190°C, de ahí es mecanizado para retirar la pintura de la parte frontal y solo quedan coloreados las partes internas de los radios, los agujeros de fijación, por último se le aplica laca a 230°C, la apariencia del rin es brillante y de dos tonos uno dado por la pintura y el color del aluminio natural; el tiempo total de horneado es de 90 min.

Las variables del proceso para cada tipo de aplicación se determinan según la referencia del rin y el tipo de pintura que se debe utilizar. (Ver Anexo N° 1).

1.1.9. EMPAQUE:

El producto finalmente es identificado con el código de barras , y se empaca de manera individual o por estibas dependiendo de las exigencias del cliente. Se realiza un control visual al 100% de los productos.(Ver Anexo N° 1)



Figura. 12 Lote empacado de rines en estiba de madera y recubrimiento con plástico termoencogible.

1.2 LINEA DE PRODUCCIÓN.

Los rines de Madeal satisfacen las más estrictas normas de calidad, por ello son utilizados como equipo original para vehículos Chevrolet, Suzuki, Mazda, Mitsubitshi, Renault, Chrysler, Kia, Toyota y Ford, producidos por ensambladoras de Colombia, Venezuela, Ecuador, Chile.

Madeal maneja una línea de producción de 80 referencias de rines, algunas de las cuales han sido descontinuadas , el rin XL7 es un rin de 5 radios de 16 in, diseñado para camionetas tipo Ford, es un rin cuya presentación esta libre de insertos y disponible en pintura Fem Plata Níquel.

2. CARACTERÍSTICAS DEL ALUMINIO.

El aluminio es un material de considerable importancia en la actualidad. Sin duda alguna, es el metal, después del acero, que se utiliza con mayor frecuencia, la producción mundial del aluminio alcanza 16 millones de toneladas por año, empleándose en diferentes aplicaciones como son en la industria aérea, automotriz, médica, y alimenticia entre otras⁽²⁾.

El procedimiento de obtención primario más importante y económico sigue siendo la electrólisis en metal fundido, con intenso consumo energético, según el método de Hall-Hérault. Por esta razón las fundiciones de aluminio se sitúan en lugares donde se disponen de energía a bajo precio. El aluminio de una determinada pureza es un material relativamente débil, pero para aplicaciones que requieren de una mayor resistencia mecánica se realizan aleaciones con metales como el magnesio, silicio, estroncio, cobre y titanio por lo general en combinaciones de dos o más de estos elementos, la presencia de hierro se considera como un contaminante dentro de la aleación⁽³⁾.

Se ha diseñado un gran número de aleaciones para satisfacer necesidades específicas, las principales aleaciones están dentro de una serie de normas nacionales e internacionales, que especifican sus composiciones químicas y propiedades mecánicas.

Se dividen en dos grandes grupos como son: vaciadas y formas forjadas, para el proceso de Madeal se usa la técnica de vaciado que se indica con las designaciones BS1490 o dependiendo de las normas adoptadas por el país.

TABLA No. 1 DIFERENTES DENOMINACIONES DE LA ALEACIÓN AISi 7⁽³⁾

REINO	UNIDO	ESTADOS	UNIDOS	FRANCIA	ALEMANIA OCCIDENTAL
BS/DTD	ISO	AA	SAE	AFNOR	WERKSTOFFNO
2L99	AlSi 7 Mg	A356	336	A-S7 GO -3	3.2371

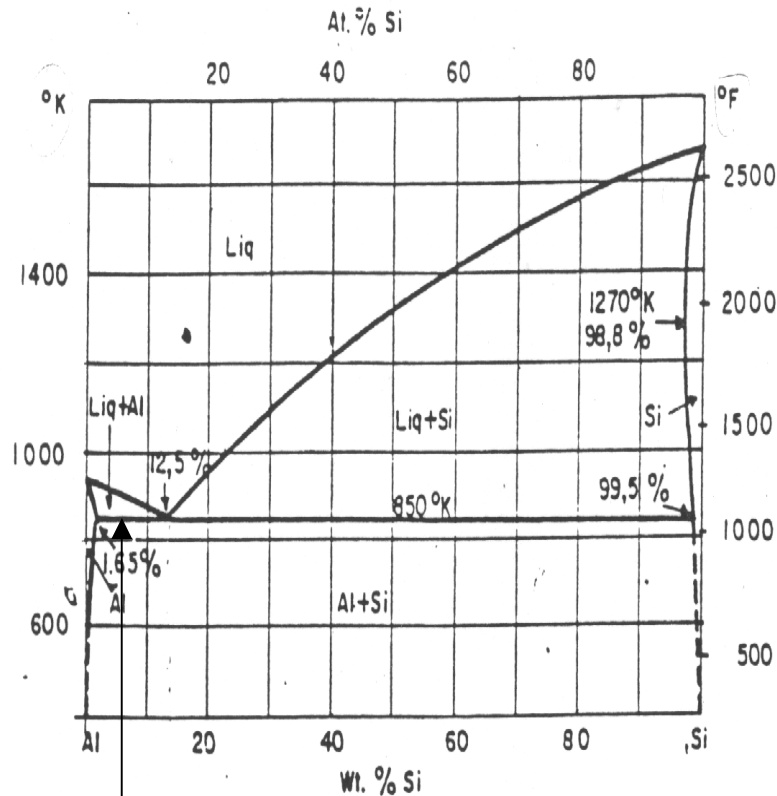
2.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO COMO MATERIA PRIMA.

Las aleaciones binarias de aluminio silicio conforman un sistema simple, descrito por el diagrama de equilibrio que se muestra en la figura 13.

Este sistema tiene intereses práctico para composiciones químicas comprendidas entre 0% y 25% de Silicio. Suele estar dividido en tres zonas ⁽³⁾ zonas características; hipoeutética, con $0 < \%Si < 10$; eutéticas $10 < \%Si < 13$ e hipereutética $13 < \%Si < 25$ ⁽²⁾.

Allí se observa que en la aleación hipoeutética (concentración de silicio menor al 10%), la temperatura de fusión se encuentra cercana a los 1000°F, lo que nos brinda un rango de trabajo para la materia prima AISi 7 por debajo de este valor 984.2°F sin afectar la forma del rin al no llegar a su punto de fusión, lo que se denota en la figura 13 con una flecha.

Diagrama binario Al-Si.



ALEACIÓN ALSI 7%.

Figura. 13 Diagrama Binario De Fases⁽³⁾

Para Madeal la resistencia mecánica que ofrece las aleaciones hipoeutéticas son las más indicadas ya que por medio de un tratamiento térmico se obtienen precipitaciones endurecidas en la estructura del material. Tal aleación es denominada como A356.O en el sistema británico ó AlSi 7 Mg para el sistema americano.⁽⁵⁾

Al determinar una aleación, no solo es importante establecer una composición química entre los aleantes, sino que se debe tener en cuenta también el destino del producto. Así como las propiedades finales de un material que dependen que dependen de variables como la velocidad de enfriamiento, temperaturas del tratamiento, y medio de enfriamiento; que establecen la estructura interna del material.

En la tabla No.2 se presenta la composición química de la aleación AISi 7, según la norma ASTM B108 comparada con la materia prima utilizada en Madeal, que llega en lingotes provenientes de Venezuela y Canadá, para los cuales Madeal ha establecido su aleación, según ensayos realizados a las condiciones de trabajo de la empresa en Manizales.

TABLA No.2 COMPARACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA AL SI 7 SEGÚN NORMA ASTM B108 Y LA MATERIA PRIMA UTILIZADA EN MADEAL⁽⁷⁾

ELEMENTOS	NORMA ASTM B108 %	MATERIA PRIMA UTILIZADA EN MADEAL %
SILICIO	6.5-7.5	6.5-7.5
BORO	<0.006	<0.006
COBRE	0.2	0.2
CALCIO	0.003	0.003
ESTAÑO	0.05	0.05
ESTRONCIO	0.05	0.06
HIERRO	<0.20	0.13
MAGNESIO	0.25 –0.45	0.25 - 0.45
MANGANESO	<0.1	<0.05
NIQUEL	<0.05	0.05
PLOMO	TRAZAS	0.05
TITANIO	<0.20	0.1 –0.17
ZINC	<0.10	0.05
ALUMINIO	REMANENTE	REMANENTE

Entre los factores que determinan las características del producto obtenido a partir de la materia prima se encuentran⁽⁴⁾:

- La composición química (% de Silicio) determina las características mecánicas:
 - a. la ductibilidad decrece al aumentar el porcentaje de silicio

- b. La resistencia mecánica y la dureza aumentan con el contenido de silicio.
 - c. La maquinabilidad disminuye con el aumento de silicio.
 - d. La resistencia al desgaste aumenta con el contenido de silicio.
- La estructura metalúrgica que toma lugar durante los procesos de solidificación tanto de la materia prima como en la inyección del rin. El proceso de solidificación determina la formación de centros de aire dentro del metal lo que genera la formación de grietas llamadas rechupes o microporos de acuerdo a la forma de la misma.
 - Los tratamientos térmicos que se aplican durante el proceso de obtención y elaboración de la pieza .

Una de las ventajas que poseen las aleaciones de aluminio como característica general es la posibilidad de endurecerse con el tiempo, algunas en mayor o menor proporción dependiendo de la composición química y de la temperatura a tratar, lo anterior es tenido en cuenta para la elaboración de la pieza en Madeal; los sistemas de aleaciones que ofrecen mayores resultados por su precipitación endurecida son:

- Sistema Aluminio – Cobre donde se precipita CuAl_2
- Sistema Aluminio – Cobre – Magnesio precipitación intensiva del Magnesio.
- Sistema Aluminio – Magnesio – Silicio con precipitación de Mg_2Si
- Sistema Aluminio – Zinc – Magnesio con precipitación MgZn_2
- Sistema Aluminio – Zinc – Magnesio – Cobre

Las aleaciones de fundición de aluminio más importantes se aplican para la fabricación de partes de automóviles basándose en el sistema Al – Si – Mg en un rango 0.3 – 10 % en peso como en la aleación AlSi 7, el sistema con precipitación Mg₂Si es el que lleva acabo Madeal

- Eventuales defectos internos que posea la pieza debido a su proceso de fabricación, cuando no se llega al equilibrio total para que haya una precipitación óptima.⁽⁵⁾
- Otro factor que influye es el comportamiento mecánico del constituyente eutéctico (en aleaciones de moldeo), que depende del tamaño y distribución de las agujas de silicio, ya que este puede asumir diferentes estructuras que están clasificadas al orden creciente del tamaño de grano; los tipos característicos de estructuras son:
 - Estructura laminar: Cristales de Silicio aciculares y ordenados en grupos en forma de radial.
 - Estructura Granular: Cristales de Silicio poliédrico en forma de cuadrillas o láminas gruesas, distribuidos en partes desordenadamente.
 - Estructura Afinada: Cristales de Silicio muy finos y compactos.

Al adicionarle pequeñas cantidades de elementos modificadores como son estroncio ó sodio a las aleaciones AlSi se consigue un eutéctico con una estructura afinada; esta modificación causa que el silicio asuma una fina e interconectada morfología fibrosa denominada dendrita incrementando la resistencia y ductibilidad a la pieza fundida.

La formación dendrítica del aluminio se ve afectada por la cantidad de nucleantes o modificadores de estructura que contenga la aleación, un exceso en la adición

de estos elementos puede producir una sobremodificación dando como resultado la formación de compuestos indeseables que actúan como concentradores de esfuerzos; una homogénea separación y distribución de estas dendritas permiten una adecuada relación la flexibilidad y resistencia del material.

Además se tratan térmicamente para hacer una modificación al silicio, generando una formación globular que permite la resistencia mecánica a la pieza elaborada, estos elementos anteriormente nombrados son usados en diferentes composiciones. En la figura 14 las muestras fueron atacadas con un solución de ácido fluorhídrico al 0.5 % por un tiempo de 2 min., permitiendo descubrir la estructura interna de la aleación, observándose:

- 1- Materia prima AISi 7 sin ningún tipo de tratamiento termico y químico; mostrándose la estructura acicular y tosca del silicio. la cual hace que la pieza actué como iniciador de grietas presentándose un material quebradizo.
- 2- Materia prima Solubilizada (primera fase del tratamiento térmico), las agujas de silicio pasan a la forma granular, ofreciendo una estructura más resistente y dúctil.
- 3- Materia prima AISi7 con tratamiento termico solubilización y envejecimiento, en está fase se presenta la afinación de la estructura del magnesio.

