

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

Facultad Regional Córdoba

Carrera: Ingeniería Metalúrgica

Proyecto Final

**“Optimización de los costos de procesos de cementado bajo
atmosfera controladas”**

Alumno: D' Angelo, Nicolás

Figueroa, Pablo

Tutor: Ing. Peveri, Ismael

Co-Tutor: Ing. González Acosta José Andrés

Curso: 5T1

Año 2021

AGRADECIMIENTOS

Los integrantes de este proyecto queremos agradecer a nuestras familias por estar presentes y acompañarnos durante nuestra carrera, compartiendo las alegrías, apoyando en los momentos de dificultad e inculcándonos la cultura del trabajo, honestidad y respeto, y principalmente por ser aquellos en quienes siempre vamos a poder confiar y apoyarnos.

A la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Córdoba y sus docentes por brindarnos sus conocimientos y experiencias que nos han fortalecido como profesionales y en especial al Ing. Diego Suarez, director del Departamento de Ingeniería Metalúrgica. A nuestros compañeros de estudio con quienes recorrimos este camino y compartimos tantas experiencias.

A nuestro tutor Ing. Ismael Peveri y cotutor Ing. José Andrés González Acosta nos acompañaron durante las etapas de su desarrollo ayudándonos en la resolución de los análisis y en los métodos de experimentación

Al Laboratorio Central del INTI Córdoba donde realizamos nuestros análisis, y a su integrante Julio Costa por colaborar durante las etapas de análisis de los resultados y aportarnos sus experiencias que fueron de gran utilidad a la hora de realizar nuestros ensayos.

Y a todas aquellas personas que hemos conocido y nos han acompañado durante este viaje.

A todos y cada uno de ellos, ¡Muchas Gracias!



D'Angelo Nicolás



Figueroa Pablo

INDICE

RESUMEN	5
PLANTEO DEL PROBLEMA	6
OBJETIVOS	6
DESCRIPCION DEL PROCESO	7
ANALISIS DE TIEMPOS	9
ESTRUCTURA DE COSTOS POR KG.....	10
<i>Calculo costos por generador endotérmico (m3 de gas)</i>	10
<i>Calculo costos del Horno (m3 de gas)</i>	11
<i>Consumo de energía eléctrica del generador de atmosfera endotérmica</i>	11
<i>Consumo de energía eléctrica del horno</i>	11
<i>Mano de obra</i>	12
<i>Total, de costos 2018</i>	12
<i>Oportunidades de mejoras</i>	12
MARCO TEORICO	14
CEMENTADO	14
<i>Gas endotérmico</i>	15
<i>Reacción con gas natural</i>	16
<i>Control del generador</i>	18
PROCESOS DE CEMENTACION EN HORNOS	19
VARIABLES PRINCIPALES DEL PROCESO	25
<i>Efecto de la Temperatura:</i>	25
<i>Efecto del tiempo:</i>	27
<i>Control de la atmósfera</i>	29
<i>Sondas de oxígeno</i>	31
<i>Sondas Lambda</i>	34

MEDIOS DE TEMPLE:	35
<i>Métodos de control de la capa cementada en piezas procesadas</i>	36
<i>Examen microscópico</i>	37
METALURGIA FÍSICA DEL PROCESO	38
<i>Absorción</i>	39
<i>Difusión</i>	40
INVESTIGACION DE OPTIMIZACION	46
INCORPORACIÓN DE PROCESO DE PRECALENTAMIENTO DE CARGA	46
OPTIMIZACIÓN DEL VOLUMEN ESPECIFICO DE LA CARGA	50
<i>Definición del ensayo</i>	51
<i>Resultados</i>	51
<i>Conclusiones:</i>	54
ESTUDIO DE PROFUNDIDAD DE CAPA DE CEMENTACIÓN	55
<i>Análisis de muestras Año 2019</i>	55
<i>Resultados</i>	58
<i>Conclusiones</i>	67
OPTIMIZACIÓN DE VIDA ÚTIL DE GRILLAS	68
RESULTADO DE COSTOS Y PROCESOS	73
ANALISIS DE OBJETIVO PRINCIPAL	77
<i>Conclusión</i>	79
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	81
ANEXO 1	82
HOJA DE PROCESO N°5	82



RESUMEN

En el presente trabajo, se realizó el seguimiento de los costos en un periodo de tiempo de 3 años en el proceso de tratamientos térmicos bajo atmosferas controladas, perteneciente a la empresa D'Antra S.A. Con este estudio se busca la optimización en los procesos de atmosferas controladas, realizado con el menor costo posible. Se toma para el estudio el tratamiento térmico de cementación 0.7 a 0.9mm de penetración y temple, por representar el 30% del total de los tiempos de horno.

Los hornos de atmosfera controlada se utilizan para mantener el contenido de carbono del acero durante el tratamiento térmico, y prevenir la oxidación de la superficie o formación de calamina, también se pueden usar para cementar los aceros, con el agregado de carbono en la superficie durante un cierto tiempo, a una temperatura aproximadamente de 920°C. Los aceros que se utilizan para los procesos de cementado bajo atmosferas controladas, son aleados y sin aleación, con un bajo contenido de carbono, generalmente de 0,08 a 0,25 % C. En este estudio se utiliza un acero de calidad SAE 8620.

Como resultado de este estudio, se llegó a una reducción del costo por kilogramo de cementado y temple de 35.7%, lo cual genero una masa ganada de \$1350227.25 en el periodo de un año y 10 meses.

Palabras claves: cementado, atmosfera controlada, costos, espesor de capa



PLANTEO DEL PROBLEMA

Todo proceso metalúrgico lleva consigo un consumo energético, ya sea eléctrico o de gas, en la actualidad se busca realizar una mayor productividad con el menor costo de energía posible, manteniendo los estándares de calidad.

Como futuros Ingenieros, se realiza el estudio de una línea de tratamiento térmico de cementado bajo atmosferas controladas, pudiendo volcar todo el conocimiento adquirido en estos años de la carrera.

OBJETIVOS

Objetivo General: Lograr la reducción de costos de tratamiento térmico en un 20% en el periodo de tiempo de un año y 10 meses.

Objetivos Específicos:

- Conseguir la optimización de consumo energético (sustentabilidad ambiental)
- Conseguir la optimización de proceso y de la metalurgia
- Lograr la baja de consumo de repuestos/mantenimiento
- Reducir consumo de gas optimizando tiempo de cementado dentro del horno



DESCRIPCION DEL PROCESO

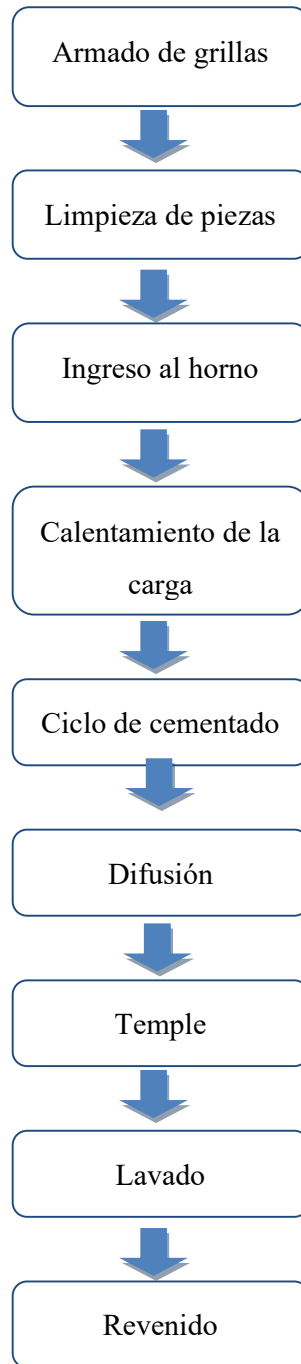


Figura N°1. Descripción del proceso



PROCESO DE TRATAMIENTO TERMICO

Situación inicial año 2018:

1. Armado de grillas: se colocan las piezas a procesar en un canasto de acero inoxidable ASTM A-297^{HT} C/Nb, manteniendo el cuidado de que no se toquen entre ellas.
2. Limpieza de piezas: en la lavadora con jabón industrial y agua caliente, (si es necesario) que estén libre de óxidos y aceites.
3. Ingreso al horno: a través de una mesa de carga. Los hornos integrales utilizan una atmósfera endotérmica controlada, además de utilizar una mezcla de gases (aire + gas) para realizar los procesos de temple y cementado. El control del potencial de carbono se realiza por medio de un controlador de % C a través de un sensor de oxígeno que se encuentra en el exterior del horno.

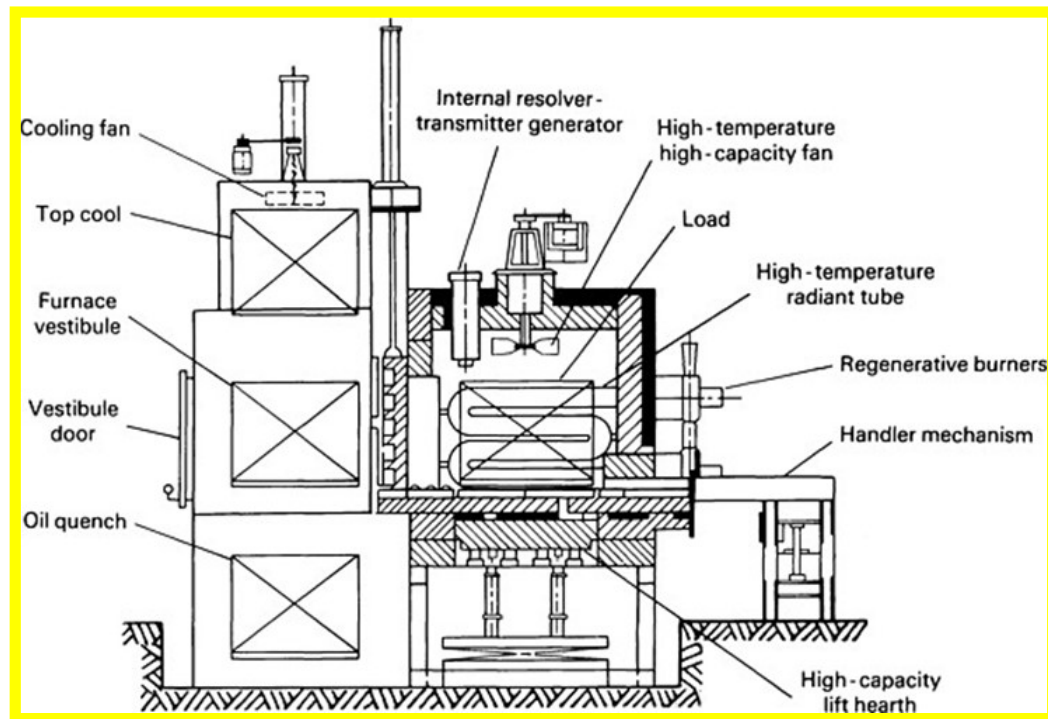


Figura N°2. Esquema del horno de atmosfera controlada.



4. Calentamiento: hasta que llegue a temperatura y homogeneización de la carga a 920°C, y a los 800°C se ingresa al gas endotérmico. Esta etapa del proceso demora 1hs 41min.
El horno cuenta con un visor óptico en la parte posterior, al momento de temperatura esta homogénea se pierde la visibilidad de la carga. El horno integral tiene 2 termocuplas de tipo K, mas una de control.
5. Ciclo de cementado se procede a ingresar gas cementante CH₄ con un caudal y tiempo según Hoja de Proceso N°5¹.
6. Difusión: en el horno de atmosfera se corta el ingreso de CH₄ y desciende la temperatura a la de temple. Tiempo según hoja de proceso N°5.
7. Temple: se procede a enfriar en aceite a una temperatura de 80°C la carga en el tiempo que demore en bajar a los 90°C.
8. Lavado: al retirar la carga una vez templada se lleva a una lavadora. Con agua y jabón industrial a 80°C más aspersores.
9. Revenido: según dureza requerida por el cliente y se determina la temperatura del mismo.

ANALISIS DE TIEMPOS

Tabla N°1.
Análisis de tiempos.

AÑO 2018	
Cementado de 0,7- 0,9mm	
Carga de 135Kg	
Etapas del proceso	Tiempos
Tiempo de homogeneización a T° 920°C	2Hs 5min
Cementado	4Hs 30min
Difusión / homogeneización a T° 840°C	1Hs 10min
Total	7Hs 45min

¹ Disponible en el Anexo “Hoja de Proceso N°5”

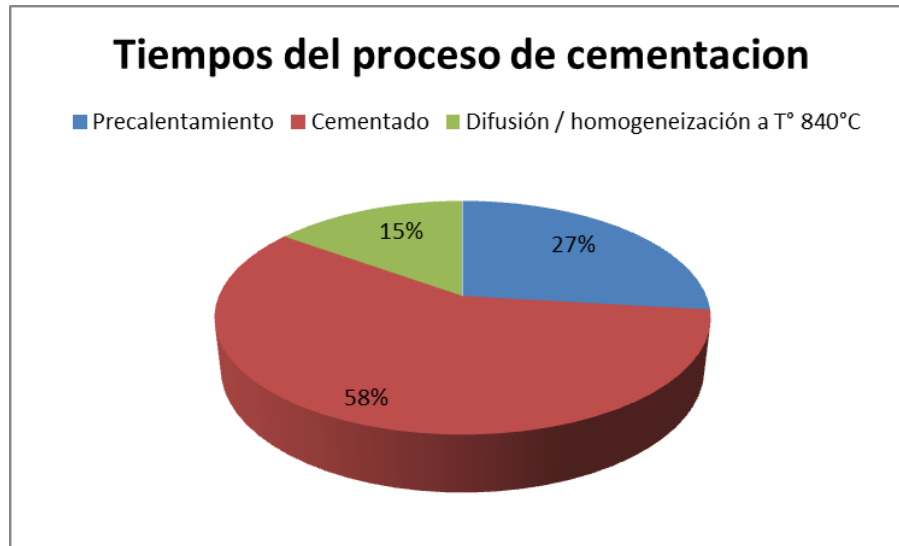


Figura N°3. Porcentajes de tiempos en el proceso 2018

ESTRUCTURA DE COSTOS POR KG.

Debido a la constante inflación de la economía de nuestro país, tomamos un valor de dólar fijo a 1 USD = \$ 83.50 ARS, el valor fue tomado a la fecha 31/10/2020, el día que completamos nuestra tesis.

Calculo costos por generador endotérmico (m³ de gas)

Ficha técnica del fabricante el generador tiene, 30 quemadores tipo Heineken, de los cuales, 15 funcionan 100% del tiempo, y 15 funcionan al 50%, consumiendo 16m³/hs, si funcionaran el 100%. Por lo tanto:

$$16\text{m}^3/\text{hs} \times 0,75 = \mathbf{12\text{ m}^3/\text{hs}}$$

$$\text{Consumo } 100\% = 16\text{m}^3/\text{hs}$$

$$75\% \text{ tiempo encendido} = 0,75$$

$$\text{Tiempo del proceso} = 7 \text{ Hs } 45\text{min}$$

$$12\text{m}^3/\text{hs} \times 7\text{hs } 45\text{min} = \mathbf{93\text{ m}^3}$$

$$\text{Precio del m}^3 \text{ de gas} = \$ 17,26$$

$$\text{Costo total del generador} = 93\text{m}^3 \times 17,26 \text{ \$/m}^3 = \mathbf{\$ 1605,18}$$



Calculo costos del Horno (m³ de gas)

Según ficha técnica del horno, el consumo es de 12 m³/hs en funcionamiento pleno, se controló el tiempo total de los 8 quemadores encendidos y el resultado fue 3 Hs 53min, en 7 hs 45 min de proceso.

$$3\text{Hs } 53\text{min} \times 12\text{m}^3/\text{hs} = 46,6 \text{ m}^3$$

$$46,6\text{m}^3 \times 17,26 \text{ \$/m}^3 = \text{\$ } 804,31$$

Consumo de energía eléctrica del generador de atmosfera endotérmica

El generador tiene un motor de 2HP por lo tanto:

$$1\text{HP} = 0.7457 \text{ Kw}$$

$$2\text{HP} = 1.4914 \text{ Kw/Hs}$$

Entonces el consumo en el proceso:

$$1,4914 \text{ Kw/hs} \times 7\text{hs } 45 \text{ min} = 11.55 \text{ Kw}$$

$$\text{Precio de Kw} = \text{\$ } 11,5$$

$$\text{Consumo total} = 11,55 \text{ Kw} \times 11,50 \text{ \$/Kw} = \text{\$ } 132,92$$

Consumo de energía eléctrica del horno

El horno de atmosfera posee una turbina para homogeneizar la atmosfera de 4 HP mas un agitador de aceite de 3 HP.

$$\text{En la turbina: } 4\text{HP} \times 0.74 \text{ Kw/ HP} = 2.9828 \text{ Kw}$$

$$\text{Consumo en hs} = 2.9828 \text{ Kw} \times 7\text{hs } 45 \text{ min} = 23.11 \text{ Kw}$$

$$\text{Costo en proceso} = 23,11 \text{ Kw} \times 11,5 \text{ \$/Kw} = \text{\$ } 265,84$$

$$\text{En el agitador: } 3\text{HP} \times 0.74 \text{ Kw/ HP} = 2.23 \text{ Kw}$$

$$\text{Consumo en Horas : } 2.23 \text{ Kw} \times 2 \text{ Hs } 18 \text{ min} = 5,14 \text{ Kw}$$

$$\text{Costo en proceso} = 5,14 \text{ Kw} \times 11.5 \text{ \$/Kw} = \text{\$ } 59,18$$

$$\text{Costo total turbina más agitador} = \text{\$ } 325.02$$



Mano de obra

En el periodo del 2018, el turno de 8 hs de trabajo contaba con tres turnos mañana tarde y noche, y un personal de 3 encargados y dos operarios.

Costo por hora de encargado = 471,76 \$/Hs x 3 personas = \$ 11322.24 diarios

Costo por hora de operario = 306,25 \$/Hs x 2 personas = \$ 4900 diarios

Costo total de mano de obra = \$ 16219.84

Costo total por hora= \$673.88

Costo total del proceso de 7Hs 45min = **\$5222,60**

Total, de costos 2018

Tabla N°2.

Estructura de costos directos 2018.

Estructura de costos directos 2018		Tipo de costo	Influencia %	Costo por kg
Mano de obra	\$ 5.222,60	Fijo	60,26	\$ 38,68
Generador endotérmico	\$ 1.605,18	Fijo	18,52	\$ 11,89
Horno de tratamiento térmico	\$ 804,31	Fijo	9,28	\$ 5,96
Mantenimiento	\$ 577,22	Fijo	6,66	\$ 4,28
Consumo de energía eléctrica	\$ 457,94	Fijo	5,28	\$ 3,39
Horno de precalentamiento gas	\$ 0,00	Fijo	0,00	\$ -
Total	\$ 8.667,25			\$ 64,20

Costo por kg de tratamiento térmico = \$64.20 por kg

Oportunidades de mejoras

1. Se observa que el componente por Kg mas representativo es la mano de obra, que como es independiente de la cantidad cementada podrá reducirse su importancia aumentando la cantidad de Kg a tratar por lote.
2. El segundo concepto de mayor importancia es el consumo de m3 de gas, el cual se divide en dos factores, el primero es el generador de atmosfera endotérmica y el segundo el horno de tratamiento térmico, los cuales se



podrían reducir mediante un precalentamiento de la carga ya que esa etapa del proceso no requiere un generador de atmosfera y también reduciría las horas necesarias para homogeneizar la temperatura en el horno de tratamiento térmico.

3. El tercer ítem de importancia es el de mantenimiento, el cual esta compuesto en su mayoría por las roturas de grillas, soldar las mismas en las zonas fisuradas extendería su vida útil.
4. Por último, se encuentra el consumo eléctrico, el mismo se reduciría con la disminución de horas de tratamiento térmico, lo que llevara a un menor uso de las bombas de refrigeración y la turbina de homogeneización de temperatura, este punto se reduciría de la misma forma que la mejora N°2.



MARCO TEORICO

CEMENTADO

Entre los diversos tratamientos de cementación, los procesos en atmósfera gaseosa son los más utilizados en los talleres de tratamientos térmicos, ya que es posible conseguir de manera práctica, económica y sencilla piezas de aceros capaces de soportar los difíciles esfuerzos solicitados. Toda cementación, aún aquella que se realiza en medios sólidos o líquidos, tiene lugar mediante una fase gaseosa en la que se verifica el transporte de carbono desde el medio cementante al acero. El poder producir un gas cementante regulable, ha sido una necesidad técnica desde los comienzos del empleo de estos tratamientos, hasta llegar al sistema actual que presenta indudables y grandes ventajas, ya que las leyes de equilibrio químico y las teorías de difusión, resuelven los múltiples problemas de la cementación sobre bases científicas y no por razones de tipo práctico como ha ocurrido durante siglos. Para la obtención de una atmósfera gaseosa cementante se parte de dos gases:

- a) Gas portador o gas endotérmico que, como se verá más adelante, se obtiene de una combustión incompleta de hidrocarburos; según ésta sea más o menos incompleta, la atmósfera que proporciona puede ser cementante, inerte u oxidante; será cementante si en ella hay más contenido de carbono que en la pieza a tratar, inerte si existe el mismo contenido, y oxidante si el contenido de carbono de la pieza es superior al de la atmósfera. El gas portador debe tener normalmente un contenido constante de carbono a lo largo de todo el proceso y para todos los hornos que existan en la instalación.
- b) Gas cementante, para obtener en la atmósfera de cada horno y en cada momento del proceso el contenido adecuado de carbono, se adiciona al gas portador un gas de enriquecimiento o cementante, en nuestro caso es el gas natural (metano) o el gas propano.

