

1- Introducción del proyecto.

El proyecto va a estar enfocado al aporte de resistencia superficial de una pieza prediseñada por un proyecto de cálculo de resistencia. Hay que comentar que todo lo referente a las medidas adoptadas para el proceso de cementación del proyecto vienen ya previamente calculadas en un estudio económico que ha realizado la empresa de ingeniería Ingure S.L. así que ya se tiene la información de cuáles son los procesos más rentables para el promotor del proyecto.

El aporte de resistencia se lleva a cabo a través de un proceso de cementación y posterior de tratamiento térmico.

El proceso de cementación superficial es para una producción en serie de cuatro mil piezas por cada día, además el proceso de tratamiento térmico es para esta misma producción de piezas. Todo esto para unas condiciones que vienen impuestas de un proyecto anterior de solicitaciones mecánicas y dimensionales de la pieza que se está trabajando. La pieza tiene que tener unas características mecánicas finales de composición a través de la cementación y de resistencia a través del tratamiento térmico.

El material que se va a utilizar es acero para cementación. Este material hay que calcularlo teniendo en cuenta la resistencia que se requiere según el proyecto de cálculo de resistencia anterior y teniendo en cuenta la economía global de la producción de piezas.

Para la cementación, no hay que hablar que se tiene que llevar a cabo en un horno con la atmósfera apropiada. Este proyecto va a servir para pedir a medida el horno de cementación para el caudal de piezas requerido, y por ello se ha hablado con la empresa guinea hermanos que es la empresa que va a crear el horno. A esta empresa se le ha enviado información del proyecto para que manden información del horno así como el calor perdido por la chimenea, la temperatura de tiro de la chimenea, las pérdidas por las paredes del horno, las bateas transportadoras de piezas, es decir una memoria descriptiva y de cálculo.

Para el horno, se va a introducir los valores calculados referente al calor ya que lo que pide el proyecto es la cementación no de una pieza sino de un caudal de pieza y por ello, se ha calculado el caudal de combustible que hay que introducir al horno pero el cálculo del horno no se enfoca en este proyecto, solo la cantidad de calor que hace falta para calentar las piezas. Por ello y como se ha descrito en el párrafo anterior se ha tenido que pedir información a la empresa creadora del horno para que de información de este.

Para el tratamiento térmico, se tiene que tener en cuenta lo referente a la resistencia final de las piezas estudiado en el proyecto de solicitaciones mecánicas.

2- Producción requerida de piezas cementadas y tratadas térmicamente.

Según el promotor del proyecto, el proceso de cementación tiene que ser para una producción de 4.000 piezas al día totalmente cementadas y tratadas térmicamente, cuando la planta funcione en estado estacionario, es decir con la planta en un funcionamiento estable o estacionario.

Las piezas con las que se van a trabajar están terminadas, libres de piezas defectuosas, limpias de grasa, nada más para darle el tratamiento termoquímico de cementación y posterior tratamiento térmico.

La planta según el promotor quiere que trabaje durante las 24 horas del día, es decir sin parar el horno. El horno solo se va a parar para sus revisiones de mantenimiento por eso a la producción se le sobreproducción para que esta parada no afecte a la producción total de piezas.

Este coeficiente de sobreproducción evalúa tanto a las revisiones del horno como a los fallos de suministro del combustible además de las paradas por accidente también las roturas de máquinas en concreto el horno. Todo esto hay que tenerlo en cuenta mirando datos de las empresas suministradoras de combustible como de fallos en hornos industriales fabricados por guinea hermanos, también hay que preguntar a ingenieros de mantenimiento en este tipo de industrias para que de una aproximación de días de mantenimiento del horno.

3- Características de la pieza que se va a tratar en el proyecto.

Las características que se quieren buscar ya sea en composición de la periferia de la pieza como en la resistencia de la pieza vienen impuestas por el cálculo en otro proyecto que según las solicitaciones mecánicas requeridas para la pieza dan como resultado lo expuesto en los siguientes subapartados.