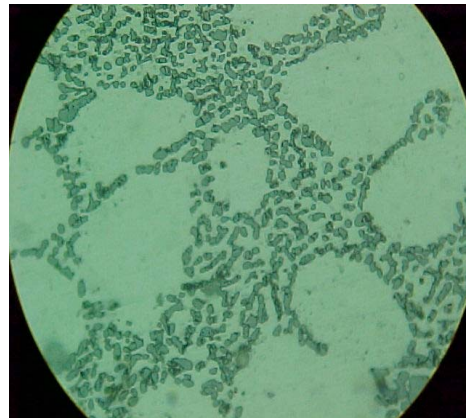
1. Materia prima AISi 7 sin ningún tipo de tratamiento termico.

Aumento 200X



2. Materia prima AISi 7. Solubilizada.

Aumento 300X



3. Materia prima AISi7 con tratamiento termico solubilización y envejecimiento.

Aumento 200X

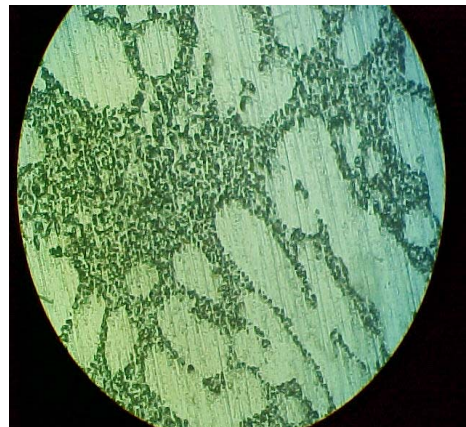


Figura. 14 Metalografías de la Aleación Hipoeutética AISi 7% Sin y Con tratamiento Térmico fotos tomadas del proceso en Madeal.

TABLA No.3 PROPIEDADES DE LA ALEACION AISi7⁽⁵⁾

PROPIEDADES	MÉTRICO	INGLES
Propiedades Físicas		
Densidad	2.68 g/cc	0.0968 lb/in ³
Propiedades Mecánicas		
Dureza, Brinell	65 – 95	65 – 9
Dureza, Rockwell B	49	49
Dureza, Vickers	90	90
Resistencia Última a la tracción (UTS)	262MPa	38000psi
Punto de cedencia (Ys)	185 MPa	26800psi
Elongación (%E)	5%	5%
Modulo de elasticidad	72.4 GPa	10500Ksi
Esfuerzo de fatiga	9 MPa	13100psi
Modulo de compresión	73.8GPa	10700Ksi
Propiedades eléctricas		
Resistencia eléctrica	4.4*10 ⁶ ohm-cm	4.4*10 ⁶ ohm-cm
Propiedades Térmicas		
Calor fusión	389 J/g	167 BTU/lb
Capacidad calórica	0.963 J/g-°C	0.23 BTU/lb-°F
Conductividad térmica	151W/m-K	1050 BTU-in/hr-ft ² -°F
Punto de fusión	557°C	1030 °F
Fase sólida	557°C	1030°F
Fase líquida	613°C	1140°F

2.2. TRATAMIENTO TERMICO EN MADEAL.

El tratamiento termico es un proceso importante para cambiar la resistencia mecánica, dureza, la ductibilidad, y otras propiedades de los metales. Es efectivo solo en ciertas aleaciones, dependiendo si un elemento es soluble en otro en estado sólido, a diferentes condiciones de temperatura.

El endurecimiento o aumento de la resistencia mecánica se hace calentando una aleación a una temperatura alta dependiendo del material y enfriándolo con rapidez. Una solución sólida de los elementos de aleación se forma al solubilizarse los elementos que se encuentran en equilibrio eutéctico (529 - 538 °C). Esta solución llega a ser sobresaturada por el enfriamiento la cual se enfría rápidamente con el fin de suspender la fase de equilibrio magnesio-silicio formada y retener la cantidad máxima de solución sólida sobresaturada. En condiciones apropiadas el soluto (Si) se dispersa en partículas finas en la malla de cristal (Mg) y sirve para bloquear los movimientos de dislocación cuando se duplican esfuerzos.

La cantidad de endurecimiento que tiene lugar en la aleación depende del tamaño, forma, distribución de las partículas y la cantidad de coherencia entre las partículas y la matriz.⁽⁵⁾

Para las aleaciones de AlSi 7 existen diversos tipos de tratamientos térmicos; en el sistema de Estados Unidos el prefijo "T" sirve para identificar este proceso, seguido de los números 1 hasta el 10, que denotan los diez revenidos básicos entre los cuales tenemos:

- T1: enfiada desde un proceso de conformación a una temperatura elevada y envejecida en forma natural, hasta una condición sustancialmente estable.

- T2: enfriada desde un proceso de formación a una temperatura elevada, trabajada en frío y envejecida en forma natural, hasta una condición sustancialmente estable.
- T3: solución tratada térmicamente, trabajada en frío envejecida en forma natural, hasta una condición sustancialmente estable.
- T4: solución tratada térmicamente, y envejecida en forma natural, hasta una condición sustancialmente estable.
- T5: enfriada desde un proceso de conformación a una temperatura elevada, y envejecida en forma artificial.
- T6: solución tratada térmicamente y luego envejecida en forma artificial.
- T7: solución tratada térmicamente y estabilizada.
- T8: solución tratada térmicamente, trabajada en frío, y luego envejecida artificialmente.
- T9: solución tratada térmicamente, envejecida artificialmente y luego trabajada en frío.
- T10: enfriada desde un proceso de conformación a una temperatura elevada, trabajada en frío y envejecida en forma artificial.

El T6 brinda características específicas a la pieza tratada, y se basa en la modificación al silicio por medio de cambios en la estructura eutéctica a temperaturas controladas, Madeal produce rines con las mismas características finales que ofrece el T6 tomando variaciones en tiempos. Estas variaciones son sustentadas por estudios realizados en los Estados Unidos por el grupo HAYES LEMMERZ, quien como uno de los mayores productores de rines en América lidera investigaciones en aleaciones de aluminio que ofrezcan mejores propiedades mecánicas.⁽⁶⁾

La investigación dejó como resultado la posibilidad de reducción de los tiempos de tratamiento del metal, mediante los siguientes aportes o conclusiones⁽⁷⁾:

-La disolución del Mg_2Si y homogenización de la matriz, dada por la cinética de reacción se completa en un tiempo de 100 min.

-La modificación a la estructura del silicio se da por el tratamiento térmico y la adición de estroncio y titanio que actúan como catalizadores.

-Aprovechamiento de la energía térmica, sosteniendo la temperatura en el rin al mantener el proceso continuo de inyección–solubilización, el cual no era inmediato. ^(4 -18)

2.2.1. PROCEDIMIENTO.

En el tratamiento termico de la pieza ya moldeada ocurren los siguientes efectos:

2.2.1.1. Solubilización (disolución de las partículas de Mg_2Si): se inicia al someter el rin a una temperatura de 540 °C por un tiempo mínimo de 60 minutos, a estas condiciones se presenta una disolución del Silicio y el Magnesio presente en la aleación donde se alcanzan condiciones de equilibrio entre las fases sólido-líquido (la temperatura eutéctica). El control de temperatura es crítico ya que su exceso facilita la fusión de los granos nucleantes de la estructura. Esta condición es perceptible por examen metalográfico ya que el daño es irreversible. El cambio en la morfología eutéctica del Silicio se observa al presentarse esferoidización del mismo, a este cambio se le atribuye el aumento en la resistencia del material.

2.2.1.2. Enfriamiento: Detiene la formación de equilibrio de la fase magnesio-silicio formada en la etapa anterior, además este enfriamiento brusco con agua a

una temperatura entre 60 y 80 °C asegura la retención en solución sólida del compuesto anterior y la cristalización de manera adecuada.⁽¹³⁾

2.2.1.3. Envejecimiento: empieza manteniendo el rin a la temperatura eutéctica del magnesio (170-175°C), por un tiempo determinado, con el propósito de fijar la precipitación anterior y eliminar los espacios en el material suavizando los cristales y reforzando las uniones de Mg_2Si formadas. ⁽⁷⁾ .

En la tabla No 4, observamos, que en el tratamiento térmico tradicional T6 comparado con el tratamiento aplicado en las investigaciones y adoptado por Madeal , hay reducción en el tiempo de solubilización del rin de 6 a 1 hora, lo cual es posible al aprovechar la energía térmica que este posee luego de ser inyectado, ya que no se realiza el enfriado antes de ser alimentado al horno de solubilización, esta ganancia energética se presenta debido a que el rin necesita menor cantidad de energía al aumentar su temperatura de 370°C (temperatura después de inyectado) a 529°C (temperatura de solubilización). Además el tiempo de envejecimiento también se ve afectado por este cambio, realizándose a una temperatura mayor que la tradicional, lo que disminuyendo el tiempo de exposición de la pieza.

TABLA No.4 CUADRO COMPARATIVO ENTRE EL TRATAMIENTO T6 TRADICIONAL Y EL T6 REALIZADO EN INVESTIGACIONES⁽⁸⁾

ETAPAS	T6 TRADICIONAL	T6 INVESTIGACIONES
1. OBTENCIÓN DEL RIN (PIEZA A ENDURECER)	Se inyecta el rin a una temperatura de 700 °C por 6 min. Luego se enfría en agua de 400 a 120 °C por 6 min.	Se inyecta el rin a una temperatura de 700 °C por 6 min. No Hay Enfriamiento (Proceso Continuo)
2. TRATAMIENTO TERMICO DEL RIN (Fase 1)	SOLUBILIZACIÓN A 545 °C por un tiempo de 6 a 10 hr. ENFRIAMIENTO De 543 a 80 °C por un tiempo de 90 seg.	SOLUBILIZACIÓN A 545 °C por un tiempo de 1 hr. ENFRIAMIENTO De 543 a 80 °C por un tiempo de 90 seg.
3. TRATAMIENTO TERMICO EN PINTURA	ENVEJECIMIENTO De 150 a 200 °C por un tiempo de 2 a 3 hr.	ENVEJECIMIENTO De 170 a 175 °C por un tiempo de 30 min.

3. DESCRIPCIÓN DE LA PASANTÍA.

3.1 METODOLOGÍA:

La unidad elegida a trabajar fue la etapa de pintura donde se efectúa el envejecimiento de los rines, ya que ofrece especial importancia al realizarse dos procesos simultáneos como es el acabado del producto (aplicación de recubrimiento y color) y la modificación interna del material de donde dependen las propiedades mecánicas del mismo. Para un seguimiento e identificación de las propiedades del material se realizaron las siguientes pruebas físicas que son:

- Dureza⁽⁹⁾: me indica la resistencia que posee el material a ser rayado, penetrado o deformado plásticamente, y también el estado del tratamiento del metal.

Se determina por medio de un durómetro Equiotip, de donde se obtiene los valores de dureza en la escala establecida grados Brinell (HB), con solo dispara el dispositivo metálico que contiene el equipo en la zona a evaluar (Ver Anexo No.3), y se evalúa según la norma ASTM E18-NMX W057-77 según los valores dados en la normas Chrysler, Ford , Mazda. El rango por las ensambladoras es de 60 –90 (HB).

Las zonas evaluadas fueron la pestaña de llanta y en el radio como se observa en la figura 15.



Figura. 15 Partes del rin.

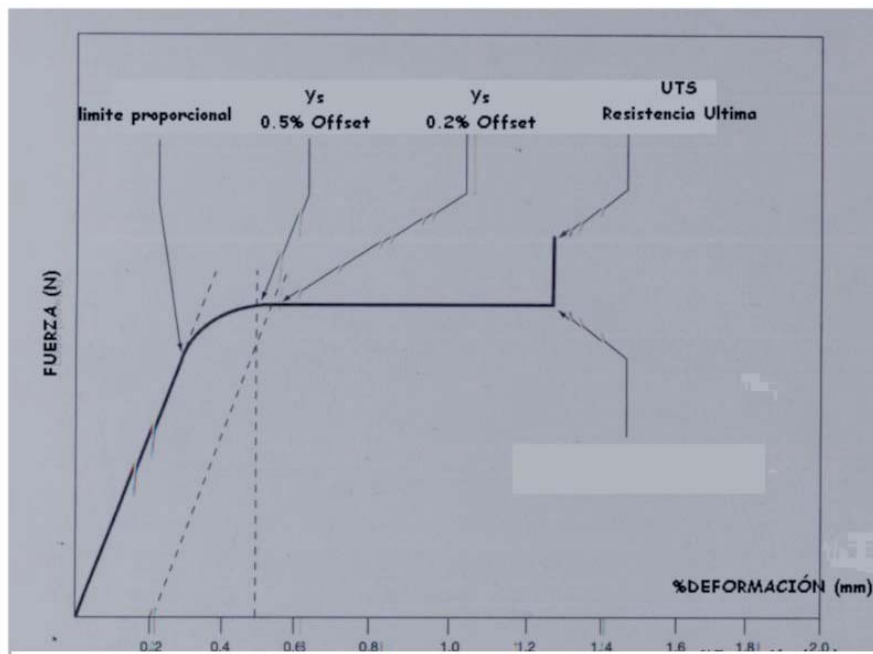
- Prueba de Tensión: proporciona información de las características del material tales como el modulo de elasticidad y su ductibilidad ó fragilidad basándose en el diagrama esfuerzo-deformación.

