

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.

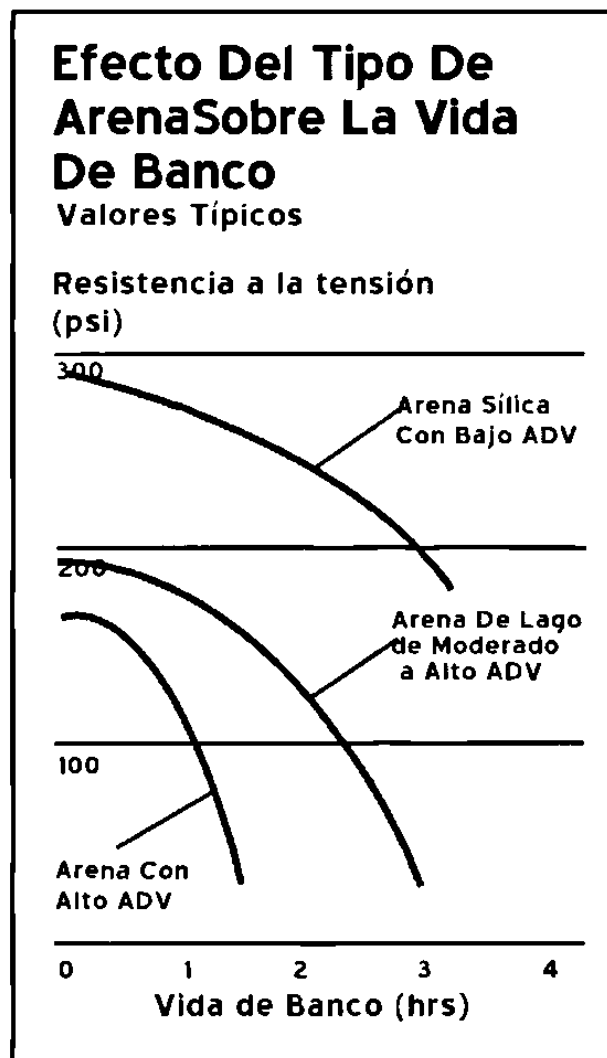


Figura 4.5. Efecto del tipo de arena en la vida de banco²⁰.

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

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.

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 Sílica 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

Distribución en % en peso por malla

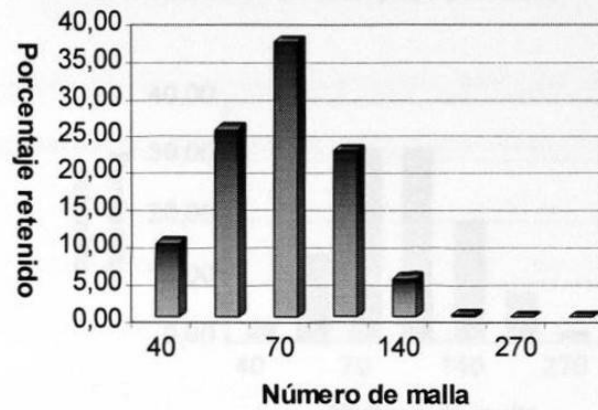


Figura 5.1 Arena de la línea de proceso de moldeo.

Análisis de arena Sílica 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

Distribución en % en peso por malla

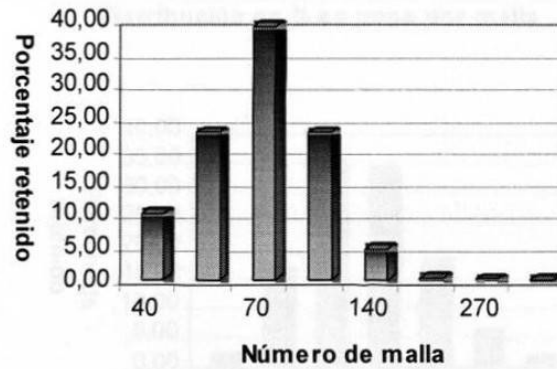


Figura 5.2 Arena de la línea de proceso de moldeo.

Análisis de Arena Silica AFS 70					
No. de malla	Total acumulado	Retenido por malla			
		Gramos	%	Factor	Producto
40	0,6	0,6	0,66	30	20
50	12,2	11,6	12,80	40	512
70	39,6	27,4	30,24	50	1512
100	67,1	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	265
Total	90,6	90,6	100,00		7211

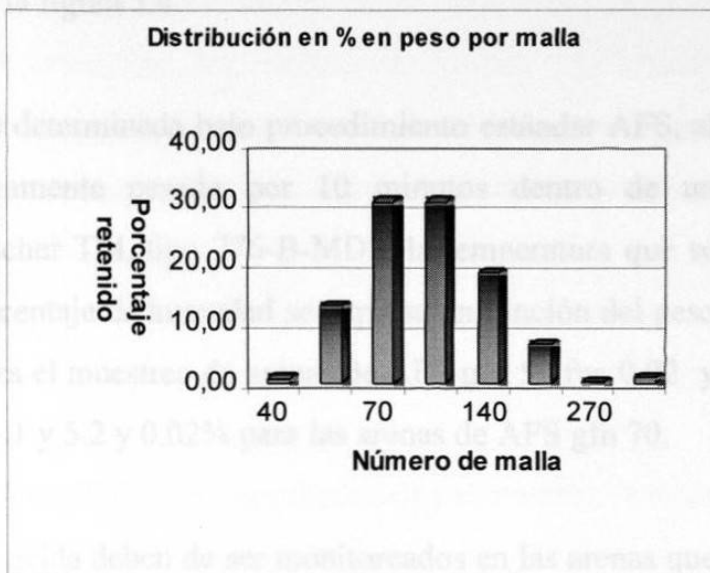


Figura 5.3 Arena del de proceso de moldeo.

Análisis de Arena Silica 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

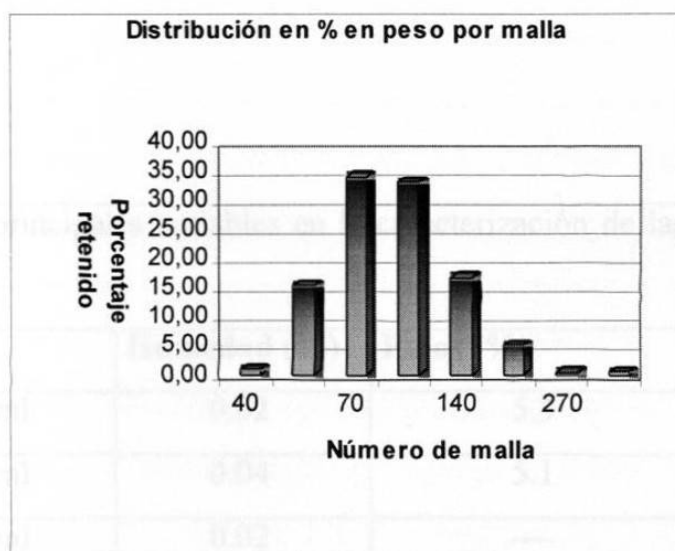


Figura 5.4 Arena del de proceso de moldeo.

En estas arenas dos son las mallas principales donde se encuentra distribuída 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 él 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.

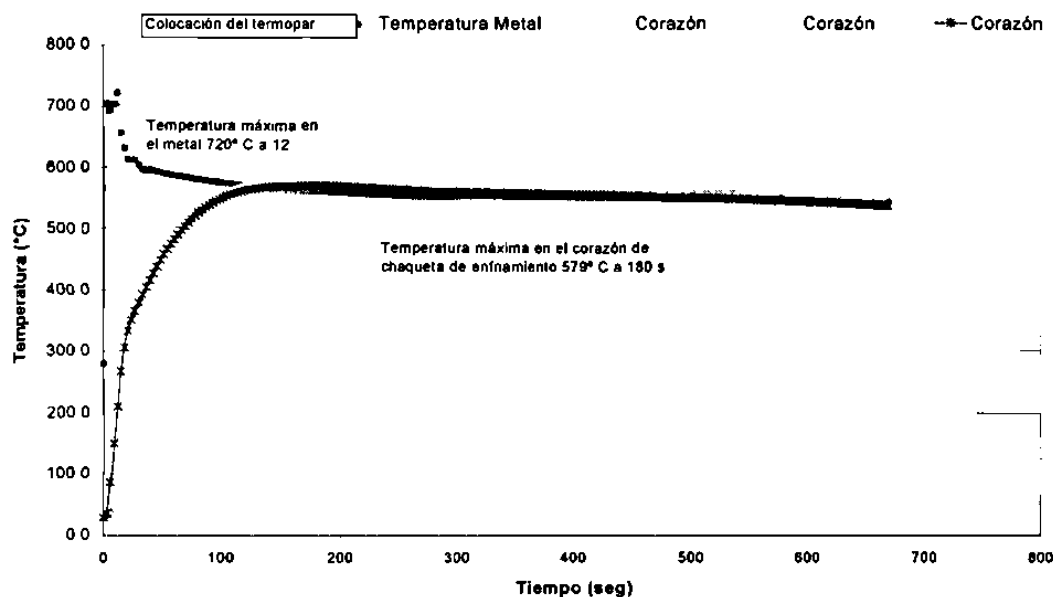


Figura 5.5 Evolución de temperatura en una prueba de vaciado.

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.

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.

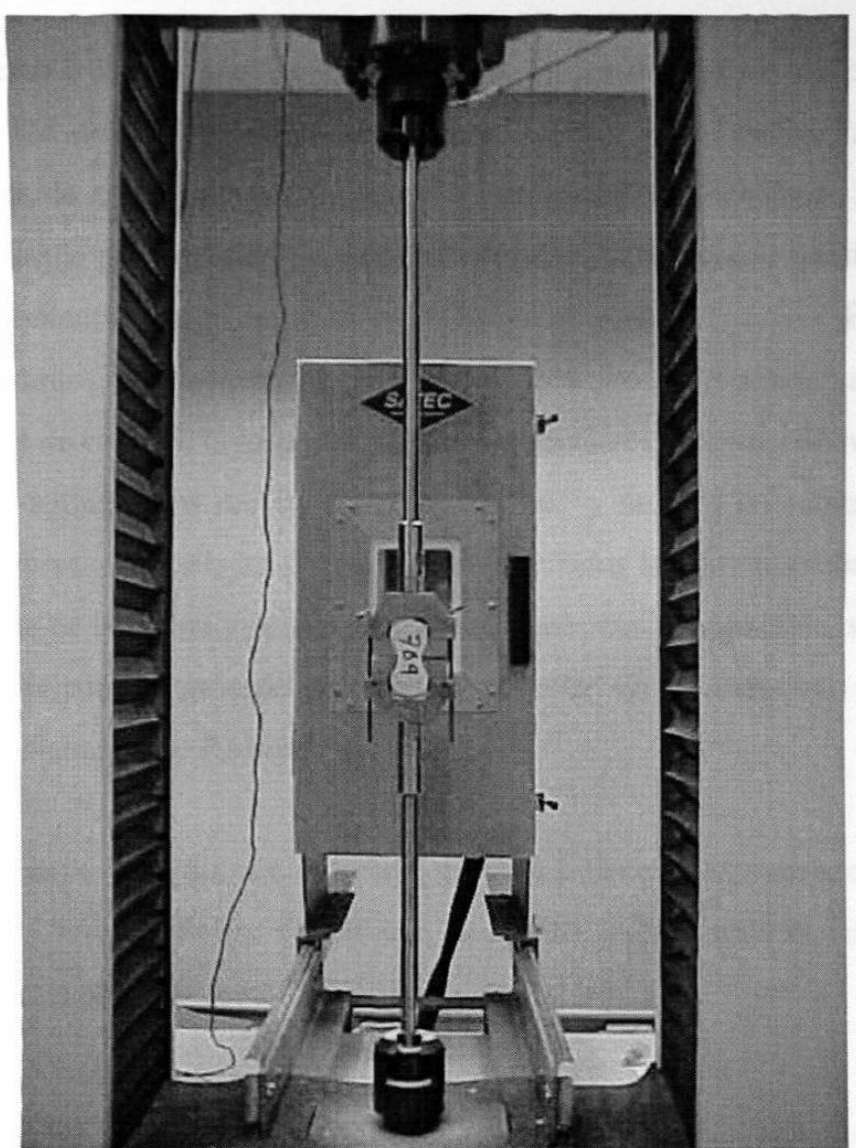


Figura 5.6 Vista de la máquina para pruebas mecánicas a alta temperatura SATEC T2000 TM.

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.

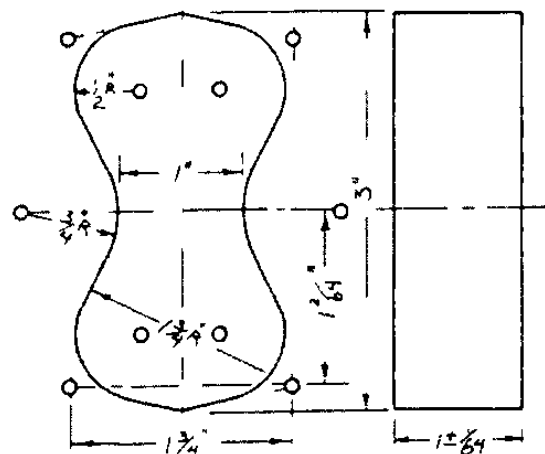


Figura 5.7 Dimensiones de la probeta de pruebas tipo guitarra según norma AFS.

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.

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.

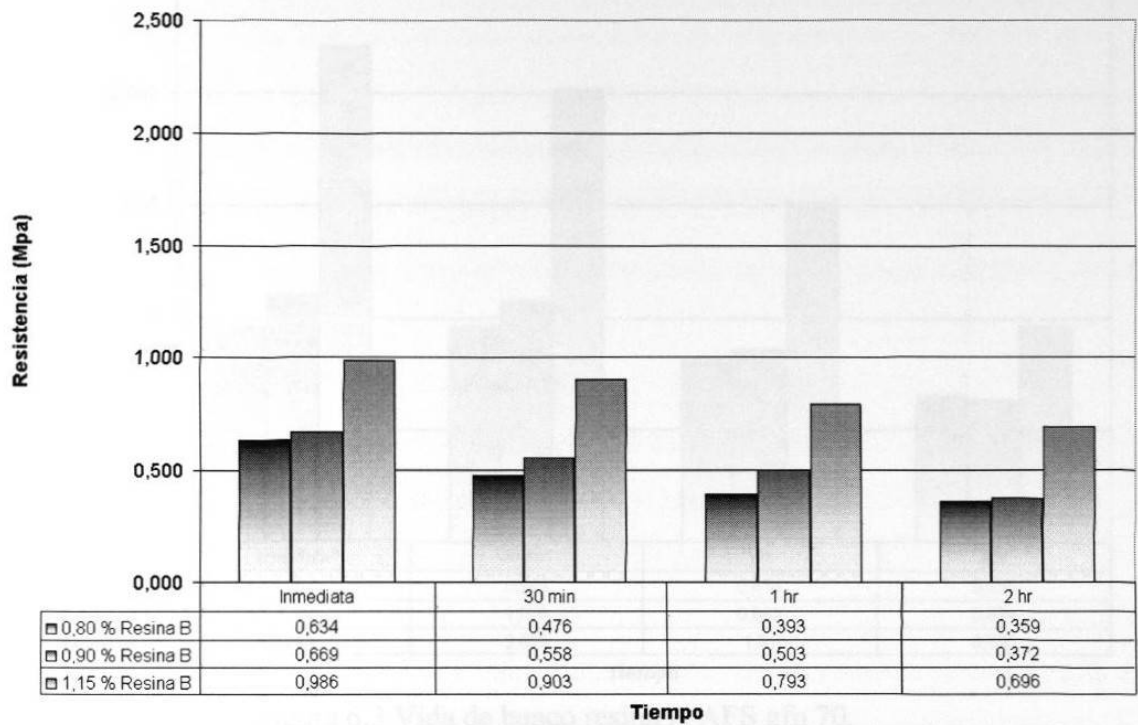


Figura 6.1 Vida de banco resina A AFS gfn 50.

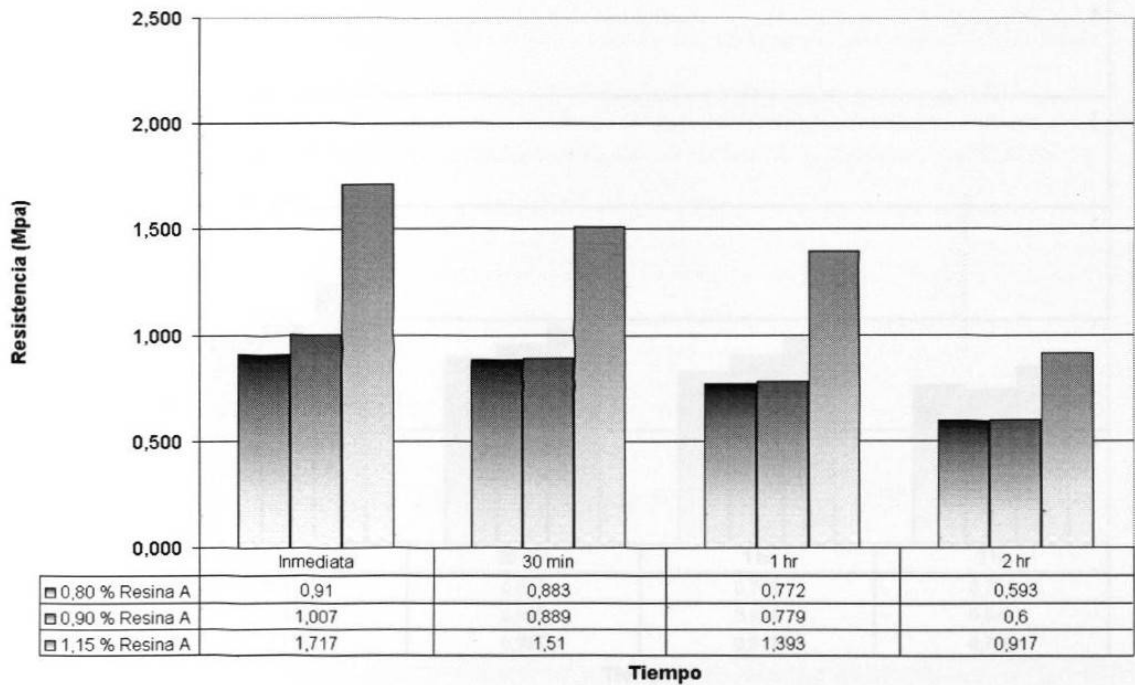


Figura 6.2 Vida de banco resina B AFS gfn 50.

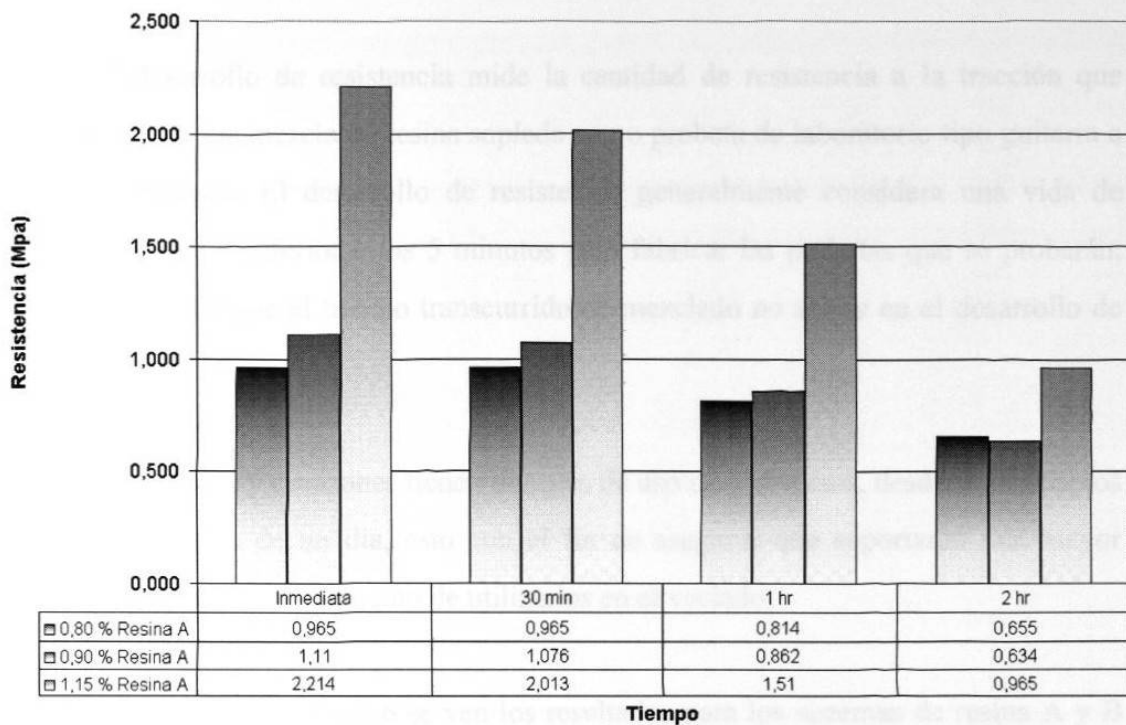


Figura 6.3 Vida de banco resina A AFS gfn 70.