3.1- Dimensiones de la pieza.

La pieza tiene las siguientes características dimensionales:

La pieza esta compuesta por cuatro cilindros coaxiales, los cuales cada uno tiene las siguientes medidas.

El primer cilindro tiene un diámetro de 20 milímetros y una longitud de 30 milímetros.

El segundo cilindro tiene un diámetro de 23 milímetros y una longitud de 51 milímetros.

El tercer cilindro tiene un diámetro de 63 milímetros y una longitud de 11 milímetros.

El cuarto cilindro tiene un diámetro de 20 milímetros y una longitud de 184 milímetros.

El volumen total del cilindro es de $122709'03 \text{ mm}^3$ y un peso de 0.963266 kg

En este apartado solo se van a nombrar las dimensiones pero su correcta representación estará en el apartado referente a planos del proyecto.

3.2- Tipo de material.

El material que se utiliza es acero cromo níquel duro de gran templabilidad con nombre F-153. A continuación se expone el manual de características que tiene el acero proveniente del fabricante así como la curva de la S, ensayo jominy, curvas de revenido, resistencia del tratamiento de normalizado y de temple y de todos los tipos posible que existe, así como de el recocido de la pieza, es decir una información detallada del material que se va a utilizar.

HSL
HEVA

F - 153

Acero cromo níquel duro de gran templabilidad

Composición nominal en %

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
0,14	0,40	<0,05	<0,05	<0,05	1,--	4,--

Aplicaciones

Para la fabricación de engranajes cementados de alta responsabilidad que trabajen con resistencias de 120 a 135 kg/mm² en el núcleo. Especialmente engranajes para motores de aviación y algunos muy cargados de motores y transmisiones de automóviles.

Debido al alto contenido en níquel, no hay crecimiento del tamaño de grano en la cementación. Se puede emplear este acero con un solo temple a 825° cuando se deseen muy altas resistencias, con buena tenacidad.

Durezas y resistencias aproximadas del acero en diferentes estados

	Templado a 780° C en aceite	Laminado	Normalizado	Recocido de ablandamiento
Dureza	340-360 HB.	310-370 HB.	290-350 HB.	190-230 HB.
Resistencia kg/mm ²	115-130	105-125	100-120	65-80

Características normales de utilización

Resultados obtenidos sobre redondo de Ø 25 mm tratado:

Temple de endurecimiento a 780° en aceite y revenido a 150° al aire.

Dureza mínima en la superficie cementada Rc 59.

Resultados medios en el núcleo: R=125 kg/mm², E=110 kg/mm², A=9 %, p=9 kg/cm².

Resultados garantizados en el núcleo: R=120 kg/mm², E=105 kg/mm², A=7 %, p=7 kg/cm².

Las características que se consiguen en otros redondos se indican en los gráficos del "efecto de masa", página 56.

Dimensiones máximas en las que se consigue un temple aceptable en el centro de la pieza.	175 agua
175 mm de diámetro con enfriamiento en agua.	150 aceite
150 mm de diámetro con enfriamiento en aceite.	

