

66
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



EFEECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LAS
PROPIEDADES FISICAS DE MOLDES Y CORAZONES
PRODUCIDOS POR EL PROCESO FENOL-URETANO
EN CAJA FRIA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERIA MECANICA CON
ESPECIALIDAD EN MATERIALES

PRESENTA

JAVIER RODRIGO GONZALEZ LOPEZ

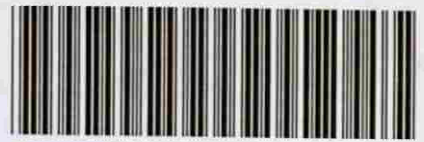
CD. UNIVERSITARIA

FEBRERO 2001

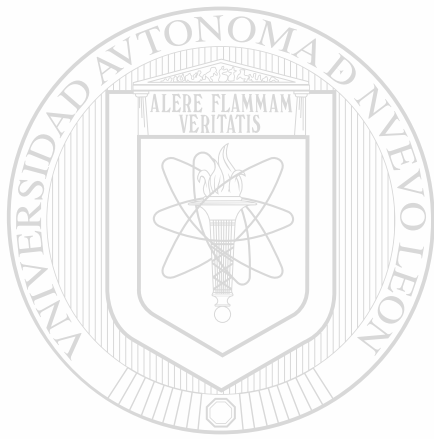
2001
2002
2003
2004

EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LAS
PROPIEDADES FISICAS DE MOILDRES Y COORAZONES
PRODUCIDOS POR EL PROCESO FENOL-URFETANO

EN CAJA FRIA



1080117243



UANL

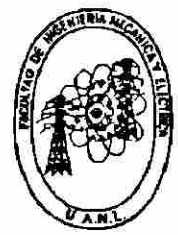
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



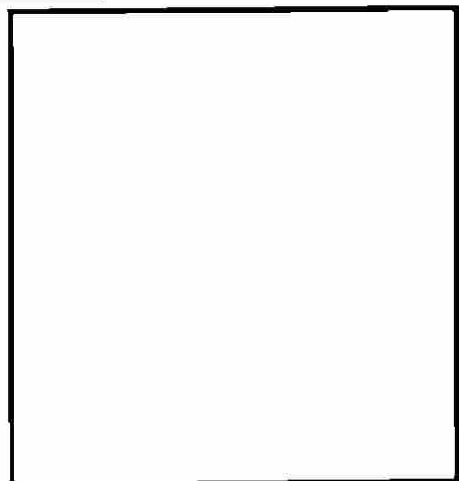
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SUB-DIRECCION DE POST-GRADO



ACTA NUM. _____ LEVANTADA CON MOTIVO DEL EXAMEN DE GRADO
 DEL(A) SEÑOR(ITA): JAVIER RODRIGO GONZALEZ LOPEZ
 FECHAS: _____
 TESIS: _____

JURADO:

PRESIDENTE: DR. RAFAEL COLAS ORTIZ
SECRETARIO: DR. ^{EULOGIO} ABRAHAM ^{SANTES} VELASCO TELLEZ
VOCAL: DR. ^{ABRAHAM} EULOGIO ^{VELASCO} VELASCO TELLEZ



En la Ciudad de Monterrey, Capital del Estado de Nuevo Leon, a los PRIMER día del mes de JUNIO de el año 2001, siendo las 18:00 horas, reunidos en una de las Aulas de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, los(as) señores(itas): DR. RAFAEL COLAS ORTIZ, DR. EULOGIO VELASCO SANTES, DR. ABRAHAM VELASCO TELLEZ

Catedráticos(as) de la misma, quienes fueron designados por las autoridades de la División de Estudios de Postgrado de la Facultad para integrar el Jurado Calificador del Examen de Grado de Maestro en Ciencias de la MAESTRIA EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA CON ESPECIALIDAD EN MATERIALES del señor(ita) JAVIER RODRIGO GONZALEZ LOPEZ tal como lo dispone la Ley Orgánica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, publicada en el Periódico Oficial de fecha siete de Junio de Mil Novecientos Setenta y Uno, el Reglamento de la Dirección General de Estudios de Postgrado y el Reglamento Interno de la Facultad. Se procedió a iniciar dicho examen sometiendo a 1 sustentante a los interrogatorios de rigor para los diversos casos teóricos y posteriormente se llevaron a cabo las pruebas prácticas sobre los diferentes aspectos de la maestria, una vez concluido este último Acto, el Jurado pasó a deliberar sobre las diversas pruebas a que fué sometido y una vez discutidos todos los aspectos del Examen, el Jurado resolvió hacer saber a 1 señor(ita) JAVIER RODRIGO GONZALEZ LOPEZ que fué APROBADO en su Examen de Grado de la Maestria en Ciencias de la Ing. MECANICA CON ESPECIALIDAD EN MATERIALES. Con lo anterior se dió por terminado el acto y en cumplimiento de lo dispuesto por los preceptos legales y reglamentarios, firman la presente Acta los señores Sinodales, ante la presencia del Secretario del Jurado, que da fé.

PRESIDENTE

SECRETARIO

DR. RAFAEL COLAS ORTIZ

DR. EULOGIO VELASCO SANTES

VOCAL

DR. ABRAHAM VELASCO TELLEZ

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POST-GRADO

A LOS C. PROFESORES:

Presente.-

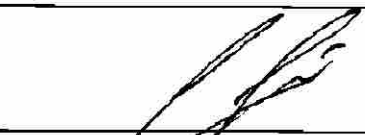

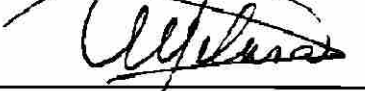
Habiendo solicitado Examen de Grado la C. Pasante **JAVIER RODRIGO GONZALEZ LOPEZ** y cubriendo los requisitos del Reglamento, la Dirección de esta Facultad ha tenido a bien designarle fecha para el Examen Teórico el Día **1º DE JUNIO DE 2001** a las **17:00** horas, designando para el efecto el siguiente Jurado:

Presidente:	DR. RAFAEL COLAS ORTIZ
Secretario:	DR. EULOGIO VELASCO SANTES
Vocal:	DR. ABRAHAM VELASCO TELLEZ

ATENTAMENTE -
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS
"ALERE FLAMMAM VERITATIS"

EL DIRECTOR

ENTERADOS.-

DR. RAFAEL COLAS ORTIZ	
DR. EULOGIO VELASCO SANTES	
DR. ABRAHAM VELASCO TELLEZ	

NOTA: FAVOR DE PRESENTARSE CON TRAJE

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



EFFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE
MOLDES Y CORAZONES PRODUCIDOS POR EL PROCESO DE
URETANO EN CAJA

UANL
TESIS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA MECÁNICA CON ESPECIALIDAD EN
DIRECCIÓN GENERAL DE MATERIALES BIBLIOTECAS

PRESENTA

JAVIER RODRIGO GONZALEZ



UNIVERSITARIA

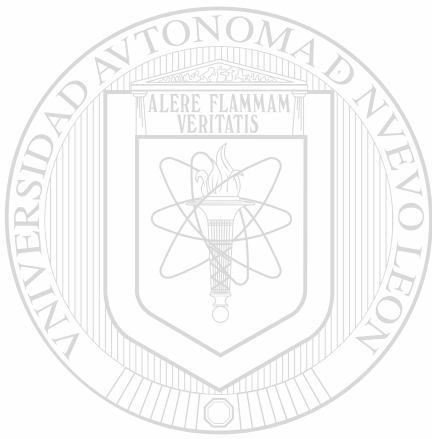
2017-18

TM

TS 243

• 66

2001



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

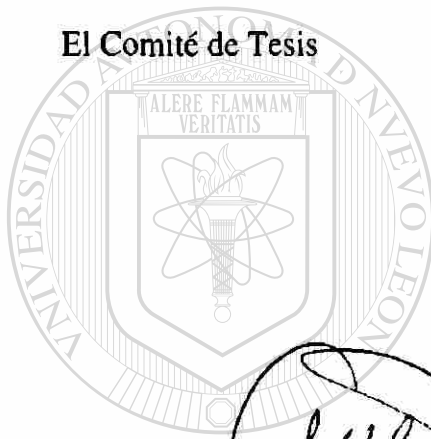
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

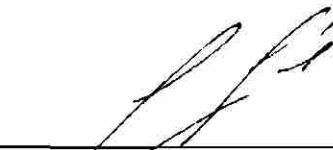


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO

Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis " Efecto de la temperatura sobre las propiedades físicas de moldes y corazones producidos por el proceso fenol – uretano en caja fría " realizada por el alumno Javier Rodrigo González López, matrícula 750957 sea aceptada para su defensa como opción al grado Maestro en Ciencias de la Ingeniería con especialidad en Materiales.

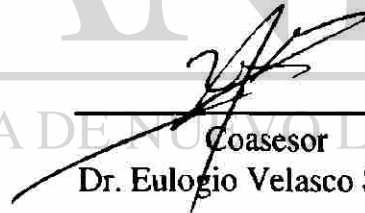
El Comité de Tesis




Asesor
Dr. Rafael Colás Ortiz

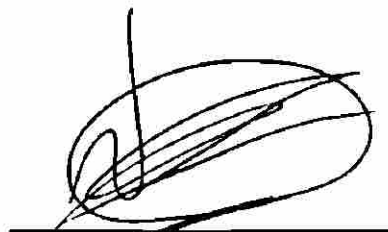


Coasesor
Dr. Abraham Velasco Téllez



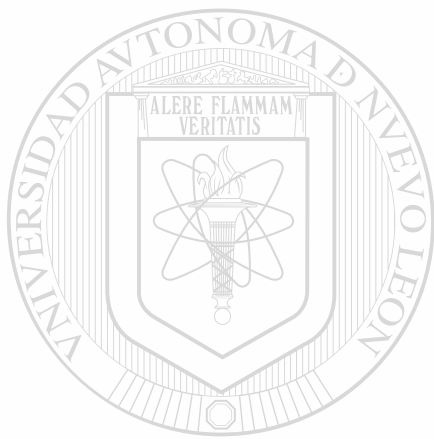
Coasesor
Dr. Eulogio Velasco Santes

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



Vo. Bo.
M.C. Roberto Villarreal Garza
División de estudios de Post- grado

A todos.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

AGRADECIMIENTOS

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo que me concedió para la realización de esta tesis y su impulso a la investigación en el país.

En la Universidad Autónoma de Nuevo León al Programa Doctoral en Ingeniería de Materiales en donde me motivé para realizar este estudio.

A la empresa Nemark y su departamento de investigación que me brindó un lugar y me facilitó la realización de este trabajo.

Al Dr. Abraham Velasco, por su amistad, consejos y su apoyo inmensurable para la rápida realización de este trabajo.

Al Dr. Valtierra y Dr Colás que han logrado fructificar una alianza que apoya a estudiantes que quieren realizar proyectos con una empresa de clase mundial.

Al personal de Nemark que me apoyó y facilitó equipo para la realización de las pruebas, especialmente a los analistas de arenas de planta 4 y 5, a Pablo Castro, Gilberto García y a todo el departamento de investigación, Eulogio, los dos Alejandros, Mike, David y Talamantes.

A mis compañeros de tesis Ricardo Domínguez y Raymundo Gómez que facilitaron el trabajo.

A mis profesores en la maestría y en la carrera.

A compañeros en la maestría que emprendimos juntos esta nueva etapa que nos definirá el rumbo que tomaremos profesionalmente.

A mis compañeros olvidados de la carrera.

A mi novia Lizeth que apareció en la parte última parte de este trabajo y motivó su terminación.

A todos gracias.

ÍNDICE

Contenido	Página
Dedicatoria	i
Agradecimientos	ii
Resumen.....	vi
Capítulo I	1
Introducción	1
Capítulo II Moldeo con arena	4
2.1 Introducción al moldeo con arena	4
2.2 Sistemas de fundición automatizados	6
2.3 Desarrollos de sistemas de resina	7
2.4 Clasificación e identificación de los sistemas de moldeo con unión química	9
2.5 Sistemas de caja fría.....	11
Capítulo III Materias Primas del Proceso de moldeo en Caja Fría	12
3.1 Interacciones entre las materias primas utilizadas en el moldeo con arena químicamente unida.....	12
3.2.1 Definición y composición de las arenas para fundición.....	13
3.2.2 Forma en que ocurren los depósitos de arena	14
3.2.3 Constituyentes típicos de arenas sílicas tratadas.....	15
3.3 Preparación de mezclas de arena para los ensayos	16
3.3.1 Probetas norma utilizadas en los ensayos de mezclas de arena para fundición	16
3.4.1 Métodos para determinar la finura de las arenas y su distribución de tamaño .	17
3.4.2 Aplicación de los resultados de las pruebas de granulometría	18
3.4.3 El área superficial en las arenas..	20
3.4.4 Clasificación de la forma de grano según norma AFS	21
3.4.5 Valor de demanda ácida y prueba de pH	22
3.4.6 Efecto de la humedad en la arena	22
3.4.7 Permeabilidad en las mezclas de arena-resina	23
3.4.8 Temperaturas en las mezclas arena-resina.....	24

3.4.9 Características térmicas de la arena sílica	24
3.4.10 Pérdidas por ignición.....	25
3.5 Parte química, sistemas de mezclas... ..	26
3.5.1 Pruebas realizadas a las resinas.....	29
3.5.2 Importancia de las características de las resinas	30
3.6 Pruebas realizadas a los moldes y corazones con arena químicamente unida.....	31
3.6.1 Prueba de resistencia a la tracción	31
3.6.2 Resistencia transversal	33
3.6.3 Dureza de las superficie de los moldes de arena	33
3.6.4 Evolución de gases	34
Capítulo IV Proceso de Moldeo en Caja Fría	38
4.1 Proceso de moldeo de caja fría fenol-uretano	38
4.1.1 Consideraciones sobre el control de las variables en el proceso fenólico- uretánico en caja fría	39
4.2 Mezclado de la arena con la resina	41
4.3 Clasificación de los corazones para fundición	42
4.4 Métodos de llenado de las cajas de corazones	43
4.5 Materiales de construcción de las cajas de corazones	44
4.6 Tubos de soplado y vientos	45
4.7 Efecto del porcentaje de resina en las propiedades de los corazones	45
4.8 Relación de aglomerantes	46
4.9 Factores que afectan la vida de banco de una mezcla de arena	47
4.10 Factores que afectan la velocidad de curado	49
4.11 Acabado de la superficie	49
4.12 Desarenado	50
Capítulo V Desarrollo experimental	52
5.1 Introducción	52
5.2 Objetivo de los experimentos.....	52
5.3 Matriz de experimentos	53
5.4 Caracterización de la arena utilizada para hacer las pruebas de laboratorio.....	53

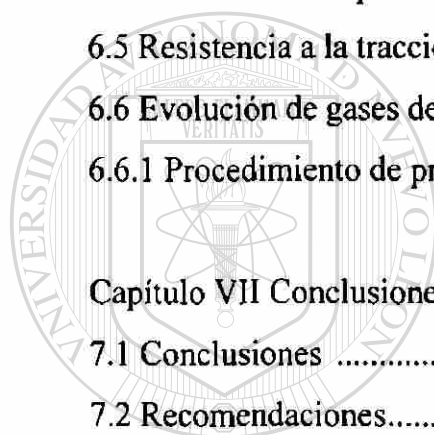
5.4.1 Caracterización de las resinas	58
5.5 Viscosidad en la partes I y II de las resinas	58
5.6 Análisis termogravimétrico de los sistemas de resina.....	60
5.6.1 Estudio de los sistemas de resina mezclados	61
5.7 Determinación de la temperatura que alcanza la chaqueta de agua.....	62
5.8 Procedimiento empleado para mezclar el sistema de resinas con la arena	65

Capítulo VI Análisis de Resultados	67
6.1 Introducción	67
6.2 Vida de Banco de las mezclas de arena	67
6.3 Desarrollo de resistencia	71
6.4 Resistencia a la penetración y compactación de las mezclas de arena	75
6.5 Resistencia a la tracción a temperatura ambiente y a alta temperatura	78
6.6 Evolución de gases de los sistemas de resina	94
6.6.1 Procedimiento de prueba de evolución de gases	94

Capítulo VII Conclusiones y Recomendaciones	103
7.1 Conclusiones	103
7.2 Recomendaciones.....	104

Referencias.....	106
------------------	-----

Anexo 1	108
Glosario.....	115
Lista de figuras.....	117
Lista de tablas.....	121
Resumen Autobiográfico	122



U A N L

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

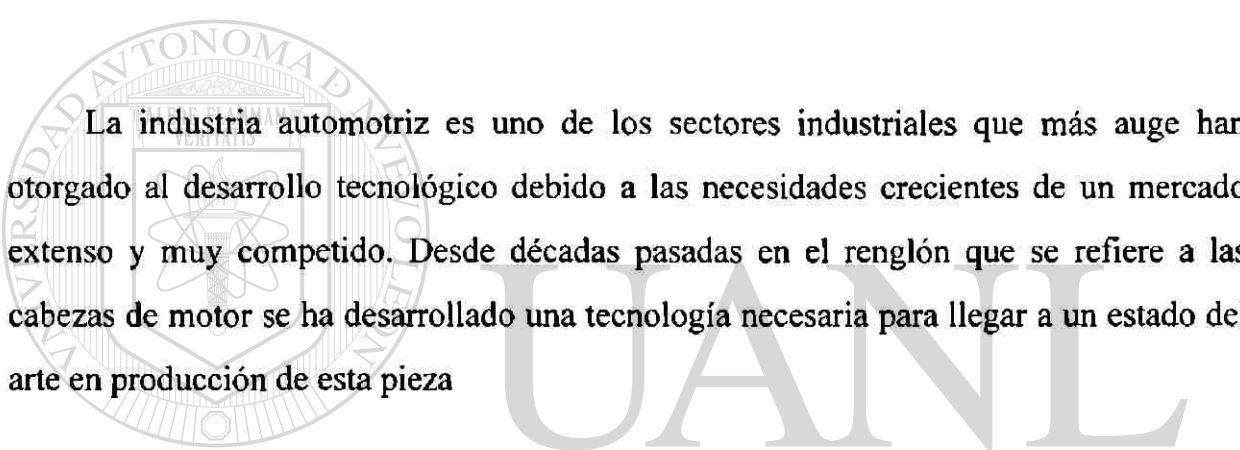
Resumen

Dentro de los procesos de fundición de piezas automotrices como el monoblock y la cabeza de motor los sistemas químicos de resina son extensamente utilizados para fabricar los moldes y corazones que servirán como elementos para formar el modelo que reproducirá la pieza a fabricar.

El buen comportamiento de los moldes y corazones es fundamental para una buena práctica de fundición, muchos de los problemas que originan rechazo en las piezas vaciadas es debido a un mal procedimiento de moldeo. Las técnicas para un preciso control de las variables que son de alcance en moldeo sean mejorado mucho, implementándose equipos que registran el comportamiento a elevadas temperaturas de los moldes y corazones, los trabajos de investigación que se han desarrollado en esta área son muy reducidos y su aplicación en plantas industriales esta sujeto a las condiciones climáticas de la región donde se lleve a cabo la práctica, por lo que es necesario tener una estricta interpretación de los resultados para que puedan ser aplicados dentro de los procesos de moldeo en caja fría utilizados en la industria automotriz.

Capítulo I

INTRODUCCIÓN



La industria automotriz es uno de los sectores industriales que más auge han otorgado al desarrollo tecnológico debido a las necesidades crecientes de un mercado extenso y muy competido. Desde décadas pasadas en el renglón que se refiere a las cabezas de motor se ha desarrollado una tecnología necesaria para llegar a un estado del arte en producción de esta pieza

Hoy en día la necesidad se ha vuelto más extensa, tratar de fabricar el monoblock de aluminio. La sustitución de monoblocks de hierro por piezas de aluminio ha creado constantes propuestas para desarrollar esta meta por diferentes procesos de fundición. La idea de introducir el aluminio es para hacer más eficientes los motores de los vehículos reduciendo el peso. En la actualidad sólo el 15% de los vehículos cuenta con el monoblock de aluminio pero esta participación aumentará conforme se llegue a una estabilización en la producción, como ocurrió con las cabezas de aluminio que a principios de los ochentas su participación era de un 10%, actualmente es del 65% y las expectativas es para que al año 2005 el 90% de los vehículos y camionetas utilicen motor con cabeza de aluminio¹.

La necesidad de buscar procesos de fundición más consistentes es para obtener los productos, cabeza y monoblock de aluminio con un desarrollo tecnológico tal que dejen atrás los viejos procedimientos de moldeo en verde tan poco eficientes, llegando a procesos de alta ingeniería que utilizan componentes químicos y equipo periférico de alta tecnología.

La gran ventaja de estos sistemas es que tienen tiempos cortos en los cuales diversos corazones pueden ser utilizados. Los tiempos en los cuales se pueden usar las mezclas de arena con resina varían desde 2 hasta 24 horas, dependiendo del sistema de resinas utilizado. El corazón al soplarse alcanza inmediatamente solo alrededor del 60% de su resistencia total, por lo que se puede dejar almacenado para que alcance una resistencia superior y así tener menos problemas por moldes o corazones débiles².

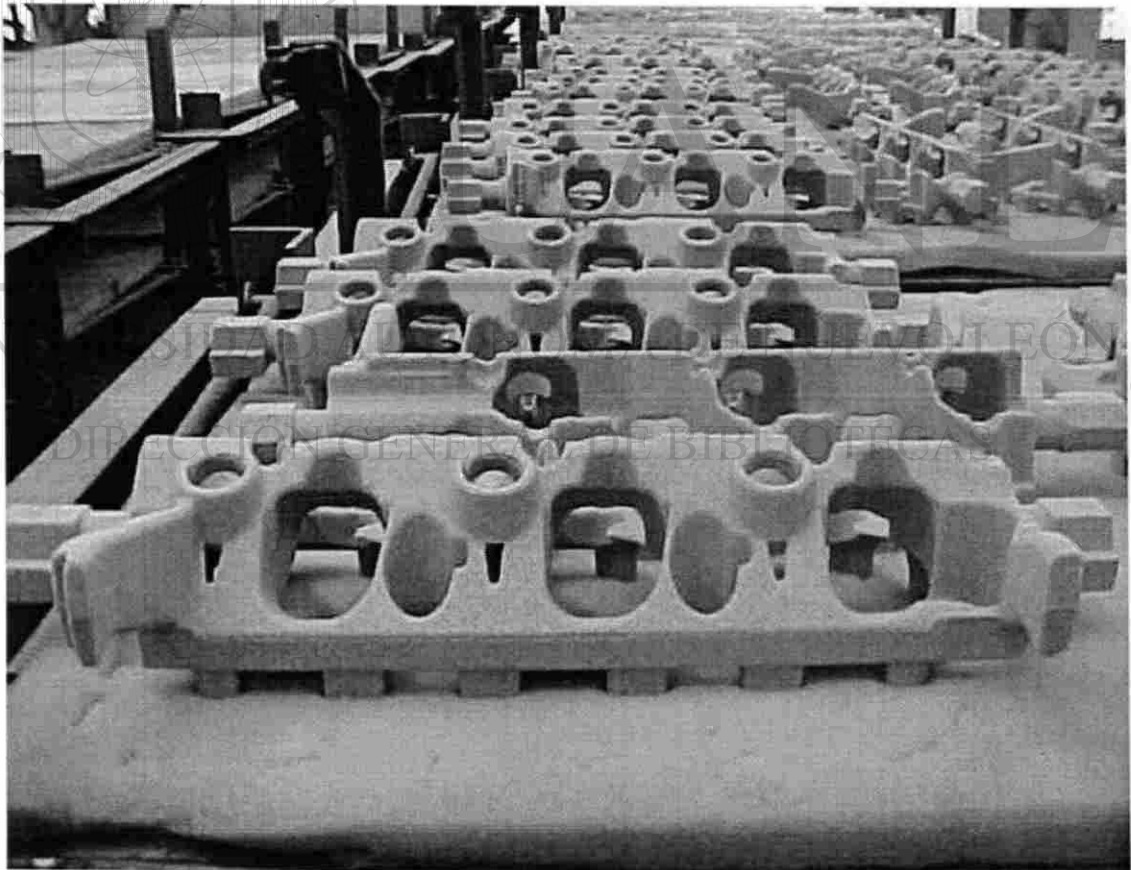


Figura 1. Aspecto de la chaqueta de enfriamiento de una cabeza de motor.

Los procesos de fundición necesitan una materia prima seleccionada, cuidando su origen como en el caso de las arenas, las cuales se cuida que tengan una granulometría, forma y constituyentes determinados, esto en óptimo comportamiento en conjunto con los sistemas de resina.

El desarrollo de este trabajo tiene como objetivo el determinar el comportamiento de las materias primas utilizadas en la fabricación de corazones mediante diferentes pruebas, se registró y analizó el comportamiento de un corazón fabricado mediante el proceso fenol uretano en caja fría.

La metodología seguida durante el desarrollo de la presente investigación es la siguiente, se seleccionó un tipo de corazón sobre el cual se basa el estudio, siendo éste la chaqueta de enfriamiento de las cabezas y monoblock de aluminio, figura 1 que tiene la cualidad de ser un corazón de configuración compleja con paredes delgadas y quedar atrapado dentro de la pieza durante su vaciado. Al definir la pieza de estudio se propone el experimento sobre mezclas con composiciones cercanas a las normalmente se utilizan en planta para la elaboración de la chaqueta de enfriamiento. A estas formulaciones se le caracterizaron sus materias primas y su comportamiento como mezclas mediante pruebas normales de control de calidad, además se desarrollaron pruebas de resistencia a alta temperatura, resistencia a la compresión y evolución de gases. La correlación de estas pruebas permitió seleccionar la mezcla más adecuada para su aplicación en el proceso.

Capítulo II

Moldeo con arena

2.1 Introducción al moldeo con arena.

El moldeo con arena se puede dividir en dos grandes categorías (dependiendo de las materias primas utilizadas en el proceso). Estas dos categorías son, moldeo con arena verde y moldeo con aglomerantes químicos.

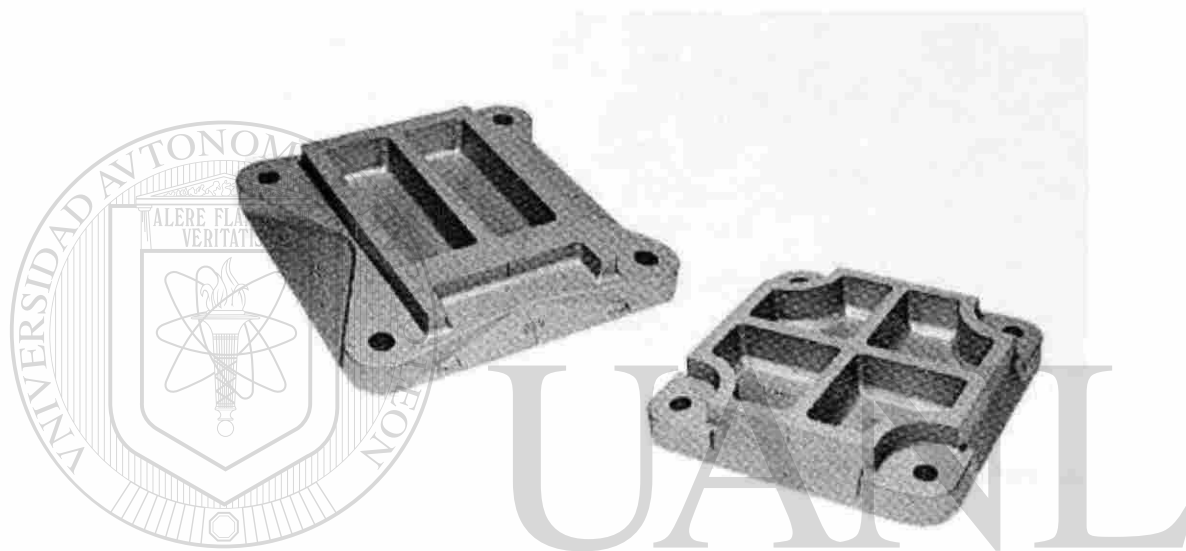
Estos dos métodos son usados para unir los granos de arena que constituyen los moldes para fundición; en el **moldeo en verde** se utiliza arcilla y agua para unir la arena, mientras los métodos de **moldeo de arena unida con resina** utilizan diferentes sistemas químicos de unión para hacer el molde. Los procedimientos y componentes de estos dos sistemas son sumamente diferentes como para tratarlos por separado.

Los productos de fundición de aluminio fabricados mediante el moldeo con arena representan casi el 11% mundial del total en peso de fundición de aluminio³. Las piezas fabricadas son utilizadas en la industria aeroespacial y automotriz por la característica del aluminio de ser un metal ligero.

El moldeo con arena es el más simple y versátil de los procesos usados para vaciar aluminio. Los moldes de arena generalmente son fáciles de hacer y la arena es reutilizable. Los métodos de fundición usados en fundición de metales ferrosos así como

no ferrosos son aplicables a la fundición de aluminio, los sistemas de producción se encuentran en su mayoría totalmente automatizados dándole mayor funcionalidad al proceso.

Las fundiciones de aluminio en moldes de arena abarcan piezas desde algunos gramos hasta más de 50 kilogramos de peso con un acabado exitoso. Las piezas fabricadas pueden ser de configuraciones sencillas, figura 2.1 hasta muy complicadas figura 2.2.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Figura 2.1 Piezas de fundición de aluminio de configuración sencilla. ®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

El mejor sistema de resinas para aluminio sólo se puede determinar mediante un análisis basado en la disponibilidad del material, experiencia y resultados proporcionados mediante pruebas a nivel planta, tomando en cuenta las condiciones ambientales, factor a considerar dentro del proceso. Cada sistema de resina desarrollado en la industria se ha utilizado primeramente para producir fundiciones de aluminio³.

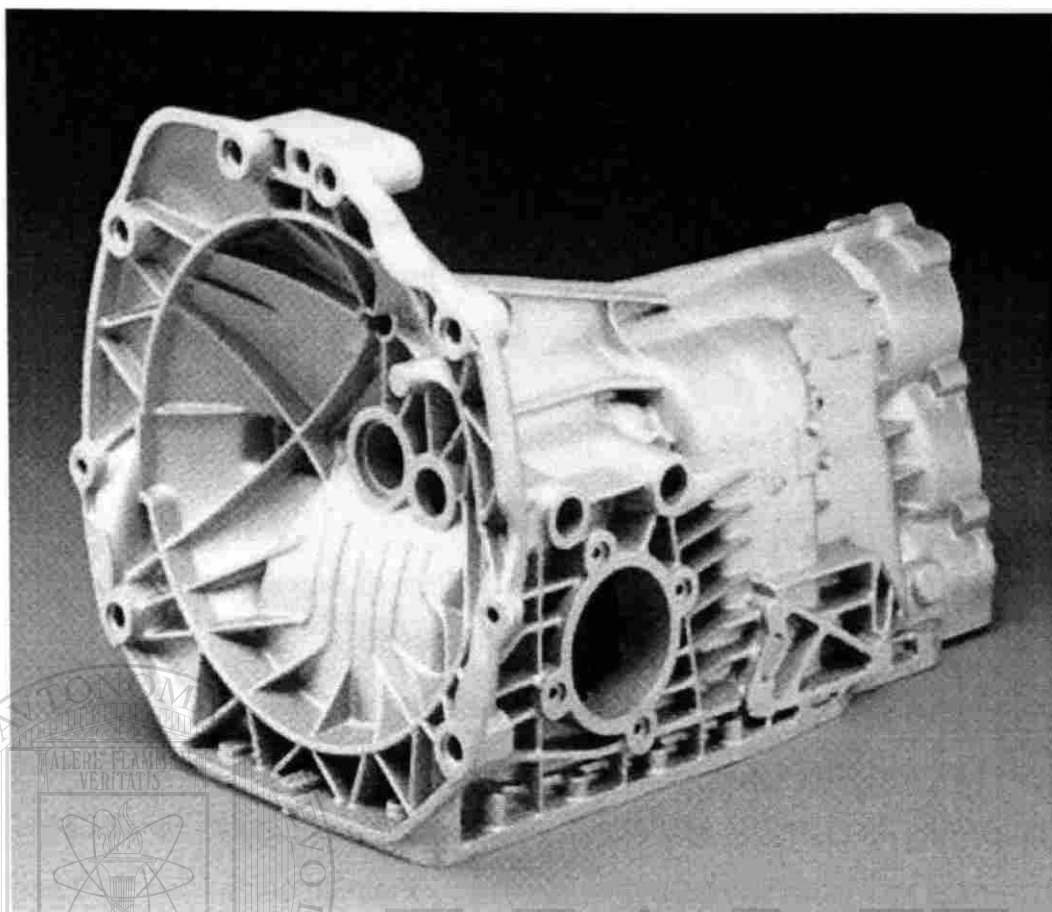


Figura 2.2 Piezas de fundición de aluminio de configuración compleja.

2.2 Sistemas de fundición automatizados.

En muchas industrias de moldeo se utilizan equipos mecanizados de alta producción de moldeo con la finalidad de obtener moldes a un costo unitario muy competitivo. Con los sistemas automatizados se llega a tener una amplia ventaja sobre los sistemas de operación manual.

Los sistemas automáticos de moldeo y sistemas de manejo de moldes ofrecen altas tasas de producción, buena calidad de piezas vaciadas y un alto grado de consistencia en las fundiciones. Para tener una adecuada operación de los sistemas automatizados se requiere que se les proporcione suficiente cantidad de metal fundido, un sistema de

dimensiones considerables para manejo de arena, así como también un conjunto de equipos periféricos disponibles para lograr un proceso continuo.

Las operaciones de desarenado, sistemas de limpieza, vaciado, y sistemas de recuperación de arena también deben ser apropiadamente automatizados para funcionar al mismo ritmo dentro del proceso y ser capaces de manejar altos volúmenes de fundiciones producidos por estos sistemas automatizados.

2.3 Desarrollo de sistemas de resina.

Los sistemas de resina se han desarrollado constantemente desde su introducción a mediados de la década de 1940. El proceso de moldeo predominante durante esta época consistía en moldeo con arena verde. En la década de 1940, los corazones de arena eran fabricados principalmente mediante el proceso de curado en horno con arena aglomerada con aceite².

El proceso de moldeo con aceite fue usado para construir paquetes de moldeo, que consisten en piezas para unión seccionadas que al juntarlas forman un molde. Estos corazones producían fundiciones con mejores características dimensionales que las que se consiguen con el moldeo en verde, en el cual los paquetes de moldeo generalmente están hechos de pocas piezas.

El desarrollo de los sistemas de moldeo tomó vertiginosos cambios después de la segunda guerra mundial. Los sistemas curados con calor, los sistemas de resina por moldeo en cáscara (shell), y sistemas endurecidos por gas dióxido de carbón-silicato fueron introducidos en la década de 1950. En las décadas posteriores, se utilizaron resinas curadas en caja caliente, sistemas de autofraguado (que curan químicamente sin la aplicación de calor) y procesos vapor catalizador en caja fría².

En las últimas tres décadas se han introducido dentro del mercado 20 procesos de unión como se muestra en la Tabla 2.1, estos procesos han forzado un diseño y desarrollo de equipo nuevo e innovador, necesario para hacer corazones y moldes, así como recubrimientos para arena y equipo de manejo de arena.

Tabla 2.1 Sistemas de resina utilizados industrialmente².

Fecha de Introducción	Proceso
Antes de 1940	Moldeo con aceite
1950	Moldeo de cáscara (shell)
1952	Silicato/CO ₂
1953	Aceites autofraguantes al aire
1958	Autofraguante con catalizador ácido
1960	Caja caliente furánica
1962	Caja caliente fenólica
1965	Autofraguante uretano
1968	Caja fría fenol-uretano
1968	Autofraguante con catalizador ester-silicato
1970	Autofraguante fenol uretano
1974	Autofraguante fosfato alúmina
1977	Furano SO ₂
1978	Autofraguante polyol uretano
1978	Caja tibia
1982	FRC SO ₂
1983	Epoxi SO ₂
1984	Autofraguante éster fenólico
1985	Caja fría éster fenólico
1992	Fosfato / óxido metal

2.4 Clasificación e identificación de los sistemas de moldeo con unión química.

Existen cuatro categorías para catalogar los diferentes sistemas aglutinantes. La clasificación, de acuerdo con los componentes contenidos en los aglomerantes es, en orgánicos o inorgánicos, por el mecanismo de catalización, por el mecanismo físico de curado y por la forma en que el sistema es activado³.

Sistemas inorgánicos u orgánicos. Los sistemas aglutinantes inorgánicos son los que no contienen carbono en sus moléculas aglutinantes, los sistemas inorgánicos son por lo general muy poco reactivos y alcanzan menores resistencias por lo cual necesitan ser utilizados en tiempos de desarrollo de resistencia mayores; los sistemas inorgánicos de resina requieren mayor atención durante la fabricación del corazón, el moldeo y proceso de fundición que los sistemas orgánicos. Estos sistemas están basados en una tecnología silicato y fosfato/metal óxido. Todos los demás sistemas utilizados son del tipo orgánico.

Por mecanismo de catalización. Otra forma de clasificar a los sistemas es por el mecanismo por el cual se cataliza químicamente, Tabla 2.2. Los aglutinantes de tipo ácido, pH inferior a 7 curan mediante la adición de un material alcalino, los sistemas aglutinantes del tipo básico, pH mayor a 7 se curan al adicionar un material ácido. Existen otros sistemas que curan mediante diversos mecanismo químicos y son independientes del pH.

Tabla 2.2 Clasificación de los sistemas aglutinantes por el mecanismo de catalizado ²		
Ácido	Básico	Otro
Silicato CO ₂	Autofraguante ester fenólico	Moldeo en cáscara
Caja tibia	Caja fría éster fenólico	Autofraguante silicato
Caja caliente	Autofraguante uretano	Core oil oxidación
SO ₂ furano	Caja fría fenol-uretano	Fosfato/óxido metal
SO ₂ acrílico epoxi	Autofraguante polyol uretano	

Por mecanismo físico de curado. Los sistemas de resinas también son clasificados basados en la manera en que el corazón o molde de arena endurece físicamente, Tabla 2.3. La resina cura en diferentes maneras, mediante el contacto con un catalizador vaporizado (caja fría); al ser expuesto al calor y promover su curado (caja caliente); y al ser mezclado con un líquido catalizador que reacciona con un aglutinante a temperatura ambiente (autofraguante). Cuando un aglutinante reacciona completamente se dice que ha polimerizado y alcanza un curado total, es decir se vuelve térmicamente estable.

Sistemas activados térmicamente. En estos sistemas el calor es el principal agente de curado, los sistemas más conocidos son el moldeo en cáscara (shell), caja caliente y caja tibia furánica. Estos sistemas son aglutinados y se curan aplicando calor al molde de arena recubierta con anterioridad.

Tabla 2.3. Categorías de los procesos de resina en moldeo de corazones².

Caja Fría	Autofraguante	Activado térmicamente
Fenólico/uretano/ amina	Furan/ácida	Shell
Silicato/CO ₂	Fenólica/ácida	Core oil
Furano/SO ₂	Fenólico/éster	Caja caliente fenólico
Acrílico/epoxi/SO ₂	Oil uretano	Caja caliente furánica
FRC/SO ₂	Silicato/éster	Caja caliente úrea formaldehído
Fenólico/éster (metil formato)	Fenólico uretano	Caja tibia
Fenólico/CO ₂	Fosfato/óxido metal	
	Polyol uretano	

2.5 Sistemas de caja fría

Los sistemas de caja fría son utilizados en las fundiciones de aluminio de más alta producción. La clasificación de los sistemas de caja fría incluye a:

Silicato/CO₂.

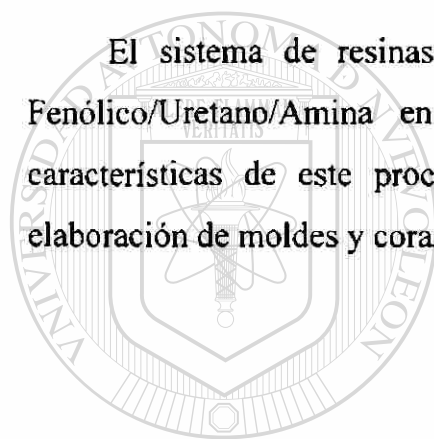
Acrílico/Epoxi/SO₂.

Fenólico/Metil Formato.

Fenólico/CO₂.

Fenólico/Uretano/Amina.

El sistema de resinas utilizado en el desarrollo del presente trabajo fue el Fenólico/Uretano/Amina en caja fría, por lo que se procederá a ampliar las características de este proceso así como las materias primas que utiliza para la elaboración de moldes y corazones y pruebas de control de calidad a nivel laboratorio².



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Capítulo III

Materias Primas del Proceso de moldeo en Caja Fría

3.1 Interacciones entre las materias primas utilizadas en el moldeo con arena químicamente unida.

Los moldes con arena químicamente unida con resinas están constituidos en un 98% de arena. Las mezclas de arena generalmente utilizan cantidades no mayores al 2% de resina (por ciento en peso sobre el peso de la arena), por lo que es preciso conocer las propiedades que definen a los materiales antes de utilizarlos para conocer el comportamiento que tendrán al mezclarse y así poder anticipar que tendrán un buen comportamiento cuando se encuentran mezclados.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

En una buena práctica de moldeo con arena, se necesita que las materias primas, arena, resina, aditivos y catalizador, tengan un estricto control y un adecuado almacenamiento que no afecten o modifiquen las características finales del molde al mezclarlos.

En la arena se debe tener cuidado de no exponerla a contaminantes ambientales como tierra, arcillas o incluso agua, ya que estos contaminantes pueden provocar que el pH de la arena aumente. En la práctica se debe tratar de mantener el pH lo más neutro posible. La resina también se debe mantener adecuadamente almacenada en recipientes especiales para evitar posibles fugas o derrames y utilizar filtros que alejen las

formulaciones de la humedad. Tanto las arenas como las resinas deben de tener siempre líneas aisladas hasta el lugar de entrega para lograr un óptimo funcionamiento y obtener un molde o corazón con características consistentes⁴.

3.2.1 Definición y composición de las arenas para fundición.

Existen muchos y muy diversos tipos de arenas sobre la superficie terrestre pero, pocas son las arenas que tienen características aceptables para su utilización en fundición. Una arena adecuada para utilizarla en fundición es aquella que mantiene sus propiedades físicas y químicas a temperaturas mayores a la del metal que se va a verter.

La arena puede definirse como un material compuesto por granos sueltos de materia mineral que varían en tamaño desde aproximadamente 2 a 0.05 mm (1/12 a 1/500 pulg.) en diámetro. Se debe notar que la definición de arena no hace referencia a la composición de los granos.

La mayoría de las arenas para fundición se componen amplia o totalmente de sílice (SiO_2). En algunos casos los granos de sílice están asociados a diminutas cantidades de feldespato, mica y otros minerales comunes. Muchas arenas de fundición contienen pequeñas cantidades de minerales tales como ilmenita (FeO-TiO_2), zirconio (Zr-SiO_4) u olivina ($\text{Mg-Fe}_2\text{-SiO}_4$). La olivina es un mineral natural que consiste de una solución sólida de ortosilicato de magnesio ($\text{Mg}_2\text{-SiO}_4$ -forsterita) y un ortosilicato de hierro ($\text{Fe}_2\text{-SiO}_4$ -fayalita). La composición de la olivina puede variar y sólo, la que tiene un elevado contenido de forsterita es útil como material de fundición. Una de las características principales de las arenas es su color, que depende de los minerales que contiene⁵.

3.2.2 Forma en que ocurren los depósitos de arena.

Los depósitos de arena para fundición son el producto de cambios en la superficie terrestre a través de los siglos por la acción del viento, el agua, el hielo y la nieve. La composición de los depósitos depende de la naturaleza de los materiales que fueron erosionados y la manera en que fueron depositados⁵.

Arenas de lago. Los ríos que fluyen sobre la superficie de la tierra pueden arrastrar una carga variable de minerales, la corriente rápida es capaz de acarrear materiales tanto finos como gruesos, la corriente lenta sólo puede transportar materiales finos, de esta forma, cuando un río entra en un lago la velocidad del agua disminuye y las partículas más gruesas se depositan primero, a continuación las medianas, en tanto que las partículas más finas son conducidas hasta aguas tranquilas. Por esta acción se clasifican los minerales cuando son depositados al ser arrastrados por una corriente de agua⁵.