Las probetas analizadas se obtienen de la zona de pestaña de llanta y asiento de masa (Ver figura 15).

La prueba consiste en obtener una probeta plana del rin de la zona de pestaña de llanta, la cual poseen las longitudes establecidas en la norma y donde se ubica una zona de calibración que tiene 25.4 mm de medida en el centro de la zona de ruptura, posteriormente es sometida a un alargamiento en la Máquina Universal de Pruebas, hasta que se presenta la ruptura de la muestra (Ver Anexo No.4).

La maquina nos genera una grafica de fuerza en Newton vrs. Longitud en milímetros, donde podemos obtener los valores de fuerza máxima aplicada a la muestra para obtener su ruptura (punto I) y la fuerza requerida por el material en el momento que empieza la deformación (punto II), como se observa en el siguiente gráfico.

Gráfico 1. GRAFICO FUERZA (N) vrs. LONGITUD (mm)



En la gráfica anterior se observa que en el punto donde la pendiente deja de ser recta no existe una deformación permanente de la muestra, este punto se denomina límite proporcional; a partir del punto de origen de la recta tomando un desplazamiento de 0.2% ó 0.5% se determina el punto de fluencia (Y_s), dando inicio a una deformación plástica del material, hasta donde se presenta la ruptura; la fuerza aplicada se denomina resistencia última (UTS).

Se evalúa según la norma ASTM E8M-01⁽¹⁰⁾. Aplicando a los valores mínimos reportados por las ensambladoras mencionadas arriba.

A partir de este ensayo determinamos los valores resistencia última (UTS), el punto de cedencia (Y_s) y el porcentaje de elongación.

Los valores establecidos por las ensambladoras de resistencia última (UTS) es de 214 (MPa) mínimo, y para el punto de cedencia (Y_s) es de 160 (MPa).

- Elongación: se determina según la norma E8M-01⁽¹⁰⁾. (Ver Anexo No.4). El rango establecido por las ensambladoras es de 7 – 9 % respecto a su medida de calibración inicial (25.4mm).
- Análisis metalográfico⁽¹¹⁾; permite observar la estructura interna del material y el nivel de modificación que sufre el silicio en el tratamiento térmico y la adición química.

La prueba consiste en cortar una muestra tomada del radio del rin, la cual es pulida con diferentes lijas y frotada con un paño hasta que se obtiene un brillo espejo sobre la superficie, seguidamente se trata con una solución atacante de ácido fluorhídrico el cual permite evidenciar la estructura interna del metal al

reaccionar con el aluminio presente en la muestra permitiendo observarla en el microscopio de 100 – 500 aumentos, este ataque químico se neutraliza al ser adicionado alcohol absoluto; se evalúa según la norma ASTM E112-96. (Ver Anexo No 5).

- Pruebas de comportamiento de pinturas, se evaluarán según las normas ASTM ⁽⁹⁻¹⁶⁾ que incluyen las pruebas de adherencia, cámara salina, ataque por solventes. (Ver Anexos No.6,7,8).

En la prueba de adherencia⁽¹⁴⁾ efectúa un corte según el método de la cuadrícula determinado por los espesores de película de la pintura que deben estar entre 50 y 120 micras, el cual consiste en trazar la cuadrícula sobre la superficie pintada de seis líneas paralelas con una distancia 2 mm, luego se fija a ella una cinta transparente industrial, se presiona sobre esta área, se despega la cinta con rapidez, y se evalúa la cantidad de pintura que queda en la cinta la cual no puede ser mayor del 0.5% con respecto al área marcada(Ver anexo No 6).

En el análisis de comportamiento al ataque por solventes⁽¹⁵⁾ se realiza para analizar el comportamiento de la pintura al ser tratada con diferentes tipos de sustancias por 24 horas, en el tratamiento con Álcali se utiliza Hidróxido de Sodio con una concentración de 0.1 N., y en la solución con ácido se usa Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) con una concentración 0.1 N.

Se evalúa al comparar la apariencia inicial sin ningún tratamiento con la final obtenida después de las pruebas, no se permite pérdida de brillo, ampollamiento o desprendimiento de la pintura (Ver Anexo No.7).

El Análisis de pintura por cámara salina⁽¹³⁾ consiste en someter la muestra a una atmósfera altamente corrosiva, el rin pintado se mantiene en continuo contacto con una solución de sal marina al 5% aplicada por aspersion sobre la superficie pintada en un ambiente controlado de presión y temperatura. Su evaluación se realiza después de 500 horas de tratamiento, con pruebas de adherencia final y análisis visual para evidenciar cambios en la apariencia de la pintura. (Ver Anexo No 8).

- Prueba de impacto⁽¹⁶⁾ según la norma SAEJ 175 después del envejecimiento. Esta prueba se realiza para simular el comportamiento del rin a los choques generados en la parte de la pestaña de llanta; consiste en hacer un montaje de la rueda (rin y llanta) a un eje con una inclinación de 13 a 30°, el cual es sometido al impacto de una carga aproximada de 500-1000Kg que se deja caer sobre la rueda, después de impactado es desmontada la llanta, el rin es evaluado el ser pintado con una solución reveladora que se deposita en las grietas formadas que no pueden exceder 30 mm; se revisa el aro del rin con un calibrador de 24 pulgadas.

3.2. CONDICIONES INICIALES DE LOS RINES:

Se realizó un diagnóstico del proceso tomando en primer lugar la información de entrada, midiendo las variables de temperatura, tiempo de residencia, números de horneado de la pintura y las condiciones de trabajo de los hornos utilizados en Madeal.

Las 64 muestras analizadas fueron homogéneas ya que poseen la misma composición química e iguales condiciones de tratamiento en las etapas anteriores de solubilización y enfriamiento, igual que el tipo de pintura a usar tipo Fem Plata Níquel, referencia 16240 Rin XL7.

TABLA No 5 INFORMACIÓN DE ENTRADA DE RINES.

INFORMACIÓN DE ENTRADA DE MUESTRAS	
MUESTRAS	Referencia
Rines aleación AISi 7	16240 XL7
Número de muestras	64 unidades
Condiciones de Tratamiento	
Solubilización:	
Temperatura Setpoint	Tiempo
540°C	90 min.
Enfriamiento	
Temperatura	Tiempo
70°C	90 seg.
Control calidad:	
Rayos X	aprobado 100%
Hermeticidad	aprobado 100%

La composición química se encuentra dentro de los parámetros establecidos en la tabla N° 1.

Todas las muestras fueron cromatizadas antes de entrar a la etapa de pintura, según el tratamiento solicitado para esta referencia (Ver Anexo 1), el espesor de las muestras se encuentran entre 60-70 micras como se observa en la siguiente tabla.

TABLA No 6 INFORMACIÓN DE ENTRADA cromatizado.

MUESTRA No	ESPEJOR (mm)	MUESTRA No	ESPEJOR (mm)	MUESTRA No	ESPEJOR (mm)	MUESTRA No	ESPEJOR (mm)
1	65.5	17	61.5	33	63.1	49	62.0
2	64.3	18	62.4	34	64.3	50	61.5
3	62.0	19	63.2	35	62.0	51	61.5
4	65.2	20	61.8	36	63.2	52	63.2
5	64.3	21	63.1	37	63.3	53	62.7
6	63.3	22	62.0	38	62.3	54	63.7
7	64.3	23	63.4	39	61.5	55	64.0
8	64.2	24	62.1	40	63.1	56	63.2
9	64.3	25	63.0	41	62.7	57	61.8
10	64.6	26	63.5	42	61.5	58	61.9
11	62.2	27	64.1	43	62.5	59	61.5
12	63.7	28	63.7	44	63.1	60	62.0
13	63.2	29	62.3	45	64.0	61	65.2
14	65.1	30	61.5	46	63.2	62	63.2
15	66.3	31	63.1	47	61.5	63	64.1
16	62.3	32	62.7	48	63.8	64	62.4

Horno Pintura Base en polvo y laca aplicación en polvo, poseen las siguientes características: están dotados de quemadores a gas natural ubicados en un proceso continuo base y laca, unidos por una banda transportadora.

TABLA No 7 INFORMACIÓN DE ENTRADA HORNO.

CONDICION	HORNO BASE	HORNO LACA	HORNO PINTURA LIQUIDA
Temperatura Setpoint	240°C	240°C	230°C
Temperatura de pieza	150- 190°C	150- 190°C	150°C
Tiempo de horneo	30 min.	30 min.	30 min.
Capacidad por horno	180 unidades	180 unidades	118 unidades
Presión aplicación pintura	30 psi.	30 psi	50 psi.
Humedad relativa	50 %	50%	50 %

Horno de pintura Líquida se encuentra separado de los hornos anteriores y se alimenta por medio de una banda transportadora, posee quemadores a gas y posee una cortina de agua que ayuda a retener las partículas de pintura del ambiente.

Con ayuda de un análisis termográfico, fue posible observar las condiciones reales de operación del horno y conocer la temperatura efectiva en el rin, al ubicar termocuplas en la parte interna del radio, pestaña de llanta, y frente de las muestras.

Horno de pintura base y laca en polvo

Setpoint a 240°c

Temperatura Promedio de la Pieza

Frente 168°C
Pestaña 169°C
Radio 170°C
Temperatura promedio del aire 220°C

Horno de pintura liquida

Setpoint a 240°C
Temperatura Promedio de la Pieza
Frente 140°C
Pestaña 140°C
Radio 145°C
Temperatura promedio del aire 220°C

3.2.1 APLICACIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL.

El estudio de las condiciones estándar existentes para el tratamiento termico de rines permitió la primera modificación de las variables que se analizaron. Las variables que se tuvieron en cuenta en el procesos son⁽¹⁷⁾:

- Tiempo de residencia en el horno.
- Numero de horneos.
- Temperaturas de horneado en cada horno.

Para el diseño experimental se dejó fijo el tipo de pintura usado, para reducir el número de ensayos y el tiempo de experimentación el cual hacía dispendioso el trabajo al requerirse información detallada de la fabricación de la pintura. La recolección de datos al tratamiento con las condiciones del diseño experimental se evaluaron basados en las normas ASTM⁽⁹⁻¹⁶⁾. El diseño experimental aplicado es el 2^k , ya que es útil cuando hay muchos factores por investigar y conlleva el menor número de corridas con las cuales pueden estudiarse k factores en un diseño factorial completo.

El diseño factorial que posee k factores, cada uno con 2 niveles, se puede representar cualitativamente con un nivel superior y un nivel inferior denotados como “+” y “-”, respectivamente.

Las variables que juegan un papel importante en el proceso de envejecimiento de rines de aleación AISi 7 son tres; las cuales representan respectivamente los factores A, B y C, cada uno con dos niveles (ver tabla No.8 y No 9). Este diseño se conoce como diseño factorial 2^3 y se pueden obtener ocho combinaciones de tratamientos. (ver tabla No. 9)

TABLA No.8 Variables del diseño

VARIABLE	CONVENCIÓN	NIVEL INFERIOR	NIVEL SUPERIOR
Tiempo de residencia en cada horno (min.)	A	30	60
Numero de horneos (pasos)	B	1	3
Temperatura de cada horneo	C	170°C	200°C

TABLA No.9 Condiciones de Tratamiento de las Pruebas

PRUEBA NO.	CONDICIONES DE TRATAMIENTO
1	n= 3 Tr= 60 min T=170 °C
2	n= 3 Tr= 30 min T=170 °C
4	n= 3 Tr= 30 min T=200°C
5	n= 3 Tr= 60 min T= 200°C
3	n= 1 Tr= 30 min T=170 °C
7	n= 1 Tr= 60 min T=200 °C
8	n= 1 Tr= 60 min T=170 °C

Tr= TIEMPO DE RESIDENCIA n= NÚMERO DE HORNEOS T= TEMPERATURA DEL HORNO

4. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS.

