

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

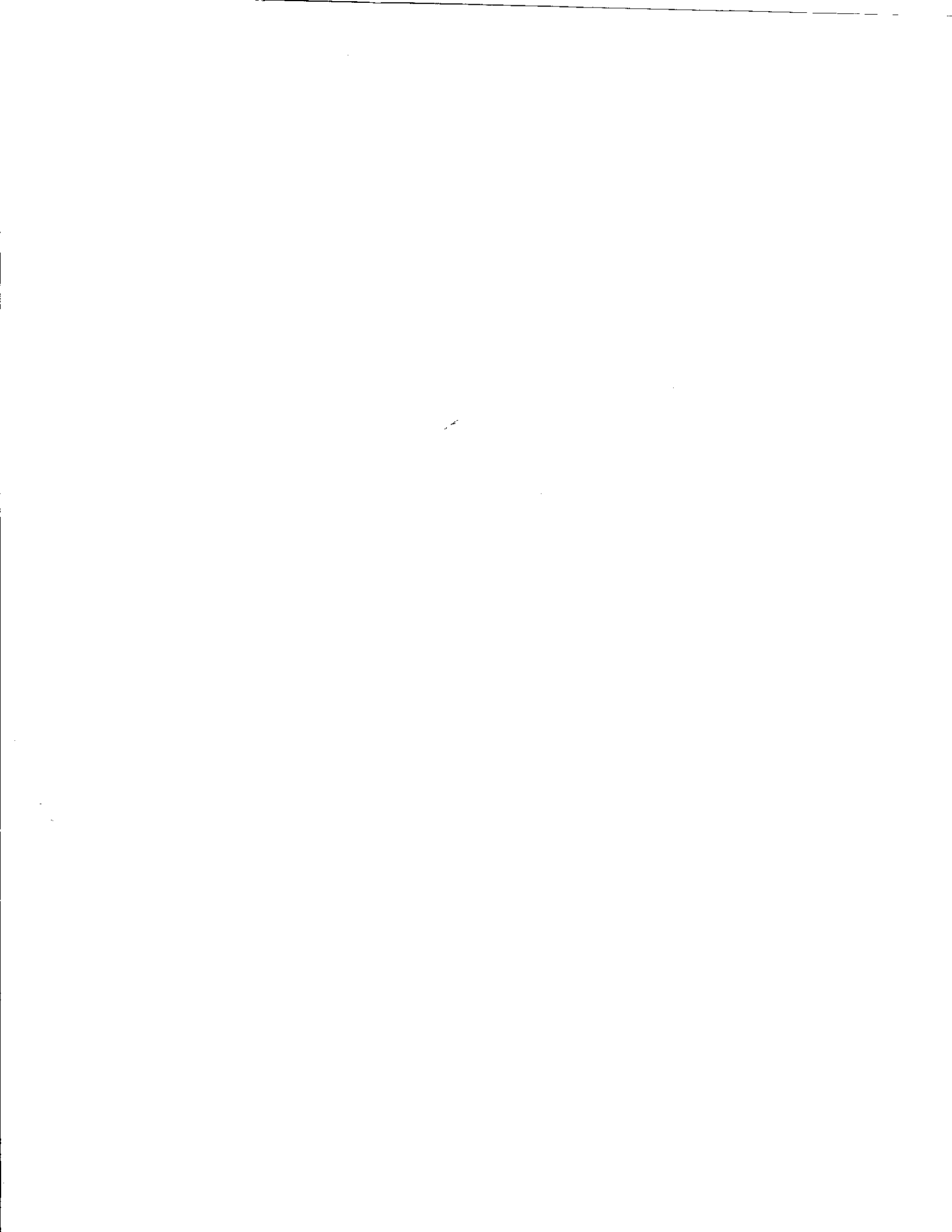
**Diseño de una maquinaria de dosificación y
mezcla de sólidos en una fábrica de helados**

INGENIERÍA MECÁNICA

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

**Trabajo profesional presentado por Rodrigo Ruiz Motta
para optar al grado de Licenciado en Ingeniería Mecánica**

**Guatemala
2005**



Diseño de una maquinaria de dosificación y
mezcla de sólidos en una fábrica de helados