Las arenas de sílice se acumularon por la deposición de arena a lo largo de las costas de los antiguos mares, en donde estos depósitos fueron enterrados bajo una capa gruesa de sedimento y posteriormente se consolidaron para formar piedra arenisca. El levantamiento y desplazamiento de la tierra en algunas áreas ha expuesto capas de piedra arenisca que afloran y surgen a través de la superficie de la tierra. Además, donde ha existido una fuerte erosión de los materiales que cubren la piedra arenisca, sólo queda una delgada capa que la cubre y permite la extracción de las arenas de sílice fácilmente.

Las arenas de lago son de origen geológico reciente y están compuestas de arenas producidas por erosión de rocas a lo largo de las orillas de los lagos, donde se han depositado para formar playas. Algunas arenas superficiales han sido desplazadas por el viento y en algunas áreas se les conoce como arenas de duna. Sin embargo, las dunas son parte del depósito de arena de un lago. Las arenas para fundición de diversos tipos se encuentran ampliamente distribuidas a través de la región de los grandes lagos en Norteamérica⁵.

Arenas de banco. Son el producto de la desintegración de piedra arenisca por la acción del tiempo. Estas arenas son esparcidas por el viento y cubren áreas extensas

amontonándose en forma de pequeños bancos. Las arenas de banco varían en pureza, dependiendo de los materiales extraños y minerales con los que se ha mezclado. En muchas áreas son de gran pureza y apropiados para su empleo en fundición⁵.

3.2.3 Constituyentes típicos de arenas sílicas tratadas.

Las arenas sílicas se caracterizan por tener una alta pureza y un comportamiento neutro. La mayoría de las partículas contenidas en las arenas son de naturaleza neutra, con la notable excepción de la olivina, las partículas contaminantes están contenidas en las arenas en un tamaño muy fino, en las mallas mayores al número de la serie 140 (106 μ m). Las arenas están compuestas casi en su totalidad de sílice, junto con esta se encuentran ciertos contaminantes que pueden ser benéficos para el momento de vaciar, algunos de los beneficios son reducción del carbón lustroso y control de los defectos por gases, estas mejoras se dan con los óxidos de hierro contenidos en la arena al poner en disposición oxígeno para las reacciones de descomposición de las resinas. Los constituyentes típicos de las arenas se pueden ver en la Tabla 3.1².

Tabla 3.1 Constituyentes químicos típicos de arenas tratadas de lago y sílice tratadas².

	Arena de Lago	Arena sílica
% SiO ₂	94.122	99.880
% Fe ₂ O ₃	0.483	0.011
% Al ₂ O ₃	2.370	0.050
% K ₂ O	0.110	0.003
% Na ₂ O	0.760	0.007
% CaO	0.522	0.010
% MgO	0.240	0.003
LOI(pérdidas por ignición)	0.343	0.036
Temperatura de Fusión °C	1247	1718

3.3 Preparación de mezclas de arena para los ensayos.

La base para todos los ensayos es la evaluación de las características de las mezclas de arena en forma normalizada y reproducible. El propósito de un ensayo es predecir el comportamiento de una mezcla durante la operación de colado.

Se ha cuestionado grandemente por la reproducibilidad de los resultados en los ensayos de arena, hay sectores que sostienen que es difícil obtener resultados consistentes por lo que cada prueba ha sido estudiada individualmente por la *American Foundrymen's Society* (AFS), la cual recomienda los siguientes puntos para obtener resultados confiables:

- 1) Las muestras de arena deben de ser siempre obtenidas bajo los mismos procedimientos establecidos.
- 2) Los ensayos sólo se podrán llevar a cabo bajo condiciones particulares bien detalladas.
- 3) El cuarto de ensayo debe estar libre de contaminantes.
- 4) Los ensayos deben de ser llevados a cabo por personal capacitado que se responsabilice de correlacionar la información obtenida en los ensayos⁵.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

3.3.1 Probetas estándar utilizadas en los ensayos de mezclas de arena para fundición.

Existen diferentes probetas estándar utilizadas en los ensayos para mezclas de arena, la probeta más utilizada es la de tipo hueso de perro o guitarra (*dog bone*). La diferencia entre las probetas es apreciable a simple vista ya que comprenden formas y secciones muy diferentes. La probeta tipo guitarra se utiliza en los ensayos de resistencia a la flexión y a la tensión a alta temperatura. Existen pruebas especiales donde se utiliza una configuración similar pero con una sección reducida⁵.

Existen otros tipos de probetas como son la circular, utilizada en los ensayos de resistencia a la compresión y resistencia transversal. Otras configuraciones de probetas están ligadas al tipo de prueba a la cual se va a someter, como son las probetas rectangulares para pruebas de distorsión en caliente y la probeta cilíndrica utilizada en ensayos de colapsabilidad.

3.4.1 Métodos para determinar la finura de las arenas y su distribución de tamaño.

La finura de una arena para fundición se determina por el tamaño y distribución de sus partículas. El objeto del ensayo es determinar el porcentaje de los diferentes tamaños de grano y la cantidad de arcilla en la arena si se encuentra contenida en la misma. El tamaño de grano de una arena es determinado mediante una prueba de análisis de malla y se denomina tamaño de grano AFS (*American Foundrymen's Society grain fineness number*, el AFS gfn). El AFS gfn y la distribución de mallas pueden ser calculados mediante esta prueba. Durante el análisis de malla, se toma una muestra representativa de arena y se coloca sobre un juego estándar de mallas. Una malla o criba es un tejido de alambre definido por el número de aberturas por pulgada lineal. Los números de las mallas y el tamaño de sus aberturas están dados en la Tabla 3.2. En tanto sea mayor el número de la malla menor será la abertura. Las mallas se colocan dentro de un instrumento giratorio excéntrico colocando la de mayor abertura en la parte superior. Se agita durante 15 minutos permitiendo que la arena migre a través de las aberturas de las mallas, después de transcurrido el tiempo, el retenido de cada malla se pesa y se calcula un promedio siendo éste el AFS gfn. El número de finura es aproximadamente el número de mallas por pulgada del tamiz que justamente dejaría pasar la muestra si sus granos fuesen de tamaño uniforme; es decir, el promedio sobre el tamaño de los granos de las muestras. Es aproximadamente proporcional al área de superficie por unidad de peso de una arena exenta de arcilla⁵. En la figura 3.1 se muestra el instrumento tipo excéntrico donde se coloca el juego de mallas donde se evalúa el AFS gfn y la distribución de mallas.

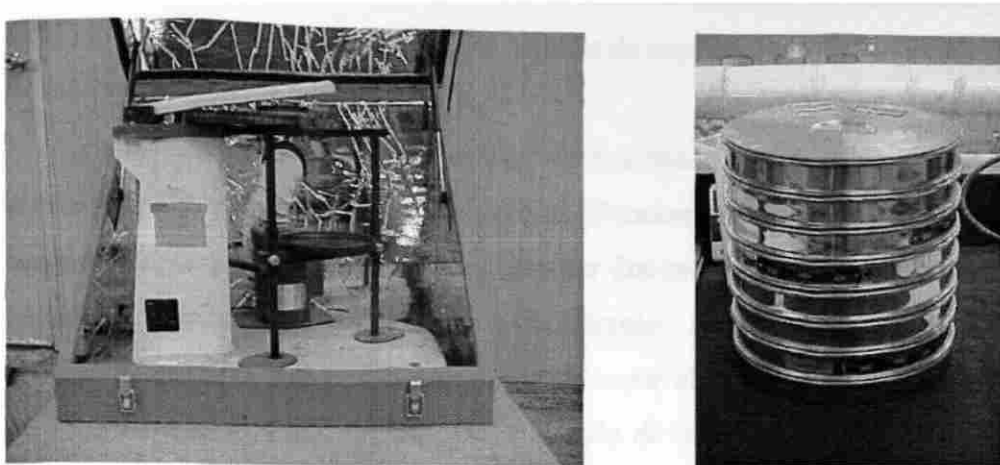


Figura 3.1 Instrumento tipo excéntrico Georg Fischer TM y su arreglo con las mallas USA Standard Testing Sieve para evaluar tamaño y distribución granulométrica en la arena.

El resultado del análisis indica si una arena es gruesa, mediana o fina. La arena es gruesa con AFS gfn menor a 45 y contenido de finos menor a 3%, la ventaja de este tipo de arena es que utiliza menor cantidad de resina para recubrir los granos, tiene mayor fluidez la mezcla y mejor permeabilidad de los corazones. La arena fina se considera con un AFS gfn mayor a 55 y un porcentaje de finos mayor a 7%, estos tipos de arena tienen una mayor área superficial lo que le otorga propiedades contrarias a las de una arena gruesa³. Los finos son las partículas contenidas en mallas mayores a la 140.

3.4.2 Aplicación de los resultados de las pruebas de granulometría.

La finura de la arena afecta algunas de las propiedades físicas que se pueden desarrollar en los corazones para fundición, entre estas están, resistencia, permeabilidad y así como el comportamiento en condiciones de humedad. La finura está relacionada también con la cantidad de material aglomerante a utilizar, así como con el aspecto del corazón y la textura que éste otorgará a la pieza fabricada. El ensayo es una herramienta

muy útil para obtener resultados consistentes en el proceso de fundición y como una forma de registrar resultados benéficos y tratar de mantenerlos.

En el ensayo de finura también se pueden conocer la distribución de grano de las arenas, no sólo el tamaño de los granos. Conocer la distribución de malla es una herramienta muy útil, ya que se pueden tener dos arenas con un mismo AFS gfn, pero con una distribución de grano muy diferente. La distribución de malla afecta principalmente a la resistencia que puede alcanzar el corazón, el acabado, así como su comportamiento a la penetración. Dependiendo de la distribución de malla presente en una arena se puede conocer el contacto entre los granos de arena⁶.

Tabla 3.2 Escala de las diferentes series de tamices³.

U.S. Series Número equivalente	Tyler Screen Sieves (aberturas por pulg. lineal)	Aberturas (mm)	Aberturas (in) Razón de 1.1414"	Variación posible en aberturas (%)	Diámetro del alambre (Décimas de in)	Abertura de malla (m)
4	4	4.699	0.1870	± 3	0.0650	4760
6	6	3.327	0.1320	± 3	0.0360	3327
8	8	2.362	0.0937	± 3	0.0350	2362
12	10	1.651	0.0661	± 3	0.0320	1651
16	14	1.167	0.0469	± 3	0.0250	1167
20	20	0.833	0.0331	± 5	0.0172	833
30	28	0.589	0.0232	± 5	0.0125	589
40	35	0.414	0.0165	± 5	0.0122	414
50	48	0.295	0.0117	± 5	0.0092	295
70	65	0.208	0.0083	± 5	0.0072	208
100	100	0.147	0.0059	± 6	0.0042	147
140	150	0.104	0.0041	± 6	0.0026	104
200	200	0.074	0.0029	± 7	0.0021	74
270	270	0.053	0.0021	± 7	0.0016	53

Las propiedades físicas de las arenas sólo pueden ser determinadas con ambas pruebas, análisis de granulometría y distribución de malla.

El ensayo puede utilizarse como guía para determinar la cantidad de materiales aglomerantes requeridos para producir las propiedades deseadas en una arena nueva y controlar las proporciones de material arcilloso, la cantidad de finos y la distribución apropiada de los tamaños de grano. El ensayo de finura también es una herramienta que muestra claramente en los sistemas que recuperan arena la cantidad de finos se crean al procesar la arena.

3.4.3 El área superficial en las arenas.

Las arenas que se utilizan en fundición son recubiertas con resina para provocar la unión de las mismas y formar corazones. La cantidad de aglomerante, tiempo y energía a utilizar para realizar esta operación está relacionada con el área superficial de las arenas. En la Tabla 3.3 se muestra como existe un sustancial incremento de área con el decremento del tamaño de las arenas⁵.

Tabla 3.3 Relación entre el tamaño de malla y el área superficial de las arenas ³ .		
Tamaño de grano (malla)	Área superficial (in ² /lb.)	Área superficial (mm ² /kg)
40	4300	13.52
50	6100	19.18
70	8600	27.04
100	12000	37.73
140	17000	53.45
200	24000	75.45

Se supone que arenas finas dan resistencias bajas a los moldes y corazones, debido al incremento de área superficial por lo tanto aumenta la cantidad de resina necesaria para llegar a las mismas resistencias que dan las arenas de granulometrías inferiores. Algunos investigadores han encontrado resultados contrarios a esta observación concluyendo que puede existir un aumento en la resistencia en arenas con granulometría fina al encontrarse más compactada³.

3.4.4 Clasificación de la forma de grano según norma AFS.

Para describir las formas de grano se han adoptado los términos redondeado, subangular, angular y compuesto, figura 3.2. Un depósito de arena puede estar compuesto de un solo tipo de forma de grano de arena o una combinación de varios.

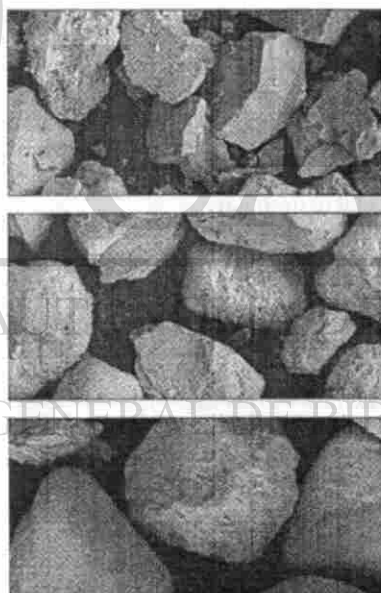


Figura 3.2 Clasificación de los granos de arena según su forma , arriba grano tipo angular, en medio grano tipo subangular, abajo grano tipo redondeado⁵.

La forma de grano afecta las propiedades físicas de los moldes⁵. Una arena con forma redondeada de grano requiere menores cantidades de aglomerante, comparada con las arenas que tienen forma angulares debido a que las arenas redondeadas tienen menor

área superficial, las arenas de forma redondeada también fluyen mejor y con esto conforman moldes y corazones más densos. Las arenas angulares son las de menor uso dentro de las fundiciones, ya que presentan muchos problemas de rompimientos de corazones por la configuración del grano además las arenas de forma angular tienen la desventaja de que los corazones muestran baja permeabilidad al acomodarse las partículas de una forma tal que obstruyen la salida de los gases de combustión de la resina.

3.4.5 Valor de demanda ácida y prueba de pH.

Las pruebas del valor de demanda ácida (ADV) y pH son otros dos ensayos que indican que hay impurezas que se encuentran en la arena. La prueba del ADV determina la cantidad de elementos alcalinos solubles en ácido. La prueba de pH indica la cantidad de elementos alcalinos solubles en agua. La arena alcalina (ADV mayor a 7 y pH mayor a 8) da menor vida de banco debido a que los componentes alcalinos neutralizan una porción de la resina y aceleran drásticamente la reacción entre las dos resinas. Los factores que pueden hacer que aumente el pH y el ADV de la arena son alto contenido de partículas finas contenidas en malla 270 o al fondo, en esta malla se concentran las arcillas y los finos que son de naturaleza básica. En la recuperación térmica de la arena se generan componentes alcalinos que se van acumulando en cada reciclaje de la arena y provoca el aumento de ADV y pH por lo que es necesario monitorear para tener un control de ambos.

3.4.6 Efecto de la humedad en la arena.

La presencia de agua en las materias primas es uno de los más grandes problemas que se deben evitar para conseguir un desarrollo de resistencia adecuado en los moldes y corazones y mantener la vida de banco. La presencia de humedad en la arena mayor a 0.2% disminuye la vida de banco y resistencia del corazón debido a que una

parte de la resina reacciona con el agua y degrada sus propiedades. Las fuentes de contaminación por agua pueden ser por condensación en los serpentines del sistema de enfriamiento de la arena, silos o tolvas de almacenamiento mal aisladas, alta humedad ambiental en periodo de lluvias o depósitos de aditivos y resina mal sellados, la figura 3.3 muestra el efecto de la humedad en la resistencia a la tensión⁷.

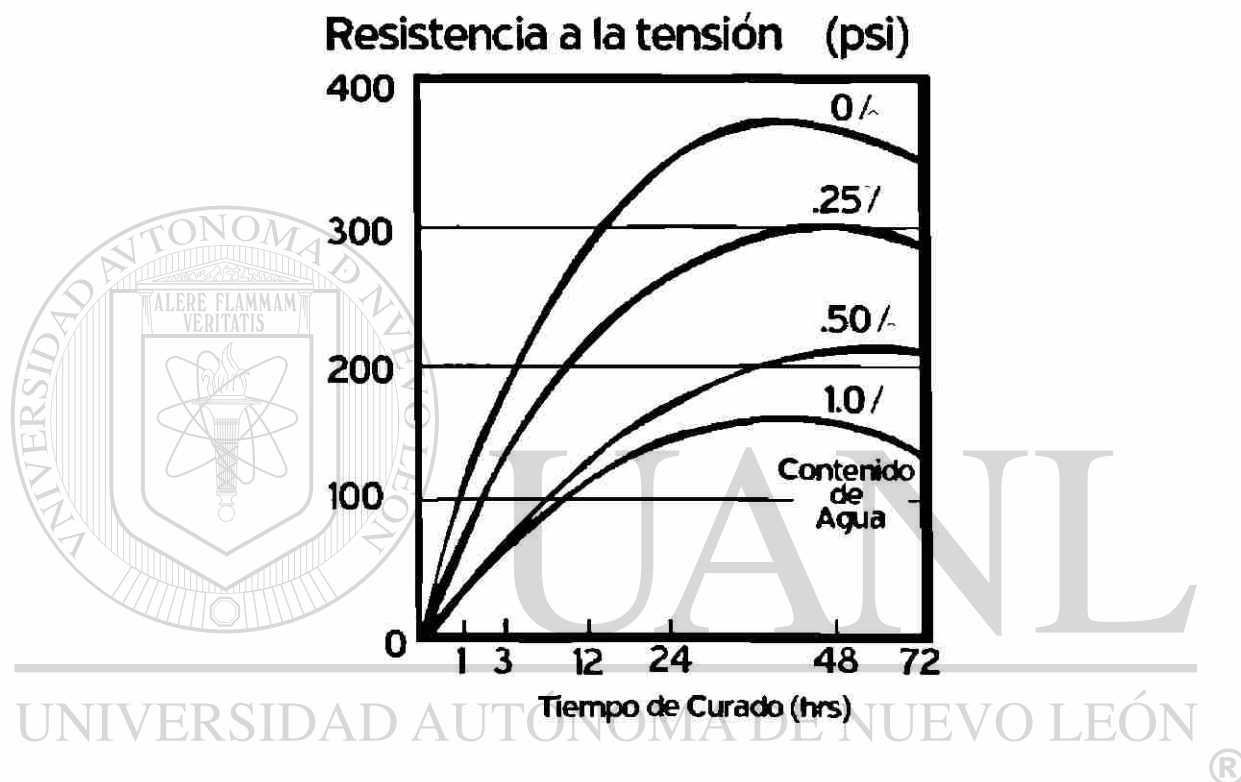


Figura 3.3. Efecto de la humedad en el desarrollo de la resistencia a la tracción².

3.4.7 Permeabilidad en las mezclas de arena y resina.

El ensayo de permeabilidad mide la habilidad para que una mezcla de arena recubierta permita el paso de los gases a través de la misma. La compactación de la arena depende de la presión de soplado al conformar el corazón o molde. Se puede ver que los sistemas que utilizan arenas de granulometría muy fina tienen como característica perjudicial el tener una permeabilidad muy baja aunque la calidad superficial de los moldes aumenta en gran medida. El ensayo de permeabilidad no es un

ensayo que se utilice frecuentemente como modo de control de la calidad de las arenas debido a la pobre repetición de resultados que se encuentra en el ensayo.

3.4.8 Temperaturas en las mezclas arena-resina.

Cuando las materias primas de los moldes se encuentran mezcladas se debe tener un control de la temperatura a la cual se encuentran dentro del proceso, un intervalo ideal sería el comprendido entre los 18 y 26 °C. Este control es debido a que a una temperatura mayor a 30°C la reacción entre las resinas se acelera y se acorta en gran medida la vida de banco. La arena con temperatura inferior a las 15°C retarda la reacción entre los componentes de las mezclas provocando corazones sin curar. No tener un control de temperatura y no mantenerla en este intervalo provoca la inconsistencia en el proceso⁸.

3.4.9 Características térmicas de la arena sílice.

Las arenas de uso más difundido son las que están constituidas mayormente por sílice. Estas arenas tienen un cierto número de desventajas en el moldeo debido a sus propiedades térmicas con respecto a otro tipo de arenas que ofrecen características importantes al momento de utilizarse en los moldes. Estas arenas son las de zirconio, la de cromita y la de olivina.

La característica más importante de estos materiales es que tienen una conductividad térmica mucho mayor que la que presenta la sílice y una menor expansión térmica, lo que al momento de vaciar el metal ayuda a que no se presenten defectos relacionados con la distorsión del molde. En la Tabla 3.4 se presentan las características físicas principales de estas arenas comparadas con la de sílice. El uso de la sílice se justifica por el precio que tiene a comparación de los demás materiales además que esta disponible en una amplia gama de granulometrías⁹.

Tabla 3.4 Propiedades de las arenas comparadas con la arena sílica ¹¹ .				
Propiedad	Sílica	zirconio	Cromita	Olivina
AFS gfn	60	102	74	65
Forma de grano	Redondeado	Redondo	Angular	Angular
Gravedad específica	2.65	4.66	4.52	3.30
Expansión térmica 20-1200°C	1.90% No lineal	0.45%	0.60%	1.10%
Aplicación	General	Resistencia a altas temperaturas	Resistencia a la penetración	Aceros al Manganeso

La arena sílice tiene una alta expansión térmica, la cual puede dar lugar a defectos en las piezas tales como problemas dimensionales, penetración de metal, grietas y escamas.

Hay que notar que la conducción térmica de la arena de sílice es muy baja por lo que el calor se concentra sólo en una pequeña capa del molde, la que se encuentra más cerca del contacto con el material y ésta causa una expansión térmica hasta cierta profundidad, en tanto que el material que se encuentra detrás no, provocando una expansión no homogénea, que es la que puede causar problemas al momento de vaciar^{11.12}.

3.4.10 Pérdidas por ignición.

La prueba de pérdidas por ignición (LOI por sus siglas en inglés) es un ensayo que se utiliza para determinar el porcentaje de materiales orgánicos que se encuentran en la arena. Este ensayo se utiliza con arena nueva, recubierta o recuperada. Típicamente este ensayo se corre tomando una muestra de arena de entre 4 y 6 gramos y se expone

durante una hora a 980°C. El LOI se registrará como el porcentaje de cambio de peso de la arena después de transcurrir el tiempo a alta temperatura. Este ensayo tiene gran utilidad para tener un control del proceso de recuperación de la arena y conocer que tan eficiente es el proceso de recuperación de arena³.

3.5 Parte química, sistemas de mezclas.

Desde la introducción de los sistemas fenólicos-uretánicos, estos han constado de tres partes; Una resina fenólica modificada, parte I, un poli-isocianato, parte II y una amina terciaria, parte III que es utilizado como catalizador. Cada resina consta de diferentes componentes. La resina parte I contiene la parte fenol-formaldehído, solventes y aditivos. La resina fenol-formaldehído constituye del 45 al 60% dentro de la parte I.

La resina parte I controla las características de resistencia a la tensión y resistencia en caliente en el sistema fenólico-uretánico. Los solventes constituyen de un 40 a 60% de la parte I y variarán sus contenidos según los tipos. Los solventes son mezclas complejas de alto punto de ebullición de hidrocarburos aromáticos, en general el propósito de los solventes es disolver la resina para disminuir la viscosidad y facilitar su manejo.

Una resina fenol-formaldehído por sí sola tiene una viscosidad muy elevada que impide su utilización, por lo tanto los solventes ayudan a reducirle la viscosidad a un nivel en el que pueda ser utilizada.

Otra característica de los solventes es que no deben de interferir en la reacción subsiguiente con la parte II. Los aditivos, si están presentes, constituyen del 1 al 5% y son ingredientes utilizados para mejorar el desmoldeado y la resistencia a la humedad.

La parte II esta constituida por el isocianato de MDI polimérico, solventes y aditivos. MDI son la siglas para designar al *Methylene Diphenyl Disocyanate*, propiamente llamado Difenilmetano de isocianato que se produce de la anilina y el formaldehído en una reacción de condensación que produce una mezcla compleja de poliaminas las cuales reaccionan químicamente para obtener una mezcla de poliisocianato. Este producto es el que se conoce como el MDI polimérico. El grupo de isocianato es el que le da gran utilidad a la molécula obtenida, ya que puede reaccionar con un grupo hidroxilo activo, tal como el de la resina fenol-formaldehído, contenido en la parte I para formar un uretano. Se debe evitar la reacción entre las partes I y II en presencia de agua, ya que el resultado sería una poliurea, que no es un compuesto tan fuerte como el que se lograría si se obtuviera una resina uretánica¹³. La parte II reacciona en su componente isocianato contenido(R-N=C=O) con el agua de acuerdo a la reacción (1):



Los productos resultantes son una amina orgánica y dióxido de carbono, lo que reduce la eficiencia en la reacción a medida que este progresa⁷.

Las propiedades de resistencia a la tensión y en caliente, que dependen de la parte I, son reducidas drásticamente cuando agua o humedad entran en contacto con el sistema.

La resistencia a la humedad, desarrollo de resistencia, resistencia en caliente, contenido de nitrógeno y características de flexión varía según el tipo de isocianato utilizado. El contenido de MDI puede variar en la parte II de 60 a 80%. Los solventes utilizados en la parte II también sirven para disolver y no interfieren con su reacción con la parte I y constituyen de un 20 a un 40%. Los aditivos en la parte II se emplean para mejorar el desmoldeado, incrementar la resistencia a la humedad y mejorar la vida de banco, los aditivos, si están presentes se utilizan del 1-10% de la parte II¹³.

Para obtener un corazón o molde las dos partes se llevan junto con la arena para mezclarse y posteriormente soplar dentro de una caja para reproducir un modelo. Para acelerar la reacciones entre las dos resinas se utiliza un catalizador. Los catalizadores vaporizados curan los dos componentes de la resina instantáneamente cuando pasan a través del molde o corazón. Los posibles catalizadores químicos son llamados aminas terciarias, como es la TEA trietilamina y la DMEA dimetiletilamina. La TEA es destinada para grandes volúmenes de producción y donde el olor que se desea sea menos ofensivo, tiene un mayor punto de ignición que la DMEA. La DMEA es también para grandes volúmenes de producción pero utiliza como gas acarreador N_2 o CO_2 . La TEA necesita 7.8 veces más gas inerte o aire para repartir la misma cantidad de amina para los corazones, por lo tanto la DMEA es más reactiva pero es mucho más costosa¹³.

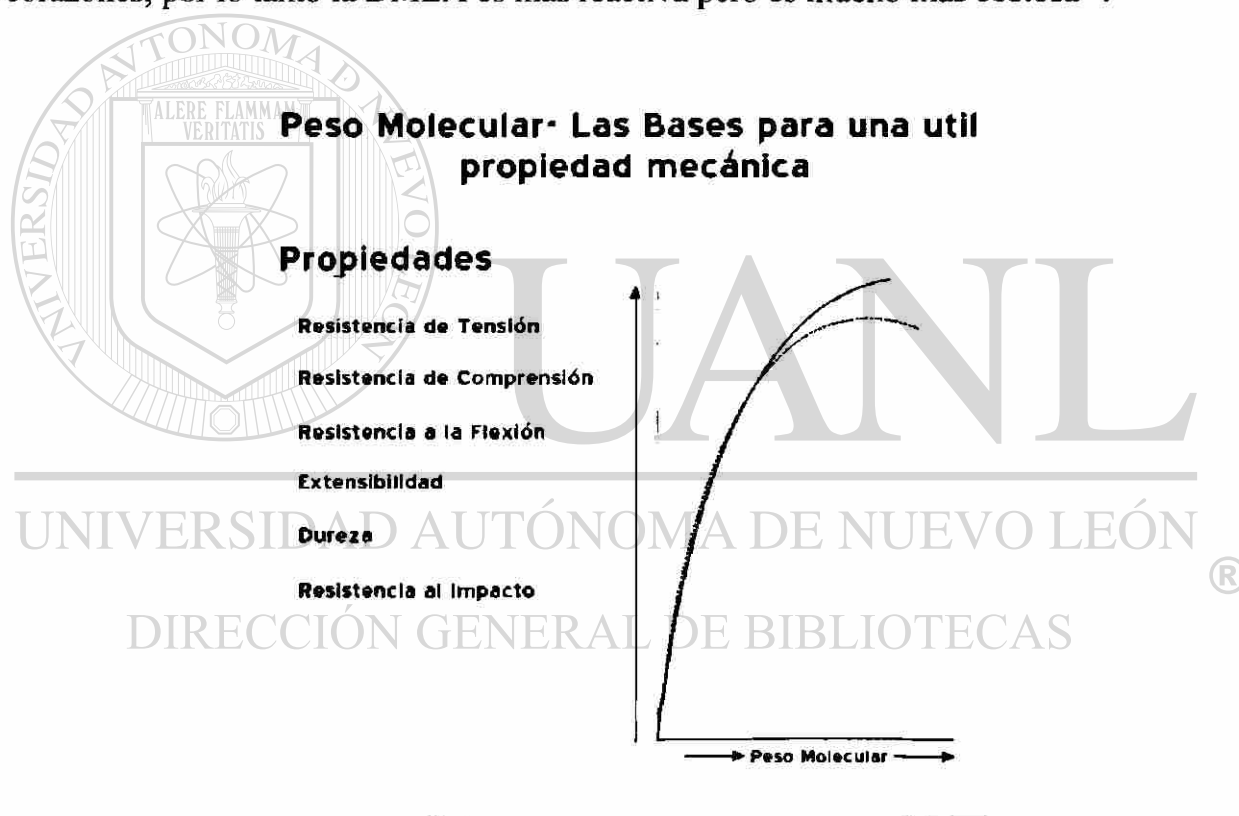


Figura 3.4 Relación entre las propiedades mecánicas de un sistema de resinas y el peso molecular.

Al reaccionar las parte I y la II en presencia del catalizador se da un proceso de polimerización entre las dos resinas, transformándose la mezcla de estado líquido a sólido. Al ser curadas la resinas se da un fenómeno de entrecruzamiento que es el que

otorga las propiedades mecánicas al polímero. En la figura 3.4 se puede ver como conforme avanza el peso molecular de una resina las propiedades mecánicas mejoran¹⁴.

3.5.1 Pruebas realizadas a las resinas.

Las resinas al ser materiales altamente reactivos, deben tener un estricto control para poder conseguir que muestren resultados consistentes al momento de utilizarlas para producir moldes y corazones para fundición, en la Tabla 3.5 se enlistan los tipos de pruebas que se realizan, así como las características que se evalúan en cada una de las resinas. Estas pruebas se utilizan para garantizar que las características de las resinas se encuentren dentro del nivel que les permita ser utilizadas, pero no se utilizan como control de calidad de las mismas.

Prueba	Resultado que proporciona
Índice de refracción	Indica el nivel y tipo de solvente contenido en la resina.
Gravedad específica	Avance de peso molecular, tipo y nivel de solvente.
Apariencia	Claridad, separación de capas y color.
Prueba de gelado	Reactividad del sistema.
Termogravimetría	Cantidad de materiales volátiles de bajo peso molecular y alto peso molecular y compuestos no volátiles.
Viscosidad	Cambios en peso molecular, grado de desmoldeado, nivel y tipo de solvente.

3.5.2 Importancia de las características de las resinas.

Como los tiempos de almacenamiento de las resinas fenólicas son prolongados (hasta un año), se debe de tener un conocimiento de las principales características de la resina que influyen sobre la calidad en su utilización.

Viscosidad. La viscosidad de los sistemas de resina es un factor que se debe de tomar en cuenta, ya que una alta viscosidad puede ocasionar problemas al momento de mezclar las dos partes de la resina. Tener una viscosidad adecuada ayudará a que las resinas puedan recubrir total y más fácilmente los granos de arena al momento de mezclarse.

La viscosidad está relacionada con algunos factores como son el peso molecular y el índice de polidispersidad¹⁵.

Relación entre viscosidad y peso molecular promedio. La viscosidad en un sistema polimérico es directamente influenciada por el peso molecular promedio (Mn).

A mayor viscosidad mayor Mn, lo anterior se basa en que una macromolécula ofrece mayor resistencia a ser desplazada que una molécula de menor tamaño¹⁵.

Relación entre viscosidad y el índice de polidispersidad. Este es otro factor importante que influye sobre la viscosidad de un sistema de resinas, el índice de polidispersidad (IP) puede variar a pesos moleculares idénticos. Un valor de IP de 1 indica que el polímero es monodisperso o sea sus moléculas son de un mismo tamaño mientras un valor alejado de la unidad indica que es un polímero polidisperso, es decir existen una gran cantidad de moléculas de diferentes tamaños, si los dos polímeros tiene un mismo Mn y diferente IP la viscosidad podrá ser diferente dependiendo del tamaño de moléculas que prevalezca en cada sistema polimérico¹⁵.

3.6 Pruebas realizadas a los moldes y corazones con arena químicamente unida.

Las pruebas que se utilizan para controlar un proceso donde se utiliza un aglomerante químico se realizan en menores cantidades en comparación a un sistema de moldeo en verde. Los procedimientos utilizados son muy claros y están normalizados por la *American Foundrymen's Society* (AFS). En los siguientes apartados se hablará de estas pruebas, su procedimiento y el alcance que se puede tener con los resultados.

3.6.1 Prueba de resistencia a la tracción.

La resistencia a la tracción de una mezcla de arena de moldeo es la resistencia máxima que la mezcla es capaz de soportar cuando se le prepara y ensaya. Esta es la prueba más difundida y la más utilizada como parámetro de control del proceso. Es un ensayo que se realiza rápidamente a nivel laboratorio. Este ensayo no tiene una aplicabilidad muy amplia y la interpretación de los resultados debe ser muy estricta. Esta prueba ha sido correlacionada de buena manera con la resistencia transversal y la dureza al rayado por algunos investigadores¹⁶.

Con este tipo de prueba se puede tener un control al mínimo de las características que se necesitan en los moldes o corazones, sin embargo intentar un control al máximo no es posible.

La prueba se realiza tomando arena ya sea directamente de los mezcladores utilizados en proceso o realizando una mezcla a nivel laboratorio y soplando la probeta tipo guitarra en un equipo especialmente diseñado para obtener tres probetas y ensayarlas. El ensayo se debe de realizar a diferentes tiempos de vida de banco para conocer el desarrollo de resistencia. El equipo donde se soplan las muestras y la máquina de ensayo se muestran en las figuras 3.5 y 3.6 respectivamente.

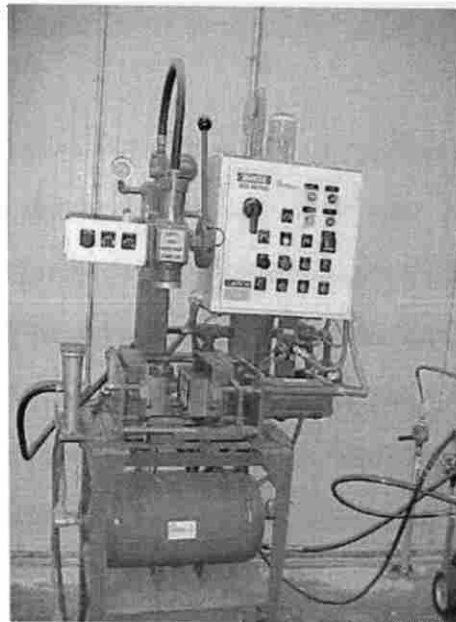


Figura 3.5 Máquina sopladora de especímenes Redford Carver TM Mod. HBT con marcadores de tiempo para regular los ciclos de soplado, inyección de amina y purgado.

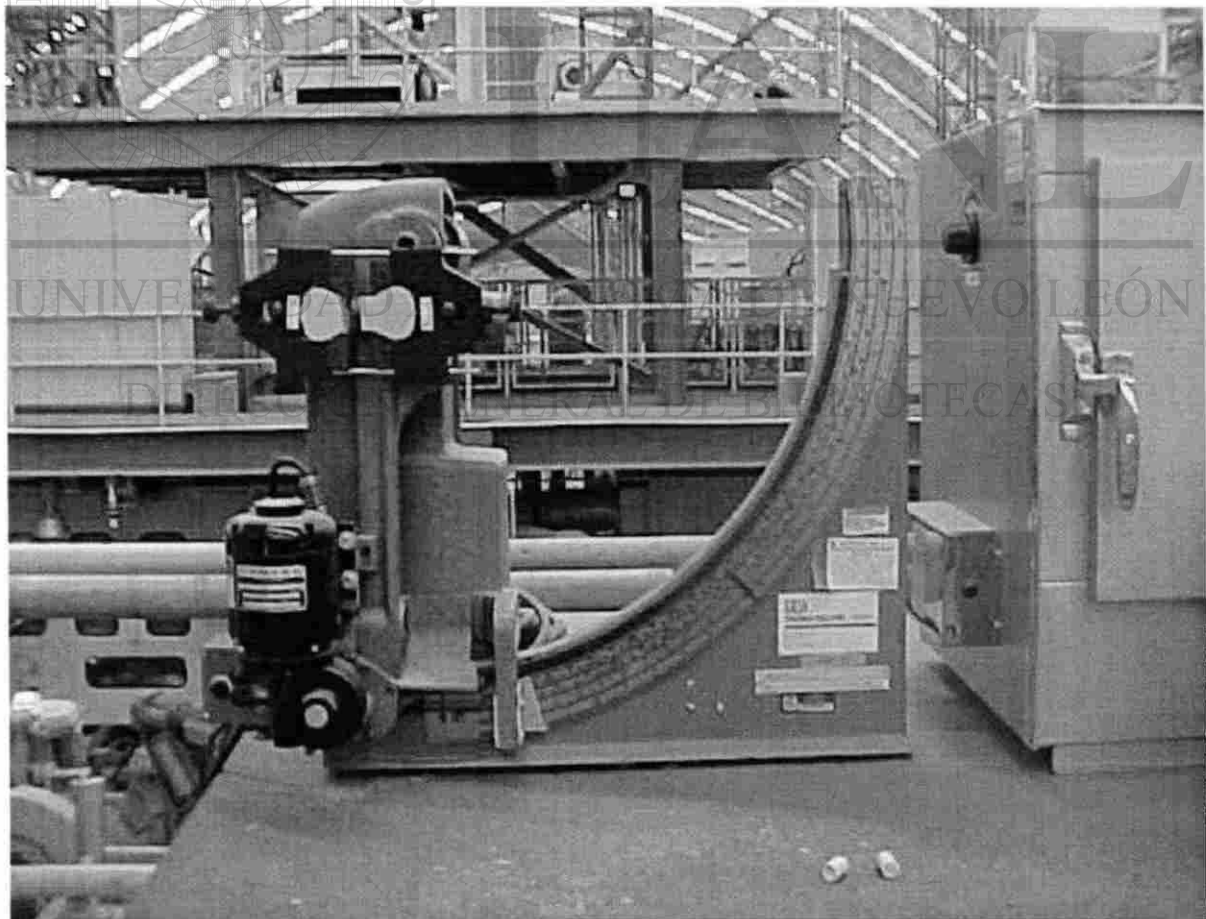


Figura 3.6 Tipo de instrumento de peso muerto Georg Fischer TM, accionado por motor, para determinar la resistencia a la tensión de probetas de arena químicamente unida.

3.6.2 Resistencia transversal.

La resistencia transversal es una excelente alternativa para llevar a cabo un control de proceso. Los resultados de esta prueba pueden ser más fácilmente aplicados al proceso ya que el comportamiento de los moldes es generalmente en compresión y no en tensión, por esto la ventaja de este ensayo. Este ensayo utiliza probetas de sección delgada. El hecho que se tenga un espesor delgado de la probeta refleja más apropiadamente como será el comportamiento de los moldes o corazones al existir en configuraciones complejas y delgadas como se presentan en la mayoría de los productos.

3.6.3 Dureza de la superficie de los moldes de arena.

La dureza con la cual se apisona o sopla un molde afecta casi todas las propiedades físicas de los moldes de arena, resistencia, deformación, tenacidad, permeabilidad, densidad, resistencia en caliente, expansión y contracción.

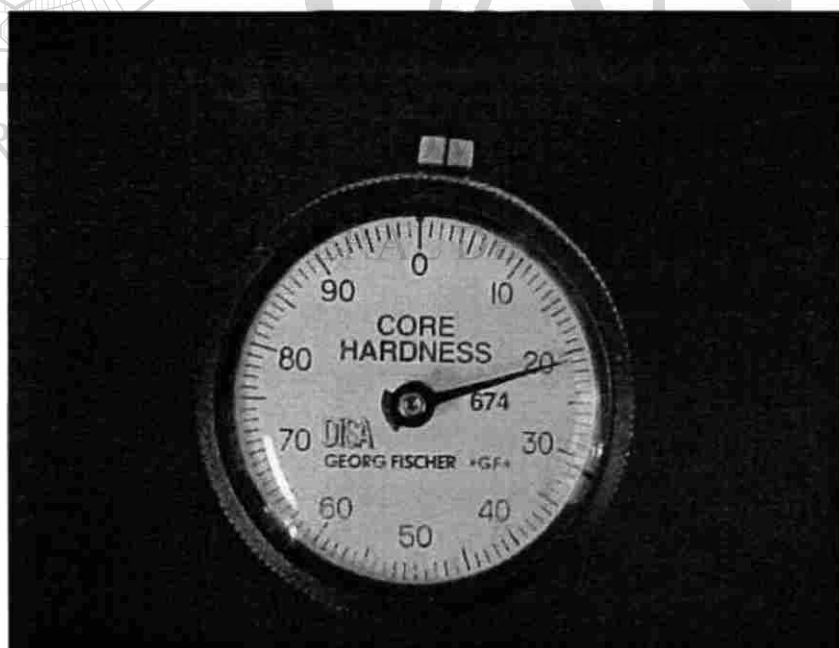


Figura 3.7 Instrumento Georg Fischer Mod. 674 TM para medición de dureza por rayado rotatorio.

La dureza de la superficie de un molde, es la resistencia que ofrece a la penetración de un indentador bajo carga.

El instrumento para determinar este tipo de dureza debe medir la profundidad de penetración de un indentador cuya carga sea aplicada a la superficie del molde en un ángulo de 90 grados. El instrumento de medición debe estar equipado con un dispositivo indicador que registre la penetración del indentador en milésimas de pulgada y se muestra en la figura 3.7. La ventaja que se obtiene con el uso de probador de durezas es la de normalizar el grado de apisonado. La dureza puede ser regulada por un ajuste apropiado de la máquina y del proceso de moldeo⁵.

3.6.4 Evolución de gases.

La cantidad de gas generado en el interior de un corazón o molde de arena durante el proceso de horneado, colado y solidificación es una característica importante que se debe conocer para obtener piezas con un mínimo de defectos¹⁰.

Los corazones producidos en caja fría generalmente muestran una menor tendencia a producir defectos por gases que los demás procesos de moldeo con arena unida químicamente. El contenido de gas de un corazón horneado o de un material de moldeo puede determinarse volumétricamente calentando una muestra de arena previamente pesada dentro de un tubo sellado del cual se remueve el oxígeno y al cual se le ha conectado una bureta para la apropiada medición del gas.

El empleo de gas neutro para formar la atmósfera alrededor de la muestra de arena hace que este ensayo difiera por completo de los ensayos de pérdida por ignición.

La figura 3.8 muestra los niveles de producción de gases de algunos sistemas de aglomerantes orgánicos.

Del gráfico de la figura 3.8 se ve que los sistemas de caja fría son los que muestran menor producción de gases con menor proporción de aglomerante. Si se utilizan

menores contenidos de aglomerante la producción de gases deberá disminuir proporcionalmente¹⁷.

Como sucede en todos los sistemas de aglomerantes orgánicos, los gases liberados por los corazones de caja fría, contiene nitrógeno e hidrógeno que pueden ser disueltos en el metal. Utilizar una relación a favor del a parte I de resina, 60/40, 55/45, ayuda a disminuir la cantidad de evolución de nitrógeno y elimina porosidades en las piezas fundidas con metales ferrosos, Figura 3.9.



Figura 3.8 Nivel de gas típico de algunos sistemas de resinas¹⁷.

Cuando se tiene formación de porosidades sub-superficiales por la evolución de gases, es práctica común utilizar óxido de hierro en adiciones de hasta 0.25% en peso de la arena con efectos favorables. Algunas arenas que tienen óxido de hierro en sus componentes, han demostrado que no presentan problemas por formación de porosidades sub-superficiales en las piezas fundidas.