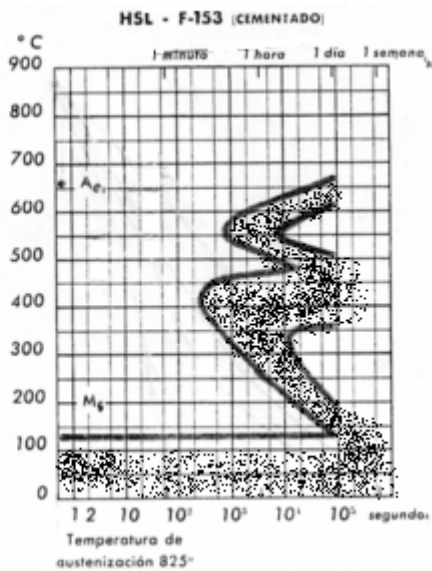
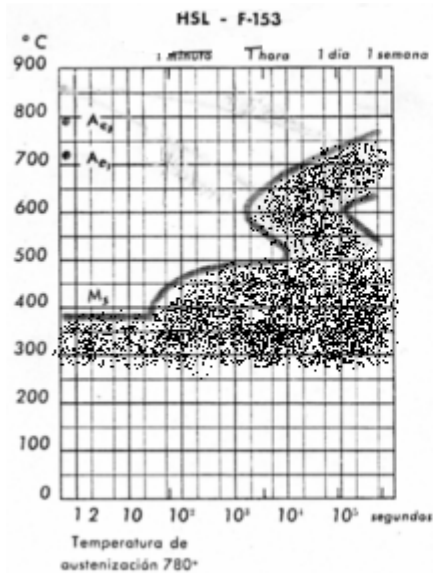
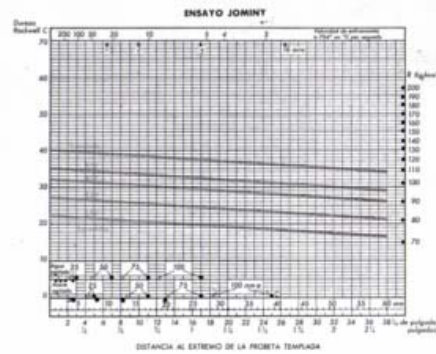
Datos útiles para los tratamientos térmicos

Temperaturas críticas: A_{c1} 700° C A_{c3} 770° C

Operación	Temperatura	Enfriamiento
Forja	1.200-900° C	en coque
Normalizado	820° C	al aire
Recocido de regeneración	820° C	en horno
Recocido de ablandamiento	650° C	al aire
Cementación	820° C	en horno o aire
1.º temple	820° C	en aceite
2.º temple	780° C	en aceite
Revenido	150-200° C	al aire

ACEROS ESPECIALES HEVA

HEVA



3.3- Microestructura final requerida en la pieza.

Por profundidades los constituyentes son:

Desde la periferia hasta 1.4mm de la periferia el constituyente es martensita.

A partir ahí hasta los 3.12mm que es la profundidad máxima de la penetración del carbono de la cementación, es decir que estos 3.12mm es la capa cementada es bainita inferior.

De los 3.12mm hasta los 4mm de profundidad la microestructura tiene que ser de bainita superior para la parte más externa de la capa y con perlita fina para la parte más pegada al núcleo de la pieza.

Para la parte que va de los 4mm a los 5mm el constituyente estructural es la perlita fina y la perlita gruesa, y a partir de ahí y hasta el centro de la pieza no hay efecto del tratamiento térmico sobre la pieza y la pieza guarda su microestructura normal de recocido es decir sin tratamiento térmico.

A continuación hay una representación esquemática de la periferia de la pieza nombrando su microestructura así como su resistencia.

		0mm	profundida
MARTENSITA	100kg/mm ²	9mm	
MARTENSITA	100kg/mm ²	1.4mm	
BAINITA INFERIOR	80kg/mm ²	3.12mm	
PERLITA FINA Y BAINITA SUPERIOR	75kg/mm ²	4mm	
PERLITA GRUESA Y PERLITA FINA	70kg/mm ²	+5mm	
ZONA NO AFECTADA POR EL TRATAMIENTO TERMICO (estructura natural del acero F-153)	60kg/mm ²	hasta el centro	

3.4-Concentración de carbono en la capa cementada.