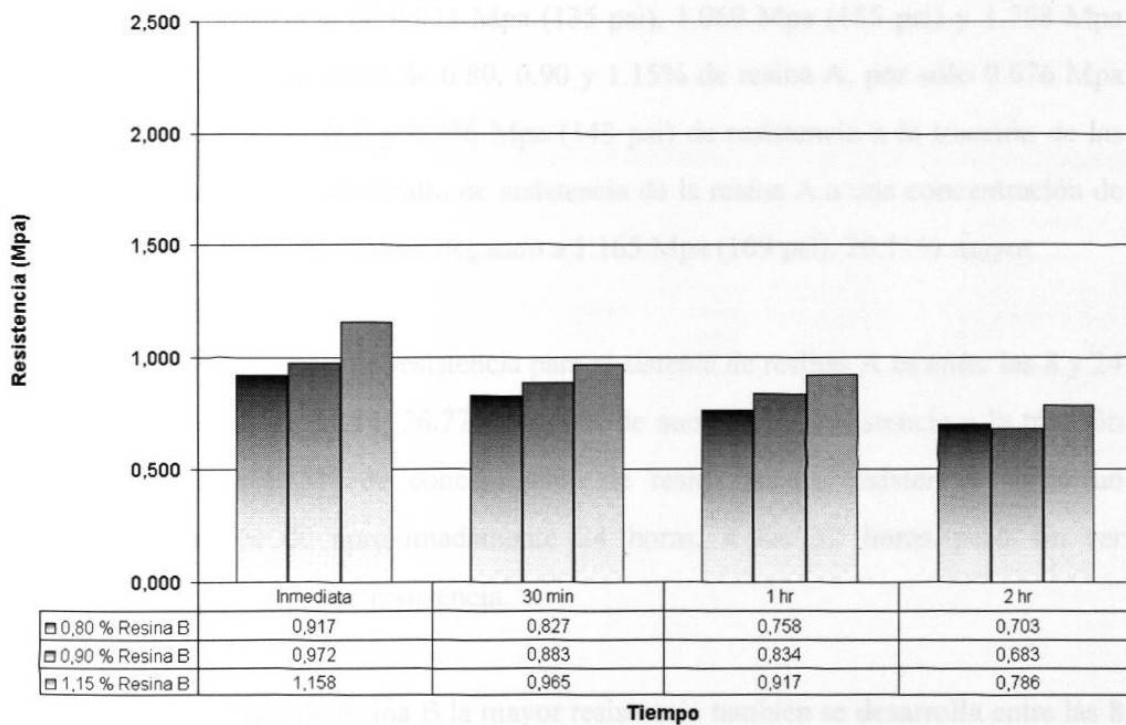


Figura 6.4 Vida de banco resina B AFS gfn 70.

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 metalóstática 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.

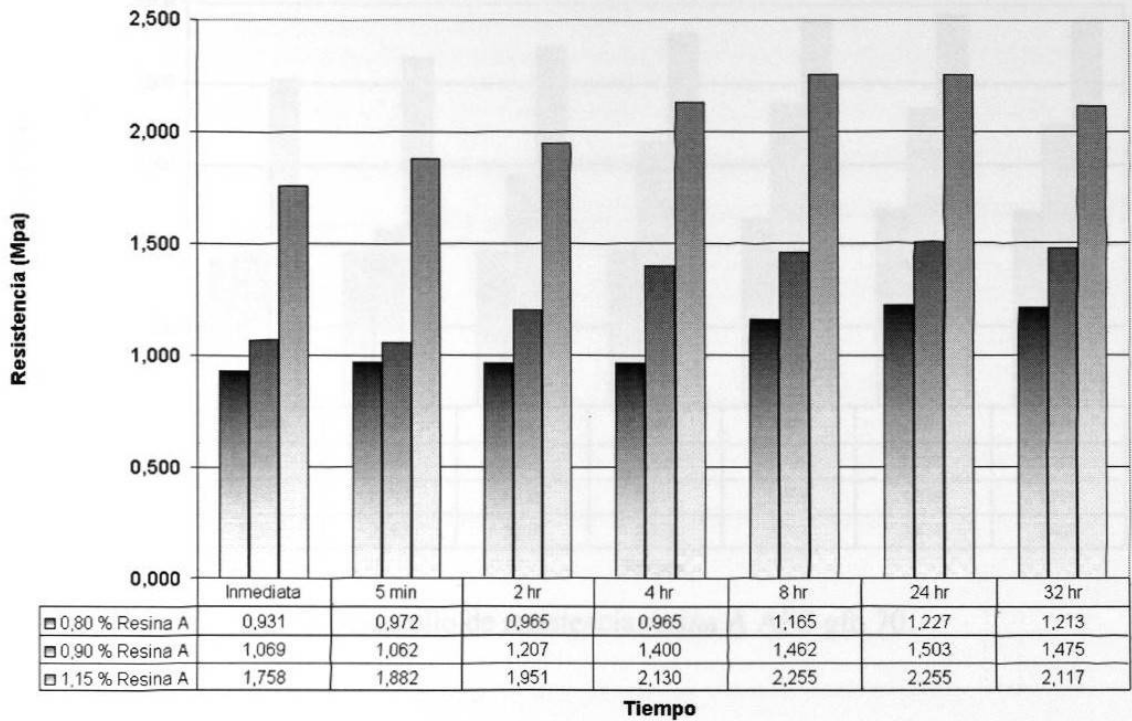


Figura 6.5 Desarrollo de resistencia resina A AFS gfn 50.

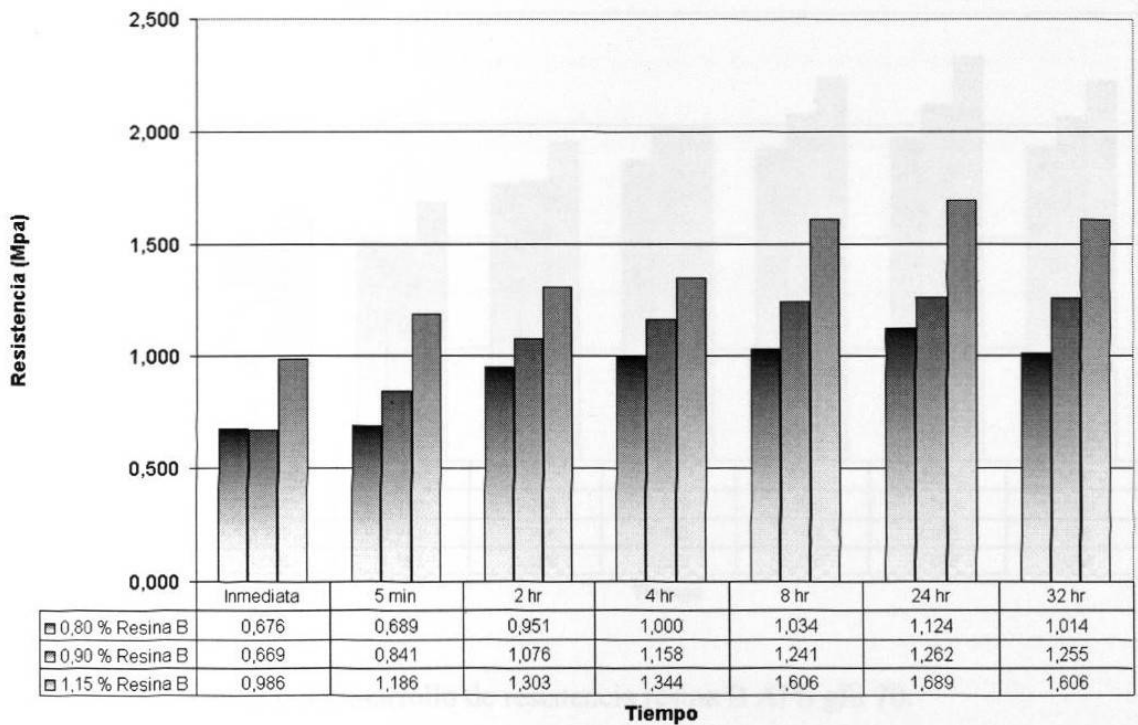


Figura 6.6 Desarrollo de resistencia resina B AFS gfn 50.

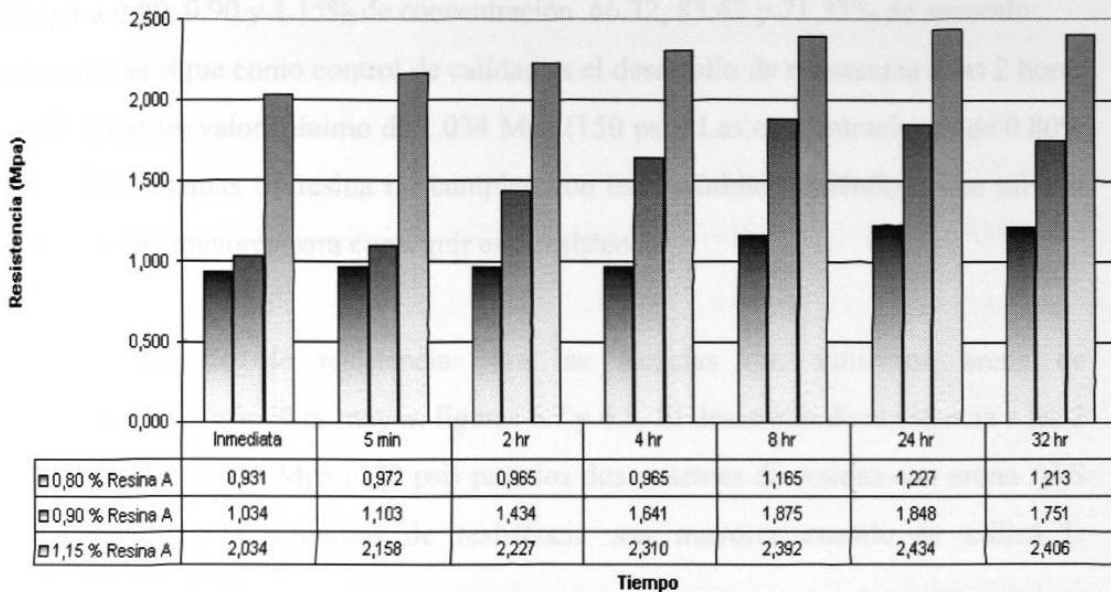


Figura 6.7 Desarrollo de resistencia resina A AFS gfn 70.

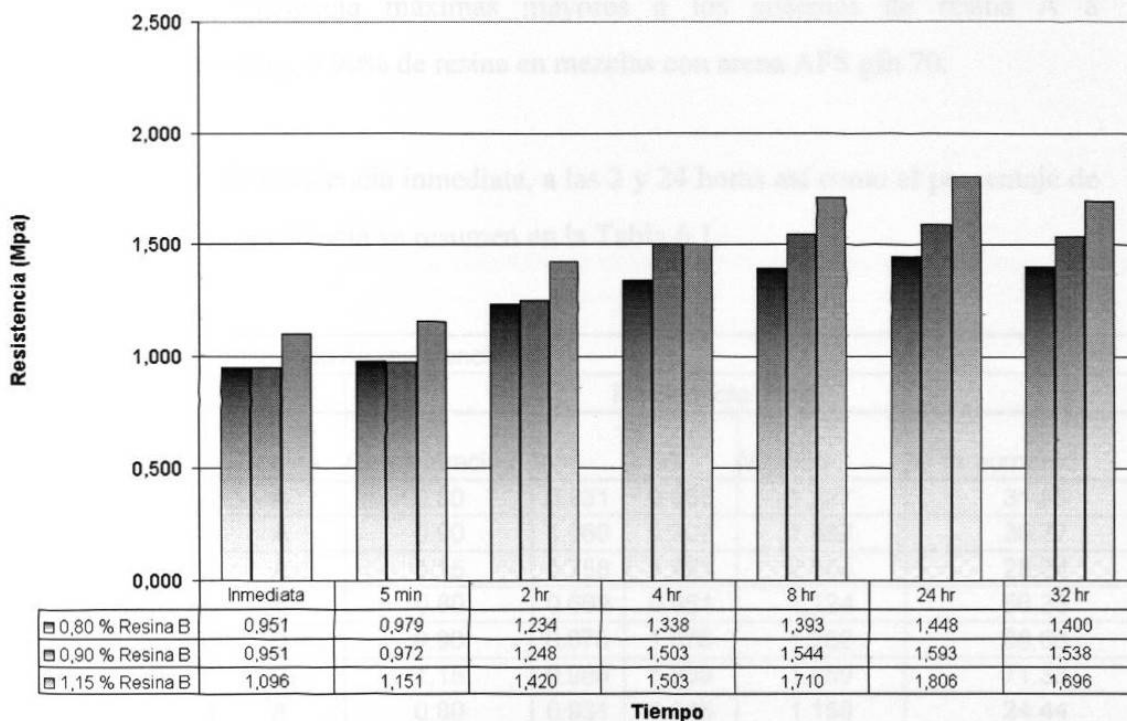


Figura 6.8 Desarrollo de resistencia resina B AFS gfn 70.

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.

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

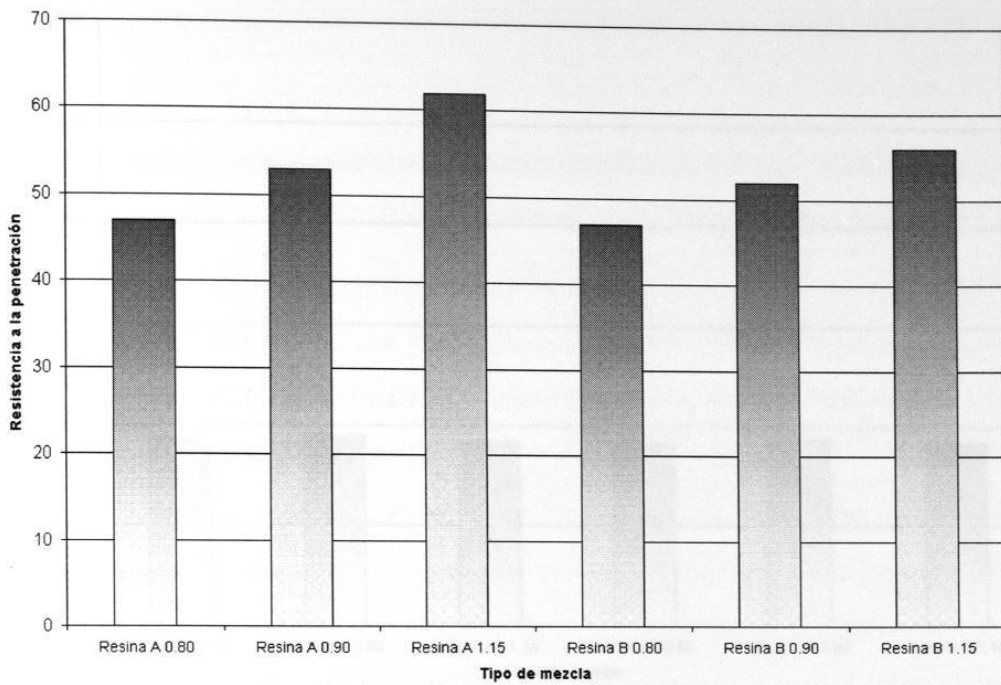


Figura 6.9 Resistencia al rayado de mezclas con arena AFS gfn 50.

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

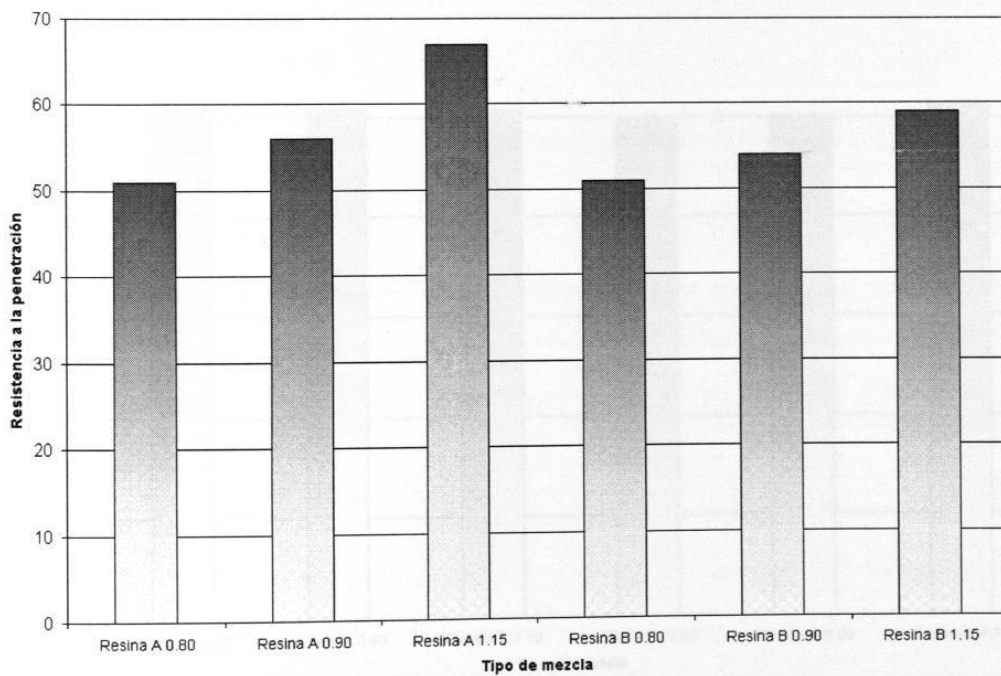


Figura 6.10 Resistencia al rayado de mezclas con arena AFS gfn 70.

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

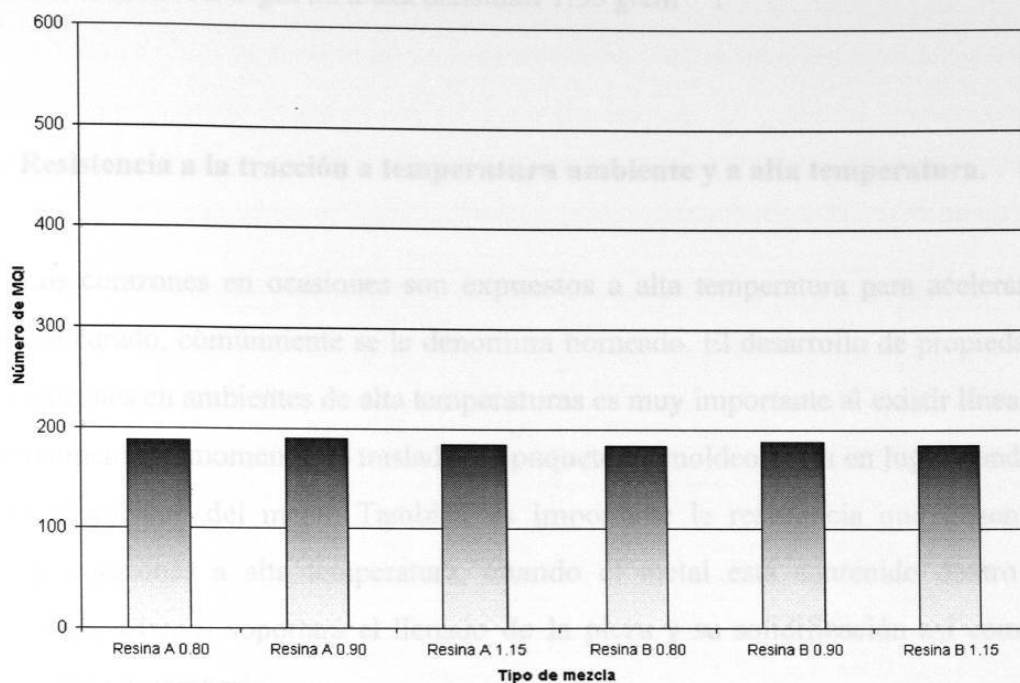


Figura 6.11 Número de MQI de mezclas con arena AFS gfn 50.

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

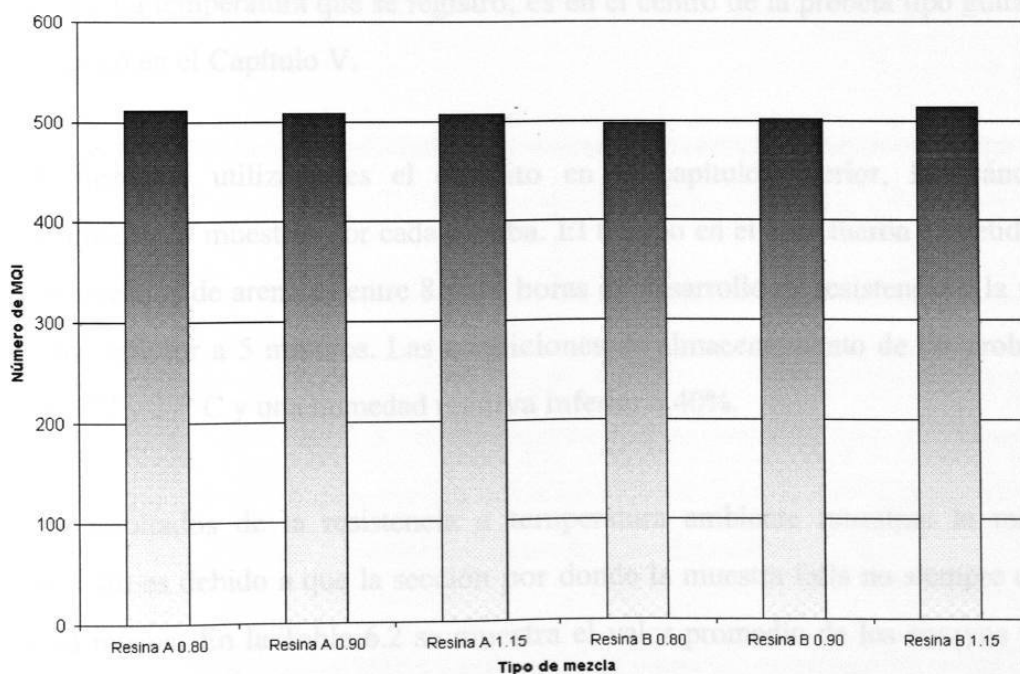


Figura 6.12 Número de MQI de mezclas con arena AFS gfn 70.