En el caso de aleaciones ligeras tales como aluminio y magnesio, la adición de inhibidores tales como fluoroborato de amonio, azufre y fluoroborato de potasio, en cantidades de hasta 1%, han dado resultados positivos en lo que a eliminación de porosidades sub-superficiales se refiere.

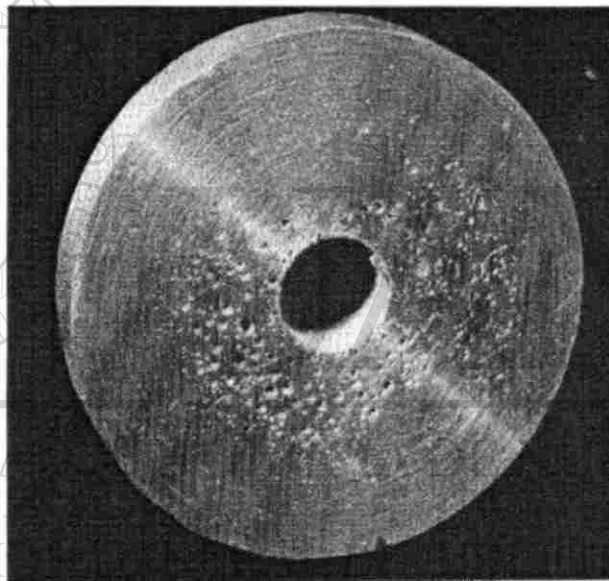
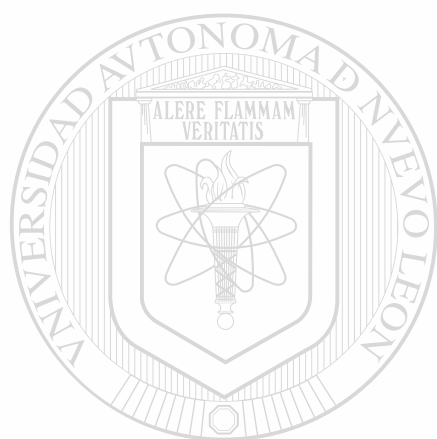


Figura 3.9 Aspecto de una pieza fundida con problemas de porosidad, debido a un elevado contenido de resina ¹¹.

En resumen, las materias primas utilizadas en el proceso de moldeo fenólico-uretánico en caja fría son parte altamente influyente en la elaboración de los moldes y corazones. La selección de estos materiales debe de considerar factores que no pueden ser controlados dentro del proceso como es la temperatura ambiente y la humedad relativa.

Una vez seleccionada la materia prima a utilizar en el proceso se deben monitorear constantemente los cambios que pueda sufrir con el tiempo, así como la influencia de las condiciones ambientales sobre la misma.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Capítulo IV

Proceso de Moldeo en Caja Fría

4.1 Proceso de moldeo de caja fría fenol-uretano.

El proceso Fenólico/Uretano/Amina es un proceso donde el curado de los moldes y corazones se realiza poniendo la mezcla de resina con arena en contacto con la superficie de un modelo para reproducir con exactitud las impresiones y asegurando la resistencia sin el uso de calor externo. En el curado se utiliza un catalizador que pasa a través de la mezcla de arena compactada provocando la reacción de curado instantáneamente.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Reacción Química en el sistema fenólico uretano en caja fría

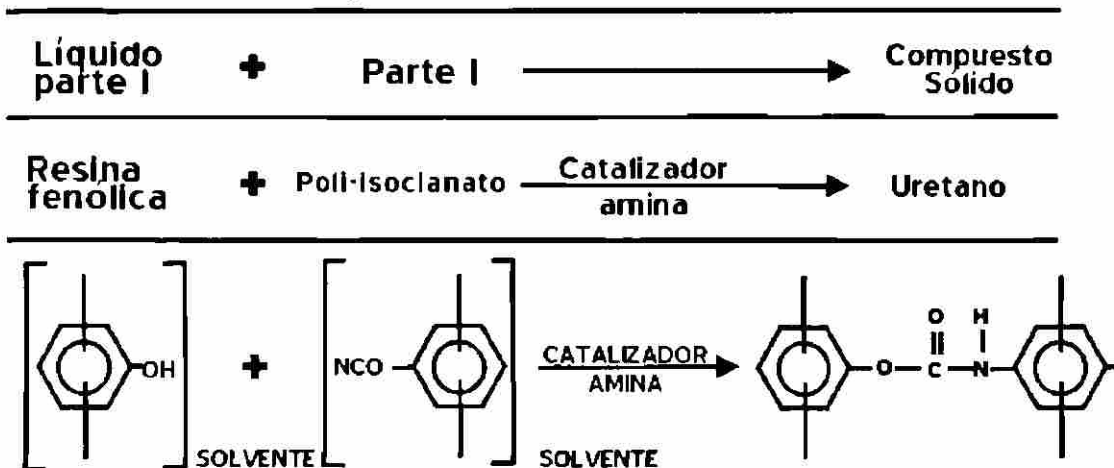


Figura 4.1 Reacción típica en el proceso fenólico-uretánico en caja fría².

En el proceso Fenólico/Uretano/Amina el paquete químico utiliza tres componentes, una resina fenólica disuelta en solventes (parte I) y una resina de isocianato disuelta en solventes (parte II). El tercer componente es el catalizador que es el promotor de la reacción, figura 4.1².

4.1.1 Consideraciones sobre el control de las variables en el proceso fenólico-uretánico en caja fría.

En la figura 4.2 se puede ver los pasos principales del proceso para producir moldes y corazones por el sistema de caja fría. El proceso se realiza dentro de aparatos denominados mezcladoras y sopladoras.

Las máquinas más utilizadas en el ámbito industrial para la elaboración de corazones de arena son conocidas como sopladoras. El ciclo de operación de estos equipos es de tres etapas básicas¹⁸.

- Soplado.
- Curado: gaseado y purgado
- Extracción

Etapa de soplado. Es la primera etapa del ciclo de operación de la máquina, en la cual se lleva a cabo la formación del corazón mediante la introducción de la mezcla arena-resinas dentro del molde previamente sellado.

Etapa de curado. Es la segunda etapa del ciclo de operación de la máquina, la cual consta de dos operaciones principales, gaseado y purgado, cuya ejecución dará al corazón la dureza y consistencia requerida para su manejo hasta la fase de moldeo.

La operación de gaseado consiste en la inyección del gas catalizador a la caja de corazones a través del múltiple de gas con el fin de acelerar el proceso de curado.

Después de la operación de gaseado continúa la operación de purgado, que consiste en la inyección de una corriente de aire a través del mismo múltiple de gas para asegurar la correcta penetración del catalizador en el corazón, así como la extracción de la caja de corazones.

Etapa de extracción. Es la tercera y última etapa del ciclo de operación de la máquina, sirve para extraer el corazón del interior de la de la caja de corazones¹⁹.

Arreglo del proceso caja fría

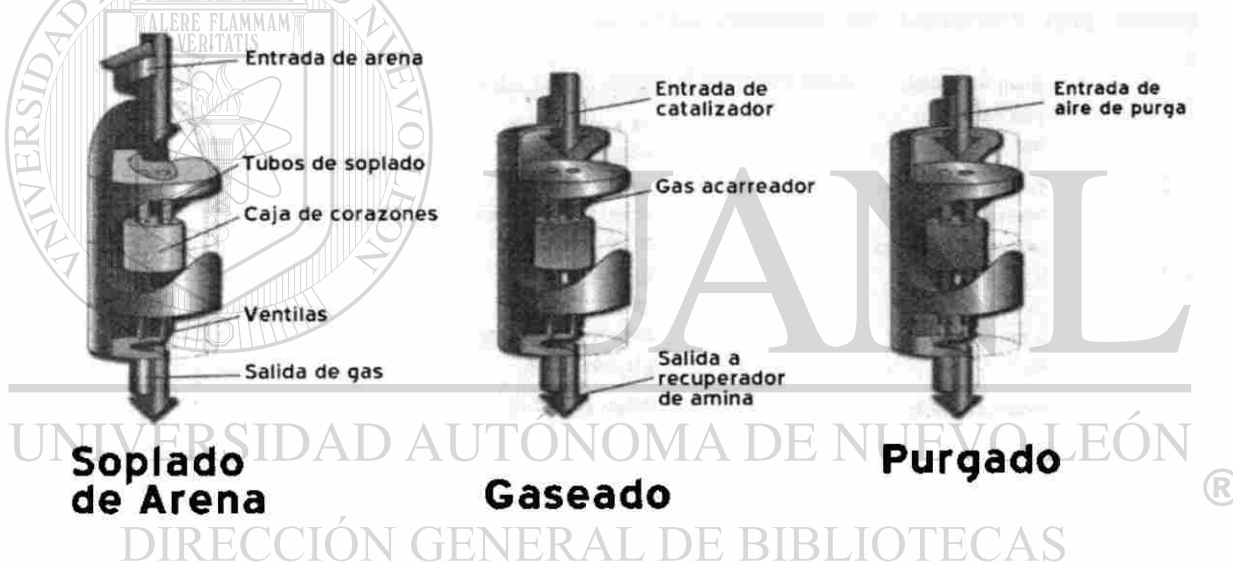


Figura 4.2 Representación esquemática del proceso fenólico-uretánico en caja fría²⁰.

El exceso de catalizador se purga a través de un colector de extracción (scrubber) y posteriormente se elimina, ya sea por combustión o por neutralización química.

Los componentes líquidos del proceso de caja fría tienen una formulación especial de baja viscosidad que permiten el fácil bombeo y producen junto con la arena

una mezcla muy fluida. Al reaccionar las dos partes de resina se produce un sólido uretánico que es el que une los granos de arena entre sí.

4.2 Mezclado de la arena con la resina.

Al ser las resinas componentes de baja viscosidad, su mezcla con la arena es muy efectiva y fácil de conseguir utilizando cualquier tipo de mezcladores.

El mezclador utilizado debe de proveer el mínimo calentamiento de la arena al realizar su función y debe ser de dimensiones tales que produzca cantidades que puedan ser consumidas rápidamente en el proceso.

En los procesos de fundición existe un gran número de variables que afectan el comportamiento de la mezcla, algunos de estos factores son:

- a) Tipo de mezclador.
- a) Tipo de arena.
- b) Temperatura de la arena.
- c) Relación de contenido de resina.
- d) Porcentaje de resina en la mezcla.

En el proceso la práctica usual es agregar las resinas parte I y parte II simultáneamente dentro del mezclador, si el sistema consiste de resinas premezcladas éstas deben de tener un consumo inmediato ya que alcanzan a reaccionar entre sí lentamente en ausencia de catalizador.

Las resinas deben de utilizarse a una temperatura lo más cercana a la temperatura ambiente, ya que a baja temperatura la viscosidad de la parte I aumenta, dificultando su bombeo. Al transportar la mezcla de arena se debe de evitar su exposición al aire para evitar la evaporación de los solventes (componentes de las resinas) a la vez que se debe

de evitar la contaminación de la mezcla de arena con humedad, arena seca, cereales u otros tipos de arena²⁰.

Las piezas que se fabrican con el proceso son llamadas moldes o corazones, el término corazón es utilizado para identificar la parte que formará una cavidad o hueco en el interior de una pieza fabricada a base de un metal fundido, vaciado y solidificado.

4.3 Clasificación de los corazones para fundición.

Los corazones para fundición se clasifican en dos tipos atendiendo a los materiales con que son fabricados: corazones metálicos y corazones de arena. En base a la complejidad de la configuración que se requiera en la pieza y las condiciones de trabajo, los corazones tanto metálicos como de arena, se dividen en cinco clases, figura 4.3¹⁹.



Figura 4.3 Clasificación de los corazones según su configuración¹⁹.

Clase I. Son corazones de configuración complicada que crean en la pieza solidificada cavidades que no se podrían labrar; se aplican a cavidades en las que se requiere un excelente acabado superficial

Clase II. Son corazones de configuración complicada que, además de partes gruesas, tienen salientes delgadas.

Clase III. Son corazones de complejidad media, sin partes muy delgadas. Estos corazones hacen cavidades en la pieza de elevadas características superficiales.

Clase IV. Son corazones de configuración que crean en la pieza superficies de rugosidad considerable. Se aplican en condiciones donde el acabado superficial no requiera especial atención.

Clase V. Son corazones gruesos que forman grandes cavidades en piezas de gran tamaño.

4.4 Métodos de llenado de las cajas de corazones.

Al tener la mezcla de arena y resina gran fluidez, se pueden utilizar diferentes métodos para llenado de las cajas de corazones, aún configuraciones difíciles como esquinas se llenan fácilmente en este proceso. La buena compactación del corazón da mejores propiedades de acabado a las piezas fundidas y se mejoran significativamente las propiedades de resistencia .

La presión de soplado a la cual opera la máquina es determinante para la calidad del macho. Presiones bajas dan corazones de baja densidad, presiones muy altas dan como resultado adherencia del corazón a la caja al conducir la resina a la capa externa del corazón y provoca adherencia con la caja, múltiples capas generalmente se forman a

la salida de los tubos de llenado al ser la fuerza de soplado muy grande al impactarse los granos de arena contra las paredes la resina se les desprende y se pega en la pared formando una capa acumulativa, la formación de esta capa causa dos problemas principalmente, dificultad para el desmoldeado y corazones rotos.

4.5 Materiales de construcción de las cajas de corazones.

Al ser el proceso de caja fría llevado a temperatura ambiente, los materiales de construcción de las cajas de corazones no tienen que ser necesariamente metálicos, como es el caso de los procesos que utilizan calor para su curado.

El hierro gris es el material más comúnmente utilizado, pero también se utilizan otros materiales como el aluminio, epoxi, uretano y madera, resultando con menores costos.

Las cajas metálicas tienen un alto costo inicial de construcción, pero tienen una gran resistencia a los solventes, al rayado y al deterioro en general. Las características de las cajas de corazones mayormente empleados en la industria se enlistan en la Tabla 4.1²⁰.

Tabla 4.1 Vida útil de algunas cajas de corazón construidas con diferentes materiales ²⁰ .			
	Ciclos de soplado	Resistencia a solventes	Extracción de corazón
Hierro gris	70 000	Excelente	Excelente
Aleación de Al	4 000	Excelente	Buena
Epoxi laminado	60 000	Buena	Regular
Madera barnizada	2 000	Pobre	Regular

Para aumentar la vida de las cajas de aluminio y epoxi, se les suele recubrir con una capa de níquel.

4.6 Tubos de soplado y vientos.

Cuanto mayor es el corazón mayor debe ser el diámetro de los tubos de soplado. El uso de tubos de soplado de mayor diámetro da como resultado que el corazón pueda soplarse con éxito utilizando bajas presiones y, por lo tanto, bajas velocidades de entrada de la mezcla de arena.

El dimensionado y la ubicación de los tubos de soplado, dependen principalmente de la configuración del corazón. El soplado de la mezcla de la arena dentro de la cavidad requiere que la arena se desplace perpendicularmente a la dirección del tubo de soplado. Los tubos deben estar siempre colocados sobre la sección más profunda y densa del corazón y no sobre superficies planas o inclinadas de la caja. La velocidad de curado del corazón depende de la relación del área de entrada al área de salida de los gases que debe ser aproximadamente de 1: 0.7. En ningún caso el área de salida debe ser mayor al área de entrada.

La colocación estratégica de los vientos determina que el catalizador pase a través de todas las secciones del corazón¹³.

4.7 Efecto del porcentaje de resina en las propiedades de los corazones.

El porcentaje de aglomerante que se utiliza está relacionado con la resistencia que se desea imprimir al corazón en el momento que se extrae de la caja de corazones²⁰. Los moldes o corazones al momento de ser extraído desarrollan aproximadamente un 60% de su resistencia total. Un esquema de cómo aumenta la resistencia con el tiempo es observado en la figura 4.4. El proceso fenólico-uretánico en caja fría se distingue por los bajos porcentajes de aglomerante utilizados.

El usar cantidades mínimas de aglomerante otorga ciertos beneficios como son:

- Menor producción de gases durante la fusión.
- Menor tendencia a adherirse los moldes o corazones a la caja de corazón.
- Facilita el desarenado.

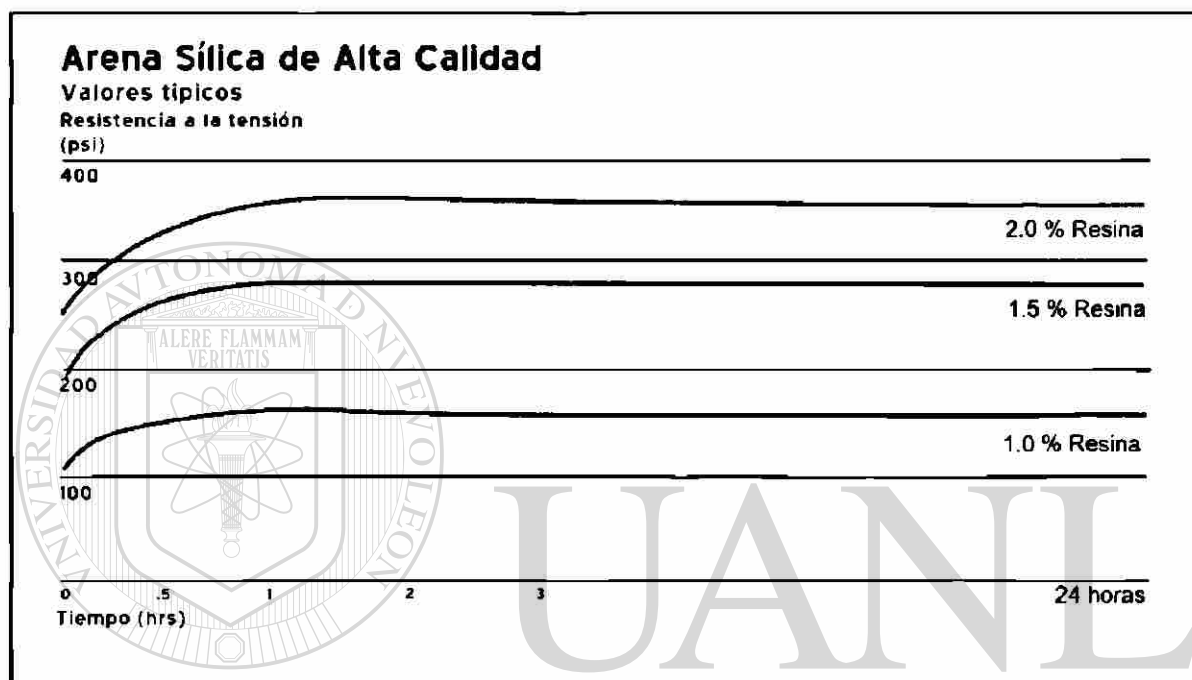


Figura 4.4. Relación del desarrollo de resistencia con el tiempo²⁰.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

4.8 Relación de aglomerantes.

Las resinas parte I y II generalmente están fabricadas para dar propiedades más eficientes cuando se utilizan en proporción de 50/50, aunque en ocasiones se suelen utilizar relaciones diferentes para realzar una propiedad sobre otra. El efecto de la variación de cada parte de resina se resume en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Efecto en la variación de cada parte de resina.	
Relación Parte I / Parte II	
60/40	Mejora Resistencia a la tensión, resistencia en caliente.
50/50	Propiedades nominales.
40/60	Mejora la capacidad de desmoldeo, menor evolución de gases, resistencia a la humedad.

4.9 Factores que afectan la vida de banco de una mezcla de arena.

La vida de banco es el período en el cual una mezcla de arena puede dar propiedades adecuadas al momento de soplar un molde o corazón. Es muy útil conocer los tiempos en los cuales la mezcla da propiedades de calidad para en todo caso desechar la mezcla que excede este tiempo de vida de banco²⁰.

Las variables que disminuyen la vida de banco son:

- a) Alta temperatura de la arena.
- b) Alta temperatura ambiente.
- c) Alta humedad relativa.
- d) Presencia de impurezas.
- e) Aditivos que incrementen el valor del pH.

La alta temperatura ambiental, la alta temperatura de la arena y arenas con alto valor de demanda ácida así como pH, tienen una vida de banco corta ya que se acelera la reacción entre los componentes bajo estas circunstancias figura 4.5.

La presencia de contaminantes alcalinos o finos tiende a disminuir la vida de banco de la mezcla de arena. Los materiales alcalinos aceleran la reacción entre las

resinas, mientras que una alta cantidad de finos reduce la resistencia a la tracción. Esto que implica utilizar mayores cantidades de resina para dar los mismos valores de resistencia.

La mezcla que se hace debe de ser en cantidades que se utilicen en un tiempo que no exceda la vida de banco útil, estas cantidades se determinan de acuerdo al tipo de corazón que se sopla en la caja de corazones.

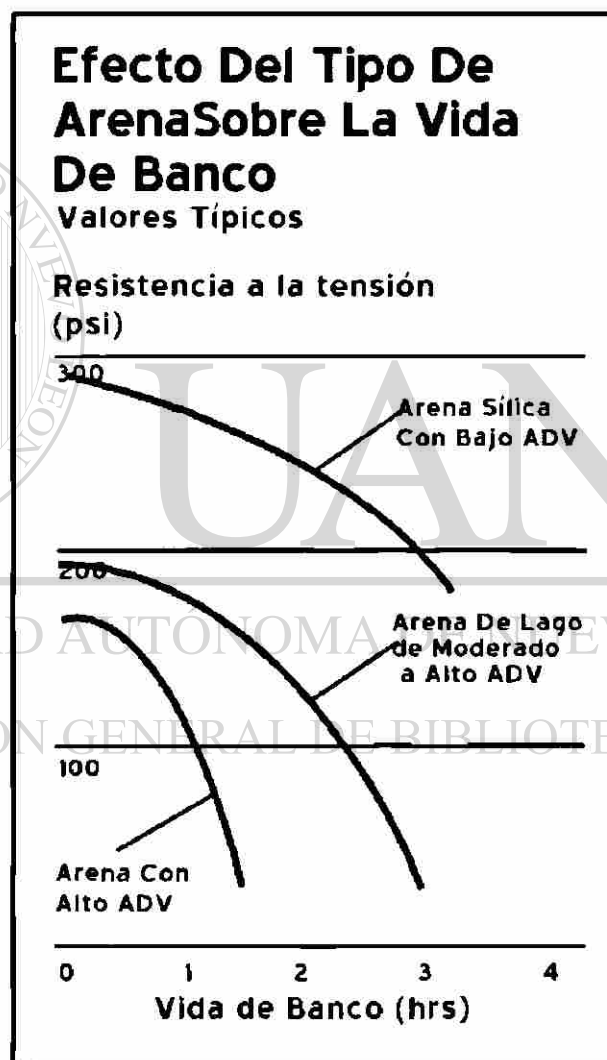


Figura 4.5. Efecto del tipo de arena en la vida de banco²⁰.

4.10 Factores que afectan la velocidad de curado.

La relación de curado, que es igual al peso del corazón dividido entre el tiempo de curado, depende de la velocidad a la que el catalizador se introduce en la caja de corazones y del volumen del gas de purga que se obliga a pasar a través de la masa de arena, para distribuir catalizador homogéneamente en todas las secciones del corazón. El aire de purga sirve también para eliminar el exceso de catalizador. Una forma poco económica de aumentar la velocidad de curado es el uso de cantidades mayores de catalizador, cosa que se puede conseguir con un buen diseño de vientos y tubos de entrada.

El aire de purga caliente, entre 38 y 150°C se emplea con éxito para incrementar la relación de curado. La velocidad de reacción aumenta la reactividad de los componentes de la mezcla de arena y se asegura que el catalizador amínico se mantenga en forma gaseosa. Cuando se tiene áreas de gaseo y de salida bien dimensionadas se tienen consumos de 0.3 a 0.5 cc de TEA/450 grs. de arena (de 450 a 900 gramos de TEA por tonelada de arena).

La concentración de gas catalizador también influye en la velocidad de curado. Esta concentración está generalmente entre el 10 y 20% de gas amina en el transportador que puede ser dióxido de carbono, nitrógeno o aire. Se acostumbra utilizar dióxido de carbono o nitrógeno como gas acarreador en generadores de vapor de gran volumen y cuando se tratan de sistemas de inyección individual de aire.

4.11 Acabado de la superficie.

La superficie de la pieza tiene un acabado aceptable con una adecuada presión de soplado sin importar la granulometría de la arena empleada, es necesario tener en cuenta que una cantidad excesiva de carbón lustroso en la cavidad del molde puede producir

irregularidades en la superficie de la pieza fundida. Estas irregularidades se muestran como arrugas o imperfecciones sobre la pieza fundida.

4.12 Desarenado.

El desarenado en sistemas de metales ferrosos no ofrece gran problema por las temperaturas de vaciado utilizadas, superiores a los 1000°C. En metales no ferrosos y específicamente en el aluminio, el cual se vacía aproximadamente a 700°C, los moldes de arena no alcanzan una temperatura tan alta donde se garantice la degradación de los puentes de enlace de los polímeros que componen la mezcla de resinas fenólicas^{21,22}.

La mayor parte de los problemas que aparecen en el proceso de caja fría son causados por uno de los siguientes motivos:

- Insuficiente catalización
- Mezcla de arena poco eficaz
- Operación inadecuada del equipo
- Baja densidad del corazón
- Falta de mantenimiento y limpieza de las cajas del corazón

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

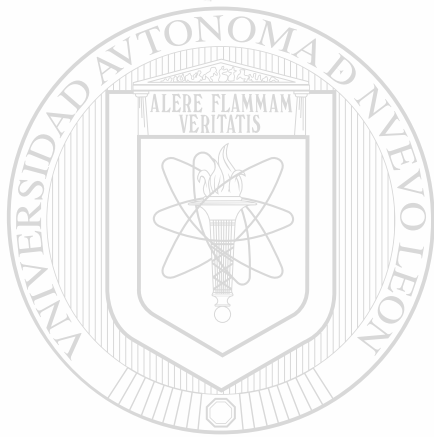
Insuficiente catalización. Para que el macho sea eficazmente curado, el gas catalizador debe pasar por toda la masa de la arena. Si el catalizador se escapa a través del plano de partición de la caja de corazones, o no pasa a través de ciertas secciones del macho, debido a obstrucciones en los pasajes, o se introduce en cantidades insuficientes, el corazón será débil con una superficie blanda o con espacios no curados.

Mezcla de arena poco eficaz. Las partes I y II de la resina deben de añadirse a la mezcla de arena en las cantidades y relaciones indicadas para conseguir los resultados deseados y evitar la producción de corazones excesivamente duros o muy débiles. La presencia de

humedad en la arena, en el aire de soplado o en el aire de purga produce machos débiles que se deterioran casi inmediatamente.

Baja densidad de los corazones. Los corazones insuficientemente compactados son débiles y muy plásticos y, por lo tanto, susceptibles a la penetración del metal y a la degradación por humedad ambiental.

Mal mantenimiento de las cajas de machos. Las cajas de corazones mal cuidadas o sucias, presentan superficies ásperas que dificultan el desmoldado y afectan la resistencia del corazón. El uso de agentes desmoldeantes y la limpieza rutinaria soluciona este punto¹³.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Capítulo V

Desarrollo experimental

5.1 Introducción.

Los moldes y corazones de arena químicamente unidos son expuestos a relativamente altas temperaturas para que desarrollen una mejor resistencia en un corto tiempo, además de conseguir que los volátiles contenidos en las resinas se eliminen antes de que los corazones sean utilizados en el vaciado de piezas. La forma de determinar la respuesta de los corazones a la alta temperatura es sometiéndolos a un horneado y ver como evolucionan sus propiedades de resistencia a la tracción, resistencia a la penetración y el comportamiento del paquete químico.

5.2 Objetivo de los experimentos.

La finalidad del presente estudio es conocer como se comportan las mezclas de arena y resina al someterlas a diferentes tipos de pruebas en condiciones de temperatura ambiente y a alta temperatura, evaluando la temperatura que alcanzan los corazones al momento de utilizarse en el vaciado. En probetas a nivel laboratorio se registró principalmente la resistencia a la tracción, vida de banco, desarrollo de resistencia, permeabilidad, pérdidas por ignición y evolución de gases. En lo que se refiere a las resinas se analizó sus principales características como es su comportamiento

termogravimétrico, la viscosidad de cada parte del sistema, avance de peso molecular en masa, índice de polidispersidad de moléculas e índice de refracción de las resinas.

5.3 Matriz de experimentos.

El estudio se desarrolló tomando como base de estudio el corazón que se utiliza para moldear la chaqueta de agua en piezas de monoblock y cabezas de motor de aluminio, (figura 1, Introducción). Los contenidos de resina de los corazones de estas piezas varían en un intervalo de 0.8% a 1.15% de resina, se tomó como base trabajar dentro de este intervalo. La relación entre parte I y parte II es la utilizada nominalmente, 50 a 50% que es la proporción en la cual se utiliza habitualmente la resina para fabricación de corazones.

La granulometría de arena utilizada fue arena Wedron AFS gfn 70 y la US Sílica AFS gfn 50. La condición para todas las pruebas a nivel laboratorio fue arena nueva tomada directamente del lugar de almacenamiento, con el fin que las características de una arena recuperada no influyeran sobre los resultados de las pruebas.

En el estudio se consideró utilizar dos sistemas de resina, los sistemas de resina son formulaciones especiales desarrolladas por los fabricantes y que tienen como objetivo utilizarse en industrias que se encuentran en condiciones climatológicas específicas, pero, en general, las características que se buscan son que operen en condiciones de altos pH, ADV y humedad relativa.

5.4 Caracterización de la arena utilizada para hacer las pruebas de laboratorio.

El análisis granulométrico de la arena fue realizado en un agitador de tamices *ro-tap*. El procedimiento de muestreo es el utilizado bajo estandarización AFS²⁰, se tomó una muestra de arena mayor de 50 g, previamente cuarteada en un muestreador Dietert

TM N°. 76, de acuerdo a procedimiento de la AFS, y se ensayó como una sintéticamente unida, libre de arcilla, es decir sólo se muestrea y se coloca 15 minutos dentro del instrumento agitador dentro de un juego de mallas. La serie de mallas utilizada, es la serie U.S. con números de mallas 40, 70, 100, 140, 200 y 270.

El análisis de porcentaje retenido en cada malla se muestra en las figuras 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4. De las arenas que se utilizaron en las pruebas, las de las figuras 5.1 y 5.2 corresponde a arena tomada directamente de las tolvas de la línea de proceso y las figuras 5.3 y 5.4 arena contenida en costales. Las gráficas corresponden a arena de granulometría AFS gfn aproximadamente de 50 y 70 respectivamente. El ensayo se realizó dos veces al inicio y al final del estudio para corroborar que se utilizó una arena con las mismas propiedades.

La arena de granulometría AFS gfn 50, figuras 5.1 y 5.2 son arenas que están distribuidas principalmente en tres mallas, 50, 70 y 100. , siendo la malla de mayor porcentaje la malla 70 en los dos muestreos con 36.65% y 38.44% de porcentaje retenido respectivamente.

La granulometría se obtiene multiplicando el porcentaje de retenido en cada malla por un factor. El primer muestreo da un AFS gfn de 53 para la arena de la figura 5.1 y AFS gfn 53 para el segundo muestreo, figura 5.2.

Hay que notar que la cantidad de finos en estas arenas no debe ser mayor al 6%, siendo este el límite recomendado en el proceso de moldeo de corazones. La cantidad de finos es algo superior, esta cantidad puede ser debida a una segregación de la arena tomada de la línea. Las arenas de las figuras 5.3 y 5.4 son de una granulometría más fina con un AFS gfn 72 para la de la figura 5.3 y un AFS gfn de 73 para la de la figura 5.4.

Análisis de arena Silica AFS 50					
No. de malla	Total acumulado	Retenido por malla			
		gramos	%	factor	Producto
40	7,8	7,8	9,92	30	298
50	27,7	19,9	25,32	40	1013
70	56,8	29,1	37,02	50	1851
100	74,4	17,6	22,39	70	1567
140	78,4	4	5,09	100	509
200	78,6	0,2	0,25	140	36
270	78,6	0	0,00	200	0
Fondo	78,6	0	0,00	300	0
Total	78,6	78,6	100,00		5274

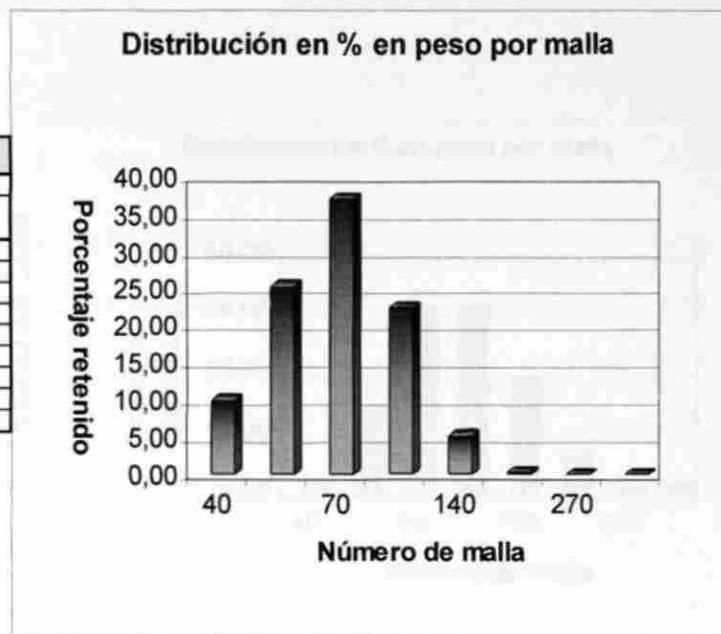
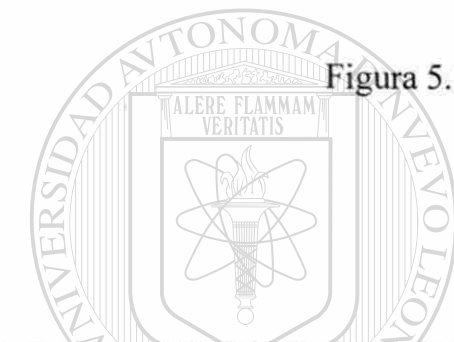


Figura 5.1 Arena de la línea de proceso de moldeo.



Análisis de arena Silica AFS 50					
No. de malla	Total acumulado	Retenido por malla			
		gramos	%	factor	Producto
40	8,8	8,8	10,26	30	308
50	28,3	19,5	22,73	40	909
70	61,9	33,6	39,16	50	1958
100	81,4	19,5	22,73	70	1591
140	85,5	4,1	4,78	100	478
200	85,7	0,2	0,23	140	33
270	85,8	0,1	0,12	200	23
Fondo	85,8	0	0,00	300	0
Total	85,8	85,8	100,00		5300

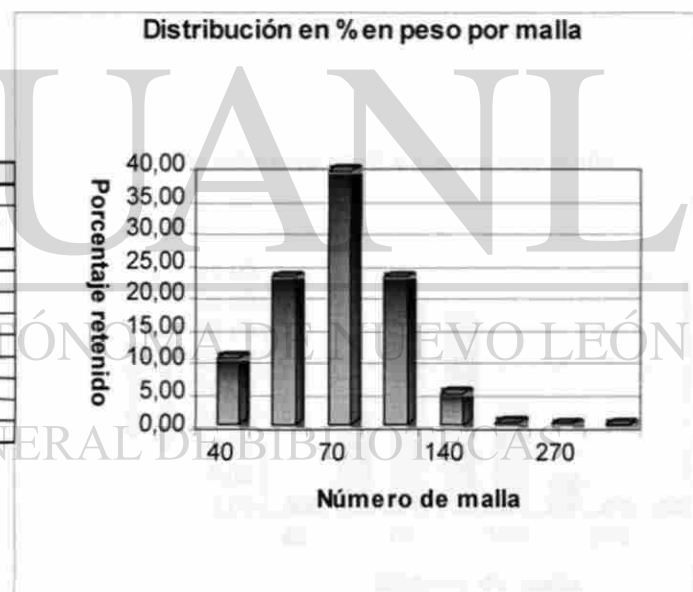


Figura 5.2 Arena de la línea de proceso de moldeo.

Análisis de Arena Silíceá AFS 70					
No. de malla	Total acumulado	Retenido por malla			
		Gramos	%	Factor	Producto
40	0,8	0,8	0,66	30	20
50	12,2	11,6	12,80	40	512
70	39,6	27,4	30,24	50	1512
100	87,1	27,5	30,35	70	2125
140	83,8	16,7	18,43	100	1843
200	89,7	5,9	6,51	140	912
270	89,8	0,1	0,11	200	22
Fondo	90,6	0,8	0,88	300	285
Total	90,6	90,6	100,00		7211

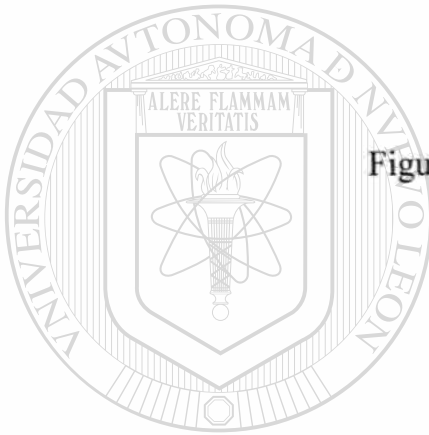
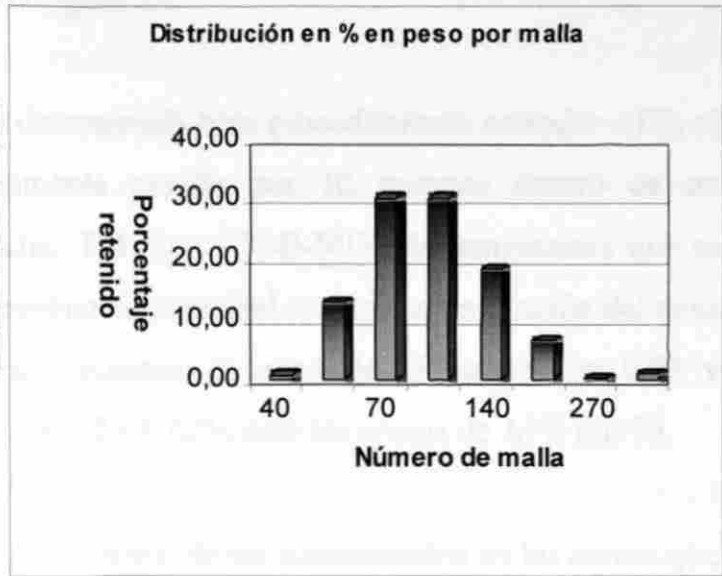


Figura 5.3 Arena del de proceso de moldeo.

Análisis de Arena Silíceá AFS 70					
No. de malla	Total acumulado	Retenido por malla			
		Gramos	%	Factor	Producto
40	0,8	0,9	1,03	30	31
50	14,3	13,5	15,45	40	618
70	44	29,7	33,98	50	1699
100	72,9	28,9	33,07	70	2315
140	87,5	14,6	16,70	100	1670
200	92	4,5	5,15	140	721
270	92,3	0,3	0,34	200	69
Fondo	92,7	0,4	0,46	300	137
Total	87,4	92,8	106,18		7260

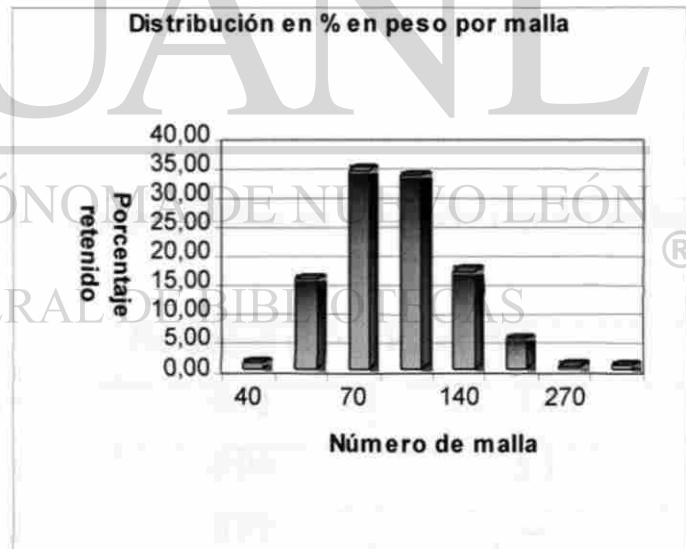


Figura 5.4 Arena del de proceso de moldeo.

En estas arenas dos son las mallas principales donde se encuentra distribuida la arena, las mallas números 70 y 100 con un 30.24 y 30.35% para la arena de la figura 4.3 y un 33.98 y 33.07% en las arenas de la figura 5.4.

La humedad en las arenas fue determinada bajo procedimiento estándar AFS, al secar una muestra de arena previamente pesada por 10 minutos dentro de un determinador de humedad Georg Fischer TM, tipo 276-B-MD2, la temperatura que se alcanza es entre 105 y 115° C. El porcentaje de humedad se expresa en función del peso inicial de la muestra. La humedad para el muestreo de arenas de AFS gfn 50 fue 0.02 y 0.04% para las arenas de las figuras 5.1 y 5.2 y 0.02% para las arenas de AFS gfn 70.

Los valores de pH y demanda ácida deben de ser monitoreados en las arenas que se unen utilizando componentes químicos, altos valores de estas dos variables puede disminuir la reactividad de las resinas disminuyendo la vida de banco y su desarrollo de resistencia provocando problemas al momento de moldear. Los valores de pH y ADV obtenidos están resumidos en la Tabla 5.1 junto con los valores de porcentaje de humedad y porcentaje de finos.

Tabla 5.1 Listado de valores de las principales variables en la caracterización de las arenas de prueba.

Tipo de Arena	PH	ADV	Humedad (%)	Finos (%)
AFS gfn 53	7.9	0.6 ml	0.02	5.3
AFS gfn 54	7.8	0.4 ml	0.04	5.1
AFS gfn 72	7.6	0.4 ml	0.02	----
AFS gfn 73	7.3	0.6 ml	0.02	----

5.4.1 Caracterización de las resinas.

Como parte de la investigación se realizó un análisis de las características de la otra parte de la materia prima de los corazones, los sistemas de resinas. Las resinas utilizadas en los procesos de fundición en caja fría son fenólicas. Estos materiales curan instantáneamente en presencia de un catalizador en forma de vapor, en este caso el catalizador utilizado fue la trietilamina TEA.

Las pruebas a las que fueron sometidas las resinas por separado y el producto completo fueron, índice de refracción, viscosidad, análisis termogravimétrico, peso molecular promedio (Mn) e índice de polidispersidad (IP).

Se utilizaron dos resinas diferentes en el estudio denominadas resina A y resina B, cada sistema de resina consta de dos partes y utilizan el mismo catalizador

5.5 Viscosidad en las partes I y II de las resinas.

La viscosidad es la resistencia de un material a fluir, en la parte I de las resinas es un factor importante ya que la parte I se caracteriza por ser más viscosa que la parte II y es la que puede dar problemas al momento de realizar el mezclado. La viscosidad está directamente relacionada con el Mn, índice de refracción e índice de polidispersidad de la resina. Una resina con un alto Mn será más viscosa basándose en el hecho de que una macromolécula es más difícil moverla que una menor. El índice de polidispersidad está relacionado con la distribución de los pesos moleculares de la resina y el índice de refracción es un factor ligado a la concentración de la resina. La viscosidad, Mn, IP e IR encontrados en cada parte de los dos sistemas de resina utilizados se reporta en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2 Valores de viscosidad, índice de polidispersidad, Peso molecular en masa e índice de refracción de las resinas.

	Viscosidad (cps)	IP	Mn	IR
Parte I Resina A	99.18	1.542	1855	1.552
Parte II Resina A	23.63	1.360	1694	1.597
Parte I Resina B	247.75	1.469	1792	1.542
Parte II Resina B	27.50	1.330	2053	1.572

El sistema de resinas B es notoriamente más viscoso que la resina A, la diferencia entre la parte I de la resina B y la resina A es muy grande, esto puede causar problemas al momento de recubrir los granos de arena en el mezclado. Los valores de Mn, IP e IR no están relacionados de la manera que expliquen el por que mayor viscosidad en el sistema B. La relación puede ser entendida conociendo las proporciones de elementos de bajo y alto peso molecular en cada sistema de resinas determinado mediante el análisis termogravimétrico.