GAS ENDOTERMICO o PORTADOR + GAS CEMENTANTE = ATMOSFERA CEMENTANTE



Gas endotérmico

Se produce en un generador cuya función es suministrar regularmente el gas portador necesario en los procesos de cementación con una composición de ser posible, constante. Se consigue por combustión controlada de una mezcla rica en gas natural (metano) y aire en proporción tal que exista el suficiente oxígeno para formar el monóxido de carbono (CO), e hidrógeno (H) pero sin excesivo anhídrido carbónico (CO₂) o vapor de agua (H₂O). El calentamiento de la retorta del generador endotérmico puede ser por gases o eléctrico. La reacción en la cámara catalizadora se realiza a 1.050°C; un esquema del diagrama de flujo de un generador endotérmico se muestra en la Fig.4. El gas natural se controla por un caudalímetro y se mezcla en la válvula dosificadora con el aire, que es medido con otro caudalímetro. La válvula debe mantener fija la dosificación o proporción de aire-gas, y cuando ésta varía, un regulador de punto de rocío o de infrarrojo (a los cuales mencionaremos más tarde) actúa sobre una válvula adicional de aire, regulando la entrada de este para corregir el desvío. La mezcla de aire y gas es aspirada por el compresor y enviada al generador, si hay sobrepresión se abre una válvula uniendo la aspiración con la impulsión del compresor y recirculando la mezcla parcialmente. Ésta penetra al generador por la parte inferior de la retorta (para generadores de mayor capacidad pueden ser dos o tres retortas) calentada exteriormente. En el interior de estas retortas se encuentra el catalizador, constituido por cubitos de refractarios porosos impregnados con óxido de níquel. En la parte superior, rodeando a los tubos de salida, se inicia la refrigeración del gas. El refrigerador es un intercambiador de calor gas-agua. Su función es bajar la temperatura del endogas, para prevenir la reacción reversible del gas y evitar la formación de hollín en la cañería que lleva los gases a los hornos, lo que por supuesto altera la composición del gas portador. La reacción que se produciría si el gas no se enfriara rápidamente entre 480-700° C, sería $2 \text{ CO} \rightarrow \text{C} + \text{CO}_2$ (precipita en la cañería) La capacidad de los generadores comerciales oscila entre 7 y 110 m³ /hora, aunque se han construido hasta de 400 m³ /hora. Es aconsejable que su funcionamiento no sea en ningún momento inferior al 50% de su capacidad. Las reacciones que se producen en el generador dependen del gas utilizado para obtener el gas portador.

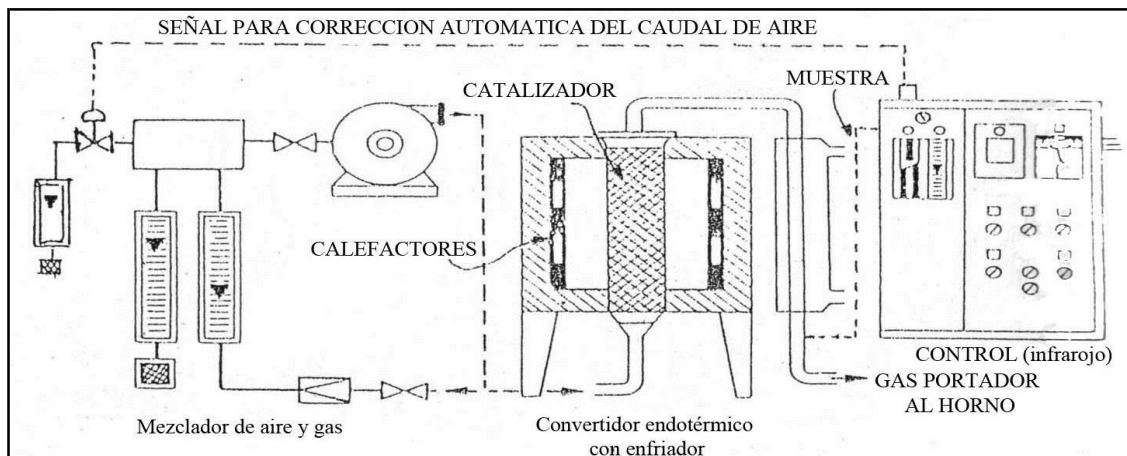
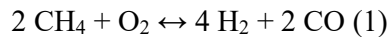


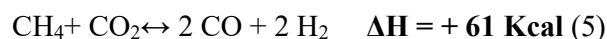
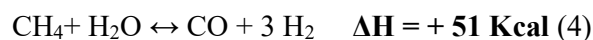
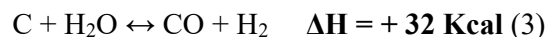
Figura N°4. Esquema del generador endotérmico.

Reacción con gas natural

Como consecuencia de que el gas natural está compuesto principalmente de metano (CH_4), la reacción química total que tiene lugar en el generador endotérmico puede expresarse de la siguiente forma:

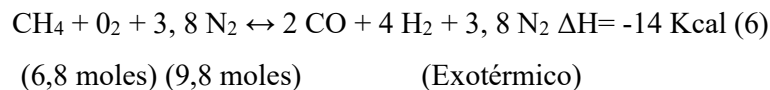


Despreciando los 3,8 volúmenes de nitrógeno por cada 2 volúmenes de metano. Esta reacción no es totalmente endotérmica, como el nombre del generador lo implica, sino que es exotérmica. Sin embargo, tiene lugar en dos etapas. En la primera, algo del metano quema con el aire y genera calor. En la segunda, el metano restante reacciona con el CO_2 y vapor de agua, producido en la primera etapa, y esta reacción es definitivamente endotérmica. Además, son necesarios una temperatura elevada y un lecho catalítico, limpio y suficiente, para obtener un gas completamente reaccionado y eliminar CO_2 , exceso de CH_4 y vapor de agua. Se estima que las reacciones son las siguientes:





Pero las reacciones finales son las que se indican abajo. Un gas completamente reaccionado, significa que el porcentaje de CH₄ no sea superior al 0,4-0,8%. Si la temperatura no es suficientemente elevada o el gas no ha reaccionado completamente, el catalizador se llenará de hollín. Cuando ello ocurre, se vuelve inefectivo y la composición del gas oscilará, dando como resultado un aumento en el contenido de CH₄, CO₂ y vapor de agua. Así, el proceso no puede ser controlado para mantener un potencial en carbono definido. Además, el metano no reaccionado craqueará en el horno de tratamiento térmico formando hollín. Un catalizador limpio y activo es de suma importancia para un control adecuado del punto de rocío y potencial de carbono. Frecuentemente se usa el tipo de base refractario poroso, impregnado con óxido de níquel. El cálculo del total de moles volúmenes producidos en la reacción del CH₄ con el O₂ (incluyendo 3,8 moles de N₂ en ambos lados de la reacción) es el siguiente:



Los totales indican que la reacción resulta en un aumento de 3 moles volúmenes; por lo tanto, el generador del tipo endotérmico produce más gas que el que conduce, en condiciones normales de presión atmosférica y temperatura (15,5° C). Si suponemos que se utiliza un gas natural constituido por 100 % CH₄

Rendimiento del generador sería:

$$n = \frac{9,8}{6,8} = 1,44 \quad \text{Veces la cantidad de aire y gas}$$

El análisis del gas sería el siguiente:

$$\text{CO} = 2/9,8 \times 100 = 20,4 \%$$

$$\text{H}_2 = 4/9,8 \times 100 = 40,8 \%$$

$$\text{N}_2 = 3,8/9,8 \times 100 = 38,8\%$$



La ecuación también indica que por cada 2 moles volúmenes de CH₄, se necesitan 4,8 de aire para efectuar el craquing, siendo entonces la relación $\frac{\text{aire}}{\text{gas}} = \frac{4,8}{2} = 2,4$.

Sin embargo, se sabe que el gas natural no está compuesto de un 100 % de CH₄ y que debe preverse, por consiguiente, una variación en los resultados antes obtenidos. Por ejemplo, el rendimiento real del generador aproximadamente 1,35 veces la cantidad total de aire y gas, en lugar del valor teórico 1,44.

Control del generador

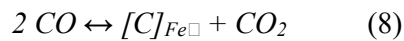
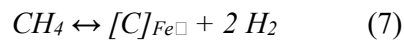
El control de la composición de gas en la producción de una atmósfera endotérmica, se mantiene determinando el punto de rocío y el contenido de CO₂. Se puede efectuar en forma manual o automática, en cuyo caso la medición es continua. Cuando es manual, el punto de rocío se determina, tanto en el horno como en el generador, en forma periódica (aproximadamente cada 2 horas) y cualquier corrección se efectúa reajustando la relación aire-gas del mezclador del generador. El personal experimentado puede estimar cuándo es necesario reajustarla para modificar el punto de rocío, pero no puede compensar las variaciones repentinas que pudiesen producirse como consecuencia de modificaciones en la velocidad de flujo o contenido térmico del gas. En cambio, el sistema automático de control, ya sea del punto de rocío o del contenido de CO₂, suministra una acción correctora en forma constante. En efecto, si por ejemplo se produjese un cambio en el contenido termal del gas natural, el sistema automático corregiría tal variación inmediatamente. En la Fig.4 se puede observar cómo el controlador automático actúa sobre una válvula adicional de aire para modificar su caudal en la mezcla y efectuar el cambio requerido. Dado que el mismo sistema de control (punto de rocío o infrarojo) se utiliza para controlar la atmósfera de los hornos, estos sistemas y equipos se explicarán después de tratar las condiciones de los procesos de cementación en los hornos. Es importante señalar que el gas endotérmico producido por el generador tiene normalmente un potencial de carbono medio, de allí que se lo suele mencionar como gas neutro, pero no debe entenderse como potencial cero. El generador suministra un gas que a la temperatura de cementación posee un potencial de carbono aproximadamente 0,50 (que equivale a un punto de rocío de -1° C ó 0,28 % de



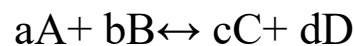
CO₂). Este potencial de carbono se aumenta dentro del horno por el agregado de gas natural.

PROCESOS DE CEMENTACION EN HORNOS

Las reacciones más importantes que ocurren entre la atmósfera cementante y las piezas dentro de los hornos son:



Donde $[C]$ es el carbono disuelto en austenita. Las reacciones (7) y (8) indican la adición de C al acero a partir de metano o monóxido de carbono para formar la solución de C en la austenita y dar H_2 y CO_2 respectivamente. Ambas reacciones son reversibles y los % de H_2 y CH_4 ó CO_2 y CO requeridos para lograr el equilibrio con una concentración de C con la superficie de un acero a una temperatura definida, pueden calcularse de datos termoquímicos. Sea una reacción reversible hipotética



Donde "a" unidades de volumen de gas A, reaccionan con "b" unidades del gas B, para producir "c" unidades del volumen del gas C y "d" unidades del gas D. Por ser reversible, en el equilibrio donde ambas velocidades de reacción se igualan la constante está dada por:

$$K = \frac{(pA)^a \cdot (pB)^b}{(pC)^c \cdot (pD)^d}$$

Donde p es la presión parcial: presión del sistema multiplicado por la fracción de volumen del gas. Cuando en la reacción hay sólidos y gas, se utiliza la actividad termodinámica para hallar la constante de equilibrio en lugar de las presiones parciales. En este sistema, en las ecuaciones (7) y (8) se considera la presión parcial de la austenita saturada como



igual a 1 y para todas las concentraciones menores que la de saturación se asume como proporcional al grado de saturación. Esta consideración de actividad proporcional no lleva a mucho error; el contenido de carbono para la austenita saturada varía con la composición del acero como lo muestra la Fig.5.

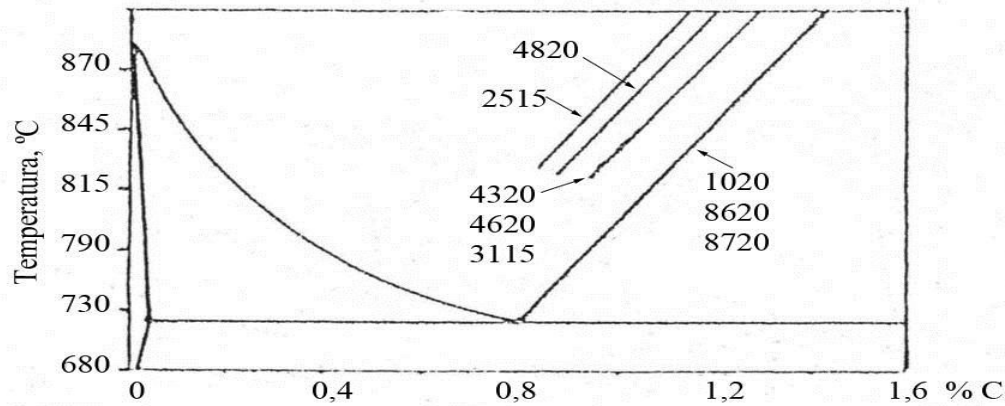
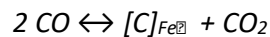


Figura N°5. Solubilidad aproximada de C en la austenita para 8 aceros.

Cuando, se aplica la ecuación (8), una actividad o porcentaje de saturación (A) debe emplearse para calcular las concentraciones de gas de equilibrio y poder alcanzar el nivel de C deseado.



$$K = \frac{(pCO)^2}{A \cdot (pCO_2)}$$

Se considera como la actividad termodinámica del C disuelto en la austenita (que es igual a 1 si está en la concentración de saturación). Por ejemplo, tomando la composición de la austenita saturada a 900° C como 1,18% C, si se desea tener 1% C en la superficie del acero, la actividad o grado de saturación $A = \frac{1,00}{1,18} = 0,847$, entonces

$$K \times 0,847 = \frac{(pCO)^2}{(pCO_2)}$$



Dará la relación entre el CO y el CO_2 para lograr el 1 % de C en la superficie del acero. La constante de equilibrio K depende fundamentalmente de la temperatura y ha sido determinada por los trabajos de F.E. Harris, con T temperatura absoluta en grados Rankine ($^{\circ}F + 460$).

Para la ecuación (7) $\log K = \frac{8370}{T [^{\circ}R]} - 5,770$

Para la ecuación (8) $\log K = \frac{-15996}{T [^{\circ}R]} + 9,060$ ó $\log K = \frac{-8894}{T [^{\circ}R]} - 5,770$

Para el sistema $CO-CO_2$, en la Fig.5 se da la relación entre CO y CO_2 en equilibrio con varias concentraciones de carbono, para aceros a 4 temperaturas diferentes. De acuerdo con la ecuación (28), los diferentes valores de K en función de la temperatura son:

Tabla N°3.

Valores de K en función de la temperatura.

TEMPERATURA	K
815° C	8,17
845° C	13,00
870° C	20,30
900° C	31,00
930° C	46,40
955° C	68,40



Dado que el generador suministra un % de CO constante, bastará con controlar el CO_2 para determinar el potencial de carbono de la atmósfera del horno de cementación gaseosa. Existe una relación definida entre los gases que intervienen en la reacción del gas de agua que se produce en el horno de atmósfera controlada, que es la reacción (29).



Esta reacción es reversible y la proporción relativa de cada gas existente en el equilibrio es función de la temperatura, como lo muestra:

$$K = \frac{(CO) \cdot (H_2O)}{(CO_2) \cdot (H)}$$

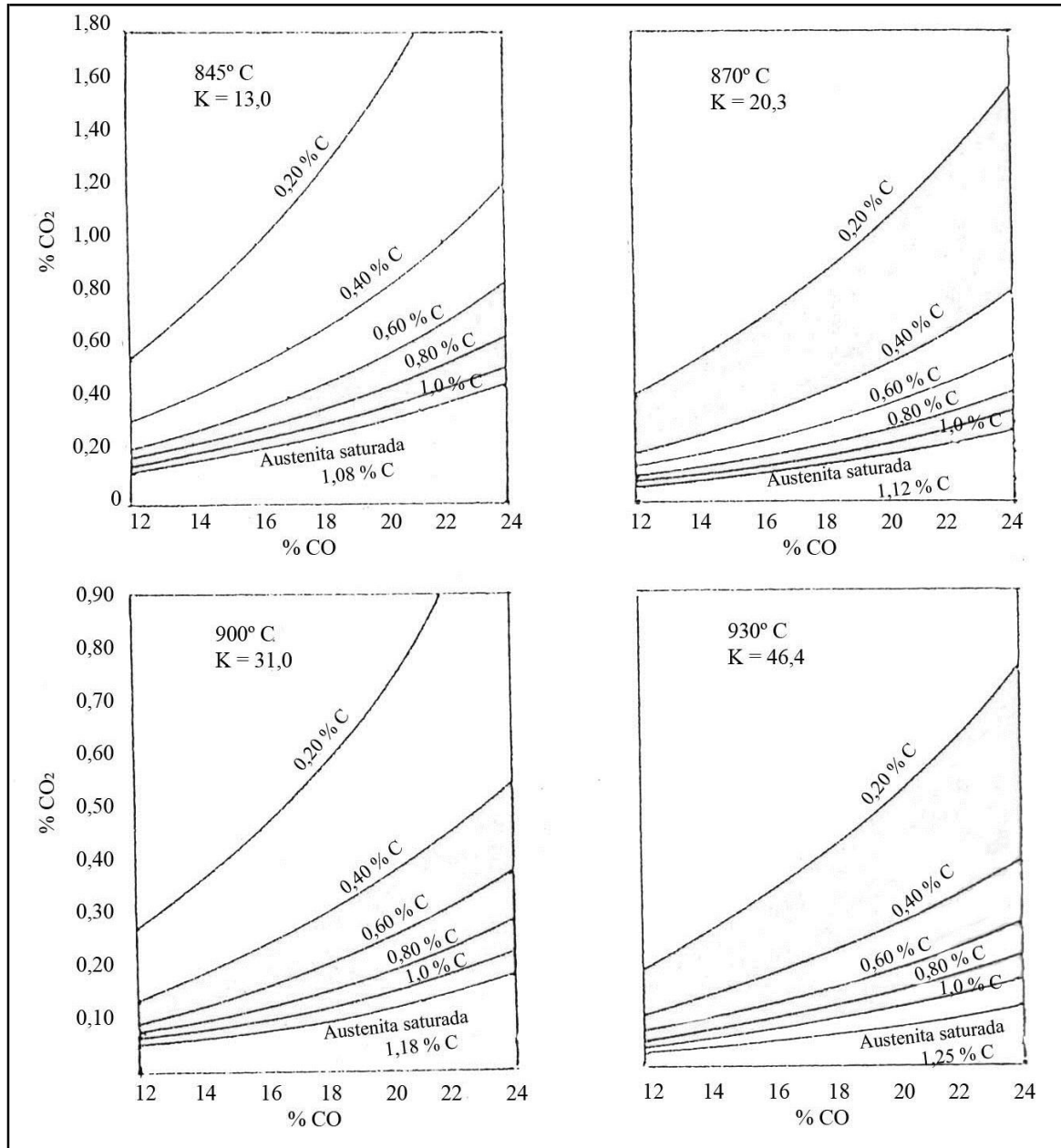


Figura N°6. Porcentajes de CO₂ y CO en equilibrio con varias concentraciones de carbono a 4 temperaturas diferentes.



$$\log.K = \frac{-3175}{T} + 1,627$$

También:

$$\frac{(H_2O)}{(H)} = K \frac{(CO_2)}{(CO)}$$

Es evidente que para cualquier temperatura la relación $\frac{(H_2O)}{(H)}$ difiere de la relación $\frac{(CO_2)}{(CO)}$ solamente en una constante. Los valores de K a diferentes temperaturas son:

Tabla N°4.

Valores de K a diferentes temperaturas.

TEMPERATURA (°C)	K
815	1,02
845	1,12
870	1,22
900	1,33
930	1,44
955	1,55

Dado que el gas portador suministra % de CO y de H constante, evidentemente se produce una relación directa entre el H₂O y el CO₂ para cada temperatura de proceso. Por eso el potencial de carbono puede determinarse no sólo controlando el % de CO₂ sino también el % de H₂O, a través del control del punto de rocío.

En la Fig.7 se muestra la relación entre el % de agua por volumen y el punto de rocío.

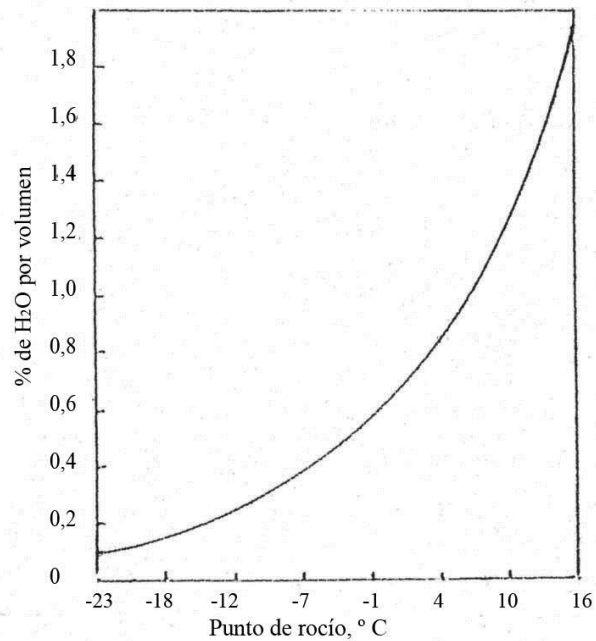


Figura N°7. Relación entre el punto de rocío y el porcentaje de H₂O por volumen.

Variables principales del proceso

El éxito del trabajo en la cementación gaseosa depende del control de tres variables principales: Temperatura, tiempo de permanencia y composición de atmósfera.

Efecto de la Temperatura:

La velocidad máxima a la cual el carbono se introduce en el acero, está limitada por su difusión en la austenita. Esta se incrementa con la temperatura; en efecto, a 925°C es aproximadamente un 40% mayor que a 870° C.

La temperatura más usual para efectuar la cementación es 925°C. Esta permite una razonablemente rápida velocidad de carburación sin un deterioro excesivo del equipo, en particular en lo que concierne a las piezas construidas con aleaciones resistentes al calor. Recientemente se han sugerido temperaturas más elevadas, 955°C (y aún 980° C) para ciertos requerimientos de penetración. Para capas superficiales, se utilizan temperaturas más bajas, dado que puede controlarse mejor la profundidad, dentro de los límites



especificados, cuando la velocidad de cementación es menor como consecuencia de una baja temperatura de proceso. Para obtener resultados uniformes es importante que no existan diferencias apreciables de temperatura en la carga, lo cual depende de la densidad de ésta, del diseño del horno y de la velocidad de calentamiento y circulación de la atmósfera. Para una determinada densidad de la carga, la diferencia entre la temperatura exterior e interior de la misma puede ser elevada a las temperaturas de cementación, como consecuencia de que el exterior de la carga se calienta principalmente por radiación y la velocidad de calentamiento es rápida a esas temperaturas. Al mismo tiempo, la posibilidad de que el gas circulado aminore la diferencia de temperatura es limitada, debido a su baja densidad a esas temperaturas. A temperaturas de cementación inferiores (840-870° C), la diferencia en el tiempo requerido para que las distintas zonas de la carga adquieran la temperatura de trabajo, tiene un menor efecto en la penetración. Otras causas en las diferencias a temperaturas elevadas son: A) Una relación elevada entre el área de la superficie y el volumen de las piezas individuales; B) Una energía de calentamiento elevada. Respecto a la primera, no puede intentarse nada; la segunda puede regularse automáticamente con un registrador y control, a los fines de reducir las diferencias en la carga.