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

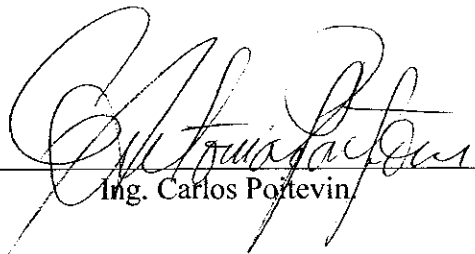
**Diseño de una maquinaria de dosificación y
mezcla de sólidos en una fábrica de helados**

BIBLIOTECA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

**Trabajo profesional presentado por Rodrigo Ruiz Motta
para optar al grado de Licenciado en Ingeniería Mecánica**

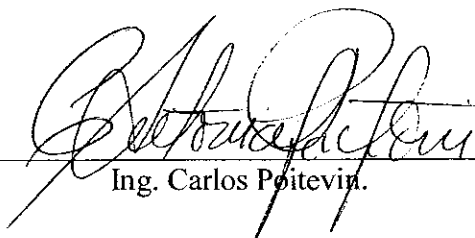
**Guatemala
2005**

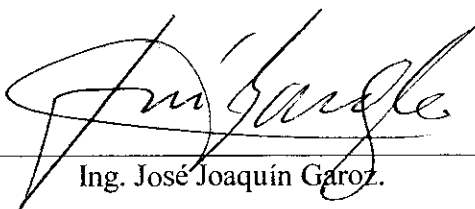
Vo.Bo.:

(f) 
Ing. Carlos Portevin

Tribunal:

(f) 
Ing. Manuel Ruano.

(f) 
Ing. Carlos Portevin.

(f) 
Ing. José Joaquín Garoz.

Fecha de aprobación: 16 de mayo del 2005

Este trabajo de graduación se lo dedico a Dios,
por darme la dicha de conseguir cosas
importantes en la vida; a toda mi familia, en
especial a mis papás, por darme su apoyo en todo
momento; y al Ing. Luis Pérez, quien me brindó
la posibilidad de desarrollar este trabajo.

CONTENIDO

	Página
PREFACIO.....	vi
LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	x

Capítulos

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	EL HELADO	2
A.	Generalidades.....	2
B.	Proceso de fabricación del helado.....	2
III.	EL ACERO	10
A.	Aleaciones hierro – Carburo de hierro	10
B.	Acero inoxidable.....	13
IV.	DISEÑO.....	60
A.	Parámetros de diseño.....	60
B.	Mecanismo de dosificación	61
C.	Desarrollo del prototipo.....	71
V.	CONCLUSIONES	73
VI.	RECOMENDACIONES.....	74
VII.	BIBLIOGRAFÍA	75
VIII.	ANEXOS	77