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

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.

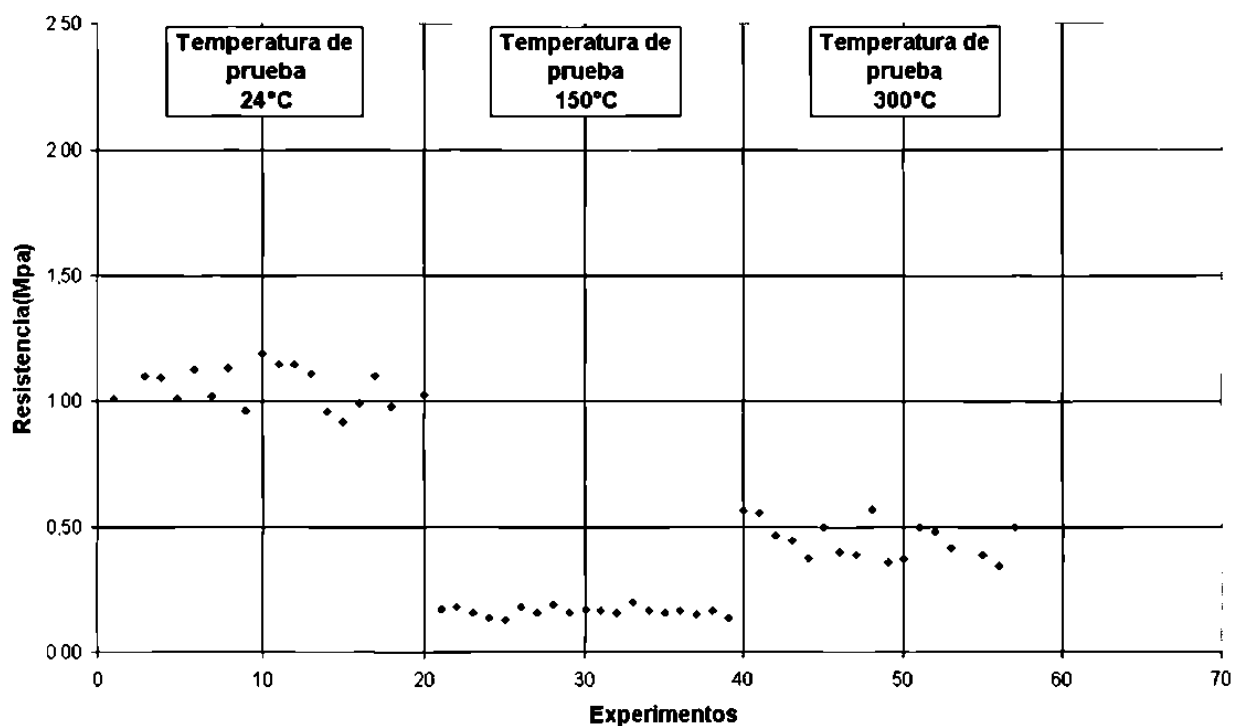


Figura 6.13 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina A 0.80% AFS gfn 50.

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

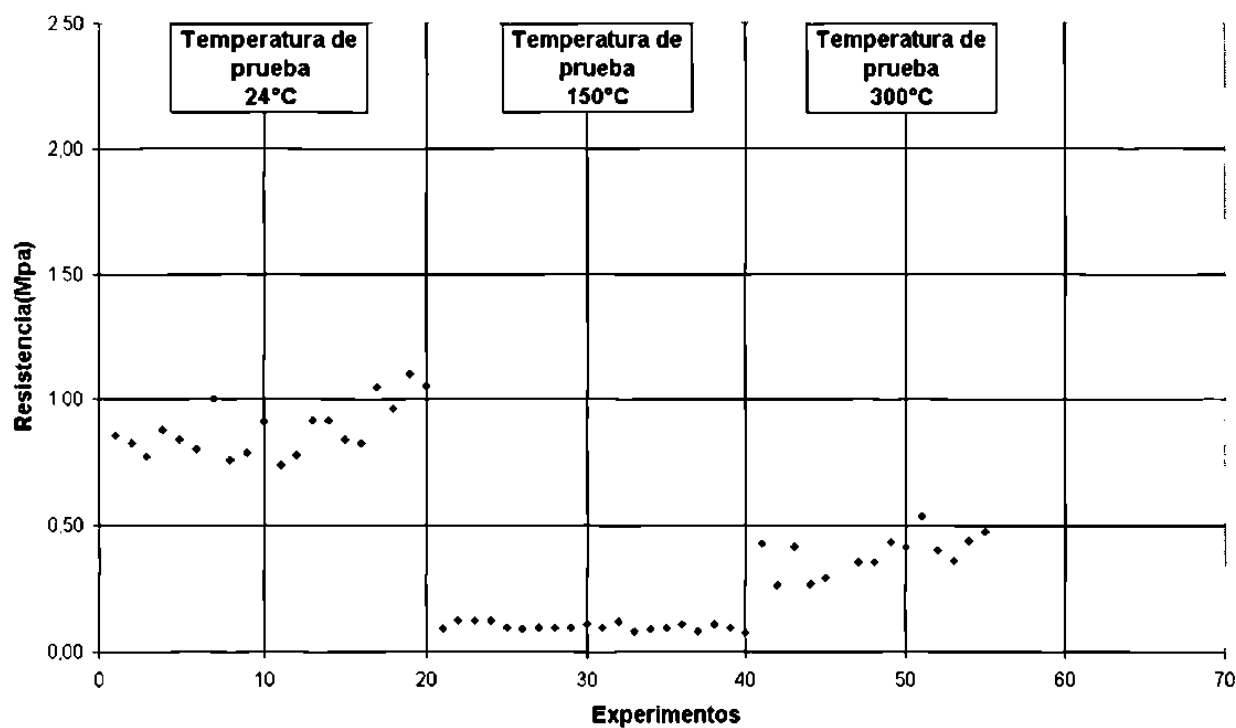


Figura 6.14 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina B 0.80% AFS gfn 50.

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

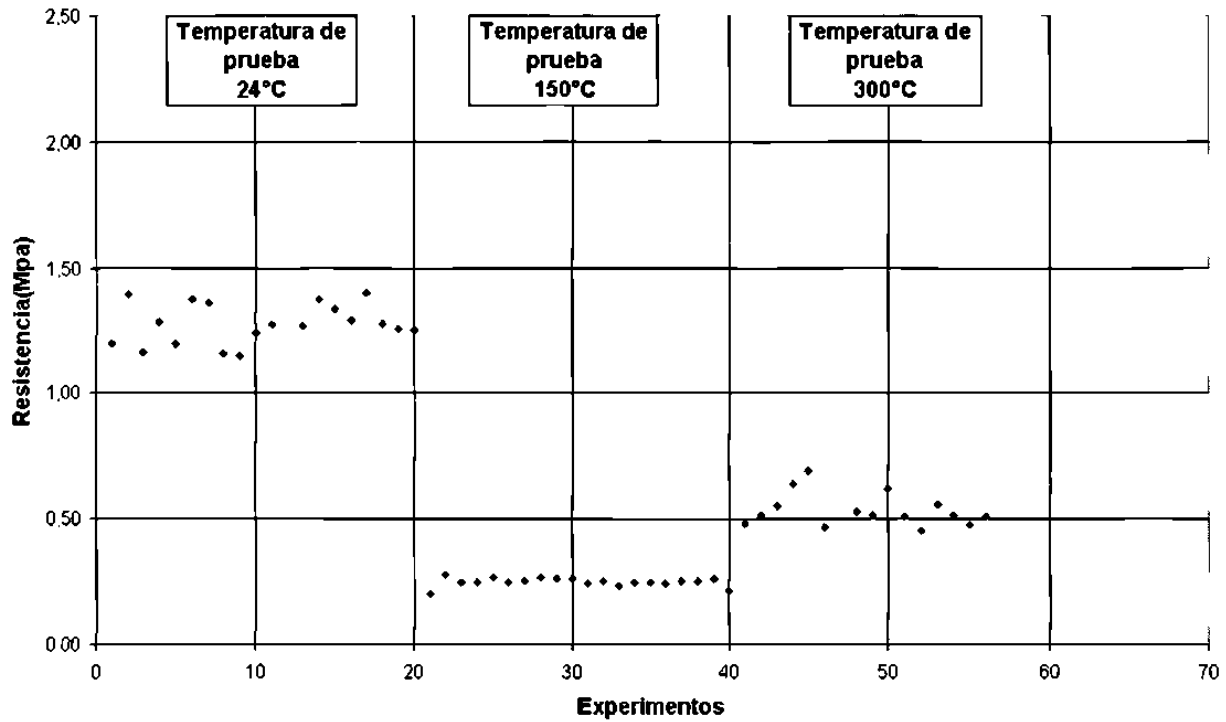


Figura 6.15 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina A 0.90% AFS gfn 50.

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

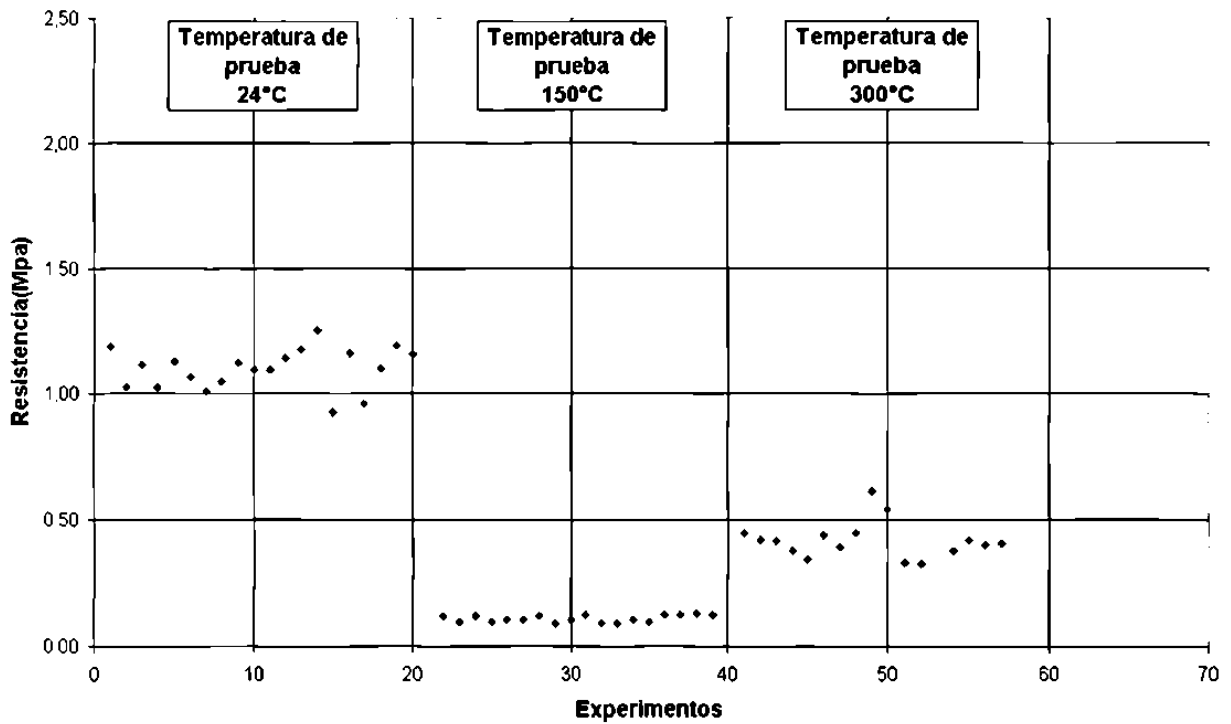


Figura 6.16 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina B 0.90% AFS gfn 50.

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

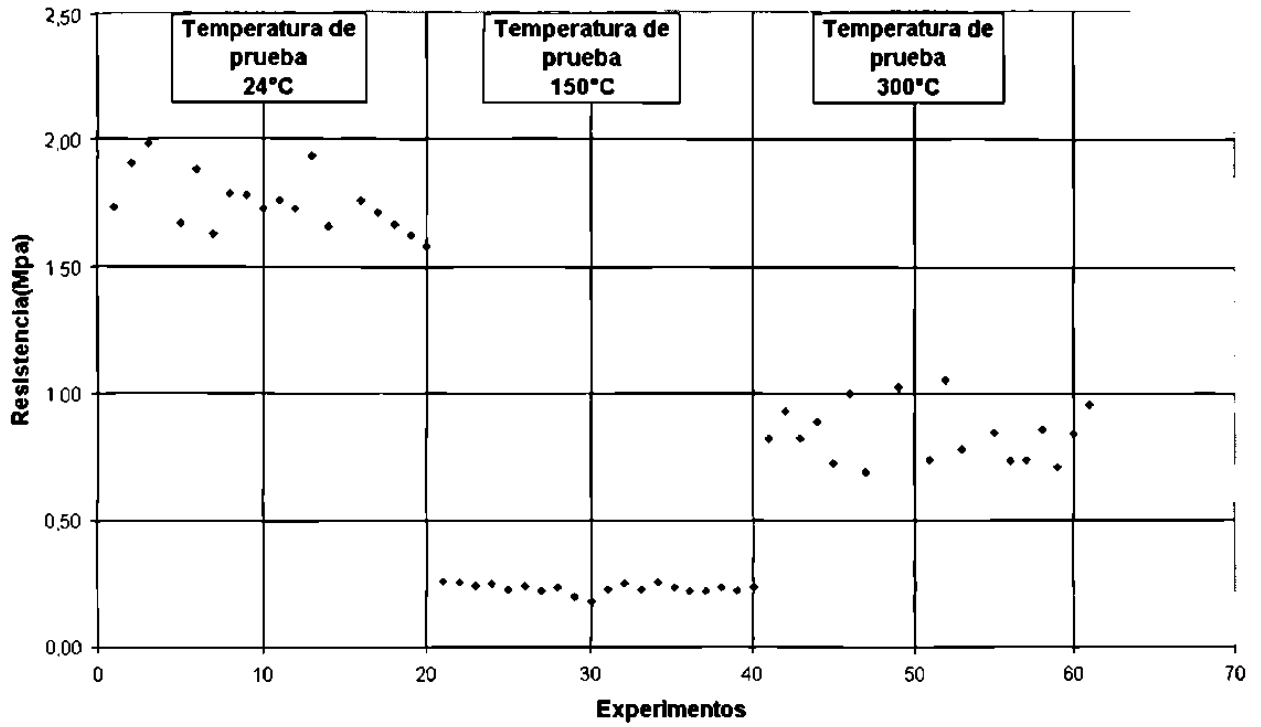


Figura 6.17 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina A 1.15% AFS gfn 50.

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

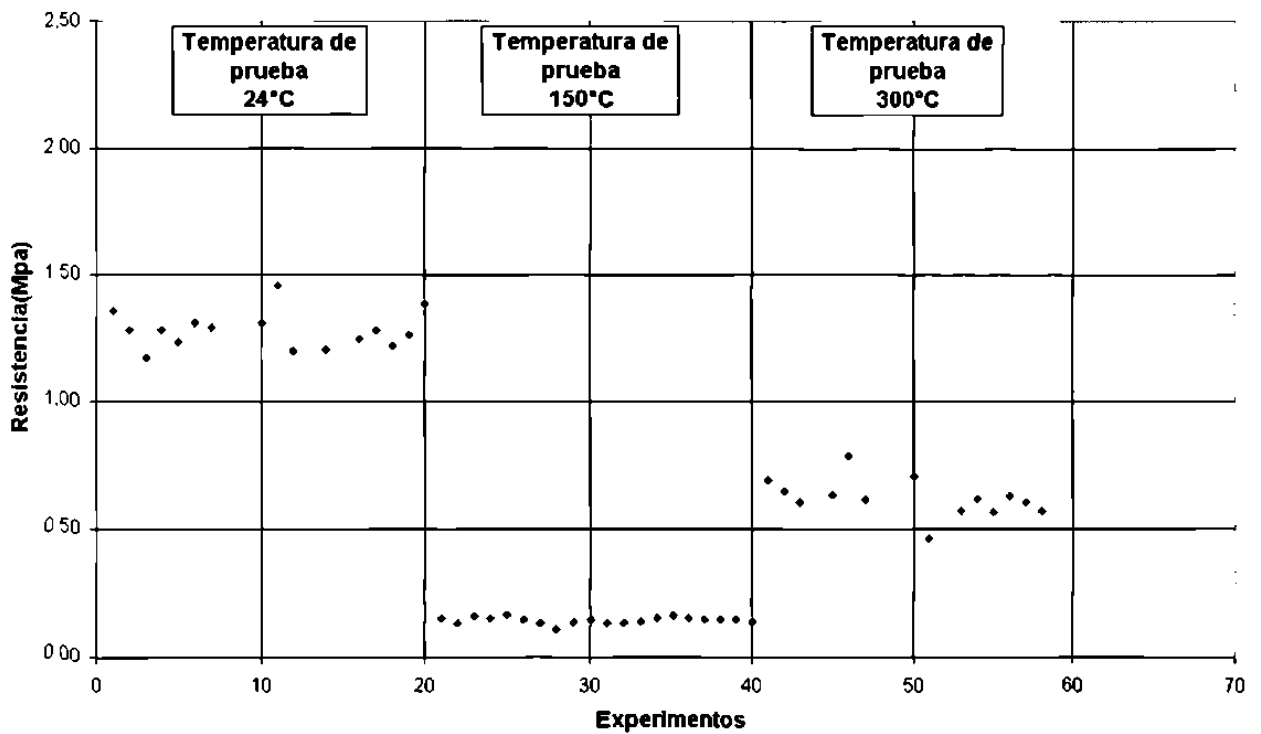


Figura 6.18 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina B 1.15% AFS gfn 50.

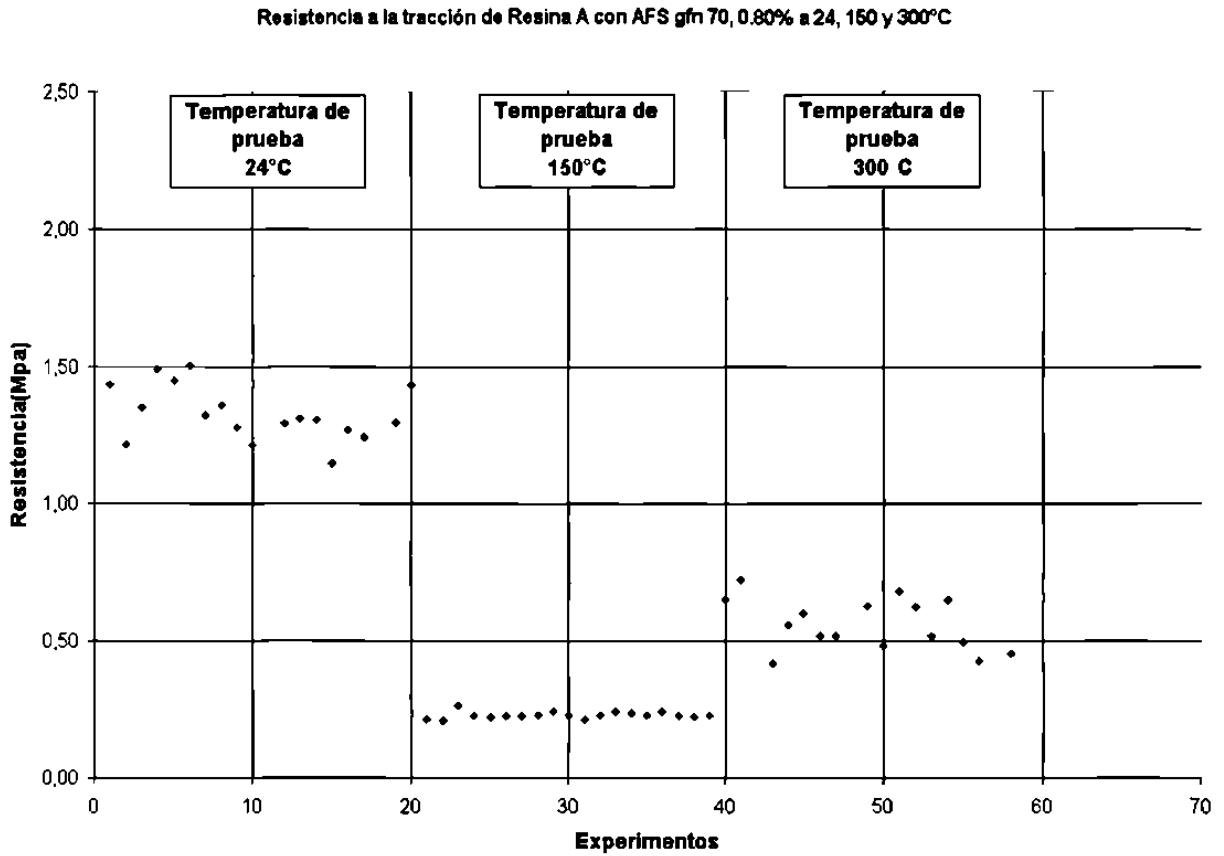


Figura 6.19 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina A 0.80% AFS gfn 70.