Para obtener un mejor control en los hornos de mufla, la termocupla y el tubo de protección se ubican lo más próximo posible a las piezas, sin interferir con el movimiento de éstas en el horno. Para facilitar el control, se las introduce a través de la pared lateral del horno. En los hornos continuos, en la primera etapa (de precalentamiento) la termocupla se colocará en la parte final, evitando que las piezas se sobrecalienten. En la zona de cementación se ubicarán aproximadamente en la parte media. Cuando, a los fines de temple, la temperatura en la última zona debiera ser inferior que la de cementación, se logra un control más efectivo situando las termocuplas en la parte final de la misma. Si las termocuplas de Chromel-Alumel, usadas frecuentemente a las temperaturas de cementación, toman contacto con los gases reductores de la cámara del horno, se producirán errores en la medición. Para prevenir este contacto es necesario introducirlas en los tubos de protección efectuando preferentemente un barrido interior con una atmósfera neutra. Actualmente, todos los equipos de cementación utilizan controles de



temperatura automáticos. Sin embargo, eventualmente se originan errores que ocasionan pérdidas por el costo de las piezas mecanizadas; por lo tanto, es aconsejable efectuar controles frecuentes.

Efecto del tiempo:

F. E. Harris ha desarrollado una fórmula para determinar el efecto del tiempo y temperatura en la penetración, en la cementación normal:

$$\text{Penetración} = \frac{31,6\sqrt{t}}{10^{(5700/T)}} \text{ [en pulgadas]} \quad (10)$$

donde T: temperatura absoluta en grados Rankine ($^{\circ}\text{F} + 460$) y t: tiempo a temperatura, en horas. Para una temperatura de cementación determinada, la relación es simple:

$$\begin{aligned} \text{Penetración} &= K. \quad (11) \\ &= 0,025. \sqrt{t} \quad \text{para } 1700^{\circ}\text{F} (925^{\circ}\text{C}) \\ &= 0,021. \sqrt{t} \quad \text{para } 1650^{\circ}\text{F}(900^{\circ}\text{C}) \\ &= 0,018. \sqrt{t} \quad \text{para } 1600^{\circ}\text{F} (870^{\circ}\text{C}) \end{aligned}$$

En la Tabla N° 5, que se presenta a continuación, se indican las penetraciones, expresadas en milímetros y calculadas para tiempos de permanencia entre 2 y 36 horas, a tres temperaturas de cementación diferentes. Corresponden a la *capa total*, donde la concentración de C es aproximadamente 0,07 mayor que la del núcleo.



Tabla N°5.

Valores de penetraciones calculadas por la Ecuación de Harris.

Tiempo, horas	Penetraciones (mm.) después de cementar a		
	870° C	900° C	925° C
2	0,63	0,75	0,88
4	0,88	1	1,25
8	1.25	1,5	1,77
12	1,5	1,8	2,17
16	1,77	2,1	2,5
20	2	2.35	2,8
24	2,15	2,51	3
30	2,4	2.90	3,4
36	2,7	3,15	3,7

Cuando la cementación se controla adecuadamente para producir concentraciones en carbono superficial algo inferior que la de la austenita saturada, las penetraciones son menores que las calculadas por la ecuación de Harris. Además del tiempo a la temperatura de cementación, pueden requerirse varias horas para llevarlas piezas a la temperatura de trabajo. Si éstas van a ser templadas directamente en el horno de cementación, el ciclo puede prolongarse a los fines de reducir la temperatura a aproximadamente 800° C. Aunque en este intervalo de tiempo se produce difusión del carbono de la superficie al núcleo, y ésta es más lenta; este periodo puede usarse deliberadamente para una difusión moderada, a los fines de disminuir la concentración en la superficie, manteniendo una atmósfera de bajo potencial en contacto con las piezas durante el mismo. F. E. Harris ha desarrollado también ecuaciones para un método en dos etapas: cementación y difusión:

$$T_c = \text{Tiempo de cementación} = T_t \quad (32)$$

$$T_d = \text{Tiempo de difusión} = T_t - T_c$$

Donde

Tt: Tiempo total en horas (se calcula de la ecuación (31)).



C_{fd}: concentración final de carbono deseado.

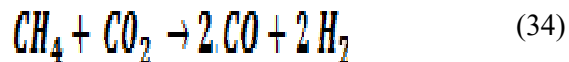
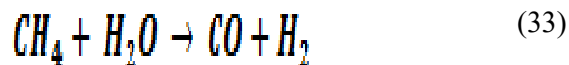
C_{fc}: concentración de carbono al término del ciclo de cementación.

C_n: concentración de carbono en el núcleo.

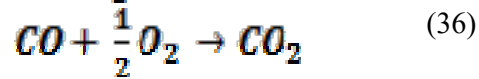
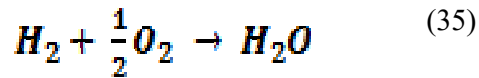
Este método es más adaptable al equipo tipo mufla. Una aplicación exitosa requiere un horno bien acondicionado y un gas portante de bajo carbono. Se supone que todas las adiciones de gas natural se efectúan durante el ciclo de cementación. Después que el agregado de gas natural se ha interrumpido y el ciclo de difusión ha comenzado, se presume que no se efectuarán otras adiciones de carbono al acero

Control de la atmósfera

Además del abastecimiento de carbono por la reacción cementante, los gases hidrocarburos pueden incrementar el potencial de carbono de la atmósfera en el interior de la cámara cementante, por disminución del punto de rocío (% H₂O) y el % de CO₂, de acuerdo a las siguientes reacciones:



Sin embargo, estas reacciones son relativamente lentas y muchas veces se requiere más metano que el necesario, para producir una disminución equivalente en el punto de rocío y contenido de CO₂. No es aconsejable suministrar en el horno, un gas portante con un punto de rocío y CO₂ elevado e intentar "limpiar" la atmósfera en el interior de la cámara cementante, dado que pueden ocurrir extrañas reacciones en la superficie del acero, las cuales originarían resultados impredecibles. Para obtener buenos resultados en el trabajo, es preferible producir un gas portador de una composición aproximadamente en equilibrio con una concentración en carbono, de 0,4-0,5 % en la superficie a la temperatura de cementación. Se puede disminuir fácilmente el potencial de carbono de las atmósferas en el interior de la cámara cementante, introduciendo aire en pequeños porcentajes, a los fines de incrementar el punto de rocío (% H₂O) y el contenido de CO₂ de acuerdo a las reacciones siguientes:



Las reacciones (35) y (36) se producen rápidamente. El procedimiento se ha empleado exitosamente para disminuir el potencial de carbono en la zona final de hornos continuos de cementación, con el objeto de obtener un período de difusión con una menor concentración en carbono subsiguiente en la superficie. Para cementar con concentraciones de carbono superficial comprendidas entre 0,80 y 1,00 % C, utilizando una atmósfera endotérmica como gas portante, el punto de rocío del mismo deberá oscilar entre + 10° a 30° F (-12,2 a -1,1° C). Los agregados necesarios de hidrocarburo para producir un potencial de carbono deseado, se efectúan en el horno junto con el gas portante, para lograr un punto de rocío inferior a + 10° F. Para concentraciones de carbono bajas, requeridas a menudo para una cementación homogénea, la relación aire-gas suministrada al generador, puede regularse para producir puntos de rocío mayores que + 30 °F; las curvas de equilibrio, como muestra la Fig. 7, son valiosas para establecer y controlar la atmósfera. Líquidos o gases hidrocarburos no diluidos, se aplican sólo a hornos tipo mufla con buenos cierres en las puertas y tapas, y con ventiladores para la circulación. Cuando se efectúa la cementación con gas o hidrocarburos líquidos sin gas portador, puede ser dificultoso regular la atmósfera, excepto que las condiciones dieran como resultado austenita saturada a la temperatura de cementación. Sin embargo, el elevado tenor de carbono resultante puede ocasionar la formación de un exceso de austenita retenida después del temple. Para obtener una superficie con un contenido bajo de aquél y un gradiente no demasiado pronunciado, es necesario efectuar un ciclo de difusión a la temperatura de cementación. Esto se realiza interrumpiendo el flujo de gas o líquido hidrocarburo, o bien disminuyéndolo hasta que se mantenga en el horno una atmósfera con un potencial en carbono reducido durante el ciclo de difusión. La adopción de un método u otro depende de la hermeticidad del equipo. Por lo general, cuando se utilizan gases o líquidos hidrocarburos, es difícil efectuar la cementación sin depositar algo de hollín sobre las piezas y en el horno. La interrupción del flujo de atmósfera



durante el ciclo de difusión permite, a menudo, quemarlo con la infiltración de aire, formando una atmósfera de monóxido de carbono-hidrógeno con bajo potencial en carbono, que no es conveniente reducir demasiado. Los líquidos cementantes que se utilizan son el alcohol iso-propílico, el varsol y mezclas de ambos.

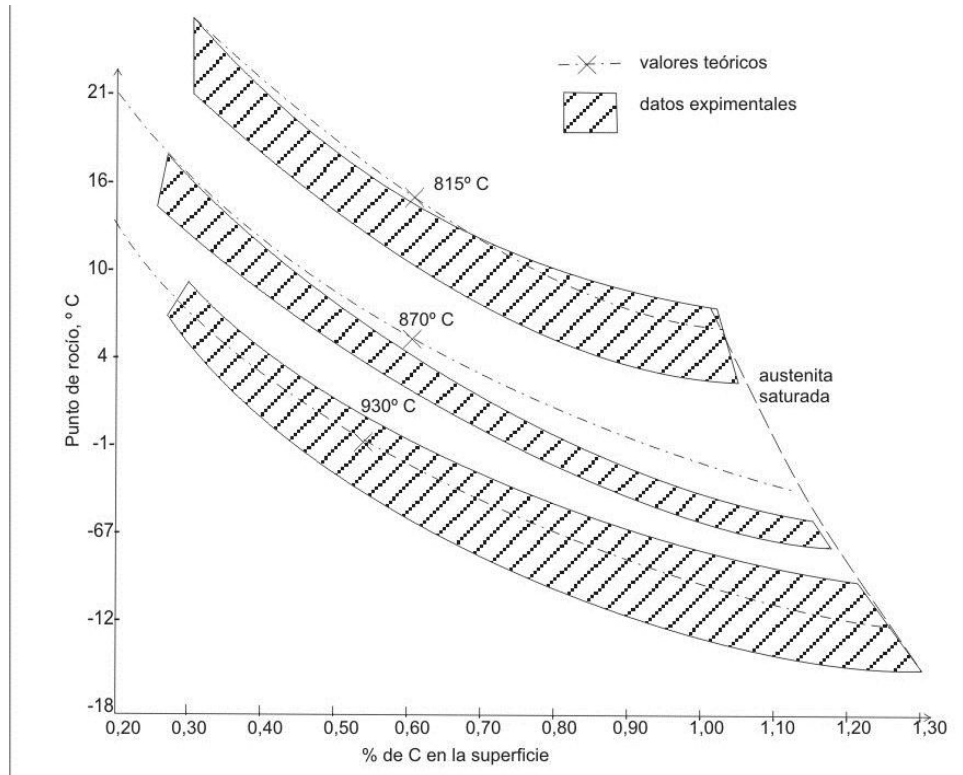


Figura N°8. Curvas de equilibrio para control de atmósfera.

Sondas de oxígeno

Las sondas de oxígeno están compuestas por un electrolito formado por óxido de zirconio y dos electrodos: uno interior y otro exterior, y es introducida en el interior del horno de forma que el electrodo exterior está bañado por el ambiente del mismo y el electrodo interior por aire ambiente:

La señal de salida de la sonda de oxígeno es una tensión continua función de la diferencia de presiones parciales del oxígeno entre sus dos electrodos y se expresa por la ecuación de Nerst

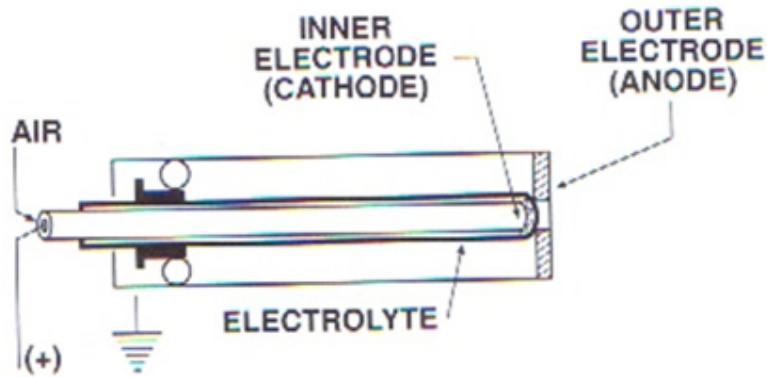


Figura N°9. Esquema de la sonda de oxígeno.

P O₂ ref

$$E = 0,0496 T \log \frac{P_{O_2}}{P_{O_2 \text{ ref}}}$$

P O₂

donde

E = señal en mV de la sonda de oxígeno.

T = temperatura absoluta.

P O₂ = presión parcial del oxígeno.

A partir de la misma puede determinarse el potencial de carbono:

$$\%C = \Phi (E, \%CO, T)$$

donde

E = señal en mV de la sonda de oxígeno

%CO = contenido de monóxido de carbono

T = temperatura absoluta

Las sondas de oxígeno normalmente incorporan una sonda de temperatura –termopar tipo K, R o S- cuya señal es usada conjuntamente por el convertidor de señal o el regulador para el cálculo del %C. La precisión de las sondas de oxígeno depende de varios factores,



aunque tiene mayor influencia su propio diseño que los elementos constitutivos de las mismas:

Los electrodos deben estar alejados de partes metálicas de forma que no puedan aumentar la disociación del monóxido de carbono o del vapor de agua.

Se debe aumentar la ventilación en el entorno de los electrodos para minimizar la reacción de disociación del metano que produce el níquel del tubo metálico.

Otros errores proceden de la instalación:

Calidad del aire de referencia utilizado. Debe ser limpio, libre de agua y aceites.

Limpieza insuficiente de los electrodos.

Operar con elevados potenciales de carbono ($>1,1$), fuera del campo de la fase austenítica ya que la deposición de carbono sobre los electrodos no permite una lectura correcta.

Operar con un factor de CO (COF) incorrecto: para unas mismas condiciones de temperatura, el potencial de carbono depende del contenido de CO sin variar la señal de salida de una sonda de oxígeno.

%CO 15 17 19 20 21 23

%pC 0,80 0,88 0,95 1,00 1,05 1,11

- Impedancia de entrada del receptor de la señal de la sonda de zirconio demasiado baja.

Deberá ser superior a 30 MΩ

El envejecimiento de las sondas de oxígeno se produce como consecuencia de:

- Aumento de la impedancia de la sonda como consecuencia del deterioro del electrolito. Las causas pueden ser operar con un elevado potencial de carbono y/o una elevada temperatura.
- Agrietamiento de la cerámica como consecuencia de los calentamientos o enfriamientos bruscos ocasionados durante la limpieza y el propio servicio.
- Deterioro del electrodo interior por oxidación. Las causas son un caudal de aire de referencia excesivo y elevada temperatura.
- Ataque químico de elementos que destruyen los electrodos, tales como el zinc que destruye el platino de los mismos o el propio óxido de zirconio del electrolito.

Por lo general, cualquier error de la sonda de oxígeno se traduce en una disminución de su señal de salida, es decir, una lectura del potencial de carbono inferior al



real, lo que conlleva a una mayor carburación de las piezas tratadas. Si las piezas tratadas aparecen descarburadas, deberá revisarse la receta utilizada en el tratamiento, tanto el %C como los tiempos programados y también verificar el valor ajustado de COF/PF (factor CO/ factor de proceso) en el convertidor de señal o en el regulador correspondiente.

Sondas Lambda

Son semejantes a las sondas de oxígeno, aunque de dimensiones más reducidas. Su gran campo de aplicación es el control de los gases de escape en la industria del automóvil. Debido a sus menores dimensiones, sus grandes volúmenes de fabricación y sus menores requerimientos —no requieren aire de referencia ni de limpieza— su coste es más económico que las sondas de oxígeno.

En la industria de los tratamientos térmicos se instalan en el exterior del ambiente a controlar y reciben la muestra de gas a analizar desde un tubo insertado en la pared del horno. Dadas sus reducidas dimensiones, toman el aire de referencia del ambiente que les rodea. Deben calentarse a temperatura constante entre 600 y 700 °C. Normalmente el calentamiento se realiza por medio de una resistencia integrada en la propia sonda, resistencia que debe alimentarse con una tensión estabilizada para evitar variaciones de la temperatura de la sonda. La muestra de gas debe llegar limpia de polvo, humedad y hollín, por lo que deben instalarse filtros previos a las mismas. No son recomendables para operar con %C elevados puesto que no es posible realizar una limpieza del hollín que se deposite como en las sondas de oxígeno. Presentan, para el control de tratamientos térmicos, el grave inconveniente de ofrecer una respuesta poco precisa cuando deben operar con potenciales de carbono variables y por tanto no son recomendables en el control de procesos tales como el temple o la cementación.

Por lo general su uso queda restringido a emplazamientos con gran uniformidad del %C en el tiempo, tales como generadores de endogas y en el control de atmósferas de sinterizado o de soldadura por capilaridad.



Cementación, homogeneización de temperatura y temple directo

Es una modificación del anterior, muy utilizado en hornos de atmósfera controlada para piezas más delicadas, tales como ejes estriados y engranajes. Consiste en efectuar la cementación y difusión a temperatura superior a A_{c3} , disminuyéndola posteriormente hasta A_{c1} , dejar un tiempo de homogeneización y luego efectuar el temple. De esta manera se logra una adecuada estructura martensítica en la capa con una menor reacción del núcleo, se disminuye la distorsión y la presencia de austenita en la capa. La Fig.10, que se presenta a continuación, muestra el curso de la temperatura en este proceso.

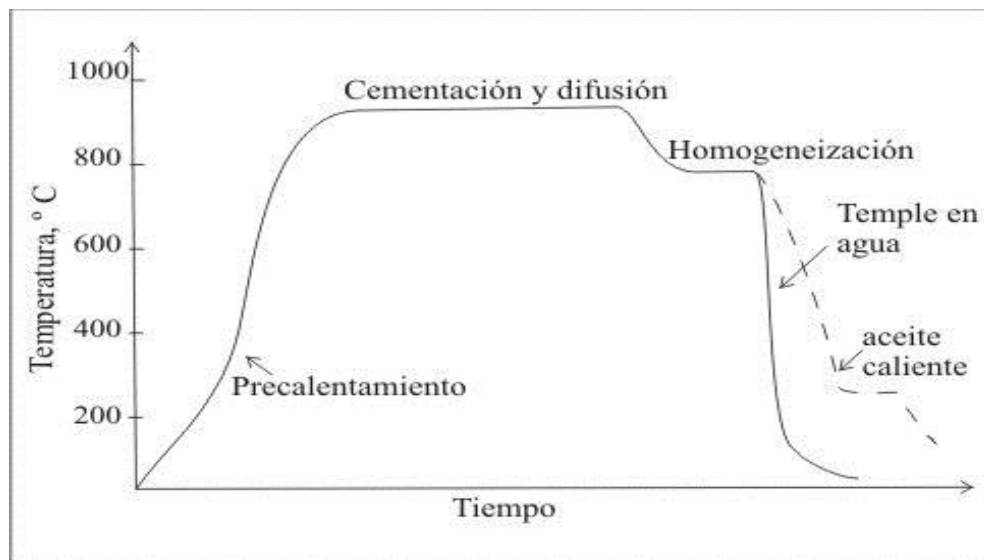


Figura N°10. Marcha del proceso de cementación, homogeneización de temperatura y temple directo

Medios de temple:

Los medios de temple más convencionales son agua, solución salina, solución cáustica, aceite y sales fundidas. La elección de cada medio debe relacionarse con las piezas específicas y dependerá principalmente de la templabilidad del acero, dureza requerida en la superficie y núcleo, y la distorsión permitida.



Métodos de control de la capa cementada en piezas procesadas

Para la evaluación de una capa cementada es necesario conocer fundamentalmente la estructura y la profundidad de la capa para determinar si se encuentra dentro de los límites deseados.

Existen varios métodos para el control, pero ninguno es recomendado para todas las aplicaciones, generalmente es necesario utilizar dos o más métodos para el control de las piezas procesadas.

Ensayo de dureza: es quizás el más simple, pero, cuando se ensaya en la superficie de la pieza, no alcanza a determinar la profundidad de la cementación o de descarburación, si existiese.

Pueden utilizarse tres procedimientos para el control de la capa cementada con dureza.

a) Medida de la dureza superficial, con dos condiciones de carga, tales como HR_C y HR_{15N}; de esta manera es posible detectar alguna descarburación superficial. Esto es válido para espesores de capa considerables ya que, si la profundidad de capa es pequeña, el penetrador o su área de influencia podría sobrepasarla dando resultados erróneos.

En general puede considerarse las siguientes escalas de dureza en función del espesor de capa: Para espesores de capa de 0,05 a 0,40 mm, usar HR_{15N}

Para espesores de capa de 0,45 a 0,80 mm, usar HR_A Para espesores superiores a 0,80 mm, usar HR_C.

b) Ensayo de dureza, superficial HR_{15N} en escalones rectificadas por debajo de la superficie a profundidades significativas. Este método da una indicación mejor de la profundidad a la cual el control del carbono es efectivo. Los valores de dureza obtenidos pueden graficarse en función de la distancia a la superficie donde puede determinarse la profundidad de capa total o la efectiva (profundidad equivalente a 50 HR_C).



c) Control de microdureza en gradiente en una sección transversal; de esta manera también es posible determinar la profundidad de capa total y la efectiva. Este último método es el más adecuado, aunque también el más laborioso y que exige un instrumental más sofisticado; puede determinar zonas con baja dureza, descarburación o algún otro defecto discontinuo en la capa.

Cuando los ensayos de dureza se emplean para evaluar el control de carbono, debe tenerse en cuenta que la dureza máxima en el temple se alcanza a aproximadamente el 0,70% C; si se obtienen valores de C mayores a éste, podría resultar austenita retenida con la consiguiente disminución de la dureza.

La baja dureza de las piezas templadas o probetas de ensayo pueden deberse a un temple insuficiente, por excesiva austenita retenida o por bajo contenido de carbono. De allí que para determinar el % de C de la capa conviene realizar otros procedimientos.

Examen microscópico

El estudio metalográfico es muy útil para determinar los componentes de una capa cementada, especialmente si existe descarburación o carburación excesiva; este método necesita de habilidad y experiencia para evaluar los componentes.

El examen microscópico debe ser empleado para determinar la presencia de:

- Ferrita: una capa de ferrita en la superficie indica una descarburación total. Si la ferrita se presenta intergranular la descarburación es parcial.
- Cementita: la presencia de cementita reticular pone de manifiesto un elevado potencial de carbono en el proceso de cementado.
- Perlita: se presenta en los aceros cementados con enfriamiento lento, la relación con la ferrita o cementita sirve para evaluar si el % de C de la capa es eutectoide (o hiper o hipoeutectoide)
- Austenita: en los aceros cementados y templados aparece austenita retenida en la capa generalmente cuando el potencial de carbono utilizado fue elevado, o posee apreciable % de elementos de aleación por ejemplo Ni, Mn, etc, o el temple se realizó a elevada temperatura.