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Métodos de pasteurización.....	4
Tabla 2. Presiones de homogenización del helado	5
Tabla 3. Propiedades del acero inoxidable AISI 316L	19
Tabla 4. Propiedades del acero inoxidable AISI 304.....	20
Tabla 5. Porcentajes de los componentes de las distintas clases de aceros inoxidables...	20
Tabla 6. Causas y soluciones para evitar la corrosión del acero inoxidable.....	22
Tabla 7. Gas de protección utilizados para el proceso de soldadura TIG.....	32
Tabla 8. Gas de protección utilizado en el proceso de soldadura MIG	34
Tabla 9. Electrodo y corrientes de trabajo utilizado el proceso de soldadura MIG	34
Tabla 10. Modos de transferencia de arco en la soldadura MIG de aceros inoxidables...	36
Tabla 12. Métodos de corte del acero inoxidable	43
Tabla 13. Temperatura de fusión de metales y óxidos metálicos	44
Tabla 14. Tiempos de llenado de helados de mango y ron con pasas	60
Tabla 15. Densidades y flujos volumétricos en la producción de helado	61
Tabla 16. Componentes básicos del sistema.....	61
Tabla 17. Valores de capacidades máximas y mínimas a 45% de carga (SI de medida) .	66
Tabla 18. Valores de capacidad máxima y mínima a 45% de carga (sistema inglés)	66
Tabla 19. Valores de los factores por diámetro del trasportador	68
Tabla 20. Valores de factores de seguridad	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de fase de un acero inoxidable típico.....	15
Figura 2. Estructuras típicas del acero inoxidable	15
Figura 3. Clasificación de los aceros	16
Figura 4. La sensitización en la superficie de los aceros inoxidables.....	24
Figura 5. Curvas de sensibilización Tiempo – Temperatura del acero inoxidable 304	28
Figura 6. Diagramas WRC.....	30
Figura 7. Proceso de soldadura TIG	31
Figura 8. Proceso de soldadura MIG	33
Figura 9. Cordones de soldadura logrados por la transferencia globular	35
Figura 10. Proceso de la soldadura MIG	38
Figura 11. Punteado de soldadura.....	48
Figura 12. Tipos de pulidos	56
Figura 13. Granos de un acero inoxidable dúplex	58
Figura 14. Diagrama del sistema de dosificación y mezcla de sólidos en el helado	62
Figura 15. Diseños típicos de tornillos sin fin utilizados para sistemas de transporte.....	63
Figura 16. Capacidad de transporte a 1RPM y 45% de carga	65
Figura 17. Capacidad a velocidad máxima a 45% de carga	65
Figura 18. Velocidad máxima a 45% de carga	66
Figura 19. Factor de diámetros de transportador	68
Figura 20. Factores de seguridad	70

RESUMEN

Este trabajo trata del diseño de un mecanismo de dosificación y homogenización de sólidos en helado cremoso. Como primer punto se ilustra, a grandes rasgos, el proceso de producción de helado. Sin embargo, este estudio se enfoca en el proceso de envasado, que es en donde se le agrega sólidos al helado, por ejemplo en la producción de ron con pasas, u otros helados con algún tipo de agregado.

La principal limitante que se tiene en dicha etapa de producción del helado es que el agregado de sólidos se hace en forma manual, por lo que la homogeneidad del producto no es el deseado, además los costos de producción son más altos debido a que se necesita más mano de obra. Por esta razón se pensó en la construcción de un equipo, el cual fuera capaz de dosificar uniformemente los sólidos en el helado, facilite el proceso de producción (semiautomatización del proceso), se reduzcan los costos, y permitan la innovación de nuevos productos.

Para esto se realizaron las observaciones necesarias del proceso, especialmente parámetros de producción, como flujo volumétrico de helado, densidad del producto, etc. Con este tipo de información, y sabiendo que se trata de un equipo que se encontrará en contacto con productos alimenticios, se hace una descripción de los materiales de construcción con las respectivas consideraciones que se deben de tener (en la construcción y mantenimiento del equipo) para cumplir con las normas de calidad; paso seguido se encuentran los cálculos para poder seleccionar el equipo adecuado, así como su dimensionamiento.

Se trató de desarrollar un prototipo, sin embargo su construcción no fue posible porque era necesario hacer una inversión inicial de aproximadamente Q.10,000.00. A pesar de eso, se adjuntan los planos de los principales componentes del modelo para dejar abierta la posibilidad de dar continuidad a este trabajo en el futuro.

I. INTRODUCCIÓN

El campo de la ingeniería, y sobre todo el diseño de ingeniería busca implementar nuevos sistemas o métodos que no sólo satisfagan una necesidad determinada, sino que, optimicen algunos procesos, los cuales permiten la producción de nuevos productos, reducen los costos de producción y mejoren su calidad.

Es por esto que este trabajo busca dar una nueva alternativa para la dosificación de sólidos en helado. En la actualidad, este proceso, en la fábrica de helados Marco Polo se realiza en forma manual. Esto hace que el helado, no posea una consistencia homogénea, es decir, que la distribución de sólidos en el helado no es uniforme a través de todo el producto. De esta forma se buscó la manera de crear un mecanismo que no sólo logre la dosificación adecuada de los sólidos en el helado, sino que sea capaz de incorporar y mezclarlos para obtener un producto de mejor calidad, optimice la línea de envasado, y algo no menos importante, que permitirá la producción de una variedad más amplia de productos, ya que en la actualidad solamente se fabrica el helado de ron con pasas.