4.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS:

La aplicación del sistema estadístico **SAS**; nos permitió la optimización de las variables de proceso como son: tiempo de residencia en cada horno, número de horneos y temperatura horneo. Para el análisis se tomaron como criterios:

- el mejor comportamiento de las propiedades mecánicas; la dureza, la elongación, resistencia ultima a la tracción y punto de cedencia, definido dentro de los parámetros requeridos por las ensambladoras.
- condiciones de operación de los equipos, ahorro de energía y tiempo.

Aplicando un modelo lineal, que conlleva el menor número de corridas con las cuales pueden estudiarse k factores del diseño factorial, se analizó cada efecto y su relación con las otras variables. El criterio de selección se basa en la significancia α menor que 0.05.

Donde se observa que para valores de α cercanos a 0.05, la variable característica analizada esta relacionada con el tratamiento efectuado, valores de α por debajo de 0.05 y cercanos a 0.001 revelan que el tratamiento es altamente significativo con respecto a la variable estudiada.

TABLA No.10 RESULTADOS de las propiedades mecánicas y PRUEBAS DE PINTURA DE LAS muestras tratadas.

MUESTRA	DUREZA (HB)	UTS (MPA)	YS(MPA)	%E	CAMARA SALINA	PRUEBA DE SOLVENTES
1.1	95	299	240	4.90	OK	100%
1.2	95	314	268	8.90	OK	100%
1.3	97	316	266	9.35	OK	100%
1.4	93	300	243	8.50	OK	100%
2.1	93	302	246	8.75	OK	100%
2.2	92	282	245	5.35	OK	100%
2.3	92	292	241	9.80	OK	100%
2.4	91	298	243	11.50	OK	100%
3.1	81	265	203	12.50	OK	100%
3.2	80	274	222	11.50	OK	100%
3.3	75	287	235	11.15	OK	100%
3.4	81	270	218	11.10	OK	100%
4.1	93	296	248	7.00	OK	100%
4.2	95	294	263	2.00	OK	100%
4.3	97	305	258	10.45	OK	100%
4.4	98	314	268	9.85	OK	100%
5.1	88	282	237	1.30	OK	100%
5.2	85	301	244	6.83	OK	100%
5.3	88	294	231	9.85	OK	100%
5.4	91	297	228	7.15	OK	100%
6.1	85	296	245	5.65	OK	100%
6.2	92	291	257	5.00	OK	100%
6.3	92	295	254	3.00	OK	100%
6.4	87	289	258	7.00	OK	100%
7.1	84	298	245	7.10	OK	100%
7.2	88	301	274	8.80	OK	100%
7.3	85	306	276	0.00	OK	100%
7.4	88	282	253	1.85	OK	100%
8.1	77	288	229	8.05	OK	100%
8.2	77	294	243	7.70	OK	100%
8.3	85	293	241	6.15	OK	100%
8.4	83	290	232	8.60	OK	100%
9.1	97	311	286	10.83	OK	100%
9.2	92	313	270	7.40	OK	100%

9.3	95	287	245	2.25	OK	100%
9.4	95	300	265	8.65	OK	100%
10.1	82	275	221	8.75	OK	100%
10.2	75	278	236	8.80	OK	100%
10.3	77	285	243	5.50	OK	100%
10.4	81	287	234	7.70	OK	100%
11.1	84	279	233	5.80	OK	100%
11.2	85	291	255	6.20	OK	100%
11.3	87	294	257	6.50	OK	100%
11.4	91	298	257	5.60	OK	100%
12.1	77	267	190	13.80	OK	100%
12.2	82	256	178	11.50	OK	100%
12.3	81	256	185	7.30	OK	100%
12.4	80	280	199	12.60	OK	100%
13.1	92	302	268	5.92	OK	100%
13.2	95	293	267	9.40	OK	100%
13.3	95	295	266	5.05	OK	100%
13.4	95	301	270	8.70	OK	100%
14.1	71	216	167	5.50	OK	100%
14.2	72	240	165	10.10	OK	100%
14.3	70	242	162	11.80	OK	100%
14.4	70	219	158	4.15	OK	100%
15.1	72	254	193	11.30	OK	100%
15.2	76	265	201	12.10	OK	100%
15.3	70	234	198	12.70	OK	100%
15.4	70	204	167	10.10	OK	100%
16.1	85	284	263	8.50	OK	100%
16.2	80	268	214	7.40	OK	100%
16.3	85	264	220	7.80	OK	100%
16.4	83	275	238	8.10	OK	100%

UTS= RESISTENCIA ULTIMA A LA TRACCION

YS= PUNTO DE CEDENCIA

%E= %ELONGACION

OK= PASA LA PRUEBA

TABLA No.11 Nivel de significancia para la Dureza (HB).

SOURCE	$\alpha > F$
TIEMPO	0.0001**
HORNEO	0.0001**
TIEMPO*HORNEO	0.3199
TEMP	0.0001**
TIEMPO*TEMP	0.0001**
HORNEO*TEMP	0.0153*
TIEMPO*HORNEO*TEMP	0.9879

** = altamente significante

* = significante

Tabla No.12 Nivel de significancia para la Resistencia ultima a la Tracción(UTS).

SOURCE	$\alpha > F$
TIEMPO	0.0096**
HORNEO	0.0001**
TIEMPO*HORNEO	0.5428
TEMP	0.0001**
TIEMPO*TEMP	0.3671
HORNEO*TEMP	0.0001**
TIEMPO*HORNEO*TEMP	0.3671

** = altamente significante

* = significante

Tabla No.13 Nivel de significancia para el Punto de Cedencia (Ys).

SOURCE	$\alpha > F$
TIEMPO	0.0001**
HORNEO	0.0001**
TIEMPO*HORNEO	0.7643
TEMP	0.0001**
TIEMPO*TEMP	0.2041
HORNEO*TEMP	0.0001**
TIEMPO*HORNEO*TEMP	0.8859

** = altamente significante

* = significante

Tabla No.14 Nivel de significancia para el Porcentaje de Elongación (%E).

SOURCE	$\alpha > F$
TIEMPO	0.3438
HORNEO	0.1011
TIEMPO*HORNEO	0.0366*
TEMP	0.1072
TIEMPO*TEMP	0.3859
HORNEO*TEMP	0.0400*
TIEMPO*HORNEO*TEMP	0.0962

** = altamente significativa

* = significativa

En la interpretación de datos por el sistema SAS, se observaron las propiedades mecánicas y su interacción entre los tratamientos. Las variables de diseño (Tr, n, T), en cada una de las condiciones fueron analizadas manteniendo una de las propiedades mecánicas dependiente, observándose lo siguiente:

La Dureza (HB), la resistencia ultima (UTS) y el punto de cedencia (YS) se ven afectadas, con cualquier cambio que se presente en la temperatura tiempo o número de horneos que se realice al rin, de forma significativa, por lo cual es necesario realizar un análisis más profundo teniendo en cuenta las interacciones de los factores en cada tratamiento, de acuerdo al rango de trabajo establecido para cada corrida.

El porcentaje de elongación muestra en su variación que no se ve altamente afectado como en las características antes mencionadas.

Las propiedades mecánicas se comportaron dentro de los rangos requeridos por las ensambladoras al tomar los valores promedios en cada una; como se observa en la siguiente tabla:

TABLA No.15 Valores Promedios DE LAS PROPIEDADES.

PROPIEDAD MECÁNICA	RANGOS ENSAMBLADORAS	PROMEDIOS OBTENIDOS
Dureza (HB)	60-90 (HB)	84.625 (HB)
Resistencia Ultima (UTS)	214 (MPa) mínimo	277.719 (MPa)
Punto de cedencia (YS)	160 (MPa)	235.845 (MPa)
Elongación (P_ E)	7 – 9	7.12

Cualquier cambio realizado en un mismo nivel en la temperatura, el tiempo y el numero de horneos no proyecta una relación entre las características mecánicas del rin, al realizar cualquier variación por separado a alguna de las variable de diseño se ve altamente afectadas todas las propiedades excepto el porcentaje de elongación, el cual depende además de otros factores como son el nivel de modificación de la estructura del metal y los porcentajes de Silicio y estroncio que este contenga.

La modificación realizada al numero de horneos y a la temperatura es la que tiene una gran influencia en todas las propiedades, la elongación se ve afectada en menor proporción a las anteriores, pero en los tratamientos realizados son las variables con mayor significancia en esta propiedad.

La interacción entre tiempo y temperatura solo nos afecta la dureza en menor proporción comparadas con el cambio de una sola variable, el rin puede permanecer mayor tiempo a una menor temperatura o inversamente sin afectar sus propiedades internas.

4.2. ANÁLISIS CUALITATIVO.

Las pruebas realizadas sobre los rines pintados no presentaron falla al exponerlas a cámara salina y al efecto de las sustancias químicas sobre la superficie de recubrimiento de las muestras.

Se efectuó la prueba de adherencia realizando un corte en X, ya que los espesores de las muestras estuvieron dentro del rango de 80 - 150 micras los resultados obtenidos se consideraron satisfactorios ya que todas las muestras presentaron adherencia del 100% y se observan en la siguiente tabla.

TABLA No.16 PRUEBAS DE ADHERENCIA

MUESTRA	ESPESOR (MICRAS)	MUESTRA	ESPESOR (MICRAS)	ADHERENCIA
1.1	95.1	9.1	93.4	100%
1.2	95.3	9.2	93.6	100%
1.3	97.5	9.3	92.0	100%
1.4	90.5	9.4	92.8	100%
2.1	93.2	10.1	91.3	100%
2.2	95.3	10.2	81.4	100%
2.3	96.1	10.3	80.7	100%
2.4	80.4	10.4	75.6	100%
3.1	86.3	11.1	85.0	100%
3.2	87.5	11.2	88.0	100%
3.3	92.3	11.3	86.5	100%
3.4	87.5	11.4	85.9	100%
4.1	84.1	12.1	85.9	100%
4.2	88.6	12.2	86.5	100%
4.3	85.0	12.3	86.4	100%
4.4	88.0	12.4	86.7	100%
5.1	87.2	13.1	86.9	100%
5.2	86.9	13.2	85.9	100%
5.3	87.6	13.3	87.1	100%

5.4	86.5	13.4	86.2	100%
6.1	87.4	14.1	86.3	100%
6.2	88.0	14.2	86.5	100%
6.3	86.9	14.3	87.0	100%
6.4	86.8	14.4	87.0	100%
7.1	85.6	15.1	86.9	100%
7.2	88.2	15.2	87.0	100%
7.3	87.6	15.3	86.5	100%
7.4	87.4	15.4	86.4	100%
8.1	87.2	16.1	86.0	100%
8.2	86.9	16.2	87.1	100%
8.3	86.5	16.3	87.0	100%
8.4	87.1	16.4	86.5	100%

Del análisis metalográfico se puede decir que las muestras tratadas con el menor número de hornos $n = 1$, presentan partes con silicio esferoidal, lo que indica que no se logró la fase de equilibrio para el magnesio, además de presentar una modificación pobre a la estructura, generando niveles de resistencia mecánica bajos (Ver anexo No.9).

Cuando el tiempo de exposición de las muestras con tres hornos se mantuvo dentro del rango establecido para el equilibrio del sistema Magnesio Silicio, lo que conduce a una estructura metalográfica aceptable como se observa en la siguiente figura.