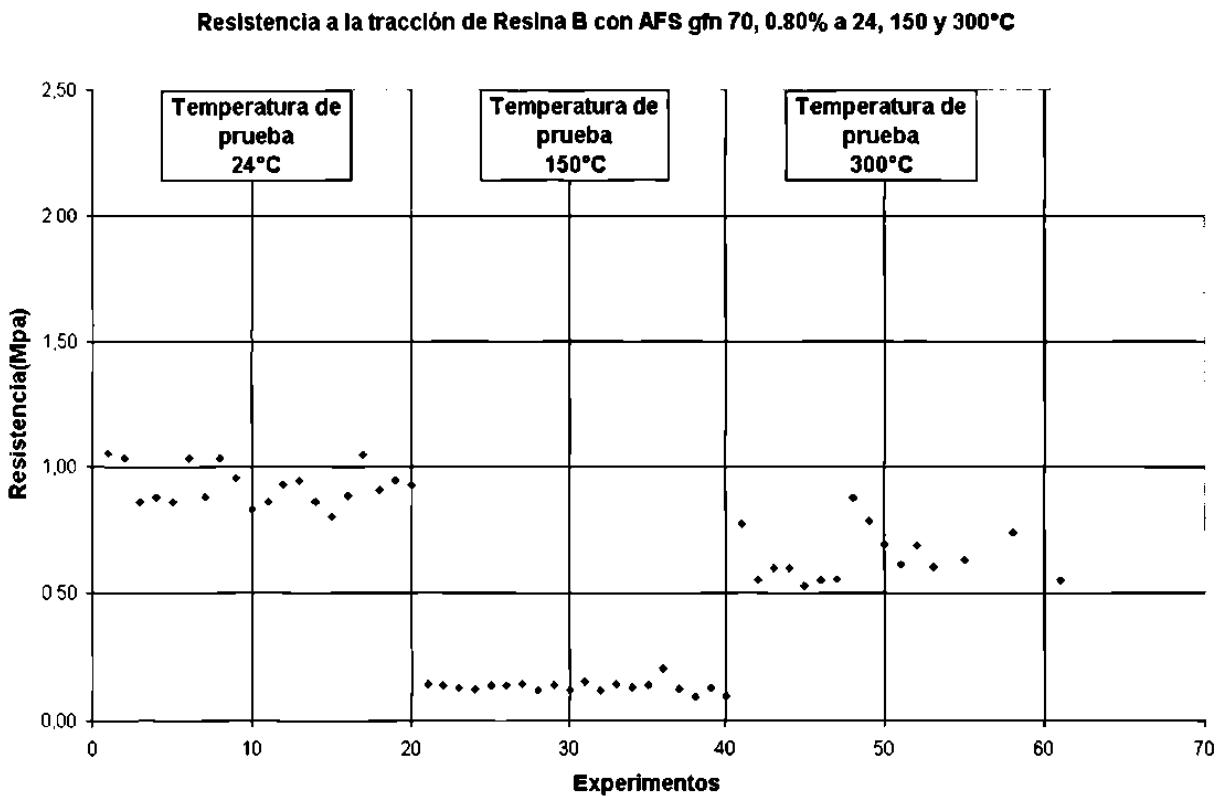


Figura 6.20 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina B 0.80% AFS gfn 70.

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

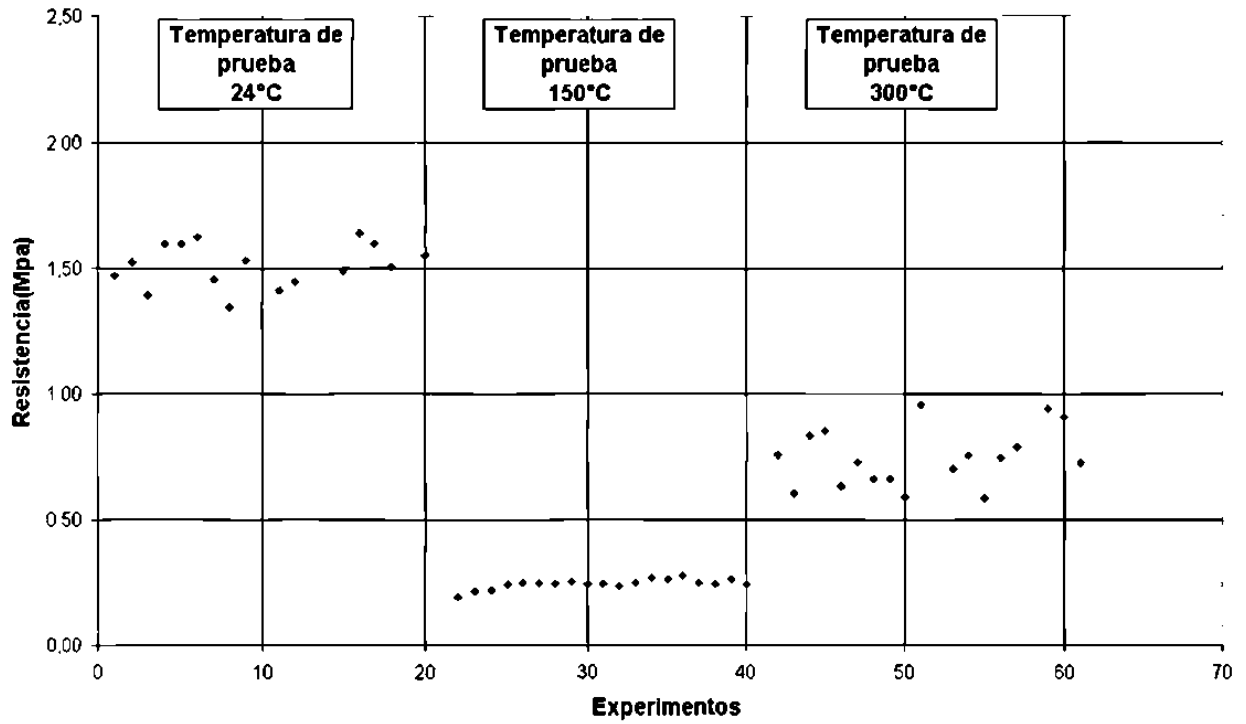


Figura 6.21 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina A 0.90% AFS gfn 70.

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

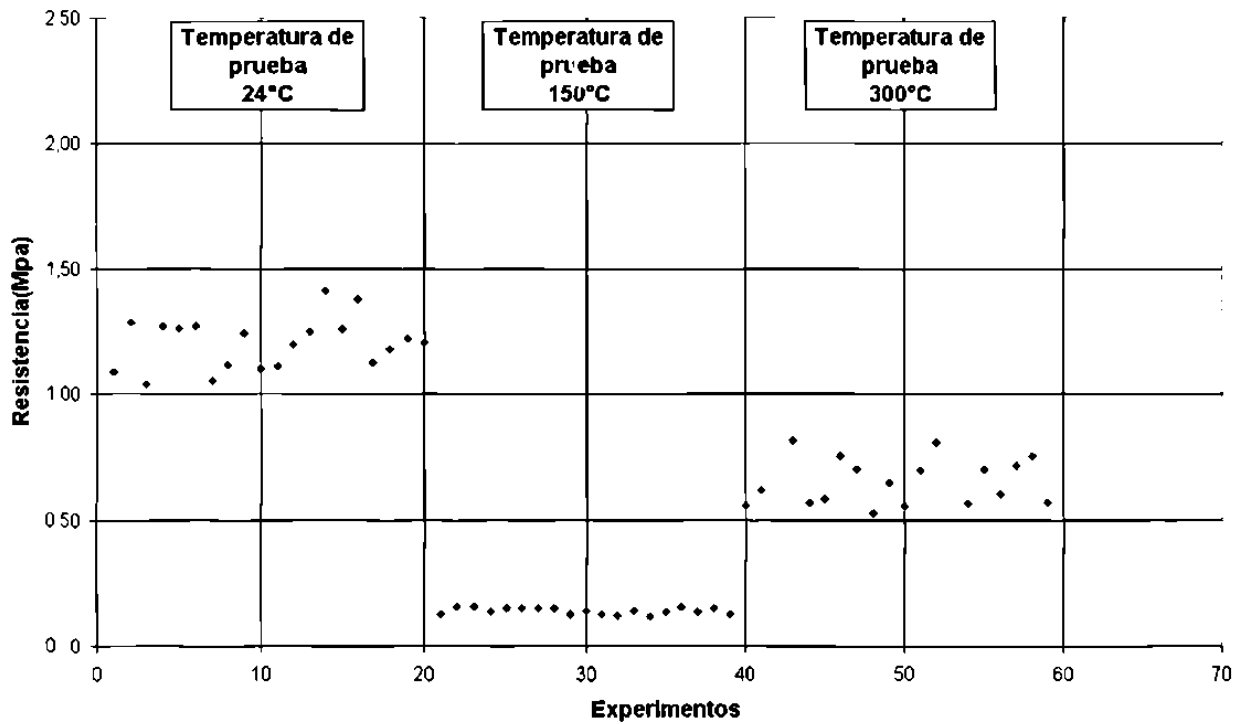


Figura 6.22 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina B 0.90% AFS gfn 70.

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

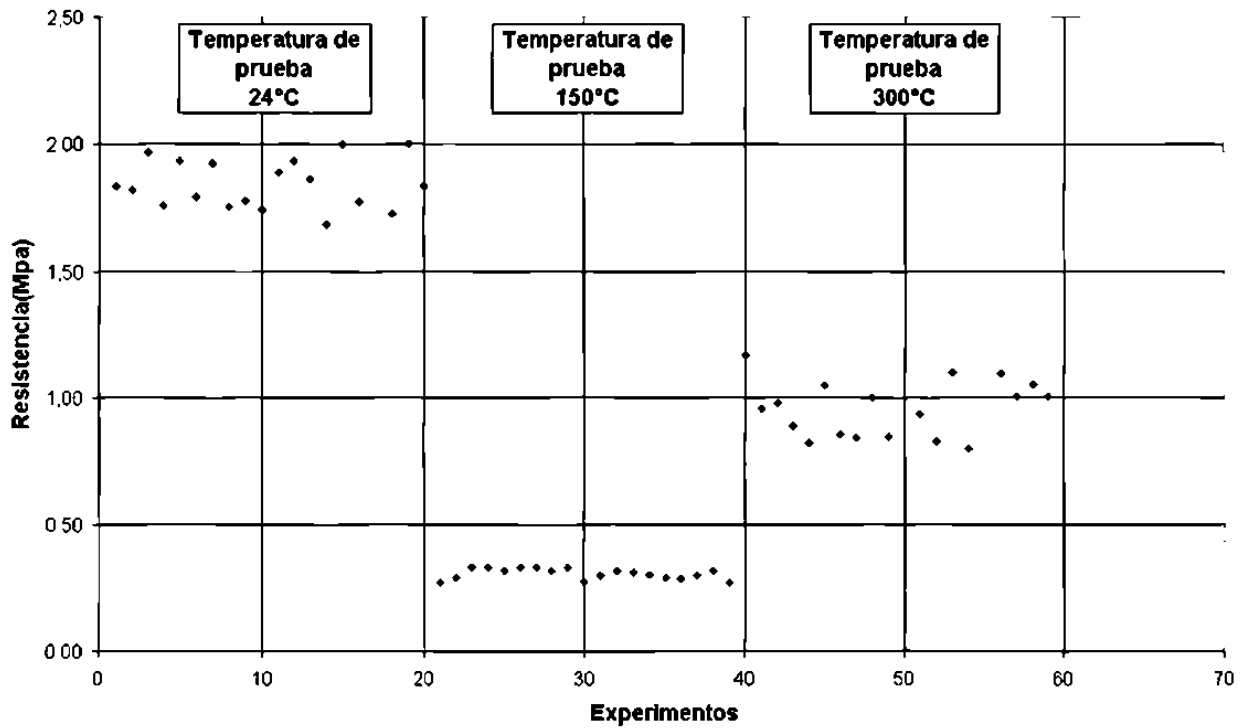


Figura 6.23 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina A 1.15% AFS gfn 70.

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

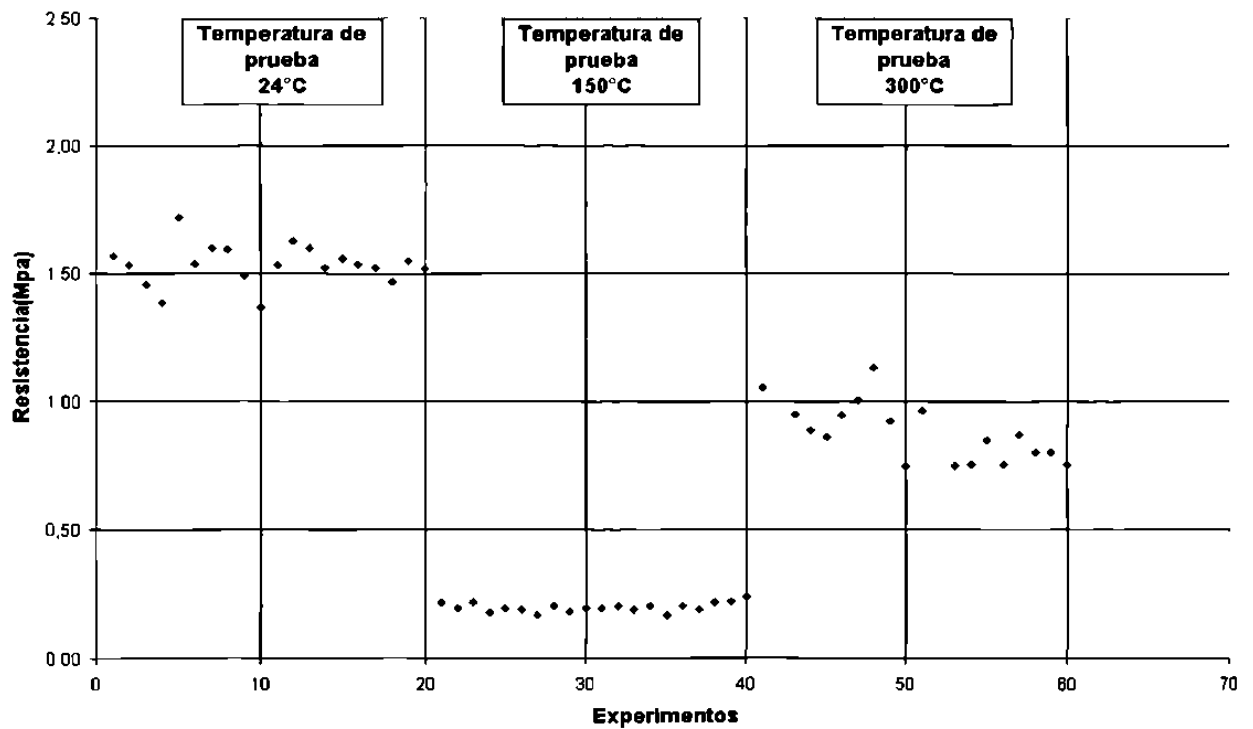


Figura 6.24 Resistencia a la tracción a alta temperatura Resina B 1.15% AFS gfn 70.

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 gfn 50 a 0.8% a 24, 150 y 300°C.

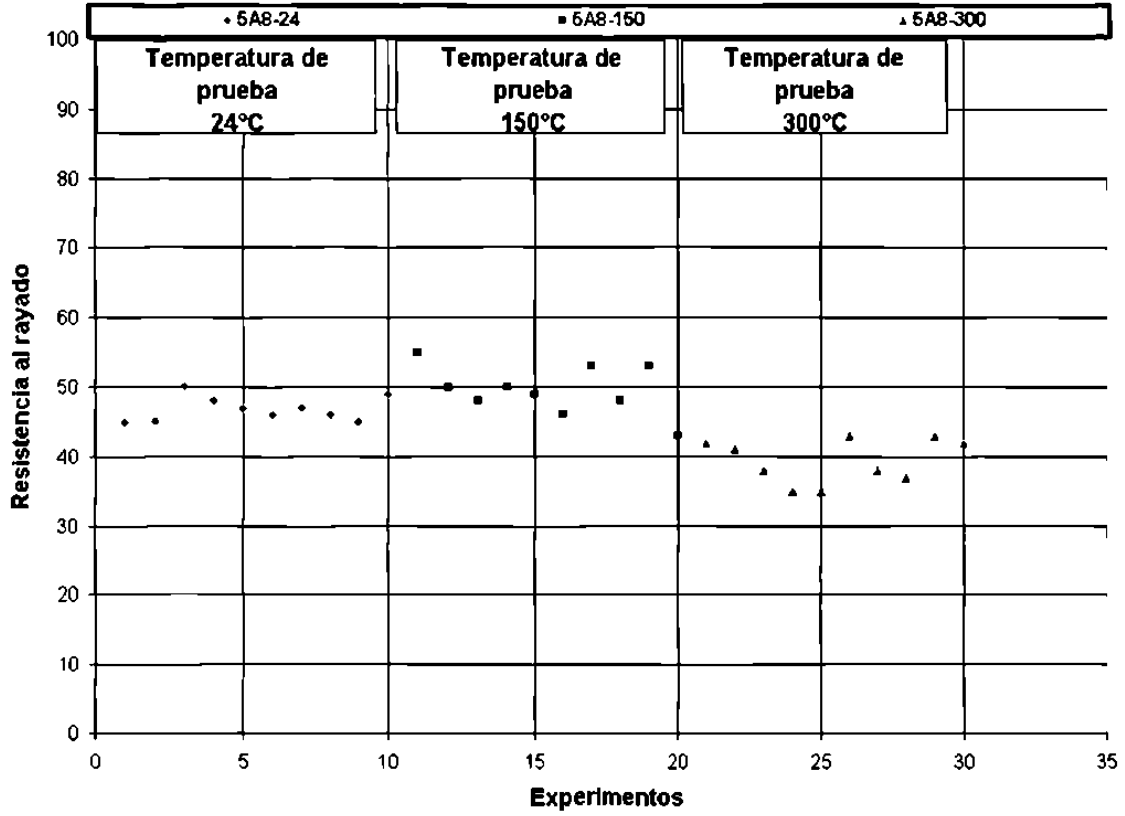


Figura 6.25 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina A 0.80% AFS gfn 50.

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

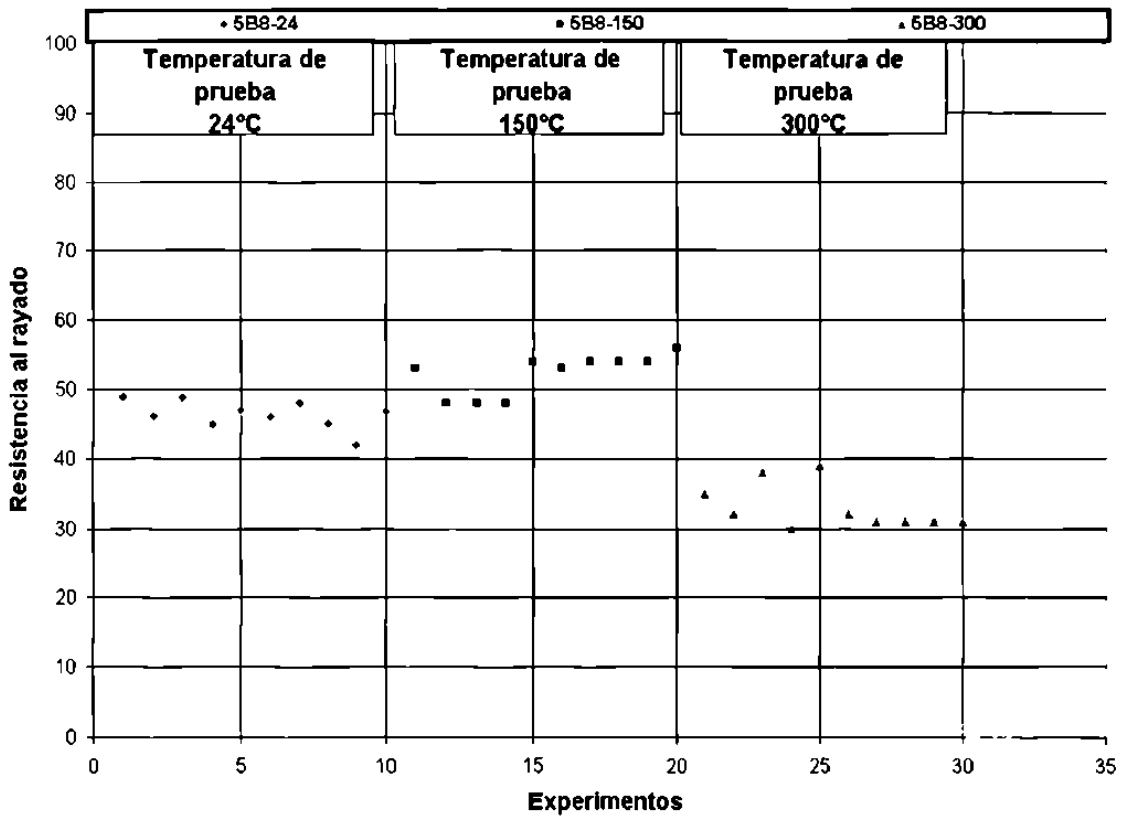


Figura 6.26 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina B 0.80% AFS gfn 50.