Este trabajo puede resumirse en dos partes: la primera, la cual describe el proceso de producción y los materiales de construcción, ya que es una maquinaria a ser utilizada en la industria alimenticia; y la segunda parte que es la de cálculos y dimensionamiento de la máquina, el cual da un parámetro de desempeño del mecanismo en cuanto a la incorporación de los agregados sólidos y homogenización del producto a la hora del envasado.

Para esto se observó el proceso de fabricación de helado y se tomaron los datos necesarios, como por ejemplo flujo volumétrico y densidad del producto, los cuales se consideraron como los parámetros de diseño. Con estos parámetros se seleccionó un mecanismo de tornillo sin fin el cual facilita la incorporación de las agregados al helado, se calculó la velocidad de trabajo del mecanismo, potencia del motor a utilizar, y otros componentes del sistema. Por último se hizo los planos del modelo del mecanismo, se presupuestó y se realizó las pruebas respectivas.

Cabe mencionar que este trabajo sugiere una forma más simplificada de dosificación, incorporación y mezcla de sólidos en helados cremosos, sin embargo deja abierta la posibilidad de la selección de equipos secundarios, como por ejemplo, motor, motoreductor, acoples, transmisiones, etc., los cuales quedan a criterio de cada diseñador y de la disponibilidad de los equipos que ofrece el mercado, no olvidando los parámetros de diseño considerados.

II. EL HELADO

A. Generalidades

El helado es un alimento lácteo congelado hecho a partir de una mezcla pasteurizada, que además es agitada para incorporársele aire, asegurando su uniformidad y consistencia. La mezcla se compone de la combinación de materias primas lácteas, azúcar, dextrosa, mantequilla, agua, huevos (en algunos casos), saborizantes y estabilizantes.

La comisión Guatemalteca de Normas, COGUANOR, define el término helado como <<el producto lácteo obtenido a partir de una emulsión de grasa y proteína con la adición de azúcar, otros ingredientes y aditivos permitidos, o bien, el producto no lácteo preparado a partir de una mezcla de agua, azúcares, otros ingredientes y aditivos permitidos, que han sido tratados por congelación y que se destinan al almacenamiento, venta y consumo humano en estado de congelación o parcialmente congelados >>.

La fábrica a tratar a lo largo del trabajo produce los dos tipos de helados, mencionados anteriormente. Según COGUANOR:

- Helado especial de leche: es aquel preparado con leche o sus derivados, que contiene solamente grasa, cuyo contenido está comprendido entre 4% y 10% en su composición final, y proteínas de leche.
- Helado de agua: es el helado preparado con una mezcla de agua potable con pulpa, zumos de frutas o esencias de éstas.

B. Proceso de fabricación del helado

Los ingredientes se deben seleccionar y combinar con base al helado que se desea obtener. Los pasos básicos para la producción de helado son la composición de la mezcla, pasteurización, homogenización, enfriamiento, maduración, saborización, congelamiento, empaque, endurecimiento, despacho y lavado de equipo.

El primer paso es la elaboración de la mezcla. El proceso puede llevarse a cabo de dos formas:

- En pequeños lotes, donde cada ingrediente es pesado y colocado dentro del tanque pasteurizador.

- Proceso continuo, donde la mayoría de los ingredientes son incorporados de forma continua en el lote

La secuencia del mezclado de ingredientes es la misma en ambos casos. Se ha establecido cuatro métodos para procesar la mezcla:

1. Ingredientes a granel y pasteurización a alta temperatura y tiempo corto (HTST: "High Temperature Short Time").
2. Ingredientes enlatados o empacados y pasteurización HTST.
3. Ingredientes a granel y pasteurización por lotes.
4. Ingredientes enlatados o empacados y pasteurización por lotes.

