

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA , METALURGICA, GEOGRAFIA Y MINAS
E.A.P. DE INGENIERIA INDUSTRIAL

Diseño de un ciclo de cementado y tratamiento térmico de arcos de candado en acero SAE 1022

TESIS Para optar el título profesional de INGENIERO METALÚRGICO
AUTOR

Salvatore Mancha Gonzales

ASESOR Hector Villacorta A.

LIMA – PERU 2006

Años atrás, un tesista escribió algo que hoy tiene plena vigencia y se considera como motor del desarrollo y condición ineludible para la competitividad:

Cada ser humano nace con la aptitud para pensar y razonar. El ingenio es la síntesis de esta aptitud.

En el transcurso de los años, maestros, superiores, compañeros de trabajo, así también como amigos y adversarios, juntamente con una multitud de libros y escritos, contribuyeron en mi formación de conocimientos, ideas e inspiraciones, cuyo punto culminante es el pensamiento creador. Aunque muchas de estas personas y fuentes han dejado una impresión indeleble en mí, me es imposible recordarlos uno por uno. Dedico este libro a todos ellos y a los que lean este libro y apliquen esta información adaptándola a sus propias necesidades.

A.E.C.C

AGRADECIMIENTOS

A DIOS, por haberme permitido vivir y comprender para culminar este trabajo. A mi madre, que ha venido, soportándome durante todo el trayecto de mi vida.

Agradesco también a los ingenieros de esta escuela profesional, por su orientación, opinión profesional y buena disposición para realizar pruebas en los laboratorios de esta escuela, lo cual permitió realizar gran parte de este trabajo. Además a aquellas personas que durante mi estadía en la empresa trabajaron y apoyaron el surgimiento de la nueva sección, en especial a los ingenieros y trabajadores que pasaron la etapa de experimentación junto conmigo.

También agradezco a los compañeros de estudio, amigos y familiares por sus deseos para que pueda culminar este proyecto, proporcionándome información y facilidades para realizar este trabajo.

A todas estas personas, expreso mi más sincera y profunda gratitud por ayudarme a alcanzar este objetivo.

ÍNDICE

RESUMEN	5
ANTECEDENTES	6
OBJETIVO DEL DISEÑO	7
ÁRBOL DE OBJETIVOS PARA PROCEDIMIENTO	7
IDENTIFICACIÓN DE RESTRICCIONES	8
I. INTRODUCCIÓN	9
II. PRINCIPIOS TEÓRICOS	10
III. CUERPO DE DISEÑO	
3.1. Composición química del acero a cementar.	12
3.2. Tipo de horno a emplear.	13
Diagrama de líneas de gas y aire para el	
horno de tratamiento.	15
Consideraciones para el no uso del	
generador de atmósfera.	16
Consideraciones físico-químicas para las reacciones	
de cementación gaseosa (carburización).	17
3.3. Principales variables del proceso.	19
Selección de temperatura de austenización y	
cementación.	19
Tiempo de cementado y difusión.	22
Tiempo de difusión.	24
Composición de la atmósfera.	25
Principio de la combustión.	26
Límites de inflamabilidad.	26
Esquema de la cámara del horno.	27
Cuadro de observaciones de forma de llamas	
para control durante proceso de cementado.	30
3.4. Selección del medio de temple y diseño del	
sistema de enfriamiento.	31
Factores de operación para el diseño del	
sistema de enfriamiento.	33
Capacidad y tamaño del tanque de temple.	33
Dimensionado del tanque.	36
Sistema de calentamiento y enfriamiento.	37
Filtración de elementos al medio de temple.	37
Esquema de sistema de temple.	37
3.5. Selección de la temperatura y tiempo de revenido.	38
IV. SÍNTESIS DEL DISEÑO O DISEÑO PRELIMINAR	
Primer prototipo de diseño de ciclo de cementado y	
tratamiento térmico de arcos.	40

V. EXPERIMENTACIÓN DEL PRIMER PROTOTIPO

5.1.	Listado de variables y pruebas experimentales.	41
5.2.	Plan para la marcha de experimento.	41
	Modelo por serie de aproximaciones.	42
	Valores propuestos a probar.	42
5.3.	Selección de la muestra.	43
5.4.	Cuadro de resumen de parámetros y resultados de pruebas experimentales.	
	Resultado de pruebas con arco F – 50.	46
	Resultado de pruebas con arco F – 60.	47
	Resultado de pruebas con arco F – 60 reprocesado.	48
	Resultado de pruebas con arco F – 70.	49
5.5.	Representación de resultado.	
5.5.1.	Pruebas en arcos F – 50.	50
	Gráficos de resultados de mediciones de durezas.	51
	Gráfico de resultados de prueba de corte.	52
	Gráficos de resultados de pruebas de impacto.	52
5.5.2.	Pruebas en arcos F – 60.	
	Curva de ciclo de cementado y tratamiento térmico.	53
	Curva de ciclo de cementado y tratamiento térmico de reproceso de arco F -60.	55
	Gráficos de resultados de mediciones de durezas.	57
	Gráficos de resultados de mediciones de durezas en arco reprocesado F -60.	58
	Gráfico de resultados de prueba de corte.	59
	Gráficos de resultados de pruebas de impacto.	60
5.5.3.	Pruebas en arcos F – 70.	
	Curva de ciclo de cementado y tratamiento térmico.	61
	Gráficos de resultados de mediciones de durezas.	63
	Gráfico de resultados de prueba de corte.	64
	Gráficos de resultados de pruebas de impacto.	64

VI. MODIFICACION DEL PROTOTIPO

6.1.	Reconsideración de resultados anteriores.	65
6.2.	Cuadro de resumen de parámetros y resultados.	
	Resultado de pruebas con arco F – 50.	66
	Resultado de pruebas con arco F – 60.	67
	Resultado de pruebas con arco F – 70.	70
6.3.	Representación de resultados de tratamientos.	
6.3.1.	Pruebas en arcos F – 50.	
	Curva de ciclo de cementado y tratamiento térmico.	71
	Gráficos de resultados de mediciones de durezas.	72
	Gráfico de resultados de prueba de corte.	72
	Gráficos de resultados de pruebas de impacto.	73
6.3.2.	Pruebas en arcos F – 60.	
	Curva de ciclo de cementado y tratamiento térmico.	74

	Gráficos de resultados de mediciones de durezas.	76
	Gráfico de resultados de prueba de corte.	76
	Gráficos de resultados de pruebas de impacto.	77
6.3.3.	Pruebas en arcos F – 70.	
	Curva de ciclo de cementado y tratamiento térmico.	78
	Gráficos de resultados de mediciones de durezas.	79
	Gráfico de resultados de prueba de corte.	79
	Gráficos de resultados de pruebas de impacto .	80
VII.	DISEÑO FINAL	
7.1.	Parámetros de proceso para arco F – 50.	81
7.2.	Parámetros de proceso para arco F – 60.	81
7.3.	Parámetros de proceso para arco F – 70.	81
VIII.	ANÁLISIS, TRATAMIENTO Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	
8.1.	Metalografía de las muestras con tratamiento definitivo y algunas muestras con tratamientos experimentales. Representación gráfica de los principales productos de transformación de fase. Clasificación de los mecanismos de transformación de los productos de transformación de fase en los aceros. Análisis de las microestructuras observadas en la sección transversal de arcos con tratamiento definitivo y experimental. Modelo de arco F – 50. Modelo de arco F – 60. Modelo de arco F – 70. Cuadro de resumen de medidas de tamaño de <i>grano</i> G. Cuadro de resumen de medida de espesor de <i>Capa cementada e</i> .	82 85 85 86 87 89 96 103 104
8.2.	Cuadros de seguimientos de resultados . Resultado de pruebas de impacto de arcos F–50. Dureza obtenida por procesos de arcos F–50. Resultado de pruebas de impacto de arcos F–60. Dureza obtenida por procesos de arcos F–60. Resultado de pruebas de impacto de arcos F–70. Dureza obtenida por procesos de arcos F–70.	105 105 106 106 107 107
8.3.	Tratamiento de resultados de pruebas de impacto. <i>Prueba t</i> para dos muestras suponiendo varianzas desiguales. Decisión acerca del rechazo o aceptación de H_0 .	108 109 110
8.4.	Discusión de resultados. Gráfico de esfuerzo instantáneo durante impacto.	111 115
IX.	ESTUDIO ECONÓMICO DEL PROYECTO Y PROCESO PRODUCTIVO	
9.1.	Cuadro de costos de implementación del proyecto	

Obra civil.	119
Horno de cementado.	120
Horno de revenido.	121
Sistema de enfriamiento.	122
Equipo para prueba de arcos.	123
Máquina de limpieza de arcos.	124
Herramientas de manipuleo y protección.	125
Equipo de seguridad y señalización.	125
Consolidado de costos del proyecto de implementación.	126
9.2. Costos del proceso productivo.	
Costeo del proceso de tratamiento de arco F - 50.	127
Costeo del proceso de tratamiento de arco F - 60.	128
Costeo del proceso de tratamiento de arco F - 70.	129
Cálculo de costos de procesamiento por lotes continuos de arcos F – 50.	130
Cálculo de costos de procesamiento por lotes continuos de arcos F – 60.	131
Cálculo de costos de procesamiento por lotes continuos de arcos F – 70 .	132
Cálculo de costos proyectados por kilogramo para procesamiento de lotes de arcos F - 50.	133
Cálculo de costos proyectados por kilogramo para procesamiento de lotes de arcos F - 60.	135
Cálculo de costos proyectados por kilogramo para procesamiento de lotes de arcos F - 70.	137
Cuadro comparativo de costos de producción de distintos modelos de arco y costo por encargo a tercero.	140
X. CONCLUSIONES	141
XI. RECOMENDACIONES	144
XII. BIBLIOGRAFÍA	146
ANEXOS	
I. Cálculo de fuerzas, energía y esfuerzos en arcos de candado.	149
Cálculo de esfuerzo generado en arcos de candado.	151
II. Cuadro de cálculo de costos imputados por cada actividad:	
Modelo de arco F – 50.	152
Cuadro de cálculo de costos imputados por cada actividad:	
Modelo de arco F – 60.	153
Cuadro de cálculo de costos imputados por cada actividad:	
Modelo de arco F – 70.	154
III. Resumen de cálculo de costos por ítem.	155
IV. Método para medida del espesor de capa cementada a partir de microfotografías escaneadas.	156
V. Modelo de plantilla para medida de tamaño de grano según norma ASTM E 112.	157
VI. Factores de conversión.	158

RESUMEN

Es conocido que el proceso de cementado, temple y revenido de una pieza de acero cambia las propiedades mecánicas. Este hecho es aprovechado en la fabricación de arcos de candados, manufacturados de acero bajo carbono. Para alcanzar este objetivo, se desarrolla el presente trabajo de diseño de un ciclo de cementado y tratamiento térmico.

El desarrollo de este proyecto de diseño parte del conocimiento teórico actual sobre cementación gaseosa, empleo de equipos en desuso (equipos diseñados para otro fin y no puesto en servicio) y asignación de recursos mínimos.

El diseño final aquí propuesto fue probado, modificado a escala de producción y monitoreado en producción durante 1 año, no realizándose modificación alguna en los tiempos y temperatura de cementado y sí cambios eventuales en la temperatura de revenido.

Algunas muestras de los diferentes tratamientos experimentales son analizadas mediante metalografía, así como muestras con tratamiento definitivo para todos los modelos de arco. Esto con el fin de explicar, en parte, lo ocurrido en los arcos con el tratamiento respectivo.

ANTECEDENTES

Al momento iniciar el presente proyecto de diseño no se contaba con documentación alguna respecto a diseño de ciclo de cementado y temple anteriormente en planta, pues este trabajo era encomendado a otras empresas externas que se especializaban en este tipo de trabajo. Sólo se contaba con un informe de proyección económica de lo que costaría poner operativo un horno de recocido de cospeles de latón con un generador de atmósfera y algunos trabajos anexos para la puesta en marcha del horno. Es precisamente este horno el que se recuperó y modificó para realizar las pruebas de cementación gaseosa.

Para implementar esta nueva sección, se consideró lo mínimo e indispensable, como fue lo siguiente:

- Equipamiento e instalación.
- Conocimiento de cómo cementar y lograr obtener resultados deseados.
- Personal para habilitar y operar los equipos.
- Asignación de recursos mínimos para llevar acabo el proyecto.

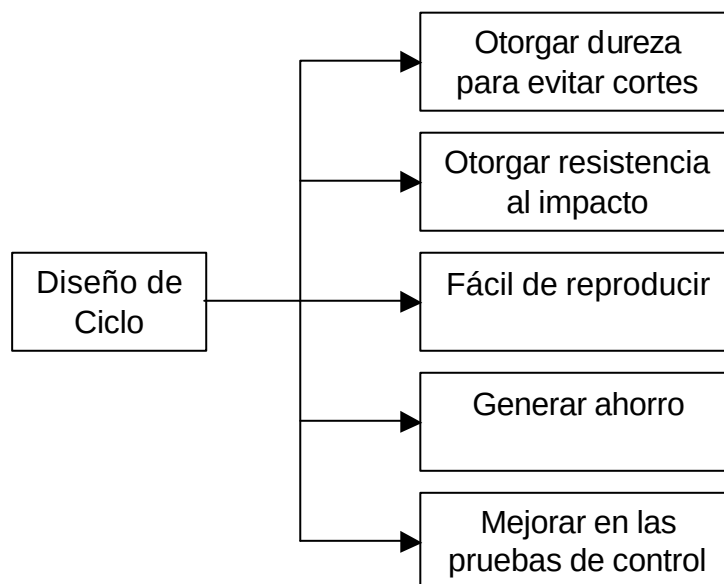
Por iniciativa de la jefatura de planta, se procedió a implementar la sección, teniendo en cuenta que lo único faltante y necesario era el saber como efectuar los procesos de cementado y demás tratamientos térmicos a los diversos modelos de arcos de candado.

La satisfacción de esta necesidad se logrará a través de un diseño de ciclo de cementado y tratamiento térmico, el cual será obtenido a partir del conocimiento teórico y posterior experimentación, hasta obtener un diseño final que presentará su prueba de validez respectiva.

OBJETIVOS DEL DISEÑO

1. Desarrollar y ejecutar el diseño en la planta como parte del proceso de manufactura.
2. Utilizar sólo los equipos existentes en planta, de tal manera que el diseño sea reproducible y controlable.
3. Obtener cambios en la superficie de los arcos de tal manera que pueda resistir el corte por sierra durante su prueba de control.
4. Obtener un alto grado de resistencia, de tal manera que el arco, soporte la mayor cantidad de impactos con carga repetida durante la prueba de control.
5. Minimizar toda posibilidad de cambios indeseados que pudieran actuar en contra a las especificaciones de un candado ensamblado.

ÁRBOL DE OBJETIVOS PARA PROCEDIMIENTO



IDENTIFICACIÓN DE RESTRICCIONES

Las restricciones estarán en concordancia con el árbol de objetivos:

1. El diseño a implementar deberá ser más económico de lo que cuesta procesar arcos mediante servicios a terceros.
2. Emplear los equipos existentes en planta haciendo mínimo la compra de algo nuevo, si fuese el caso.
3. Los arcos procesados serán probados con la norma ASTM F 883.
4. No existe presupuesto o partida destinada desde gerencia para la implementación de la sección, por lo que se espera financiar con recursos de planta, obtenidos de la venta de chatarra de fierro y escoria generada en el sector de fundición.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del proyecto de diseño de ciclo cementado y tratamiento térmico tiene como justificación la mejora de las propiedades mecánicas de la pieza a tratar, esto a su vez estará conforme a los objetivos establecidos; otra justificación será el ahorro, lo cual se generará en el proceso mismo, transporte, tiempo de entrega y mediante el aprovechamiento de los equipos en desuso.

Los materiales con los que se equipó la nueva sección fueron obtenidos de la planta, en su mayor parte. Lo mínimo faltante fue adquirido a lo largo del proyecto, también es oportuno advertir que todavía es susceptible de mejorar el desempeño de la nueva sección, mediante la adquisición de equipos como medidor de potencial de carbón para la cámara del horno, medición del flujo de ingreso de gas a la cámara y aumento de la capacidad del tanque para temple. A pesar de todas estas carencias, la nueva sección se presenta como un logro y avance, pues se otorga mejoría al producto, proceso productivo y, en general, a la empresa.

La elección del tratamiento de cementado como proceso a implementar, se realizó de manera metodológica, siguiendo los lineamientos de la metodología del proceso de diseño en ingeniería. Según esta metodología, la elección del proceso tiene su principio en la determinación de la necesidad, seguido de la formulación de la respuesta a esta necesidad. Es en la formulación de la respuesta o generación de alternativas de diseño cuando se consideran otras alternativas de proceso, que podrían ser viables. Todas las alternativas conforman un espacio de diseño, que luego, mas tarde, será reducido hasta considerar sólo uno. Esta reducción se realiza en función de las restricciones, que fueron: equipamiento disponible, fondos para compras, conocimiento tecnológico del proceso y experiencia práctica. Después de considerar todo esto, se eligió la cementación gaseosa como proceso a implementar.

Después de analizar alternativas y elegir, siguió la experimentación del proceso, a fin de ponerlo en marcha en la línea de producción. Como resultado de las pruebas experimentales, se guardaron testigos de los diversos tratamientos aplicados. Se observaron mediante metalografía las muestras que tuvieron tratamiento definitivo y sólo algunas muestras con tratamientos previos, dejando el resto descartado, debido a pérdida durante su traslado a laboratorio.

De las observaciones por metalografía en las probetas con tratamiento definitivo, surge una explicación de lo sucedido en la estructura del material y cómo esto se relaciona con su comportamiento durante las pruebas de control. Para finalmente presentar conclusiones y recomendaciones.

II. PRINCIPIOS TEÓRICOS

El proceso de “cementación gaseosa” tiene su fundamento en el fenómeno de difusión del carbono, desde una atmósfera rica en gas hidrocarbonáceo a una superficie del acero, a una temperatura por encima de la línea A₃ del diagrama de fase del sistema hierro - carburo de hierro. Produciéndose así un alto contenido de carbono, debido a la rápida difusión y a la alta solubilidad del carbono en la austenita.

Cuando el acero es templado, ocurre la transformación martensítica en la superficie o capa cementada de alto contenido de carbono, logrando alta dureza superficial y manteniendo el núcleo blando.

La difusión es el movimiento de los átomos en un material, y tiene su origen en el intento de eliminar diferencias de concentración que se pudieran presentar; esto indica una tendencia de producir una composición profunda y homogénea.

Al definir la difusión como el movimiento de átomos, surge de inmediato la idea de velocidad, a la cual se produce la difusión. La velocidad de difusión queda expresada mediante la Ley de Fick, que indica el flujo neto de átomos y se expresa de la siguiente manera:

$$J = - D \frac{\Delta c}{\Delta x}$$

Donde:

J :	Flujo átomos /cm ² .s
D :	Coefficiente de difusión cm ² / s
$\frac{\Delta c}{\Delta x}$:	Gradiente de concentración átomos / cm ³ . cm

La gradiente de concentración muestra la forma en que la composición de átomos difundidos varía con la distancia. c es la concentración a lo largo de una distancia x.

Para los fines de este diseño, al estar en contacto el gas GLP con la superficie de los arcos, se crea una gradiente de concentración, propiciándose así la difusión.

El coeficiente de difusión D está relacionado con la temperatura mediante la ecuación de Arrhenius.

$$D = D_o \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right)$$

Donde:

Q :	Energía de activación (cal/mol).
R :	Constante de los gases (1,987 cal/mol K°)
T :	Temperatura absoluta K°.
D _o :	Constante propia del sistema de difusión.

La segunda Ley de Fick describe el estado dinámico de la difusión de los átomos, y es representada mediante el siguiente postulado:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$$

La solución de esta ecuación diferencial, depende de las condiciones de frontera. Una solución particular de esta ecuación es:

$$\frac{C_s - C_x}{C_s - C_o} = \operatorname{erf} \left(\frac{X}{2\sqrt{Dt}} \right)$$

Donde :

- C_s : Concentración constante de los átomos a difundir en la superficie del material.
- C_o : Concentración inicial en el material de los átomos a difundir.
- C_x : Concentración del átomo en difusión a una posición x por debajo de la superficie después de un tiempo t .
- D : Coeficiente de difusión.

La solución a la segunda Ley de Fick nos permite calcular la concentración de una de las especies de difusión cerca de la superficie del material; en función del tiempo y la distancia. Esto se logra manteniendo sin modificación los valores de D , C_s y C_o

Este principio permite correlacionar elementos como: tiempo, temperatura y concentración de átomos. Esto fue empleado para el diseño del primer prototipo del ciclo de cementado.

III. CUERPO DE DISEÑO

3.1 Composición química del acero a cementar

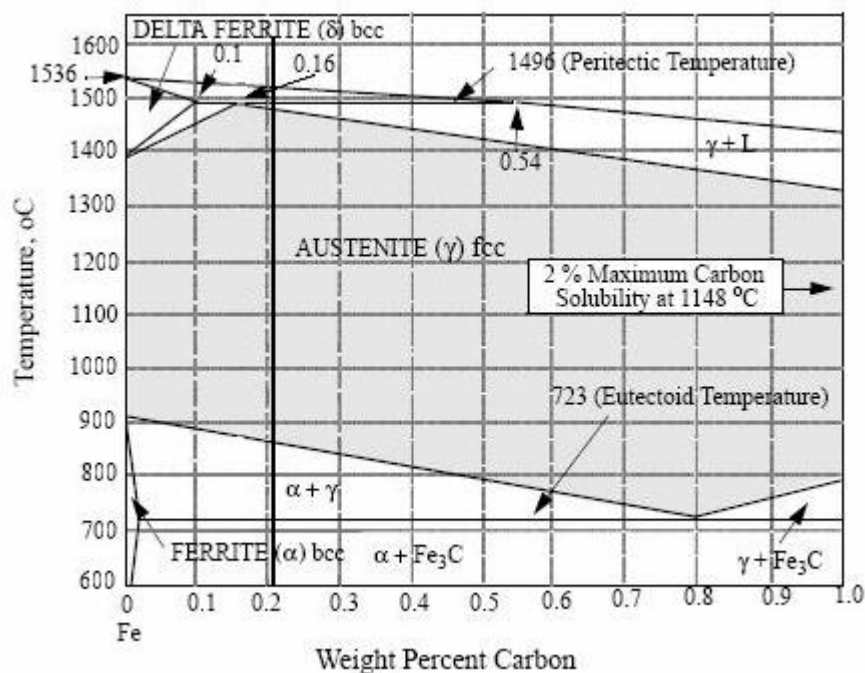
Se toma los datos de composición química del certificado de calidad remitido por la siderúrgica.

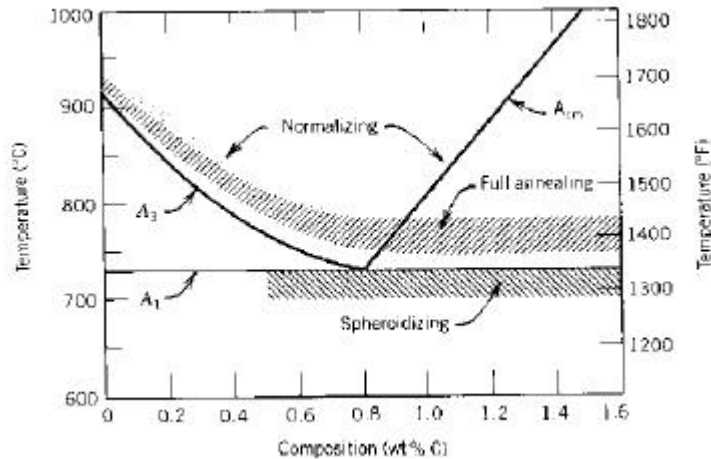
MODELO ARCO	DIÁMETRO VARILLA	COMPOSICIÓN QUÍMICA EN LA CUCHARA %			
		C	Mn	P	S
F - 70	1/2	0,19	0,88	0,03	0,028
F - 60	3/8	0,18	0,84	0,037	0,024
F - 50	5/16	0,19	0,91	0,032	0,019

CÓDIGO UNS	SAE AISI	COMPOSICIÓN QUÍMICA			
		C	Mn	P max	S max
G10200	1020	0,17 - 0,23	0,3 - 0,6	0,04	0,05
G10220	1022	0,17 - 0,23	0,7 - 1,0	0,04	0,05

Comparando con los estándares de composición, se encuentra dentro del rango de un acero SAE 1022, pero también podría considerarse dentro del rango de un acero SAE 1020, teniendo en cuenta el ligero incremento en el contenido de Mn, lo cual no trae ninguna contrariedad, pues Mn tiende a incrementar la templabilidad.

Una vez identificada la aleación a cementar, marcamos una línea vertical en el porcentaje respectivo de C, sobre el diagrama de fase Fe – Fe₃C, lo cual nos indica los primeros puntos (temperaturas para la composición química base) de referencia para la selección de temperaturas que se empleará en el diseño.





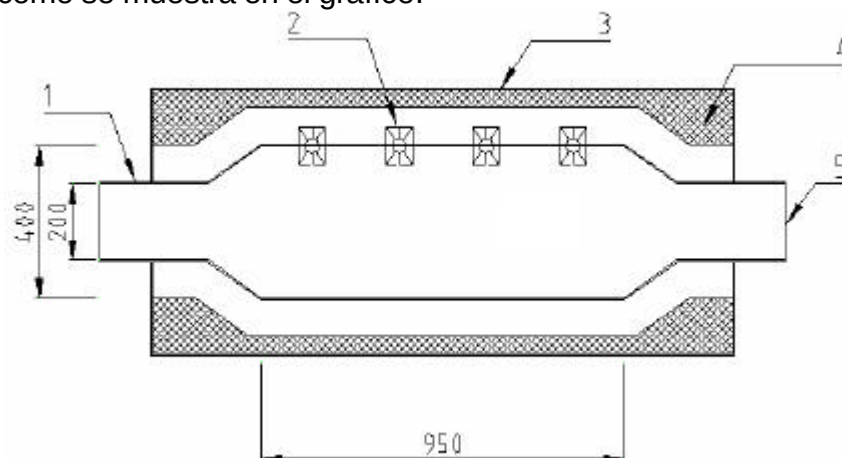
3.2. Tipo de horno a emplear. La ejecución del proceso de tratamiento de cementación gaseosa se hizo en un horno de calentamiento por llama (emplea 4 quemadores de gas). Este horno fue fabricado por LINDBERG ARGENTINA.

Este horno es del tipo batch con tambor rotativo, y fue diseñado, originalmente, para el recocido de cospeles de latón; y para su funcionamiento requiere de un generador de atmósfera.

En el recocido de cospeles de latón se emplea una atmósfera de protección, esta es producida en el generador de atmósfera. Los gases de protección son producto de la descomposición del gas natural, propano o butano, en una cámara de combustión sellada. La composición de atmósfera se obtiene por variación de la relación aire-gas de la mezcla que se combustiona.

Para los fines de este proyecto, se empleó sólo el horno rotatorio, dejándose de lado el generador de atmósfera, por razones que se han de explicar más adelante. A continuación se describe la cámara del horno donde se realizó el cementado:

La cámara o retorta es un cuerpo fundido de acero refractario y presenta dos ingresos, como se muestra en el gráfico:



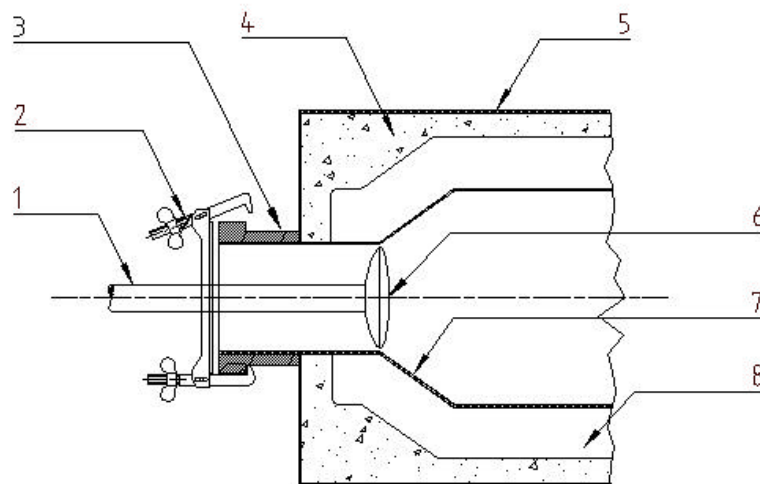
- 1 : Retorta del horno (acero refractario).
- 2 : Quemador de gas.
- 3 : Carcasa del horno.

- 4 : Aislamiento refractario.
- 5 : Entrada posterior del horno.

Es posible de sellar la cámara del horno con dos tapas que han de cumplir una doble función. Por una de las tapas se introducirá gas a la cámara, y se aloja la termocupla, en el otro extremo. La tapa tiene un tubo con un difusor de gas, pero no cumplirá la función de difundir gas en este caso, sino de captar remanentes de gases de la cámara los cuales han de conducir fuera del horno lo conducirá fuera del horno. Al final, los gases fueron incinerados en la boca del tubo.

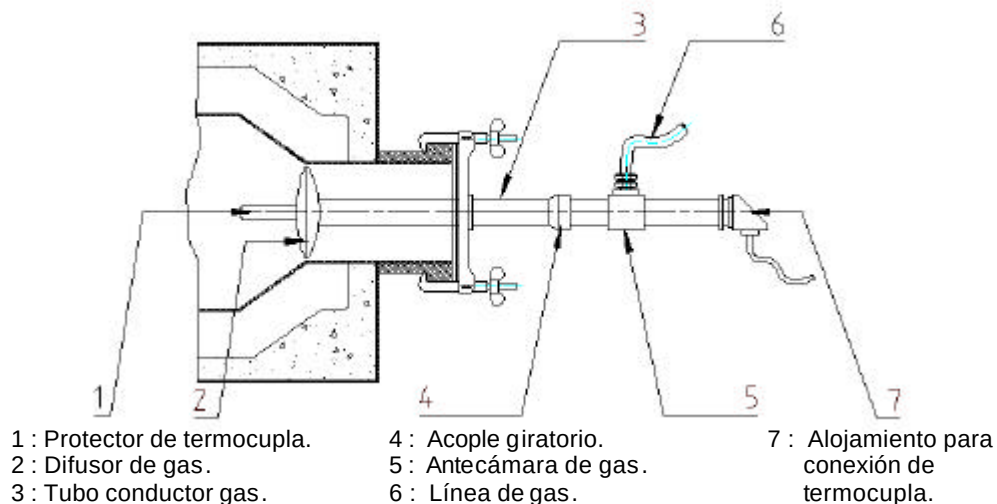
El volumen de la cámara aprovechable para cementar es de 140 litros, aproximadamente. El diámetro de ingreso a la cámara es de 200 mm, esto restringe el ingreso de objetos de mayor dimensión, pero mantiene su idoneidad para objetos pequeños a granel, como son los arcos de candado.

Descripción de los ingresos y tapa de la cámara



- | | |
|---------------------------------------|----------------------------|
| 1 : Tubo incinerador de gases. | 5 : Carcasa. |
| 2 : Grapa de cierre. | 6 : Campana colectora gas. |
| 3 : Bocina para cierre y aislamiento. | 7 : Retorta rotatoria. |
| 4 : Aislamiento refractario. | 8 : Espacio libre. |

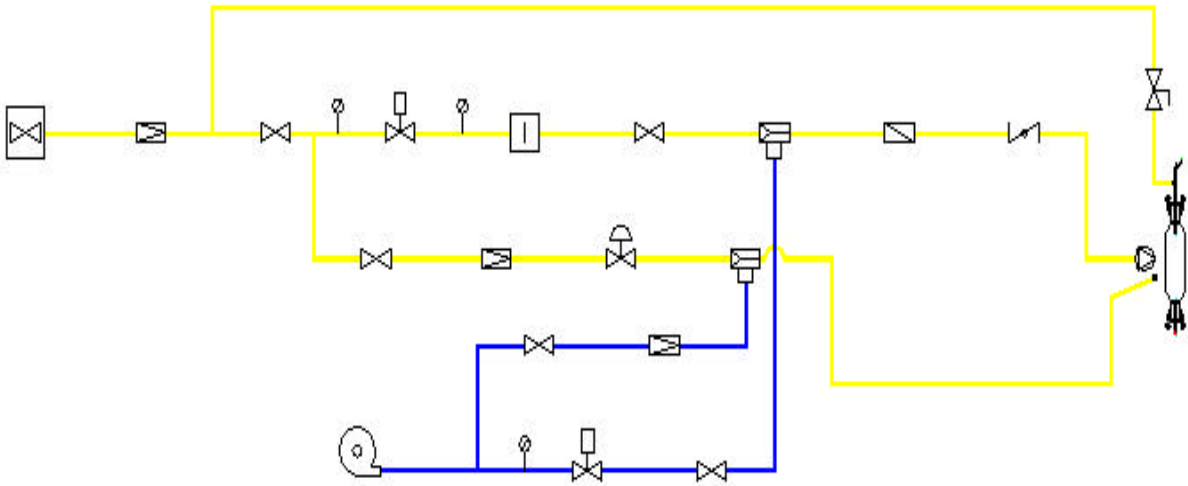
En esta figura se muestra el ingreso de la cámara y la tapa que sella la misma. Se aclara, cuando la tapa sella la cámara, el difusor trabaja como colector de gases, conduciéndolos al exterior, para incinerarlos en la salida del tubo.



- | | | |
|------------------------------|------------------------|--|
| 1 : Protector de termocupla. | 4 : Acople giratorio. | 7 : Alojamiento para conexión de termocupla. |
| 2 : Difusor de gas. | 5 : Antecámara de gas. | |
| 3 : Tubo conductor gas. | 6 : Línea de gas. | |

En esta figura se observa la tapa posterior. La termocupla se aloja en el mismo tubo por donde se transporta el gas; la alimentación del gas es directa de la línea, sin empleo del generador de atmósfera.

Diagrama de Líneas de Gas y Aire para el Horno de Tratamiento



	LLAVE GENERAL DE GAS		VÁLVULA MARIPOSA
	REDUCTOR DE PRESIÓN		MANÓMETRO
	LLAVE DE PASO		SOPLADOR DE AIRE
	VÁLVULA DE SEGURIDAD		QUEMADOR DE GAS
	VÁLVULA DE CONTROL DE FLUJO		LLAVE DE PASO MANUAL
	REGULADOR DE AIRE - GAS		VÁLVULA REGULACIÓN DE FLUJO
	LIMITADOR DE PRESIÓN		SELENODE

Consideraciones Para el No Uso del Generador de Atmósfera

Un generador de atmósfera puede generar atmósferas exotérmicas y endotérmicas; ambos tipos de atmósferas presenta gases como: CO_2 , CO , CH_4 , N_2 ,y algún otro compuesto de carbono.

El generador de atmósfera es empleado en el recocido de cospeles de latón, para generar una atmósfera inerte, y así no reaccionar con la superficie del latón.

Para efectos de carburización, se trabaja con atmósferas endotérmicas, con una determinada proporción de aire en la mezcla.

En la cementación gaseosa, es de esperarse un aprovechamiento de las moléculas de carbono naciente, producto de la descomposición inmediata de los gases carbonáceos. Esta descomposición se desarrolla en el generador, en una cámara sellada, y a temperatura determinada. Los productos son filtrados y separados, para luego ser mezclados con aire, a una proporción preestablecida; de allí, recién son conducidos a la cámara del horno, donde espera la carga por tratar.

Las condiciones del generador no lo hacía posible de operar sin una reparación integral de la cámara, filtros; además de calibrar el resto del instrumental de regulación de flujos del generador. Se observó que parte de los reactivos del catalizador estaban fuera de su lugar, lo que llevó a pensar que el filtro de gases fue abierto, por lo que debía ser reemplazado por uno nuevo. Además, no se contaba con fondos para comprar uno nuevo, ni personal calificado para reparar el generador, ni posibilidad para contratar servicio de terceros.

Ante tal situación, se consideró realizar pruebas exploratorias. Estas pruebas se realizaron con el fin de determinar si era posible cementar sin el generador de atmósfera.

El resultado de las pruebas exploratorias mostró que era posible producir capa cementada en los arcos sin el empleo del generador de atmósfera; después de esto, se realizaron más pruebas que se han de explicar más adelante.

Consideraciones físico-químicas para las reacciones de cementación gaseosa (carburización)

La carburización o decarburización del acero depende de la temperatura del horno y la composición del gas de atmósfera. Experimentos muestran que el hierro o el óxido ferroso calentado en un contenedor cerrado a temperatura constante, en contacto con cualquier mezcla de CO y CO₂ cambia con la composición del gas. El cambio continua hasta cierta composición definida (conocida como composición de equilibrio), característica de la temperatura en la que se trabaja.

El conocer el equilibrio de la composición del gas como una función de temperatura, permite predecir el modo por el cual cualquier mezcla de CO y CO₂ reacciona con el hierro, óxido de hierro y Fe₃C, a cualquier temperatura. La reacción de mayor importancia en el tratamiento térmico del acero es:



La constante de equilibrio para esta reacción puede ser determinada en base a la energía de formación de Fe₃C y de la presión parcial del gas:

$$K = \left[\frac{P(\text{CO})^2}{P(\text{CO}_2)} \right] \cdot \frac{1}{a_c}$$

Donde: $a_c = \frac{A_c}{A_s}$

A_c : Cantidad de carbón disuelto en austenita (%).

A_s : Cantidad de carbón saturado en austenita (%).

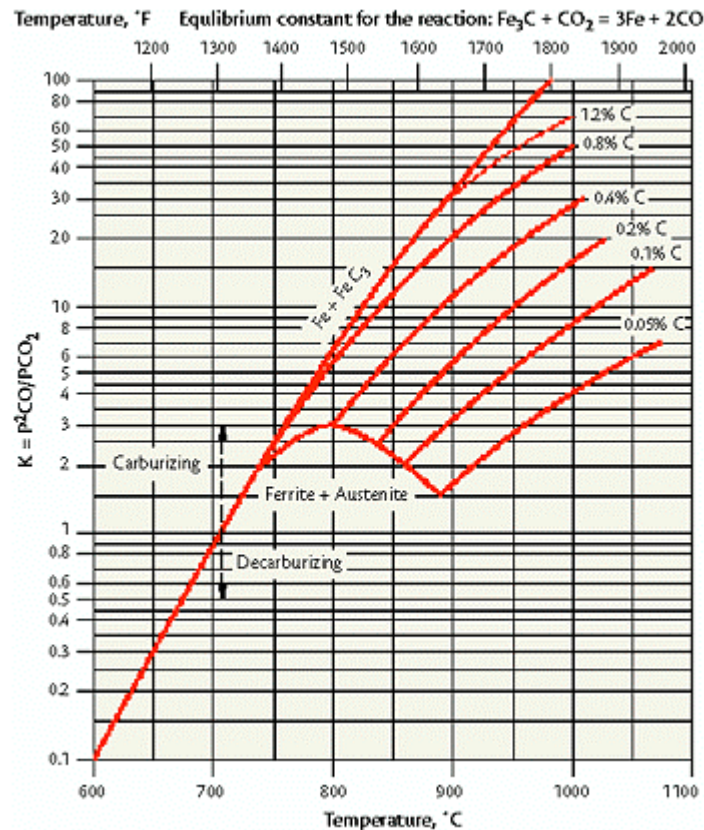
El factor de potencial del carbono (PF) está dado por

$$PF = \frac{(\% \text{CO})^2}{(\% \text{CO}_2)} = 100k_c \cdot \frac{A_c}{A_s}$$

Donde:

$$\text{Log}K = \left[\frac{-15966}{1,8(^{\circ}\text{C}) + 492} \right] + 9.06$$

Así, la atmósfera puede ser mantenida en la condición de no carburizante o carburizante, mediante el control del valor PF.



El diagrama muestra la relación entre la constante de equilibrio y temperatura para aceros con diferente contenido de carbono.

La interpretación surgida del diagrama será:

A cualquier temperatura, y cualquier mezcla de gas que tenga una relación $\frac{P[\text{CO}]^2}{P[\text{CO}_2]}$, mayor que la indicada a esa temperatura y contenido de carbono, carburizará el acero. Si la relación es menor que la indicada, esta mezcla decarburiza al acero.

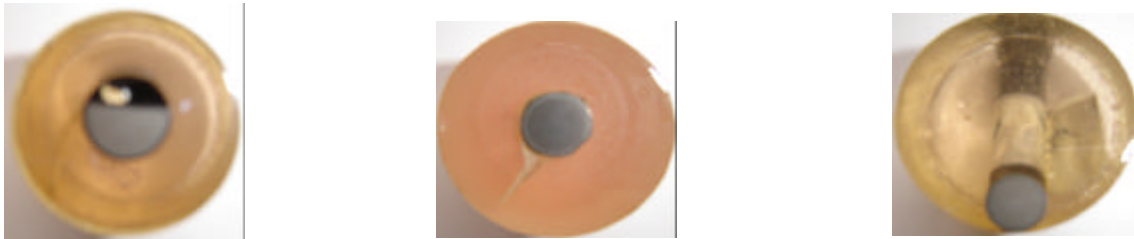
Para el desarrollo de este proyecto de diseño, no se cuenta con equipo para efectuar la medición del %CO, %CO₂, Presión Parcial o Punto de Rocío, que podría ayudar a estimar la viabilidad del proceso de cementado. Se optó por realizar una prueba real, es decir, se carga arcos al horno para precisar y verificar si es posible formar capa cementada en la superficie de los arcos.

Esta prueba real se realizó sin el empleo del generador de atmósfera y con el uso de gas GLP de la siguiente composición:

GLP	PROPANO	BUTANO	PENTANO Y MÁS PESADO	BTU / Lb
8	60	40	0,8	21 530
11	45	55	1,1	21 470

La composición del gas se obtuvo de la tabla de características de mezcla Propano – Butano de la empresa Petróleos del Perú.

Como resultado de la prueba, hallamos que era posible cementar los arcos; la atmósfera generada al interior de la cámara resultó favorable para la cementación, esto se pudo comprobar al fracturar los arcos tratados, y efectuada una macrografía. Resultado de esto, se observó la capa oscura negra en el borde de la pieza y el núcleo gris claro. Se analizó posteriormente esta muestra por microscopía.



Después de un ataque con nital 2, se observa la formación de capa cementada de los arcos por todo el borde de la pieza, estas mismas muestras fueron observadas por microscopía.

3.3 Principales Variables del Proceso. Según el estado del conocimiento actual, plasmado en la bibliografía actual, se encuentra:

En un proceso de cementación gaseosa a escala industrial, los buenos resultados dependen de tres variables principales a controlar:

- Temperatura de austenización y cementación.
- Tiempo de cementado y difusión.
- Composición de atmósfera.

Selección de Temperatura de Austenización y Cementación

La elección de temperatura se realizó de acuerdo a las siguientes consideraciones:

Debido a que la pieza a tratar será probada en un ensayo de impacto repetido, se espera que la resistencia al impacto sea lo más alta posible, esto encuentra correlación con el tamaño de grano. Algunos autores mencionan lo siguiente:

“Las piezas o herramientas fabricadas con algunas coladas de acero tienen una tendencia muy marcada a dar después del temple estructuras groseras y son en general, frágiles, y las piezas fabricadas con otras coladas que son de grano fino son, en cambio, muy tenaces”. ^[1]

Es de esperarse que el tamaño de grano del acero a emplear sea pequeño, de lo contrario que no crezca más de lo que es. Esto restringe la elección de la temperatura a una temperatura límite, lo cual también es expresado por otros autores:

“El tamaño de grano austenítico de los aceros, se modifican al elevarse la temperatura y al prolongarse la duración del calentamiento. Si se toman varias barras de una colada de acero que tiene tendencia a dar fracturas finas después del temple a temperatura normal y se temple a temperaturas muy elevadas (950 a 1050 °C) se observara que después de rotas presentan fracturas groseras”.^[2]

“En los aceros de grano fino hereditario el grano de austenita no crece hasta temperatura de 930 – 950 °C, pasado esto aumenta rápidamente”.^[3]

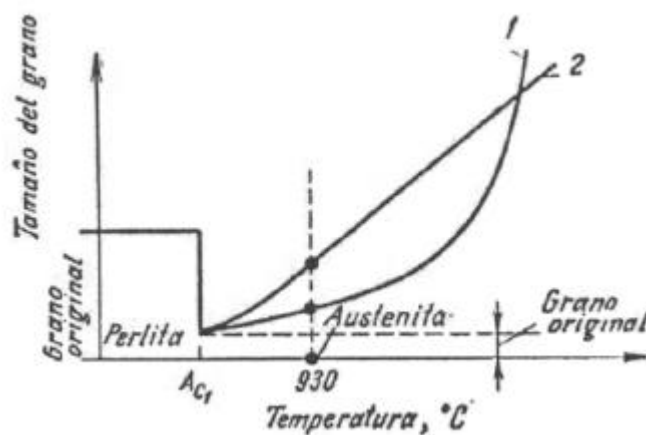
Existen dos tipos de acero: aceros de grano coalescido hereditariamente (tamaño de grano grande producto de coalescencia) y aceros de grano fino. Esta diferencia es debido a la cinética del crecimiento del grano con el incremento de la temperatura.

En los aceros con tamaño de grano grande, los granos empiezan a crecer gradualmente algo uniforme, tanto como la temperatura es elevada más allá de A_{C3} . En los aceros de grano fino, los granos son preservados hasta alrededor de 950 °C

“En una transición a través de la temperatura de coalescencia, los granos aislados, empiezan a crecer intensivamente y a variar el tamaño de grano. A temperaturas entre 1100 – 1200 °C los granos finos pueden ser aun más grandes que los aceros de grano grueso”.^[4]

“En el acero de grano fino hereditario, durante el calentamiento o altas temperaturas (1000 – 1050°C) el grano crece insignificanemente, sin embargo, al aumentar la temperatura de calentamiento el grano crece rápidamente”.^[5]

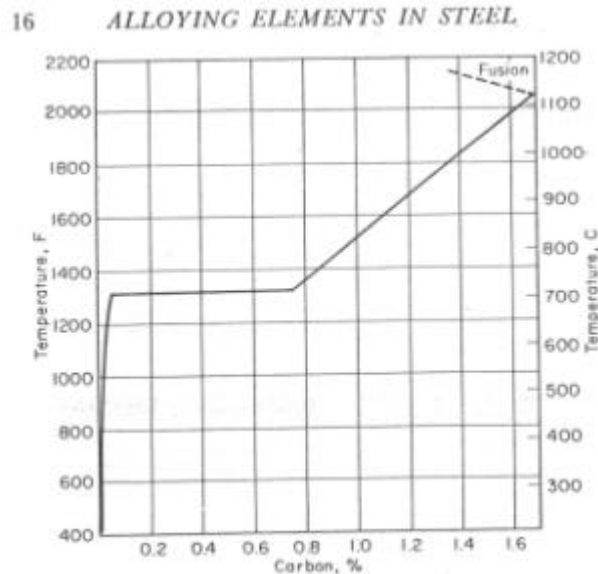
En el acero de grano basto hereditario, al contrario, el crecimiento rápido del grano se observa incluso al elevar un poco de temperatura de calentamiento por encima de A_{C1} .



Esquema del crecimiento del grano de austenita en el acero de grano hereditariamente fino (1) y en el acero de grano hereditariamente basto (2).

De las referencias anteriores, se puede resumir que una temperatura de austenización mayor a 950 °C no estaría permitida, pues ocurre el crecimiento de grano, lo cual sería contraproducente a nuestros fines.

Para fines de este diseño, tomaremos como temperatura máxima a 900 °C. También se consideró que a 900 °C, un acero de bajo carbono podía solubilizar hasta 1% de C, por lo que se consideró a esta temperatura como la de cementado.



Tiempo de recuperación de calor en el horno. Cuando un cuerpo frío es introducido dentro de la cámara del horno caliente, se produce un descenso de la temperatura y, por consiguiente, un tiempo de recuperación.

Para calcular este tiempo de recuperación, emplearemos la siguiente ecuación:

$$t = \frac{Kg_{carga} \cdot Cp \cdot \Delta T}{K \cdot Dt}$$

Donde: K : Constante de tabla

D_t : $\frac{1}{3} \Delta T + 0.04 \Delta T$

ΔT : $T_f - T_i$

Cp : $0.103726 \frac{Kcal}{Kg^{\circ}C}$

MODELO ARCO	PIEZAS UNIDADES	Pieza Kg/pieza	Carga Kg	Superf. Carga* mm ²	Superf. Retorta mm ²	R	K Kcal / m ²
F - 70	625	0,08	50	691952,2	1399680	0,49436	42
F - 60	375	0,14	52,5	605232,75	1399680	0,43241	43
F - 50	200	0,24	48	583984,5	1399680	0,41723	44

°K

Tf = Temperatura de la camara del horno 900

Ti = Temperatura de la carga 15

MODELO ARCO	CARGA Kg	Cp Kcal / Kg-°C	ΔT °C	K Kcal / m ²	Dt	t hora	t minutos
F - 70	50	0,103726	885	42	330,4	0,3308	19,85
F - 60	52,5	0,103726	885	43	330,4	0,3392	20,35
F - 50	48	0,103726	885	44	330,4	0,3031	18,19

* Superficie de la carga expuesta a radiacion dentro de la cámara

Al tener una carga de peso similares entre los mismos modelos de arco y un factor próximo entre sí, se obtiene, tiempos de recuperación muy próximos, por lo que se opta por tomar un único tiempo de recuperación de 20 minutos, éste será el tiempo aproximado en el cual la carga ha de adquirir calor e igualar la temperatura del horno.