- **Martensita:** una variación en el ataque de una estructura martensítica puede indicar una variación en el contenido de carbono. Un engrosamiento de la estructura puede deberse a elevada temperatura de temple.

Además de estos componentes, con una buena preparación metalográfica y adecuado reactivo de ataque, se puede detectar el tamaño de grano, observando el núcleo o la capa cementada. El estado de enfriamiento lento es el más indicado para obtener información; por supuesto que deberá realizarse en una atmósfera adecuada, pero son más fácilmente detectables las diferencias en el % de carbono en la capa cementada, el tamaño de grano y la posibilidad de descarburación; además utilizando un ocular que contenga una escala milimetrada es posible evaluar la profundidad de capa en forma correcta.

Metalurgia física del proceso

Los procesos termoquímicos de los aceros implican, además de transformaciones en la microestructura debido a la variación de temperatura de las piezas, un cambio en la composición química del acero. Generalmente, este cambio en la composición ocurre en la superficie del metal debido a la exposición a ambientes activos químicamente que interactúa con el material, con el fin de otorgar propiedades superficiales apropiadas para las distintas aplicaciones. La interacción entre el ambiente y la pieza, que se da superficialmente, implica el intercambio de materia mediante absorción y desabsorción. De manera inseparable, junto a dicho intercambio, se produce la difusión del componente absorbido por la pieza hacia el interior de la misma.

En la cementación, los aceros se encuentran en una atmósfera saturada por el gas cementante, el cual es la fuente del carbono a ser absorbido por la pieza. Debido a las características de la atmósfera en el proceso solo ocurre la absorción del carbono durante la presencia del gas cementante. Analizaremos a continuación los fenómenos físicos que ocurren en el proceso durante los ciclos de cementación.

Estos son:

1. Absorción
2. Difusión



Absorción

La función de la atmósfera del horno es de proporcionar el carbono necesario para el cementado de las piezas. A temperatura ambiente y presión atmosférica, el metano es un hidrocarburo gaseoso con la fórmula química CH_4 . Sin embargo, el gas metano se disocia fácilmente cuando este se pone en contacto con las superficies del metal, que actúan como catalizador a baja presión y elevada temperatura. El enlace que conecta el átomo de carbono se descompone dejando carbono e hidrógeno como productos.

El acero, durante el proceso de cementado, debe encontrarse en estado totalmente austenítico, por lo general se realiza a piezas cuyo contenido de carbono está entre el 0,08 y el 0,3% de carbono, a una temperatura superior a 830°C , a la cual, la cantidad de carbono que puede disolver la austenita hasta su saturación está por encima del 1%.

En el gráfico de la Fig.11 se muestra el límite de saturación de carbono en austenita versus la temperatura.

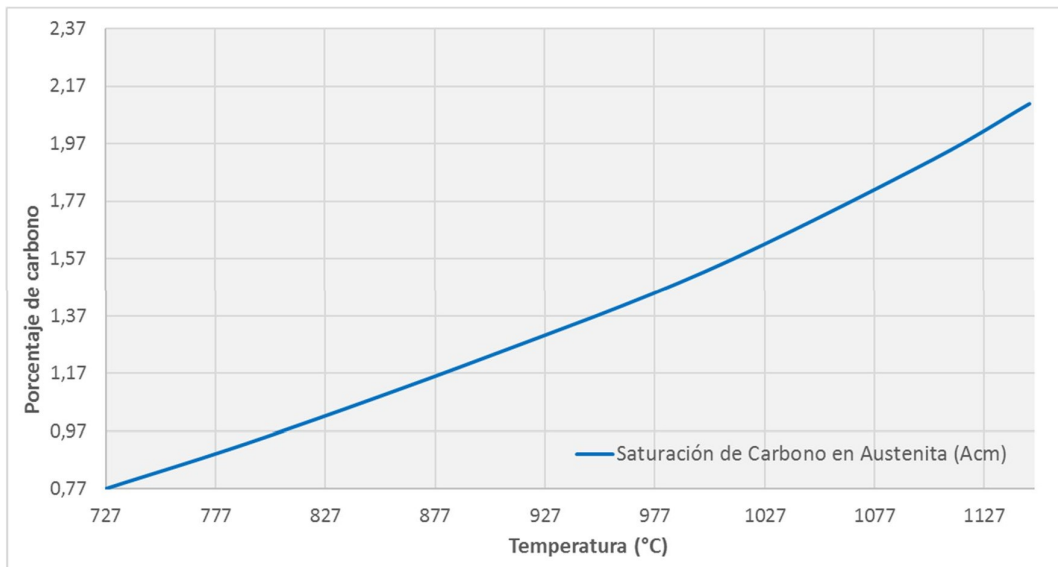


Figura N°11. Limite de saturación del carbono en austenita.

Esta capacidad de disolución junto a la gran cantidad de carbono disponible en la atmósfera, por la disociación del metano, provoca una rápida absorción del carbono. Por otro lado, el hidrógeno atómico se combina formando hidrógeno molecular que se libera a



la atmósfera sin ser absorbido. La Fig.12, que se presenta a continuación, ilustra el mecanismo básico de disociación para el acetileno en la superficie del acero.

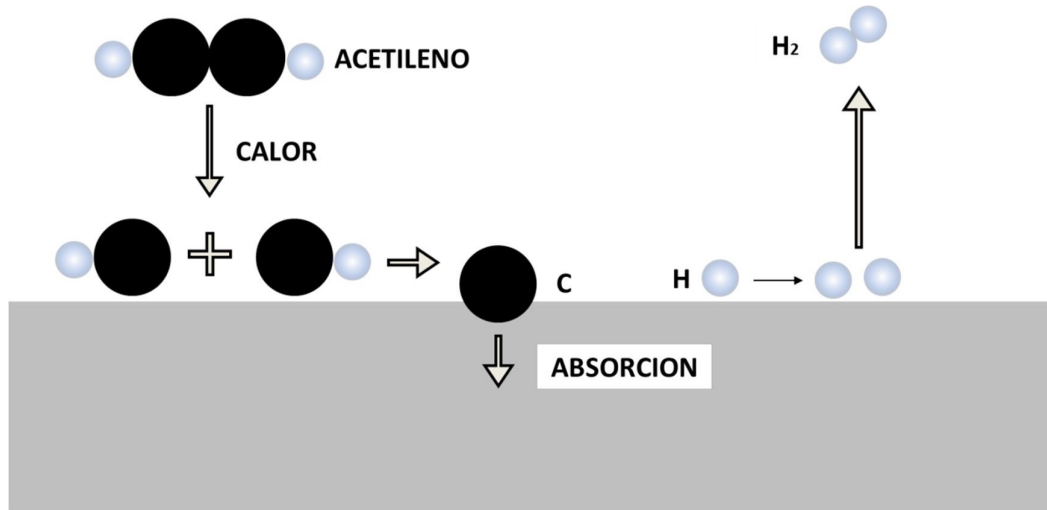


Figura N°12. Esquema del proceso de cementación.

Como hemos mencionado, la velocidad o tasa de absorción del carbono es muy elevada y varía a medida que la austenita lo disuelve y alcanza el límite de saturación a la temperatura que se realiza el proceso. Además, junto a la absorción ocurre la difusión, que explicaremos a continuación.

Difusión

Debido a la absorción de carbono en la superficie se produce una diferencia de concentración entre la superficie y el núcleo del material, es esta diferencia, la que brinda la energía necesaria para que se produzca la difusión del elemento absorbido. Una forma de generar un modelo teórico simplificado, es pensar que se tiene una solución sólida compuesta de átomos distintos A y B. Designamos al componente A como soluto y al componente B como el solvente y consideremos que no hay interacción entre estos elementos. Esta solución se encuentra en una barra monocristalina cubica simple con la dirección $\langle 100 \rangle$. A lo largo de la misma, como se muestra en la Fig.13 la composición de soluto varía continuamente, pero es uniforme



en la sección transversal; la concentración de A es mayor en el extremo derecho y menor en el izquierdo.

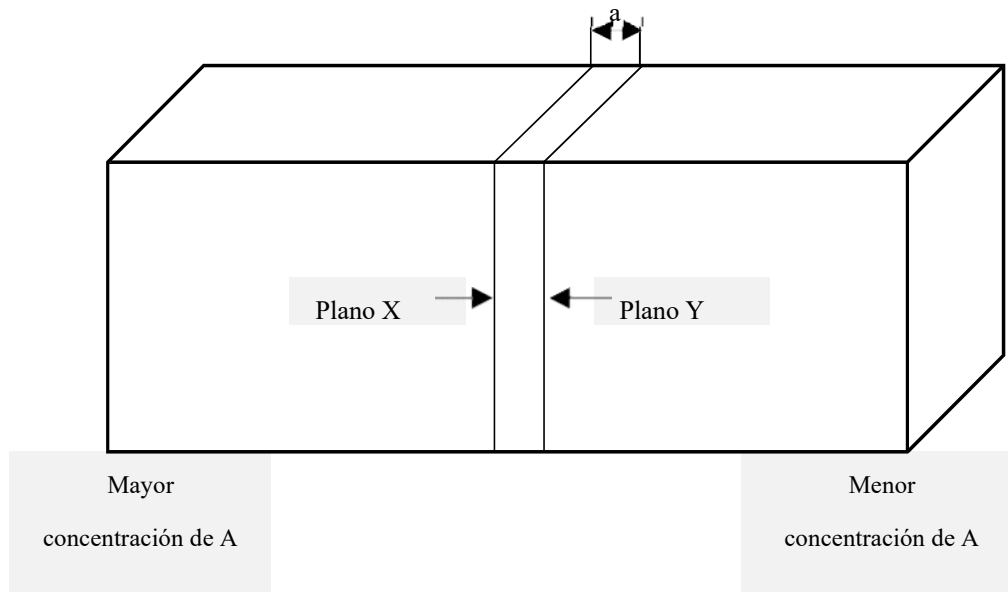


Figura N°13. Esquema de barra monocristalina del elemento B conteniendo como soluto al elemento A.

Consideremos dos planos X e Y separados por una distancia interatómica “a”, cuyas concentraciones del soluto son “ n_{Ax} ” y “ n_{Ay} ” respectivamente y como hemos planteado previamente $n_{Ax} > n_{Ay}$. Un átomo de soluto cualquiera tiene un tiempo promedio de permanencia en un lugar de la red “ τ ” y, por ende, la frecuencia de salto de este átomo es $1/\tau$. En una red cubica simple como la mostrada en la Fig.14, cualquier átomo dado, puede saltar en seis direcciones diferentes perpendiculares entre sí. La frecuencia de salto de átomos de X a Y va a ser igual a $n_{Ax} \cdot 1/6 \tau$ y de manera inversa, de Y a X, será $n_{Ay} \cdot 1/6 \tau$. Como la concentración en el plano X es mayor a Y, el movimiento neto de átomos ocurre desde los planos de mayor concentración a los de menor concentración y este flujo neto es lo que se conoce como difusión.

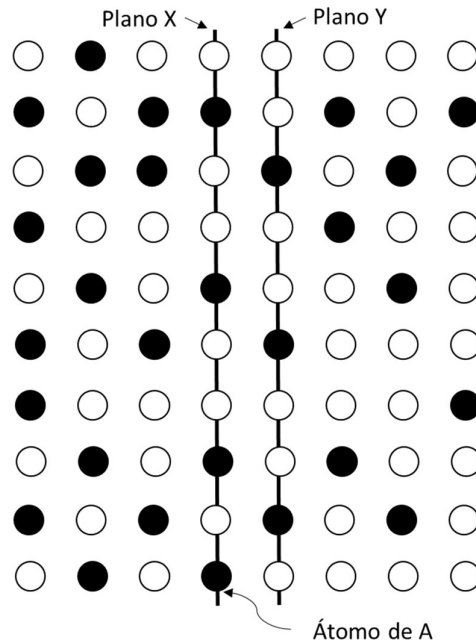


Figura N°14. Esquema de planos X e Y de una red cubica simple.

Mecanismos de difusión

Mecanismo intersticial: Se dice que un átomo difunde por un mecanismo intersticial cuando pasa de un sitio intersticial a uno de sus sitios intersticiales más cercanos sin desplazar permanentemente ninguno de los átomos de la matriz. La Fig.15 muestra los sitios intersticiales, señalados con x, de una red cubica centrada en las caras (FCC). Un átomo difunde por un mecanismo intersticial en esta red saltando desde un sitio a otro en esta subred de puntos intersticiales.

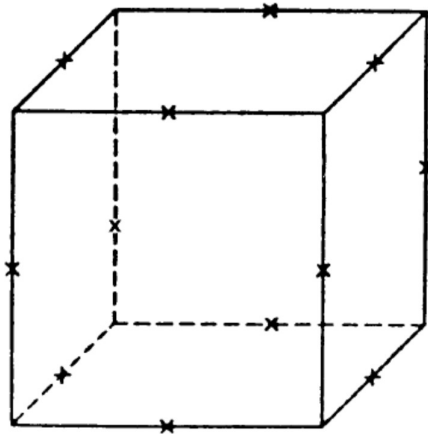


Figura N°15. Esquema de sitios intersticiales de una red cubica centrada en las caras.

Considere los movimientos atómicos que deben darse antes de que un salto pueda ocurrir. La Fig.16 muestra un átomo intersticial en el plano (100) de un grupo de esfera empaquetado en una red cubica centrada en las caras. Antes de que el átomo etiquetado como 1 pueda saltar al sitio vecino más cercano 2, los átomos de la matriz 3 y 4 deben moverse suficientemente para dejarlo pasar. En realidad, si 1 sale del plano del papel ligeramente cuando comienza hacia 2, hay un canal parcialmente formado disponible. Sin embargo, una dilatación local apreciable de la red debe ocurrir antes de que el salto pueda darse. Es esta dilatación o distorsión la que constituye la barrera a un átomo intersticial que cambia de sitio.

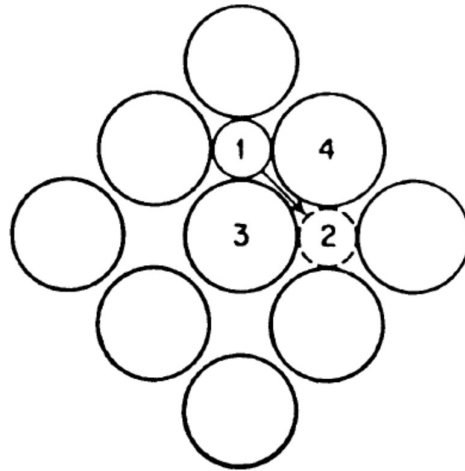


Figura N°16. Esquema de salto de un átomo intersticial en una red FCC.

El mecanismo intersticial descrito aquí opera en aleaciones donde el soluto se disuelve normalmente intersticialmente, por ejemplo, C en hierro alfa y hierro gamma. Además, puede ocurrir en aleaciones sustitucionales. Por ejemplo, una pequeña fracción de los átomos de oro sustitucionales en plomo, van a posiciones intersticiales y luego se mueven tan rápidamente a través de la red que dominan en la producción de la difusión observada del soluto en el plomo.

Mecanismo de lugares vacantes. En todos los cristales algunos de los sitios de la red están desocupados. Estos sitios son llamados vacancias. Si uno de los átomos de un sitio adyacente salta en la vacancia, se dice que el átomo tiene una difusión por el mecanismo de lugares vacantes.

En la Fig.17 se detalla la naturaleza de la restricción que inhibe el movimiento de un átomo adyacente a una vacancia en una red cubica centrada en la cara. Si se considera que la red no distorsionada consiste en esferas rellenas de diámetro d , la distancia de equilibrio entre los átomos de restricción 1 y 2 es $0,73d$. El desplazamiento requerido para mover un átomo es entonces pequeño. En consecuencia, la energía de distorsión para colocar dentro de la estructura un átomo de hierro hasta una vacancia es aproximadamente igual a la energía requerida para mover un átomo de carbono desde un intersticio a otro en la misma estructura cubica centrada en la cara. La razón por la cual el hierro difunde mucho más lento que el carbono es debido a que el átomo de carbono siempre tiene un



lugar vacante intersticial vecino más próximo, en cambio la fracción de vacantes de hierro es muy pequeña, y cada átomo de hierro debe esperar un periodo apreciable hasta que una vacancia se haga disponible.

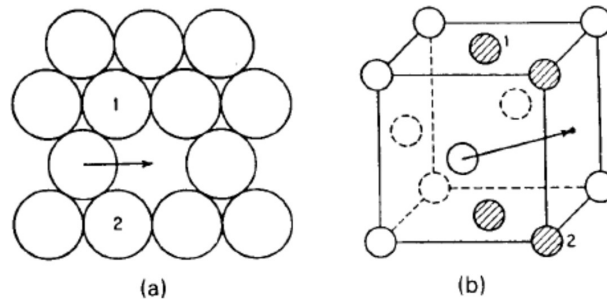


Figura N°17. Esquemas: (a) Movimiento de un átomo sustitucional en una red FCC. (b) Átomos distorsionados por el movimiento del átomo sustitucional.

En resumen, durante la etapa de absorción existen dos procesos que se dan de manera inseparable, influyendo entre sí, tanto la difusión en la absorción y viceversa. En una primera etapa, ocurre la incorporación del carbono (en nuestro caso) y junto a ella la difusión del mismo, al estar limitada la absorción solo por el contenido de carbono en la austenita esta ocurre rápidamente hasta que se alcanza la saturación. En una segunda etapa, disminuye la velocidad de absorción, siendo limitada por la difusión del carbono. En la Fig.18 se muestra un gráfico de la variación de la tasa de absorción a través del tiempo para un proceso de cementado convencional.

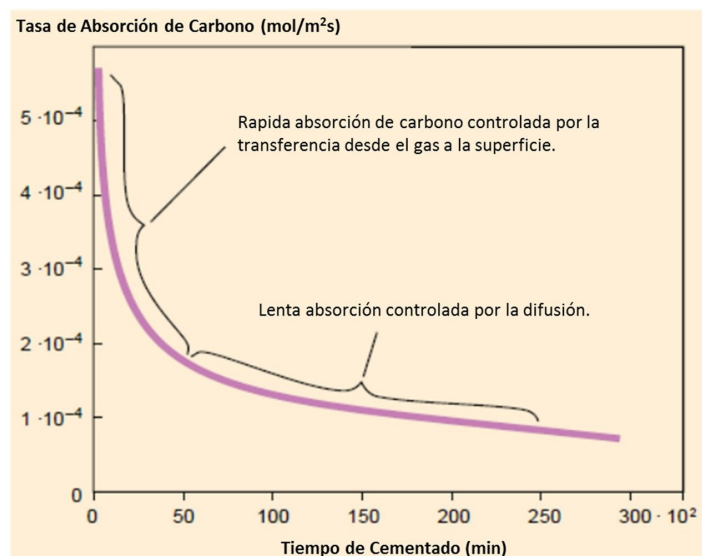


Figura N°18. Variación de la tasa de absorción de carbono a través del tiempo.



INVESTIGACION DE OPTIMIZACION

Incorporación de proceso de precalentamiento de carga

De acuerdo al relevamiento de la estructura de costos directos del año 2018, determinamos que el 93.34% de los mismos corresponden a la mano de obra, gas del generador endotérmico, gas del horno de tratamiento térmico y consumo de energía eléctrica, de acuerdo a ello se determino que la forma de reducirlo es disminuir el tiempo del proceso en el horno de tratamiento térmico.

Según los cálculos realizados en el generador endotérmico, consume $16\text{m}^3/\text{hs}$ de gas, el horno de atmosfera controlada $12\text{m}^3/\text{hs}$ de gas, haciendo un total de $30\text{m}^3/\text{hs}$ de gas, en tanto el horno de precalentamiento consume solo $7\text{m}^3/\text{hs}$ de gas. De esta manera precalentando la carga deberíamos llegar a una disminución de consumo de gas, disminución de mano de obra motivada por la mayor velocidad o capacidad de producción y también un menor consumo eléctrico producto de menor uso de la turbina del horno de tratamiento térmico.

En este ensayo se utiliza un horno de revenido tipo forzado a gas, con turbina de homogeneización, para precalentar la carga a diferentes temperaturas. Manteniendo constante los tiempos y variando las temperaturas de precalentamiento.

1. Muestra N°1: se procede a calentar la carga de 169 Kg, la rampa de calentamiento que se utiliza es de 50 minutos, hasta llegar a una temperatura de 400°C manteniéndola durante 1 hora y 10 minutos. Una vez que paso el tiempo de homogenización de la carga, se saca la misma para trasladarla al horno integral de cementación. La misma no se detectan formaciones de calamina sobre la superficie de las piezas y la probeta. El tiempo de homogenización a una temperatura de 920°C en el horno integral fue de 1hs.
2. Muestra N°2: se procede a calentar la carga de 149 Kg, la rampa de calentamiento que se utiliza es de 50 minutos, hasta llegar a una temperatura de 450°C



mantiéndola durante 1 hora y 10 minutos. Una vez que paso el tiempo de homogenización de la carga, se saca la misma para trasladarla al horno integral de cementación. La misma no se detectan formaciones de calamina sobre la superficie de las piezas y la probeta. El tiempo de homogenización a una temperatura de 920°C en el horno integral fue de 50 minutos.

3. Muestra N°3: se procede a calentar la carga de 170 Kg, la rampa de calentamiento que se utiliza es de 50 minutos, hasta llegar a una temperatura de 500°C manteniéndola durante 1 hora y 10 minutos. Una vez que paso el tiempo de homogenización de la carga, se saca la misma para trasladarla al horno integral de cementación. La misma no se detectan formaciones de calamina sobre la superficie de las piezas y la probeta. El tiempo de homogenización a una temperatura de 920°C en el horno integral fue de 55 minutos.
4. Muestra N°4 se procede a calentar la carga de 169 Kg, la rampa de calentamiento que se utiliza es de 50 minutos, hasta llegar a una temperatura de 550°C manteniéndola durante 1 hora y 10 minutos. Una vez que paso el tiempo de homogenización de la carga, se saca la misma para trasladarla al horno integral de cementación. La misma no se detectan formaciones de calamina sobre la superficie de las piezas y la probeta. El tiempo de homogenización a una temperatura de 920°C en el horno integral fue de 50 minutos.
5. Muestra N°5 se procede a calentar la carga de 179 Kg, la rampa de calentamiento que se utiliza es de 50 minutos, hasta llegar a una temperatura de 660°C manteniéndola durante 1 hora y 10 minutos. Una vez que paso el tiempo de homogenización de la carga, se saca la misma para trasladarla al horno integral de cementación. La misma se detectan formaciones de calamina sobre la superficie de las piezas y la probeta. El tiempo de homogenización a una temperatura de 920°C en el horno integral fue de 45 minutos.

NOTA: en las muestras del ensayo no se pudo utilizar las mismas masas de la carga, el motivo es que es difícil de encontrar volúmenes de cargas similares por la



gran variabilidad de tipos y tamaños de piezas que procesa la empresa, esta variable tiene poca influencia por dos motivos:

- Las muestras tomadas no tienen una diferencia significativa en Kg.
- El consumo de gas de precalentamiento representa un pequeño porcentaje en el total de todos los costos.