Características de la capa cementada:

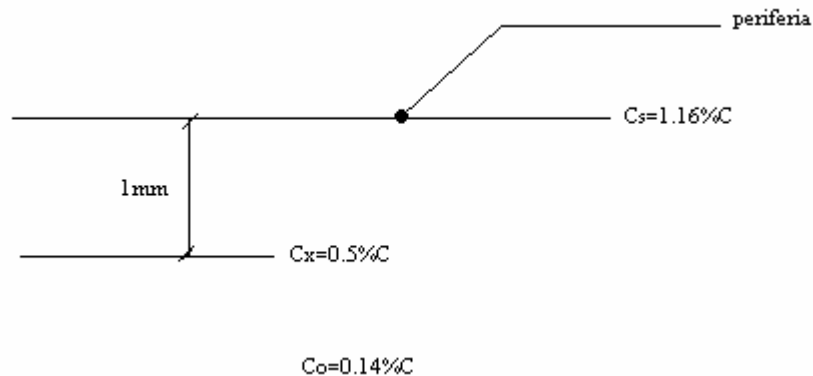
Concentración de carbono en la superficie-----1.16% carbono.

Concentración de carbono a una profundidad de 1mm-----0.5% carbono.

Concentración del núcleo de la pieza intacto-----0.14% carbono.

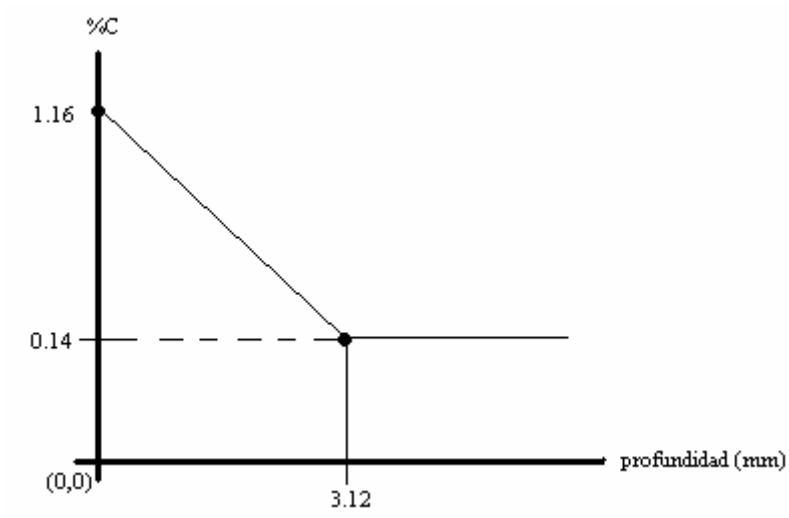
El siguiente esquema muestra lo que se busca con el proceso de cementación.

Esquema para el proceso de cementación de la pieza:



Este esquema muestra como queda la concentración de carbono en la pieza una vez cementada, partiendo de la periferia de la pieza hasta el centro de la pieza.

Esquema de la concentración de carbono en la pieza:



4- Medidas adoptadas para el proyecto:

Según lo expuesto en los apartados anteriores de la memoria descriptiva, y según lo visto referente a lo requerido por el proyecto antes contratado por el promotor. Las medidas que se van a adoptar para cumplir con lo pedido de este proyecto es un proceso cementación con atmósfera gaseosa por propano y tratamiento térmico al aire o normalizado.

La cementación con atmosfera gaseosa es el proceso más eficaz para la cementación de piezas en serie, ya que al crear piezas de forma continua esta manera de cementar produce piezas continuamente. El tratamiento consta de un horno el cual va a calentar las piezas hasta la temperatura de 875°C que es una temperatura adecuada para que la cementación sea rápida y a la vez que no afecte bruscamente a la pieza así como que este un vez cementada la periferia toda la pieza este en forma de austenita. Con un proceso de combustión incompleta el cual desprende en vez de dióxido de carbono desprende monóxido de carbono que según la curva de equilibrio de Boudouard se establece otra reacción química que a partir de dos moléculas de monóxido de carbono se desprende un átomo de carbono libre y se desprende una molécula de dióxido de carbono, el cual el átomo de carbono libre entra en la pieza para formar parte de la solución sólida del hierro así cementándolo.

El combustible que se va a utilizar es propano. Se ha escogido este combustible porque lo más económico para la relación de suministro del combustible y precio es el más rentable ya que cerca de donde se quiere poner la empresa de tratamiento de cementación hay un empresa que crea propano y el suministro se hace mas barato, y para lo que se consume en el horno que es una cantidad grande, el suministro de combustible es una cantidad importante del dinero que hay que gastar para que funciones la planta.