Tiempo de Cementado y Difusión

Se hizo teniendo en consideración la segunda Ley de Fick, además de considerar la ecuación de Arrhenius para el cálculo del factor *D*

CÁLCULO DEL TIEMPO DE CARBURIZACIÓN

$$\frac{C_s - C_x}{C_s - C_o} = \operatorname{erf}\left(\frac{X}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad D = D_o \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right)$$

Capa cementada		mm	0,3
Distancia	x	cm	0,03
Conc. del elemento en gas	Cs	%	1,1
Conc. inicial uniforme del metal	Co	%	0,22
Conc. Elemento a distancia x	Cx	%	0,4
Temperatura Kelvin	T	K	1173

Soluto	Disolvente	Do cm²/s	Q Cal/mol	D	Q
Carbono	Fe FCC	0,25	34500	0,25	34500
Carbono	Fe BCC	0,011	20900	0	0
				0,25	34500

Variables Empleadas	
R Cal/mol*K	1,987
Do cm²/s	0,25
erf(Z)	0,7955
Z calculado	0,8971
Temperatura K	1173
Q Cal/mol	34500

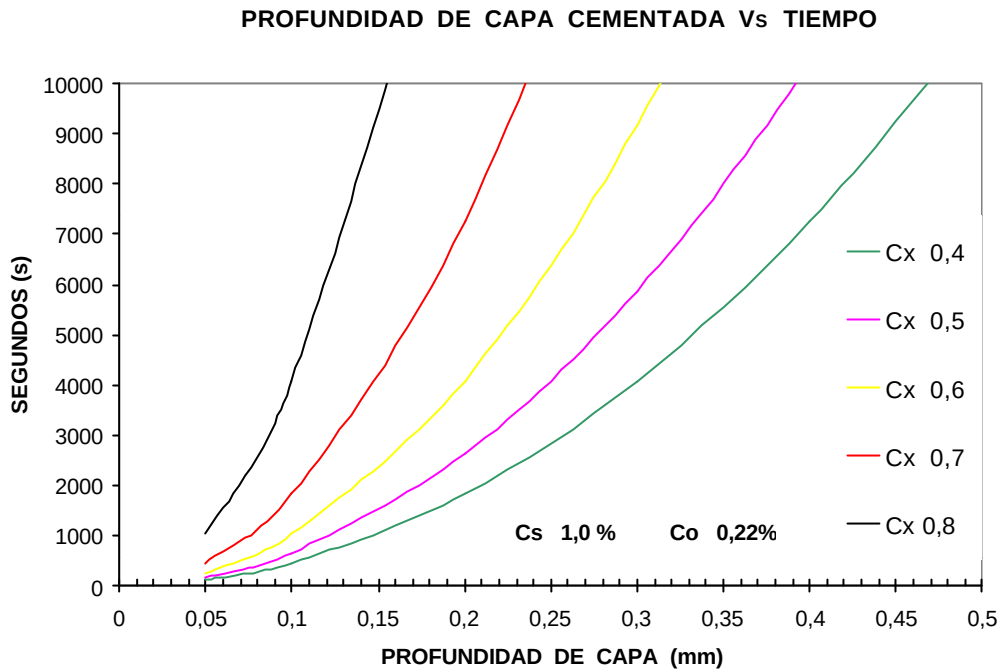
Z	erf(Z)
0,85	0,7707
0,8971	0,7955
0,9	0,797

D cte de difusion cm²/s	9,32119E-08
-------------------------	-------------

Tiempo de Carburizacion	
SEGUNDOS	3814,8756
HORAS	1,0597

Constantes tomados de los ejemplos 5 - 16
 "Diseño de un tratamiento de carburizacion"
 Donald R. Askeland, *Ciencia e Ingenieria de Materiales*. pág 119.

Z	erf(Z)
0,000	0
0,025	0,0282
0,050	0,0564
0,100	0,1125
0,150	0,168
0,200	0,2227
0,250	0,2763
0,300	0,3286
0,350	0,3794
0,400	0,4284
0,450	0,4755
0,500	0,5205
0,550	0,5633
0,600	0,6039
0,650	0,642
0,700	0,6778
0,750	0,7112
0,800	0,7421
0,850	0,7707
0,900	0,797
0,950	0,8209
1,000	0,8427
1,100	0,8802
1,200	0,9103
1,300	0,934
1,400	0,9523
1,500	0,9661
1,600	0,9763
1,700	0,9838
1,800	0,9891
1,900	0,9928
2,000	0,9953



Para efectos de la prueba, se consideró un tiempo de cementación de 1 hora 6 minutos.

Tiempo de Difusión

Algunos investigadores consideran que este tiempo es necesario para producir una mejor distribución de los átomos recién difundidos en la capa, esto se logra haciendo migrar los átomos más hacia el núcleo. Esto se busca con el fin de prevenir fisuras de revenido producto del reajuste y tensiones entre las agujas de martensita saturada. Harris plantea una ecuación para el cálculo del tiempo de difusión:

Tiempo total = Tiempo de cementación + Tiempo de difusión

$$T_t = T_c + T_d$$

$$T_c = T_t \left(\frac{C - C_i}{C_o - C_i} \right)^2$$

Otro cálculo del tiempo de difusión se puede hacer mediante el empleo de una curva donde se muestra % del tiempo de difusión vs concentración proyectada. Esto se interpreta de manera similar a la ecuación de Harris:

$$\%T_t = \%T_c + \%T_d$$

Para un $C_o = 0.45$ se obtiene $T_d = 41.43\%$ $T_c = 58.57\%$

$T_d = 0.4143 \text{ p/p}$

Si $T_c = 4008.6$ segundos 1 hora 6 minutos

$$T_t = \frac{4008.6}{0.5857} = 6844.1 \text{ segundos} \quad 1 \text{ hora } 54 \text{ minutos}$$

Tiempo para difundir

$$T_d = 6844.1 - 4008.6 = 2835.51$$

$$T_d = 47 \text{ minutos } 15 \text{ segundos}$$

Para efectos de la prueba se considera un tiempo de 47 minutos para el periodo de difusión.

Se tiene que considerar que la difusión ya ocurre desde la carburización y se prolongan aun después de haber cumplido el tiempo de cementación y cerrado el ingreso de gases a la cámara, por lo que el valor calculado para tiempo de difusión deberá ser considerado con respecto al volumen de carga que se procesa.

Nuestra carga son piezas pequeñas a granel, las cuales presentan una extensión superficial. Por otro lado, existe la tendencia de bajar la temperatura rápidamente en objetos de superficie extensas, por lo que al fin de los 47 minutos sería probable encontrar la carga con baja temperatura, lo cual podría afectar al temple. Considerando lo anterior, se decidió experimentar un tiempo de difusión igual al tiempo en que demora en bajar la temperatura de la cámara hasta una temperatura prefijada, a la vez que se otorga tiempo para disipar gases del interior de la cámara; luego de esto, recién se abrió la cámara y se procedió al temple.

Composición de la atmósfera

La determinación de la composición de la atmósfera no fue realizada por medición alguna. Esto no contribuía a despejar la duda de si era o no posible cementar arcos en cantidades de producción, por lo que se decidió experimentar primero con unidades, pequeñas cantidades, hasta llegar a tinajas, cantidades consideradas como de producción, lográndose en todos los casos resultados satisfactorios, lo cual llevó a concluir que sí era posible cementar arcos de candado en cantidades de producción.

Al no emplear el generador de atmósfera y realizar los procesos de cementado con gas GLP, introducido directamente en la cámara se presentó otra duda: ¿Cómo asegurar que se produzca el cementado de los arco o cómo obtener resultados sostenidos o repetidos?

Para lograr resultados sostenidos se presentaron las siguientes consideraciones:

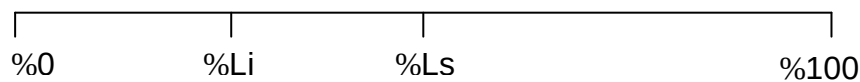
- Cementar con un suministro de gas GLP de la misma calidad. Para esto, se acordó con el proveedor avisar anticipadamente si hubiera algún cambio en la calidad del gas (tipo y/o composición).
- El flujo de gas a la cámara durante el cementado se desarrollará con una apertura máxima de ~~el~~ paso de la llave.
- Los gases de salida de la cámara se tendrá que incinerar (esto tendrá lugar al final del tubo). La forma y el color de la llama nos dará un indicio de cómo es el flujo de gas en la cámara y la marcha del proceso al interior de ésta.

Para complementar las consideraciones anteriores; a continuación se presenta una explicación de lo que probablemente estaría sucediendo al interior de la cámara.

Principio de la Combustión

La combustión de gases existe debido a la presencia de gas combustible y gas comburente (esto produce la ignición)

También existe un rango de composición % para que exista la combustión



$$\frac{\text{Gas}_{\text{combustible}}}{\text{Gas}_{\text{combustible}} - \text{Aire}}$$

Límites de Inflamabilidad

Un gas combustible, para arder, necesita estar mezclado homogéneamente con aire. Es lógico pensar que si la mezcla contiene poco gas, éste no podrá arder, lo mismo que si contiene poco aire.

Se define como límite inferior de inflamabilidad (%Li) a la mínima proporción de gas en una mezcla aire-gas para que el gas arda.

Límite superior de inflamabilidad (%Ls) es la máxima proporción de gas en una mezcla aire-gas para que el gas arda.

Si tenemos una mezcla aire-gas dentro de los límites de inflamabilidad, no significa que el gas arda espontáneamente, sino que puede arder en presencia de una chispa o llama.

Para conocer el límite de inflamabilidad de una mezcla de gases dada, se puede aplicar la regla de Le Chatelier – Coward.

$$L = \frac{100}{\frac{C_1}{L_1} + \frac{C_2}{L_2} + \dots + \frac{C_n}{L_n}}$$

C_1, C_2 : Concentración en % de los componentes.

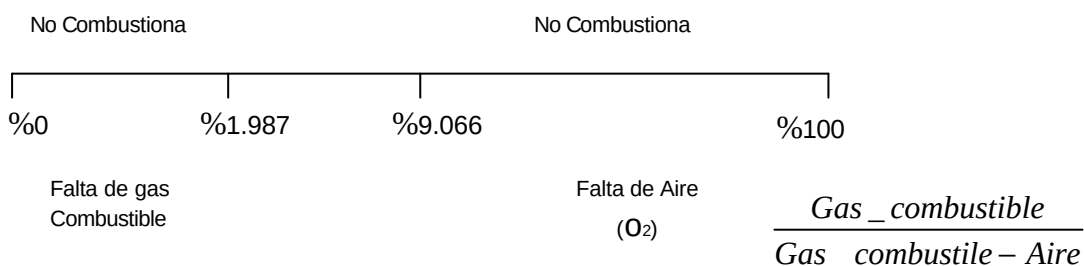
L_1, L_2 : Límite de cada componente.

COMPOSICIÓN	VOLUMEN %	FÓRMULA QUÍMICA	LÍMITES DEL ELEMENTO	
			% Li	%Ls
PROPANO	60	C_3H_8	2,37	9,5
BUTANO	40	nC_4H_{10}	1,6	8,5

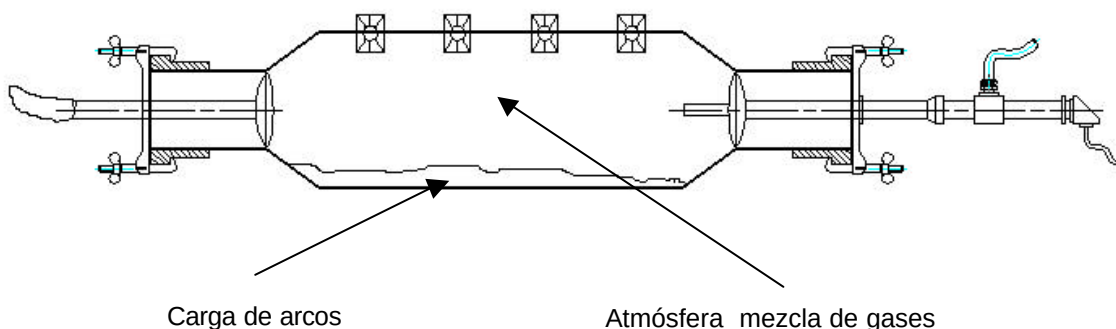
Con la formula de Chatelier, se calculó los límites para la mezcla de gas GLP.

$$Li = \frac{100}{\frac{60}{2.37} + \frac{40}{1.6}} = 1.987\%$$

$$Ls = \frac{100}{\frac{60}{9.5} + \frac{40}{8.5}} = 9.066\%$$



Esquema de la Cámara del Horno



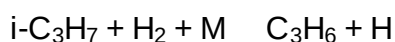
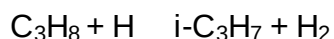
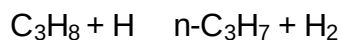
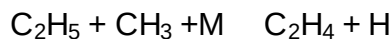
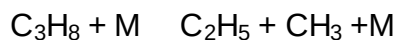
La mezcla de gas – aire presenta los siguientes gases:



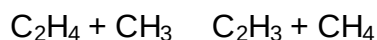
Investigaciones recientes indican que es posible formar etileno a partir de un proceso de pirólisis a elevada temperatura (1200 °C), a partir de alcános.

Durante las reacciones de descomposición suceden otras reacciones, una después de otra; por lo que se sugiere la siguiente secuencia:

Para Propano



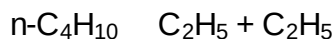
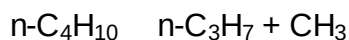
Algo retardado respecto a las reacciones anteriores



Y más tarde



Para Butano a 1298 °C y 1.23 atm:

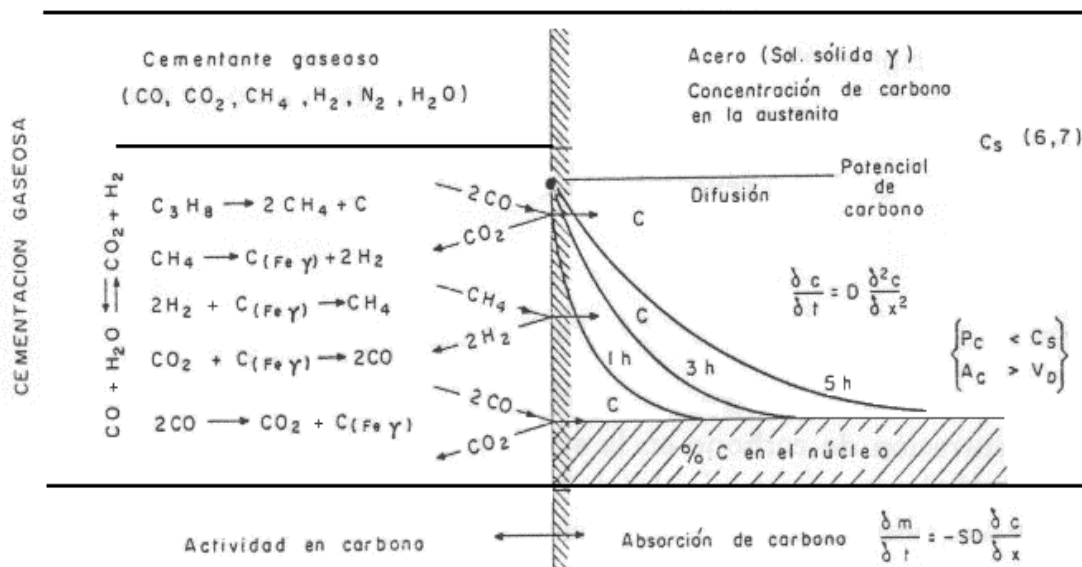
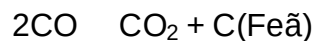
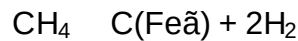


Resumiendo: Al introducir gas GLP en una proporción mucho mayor a la cantidad presente de aire en la cámara, sobrepasando el límite superior, no se produjo la combustión de los gases, y por estar la cámara a 900 °C, se origina la descomposición del gas mediante el proceso de pirolisis. Mediante este proceso se originaron nuevos compuestos que continuaron descomponiéndose con el tiempo.

Todas las reacciones en cadena generaron una atmósfera lo suficientemente rica para difundir carbono en la superficie de los arcos de acero.

A continuación se muestran las reacciones citadas en la bibliografía, como propias o características de la cementación gaseosa:

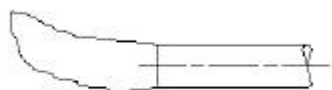
Cementación gaseosa: CO , CO_2 , CH_4 , H_2 , N_2 , H_2O



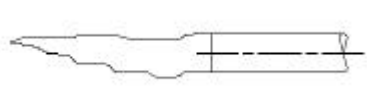
Además de los resultados de cementación en arcos, la ignición de los gases de salida de la cámara muestra una coloración y forma particular que podría darnos una idea de lo que sucede al interior de la cámara.

Una llama amarilla intensa de forma irregular y humeante indica combustión incompleta por falta de oxígeno. La forma de la llama indica presión al interior de la cámara. Si la llama es larga y presenta cierta orientación preferente con la horizontal, hay un exceso de presión en la salida de gases; esto podría deberse a un incremento en la cantidad de gas que entra a la cámara. La forma que indica una llama a presión normal sería aquella que sale y se desvía hacia arriba respecto a la horizontal, conservando su coloración amarilla intensa. Si se produce una llama con un cono interior

azul, indica presencia de oxígeno (aire), por lo que se aumenta la cantidad de ingreso de gas hasta que desaparezca la coloración azul, manteniendo la desviación de la llama.



Llama de ignición de gases de salida de la cámara.



Llama de ignición de acetileno puro.

Para controlar el proceso de cementado, se sugiere realizar una observación cualitativa de la forma de la llama; para este fin se elaboró el siguiente cuadro:

Cuadro de observaciones de forma de llamas para control durante proceso de cementado

DESCRIPCIÓN	CAUSA	ACCIÓN
Llama color amarilla, forma irregular.	Combustión incompleta y presión regular.	Ninguna.
Llama con color azul o anaranjada forma irregular.	Presencia de oxígeno al interior de la cámara.	Apertura máxima de la llave de ingreso de gas hasta cambio de coloración de la llama.
Llama color amarilla y forma aguda por tiro forzado.	Exceso de gas al interior de la cámara.	Cierre progresivo de llave de ingreso hasta que la llama pierda forma y fuerza.
Ausencia de llama.	Oclusión de tubo incinerador o baja de presión de gas.	Limpieza directa del tubo con gancho o apertura de llave de gas.

3.4. Selección del medio de temple y diseño del sistema de enfriamiento

La elección del medio de temple no garantiza por sí mismo resultados sostenibles o repetidos, respecto a la dureza alcanzada por la pieza, tal como sucede en el temple por inmersión. Es por esto que la elección del medio de temple será parte de otro desarrollo más amplio, que involucra factores de operación propia de la práctica industrial. Estos factores fueron considerados en el diseño del sistema de enfriamiento. A partir de la selección del medio de temple:

Elección del medio de temple (Fluido de Temple)

Para la selección del fluido de temple sólo disponemos de los siguientes medios: agua, aceite residual y aire. Los arcos de candado son posibles de templar por inmersión en agua y aceite, por lo que nuestra elección será en base a éstos.

Nuestra selección fue realizada con un criterio de favorecer las siguientes etapas de producción, es decir, el arco después de templado no debía presentar deformaciones y/o fracturas, lo cual descartaría el arco, ni requerir un largo periodo de limpieza, también no se aceptaba alteraciones superficiales como picaduras, corrosión o formación de alguna cascarilla. Para evitar o minimizar lo máximo posible, se revisa la teoría al respecto.

“El endurecimiento es el resultado del empleo de un fluido templante apropiado. Éste proveerá la velocidad de enfriamiento apropiado hasta que la pieza alcance la dureza deseada. Fluidos comunes para temple por inmersión son: agua, aceites derivados de minerales, vegetales, emulsiones de aceite en agua y soluciones de polímeros acuosos”.^[6]

La selección de un fluido templante específico depende del material, forma, sensibilidad a formar grietas y patrones de dureza.

El agua es un fluido que es preferido debido a su limpieza, bajo costo, ninguna toxicidad y libre de llamas. El agua es el fluido de mayor uso como medio de temple, seguido sólo por aceite. El aceite es preferido debido a que el mecanismo de temple y curvas de enfriamiento tienen un comportamiento a fin a los diagramas de tiempo, temperatura y transformación, además de los diagramas de transformación a enfriamiento continuo de muchos tipos de acero.

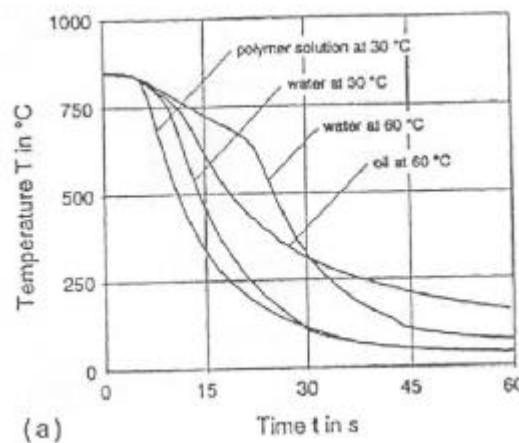
Durante el proceso de temple es reconocido tres diferentes etapas de remoción de calor cuando se templea en líquidos vaporizables, éstos son:

- “Vapor Blanket Cooling”
- “Nucleate Boiling”
- “Convective Cooling”

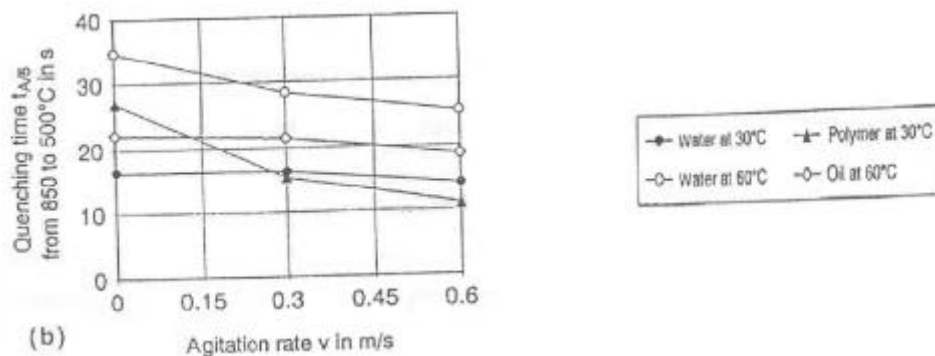
En la etapa “Vapor Blanket Cooling”, la temperatura superficial es suficientemente alta para producir una película de vapor alrededor de la pieza; la rapidez de enfriamiento en la capa de ebullición es característicamente baja debido a una lenta transferencia de calor a través de la barrera de vapor. La temperatura de transición de “Vapor Blanket Cooling” a “Nucleate Boiling” es la temperatura de Leidenfrost. Cuando la temperatura superficial decrece, la película de vapor colapsa y la etapa “Nucleate Boiling” empieza. Durante la etapa de “Nucleate Boiling” el líquido contacta la superficie caliente y se evapora produciendo burbujas de vapor, en esta etapa se produce fuertes corrientes convectivas, resultado de altas rapidezces de transferencia de calor.

Cuando la temperatura superficial enfría debajo del punto de ebullición del líquido, la superficie es permanentemente mojada por el fluido, resultando un enfriamiento convectivo, las rapidezces de enfriamiento convectivo son relativamente bajas y es una función primaria de la viscosidad del fluido.

Una consideración para la selección de agua como medio de temple es la rapidez de enfriamiento en corto tiempo; pero a mayor temperatura, este comportamiento varía y disminuye la baja de temperatura a mayor calentamiento del medio, esto se aprecia mejor en los gráficos:



El efecto del medio de temple y la velocidad de flujo es relativo con el tiempo; por ejemplo, para una temperatura de austenización de $850 - 500^{\circ}\text{C}$ es considerado como en la siguiente figura.



Mientras los valores de $t_{a/5}$ difieren fuertemente para los medios de temple mostrados, se observa sólo una pequeña influencia del flujo de velocidad en el agua a 30 °C y en aceite a 60 °C. Para una pieza de diámetro 25 mm, el tiempo $t_{a/5}$ puede ser drásticamente reducido con un incremento moderado en la velocidad del agua a 60 °C.

Si bien es observado un mejor comportamiento del agua para la extracción de calor de la pieza con su consiguiente disminución de temperatura, la humedad remanente ocasiona la formación de óxido en la superficie, además de alta dureza, mayor tensión con deformación en la patas de arco (cierre o desalineación de patas). Esto descalifica al agua como el medio de temple apropiado, para este tipo de pieza, además de complicar las siguientes etapas de producción. En consecuencia, se optó por el empleo de aceite residual como medio de temple.

Factores de Operación para el Diseño del Sistema de Enfriamiento

Dentro de la información encontrada se puede encontrar que los siguientes factores influyen drásticamente en el enfriamiento de las piezas en la técnica de temple por inmersión:

- Capacidad y tamaño del tanque de temple.
- Agitación.
- Sistema de calentamiento o enfriamiento del medio de temple.
- Filtración de elementos extraños en el medio de temple.

Para el diseño del tanque se tuvo en consideración las limitaciones; respecto al equipo a utilizar, sólo se pudo emplear cajas en desuso, tuberías y bombas impulsoras, debido a que no se tenía fondos para la compra de un equipo nuevo.

Teniendo en consideración lo anteriormente mencionado, se procedió a diseñar el sistema de enfriamiento.

Capacidad y tamaño del tanque de temple

Para el tamaño del tanque, se presentaron las siguientes consideraciones para el dimensionado del tanque de enfriamiento:

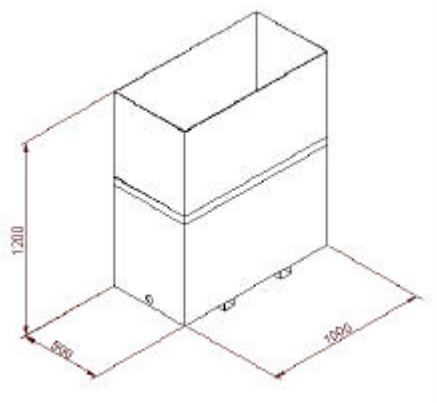
- C₁ “El tamaño del tanque depende de las dimensiones de la carga de trabajo”.
- C₂ “En operaciones tipo Batch, se debe tener cuidado de asegurar que una suficiente cantidad de fluido templante cubra la parte superior de la carga”.
- C₃ “Las dimensiones físicas del tanque deberán ser lo suficientemente amplia para asegurar total inmersión de la carga al igual que sus accesorios de sujeción, al mismo tiempo dejar suficiente espacio para agitadores y espacio para manipular”.

C₄ “Se debe tener tolerancia para la expansión termal del aceite, ajustando el nivel del fluido mediante la instalación de un colector de sobre flujo o rebose”.

De C₁ Una carga a nivel producción está contenida en una tina de 430 mm x 370 mm x 130 mm; en esta tina se puede contener un peso de 25 – 30 Kg. Esta carga se introduce en el horno para cementar y luego templar.

De C₂ Por tratarse de una carga de piezas pequeñas, se espera que éstas se dispersen al momento de entrar al tanque, y no formen mayor acumulación o superposición que eleve la altura de la carga más arriba del nivel de aceite.

De C₃ Las dimensiones físicas del tanque fueron tomadas de un contenedor de acero en desuso; este contenedor fue cortado a la mitad de su altura, quedando con las siguientes dimensiones 500 mm x 1000 mm x 600 mm.



De C₄ No se esperaba que el nivel de aceite se elevara demasiado debido, a que la cantidad de arcos por templar no desplazaría mayor cantidad de aceite; pero para evitar cualquier contrariedad, se colocó un orificio de descarga a una distancia de 10 cm del borde del tanque, y adicionalmente se tenía una válvula de descarga en la parte inferior del tanque.

La capacidad del tanque de enfriamiento no está definida por la cantidad de volumen estático de aceite que pueda contener, sino por la cantidad de aceite posible de circular en el sistema cerrado. Los cálculos de cantidad de aceite necesario para enfriar consideran al aceite como un fluido estático, por lo que podría considerárselo como la cantidad total de aceite del sistema de enfriamiento.

Los siguientes cálculos muestran la cantidad de aceite necesario para enfriar una pieza en un tanque sin agitación o sistema de circulación alguna:

$$\Delta H = m_p C_p \Delta t_m = m_q C_q \Delta T_q$$

ΔH = Calor cedido por la pieza

m_p : Masa de la pieza

C_p : Calor específico de la pieza

ΔT_m : Cambio de temperatura de la pieza

m_q : Masa del medio de temple

C_q : Calor específico del medio de temple

ΔT_q : Cambio de temperatura del medio de temple

Cálculo de la cantidad de aceite:

Pieza	° C
Tf =	900
Ti =	25

Aceite	° C
Tf =	60
Ti =	25

m_p Kg	C_p Cal / g - °C	T_m °C	H Cal
20,0	0,17	875	2975000
22,5	0,17	875	3346875
25,0	0,17	875	3718750
27,5	0,17	875	4090625
30,0	0,17	875	4462500

m_p Kg	$C_{p\ q}$ Cal / g - °C	T_q °C	m_q g	$\tilde{n}$ aceite g/ml	Volumen U.S gal
20,0	0,5	35	170000	0,87	39,1
22,5	0,5	35	191250	0,87	44,0
25,0	0,5	35	212500	0,87	48,8
27,5	0,5	35	233750	0,87	53,7
30,0	0,5	35	255000	0,87	58,6

Otra relación de GL aceite / 2 Lb acero (publicada por Seco Warwick) muestra:
2.5 US gal/2 lb acero.

Acero Kg	FACTOR gl/lb	Volumen U.S gal
20,0	1,25	55,10
22,5	1,25	61,99
25,0	1,25	68,88
27,5	1,25	75,76
30,0	1,25	82,65

De los datos tabulados observamos que los valores no son muy disimilares, por lo que tomaremos los valores calculados de la ecuación H como una primera aproximación.

Cálculo del contenido de aceite para el tanque de enfriamiento.

DIMENSIONES	LARGO	ANCHO	ALTURA
cm	100	50	60

TANQUE CC	VOLUMEN U.S gal	REDUCCIÓN P/P	ACEITE U.S gal
300000	79,17	0,80	63,33
300000	79,17	0,75	59,38
300000	79,17	0,70	55,42
300000	79,17	0,65	51,46
300000	79,17	0,60	47,50
300000	79,17	0,55	43,54
300000	79,17	0,50	39,58
300000	79,17	0,45	35,63
300000	79,17	0,40	31,67

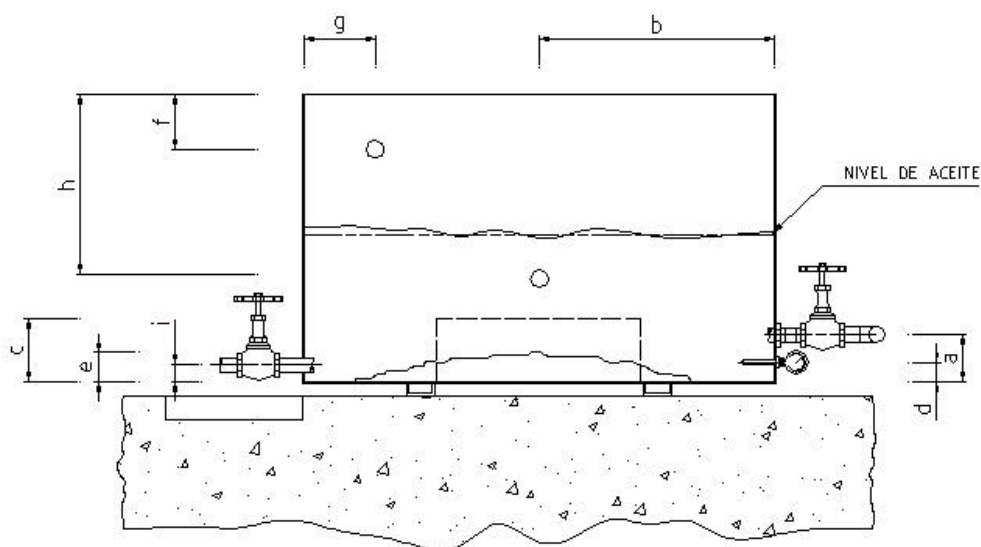
La tabla anterior muestra un estimado de los galones de aceite que puede contener el tanque.

CARGA DE ACERO Kg	CÁLCULO DE GALONES DE ACEITE			FACTOR REDUCCIÓN *
	H U.S gal	gal/lb U.S gal	TANQUE U.S gal	
20,0	39,1	55,10	39,0	0,49
22,5	44,0	61,99	43,8	0,55
25,0	48,8	68,88	48,7	0,62
27,5	53,7	75,76	53,6	0,68
30,0	58,6	82,65	58,5	0,74

* Calculado para los galones estimados a partir de H

De la última tabla se puede decir que, para una carga de 25 kg de acero se requiere 48,8 galones de aceite, este volumen de aceite será el 62% de capacidad del tanque.

Dimensionado del tanque: será de la siguiente manera:



		mm
a :	Distancia a centro de orificio de salida de aceite	170
b :	Distancia de pared lateral a centro de orificio de ingreso de aceite	500
c :	Altura de carga dentro de tina	100
d :	Altura de centro de termocupla	80
e :	Altura aproximada de carga depositada en tanque	60
f :	Distancia del borde al centro de orificio de rebose	110
g :	Distancia de borde lateral a centro de orificio de rebose	200
h :	Altura de borde a centro de orificio de ingreso	320
i :	Altura a centro de orificio de descarga	40

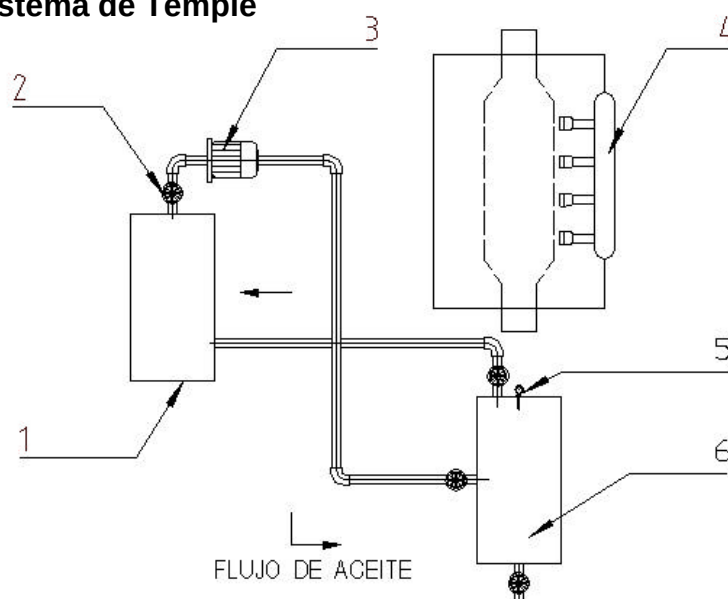
Sistema de calentamiento y enfriamiento

Todos los fluidos de temple tienen un rango de temperatura óptimo para trabajo, esto requiere alguna forma de control de temperatura. En nuestro tanque, el control de temperatura se realiza mediante el empleo de un termómetro colocado a un lado del tanque a unos 5 cm del fondo. La agitación del medio ayudará a homogenizar la temperatura.

Filtración de elementos al medio de temple

Durante el temple, el fluido es contaminado con residuos, hollín y polvo, en general; pero de todos los contaminantes, el agua es el más peligroso en el tanque. Esto puede generar gran cantidad de humos, dificultando la visión y produciendo desprendimientos de llamas, si hubiera contacto de la pieza con agua y aceite a la vez, esta pieza traería inhomogeneidades en la dureza obtenida. Para contrarrestar esto, se construye una tapa para el tanque. Esta tapa cumplirá la función de protección del aceite de agentes externos, además como escudo extintor cuando se presente llamas en el aceite. Adicionalmente se realiza recomendaciones de no adicionar ningún fluido de origen desconocido y limpieza regular, para la remoción de partículas u cosas extrañas.

Esquema de Sistema de Temple



- | | | | |
|---|------------------------------------|---|----------------------|
| 1 | Tanque de almacenamiento de aceite | 4 | Distribuidor de gas |
| 2 | Llave de paso para el tanque | 5 | Termómetro de aceite |
| 3 | Bomba impulsora de aceite | 6 | Tanque de temple |

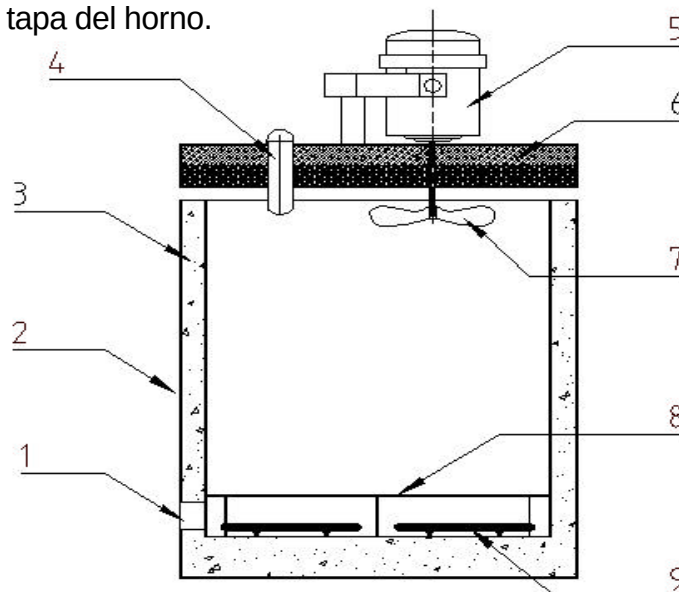
3.5. Selección de la temperatura y tiempo de revenido

Estructuras carburizadas son casi siempre revenidos para transformar la martensita frágil e inestable a una martensita más estable. Esto conduce a un incremento en ductilidad y así minimiza la ocurrencia de fractura. La transformación de la austenita retenida tiende a decrecer la distorsión. Con aceros comunes carburizados, la temperatura de revenido está limitada a 180 – 200 °C, esto para asegurar que la dureza superficial no sea más de 60 HRC; también por razones de economía, el tiempo de revenido casi siempre no es más de 2 horas.

Una gran parte de piezas carburizadas son puestas en servicio sin revenido; y aunque también gran parte de piezas son revenidas en el rango de 150 °C a 190 °C, esto no reduce mayormente la dureza, pero incrementa la tenacidad y disminuye la susceptibilidad de agrietado en operaciones posteriores de acabado. Las piezas cementadas rara vez son revenidas a temperaturas más altas que 200 °C debido a la necesidad de una combinación de una superficie extremadamente dura y un núcleo suave y dúctil, que es usualmente la razón del cementado.

Para fines de este proyecto, se fue probando la temperatura de revenido manteniendo un tiempo inicial de 1 hora; la temperatura de revenido no fue un parámetro fijo, sino que fue variable, según la dureza obtenida después de temple.

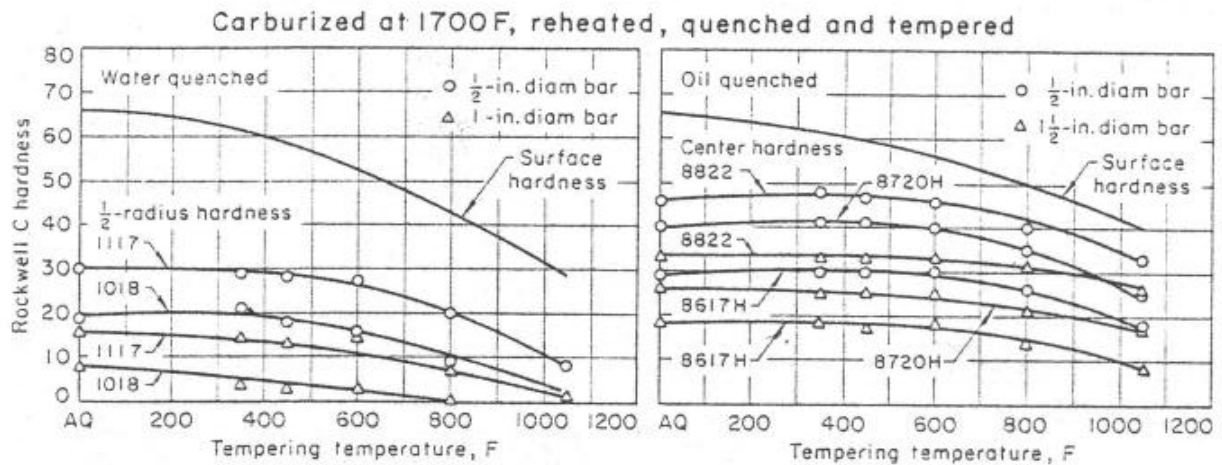
Para realizar el revenido, se diseñó y construyó un horno eléctrico, calentado por resistencia eléctrica. Este horno fue construido con los restos de una cámara de fusión; para recuperarla se limpió y se reconstruyó el aislamiento refractario; asimismo, se instaló resistencia eléctrica en el fondo del horno y termocupla en la tapa del horno.



- 1 Acceso para cableado eléctrico.
- 2 Carcaza del horno.
- 3 Aislante refractario.
- 4 Termocupla.
- 5 Motor del ventilador.

- 6 Tapa del horno.
- 7 Paletas de ventilador.
- 8 Base para tinas de material.
- 9 Resistencias eléctricas de calentamiento.

Para fines del diseño, se empleará un rango de temperatura de 150 – 250 °C y una 1 hora mínima, esto es susceptible cambios según la dureza del arco obtenido.



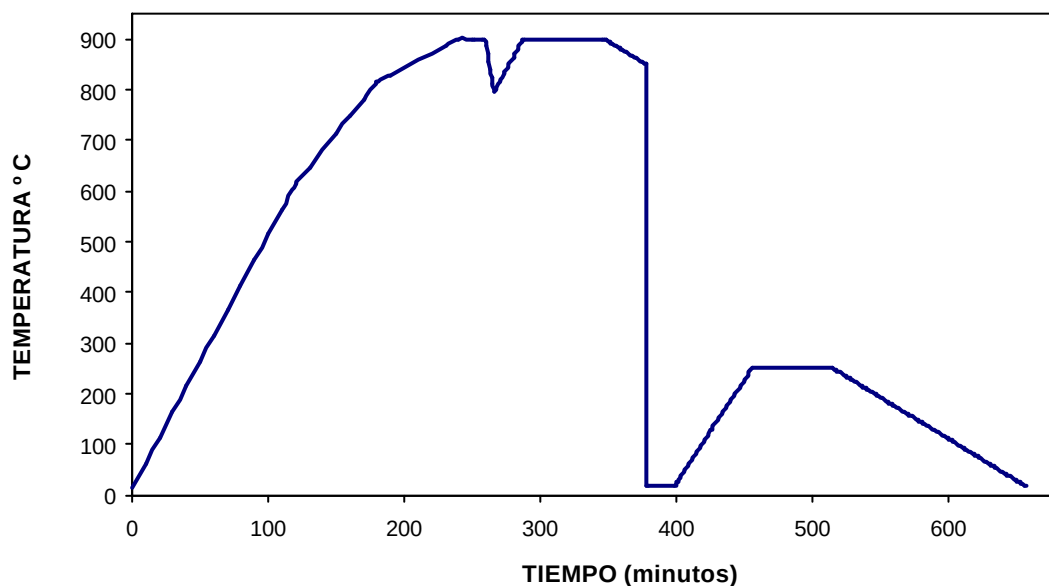
IV. SÍNTESIS DEL DISEÑO O DISEÑO PRELIMINAR

Como síntesis del modelo mostraremos nuestra primera curva con los parámetros de temperatura-tiempo, esto constituirá nuestro primer prototipo o hipótesis.

Los datos en la curva serán los siguientes:

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR	OBSERVACIÓN
Tiempo de calentamiento horno	minutos	libre	Característico del horno
Temperatura de austenización	°C	900	Selección siguiendo consideraciones
Tiempo de recuperación de calor	minuto	20	Calculado y reducido a valor entero próximo
Temperatura de cementación	°C	900	Selección siguiendo consideraciones
Tiempo de cementación	minutos	60	Calculado y reducido a valor entero próximo
Tiempo de difusión	minutos	40	Calculado y reducido a valor entero próximo
Temperatura de temple	°C	850	Estimado en base a temperatura y tiempo de fin de cementado
Temperatura de revenido	°C	200	Selección siguiendo consideraciones
Tiempo de revenido	minutos	60	Selección siguiendo consideraciones

PRIMER PROTOTIPO DE DISEÑO DE CICLO DE CEMENTADO Y TRATAMIENTO TÉRMICO DE ARCOS



En un principio, se consideró como los parámetros iniciales válidos para todos modelos de arco.

Durante experimentación se realizaron ligeras modificaciones, a fin de observar el comportamiento y obtener conclusiones.

V. EXPERIMENTACIÓN DEL PRIMER PROTOTIPO

5.1. Listado de variables y pruebas experimentales

LISTADO DE VARIABLES A PROBAR

X1	X2	X3	Xr1	Xr2
minutos	°C	°C	minutos	°C

			Unidad
X1:	Tiempo de cementación	minutos	m
X2:	Temperatura de cementación	Celsius	°C
X3:	Temperatura de temple	Celsius	°C
Xr1:	Tiempo de revenido	minutos	m
Xr2:	Temperatura de revenido	Celsius	°C

LISTADO DE PRUEBAS DE CONTROL

DESPUÉS TEMPLE					DESPUÉS REVENIDO	
O1	O2	O3	O4	O5	Or1	Or2
HRC	Sí/No	Gruesa/Fina	ì m	ì m	HRC	Grado

		Unidad
O1:	Dureza Rockwell	HRC
O2:	Resistencia al corte de sierra	Sí/No
O3:	Aspecto de la superficie fracturada	Fino/Grueso
O4:	Espesor o profundidad de capa cementada	ì m
O5:	Cierre de patas de arco o deformación	ì m
Or1:	Dureza Rockwell después revenido	HRC
Or2:	Grado obtenido de la prueba de impacto	Número

5.2. Plan para la marcha de experimento

La obtención de los parámetros definitivos para el ciclo de cementado se obtendrá mediante experimentación. Esto hace imprescindible una marcha experimental. Esta marcha a probar puede ser desarrollada de dos formas:

A Bajo un enfoque metodológico convencional de diseño de experimentos, donde se define primero el conjunto de variables y los posibles valores que éstas puedan ir tomando. El experimento se desarrolla modificando una variable a la vez. Este tipo de experimento, como se verá más adelante, requiere de un extenso número de pruebas, mayor tiempo y, por consiguiente, mayor desembolso de recursos (ver Tabla N° 1).

La otra forma es más flexible para modificar los valores a ensayar (no convencional). Este tipo de diseño experimental es propio de los proceso de optimización, en esta forma de experimentación se reduce notablemente el número de pruebas y se sigue una secuencia como es la de un primer

tamizado de variables para descartar las menos influyentes y obtener valores iniciales, seguir con las etapas de escalamiento y optimización final.

B Como una serie de aproximaciones. Para esto se tiene que partir de un valor conocido o supuesto, para luego ir variando. Como una condición para hacer esto se debe tener conocimiento práctico o experimental del proceso de tratamiento térmico y termoquímico, este tipo de experimentación sólo es útil si se realiza en un corto número de pruebas o como pruebas preliminares a una forma metódica, pues ayudaría a orientar las pruebas siguientes.

Para empezar el experimento se hará siguiendo el segundo enfoque (B), para descartar la utilidad del método y acortar tiempo de búsqueda. De no resultar este método se dará inicio a la marcha experimental bajo un enfoque estrictamente metodológico.

Tabla N° 1

ORDEN NIVEL	X1 minutos	X2 °C	X3 °C	Xr1 minutos	Xr2 °C
1	120	940	900	150	300
2	90	920	880	120	250
3	60	900	850	90	200
4	45	880	820	60	180
5	---	840	800	---	150
6	---	820	780	---	120
7	---	800	---	---	---
SUMA NIVEL	4	7	6	4	6

Número de pruebas a realizar
variando un solo valor a la vez

$$4 \times 7 \times 6 \times 4 \times 6 = 4032$$

4032 : Pruebas a realizar por modelo de arco

12096 : Número total de pruebas a realizar por 3 modelos de arco.

Modelo por serie de aproximaciones

VALORES PROPUESTOS A PROBAR

F - 50

Valor	X1 minutos	X2 °C	X3 °C	Xr1 minutos	Xr2 °C
inicial	60	900	850	60	180

F - 60

Valor	X1 minutos	X2 °C	X3 °C	Xr1 minutos	Xr2 °C
inicial	60	900	850	60	180

F - 70

Valor	X1 minutos	X2 °C	X3 °C	Xr1 minutos	Xr2 °C
inicial	60	900	850	120	180

Nota :

- * El formato de pruebas será similar al modelo convencional.
- * El modelo presenta valores iniciales referenciales para empezar las pruebas y a partir de estos se modificarán, ya sea aumentando o disminuyendo.
- * Los cambios podrán ser hechos a más de una variable por vez.
- * Los cambios serán a criterio del experimentador.

5.3. Selección de la muestra

Las pruebas exploratorias se realizaron con unidades, estas pruebas tuvieron como objetivo determinar si era posible cementar con el uso de gas GLP en la cámara del horno sin el empleo del generador de atmósfera. Como resultado de estas pruebas, se demostró que sí era posible cementar, obteniéndose alta dureza; si bien todas las muestras mostraron capa cementada, sólo una proporción de éstas mostró dureza mayor a 50 HRC. Los resultados se tabulan en la siguiente tabla:

Número Piezas	MODELO ARCO		
	F- 50	F - 60	F - 70
Total probadas	16	9	7
HRC > 50	12	6	4
Cálculo de			
P	0,75	0,67	0,57
Q	0,25	0,33	0,43

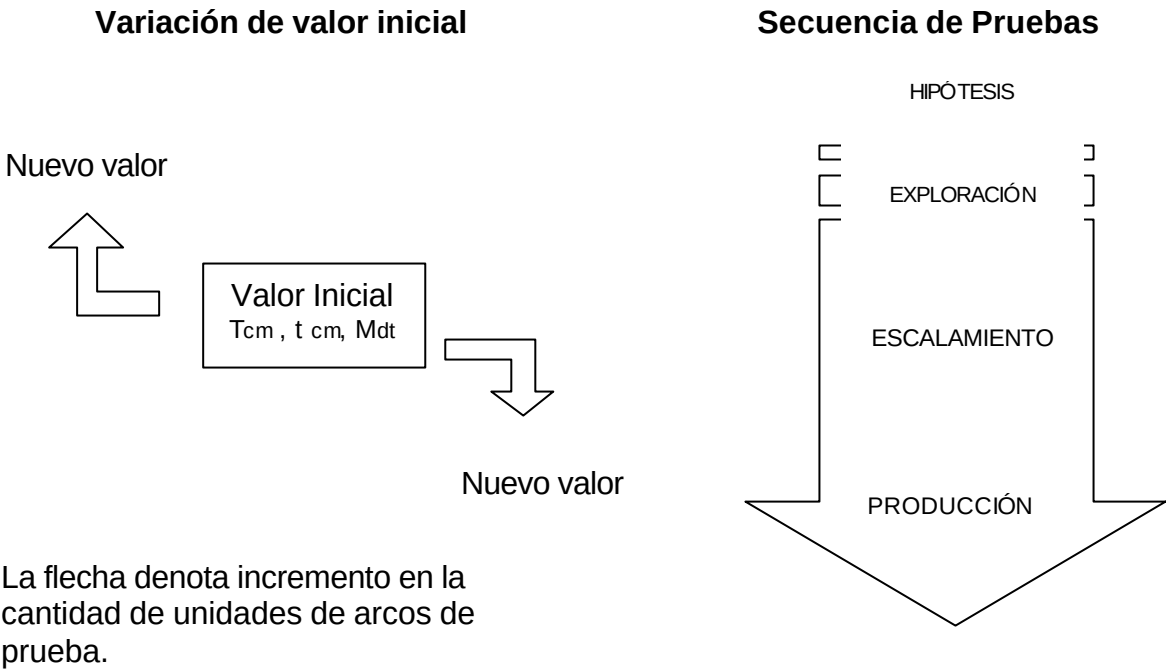
Para la estimación del tamaño de muestra de un proceso a escala de producción, se advirtió que la cantidad promedio a procesar en el horno era de una tina, la cual podía contener una cantidad promedio, como se muestra en la siguiente tabla:

Número Piezas	MODELO ARCO		
	F- 50	F - 60	F - 70
Unidades promedio	680	520	190
Kilogramo promedio	32,0	36,8	28,0

Para esas condiciones, se calculó, el tamaño de muestra, manteniendo el mismo nivel de confiabilidad y error aceptable. Antes de incrementar el número de piezas, se realizó una segunda prueba para determinar con mayor precisión la proporción de arcos templados con dureza mayor de 50 HRC.