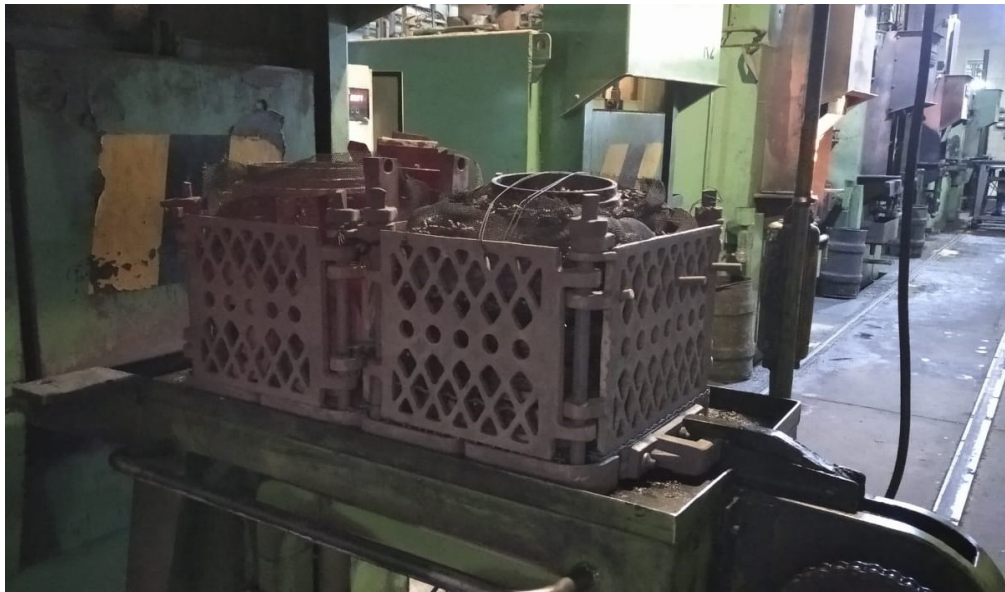


Figura N°19. Imagen de carga frente a horno de precalentamiento

Cálculo de consumo de gas de precalentamiento de la carga (muestra N° 4)

El horno de tipo forzado para precalentar la carga, consume $7 \text{ m}^3/\text{hs}$ en funcionamiento de 100% encendido, el quemador está encendido el 75% del tiempo de precalentamiento.

$$\text{Consumo de gas en precalentamiento} = 7 \text{ m}^3/\text{hs} \times 1,5 \text{ Hs} = 10,5 \text{ m}^3$$

$$\text{Costo de precalentamiento } 10,5 \text{ m}^3 \times 17,26 \text{ \$/Hs} = \$ 181,23$$



Resultados

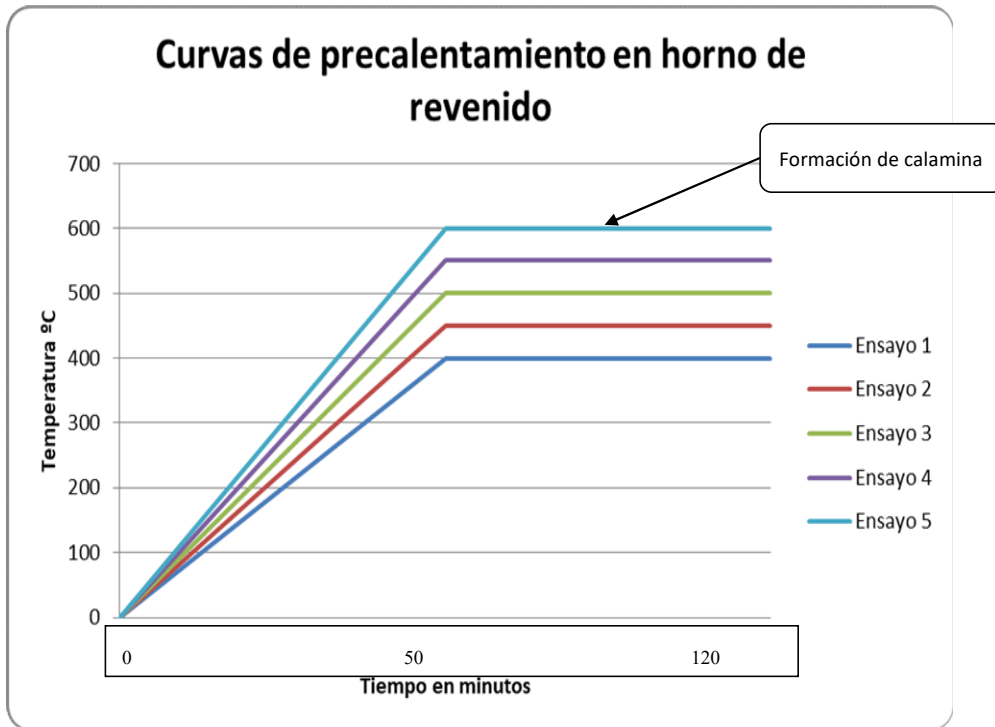


Figura N°20. Curvas de precalentamiento

Tabla N°6.
Resultados de las muestras. Costos.

Muestra	Tº de Precalentamiento	Tiempo de homogenización a 920°C (minutos)	Peso de la carga	Dureza HRC	Costo	Observaciones
1	400	60	169	64-65	\$ 154,04	Carga sin presencia de calamina
2	450	50	145	64-65	\$ 163,10	Carga sin presencia de calamina
3	500	55	170	67-65	\$ 172,17	Carga sin presencia de calamina
4	550	50	169	64-65	\$ 181,23	Carga sin presencia de calamina
5	600	45	170	64-65	\$ 190,29	Carga con presencia de calamina



Conclusiones

Análisis: de acuerdo a estas muestras se toma que la temperatura de precalentamiento de la carga en un horno de revenido, es de 550°C, ya que la formación de calamina perjudica el proceso de cementación en el horno integral, por lo tanto, no se puede con el tipo de horno con el que cuenta la empresa superar dicha temperatura. Con respecto al análisis de costos de energía (m³ de gas y KW energía eléctrica) entre las cargas sin precalentamiento versus con precalentamiento, tomando en cuenta los tiempos de horno de tratamientos térmicos, los cuales eran 7hs 45min (\$2867.61) contra, el actual 6hs 40min de horno de tratamiento térmico mas 2hs de precalentamiento (\$2549.45) por lo tanto la diferencia es de \$318.16 de disminución del costo por carga sin tener en cuenta la disminución de mano de obra. Teniendo como parámetro el volumen promedio de carga máximo obtenido en el año 2020 (202,73 kilo/carga), el costo de energía por kilo seria de \$14,14 para el periodo del año 2018, para el periodo 2020 el costo de energía por kilo es de \$12,57. El resultado final es una disminución de 12,5% en el consumo de gas y energía eléctrica, es decir una disminución de \$1,57 por kilogramo.

NOTA: no se tomó en cuenta el cálculo del costo de la mano de obra en este análisis, pero si quedara en evidencia en el cuadro general de los años 2019/2020.

Optimización del volumen específico de la carga.

En el año 2018 se hizo un seguimiento de la cantidad de kilos procesados por medio de la carga de cementado de 135kg promedio por carga.

La ficha técnica del horno detalla que la capacidad es de 250kg por carga. Con estos datos se hace un estudio de diferentes cargas. El cual constatamos que no se aprovecha el 100% de la capacidad en la grilla. Al estudiar el motivo del armado, el personal no estaba capacitado adecuadamente. Mediante un programa de capacitación y auditorias, se logró una mayor eficiencia en el armado de las grillas.



Definición del ensayo

El Diagrama de Ishikawa o Diagrama de Causa Efecto (conocido también como Diagrama de Espina de Pescado dada su estructura) consiste en una representación gráfica que permite visualizar las causas que explican un determinado problema, lo cual la convierte en una herramienta de la Gestión de la Calidad ampliamente utilizada dado que orienta la toma de decisiones al abordar las bases que determinan un desempeño deficiente.

La utilización del Diagrama de Ishikawa se complementa de buena forma con el Diagrama de Pareto el cual permite priorizar las medidas de acción relevantes en aquellas causas que representan un mayor porcentaje de problemas y que usualmente en términos nominales son reducidas.

La estructura del Diagrama de Ishikawa es intuitiva: identifica un problema o efecto y luego enumera un conjunto de *causas* que potencialmente explican dicho comportamiento. Adicionalmente cada causa se puede desagregar con grado mayor de detalle en subcausas. Esto último resulta útil al momento de tomar acciones correctivas dado que se deberá actuar con precisión sobre el fenómeno que explica el comportamiento no deseado.

Resultados

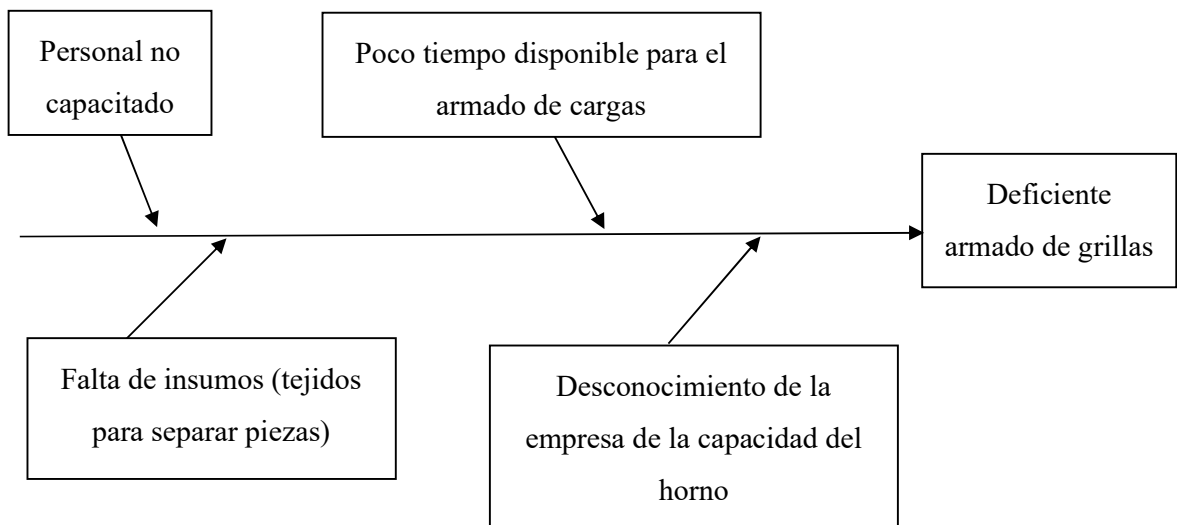


Figura N°21. Diagrama de espina de pescado.



Acciones correctivas:

1. Capacitación al personal, se procede a explicar al personal la capacidad del horno de 250Kg por carga, en la misma se detallo el correcto armado de las grillas, teniendo en cuenta, la separación de las piezas, para no tener contacto entre ellas.
2. El poco tiempo disponible era producido por la falta de grillas, por lo cual el operario debía esperar la liberación de una grilla para proceder al armado de una carga. Por ese motivo se incorporaron dos nuevas grillas para el armado de cargas, lo cual permitió tener tiempo para correcto armado.
3. Se invirtió en la compra de tejidos de acero inoxidable AISI 410 de diferentes diámetros para acomodar y separar piezas.
4. Se buscaron los planos del horno, los cuales fueron enseñados a la directiva de la empresa para que tengan conocimiento de la capacidad del horno.

Nota: se realizaron auditorías internas de seguimiento en la evolución de la cantidad de kilos procesado por carga y el correcto armado de las mismas. A su vez de acuerdo a los resultados se seguía capacitado al personal.

Los resultados fueron los siguientes:

Durante el 2019 se llegó a un promedio de 158,69kg por carga. A la vez se seguía capacitando el personal. Llegando en el 2020 al resultado de 202,73 kg por carga, lo cual nos da un aumento porcentual de 50,03%.



Figura N°22. Imagen de armado de cargas año 2018.



Figura N°23. Imagen de armado de cargas año 2020.

En las fig. N°22 se logra ver el desaprovechamiento de los espacios en el armado de la carga, en la fig. N°23 luego de la mejora continua y uso de nuevos tejidos separadores, se llega a aprovechar el 100% de los espacios en las grillas.



Conclusiones:

Destacamos la mejora continua y por medio de las evaluaciones periódicas, se comprobó mes a mes el aumento del volumen de las cargas. El volumen promedio del año 2018 fue 135,12kg, del 2019 fue de 158.69kg y por último 202.73kg en el 2020. Tomando como parámetro los datos relevados en el año 2018 en donde los tiempos de horno eran de 7Hs 45min a un costo total \$8667,25 el cual arrojaba un costo de valor de \$64.2 el kilogramo, teniendo ahora en cuenta el nuevo volumen promedio logrado en el año 2020 de 202,73 Kg por carga el nuevo costo es de \$42,75 el kilogramo. Esto sería un porcentaje de una reducción de los costos del 33,4%.



Estudio de profundidad de capa de cementación

Para reducir los costos, como ya mencionamos con anterioridad, una de las formas es reducir los tiempos. A continuación, se hará un estudio a través de ensayos de penetración de capa de carbono y a partir de ello determinaremos la factibilidad de dicha reducción de costos.

Análisis de muestras Año 2019

Durante el año 2019, se tomaron muestras de las cuales se enviaron a analizar la profundidad de capa de cementación a un laboratorio externo. Los tiempos de tratamiento térmico fueron según la Hoja de Procesos N°5², precalentamiento a 550°C por dos horas. Tiempo de cementación 4hs 30minutos. Tiempo de homogeneización a temperatura de temple 1hs 10minutos. Temperatura de cementado 920°C. Temperatura de temple 840°C. Temperatura de aceite de temple 80°C. Las muestras fueron ubicadas en el mismo sector de las grillas, libre de contacto con otras piezas. Para este ensayo se utilizan probetas SAE 8620 de una barra de acero, en la cual fue mecanizada para eliminar defectos provenientes de fabricación.

² Disponible en el Anexo "Hoja de Proceso N°5"

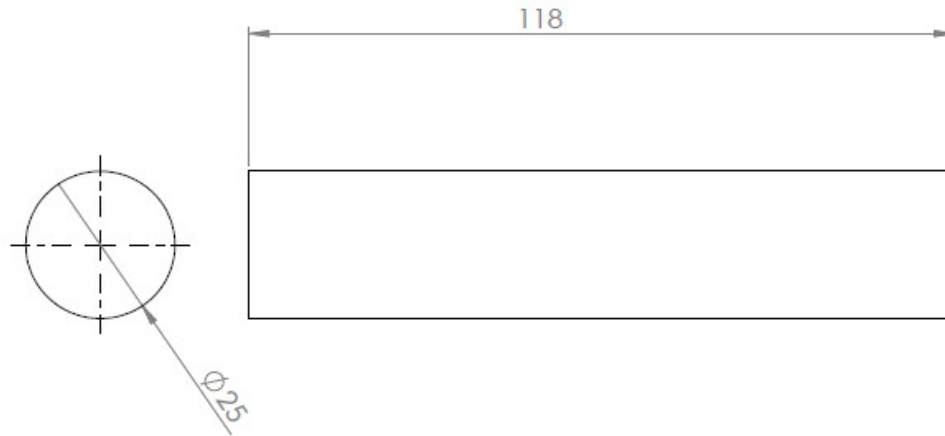


Figura N°24. Esquema de probeta SAE 8620

Se prepararon metalográficamente según Procedimiento PE-MET.01.01. La estructura se reveló atacando con Nital 2 %.

Se utilizó el procedimiento PE-MET.02.03 “Determinación de profundidad de capa endurecida en aceros” (basado en la Norma JIS G 0557) para la determinación por medición de dureza de la profundidad de capa endurecida.

Se midió dureza Vickers por microindentación, siguiendo el procedimiento PE-MET 02.01 (basado en la norma ASTM E 384-16) utilizando una carga de 300 gf. El valor de dureza informado es el promedio de 5 mediciones realizadas.

Para los ensayos se utilizó un microdurómetro Leco LM 247 AT



Figura N°25. Imagen de microdurometro Leco LM 247 AT.

Se muestra en la siguiente Figura el esquema de una curva de transición de dureza.

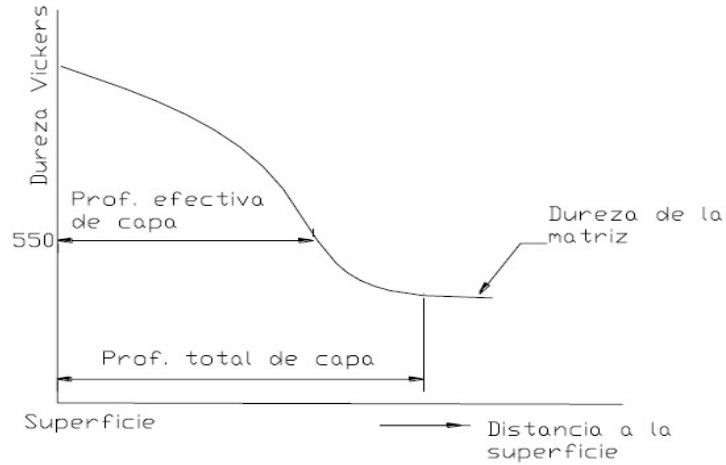


Figura N°26. Esquema de una curva de transición de dureza.



Resultados

- Muestra 1

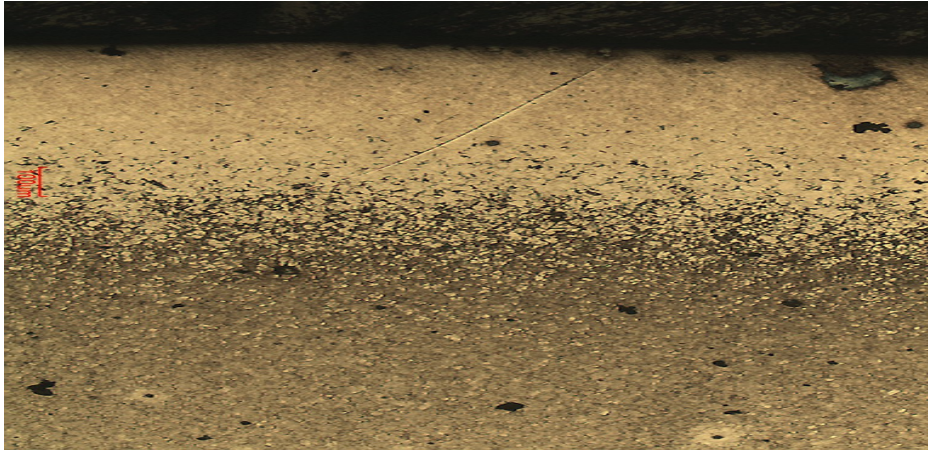


Figura N°27. Micrografía de muestra 1.

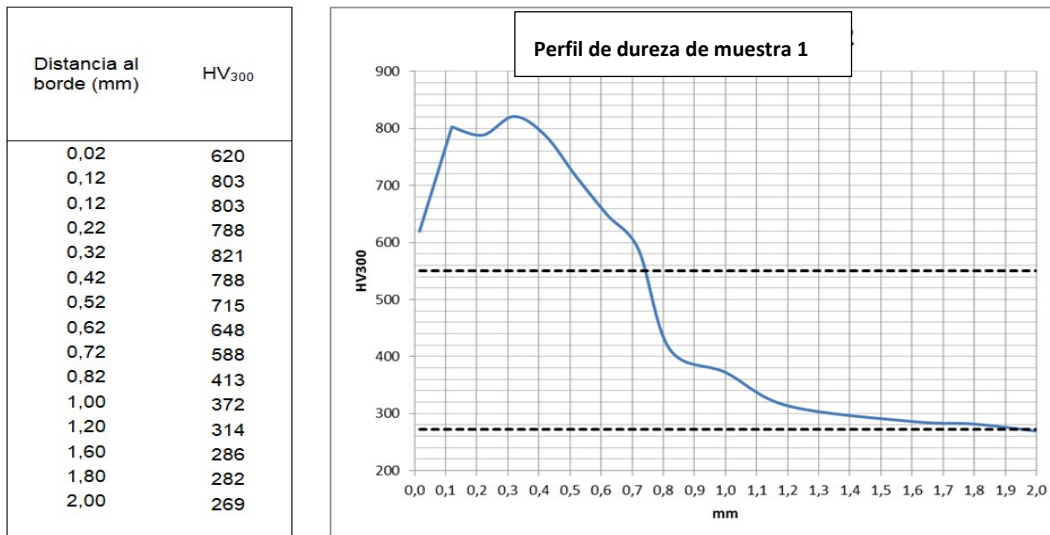


Figura N°28 y N°29. Tabla y Gráfico de dureza/penetración de la muestra 1.



Tabla N°7.

Profundidad de capa de muestra 1.

Profundidad capa endurecida	0,7 mm
Profundidad total de capa	2 mm

- Muestra 2



Figura N°30. Micrografía de muestra 2.

Distancia al borde (mm)	HV300
0,02	698
0,12	722
0,22	730
0,32	698
0,42	731
0,52	695
0,62	666
0,72	596
0,82	564
0,92	457
1,02	396
1,12	382
1,22	354
1,52	316
2,00	303
2,40	301
3,00	305

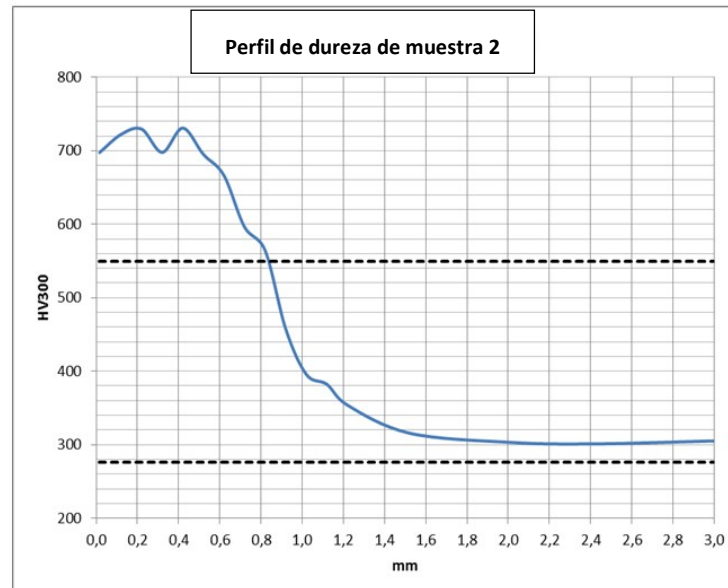


Figura N°31 y N°32. Tabla y Grafico de dureza/penetracion de la muestra 2.



Tabla N°8.

Profundidad de capa de muestra 2.