Tabla 5.3 Análisis termogravimétrico

Muestra	Pérdida de solventes de bajo PM		Pérdidas de alto PM		Residuo Carbonoso	Residuo Inorgánico
	%	T. Max °C	%	T. Max °C	%	%
Parte I A	45.87	104.00	15.97	434.88	28.55	0.1411
	9.48	205.95				
Parte II A	22.70	96.47	5.50	500	21.51	1.29
	49.00	257.43				
Parte I B	40.71	146	20.93	436.6	27.71	0.062
	10.56	204.9				
Parte II B	21.59	107.58	11.97	286.43	13.53	0.910
	51.99	225.62				

5.6 Análisis termogravimétrico de los sistemas de resina.

El análisis termogravimétrico fue realizado con un analizador térmico Du Pont TM 951 bajo las siguientes condiciones:

Velocidad de calentamiento:	10° C/min
Masa de la muestra:	15 mg Aprox.
Calibración con estándares:	Oxalato de calcio
Intervalo de temperatura:	30 a 800° C
Atmósfera:	N ₂ alta pureza (50ml/min.)

El análisis termogravimétrico efectuado a cada parte de resina de los dos sistemas analizados muestra que los sistemas difieren en sus componentes y se pueden dividir los componentes en 4 regiones, componentes de bajo peso molecular, componentes de alto peso molecular, residuo carbonoso y residuo inorgánico, los resultados están resumidos en la Tabla 5.3.

La resina A parte I, la que contiene el grupo formaldehído presenta su primera descomposición a una temperatura de 104.0° C, figura A1 anexo 1, ésta corresponde a la temperatura volatilización de los solventes utilizados en la resina, el porcentaje de resina que se pierde es 45.87. La temperatura máxima de descomposición, TMD, en la región de componentes de bajo peso molecular es 205.95° C la resina A parte I tiene entonces un 55.35% de componentes de bajo peso molecular que volatilizan a menor temperatura.

En la región de alto peso molecular de la resina A parte I se encontró un contenido de 15.97% y una TMD de 434.88° C. Un mayor contenido de componentes de alto peso molecular son los que dan como resultado una mayor viscosidad en la parte I de la resina A. El residuo carbonoso y el residuo inorgánico presente en la parte I de la resina A es 28.55 y 0.1411% respectivamente.

La resina A parte II, figura A2 anexo 1, tiene un porcentaje de pérdida parcial de solventes de 22.70 a 96.47° C de TMD y la cantidad total de componentes de bajo peso molecular a una TMD de 257.3° C es 72.6%. El contenido de componentes de alto peso molecular es 5.50% a una TMD de 500° C. El residuo carbonoso e inorgánico es 21.51 y 1.29% respectivamente. La cantidad de componentes de alto peso molecular es casi tres veces mayor en la parte I de la resina A que en la parte II de la misma resina.

En el análisis termogravimétrico de la resina B parte I, figura A3 anexo 1, se determinó el contenido de solventes en 40.71% y que se eliminan a 146° C y a la TMD de 204.9° C el porcentaje de estos compuestos es de 51.27% que es ligeramente menor que el 55.35% encontrado en la misma parte I pero de la resina A. La región de alto peso molecular de la parte I es de un 20.93% con una TMD 436.6° C, el residuo carbonoso e inorgánico están contenido en un 27.71 y 0.0620%.

La parte II de la resina B, figura A4 anexo 1, tiene un contenido de 73.58% de componentes de bajo peso molecular cantidad muy parecida a los 72.6% de la parte II de la resina A. La región de alto peso molecular tiene un 11.97% que representa casi el doble que el 5.50% de componentes de alto peso molecular en la parte II de la resina A. La TMD de la región de alto peso molecular de la parte II de la resina B es 286.43° C que es menor a los 500° C de la TMD de la misma parte en la resina A.

Del análisis termogravimétrico de los dos sistemas de resina analizados se encuentra que la región de bajo peso molecular es muy similar en los dos sistemas de resina y difieren claramente en la TMD de la región de alto peso molecular.

5.6.1 Estudio de los sistemas de resina mezclados.

Después de haber analizado los sistemas separados en cada parte se evaluó la viscosidad del sistema al momento de mezclarse, este dato sólo es informativo ya que al momento de mezclarse se adiciona cada sistema por separado para evitar una pronta

reacción. La viscosidad del sistema I-II A es 122.8 cps y el sistema I-II B es 270 cps, por los valores de viscosidad se especular que el sistema de resina B tendrá que ser sometido a un mezclado más severo para poder garantizar que recubra los granos de arena.

El termograma del sistema I-II A, figura A5 anexo 1, da como resultado una sola TMD en la región de bajo peso molecular, por lo que se descarta la presencia de solventes, la TMD es a 230.81° C con 21.76% de contenido de componentes. Algunos investigadores consideran que los corazones pierden peso después de mezclarse, a partir de análisis de los termogramas esto que puede deberse a heterogeneidad en la mezcla lo que provoca que la resina no reaccionada se comporte como las partes individuales del sistema, o a que la temperatura a la cual empieza la descomposición no sea tan grande. La región de bajo peso molecular en el sistema I-II B es de 26.79% con una TMD de 238.54° C, las TMD de la región de alto peso molecular para los dos sistemas son muy similares 353.40 y 358.73° C para sistema A y B respectivamente. Los resultados obtenidos se presentan de manera gráfica en los termogramas de cada ensayo en el apéndice A.

5.7 Determinación de la temperatura que alcanza la chaqueta de agua.

Los corazones utilizados en el moldeo para piezas de aluminio llegan a muy diversas temperaturas según su ubicación dentro del paquete de moldeo. Para conocer la temperatura a la cual llega el corazón bajo estudio se realizó un experimento donde se colocaron termopares tipo K (crómel-alúmel) dentro de la chaqueta de enfriamiento de paquetes de moldeo. La pieza fue vaciada en la línea y se registro el tiempo en el cual se alcanza la temperatura máxima. La temperatura máxima se encuentra entre los 560 y 570° C en las tres piezas vaciadas, el tiempo en el cual se alcanza esta temperatura es menos de 4 minutos la permanencia se prolonga durante más de 20 segundos, figura 5.5. La temperatura del metal es superior a 700° C.

En las pruebas de resistencia a la tracción en caliente se determinó el tiempo en el cual una probeta tipo guitarra llegará a las temperaturas de pruebas propuestas en el centro de la probeta.

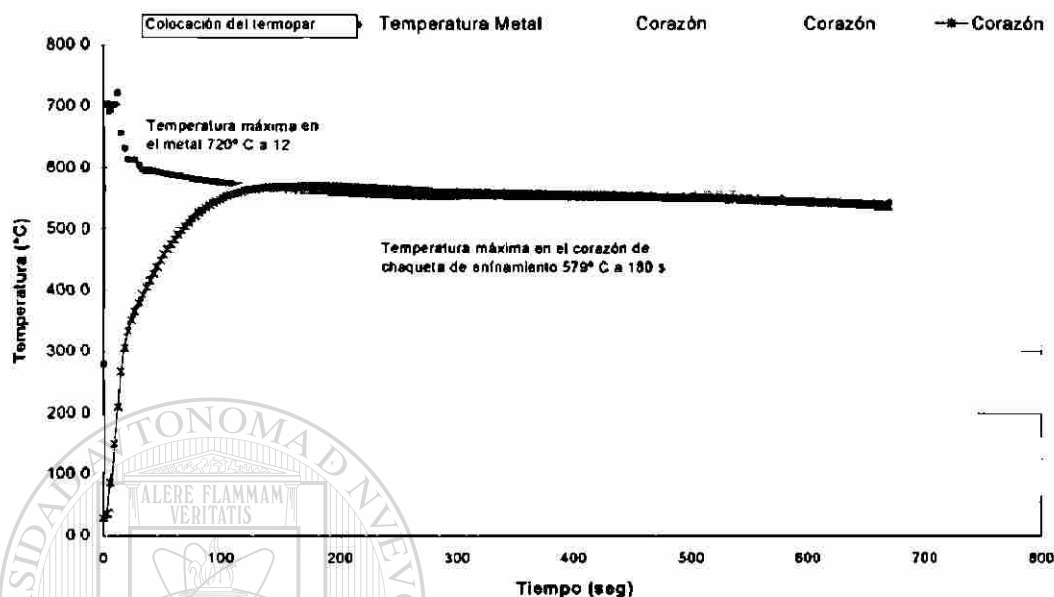


Figura 5.5 Evolución de temperatura en una prueba de vaciado.

Las temperaturas de prueba fueron, a temperaturas ambiente, 150 y 300° C. El calentamiento se hizo dentro de la máquina de pruebas mecánicas en un horno de convección térmica, figura 5.6.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Para tener la seguridad que la temperatura de prueba es la temperatura a la cual se encuentra la probeta, se colocó un termopar de 1.6mm (1/16 pulgadas) tipo K, al centro de la probeta. La probeta se colocó dentro del horno de pruebas y se registró la temperatura. El control del horno se fijó a 300° C, que es la temperatura máxima que puede alcanzar. Además las resinas tienen una rápida degradación a temperaturas superiores a los 300° C es por lo que se determinó realizar pruebas sólo hasta esta temperatura. El tiempo en el que se alcanzan las temperaturas de prueba son superiores a los obtenidos en la práctica dentro de los moldes, así que lo que se evalúa en los ensayos de resistencia a alta temperatura es la resistencia del corazón que se somete a diferentes condiciones de horneado.



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Figura 5.6 Vista de la máquina para pruebas mecánicas a alta temperatura SATEC T2000 TM.

5.8 Procedimiento empleado para mezclar el sistema de resinas con la arena.

Para realizar las mezclas de laboratorio se utiliza un equipo mezclador manual marca Hobart TM de 4000 g. El procedimiento empleado para fabricar las mezclas es tomando 4 kilos de arena, se colocan dentro del recipiente de mezclado, luego se pesa cada parte de resina por separado dependiendo del porcentaje que se quisiera agregar a la mezcla, el porcentaje de la resina es con relación al peso de la arena. En el presente trabajo se utilizaron formulaciones de 0.8, 0.9 y 1.15 % que corresponden a pesos de 16, 18 y 23 gramos de cada parte respectivamente. Se vacía el contenido de resina sobre la mezcla con el agitador sin movimiento, se enciende y se deja mezclando durante 2 minutos, se detiene el mezclador después de transcurridos los dos minutos, se adiciona la segunda parte de la resina y se mezcla durante 2 minutos. Después de transcurrido el tiempo de mezclado se procede a soplar la mezcla en la máquina sopladora de especímenes de laboratorio Redford CBT TM.

La probeta que se obtiene es el tipo guitarra y tiene las dimensiones mostradas en la figura 5.7 esta probeta fue la que se utilizó principalmente en las pruebas desarrolladas en el presente estudio.

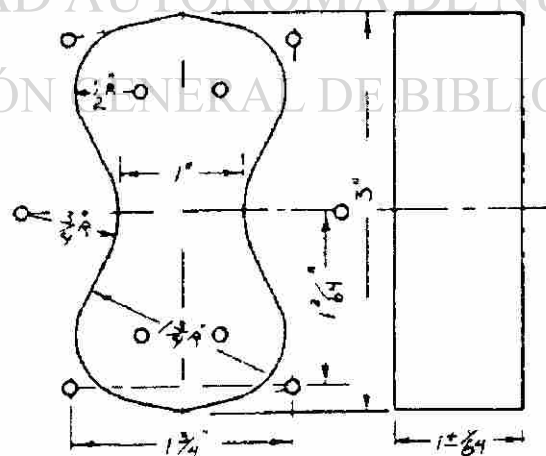
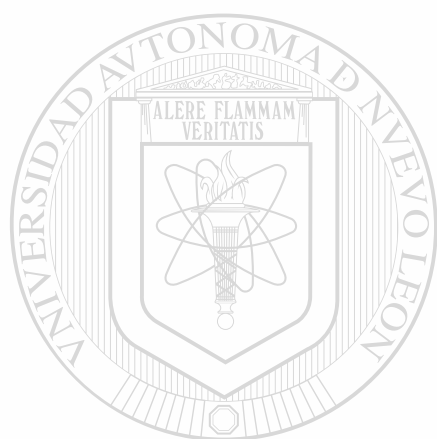


Figura 5.7 Dimensiones de la probeta de pruebas tipo guitarra según norma AFS.

Durante el soplado de las muestras las mezclas que utilizaron arena AFS gfn 70 mostraron problemas para el desalojo de las muestras debido a que el herramental para las probetas de laboratorio esta diseñado para operar con arena AFS gfn 50 y utilizar arena más fina provoca que las ventilas del herramental se tapen y dificulte el desalojo de la muestra.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Capítulo VI

Análisis de Resultados

6.1 Introducción.

El trabajo realizado comprende las pruebas de resistencia a alta temperatura, resistencia a la compresión a alta temperatura, vida de banco, desarrollo de resistencia los efectos que causa la alta temperatura sobre las propiedades físicas de los corazones de arena.

6.2 Vida de Banco de las mezclas de arena.

La vida de banco de una mezcla es el tiempo disponible que dura la arena junto con las resinas mezcladas para conformar corazones y que tengan propiedades físicas y de resistencia adecuadas para actuar como parte de un paquete de moldeo.

En las figuras 6.1 y 6.2 se puede ver la vida de banco de las resinas A y B utilizando arena de AFS gfn 50. De las figuras fácilmente se ve que las mezclas realizadas con la resina A tienen una vida de banco inmediata superior a las fabricadas con resina B.

La resistencia entre las mezclas con 0.80 y 0.90% de resina A no tienen gran diferencia en vida de banco inmediata, 0.965 Mpa (140 psi) y 1.110 Mpa (161 psi) respectivamente, también las mezclas con resina B de 0.80 y 0.90% tienen una vida de banco similar entre ellas, 0.917 Mpa (133 psi) y 0.972 Mpa (141 psi) respectivamente. Una diferencia evidente es la vida de banco inmediata con concentraciones de 1.15%, siendo la realizada con resina A de 1.717 Mpa (249 psi) por sólo 0.986 Mpa (143 psi) de resistencia de la mezcla con 1.15% de resina B.

El valor más importante en la vida de banco es la resistencia a una hora, siendo el valor mínimo requerido de 0.758 Mpa (110 psi). Las mezclas con resina A cumplen ampliamente este valor siendo la caída de resistencia en vida de banco a una hora de 17.8, 22.6 y 18.9 % respectivamente para las mezclas con 0.80, 0.90 y 1.15% de resina A.

Las mezclas con arena de AFS gfn 70 muestran una resistencia muy por encima de los valores con arena de mezcla AFS gfn 50. Las tres relaciones de resina para los dos sistemas tienen una resistencia por arriba de 0.689 Mpa (100 psi) aun después de una hora de vida de banco. La vida de banco se deteriora considerablemente a las dos horas en los dos sistemas, excepto para los contenidos de 1.15% de resina, figuras 6.3 y 6.4.

Las mezclas con resina B tienen una caída considerable de resistencia en vida de banco a una hora, sólo la mezcla con 1.15% de resina podría tener propiedades necesarias para conformar un adecuado corazón de moldeo, la disminución en resistencia a una hora de vida de banco es 38, 24.7 y 19.6% respectivamente para 0.80, 0.90 y 1.15% de concentración de resina B.

El procedimiento de mezclado utilizado para realizar estas mezclas es el descrito en el capítulo anterior, fabricándose 4 kilogramos de mezclas y probándose a los intervalos de tiempo descritos. Es práctica usual desechar la mezcla después de una hora de vida al disminuir considerablemente sus propiedades, nuevos desarrollos de resina tienen vidas de banco de hasta 3 horas conservando muy buenas propiedades.

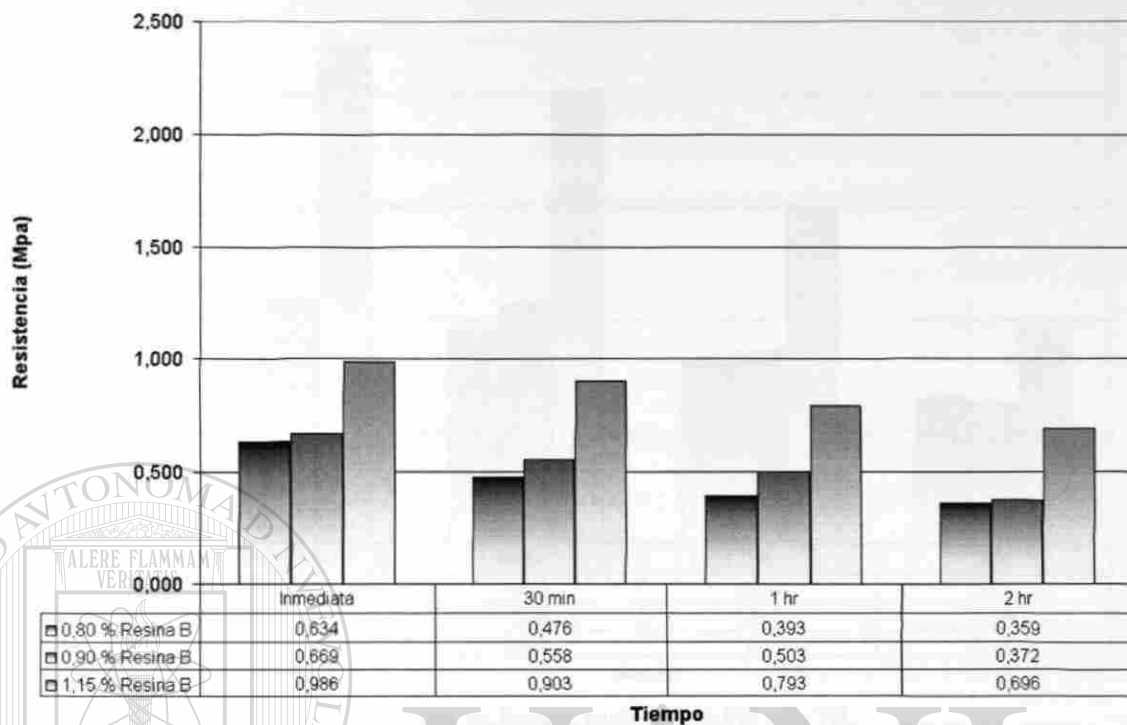


Figura 6.1 Vida de banco resina A AFS gfn 50.

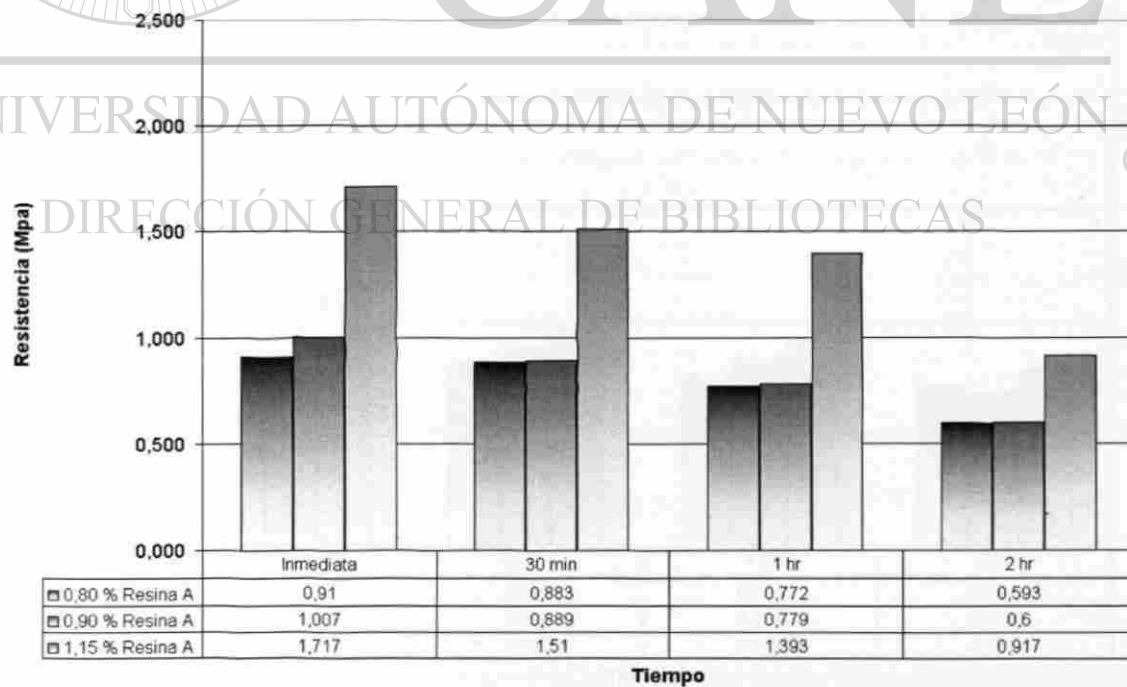


Figura 6.2 Vida de banco resina B AFS gfn 50.

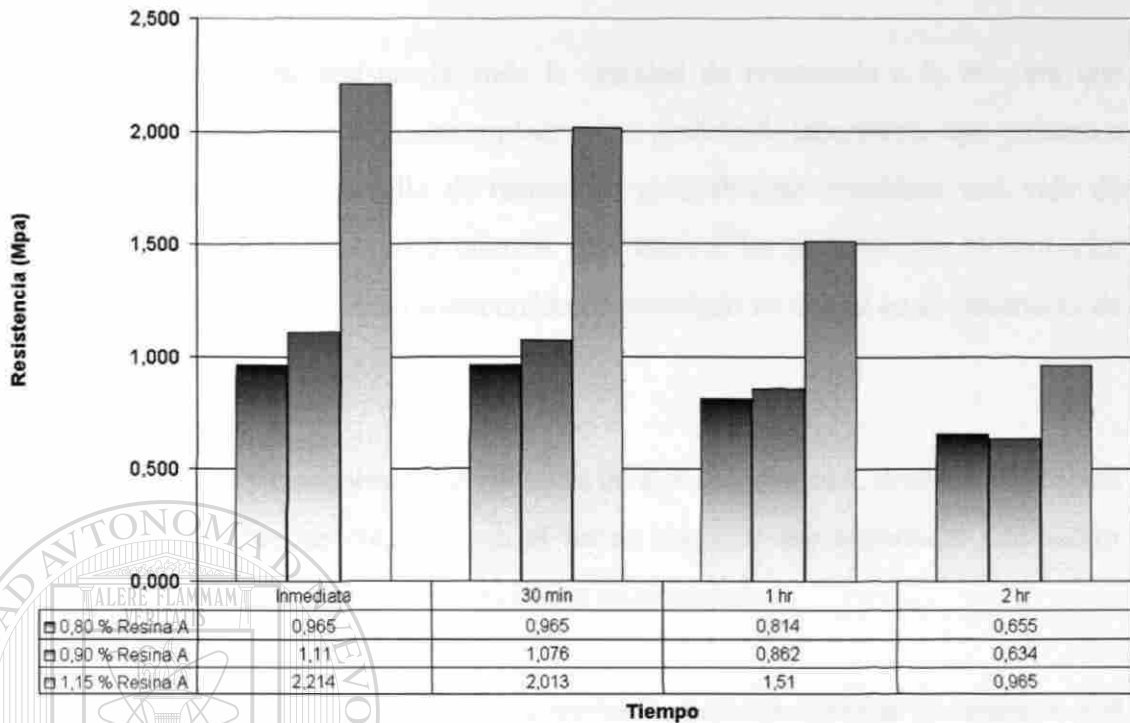


Figura 6.3 Vida de banco resina A AFS gfn 70.

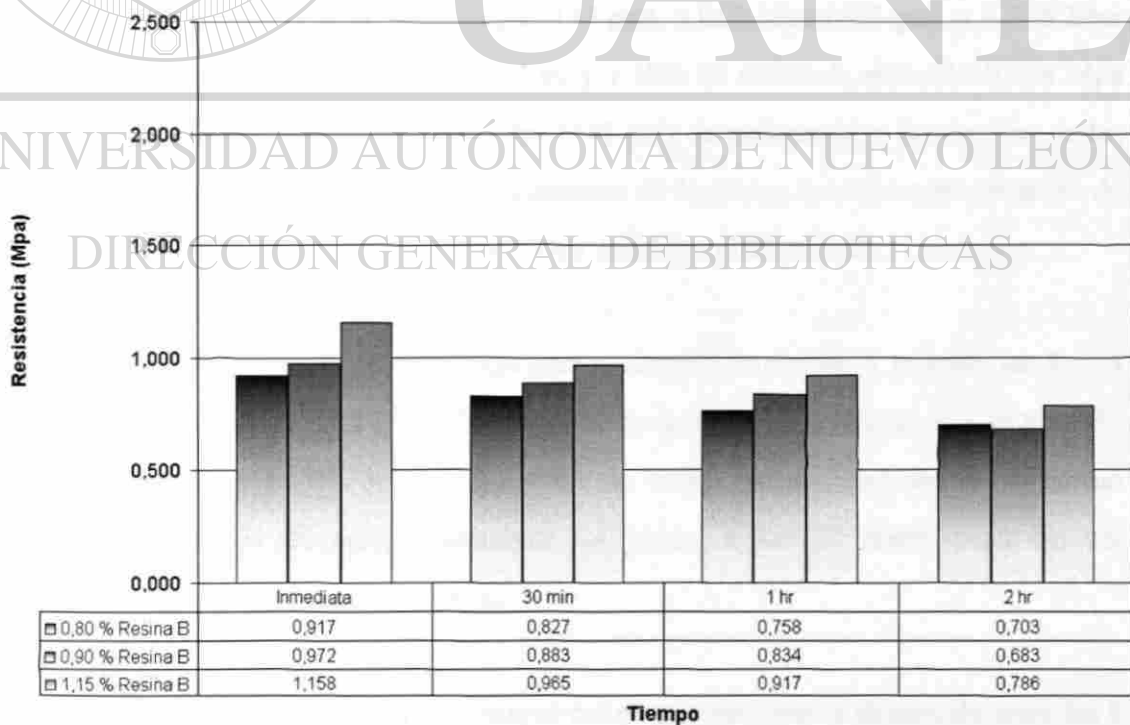


Figura 6.4 Vida de banco resina B AFS gfn 70.

6.3 Desarrollo de resistencia.

El desarrollo de resistencia mide la cantidad de resistencia a la tracción que puede alcanzar una mezcla de resina soplada como probeta de laboratorio tipo guitarra a diferentes tiempos. El desarrollo de resistencia generalmente considera una vida de banco inmediata o inferior a los 5 minutos para fabricar las probetas que se probarán, esto con el fin de que el tiempo transcurrido de mezclado no afecte en el desarrollo de resistencia.

Los moldes y corazones tienen tiempos de uso muy diversos, desde unos cuantos minutos hasta más de un día, esto con el fin de asegurar que soportarán una mayor presión metalostática al momento de utilizarlos en el vaciado.

En las figuras 6.5 y 6.6 se ven los resultados para los sistemas de resina A y B con granulometría AFS gfn 50. Como se mencionó anteriormente, el sistema de resinas A tiene una resistencia inmediata muy superior al sistema de resinas B. Las mezclas con resina A tienen resistencia de 0.931 Mpa (135 psi), 1.069 Mpa (155 psi) y 1.758 Mpa (255 psi) para concentraciones de 0.80, 0.90 y 1.15% de resina A, por sólo 0.676 Mpa (98 psi), 0.669 Mpa (97 psi) y 0.986 Mpa (143 psi) de resistencia a la tracción de las mezclas con resina B. El desarrollo de resistencia de la resina A a una concentración de 0.80% es notorio hasta las 8 horas llegando a 1.165 Mpa (169 psi), 20.11% mayor.

El mayor desarrollo de resistencia para el sistema de resinas A es entre las 8 y 24 horas, resultando en un 31.85, 36.77 y 28.23% de aumento en resistencia a la tracción para 0.80, 0.90 y 1.15% de concentración de resina A. La resistencia sufrió un decremento después de aproximadamente 24 horas, a las 32 horas pero sin ser considerable su reducción de resistencia.

En los sistemas de resina B la mayor resistencia también se desarrolla entre las 8 y 24 horas, al igual el decremento de resistencia es después de 24 horas.

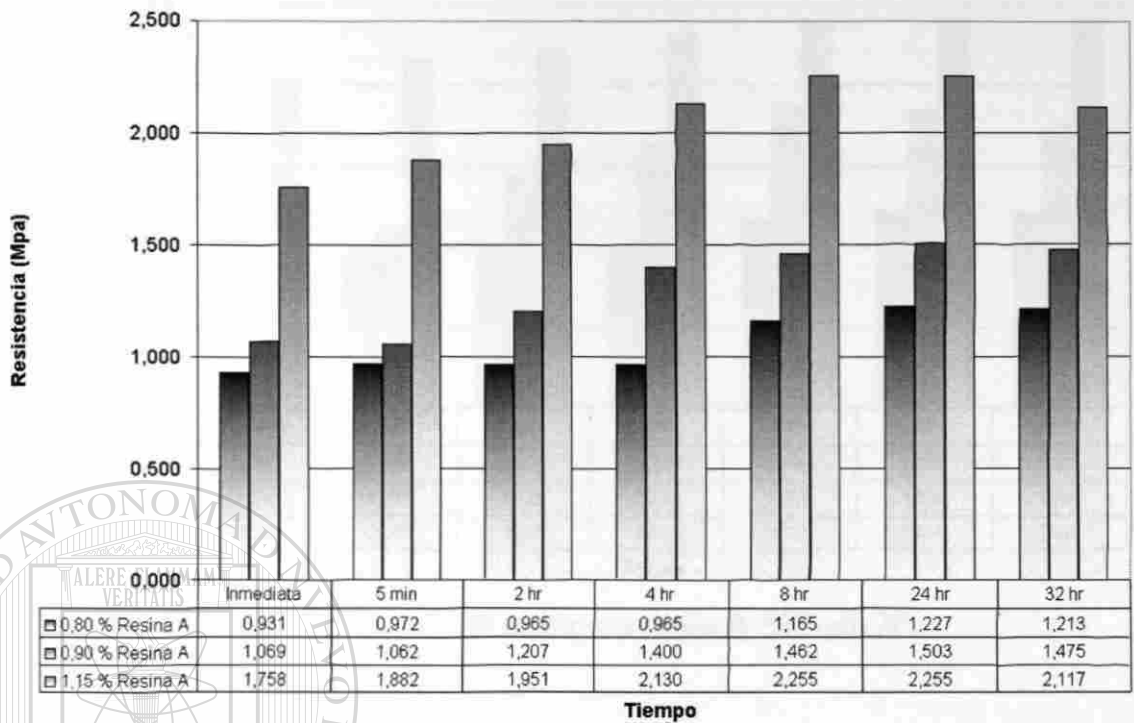


Figura 6.5 Desarrollo de resistencia resina A AFS gfn 50.

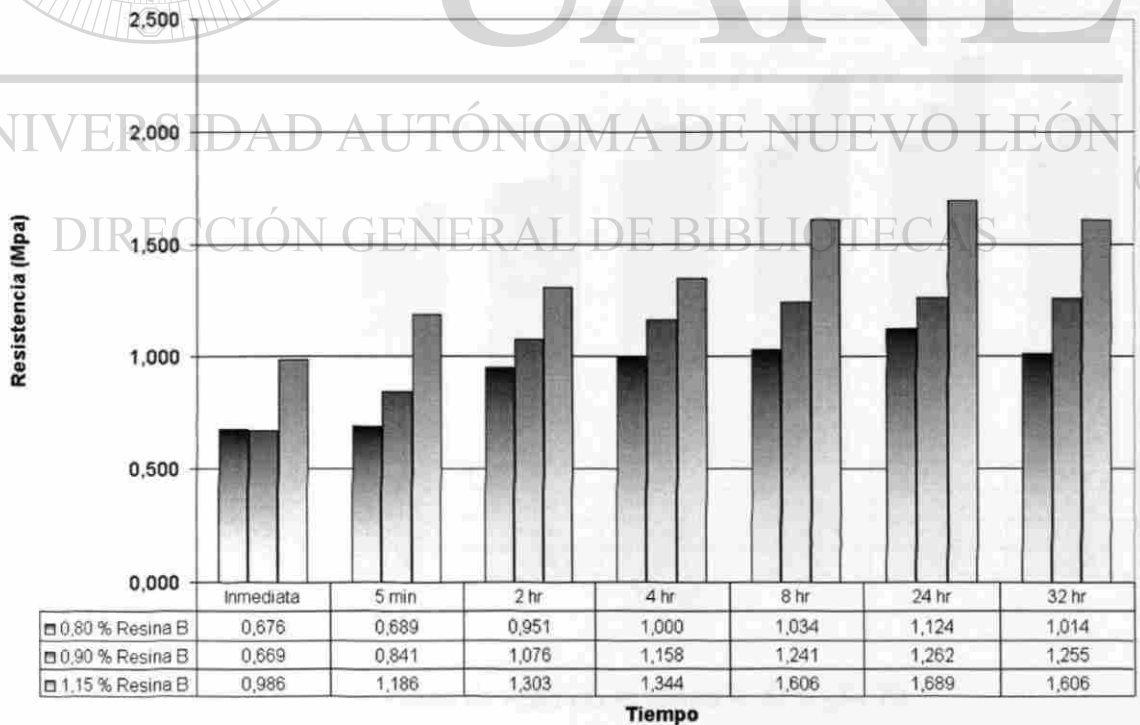


Figura 6.6 Desarrollo de resistencia resina B AFS gfn 50.

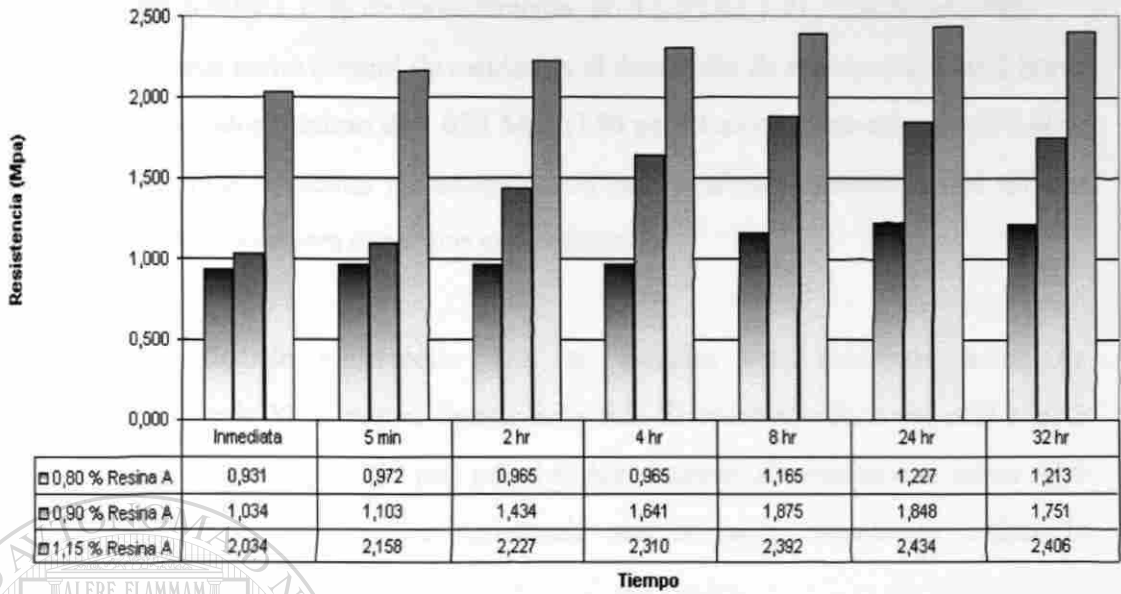


Figura 6.7 Desarrollo de resistencia resina A AFS gfn 70.

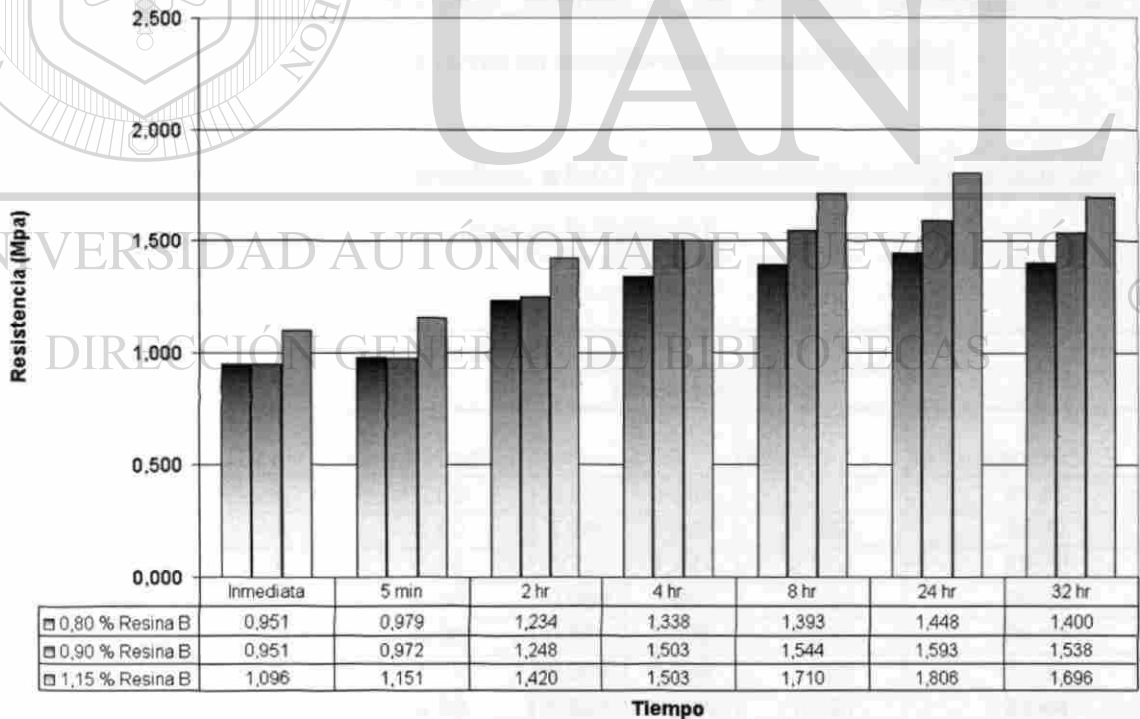


Figura 6.8 Desarrollo de resistencia resina B AFS gfn 70.

El porcentaje de aumento de resistencia de los sistemas B es mucho mayor siendo para 0.80, 0.90 y 1.15% de concentración 66.32, 83.42 y 71.33% de aumento.

El valor que se sigue como control de calidad es el desarrollo de resistencia a las 2 horas debiendo tener un valor mínimo de 1.034 Mpa (150 psi). Las concentraciones de 0.80% para los dos sistemas de resina no cumplen con este mínimo, teniéndose que utilizar concentraciones mayores para conseguir esta resistencia.

El desarrollo de resistencia para las mezclas que utilizaron arena de granulometría AFS gfn 70 es mayor, figuras 6.7 y 6.8. El desarrollo de resistencia a las 2 horas es mayor a 1.034 Mpa (150 psi) para los dos sistemas de resinas con arena AFS gfn 70. Los valores máximos de resistencia son mayores cuando se utiliza la granulometría AFS 70.

El porcentaje de aumento de resistencia es mayor en los sistemas con resina B, llegando a tener resistencia máximas mayores a los sistemas de resina A a concentraciones de 0.80 y 0.90% de resina en mezclas con arena AFS gfn 70.

Los valores de resistencia inmediata, a las 2 y 24 horas así como el porcentaje de aumento máximo de resistencia se resumen en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1 Valores de desarrollo de resistencia.

Granulometría	Resina	Concentración	Resistencia (Mpa)			% de aumento
			Inm.	2 hrs.	Máxima	
AFS gfn 50	A	0.80	0.931	0.965	1.227	31.85
	A	0.90	1.069	1.207	1.462	36.77
	A	1.15	1.758	1.951	2.255	28.24
AFS gfn 50	B	0.80	0.669	0.951	1.124	66.33
	B	0.90	0.676	1.076	1.262	88.66
	B	1.15	0.986	1.303	1.689	71.33
AFS gfn 70	A	0.80	0.931	1.048	1.158	24.44
	A	0.90	1.103	1.434	1.531	38.75
	A	1.15	1.896	2.227	2.406	26.91
AFS gfn 70	B	0.80	0.951	1.234	1.448	52.17
	B	0.90	0.951	1.248	1.593	67.39
	B	1.15	1.096	1.420	1.806	64.78

6.4 Resistencia a la penetración y compactación de las mezclas de arena.

La resistencia a la penetración de una mezcla de arena soplada es la resistencia a la penetración que ofrece el corazón al instrumento descrito en el apartado 3.6.3. La resistencia a la penetración cambia según donde se realice la medición y tiene que hacerse sobre una superficie plana. Se realizaron 6 repeticiones para cada tipo de mezcla y se sacó el promedio, figuras 6.9 y 6.10. La resistencia a la penetración es ligeramente mayor a las muestras fabricadas con arena AFS gfn 70 y aumento conforme aumenta el contenido de resina. La resistencia a la penetración que se pide tenga un corazón para que tenga un buen comportamiento y se considere tenga una buena compactación es de al menos de 40. La compactación sobre las probetas utilizadas en las pruebas fue realizada mediante el *Mold Quality Indicator* Dietert Modelo 458-B, la compactación de un molde va ligada al acabado de la superficie que este ofrecerá a la pieza vaciada por problemas de erosión al momento de verter el metal dentro del molde. El *Mold Quality Indicator* es un instrumento desarrollado para realizar en línea una medición cuantitativa de permeabilidad y compactación.

El procedimiento de prueba es apoyar sobre alguna superficie plana del corazón el probador por el cual corre aire a una presión y se registra la presión de retorno o la dificultad del aire para pasar por el corazón, altos números de lectura son producidos por pequeños espacios de aire entre los granos de arena una alta compactación; bajas lecturas son el resultado de grandes espacios de aire entre los granos de arena o una pobre compactación. Este instrumento fue desarrollado principalmente para aplicarse en el proceso de *Lost Foam*.

La medición con el MQI se realizó sobre la misma parte de la galleta en los dos sistemas de resina para las dos granulometrías. Como era de esperarse el número obtenido con arenas AFS gfn 50 es alrededor de los 200 contra un 500 para las mezclas con arena AFS gfn 70, figuras 6.11 y 6.12.

Resistencia al rayado de las probetas de laboratorio con arena AFS gfn 50

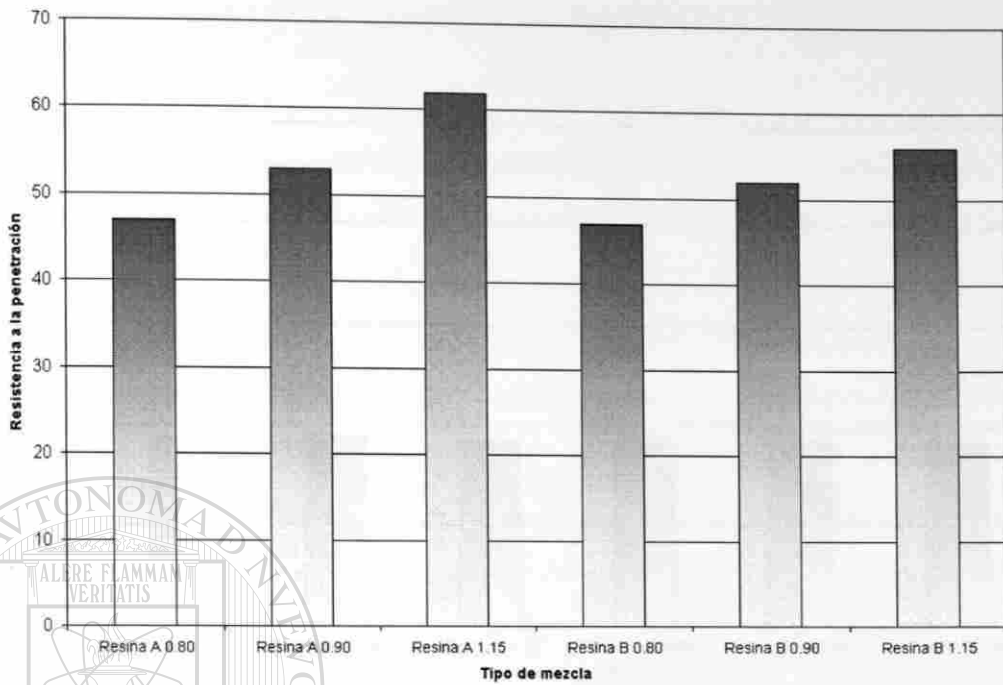


Figura 6.9 Resistencia al rayado de mezclas con arena AFS gfn 50.