Con estos nuevos datos se procesó 1 tina con arcos, y se sacaron tres arcos como muestra por lote. El muestreo se realizó de forma aleatoria.

La secuencia de pruebas fue de la siguiente manera:



5.4. Cuadro de resumen de parámetros y resultados de pruebas experimentales.

RESULTADOS DE PRUEBAS CON ARCO F - 50

CÓDIGO
PRUEBAS

X1	X2	X3	Medio temple	Xr1	Xr2	O1	O2	Or1	Or2
min	°C	°C		min	°C	HRC	Sí/No	HRC	Grado

EX 2	(	110	915	900	Aceite	120	100	58 - 60	No	55 - 58	1	)
EX 1	(	45	920	920	Aceite	120	250	58 - 60	No	55 - 58	1	)
EX 3	(	40	900	850	Aceite	50	200	54 - 56	No	47 - 50	2	)
EX 3,2	(	40	900	850	Aceite	60	210	55 - 53	No	46 - 48	2	)
EX 4	(	60	900	850	Aceite	60	180	53 - 55	No	52 - 54	1	)

X1	X2	X3	Medio temple	Xr1	Xr2	O1	O2	Or1	Or2
min	°C	°C		min	°C	HRC	Sí/No	HRC	Grado

ES 3,2	(	40	900	850	Aceite	60	210	49 - 50-62	No	50 - 52	2	)
P 3	(	40	900	850	Aceite	50	200	54 - 56	No	47 - 48	2	)
P 3,2	(	40	900	850	Aceite	60	210	52 - 54	No	48 - 50	2	)
P 3,3	(	40	900	850	Aceite	60	120	42 - 52	No	45 - 52	2	)
P 3,4	(	40	900	850	Aceite	60	180	50 - 54	No	51 - 54	2	)

X1	X2	X3	Medio temple	Xr1	Xr2	O1	O2	Or1	Or2
min	°C	°C		min	°C	HRC	Sí/No	HRC	Grado

DEF	(	40	900	850	Aceite	60	150	52 - 54	No	50 - 52	2	)
-----	---	----	-----	-----	--------	----	-----	---------	----	---------	---	---

RESULTADOS DE PRUEBAS CON ARCO F - 60

**CÓDIGO
PRUEBAS**

X1	X2	X3	Medio temple	Xr1	Xr2	O1	O2	Or1	Or2
min	°C	°C		min	°C	HRC	Sí/No	HRC	Grado

EX 2	(	105	915	900	Aceite	120	180	59 - 60	No	55 - 58	1	)
EX 1	(	90	920	920	Aceite	120	180	58 - 60	No	50 - 55	1	)
EX 3	(	60	900	850	Aceite	60	330	54 - 55	No	46 - 48	2	)

X1	X2	X3	Medio temple	Xr1	Xr2	O1	O2	Or1	Or2
min	°C	°C		min	°C	HRC	Sí/No	HRC	Grado

EX 3,2	(	60	900	850	Aceite	60	220	54 - 57	No	46 - 50	2	)
EX 4	(	40	900	820	Aceite	40	260	39 - 40	Sí	39 - 40	2	)
EX 5	(	60	900	827	Aceite	60	260	58 - 57	Sí	45 - 46	2	)
EX 4,2	(	60	900	820	Aceite	60	180	55	No	51 - 53	2	)
EX 7	(	60	900	870	Aceite	60	220	56 - 57	No	47 - 50	2	)
ES 7	(	60	900	870	Aceite	60	220	47 - 62	No	47 - 50	2	)
EX 6	(	60	900	800	Aceite	120	250	52 - 55	No	45 - 46	2	)

X1	X2	X3	Medio temple	Xr1	Xr2	O1	O2	Or1	Or2
min	°C	°C		min	°C	HRC	Sí/No	HRC	Grado

P 3,3	(	60	900	850	Aceite	120	210	56 - 57	No	49 - 50	2	)
P 3,3	(	60	900	850	Aceite	120	210	52 - 53	No	49	1	)
P 3,3	(	60	900	850	Aceite	120	210	54 - 56	No	51 - 53	2	)
P 3,3	(	60	900	850	Aceite	120	210	57 - 58	No	55	2	)
P 3,3	(	60	900	850	Aceite	120	210	49 - 51	No	50	2	)
P 6	(	60	900	800	Aceite	120	250	52 - 54	No	49 - 50	2	)

RESULTADOS DE PRUEBAS CON ARCO F - 60 REPROCESADO

CÓDIGO
PRUEBAS

A	B	C	Medio temple	Xr1	Xr2	O1	O2	Or1	Or2
min	°C	°C		min	°C	HRC	Sí/No	HRC	Grado

R 1	(	30	900	850	Aceite	60	300	60 - 61	No	48 - 49	2	)
R 2	(	30	900	850	Aceite	30	350	56 - 59	Sí	40	2	)
R 3	(	30	900	850	Aceite	60	300	55 - 58	Sí	42	3	)
R 4	(	30	900	850	Aceite	48	380	54 - 57	Sí	38 - 40	2	)
R 5	(	20	800	870	Aceite	270	250					
					90	220						
					135	250	58 - 60	No	50	2	)	
R 6	(	15	800	830	Aceite	30	200					
					210	240						
					90	220						
					135	250	58 - 60	No	50	2	)	
R 7	(	15	760	810	Aceite	90	260					
					120	300	55	Sí	40 - 42	2	)	
R 8	(	30	760	810	Aceite	90	260					
					120	300	55	Sí	40 - 42	2	)	
R 8	(	30	760	810	Aceite	90	260					
					120	300	54	Sí	40 - 42	2	)	
R 9	(	35	760	810	Aceite	90	260					
					120	300	54	Sí	40 - 42	2	)	

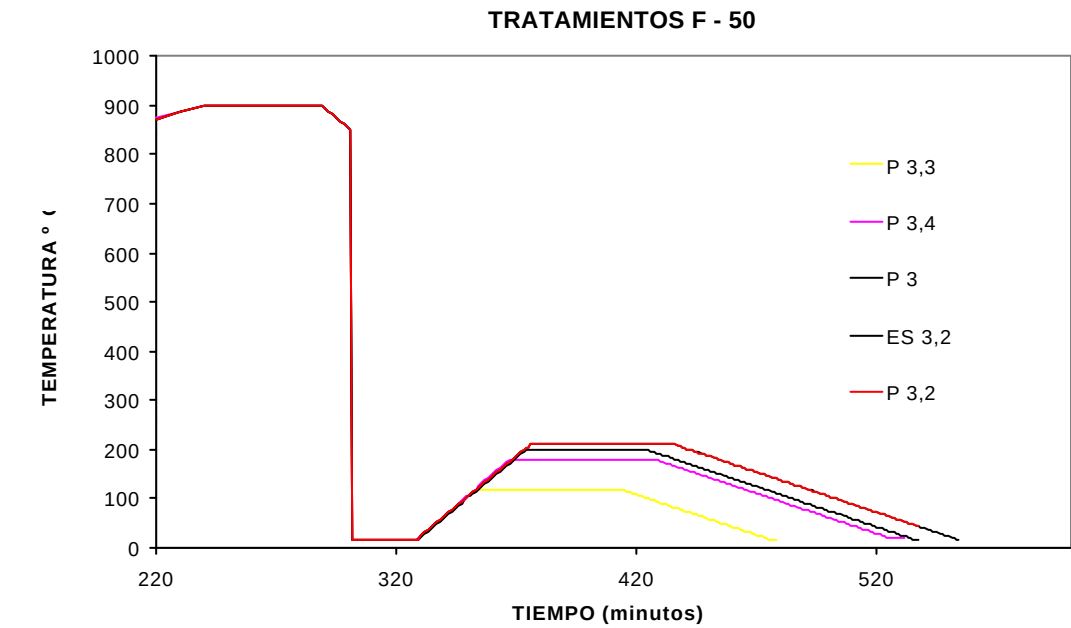
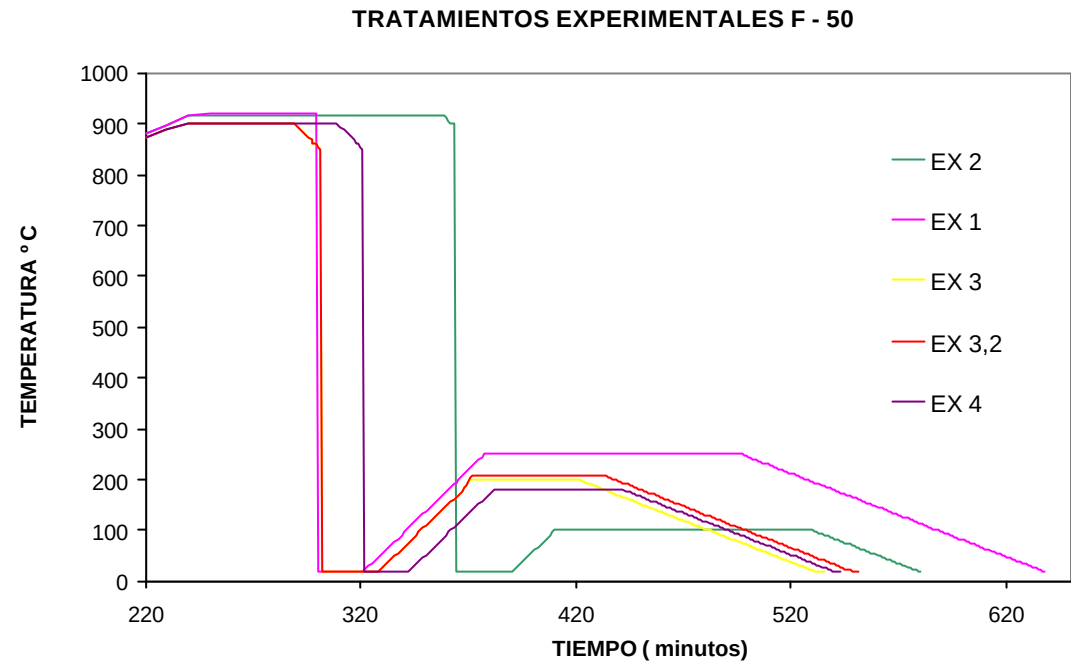
RESULTADOS DE PRUEBAS CON ARCO F - 70

CÓDIGO PRUEBAS		X1	X2	X3	Medio temple	Xr1	Xr2	O1	O2	Or1	Or2
		min	°C	°C		min	°C	HRC	Sí/No	HRC	Grado
EX 1	(	90	940	940	Aceite	120	180	58 - 60	No	50 - 55	3)
EX 2	(	40	900	820	Aceite	40	260	44	Sí	35	4)
EX 3	(	60	900	827	Aceite	60	260	55 - 56	Sí	44 - 45	4)
EX 2,2	(	60	900	820	Aceite	60	180	50 - 51	No	50 - 51	4)
EX 5	(	60	900	870	Aceite	60	220	55 - 52	No	49 - 53	4)
EX 5	(	60	900	870	Aceite	60	220	56 - 57	No	48 - 51	4)
EX 5	(	60	900	870	Aceite	60	220	56 - 57	No	48 - 50	4)
EX 5	(	60	900	870	Aceite	60	220	57 - 57	No	48 - 50	4)
EX 4	(	60	900	850	Aceite	60	220	53 - 49	No	46 - 50	4)
EX 4	(	60	900	850	Aceite	60	220	54 - 53	No	49 - 53	4)
EX 4	(	60	900	850	Aceite	60	220	52 - 53	No	49 - 52	4)
EX 4	(	60	900	850	Aceite	60	220	53 - 55	No	54 - 55	4)
		X1	X2	X3	Medio temple	Xr1	Xr2	O1	O2	Or1	Or2
		min	°C	°C		min	°C	HRC	Sí/No	HRC	Grado
ES 4	(	60	900	850	Aceite	60	220	49 - 63	No	48 - 50	4)
P 4	(	60	900	850	Aceite	60	220	55 - 57	No	47 - 50	4)
P 4,2	(	60	900	850	Aceite	60	210	51 - 53	No	49 -50	5)
P 4,2	(	60	900	850	Aceite	60	150	57 -58	No	55 - 57	4)
		X1	X2	X3	Medio temple	Xr1	Xr2	O1	O2	Or1	Or2
		min	°C	°C		min	°C	HRC	Sí/No	HRC	Grado
DEF	(	60	900	850	Aceite	60	150	57 -58	No	55 - 57	4)

5.5 Representación de resultado

5.5.1. Pruebas en arcos F – 50

Curva de ciclo de cementado y tratamiento térmico



Gráficos de resultados de mediciones de durezas

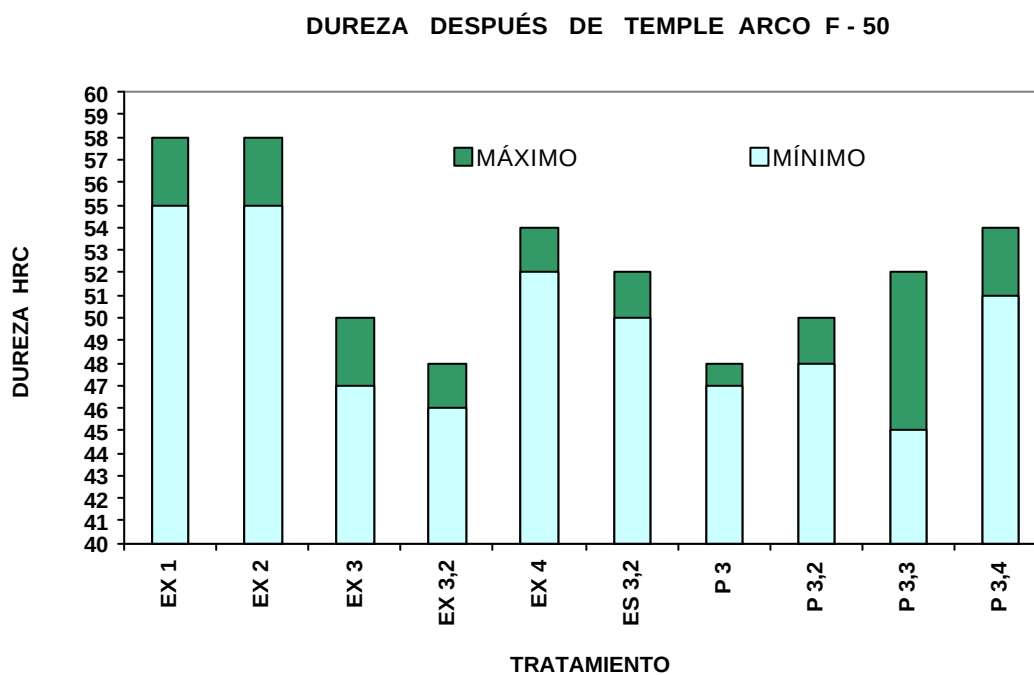
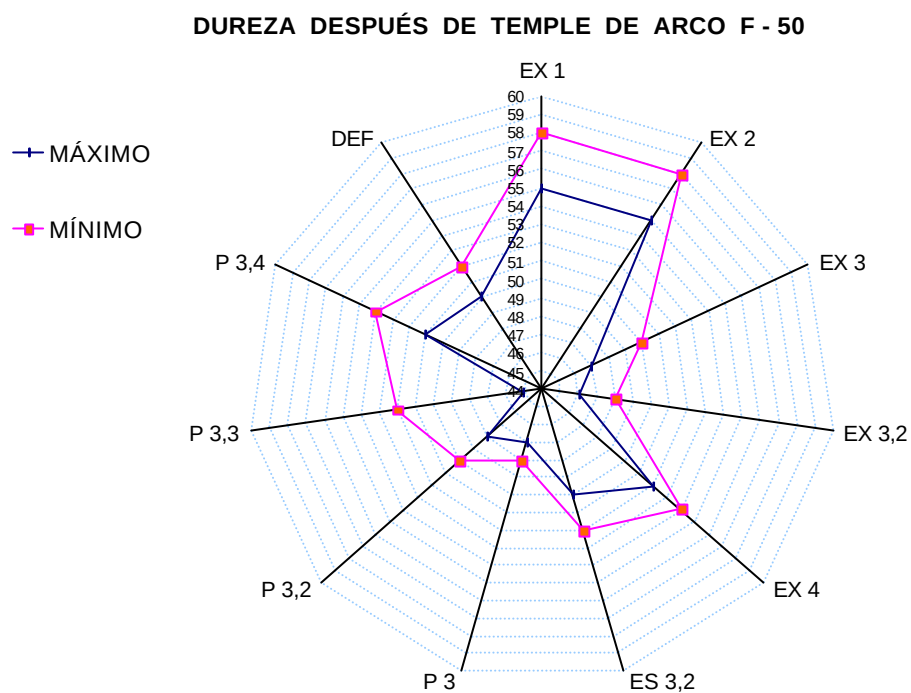
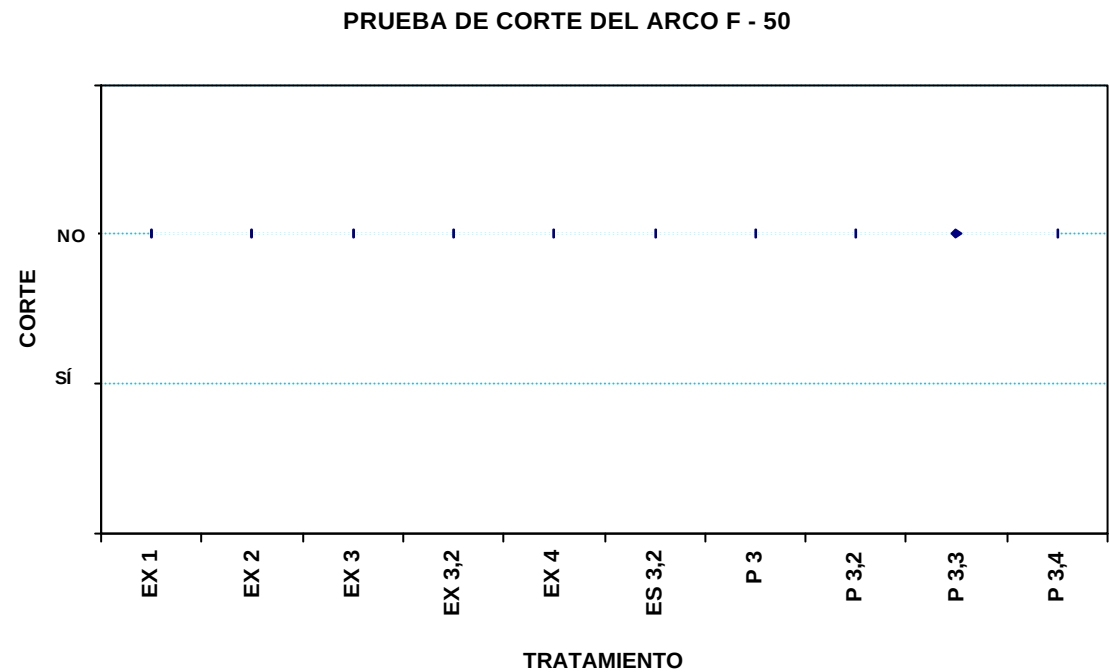
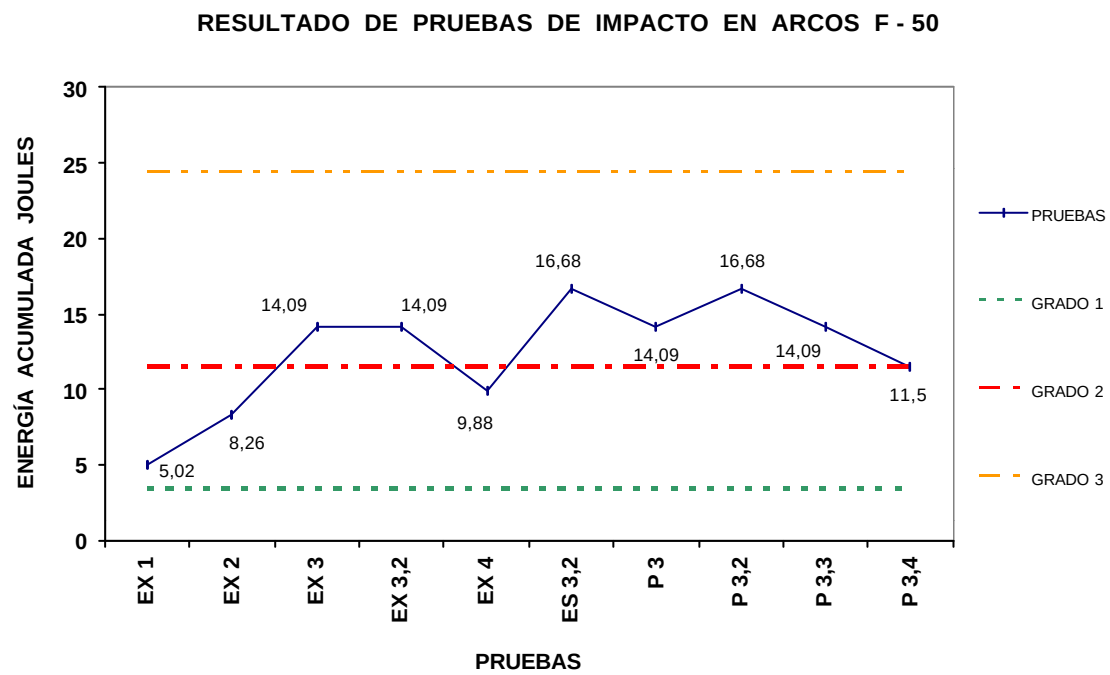


Gráfico de resultados de prueba de corte

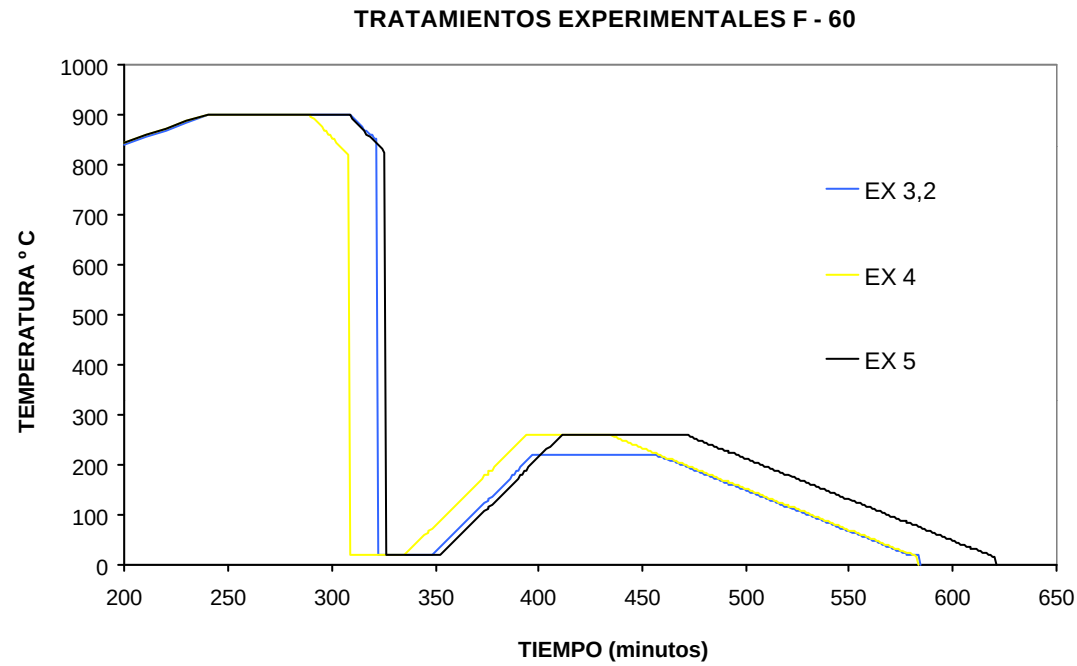
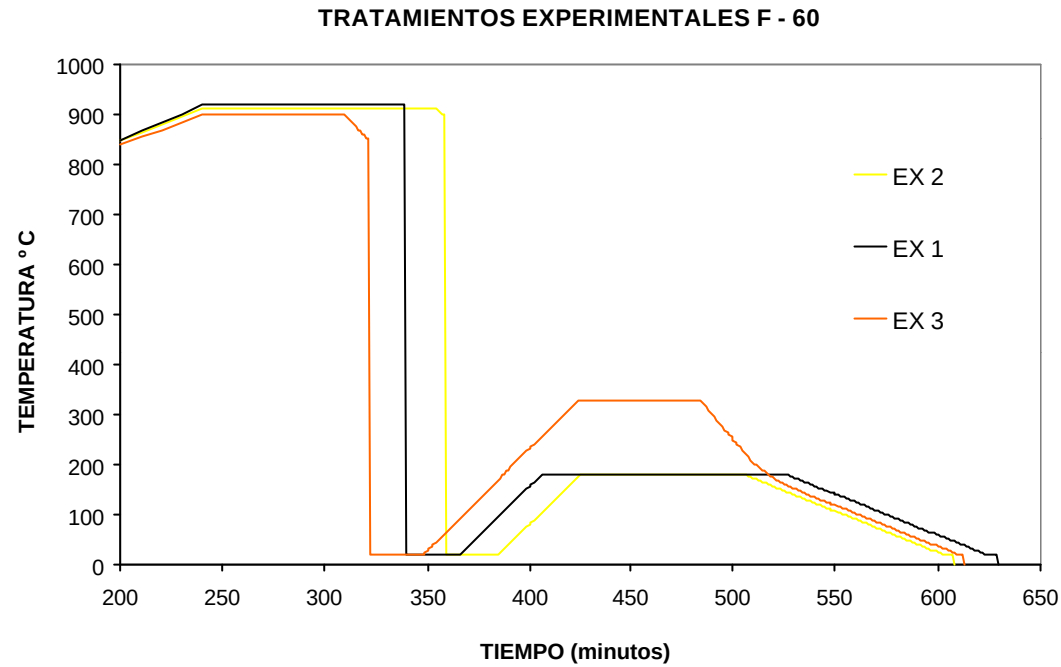


Gráficos de resultados de pruebas de impacto

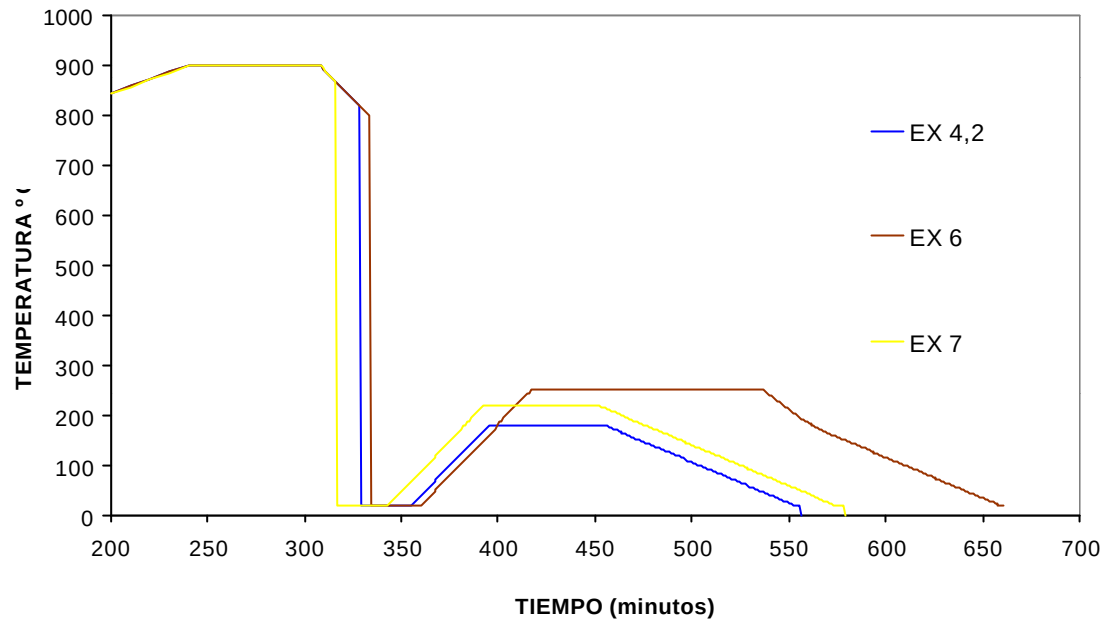


5.5.2. Pruebas en arcos F – 60

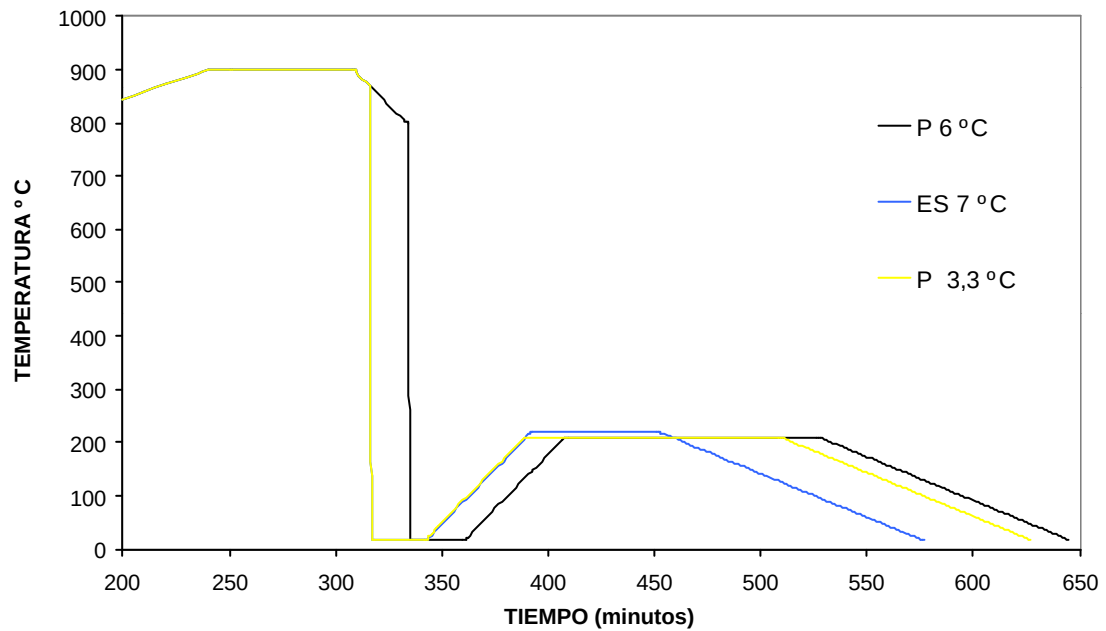
Curva de ciclo de cementado y tratamiento térmico



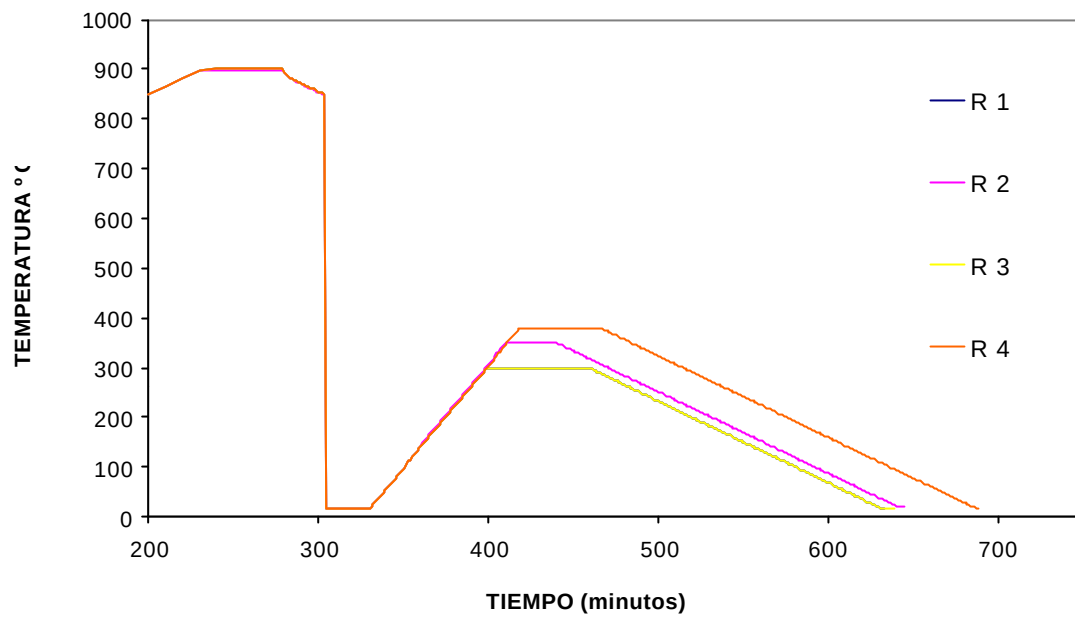
TRATAMIENTOS EXPERIMENTALES F - 60



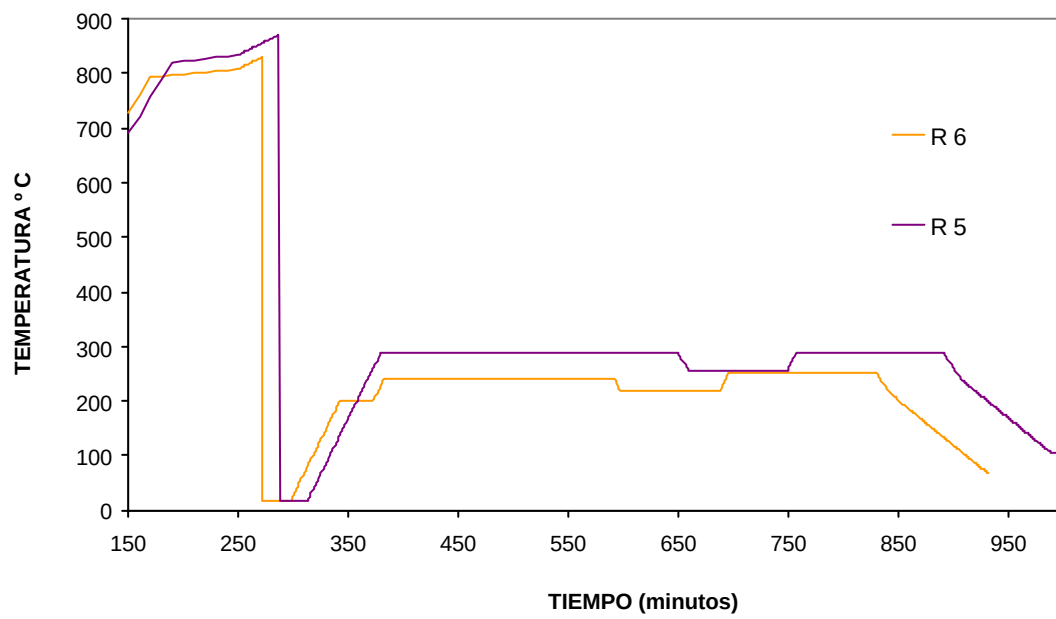
TRATAMIENTO DE ARCOS F - 60



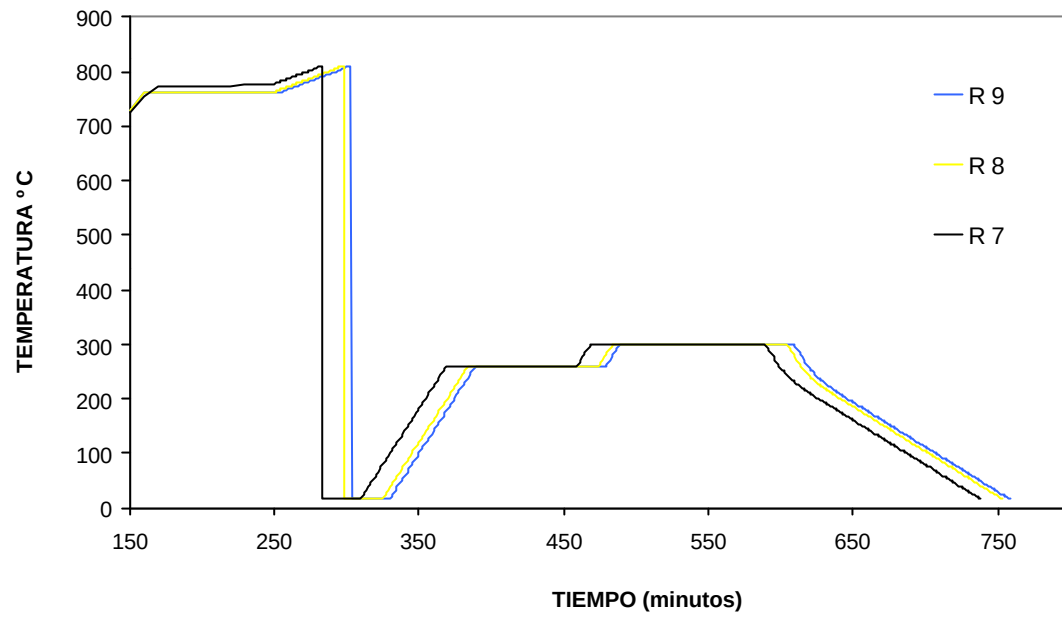
REPROCESO DE ARCOS F - 60



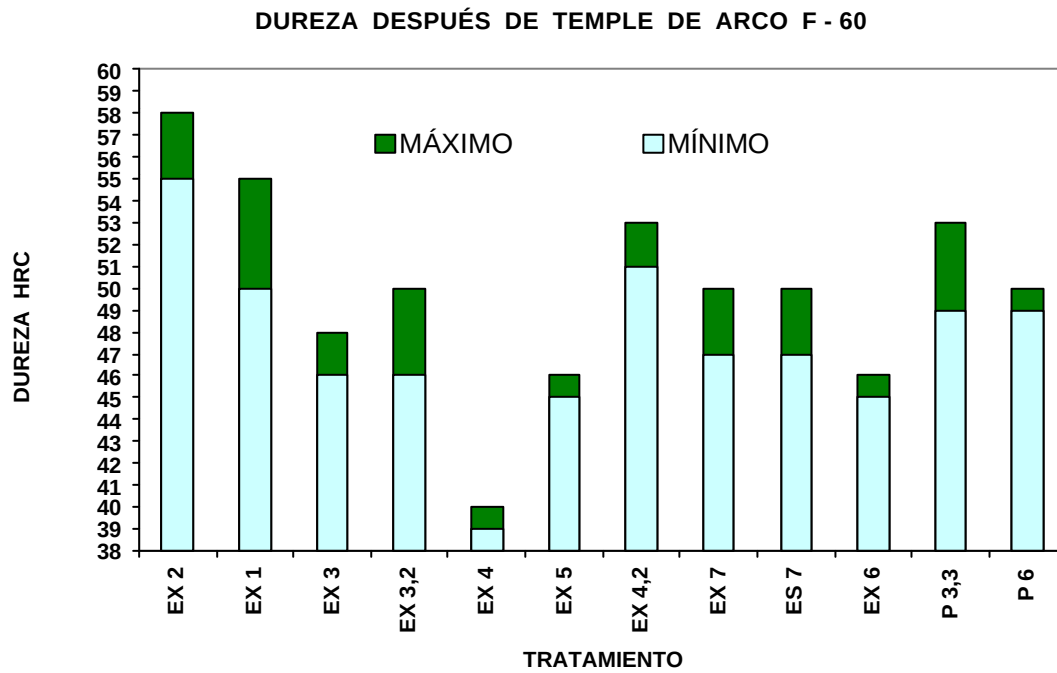
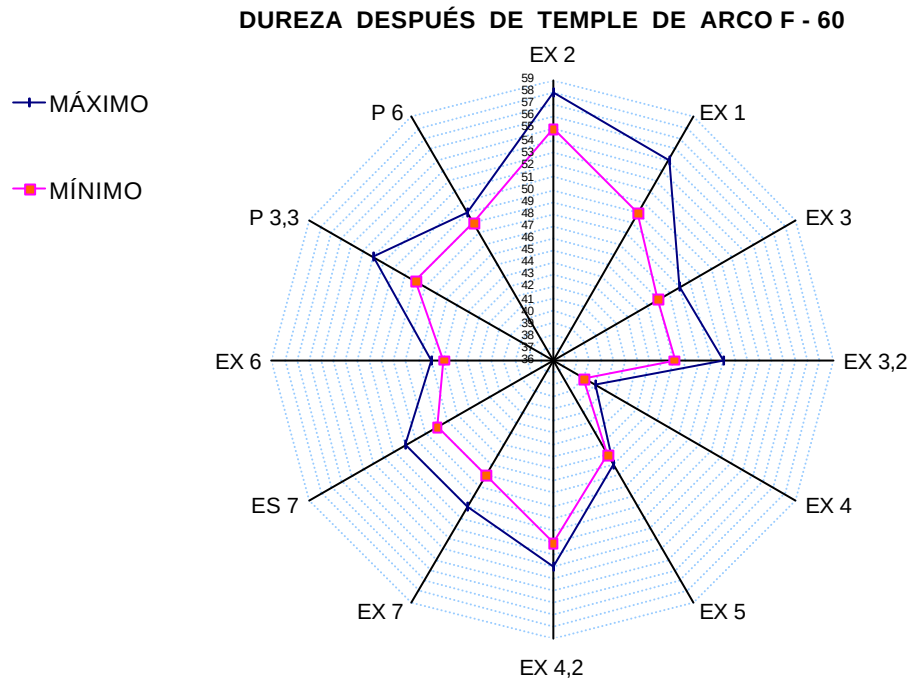
REPROCESO DE ARCOS F - 60



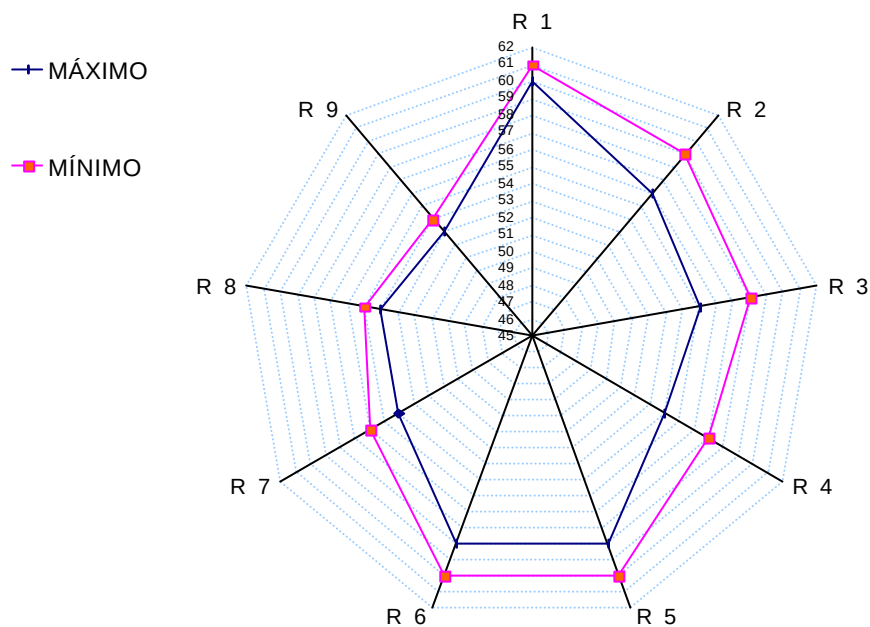
REPROCESO DE ARCOS F - 60



Gráficos de resultados de mediciones de durezas



DUREZA EN ARCOS F - 60 REPROCESADOS



DUREZA DESPUÉS DE TEMPLE EN ARCOS REPROCESADOS F - 60

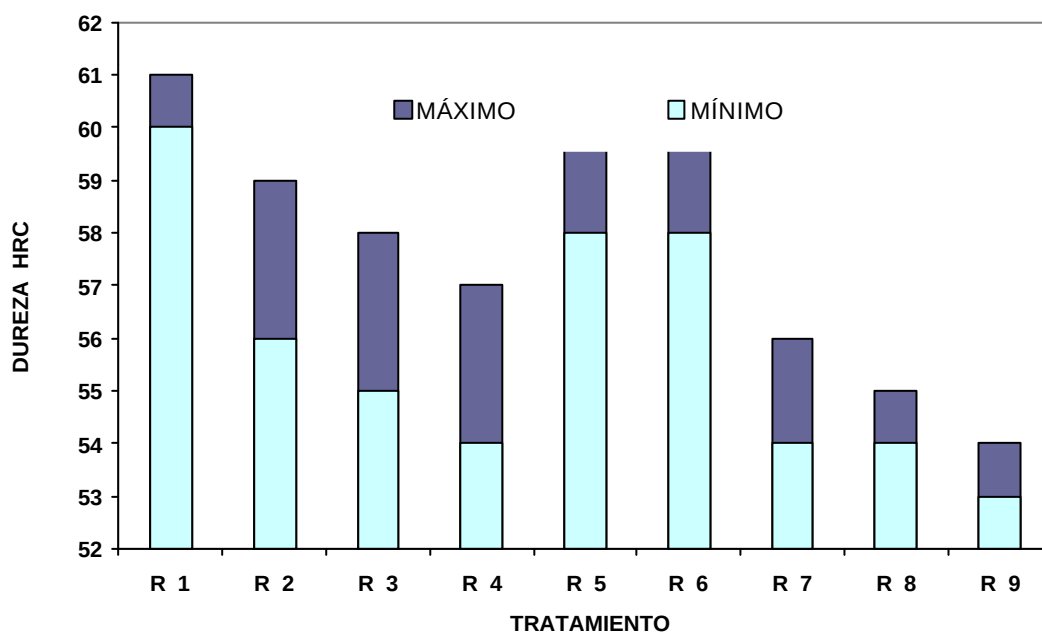
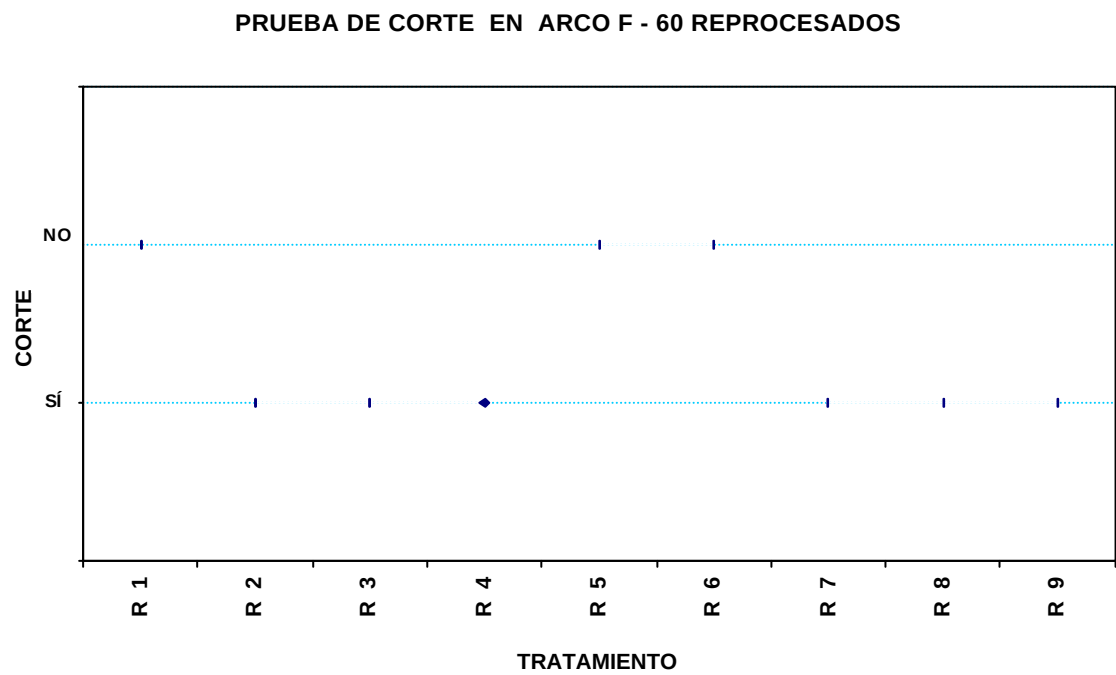
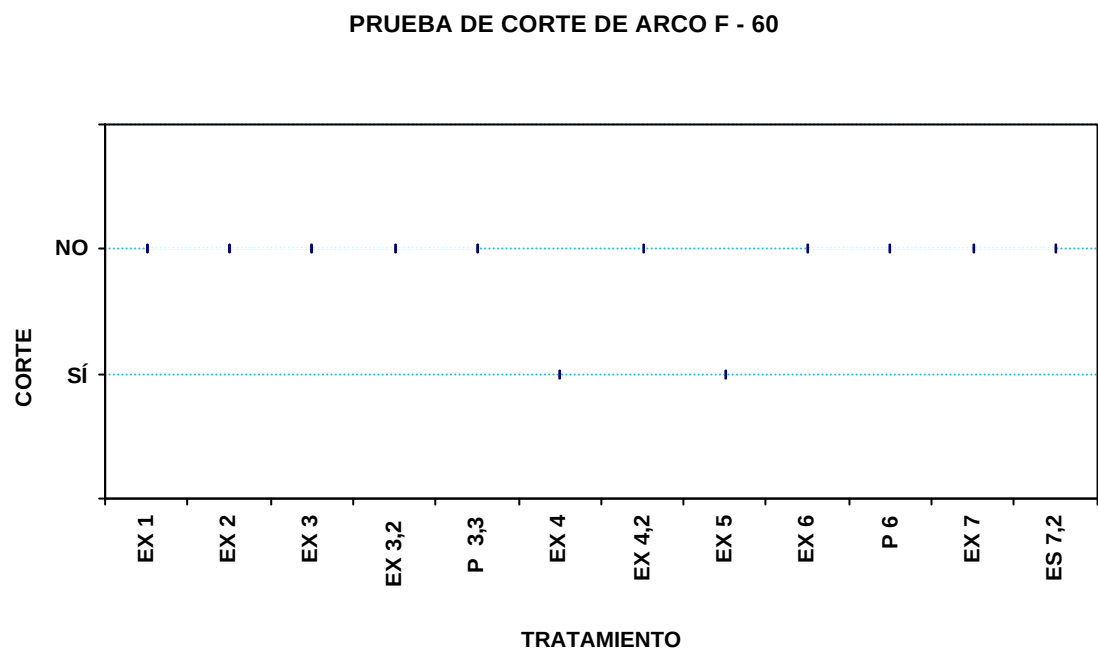
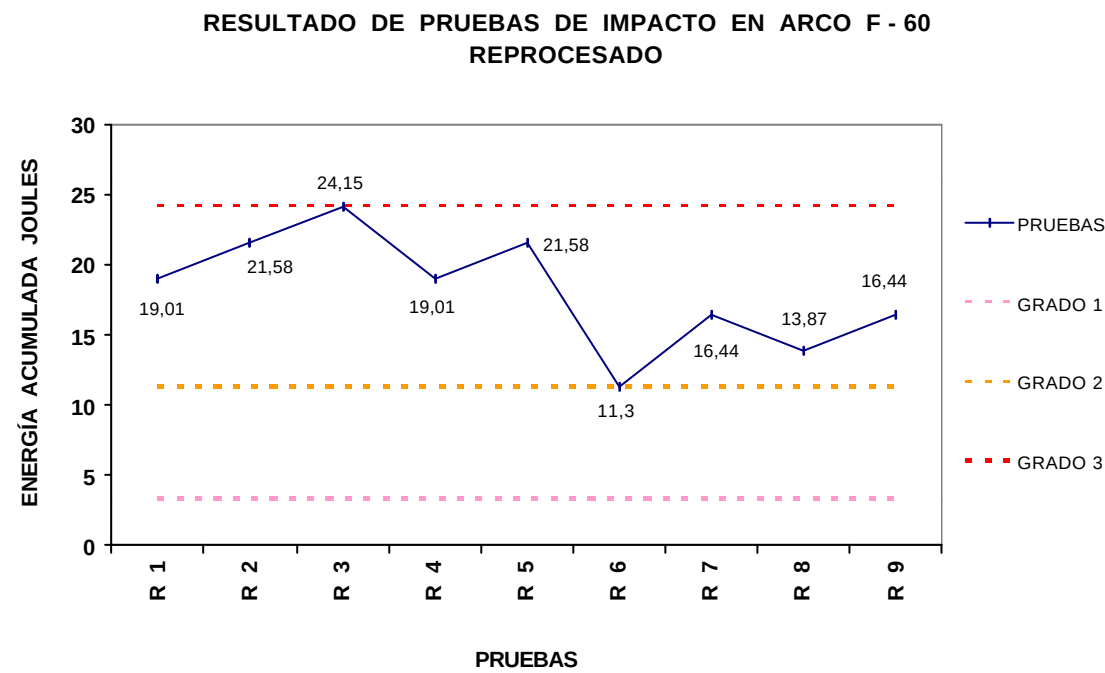
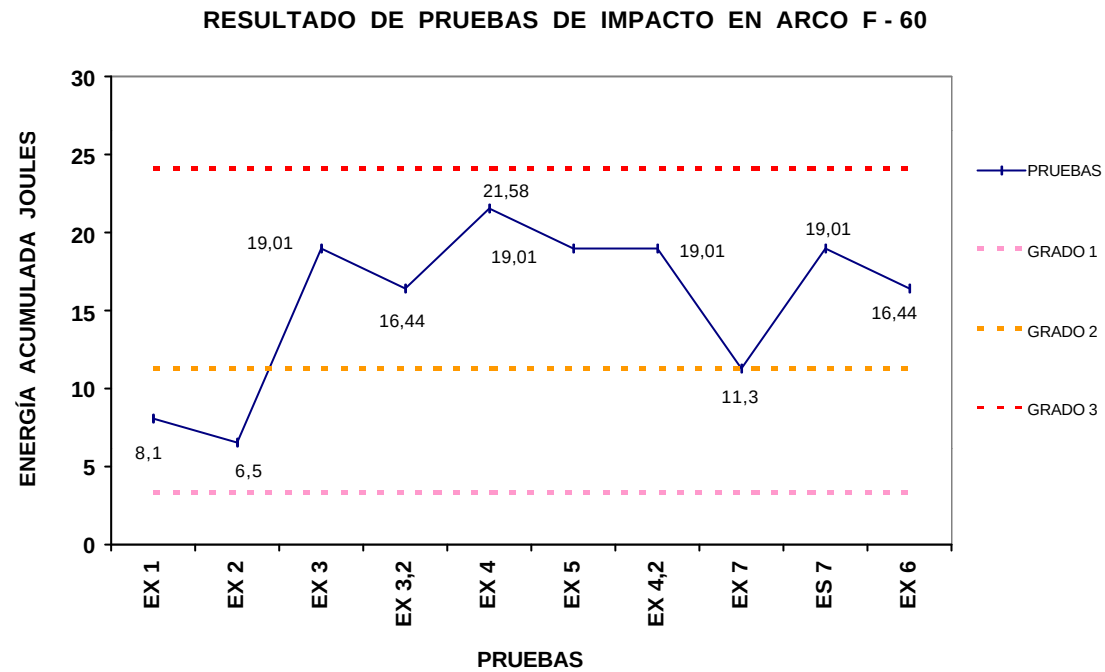