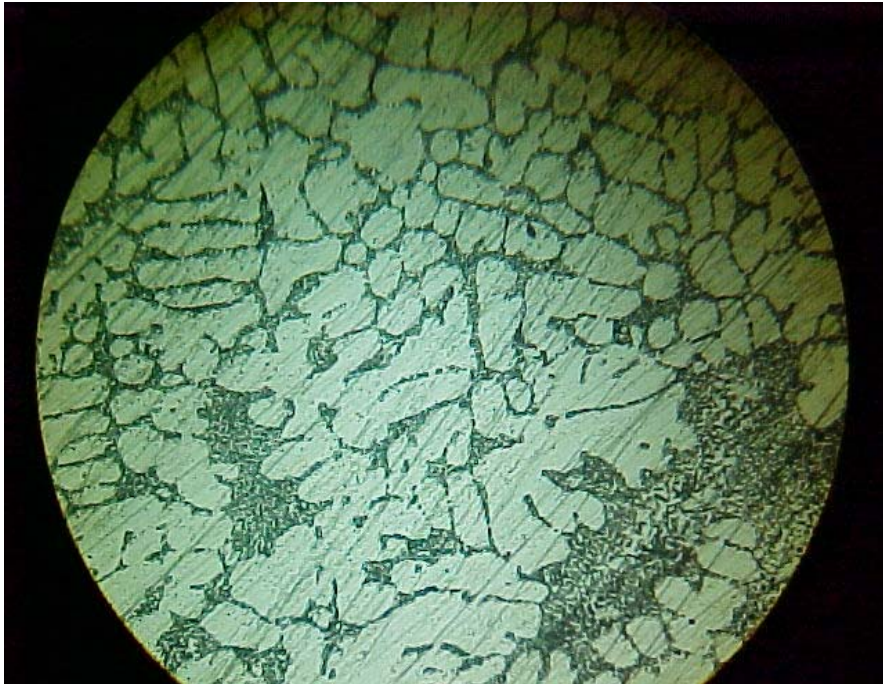
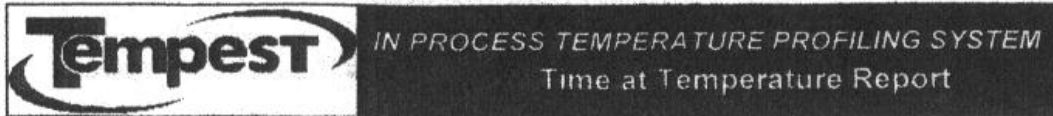


Figura. No 16 Metalografía muestra con 3 Horneos; 300X. Tratada con una solución HF al 0.5%

De las termografías obtenidas se observa que existe un desfase de 30°C grados entre la temperatura del Setpoint y la de pieza en la mayoría del recorrido del horno como se observa en los Gráficas No 2 y 3.

En el seguimiento de la temperatura en los hornos (Ver Anexo 10), se observó que a valores mayores de 170°C (temperatura de pieza), el comportamiento mecánico y la estructura metalografica se encuentra dentro de las condiciones a evaluar, pero sin exponerse por un tiempo mayor de 30 minutos y con un mínimo de horneos, este parámetro es básico en el tratamiento de retrabajos (producto terminado con problemas de presentación en pintura el cual es de nuevo pintado), ya que las piezas están previamente envejecidas varían sus propiedades mecánicas al afectar la dureza y la elongación.

Gráfico .2. REPORTE Termografía horno Laca

**Test Information:**

<i>Test Started on:</i>	3/03/03	<i>At:</i>	6:11:18
<i>Company Name:</i>	MADEAL S.A.		
<i>Test Description:</i>	HORNO		
<i>Test Time:</i>	0:40:00	<i>Logging Rate:</i>	0:02:00

Report Parameters:

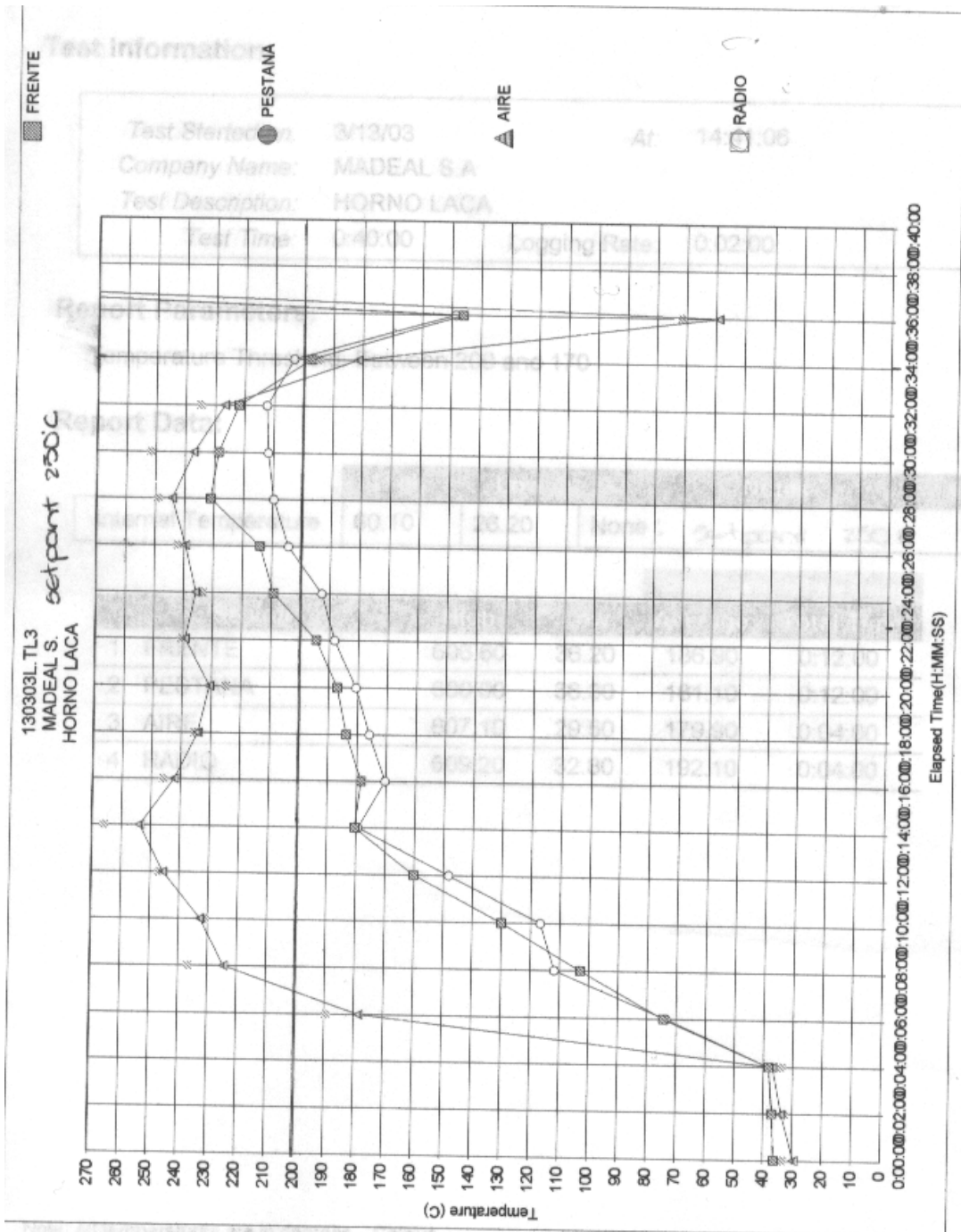
Temperature Threshold: Between 236 and 140

Report Data:

	High	Low	Notes
Internal Temperature	57.20	23.80	None

Sensor	High	Low	Within Specified Parameters	
			Average	Total Time
1 FRENTE	182.30	36.90	165.20	0:22:00
2 PESTAÑA	182.00	37.10	163.00	0:24:00
3 AIRE	218.00	36.60	204.60	0:26:00
4 RADIO	183.70	36.60	166.50	0:22:00


Gráfico .3 Termografia horno Laca.



Los hornos de pintura base y laca polvo poseen una eficiencia del 80% lo que dificulta el control de la temperatura y tiempo de exposición de la pieza, presentándose diferencias en algunos ensayos de pintura los cuales al ser tratados por duplicado variaban su resultado. Otro factor es la variación en la cantidad de pintura líquida aplicada al rin, sobre la cual no hay parámetros establecidos, dependiendo solo de la experiencia del operario en la manipulación de las boquillas.

Las pruebas de impacto arrojaron resultados satisfactorios al mayor número de ellas pero se presentaron fisuras en los rines que solo se pasaron por un horneado, como se observa en figura No 17.

Figura. 17 Reporte prueba de impacto.


MANUFACTURAS DE ALUMINIO "MADEAL S.A."
 Km. 10 Vía al Magdalena - Tels. (6) 8 74 76 76 / 8 74 77 77 / Fax (6) 8 74 75 75
 Email: madeal@epm.net.co Manizales - Colombia
LABORATORIO DE METROLOGÍA Y PRUEBAS FÍSICAS
INFORME PRUEBA DE IMPACTO

Informe No. <u>PI3-92</u>	NORMAS QUE APLICAN: _____						
Cliente <u>General Motors</u>	SAE <u>J175</u>						
Teléfono _____							
Dirección _____							
Fecha Prueba <u>Mayo 22/03</u>							
Método _____							
Prueba de: Validación <input type="checkbox"/> Cambio Materia Prima <input type="checkbox"/>	DESTINO DE LAS PIEZAS ENSAYADAS						
Rutina <input checked="" type="checkbox"/> Cambio Proceso <input type="checkbox"/>	FUNDICIÓN <input checked="" type="checkbox"/> ANÁLISIS <input type="checkbox"/> FUTUROS ANÁLISIS <input type="checkbox"/>						
Otro (s) <input type="checkbox"/> Cuál (es) _____	DESTINO DEL REPORTE						
	CALIDAD <input checked="" type="checkbox"/> DISEÑO <input type="checkbox"/> COFRE <input type="checkbox"/> CLIENTE <input type="checkbox"/>						
	OTROS <input type="checkbox"/> CUÁL (ES) _____ ICONTEC _____						
Nombre de la Parte <u>Rin Gran bobina XL7</u>	Máquina No. <u>1</u>	Llanta <u>P235/60 R16</u>					
Número de Parte <u>98810395</u>	Fecha Calibración <u>hasta 3/03</u>	Peso del Rin _____					
Número del Plano <u>CHER 10395 01 XL7 + 01010172</u>	Carga Prueba <u>630 kg.</u>	Presión de Inflado <u>35 psi</u>					
OFF SET <u>5mm</u>	Inclinación <u>13°</u>	Zona de Impacto <u>Ver tabla</u>					
Fecha de Inyección <u>Mayo 13/03</u>	Perno <u>60°</u>	Otros Requerimientos: _____					
Colada <u>12</u>	Válvula <u>T2413</u>						
Máquina <u>7</u>	Torque Especificado <u>86 lb ft</u>						
Matriz No. <u>1</u>	Altura de Impacto <u>230 mm</u>						
REPORTE DE LA PRUEBA							
INICIAL							
TORQUE 1	TORQUE 2	TORQUE 3	TORQUE 4	TORQUE 5	TORQUE 6	PRESIÓN DE AIRE PSI	GRIETAS - FISURAS O DEFORMACIÓN
86	86	86	86	86		35	
FINAL							
TORQUE 1	TORQUE 2	TORQUE 3	TORQUE 4	TORQUE 5	TORQUE 6	PRESIÓN DE AIRE PSI	GRIETAS - FISURAS O DEFORMACIÓN
55	65	45	60	50		35	Grietas
OBSERVACIONES <u>Presenta ruptura parcial en zona impactada sin pérdida de presión</u> <u>Prueba aceptada</u>							
RESULTADOS DE LA PRUEBA							
* TERMINADO SIN INCIDENTE	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	* EVIDENCIA DE PROPAGACIÓN DE ALGÚN TIPO DE FRACTURA VISIBLE	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>		
* PÉRDIDA ANORMAL DE TORQUE	SI <input type="checkbox"/>	NO <input checked="" type="checkbox"/>	* PÉRDIDA SÚBITA DE PRESIÓN	SI <input type="checkbox"/>	NO <input checked="" type="checkbox"/>		
* DEFORMACIÓN ARO DISCO ANORMAL	SI <input type="checkbox"/>	NO <input checked="" type="checkbox"/>	* CUMPLE SATISFACTORIAMENTE CON LAS ESPECIFICACIONES DE PRUEBA	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>		
REALIZÓ: <u>James Lango</u>	REVISÓ: <u>VSC</u>						

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

1. Después de realizar un análisis de las variables de proceso Temperatura, Tiempo de residencia y numero de horneos; podemos concluir que el tratamiento indicado para el rin XL7 se presenta al tratarse con tres horneos, a una temperatura de Setpoint de 250°C y por un tiempo de 30 minutos, los cuales generaron valores de resistencias mecánica y comportamiento de las pinturas dentro de las especificaciones dadas, lo que nos indica que podemos trabajar a una temperatura de horneado de pintura mayor a la que se está establecida.

El producto final posee las siguientes características:

- Dureza = 85-95 HB
- UTS = 296-314 MPa
- Ys = 248-268 MPa
- Elongación = 8.5%
- Impacto = pasa la prueba

2. A un mayor numero de horneos, la elongación se ve afectada, quedando por fuera de los requerimientos de las ensambladoras, esto debe tenerse en cuenta en el reproceso de rines por fallas en pintura, por tanto debe evitarse esta práctica o controlar el nivel de incidencia sobre la pieza, por lo que se recomienda establecer unos parámetros de control distintos para el producto que se obtiene en este proceso.