Resistencia al rayado de las probetas de laboratorio con arena AFS gfn 70

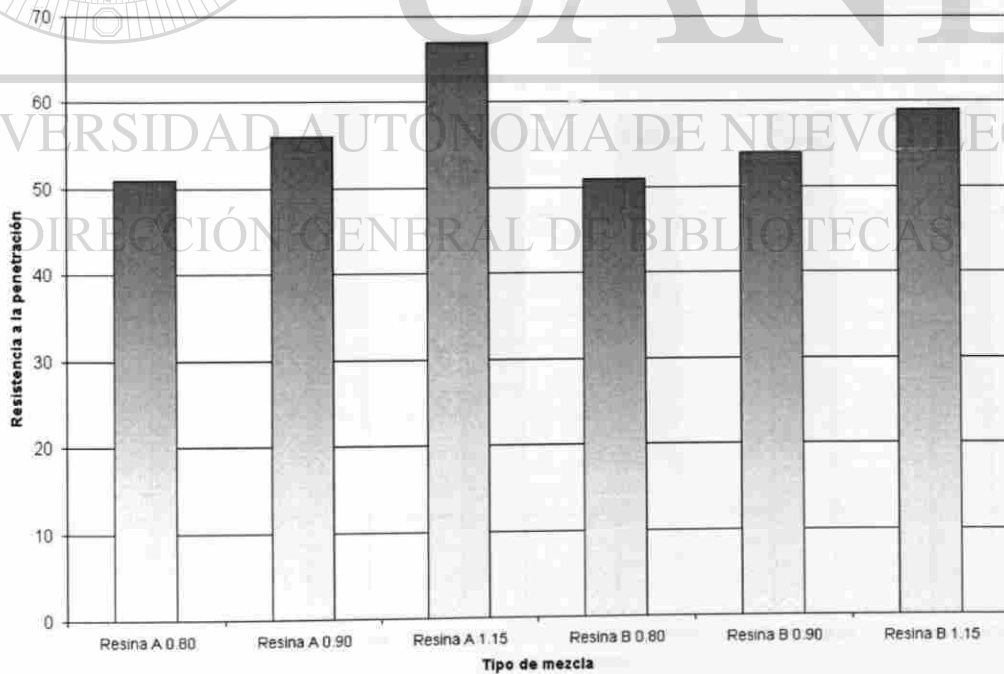


Figura 6.10 Resistencia al rayado de mezclas con arena AFS gfn 70.

Número de MQI de las probetas de laboratorio con arena AFS gfn 50

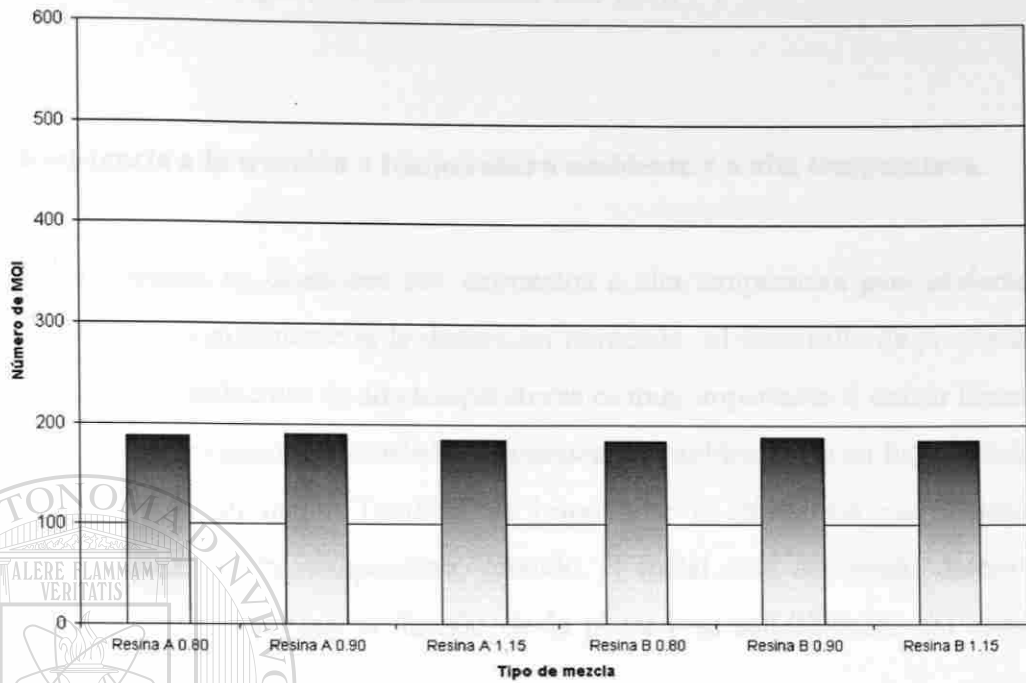


Figura 6.11 Número de MQI de mezclas con arena AFS gfn 50.

Número de MQI de las probetas de laboratorio con arena AFS gfn 70

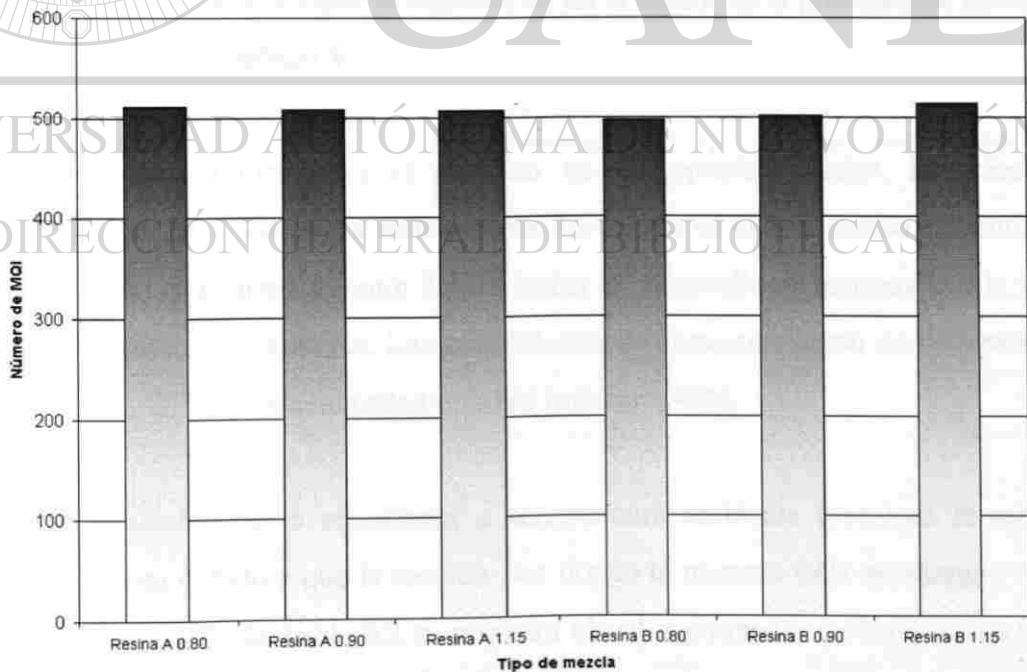


Figura 6.12 Número de MQI de mezclas con arena AFS gfn 70.

La densidad con la arena AFS gfn 70 equivale aproximadamente a 1.75 g/cm^3 y la densidad de la arena AFS gfn 50 a una densidad 1.55 g/cm^3 ²³.

6.5 Resistencia a la tracción a temperatura ambiente y a alta temperatura.

Los corazones en ocasiones son expuestos a alta temperatura para acelerar su proceso de curado, comúnmente se le denomina horneado. El desarrollo de propiedades de los corazones en ambientes de alta temperaturas es muy importante al existir líneas de precalentamiento al momento de trasladar el paquete de moldeo hacia en lugar donde se realizará el vaciado del metal. También es importante la resistencia que tienen los moldes y corazones a alta temperatura, cuando el metal está contenido dentro del paquete, para saber si soportará el llenado de la pieza y su solidificación así como la factibilidad de desarenarlo.

En el estudio se utilizaron tres temperaturas de prueba a temperatura ambiente, a 150 y 300°C . La temperatura que se registró, es en el centro de la probeta tipo guitarra, como se explicó en el Capítulo V.

El mezclado utilizado es el descrito en el capítulo anterior, fabricándose aproximadamente 20 muestras por cada prueba. El tiempo en el cual fueron sometidas a ensayo las muestras de arena es entre 8 y 24 horas de desarrollo de resistencia y la vida de banco fue inferior a 5 minutos. Las condiciones de almacenamiento de las probetas fueron entre 22 y 27°C y una humedad relativa inferior a 40%.

Los resultados de la resistencia a temperatura ambiente muestran la mayor dispersión. Esto es debido a que la sección por donde la muestra falla no siempre es el centro de la misma. En la Tabla 6.2 se muestra el valor promedio de los ensayos y su desviación estándar.

En la identificación de las muestras el primer número se refiere a la granulometría de la arena de la muestra, 5 es AFS gfn 50 y 7 es AFS gfn de 70. La segunda cifra se refiere al sistema de resinas utilizado y el número restante hasta antes del guión es el porcentaje de resina por 10. La cifra después del guión es la temperatura de prueba en grados centígrados.

Tabla 6.2 Promedios y desviación estándar de los ensayos a 25° C, 150° C y 300° C.

Muestra	25° C Promedio	Desviación Estándar	Muestra	150° C Promedio	Desviación Estándar	Muestra	300° C Promedio	Desviación Estándar
	Mpa	Mpa		Mpa	Mpa		Mpa	Mpa
5A8-24	1.062	0.080	5A8-150	0.165	0.020	5A8-300	0.450	0.076
5A9-24	1.276	0.081	5A9-150	0.248	0.020	5A9-300	0.536	0.067
5A115-24	1.751	0.113	5A115-150	0.234	0.020	5A115-300	0.842	0.114
7A8-24	1.338	0.103	7A8-150	0.228	0.010	7A8-300	0.559	0.093
7A9-24	1.510	0.085	7A9-150	0.241	0.020	7A9-300	0.747	0.116
7A115-24	1.848	0.097	7A115-150	0.303	0.020	7A115-300	0.958	0.111
5B8-24	0.883	0.106	5B8-150	0.103	0.010	5B8-300	0.388	0.079
5B9-24	1.103	0.083	5B9-150	0.110	0.010	5B9-300	0.419	0.074
5B115-24	1.282	0.073	5B115-150	0.145	0.010	5B115-300	0.622	0.075
7B8-24	0.958	0.115	7B8-150	0.138	0.020	7B8-300	0.648	0.103
7B9-24	1.207	0.101	7B9-150	0.145	0.010	7B9-300	0.653	0.091
7B115-24	1.531	0.085	7B115-150	0.193	0.020	7B115-300	0.877	0.116

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Los resultados de las pruebas a temperatura ambiente dejan ver que la formulación de la resina A otorga mayor resistencia al tiempo de prueba que las mezclas realizadas con resina B.

Las mezclas que utilizaron arena AFS gfn 70 tienen una resistencia mayor para los dos sistemas de resinas. De los resultados también se confirma que el sistema de resinas B con 0.80% de concentración de resina no alcanza a desarrollar una resistencia mínima de 1.034 Mpa (150 psi) después de transcurridas al menos 8 horas.

Las pruebas realizadas a 150° C reflejan una caída de resistencia a la tracción muy grande para los dos sistemas de resina. La dispersión de los valores se redujo a

desviación estándar menor o igual a 0.020. Los sistemas de resina B tienen resistencias menores a las que se desarrollan con el sistema de resinas A. La caída de resistencia es debida que el compuesto sólido de unión pierde sus propiedades físicas volviéndose viscoso y se pierde la unión entro los granos. A esta temperatura la línea de falla en las probetas es sobre la sección más delgada y por esto se tienen poca dispersión en los resultados.

Las pruebas realizadas a 300° C muestran un ligero aumento de resistencia de los dos sistemas de resinas. Algunos fabricantes de sistemas de resinas para moldeo utilizan aditivos para desarrollar resistencia a alta temperatura. El aumento de resistencia puede ser debido a que el compuesto sólido polimeriza a otro compuesto a esta temperatura, en las probetas se aprecia cambio en su color conforme avanza hacia el centro de la probeta, entonces se puede decir que se va "cociendo". Como el tiempo que permanece la probeta a 300° C es reducido no alcanza a "cocerse" en su totalidad y es por eso que tiende a fallar irregularmente la probeta.

Los tiempos de calentamiento son de acuerdo a la temperatura de prueba. Los resultados de las pruebas se muestran en forma gráfica en las figuras 6.13 a 6.24.

Tabla 6.3 Resultados de los promedios de resistencia a la penetración de las probetas tipo guitarra a temperatura ambiente, 150° C y 300° C y su desviación estándar.

Muestra	T. Amb. Promedio	Desviación Estándar	Muestra	150° C Promedio	Desviación Estándar	Muestra	300° C Promedio	Desviación Estándar
	0.001 plg	0.001 plg		0.001 plg	0.001 plg		0.001 plg	0.001 plg
5A8-24	47	1.75	5A8-150	50	3.57	5A8-300	39	3.17
5A9-24	53	1.48	5A9-150	51	3.68	5A9-300	38	2.49
5A115-24	62	1.20	5A115-150	62	3.69	5A115-300	38	2.79
7A8-24	51	0.84	7A8-150	52	1.97	7A8-300	40	2.39
7A9-24	56	2.63	7A9-150	55	2.11	7A9-300	42	2.66
7A115-24	67	3.02	7A115-150	65	4.42	7A115-300	43	2.07
5B8-24	46	2.12	5B8-150	52	3.01	5B8-300	33	3.20
5B9-24	52	1.69	5B9-150	55	3.06	5B9-300	35	3.34
5B115-24	56	1.77	5B115-150	58	3.95	5B115-300	36	3.10
7B8-24	52	1.58	7B8-150	52	3.12	7B8-300	36	2.87
7B9-24	54	2.00	7B9-150	56	4.06	7B9-300	37	3.50
7B115-24	59	2.07	7B115-150	58	2.31	7B115-300	38	3.57

Resistencia a la tracción de Resina A con AFS gfn 50 a 0.80 % a 24, 150 y 300°C.

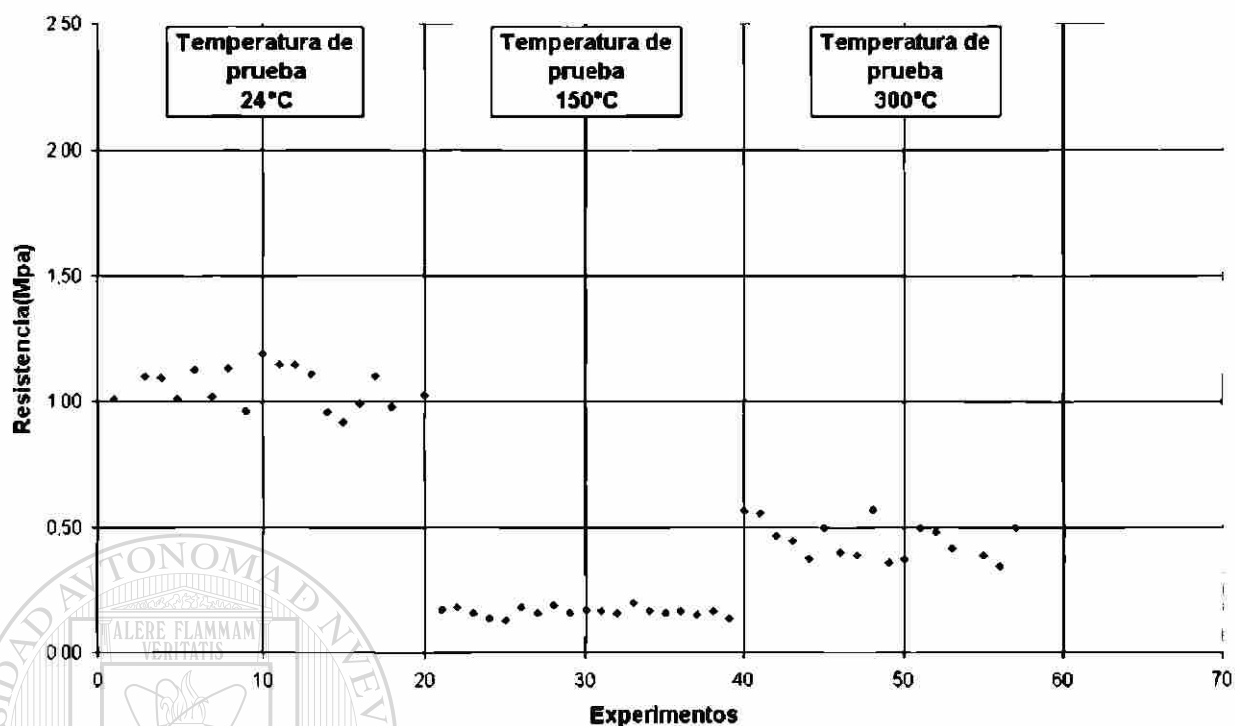


Figura 6.13 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina A 0.80% AFS gfn 50.

Resistencia a la tracción de Resina B con AFS gfn 50 a 0.80% a 24, 150 y 300°C.

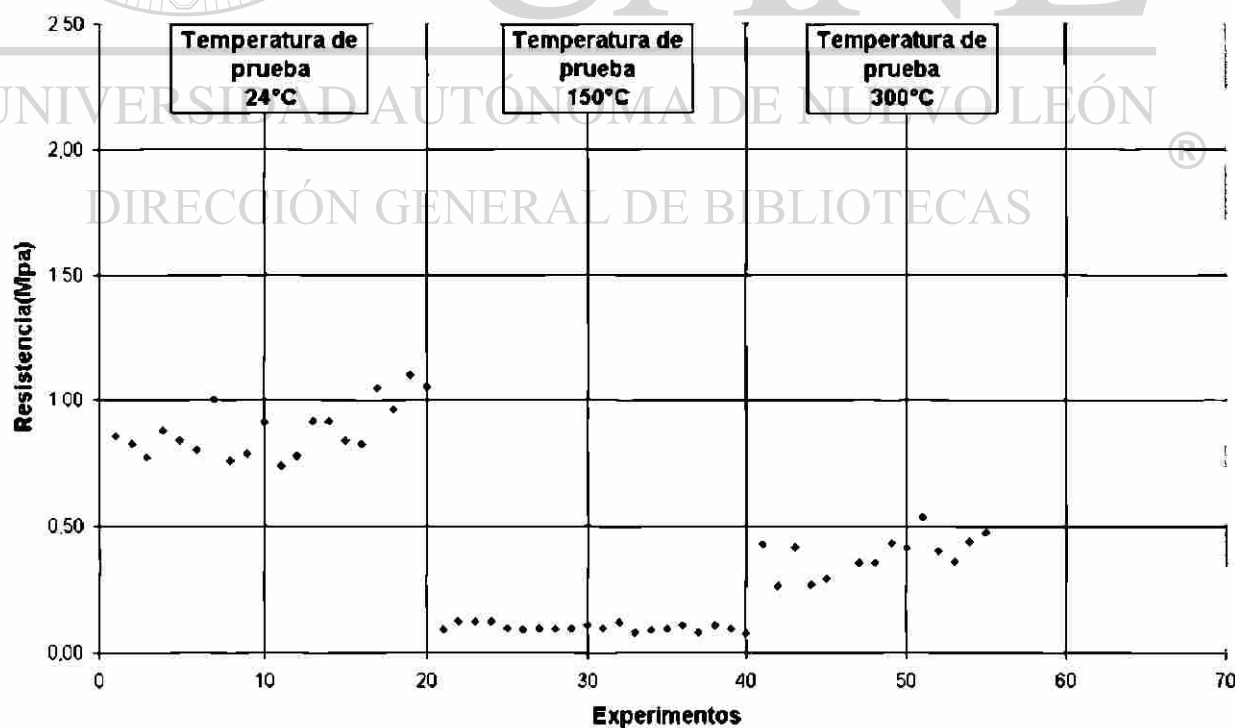


Figura 6.14 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina B 0.80% AFS gfn 50.

Resistencia a la tracción de Resina A con AFS gfn 50, 0.90 % a 24, 150 y 300°C.

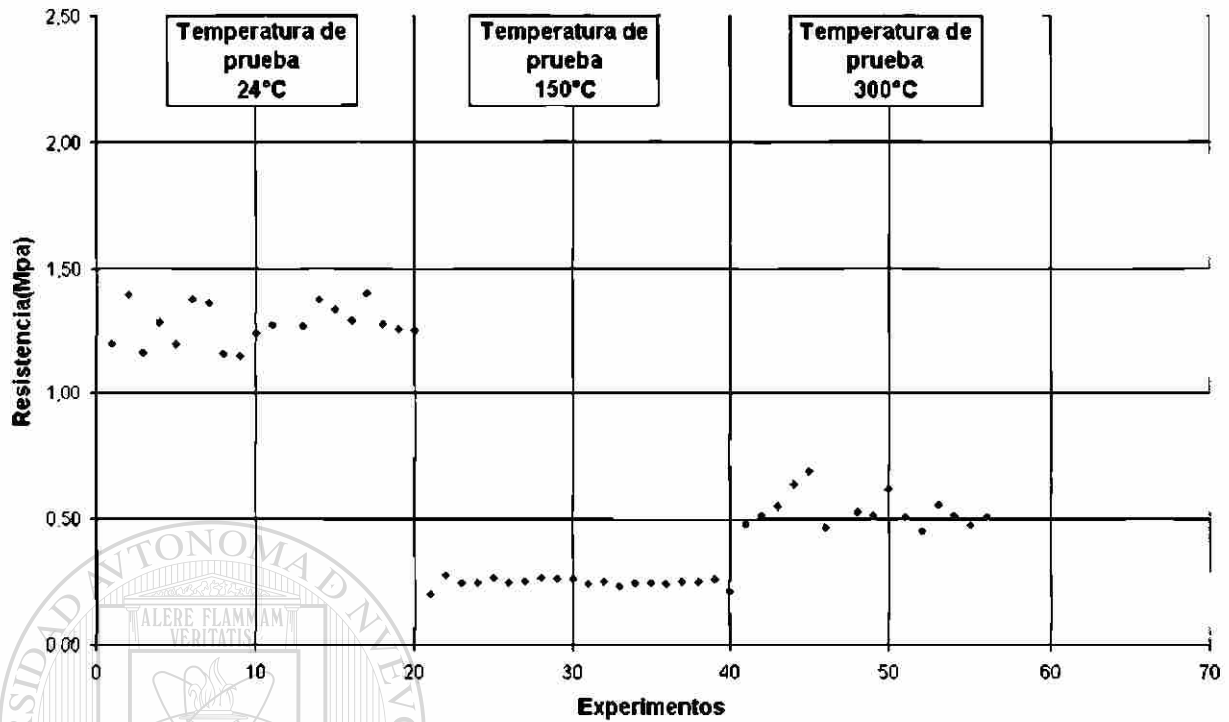


Figura 6.15 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina A 0.90% AFS gfn 50.

Resistencia a la tracción de Resina B con AFS gfn 50, 0.90 % a 24, 150 y 300°C.

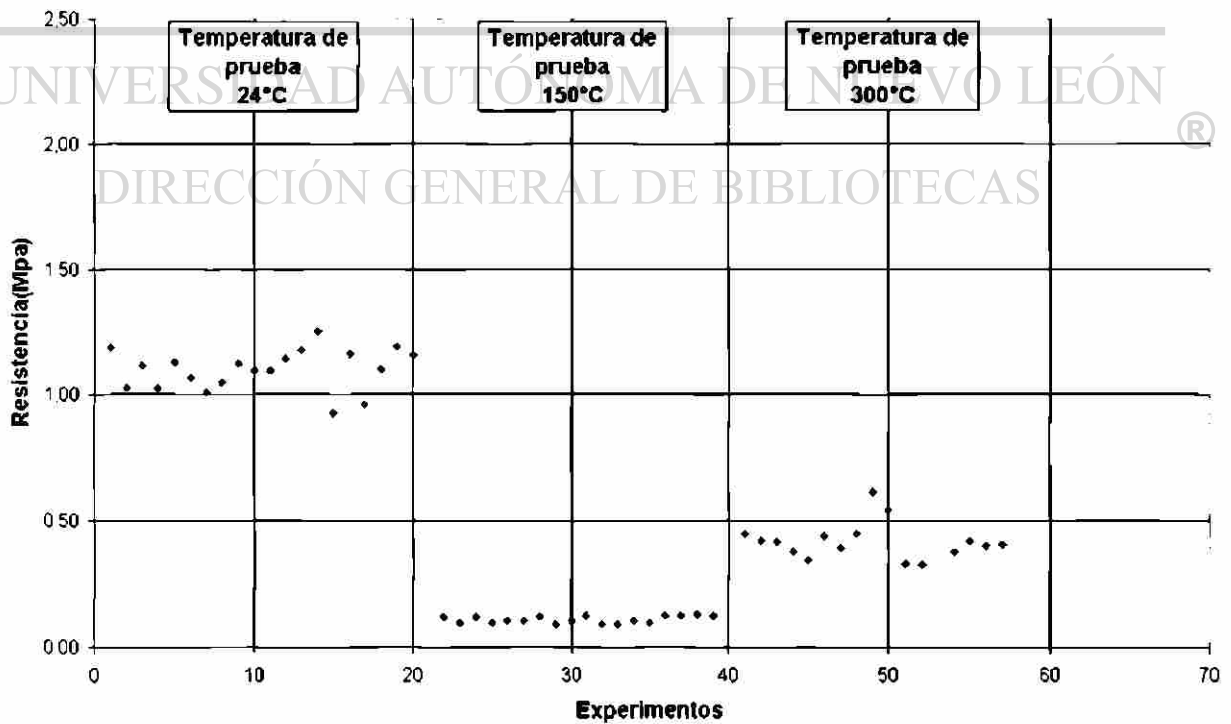


Figura 6.16 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina B 0.90% AFS gfn 50.

Resistencia a la tracción de Resina A con AFS gfn 50, 1.15% a 24, 150 y 300°C.

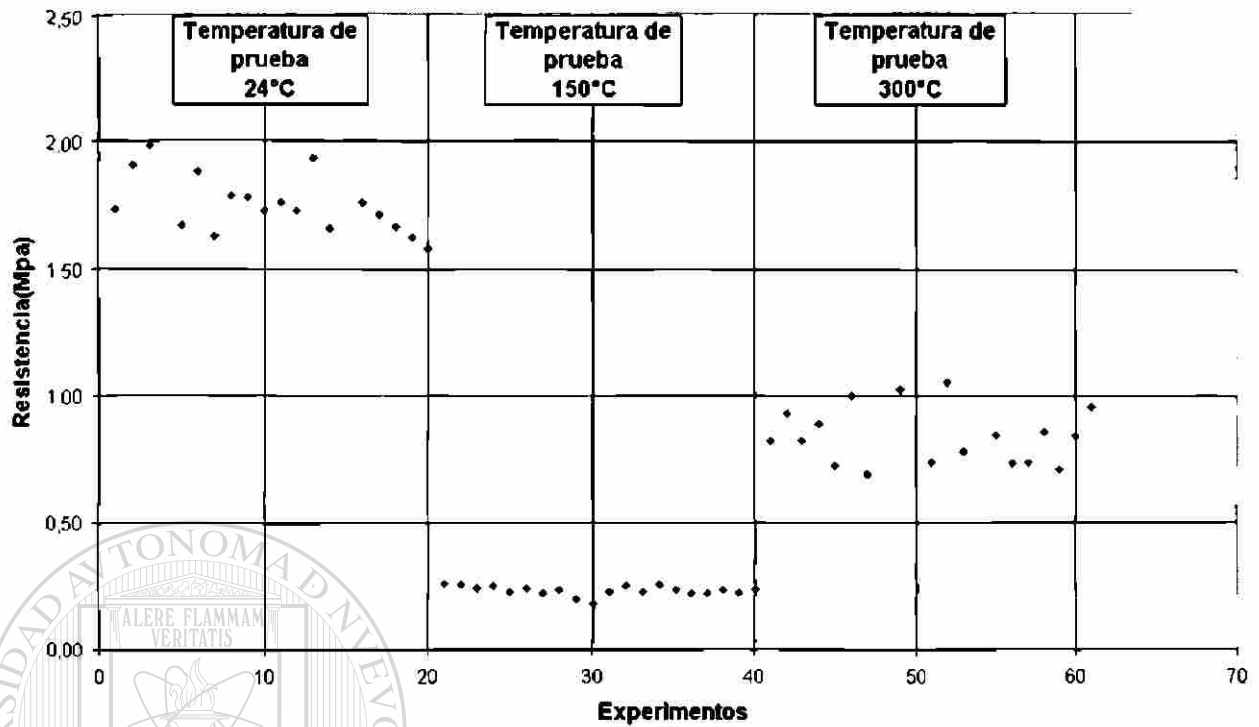


Figura 6.17 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina A 1.15% AFS gfn 50.

Resistencia a la tracción de Resina B con AFS gfn 50, 1.15% a 24, 150 y 300°C.

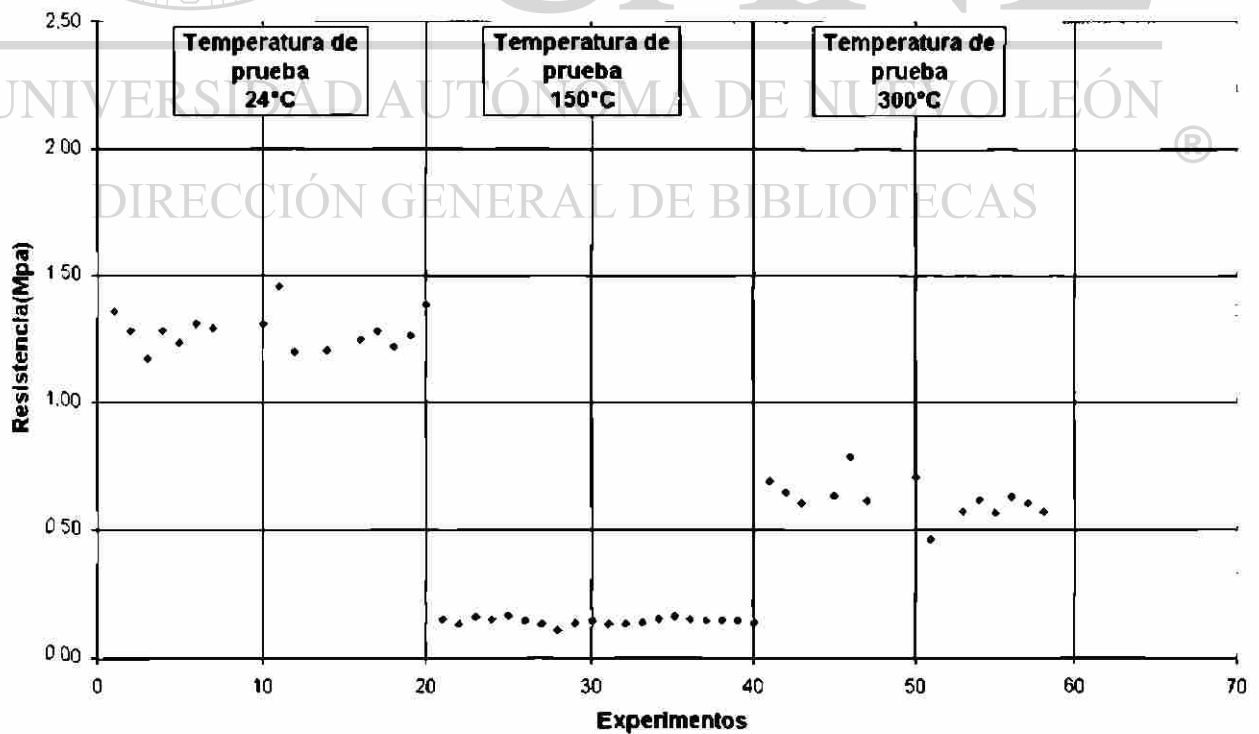


Figura 6.18 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina B 1.15% AFS gfn 50.

Resistencia a la tracción de Resina A con AFS gfn 70, 0.80% a 24, 150 y 300°C

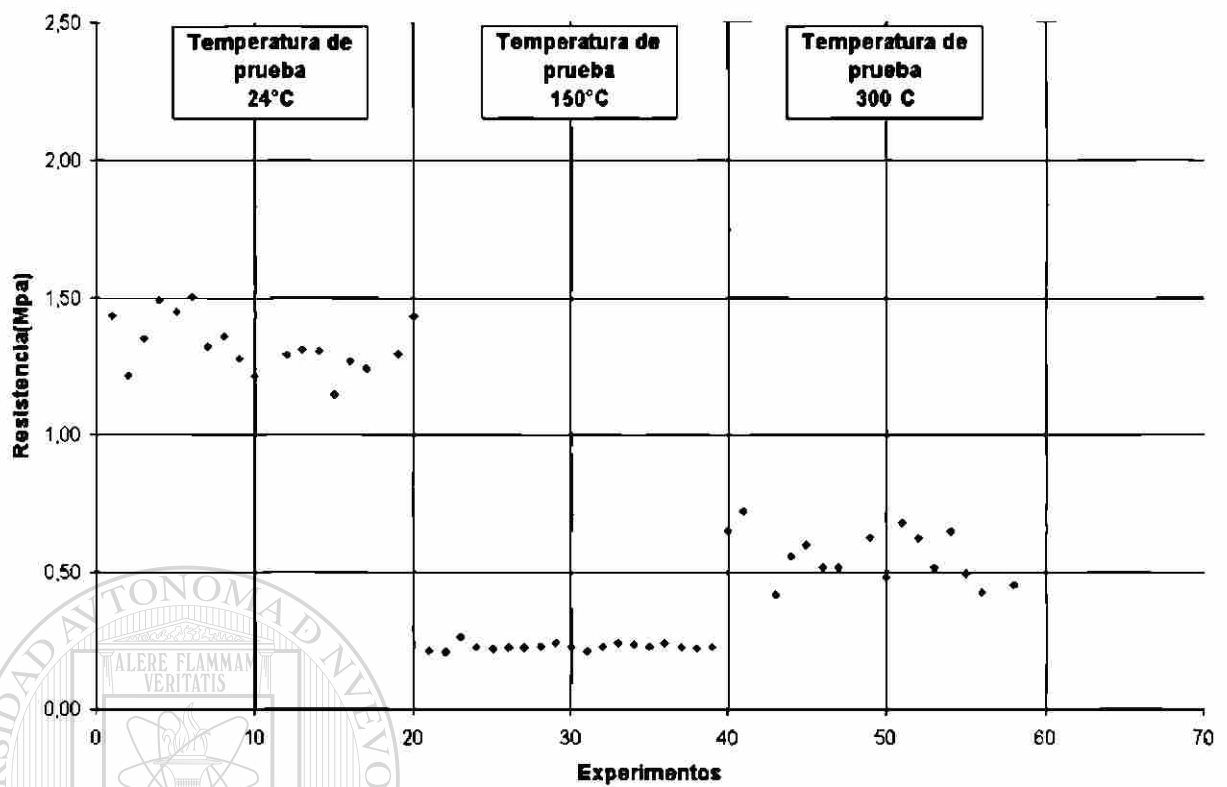


Figura 6.19 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina A 0.80% AFS gfn 70.

Resistencia a la tracción de Resina B con AFS gfn 70, 0.80% a 24, 150 y 300°C

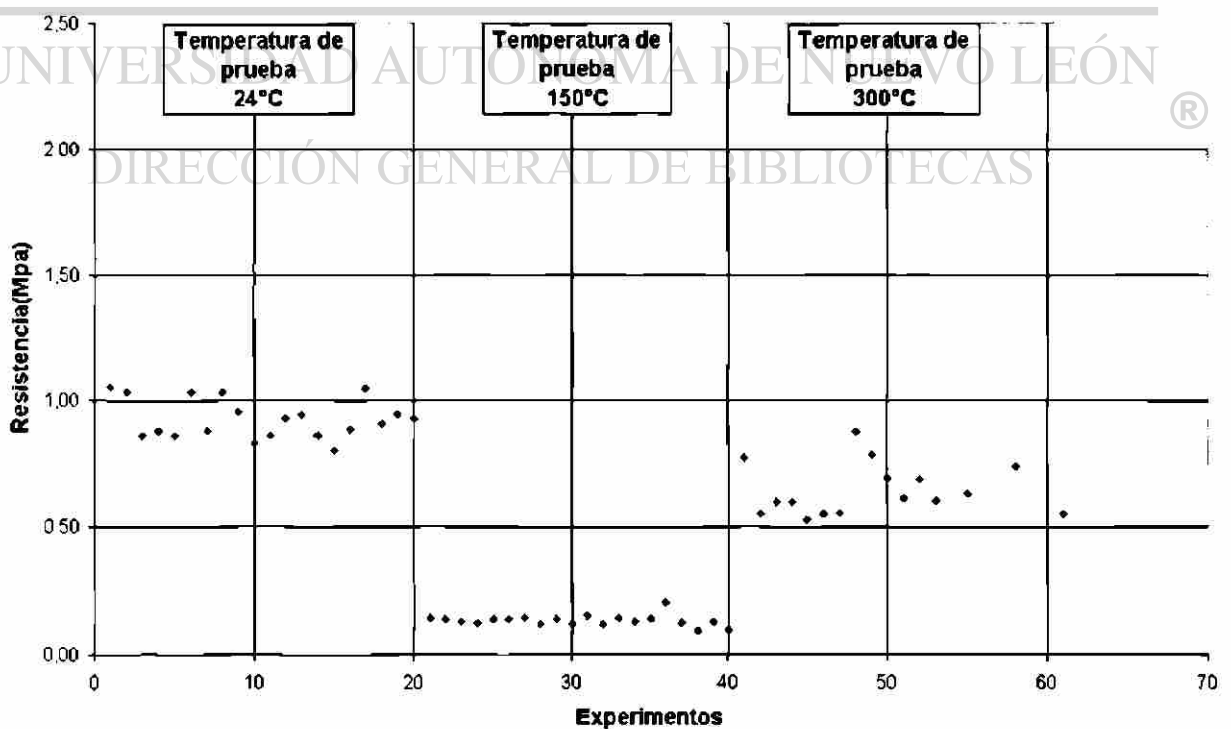


Figura 6.20 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina B 0.80% AFS gfn 70.

Resistencia a la tracción de Resina A con AFS gfn 70, 0.90 % a 24, 150 y 300°C.

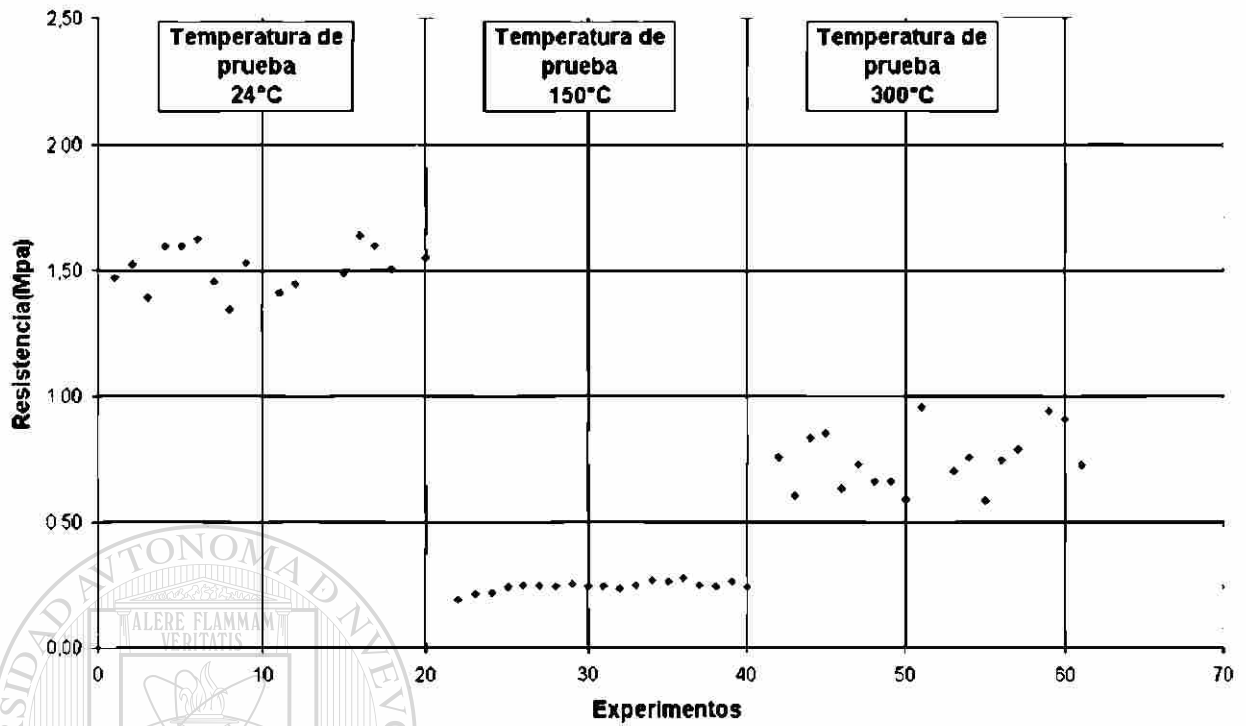


Figura 6.21 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina A 0.90% AFS gfn 70.

Resistencia a la tracción de Resina B con AFS gfn 70, 0.90 % a 24, 150 y 300°C.

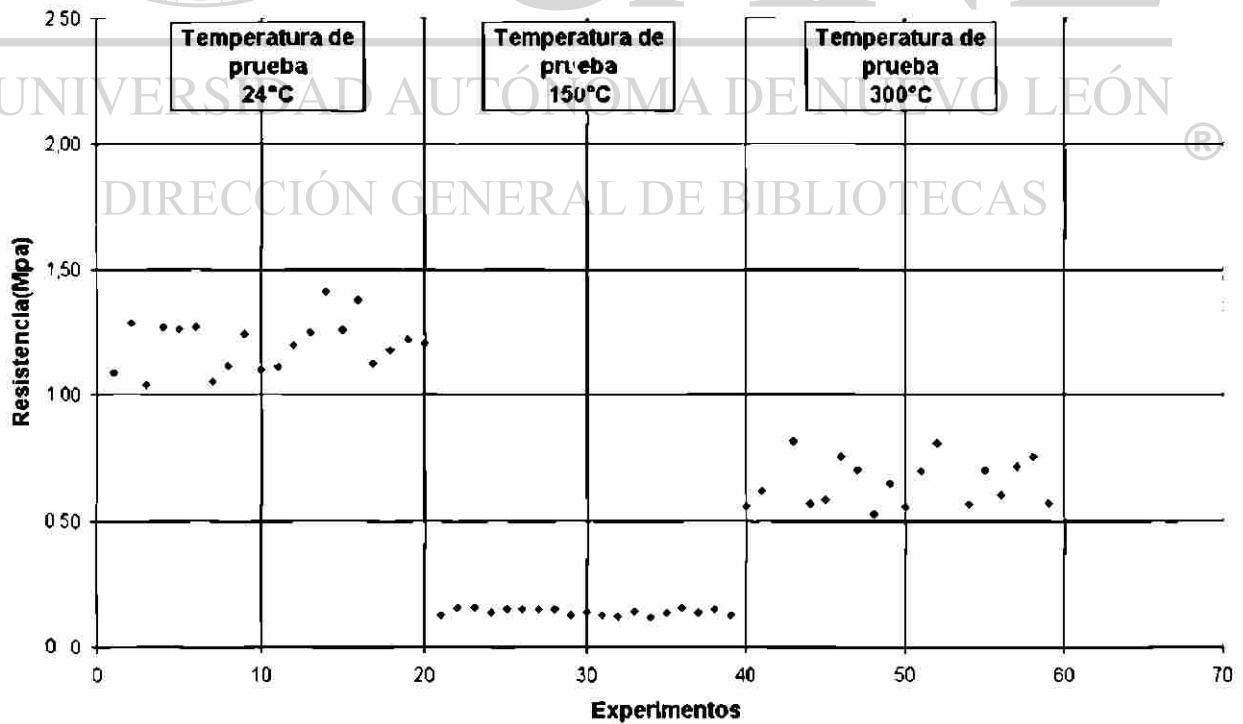


Figura 6.22 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina B 0.90% AFS gfn 70.

Resistencia a la tracción de Resina A con AFS gfn 70, 1.15% a 24, 150 y 300°C.