Grafico de resultados de prueba de corte

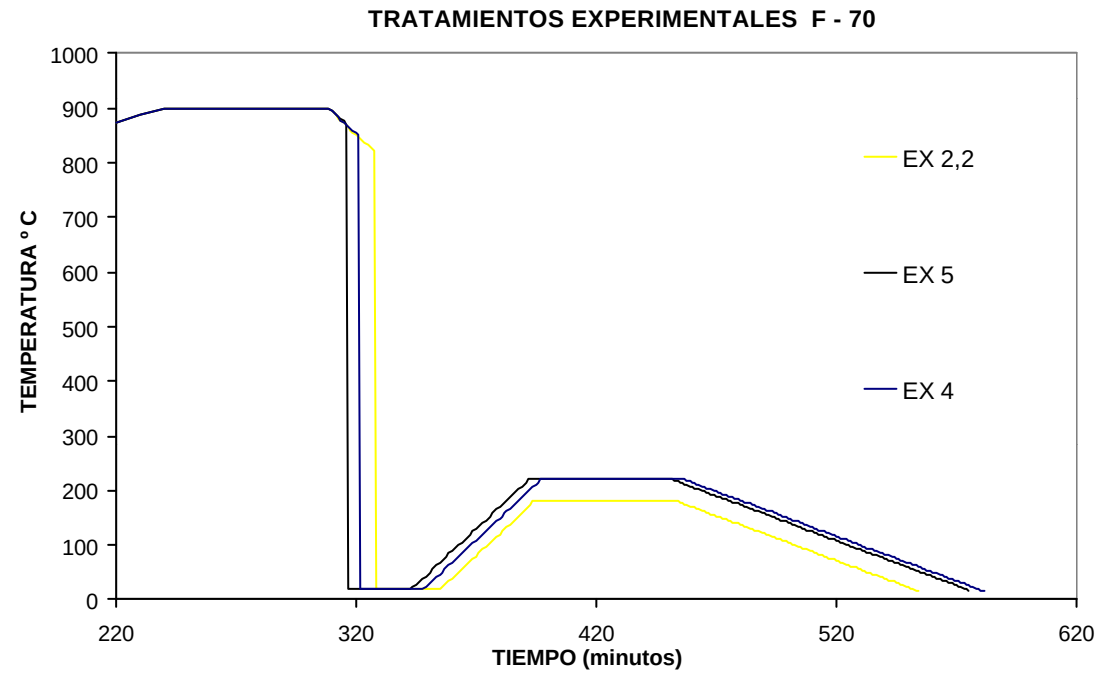
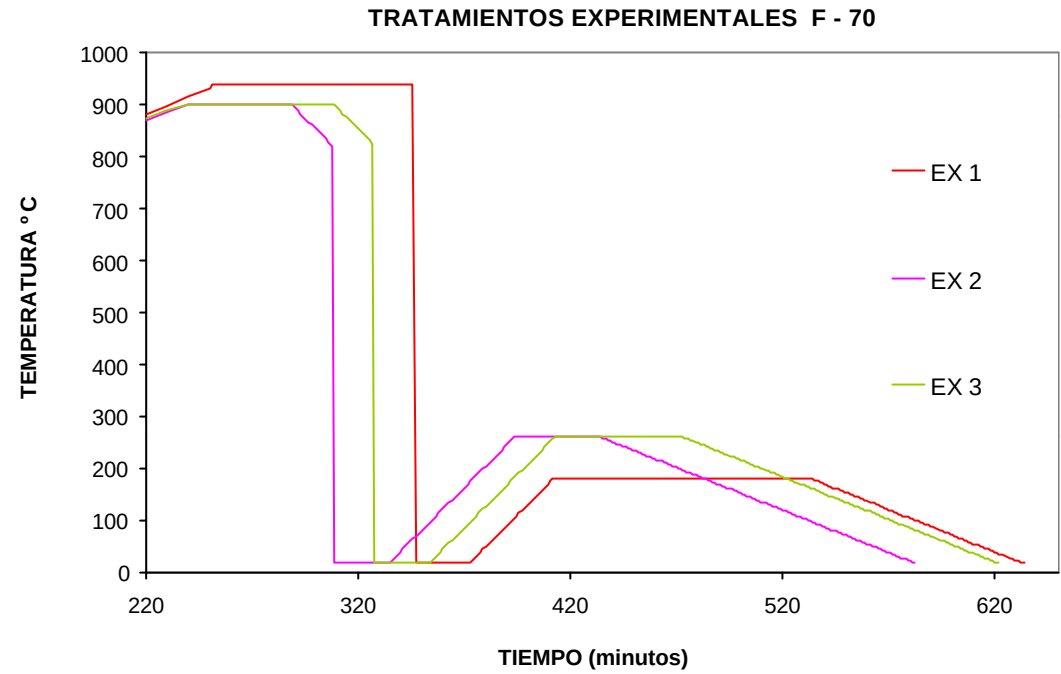


Gráficos de resultados de pruebas de impacto

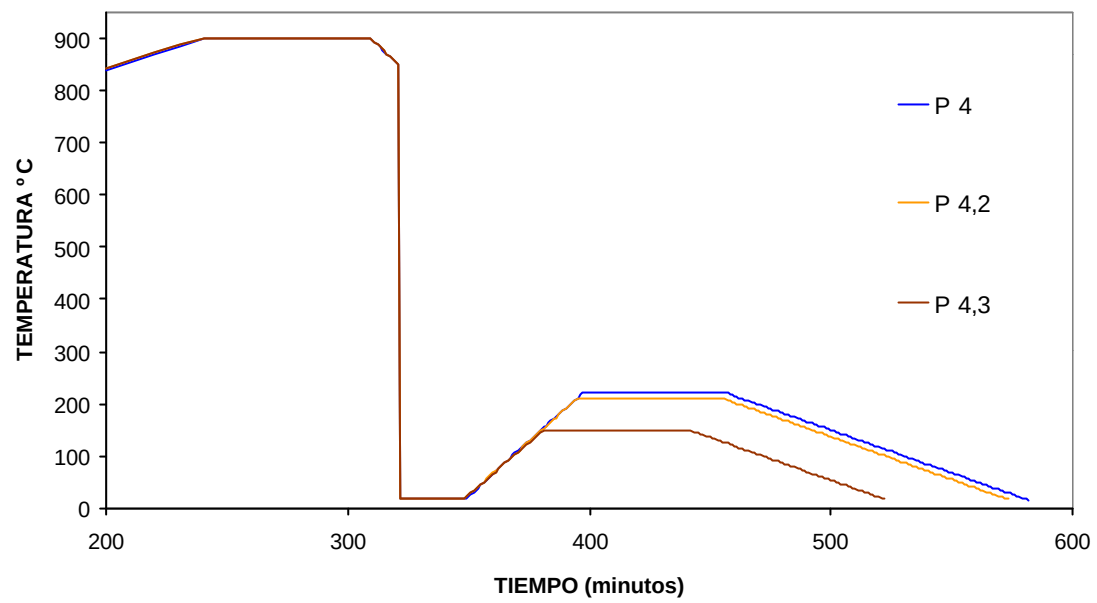


5.5.3. Pruebas en arcos F – 70

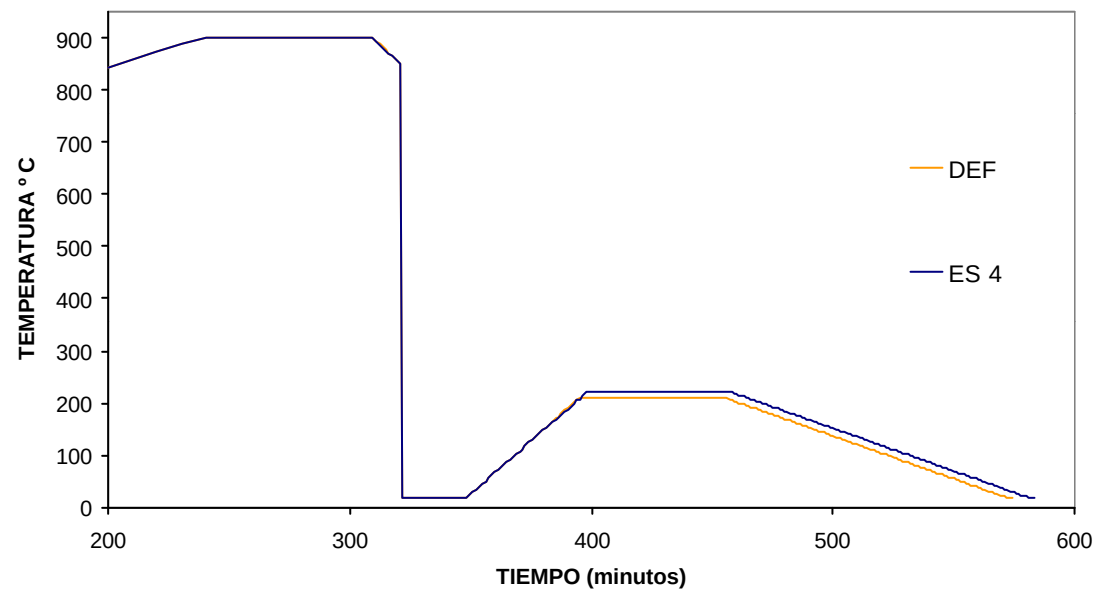
Curva de ciclo de cementado y tratamiento térmico



TRATAMIENTO F - 70



TRATAMIENTO F - 70



Gráficos de resultados de mediciones de durezas

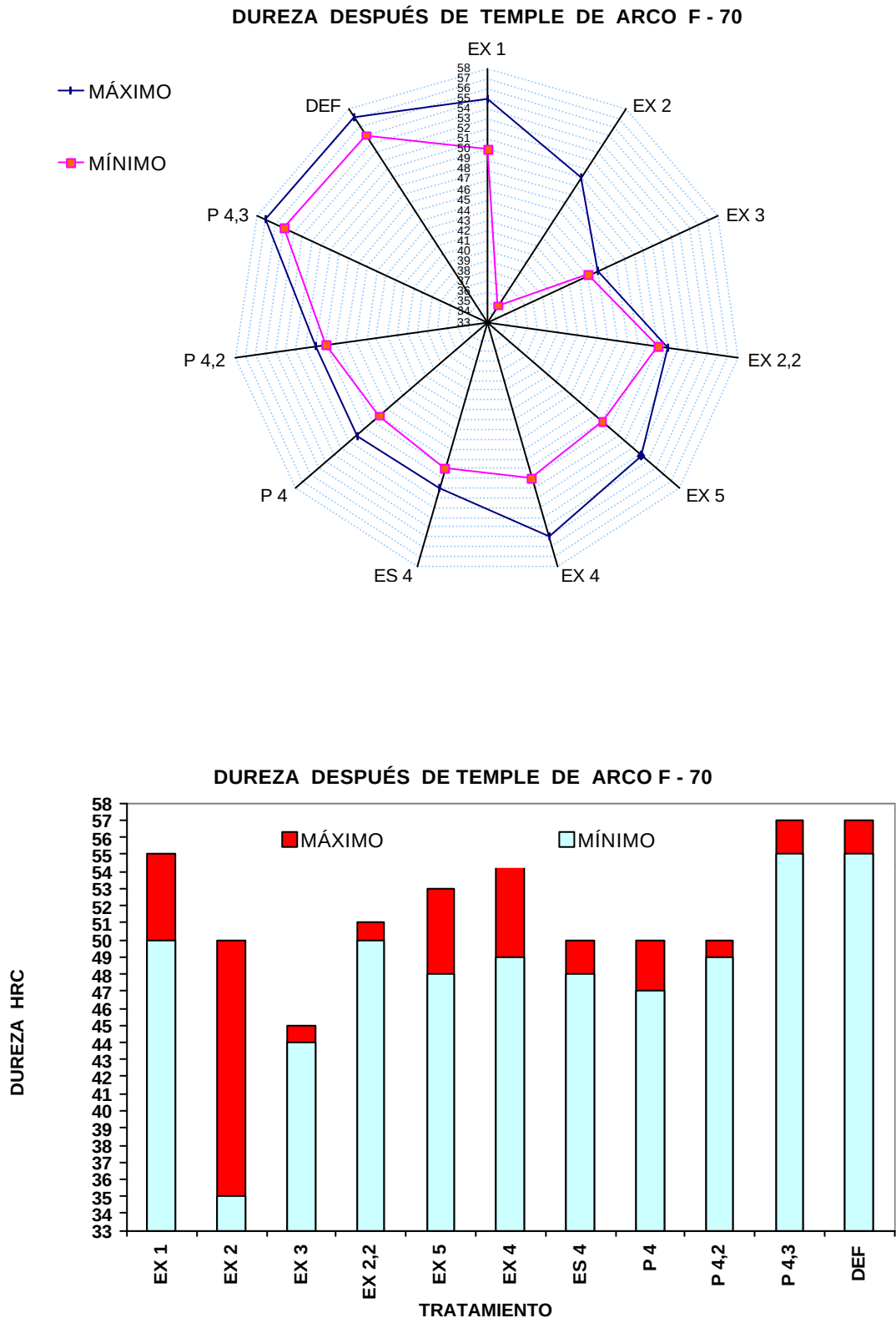
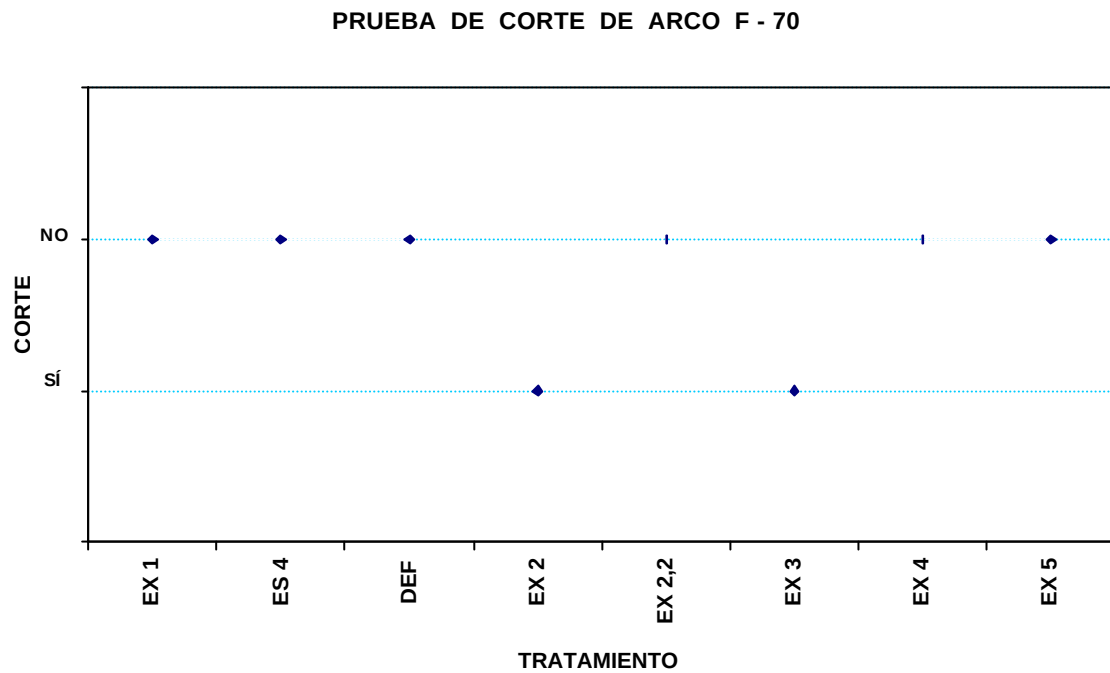
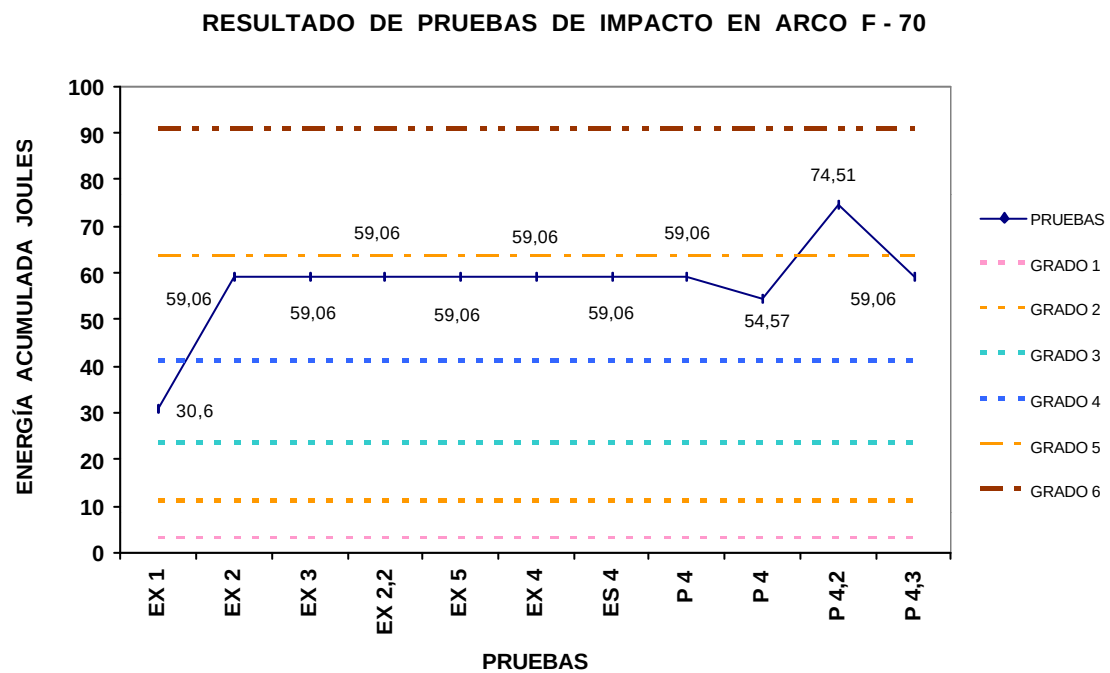


Gráfico de resultados de prueba de corte



Gráficos de resultados de pruebas de impacto



VI. MODIFICACIÓN DEL PROTOTIPO

6.3. Reconsideración de resultados anteriores

Después de efectuadas las medidas de durezas, pruebas de corte e impacto se advierte:

- Los arcos F-50 alcanzan grado 2; los arcos F-60, grado 2; y los arcos F-70, grado 4, sin mayor dificultad.
- Para el caso del arco F-60, se espera alcanzar el grado 3 como mínimo, por lo que se prueba con tratamientos de temples repetidos (2 y 3 temples adicionales).
- Se probará con temples adicionales los arcos F-50 y F-70 para observar si alcanza mayor grado.

6.2. Cuadro de resumen de parámetros y resultados

[illegible]

RESULTADOS DE PRUEBAS CON ARCO F-60

CÓDIGO PRUEBAS	X1	X2	X3	Medio temple	A	B	C	Medio temple	Xr1	Xr2	O1	O2	Or1	Or2
	min	°C	°C		min	°C	°C		min	°C	HRC	Sí/No	HRC	Grado

M2T8 (60 900 820 Aire 8 820 820 Aceite 60 220 60 Sí 40 2)

M2T8 (60 900 820 Aire 8 820 820 Aceite 60 220 57 Sí 40-45 2)

X1	X2	X3	Medio temple	A	B	C	Medio temple	Xr1	Xr2	O1	O2	Or1	Or2
min	°C	°C		min	°C	°C		min	°C	HRC	Sí/No	HRC	Grado

M2T9 (60 900 800 Aire 10 800 800 Aceite 60 180 49-51 No 43-44 2)

M2T9 (60 900 800 Aire 10 800 800 Aceite 60 180 46-47 No 44-45 2)

M2T9 (60 900 800 Aire 10 800 800 Aceite 60 180 48-53 No 46-47 2)

M2T9 (60 900 800 Aire 10 800 800 Aceite 60 180 54-55 No 55-56 2)

M2T9 (60 900 800 Aire 10 800 800 Aceite 60 180 50-53 No 52-53 2)

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

CÓDIGO	Prueba 1				Prueba 2				Prueba 3				Prueba 4			
	1a	2a	3a	Media	1a	2a	3a	Media	1a	2a	3a	Media	1a	2a	3a	Media
	Temps				Temps				Temps				Temps			
	min	°C	°C		min	°C	°C		min	°C	°C		min	°C	°C	

NOTA | 60 900 800 Aprob 60 100 10 650 650 Aprob 10 800 800 Aprob 60 100 55 16 55 - 2 |

NOTA | 60 900 800 Aprob 60 100 10 650 650 Aprob 10 800 800 Aprob 60 100 57 16 56 - 53 |

NOTA | 60 900 800 Aprob 60 100 10 650 650 Aprob 10 800 800 Aprob 60 100 54 16 53 - 58 |

NOTA | 60 900 800 Aprob 60 100 10 650 650 Aprob 10 800 800 Aprob 60 100 55 16 55 - 2 |

NOTA | 60 900 800 Aprob 60 100 10 650 650 Aprob 10 800 800 Aprob 60 100 54 16 54 - 2 |

RESULTADOS DE PRUEBAS CON ARCO F-60

CÓDIGO PRUEBAS	X1	X2	X3	Medio temple	A	B	C	Medio temple	A	B	C	Medio temple	X1	X2	O1	O2	O1	O2
	min	°C	°C		min	°C	°C		min	°C	°C		min	°C	HRC	Sí/No	HRC	Grado

M3T11 (60 900 900 Aceite 15-20 900 850 Aceite 10-15 820 800 Aceite 60 220 54-57 No 53-54 3)

X1	X2	X3	Medio temple	A	B	C	Medio temple	A	B	C	Medio temple	X1	X2	O1	O2	O1	O2
min	°C	°C		min	°C	°C		min	°C	°C		min	°C	HRC	Sí/No	HRC	Grado

PM3T11.2 (60 900 900 Aceite 15-20 900 850 Aceite 10-15 820 800 Aceite 60 220 54-57 No 49-51 3)

PM3T11.2 (60 900 900 Aceite 15-20 900 850 Aceite 10-15 820 800 Aceite 60 220 41-53 No 55 3)

PM3T11.2 (60 900 900 Aceite 15-20 900 850 Aceite 10-15 820 800 Aceite 60 220 54 No 49-53 3)

PM3T11.2 (60 900 900 Aceite 15-20 900 850 Aceite 10-15 820 800 Aceite 60 220 49-54 No 45-48 3)

X1	X2	X3	Medio temple	A	B	C	Medio temple	A	B	C	Medio temple	X1	X2	O1	O2	O1	O2
min	°C	°C		min	°C	°C		min	°C	°C		min	°C	HRC	Sí/No	HRC	Grado

DEF (60 900 850 Aceite 15-20 850 850 Aceite ^F 10 800 800 Aceite 60 150 56-57 No 55-56 3)

(60 900 850 Aceite 15-20 850 850 Aceite ^F 10 800 800 Aceite 60 150 54-56 No 52-55 3)

RESULTADOS PRUEBAS NORCOR

CÓDIGO	X1	X2	X3	Medio	A	B	C	Medio	Xr1	Xr2	O1	O2	Or1	Or2
PRUEBAS				temple				temple						
	min	°C	°C		min	°C	°C		min	°C	HRC	Si/No	HRC	Grado

M276 (60 900 820 Aire 8 820 820 Aceite 60 220 40 Sí 35 - 40 3)

M276 (60 900 820 Aire 8 820 820 Aceite 60 220 57 - 59 No 44 - 45 2)

X1	X2	X3	Medio	A	B	C	Medio	A	B	C	Medio	Xr1	Xr2	Or1	O2	Or1	Or2
			temple				temple				temple						
min	°C	°C		min	°C	°C		min	°C	°C		min	°C	HRC	Si/No	HRC	Grado

M377 (60 900 900 Aceite 15 - 20900 850 Aceite 10 - 15800 800 Aceite 60 120 55 - 56 No 52 - 53 4)

M377 (60 900 900 Aceite 15 - 20900 850 Aceite 10 - 15800 800 Aceite 60 120 49 - 53 No 45 - 46 4)

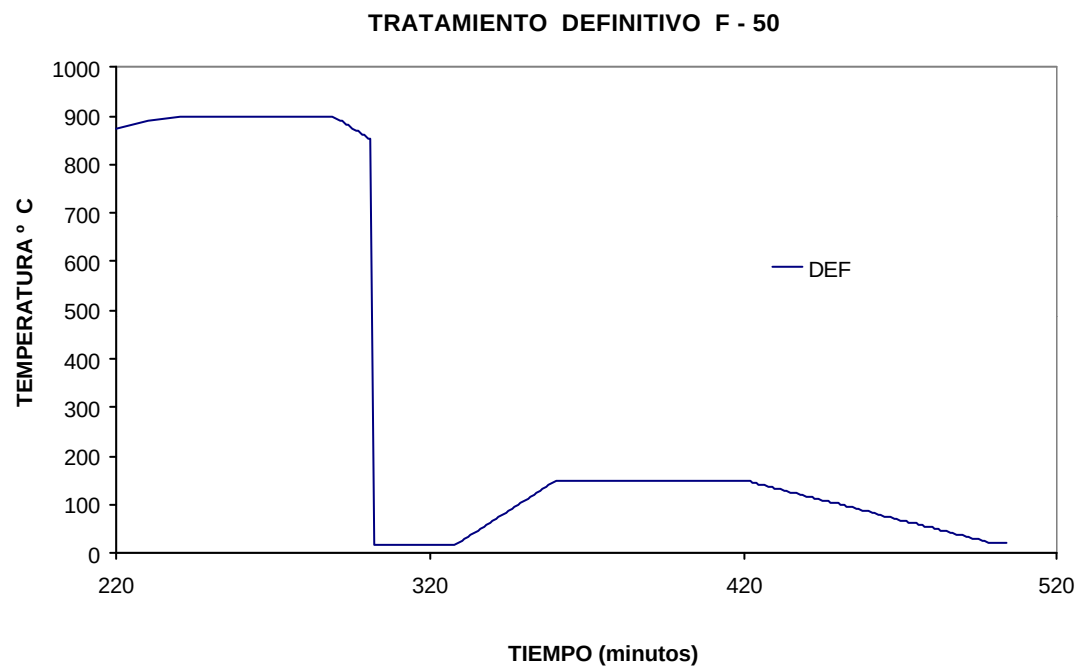
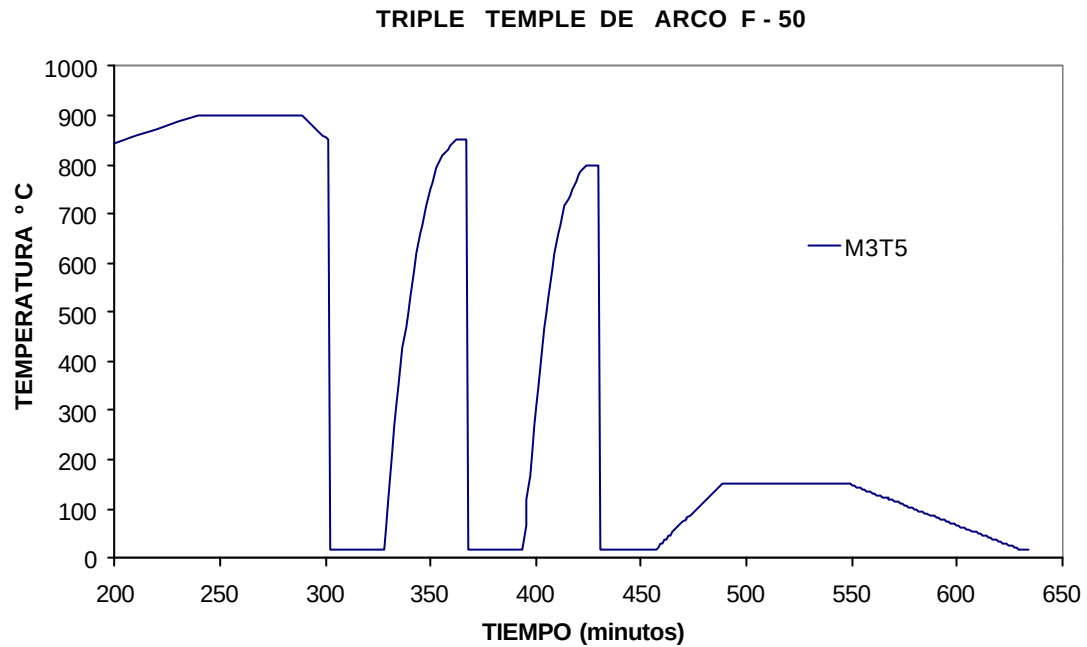
M377 (60 900 900 Aceite 15 - 20900 850 Aceite 10 - 15800 800 Aceite 60 120 55 - 56 No 55 1)

M377 (60 900 900 Aceite 15 - 20900 850 Aceite 10 - 15800 800 Aceite 60 120 52 - 54 No 52 - 53 5)

6.3. Representación de resultados de tratamientos

6.3.1. Pruebas en arcos F-50

Curva de ciclo de cementado y tratamiento térmico



Gráficos de resultados de mediciones de dureza

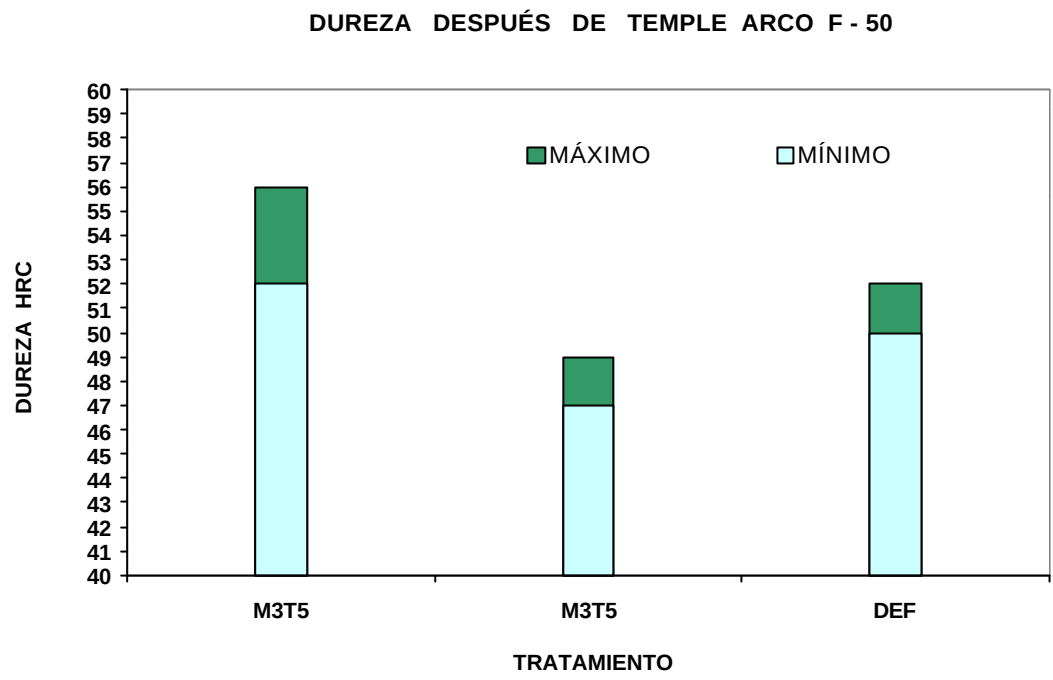


Gráfico de resultados de prueba de corte

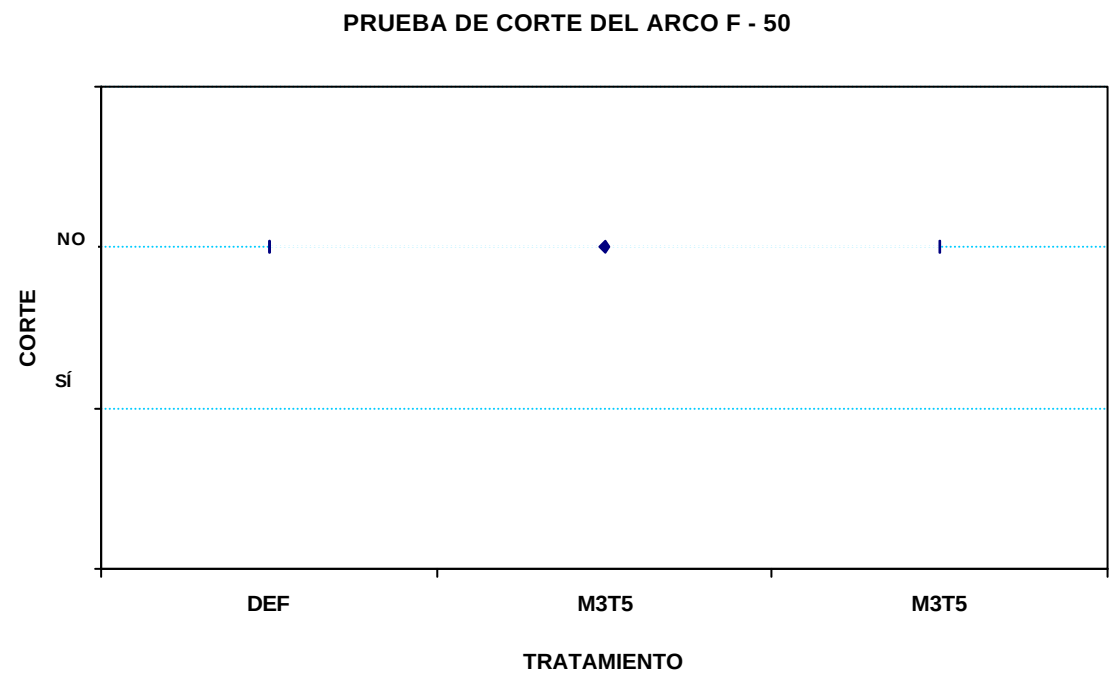
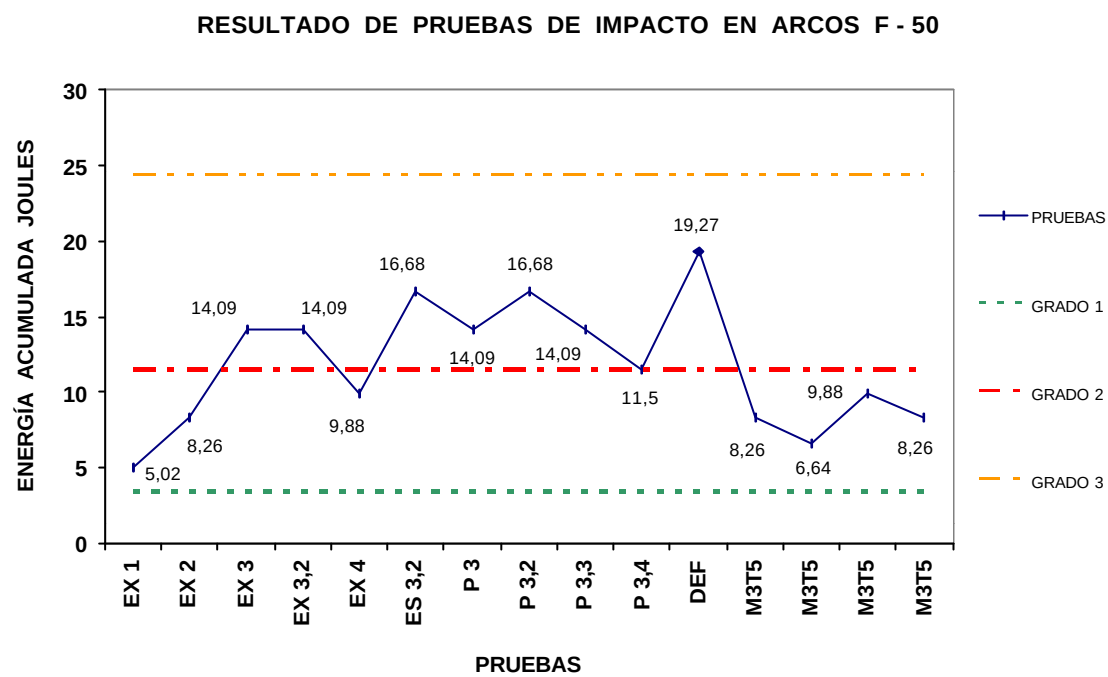
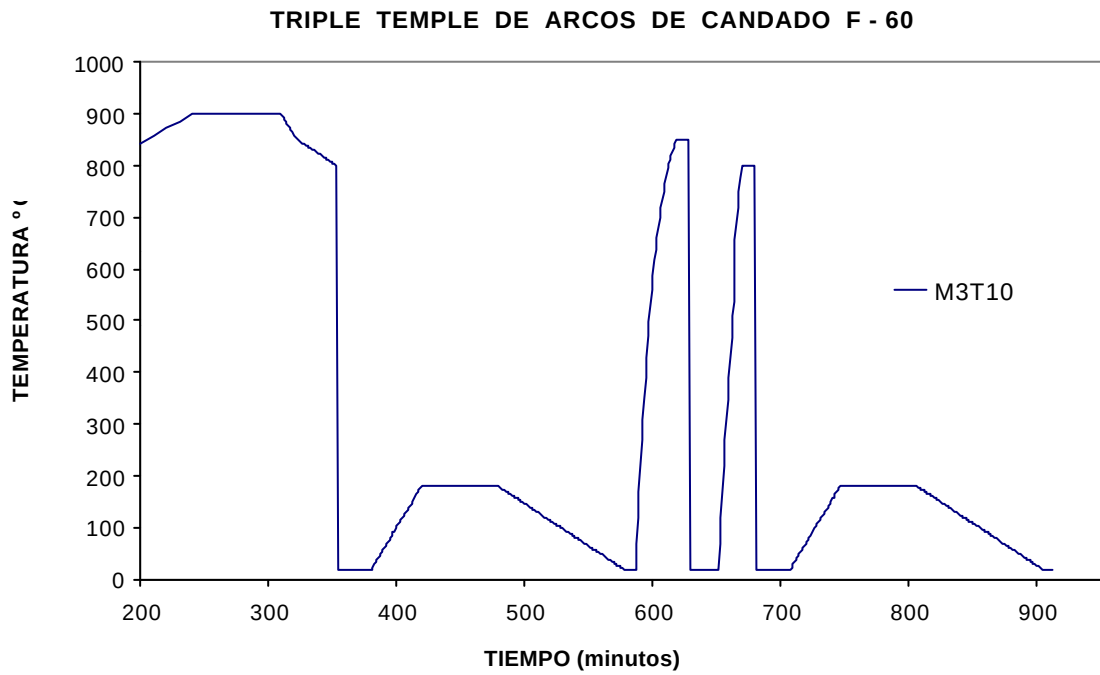
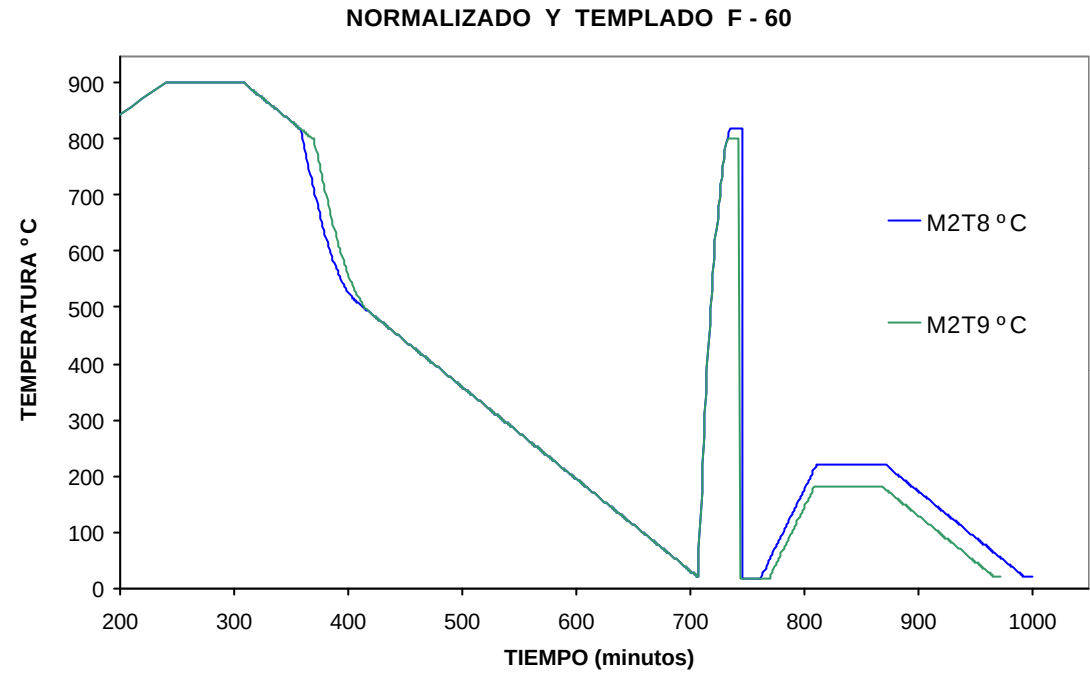


Gráfico de resultado de pruebas de impacto

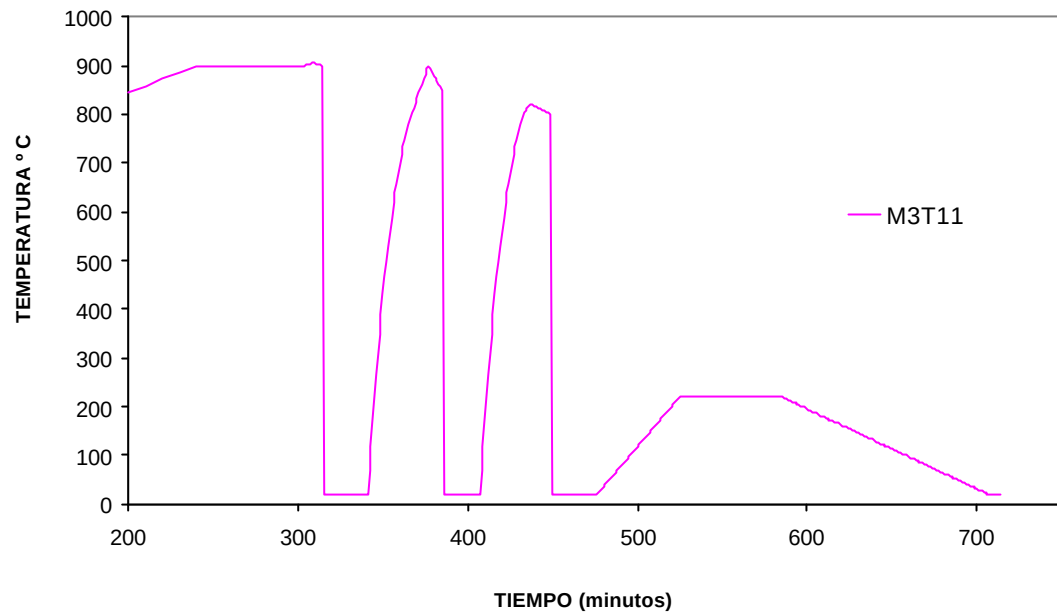


6.3.4. Pruebas en arcos F-60

Curva de ciclo de cementado y tratamiento térmico



TRIPLE TEMPLE DE ARCOS DE CANDADO F - 60



TRIPLE TEMPLE DE ARCOS DE CANDADO F - 60

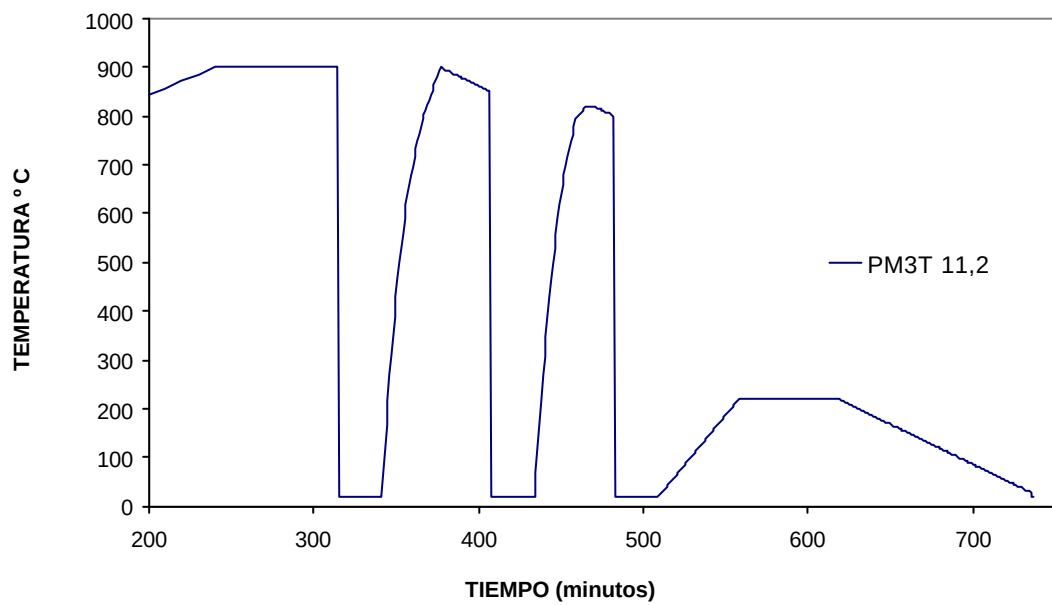


Gráfico de resultados de mediciones de dureza

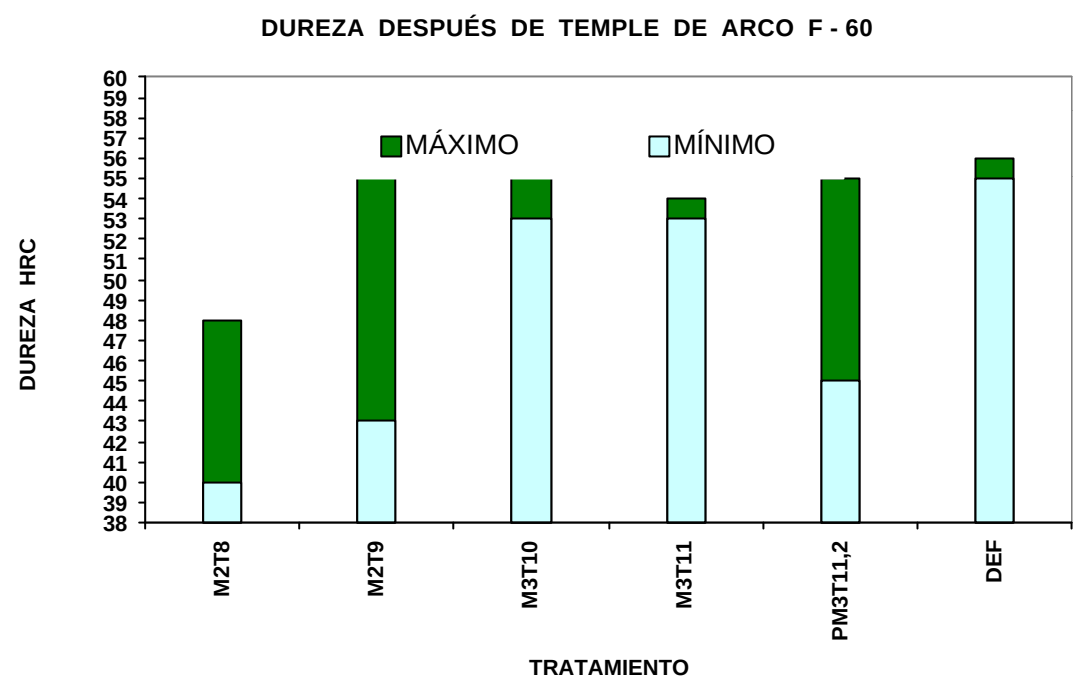


Gráfico de resultados de prueba de corte

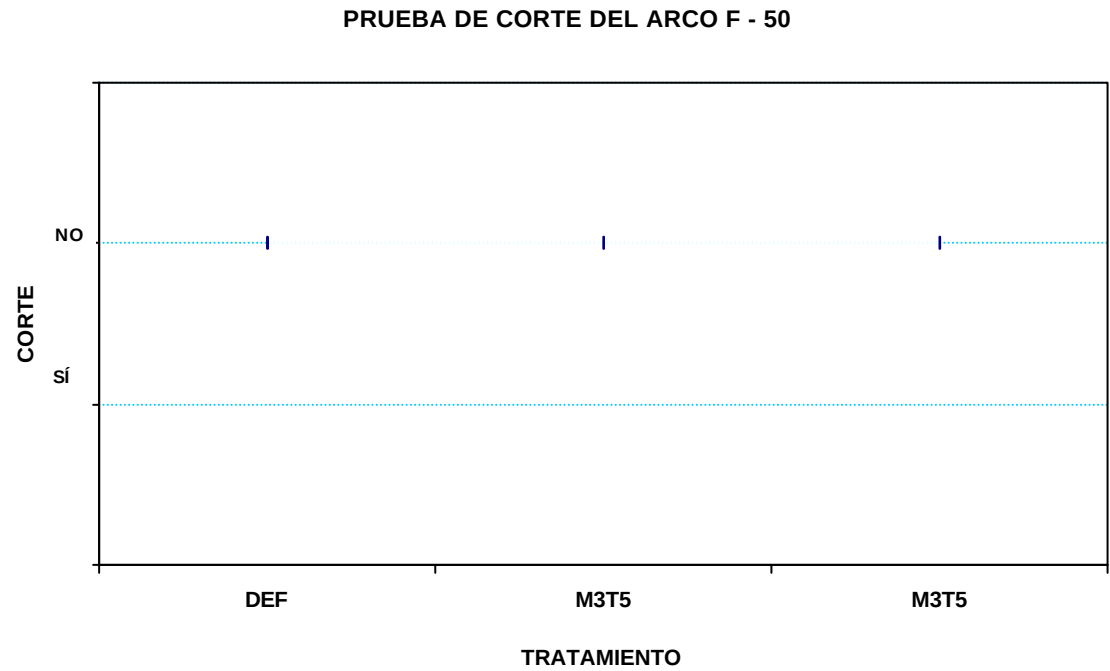
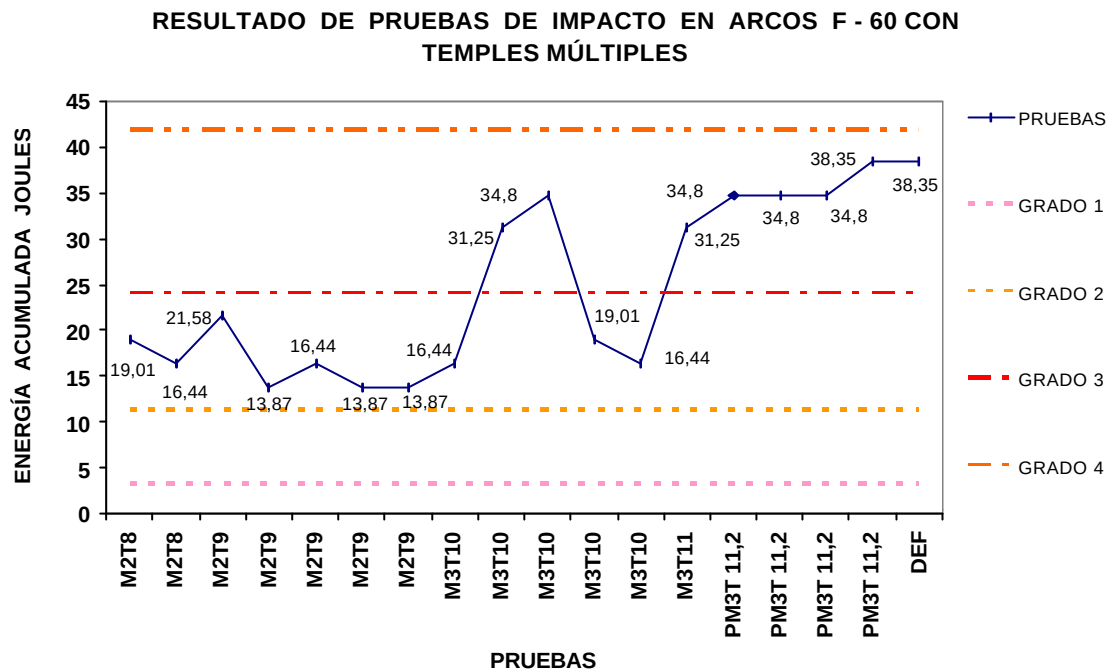