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

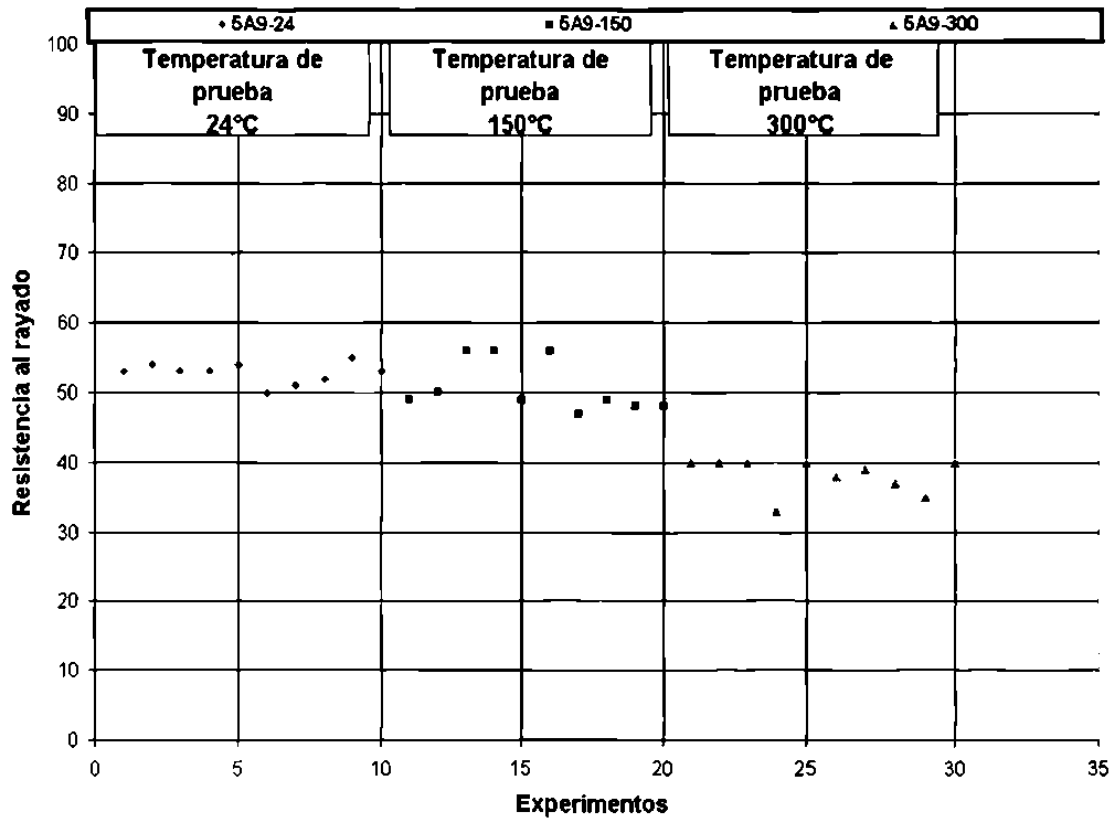


Figura 6.27 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina A 0.90% AFS gfn 50.

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

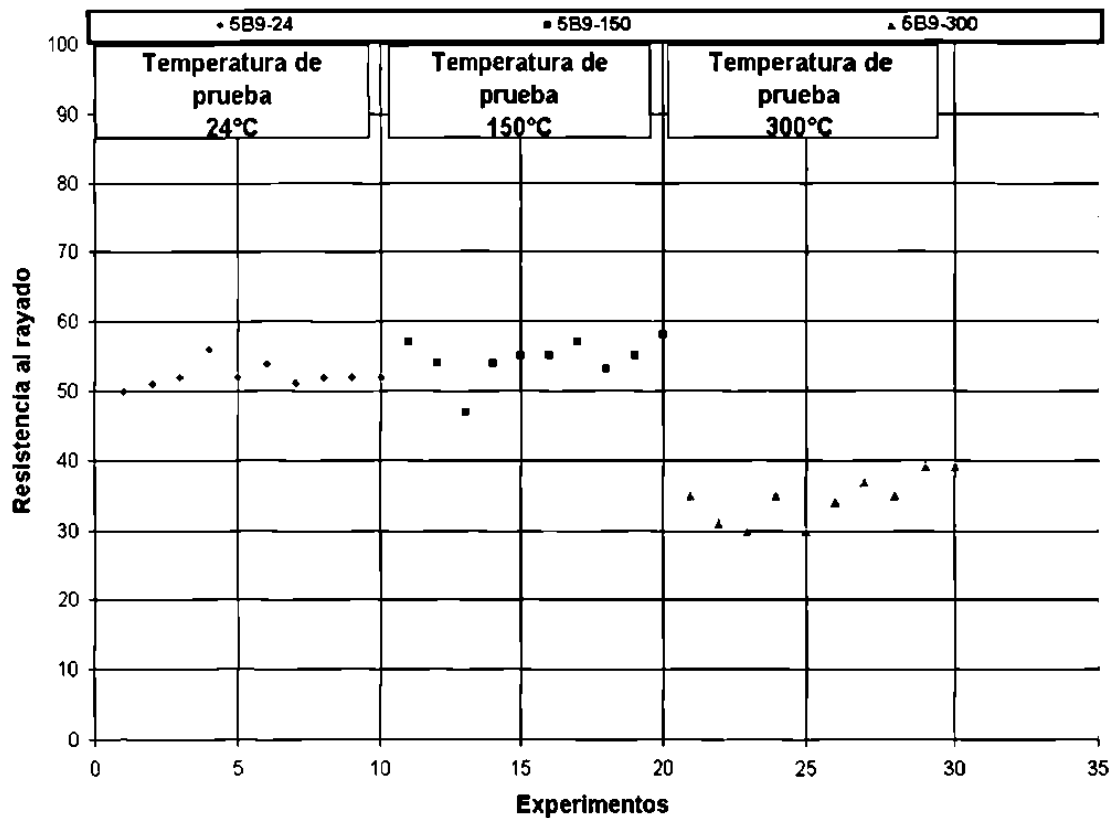


Figura 6.28 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina B 0.90% AFS gfn 50.

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

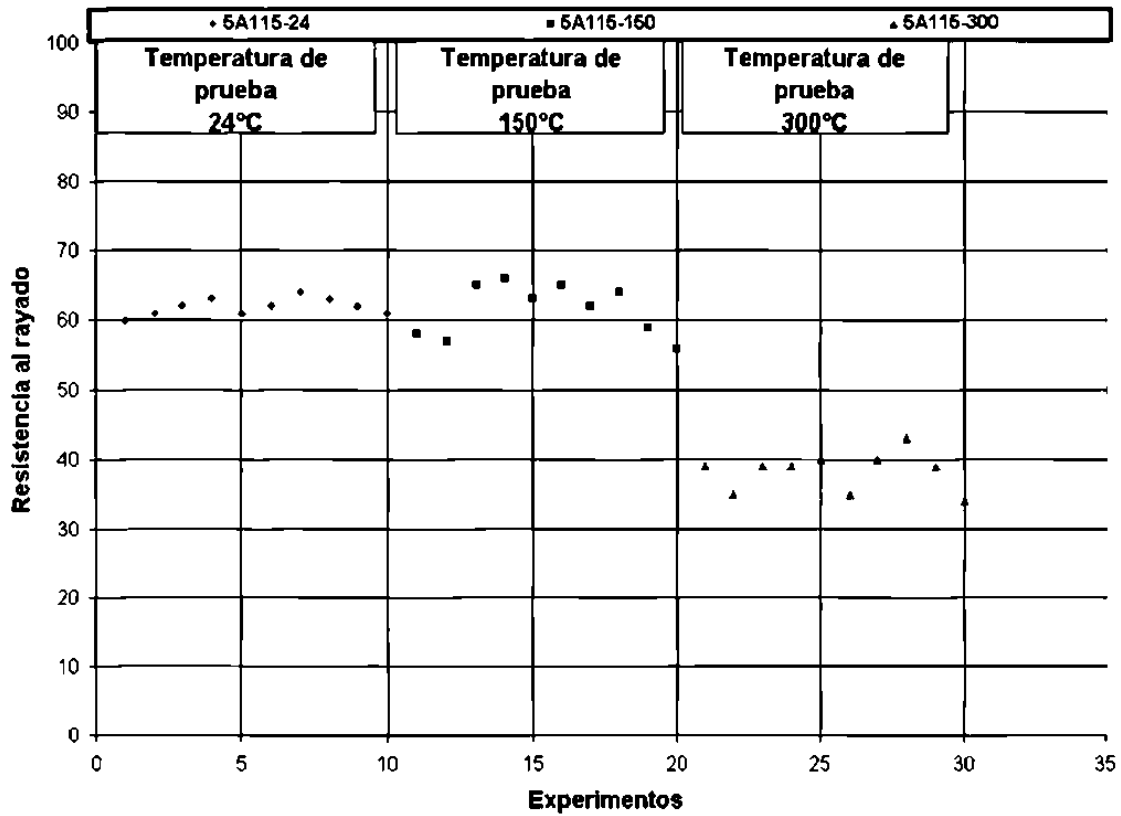


Figura 6.29 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina A 0.1.15 AFS gfm 50.

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

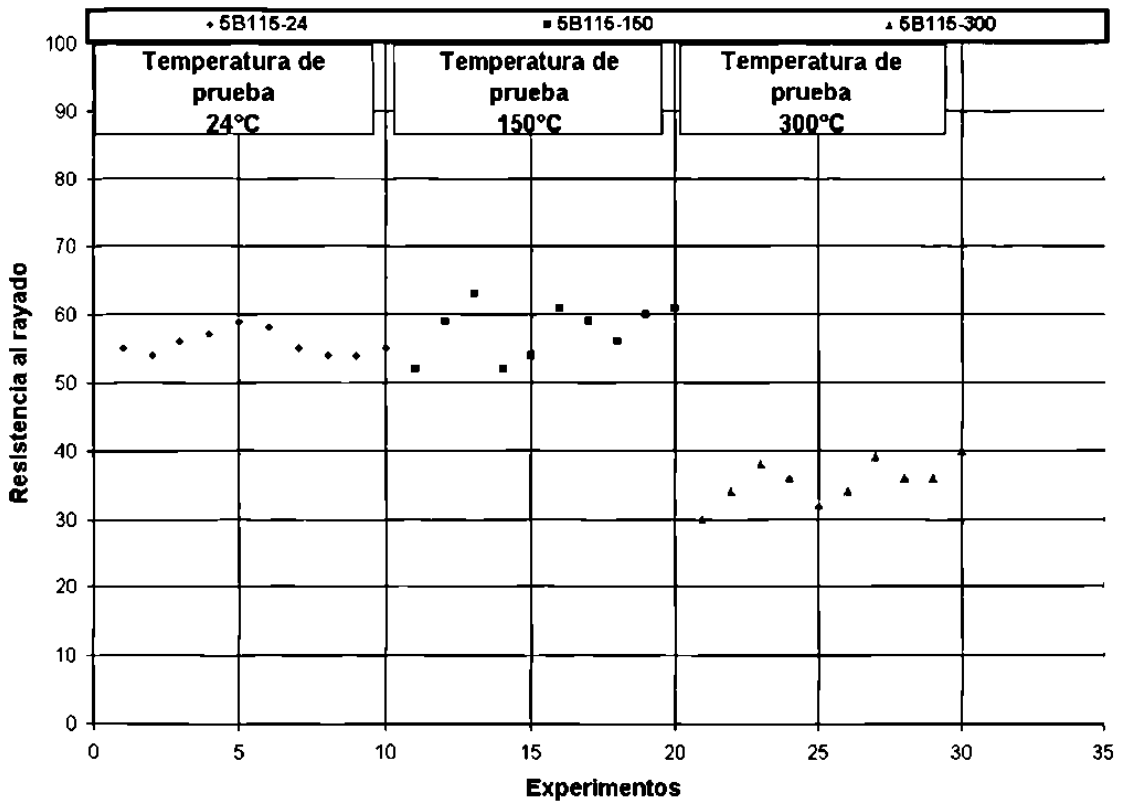


Figura 6.30 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina B 1.15% AFS gfm 50.

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

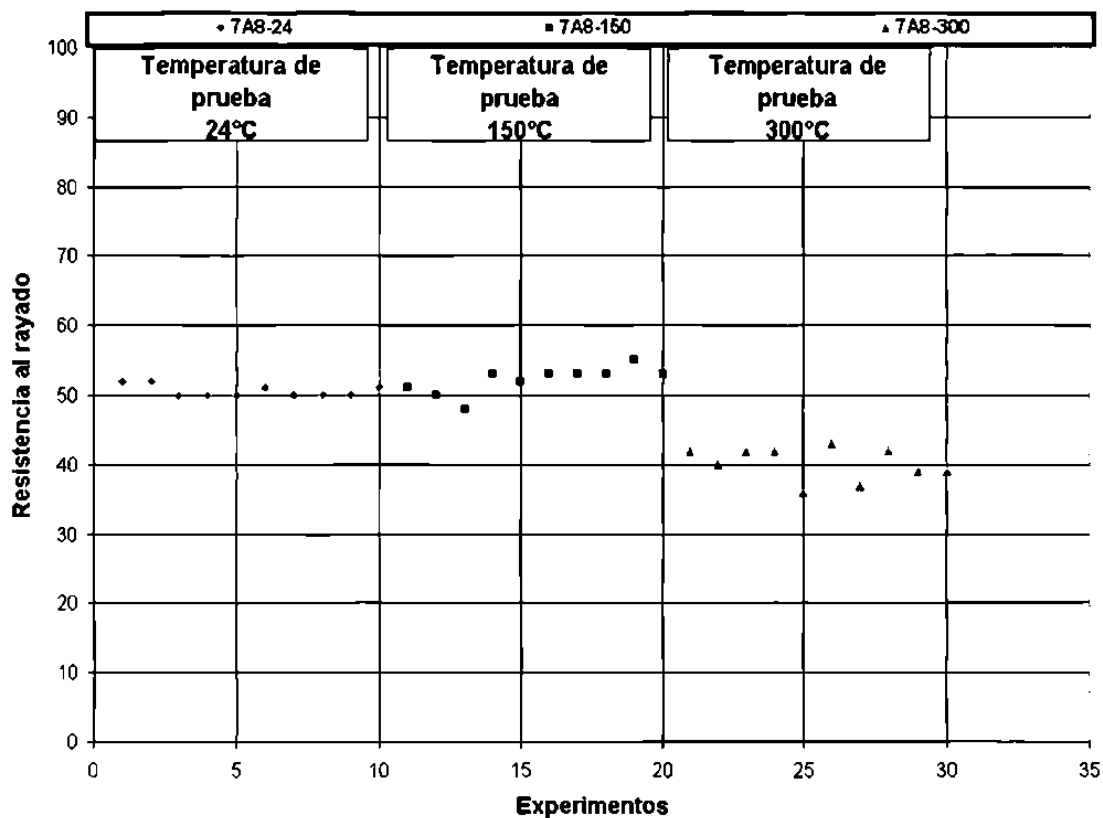


Figura 6.31 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina A 0.80% AFS gfn 70.

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

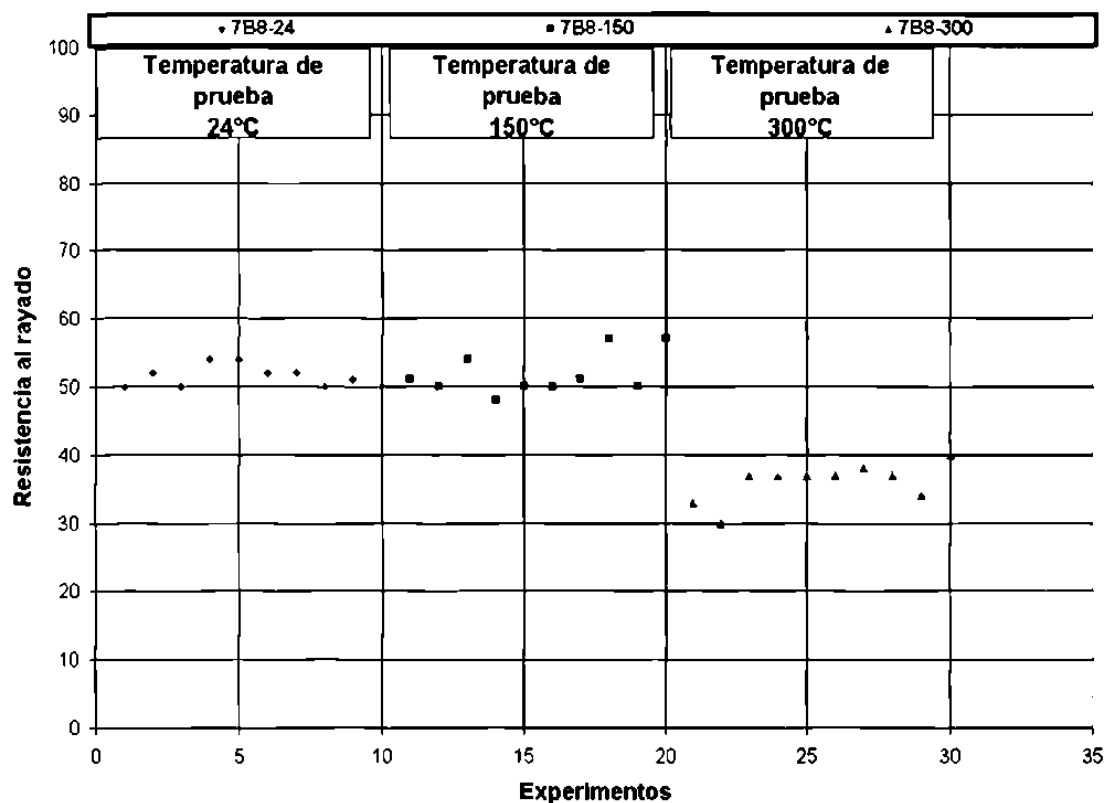


Figura 6.32 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina B 0.80% AFS gfn 70.

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

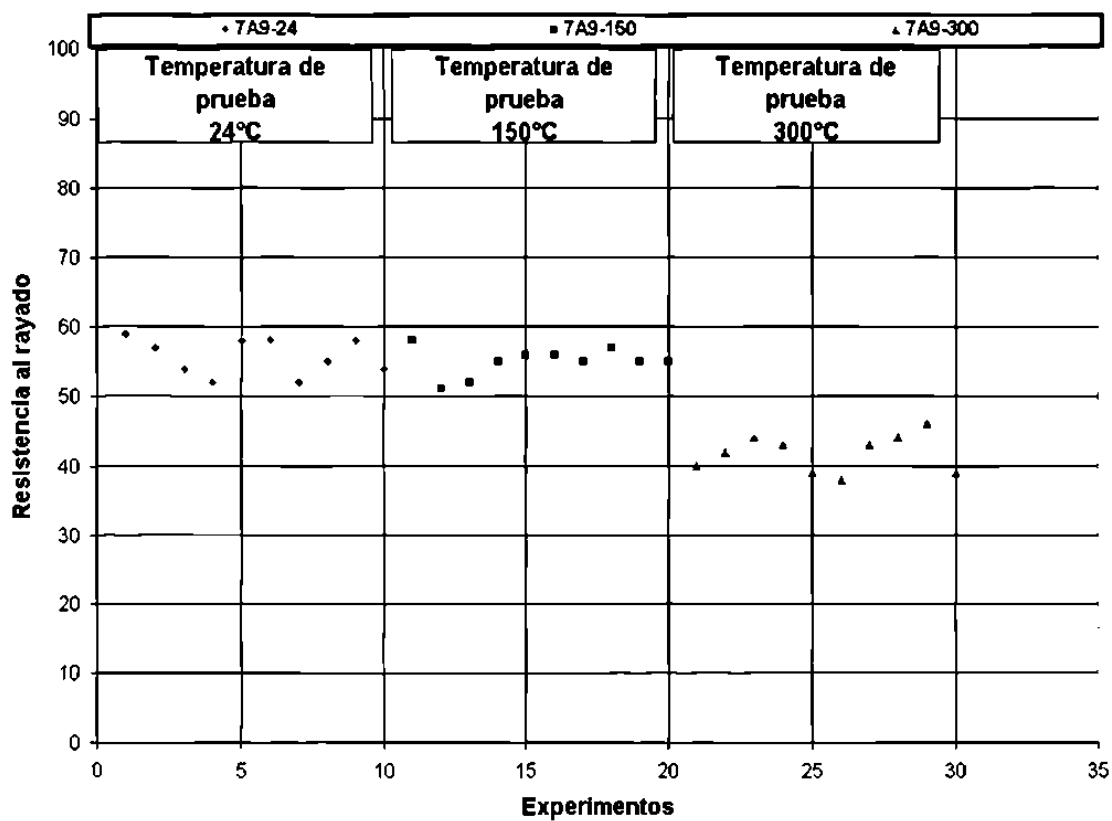


Figura 6.33 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina A 0.90% AFS gfn 70.