Para las operaciones pequeñas (menos de 945,000 l/año) se tiende a utilizar el método 4; las plantas medianas (945,000 – 3,785,000 l/año) tienden a los métodos 2 y 3; las plantas más grandes (más de 3,785,000 l/año) utilizan el método 1.

1. Orden del agregado de los ingredientes. Los ingredientes líquidos se colocan dentro del tanque, luego se inicia la agitación y el calentamiento. Los ingredientes secos se agregan mientras el contenido líquido se agita y antes de que la temperatura llegue a los 48°C. Se debe de tomar en cuenta lo siguiente para obtener una suspensión adecuada:

- Mezclar parte de los ingredientes secos con el azúcar antes de agregarlos al líquido.
- Agregar muy lentamente los ingredientes secos a la mezcla líquida.

Ingredientes como la cocoa y similares deben de agregarse en la superficie de la mezcla líquida, siempre que haya agitación y cuando la temperatura sea menor de 27°C. Cuando se utiliza ingredientes como mantequilla, queso crema o algún producto congelado, estos se deben de cortar en pequeños trozos y ser agregados antes que se llegue a la temperatura de pasteurización, permitiendo que se derritan por completo. Los colorantes y saborizantes son los únicos agregados que se añaden cuando la mezcla está fría.

2. Pasteurización. La pasteurización destruye las bacterias patógenas causantes de enfermedades, protegiendo así, la salud del consumidor. Una pasteurización apropiada consiste en un rápido calentamiento hasta una temperatura definida, la cual se deberá mantener por un mínimo tiempo determinado, e inmediatamente enfriar a menos de 4°C. En la siguiente tabla se muestran los tiempos y temperaturas recomendadas para la pasteurización:

MÉTODO	TIEMPO	TEMPERATURA (°C)
Por lotes	30 min	70
Alta temperatura – Corto tiempo	25 s	80
Ultra alta temperatura	hasta 40s	100 – 128

Tabla 1. Métodos de pasteurización

Las ventajas del proceso de pasteurización son:

- Elimina bacterias patógenas de la mezcla
- Permite una mejor combinación y mezcla de los ingredientes
- Mejora el sabor de la mezcla
- Mejora el grado de calidad
- Da un producto más uniforme

Los mejores resultados se obtienen al trabajar a temperaturas de 100-105°C. Se ha demostrado que la temperatura de pasteurización no tiene efecto en el pH de la mezcla, y muy poco efecto en la tensión superficial.

En el método por lotes, la mezcla es calentada y mantenida a una determinada temperatura antes de pasar por el homogenizador y el sistema de enfriamiento. El calentamiento y mantenimiento de la temperatura se puede lograr en el tanque de mezcla de ingredientes. Algunas fábricas grandes utilizan pasteurizadores continuos e incorporan los principios de regeneración: la mezcla fría, que se está calentando, se usa como medio de enfriamiento para la mezcla caliente que viene del homogenizador.

3. Homogenización. El principal propósito de la homogenización es hacer una suspensión de la grasa permanente y uniforme, reduciendo el tamaño de los glóbulos de grasa hasta un diámetro sumamente pequeño, preferiblemente menor de 2µm. Esto significa que cuando una mezcla ha sido adecuadamente homogenizada, la grasa no se separará ni formará una capa de crema. Se obtiene, además, un helado más uniforme, de textura más suave, un tiempo más corto de maduración, menor cantidad de estabilizante usado, y mejor conservación del helado congelado. Ingredientes como mantequilla, queso crema y crema congelada pueden usarse solamente cuando la mezcla es homogenizada.

a. Efectos de la homogenización. La homogenización se lleva a cabo forzando a la mezcla a través de un pequeño orificio bajo condiciones específicas de temperatura y presión, utilizando

una bomba de desplazamiento positivo para mantener la presión. Durante este proceso los glóbulos de grasa reducen hasta un 10% su tamaño, lo cual aumenta la superficie total de los glóbulos aproximadamente 100 veces. La mezcla pasa por una válvula (primera etapa) bajo condiciones de alta presión, y luego pasa por otra válvula (segunda etapa) a menor presión. En la primera etapa se logra la reducción de tamaño de 105 glóbulos de grasa, y con la segunda se evita que dichos glóbulos se vuelvan a aglomerar. Saliendo del homogenizador, la mezcla pasa a la etapa de enfriamiento .