Gráfico de resultados de pruebas de impacto



6.3.5. Pruebas en arcos F-70

Curva de ciclo de cementado y tratamiento térmico

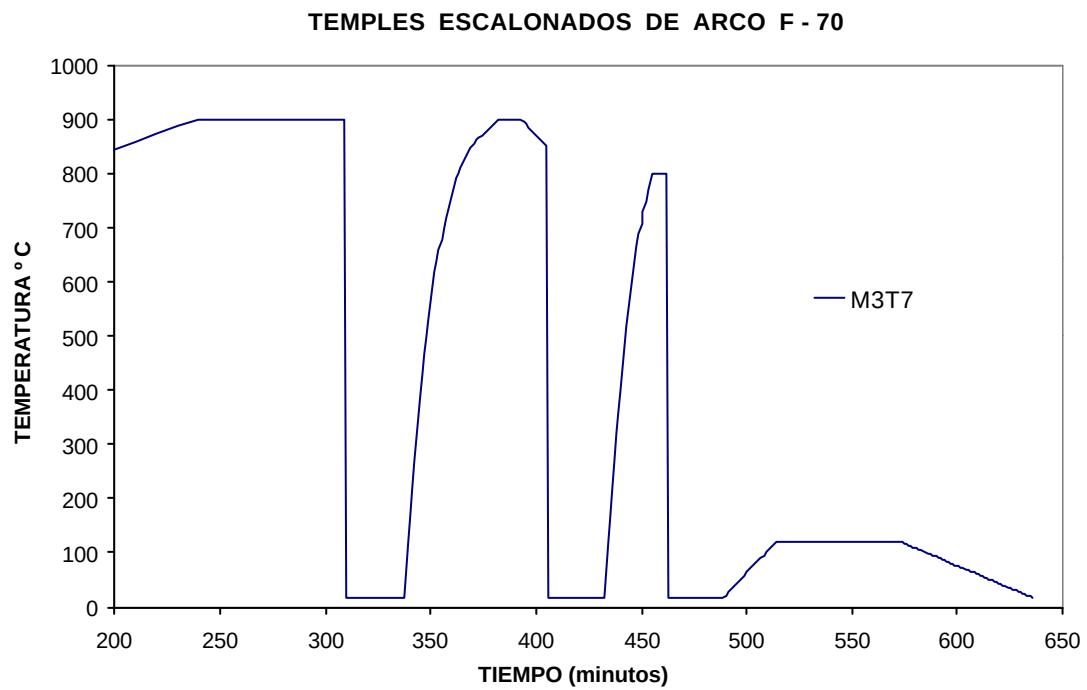
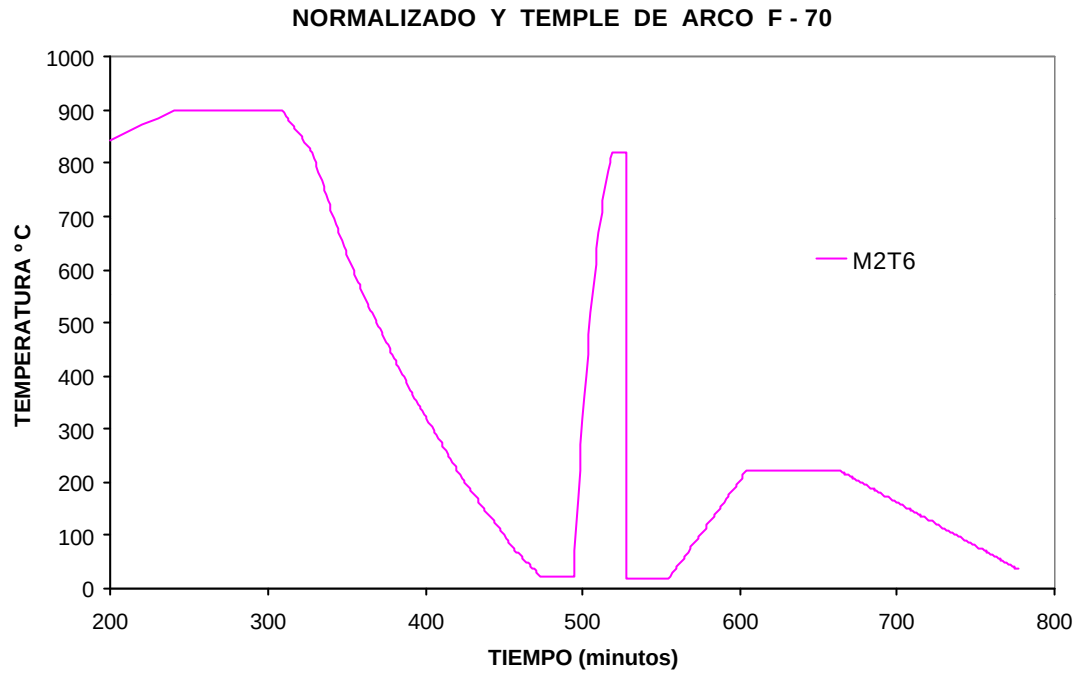


Gráfico de resultados de mediciones de dureza

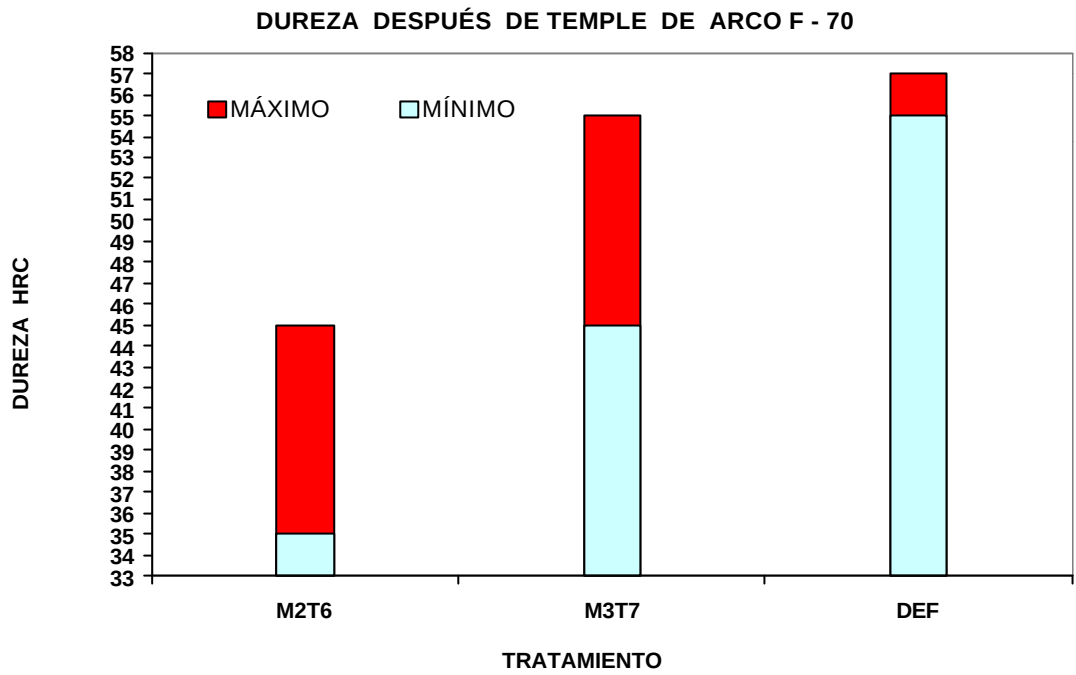


Gráfico de resultados de prueba de corte

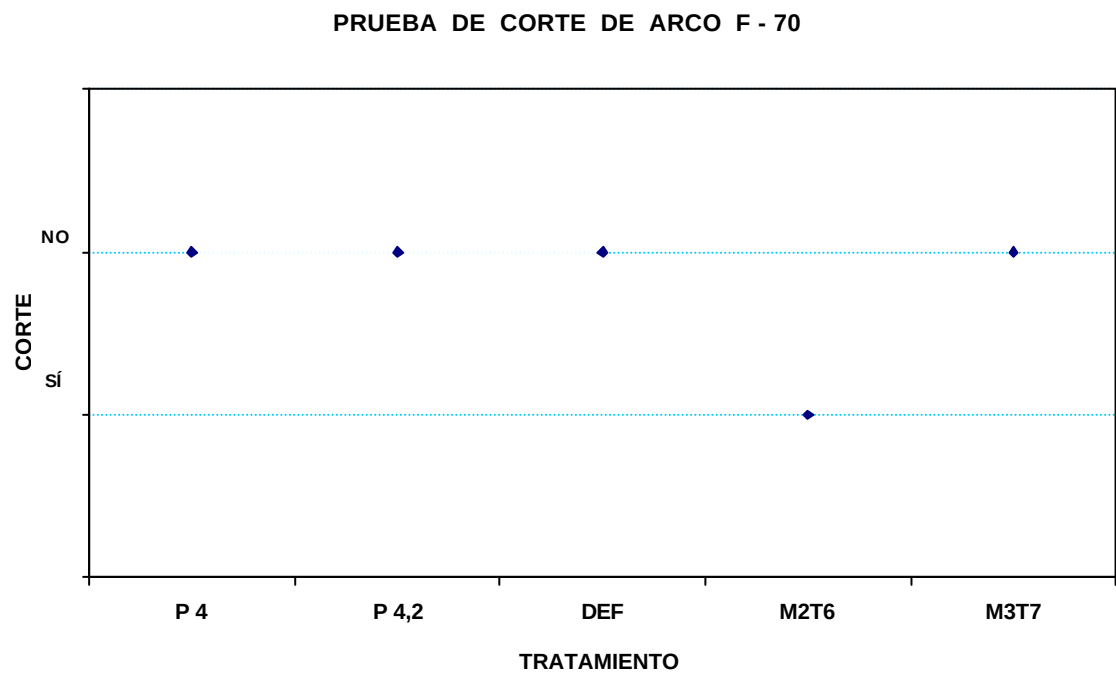
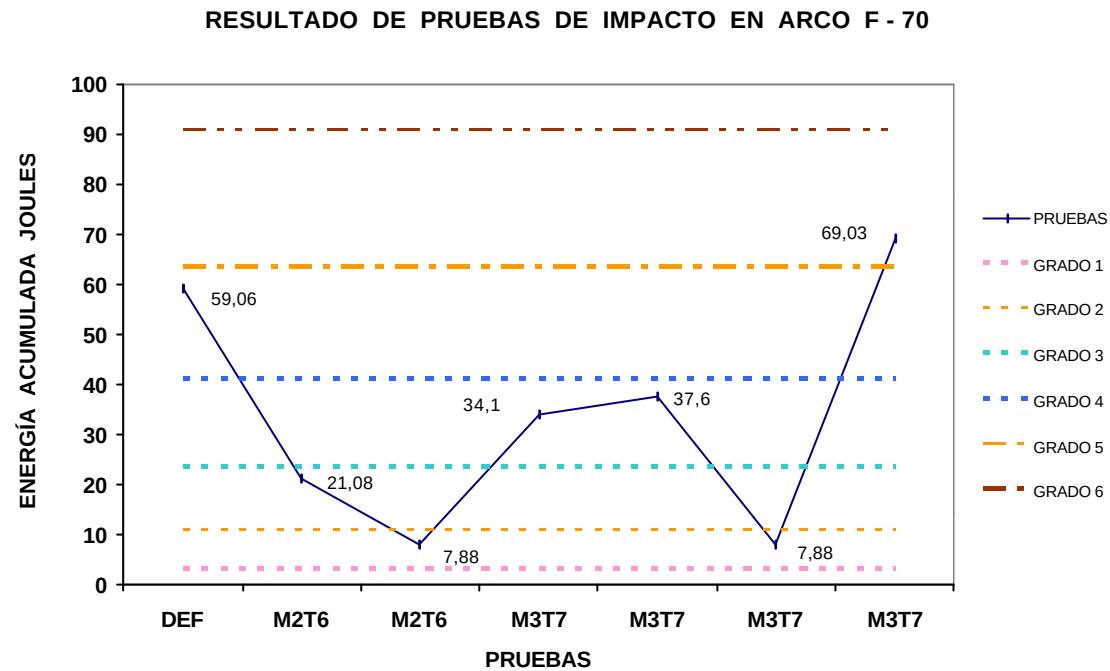


Gráfico de resultados de pruebas de impacto



VII. DISEÑO FINAL

7.1. Parámetros de proceso para arco F – 50

MODELO	PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
F - 50	Temperatura de cementación	°C	900
	Tiempo de cementación	minutos	40
	Temperatura de temple	°C	850
	Temperatura de revenido	°C	150 - 180
	Tiempo de revenido	minutos	60 - 120

7.2. Parámetros de proceso para arco F – 60

MODELO	PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
F - 60	Temperatura de cementación	°C	900
	Tiempo de cementación	minutos	60
	Temperatura de temple	°C	850
	Temperatura 2 calentamiento	°C	850
	Temperatura de temple	°C	850
	Temperatura 3 calentamiento	°C	800
	Temperatura de temple	°C	800
	Temperatura de revenido	°C	150 - 180
	Tiempo de revenido	minutos	60 - 120

7.3. Parámetros de proceso para arco F -70

MODELO	PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
F - 70	Temperatura de cementación	°C	900
	Tiempo de cementación	minutos	60
	Temperatura de temple	°C	850
	Temperatura de revenido	°C	150 - 180
	Tiempo de revenido	minutos	60 - 120

VIII. ANALISIS, TRATAMIENTO Y DISCUSION DE RESULTADOS

8.1. Metalografía de las muestras con tratamiento definitivo y algunas muestras con tratamientos experimentales

El principal efecto de la cementación en una pieza de acero es la difusión de carbono, por lo que se aprecia en diferentes concentraciones, desde una alta concentración de carbono en la superficie hasta un contenido propio de la composición original, en el centro de la pieza. Este hecho es observado directamente en la pieza cementada mediante una preparación de la superficie, como es el corte, pulido y ataque químico apropiado.

Publicaciones sobre cementación muestran microfotografías de piezas cementadas, allí se observa una variación de las fases presentes a medida que se aleja de la superficie y se dirige hacia el núcleo. Este hecho es considerado para una clasificación de las zonas de la capa cementada, como se denomina ahora zona hipereutectoide, zona eutectoide y zona hipoeutectoide.

Una pieza, después de cementada, se puede considerar compuesta por dos zonas principales de composición química diferente: el alma o núcleo central y la periferia o capa cementada, existiendo entre ellas otra tercera zona de transición de menor importancia.^[7]

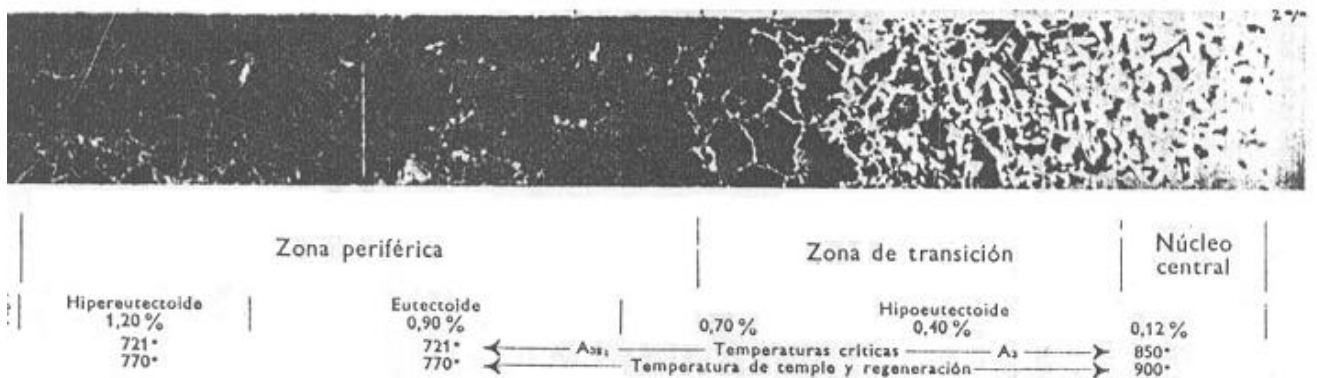
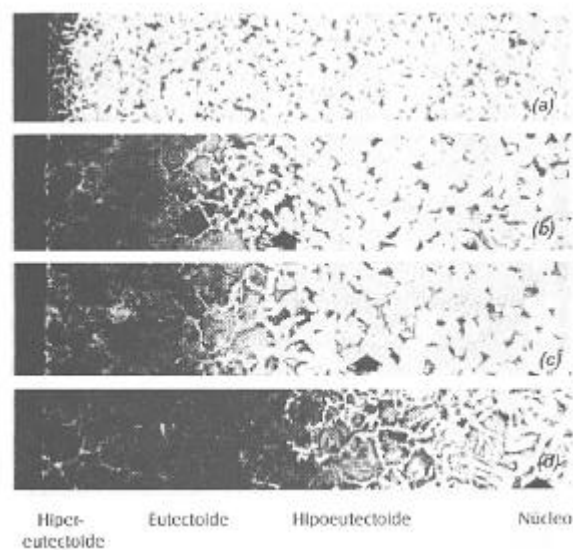


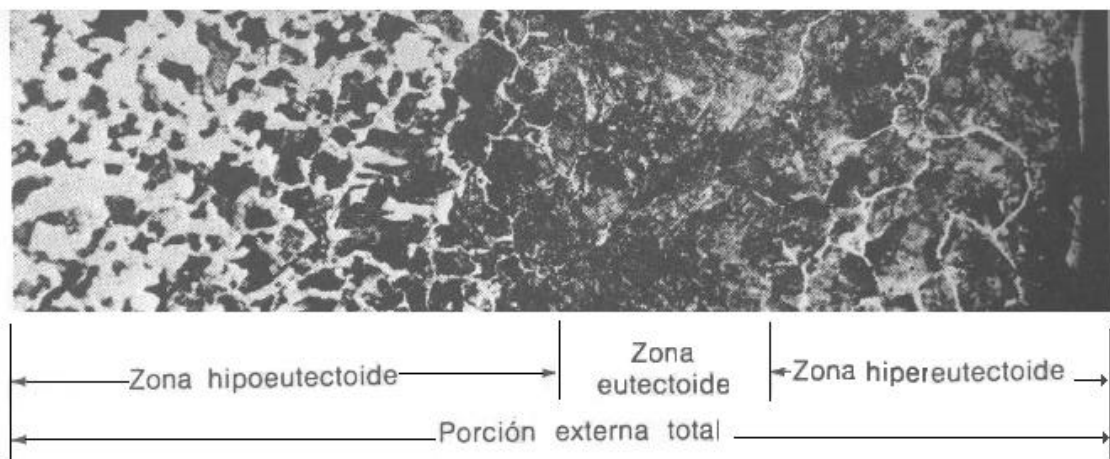
FIGURA 322
Cementación a 925° con 60 % de carbón de madera y 40 % de carbonato bórico, durante 10 horas, de un acero de 0,12 % de carbono.

Otra muestra de la clasificación de zonas es indicada mediante microfotografías:

Efecto del tiempo de carburización sobre la microestructura de la capa carburizada en un acero 0.17% C , 0.05% Si, 0.64 % Mn. Todas la muestras fueron carburizadas en caja a 940 °C por tiempo indicado en cada muestra; luego enfriadas lentamente (a) 0.5 h (b) 1 h (c) 2 h y (d) 4 h. El contenido de carbono en la superficie para un tiempo corto de carburización (0.5 h) fue alrededor de 0.6 % C, mientras que para tiempos mayores, el contenido de carbono fue de 1.1% C; La variación de la microestructura puede permitir estimar con buena exactitud la profundidad de la capa carburizada, como muestra con las flechas. Ataque con picral 75X.^[8]



Después que la difusión ha tenido lugar por la cantidad de tiempo requerido, dependiente de la profundidad deseada para la parte externa, la pieza se saca del horno y se enfría. Si la pieza se enfría en un horno y se examina microscópicamente, el gradiente de carbono será visible en el cambio gradual de la estructura. En la superficie está la zona hipereutectoide de perlita con una red blanca de cementita, seguido sólo por la zona eutectoide de perlita; y finalmente, la zona hipoeutectoide de perlita y ferrita, con la cantidad de ferrita aumentando hasta que se alcanza la parte interna. Esto se ilustra en la siguiente figura.^[9]



Acero al 0.20% de carbono carburizado por empaquetamiento a 1700 °F durante 6 hr y enfriado en horno. Atacado químicamente en nital al 2% 30x .

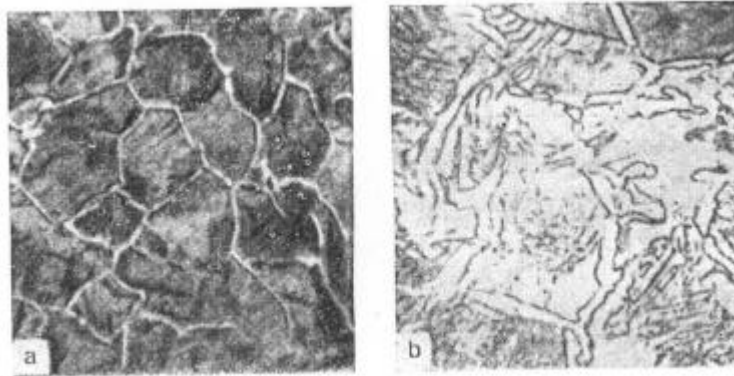


Fig. 263. Microestructura de la capa hipereutectoide $\times 500$
a, estructura normal; b, estructura anómala

La estructura normal de la zona hipereutectoide es de perlita laminar bordeada de una fina red de cementita secundaria (fig 263 a), pero a veces se encuentra la llamada estructura anómala, en la cual la cementita que hay en exceso se halla en forma de inclusiones de bastante masa (fig 263 b) y está rodeada a menudo de ferrita libre.^[10]

En las micrografías anteriores de capa cementada se muestra un decrecimiento de las áreas perlíticas, como indicativo del decrecimiento del contenido de carbono.

Las micrografías anteriores son de piezas que han recibido un tratamiento de cementación sólida y enfriamiento lento, distinto a las muestras de este proyecto, que recibieron tratamiento de cementación gaseosa y temple. Las micrografías presentas anteriormente nos sirven como patrón de referencia para comparar las microfotografías de los arcos y así poder clasificar las zonas. La validez de este tipo de patrón se fundamentaría en el hecho de que ambas muestras recibieron un proceso de difusión de carbono a temperaturas similares, para esto debemos advertir que no se observaran perlitas en la zona hipereutectoide, sino martensita.

Un listado de los productos de transformación de fase a observar en aceros al carbón es la siguiente:

Martensita	(a')	ferrita allotriomorfa	(a)
Bainita inferior	(a _{lb})	ferrita acicular	(a _a)
Bainita superior	(a _{ub})	ferrita widmanstätten	(a _w)
Perlita	(P)	ferrita idiomorfa	(a _i)

Representación gráfica de los principales productos de transformación de fase

FERRITE	F-I, Ferrite Allotriomorph	F-II, Proeutectoid F. or Grain boundary Polygonal F.	F-III, F-Side plate or Bainitic F.	F-IV, Intragranular Rodlike F. or Acicular F.	F-V, Intragranular Fine Grained F.
	P-I, Lamellar Pearlite Optical M.	P-I, Degenerate Pearlite Electron M.	P-II, Fine Colony Pearlite Optical M.	P-II, Fine Colony Pearlite Electron M.	
BAINITE	B-I, Upper Bainite Optical M.		B-I, Lower Bainite Electron M.		
	M-I, Lath Martensite		M-II, M-A Constituent		
MARTENSITE					

Clasificación de los mecanismos de transformación de los productos de transformación de fase en los aceros al carbón

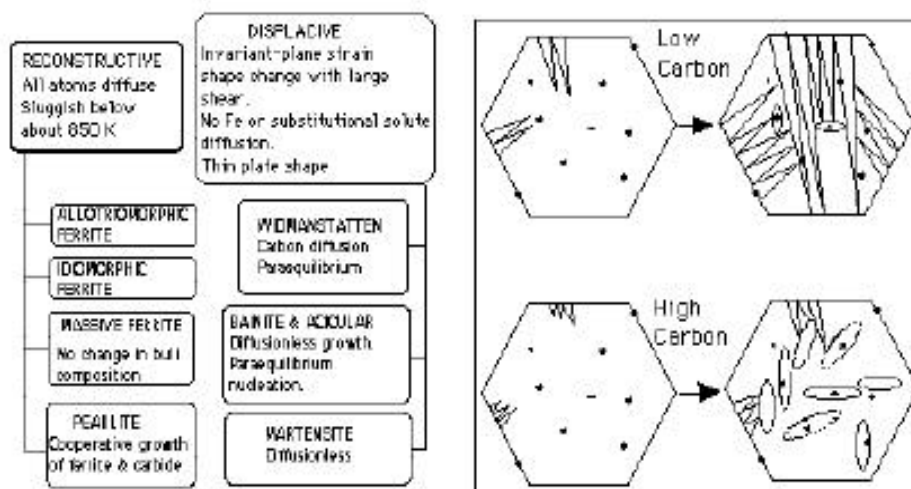
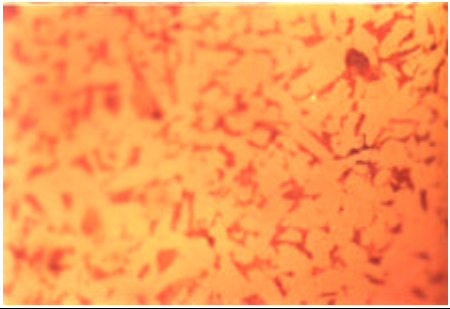
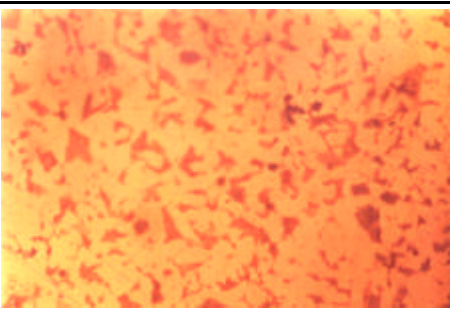
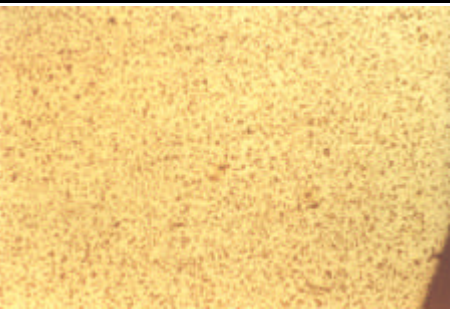


Fig. 3: (a) Classification of transformation mechanisms. (b) Hard impingement between γ grain surface nucleated Widmanstätten ferrite and acicular ferrite which is intragranularly nucleated on non-metallic inclusions.

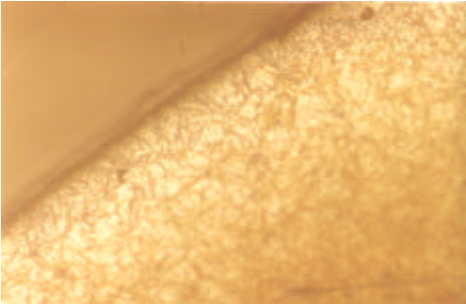
Análisis de las microestructuras observadas en la sección transversal de arcos con tratamiento definitivo y experimental

Una vez realizada las clasificaciones procedemos a analizar las microfotografías de las muestras de arcos de candado con tratamientos definitivos y algunos tratamientos experimentales.

 Foto: 001 - 50 Parte: Centro	La región observada corresponde al núcleo. Se observa una estructura bifásica con predominio granos de ferrita equiaxial y estructuras perlíticas de color oscuro. Material original: acero SAE 1022 001 Tamaño de grano $G = 7,21$
 Foto: 002 - 60 Parte: Centro	La región observada corresponde al núcleo. Se observa una estructura bifásica con predominio de granos de ferrita equiaxial y estructuras perlíticas de color oscuro. Material original: acero SAE 1022 002 Tamaño de grano $G = 7,84$
 Foto: 003 - 70 Parte: Borde	La región observada corresponde al borde de los arcos. Se observa una matriz ferrítica con áreas de perlita oscura, los límites de granos son imperceptibles a este aumento. Material original: acero SAE 1022

MODELO DE ARCO F - 50

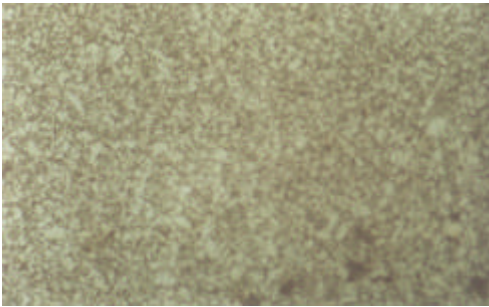
 Foto: 004 - 50 Parte: BORDE Tratamiento : EX 3,2 Aumento : 200 X	La región observada corresponde al borde de la pieza (zona hipereutectoide). Se observa un cambio gradual de la estructura, una franja de martensita. Apartándose del borde, se observa granos de interior oscuro y límites granos claros de ferrita (zona hipoeutectoide). El espesor de capa cementada $e = 0,430$ mm
 Foto: 005 - 50 Parte: BORDE CENTRO Tratamiento : EX 3,2 Aumento : 500 X	La región observada se localiza antes del borde de la pieza. Se observa granos poligonales con límites de ferrita, además de láminas largas o agujas de ferrita que entran al grano; esta estructura es reconocida como estructura de Widmanstätten.
 Foto: 006 - 50 Parte: CENTRO Tratamiento : EX 3,2 Aumento : 500 X	La región observada es próxima a la microfotografía anterior (005-50). Se observa granos poligonales, límites de ferrita, estructura de Widmanstätten. El tamaño de grano $G = 8,26$
 Foto: 007 - 50 Parte: BORDE Tratamiento : DEF Aumento : 200 X	La región observada corresponde al borde de la pieza (zona hipereutectoide). Se observa agujas de martensita oscura y áreas claras de austenita retenida.

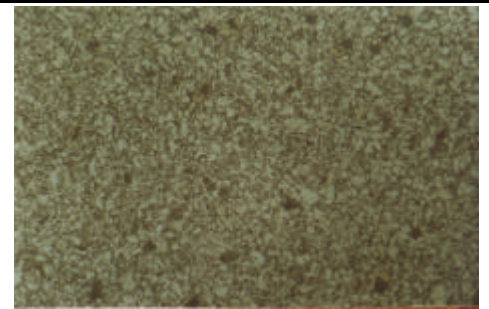
	La región observada es próxima a la microfotografía anterior. Aquí se observa con mayor contraste las agujas de martensita oscuras y las áreas de austenita retenida.
Foto: 008 - 50 Parte: BORDE	Tratamiento : DEF Aumento : 200 X

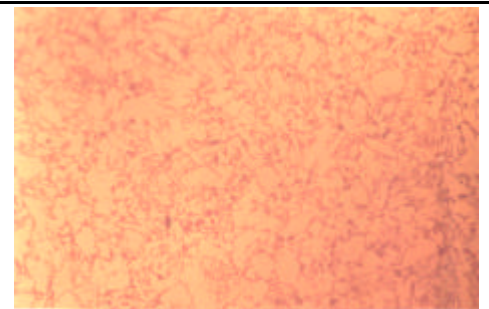
	La región observada corresponde al borde de la pieza (zona hipereutectoide). Se aprecia una franja oscura; alejándose del borde, se presentan granos de color claro y límites de color oscuro, lo cual indicaría granos de cementita con límites de grano perlíticos. El espesor de capa cementada $e = 0,592$ mm
Foto: 009 - 50 Parte: BORDE	Tratamiento : DEF Aumento : 200 X

	La región observada corresponde al núcleo de la pieza (zona hipoeutectoide). Se aprecia una estructura de granos poligonales con límites de ferrita; se observa laminas o agujas de ferrita, propios de la estructura Widmanstätten. El tamaño de grano $G = 7,62$
Foto: 010 - 50 Parte: CENTRO	Tratamiento : DEF Aumento : 500 X

	La región observada se localiza poco antes del borde de la pieza. Se aprecia un cambio gradual de estructura. La mayor parte de la microfotografía muestra la zona hipoeutectoide; se observa granos de ferrita de forma acicular y los granos de forma poligonal con límites deformados. El tamaño de grano $G = 8,98$
Foto: 011 - 50 Parte: BORDE	Tratamiento : M3T5 Aumento : 200 X

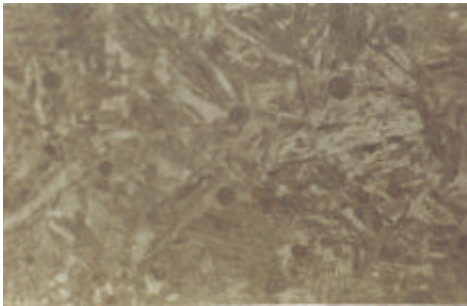
	La región observada corresponde al núcleo de la pieza. Se observa la zona hipoeutectoide con predominio de granos ferríticos, además de la forma acicular y poligonal con límites distorsionados. El tamaño de grano $G = 9,62$
Foto: 012 - 50 Parte: BORDE CENTRO	Tratamiento : M3T5 Aumento : 200 X

	La región observada corresponde al núcleo de la pieza, con granos de ferrita y límites de perlita. La forma de los granos es acicular y poligonal distorsionada; se observan algunas columnas de ferrita que se distribuyen de manera similar a las agujas de Widmanstätten. El tamaño de grano $G = 10,28$
Foto: 013 - 50 Parte: CENTRO	Tratamiento : M3T5 Aumento : 200 X

	La región observada se localiza poco antes del borde de la pieza. Solo se observa una microestructura que corresponde a la zona hipoeutectoide, que está formada por granos ferríticos, límites de grano perlíticos y agujas delgadas de ferrita. El tamaño de grano $G = 10,89$
Foto: 014 - 50 Parte: BORDE CENTRO	Tratamiento : M3T5 Aumento : 500 X

MODELO DE ARCO F - 60

	La región observada corresponde al borde de la pieza (zona hipereutectoide). Se observa un cambio gradual de estructura. En la zona hipereutectoide se observa estructura martensítica con agujas dispersas sin orientación preferente. El espesor de capa cementada $e = 0,261$ mm
Foto: 015 - 60 Parte: BORDE	Tratamiento : EX 4 Aumento : 500 X

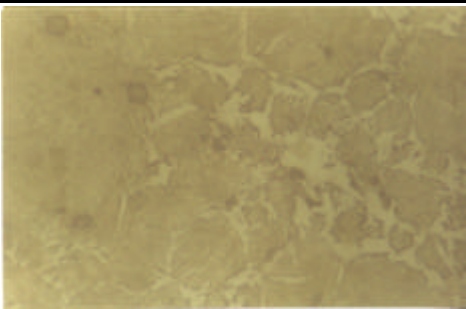
	La región observada se localiza poco antes del borde. Se observa una estructura acicular de martensita. Las formas de aguja de martensita y distribución se asemejan a la martensita formada en los aceros eutectoides; además, se presentan áreas de austenita retenida entre las agujas de martensita.
Foto: 016 - 60 Parte: CERCA BORDE	Tratamiento : EX 4 Aumento : 1000 X

	La región observada corresponde al núcleo de la pieza. Se observa una estructura martensítica e inclusiones en la matriz.
Foto: 017 - 60 Parte: CENTRO	Tratamiento : EX 4 Aumento : 500 X

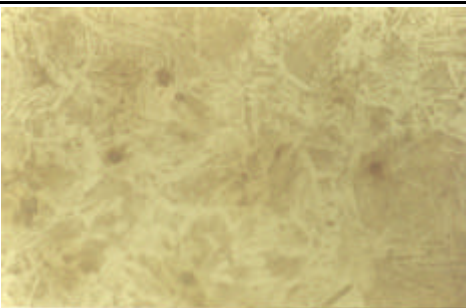
	La región observada corresponde al borde de la pieza (región hipereutectoide). Se observa estructura martensítica y áreas claras de austenita retenida.
Foto: 018 - 60 Parte: BORDE	Tratamiento : EX 5 Aumento : 200 X

	La región que se observa corresponde al borde de la pieza. Difícilmente se puede apreciar las agujas de martensita; las áreas claras corresponderían a la austenita retenida.
Foto: 019 - 60 Parte: BORDE	Tratamiento : EX 5 Aumento : 1000 X

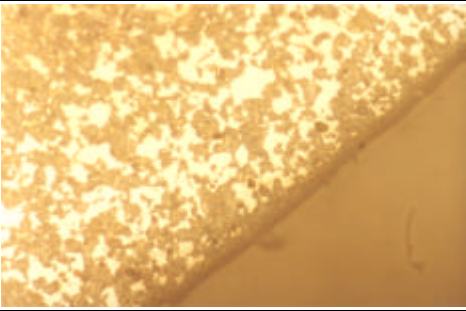
	La región observada corresponde al núcleo de la pieza (zona hipoeutectoide). Se observa granos con límites de ferrita con estructuras aciculares blancas que penetran al interior del grano, estructura Widmanstätten. El tamaño de grano $G = 7,48$
Foto: 020 - 60 Parte: CENTRO Tratamiento : EX 5 Aumento : 500 X	

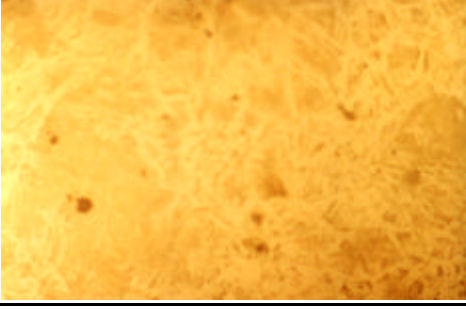
	La región observada corresponde al núcleo de la pieza (zona hipoeutectoide). Se observa granos poligonales con una red de ferrita, con agujas que penetran al interior de los granos. El tamaño de grano $G = 9.75$
Foto: 021 - 60 Parte: CENTRO Tratamiento : EX 5 Aumento : 1000 X	

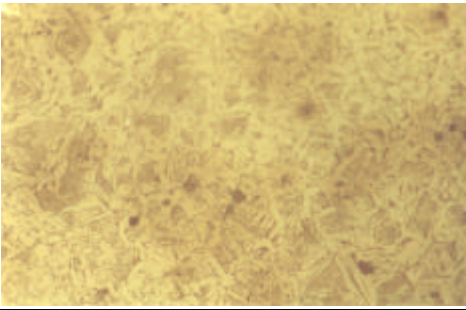
	La región observada corresponde al borde de la pieza (zona hipereutectoide). Se observa agujas de martensita y áreas claras de austenita retenida. El espesor de capa cementada $e = 0,293 \text{ mm}$
Foto: 022 - 60 Parte: BORDE Tratamiento : DEF 1T Aumento : 200 X	

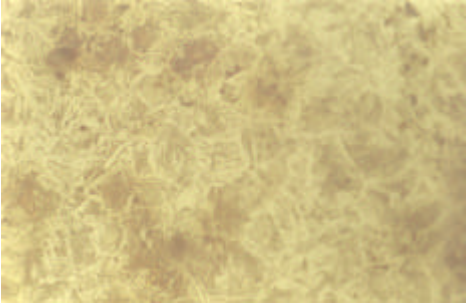
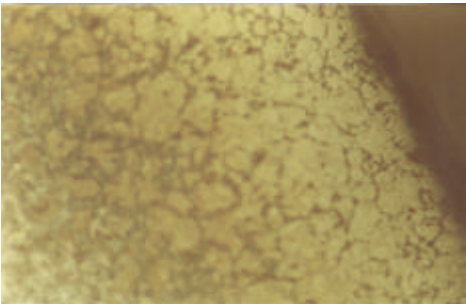
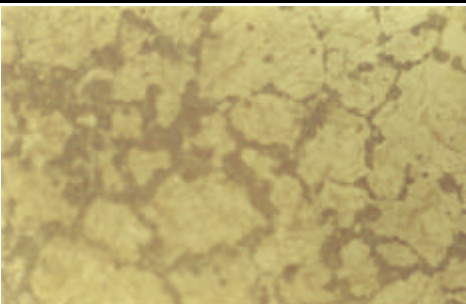
	La región observada corresponde al núcleo (zona hipoeutectoide). Se presentan granos poligonales con límites de ferrita, estructuras aciculares de ferrita. Esta microfotografía guarda semejanza con las estructuras observadas en 021-60. El tamaño de grano $G = 7,48$
Foto: 023 - 60 Parte: CENTRO Tratamiento : DEF 1 T Aumento : 500 X	

	La región observada corresponde al núcleo (zona hipoeutectoide). Se observan granos poligonales con límites de ferrita y granos aciculares, también se aprecia un ensanchamiento de los granos aciculares respecto a la microfotografía 023-60. El tamaño de grano $G = 7,55$
Foto: 024 - 60 Parte: CENTRO	Tratamiento : DEF 1 T Aumento : 500 X

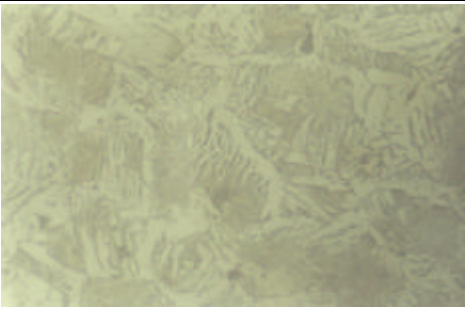
	La región observada corresponde al borde de la pieza (zona hipereutectoide). Se aprecia un cambio gradual, una franja oscura con martensitas. Alejándose del borde, se observan granos claros con límites de grano oscuros, por tratarse de una zona próxima a la hipereutectoide; las líneas oscuras serían perlita; y las claras, cementita.
Foto: 025 - 60 Parte: BORDE	Tratamiento : DEF 2 T Aumento : 200 X El espesor de capa $e = 0,223$ mm El tamaño de grano $G = 6,37$

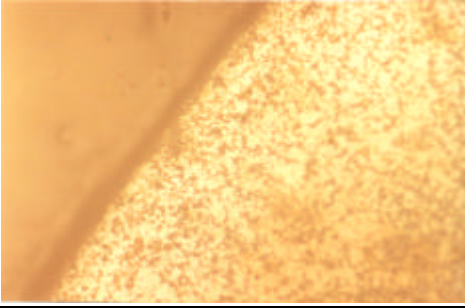
	La región observada corresponde al núcleo de la pieza (zona hipoeutectoide). Se observan granos poligonales con una red de ferrita como límite de grano y estructuras de Widmanstätten, además de un ensanchamiento en las estructuras aciculares de ferrita. El tamaño de grano $G = 4,3$
Foto: 026 - 60 Parte: CENTRO	Tratamiento : DEF 2 T Aumento : 200 X

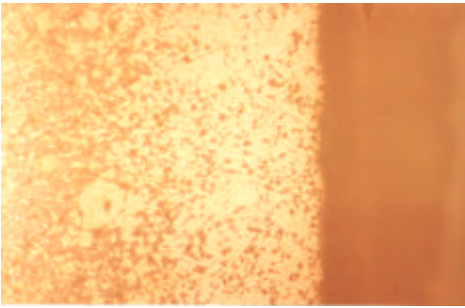
	La región observada corresponde al núcleo de la pieza (zona hipereutectoide). Se observan granos aciculares de ferrita y estructuras de Widmanstätten. El tamaño de grano $G = 8,46$
Foto: 027 - 60 Parte: CENTRO	Tratamiento : DEF 2 T Aumento : 500 X

	La región observada corresponde al núcleo (zona hipoeutectoide). Se observan granos aciculares de ferrita distribuidos de forma radial, encerrando áreas oscuras, también zonas donde la ferrita está como límite de grano, inclusive formando estructura Widmanstätten.
Foto: 028 - 60 Parte: CENTRO Tratamiento : DEF 2 T Aumento : 500 X	El tamaño de grano $G = 9,39$
	La región observada corresponde al borde (zona hipereutectoide). Se observa una delgada franja oscura de martensita. Alejándose del borde, se observan granos oscuros con límites de grano claro.
Foto: 029 - 60 Parte: BORDE Tratamiento : DEF 2 T Aumento : 200 X	El tamaño de grano $G = 5,93$
	La microfotografía muestra una ampliación de la microfotografía 029-60 de la zona borde. Se observan granos con límites de grano perlíticos oscuros; los interiores del grano claro muestran formas aciculares. Se observan nódulos en los límites de grano, se trataría de trostita y una delgada línea clara al interior de cementita.
Foto: 030 - 60 Parte: BORDE Tratamiento : DEF 2 T Aumento : 500 X	El tamaño de grano $G = 6,21$
	La microfotografía fue tomada en la misma región anterior (030-60). Se observan granos con trostita; al interior de los granos se observan agujas de martensita, además de una línea de cementita al interior de los límites de grano de perlita.
Foto: 031 - 60 Parte: BORDE Tratamiento : DEF 2 T Aumento : 500 X	El tamaño de grano $G = 6,75$

	La microfotografía corresponde a la región del núcleo (zona hipoeutectoide). Se observan agujas de ferrita con orientación casi radial, por lo que encierran regiones oscuras, también se observa ferrita como estructura de Widmanstätten. El tamaño de grano $G = 7.04$
Foto: 032 - 60 Parte: CENTRO Tratamiento : DEF 2 T Aumento : 1000 X	

	La región observada corresponde al núcleo (zona hipoeutectoide). Se observan granos aciculares de ferrita distribuidos radialmente, formando fronteras; también se observa ferrita como estructura de Widmanstätten. El tamaño de grano $G = 7,34$
Foto: 033 - 60 Parte: CENTRO Tratamiento : DEF 2 T Aumento : 1000 X	