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

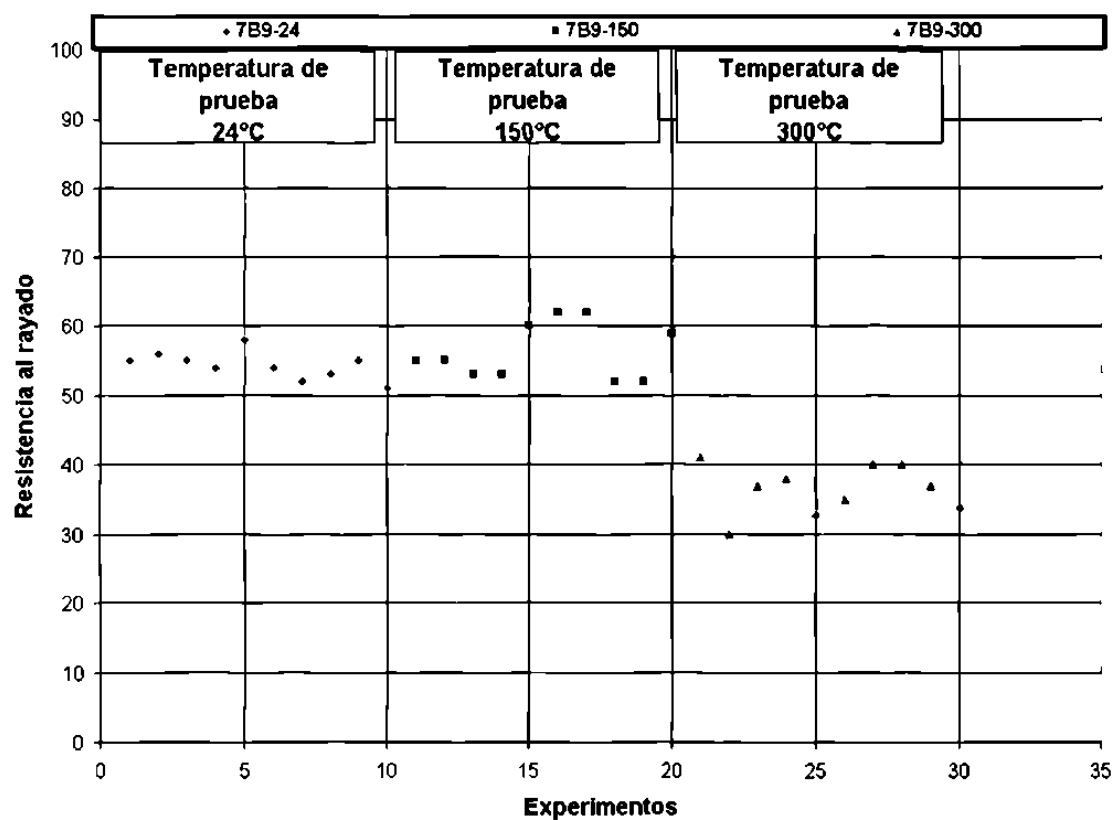


Figura 6.34 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina B 0.90% AFS gfn 70.

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

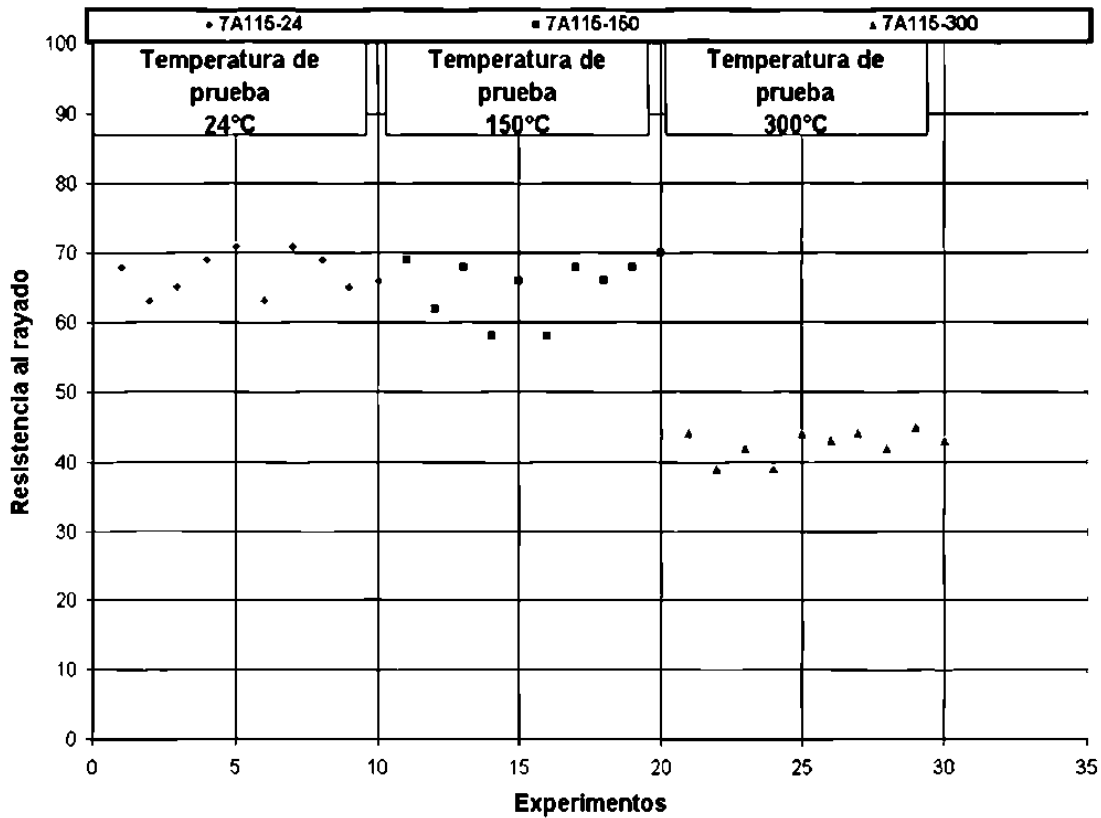


Figura 6.35 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina A 1.15% AFS gfn 70.

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

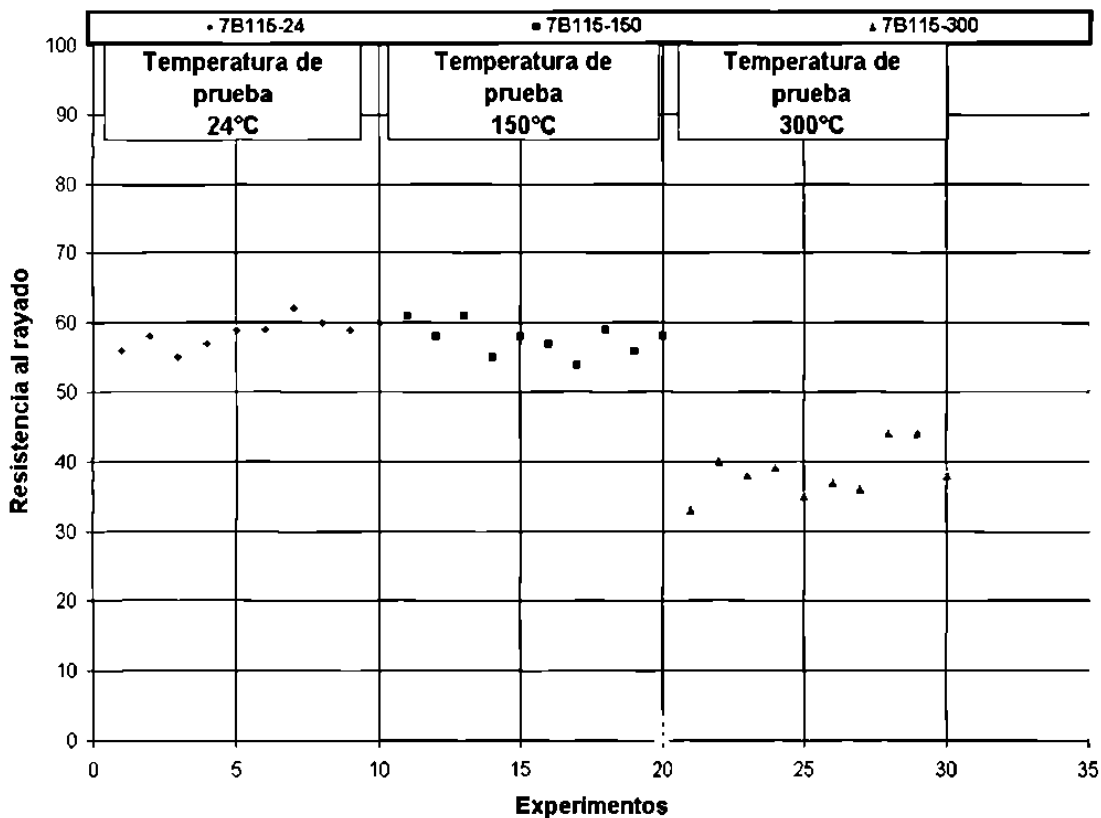


Figura 6.36 Resistencia a la penetración a alta temperatura Resina B 1.15% AFS gfn 70.

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.

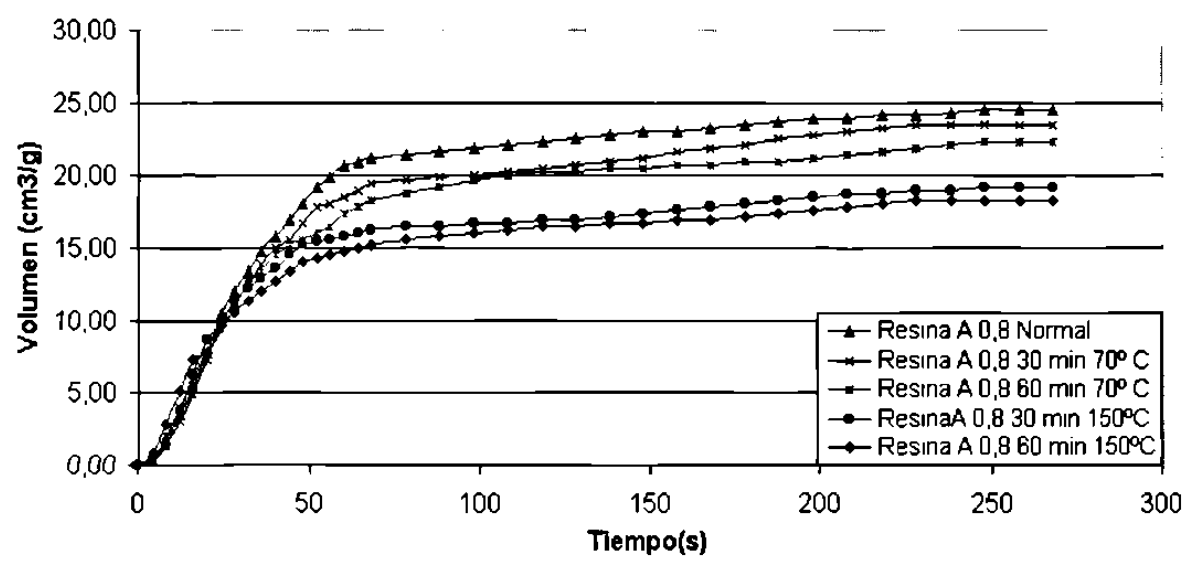


Figura 6.37 Evolución de gases resina A 0.80% corregido a 0° C.

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

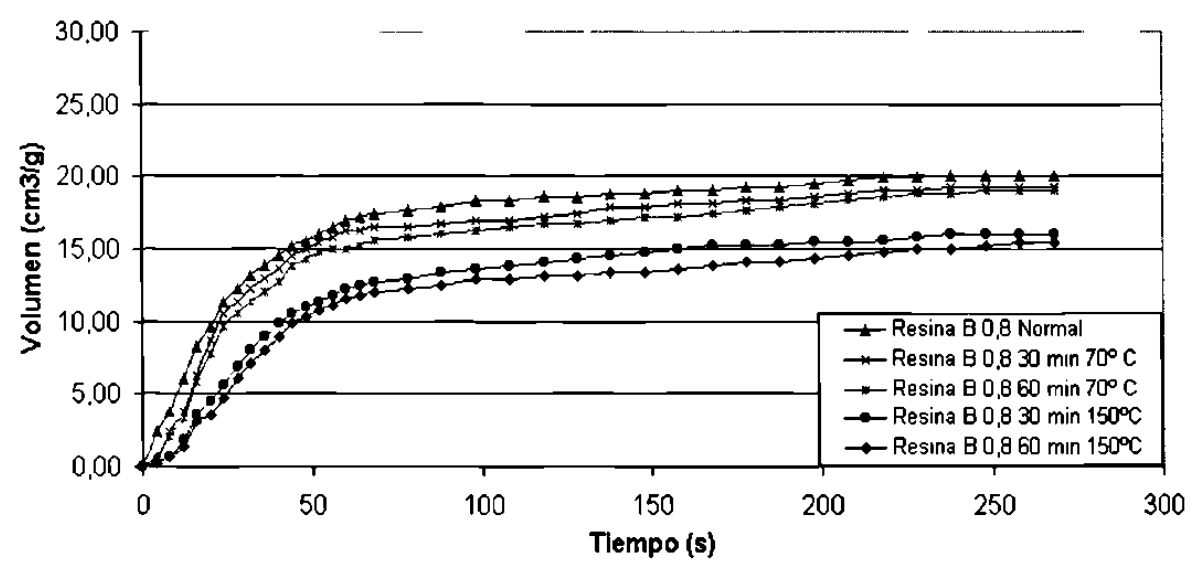
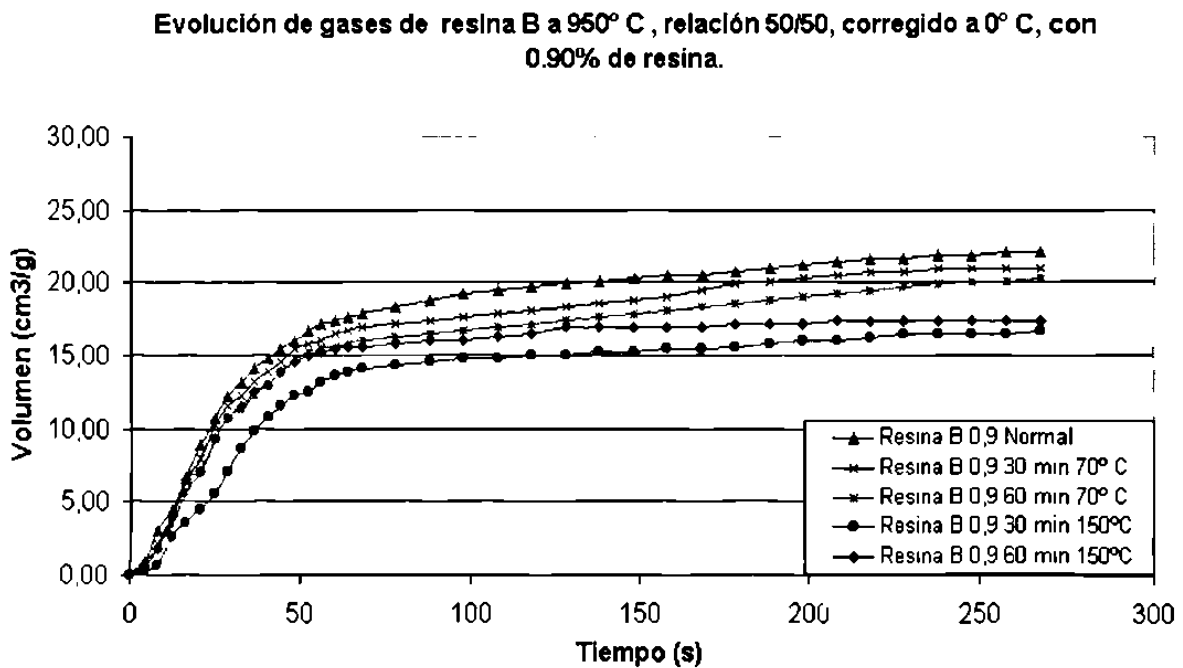
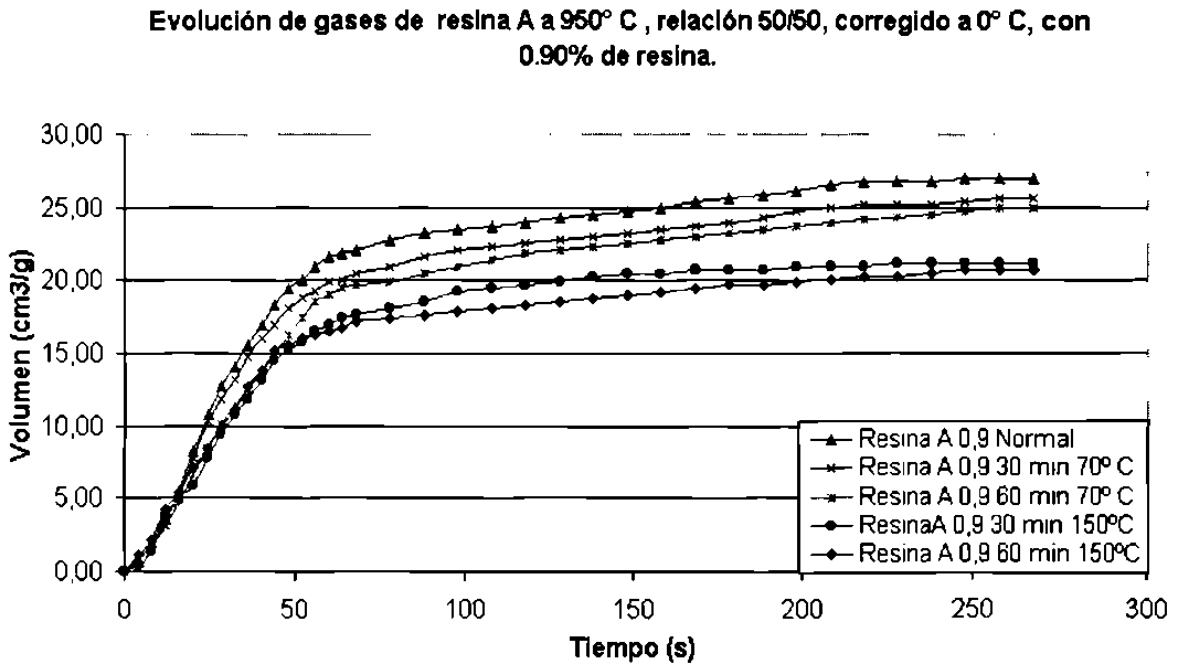


Figura 6.38 Evolución de gases resina B 0.80% corregido a 0° C.



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

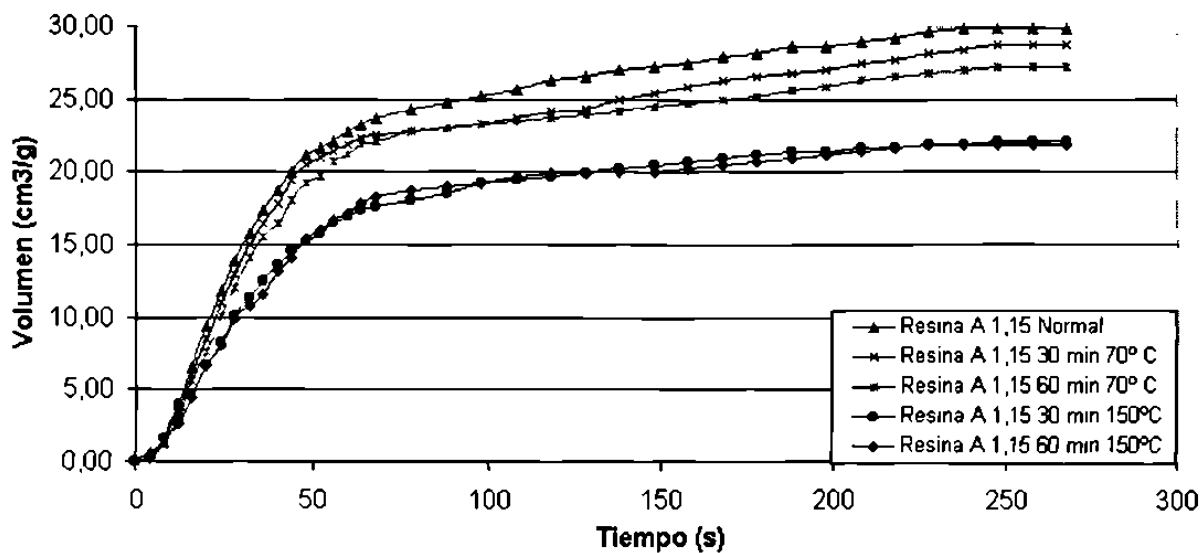


Figura 6.41 Evolución de gases resina A 1.15% corregido a 0° C.

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

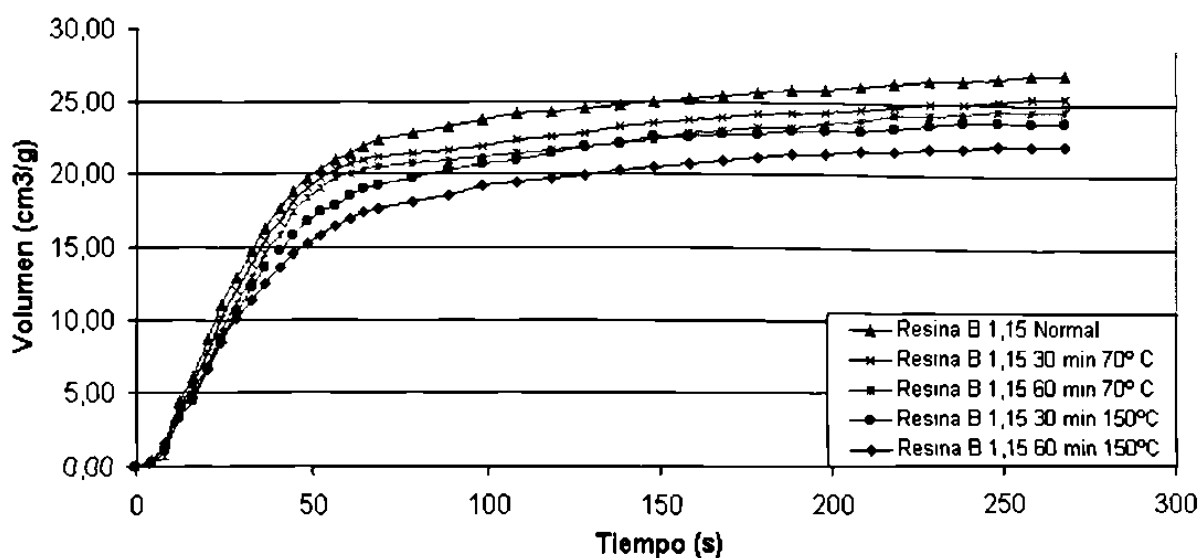


Figura 6.42 Evolución de gases resina B 1.15% corregido a 0° C.