Profundidad capa endurecida	0,8 mm
Profundidad total de capa	2 mm

- Muestra 3

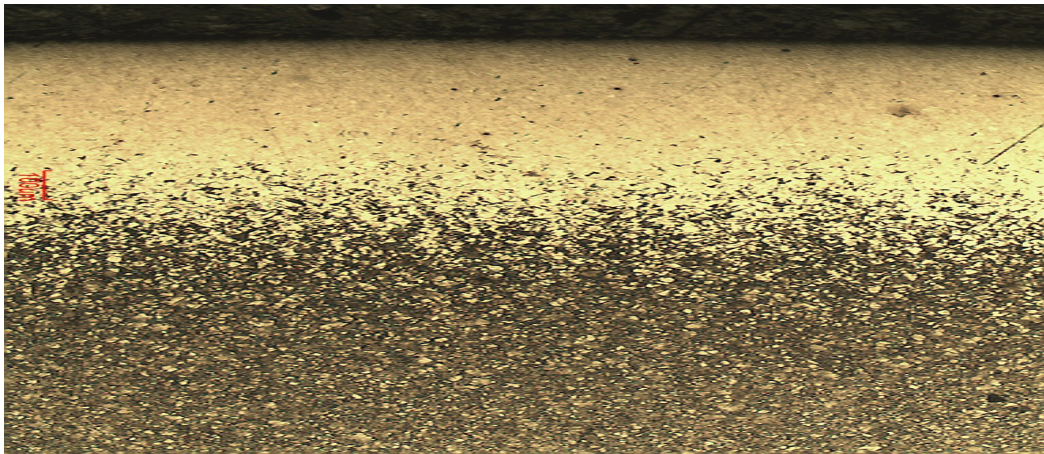


Figura N°33. Micrografía de muestra 3.

Distancia al borde (mm)	HV ₃₀₀
0,02	735
0,12	708
0,22	707
0,32	694
0,42	694
0,52	695
0,62	615
0,72	521
0,82	490
0,92	413
1,02	362
1,12	329
1,22	308
1,52	288
2,00	275
2,50	288
3,00	281
6,00	288
12,00	279

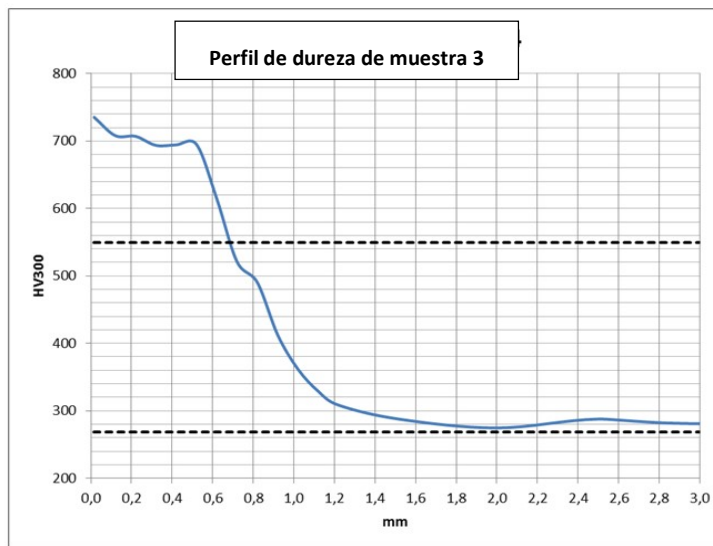


Figura N°34 y N°35. Tabla y Grafico de dureza/penetracion de la muestra 3.



Tabla N°9.

Profundidad de capa de muestra 3.

Profundidad capa endurecida	0,7 mm
Profundidad total de capa	2 mm

- Muestra 4

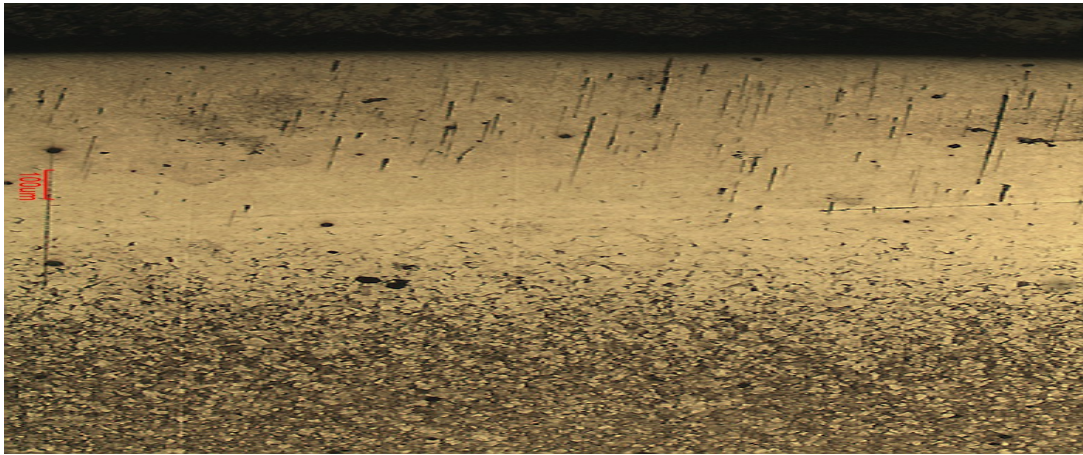


Figura N°36. Micrografía de muestra 4.

Distancia al borde (mm)	HV ₃₀₀
0,02	667
0,12	726
0,22	636
0,32	728
0,42	745
0,52	744
0,62	722
0,72	666
0,82	613
0,92	515
1,02	441
1,12	387
1,22	342
1,52	258
2,00	274
2,50	267

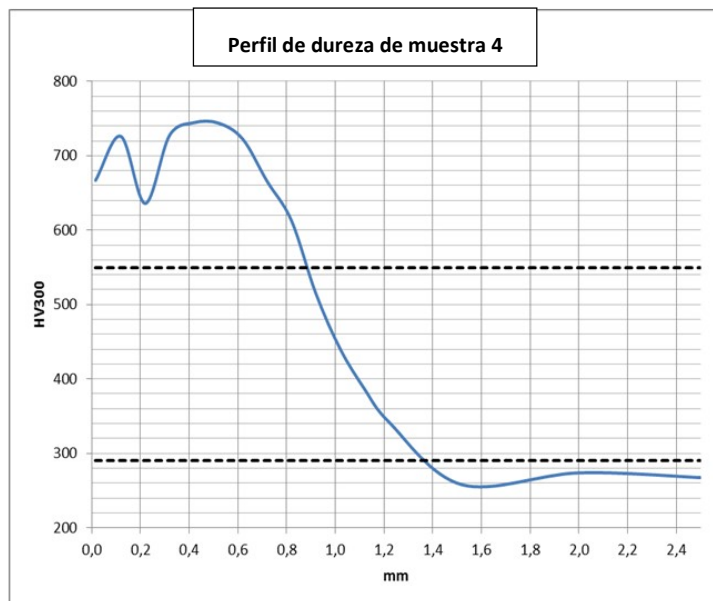


Figura N°37 y N°38. Tabla y Grafico de dureza/penetracion de la muestra 4.



Tabla N°10.

Profundidad de capa de muestra 4.

Profundidad capa endurecida	0,9 mm
Profundidad total de capa	1.5 mm

- Muestra 5

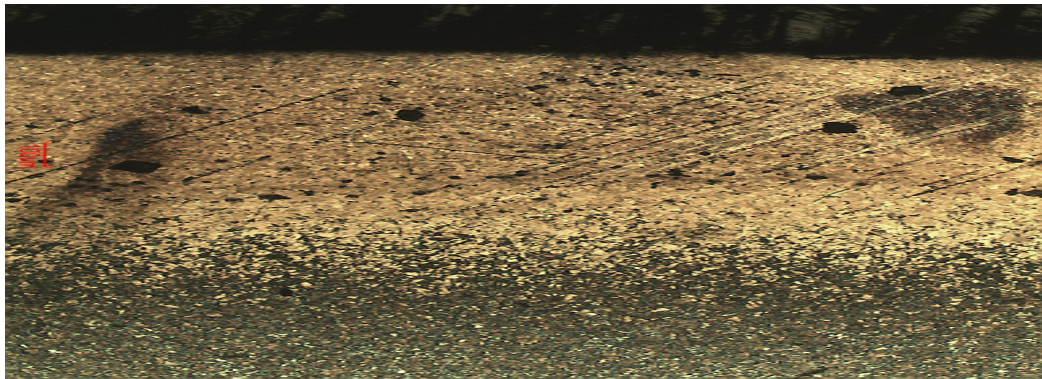


Figura N°39. Micrografía de muestra 5.

Distancia al borde (mm)	HV ₃₀₀
0,02	737
0,12	775
0,22	723
0,32	777
0,42	736
0,52	691
0,62	646
0,72	511
0,82	434
0,92	358
1,02	332
1,12	305
1,22	292
1,52	297
2,00	285
2,50	282

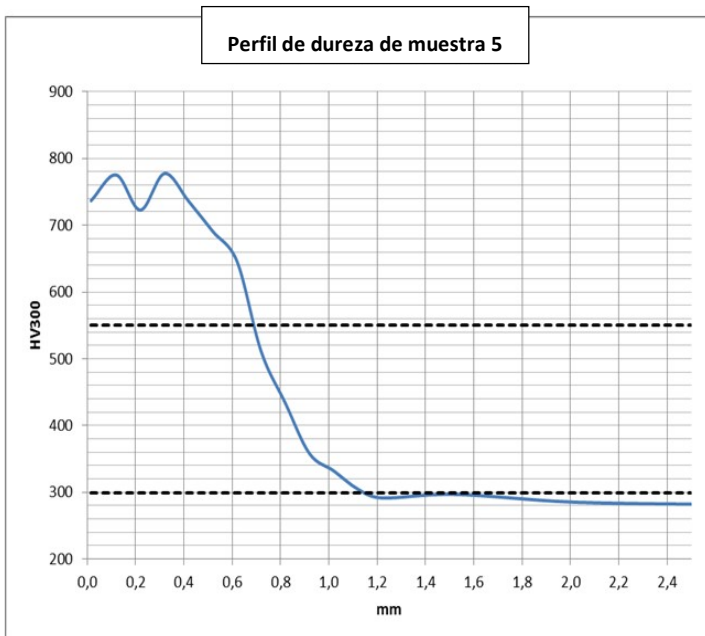


Figura N°40 y N°41. Tabla y Grafico de dureza/penetracion de la muestra 5.



Tabla N°11.

Profundidad de capa de muestra 5.

Profundidad capa endurecida	0,7 mm
Profundidad total de capa	1,2 mm

Tabla N°12.

Promedio de las 5 muestras.

Muestra	Profundidad de capa efectiva (mm)	Profundidad total de capa (mm)
1	0,7	2
2	0,8	2
3	0,7	2
4	0,9	1,5
5	0,7	1,2
Promedio	0,76	1,74

Análisis: según los resultados obtenidos en las muestras, se encuentran dentro de los parámetros requeridos (0.7 - 0.9mm), con un promedio total de 0.76mm de capa efectiva, el cual es muy cercano al valor mínimo. Mediante el aumento del tiempo de cementación, buscaremos elevar el valor de capa endurecida.

Nuevos ensayos: Análisis de muestras Año 2019

Se realiza un nuevo ensayo para aumentar la capa efectiva durante el periodo 2020. Manteniendo los todos los parámetros iguales a las anteriores muestras, excepto el tiempo de cementación y homogeneización.



- Muestra 7: tiempo de cementación 4hs 40 min.

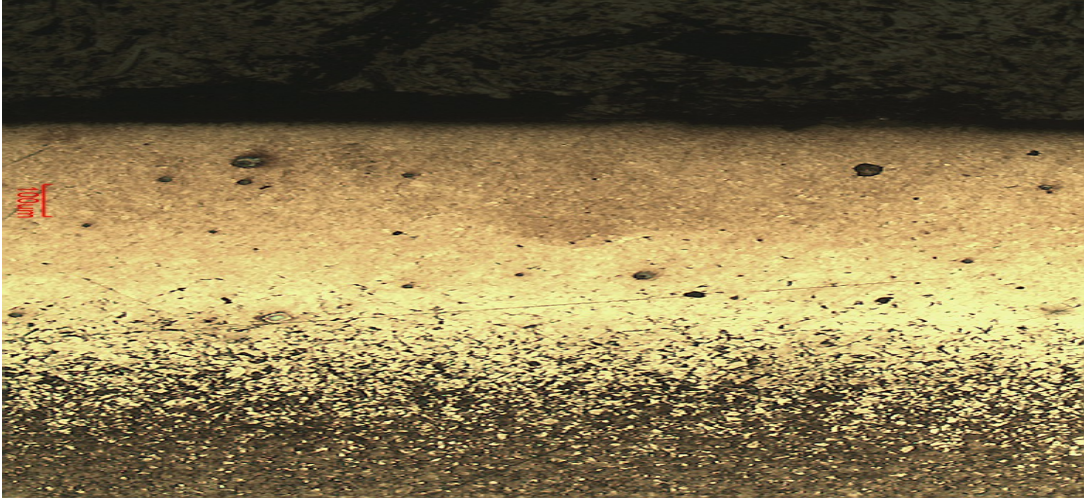


Figura N°42. Micrografía de muestra 7.

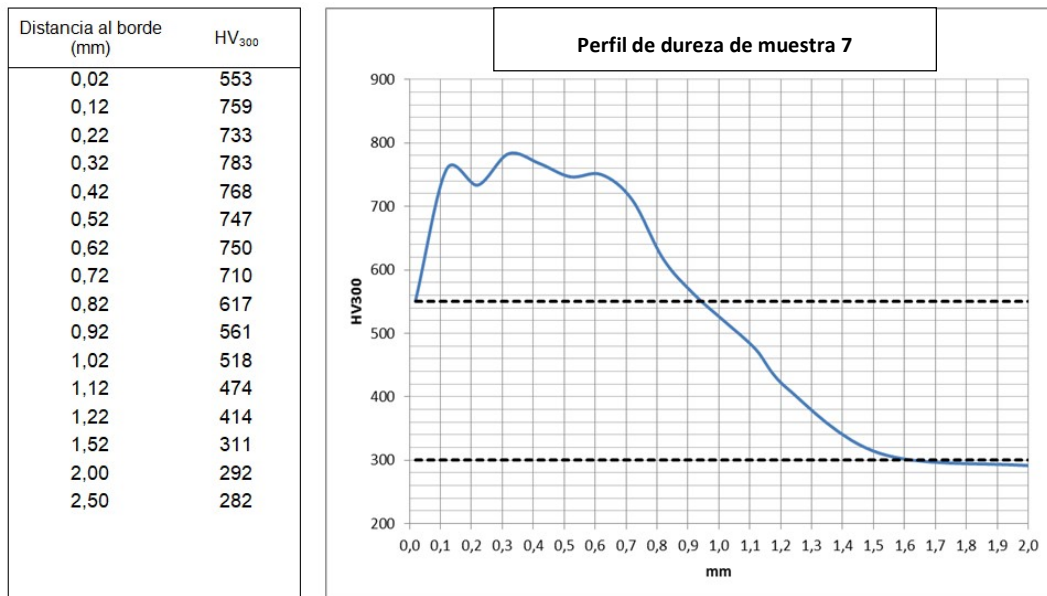


Figura N°43 y N°44. Tabla y Grafico de dureza/penetracion de la muestra 7.



Tabla N°13.

Profundidad de capa de muestra 7.

Profundidad capa endurecida	0,9 mm
Profundidad total de capa	1,5 mm

- Muestra 8: tiempo de cementación 4hs 55min

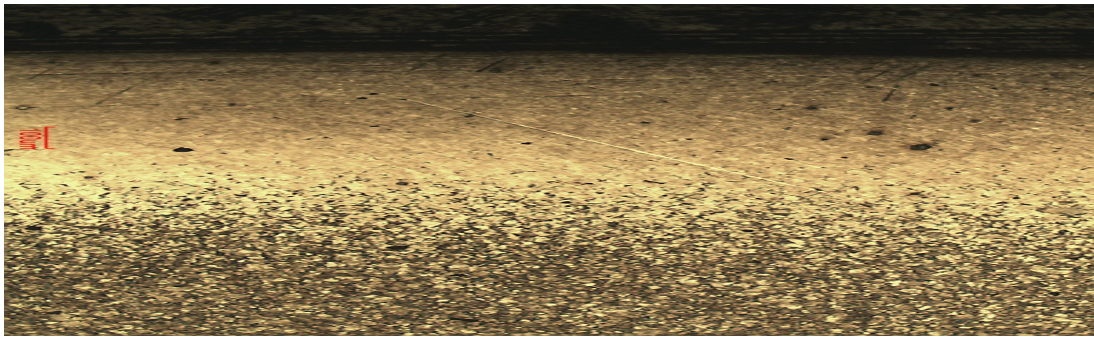


Figura N°45. Micrografía de muestra 8.

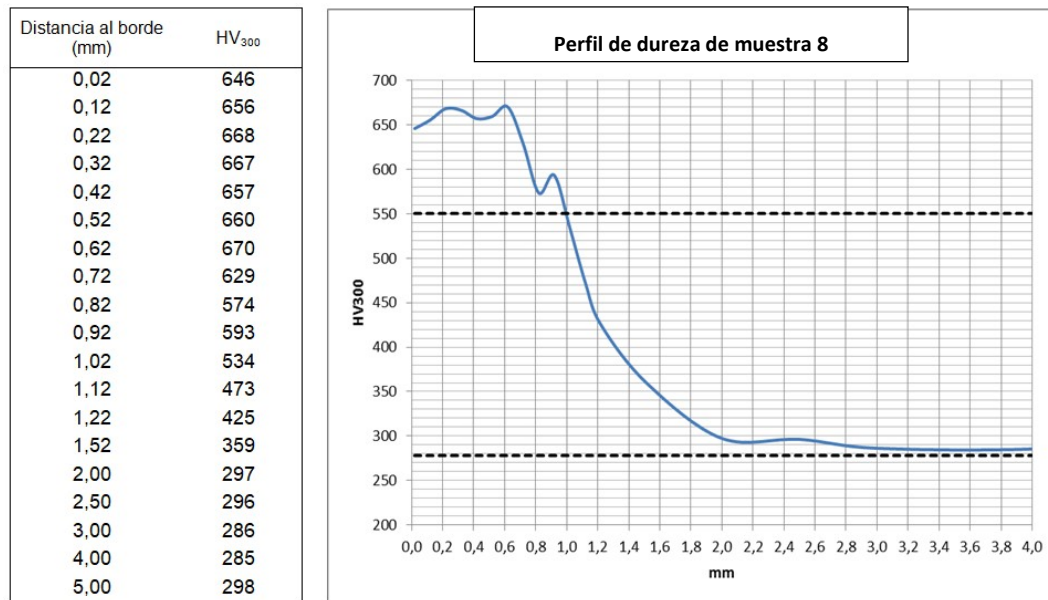


Figura N°46 y N°47. Tabla y Grafico de dureza/penetracion de la muestra 8.



Tabla N°14.

Profundidad de capa de muestra 8.

Profundidad capa endurecida	1,0 mm
Profundidad total de capa	2,2 mm

- Muestra 9: tiempo de cementación 5hs 15min

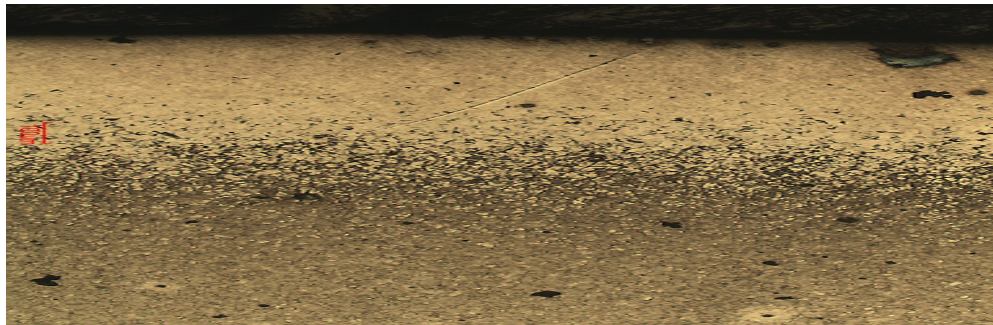


Figura N°48. Micrografía de muestra 9.

Distancia al borde (mm)	HV ₃₀₀
0,02	775
0,12	785
0,22	776
0,32	806
0,42	811
0,52	830
0,62	811
0,72	783
0,82	695
0,92	659
1,02	593
1,12	552
1,22	471
1,52	353
2,00	306
2,50	315
3,00	292
4,00	296
5,00	317

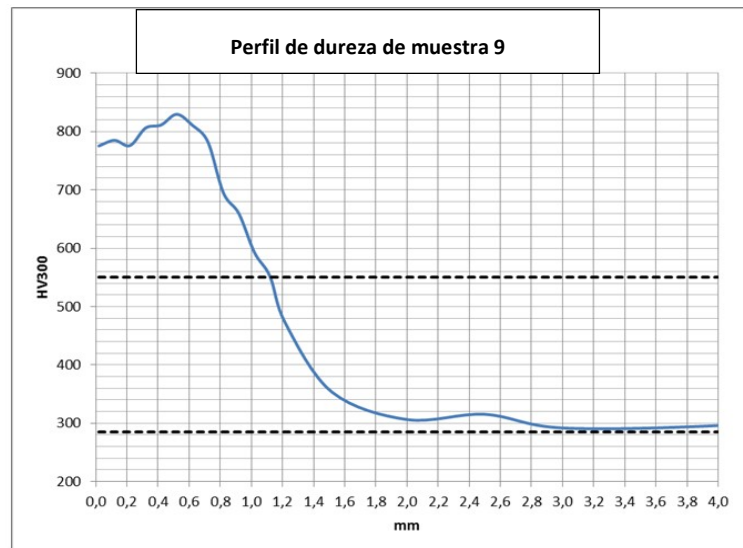


Figura N°49 y N°50. Tabla y Grafico de dureza/penetracion de la muestra 9.



Tabla N°15.

Profundidad de capa de muestra 9.

Profundidad capa endurecida	1,1 mm
Profundidad total de capa	2,8 mm

Tabla N°16.

Promedio de las 3 muestras.

Muestra	Profundidad de capa efectiva (mm)	Profundidad total de capa (mm)
7	0,9	1,5
8	1	2,2
9	1,1	2,8

Análisis: la muestra N°7 fue la que nos entrego los resultados óptimos en penetración de capa efectiva, llevándola al limite superior de 0.9mm. Esto se logro aumentando el tiempo de cementado 10 minutos y bajando el tiempo de difusión 10 minutos.

Conclusiones

El tiempo de tratamiento térmico estaba bien seteado, aprovechamos el estudio para aumentar la capa efectiva, no se modificaron los costos porque solo se variaron los tiempos de las etapas de cementado y difusión, pero, manteniendo el tiempo total del proceso sin alteraciones. No se pudo reducir costos.