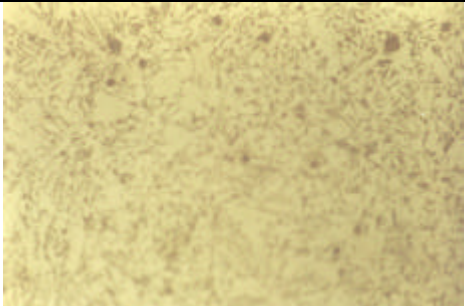
	La región observada corresponde al borde de la pieza (zona hipereutectoide). Se observa una delgada franja de martensita; alejándose del borde, se observan granos de color claro rodeados de límites oscuros de perlita. El espesor de capa $e = 0,173 \text{ mm}$
Foto: 034 - 60 Parte: BORDE Tratamiento : DEF 3 T Aumento : 200 X	

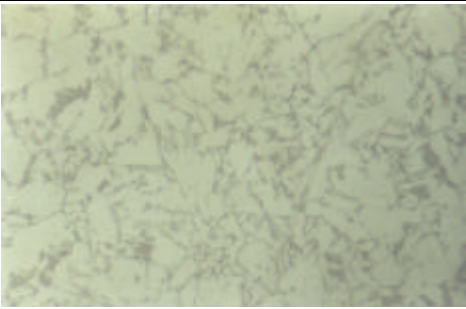
	La región observada corresponde al borde de la pieza (zona hipereutectoide). Se observa una delgada franja oscura de martensita; alejándose del borde, se observa áreas claras encerradas por límites oscuros; avanzando al núcleo, se observan los granos poligonales con límites de ferrita, propios de las estructuras hipoeutectoide. El espesor de capa $e = 0,286 \text{ mm}$
Foto: 035 - 60 Parte: BORDE Tratamiento : DEF 3 T Aumento : 200 X	

	La región observada corresponde al borde de la pieza. Se aprecia una franja delgada de martensita. Alejándose del borde, se observan áreas claras encerradas por límites oscuros; también se observa granos de ferrita de forma acicular propio de la zona hipoeutectoide.
Foto: 036 - 60 Parte: BORDE	Tratamiento : DEF 3 T Aumento : 200 X
El espesor de capa cementada $e = 0.541 \text{ mm}$	

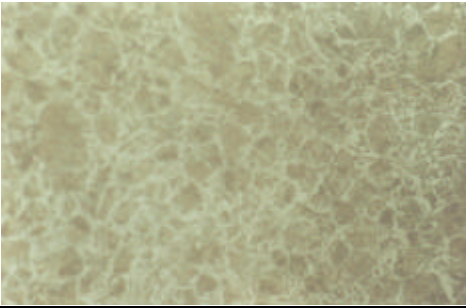
	La región observada corresponde al núcleo de la pieza (zona hipoeutectoide). Se observan granos de ferrita de forma acicular y granos poligonales con límites distorsionados, además de algunas inclusiones en la matriz.
Foto: 037 - 60 Parte: CENTRO	Tratamiento : DEF 3 T Aumento : 500 X
El tamaño de grano $G = 10,10$	

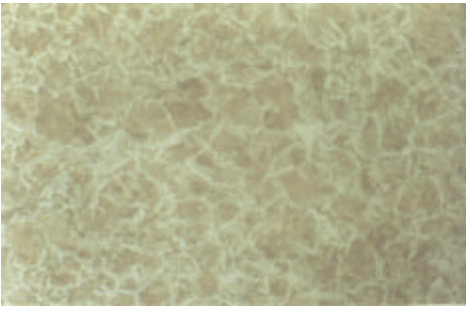
	La región observada corresponde al borde (zona hipereutectoide). Se observa una franja de martensita. Apartándose del borde, la zona eutectoide e hipoeutectodie se presenta difusa.
Foto: 038 - 60 Parte: BORDE	Tratamiento : DEF 3 T Aumento : 200 X
El espesor de capa $e = 0,534 \text{ mm}$	

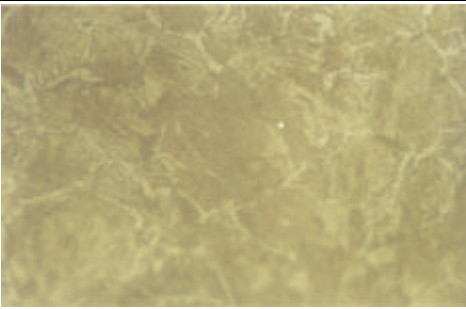
	La región observada corresponde al núcleo (zona hipoeutectoide). Se observa granos de ferrita de forma acicular y algunos granos poligonales de ferrita.
Foto: 039 - 60 Parte: BORDE	Tratamiento : DEF 3 T Aumento : 500 X
El tamaño de grano $G = 10,20$	

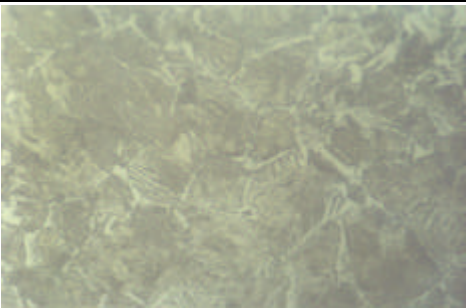
	La micrografía es una ampliación de la 039-60. Se observa los granos de ferrita distorsionada, algunos de los granos presentan forma casi equiaxial y otros de tipo acicular. El tamaño de grano $G = 11,08$
Foto: 040 - 60 Parte: CENTRO Tratamiento : DEF 3 T Aumento : 1000 X	

MODELO DE ARCO F - 70

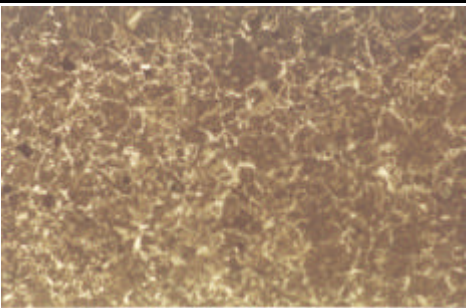
	La región observada está localizada poco antes del borde. La microestructura observada son granos con una red de ferrita como límite de grano, la ferrita también puede observarse de forma acicular y como estructura de Widmanstätten; en algunas zonas se presenta una distribución radial de los granos de ferrita. El tamaño de grano $G = 9,11$
Foto: 041 - 70 Parte: CERCA BORDE Tratamiento : EX 2 Aumento : 500 X	

	Al igual que la microfotografía anterior, se observan granos con límites de ferrita y estructuras de Widmanstätten. El tamaño de grano $G = 8,33$
Foto: 042 - 70 Parte: CERCA BORDE Tratamiento : EX 2 Aumento : 500X	

	La región observada corresponde al núcleo de la pieza (zona hipereutectoide). Se observan granos poligonales, así como límites de grano ferríticos y la estructura de Widmanstätten. El tamaño de grano $G = 7,87$
Foto: 043 - 70 Parte: CENTRO Tratamiento : EX 2 Aumento : 1000 X	

	La región observada se encuentra próxima a la microfotografía anterior (043-70). Se observa un mayor contraste del interior de los granos y el límite ferrítico, así como de las agujas de ferrita, propias de la estructura de Widmanstätten. El tamaño de grano $G = 7,99$
Foto: 044 - 70 Parte: CENTRO	Tratamiento : EX 2 Aumento : 1000 X

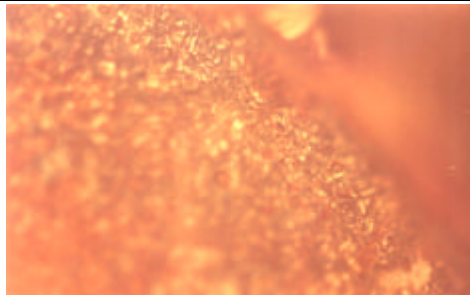
	La región observada corresponde al borde (zona hipereutectoide). Se observa sólo un cambio gradual del color, dando indicio de la zona hipereutectoide y estructura granular con límites de grano claro, propios de la estructura hipoeutectoide. El espesor de capa cementada $e = 0,546 \text{ mm}$
Foto: 045 - 70 Parte: BORDE	Tratamiento : EX 3 Aumento : 100 X

	La región observada se localiza antes del borde. Se observan granos poligonales con límites de ferrita claro. El tamaño de grano $G = 7,21$
Foto: 046 - 70 Parte: CERCA BORDE	Tratamiento : EX 3 Aumento : 100 X

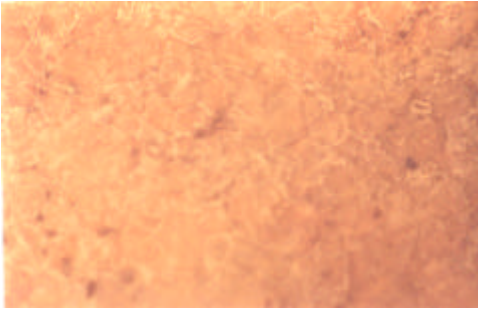
	La región observada corresponde a la zona hipoeutectoide. Se presentan granos de ferrita acicular, finamente dispersas, sin alguna orientación preferente.
Foto: 047 - 70 Parte: ENTRE BORDE CENTRO	Tratamiento : EX 3 Aumento : 500 X

	La región observada corresponde al núcleo de la pieza (zona hipoeutectoide). Se observan granos con una red de ferrita como límite, estos límites no se aprecian de forma continua, además de algunas inclusiones en la matriz. El tamaño de grano $G = 4,87$
Foto: 048 - 70 Parte: CENTRO Tratamiento : EX 3 Aumento : 500 X	

	La región observada corresponde al borde de la pieza (zona hipereutectoide). Se observa una franja oscura con granos que presenta límites de grano oscuro, propios de la zona eutectoide; alejándose de la zona eutectoide, se aprecia la zona hipoeutectoide, donde se observan los granos encerrados por límites de ferrita o formas aciculares de éste. El espesor de capa cementada $e = 0,563 \text{ mm}$
Foto: 049 - 70 Parte: BORDE Tratamiento : EX 4 Aumento : 100 X	

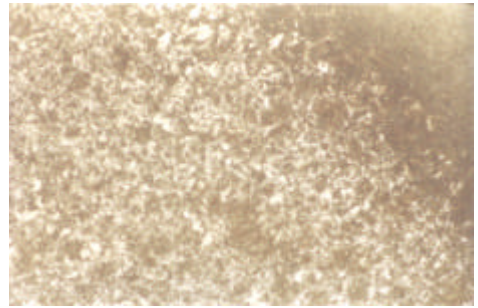
	La región observada corresponde al borde (zona hipereutectoide). Se aprecia claramente las agujas de martensita gruesa, con algunas regiones claras de austenita retenida alrededor. Las agujas de martensita se muestran de un color tenue, por lo que se deduce que sería del tipo á.
Foto: 050 - 70 Parte: BORDE Tratamiento : EX 4 Aumento : 500 X	

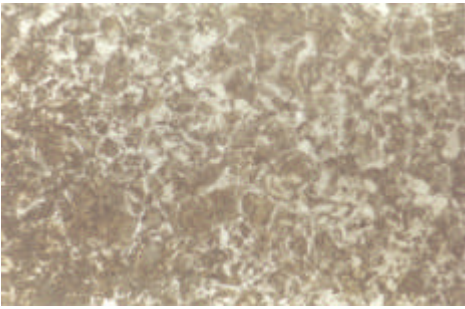
	La región observada se localiza antes de la franja de martensita, la microestructura observada es la de una martensita propia de los aceros eutectoides. Se observan granos con límites de cementita de color claro, además de algunas estructuras aciculares tipo Widmanstätten de cementita.
Foto: 051 - 70 Parte: ENTRE BORDE CENTRO Tratamiento : EX 4 Aumento : 500 X	

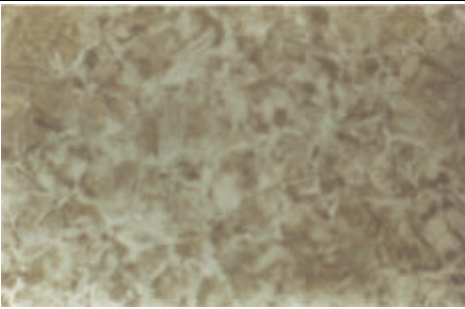
	La microfotografía observada corresponde al núcleo. Se presenta granos poligonales con límites de ferrita y estructuras tipo Widmanstätten. El tamaño de grano $G = 8,40$
Foto: 052 - 70 Parte: CENTRO	Tratamiento : EX 4 Aumento : 500 X

	La microfotografía es similar a (052-70). Se observan granos con límites de ferrita, adicionalmente se observan algunas inclusiones. El tamaño de grano $G = 7,69$
Foto: 053 - 70 Parte: CENTRO	Tratamiento : EX 4 Aumento : 500 X

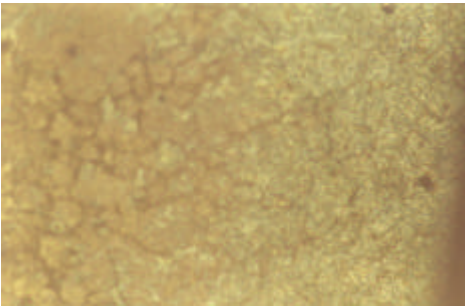
	La región observada corresponde al borde de la pieza. Se observa un cambio gradual de la microestructura, una franja oscura difusa. Alejándose del borde, granos con límites claros, propios de la zona hipoeutectoide.
Foto: 054 - 70 Parte: BORDE	Tratamiento : P 4,2 Aumento : 200 X

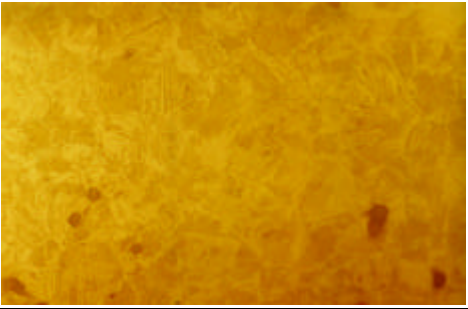
	La microfotografía corresponde a un área próxima a la anterior (054-70). En esta microfotografía se observa la zona hipoeutectoide con límites de granos ferríticos.
Foto: 055 - 70 Parte: BORDE	Tratamiento : P 4,2 Aumento : 200 X

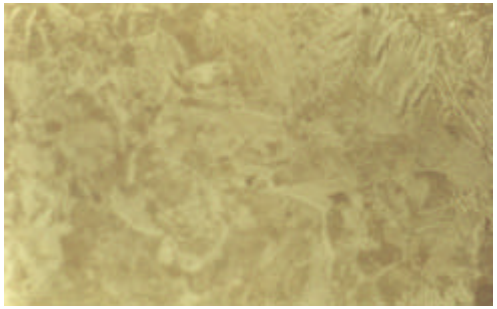
	La microfotografía corresponde a una ampliación de la anterior microfotografía (055-70). Se observa agujas de ferrita tipo Widmanstätten y granos de ferrita acicular que encierran áreas oscuras. El tamaño de grano $G = 8,13$
Foto: 056 - 70 Tratamiento : P 4,2 Parte: CERCA BORDE Aumento : 500 X	

	La región observada corresponde el núcleo de la pieza. Sólo se alcanza a distinguir límites de grano ferrítico y estructuras de aguja Widmanstätten. El tamaño de grano $G = 11,12$
Foto: 057 - 70 Tratamiento : P 4,2 Parte: CENTRO Aumento : 1000 X	

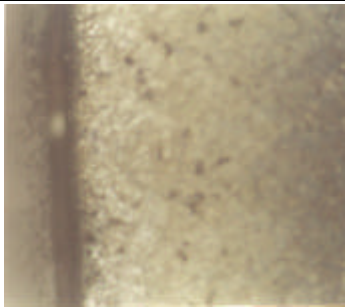
	La región observada corresponde al borde, la microestructura observada es martensita, alrededor de ésta se observan áreas claras de austenita retenida.
Foto: 058 - 70 Tratamiento : DEF Parte: BORDE Aumento : 200 X	

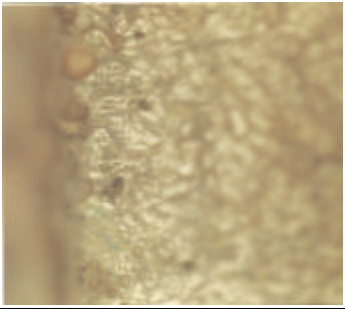
	La región observada corresponde al borde. Se observa un cambio gradual de estructuras, así como una franja de martensita.
Foto: 059 - 70 Tratamiento : DEF Parte: BORDE Aumento : 200 X	

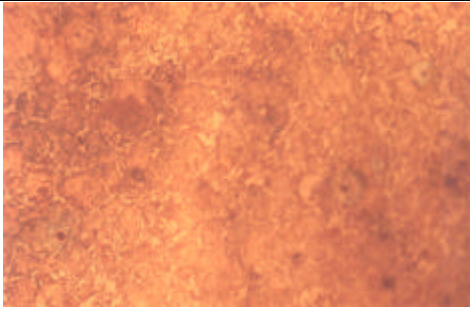
	La región observada corresponde al núcleo. Se observan granos con límites de ferrita y estructura de Widmanstätten, también se presentan granos poligonales con límites distorsionados. El tamaño de grano $G = 7,06$
Foto: 060 - 70 Parte: CENTRO	Tratamiento : DEF Aumento : 500 X

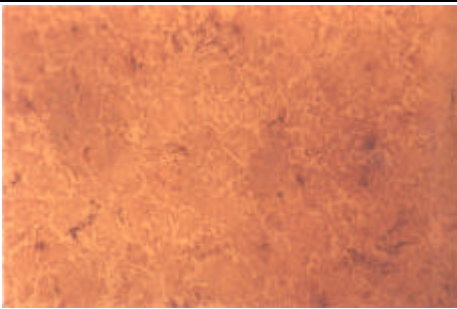
	La microfotografía corresponde a un área próxima a la microfotografía (060-70). En esta microfotografía se aprecian más largas y definidas las agujas de ferrita de Widmanstätten. El tamaño de grano $G = 6,01$
Foto: 061 - 70 Parte: CENTRO	Tratamiento : DEF Aumento : 300 X

	La microestructura corresponde a la región del borde. Se observan algunas formas aciculares y áreas blancas adyacentes, por lo que se trataría de martensita y austenita retenida.
Foto: 062 - 70 Parte: CENTRO	Tratamiento : M3T7 Aumento : 500 X

	Ambas microfotografías (062-70 y 063-70) corresponden a la región del borde. La estructura es difusa, pero se obtiene una mejor vista de las agujas de martensita y austenita retenida. El espesor de capa cementada $e = 0.262 \text{ mm}$
Foto: 063 - 70 Parte: CENTRO	Tratamiento : M3T7 Aumento : 500 X

	La región observada corresponde al borde y es una ampliación de la microfotografía anterior (062-70 y 063-70). Aquí se logra observar claramente las agujas de martensita y áreas de austenita retenida.
Foto: 064 - 70 Parte: BORDE Tratamiento : M3T7 Aumento : 1000 X	

	La región observada se localiza antes del borde y la microestructura presenta granos con límites de ferrita. Las formas de los granos poligonales presentan. Límites distorsionados, además de presentar algunas inclusiones.
Foto: 065 - 70 Parte: CERCA BORDE Tratamiento : M3T7 Aumento : 500 X	

	La región observada corresponde al núcleo. Se observan granos con límite de ferrita igual que la microestructura anterior (065-70), la forma de los granos es poligonal distorsionado. Tamaño de grano $G = 8,65$
Foto: 066 - 70 Parte: CENTRO Tratamiento : M3T7 Aumento : 500 X	

Cuadro de resumen de medidas de tamaño de grano G

MEDIDA DEL TAMAÑO DE GRANO POR MÉTODO DE INTERCEPCIÓN DE TRES CÍRCULOS

MODELO DE ARCO	NÚMERO FOTO	AUMENTO	NÚMERO GRANOS INTERCEPTADOS	LONGITUD TOTAL DE LÍNEA mm	Lt	NL	L3	Log(L3)	G
F - 50	1	200 X	61	320,01	1,60	38,12	0,03	-1,58	7,21
F - 60	2	200 X	76	320,01	1,60	47,50	0,02	-1,68	7,84
F - 70	3	100 X	126	125,00	1,25	100,80	0,01	-2,00	10,02
F - 50	5	500 X	55	501,02	1,00	54,89	0,02	-1,74	8,26
F - 50	6	500 X	36	501,02	1,00	35,93	0,03	-1,56	7,04
F - 50	10	500 X	44	501,02	1,00	43,91	0,02	-1,64	7,62
F - 50	11	200 X	44	125,00	0,63	70,40	0,01	-1,85	8,98
F - 50	12	200 X	55	125,00	0,63	88,00	0,01	-1,94	9,62
F - 50	13	200 X	138	250,01	1,25	110,40	0,01	-2,04	10,28
F - 50	14	500 X	109	400,01	0,80	136,25	0,01	-2,13	10,89
F - 60	17	500 X	30	501,02	1,00	29,94	0,03	-1,48	6,51
F - 60	20	500 X	42	501,02	1,00	41,91	0,02	-1,62	7,48
F - 60	21	1000 X	46	501,02	0,50	91,81	0,01	-1,96	9,75
F - 60	23 1 T	500 X	42	501,02	1,00	41,91	0,02	-1,62	7,48
F - 60	24 1 T	500 X	43	501,02	1,00	42,91	0,02	-1,63	7,55
F - 60	25 2 T	200 X	57	400,01	2,00	28,50	0,04	-1,45	6,37
F - 60	26 2 T	500 X	14	501,02	1,00	13,97	0,07	-1,15	4,31
F - 60	27 2 T	500 X	46	400,01	0,80	57,50	0,02	-1,76	8,40
F - 60	28 2 T	500 X	65	400,01	0,80	81,25	0,01	-1,91	9,39
F - 60	29 2 T	200 X	49	400,01	2,00	24,50	0,04	-1,39	5,93
F - 60	30 2 T	500 X	27	501,02	1,00	26,95	0,04	-1,43	6,21
F - 60	31 2 T	500 X	26	400,01	0,80	32,50	0,03	-1,51	6,75
F - 60	32 2 T	1000 X	18	501,02	0,50	35,93	0,03	-1,56	7,04
F - 60	33 2 T	1000 X	20	501,02	0,50	39,92	0,03	-1,60	7,34
F - 60	35 3 T	500 X	50	400,01	0,80	62,50	0,02	-1,80	8,64
F - 60	37 3 T	500 X	83	400,01	0,80	103,75	0,01	-2,02	10,10
F - 60	39 3 T	500 X	86	400,01	0,80	107,50	0,01	-2,03	10,20
F - 60	40 3 T	1000 X	73	501,02	0,50	145,70	0,01	-2,16	11,08
F - 70	41	500 X	59	400,01	0,80	73,75	0,01	-1,87	9,11
F - 70	42	500 X	45	400,01	0,80	56,25	0,02	-1,75	8,33
F - 70	43	1000 X	24	501,01	0,50	47,90	0,02	-1,68	7,87
F - 70	44	1000 X	25	501,01	0,50	49,90	0,02	-1,70	7,99
F - 70	46	200 X	61	320,01	1,60	38,12	0,03	-1,58	7,21
F - 70	48	500 X	17	501,02	1,00	16,97	0,06	-1,23	4,87
F - 70	52	500 X	46	400,01	0,80	57,50	0,02	-1,76	8,40
F - 70	53	500 X	36	400,01	0,80	45,00	0,02	-1,65	7,69
F - 70	56	500 X	42	400,01	0,80	52,50	0,02	-1,72	8,13
F - 70	57	1000 X	59	400,01	0,40	147,50	0,01	-2,17	11,12
F - 70	60	500 X	29	400,01	0,80	36,25	0,03	-1,56	7,06
F - 70	61	300 X	42	501,02	1,67	25,15	0,04	-1,40	6,01
F - 70	66	500 X	63	501,02	1,00	62,87	0,02	-1,80	8,65

MEDIDA DEL ESPESOR DE CAPA CEMENTADA

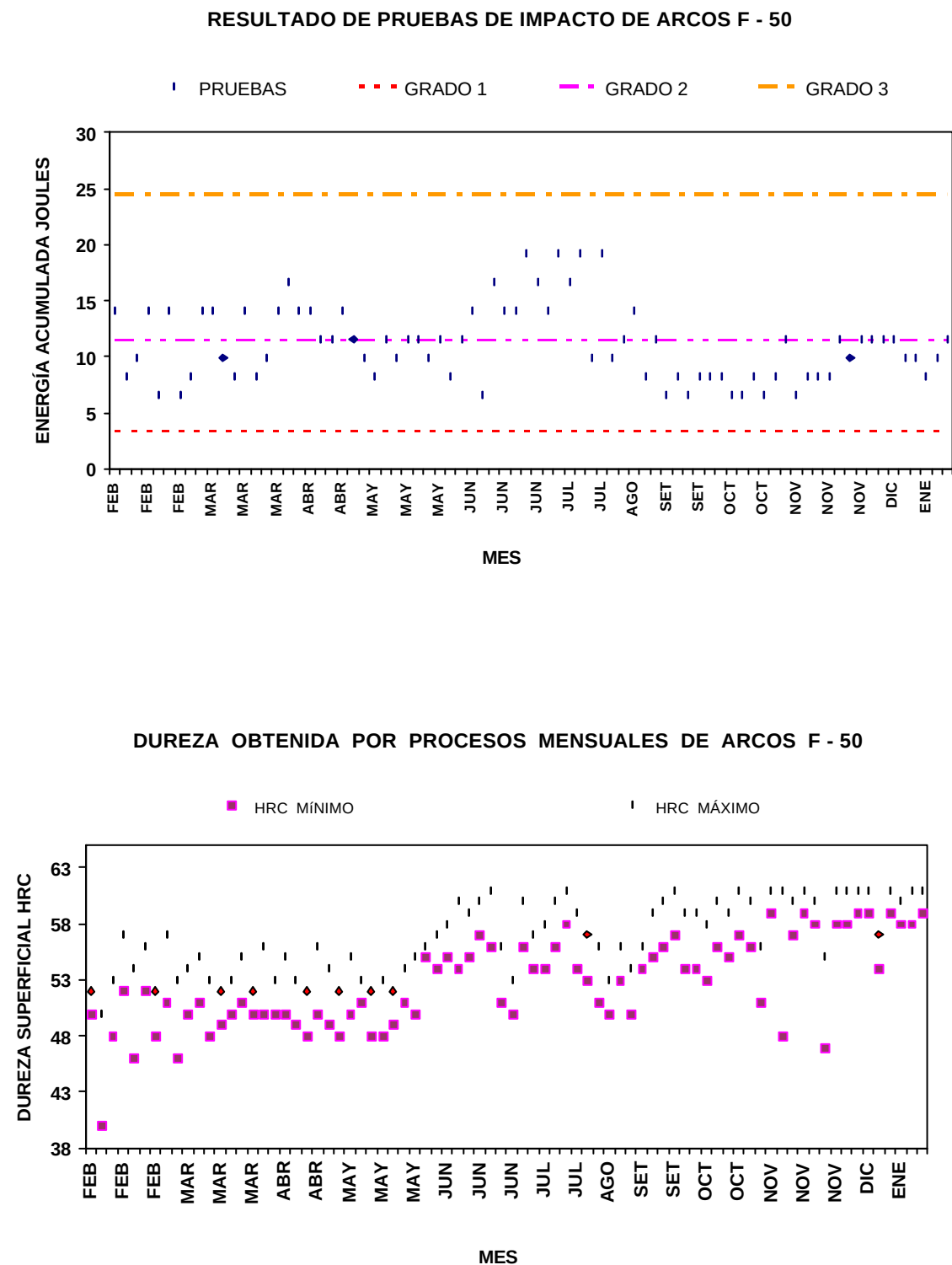
Cuadro de resumen de medida de espesor de capa cementada e

MODELO DE ARCO	NÚMERO FOTO	AUMENTO	RADIO MEDIDO*	RADIO HASTA e	DÍAMETRO VARILLA	FACTOR ESCALADO	AMPLITUD	FACTOR	ESCALA PANTALLA	 e	ESPESOR
			mm	mm	mm		mm	mm	mm	mm	mm
F - 50	4	200x	912,38	863,38	8,00	114,0475	10	87,683	8,768	49	0,430
F - 50	9	200x	594,81	550,81	8,00	74,35125	10	134,497	13,450	44	0,592
F - 60	15	500x	984,32	930,32	9,52	206,78992	10	48,358	4,836	54	0,261
F - 60	22	200x	975,35	915,35	9,52	204,90546	10	48,803	4,880	60	0,293
F - 60	35	200x	566,69	532,69	9,52	119,05252	10	83,997	8,400	34	0,286
F - 60	36	200x	580,97	514,97	9,52	122,05252	10	81,932	8,193	66	0,541
F - 60	38	200x	196,09	174,09	9,52	41,195378	10	242,746	24,275	22	0,534
F - 60	25	200x	1261,65	1202,65	9,52	265,05252	10	37,728	3,773	59	0,223
F - 60	34	200x	1264,26	1218,26	9,52	265,60084	10	37,650	3,765	46	0,173
F - 70	45	100x	1187,19	1133,19	12,00	98,940745	10	101,071	10,107	54	0,546
F - 70	49	100x	980,88	934,88	12,00	81,746812	10	122,329	12,233	46	0,563
F - 70	62	500x	1830,74	1790,74	12,00	152,57438	10	65,542	6,554	40	0,262

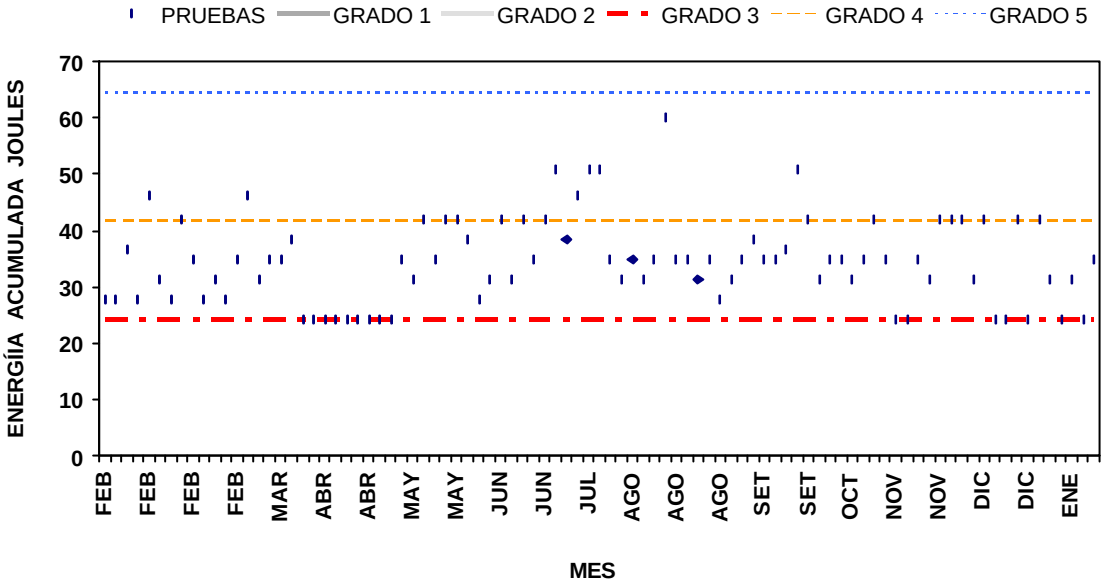
* Radio de circunferencia aparente de varilla calculado en autocad.

8.2. Cuadro de seguimiento de resultados

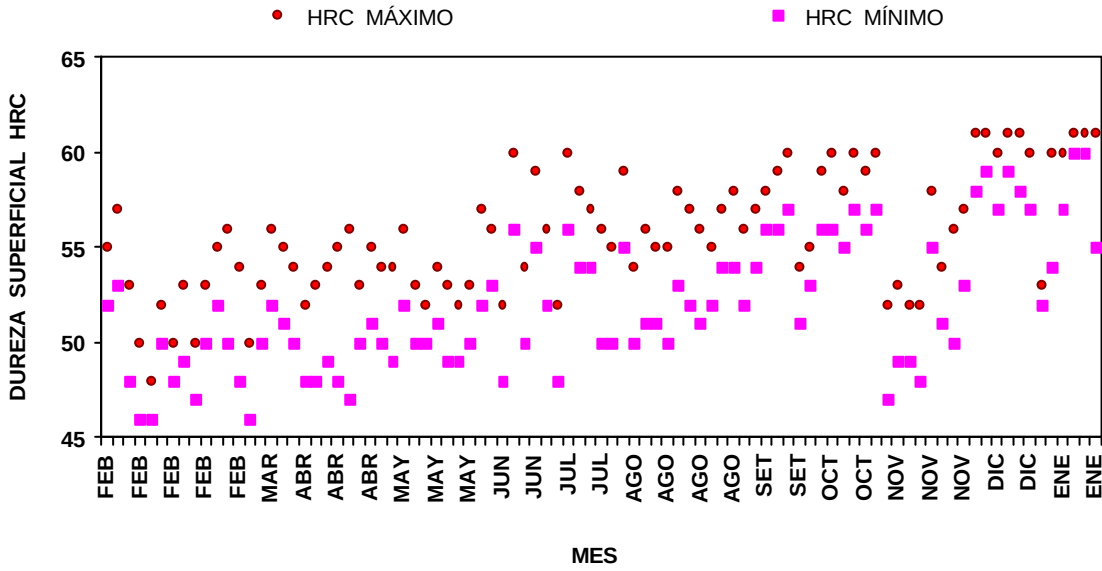
Se realizó un seguimiento anual de los resultados de prueba de impacto y dureza. Estos resultados se obtuvieron por medición directa sobre el arco tratado y son efecto de los respectivos parámetros de diseño final para cada modelo. A continuación se muestra un consolidado de los resultados:



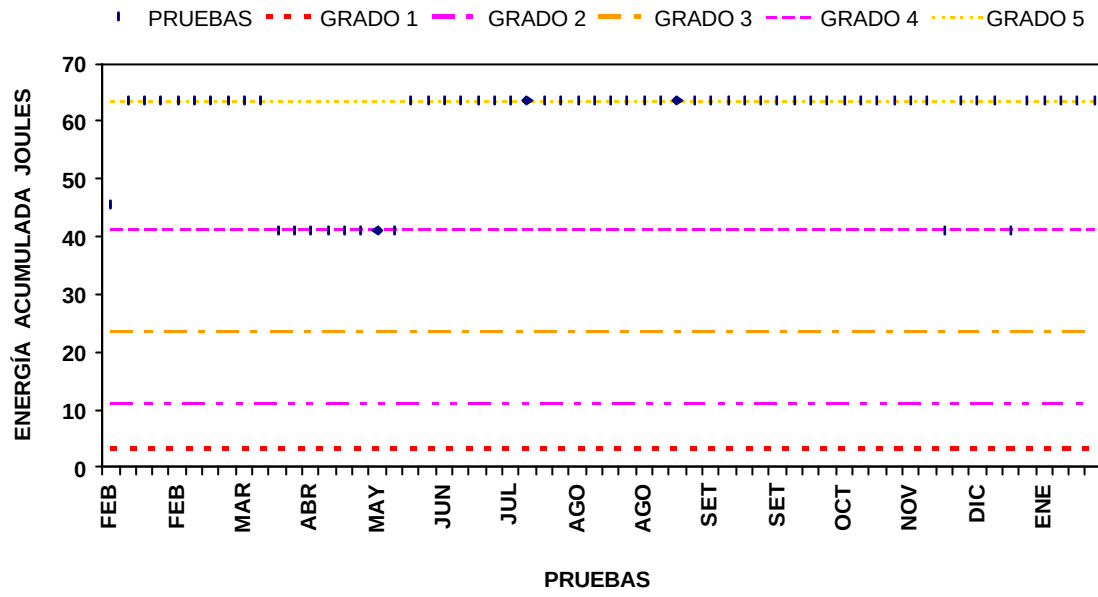
RESULTADO DE PRUEBAS DE IMPACTO EN ARCOS F - 60



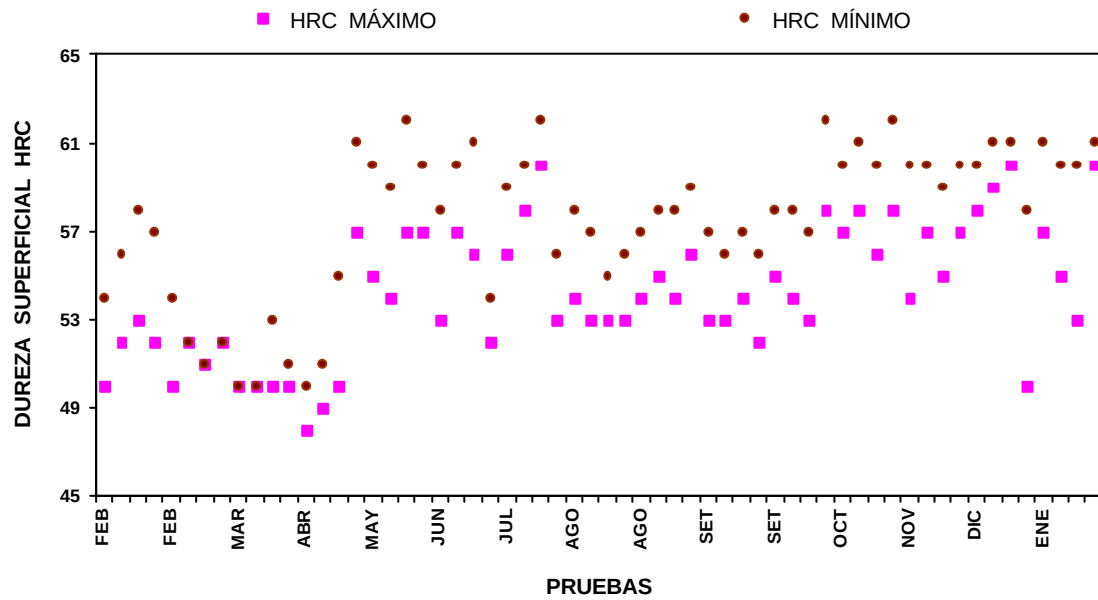
DUREZA OBTENIDA POR PROCESOS MENSUALES DE ARCOS F - 60



RESULTADO DE PRUEBAS DE IMPACTO EN ARCOS F - 70



DUREZA OBTENIDA POR PROCESOS MENSUALES DE ARCOS F - 70



8.3. Tratamiento de resultados de pruebas de impacto

Después de presentar el diseño final, se ha supuesto conocer y controlar todas las variables, ahora corresponde comprobar si los parámetros tienen validez como proceso rutinario a nivel industrial, es decir, si se logra obtener un resultado sostenido a través del tiempo. Para esto se realizó un seguimiento de un año de los resultados de las pruebas de impacto, por ser estas las que presentaron mayor variación durante las pruebas experimentales, y ser también la solicitud más difícil de alcanzar.

Para realizar este análisis formularemos una hipótesis y en seguida se realizara una prueba de contraste de hipótesis como es la prueba t-student .

La hipótesis a plantear será :

H_0 : El promedio de los resultados de las pruebas de impacto se mantendrá invariable a través del tiempo (1 año).

H_1 : El promedio de los resultados de prueba de impacto variará a través del tiempo.

Para realizar este análisis se emplearán los resultados de las pruebas definitivas y el conjunto de resultados de pruebas realizadas durante un año para cada modelo de arco.

Las ecuaciones a emplear son:

$$t = \frac{\overline{X_1} - \overline{X_2}}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

$$gl = (n_1 + n_2) - 2$$

Donde: $\overline{X_1}$: Media aritmética de resultados de pruebas definitivas.

$\overline{X_2}$: Media aritmética del conjunto de resultados de 1 año.

S_1^2 : Varianza de resultados de pruebas definitivas.

S_2^2 : Varianza de resultados del conjunto de prueba anual.

n_1 : Número de resultados de pruebas definitivas.

n_2 : Número de resultados del conjunto de prueba anual.

t : t de student.

gl : Grado de libertad.

El nivel de significancia con el cual se trabajará será :

$\alpha = 0.05$

$\alpha = 0.025$

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

Modelo F - 50

		Variable 1	Variable 2
Media	$\bar{X}$	15,385	11,146
Varianza	S^2	7,379	11,197
Observaciones	n	6	78
Diferencia hipotética de las medias		0	
Grados de libertad	gl	82	
Estadístico t	t	3,617	
P(T ≤ t) una cola		0,001	
Valor crítico de t (una cola)		1,664	
P(T ≤ t) dos colas		0,002	
Valor crítico de t (dos colas)		1,989	

Modelo F - 60

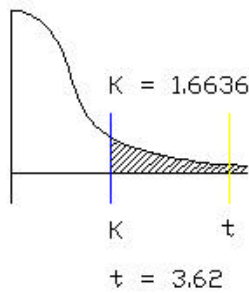
		Variable 1	Variable 2
Media	$\bar{X}$	35,392	34,422
Varianza	S^2	7,141	59,032
Observaciones	n	6	91
Diferencia hipotética de las medias		0	
Grados de libertad	gl	95	
Estadístico t	t	0,715	
P(T ≤ t) una cola		0,236	
Valor crítico de t (una cola)		1,661	
P(T ≤ t) dos colas		0,472	
Valor crítico de t (dos colas)		1,986	

Modelo F - 70

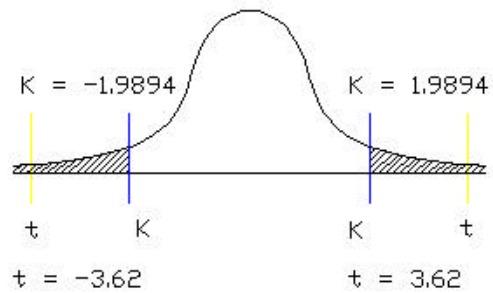
		Variable 1	Variable 2
Media	$\bar{X}$	61,252	59,509
Varianza	S^2	58,710	74,285
Observaciones	n	5	60
Diferencia hipotética de las medias		0	
Grados de libertad	gl	63	
Estadístico t	t	0,484	
P(T ≤ t) una cola		0,316	
Valor crítico de t (una cola)		1,669	
P(T ≤ t) dos colas		0,631	
Valor crítico de t (dos colas)		1,986	

Decisión acerca del rechazo o aceptación de H_0

Modelo F- 50

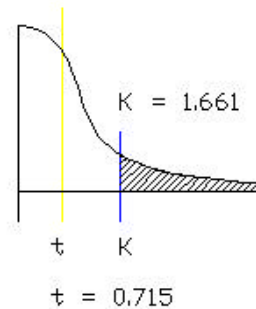


$P(t > k) = 0.001$
 t está en la región crítica
 $0.001 < 0.05$
 Se rechaza la hipótesis nula H_0

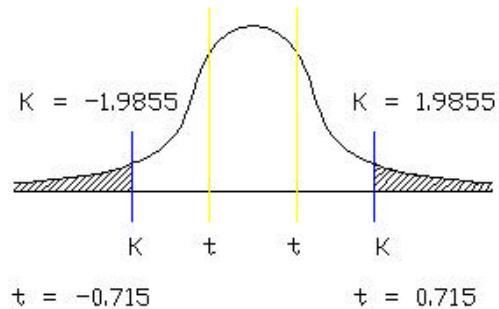


$P(t < k) = 0.002$
 t está en la región crítica
 $0.002 < 0.025$
 Se rechaza la hipótesis nula H_0

Modelo F- 60

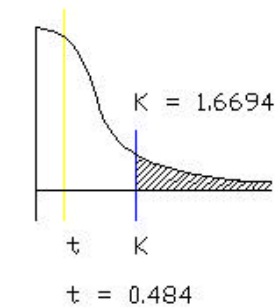


$P(t > k) = 0.2358$
 t está en la región crítica
 $0.2358 < 0.05$
 Se rechaza la hipótesis nula H_0
 a un nivel α de 0.05

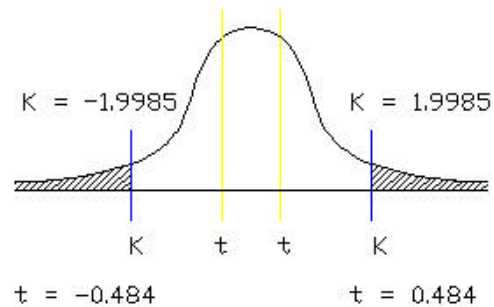


$P(t < k) = 0.4716$
 t está en la región crítica
 $0.4716 < 0.025$
 Se rechaza la hipótesis nula H_0
 a un nivel α de 0.025

Modelo F- 70



$P(t > k) = 0.3156$
 t está en la región crítica
 $0.3156 < 0.05$
 Se acepta la hipótesis nula H_0
 a un nivel α de 0.05



$P(t < k) = 0.6312$
 t está en la región crítica
 $0.6312 < 0.025$
 Se acepta la hipótesis nula H_0
 a un nivel α de 0.025

8.4. Discusión de resultados

Después de concluir los tratamientos experimentales y haber obtenido los ciclos de tratamiento definitivo para cada modelo de arco, se descarta la idea o hipótesis general que un mismo ciclo de tratamiento será válido para el tratamiento de cementado y temple de los tres modelos de arco.

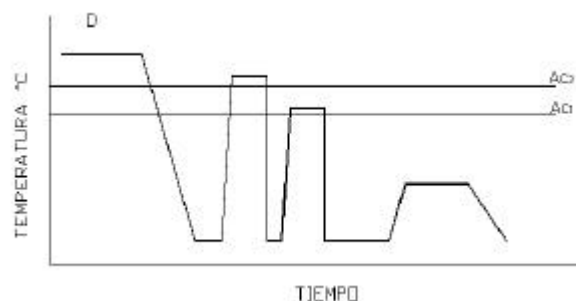
Se encuentra que un simple ciclo de cementado y temple aplicado a los modelos de arco F – 50 y F – 70 es suficiente para modificar las propiedades mecánicas de los arcos (dureza y resistencia al impacto), logrando asegurar el grado 1 para arcos F – 50 y grado 3 para arco F – 70. Para el arco F – 60, un ciclo de cementado y temple no logra incrementar la resistencia al impacto más allá del grado 2. Sólo se alcanza el grado 3 después de tres temple escalonados. Esto plantea la siguiente pregunta: ¿Por qué después de 3 temple el arco F – 60 logra alcanzar el grado 3? También surgen otras preguntas relacionadas como: ¿El triple temple puede incrementar la resistencia al impacto de los demás modelos de arco?

La bibliografía informa acerca del cambio de las propiedades mecánicas después de cementado y temple ideas generales y no aclara que es lo que sucede a nivel microestructural.

CEMENTACIÓN, ENFRIAMIENTO LENTO, PRIMER TEMPLE A TEMPERATURA LIGERAMENTE SUPERIOR A AC_3 , SEGUNDO TEMPLE A TEMPERATURA LIGERAMENTE SUPERIOR A AC_1 Y REVENIDO FINAL. Conviene emplear este tratamiento con los aceros al carbono y de media aleación y, en general, con todos los de grano grueso, en los que durante la cementación crece mucho el grano.

Empleándolo, la periferia quedará dura y tenaz; y el corazón, que con el segundo temple ha recibido un temple imperfecto, quedará con una resistencia ligeramente inferior a la máxima y muy buena tenacidad.

Este tratamiento se suele utilizar todavía en algunos talleres para aceros de alta aleación en piezas de gran responsabilidad, cuando se teme que la cementación haya hecho crecer el grano del acero y se quiere utilizar un tratamiento que asegure en el corazón la máxima tenacidad.^[11]

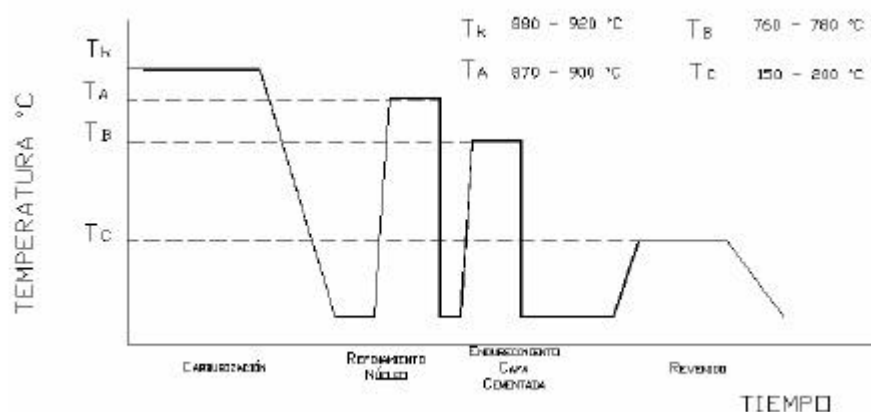


La figura muestra una representación diagramática de tratamiento de endurecimiento, junto con las propiedades de la superficie externa endurecida y el centro de la pieza.^[12]

TRATAMIENTO	PORCIÓN EXTERNA	PORCIÓN INTERNA
D - El mejor tratamiento para aceros de grano grueso.	Refinada; solución de exceso de carburo favorecida, retención de austenita minimizada.	Refinada; suave y maquinable; tenacidad y resistencias máximas a cargas aplicadas con impacto.

También existen recomendaciones de realizar este tipo de tratamiento por parte de comercializadores extranjeros de acero.

Recomendaciones para acero al carbón SAE 1022; carburizar ($880^{\circ}\text{C} - 920^{\circ}\text{C}$), mantener suficiente tiempo para desarrollar la profundidad de capa y contenido de carbón, seguido por un apropiado ciclo de endurecimiento, refinamiento y revenido para optimizar las propiedades de capa endurecida y el núcleo. Refinamiento del núcleo, enfriamiento lento de la temperatura de carburización y recalentamiento a $870^{\circ}\text{C} - 900^{\circ}\text{C}$, mantener hasta que la temperatura sea uniforme a través de la sección y el temple como se requiera en aceite, agua y salmuera. Endurecimiento de capa cementada sigue al refinamiento del núcleo, recalentar a ($760^{\circ}\text{C} - 780^{\circ}\text{C}$), mantener hasta que la temperatura sea uniforme a través de su sección y temple al agua. Revenido, revenir inmediatamente, mientras se encuentra aun caliente ^[13]



En un intento por comprender que ocurría en los arcos de candado después del ciclo de tratamiento, se efectuaron observaciones metalográficas en las muestras de los arcos con distinto tratamiento por cada modelo. Para el caso de los arcos modelo F-50 y F-70, se tomaron microfotografías a probetas con tratamiento experimental, definitivos y triple temple. Para el caso de los arcos modelo F-60 se tomaron microfotografías a probetas con tratamiento experimental y definitivo (3 temples), pero en este último se tuvo cuidado de tomar las microfotografías después de cada temple, a fin de observar el cambio microestructural después de cada temple. Se menciona también que no se realizó metalografía a la totalidad de tratamientos experimentales, sólo se realizaron en algunos para tener un referente de lo sucedido con dicho tratamiento.

La afirmación “la periferia quedará dura y tenaz el corazón, que con el segundo temple ha recibido un temple imperfecto, quedará con una resistencia ligeramente inferior a la máxima y muy buena tenacidad” (BARREIRO APRAIZ, Jose. Ob.cit p 382) sugiere que es una combinación apropiada para obtener mejor desempeño durante el servicio de la pieza, pero no aclara de qué forma o cómo está constituida esa región.