3. Es necesario controlar el nivel de cubrimiento del cromo sobre la superficie de la pieza y la cantidad de pintura aplicar para obtener uniformidad sobre la capa de color depositada ya que se presentan exceso en algunas partes del rin.

4. La evaluación metalografica genera los resultados inmediatos sobre el nivel de tratamiento térmico de los rines, por lo cual es necesario mantener este análisis como control sobre el proceso, ya que en diferentes referencias hay variación de forma y tamaño, el efecto de la temperatura sobre la masa del rin puede perturbar el nivel de envejecimiento y para ello se hace necesario realizar un estudio para las diferentes referencias.

5. La evaluación de propiedades como: elongación, punto de cedencia y resistencia última deben realizarse de forma integral, ya que una sola prueba no indica el nivel de envejecimiento del rin, porque no están directamente relacionadas y es necesario complementarse con pruebas de impacto y análisis metalográfico.

BIBLIOGRAFIA.

1. FOLLETOS: Reseña histórica de Madeal. Manizales Enero de 2001.
2. COCA PEDRO . MANUAL DEL ALUMINIO. , Segunda Edición Barcelona, España. Editorial Reverté, S.A. versión en español. 1992.Capítulos 1 y 2 .
3. KING FRANK. EL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES. Tercera edición. México. Editorial Limusa./ Noriega. 1992. Capítulos 2 y 3.
4. LAWRENCE E. DOYLE, Carl A. Keyser y otros. MATERIALES Y PROCESOS DE MANUFACTURAS PARA INGENIEROS. Tercera edición. México. Hispanoamericana S.A. 1988. Capítulos 1 y 2 .
5. S. SHIVKUMAR , S. Ricci Jr. C Keller and D. Apelian. EFECT OF SOLUTION TREATMENT PARAMETERS ON TENSILE PROPERTIES OF CAST ALUMINIUM ALLOYS. En Journal Heat Treating. New York INC. Vol. 8 N° 1 . 1990. Pág. 1-25.
6. Don Grab, Pat Griffin, Al prieto. MEMO HAYES LEMMERZ. Segunda edición. New York INC. DHT limitations to time reductions and cooling rate of processing cold wheels. Junio 05 de 2000. Pág 56-64.
7. Wilmer Romero. ASPECTOS BASICOS DE LAS MODIFICACIONES DE LAS ALEACIONES ALUMINIO – SILICIO. Primera edición. Montreal P.Q. KBALLOYS, INC. Noviembre 1991. Pág. 20-29.

8. Douglas C. Montgomery DISEÑO Y ANALISIS DE EXPERIMENTOS. México Grupo Editorial Iberoamérica .1991. Capítulo 6.
9. Norma ASTM E18-NMX W057-77 prueba de dureza en metales.
10. Norma ASTM E8M-98 –01. Prueba de Tensión en metales
11. Norma ASTM E8- 80. Análisis metalográfico.
12. Norma ASTM B 108 – 01^a.Composición química de aleaciones en aluminio.
13. Norma ASTM B117. Exposición de piezas a Cámara salina Análisis de pinturas
14. .Norma ASTM- D3359. Adherencia .Análisis de pinturas.
15. Norma ASTM D1308. Efecto de sustancias químicas en el acabado de superficies.
16. Norma SAE AJ175.Prueba impacto.

ANEXOS.

ANEXOS 1.PLAN DE CONTROL.

ANEXO 2 SISTEMA DE APLICACIÓN DE LA PINTURA EN POLVO

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES:

- Las partículas se cargan por fricción con la pistola no se requiere generador de voltaje.
- Las partículas se cargan por si solas y no existe campo magnético.
- Facilidad de penetración en todos los rincones de la superficie.
- Minimiza bordes con espesores altos.
- Se puede depositar un alto espesor de película sin que exista rechazo.
- No se requieren pasadas adicionales.
- Alta eficiencia a la transferencia.
- Rata de flujo moderada para que el polvo tenga suficiente tiempo de residencia en la pistola y reciba una óptima carga.
- Formulación propia para este sistema.
- Máximo aprovechamiento del espacio en el transportador, logrando mejor eficiencia de producción.

CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EQUIPO TRIBO:

- La carga de las partículas depende de la fricción (movimiento y contacto con las paredes interiores de la pistola), debido a esto es muy importante tener un adecuado flujo de aire para obtener una carga del polvo apropiada.
- Las siguientes son las relaciones de presión adecuadas:

OBJETIVO	RELACIÓN DE PRESION TRANSPORTE/DIFUSOR
Penetración	1 / 2.5
Bajo espesor, Paneles planos	1 / 2
Aplicación estándar	1 / 2
Alto espesor	1 / 1.5
Retoque sobre la película cuadrada	1 / 1 – 1.5

- El polvo debe tener mínimo 1.5 microamperios a una relación de 2/3 Bares (Transportador / difusor), para alcanzar la máxima eficiencia de aplicación.

DEFINICIÓN DE LA SUPERFICIE A RECUBRIR:

- Lo más importante al seleccionar un equipo de aplicación es la determinación ó definición de los puntos del objeto difíciles de recubrir.

- Para realizar una correcta aplicación se debe determinar antes de la operación los siguientes factores:

1. La mejor forma de colgar el objeto, buscando que el transportador sea aprovechado al máximo.

2. Tipo de acabado y recubrimiento requerido para las piezas.

3. Puntos de penetración mas profundos y angostos.

4. Espesores requeridos de película

TÉCNICAS DE APLICACIÓN:

- Cuando se requiere penetración del polvo en esquinas, bajo espesor de película y uniformidad del mismo es muy importante la colocación de la pieza.

- Para lograr una adecuada penetración en las zonas difíciles se deben seguir los siguientes pasos:

-Colocar las boquillas de penetración cerca al objeto de manera que las zonas aledañas a las esquinas queden sin polvo, si no se hace la pintura no se deposita.

-La operación de recubrimiento se termina rociando polvo en las zonas recubiertas, operando la pistola a una distancia mayor a la de la pieza.

ANEXO 3. PRUEBA DE DUREZA.

10	Conecte el instrumento de impacto (tipo D) al puerto de entrada, siguiendo la guía (punto rojo).
20	Encienda el equipo, oprimiendo la tecla "On".
30	Oprima "menú" y visualice las opciones del mismo, indicando la forma de operación del equipo.
40	Para entrar en cada opción, posesionarse con las flechas en el sitio indicado. Oprimir "start"
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Salida de valores: Indica si se desean almacenar o transmitir para impresión. 2. Dirección de impacto: Sentido del análisis. 3. Valor medio: Promedio de medidas para obtener un dato. 4. Número orden medida: El número de medidas realizadas. 5. Conversión: Escala para el aluminio HB 6. Escala de pantalla: Valores L min.100 – L max. 900. 7. Valores límite: L min.800 – L max. 900.
50	8. Idioma
60	9. Fecha / Hora
	10. Almacenar.
	Finalizar con "menú" y luego "end"
70	Verificar control del funcionamiento del equipo de impacto con el yunque de calibración; antes de cada serie de ensayos.
80	Cargar el instrumento de impacto desplazando la parte móvil del mismo
90	hacia el mismo sitio de descarga del balón, colocándolo en forma recta y soltar.
100	Colocarlo sobre el yunque manteniéndolo inmóvil y recto.
	Disparar, se realiza oprimiendo la parte superior, escuchándose el sonido de impacto.
	Leer el valor L_D dado, compararlo con el valor reportado, $L_D = 765 \pm 6$, como parámetro de referencia.

110	NOTAS:
120	<ul style="list-style-type: none">• <i>Valores altos, verificar la punta de prueba si esta dañada o yunque de referencia con exceso de huellas.</i>• <i>Valores bajos, instrumento de impacto sucio o engrasado.</i>
130	
140	Realizar el ensayo en la pieza de igual manera que los numerales 60 al 80.
	<p>NOTA: En piezas muy ligeras (0.05 – 2 Kg.) o espesor de 3 mm, acoplarlas sobre una pequeña cantidad de pasta de acoplamiento.</p>
	Leer el valor dado en la escala HB.
	Oprimir “end” y apagar con “on”

ANEXO 4. PRUEBA DE TENSION (ESFUERZO A LA ROTURA)

10	Haga cortar el rin según planos Madeal: P-1903-1 y P-1903-2, teniendo en cuenta la norma ASTM E8, para las dimensiones de la probeta. (1)		
20	Halle el valor del área transversal (S) de la zona de ruptura de la probeta, (ver gráfico No. 1), midiendo el ancho (W) en mm y el espesor (t) en mm y obtenga el valor del área:	Calibrador Vernier	1
30	$S = W * T \text{ mm}^2$	Calibrador Vernier	2
40	En la zona de ruptura ubique el centro de la misma y trace un punto (a); trace a partir de este un punto a cada lado a una distancia de 12.7 mm (b), (ver gráfico No. 2)	Máquina Universal de Pruebas	3.1 – 3.2
50	Verifique que este desactivado el botón rojo de la emergencia y encienda la máquina, oprimiendo el botón negro (posición 1), ubicado al lado del botón de emergencia.	Máquina Universal de Pruebas	3.3 – 3.4
60	Ubique la probeta en las mordazas girando las tuercas de amarre para el ajuste, dejando a igual altura la probeta en ambos lados (dejando libre el área transversal) (ver gráfico No. 1)	Tablero	3.8 – 39
70	• Si es necesario ajustar la altura de las mordazas (teniendo cuidado de no estar encendida la tecla “test”), de lo contrario oprima para apagarla; oprima 2 veces la flecha arriba (▲) para subirlas o flecha abajo (▼) para bajarlas.	Máquina Universal de Pruebas	3.4
80		Tablero	3.7 – 3.12

90	Ajuste la probeta a las mordazas girando fuertemente las tuercas de amarre.		3.6
100		Tablero	3.8
110	En la unidad de control (tablero), oprima la tecla “menú” y elija la número “6”, para acceder a la pantalla de gráfico de ensayo.	Tablero	3.9
	Oprima las teclas F1, F2 y F3 para llevar a cero (0) los valores de fuerza, extensión y auxiliar..	Tablero	
			3.5
120	Verifique el encendido de la tecla “test” para realizar la prueba.	Pantalla	
130	Oprima la flecha arriba (▲) para iniciar la prueba.		3.10
140	Esperar la ruptura de la probeta. (no olvide tener los elementos de seguridad y mantener precaución).	Tablero	
150	<ul style="list-style-type: none"> A medida que avanza la prueba el equipo genera un gráfico, cuyos ejes son el eje Y que representa el valor de la fuerza en Newton y el eje X representa el desplazamiento en mm. 		3.5
	Oprima el botón (°O) que se encuentra ubicado entre las flechas.	Grafica	
160	Oprima la tecla F4 para imprimir los resultados y la grafica. (3)		
	Oprima F1 para borrar los resultados.		
170	Sobre el gráfico, ubicar el punto donde en el trazo de la gráfica haya un cambio de pendiente (deje de ser recta).		

	<ul style="list-style-type: none"> • Con ayuda de una regla halle el punto de coincidencia del eje X en el punto donde empieza a cambiar la pendiente (Paso 130) y el eje Y con escala de fuerza. 		
180	Con este valor calcular el punto de cedencia Y_s así:		3.3 – 3.4
190	$Y_s = \text{fuerza leída en Newton} / S \text{ en mm}^2$ (S obtenido en el paso 20).		
200	Con el valor máximo de la fuerza obtenida para el ensayo calcule la fuerza última a la tracción (UTS)	Máquina Pruebas	Universal de 3.1
	$UTS = \text{fuerza leída en Newton} / \text{Área en milímetros cuadrados}$	Máquina Pruebas	Universal de
210	$UTS = F_{za} / S$		
220	$UTS = (N / \text{mm}^2) \text{ Mpa}$		
	Desmonte los pedazos de la probeta de las mordazas, girando las tuercas de amarre.		
	Apague la máquina oprimiendo el botón negro en posición "o".		
230	Para calcular el porcentaje de elongación, tome los dos tramos de la probeta que desmontó y únalos, haciendo coincidir la cara de referencia.		