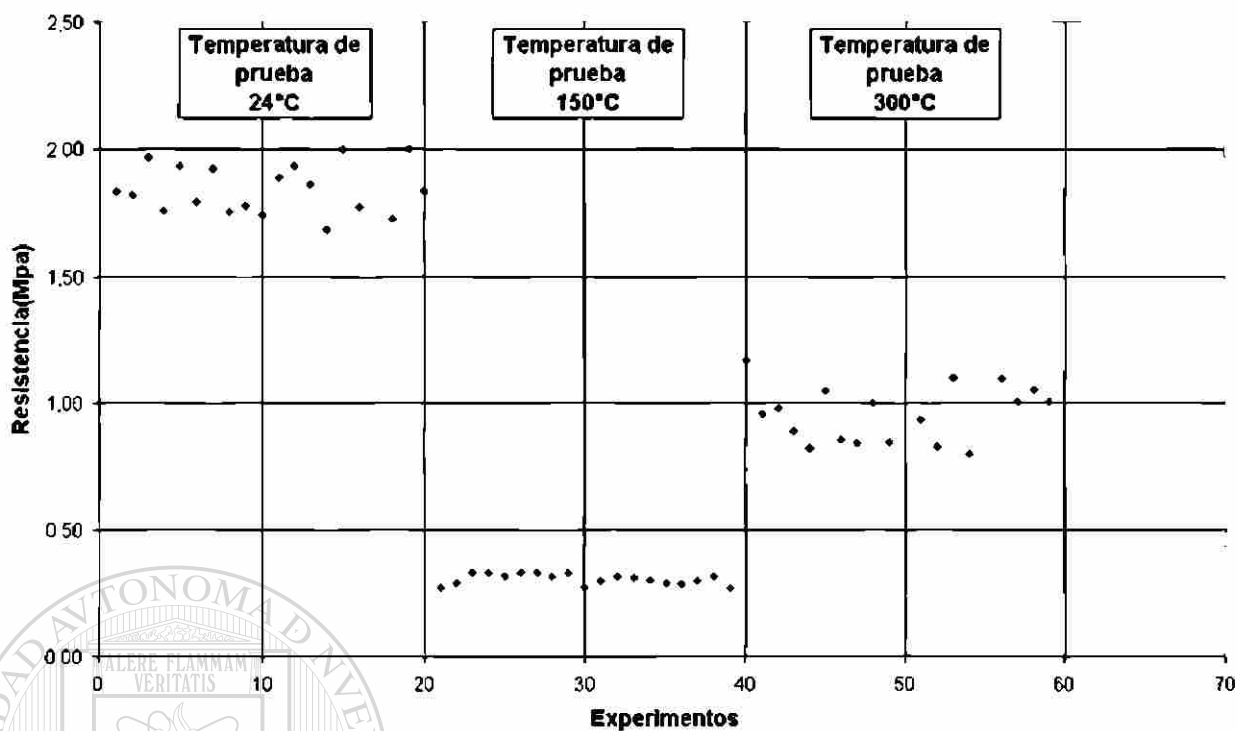


Figura 6.23 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina A 1.15% AFS gfn 70.

Resistencia a la tracción de Resina B con AFS gfn 70, 1.15% a 24, 150 y 300°C.

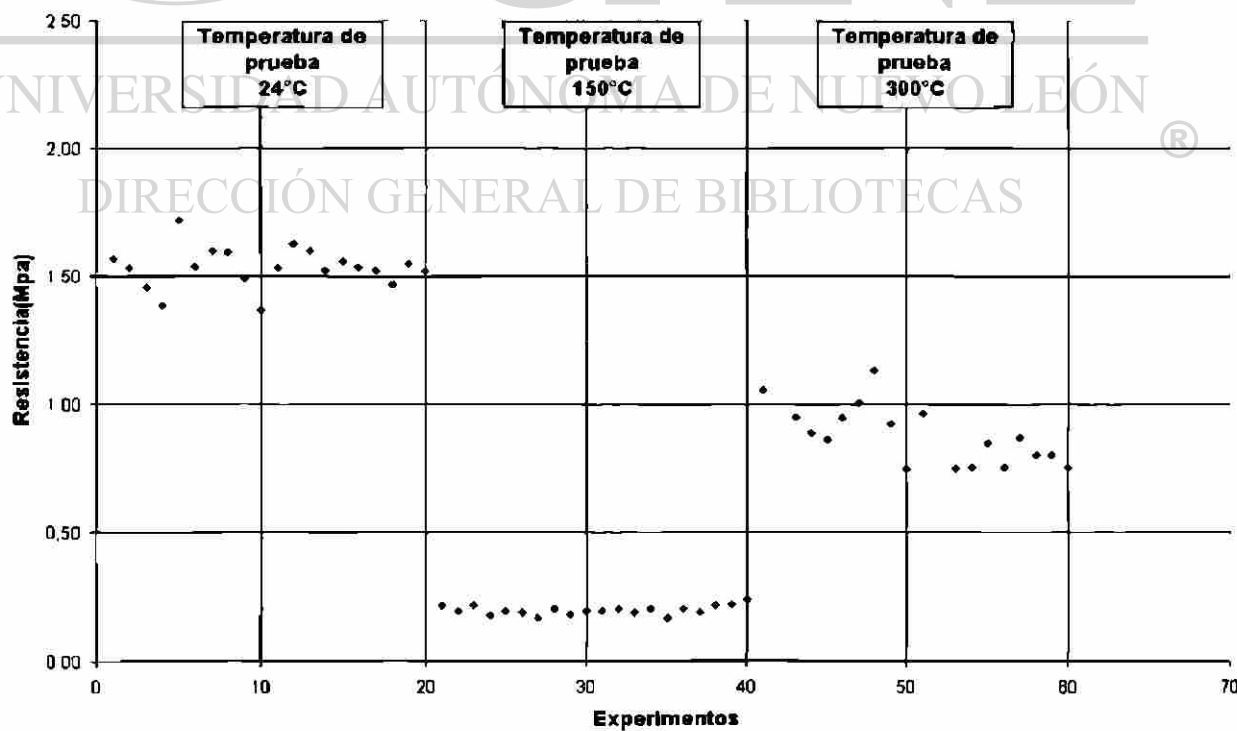


Figura 6.24 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina B 1.15% AFS gfn 70.

Cuando los corazones son expuestos a alta temperatura, no sólo la resistencia de los corazones se ve disminuida, una característica que también debe tomarse en cuenta es como cambia su resistencia a la penetración. Al aumentar la temperatura se disminuye la resistencia a la penetración de la cara externa del corazón y se deteriora su apariencia superficial pudiendo causar penetración de metal y un mal acabado sobre la pieza.

Los valores de resistencia a la penetración a temperatura ambiente son muy superiores al mínimo que se busca tenga un corazón para un óptimo uso, que es 40 milésimas de pulgada. Las mezclas que utilizan arena AFS gfn 70 tiene una mayor resistencia a la penetración a temperatura ambiente debido a que se encuentran más compactas las probetas según los resultados del MQI.

La cantidad de resina también influye en el aumento de resistencia a la penetración siendo mayor la resistencia a mayores contenidos de resina. Las lecturas se tomaron sobre la misma parte de la probeta, se tomaron diez lecturas sobre diferentes probetas y se obtuvo el promedio, los resultados se muestran resumidos en la Tabla 6.3 y de manera gráfica en las figuras 6.25 a 6.36.

La resistencia a la penetración se mantiene a los 150° C arriba de 50 para todas las formulaciones de los dos sistemas de resinas, a esta temperatura sólo se ve algo degradado el aspecto de la probeta debido a la prolongada exposición a esta temperatura. A los 300° C de temperatura de prueba la resistencia a la penetración de las probetas cae considerablemente, las mezclas con resina B tiene valores inferiores a 40 aún con arena AFS gfn 70.

Las probetas se deterioran considerablemente en su superficie por el prolongado tiempo que se encuentran a 300° C. Las probetas que utilizan resina A tienen un valor favorable de resistencia a la penetración a los 300° C con arena AFS gfn 70 pero la degradación superficial es muy severa. Para estas pruebas no se utilizó ningún tipo de atmósfera dentro de la cámara de calentamiento lo que da como resultado el provocar un rápido deterioro de las resinas.

Resistencia al rayado de Resina A con AFS gfm 50 a 0.8% a 24, 150 y 300°C.

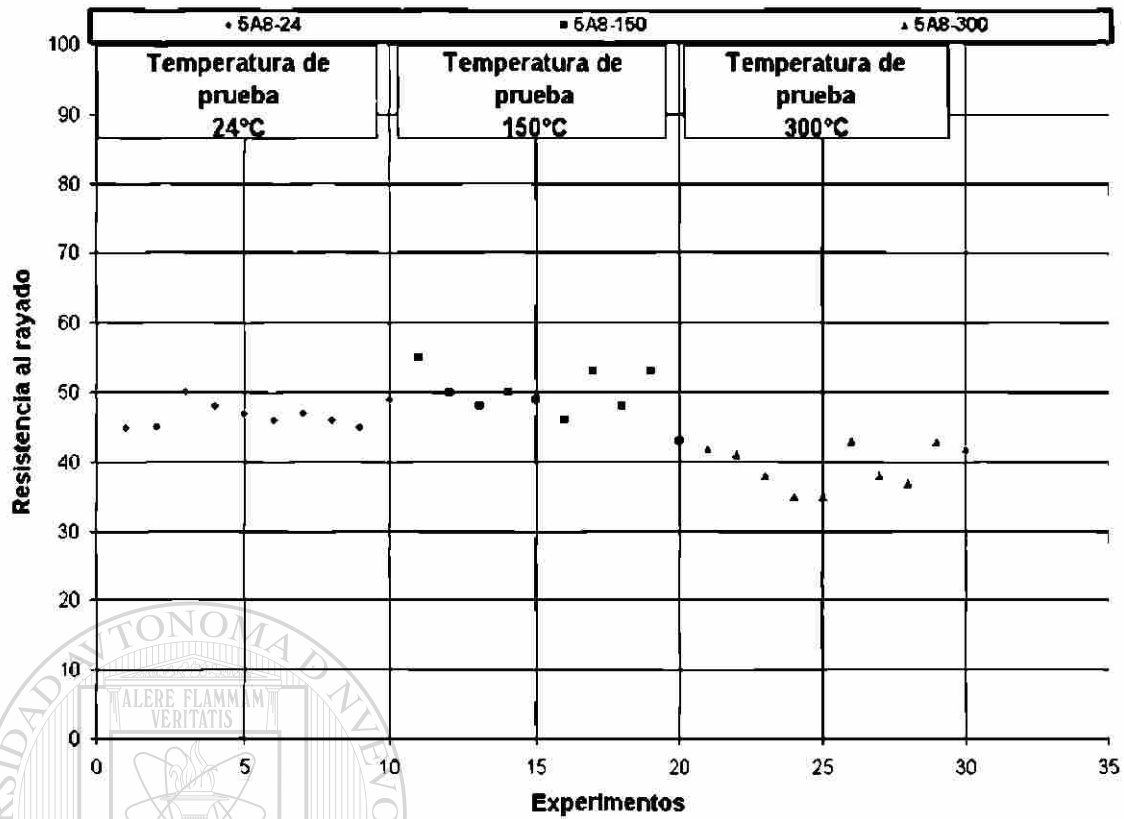


Figura 6.25 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina A 0.80% AFS gfm 50.

Resistencia al rayado de Resina B con AFS gfm 50 a 0.8% a 24, 150 y 300°C.

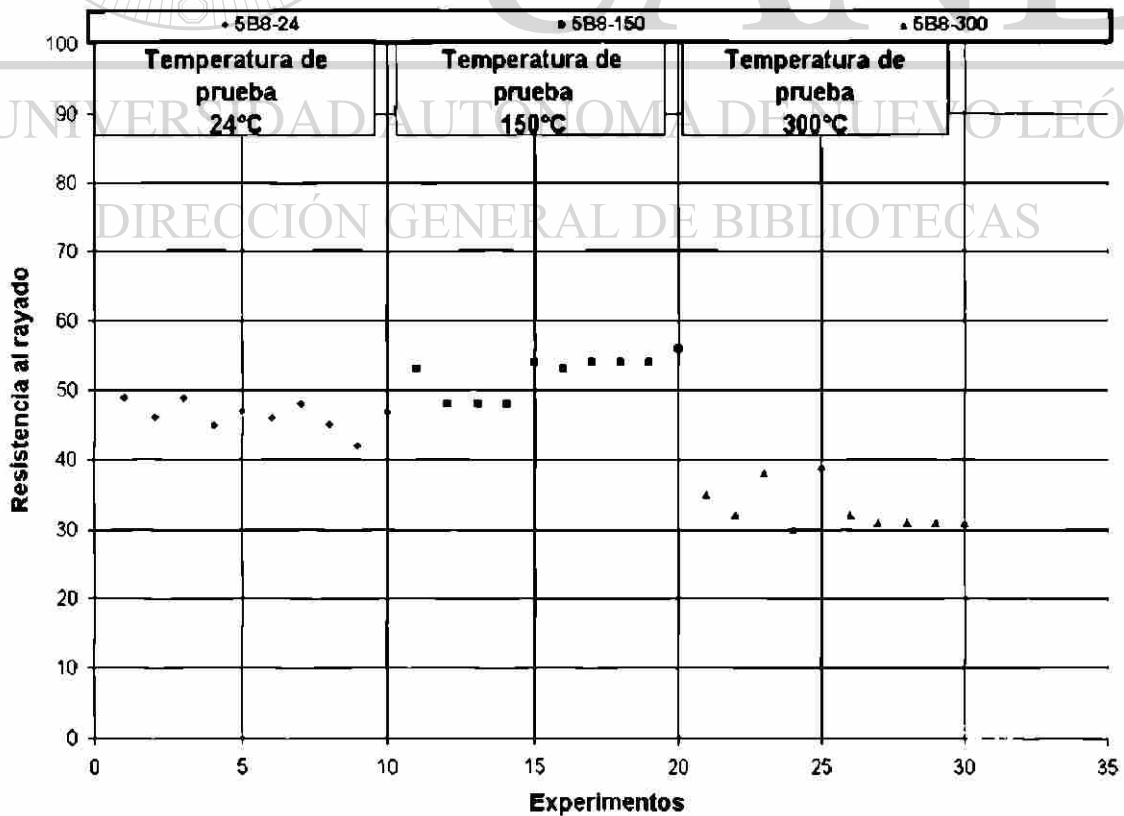


Figura 6.26 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina B 0.80% AFS gfm 50.

Resistencia al rayado de Resina A con AFS gfn 50 a 0.9% a 24, 150 y 300°C.

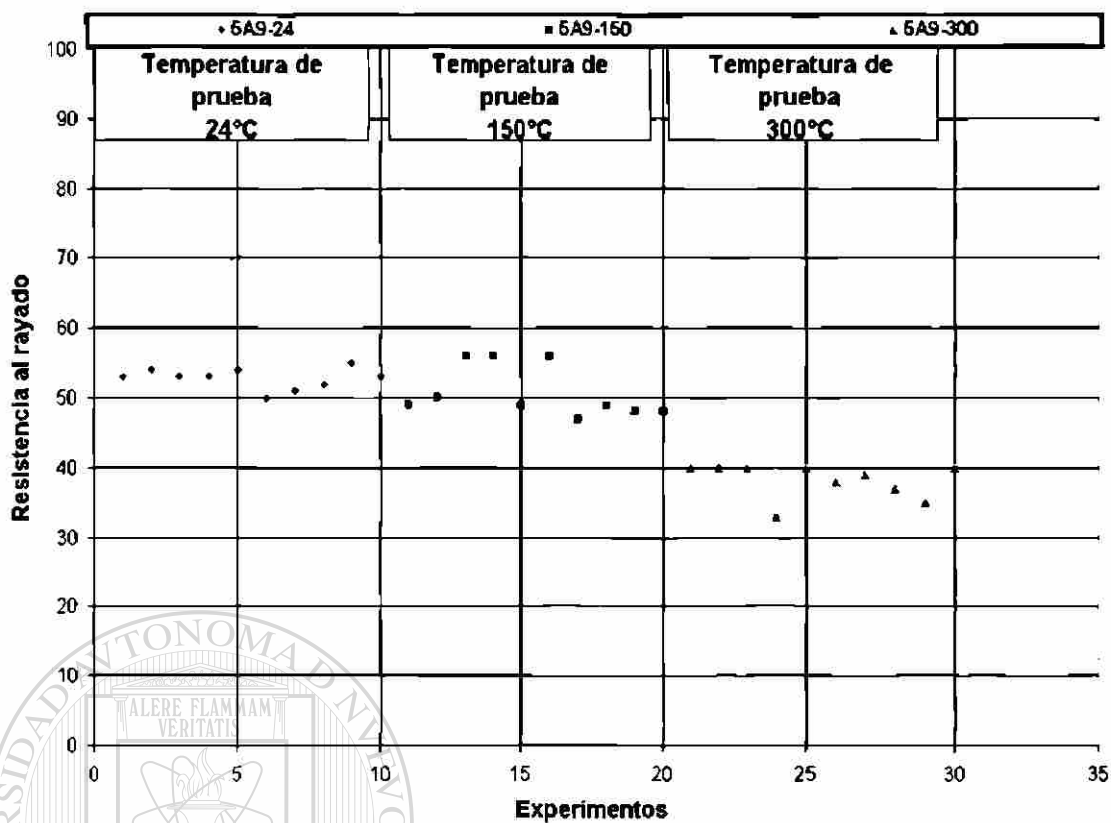


Figura 6.27 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina A 0.90% AFS gfn 50.

Resistencia al rayado de Resina B con AFS gfn 50 a 0.9% a 24, 150 y 300°C.

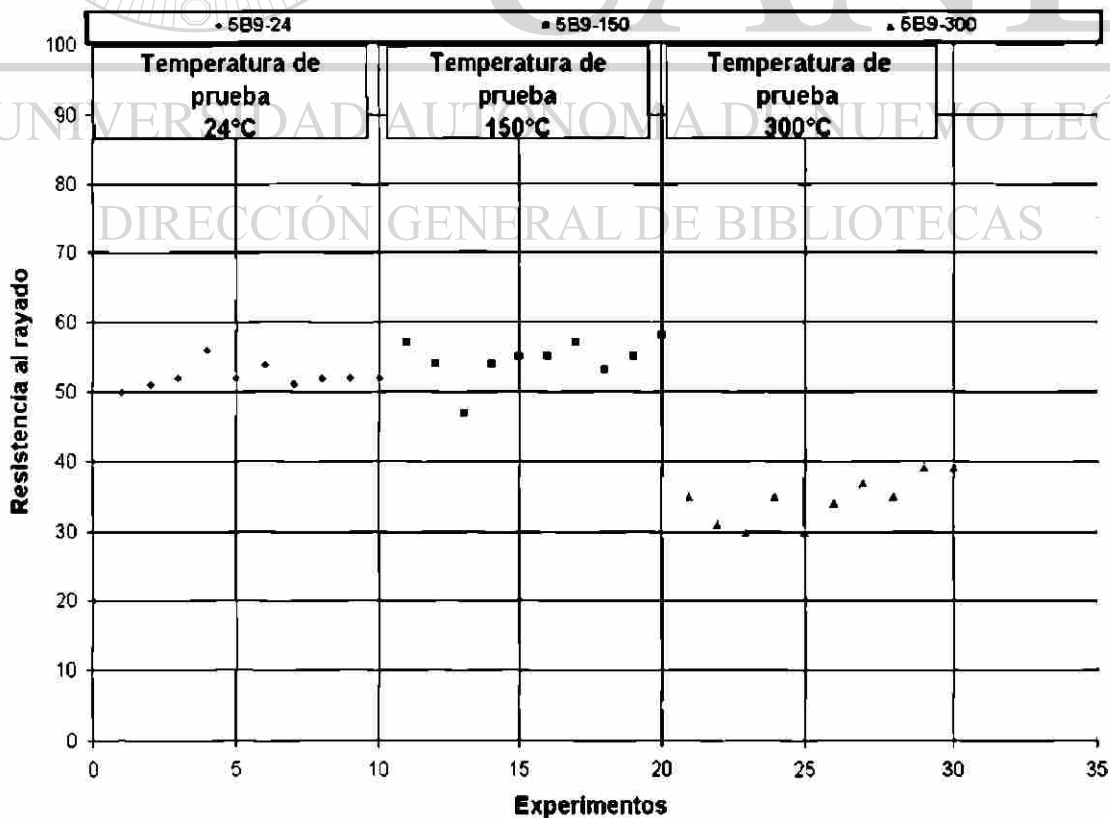


Figura 6.28 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina B 0.90% AFS gfn 50.

Resistencia al rayado de Resina A con AFS gfm 50 a 1.15% a 24, 150 y 300°C.

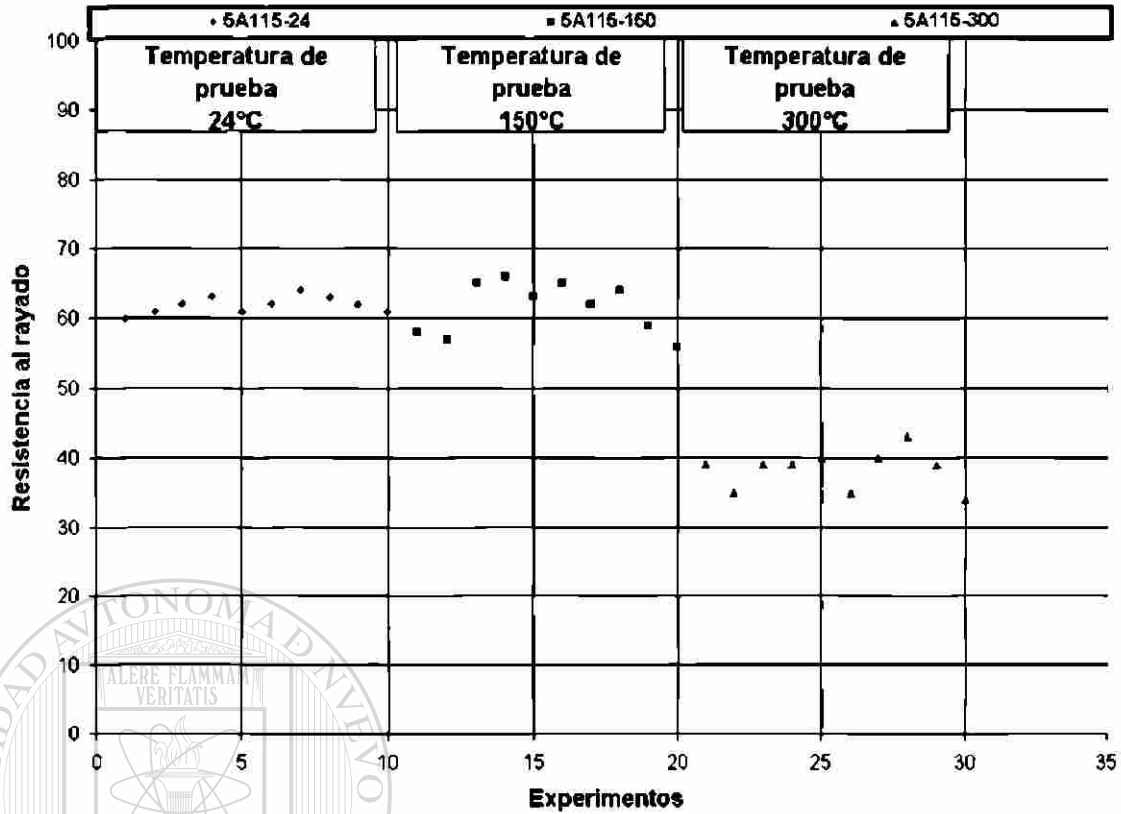


Figura 6.29 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina A 0.1.15 AFS gfm 50.

Resistencia al rayado de Resina B con AFS gfm 50 a 1.15% a 24, 150 y 300°C.

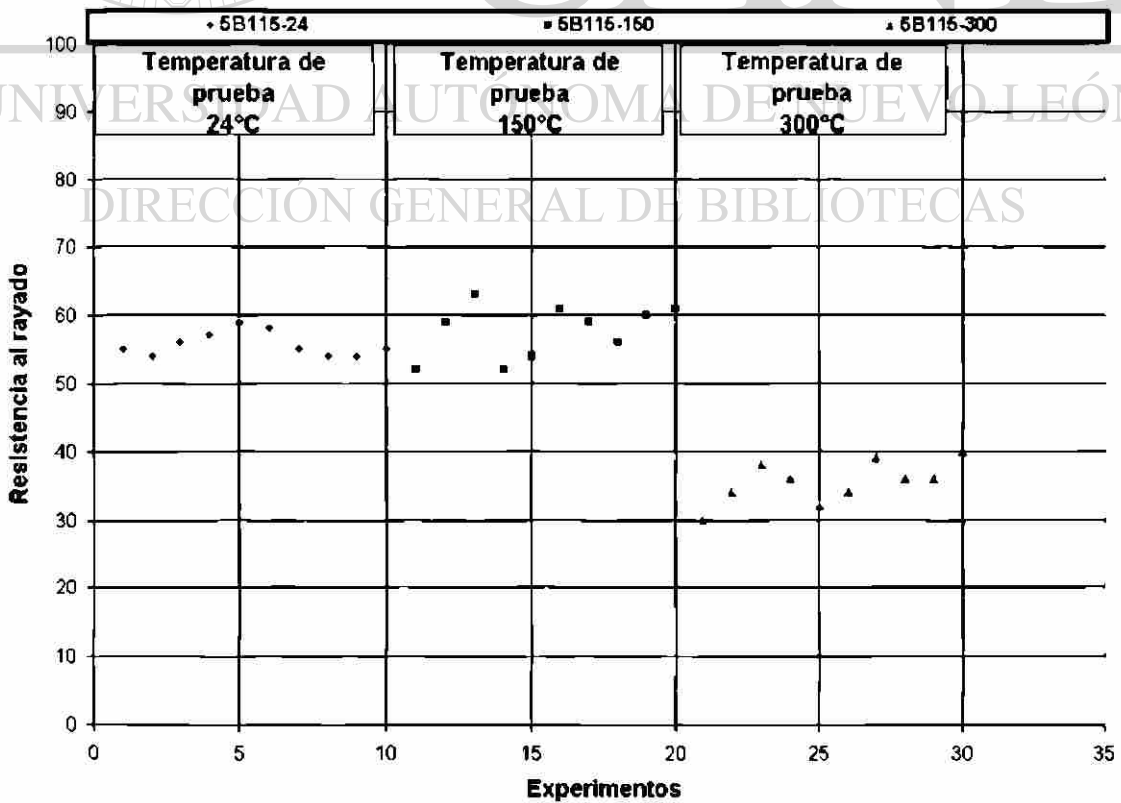


Figura 6.30 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina B 1.15% AFS gfm 50.

Resistencia al rayado de Resina A con AFS gfn 70 a 0.8% a 24, 150 y 300°C.

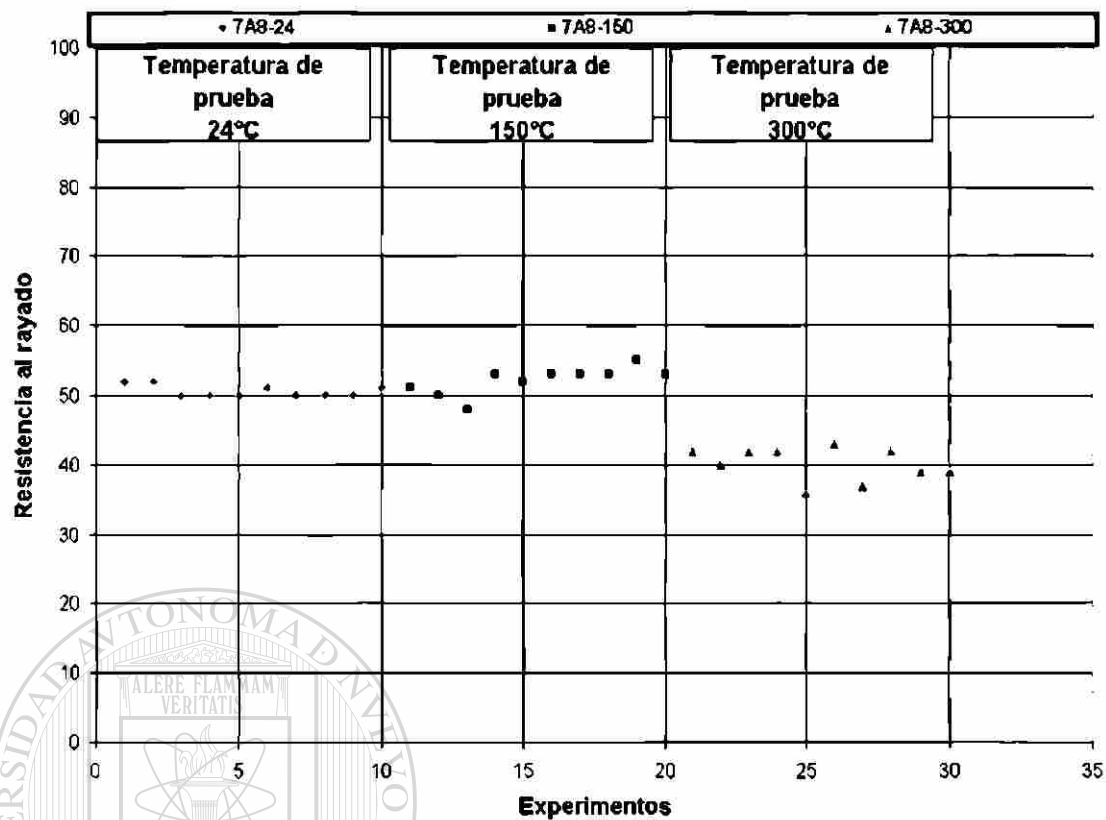


Figura 6.31 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina A 0.80% AFS gfn 70.

Resistencia al rayado de Resina B con AFS gfn 70 a 0.8% a 24, 150 y 300°C.

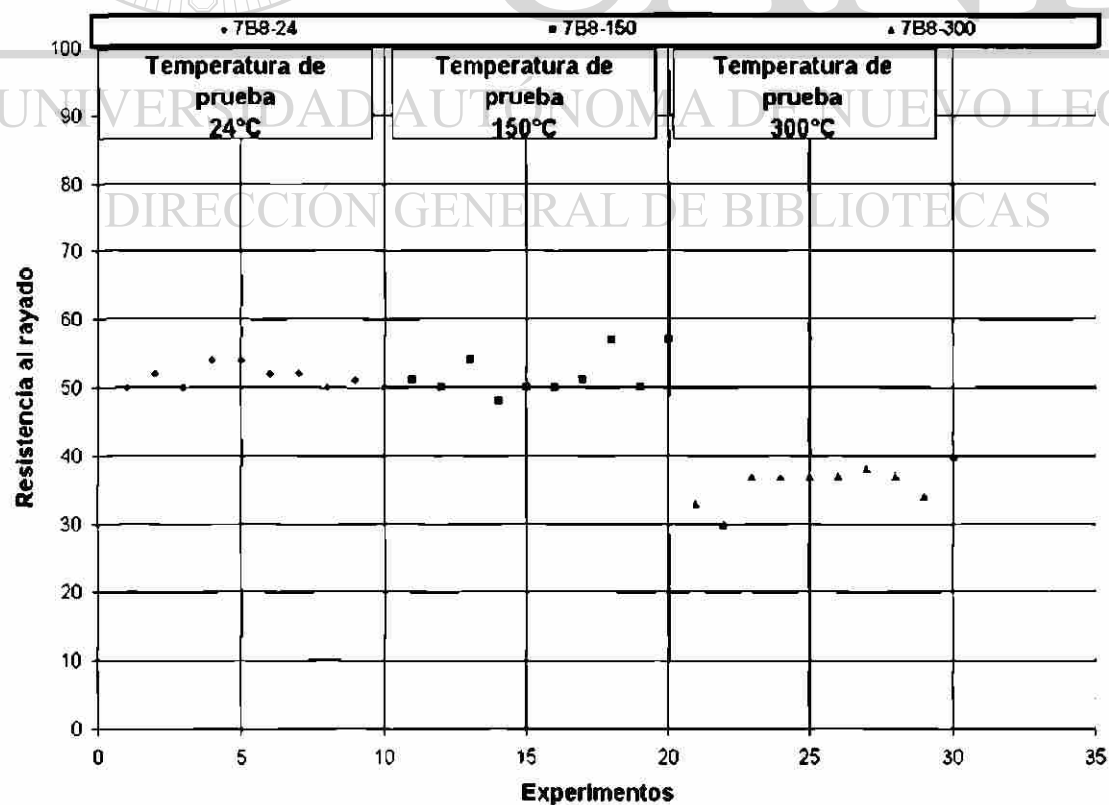


Figura 6.32 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina B 0.80% AFS gfn 70.

Resistencia al rayado de Resina A con AFS gfn 70 a 0.9% a 24, 150 y 300°C.

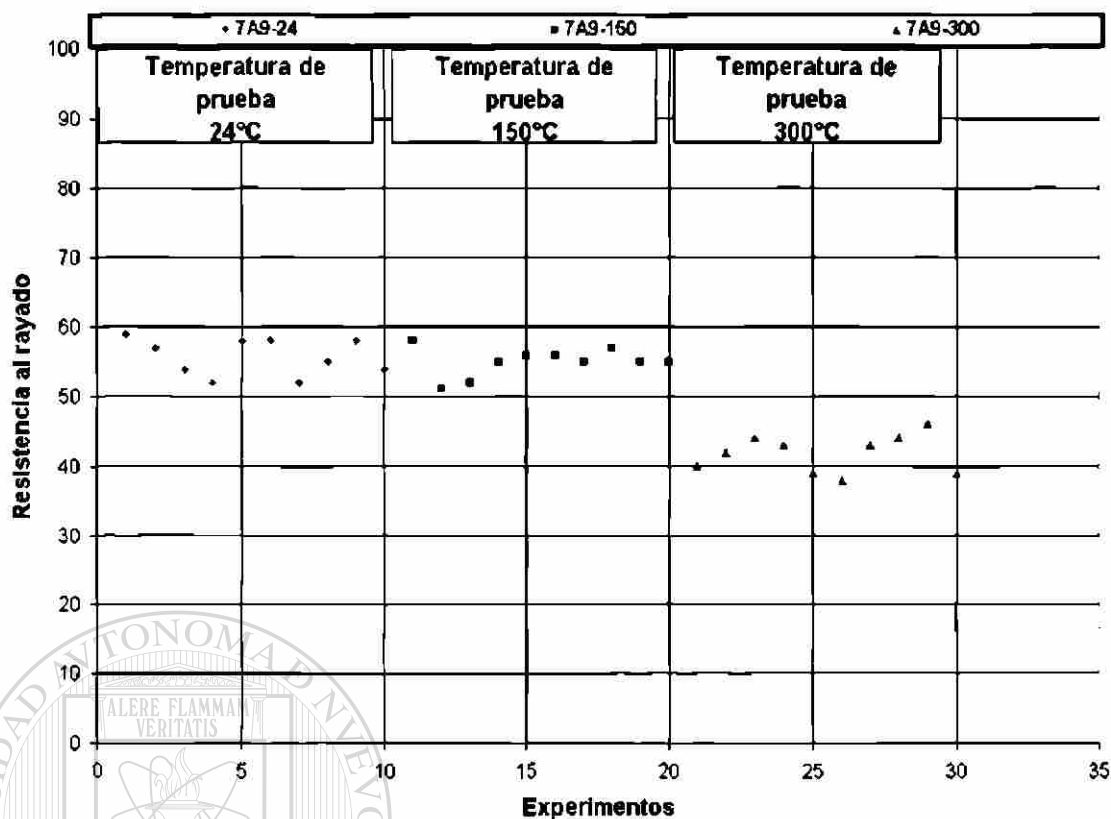


Figura 6.33 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina A 0.90% AFS gfn 70.

Resistencia al rayado de Resina B con AFS gfn 70 a 0.9% a 24, 150 y 300°C.

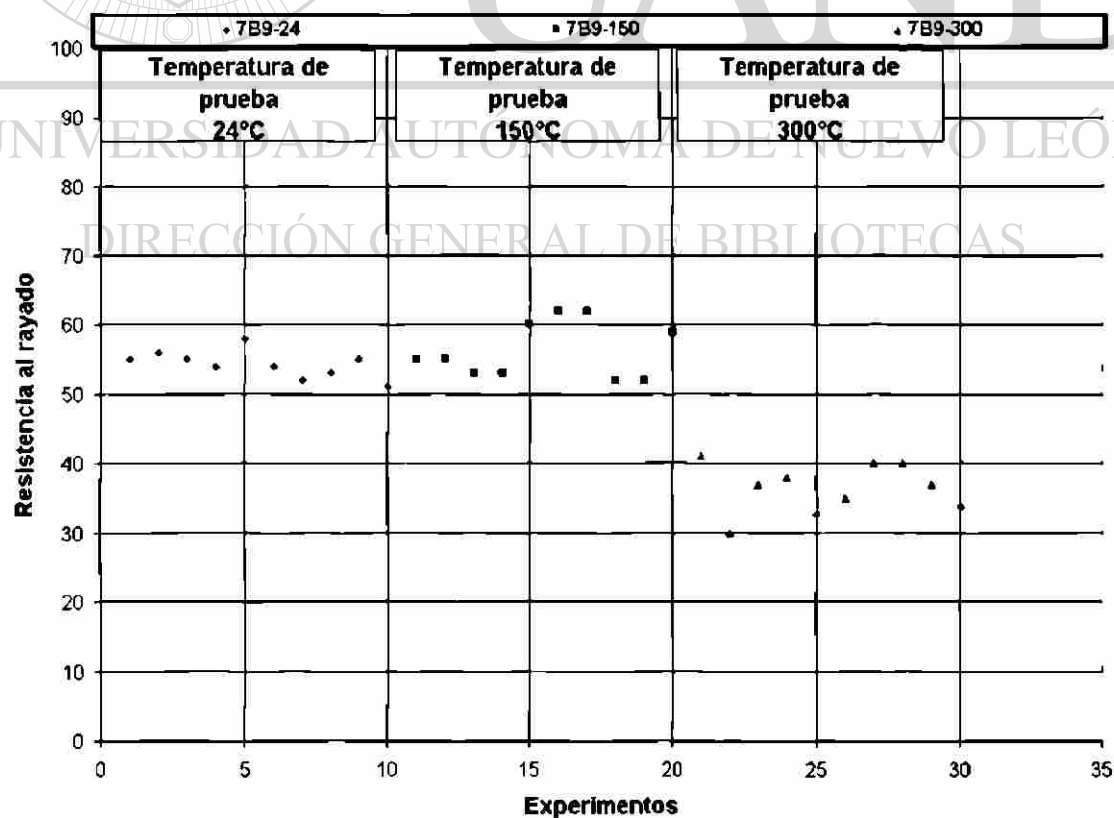


Figura 6.34 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina B 0.90% AFS gfn 70.

Resistencia al rayado de Resina A con AFS gfm 70 a 1.15% a 24, 150 y 300°C.

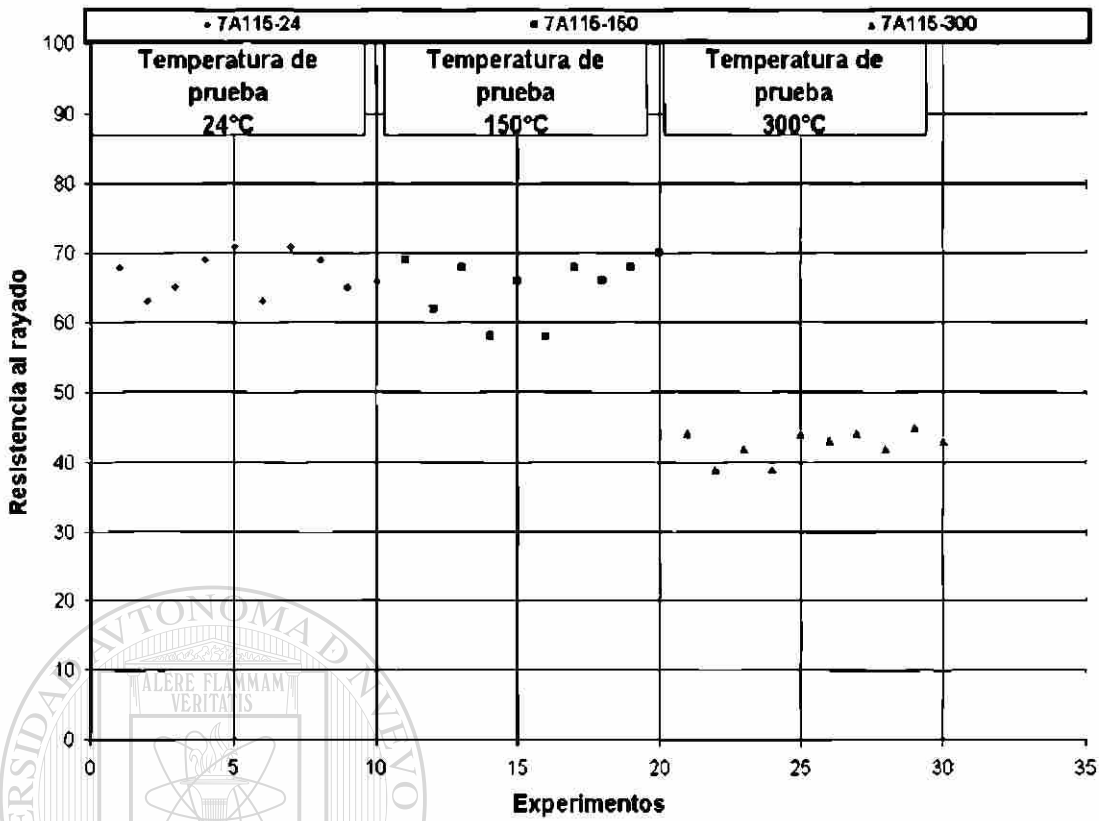


Figura 6.35 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina A 1.15% AFS gfm 70.

Resistencia al rayado de Resina B con AFS gfm 70 a 1.15% a 24, 150 y 300°C.

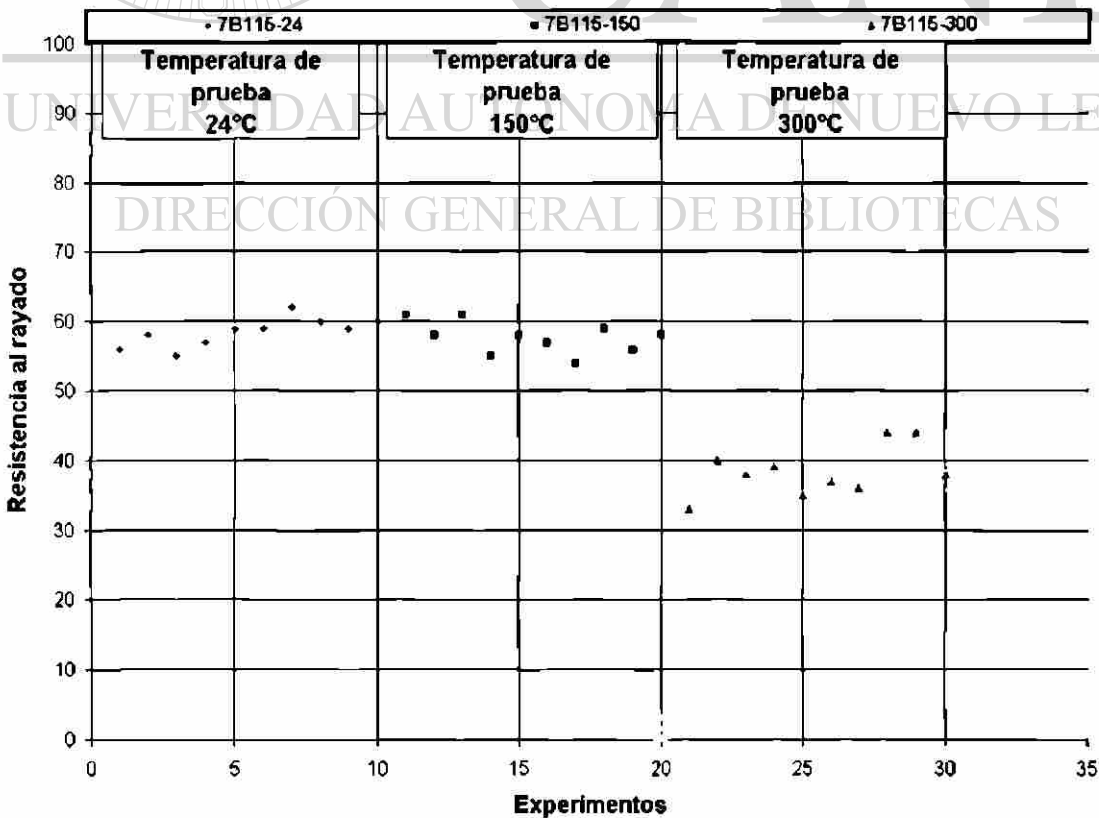


Figura 6.36 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina B 1.15% AFS gfm 70.