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 diferencias 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 50:50 con 0.80%.

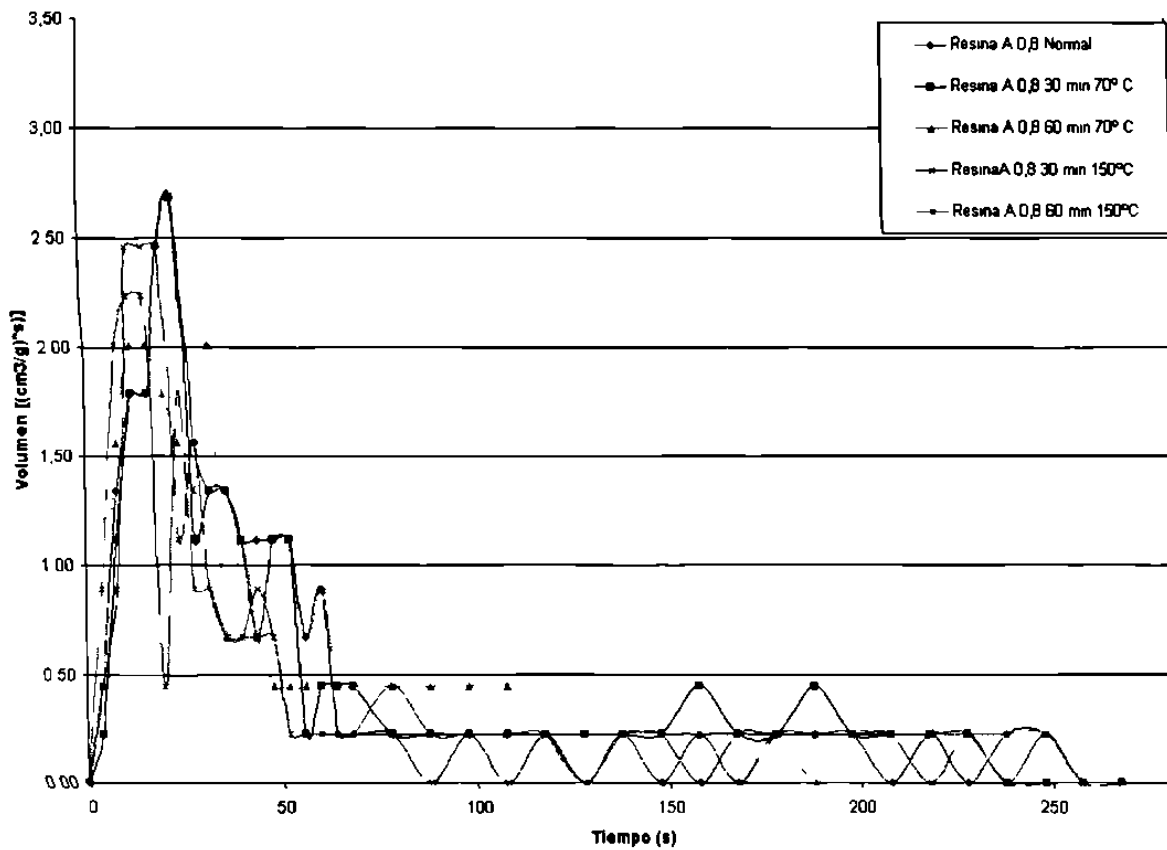


Figura 6.43 Cantidad de gases por segundo de resina A 0.80% a 950° C.

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

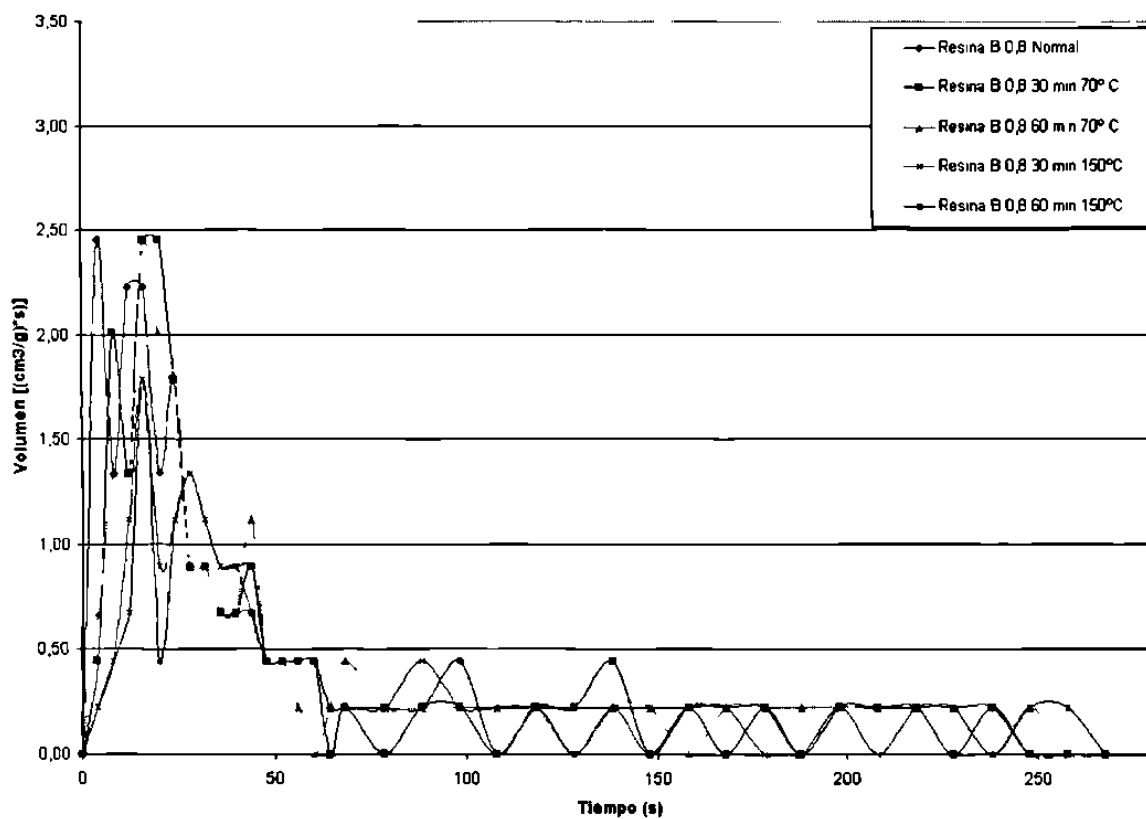


Figura 6.44 Cantidad de gases por segundo de resina B 0.80% a 950° C.

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

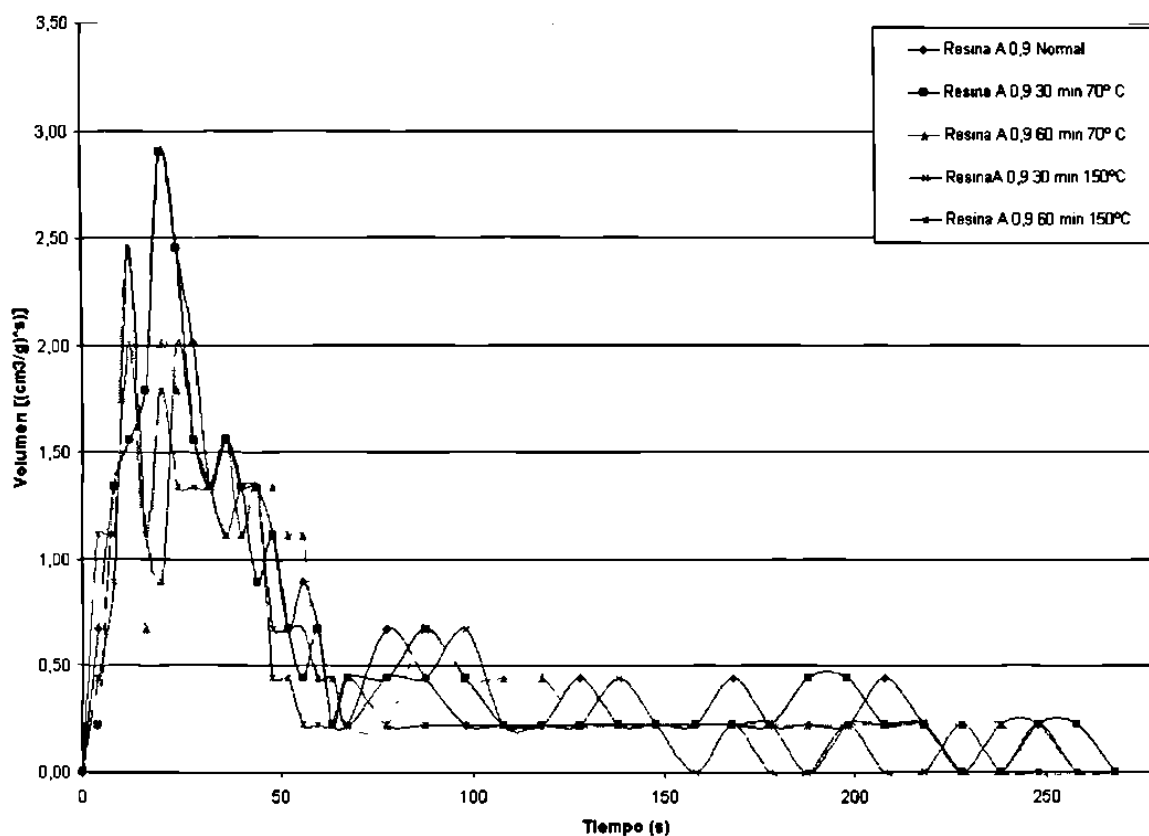


Figura 6.45 Cantidad de gases por segundo de resina A 0.90% a 950° C.

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

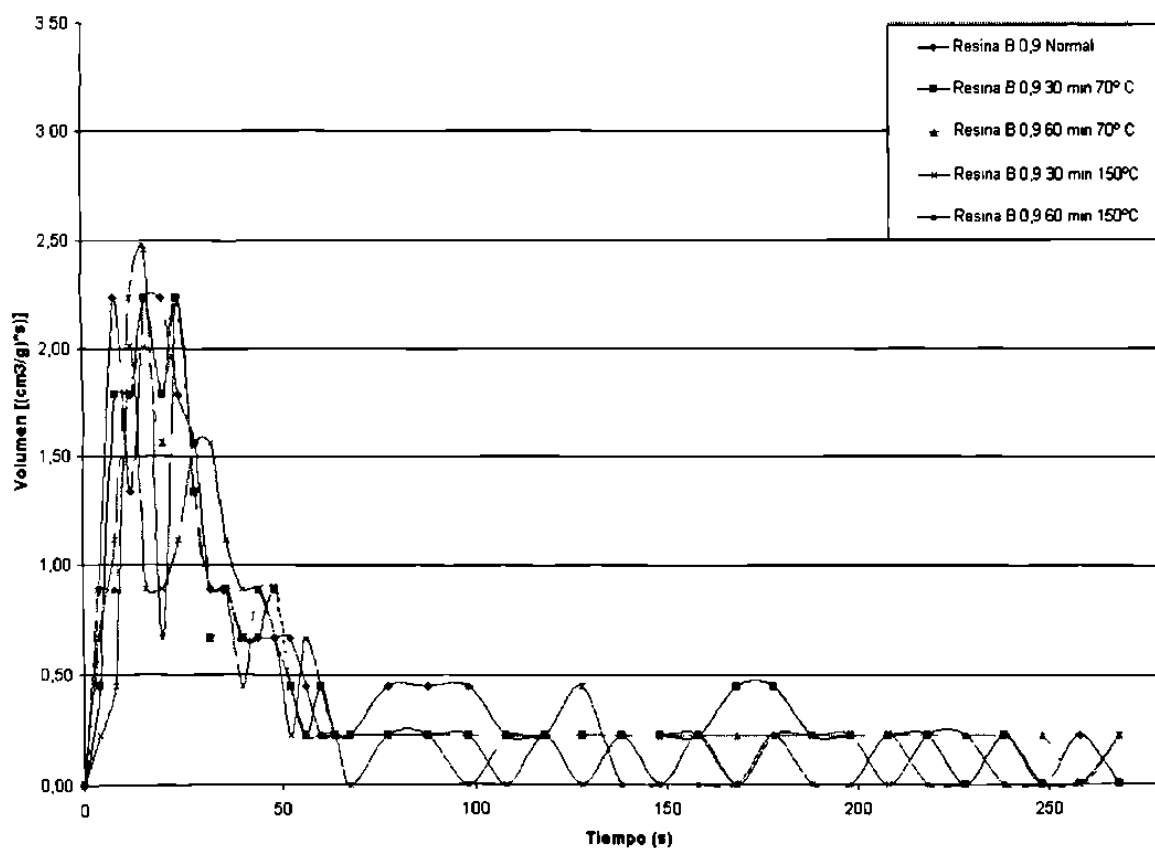


Figura 6.46 Cantidad de gases por segundo de resina B 0.90% a 950° C.

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

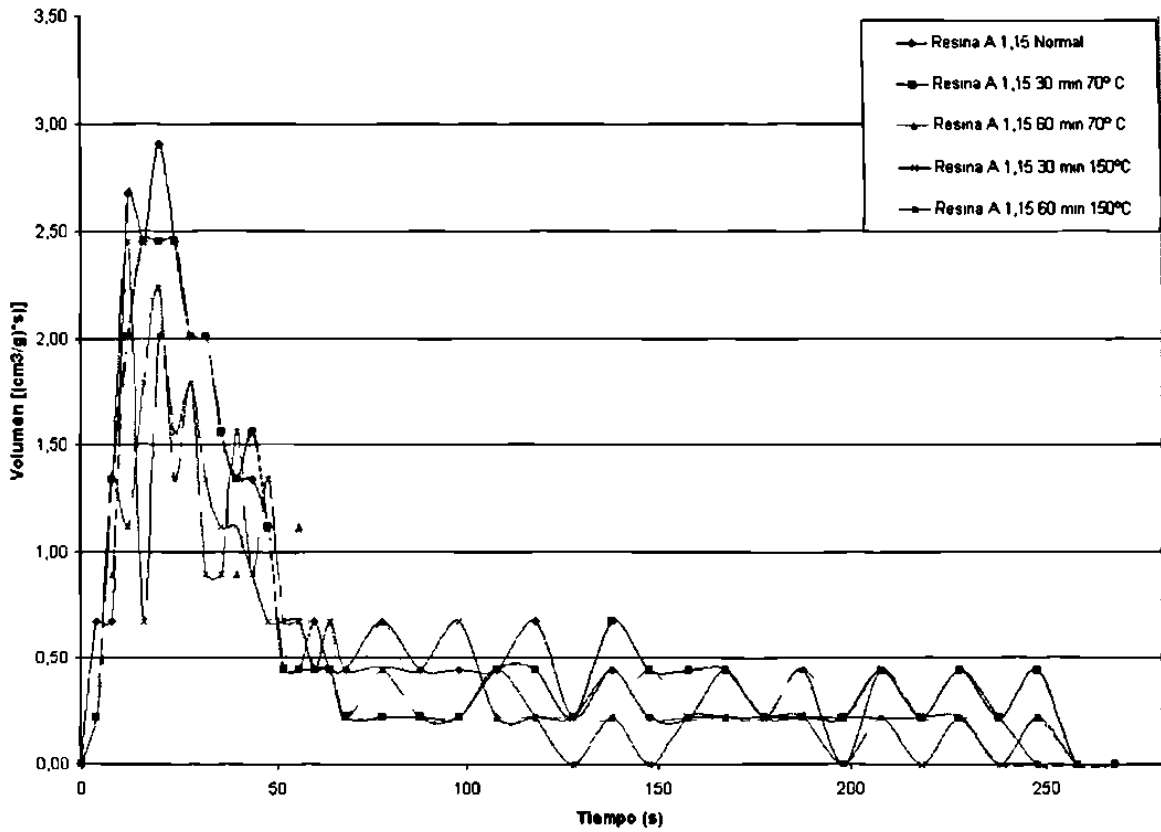


Figura 6.47 Cantidad de gases por segundo de resina A 1.15% a 950° C.

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

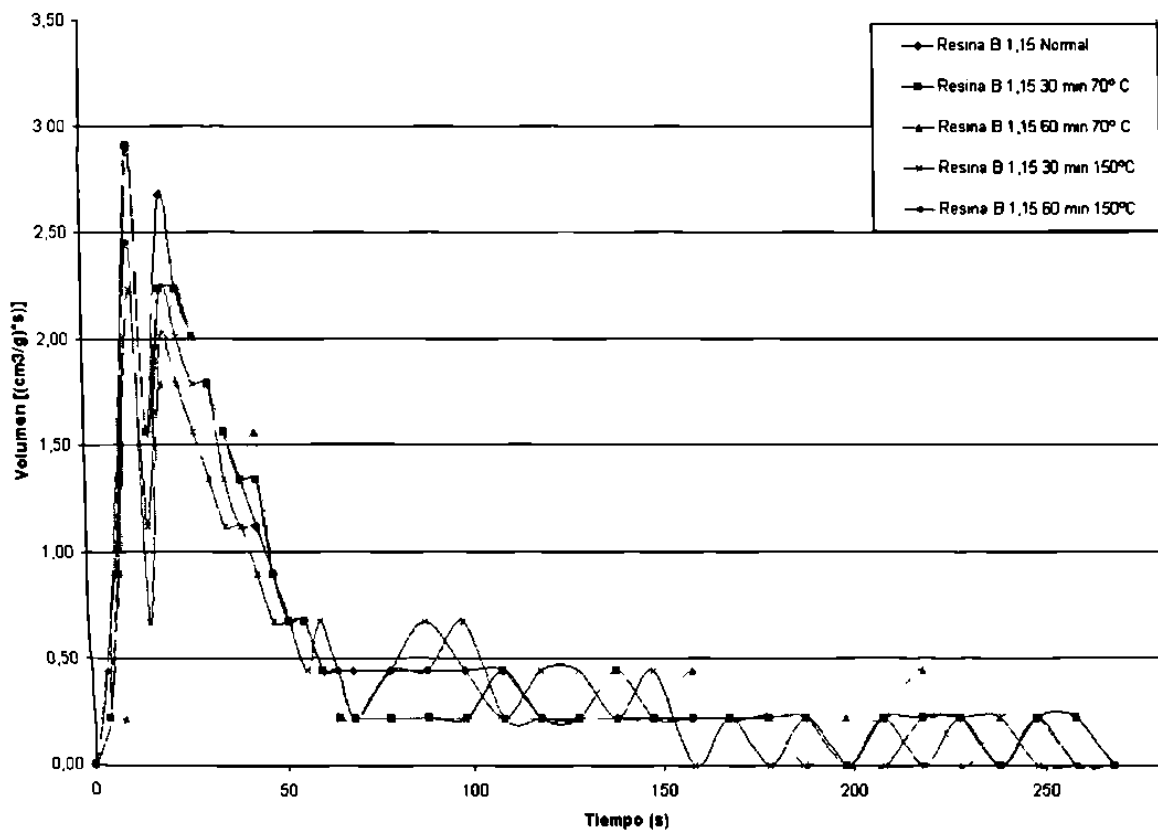


Figura 6.48 Cantidad de gases por segundo de resina B 1.15% a 950° C.

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.

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, colapsibilidad 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.

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).