	<p>Mida el desplazamiento de las marcas realizadas en el punto 30.</p> <p>Calcule el porcentaje de elongación así:</p> $E = \frac{L1 - L0}{L0} * 100$ <p>Donde: L1 Longitud final luego de la ruptura en mm. L0 Longitud inicial en mm.</p> <p>Diligencie el formato “Control de Propiedades Mecánicas en el Rin” (FO 11 11 23) (4)</p>		
--	--	--	--

NOTA: Se debe desechar el ensayo y realizar de nuevo la prueba, si la muestra presenta los siguientes problemas:

- La apariencia de la superficie final no es homogénea.
- Las dimensiones de la probeta no están dentro de la norma ASTM - E 8.
- Al realizar la prueba, las muestras se rompen por fuerza de la zona de ruptura.
- Al revisar la fractura, existen poros y concentradores de esfuerzo (entalles).

GRÁFICO No. 1 PROBETA PARA PRUEBA DE TENSIÓN

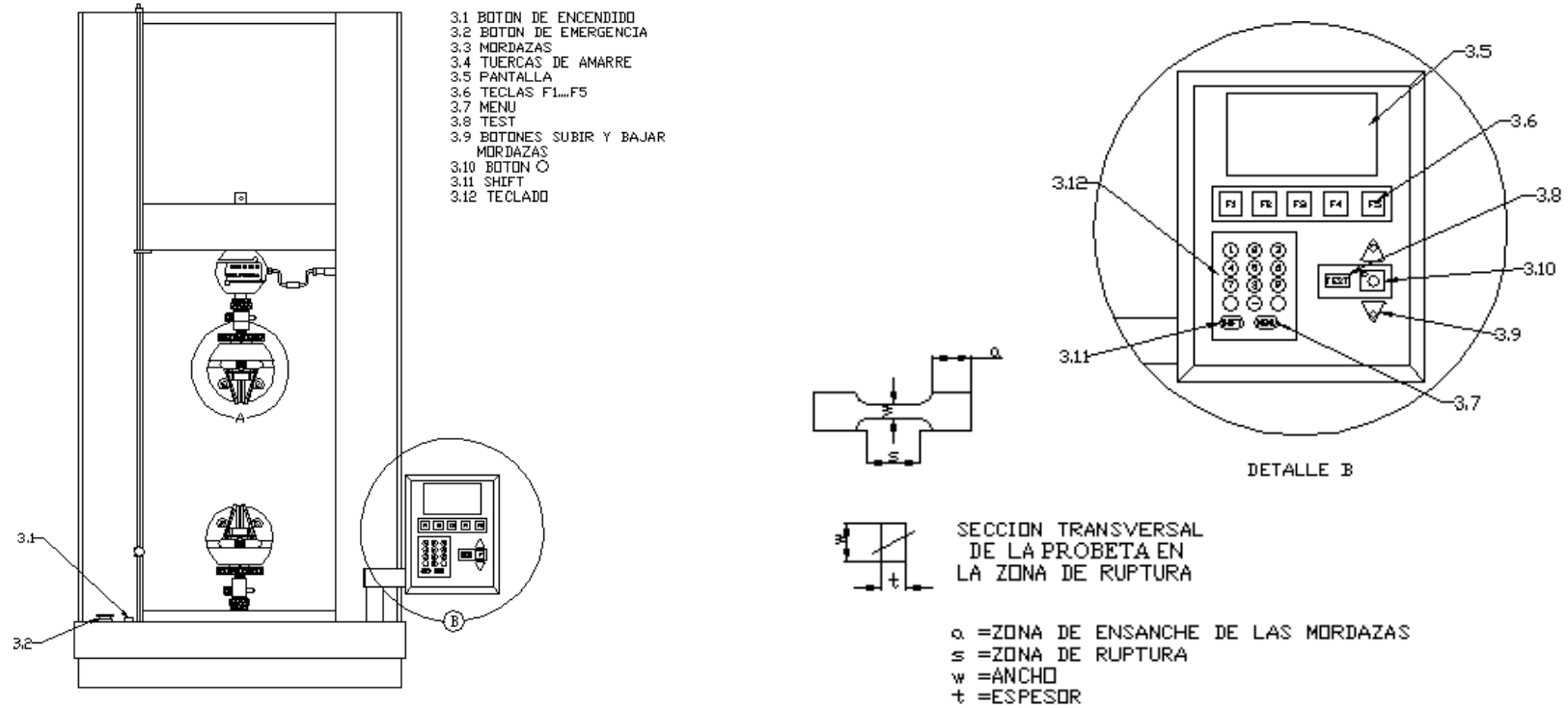


GRÁFICO No. 2 MEDIDA DEL CENTRO DE RUPTURA (5)

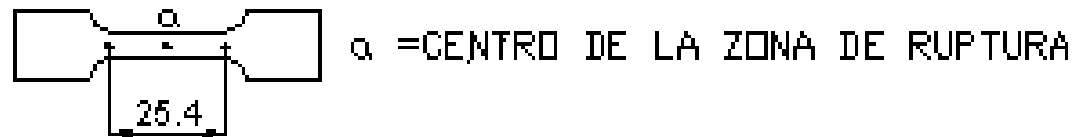


GRÁFICO No. 3 MAQUINA UNIVERSAL DE PRUEBAS

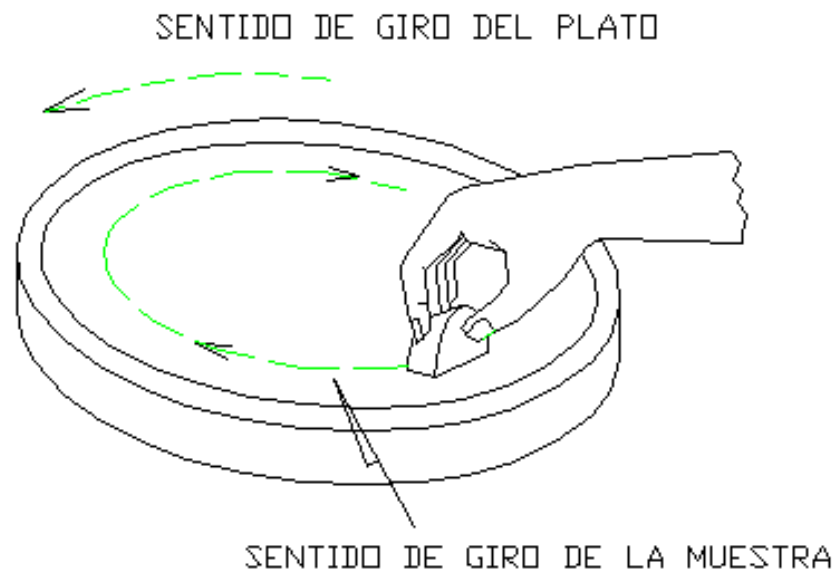
ANEXO 5. ANÁLISIS METALOGRAFICO.

10	Cortar la muestra utilizando refrigerante.	Sierra Eléctrica.	(1)
20	Marcar con la rastreabilidad de la colada y la fecha.	Marcador Metálico.	
30	Pulir a 200 r: p.m., utilizando agua como refrigerante según figura # 1.	Pulidora Ecomet 6.	
40			
50	Iniciar el pulido con lija # 320 hasta obtener una superficie plana.		
60	Lavar la muestra con algodón y agua.		
70	Seguir pasos 50, 60 y 70 con lija # 400 y #600 puliendo a 90° del rayado anterior.		
80	Colocar en el otro plato de la pulidora, el paño de nylon metcloth, lubricando con aceite para pulido y esparcir una gota de suspensión de diamante; no utilizar agua.		
90			
100	Hacer fuerte presión manual, girando la probeta en sentido horario; contrario al sentido del plato; pulir a 200 r. p.m.		
110	Pulir hasta obtener brillo de espejo y limpiarla con algodón y		

	agua.	
120	Colocar el paño metcloth en el plato utilizado inicialmente el cual debe estar completamente limpio.	Microscopio Olympus PMF 3- AD2.
130	Impregnar el paño con alumina en suspensión 0.05 micras, utilizando pulidora a 200 r.p.m. y agua como refrigerante, gota a gota.	Secador de Cabello.
140	Lavar la probeta y observarla en el microscopio a 100 aumentos. No debe tener rayas.	Microscopio Olympus PMF3- AD2.
150		
160		
170	Colocar algodón sobre vidrio y adicionarle HF 0.5%. Presionar la probeta sobre el algodón durante 2 minutos. Lavar, agregar unas gotas de alcohol etílico y secar. Observar la probeta al microscopio a 100 y 500 aumentos.	
180	Detectar comparando con "Ayudas Visuales para Análisis Metalográfico" , la debida clasificación.:	

<p>Presencia de inclusiones. Modificación de la aleación. Silicio globular. Poros a simple vista por centímetro cuadrado. Manchas.</p> <p>Registrar la información en el formato “Análisis Metalográfico y Micrografico” .</p>	
--	--

FIGURA No. 1



ANEXO 6. PRUEBA DE ADHERENCIA

ANEXO 7. EFECTO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS SOBRE SUPERFICIES PINTADAS

1. OBJETO.

Determinar el efecto de diferentes tipos de sustancias químicas sobre la superficie de recubrimiento del rin: por inmersión y el cambio de color, textura y brillo en la pintura.

2. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.

2.1 Tome el rin o la pieza pintada según el proceso normal de Madeal, que se va a someter a la prueba.

2.2 Limpie la muestra con agua desmineralizada y séquela.

2.3 En el recipiente a emplear para la prueba (beaker), adicione la solución química.

Según norma ASTM D 1308 se tienen las siguientes soluciones para pruebas de pintura.

TIPO DE SOLUCIÓN	CONCENTRACIÓN
Solución Alkali: <ul style="list-style-type: none">• Hidróxido de Sodio (NaOH)	0.1 N
Solución Ácido: <ul style="list-style-type: none">• Ácido Sulfúrico (H₂SO₄)• Ácido Acético: Vinagre. (CH₃COOH)	0.1 N 3% Vol.
Solución detergente: Limpiadores	---
Aceites y grasas: Margarina, aceites vegetales	---
Condimentos: Salsa de tomate.	---
Bebidas: Té, café, chocolate	---
Lubricantes: <ul style="list-style-type: none">• Aceites solubles	S610W40
Solventes orgánicos: <ul style="list-style-type: none">• Solución Bencina de petróleo / Tolueno	90 / 10 Vol.

- 2.4 Sumerja la pieza en la solución de tal manera que cubra el 50% de la superficie pintada a ensayar.
- 2.5 Retire la pieza luego de 24 horas de exposición y/o el tiempo establecido por la norma especificada por el cliente.
- 2.6 Lavar con agua desmineralizada.
- 2.7 Observar el efecto de la exposición en un cambio de color, ampollamiento, protuberancia, ablandamiento, pérdida de brillo y/o desprendimiento de la pintura por pérdida de adherencia.
- 2.8 Diligencie el formato "Reporte Efecto de Sustancias Químicas en el Acabado de Pintura".