6.6 Evolución de gases de los sistemas de resina.

La cantidad de gases que evoluciona de una mezcla de arena es un parámetro muy importante de cuantificar al momento de evaluar los sistemas de resinas, los sistemas, al tener diferentes formulaciones dependiendo del fabricante, pueden provocar que se generen mayor cantidad de gases a iguales contenidos de resina. Para tratar de evitar problemas de porosidad sobre las piezas vaciadas se deben de tratar de tener los sistemas con menor cantidad de gases.

Para que cierta cantidad de estos gases se eliminen los corazones se hornean, entonces al mismo tiempo que adquieren resistencia se elimina cierta cantidad de volátiles que se evaporan a baja temperatura.

6.6.1 Procedimiento de prueba de evolución de gases.

La determinación de la cantidad de gases se realizó en un equipo Georg Fischer tipo 8/99/1748 TM. Se utilizó una muestra de arena de 2 gramos, raspada de una probeta de laboratorio tipo guitarra. Los 2 gramos de arena se depositan en un cartucho de acero al carbono y se tapa el extremo con colcha refractaria, posteriormente se coloca dentro del instrumento disparador, este procedimiento es de acuerdo al manual de Georg Fischer TM.

La cámara de calentamiento se encuentra a 950° C. Primero se hace un barrido de la cámara dejando entrar un flujo de N₂ durante 2 minutos, transcurrido este tiempo se cierra la entrada de nitrógeno y se deja salir el nitrógeno contenido en la cámara durante otros dos minutos abriendo la válvula de escape, finalmente se cierra la válvula de salida de gases, se abre la entrada hacia el graficador y se dispara la muestra hacia el centro de la cámara. El tiempo de prueba es de aproximadamente 5 minutos, tiempo en el cual se mantiene constante la cantidad de gas producida.

Evolución de gases de resina A a 950° C , relación 50/50, corregido a 0° C, con 0.80% de resina.

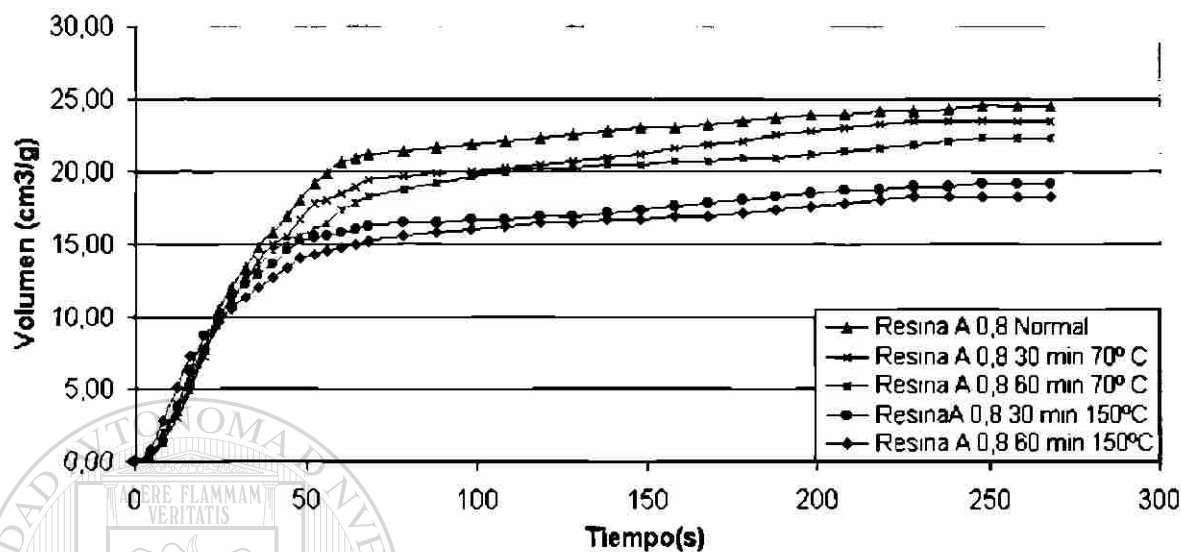


Figura 6.37 Evolución de gases resina A 0.80% corregido a 0° C.

Evolución de gases de resina B a 950° C , relación 50/50, corregido a 0° C, con 0.80% de resina.

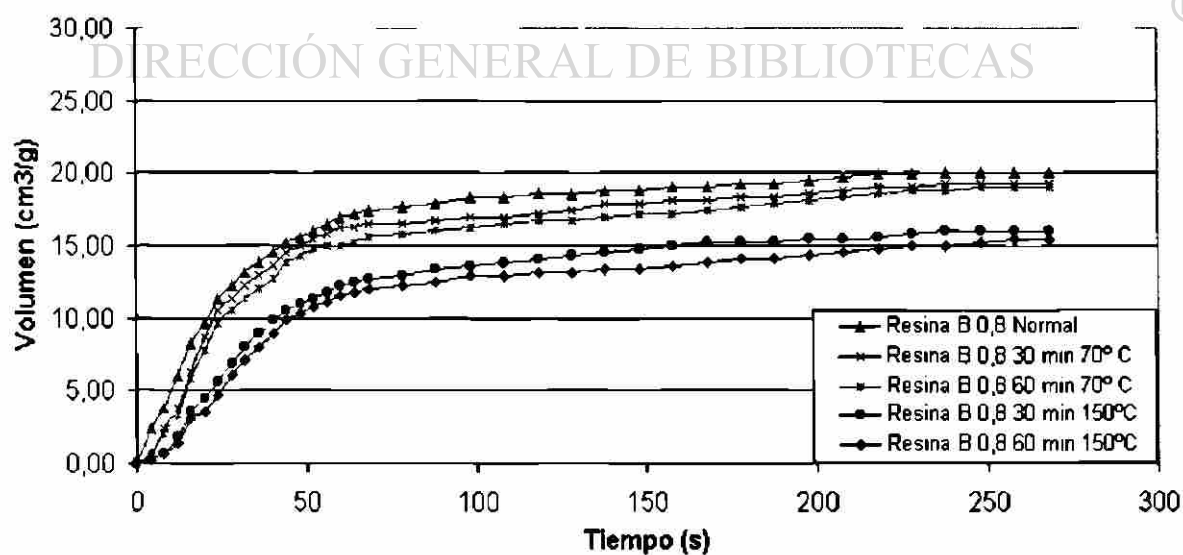


Figura 6.38 Evolución de gases resina B 0.80% corregido a 0° C.

Evolución de gases de resina A a 950° C , relación 50/50, corregido a 0° C, con 0.90% de resina.

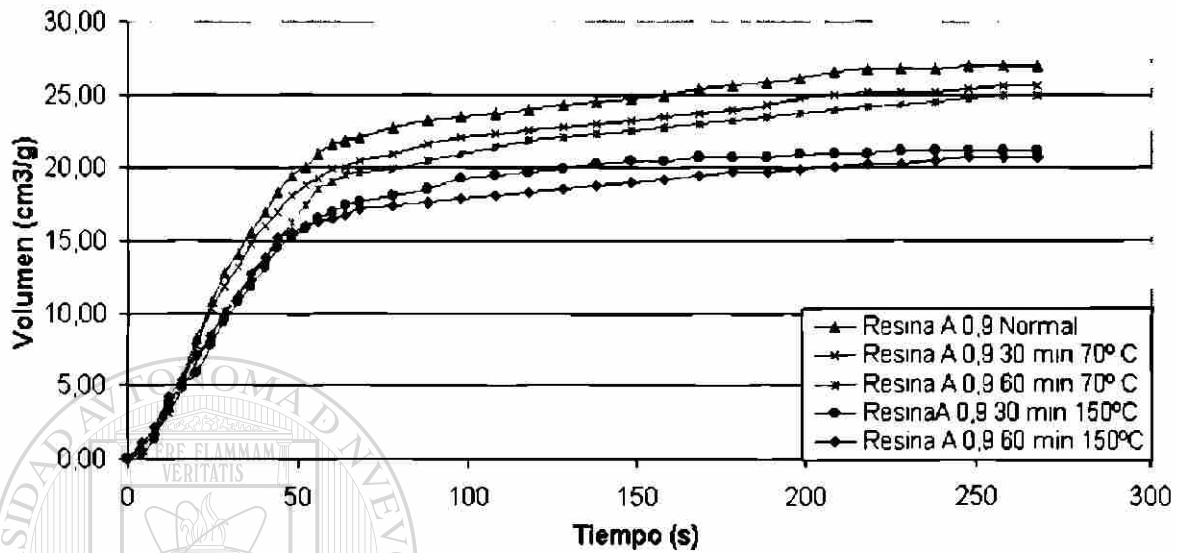


Figura 6.39 Evolución de gases resina A 0.90% corregido a 0° C.

Evolución de gases de resina B a 950° C , relación 50/50, corregido a 0° C, con 0.90% de resina.

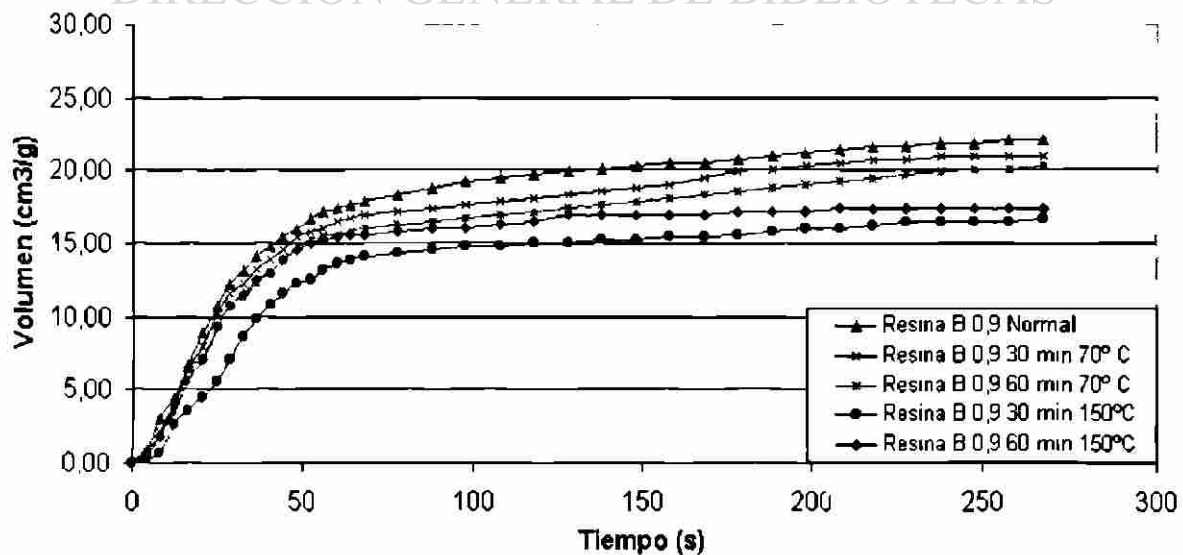


Figura 6.40 Evolución de gases resina B 0.90% corregido a 0° C.

Evolución de gases de resina A a 950° C , relación 50/50, corregido a 0° C, con 1.15% de resina.

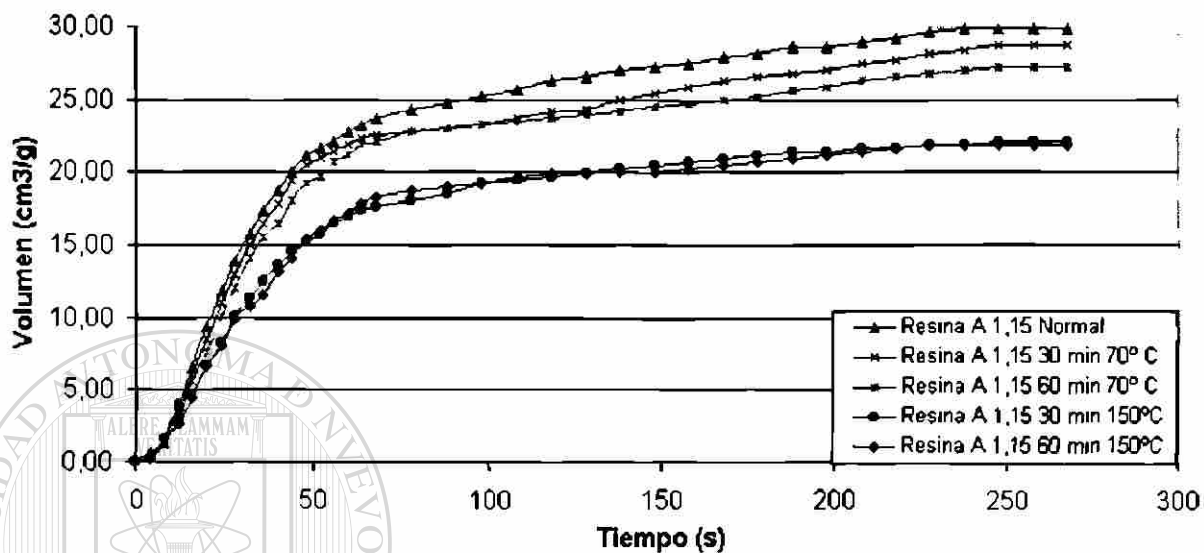


Figura 6.41 Evolución de gases resina A 1.15% corregido a 0° C.

Evolución de gases de resina B a 950° C , relación 50/50, corregido a 0° C, con 1.15% de resina.

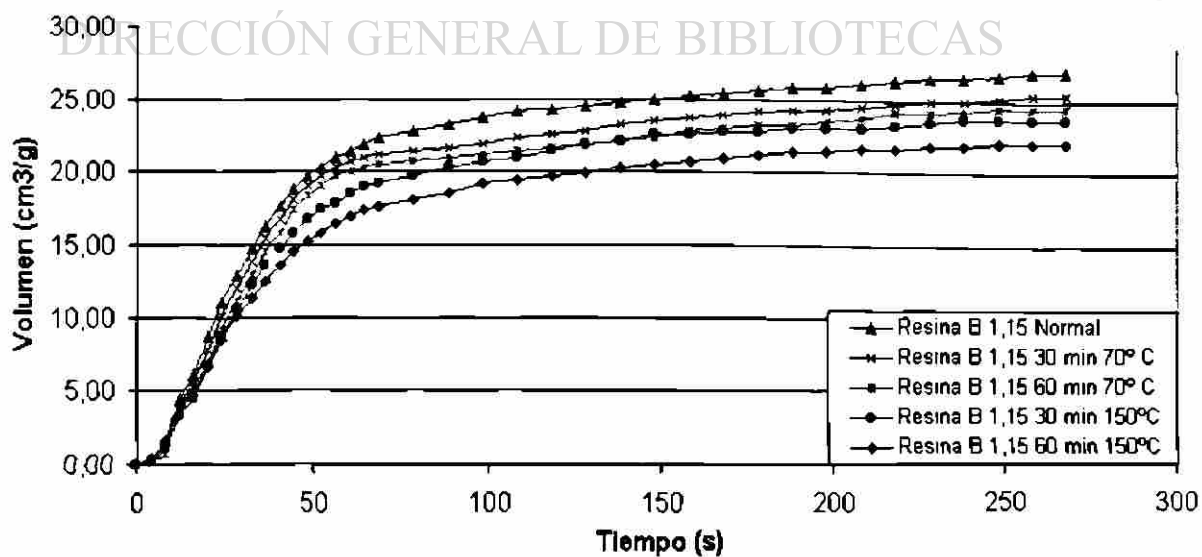


Figura 6.42 Evolución de gases resina B 1.15% corregido a 0° C.

En las figuras 6.37 a 6.42 se gráfica el volumen de gas en centímetros cúbicos por gramos de mezcla de arena contra el tiempo de prueba.

Los sistemas de resina A evolucionan mayor cantidad de gas que las mezclas con resina B en mezclas que no han sido sometidas a ningún tipo de secado. La cantidad de gas que se produce aumenta conforme aumenta el contenido de resina en las mezclas. El aumento de cantidad de gas producido es aproximadamente igual al aumento en cantidad de resina, las diferencia pueden deberse a heterogeneidades en la mezcla al momento de mezclar, por segregación de una de las dos partes de resina.

Para conocer como cambia la cantidad de gas producido a secar un corazón a una determinada temperatura se escogieron dos temperaturas de secado, a 70 y 150° C por 30 y 60 minutos, no se utilizó una temperatura mayor ya que los corazones presentan problemas de tipo de distorsión.

Al someter al secado a 70° C por 30 minutos las mezclas con resina A la disminución de gas producido fue desde 3.88% para las mezclas con 1.15% de resina y hasta 5.22% para mezclas con 0.90% de resina, con 60 minutos de secado el porcentaje de reducción de gas se duplicó en dos de las tres mezclas con resina A. Las resinas B se vieron afectadas por el secado a 70° C de una manera muy similar a las resinas A.

El secado a 150° C tiene efectos más notorios sobre la disminución de cantidad de gases, existiendo una disminución casi del 30% en las mezclas con resina A a la media hora de secado a 150° C, con 60 minutos de secado la cantidad de gas eliminado es muy similar. La disminución en cantidad de gases para los sistemas con resina B secadas a 150° C es inferior a las mezclas con resina A sometidas al mismo tiempo y temperatura de secado.

Razón de evolución de gases de resina A a 950° C, relación 60/60 con 0.80%.

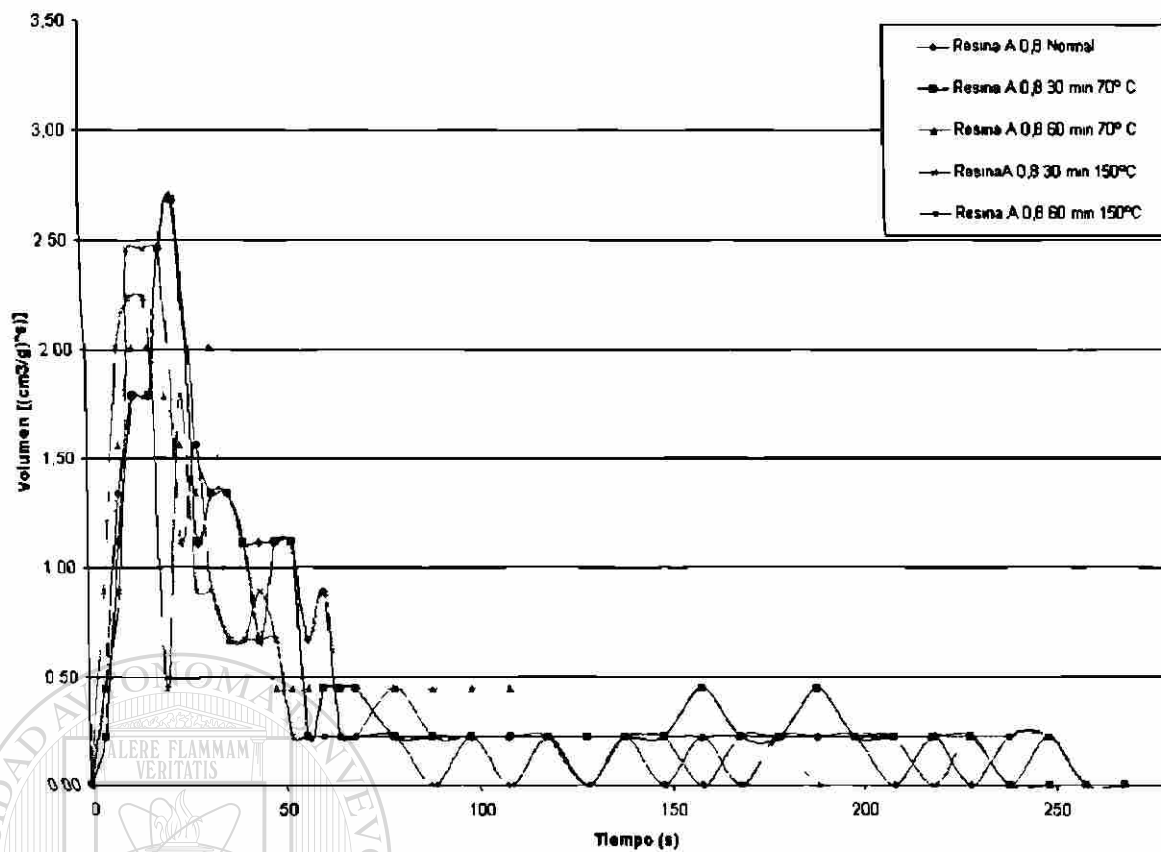


Figura 6.43 Cantidad de gases por segundo de resina A 0.80% a 950° C.

Razón de evolución de gases de resina B a 950° C, relación 50/50 con 0.80%.

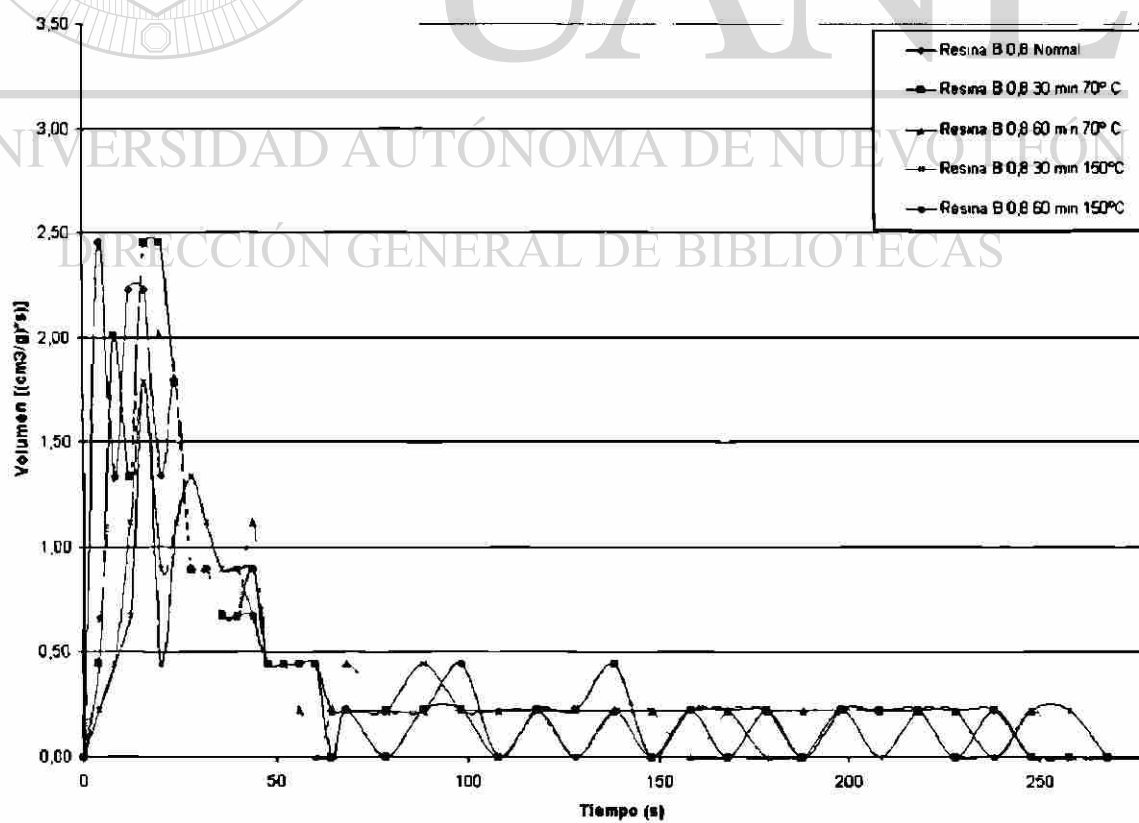


Figura 6.44 Cantidad de gases por segundo de resina B 0.80% a 950° C.

Razón de evolución de gases de resina A a 950° C, relación 50/50 con 0.90%.

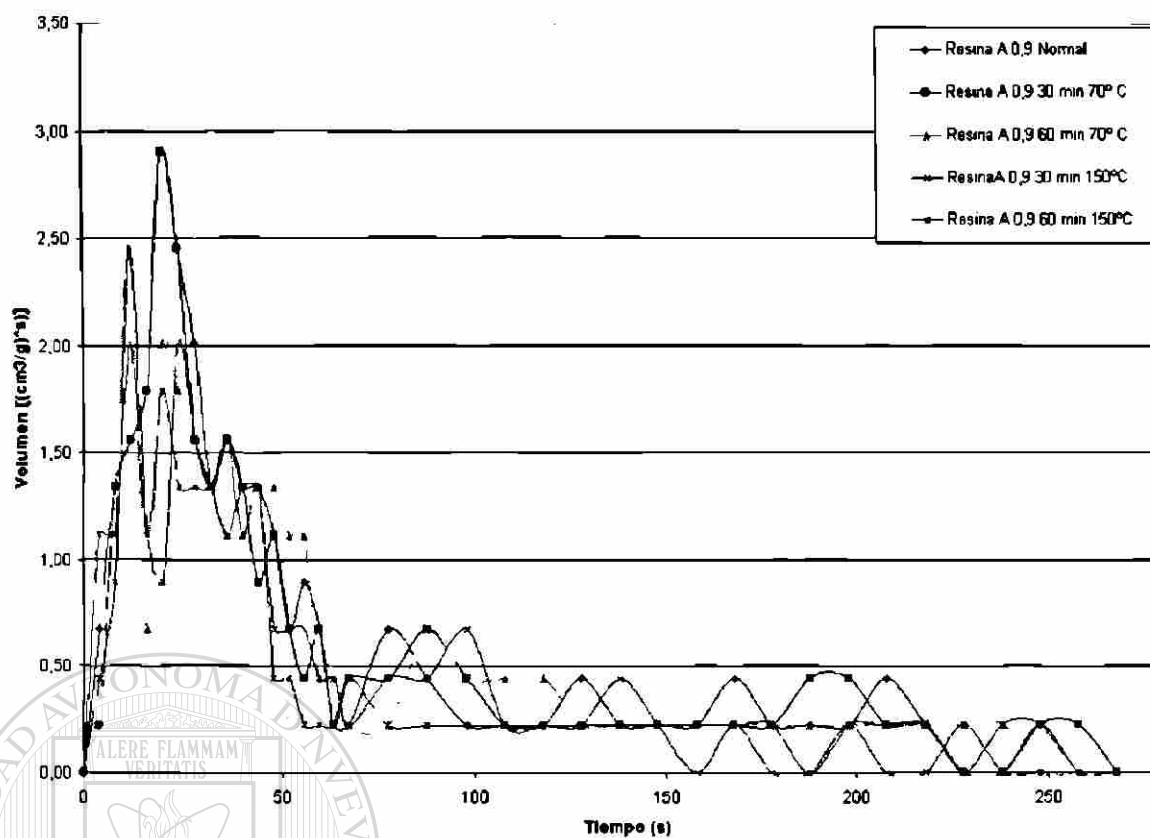


Figura 6.45 Cantidad de gases por segundo de resina A 0.90% a 950° C.

Razón de evolución de gases de resina B a 950° C, relación 50/50 con 0.90%.

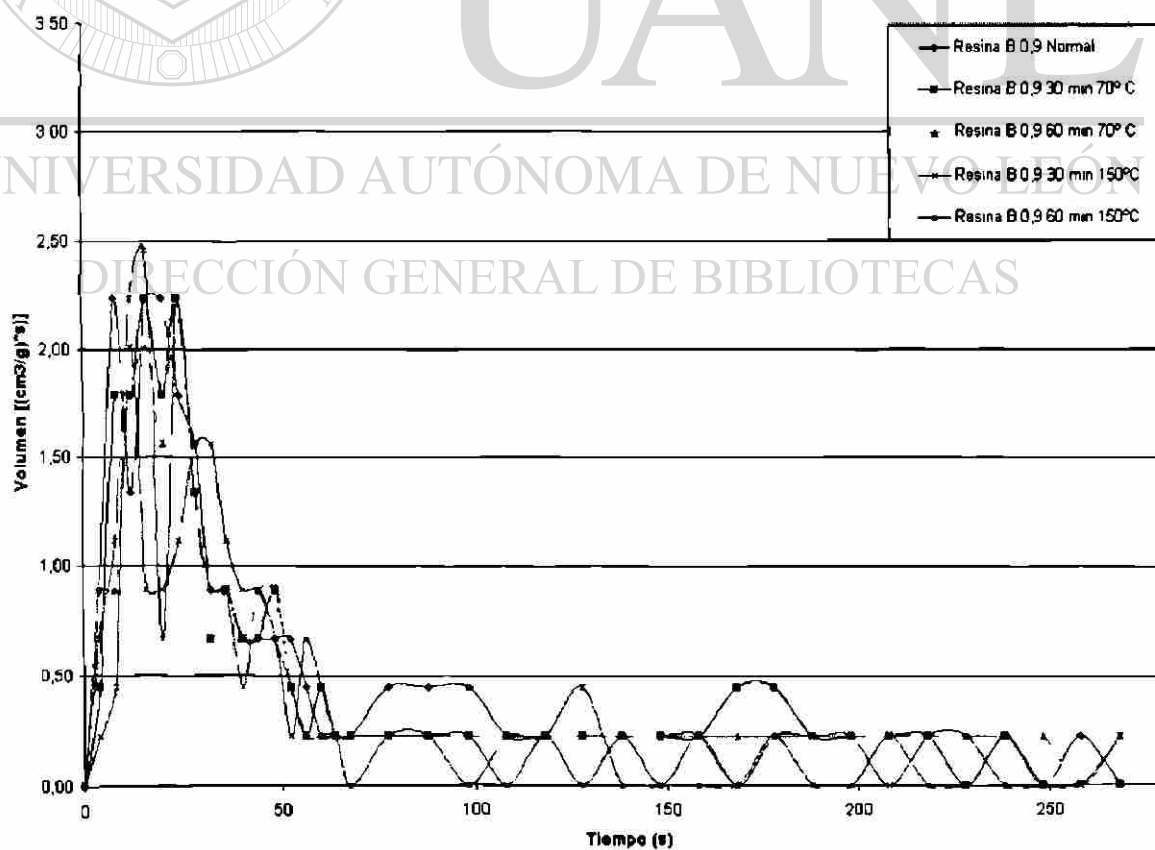


Figura 6.46 Cantidad de gases por segundo de resina B 0.90% a 950° C.

Razón de evolución de gases de resina A a 950° C, relación 50/50 con 1.15%.

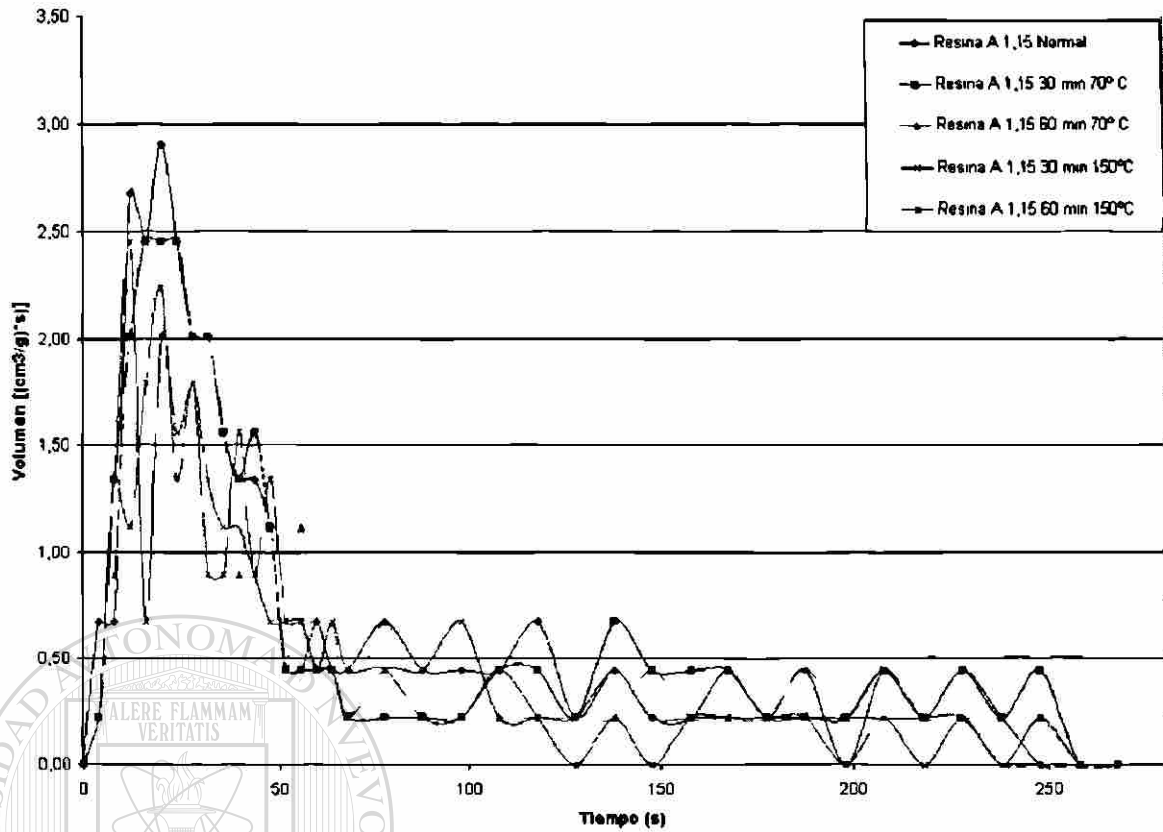


Figura 6.47 Cantidad de gases por segundo de resina A 1.15% a 950° C.

Razón de evolución de gases de resina B a 950° C, relación 60/60 con 0.80%.

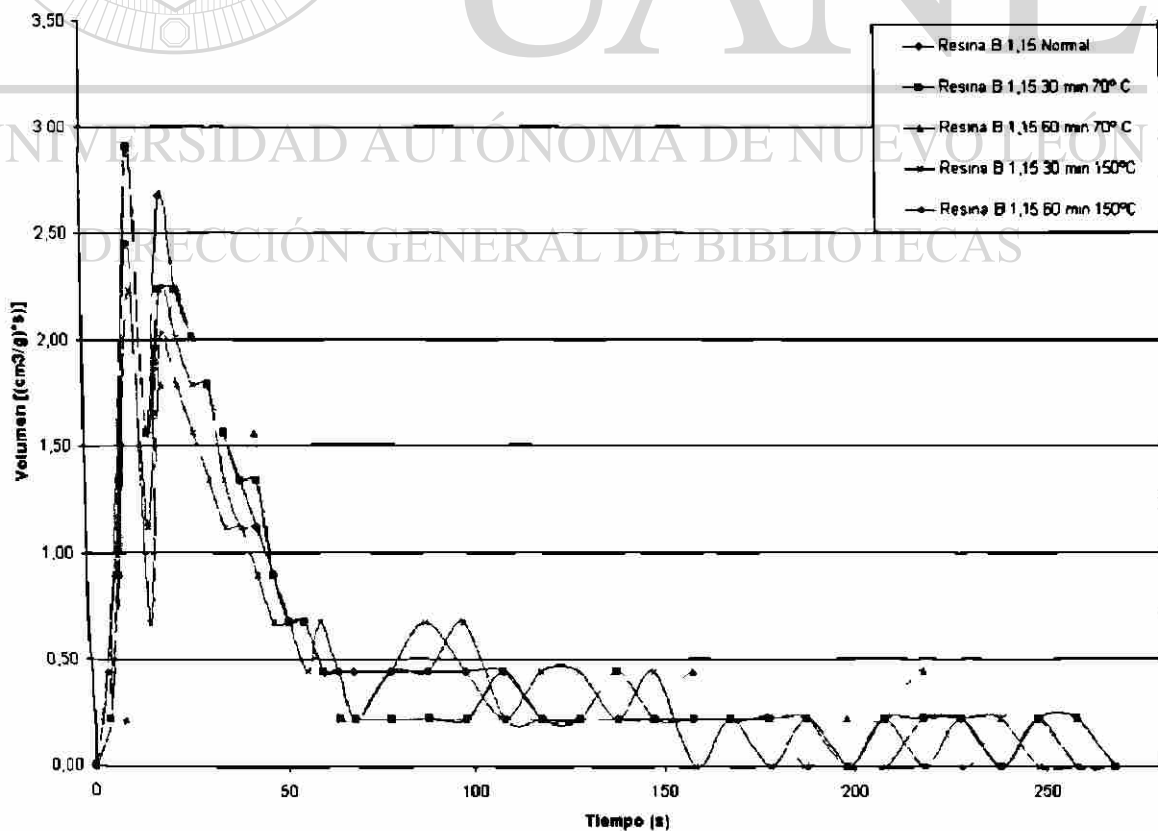
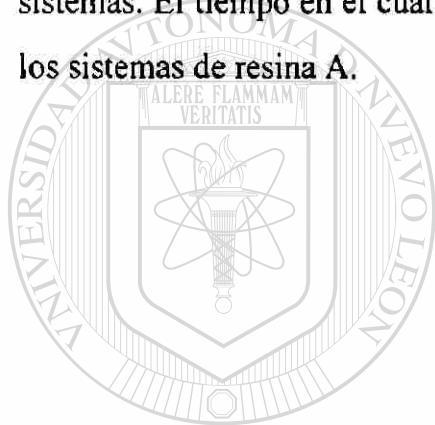


Figura 6.48 Cantidad de gases por segundo de resina B 1.15% a 950° C.

La cantidad de gases que se producen en las mezclas por tiempo es una cantidad que debe considerarse ya que con este valor se puede conocer que tan grande es la producción de gases y en que tanto tiempo se produce en una cantidad notable.

Las figuras 6.43 a 6.48 muestran la cantidad de gas producida para cada tipo de muestra con los dos sistemas de resina.

Los sistemas con resina A tienen una cantidad de volumen en ($\text{cm}^3/\text{g}\cdot\text{s}$) de gas mayor que los sistemas de resina B, esta diferencia no es muy grande. La cantidad de volumen mayor de emisión de gases sucede antes de los 30 segundos para los dos sistemas. El tiempo en el cual se mantiene un volumen de 1.50 ($\text{cm}^3/\text{g}\cdot\text{s}$) es mayor para los sistemas de resina A.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Capítulo VII

Conclusiones y Recomendaciones

7.1 Conclusiones.

Después de realizar la serie de pruebas se puede concluir que el mejor sistema en base a los resultados en las pruebas es el sistema de resina A con arena AFS gfn 70. Este sistema demostró tener una resistencia por encima de todos los demás sistemas, además que la resistencia inmediata que otorga la resina A es alta. La arena de AFS gfn 70 otorgó a los dos sistemas de mezclas una vida de banco con resistencia superior a los sistemas con arena AFS gfn 50. Esta mayor resistencia se puede suponer que es debido a la mayor compactación que tienen estos sistemas. También una cualidad de los sistemas con arena AFS gfn 70 es un ligero aumento en su resistencia a la penetración.

La única complicación que puede surgir al utilizar este sistema dentro de nuestro proceso de moldeo es que el herramental generalmente esta diseñado para operar con arena de granulometría AFS gfn 50. El utilizar arenas más finas provocan problemas con las ventilas, tapándose y provocando problemas del tipo de corazón esponjoso o corazón pegado, esta particularidad se evidenció durante la fabricación de las probetas tipo guitarra, es por eso que la recomendación es aplicar los sistemas de resinas A pero con arena AFS gfn 50, para evitar complicaciones dentro del proceso de fabricación de corazones.

Los sistemas de resina B destacan por que tienen un mayor porcentaje de desarrollo de resistencia y menor cantidad de gas evolucionado. El punto débil de estos sistemas es su baja resistencia inmediata que puede ocasionar problemas dentro de procesos automatizados en los cuales el corazón se utiliza en menos de dos horas después de ser fabricado.

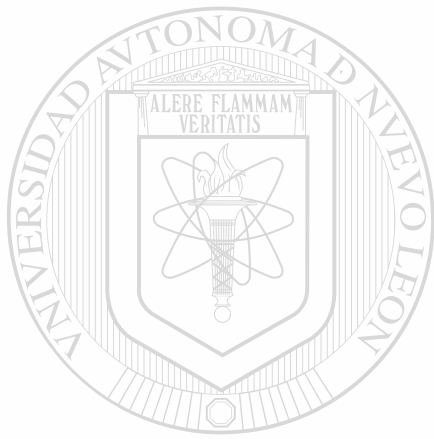
La temperatura en todos los sistemas afecta la resistencia tanto a la tracción como a la penetración, a 150° C ocurre una gran caída de resistencia teniendo un poco mayor resistencia a 300° C, esto debido que el prolongado tiempo de exposición a 300° C provoca que la resina polimerice y aumente la resistencia, este tiempo de exposición a lata temperatura provoca el deterioro de la superficie de las probeta reduciendo su resistencia a la penetración.

El hornear los corazones afecta al corazón de una manera muy similar en la cantidad de gas evolucionado pero para poder determinar una temperatura de horneado se debe observar si la resistencia no es afectada. El volumen de gas que se produce es mayor durante los primeros 50 segundos dando la mayor cantidad de gas en ambos sistemas.

7.2 Recomendaciones.

- Para tener una visión más amplia este tipo de pruebas se puede aplicar a otros sistemas de resina que ofrezcan los diferentes fabricantes, también manejar diferentes relaciones entre el porcentaje de la parte I y II, por ejemplo 40/60, 45/55, 55/45 y 60/40.
- Se pueden aplicar a este tipo de pruebas arenas con otras granulometrías así como arenas diferentes a la arena sílica y que ofrezcan características térmicas diferentes.
- En las arenas se pueden manejar arenas recuperadas donde sus valores de pH y de demanda ácida difieran de los valores de arena nueva.

- Considerar otro tipo de pruebas a alta temperatura como es la distorsión a la temperatura de trabajo y a la temperatura de horneado, prueba de dilatación, colapsabilidad así como pruebas de desarenado.
- Buscar otras alternativas de horneado de las probetas como son las microondas.
- Realizar pruebas de evolución de gases sobre probetas que contengan solamente resina.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

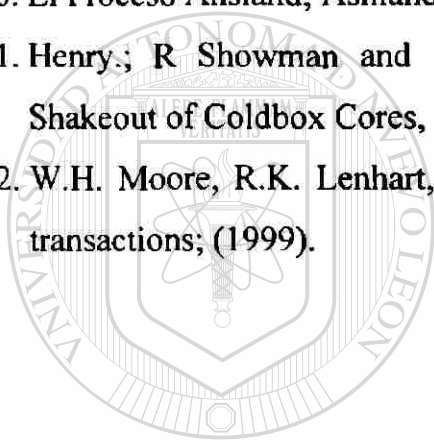


DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Referencias

1. Periódico El Norte, 17 de agosto de 2000.
2. Foundry Management Technology; “ Sand binder systems”; Penton publication; E.U.A;(1989).
3. Aluminum Casting Technology; American Foundrymen’s Society; (1993).
4. Manual de arenas para fundición, American Foundrymen’s Society; Illinois, E.U.A.; (1967).
5. Handbook Core and Mold Test, American Foundrymen’s Society, Des Plaines, Illinois,; (1963).
6. K.B. Horton, S.A. Joyce, D.M. Gilson; “Sand Distribution: Its effect on core strength and casting quality “, AFS transactions.}
7. O. Guyer, W. Adamson, J. Cieplewski, K. Rebholz, R. Willkomm, “The effects of Water Solution’s physical characteristics on tensils strength development in phenolic urethane cold box cores” , Castexpo; (1999).
8. P. Castro; “Proceso de Corazones”; Manual de información interno; NEMAK, 1999.
9. The Foseco Foundryman’s Handbook; Butterworth-Heinemann, Nechells; Birmingham; (1994)
10. Foundry, J. Campbell Butterworth-Heinemann, Birmingham; (1991).
11. Atlas International Atlas of Casting Defects; American Foundrymen’s Society, Inc; International Committee of Foundry Technical Associations; Des Plaines , Illinois;(1993).
12. O. Madono, Breakdown Accelerator for Phenolic Resin Bonded Cores in Aluminum Casting, Trans American Foundrymen’s Society, V94, paper 86-02, 1986
13. Delta Manual de Entrenamiento para Proceso de Caja Fría, Delta-HA, Manual de Curso de Capacitación; (1999)
14. Chemically Bonded Cores & Molds, American Foundrymen’s Society, Inc. Des Plaines, Illinois, 1987.