Optimización de vida útil de grillas

Las grillas son cajas o canastos donde se acomodan las piezas para su posterior tratamiento térmico, de material acero inoxidable ASTM A-297°HT C/Nb, para aplicaciones de altas temperaturas y resistencia a la corrosión.

El tiempo de durabilidad de las grillas eran de 1 año y 6 meses, las cuales eran reemplazadas por unas nuevas.

Las fracturas de las grillas se daban en los vértices, esto provocaba el desacomodamiento de la carga en el ciclo de cementación, haciendo que las piezas no estén aseguradas.

- Costo de grillas 2018.

Laterales cortos USD 63,26 cada uno, en pesos \$ 5282,21

Laterales largos USD 80,42 cada uno, en pesos \$ 6715,07

Las se componen de laterales cortos cantidad 4, laterales largos cantidad 3, medias grillas cantidad 2 y manijas cantidad 1.

19 laterales cortos = \$ 100361,91

11 laterales largos = \$ 73865,77

Costo total de 2018 en grillas = \$174227,68

Para la reducción de los costos de las grillas, se procede a soldar los vértices fisurados con GRINOX 29



Figura N°51 y N°52. Imágenes de fisura y posterior soldadura de grilla respectivamente.



- Costo de grillas 2019.

4 laterales cortos = \$ 21128,84

4 laterales largos = \$ 26860,28

Costo de grillas = \$ 47989.12

Costo del electrodo por kg \$ 1551, se utilizaron para la reparación de los laterales de las grillas 2kg en el año 2019, con un costo total de \$3102.

Costo total del 2019 en grillas y reparación = \$ 51091.12

- Costo de grillas 2020.

Costo total de 2020, durante el periodo no se compro nuevos insumos en grillas ya que, solo se siguió con las reparaciones de los laterales de las grillas. Utilizando 1,5 Kg de electrodos.

Costo del 2020 en reparación de grillas = \$ 2326.50

Tabla N°17.

Costo de mantenimiento de grillas.

COSTOS DE MANTENIMIENTO DE GRILLAS				
	Precio unitario	2018	2019	2020
Laterales cortos	\$ 5.282,21	\$ 100.361,91	\$ 21.128,84	\$ -
Laterales largos	\$ 6.715,07	\$ 73.865,77	\$ 26.860,28	\$ -
Electrodos	\$ 1.551,00	\$ -	\$ 3.102,00	\$ 2.326,50
Total		\$ 174.227,68	\$ 51.091,12	\$ 2.326,50
Costo por KG		\$ 5,73	\$ 1,20	\$ 0,06

Conclusión: Durante nuestro periodo de estudio, no se produjeron roturas de las nuevas grillas, con lo cual destacamos que la reducción de los costos puede ser aún mayor de la calculada hasta el momento. La reducción de costo se ve reflejada en el cuadro anterior, empezando por \$5.73 por kg de carga en 2018 pasando a un valor prácticamente despreciable de \$0.06 por kg de carga en 2020.



Comparativo 2018 vs 2019

Con respecto a las oportunidades de mejoras encontradas de modifica las etapas de procesos de cementado.

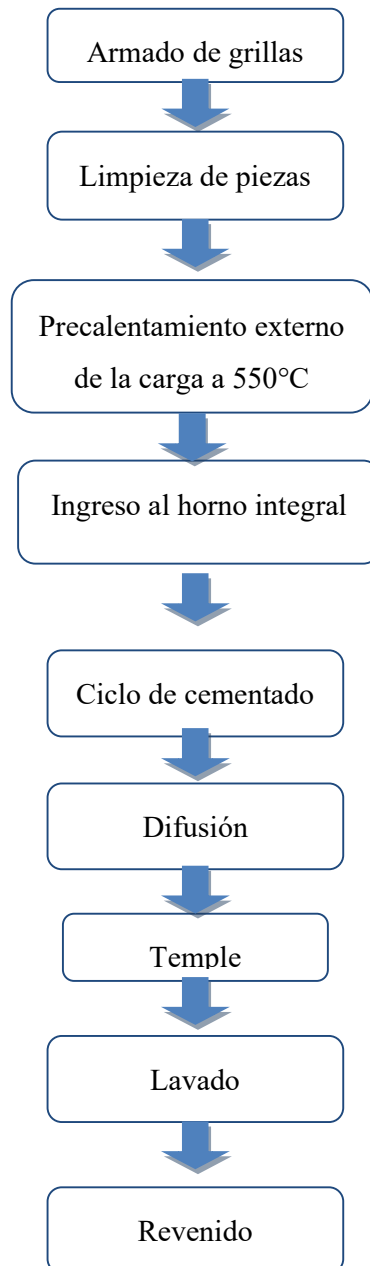


Figura N°53. Descripción del proceso.



Tabla N°18.
Análisis de tiempos 2019.

AÑO 2019	
Cementado de 0,7- 0,9mm	
Carga de 158,69Kg	
Etapas del proceso	Tiempos
Pre calentamiento 550°C	2Hs
Tiempo de homogeneización a T° 920°C	1Hs
Cementado	4Hs 40min
Difusión / homogeneización a T° 840°C	1Hs
Total	8Hs 40min

- Costo de consumo de generador de atmosfera endotérmica (m³ de gas)

Consumo = 12m³/hs

Tiempo de procesos 6hs 40 min

consumo de generador endotérmico = 12m³/hs X 6,66 Hs = 79.92m³

precio de m³ de gas = \$ 17,26

costo total del generador endotérmico = 79.92m³ X 17,26 \$/m³ = \$ 1379,41

- Costo de consumo de horno de atmosfera controlada (m³ de gas)

de las 6hs 40min del proceso los quemadores permanecen encendido 2 hs 50 min.

Consumo del horno 12m³/hs

Total m³ consumidos = 2hs 50 min X 12m³/hs = 33.96 m³

Costo de Consumos de gas = 33,96m³ X 17,26 \$/m³ = \$ 586,14

- Consumo de energía eléctrica del generador de atmosfera endotérmica

El generador tiene un motor de 2hp por lo tanto:

1HP = 0.7457 Kw

2HP = 1.4914 Kw/Hs

Entonces el consumo en el proceso:

1,4914 Kw/hs x 6hs 40 min = 9.93 Kw

Precio de Kw = \$ 11,5



Consumo total = $11,55 \text{ Kw} \times 9,93 \text{ \$/Kw} = \mathbf{\$114,22}$

- Consumo de energía eléctrica del horno de atmosfera controlada

El horno de atmosfera posee una turbina para homogeneizar la atmosfera de 4 HP más un agitador de aceite de 3 HP.

En la turbina: $4\text{HP} \times 0,74 \text{ Kw/ HP} = 2,9828 \text{ Kw}$

Consumo en hs = $2,9828 \text{ Kw} \times 6\text{hs } 40 \text{ min} = 19,86 \text{ Kw}$

Costo en proceso = $19,86 \text{ Kw} \times 11,5 \text{ \$/Kw} = \$ 228,45$

En el agitador: $3\text{HP} \times 0,74 \text{ Kw/ HP} = 2,23 \text{ Kw}$

Consumo en Horas: $2,23 \text{ Kw} \times 2 \text{ Hs } 18 \text{ min} = 5,14 \text{ Kw}$

Costo en proceso = $5,14 \text{ Kw} \times 11,5 \text{ \$/Kw} = \$59,18$

Costo total turbina más agitador = **\\$287,63**

- Consumo eléctrico de horno de precalentamiento

El horno de precalentamiento posee una turbina para homogeneizar la temperatura de 3.5 HP.

$3,5 \text{ HP/Hs} \times 2\text{Hs} = 7\text{HP}$

$7 \text{ HP} \times 0,74 \text{ Kw/HP} = 5,2199 \text{ Kw}$

$5,2199 \text{ Kw} \times 11,5 \text{ \$/Kw} = \$60,02$

Costo total del proceso de cementado de 2019

Tabla N°19.

Estructura de costos directos 2019.

Estructura de costos directos 2019		Tipo de costo	Influencia %	Costo por kg
Mano de obra	\$ 5.222,60	Fijo	62,71	\$ 32,91
Generador endotérmico gas	\$ 1.379,41	Fijo	16,56	\$ 8,69
Horno de tratamiento térmico gas	\$ 586,14	Fijo	7,04	\$ 3,69
Mantenimiento	\$ 496,53	Fijo	5,96	\$ 3,13
Consumo de energía eléctrica	\$ 461,87	Fijo	5,55	\$ 2,91
Horno de precalentamiento gas	\$ 181,23	Fijo	2,18	\$ 1,14
Total	\$ 8.327,78			\$ 52,47

Costo de tratamiento térmico por kg 2019 = \$52.47



RESULTADO DE COSTOS Y PROCESOS

Situación final 2020

Tabla N°20.

Análisis de tiempos 2020.

AÑO 2020	
Cementado de 0,7- 0,9mm	
Carga de 202,73 Kg	
Etapas del proceso	Tiempos
Pre calentamiento 550°C	2Hs
Tiempo de homogeneización a T° 920°C	1Hs 5min
Cementado	4Hs 40min
Difusión / homogeneización a T° 840°C	1Hs
Total	8Hs 45min

- Costo de consumo de generador de atmosfera endotérmica (m³ de gas)

Consumo = 12m³/hs

Tiempo de procesos 6hs 45 min

consumo de generador endotérmico = 12m³/hs X 6,75 Hs = 81m³

precio de m³ de gas = \$ 17,26

costo total del generador endotérmico = 81m³ X 17,26 \$/m³ = \$ 1398,06

- Costo de consumo de horno de atmosfera controlada (m³ de gas)

de las 6hs 45min del proceso los quemadores permanecen encendido 2 hs 53 min.

Consumo del horno 12m³/hs

Total m³ consumidos = 2hs 53 min X 12m³/hs = 34,64 m³

Costo de Consumos de gas = 34,64m³ X 17,26 \$/m³ = \$ 597,88

- Consumo de energía eléctrica del generador de atmosfera endotérmica

El generador tiene un motor de 2hp por lo tanto:

1HP = 0.7457 Kw



$$2\text{HP} = 1.4914 \text{ Kw/Hs}$$

Entonces el consumo en el proceso:

$$1,4914 \text{ Kw/hs} \times 6\text{hs } 45 \text{ min} = 10,06 \text{ Kw}$$

$$\text{Precio de Kw} = \$ 11,5$$

$$\text{Consumo total} = 11,5 \text{ Kw} \times 10,06 \text{ \$/Kw} = \mathbf{\$115,76}$$

- Consumo de energía eléctrica del horno

El horno de atmosfera posee una turbina para homogeneizar la atmosfera de 4 HP más un agitador de aceite de 3 HP.

$$\text{En la turbina: } 4\text{HP} \times 0.74 \text{ Kw/ HP} = 2.9828 \text{ Kw}$$

$$\text{Consumo en hs} = 2.9828 \text{ Kw} \times 6\text{hs } 45 \text{ min} = 20,13 \text{ Kw}$$

$$\text{Costo en proceso} = 20,13 \text{ Kw} \times 11,5 \text{ \$/Kw} = \$ 231,53$$

$$\text{En el agitador: } 3\text{HP} \times 0.74 \text{ Kw/ HP} = 2.23 \text{ Kw}$$

$$\text{Consumo en Horas: } 2.23 \text{ Kw} \times 2 \text{ Hs } 18 \text{ min} = 5,14 \text{ Kw}$$

$$\text{Costo en proceso} = 5,14 \text{ Kw} \times 11.5 \text{ \$/Kw} = \$59,18$$

$$\text{Costo total turbina más agitador} = \mathbf{\$290,71}$$

- Consumo eléctrico de horno de precalentamiento

El horno de precalentamiento posee una turbina para homogeneizar la temperatura de 3.5 HP.

$$3,5 \text{ HP/Hs} \times 2\text{Hs} = 7\text{HP}$$

$$7 \text{ HP} \times 0,74 \text{ Kw/HP} = 5,2199 \text{ Kw}$$

$$5,2199 \text{ Kw} \times 11,5 \text{ \$/Kw} = \$60,02$$

$$\text{Costo total del proceso de cementado de 2020}$$



Tabla N°21.

Estructura de costos directos 2020.

Estructura de costos directos 2020		Tipo de costo	Influencia %	Costo por kg
Mano de obra	\$ 5.222,60	Fijo	62,40	\$ 25,76
Generador endotérmico gas	\$ 1.398,06	Fijo	16,71	\$ 6,90
Horno de tratamiento térmico gas	\$ 597,88	Fijo	7,14	\$ 2,95
Mantenimiento	\$ 502,74	Fijo	6,01	\$ 2,48
Consumo de energía eléctrica	\$ 466,49	Fijo	5,57	\$ 2,30
Horno de precalentamiento gas	\$ 181,23	Fijo	2,17	\$ 0,89
Total	\$ 8.369,00			\$ 41,28

Costo de cementado por kg = \$41.28 por Kg.



ANÁLISIS GENERAL

Tabla N°22.

Reducción porcentual de costos.

	<i>Año 2018</i>	<i>Año 2019</i>	<i>Año 2020 (*)</i>
Cantidad de cargas	225	268	183
Kilos procesados	30402	42609	37104
Promedio de kilos por carga	135,12	158,69	202,73
Aumento % de producción	0	17,44%	50,03%
Tiempo entre fin de un proceso e inicio de otro	2Hs 5min	1Hs	1Hs 5min
Disminución % de tiempos en horno de atm controlada	0	52%	48%
Mano de obra	3 turnos (5 personas)	3 turnos (5 personas)	3 turnos (5 personas)
Metros Cúbicos de gas	310009,1	35365,47 + (precalentamiento) 2814,5	21154,8 + (precalentamiento) 1921,5
Promedio de m³ de gas consumido por kilo procesado	1,02	0,89	0,62
Reducción % del consumo de gas	0	12,74%	39,21%
KW de energia	4237,88	6525 + (precalentamiento) 1398,93 Kw	4503,25 + (precalentamiento) 955,24 Kw
Promedio de KW consumido por Kg procesado	0,209	0,186	0,1471
Reducción % del consumo de energía	0	11%	29,61%



ANÁLISIS DE OBJETIVO PRINCIPAL

En la siguiente tabla expresaremos la disminución de costos porcentual anual y la masa ganada en pesos ARS.

Tabla N°23.

Disminución de costos. Masa ganada.

COMPARACION DE COSTOS POR KG DE CEMENTADO Y TEMPLE			
AÑO	2018	2019	2020
Costo	\$ 64.20	\$ 52.47	\$ 41.28
Disminución	0%	18,27%	35,70%
Masa ganada		\$ 435.229,92	\$ 850.423,68

Disminución de costos generales



Figura N°54. Gráfico de disminución de costos



MASA GANADA EN PESOS

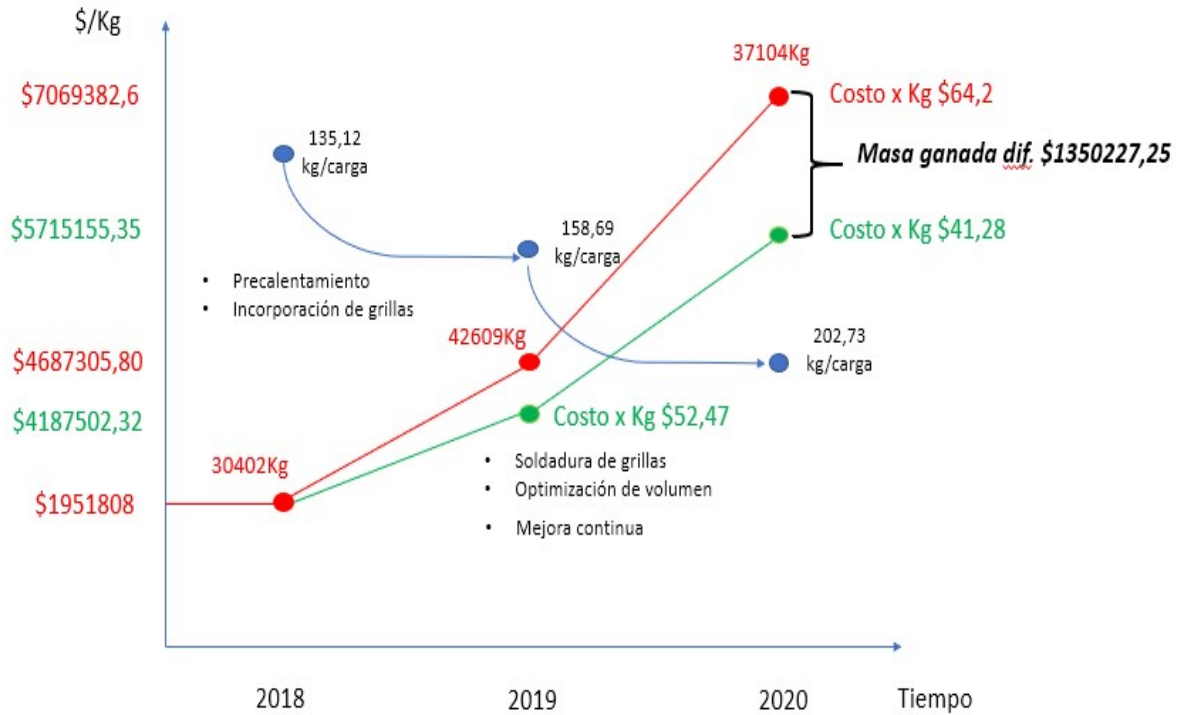


Figura N°55. Gráfico de masa ganada en pesos



Conclusión

De los estudios y análisis realizados durante el transcurso del presente trabajo, se han llegado a varias conclusiones y discusiones que nos fueron permitiendo lograr un entendimiento profundo del proceso de cementado bajo atmosferas contraladas. Se enumeran a continuación las conclusiones:

1. Con la incorporación en el proceso de precalentamiento de carga, demostramos no solo disminuir los costos, si no, también disminuir los tiempos en el proceso de cementación dentro de los hornos de atmosfera controlada. Lo cual ello secundariamente nos lleva a tener una mayor velocidad de producción. La reducción final fue de \$1,57 por kilogramo es decir un 12,5% menos.
2. Con el aumento del volumen de la carga también se redujo notablemente los costos, como consecuencia de la mayor capacidad de producción en los mismos tiempos, siendo este el factor de disminución de costo mas influyente, tomando como parámetro el año 2018 la reducción aproximada es de \$21,45 por kilogramo.
3. Con respecto al estudio de profundidad de capa, no se pudo reducir costos, pero secundariamente se pudo aumentar el valor de capa efectiva de los mismos.
4. Con la soldadura en las zonas fisuradas de las grillas, se logró elevar la vida útil de las mismas, disminuyendo los costos de tal forma que nuestro tiempo de estudio, no llegamos a hacer el calculo final de los mismos. Pero con los cálculos provisorios demuestran una gran baja de los costos. La influencia inicial era de \$5.73 por kilogramo, llegando a un numero final de \$0.06 por kilogramo. La reducción total es de \$5,67 por kilogramo.
5. Tomando en cuenta la disminución del costo por kilo de tratamiento térmico, llegamos a la conclusión de poder superar nuestro objetivo principal y lograr un gran aporte de carácter económico y metalúrgico a la empresa. El ahorro total fue de \$ 1350227,25. Se logro una disminución final de costo por kilo de un 35,7%. Como se explico en un principio de nuestro trabajo la influencia en el tiempo del



proceso de cementado es del 30%, considerando que nuestras mejoras se pueden aplicar a todos los procesos de la empresa, la masa ganada en el periodo que duro la tesis es aproximadamente de \$ 3645613,61, esto demuestra que, aplicando los conocimientos adquiridos en las distintas materias de nuestra carrera, podemos contribuir al desarrollo y crecimiento de las PYMES.



Bibliografía consultada

Apraiz Barreiro, J. (1964). *Tratamientos térmicos de los aceros*.

Askeland, D. R., & Phulé, P. P. (1998). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales* (Vol.1).

Espíndola, M.I.; Roberto, H.J & Scorza, R.J. Simulación Numérica de Espesores de Capa Cementada en Hornos de Tratamiento Térmico de Vacío. *Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional. Simposio de Materiales y Tecnología para la Industria Metal Mecánica y Aeroespacial*. Córdoba, Argentina.

Handbook, A. S. M. (1991). *Heat treatin* (Vol. 4).

Molina, D. Difusión. Metalurgia Física II. *Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional*. Córdoba, Argentina.

Reed-Hill, R. E. (1967). *Principios de metalurgia física*.



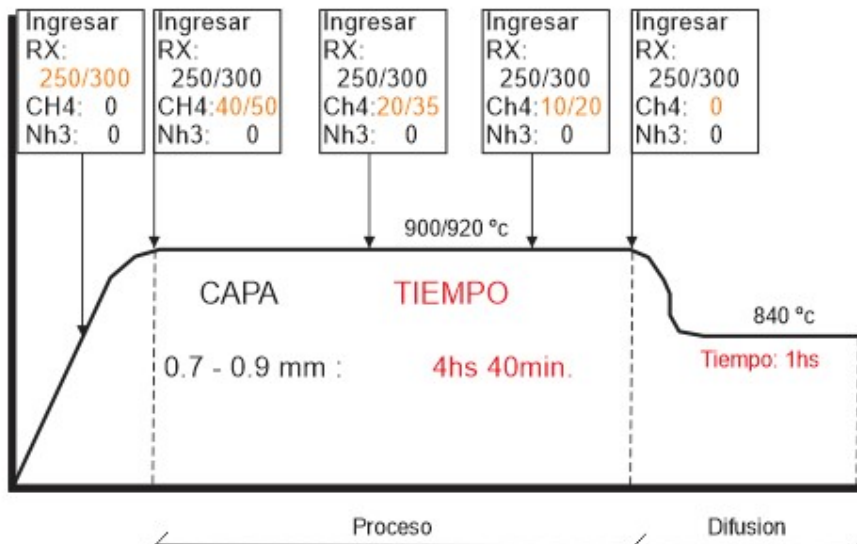
ANEXO 1

Hoja de Proceso N°5



HOJA DE PROCESO N°5

PROCESO:	CEMENTADO TEMPLE	62 HRC MINIMO
----------	-----------------------------	----------------------





INTI-Córdoba	PE-MET.02.03 Determinación de profundidad de capa endurecida en aceros	Revisión: 05 Fecha: 22/12/2014 Página 1 de 9
--------------	---	--

Preparó (nombre y firma)	Controló (nombre y firma)	Aprobó (nombre y firma)
P. Strada	A. Minghetti	R. Mancini

Contenido

Capítulo	Contenido	Página
0	Página titular	1
1	Alcance, objetivo y referencias	2
2	Instrucciones	2
2.1	Definiciones y abreviaturas	2
2.2	Equipos y máquinas de ensayo	3
2.3	Selección y preparación de las probetas	3
2.4	Método de medición	3
2.5	Registros e informe de ensayo	5
3	Responsabilidades	6
Anexo 1	FOR MET 02.03 XX N° 1	7
Anexo 2	FOR MET 02.03 XX N°2	8
Anexo 3	FOR MET 02.03 XX N°3	9



INTI-Córdoba	PE-MET.02.03 Determinación de profundidad de capa endurecida en aceros	Revisión: 05 Fecha: 22/12/2014 Página 2 de 9
--------------	---	--

1 Alcance, objetivo y referencias

Alcance

Capas endurecidas en aceros por tratamiento térmico de cementación y carbonitruración.