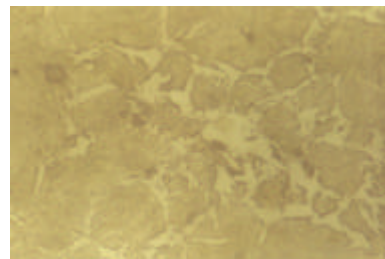
Un análisis comparativo de las microfotografías de los tratamientos experimentales de los tres modelos nos revela microestructuras similares para los tres modelos, tratándose el caso de un simple tratamiento de cementado y temple. Se observa la zona hipereutectoide oscura (región del borde de la pieza) con martensitas claramente definidas en algunas probetas. La zona eutectoide fue escasamente microfotografiada pero en las microfotografías tomadas se observó una martensita propia de esa región. En la zona hipoeutectoide se observa una estructura similar en los tres modelos, granos oscuros con límites de ferrita allotriomorfa (α) o reticular, pero a medida que se incrementa el número de temples escalonados, se produce cambio en la forma de la ferrita de esta zona.

Identificada la estructura que presenta cambios (α), se procederá a analizar con más detalle.

Después de 1 temple la microfotografía del centro de la pieza muestra una estructura con granos poligonales y una ferrita α . Esto se puede observar en las probetas con tratamiento definitivo (1 Temple), así como en las pruebas experimentales.



TRATAMIENTO
DEF 1 TEMPLE 500X
ARCO F - 60



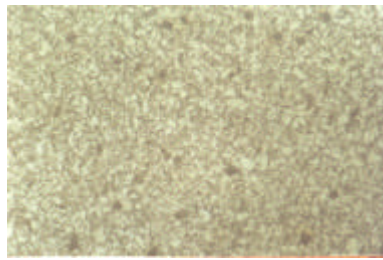
TRATAMIENTO
EX 5 1000 X
ARCO F - 60

Además de la ferrita α , se observa la ferrita Widmanstätten (α_w); después del 2 temple, se observa un cambio en la ferrita, ya no se presenta como retículo, sino fracciones, formas más alargadas o aciculares (ferrita α_a), que encierran áreas oscuras.



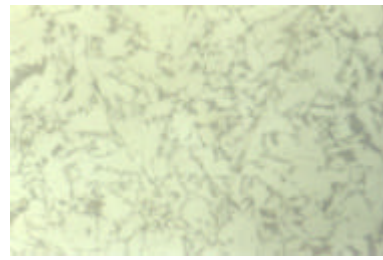
TRATAMIENTO
2 TEMPLE 1000 X
ARCO F - 60

En el 3 temple se observa que la estructura predominante son los granos de ferrita acicular (α_a).



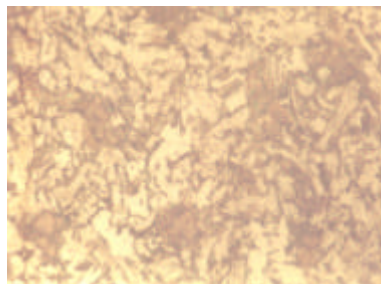
TRATAMIENTO
M3T5

200 X
ARCO F - 50



TRATAMIENTO
DEF 3 TEMPLE

1000 X
ARCO F - 60



TRATAMIENTO
M3T7

1000 X
ARCO F - 70

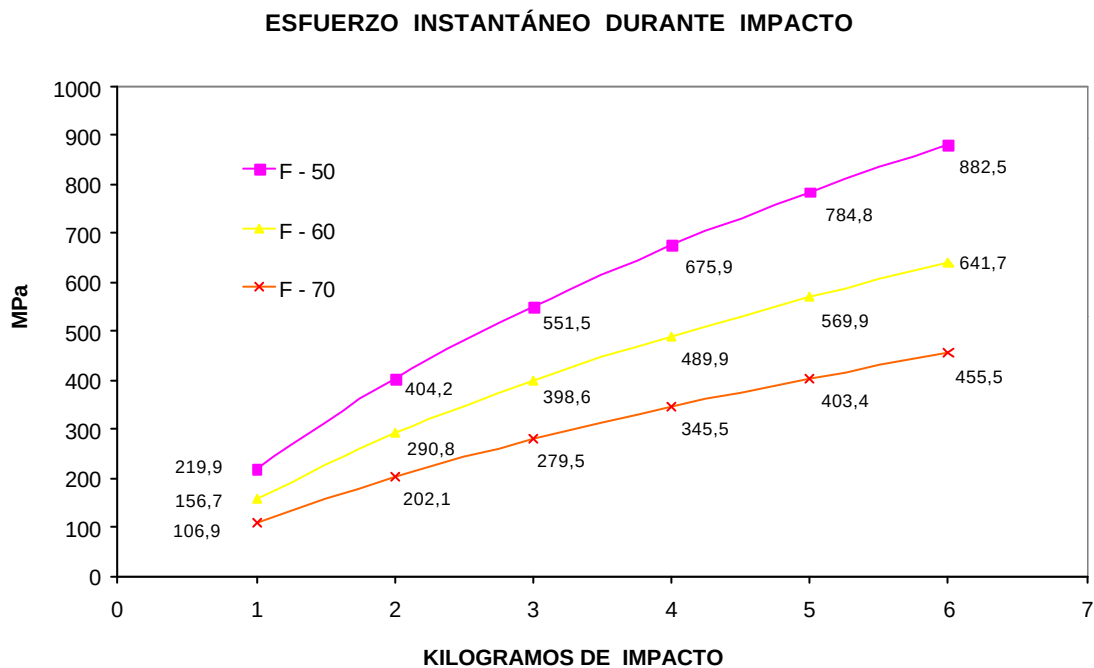
El cambio de la forma del grano se presenta junto con incremento en la resistencia al impacto, esto sugiere una relación entre éstos y teóricamente encontraría su explicación en un mecanismo de reforzamiento de la microestructura. Esto se alcanzaría al formarse la ferrita α_a . A continuación se explica:

Una microestructura de ferrita acicular (α_a) es buena para la obtención de una alta tenacidad. Esto es debido a que las láminas de ferrita apuntan a diferentes direcciones, y es por esto el cambio frecuente de dirección de las grietas. Esto otorgaría mejor tenacidad si se compara con la ferrita allotriomorfa (α) o aún con la ferrita Widmanstätten (α_w) o bainita ($\alpha_{lb} - \alpha_{ub}$), el cual tiende a formar en paquetes de láminas paralelas (a través de los cuales las grietas pueden propagarse con relativa facilidad).^[14]

Después de haber realizado pruebas de impacto a los arcos modelo F-50, F-70 que fueron tratados con triple temple, se encontró, que no alcanzaba superar el grado 2 y 3, respectivamente. Para el modelo F - 70 se encontró que podía resistir las pruebas con todas las pesas disponibles y no se observó fractura durante la prueba. Al comparar resultados de las pruebas de un solo temple y triple temple, se concluyó que el tratamiento simple del arco F - 70 eran similares, pues los arcos después de un temple también superaban las pruebas con todas las pesas y sólo se registraba hasta probar con pesa de 5 kg. Esto llevó a considerar que para propósitos de producción, un solo temple era suficiente.

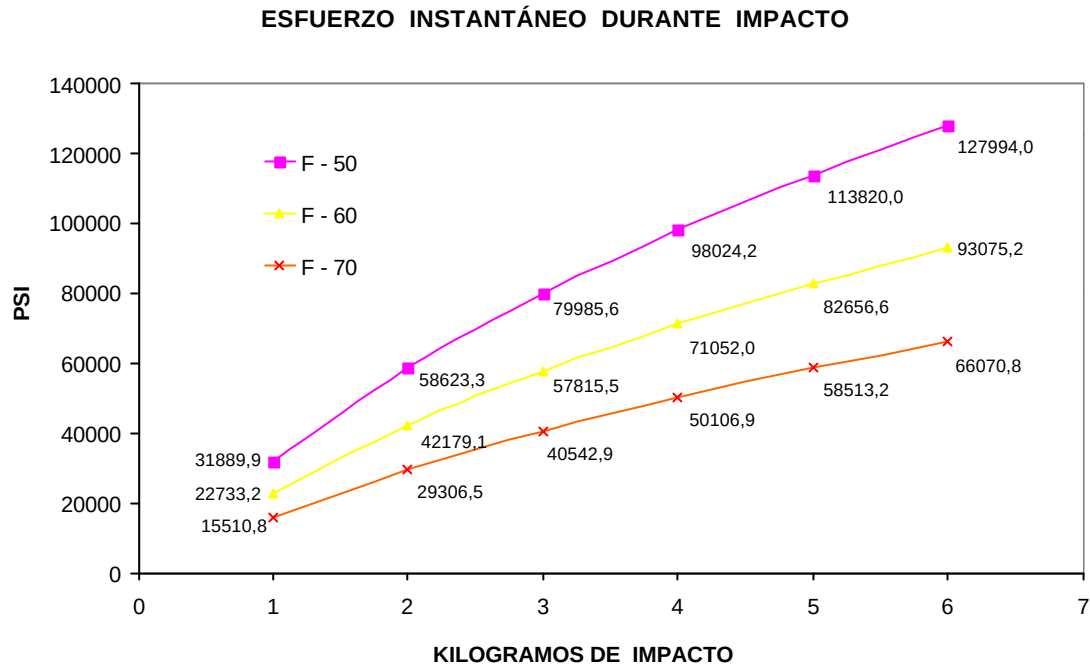
La percepción general sobre los resultados de la pruebas con arcos F – 50 era que no había mejora después del 3 temple, esto trajo la siguiente interrogante: ¿Por qué el triple temple no mejora al arco F – 50 y sí mejora al arco F – 60? La situación del arco F – 70 era no determinada (no se sabía si mejoraba ante la imposibilidad de realizar pruebas con mayores pesos). Para aclarar esta interrogante se tenía que considerar algo más, que no se había tenido en cuenta hasta el momento. Se comenzó por estudiar la prueba en sí; primero se buscó determinar cuánto esfuerzo se generaba en la sección transversal del cuerpo que soporta la fuerza dinámica creada por el peso que impacta por cada pesa (1, 2, 3,...,6 Kg). Luego se buscaría información de cuanto sería el esfuerzo promedio que podía soportar una pieza cementada se forma similar para poder comparar, y así determinar si se estaba exigiendo demás al arco de candado durante las pruebas de impacto.

Después de realizar los cálculos para la determinación de la fuerza dinámica que se genera durante el impacto y que actúa sobre una área específica se graficó los resultados.



Una primera interpretación del gráfico indica que en el arco F – 50 se genera mayor esfuerzo para un peso determinado que si se aplicase el mismo peso a los demás modelos de arco.

Esto lleva a deducir que un arco F-50, durante la prueba con pesa de 1 Kg soporta más que un arco F-70 en prueba con pesa de 2 Kg. Así se puede seguir interpretando el gráfico.



La información recolectada de los manuales publicitado por comercializadores locales de acero, indican rangos de valores para las propiedades mecánicas que se esperaba obtener, al tratar varillas de acero SAE 1020 ó SAE 1022. Se indica lo siguiente:

Resistencia a la tracción en estado templado 480 – 620 Mpa (no indica diámetro de varilla).^[15]

Acero de cementación no aleado para piezas con resistencia al núcleo entre 500 y 600 Mpa (no indica diámetro de varilla).^[16]

Varilla de 13 mm diámetro, cementado 8 horas a 910 °C, recalentado a 775 °C, templado al agua y revenido a 175 °C un UTS de 931 Mpa ...^[17]

Además, en los archivos históricos de normas de la defensa británica se pudo encontrar lo siguiente:

Aceros carburizables son listados en la tabla I (B), la selección de estos aceros para componentes que presenten secciones largas deben prestársele especial atención, por ser necesario alcanzar las propiedades del núcleo también como dureza superficial.

Las propiedades del núcleo listadas abajo serán alcanzadas sólo en secciones hasta 19 mm. Cuando las propiedades mecánicas en el núcleo para secciones distintas a 19 mm sea importante, deberán ser especificadas en los planos y verificadas las propiedades mediante pruebas con probetas.^[18]

Acero al carbón carburizable

GRUPO	TENSILE STRENGTH Mpa
NC	430

Propiedades para barra 19 mm carburizada

Grupo NC – 430 Mpa tensil, Aceros al manganeso y aceros al carbón carburizables (R_m 430 Mpa, A 16 Izod 30 ft.lbf KCV 35 J)

Material	Rm min	Amin 5,65 So	Impact	
			Izod min ft.lbf	KCV min J
045m10	430	18	35	42
080m15	460	16	30	35
210m15	460	16	30	35

Los datos citados anteriormente permiten entender que para una pieza cementada de menos de 13 mm, cementado durante 1 hora y templada, es de esperarse un UTS de **430 – 460 Mpa** y un KCV **35 - 42 Joule**.

Comparando los valores de las tensiones calculadas en la prueba de impacto y los datos recopilados, se puede encontrar lo siguiente:

- Para el arco F–50, el llegar a grado 3 excedería el valor esperado (460 Mpa), siendo el valor teórico calculado de 551,5 Mpa para grado 3. Es decir, sólo aseguraría grado 1 y probablemente en algunos casos alcanzaría grado 2. Este hecho explicaría por que el triple temple no incrementa el grado del arco.
- Para el arco F–60, el llegar a grado 4 excedería el valor esperado (460 Mpa) siendo el valor teórico calculado de 489,9 Mpa para grado 4. Es decir, sólo aseguraría grado 3 (398,6 Mpa) y probablemente alcanzaría el grado 4, hecho que sólo se observa después de templar 3 veces los arcos. Una explicación sugerida para el hecho que después de un solo temple no logre grado 3, podría explicarse con la fatiga que soportaría el arco durante la prueba.
- Para el arco F–70, el llegar a grado 5, inclusive 6, sería posible; pues el esfuerzo calculado 455,5 Mpa para grado 6 esta dentro del rango (430 – 460 Mpa) esperado de una pieza cementada, este hecho se puede verificar en la práctica, pues es suficiente un solo temple para lograr grado 5 y 6.

Se puede concluir que la prueba planteada por norma^[19] en algunos casos sobreexigiría al arco de candado (Ej.: modelo F–50); en otro se estaría dentro de lo esperado con alguna modificación en el tratamiento del arco (Ej.: modelo F–60); y por último no supondría mayor complicación o severidad en aplicarse al arco (Ej.: modelo F – 70).

El cambio de la forma del grano en la microestructura ferrítica (α) mostraría el efecto de los sucesivos temple sobre el arco de candado y esto a su vez estaría relacionado con el cambio de la resistencia al impacto.

El incremento de la resistencia al impacto para el caso del arco F – 60 estaría siendo promovida por la transformación ferrita α a ferrita α_a , estaría de acuerdo con las observaciones metalográficas, la medida del tamaño del grano, el incremento en la resistencia al impacto, y sobre todo se apoyaría en una teoría que contempla dicho fenómeno.

Para este estudio en particular la expresión “la periferia quedará dura y tenaz el corazón, que con el segundo temple ha recibido un temple imperfecto, quedará con una resistencia ligeramente inferior a la máxima y muy buena tenacidad”, sería aclarada por la afirmación: La presencia de ferrita α_a en el núcleo de la pieza junto con la microestructura de la capa cementada ayudaría a incrementar la resistencia al impacto.

IX. ESTUDIO ECONÓMICO DEL PROYECTO Y PROCESO PRODUCTIVO

Este estudio se realiza en dos etapas; la primera etapa es la de implementación del proyecto, donde se suman todos los gastos realizados por compras; y la etapa final, la de operatividad o producción de la sección, donde se tiene en marcha la nueva sección.

9.1. Cuadro de costos de implementación del proyecto

Los gastos desembolsados para la implementación son agrupados por subproyectos, allí se muestran sólo los gastos incurridos en compras y no la totalidad de elementos necesarios para la implementación.

Los subproyectos considerados fueron:

- La habilitación del área de trabajo para el nuevo sector (obra civil).
- Traslado e instalación del horno de cementado.
- Construcción de un horno de revenido.
- Construcción y montaje de un sistema de enfriamiento.
- Construcción de un banco para prueba de impacto y cuerpos probadores de arcos.
- Montaje de máquina rotatoria para limpieza de arcos (máquina de tamboreado).
- Fabricación de herramienta para manipuleo.
- Señalización de seguridad y compra de implementos.

OBRA CIVIL

Costos Directos

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO \$	COSTO TOTAL \$
Consumibles empleados				
Varillas de soldadura	10	Kg	1,99	19,95
Cemento	2	Bolsa	4,99	9,97
Arena	1	m3	7,33	7,33
Lija	4	Unidad	0,80	3,20
Pinturas	1	Galón	11,73	11,73
Mano de Obra				
Ayudante mecánico	1	Día	4,50	4,50
Ingeniero supervisor	1	Día	10,76	10,76
Soldador	1	Día	11,73	11,73
Albañil	1	Día	7,33	7,33
TOTAL				86,51

Costos Indirectos

Energía eléctrica	8	Kw - h	0,11	0,85
Agua	13,5	litros	0,06	0,79
TOTAL				1,64

HORNO DE CEMENTADO

Costos Directos

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO \$	COSTO TOTAL \$
Consumibles empleados				
Cable eléctricos	11	metro	0,38	4,18
Manguera de conexión para gas	8	metro	3,00	24,00
Aislante eléctricos	2	Unidad	0,73	1,47
Tubo de protección de cables	5	metro	2,20	11,00
Lija	2	Unidad	0,80	1,60
Pintura	1	Galón	2,93	2,93
Mano de Obra				
Mecánico	0,50	Día	7,82	3,91
Ayudante mecánico	0,50	Día	4,50	2,25
Electricista	0,50	Día	10,76	5,38
Ayudante electricista	0,50	Día	5,87	2,93
Ingeniero supervisor	0,50	Día	10,76	5,38
Obrero	1,00	Día	4,50	4,50
TOTAL				69,53

Costos Indirectos

Pato para traslado	2	Hora	17,60	35,20
Energía eléctrica	4	Kw - h	0,11	0,43
Lubricante	0,2	Galón	4,60	0,92
Gas	4	Galón	1,50	6,00
TOTAL				42,55

HORNO DE REVENIDO

Costos Directos

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO \$	COSTO TOTAL \$
Sistema de calentamiento				
Resistencia eléctrica	3	Unidad	17,01	51,04
Aislamiento	2	Rollo	0,44	0,88
Base para tina				
Consumible				
Varilla de soldadura	1	Kg	2,00	2,00
Silicato de sodio neutro	1	Galón	2,50	2,50
Manta cerámica	1	Caja	38,50	38,50
Castable	0,5	Caja	47,00	23,50
Lija	3	Unidad	0,80	2,40
Base zincromato	1	Galón	7,92	7,92
Thiner	2	Galón	4,84	9,68
Pintura	1	Galón	11,73	11,73
Mano de Obra				
Soldador	1,50	Día	11,73	17,60
Electricista	0,75	Día	10,76	8,07
Ayudante electricista	0,88	Día	5,87	5,13
Ingeniero supervisor	0,25	Día	10,76	2,69
Supervisor calidad (experimentador)	1,00	Día	10,76	10,76
TOTAL				194,40

Costos Indirectos

Energía eléctrica	16	Kw - h	0,11	1,70
TOTAL				1,70

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

Costos Directos

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO \$	COSTO TOTAL \$
Consumible				
Varilla de soldadura	3	Kg	2,00	6,00
Base zincromato	1	Galón	7,92	7,92
Thiner	2	Galón	4,84	9,68
Pintura	1	Galón	11,73	11,73
Mano de Obra				
Mecánico	1,00	Día	7,82	7,82
Ayudante mecánico	1,00	Día	4,50	4,50
Soldador	1,00	Día	11,73	11,73
Ingeniero supervisor	0,38	Día	10,76	4,03
TOTAL				63,42

Costos Indirecto

Energia eléctrica	8	Kw - h	0,11	0,85
TOTAL				0,85

EQUIPO PARA PRUEBA DE ARCOS

Costos Directos

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO \$	COSTO TOTAL \$
Banco de prueba de impacto				
Estructura de acero	41	Kg	0,73	30,07
Cuerpo probador y seguro de acero	1,1	Kg	0,73	0,81
Pesa de acero	21	Kg	0,73	15,40
Consumible				0,00
Varilla de soldadura	0,5	Kg	1,99	1,00
Thiner	2	Galón	4,84	9,68
Pintura	1	Galón	11,73	11,73
Mano de Obra				
Tornero	1,00	Día	7,82	7,82
Taladrador	0,38	Día	5,48	2,05
Mecánico	1,00	Día	7,82	7,82
Ingeniero supervisor	0,25	Día	10,76	2,69
TOTAL				89,07

Costos Indirectos

Energía eléctrica	12	Kw - h	0,11	1,28
TOTAL				1,28

MÁQUINA DE LIMPIEZA DE ARCOS (TAMBOR ROTATIVO)
Costos Directos

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO \$	COSTO TOTAL \$
Sistema de rotación				
Fajas	1	Unidad	3,81	3,81
Consumible				
Varilla de soldadura	0,5	Kg	1,99	1,00
Thiner	2	Galón	4,84	9,68
Pintura	1	Galón	11,73	11,73
Mano de Obra				
Mecánico	0,25	Día	7,82	1,96
Ayudante Mecánico	0,50	Día	4,50	2,25
Electricista	0,50	Día	10,76	5,38
Soldador	0,38	Día	11,73	4,40
Ingeniero supervisor	0,25	Día	10,76	2,69
TOTAL				42,90

Costos Indirectos

Arena abrasiva	0,50	m3	7,33	3,67
Lubricante	0,06	Galón	4,60	0,29
Energía eléctrica	4,00	Kw - h	0,11	0,43
TOTAL				4,38

HERRAMIENTAS DE MANIPULEO Y PROTECCIÓN

Costos Directos

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO \$	COSTO TOTAL \$
Valde grande almacenaje	5	UNIDAD	2,93	14,67
Valde chico dosificador	4	UNIDAD	1,47	5,87
Rastrillo puntas acero	1	UNIDAD	4,40	4,40
Pala con punta de grafito	1	UNIDAD	14,67	14,67
Gancho acero corto para muestreo	1	UNIDAD	1,47	1,47
Gancho de acero largo de arrastre	1	UNIDAD	3,52	3,52
Cilindro	1	UNIDAD	5,87	5,87
Consumibles				
Petróleo D-2	20	Galón	3,02	60,40
Mano de Obra				
Mecánico	0,38	Día	7,82	2,93
Ayudante mecánico	0,50	Día	4,50	2,25
Soldador	0,25	Día	11,73	2,93
Ingeniero supervisor	0,13	Día	10,76	1,34
TOTAL				120,32

Costos Indirectos

Papel periódico de protección	1	Kg	0,01	0,01
Trapo de limpieza	2	Kg	1,00	2,00
TOTAL				2,01

EQUIPO DE SEGURIDAD Y SEÑALIZACIÓN

Costos Directos

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO \$	COSTO TOTAL \$
Guante de cuero	2	Par	3,20	6,40
Mandil de cuero	2	UNIDAD	8,80	17,60
Máscara protectora	2	UNIDAD	5,87	11,73
Máscara antipolvo	2	UNIDAD	0,59	1,17
Gafa protectora	2	UNIDAD	2,93	5,87
Cartel de señal	12	UNIDAD	2,50	30,00
TOTAL				72,77

CONSOLIDADO DE COSTOS DEL PROYECTO DE IMPLEMENTACIÓN

TOTAL DE COSTOS DIRECTOS

SUB PROYECTOS	COSTO TOTAL \$
OBRA CIVIL	86,51
HORNO LINDBERG	69,53
HORNO DE REVENIDO	194,40
SITEMA DE ENFRIAMIENTO	63,42
CONTROL DE PRODUCTO	89,07
MÁQUINA DE TAMBOREADO	42,90
HERRAMIENTAS	120,32
SEGURIDAD	72,77
TOTAL	738,92

TOTAL COSTOS INDIRECTOS

OBRA CIVIL	1,64
HORNO LINDBERG	42,55
HORNO DE REVENIDO	1,70
SITEMA DE ENFRIAMIENTO	0,85
CONTROL DE PRODUCTO	1,28
MÁQUINA DE TAMBOREADO	4,38
HERRAMIENTAS	2,01
TOTAL	54,40

COSTO TOTAL DE PROYECTO U.S.\$ 793,32

9.2. Costos del proceso productivo

El estudio del proceso productivo se realizó siguiendo los lineamientos del costeo por actividades; para esto se deben conocer primero todas las etapas del proceso, las actividades respectivas de cada etapa, así como los recursos empleados en cada etapa, como son: horas hombre, energía eléctrica, combustibles, entre otros, que se emplean durante el proceso, para luego calcular los costos por actividad y el total.

Según el enfoque de costeo por actividades.

COSTEO POR ACTIVIDADES
PROCESO DE TRATAMIENTO TÉRMICO
ARCO F - 50

	ACTIVIDADES	COSTO* U.S \$
1	RECEPCIÓN Y TRANSPORTE	0,19
2	CALENTAMIENTO HORNO	54,78
3	CARGA HORNO	0,08
4	RECUPERACIÓN TEMPERATURA HORNO	6,08
5	CEMENTADO	15,17
6	APAGADO Y BAJA DE TEMPERATURA HORNO	0,09
7	DESCARGA HORNO	0,02
8	TEMPLADO	0,13
9	RETIRO DE CARGA DEL TANQUE	1,07
10	ENFRIAMIENTO	0,00
11	PRUEBA DE DUREZA Y CORTE	0,49
12	CALENTAMIENTO DE HORNO REVENIDO	0,11
13	CARGA A HORNO DE REVENIDO	0,12
14	RECUPERACIÓN TEMPERATURA HORNO REVENIDO	0,04
15	REVENIDO	0,08
16	APAGADO Y DESCARGA DE HORNO REVENIDO	0,14
17	ENFRIAMIENTO	0,00
18	PRUEBA DE IMPACTO Y DUREZA	0,64
19	LIMPIEZA DE ARCOS	0,57
20	TRANSPORTE A ENTREGA	0,14
21	PESADO Y GUÍA	0,10
COSTO TOTAL DE PROCESAR 1 LOTE		80,04
*C. IMPUTADO CALCULADO A PARTIR DE LA TABLA ANEXA.		

COSTEO POR ACTIVIDADES
PROCESO DE TRATAMIENTO TÉRMICO
ARCO F - 60

	ACTIVIDADES	COSTO* U.S \$
1	RECEPCIÓN Y TRANSPORTE	0,18
2	CALENTAMIENTO HORNO	54,78
3	CARGA HORNO	0,08
4	RECUPERACIÓN TEMPERATURA HORNO	6,08
5	CEMENTADO	15,17
6	APAGADO Y BAJA DE TEMPERATURA HORNO	0,09
7	DESCARGA HORNO	0,02
8	TEMPLADO	0,13
9	RETIRO DE CARGA DEL TANQUE	1,07
10	ENFRIAMIENTO	0,00
11	CARGA HORNO	0,08
12	RECUPERACIÓN TEMPERATURA HORNO	6,08
13	HOMOGENIZACION DE TEMPERATURA DE CARGA	0,77
14	DESCARGA HORNO	0,02
15	TEMPLADO	0,13
16	RETIRO DE CARGA DEL TANQUE	1,07
17	ENFRIAMIENTO	0,00
18	CARGA HORNO	0,08
19	RECUPERACIÓN TEMPERATURA HORNO	6,08
20	HOMOGENIZACIÓN DE TEMPERATURA DE CARGA	0,77
21	DESCARGA HORNO	0,02
22	TEMPLADO	0,13
23	RETIRO DE CARGA DEL TANQUE	1,07
24	ENFRIAMIENTO	0,00
25	PRUEBA DE DUREZA Y CORTE	0,49
26	CALENTAMIENTO DE HORNO REVENIDO	0,11
27	CARGA A HORNO DE REVENIDO	0,12
28	RECUPERACIÓN TEMPERATURA HORNO REVENIDO	0,04
29	REVENIDO	0,08
30	APAGADO Y DESCARGA DE HORNO REVENIDO	0,14
31	ENFRIAMIENTO	0,00
32	PRUEBA DE IMPACTO Y DUREZA	1,04
33	LIMPIEZA DE ARCOS	0,57
34	TRANSPORTE A ENTREGA	0,14
35	PESADO Y GUÍA	0,10
COSTO TOTAL DE PROCESAR 1 LOTE		96,75
*C. IMPUTADO CALCULADO A PARTIR DE LA TABLA ANEXA		

COSTEO POR ACTIVIDADES
PROCESO DE TRATAMIENTO TÉRMICO
ARCO F - 70

	ACTIVIDADES	COSTO* U.S \$
1	RECEPCIÓN Y TRANSPORTE	0,18
2	CALENTAMIENTO HORNO	54,78
3	CARGA HORNO	0,08
4	RECUPERACIÓN TEMPERATURA HORNO	6,08
5	CEMENTADO	15,17
6	APAGADO Y BAJA DE TEMPERATURA HORNO	0,09
7	DESCARGA HORNO	0,02
8	TEMPLADO	0,13
9	RETIRO DE CARGA DEL TANQUE	1,07
10	ENFRIAMIENTO	0,00
11	PRUEBA DE DUREZA Y CORTE	0,49
12	CALENTAMIENTO DE HORNO REVENIDO	0,11
13	CARGA A HORNO DE REVENIDO	0,12
14	RECUPERACIÓN TEMPERATURA HORNO REVENIDO	0,04
15	REVENIDO	0,08
16	APAGADO Y DESCARGA DE HORNO REVENIDO	0,14
17	ENFRIAMIENTO	0,00
18	PRUEBA DE IMPACTO Y DUREZA	1,22
19	LIMPIEZA DE ARCOS	0,57
20	TRANSPORTE A ENTREGA	0,14
21	PESADO Y GUÍA	0,10
COSTO TOTAL DE PROCESAR 1 LOTE		80,63
*C. IMPUTADO CALCULADO A PARTIR DE LA TABLA ANEXA		

CÁLCULO DE COSTOS DE PROCESAMIENTO POR LOTES CONTINUOS

	ACTIVIDADES	NÚMERO DE LOTES							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	RECEPCIÓN Y TRANSPORTE	0,186	0,371	0,557	0,742	0,928	1,114	1,299	1,485
2	CALENTAMIENTO HORNO	54,779	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	CARGA HORNO	0,083	0,167	0,250	0,334	0,417	0,501	0,584	0,667
4	RECUPERACIÓN TEMPERATURA HORNO	6,079	12,158	18,236	24,315	30,394	36,473	42,551	48,630
5	CEMENTADO	15,172	30,343	45,515	60,686	75,858	91,030	106,201	121,373
6	APAGADO Y BAJA DE TEMPERATURA HORNO	0,093	0,186	0,279	0,371	0,464	0,557	0,650	0,743
7	DESCARGA HORNO	0,020	0,040	0,060	0,080	0,100	0,120	0,140	0,160
8	TEMPLADO	0,130	0,261	0,391	0,522	0,652	0,783	0,913	1,044
9	RETIRO DE CARGA DEL TANQUE	1,073	2,147	3,220	4,294	5,367	6,441	7,514	8,587
10	ENFRIAMIENTO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
11	PRUEBA DE DUREZA Y CORTE	0,492	0,984	1,476	1,968	2,460	2,952	3,445	3,937
12	CALENTAMIENTO DE HORNO REVENIDO	0,107	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
13	CARGA A HORNO DE REVENIDO	0,123	0,246	0,369	0,492	0,615	0,738	0,861	0,984
14	RECUPERACIÓN TEMPERATURA HORNO REVENIDO	0,039	0,079	0,118	0,158	0,197	0,236	0,276	0,315
15	REVENIDO	0,079	0,079	0,079	0,079	0,158	0,158	0,158	0,158
16	APAGADO Y DESCARGA DE HORNO REVENIDO	0,141	0,141	0,141	0,141	0,281	0,281	0,281	0,281
17	ENFRIAMIENTO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
18	PRUEBA DE IMPACTO Y DUREZA	0,639	1,278	1,917	2,556	3,195	3,834	4,473	5,112
19	LIMPIEZA DE ARCOS	0,566	1,132	1,697	2,263	2,829	3,395	3,961	4,526
20	TRANSPORTE A ENTREGA	0,141	0,281	0,422	0,562	0,703	0,844	0,984	1,125
21	PESADO Y GUÍA	0,100	0,201	0,301	0,401	0,502	0,602	0,702	0,802
		80,042	50,092	75,028	99,964	125,120	150,056	174,993	199,929

CÁLCULO DE COSTOS DE PROCESAMIENTO POR LOTES CONTINUOS

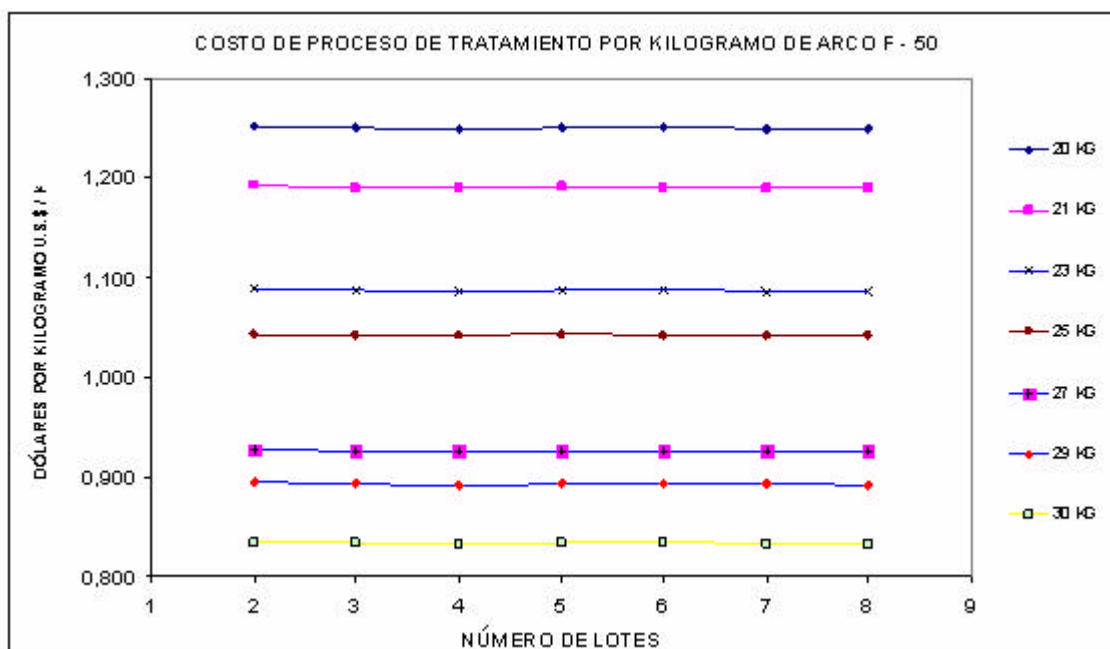
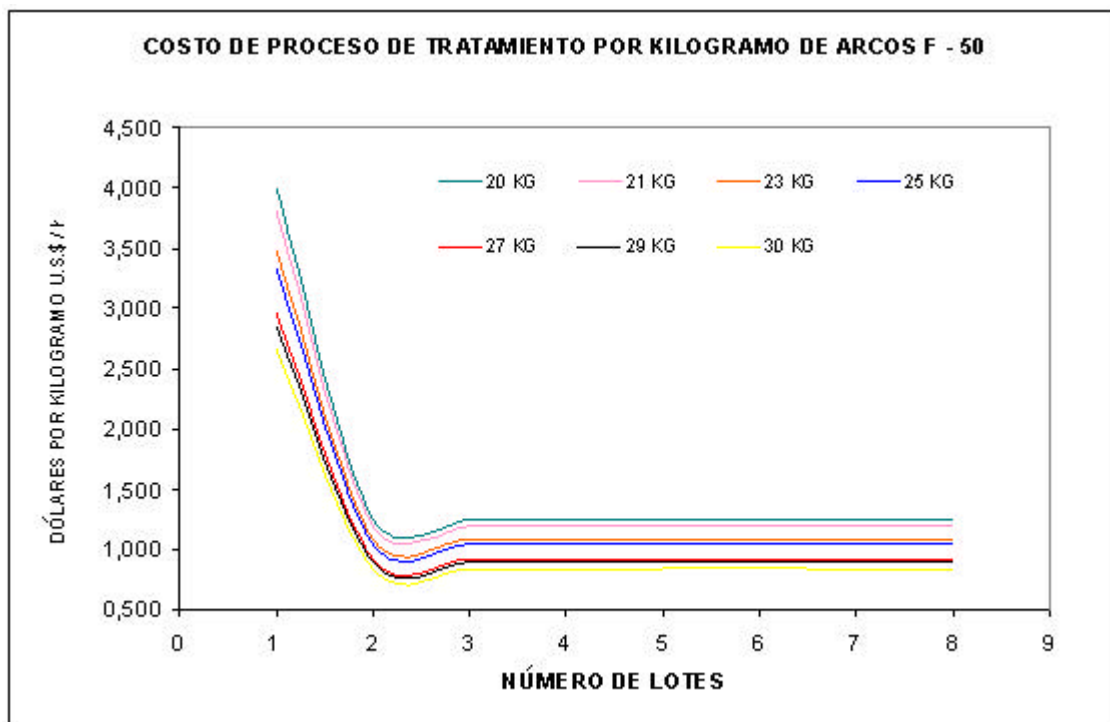
	ACTIVIDADES	NÚMERO DE LOTES							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	RECEPCIÓN Y TRANSPORTE	0,19	0,37	0,56	0,74	0,93	1,11	1,30	1,48
2	CALENTAMIENTO HORNO	54,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	CARGA HORNO	0,08	0,17	0,25	0,33	0,42	0,50	0,58	0,67
4	RECUPERACIÓN TEMPERATURA HORNO	6,08	12,16	18,24	24,32	30,39	36,47	42,55	48,63
5	CEMENTADO	15,17	30,34	45,51	60,69	75,86	91,03	106,20	121,37
6	APAGADO Y BAJA DE TEMPERATURA HORNO	0,09	0,19	0,28	0,37	0,46	0,56	0,65	0,74
7	DESCARGA HORNO	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16
8	TEMPLADO	0,13	0,26	0,39	0,52	0,65	0,78	0,91	1,04
9	RETIRO DE CARGA DEL TANQUE	1,07	2,15	3,22	4,29	5,37	6,44	7,51	8,59
10	ENFRIAMIENTO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	CARGA HORNO	0,08	0,17	0,25	0,33	0,42	0,50	0,58	0,67
12	RECUPERACIÓN TEMPERATURA HORNO	6,08	12,16	18,24	24,32	30,39	36,47	42,55	48,63
13	HOMOGENIZACION DE TEMPERATURA DE CARGA	0,77	1,54	2,31	3,08	3,86	4,63	5,40	6,17
14	DESCARGA HORNO	0,02	0,03	0,05	0,07	0,08	0,10	0,12	0,13
15	TEMPLADO	0,13	0,13	0,13	0,13	0,26	0,26	0,26	0,26
16	RETIRO DE CARGA DEL TANQUE	1,07	1,07	1,07	1,07	2,15	2,15	2,15	2,15
17	ENFRIAMIENTO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	CARGA HORNO	0,08	0,17	0,25	0,33	0,42	0,50	0,58	0,67
19	RECUPERACIÓN TEMPERATURA HORNO	6,08	12,16	18,24	24,32	30,39	36,47	42,55	48,63
20	HOMOGENIZACIÓN DE TEMPERATURA DE CARGA	0,77	1,54	2,31	3,08	3,86	4,63	5,40	6,17
21	DESCARGA HORNO	0,02	0,03	0,05	0,07	0,08	0,10	0,12	0,13
22	TEMPLADO	0,13	0,26	0,39	0,52	0,65	0,78	0,91	1,03
23	RETIRO DE CARGA DEL TANQUE	1,07	2,15	3,22	4,29	5,37	6,44	7,51	8,59
24	ENFRIAMIENTO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	PRUEBA DE DUREZA Y CORTE	0,49	0,98	1,48	1,97	2,46	2,95	3,44	3,94
26	CALENTAMIENTO DE HORNO REVENIDO	0,11	0,21	0,32	0,43	0,53	0,64	0,75	0,86
27	CARGA A HORNO DE REVENIDO	0,12	0,25	0,37	0,49	0,61	0,74	0,86	0,98
28	RECUPERACIÓN TEMPERATURA HORNO REVENIDO	0,04	0,08	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28	0,32
29	REVENIDO	0,08	0,16	0,24	0,32	0,39	0,47	0,55	0,63
30	APAGADO Y DESCARGA DE HORNO REVENIDO	0,14	0,28	0,42	0,56	0,70	0,84	0,98	1,12
31	ENFRIAMIENTO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
32	PRUEBA DE IMPACTO Y DUREZA	1,04	2,08	3,12	4,16	5,20	6,23	7,27	8,31
33	LIMPIEZA DE ARCOS	0,57	1,13	1,70	2,26	2,83	3,39	3,96	4,53
34	TRANSPORTE A ENTREGA	0,14	0,28	0,42	0,56	0,70	0,84	0,98	1,12
35	PESADO Y GUÍA	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80
		96,75	82,73	123,50	164,26	206,23	246,99	287,76	328,52

CÁLCULO DE COSTOS DE PROCESAMIENTO POR LOTES CONTINUOS

	ACTIVIDADES	NÚMERO DE LOTES							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	RECEPCIÓN Y TRANSPORTE	0,185	0,369	0,554	0,738	0,923	1,107	1,292	1,476
2	CALENTAMIENTO HORNO	54,784	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	CARGA HORNO	0,083	0,167	0,250	0,334	0,417	0,501	0,584	0,668
4	RECUPERACIÓN TEMPERATURA HORNO	6,079	12,159	18,238	24,317	30,396	36,476	42,555	48,634
5	CEMENTADO	15,173	30,345	45,518	60,691	75,863	91,036	106,209	121,381
6	APAGADO Y BAJA DE TEMPERATURA HORNO	0,093	0,187	0,280	0,373	0,467	0,560	0,653	0,747
7	DESCARGA HORNO	0,020	0,040	0,060	0,080	0,100	0,120	0,140	0,160
8	TEMPLADO	0,130	0,261	0,391	0,522	0,652	0,783	0,913	1,044
9	RETIRO DE CARGA DEL TANQUE	1,073	2,147	3,220	4,294	5,367	6,441	7,514	8,588
10	ENFRIAMIENTO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
11	PRUEBA DE DUREZA Y CORTE	0,491	0,982	1,473	1,964	2,455	2,945	3,436	3,927
12	CALENTAMIENTO DE HORNO REVENIDO	0,107	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
13	CARGA A HORNO DE REVENIDO	0,123	0,246	0,369	0,492	0,615	0,738	0,861	0,984
14	RECUPERACIÓN TEMPERATURA HORNO REVENIDO	0,040	0,079	0,119	0,159	0,198	0,238	0,278	0,317
15	REVENIDO	0,079	0,079	0,079	0,079	0,159	0,159	0,159	0,159
16	APAGADO Y DESCARGA DE HORNO REVENIDO	0,141	0,141	0,141	0,141	0,281	0,281	0,281	0,281
17	ENFRIAMIENTO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
18	PRUEBA DE IMPACTO Y DUREZA	1,222	2,444	3,666	4,888	6,110	7,332	8,554	9,776
19	LIMPIEZA DE ARCOS	0,566	1,132	1,698	2,264	2,829	3,395	3,961	4,527
20	TRANSPORTE A ENTREGA	0,141	0,281	0,422	0,562	0,703	0,843	0,984	1,124
21	PESADO Y GUÍA	0,099	0,199	0,298	0,397	0,497	0,596	0,696	0,795
		80,63	51,26	76,78	102,29	128,03	153,55	179,07	204,59

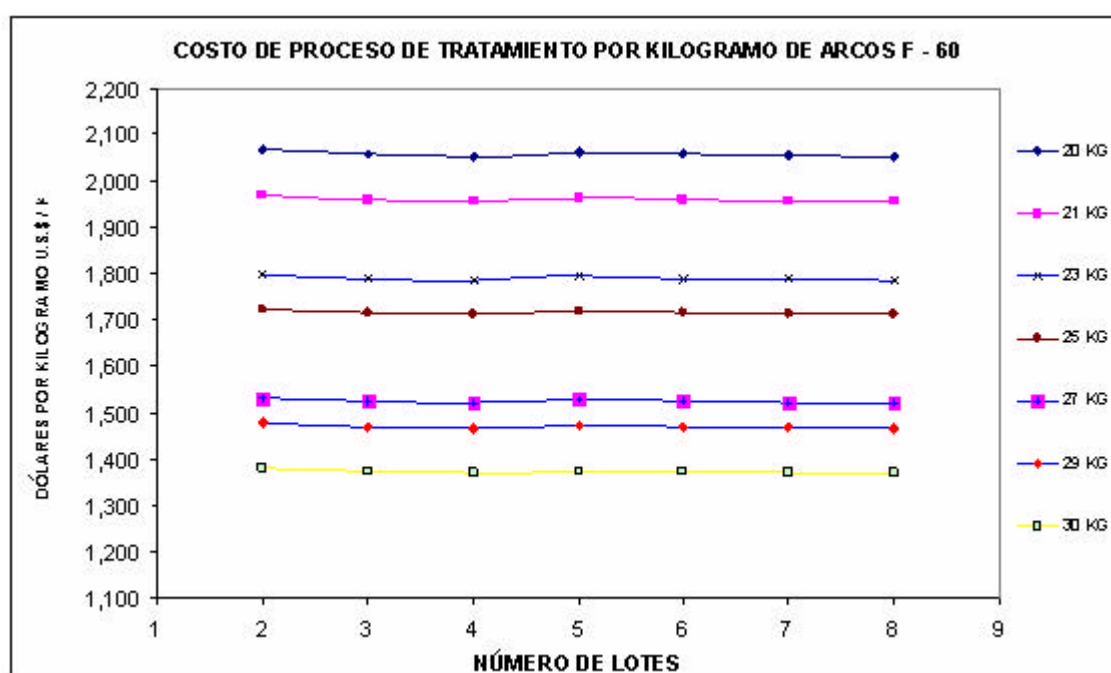
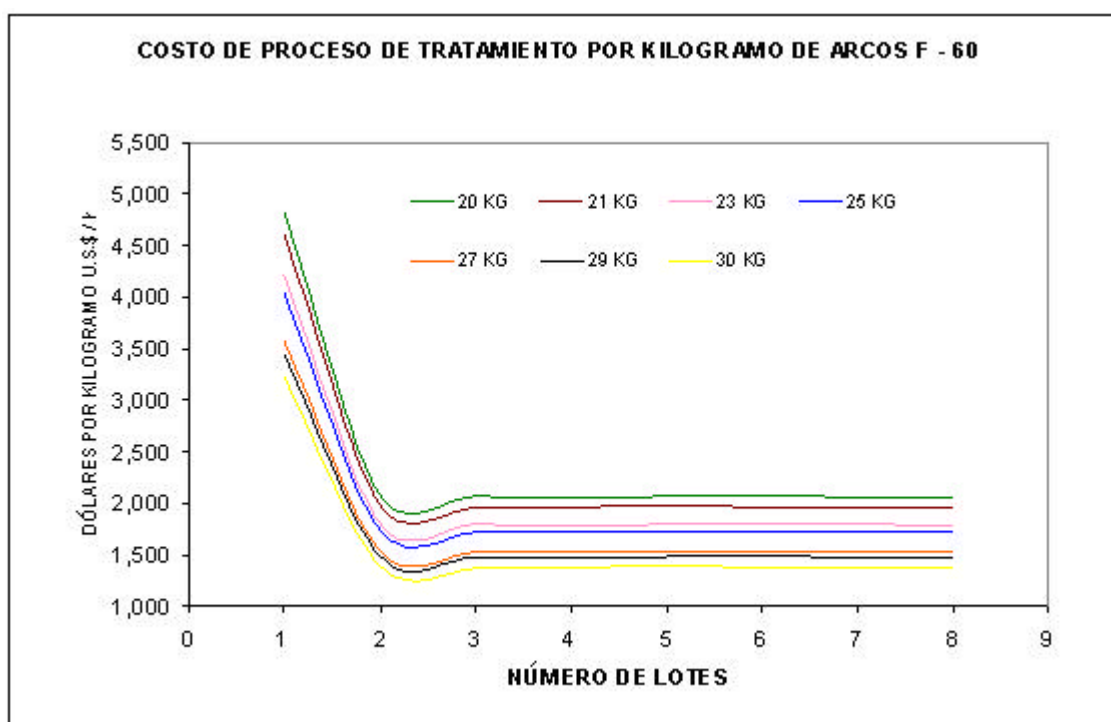
**CÁLCULO DE COSTOS PROYECTADOS POR KILOGRAMOS PARA
PROCESAMIENTO DE LOTES DE ARCOS F - 50**

COSTOS U.S \$	80,042	50,092	75,028	99,964	125,120	150,056	174,993	199,929
LOTES	1	2	3	4	5	6	7	8
KILOGRAMOS	20	40	60	80	100	120	140	160
	21	42	63	84	105	126	147	168
	22	44	66	88	110	132	154	176
	23	46	69	92	115	138	161	184
	24	48	72	96	120	144	168	192
	25	50	75	100	125	150	175	200
	26	52	78	104	130	156	182	208
	27	54	81	108	135	162	189	216
	28	56	84	112	140	168	196	224
	29	58	87	116	145	174	203	232
	30	60	90	120	150	180	210	240
COSTOS POR Kg	\$/Kg	\$/Kg	\$/Kg	\$/Kg	\$/Kg	\$/Kg	\$/Kg	\$/Kg
20	4,002	1,252	1,250	1,250	1,251	1,250	1,250	1,250
21	3,812	1,193	1,191	1,190	1,192	1,191	1,190	1,190
22	3,638	1,138	1,137	1,136	1,137	1,137	1,136	1,136
23	3,480	1,089	1,087	1,087	1,088	1,087	1,087	1,087
24	3,335	1,044	1,042	1,041	1,043	1,042	1,042	1,041
25	3,202	1,002	1,000	1,000	1,001	1,000	1,000	1,000
26	3,079	0,963	0,962	0,961	0,962	0,962	0,961	0,961
27	2,965	0,928	0,926	0,926	0,927	0,926	0,926	0,926
28	2,859	0,894	0,893	0,893	0,894	0,893	0,893	0,893
29	2,760	0,864	0,862	0,862	0,863	0,862	0,862	0,862
30	2,668	0,835	0,834	0,833	0,834	0,834	0,833	0,833