ANEXO 8. INSTRUCTIVO PRUEBA DE CÁMARA SALINA

PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN:

10	Pesar 1 Kg de sal marina.	Beaker de 1.000 ml Balanza	
20	Adicionar la sal a un galón que contenga 20 Litros de agua desmineralizada.		
30	Agitar muy bien.		
40	Medir la densidad de la solución, llenando una probeta de 250 ml. Con mucho cuidado introducir el densímetro hasta que flote e indique la densidad, ésta debe estar entre 1.030 y 1.040.	Densímetro	
50	Medir el pH. Debe estar entre 6.8 y 7.2.	pH-metro	
60	Ajustar si es necesario con ácido clorhídrico o hidróxido de sodio 0.1 Normal.	Pipeta	

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA:

<p>10 20 30 40 50 60 70</p>	<p>Tome el rin o la pieza que se va a someter a prueba. Si es un rin retire tapacubos e insertos</p> <p>Lave con agua desmineralizada.</p> <p>Los bordes o las partes que no se encuentren con recubrimientos, se pueden proteger con cinta para enmascarar o realizar la prueba sin tener en cuenta éstas zonas.</p> <p>Haga un corte de acuerdo con la solicitud del cliente (una “x” o una “cuadrícula”) y evalúe la adherencia, según “Elaboración Pruebas de Adherencia”</p> <p>Ubique la pieza sobre la estructura de soporte, que el frente de la pieza quede expuesto a la niebla. En caso de piezas pequeñas pueden ser colgadas con hilos de nylon ó cualquier otro material resistente que no sea metálico, que soporte el peso de la pieza.</p> <p>Llenar el formato “Cámara Salina - control diario de parámetros”.</p> <p>Dejar la pieza dentro de la cámara por el tiempo especificado haciendo las inspecciones según lo solicite el cliente.</p>	<p>Cinta adhesiva 3M 610</p>	
---	---	------------------------------	--

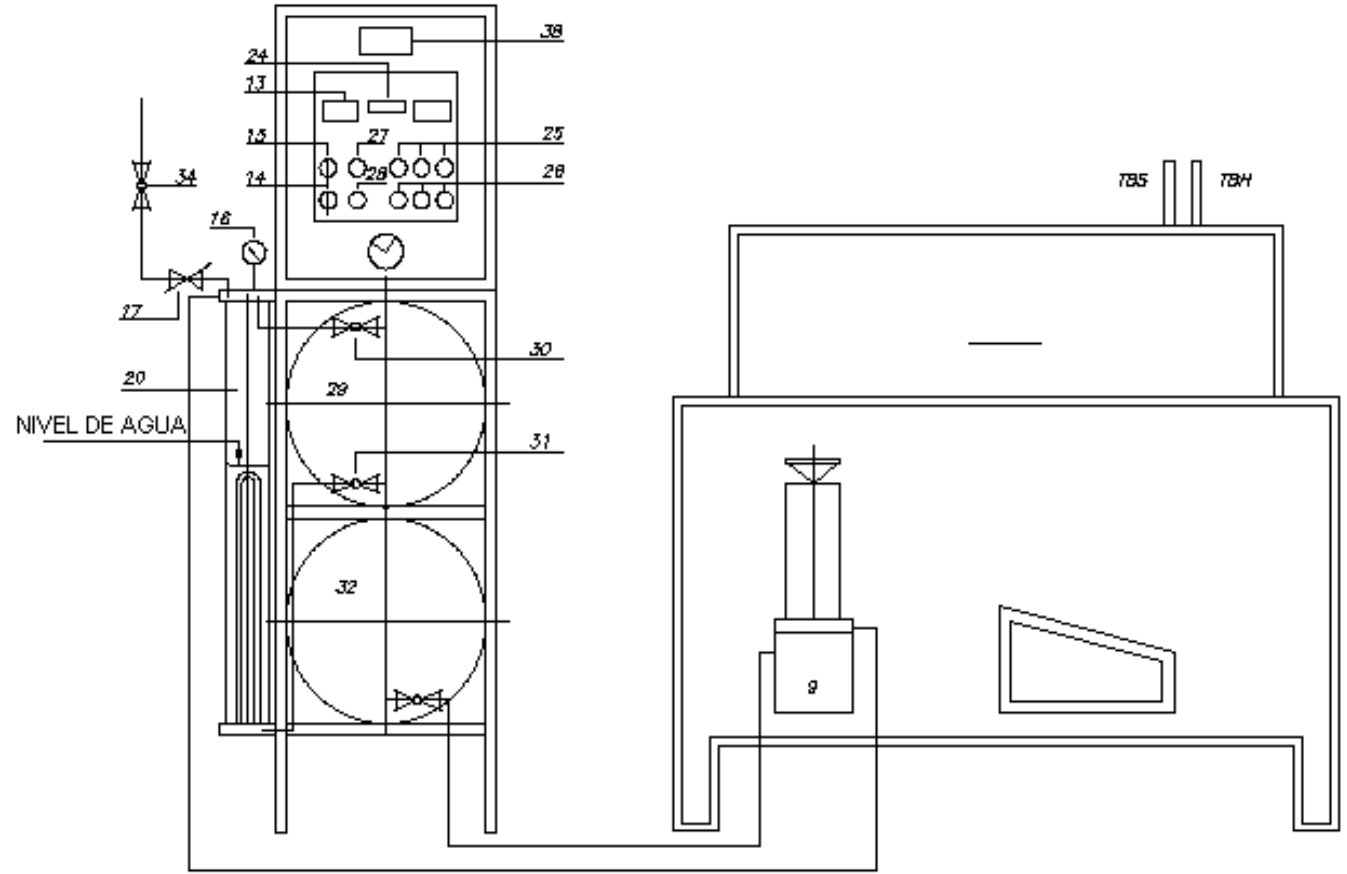
CONTROL DE LA PRUEBA:

10	Verificar los niveles de los tanques torre humidificadora y solución salina.		20 y 32
20	Verificar el flujo de aire.		30 y 31
30	Abra las válvulas.		29 y 20
40	Si los niveles de agua están en el límite inferior, llene con agua desmineralizada el tanque y permita que la torre humidificadora se llene hasta 3/4 de su capacidad.		
50	Verifique que el nivel del agua siempre esté cubriendo la resistencia por completo.		
60	Llene el tanque con la solución salina al 5%.		32
70	Abra la llave del tanque y verifique que existe goteo de la solución dentro del depósito.		32 y 9
80			
90	Coloque los colectores (embudo sobre probeta graduada) en la cámara, de tal forma que quede uno lejos y otro cerca de la zona de aspersion.		
100	Coloque la tapa de la cámara y en esta los termómetros para T_{bS} (Termómetro bulbo seco) y T_{bH} (Termómetro bulbo húmedo).		
110	Llene con agua desmineralizada el canal donde va colocada la tapa de la cámara (sello hidráulico).		13
120	Seleccione la temperatura de control de la cámara con el selector. Debe		38

	mantenerse entre $35^{\circ} \pm 1.5^{\circ}\text{C}_2$		
130	Seleccione la temperatura de control del humidificador con el selector, ubíquelo uno o dos grados por encima de la temperatura de control de la cámara (esto permite operar con humedad relativa del 100%)		24
140	Oprima el contador de tiempo de control.		
150	Seleccione el tiempo de duración de la prueba con el temporizador, de acuerdo con las especificaciones y requerimientos del cliente.		14 y 26
160	Coloque el selector inferior en manual y los selectores en marcha.		17
170	Cierre el reductor de presión.		34 y 17
180	Abra totalmente la válvula de aire y luego abra lentamente el reductor de presión, hasta conseguir una presión de 1.0 ± 0.2 bar.		14 y 15
190	Coloque el selector inferior en "auto" y el selector superior en "marcha".		27
200	Oprima el botón verde para iniciar la prueba.		
	Al realizar los controles diarios se debe tener en cuenta que se debe hacer cuando estos estén fuera de parámetros:		
	- pH:		
	Si está por debajo de 6.8 se debe adicionar hidróxido de sodio 0.1 N hasta ajustar el valor a 7.0.		
	Si está por encima de 7.2 se debe adicionar ácido clorhídrico 0.1 N hasta ajustar el		

	<p>valor a 7.</p> <p>- Densidad: Si está por debajo de 1.030 se debe agregar sal marina hasta que el valor quede en 1.035.</p>		
210	Si se encuentra por encima de 1.040 se debe adicionar agua desmineralizada hasta que el valor de la densidad sea 1.035		
220	- Colectados:		
230	Si no hay colectados o están por debajo del parámetro (24 a 48 ml), se debe		
240	revisar la boquilla y observar que no se encuentre tapada.		
250	Completar el ciclo de evaluación y retirar la pieza de la cámara.		
260	Lavar la pieza con agua desmineralizada y/o agua corriente a temperatura ambiente.		
	Secar con papel absorbente ó con aire limpio y seco.		
	Evaluar la pieza de acuerdo con la especificación del cliente.		
	Evaluar el ampollamiento, la corrosión y los cambios de aspecto (brillo, tono, etc...)		
	Llenar el formato "Reporte ensayo en cámara salina".		

DIAGRAMA NUMERADO DE LA CAMARA

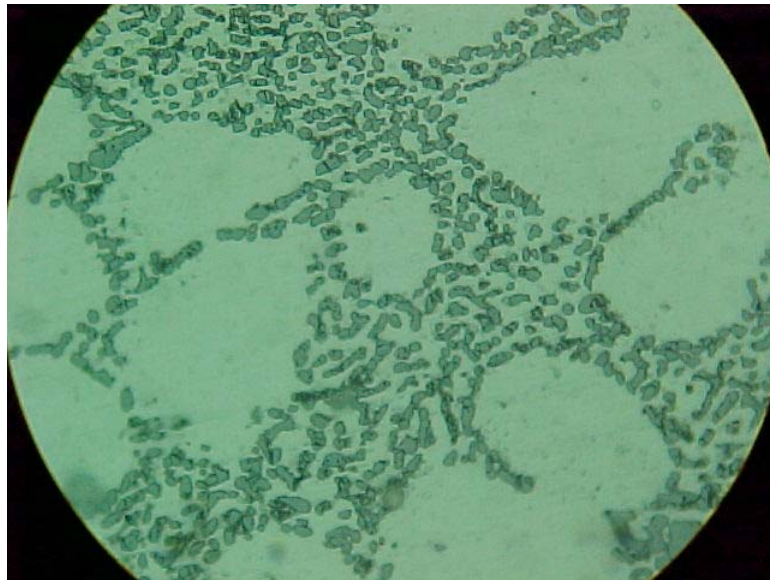


ANEXO 9 ANÁLISIS METALOGRÁFICO.

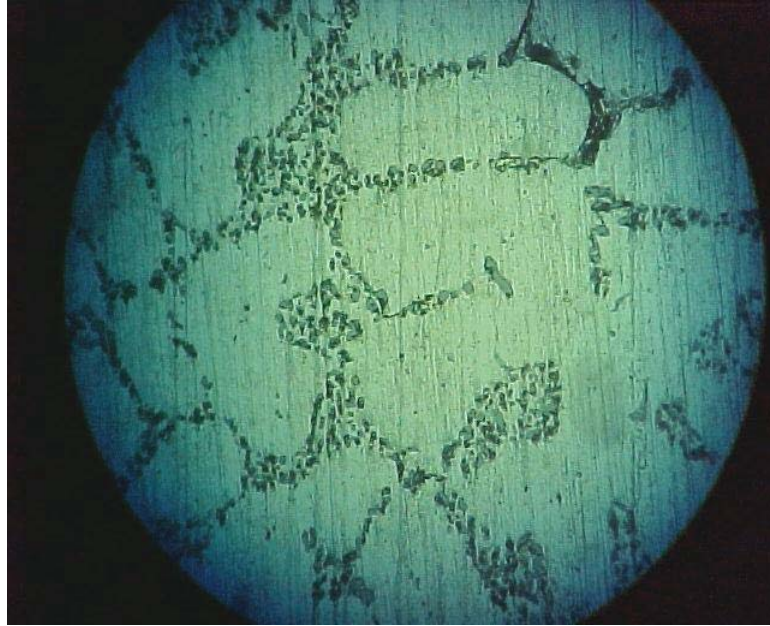
- METALOGRAFIA TRATADA CON 3 HORNEOS, 60 MIN. y T 170°C.



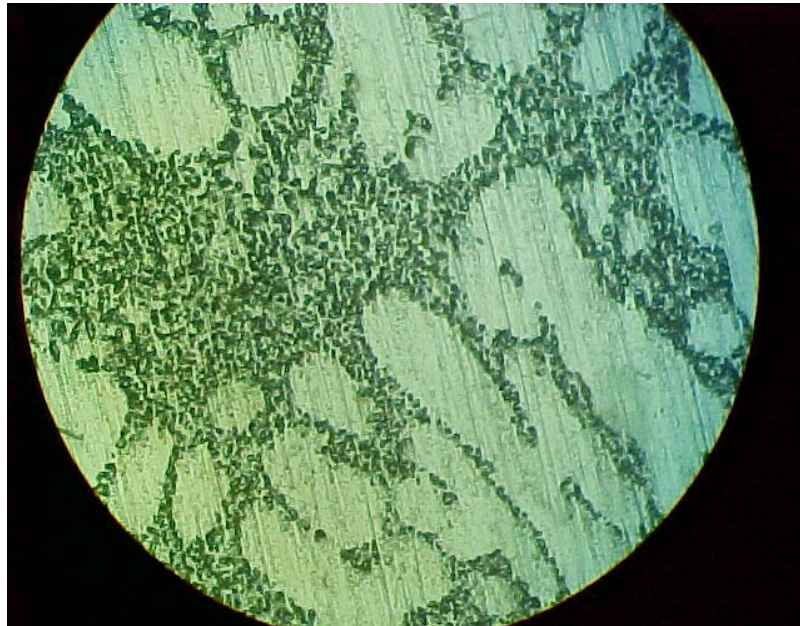
- METALOGRAFÍA TRATADA CON 1 HORNEO, 30 MIN. y T 170°C.



- METALOGRAFIA TRATADA CON 1 HORNEOS, 90 MIN. y 200°C.



- METALOGRAFIA TRATADA CON 3 HORNEOS, 30 MIN y T 200°C.



ANEXO 10 TERMOGRAFIAS.