Objetivo

Establecer las directrices generales para la determinación por medición de dureza de la profundidad de capa endurecida por tratamiento térmico en aceros

Referencias

- Norma JIS G 0557 ("Methods of measuring case depth hardened by carburizing treatment for steel") – Versión vigente.
- ASTM E 140 Standard Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, and Scleroscope Hardness - – Versión vigente.
- Procedimiento PE-MET.01.01
- Procedimiento PE-MET.02.01
- MET.Doc.001 ("Cálculo de la Profundidad Efectiva de Capa (PEC)")
- Guía JCGM 100: Versión Vigente "Evaluación de datos de medición— Guía para la expresión de la incertidumbre de medida"

2 Instrucciones

2.1 Definiciones y abreviaturas

- **Profundidad efectiva de capa endurecida (PEC):** es la distancia entre la superficie y el punto más interior, donde la dureza Vickers es 550 HV (o su equivalente en dureza Knoop: 583 HK₅₀₀, obtenido mediante las tablas de conversión de la norma ASTM E 140), en la condición de templado o revenido a temperaturas que no excedan los 200°C (ver Fig. 1).
- **Profundidad total de capa endurecida (PTC):** es la distancia entre la superficie y el punto más interior, donde no se puede determinar diferencias en propiedades químicas



REGLAMENTO GENERAL DE TRABAJO FINAL DE GRADO

1. DEFINICIÓN

Trabajo Final:

Es un trabajo profesional, técnico y/o científico, integrador y potenciador de los conocimientos adquiridos, que debe realizar y presentar todo alumno de la carrera que haya cumplido con las condiciones establecidas para obtener el Título.

La finalidad de este trabajo es que el futuro profesional integre los conocimientos adquiridos y demuestre que ha desarrollado las competencias necesarias para ejercer su profesión.

2. OBJETIVO

El trabajo final tiene como objetivos:

- Integrar y aplicar con criterio profesional, creatividad, iniciativa y metodología, los conocimientos y técnicas adquiridas durante su carrera.
- Incrementar el aporte recibido a lo largo de su carrera en los criterios que deberá aplicar durante su vida profesional.
- Proporcionar soluciones eficaces y eficientes a los problemas que se presenten en el proyecto o trabajo, utilizando los conocimientos, técnicas y aptitudes alcanzados y desarrollados durante su estudio.

3. CARACTERÍSTICAS

a) Los trabajos finales son desarrollos similares a las actividades que realizará el futuro profesional referidos a temas originales, o que, siendo conocidos, agregan características que mejoran su comportamiento funcional o su costo. No se excluyen los trabajos de carácter analítico-científico de elaboración y conclusiones personales de temas vinculados a la especialidad.

b) Si la extensión del mismo lo justifica, el Director de Departamento podrá autorizar la integración de un equipo de hasta un máximo de dos (2) alumnos. Sin embargo, en la elaboración del Informe Final se deberá reconocer el trabajo individual y el aporte de cada uno de los integrantes del equipo. La integración del equipo debe quedar debidamente asentada en oportunidad de la aceptación formal del tema. En caso de un rendimiento deficiente durante el desarrollo del trabajo, se podrá separar a un integrante del equipo.

c) Los trabajos finales deberán contener los siguientes ítems:

Dedicatoria
Agradecimientos
Título
Hoja de aceptación del Trabajo Final
Índice
Listado de símbolos y convenciones.
Resumen
Palabras clave



Introducción
Desarrollo
Resultados
Conclusiones
Referencias / Bibliografía
Anexos

d) Los trabajos finales se presentarán encuadernados, debidamente foliados, en tres (3) ejemplares y en disco para computadora (CD) en formato de procesador de texto. De los tres (3) ejemplares escritos, dos copias junto con el disco (CD), quedarán en la Biblioteca del Departamento Metalurgia y el tercero se le devolverá al alumno en el momento de su aprobación con la constancia de la misma.

4. REQUISITOS PREVIOS Y PLAZOS

a) El alumno está habilitado para solicitar la aprobación del tema de trabajo final al comenzar el último año del Plan de Estudio.

b) El plazo para la realización del trabajo final es como máximo de dieciocho (18) meses desde la fecha de la confirmación formal (por escrito) del tema por parte del Director de Departamento. En casos debidamente justificados con el aval del tutor del trabajo final, se puede prorrogar la presentación por otros seis (6) meses. En caso de no cumplirse con la presentación dentro de este nuevo plazo otorgado y ante el pedido de una nueva prórroga por parte del alumno con el aval del tutor, el Director de Departamento debe convocar al Consejo Departamental para que se expida el respecto.

5. ELECCIÓN DEL TEMA

a) El tema del trabajo final será de elección del alumno y podrá pertenecer a cualquiera de las áreas de la profesión.

b) En cuanto a su originalidad y antecedentes, el tema podrá ser:

- Parte integrante de un desarrollo más complejo, para ser continuado o completado en el futuro, o como continuador de otro u otros trabajos finales desarrollados anteriormente.
- Original y desarrollado integralmente, sin dejar previsto futuras ampliaciones.

c) Se define como "original" al realizado por el alumno (no es un plagio). Esto es, cuando no existe otro de las mismas características entre los trabajos finales ya realizados. Por lo tanto, podrán proponerse también, trabajos finales con temas ya realizados, siempre y cuando se propongan nuevos enfoques, o técnicas o aplicaciones respecto a los anteriores (aplicación de nuevas tecnologías, nuevos métodos, profundización de algún tema desarrollado anteriormente, etc.).

d) En la selección del tema, intervendrán distintos factores tales como las metas, intereses y habilidades personales de cada alumno.

e) Los temas a desarrollar pueden ser:

- I - Propuestos por Profesores de la carrera.
- II - Propuestos por Alumnos.
- III - Propuestos por Directores de Proyectos de ésta facultad.
- IV - Requeridos por industrias o instituciones públicas o privadas y con carta de intención



por parte de la industria o institución involucrada.

f) En todos los casos, el tema deberá contar con aprobación previa por parte del Director de Departamento, y luego aceptado por el Tribunal que se designará para cada propuesta.

g) El Director de Departamento o el tutor del trabajo final, deberá fijar con el alumno los parámetros que caracterizarán el trabajo elegido.

h) La asignación del tema, el acuerdo del tutor de trabajo final y la fecha correspondiente de aceptación por parte del Tribunal asignado al trabajo, serán registrados y archivados en la Secretaría del Departamento con las firmas del alumno y del tutor y la evaluación de aceptación de tema por parte del tribunal.

6. RESERVA DE RESULTADOS

a) Podrán aparecer temas de desarrollo de un trabajo final en que, a pedido de alguna empresa patrocinante, se desee mantener una confidencialidad y/o clasificación de los resultados del trabajo, en cuyo caso se actuará con la reserva correspondiente.

b) Para trabajos de este tipo el alumno deberá consignar en la presentación del tema el carácter reservado del trabajo y ser aprobado por el Consejo Departamental.

7. TRIBUNAL

a) En analogía a los requisitos normales de toda cátedra, el examen correspondiente requiere de un Tribunal para su evaluación.

b) El tribunal será designado por el Director de Departamento cuando el alumno presenta su solicitud de trabajo final. Serán Profesores (Titulares, Asociados o Adjuntos) de la especialidad.

c) El tribunal deberá intervenir en la evaluación de la "Solicitud de tema de trabajo final" (Anexo I y Anexo II). Esta designación temprana del tribunal es a los efectos de evitar discrepancias o interpretaciones disímiles del tema o alcances del trabajo final encarado por el alumno. El tribunal podrá aceptar, sugerir agregados o rechazar el tema o la metodología propuesta (Anexo III).

d) Una vez finalizado el trabajo final y redactado el informe final, el mismo tribunal deberá evaluar los resultados.

8. TUTOR DE TRABAJO FINAL

a) La dirección, el asesoramiento y el seguimiento del trabajo final deben estar a cargo de un docente de la especialidad de reconocidos antecedentes académicos y profesionales. La idoneidad o no del mismo será definida por el Director de Departamento, consultando con el Consejo Departamental cuando lo considere conveniente.

b) El tutor del trabajo final coordinará directamente con el alumno los días y horarios para el asesoramiento y control, procurando orientar el desarrollo del trabajo dentro de las condiciones y plazos establecidos, fijando el nivel académico y profesional de dicho trabajo.



9. DESARROLLO DEL TRABAJO FINAL

- a) El trabajo final podrá efectuarse en el ámbito del Departamento Metalurgia o convenirse con otros departamentos de ésta unidad académica o instituciones privadas o públicas.
- b) El alumno y el tutor informarán trimestralmente al Director del Departamento sobre la marcha del Trabajo. A su vez, el Director de Departamento podrá solicitar al tutor un informe general de la marcha del mismo.
- c) El Director de Departamento puede, ante informe fundado del tutor de trabajo final, suspender el desarrollo del trabajo, disolver el equipo de alumnos si así se hubiera asignado el tema y reasignar nuevos temas a los alumnos involucrados.

10. FINALIZACIÓN DEL TRABAJO FINAL DE GRADO

- a) Finalizados los borradores del trabajo, revisados por el tutor y una vez corregidos, el alumno debe transcribirlo en un procesador de textos.
- b) Una vez transcrito y con la aprobación del tutor, el alumno remitirá tres (3) ejemplares al Director de Departamento (junto a Anexo IV). El Director de Departamento entregará un (1) ejemplar del trabajo con una Solicitud de Evaluación de Trabajo Final (Anexo V) a cada integrante del tribunal, debiendo el presidente del mismo reintegrarlos dentro de los quince (15) días posteriores con un informe por escrito (Anexo VI) para aprobarlo o para observarlo. En este último caso, se hará constar todo lo que se considere debe corregirse o aclararse. Este informe, deberá colocar al trabajo bajo evaluación en alguna de las siguientes alternativas:

- I La aceptación sin correcciones.
- II La aceptación con correcciones menores.
- III El rechazo del trabajo con las correcciones y/o motivos del mismo. En el caso de rechazo, el alumno deberá tomar nota de las correcciones, dejando en poder del Departamento el ejemplar en el que se le han realizado las correcciones u observaciones. Posteriormente, debe entregar tres (3) nuevos ejemplares con las correcciones efectuadas para ser nuevamente controladas por el tribunal. En el caso de ser aceptado el trabajo en esta segunda presentación, el ejemplar que ha sido utilizado para realizar las correcciones en la primera presentación, quedará en poder del Departamento hasta el día en que se realice la presentación oral del trabajo. En caso de aprobar, el ejemplar corregido será entregado definitivamente al alumno.

- c) El Tribunal deberá tener en cuenta que la aprobación del informe, da por aprobado el trabajo final. La presentación oral del trabajo final servirá para definir con qué calificación resulta la aprobación.

11. EXAMEN

- a) Para rendir el trabajo final, el alumno debe tener previamente aprobadas todas las materias de su carrera y aceptada la presentación del informe escrito.
- b) El Tribunal estará constituido por los tres Profesores designados al inicio del trabajo final. El tutor puede estar presente durante la exposición con voz, pero sin voto.
- c) La fecha y horario del examen serán fijados por la Facultad acorde a las posibilidades de los integrantes del tribunal.



d) El alumno efectuará la presentación o defensa oral de su trabajo final, ante el tribunal, en un tiempo no menor de 30 ni mayor de 60 minutos. Luego responderá a las preguntas aclaratorias que eventualmente se formulen. Si el trabajo es compartido por varios alumnos, cada integrante expondrá principalmente sobre su contribución personal, pero deberá ser capaz de mostrar comprensión integral y cabal del trabajo en su conjunto. La nota final será el resultado de evaluar y cuantificar los siguientes conceptos:

- I Presentación escrita del trabajo.
- II Presentación oral o exposición del o de los integrantes realizadores del trabajo.
- III Profundidad con la que se aborde el tema y/o aspectos originales o innovadores que se incorporen.

e) La nota con la que el tribunal califique a cada alumno intervendrá en su promedio general de la carrera.

12. CONSIDERACIONES COMPLEMENTARIAS

a) El o los autores del trabajo final podrán publicarlo dejando expresa constancia de los auspicios del Departamento Metalurgia. A su vez, el Departamento Metalurgia o la Facultad podrá gestionar su publicación si lo considere conveniente, dando el debido reconocimiento a su o sus autores.

b) Si el trabajo final da lugar a registro de patente, la gestión correspondiente será realizada por el o los autores. La propiedad intelectual se registrará por las disposiciones legales vigentes.

c) Cualquier situación no contemplada en el presente Reglamento, será resuelta por el Director de Departamento.



Anexo I


Fecha: 22/10/2020

SOLICITUD DE TEMA DE TRABAJO FINAL DE GRADO

Sr. Director de Departamento:

Me dirijo a Ud. a fin de solicitar la aprobación del tema de TRABAJO FINAL que propongo a continuación:

<p>TEMA:</p> <p>Nombre: "Optimización de los costos de cementado bajo atmosferas controladas".</p> <p><u>Descripción:</u> <i>(agregar Apéndice con descripción técnica detallada, diagrama de bloques y otros datos que permitan una interpretación completa del tema a desarrollar)</i></p>

<p>Tutor de Trabajo Final: (si el trabajo cuenta con dos o más tutores, repetir este formulario de datos).</p> <p>Nombre: Ismael Peveri Cargo: Docente de grado Dirección Personal o Laboral: Zuviria 422 Villa Carlos Paz Tel: 3541536510 e-mail: ismaelpeveri@gmail.com</p> <p>Firma del Tutor: </p>
--

<p>Datos del Alumno: (si el trabajo es realizado por dos alumnos, repetir este formulario de datos).</p> <p>Nombre y Apellido: Nicolás D' Angelo Carrera: Ingeniería Metalúrgica Matrícula: 39745 Materias que faltan aprobar: Proyecto Final Dirección: Capitán Rubén Martel 600 Localidad: Capital Provincia: Córdoba Tel: 3515467115 e-mail: nico_dangelo@hotmail.com</p>

Firma del Alumno: 



TEMA:

Nombre: "Optimización de los costos de cementado bajo atmosferas controladas".

Descripción: (agregar Apéndice con descripción técnica detallada, diagrama de bloques y otros datos que permitan una interpretación completa del tema a desarrollar)

Tutor de Trabajo Final:(si el trabajo cuenta con dos o más tutores, repetir este formulario de datos).

Nombre: José Andrés Gonzales Acosta

Cargo: Ayudante de primera

Dirección Personal o Laboral: Monseñor Pablo Cabrera 4080

Tel: 3516759964 e-mail: josegonzalez14@hotmail.com

Firma del Tutor:

Datos del Alumno:(si el trabajo es realizado por dos alumnos, repetir este formulario de datos).

Nombre y Apellido: Nicolás D´Angelo

Carrera: Ingeniería Metalúrgica

Matrícula: 39745

Materias que faltan aprobar: Proyecto Final

Dirección: Capitán Rubén Martel 600

Localidad: Capital Provincia: Córdoba

Tel: 3515467115 e-mail: nico_dangelo@hotmail.com

Firma del Alumno:



TEMA:

Nombre: "Optimización de los costos de cementado bajo atmosferas controladas".

Descripción: (agregar Apéndice con descripción técnica detallada, diagrama de bloques y otros datos que permitan una interpretación completa del tema a desarrollar)

Tutor de Trabajo Final:(si el trabajo cuenta con dos o más tutores, repetir este formulario de datos).

Nombre: Ismael Peveri

Cargo: Docente de Grado

Dirección Personal o Laboral: Zuviria 422 Villa Carlos Paz

Tel: 3541536510 e-mail: ismaelpeveri@gmail.com

Firma del Tutor:

Datos del Alumno:(si el trabajo es realizado por dos alumnos, repetir este formulario de datos).

Nombre y Apellido: Pablo Gastón Figueroa

Carrera: Ingeniería Metalúrgica

Matrícula: 61270

Materias que faltan aprobar: Proyecto Final

Dirección: Talacasto 4924

Localidad: Capital Provincia: Córdoba

Tel: 3515468902 e-mail: pablof9160@gmail.com

Firma del Alumno:



TEMA:

Nombre: "Optimización de los costos de cementado bajo atmosferas controladas".

Descripción: (agregar Apéndice con descripción técnica detallada, diagrama de bloques y otros datos que permitan una interpretación completa del tema a desarrollar)

Tutor de Trabajo Final:(si el trabajo cuenta con dos o más tutores, repetir este formulario de datos).

Nombre: José Andrés Gonzales Acosta

Cargo: Ayudante de primera

Dirección Personal o Laboral: Monseñor Pablo Cabrera 4080

Tel: 3516759964 e-mail: josegonzalez14@hotmail.com

Firma del Tutor:

Datos del Alumno:(si el trabajo es realizado por dos alumnos, repetir este formulario de datos).

Nombre y Apellido: Pablo Gastón Figueroa

Carrera: Ingeniería Metalúrgica

Matrícula: 61270

Materias que faltan aprobar: Proyecto Final

Dirección: Talacasto 4924

Localidad: Capital Provincia: Córdoba

Tel: 3515468902 e-mail: pablof9160@gmail.com

Firma del Alumno:



Anexo II

Fecha: 22/10/2020

TRIBUNAL DE ACEPTACIÓN DE TEMA PARA EL DESARROLLO DE TRABAJO FINAL DE GRADO

Tema: Optimización de los costos de cementado bajo atmosferas cementadas

Integrantes:

- 1 Presidente: Leandro Sanchez
- 2 Integrante: Diego Suarez
- 3 Integrante: Ricardo Bonaiutti

Sr. Profesor

De mi mayor consideración:

Me dirijo a Ud. con la finalidad de solicitarle analice la descripción del tema de trabajo final de grado propuesto por el alumno: Pablo Gastón Figueroa y Nicolás D'Angelo

De acuerdo al sistema vigente, como integrante del tribunal, deberá **analizar** el tema propuesto para su **aceptación, rechazo y/o realización de observaciones**, de acuerdo al Anexo III.

La aprobación del tema propuesto es requisito imprescindible, para que los alumnos puedan dar inicio a su trabajo final, de manera que agradeceré devolver su opinión dentro de los próximos **7 (siete) días**.

Asimismo de acuerdo a lo establecido en el reglamento vigente:

5.a) - El tema del trabajo final de grado será de elección del alumno y podrá pertenecer a cualquiera de las áreas de la profesión a la cual se postula.

5.b) – En cuanto a su originalidad y antecedentes, el tema podrá ser:

- Parte integrante de un desarrollo más complejo, para ser continuado o completado en el futuro, o como continuador de otra u otras Trabajos Finales desarrollados anteriormente.
- Original y desarrollado integralmente, sin dejar previsto futuras ampliaciones

5.c) - Se define como "original" al realizado por el alumno (no es un plagio). Esto es, cuando no existe otro de las mismas características entre los trabajos finales ya realizados. Por lo tanto, podrán proponerse también, trabajos finales con temas ya realizados, siempre y cuando se propongan nuevos enfoques, o técnicas o aplicaciones respecto a los anteriores (aplicación de nuevas tecnologías, nuevos métodos, profundización de algún tema desarrollado anteriormente, etc.).

Sin otro particular, saludo a Ud. muy atentamente.

Director de Departamento:



Anexo III

Fecha: 22/10/2020

INFORME DE ACEPTACIÓN DE TEMA PARA TRABAJO FINAL DE GRADO

Título del trabajo:

“Optimización de los costos de cementado bajo atmosferas controladas”

- El tema puede aceptarse en su forma actual sin modificaciones.
- El tema puede aceptarse pero el/los alumno/s debería/n considerar las correcciones sugeridas.
- Rechazar.

Observaciones: Sin Observaciones

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....



Firmado digitalmente por Leandro Sanchez

Firma del Titular



Anexo IV

Fecha: 22/10/2020

PRESENTACIÓN DEL INFORME DEL TRABAJO FINAL DE GRADO

Sr. Director Departamento

De mi consideración:

Habiendo finalizado la confección del informe de mi trabajo final de grado, me dirijo a Ud. a fin de solicitar la evaluación del mismo, de acuerdo al artículo. 10.b) del "REGLAMENTO GENERAL DE TRABAJO FINAL DE GRADO".

Firma del Alumno:

Visto Bueno:

Firma del Tutor:



Anexo IV

Fecha: 22/10/2020

PRESENTACIÓN DEL INFORME DEL TRABAJO FINAL DE GRADO


Sr. Director Departamento

De mi consideración:

Habiendo finalizado la confección del informe de mi trabajo final de grado, me dirijo a Ud. a fin de solicitar la evaluación del mismo, de acuerdo al artículo. 10.b) del "REGLAMENTO GENERAL DE TRABAJO FINAL DE GRADO".

Firma del Alumno: 

Visto Bueno:

Firma del Tutor: 



Anexo V

Fecha: 22/10/2020

SOLICITUD DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO FINAL DE GRADO

Tema: Optimización de los costos de cementado bajo atmosferas controladas

Alumno/s: Nicolás D´Angelo, Pablo Gastón Figueroa

Integrantes del Tribunal:

- 1- Presidente de la Mesa: Leandro Sánchez
- 2- Integrante de la Mesa: Diego Suarez
- 3- Integrante de la Mesa: Ricardo Bonaiutti

Sr. Profesor

De mi mayor consideración:

Me dirijo a usted con el fin de acercarle la copia del presente trabajo final de grado. De acuerdo a la reglamentación, como integrante de la Mesa, deberá corregir el trabajo realizando las observaciones pertinentes y confeccionando un informe de acuerdo al formulario adjunto. El tiempo establecido para la corrección es de **quince (15) días**, transcurrido el mismo se deberá devolver el informe con la correspondiente evaluación (Anexo VI).

Asimismo, solicito me indique su disponibilidad de horarios para combinar la realización del examen final.

Sin otro particular, saludo a Ud. muy atentamente.

Director de Departamento

....



Anexo VI

Fecha: 22/10/2020

INFORME DE ACEPTACIÓN DEL TRABAJO FINAL DE GRADO

Título del Trabajo: Optimización de los costos de cementado bajo atmosferas controladas

- El trabajo debe aceptarse en su forma actual sin modificaciones.
- El trabajo debe aceptarse, pero el/los autor/es deberá/n considerar las correcciones opcionales sugeridas.
- Rechazar.

Observaciones:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....



Presidente Mesa
Firma



2º Integrante Mesa
Firma



3º Integrante Mesa
Firma



Horarios disponibles para el examen:
.....
.....