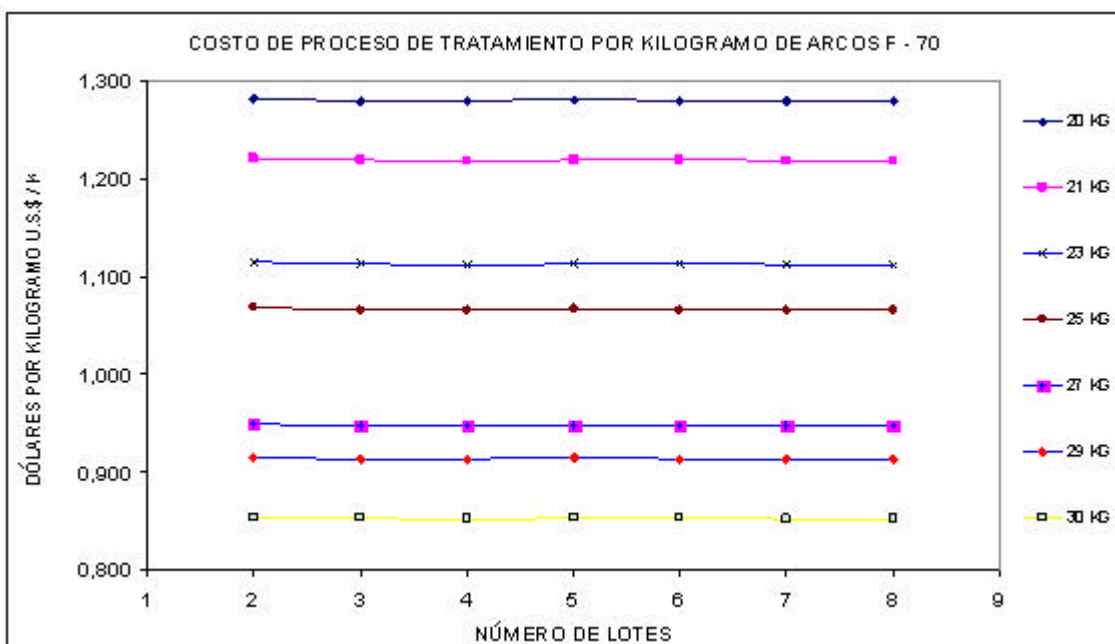
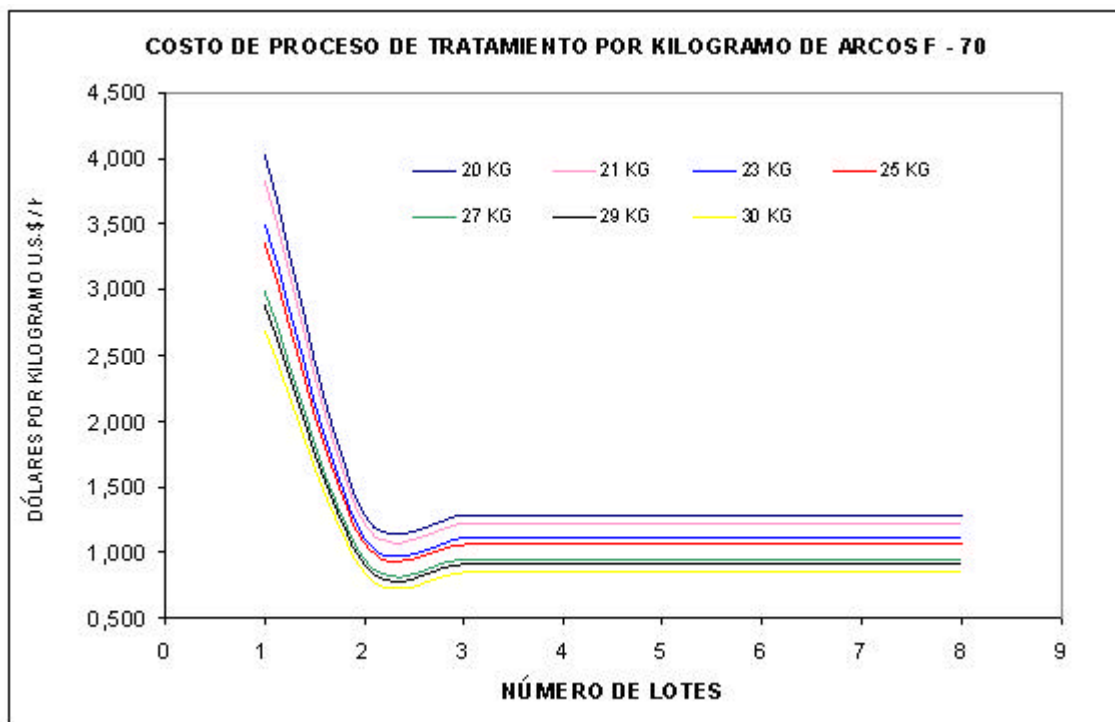
**CÁLCULO DE COSTOS PROYECTADOS POR KILOGRAMOS PARA
PROCESAMIENTO DE LOTES DE ARCOS F - 60**

COSTOS U.S \$	96,746	82,731	123,495	164,260	206,227	246,991	287,755	328,519
LOTES	1	2	3	4	5	6	7	8
KILOGRAMOS	20	40	60	80	100	120	140	160
	21	42	63	84	105	126	147	168
	22	44	66	88	110	132	154	176
	23	46	69	92	115	138	161	184
	24	48	72	96	120	144	168	192
	25	50	75	100	125	150	175	200
	26	52	78	104	130	156	182	208
	27	54	81	108	135	162	189	216
	28	56	84	112	140	168	196	224
	29	58	87	116	145	174	203	232
	30	60	90	120	150	180	210	240
COSTOS POR Kg	\$/Kg	\$/Kg	\$/Kg	\$/Kg	\$/Kg	\$/Kg	\$/Kg	\$/Kg
20	4,837	2,068	2,058	2,053	2,062	2,058	2,055	2,053
21	4,607	1,970	1,960	1,955	1,964	1,960	1,958	1,955
22	4,398	1,880	1,871	1,867	1,875	1,871	1,869	1,867
23	4,206	1,799	1,790	1,785	1,793	1,790	1,787	1,785
24	4,031	1,724	1,715	1,711	1,719	1,715	1,713	1,711
25	3,870	1,655	1,647	1,643	1,650	1,647	1,644	1,643
26	3,721	1,591	1,583	1,579	1,586	1,583	1,581	1,579
27	3,583	1,532	1,525	1,521	1,528	1,525	1,523	1,521
28	3,455	1,477	1,470	1,467	1,473	1,470	1,468	1,467
29	3,336	1,426	1,419	1,416	1,422	1,419	1,418	1,416
30	3,225	1,379	1,372	1,369	1,375	1,372	1,370	1,369



**CÁLCULO DE COSTOS PROYECTADOS POR KILOGRAMOS PARA
PROCESAMIENTO DE LOTES DE ARCOS F - 70**

COSTOS U.S \$	80,626	51,260	76,780	102,301	128,040	153,561	179,081	204,601
LOTES	1	2	3	4	5	6	7	8
KILOGRAMOS	20	40	60	80	100	120	140	160
	21	42	63	84	105	126	147	168
	22	44	66	88	110	132	154	176
	23	46	69	92	115	138	161	184
	24	48	72	96	120	144	168	192
	25	50	75	100	125	150	175	200
	26	52	78	104	130	156	182	208
	27	54	81	108	135	162	189	216
	28	56	84	112	140	168	196	224
	29	58	87	116	145	174	203	232
	30	60	90	120	150	180	210	240
COSTOS POR Kg	\$/Kg	\$/Kg	\$/Kg	\$/Kg	\$/Kg	\$/Kg	\$/Kg	\$/Kg
20	4,031	1,282	1,280	1,279	1,280	1,280	1,279	1,279
21	3,839	1,220	1,219	1,218	1,219	1,219	1,218	1,218
22	3,665	1,165	1,163	1,163	1,164	1,163	1,163	1,163
23	3,505	1,114	1,113	1,112	1,113	1,113	1,112	1,112
24	3,359	1,068	1,066	1,066	1,067	1,066	1,066	1,066
25	3,225	1,025	1,024	1,023	1,024	1,024	1,023	1,023
26	3,101	0,986	0,984	0,984	0,985	0,984	0,984	0,984
27	2,986	0,949	0,948	0,947	0,948	0,948	0,948	0,947
28	2,879	0,915	0,914	0,913	0,915	0,914	0,914	0,913
29	2,780	0,884	0,883	0,882	0,883	0,883	0,882	0,882
30	2,688	0,854	0,853	0,853	0,854	0,853	0,853	0,853



COSTO TOTAL DE PROYECTO 793,33 U.S. \$

COSTO PRODUCCIÓN

Nº. Lote	F - 50 US\$/kg	F - 60 US\$/kg	F - 70 US\$/kg
2	0,928	1,477	0,949
3	0,926	1,470	0,948
4	0,926	1,467	0,947
Kg por lote	27	28	27

AHORRO

Costo de T.T. por encargo a 3ro.
(Sin IGV, transporte, manipuleo y otros)

Costo de producción en planta

MODELOS	F - 50	F - 60	F - 70
US\$/kg	1,173	1,173	1,173
US\$/kg	0,928	1,477	0,949
AHORRO	0,246	-0,304	0,224

Kg de arcos/mes
procesados año anterior

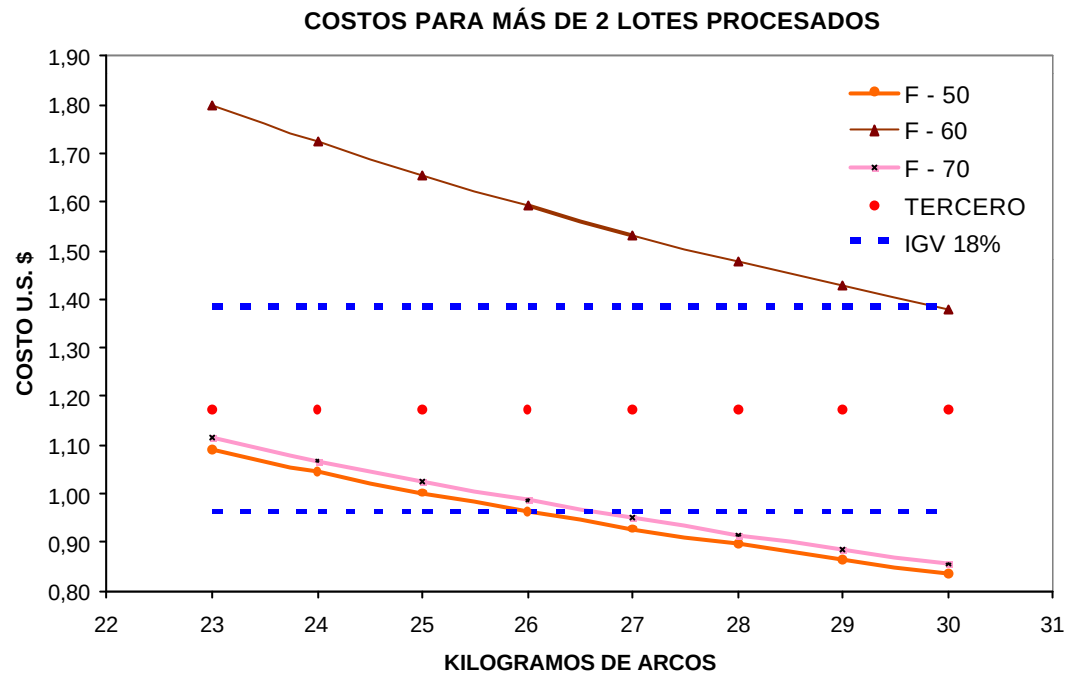
Ahorro mensual proyectado

Kg / mes	415,80	401,62	406,88	AHORRO
				TOTAL
US \$	102,20	-122,12	91,18	71,27

**TIEMPO ESTIMADO PARA RECUPERAR
COSTO DE PROYECTO**

Número	
Meses	11,1

CUADRO COMPARATIVO DE COSTOS DE PRODUCCIÓN DE DISTINTOS MODELOS DE ARCO Y COSTO POR ENCARGO A TERCERO



CARGA Kg	F - 50 US \$/Kg	F - 60 US \$/Kg	F - 70 US \$/Kg	TERCERO US \$/Kg
23	1,09	1,80	1,11	1,1733
24	1,04	1,72	1,07	1,1733
25	1,00	1,65	1,03	1,1733
26	0,96	1,59	0,99	1,1733
27	0,93	1,53	0,95	1,1733
28	0,89	1,48	0,92	1,1733
29	0,86	1,43	0,88	1,1733
30	0,83	1,38	0,85	1,1733

X. CONCLUSIONES

1. El proyecto de diseño se logra completar y poner en marcha como parte del proceso productivo en la línea de candados. Así, se logra cumplir la totalidad de los objetivos planteados al inicio del proyecto.
2. Al realizar la totalidad de los procesos de producción dentro de las instalaciones de la planta, se logra generar ahorros. Estos ahorros se obtendrían al eliminarse los gastos de transporte, pago del IGV al momento de cancelar la factura, además de generar un diferencial de ahorro al procesar arcos en planta (0,246 \$/kg por arco F-50 y 0,224 \$/Kg por arco F-70).
3. Para el caso del arco F-60, por realizar 2 temples adicionales, el costo de procesar en planta resulta elevado (1,477 \$/kg) en comparación con el costo por procesar con terceros (1,173 \$/kg sin IGV); lo anterior da como resultado un diferencial negativo (-0.304 \$/kg). Pero a pesar de lo anterior, el diferencial de costos obtenidos de procesar los otros modelos logra cubrir el exceso de costo de procesar arcos F-60, dejando aun un pequeño diferencial positivo (0,166 \$), que significaría un ahorro de procesar en conjunto los 3 modelos de arcos, en una cantidad mínima de 2 lotes por modelo.
4. Como consecuencia de la implementación del proyecto de la nueva sección, se logró desarrollar un nuevo tipo de tecnología simple y adecuada para el tratamiento termoquímico de los arcos de candado, como es la aplicación del proceso de pirólisis del gas GLP durante la cementación gaseosa. Ambos procesos (pirólisis y cementado) tienen lugar dentro de la misma cámara del horno, y casi simultáneamente durante la marcha del proceso de producción. Esto evita el empleo de unidades adicionales para el procesamiento del gas antes de emplear en la cementación.
5. La observación cualitativa de la llama resulta útil para el control del proceso de cementación gaseosa; así, se logra asegurar la buena marcha del proceso. Hay que considerar también que la observación cualitativa de la llama se desarrolla en base al conocimiento existente de las formas de la llama empleada en soldadura a gas (soldadura oxiacetilénica), también se debe tener en cuenta que este método de observación cualitativo aparece como alternativa al no contar con equipos para medir el potencial de carbono al interior de la cámara.
6. El tratamiento de imágenes escaneadas de microfotografías en Autocad constituye un método alternativo para las mediciones propias de la

metalografía cuantitativa. En este estudio se emplea Autocad para medir el espesor de capa cementada y genera plantillas de círculos concéntricos para medir el tamaño de grano por el método de interceptos; además, dependiendo de la calidad de la imagen escaneada, se puede cuantificar la fracción volumétrica, medida del tamaño de grano por el método de Hayne, y la generación de otras rejillas de diversas medidas. El empleo de Autocad se presenta como una alternativa económica y alcanzable ante otros programas especializados que existe en el medio.

7. Como resultado general de las pruebas de forzamiento a las que fueron sometidas los arcos se encuentra que no es difícil de alcanzar los requerimientos de resistencia al corte, pues desde un inicio se logra obtener altas durezas que se obtienen en los demás procesos. Las dificultades se encuentran en alcanzar los grados de resistencia al impacto, por esto se presenta una conclusión individual para cada modelo de arco.
8. Para el arco modelo F-50 no es apreciable un incremento en la resistencia al impacto en los arcos aplicados 3 temple, no se logra pasar de grado 2 en promedio, pero se puede observar el cambio de microestructura en el núcleo, esto implicaría mejora en las propiedades pero no es apreciable en la prueba; para comprender esto, se plantea la idea de que el arco estaría siendo sobreexigido en la prueba, los datos de esfuerzos calculados dieron muestra de esta afirmación.
9. El triple temple otorgó mejora en la resistencia al impacto de los arcos F-60, permitiendo alcanzar el grado 3, e inclusive el grado 4, como lo indican las pruebas realizadas; esto va acompañado de un cambio en la forma de la ferrita, presente en el núcleo; por otro lado, la teoría indica que tal cambio favorece al incremento de la tenacidad.
10. No fue posible determinar si ocurrió mejora en la resistencia al impacto de los arcos F-70 con el triple temple, debido a la falta de pesas para seguir con la pruebas; además, el cambio microestructural observado en el núcleo sugiere una mejora en la resistencia, esto sólo se comprobaría con pruebas de mayor peso.
11. Después de haber seguido los resultados de las pruebas de impacto por un año, a fin de poder observar la repetibilidad de los resultados se planteó la siguiente hipótesis: "El promedio de los resultados de las pruebas de impacto se mantendrá invariable a través del tiempo (1 año)". Se entiende que esto ocurrirá como consecuencia de mantener los parámetros de proceso fijos. El análisis estadístico de resultados

(Prueba t student) mostró los siguientes resultados para cada modelo de candado:

- a. En el modelo F-50 la hipótesis se rechaza. Se encuentra variación en el promedio de los resultados, esta variación, para efectos reales o de producción, no representa cambio extremo, se logra asegurar un mínimo de grado 1, se plantea una lista de posibles fuentes de variación que esperarían ser estudiadas en futura investigación. Las posibles fuentes de variación sería: la excesiva tensión residual producto del temple, variaciones del espesor de capa cementada, tamaño de grano excesivamente crecido o, simplemente, los valores del primer grupo de estudio constituyen fuente de variación.
 - b. Para el modelo F-60 la hipótesis se acepta. Al haber presentado resultados sostenidos, se acepta que el proceso está bajo control y los resultados son predecibles.
 - c. En el modelo de arco F-70, a pesar de observar resultados repetitivos, se realiza la prueba de hipótesis y se obtiene un valor de t en la región de aceptación de hipótesis, por lo que automáticamente se tomaría la hipótesis como verdadera; pero, en términos reales, se entiende que los resultados obtenidos no son producto de esfuerzos máximos que el arco puede soportar. Por esto, se deja abierta la posibilidad de encontrar variación de resultados a elevadas fuerzas dinámicas, generados por el impacto de mayores pesos de prueba. Para efectos de pruebas de control de producción, se acepta como válida la hipótesis, también se puede decir que el proceso está bajo control y los resultados a esperar son predecibles.
12. Al comparar los valores de los esfuerzos máximos exigidos en las pruebas de impacto por cada peso, se encuentra que los valores del modelo F-60 se correlacionan mejor con el esfuerzo último de tensión (U.T.S), indicado en los manuales y guías de selección de aceros, por lo que los esfuerzos calculados para este modelo de arco servirían como referencia para futuras investigaciones.

XI. RECOMENDACIONES

1. Seleccionar otro tipo de acero, teniendo en cuenta los cálculos de esfuerzos exigidos en la prueba para arco F-60, de tal manera que con un solo temple se pueda sobrepasar el esfuerzo máximo exigido para el grado 3 de un acero bajo carbono cementado y templado 3 veces. Esto traería como consecuencia: ahorro en el proceso y, probablemente, en el costo de producto final.
2. A medida que se cubran los gastos del proyecto y genere ahorros, destinar fondos para la adquisición de sensor y controlador del potencial de carbono, de tal manera que se tenga mayor control del proceso, minimización de la composición de la atmósfera y variación de capa cementada.
3. Instalar un controlador del flujo de entrada de gas a la cámara, para así poder determinar la cantidad mínima de gas a ingresar a la cámara por proceso.
4. Una vez controlado el potencial de carbono de la atmósfera, diseñar un nuevo tanque de temple, de tal manera que se pueda templar mayor cantidad de arcos por proceso, disminuyendo así el número de procesos de cementado y generando más ahorro.
5. Para fines de investigación, en base a los esfuerzos calculados para la prueba de impacto del modelo F-60, calcular nuevos pesos para probar arcos F-50 y F-70, de tal modo que se generen esfuerzos similares al modelo F-60, con el objeto de comprobar si los 3 temples incrementan la resistencia al impacto, en general, de todos los arcos.
6. Con fines de investigación, obtener un registro de caracterización de los arcos de candado, medir el espesor de capa cementada mediante indentación con carga predeterminada, construir un perfil de durezas a través de la sección transversal de los arcos y correlacionar con las pruebas de impacto.
7. Para mantener un mayor control de la variación de la dureza de los arcos, realizar un estudio de las principales características del medio de temple durante servicio, las cuales podrían ser: temperatura del medio de temple, agitación, tiempo de enfriamiento del medio sin carga, presencia de agua, nivel de impurezas, propiedades como: viscosidad, punto de ignición para proceder a la renovación del aceite.

8. Colocar un sensor y alarma que indique la presencia de cantidades críticas de oxígeno u aire al interior de la cámara, y evitar detonaciones.
9. Revisión periódica de los sellos de la cámara, termocupla, controladores, así como del estado de la retorta de acero refractario para evitar contratiempos o fallas catastróficas.
10. Utilizar toda esta experiencia del proceso de diseño y buscar la manera de diseñar equipos para desarrollar todo este proceso de manera más automatizada y controlada, sin dejar de lado los criterios de investigación.
11. Diseñar y construir un sistema de captación de humos para el cuidado del medio ambiente.

XII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] APRAIZ BARREIRO, Jose. *Tratamiento térmico de los aceros*. p. 434
- [2] Ibid. p. 434
- [3] V. Zuev. *Trabajos de laboratorio para la capacitación de termistas*. Trad. del ruso por T.V. Lokashova. pp. 29-30
- [4] V. SEVERDLIN, Alexey y R. NESS, Arnold. "Fundamentals concepts in steel heat treatment" : E. TOTTEN, George y A. H. HOWES, Maurice (eds). *Steel heat treatment handbook*. Trad. del inglés por tesista. p.31
- [5] LAJTIN, Yu. *Tratamiento térmico del acero*. pp. 29-30
- [6] OLSON, Larry. "Proper Quenching Options yields Better Heat-Treating Results en Modern Applications News". En: *The Metalworking Idea Magazine*. HeathBath Corporation, USA, 2002
- [7] APRAIZ BARREIRO, Jose. Ob. cit. pp. 322-323
- [8] ZA VALETA GUTIERREZ, Nilton. *Metalografía de los aceros y fundiciones*. p 113
- [9] H. AVNER, Sydney. *Introducción a la metalurgia física*. pp. 318 – 320
- [10] A.P. Guliaev. *Metalografía I*. pp 344-345
- [11] APRAIZ BARREIRO, Jose. Ob.cit. pp 381–382
- [12] H. AVNER, Sydney. Ob. cit. pp. 324-325
- [13] Interlloy. febrero 2004. [On-line].
URL:http://www.interlloy.com.au/data_sheets/carbon_steels/1022.htm.
- [14] H. K. D. H. Bhadeshia y L.E. Svensson. *Modelling the Evolution of Microstructure in Steel Weld Metal*. Institute of Materials, Londres, 1993, pp. 109–182
- [15] BOHELER. *Manual de aceros*. P. 16
- [16] THYSSEN. *Product guide steels non-ferrous metals plastics*, 2nd edition, September, 1995, p. 155
- [17] MatWeb. AISI 1022 Steel. [On-line]. URL: <http://www.MatWeb.com>
- [18] British Ministre of Defence, Directorate of Standardization, Defence Standard. Steel specifications (group system) DEF STAN 01-8/1.p. 18.
- [19] Standard Performance Specification for Padlocks ASTM F 883-97

A. JAKICIC, Bernard y PERE, Fabrizio. "STC Batch Furnace Offers Production, Flexibility". En: *Industrial Heating the International journal of Thermal Technology*. USA, Ed. BNP, Julio de 2001

ASME HANDBOOK. *Metals Engineering-Design*, Second edition, USA, McGraw-Hill book company, 1966, pp. 221 – 224

BELLIDO SANCHEZ, Pedro Alberto. *ABC costeo basado en actividades*. Lima, Edit. Instituto de Investigación El Pacífico, 2003, pp. 389 - 453

C. BAIN, Edgard y W. PAXTON, Harold. *Alloying elements in steel*, 2nd ed. third revised printing, USA, American Society for Metals, 1966, p. 16

CLIVE DYN, Patrick Little. *El proceso de diseño en ingeniería*. México, Edit. Limusa Wiley, 2002

E. TOTTEN G. et al. "Designing Quench System for Induction Hardening, Part I". En *Industrial Heating the International journal of Thermal Technology*. USA, edit. BNP, september 2005

"Effects of Contamination on Quench – Oil Cooling rate, Quench System Considerations". En: *Industrial Heating the International journal of Thermal Technology*. USA, edit. BNP, january 2002

HORMING, David Charles. *A Study of the High-Temperature Into Ignition and Thermal Decomposition of Hydrocarbons*. published by High-Temperature Gasdynamics Laboratory Department of Mechanical Engineering Stanford University. USA, 2001, pp. 91 – 95, 104 – 112

K. Dora Maria. *Tratamientos térmicos de aceros y sus prácticas de laboratorio*. 2^{da} reimposición, México. Limusa Noriega Editores, 1994, pp. 169 -170

L. NORTON, Robert. *Diseño de máquinas*. México, Prentice Hall Hispanoamericana, 1999, pp. 144 – 148

Lindberg Industria Argentina. Hornos batch o Intermitentes. noviembre 2005. [On-line]. URL:<http://www.lindberg.com.ar/product>

MatWeb. The online materials database. AISI 1022 Steel. noviembre 2005. [On-line]. URL: <http://www.MatWeb.com>

METALS HANDBOOK. *Heat Treating, Cleaning and Finishing* Vol 2, 8th edition. USA. prepared under the direction of the ASM Handbook committee AMERICAN SOCIETY FOR METALS, Metals Park Ohio. 1964. pp. 409 – 482, 489 – 530

MIRANDA BARRERAS, A.L. y PUJAL, R. Oliver. *Gas conocimientos fundamentales I*. España, Ediciones CEAC, 1996, pp. 129 – 140

PYTEL, Andrew y L. SINGER, Ferdinand. *Resistencia de materiales introducción a la mecánica de sólidos*, 4^a ed, México. Edit. Harla, 1995, pp. 32 - 33

R. ASKELAND, Donald. *Ciencia e ingeniería de los materiales*. 3^{ra} ed, México, Internacional Thomson Editores, 1999, pp. 109 – 113, 118 -120, p 342

SECO WARWICK CORPORATION. *Heat treating data book*, 8th ed, USA, 2000, p. 8, 19

“Surface hardening”. En: 5th Anual Thermal Process Guide & Databook. Industrial Heating the International journal of Thermal Technology USA. Edit. BNP, diciembre de 2002, pp. 50 – 56

Thermal Product Solutions. Lindberg industrial equipment. HYEX Exothermic generator specifications. noviembre 2005. [On-line], URL:<http://www.heat-treat.com>

TRINKS, W. *Industrial furnace* vol I. USA, John Wiley & Sons, JNC Chapman & Hill, LTD, 1951, pp, 72 - 75

USER'S GUIDE of HAUCK E-Solutions. *Combustion System Design*. USA. 2002, pp. 91- 94

I. CÁLCULO DE FUERZAS, ENERGÍA Y ESFUERZOS EN ARCOS DE CANDADO

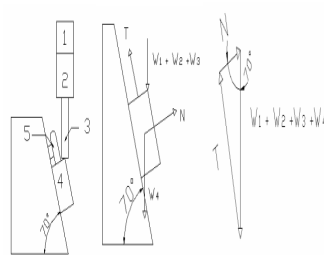
$$T = (W1 + W2 + W3 + W4) \cdot \text{SENO}(70^\circ)$$

W1 : Variable (pesas 1, 2, 3, 4, 5, 6)

W4 : Variable por modelo
(F-50 ; F-60 ; F-70)

W2 ; W3 : Constante

ESQUEMA Y DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE



ENERGÍA CINÉTICA TRANSMITIDA AL SISTEMA

$$E = \zeta \left(\frac{m V_i^2}{2} \right) \quad \zeta = \frac{1}{1 + \frac{m_b}{3m}}$$

m : Masa de la pesa m_b : Masa de objeto golpeado
 V_i : Velocidad de impacto
 ζ : Factor de corrección m : Masa de objeto por impacto que impacta

DEFLEXIÓN DINÁMICA DEL ARCO

$$\text{De } \frac{F_i}{W} = \frac{d_i}{d_{st}} \quad \text{Despejando } d_i = \frac{F_i}{W} \cdot d_{st}$$

d : Deflexión dinámica

ENERGÍA CINÉTICA APLICADA AL ARCO

$$E = \frac{F_i \cdot d_i}{2} \quad E : \text{Energía cinética}$$

FUERZA DINÁMICA SOBRE EL ARCO

$$\frac{F_i}{W} = 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot \zeta \cdot h}{d_{st}}}$$

d_{st} : Deflexión estática ζ : Factor corrección
 F_i : Fuerza dinámica h : Altura de caída
W : Peso de la masa que impacta

DEFLEXIÓN ESTÁTICA DEL ARCO

$$d_{st} = \frac{W L}{A E}$$

W_t : Peso del conjunto
L : Longitud de arco
A : Área de sección transversal
E : Módulo de Young

F-50

GRAVEDAD	9,8 m/s ²
ALTURA	1 m

Parte	m ₂	m ₃	m ₄	m ₅	W _T T
Masa Kg	0,08980	0,03367	0,02245	0,00816	

L (m)	A (mm ²)	E (Mpa)
0,10235	29,12	200000

W ₁ Peso	m ₁ Kg	m _b Kg	ϕ	V _i ² (m/s) ²	E ₁ Φm ₁ (V _i ² /2)	W ₄ Kg	Peso sistema	W _T Newtons	ä _{tático} m	Fi / W	Fi Newtons	ä _{námico} m	E ₅ Joule
1	0,10	0,146	0,68	19,6	0,7	0,220	2,430	1,881	3,305E-08	6402,7	6402,7	2,116E-04	0,68
2	0,20	0,146	0,81	19,6	1,6	0,220	3,430	2,654	4,665E-08	5885,0	11770,1	2,745E-04	1,62
3	0,31	0,146	0,86	19,6	2,6	0,220	4,430	3,428	6,025E-08	5353,0	16059,1	3,225E-04	2,59
4	0,41	0,146	0,89	19,6	3,6	0,220	5,430	4,202	7,385E-08	4920,2	19680,8	3,634E-04	3,58
5	0,51	0,146	0,91	19,6	4,6	0,220	6,430	4,976	8,745E-08	4570,4	22852,2	3,997E-04	4,57
6	0,61	0,146	0,93	19,6	5,6	0,220	7,430	5,750	1,010E-07	4283,0	25698,0	4,328E-04	5,56

F-60

GRAVEDAD	9,8 m/s ²
ALTURA	1 m

Parte	m ₂	m ₃	m ₄	m ₅	W _T T
Masa Kg	0,08980	0,03367	0,03163	0,01429	

L (m)	A (mm ²)	E (Mpa)
0,12	46,19	200000

W ₁ Peso	m ₁ Kg	m _b Kg	ϕ	V _i ² (m/s) ²	E ₁ Φm ₁ (V _i ² /2)	W ₄ Kg	Peso sistema	W _T Newtons	ä _{tático} m	Fi / W	Fi Newtons	ä _{námico} m	E ₅ Joule
1	0,10	0,155	0,66	19,6	0,7	0,310	2,520	1,950	2,533E-08	7239,8	7239,8	1,834E-04	0,66
2	0,20	0,155	0,80	19,6	1,6	0,310	3,520	2,724	3,539E-08	6716,4	13432,7	2,377E-04	1,60
3	0,31	0,155	0,86	19,6	2,6	0,310	4,520	3,498	4,544E-08	6137,5	18412,4	2,789E-04	2,57
4	0,41	0,155	0,89	19,6	3,6	0,310	5,520	4,272	5,549E-08	5657,0	22627,8	3,139E-04	3,55
5	0,51	0,155	0,91	19,6	4,5	0,310	6,520	5,046	6,554E-08	5264,7	26323,5	3,451E-04	4,54
6	0,61	0,155	0,92	19,6	5,5	0,310	7,520	5,820	7,560E-08	4940,2	29641,5	3,735E-04	5,54

F-70

GRAVEDAD	9,8 m/s ²
ALTURA	1 m

Parte	m ₂	m ₃	m ₄	m ₅	W _T T
Masa Kg	0,08980	0,03367	0,05102	0,02449	

L (m)	A (mm ²)	E (Mpa)
0,1429	74,35	200000

W ₁ Peso	m ₁ Kg	m _b Kg	ϕ	V _i ² (m/s) ²	E ₁ Φm ₁ (V _i ² /2)	W ₄ Kg	Peso sistema	W _T Newtons	ä _{tático} m	Fi / W	Fi Newtons	ä _{námico} m	E ₅ Joule
1	0,10	0,174	0,64	19,6	0,6	0,500	2,710	2,097	2,015E-08	7951,2	7951,2	1,603E-04	0,64
2	0,20	0,174	0,78	19,6	1,6	0,500	3,710	2,871	2,759E-08	7511,6	15023,2	2,073E-04	1,56
3	0,31	0,174	0,84	19,6	2,5	0,500	4,710	3,645	3,503E-08	6927,8	20783,3	2,427E-04	2,52
4	0,41	0,174	0,88	19,6	3,5	0,500	5,710	4,419	4,247E-08	6421,5	25686,0	2,727E-04	3,50
5	0,51	0,174	0,90	19,6	4,5	0,500	6,710	5,193	4,990E-08	5999,1	29995,3	2,994E-04	4,49
6	0,61	0,174	0,91	19,6	5,5	0,500	7,710	5,967	5,734E-08	5644,9	33869,5	3,237E-04	5,48

CÁLCULO DE ESFUERZO GENERADO EN ARCOS DE CANDADO

MODELO	ÁREA m ²	GRADO (NEWTON)					
		1	2	3	4	5	6
F - 50	2,912E-05	6402,7	11770,1	16059,1	19680,8	22852,2	25698
F - 60	4,619E-05	7239,8	13432,7	18412,4	22627,8	26323,5	29641,5
F - 70	7,435E-05	7951,2	15023,2	20783,3	25686	29995,3	33869,5

ESFUERZO CALCULADO

$$\sigma = F_i / A$$

MODELO	GRADO (NEWTON/m ²)					
	1	2	3	4	5	6
F - 50	219872939,6	404192994,5	551480082,4	675851648,4	784759615,4	882486263,7
F - 60	156739554	290814029	398623078,6	489885256,5	569896081,4	641729811,6
F - 70	106942837,9	202060524,5	279533288,5	345474108,9	403433759,2	455541358,4

1bar = 100000 N/m²

14,5038 PSI = bar

0,000145 PSI / N/m²

MODELO	GRADO (PSI)					
	1	2	3	4	5	6
F - 50	31889,9	58623,3	79985,6	98024,2	113820,0	127994,0
F - 60	22733,2	42179,1	57815,5	71052,0	82656,6	93075,2
F - 70	15510,8	29306,5	40542,9	50106,9	58513,2	66070,8

MODELO	ÁREA mm ²	GRADO (Mpa)					
		1	2	3	4	5	6
F - 50	29,12	219,9	404,2	551,5	675,9	784,8	882,5
F - 60	46,19	156,7	290,8	398,6	489,9	569,9	641,7
F - 70	74,35	106,9	202,1	279,5	345,5	403,4	455,5

II. CUADRO DE CÁLCULO DE COSTOS IMPUTADOS POR CADA ACTIVIDAD

ACTIVIDAD	PERIODO									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Actividad 1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Actividad 2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Actividad 3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Actividad 4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Actividad 5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Actividad 6	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Actividad 7	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Actividad 8	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Actividad 9	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Actividad 10	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
TOTAL	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000

ACTIVIDAD	PERIODO									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Actividad 1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Actividad 2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Actividad 3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Actividad 4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Actividad 5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Actividad 6	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Actividad 7	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Actividad 8	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Actividad 9	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Actividad 10	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
TOTAL	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000

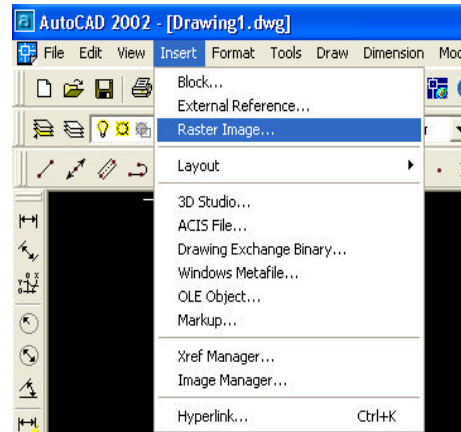
11 - 12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	32
33	34	35	36	37	38	39
40	41	42	43	44	45	46
47	48	49	50	51	52	53
54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67
68	69	70	71	72	73	74
75	76	77	78	79	80	81
82	83	84	85	86	87	88
89	90	91	92	93	94	95
96	97	98	99	100	101	102
103	104	105	106	107	108	109
110	111	112	113	114	115	116
117	118	119	120	121	122	123
124	125	126	127	128	129	130
131	132	133	134	135	136	137
138	139	140	141	142	143	144
145	146	147	148	149	150	151
152	153	154	155	156	157	158
159	160	161	162	163	164	165
166	167	168	169	170	171	172
173	174	175	176	177	178	179
180	181	182	183	184	185	186
187	188	189	190	191	192	193
194	195	196	197	198	199	200
201	202	203	204	205	206	207
208	209	210	211	212	213	214
215	216	217	218	219	220	221
222	223	224	225	226	227	228
229	230	231	232	233	234	235
236	237	238	239	240	241	242
243	244	245	246	247	248	249
250	251	252	253	254	255	256
257	258	259	260	261	262	263
264	265	266	267	268	269	270
271	272	273	274	275	276	277
278	279	280	281	282	283	284
285	286	287	288	289	290	291
292	293	294	295	296	297	298
299	300	301	302	303	304	305
306	307	308	309	310	311	312
313	314	315	316	317	318	319
320	321	322	323	324	325	326
327	328	329	330	331	332	333
334	335	336	337	338	339	340
341	342	343	344	345	346	347
348	349	350	351	352	353	354
355	356	357	358	359	360	361
362	363	364	365	366	367	368
369	370	371	372	373	374	375
376	377	378	379	380	381	382
383	384	385	386	387	388	389
390	391	392	393	394	395	396
397	398	399	400	401	402	403
404	405	406	407	408	409	410
411	412	413	414	415	416	417
418	419	420	421	422	423	424
425	426	427	428	429	430	431
432	433	434	435	436	437	438
439	440	441	442	443	444	445
446	447	448	449	450	451	452
453	454	455	456	457	458	459
460	461	462	463	464	465	466
467	468	469	470	471	472	473
474	475	476	477	478	479	480
481	482	483	484	485	486	487
488	489	490	491	492	493	494
495	496	497	498	499	500	501
502	503	504	505	506	507	508
509	510	511	512	513	514	515
516	517	518	519	520	521	522
523	524	525	526	527	528	529
530	531	532	533	534	535	536
537	538	539	540	541	542	543
544	545	546	547	548	549	550
551	552	553	554	555	556	557
558	559	560	561	562	563	564
565	566	567	568	569	570	571
572	573	574	575	576	577	578
579	580	581	582	583	584	585
586	587	588	589	590	591	592
593	594	595	596	597	598	599
600	601	602	603	604	605	606
607	608	609	610	611	612	613
614	615	616	617	618	619	620
621	622	623	624	625	626	627
628	629	630	631	632	633	634
635	636	637	638	639	640	641
642	643	644	645	646	647	648
649	650	651	652	653	654	655
656	657	658	659	660	661	662
663	664	665	666	667	668	669
670	671	672	673	674	675	676
677	678	679	680	681	682	683
684	685	686	687	688	689	690
691	692	693	694	695	696	697
698	699	700	701	702	703	704
705	706	707	708	709	710	711
712	713	714	715	716	717	718
719	720	721	722	723	724	725
726	727	728	729	730	731	732
733	734	735	736	737	738	739
740	741	742	743	744	745	746
747	748	749	750	751	752	753
754	755	756	757	758	759	760
761	762	763	764	765	766	767
768	769	770	771	772	773	774
775	776	777	778	779	780	781
782	783	784	785	786	787	788
789	790	791	792	793	794	795
796	797	798	799	800	801	802
803	804	805	806	807	808	809
810	811	812	813	814	815	816
817	818	819	820	821	822	823
824	825	826	827	828	829	830
831	832	833	834	835	836	837
838	839	840	841	842	843	844
845	846	847	848	849	850	851
852	853	854	855	856	857	858
859	860	861	862	863	864	865
866	867	868	869	870	871	872
873	874	875	876	877	878	879
880	881	882	883	884	885	886
887	888	889	890	891	892	893
894	895	896	897	898	899	900
901	902	903	904	905	906	907
908	909	910	911	912	913	914
915	916	917	918	919	920	921
922	923	924	925	926	927	928
929	930	931	932	933	934	935
936	937	938	939	940	941	942
943	944	945	946	947	948	949
950	951	952	953	954	955	956
957	958	959	960	961	962	963
964	965	966	967	968	969	970
971	972	973	974	975	976	977
978	979	980	981	982	983	984
985	986	987	988	989	990	991
992	993	994	995	996	997	998
999	1000	1001	1002	1003	1004	1005
1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012
1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019
1020	1021	1022	1023	1024	1025	1026
1027	1028	1029	1030	1031	1032	1033
1034	1035	1036	1037	1038	1039	1040
1041	1042	1043	1044	1045	1046	1047
1048	1049	1050	1051	1052	1053	1054
1055	1056	1057	1058	1059	1060	1061
1062	1063	1064	1065	1066	1067	1068
1069	1070	1071	1072	1073	1074	1075
1076	1077	1078	1079	1080	1081	1082
1083	1084	1085	1086	1087	1088	1089
1090	1091	1092	1093	1094	1095	1096
1097	1098	1099	1100	1101	1102	1103
1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110
1111	1112	1113	1114	1115	1116	1117
1118	1119	1120	1121	1122	1123	1124
1125	1126	1127	1128	1129	1130	1131
1132	1133	1134	1135	1136	1137	1138
1139	1140	1141	1142	1143	1144	1145
1146	1147	1148	1149	1150	1151	1152
1153	1154	1155	1156	1157	1158	1159
1160	1161	1162	1163	1164	1165	1166
1167	1168	1169	1170	1171	1172	1173
1174	1175	1176	1177	1178	1179	1180
1181	1182	1183	1184	1185	1186	1187
1188	1189	1190	1191	1192	1193	1194
1195	1196	1197	1198	1199	1200	1201
1202	1203	1204	1205	1206	1207	1208
1209	1210	1211	1212	1213	1214	1215
1216	1217	1218	1219	1220	1221	1222
1223	1224	1225	1226	1227	1228	1229
1230	1231	1232	1233	1234	1235	1236
1237	1238	1239	1240	1241	1242	1243
1244	1245	1246	1247	1248	1249	1250
1251	1252	1253	1254	1255	1256	1257
1258	1259	1260	1261	1262	1263	1264
1265	1266	1267	1268	1269	1270	1271
1272	1273	1274	1275	1276	1277	1278
1279	1280	1281	1282	1283	1284	1285
1286	1287	1288	1289	1290	1291	1292
1293	1294	1295	1296	1297	1298	1299
1300	1301	1302	1303	1304	1305	1306
1307	1308	1309	1310	1311	1312	1313
1314	1315	1316	1317	1318	1319	1320
1321	1322	1323	1324	1325	1326	1327
1328	1329	1330	1331	1332	1333	1334
1335	1336	1337	1338	1339	1340	1341
1342	1343	1344	1345	1346	1347	1348
1349	1350	1351	1352	1353	1354	1355
1356	1357	1358	1359	1360	1361	1362
1363	1364	1365	1366	1367	1368	1369
13						

III. RESUMEN DE CÁLCULO DE COSTOS POR ÍTEM

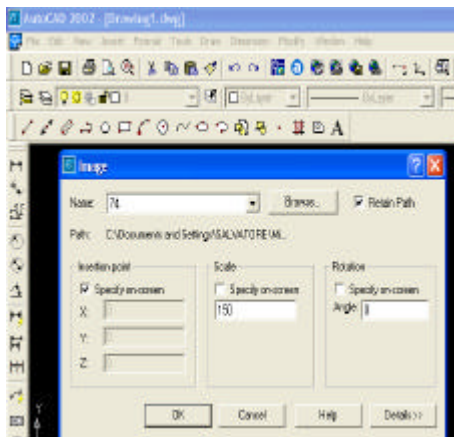
Horas Hombre	$\frac{\text{minuto}}{\text{día}} \times \frac{23}{3,409} \times \frac{1}{\text{sl.}} \times \frac{1}{\text{US}} \times \frac{1}{0} \times \frac{\text{día}}{\text{horas}} \times \frac{1}{60} \times \frac{\text{hora}}{\text{minutos}} = 0,01406$	0,01406
Consumo de gas por quemador	$\frac{\text{galón}}{\text{gal}} \times \frac{1,5}{\text{US}}$	1,5
Consumo de gas por difusión	$\frac{\text{galón}}{\text{gal}} \times \frac{1,5}{\text{US}}$	1,5
Consumo de aceite por temple	$\frac{\text{litro}}{42} \times \frac{120}{\text{gal}} \times \frac{1}{1} \times \frac{0,294}{\text{litro}} \times \frac{1}{3,409} \times \frac{1}{\text{sl.}} \times \frac{1}{\text{US}} = 0,0203$	0,0203
Energía eléctrica	$\frac{\text{hpminuto}}{\text{Hp}} \times \frac{0,36}{3,409} \times \frac{1}{\text{sl.}} \times \frac{1}{\text{US}} \times \frac{0,746}{1} \times \frac{\text{Hp}}{\text{HP}} \times \frac{1}{60} \times \frac{\text{h}}{\text{minuto}} = 0,00022$	0,00022
Desgaste indentador	$\frac{\text{Número}}{\text{indentaciones}} \times \frac{200}{\text{us}} \times \frac{1}{\text{indentador}} \times \frac{5}{1} \times \frac{\text{año}}{\text{año}} \times \frac{12}{1} \times \frac{\text{meses}}{\text{mes}} = \frac{3,000000 \text{ US}}{\text{mes}} \times \frac{3,0000}{\text{mes}} \times \frac{220}{\text{puente}} = 0,0052$	0,0052
Desgaste cuerpo	$\frac{\text{Número}}{\text{Impactos}} \times \frac{0,22}{\text{año}} \times \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}} \times \frac{1}{12} \times \frac{\text{mes}}{\text{mes}} \times \frac{1}{300} \times \frac{\text{golpe}}{\text{mes}} = 4,40165 \times 10^{-6}$ $\frac{0,3364}{\text{año}} \times \frac{1}{\text{Kg}} \times \frac{1}{12} \times \frac{\text{mes}}{\text{mes}} \times \frac{1}{600} \times \frac{\text{golpe}}{\text{mes}} = 3,1575 \times 10^{-6}$ $\frac{0,574}{\text{año}} \times \frac{1}{\text{Kg}} \times \frac{1}{12} \times \frac{\text{mes}}{\text{mes}} \times \frac{1}{525} \times \frac{\text{golpe}}{\text{mes}} = 5,82005 \times 10^{-6}$	$4,40165 \times 10^{-6}$ $3,1575 \times 10^{-6}$ $5,82005 \times 10^{-6}$
Desgaste sierra	$\frac{\text{Número}}{\text{puentes}} \times \frac{1}{\text{año}} \times \frac{1}{12} \times \frac{\text{mes}}{\text{mes}} \times \frac{1}{66} \times \frac{\text{puente}}{\text{mes}} = 0,00026$	0,00026
Petróleo	$\frac{\text{litro}}{\text{gal}} \times \frac{2,09}{\text{US}} \times \frac{1}{3,409} \times \frac{1}{\text{litro}} \times \frac{0,294}{\text{gal}} = 0,001$	0,001
Consumo papel	$\frac{\text{hoja}}{\text{hoja}} \times \frac{0,05}{3,409} \times \frac{1}{\text{sl.}} \times \frac{1}{\text{US}} = 0,005$	0,005

IV. MÉTODO PARA MEDIDA DEL ESPESOR DE CAPA CEMENTADA A PARTIR DE MICROFOTOGRAFÍAS ESCANEADAS

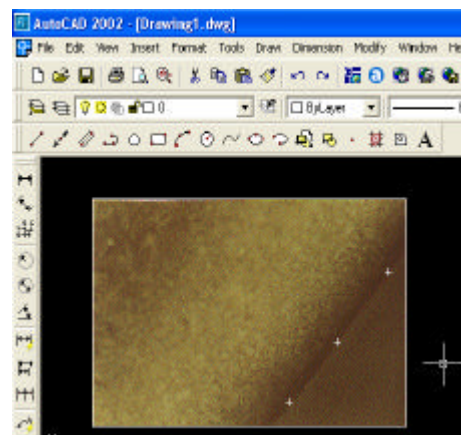
En un nuevo archivo, se carga la imagen escaneada mediante la opción **Raster Imagen** del menú **Insert**.



Se retira el ☒ de **Specify on-screen** del área **Scale**, luego se escribe la medida del largo de la fotografía en mm (para este caso 150 mm)

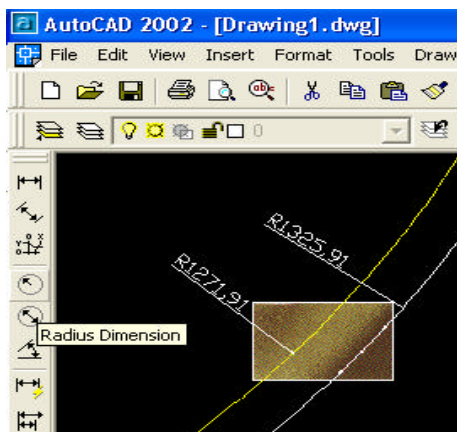


Una vez insertada la imagen, se marca tres puntos sobre el borde de la pieza, luego se dibuja un círculo que pase por los tres puntos.

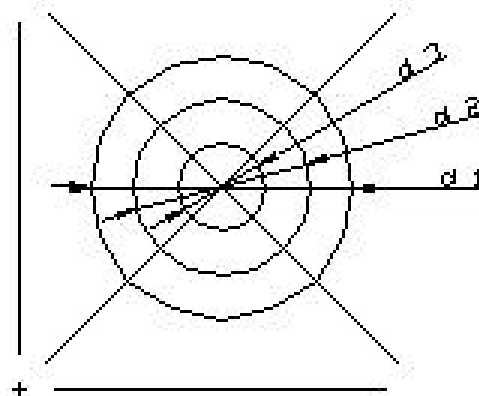


Se aplica **Offset** sobre el círculo recién dibujado hasta observar falta de continuidad o cambio de microestructura.

Obtener radio de las circunferencias y anotar los radios para el cálculo del espesor de capa en la plantilla de Excel.



V. MODELO DE PANTILLA PARA MEDIDA DE TAMAÑO DE GRANO
SEGÚN NORMA ASTM E 112



DIAMETRO DE CIRCUNFERENCIAS mm			LONGITUD mm
d1	d2	d3	
79.58	53.05	26.53	501.0159
63.66	42.44	21.22	400.0128
50.93	33.95	16.98	320.0120
39.79	26.53	13.27	250.0079
19.89	13.26	6.63	125.0040

Diámetros calculados a partir de reducción de circunferencias del círculo con longitud máxima.

VI. FACTORES DE CONVERSIÓN

1	N.m	=	1	Joule
1	Joule	=	0,737562	Lb _f – Ft
1	MPa	=	0,064749	ton f / in ²
1	MPa	=	1	N / mm ²
1	Bar	=	100 000	N / m ²
14,5038	PSI	=	1	Bar
0,000145038	PSI	=	1	N / m ²