15. CIQA Centro de Investigación en Química Aplicada; Reporte Interno CIQA-NEMAK; (2000).
16. D.M. Churches, K.B. Rundman, “ Clean manufacturing in organically –bonded cores- part II: Mechanical properties of hollw and gradient-bonded phenolic urethane nobake cores, AFS transactions; (1999).
17. Manual de Proceso Borden; (1999).
18. Funcionamiento y Operación: Acondicionador Térmico de Arena; Capacitación y Desarrollo Nematik, Departamento de Corazones; García, Nuevo León; (1996).
19. Manual de Funcionamiento y Operación de Acondicionador Térmico de Arena, Capacitación y Desarrollo, Nematik; (1996).
20. El Proceso Ahsland; Ashland Chemical, Reporte de Proceso (1999).
21. Henry.; R Showman and G. Wandtke. Variables Affecting Aluminum Casting Shakeout of Coldbox Cores, Modern Casting V89, N3, pages 53-56; (1999).
22. W.H. Moore, R.K. Lenhart, Y. Julin, “Effect of heat on chemical binders” , AFS transactions; (1999).



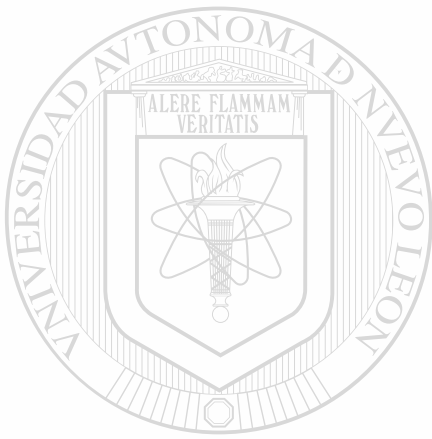
UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Anexo



UANL

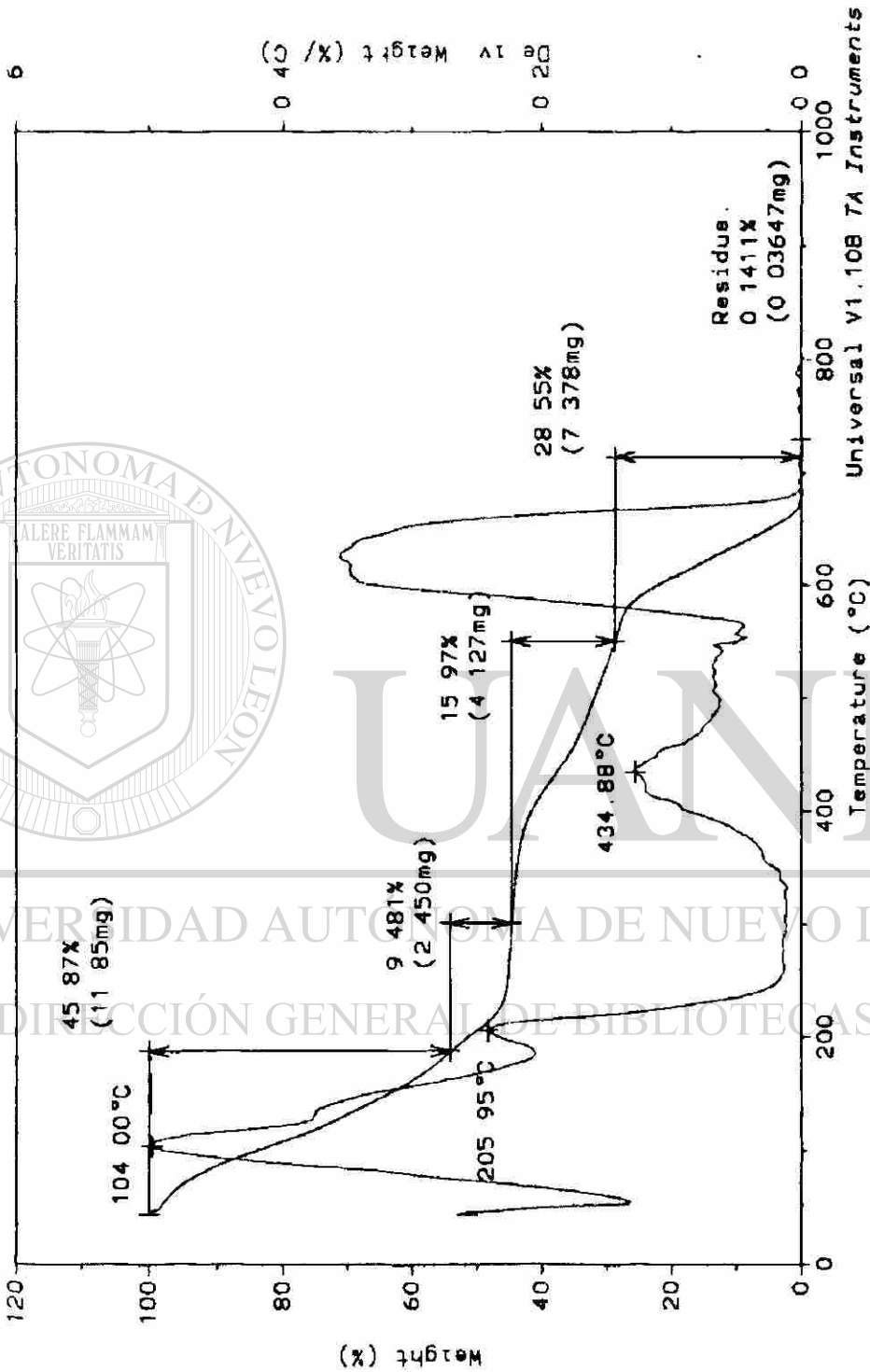
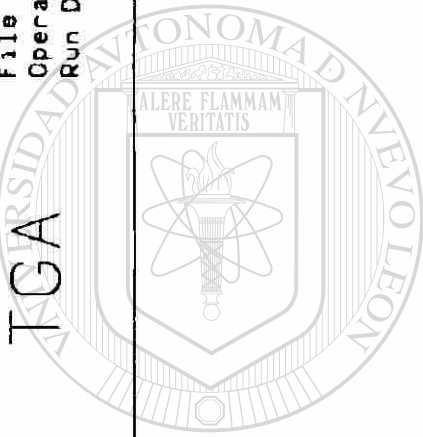
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

File D:\TA\IND\144-10.1
Operator.
Run Date. 3-Nov-99 12 33

Sample: A1
Size: 25 8430 mg
Method: SERVICIO
Comment: N2=50 R=10



Universal V1.108 TA Instruments

Figura A1

Sample A 2
Size 25.1470 mg
Method SERVICIO
Comment N2-50 R=10

File: D:\TA\IND\143-6 2
Operator
Run Date 27-Oct-99 16:02

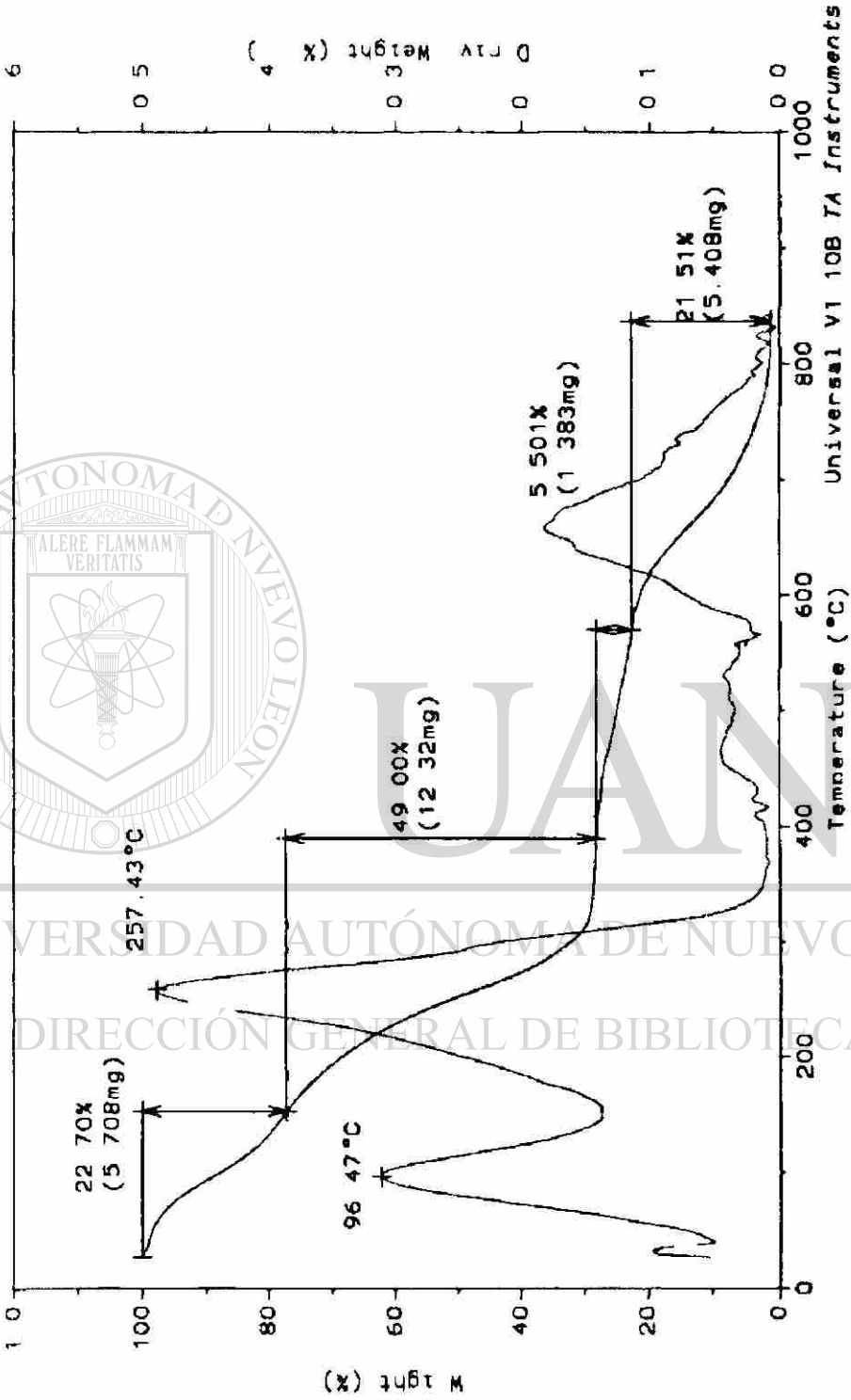


Figura A2

Sample: A 1-z
Size: 21.1560 mg
Method: SERVICIO
Comment: N2-50, R=10

TGA

File: A:MS-4.2
Operator:
Run Date: 11-Jan-00 15:09

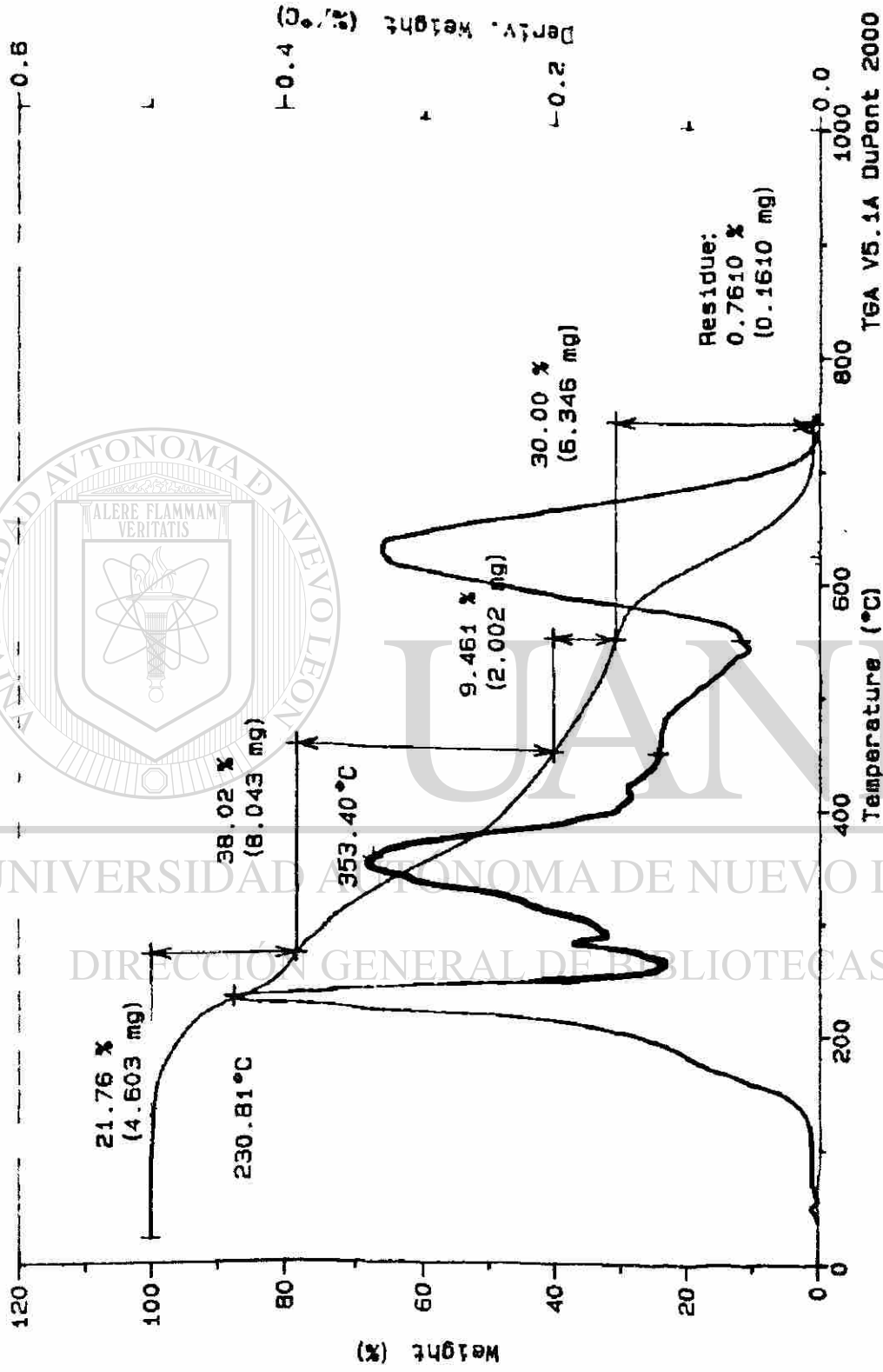


Figura A3

File D:\TA\IND\143-B.1
 Operator
 Run Date: 28-Oct-99 10 52
TGA
 Sample 61
 Size: 27.5760 mg
 Method: SERVICIO
 Comment: N2=50 R=10

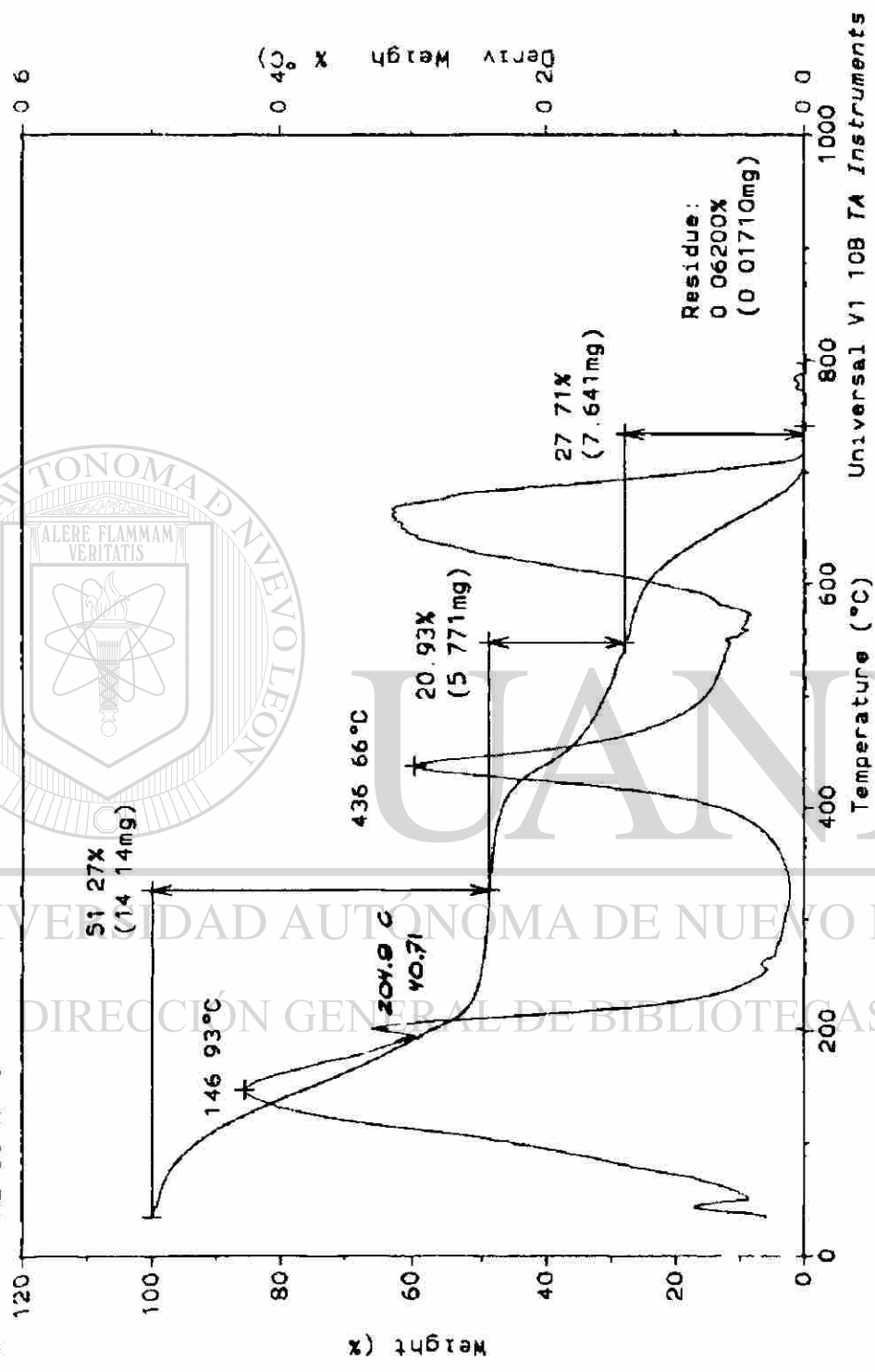


Figura B1

Universal V1 108 TA Instruments

File D:\TA\IND\143-5 1
Operator
Run Date 26-Oct-99 14 07

Sample B2
Size 15 5210 mg
Method SERVICIO
Comment N2=50 R=10

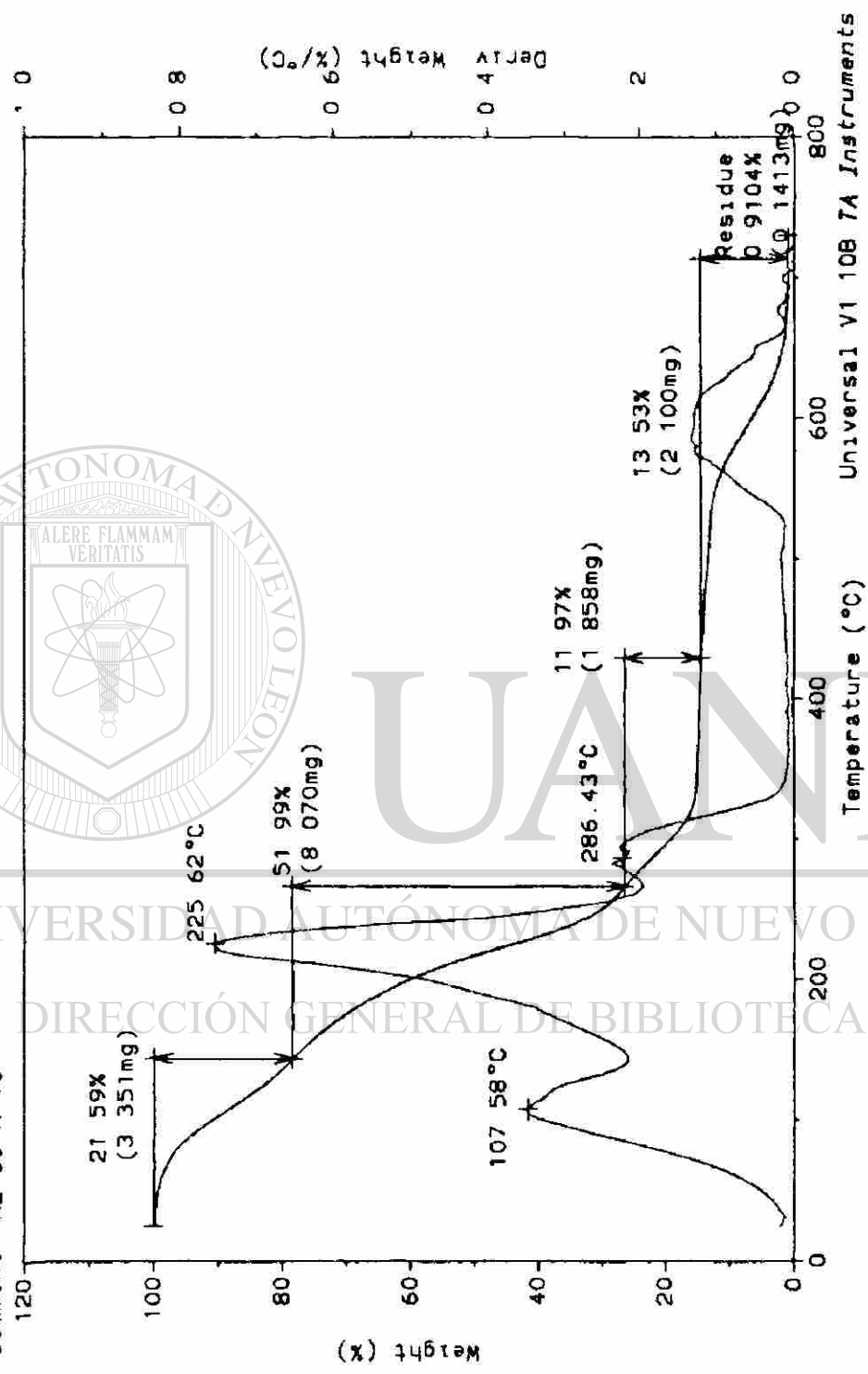
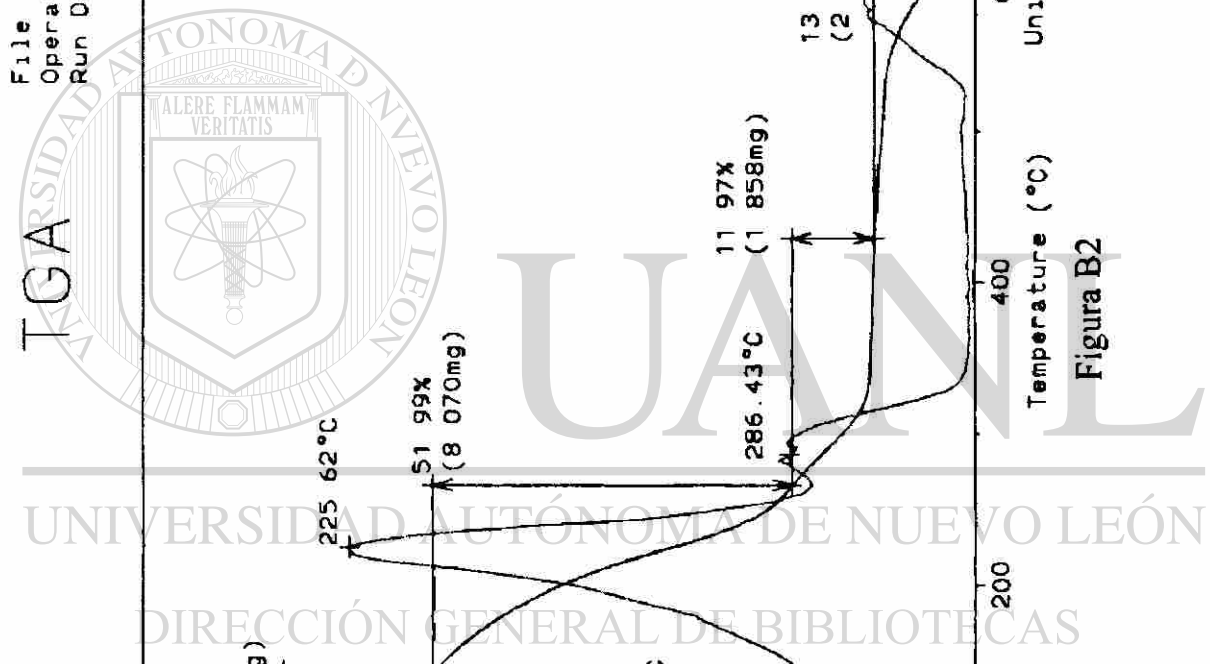


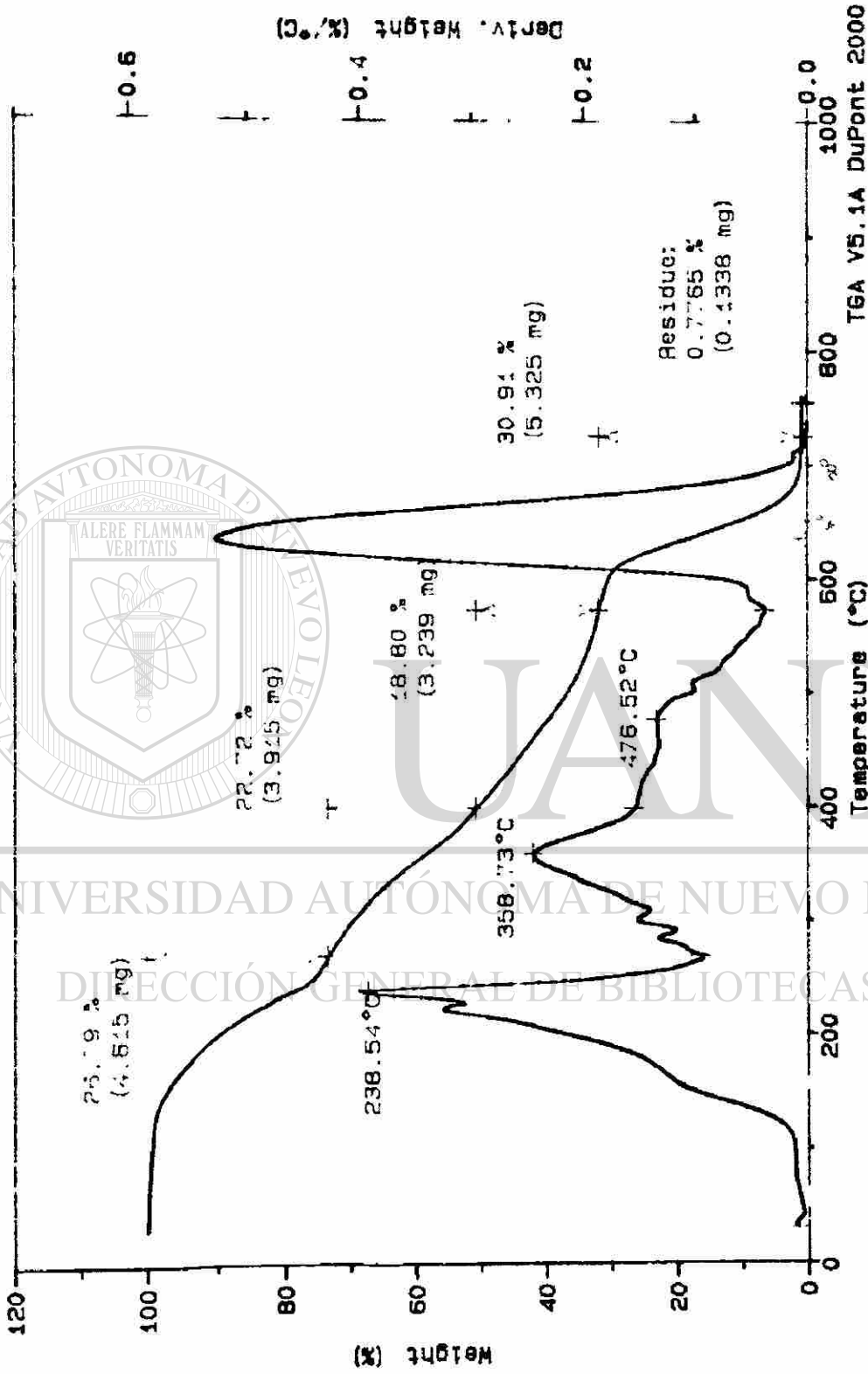
Figura B2



File: A: M3-1.1
Operator:
Run Date: 10-Jan-00 15:02

Sample: B 1-2
Size: 17.2280 mg
Method: SERVICIO
Comment: N2=50, R=10

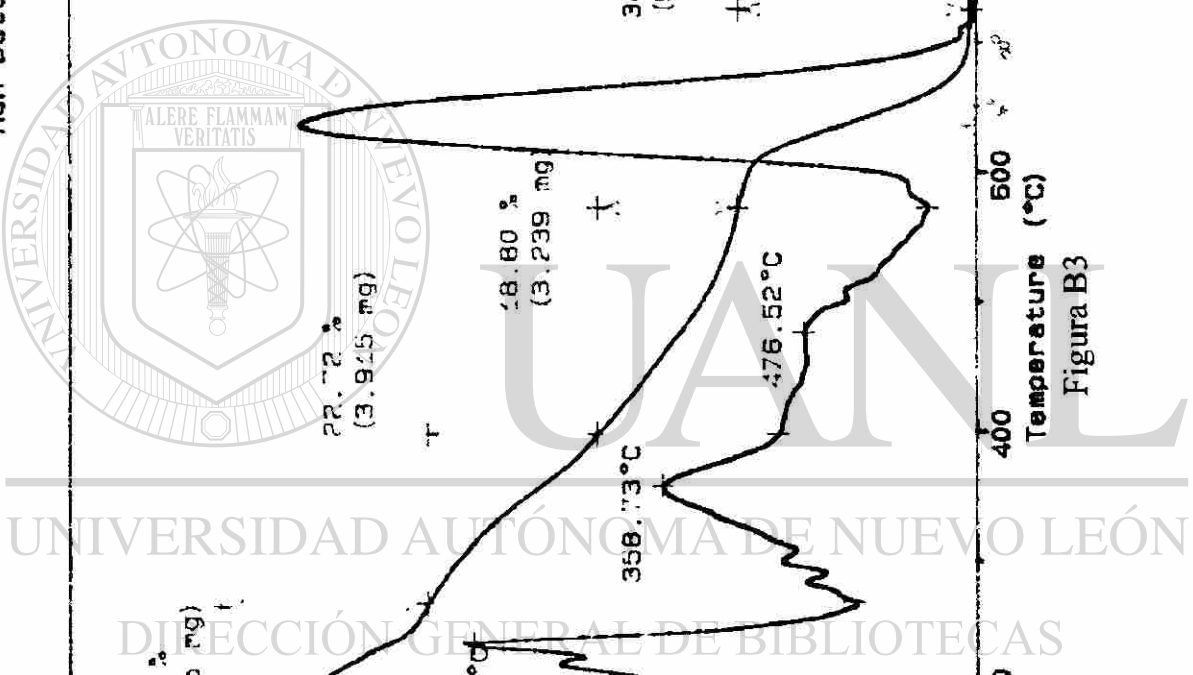
TGA



TGA V5.1A DuPont 2000

Temperature (°C)

Figura B3



Glosario de términos.

Arena: Es un material compuesto por granos sueltos de materia mineral que varían en tamaño de aproximadamente 2 a 0.05mm en diámetro.

Autofraguante: Es el método de moldeo que utiliza un líquido catalizador para promover el proceso.

AFS: Sociedad Americana de Fundidores.

Caja fría: Es el método de moldeo que utiliza un gas catalizador para promover el proceso.

Caja caliente: Es el método de moldeo que utiliza una temperatura mayor al ambiente para promover el proceso.

Corazones: Pieza fabricada con arena que se utiliza para imprimir su modelo sobre una pieza que se fabrica al verter el metal en el molde y queda atrapado en la pieza.

Caja de corazones: Herramental utilizados para fabricar los corazones y que sirve como modelo.

Desarrollo de resistencia: es el aumento de resistencia que se da al dejar que la resina en los sistemas químicos cure.

Ensayo de Permeabilidad: Mide la habilidad para que una mezcla de arena recubierta permita el paso de los gases a través de la misma.

Forma de grano: es la forma en que se puede presentar la arena de moldeo, puede ser redonda, angular y subangular.

Finos de arena: Arena contenida en una malla superior a la 270 (53 μ m)

Índice de refracción: Indica el nivel y tipo de solvente.

Índice de polidispersidad: Indica a dispersión del tamaño del peso molecular promedio.

Macho: ver corazón.

Molde: Paquete en donde se contendrá el metal para fabricar una pieza metálica.

Moldeo en Verde: Sistema de moldeo que utiliza la humedad como medio aglutinante de los granos de arena para fabricar moldes y corazones.

Moldeo de arena con resina: Son los sistemas de moldeo que utilizan sistemas químicos de unión.

Plano de partición: Línea que divide el corazón y que se forma al cerrar las dos partes de la caja de corazones.

pH: Es la cantidad de elementos alcalinos solubles en agua.

Pérdidas por ignición (LOI): Mide el porcentaje de materiales orgánicos contenidos en las muestras de arena.

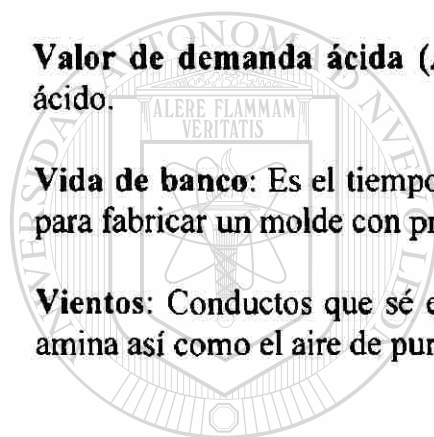
Resistencia a la penetración: Es la fuerza con la que se apisona o sopla un molde.

Sistema de resina: Sistema químico que se utiliza en el moldeo de arena que da propiedades a los corazones para que puedan ser utilizados en moldeo.

Valor de demanda ácida (ADV): Es la cantidad de elementos alcalinos solubles en ácido.

Vida de banco: Es el tiempo el cual la mezcla arena con resina se mantiene disponible para fabricar un molde con propiedades adecuadas.

Vientos: Conductos que se encuentran dentro de las cajas de corazones y conducen la amina así como el aire de purga para que pase a través de los corazones.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

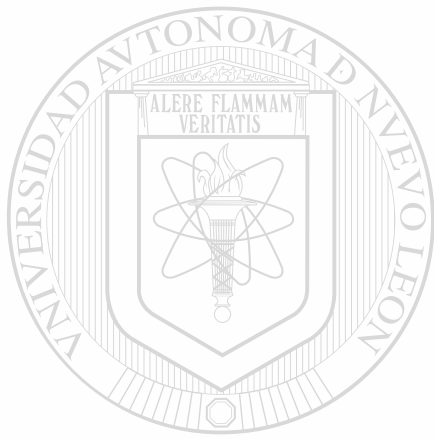
Lista de figuras

Contenido	Página
Figura 1. Aspecto de la chaqueta de enfriamiento de una cabeza de motor	2
Figura 2.1 Piezas de fundición de aluminio de configuración sencilla.....	5
Figura 2.2 Piezas de fundición de aluminio de configuración compleja	6
Figura 3.1 Instrumento tipo excéntrico y su arreglo con las mallas para evaluar tamaño y distribución granulométrica en la arena	18
Figura 3.2 Clasificación de los granos de arena según su forma	21
Figura 3.3. Efecto de la humedad en el desarrollo de la resistencia a la tracción.....	23
Figura 3.4 Relación entre las propiedades mecánicas de un sistema de resinas y el peso molecular	28
Figura 3.5 Máquina sopladora de especímenes tipo guitarra con marcadores de tiempo para regular los ciclos de soplado, inyección de amina y purgado	32
Figura 3.6 Tipo de instrumento de peso muerto, accionado por motor, para determinar la resistencia a la tensión de probetas de arena químicamente unida	32
Figura 3.7 Instrumento de medición de dureza por rayado rotatorio	33
Figura 3.8 Nivel de gas típico de algunos sistemas de resinas.....	35
Figura 3.9 Aspecto de una pieza fundida con problemas de porosidad, debido a un elevado contenido de resina.....	36
Figura 4.1 Reacción típica en el proceso fenólico-uretánico en caja fría	38
Figura 4.2 Representación esquemática del proceso fenólico-uretánico en caja fría	40
Figura 4.3 Clasificación de los corazones según su configuración.....	42
Figura 4.4. Relación del desarrollo de resistencia con el tiempo.....	46
Figura 4.5. Efecto del tipo de arena en la vida de banco	49
Figura 5.1 Arena de la línea de proceso de moldeo	55
Figura 5.3 Arena de la línea de proceso de moldeo	55
Figura 5.3 Arena de la línea de proceso de moldeo.	56
Figura 5.4 Arena de la línea de proceso de moldeo	56
Figura 5.5 Evolución de temperatura en una prueba de vaciado	63
Figura 5.6 Vista de la máquina para pruebas mecánicas a alta temperatura.....	64

Figura 5.7 Dimensiones de la probeta de pruebas tipo guitarra.....	65
Figura 6.1 Vida de banco resina A AFS gfn 50.....	69
Figura 6.2 Vida de banco resina B AFS gfn 50.....	69
Figura 6.3 Vida de banco resina A AFS gfn 70.....	70
Figura 6.4 Vida de banco resina B AFS gfn 70.....	70
Figura 6.5 Desarrollo de resistencia resina A AFS gfn 50.....	72
Figura 6.6 Desarrollo de resistencia resina B AFS gfn 50.....	72
Figura 6.7 Desarrollo de resistencia resina A AFS gfn 70.....	73
Figura 6.8 Desarrollo de resistencia resina B AFS gfn 70.....	73
Figura 6.9 Resistencia al rayado de mezclas con arena AFS gfn 50.....	76
Figura 6.10 Resistencia al rayado de mezclas con arena AFS gfn 70.....	76
Figura 6.11 Número de MQI de mezclas con arena AFS gfn 50.....	77
Figura 6.12 Número de MQI de mezclas con arena AFS gfn 70.....	77
Figura 6.13 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina A 0.80% AFS gfn 50.....	81
Figura 6.14 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina B 0.80% AFS gfn 50.....	81
Figura 6.15 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina A 0.90% AFS gfn 50.....	82
Figura 6.16 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina B 0.90% AFS gfn 50.....	82
Figura 6.17 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina A 1.15% AFS gfn 50.....	83
Figura 6.18 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina B 1.15% AFS gfn 50.....	83
Figura 6.19 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina A 0.80% AFS gfn 70.....	84
Figura 6.20 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina B 0.80% AFS gfn 70.....	84
Figura 6.21 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina A 0.90% AFS gfn 70.....	85
Figura 6.22 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina B 0.90% AFS gfn 70.....	85

Figura 6.23 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina A	
1.15% AFS gfn 70.....	86
Figura 6.24 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina B	
1.15% AFS gfn 70.....	86
Figura 6.25 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina A	
0.80% AFS gfn 50.....	88
Figura 6.26 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina B	
0.80% AFS gfn 50.....	88
Figura 6.27 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina A	
0.90% AFS gfn 50.....	89
Figura 6.28 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina B	
0.90% AFS gfn 50.....	89
Figura 6.29 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina A	
1.15% AFS gfn 50.....	90
Figura 6.30 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina B	
1.15% AFS gfn 50.....	90
Figura 6.31 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina A	
0.80% AFS gfn 70.....	91
Figura 6.32 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina B	
0.80% AFS gfn 70.....	91
Figura 6.33 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina A	
0.90% AFS gfn 70.....	92
Figura 6.34 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina B	
0.90% AFS gfn 70.....	92
Figura 6.35 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina A	
1.15% AFS gfn 70.....	93
Figura 6.36 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina B	
1.15% AFS gfn 70.....	93
Figura 6.37 Evolución de gases resina A 0.80% corregido a 0° C.....	95
Figura 6.38 Evolución de gases resina B 0.80% corregido a 0° C.....	95
Figura 6.39 Evolución de gases resina A 0.90% corregido a 0° C.....	96
Figura 6.40 Evolución de gases resina B 0.90% corregido a 0° C.....	96
Figura 6.41 Evolución de gases resina A 1.15% corregido a 0° C.....	97

Figura 6.42 Evolución de gases resina B 1.15% corregido a 0° C.....	97
Figura 6.43 Cantidad de gases por segundo de resina A 0.80% a 950° C.....	99
Figura 6.44 Cantidad de gases por segundo de resina B 0.80% a 950° C	99
Figura 6.45 Cantidad de gases por segundo de resina A 0.90% a 950° C	100
Figura 6.46 Cantidad de gases por segundo de resina B 0.90% a 950° C.....	100
Figura 6.47 Cantidad de gases por segundo de resina A 1.15% a 950° C.....	101
Figura 6.48 Cantidad de gases por segundo de resina B 1.15% a 950° C.....	101



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Lista de tablas

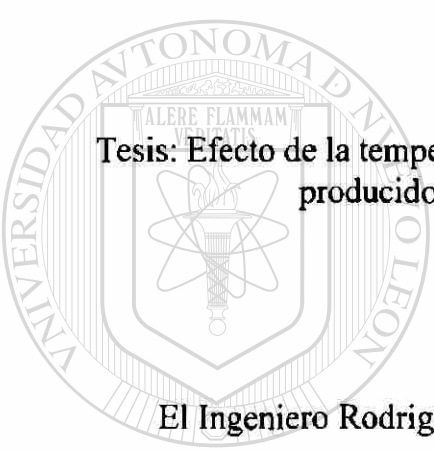
Tabla 2.1 Sistemas de resina utilizados industrialmente	8
Tabla 2.2 Clasificación de los sistemas aglutinantes por el mecanismo de catalizado	9
Tabla 2.3. Categorías de los procesos de resina en moldeo de corazones	10
Tabla 3.1 Constituyentes químicos típicos de arenas tratadas de lago y sílice tratadas	15
Tabla 3.2 Escala de las diferentes series de tamices	19
Tabla 3.3 Relación entre el tamaño de malla y el área superficial de las arenas	20
Tabla 3.4 Propiedades de las arenas comparadas con la arena sílica[11]	25
Tabla 3.5 Pruebas realizadas a los sistemas de resinas.	29
Tabla 4.1 Vida útil de algunas cajas de corazón construidas con diferentes materiales	44
Tabla 4.2 Efecto en la variación de cada parte de resina.	47
Tabla 5.1 Listado de valores de las principales variables en la caracterización de las arena de pruebas.	57
Tabla 5.2 Valores de viscosidad, índice de polidispersidad, Peso molecular en masa e índice de refracción de las resinas	59
Tabla 5.3 Análisis termogravimétrico.....	59
Tabla 6.1 Valores de desarrollo de resistencia.	74
Tabla 6.2 Promedios y desviación estándar de los ensayos a temperatura ambiente 150° C y 300° C	79
Tabla 6.3 Resultados de los promedios de resistencia a la penetración de las probetas tipo guitarra a temperatura ambiente, 150° C y 300° C y su desviación estándar.....	80

Resumen Autobiográfico

Javier Rodrigo González López

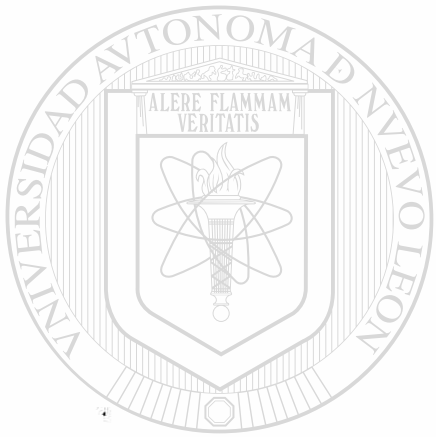
Candidato para el grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con Especialidad en Materiales.

Tesis: Efecto de la temperatura sobre las propiedades físicas de moldes y corazones producidos por el proceso fenol – uretano en caja fría.



El Ingeniero Rodrigo González López nació el 8 de mayo de 1976 en Monterrey, Nuevo León, México. Es hijo del Maestro Juan Ramón González Álvarez y la Sra. Yolanda López de González. Cursó sus estudios profesionales en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León donde obtuvo el grado de Ingeniero Mecánico Metalúrgico en 1998.

Se ha desempeñado en compañías líderes del ramo metal mecánico como investigador apoyando el desarrollo de tecnología . En 1998 ingresó al Programa Doctoral en Ingeniería de materiales apoyado por una beca del consejo nacional de Ciencia y Tecnología.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