Anexo

Sample A /
Size 25.8430 mg
Method SERVICIO
Comment N2=50 R=10

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

TGA

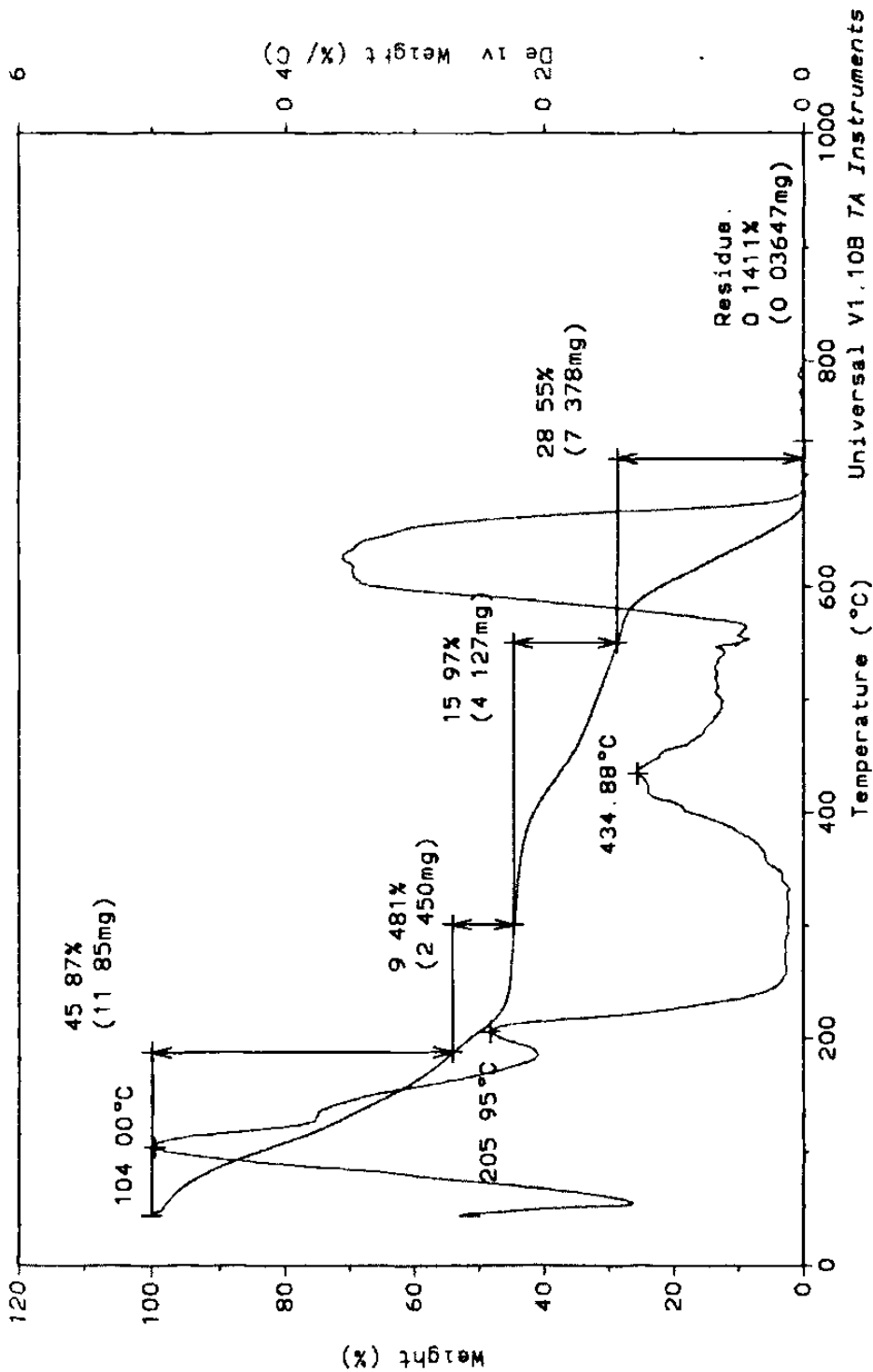


Figura A1

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

TGA

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

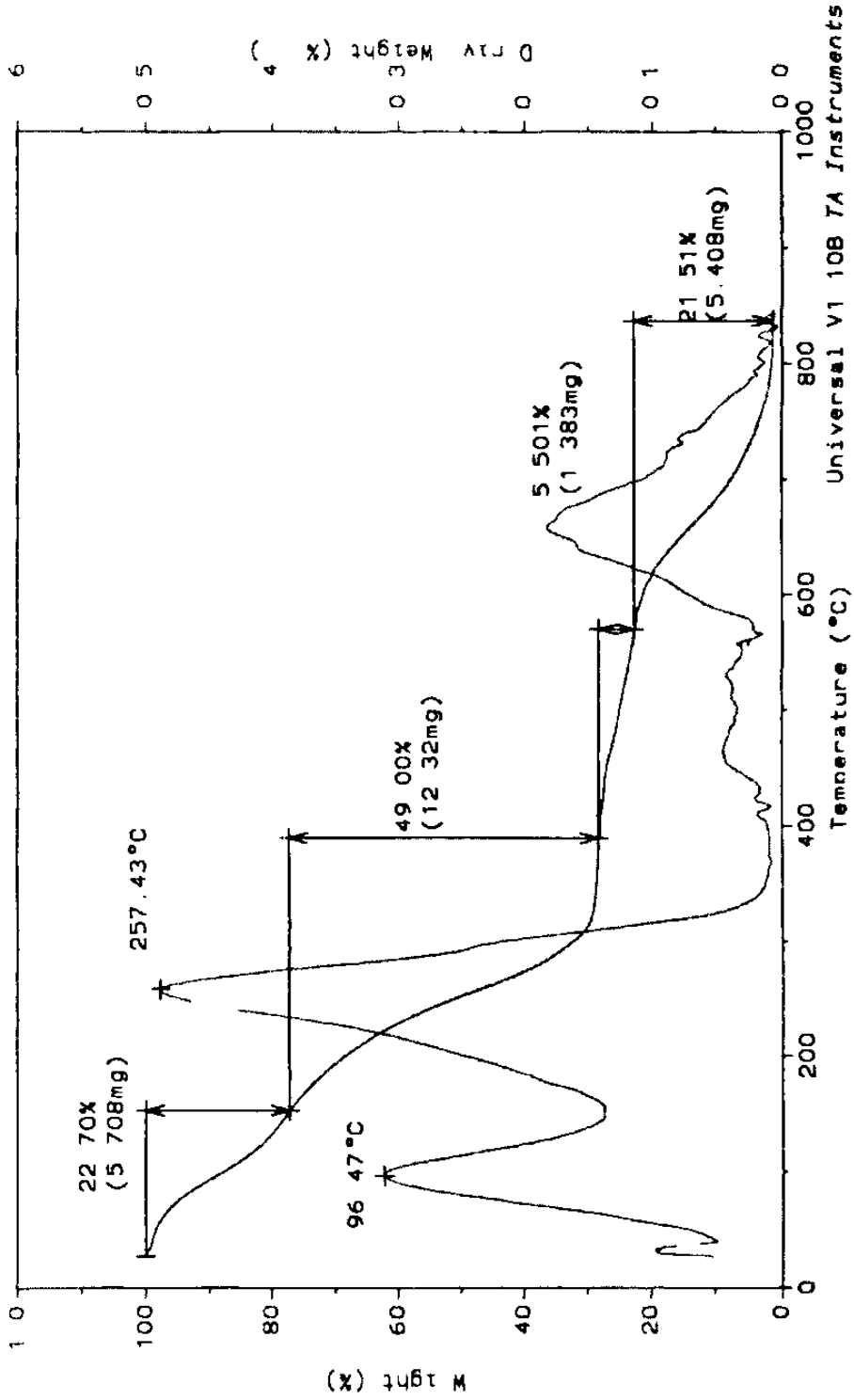
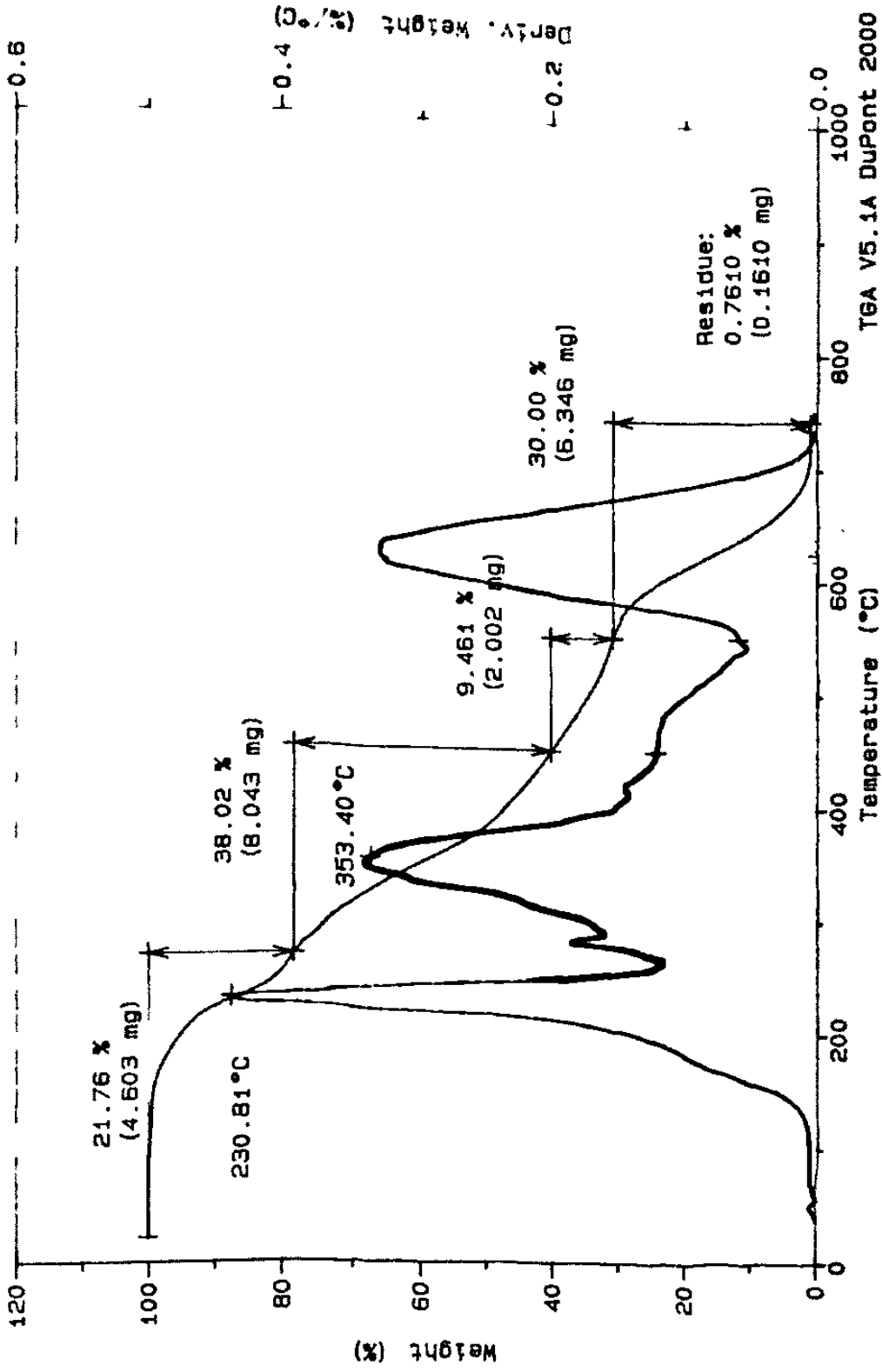


Figura A2

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



TGA V5.1A DuPont 2000

Figura A3

Sample 01
 Size 27 5760 mg
 Method SERVICIO
 Comment N2=50 R=10
 File D:\TA\IND\143-8.1
 Operator
 Run Date 28-Oct-99 10 52

TGA

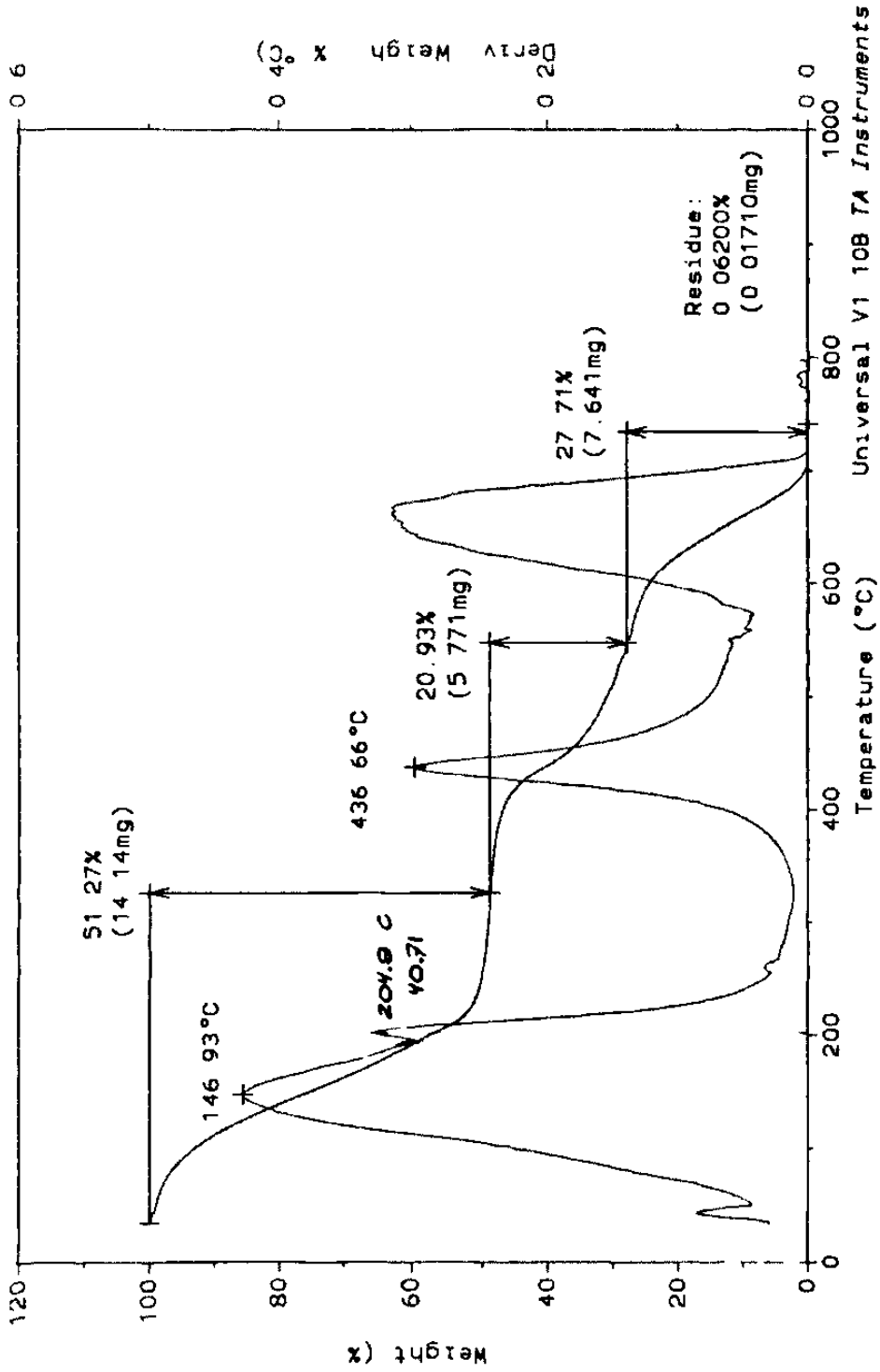


Figura B1

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

TGA

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

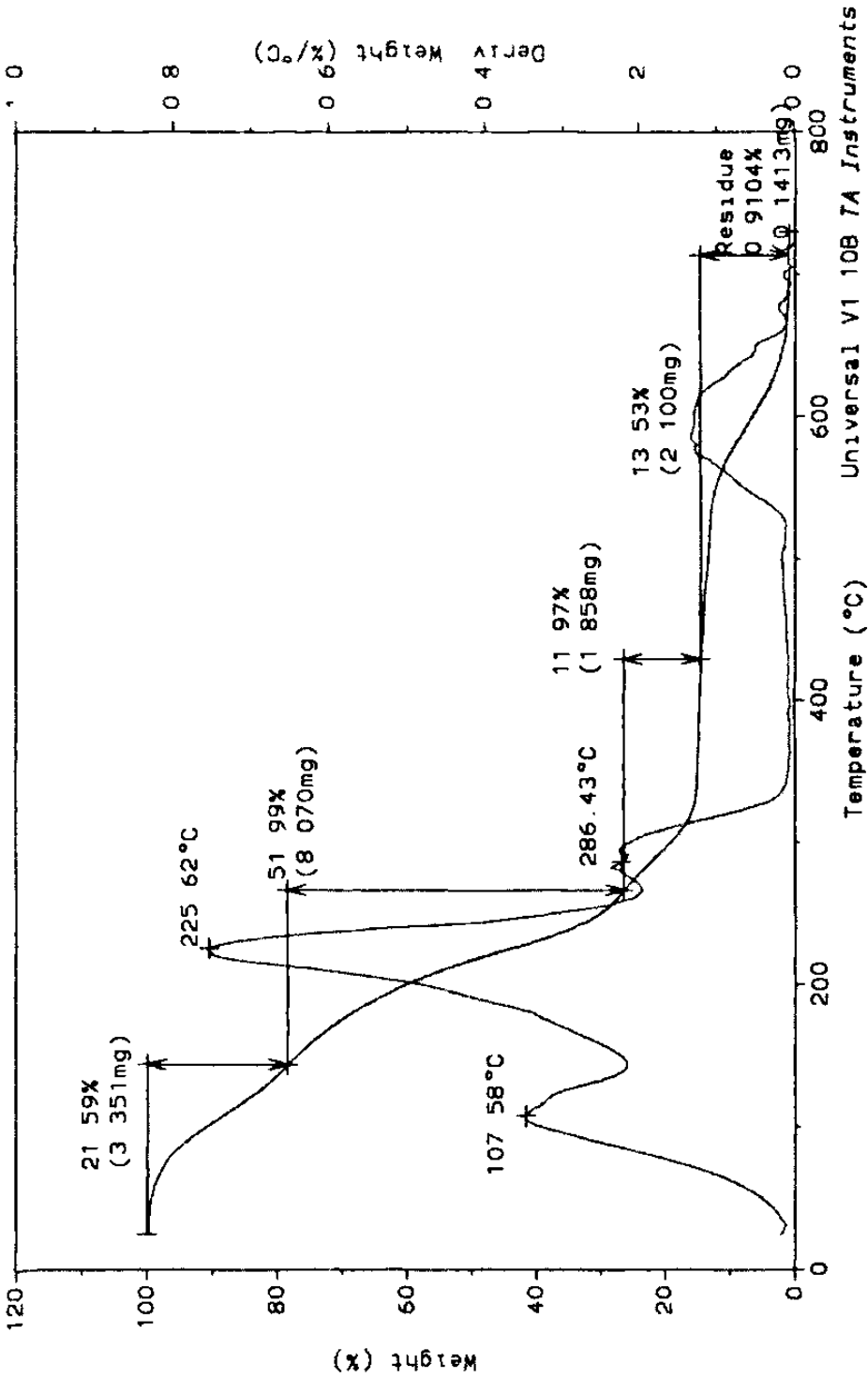
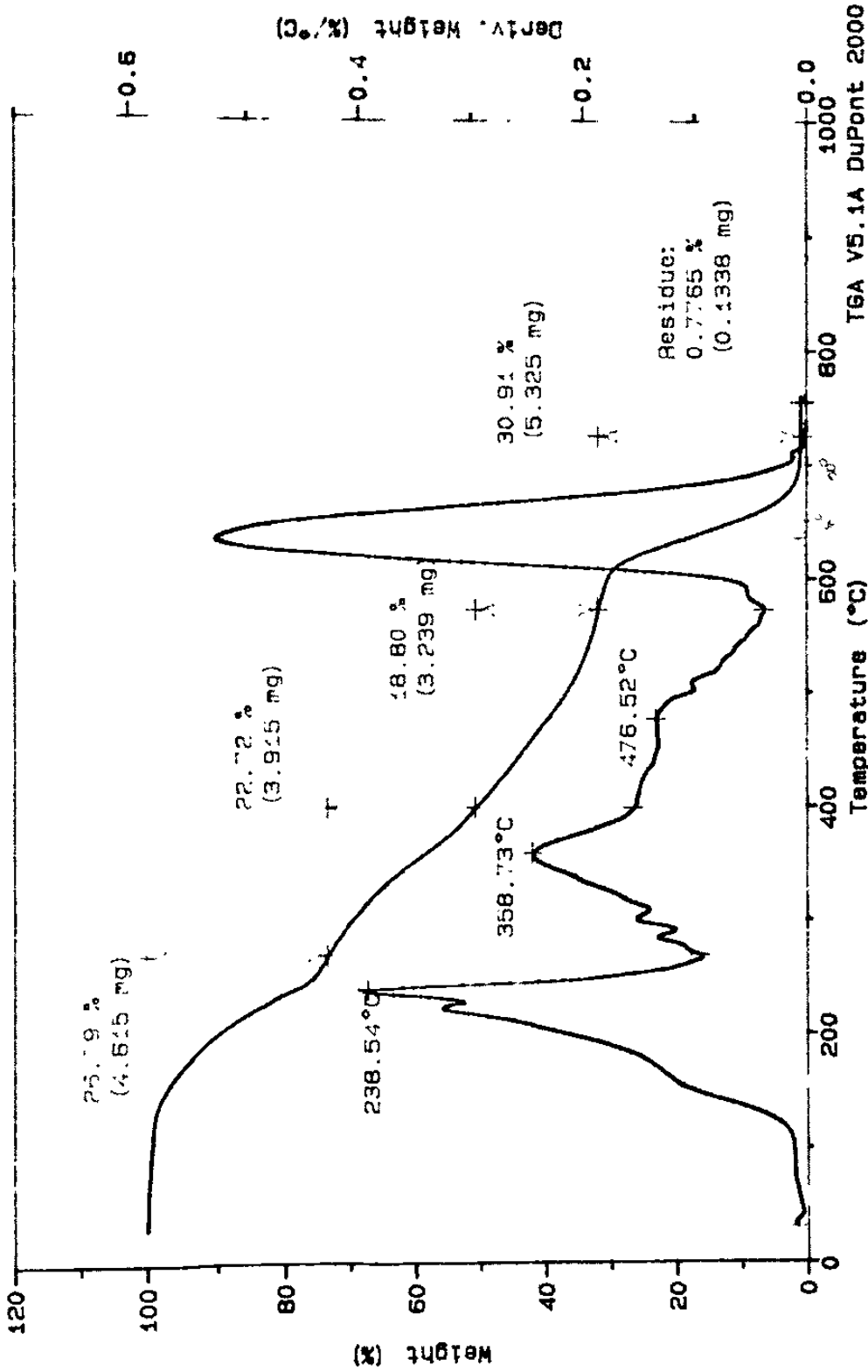


Figure B2

Sample: B 1-z
Size: 17.2260 mg
Method: SERVICIO
Comment: N2=50, R=10

TGA

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



TGA V5.1A DuPont 2000

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.

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

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.