El tipo de horno que se va utilizar se ha pedido a medida para el proyecto a la empresa guinea hermano ingenieros, la cual ha mandado información del horno y de los materiales de los que está fabricado y de sus dimensiones.

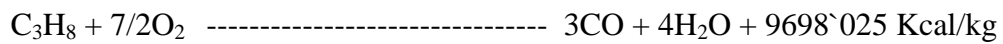
Pues una vez que las piezas están el tiempo para la cementación pasan a la zona de tratamiento térmico el cual y según lo requerido por el proyecto he optado por un tratamiento de normalizado (o al aire) ya que la pieza al estar compuesto por acero de gran templabilidad y además del aporte de carbono en la cementación que desplaza la curva de la S hacia la derecha es suficiente con la severidad de temple que tiene el aire en reposo a temperatura ambiente para templar las piezas y ahorrarse dinero en elementos templantes y en una planta de templado y así mejorar el rendimiento económico del proyecto, además de ser una medida mas ecológica.

Hablando sobre el proceso de temple al aire o normalizado es que una vez que las piezas salen del horno con una temperatura superior a la de austenización, se dejan las piezas en una zona recreada para el tratamiento así que se deja al aire libre no forzado y así se llega a templar las piezas.

5- Proceso de calentamiento de las piezas.

El proceso de calentamiento de las piezas se va a hacer mediante la combustión incompleta del propano, la temperatura de calentamiento de las piezas va a ser de 875°C que es la temperatura a la que se va a llevar a cabo el proceso de cementación y posterior temple.

La reacción química de combustión incompleta en el proceso es la siguiente:



El calentamiento se va a realizar en el interior de un horno continuo suministrado por guinea hermanos el cual tiene unos raíles que van transportando las piezas en unas bateas preparadas para ello.

El combustible que se va a utilizar es el propano que es el combustible que más rentable sale para el funcionamiento de la planta.

6- Proceso de cementación de las piezas.

El proceso de cementación se va a llevar a cabo en el interior del horno de calentamiento, en el cual se va a crear una atmósfera la cual va a ser la responsable junto a la temperatura y la composición inicial del material a utilizar que la pieza cambie su composición superficial así cementándose.

El carbono que va a consumir la pieza se va a aportar con los mismos gases procedentes de la reacción de combustión, ya que el proceso de combustión se va a hacer de una manera especial para que quede al final carbono libre que será el que por diferencia de concentración entre el exterior de la pieza y el interior de ésta cimente la pieza (esta es la fuerza que impulsa el proceso de cementación), este carbono atómico se consigue jugando con la reacción de combustión la cual en vez de producir dióxido de carbono (como se forma en una combustión completa) que es un gas inerte, se produce monóxido de carbono que es un gas reactivo que quiere formar dióxido de carbono, y en este proceso químico de transformación de monóxido de carbono en dióxido de carbono se libera átomos de carbono libres que son los que se introducen en la estructura del hierro y esto se consigue introduciendo oxígeno en defecto en la reacción de combustión para en vez de formar agua y dióxido de carbono, formar agua y monóxido de carbono.

7- Proceso de tratamiento térmico.

El tratamiento térmico que se va a llevar a cabo para lo requerido en el proyecto va a ser un normalizado ya que la materia al ser de gran templabilidad no necesita una severidad de temple extrema, sino que al mismo aire ambiente se temple perfectamente. El proceso es el siguiente, una vez que salen las piezas del horno se dejan en reposo en un recinto la cual esta a temperatura ambiente y en ese lugar, las piezas por acción de enfriamiento del aire que está a su alrededor que absorbe el calor de las piezas, se enfrían y este enfriamiento es el causante del temple de la pieza.

Este proceso de tratamiento térmico es el más económico y el más ecológico ya que no utiliza ni aceites, ni salmuera, simplemente aire.