Temperatura de homogenización. Usualmente la mezcla se homogeniza a 63-77°C debido a que temperaturas menores (49-55°C) la homogenización aumenta la aglomeración de glóbulos de grasa, aumenta la viscosidad de la mezcla y el tiempo de congelado. Cuando se usan temperaturas altas para la pasteurización (77°C) en el método por lotes, la mezcla puede ser enfriada a 65°C para la homogenización, una práctica deseable para reducir la intensidad del sabor a quemado y el tiempo que la mezcla debe mantenerse a esta temperatura alta, especialmente cuando la homogenización no se ha completado luego de 30 minutos. Sin embargo, bajo ciertos límites, se obtiene una mejor homogenización con incrementos de temperatura; algunas veces la mezcla es pasteurizada a 63°C y luego calentada hasta 71-77°C para la homogenización. El uso de estas temperaturas altas disminuye la aglomeración de glóbulos de grasa, la viscosidad y el tiempo de congelado en los congeladores continuos.

b. Presión de homogenización. La presión que se usa en la homogenización depende de varios factores: la viscosidad deseada, la composición de la mezcla y su estabilidad, la temperatura usada y la construcción de la máquina a utilizar. La siguiente tabla muestra distintos rangos de presión recomendados según el porcentaje de grasa en la mezcla, para homogenizadores de una sola etapa y de dos etapas.

% GRASA	UNA ETAPA (kPa)	DOS ETAPAS (kPa)	
		1ra. Etapa	2da. Etapa
8 – 12	17,200-20,700	17,200-20,700	3,400
12 – 14	13,800-17,200	13,800-17,200	3,400
15 – 17	10,300-13,800	10,300-13,800	3,400
18	8,200-12,400	8,200-12,400	3,400
Más de 18	5,500-8,200	5,500-8,200	3,400

Tabla 2. Presiones de homogenización del helado

Una homogenización inadecuada se puede detectar examinando una muestra de la mezcla homogenizada con un microscopio. Un técnico con experiencia deberá observarla para medir el tamaño de los glóbulos de grasa y detectar aglomeraciones.

4. Enfriamiento. El enfriamiento lento de la mezcla desde 27-38°C hasta 4°C causa aumento en la viscosidad de la mezcla. Es esencial que la mezcla se enfríe inmediatamente después que ha sido homogenizada hasta 0 - 4°C, para luego recibirla en un tanque madurador donde deberá permanecer hasta ser usada. Las temperaturas menores a 4°C retardan el crecimiento de bacterias.

Los enfriadores tipo gabinete son generalmente usados para mezclas viscosas de helados, debido a que no son enfriadas efectivamente en enfriadores tubulares. Estos enfriadores son simplemente una batería de pequeñas superficies enfriadoras. En algunas fábricas se usa enfriamiento con placas, siempre que manejen mezclas de baja viscosidad.

5. Maduración. El período de maduración de la mezcla brinda varios beneficios a la misma, siempre que el tiempo sea mayor de 4 horas. Los siguientes cambios se obtienen con la maduración:

- La grasa se solidifica
- Si se usó gelatina como estabilizante, ésta se combina con el agua
- Las proteínas de la mezcla cambian levemente
- Aumenta la viscosidad

Con el proceso de maduración se logran una textura y cuerpo más suave, mayor resistencia del helado a derretirse y mayor facilidad de bolearlo (a la hora del despacho). Entre mayor es el período de maduración, mejores son los resultados. El tiempo óptimo es de 24 horas. La temperatura no deberá ser mayor a 4°C; algunas plantas lo hacen a 2.5°C o menos; a estas temperaturas el conteo de bacterias no aumentará. Algunas veces son usadas temperaturas de -2.2 a -1.1°C. Esto no parece proporcionar ventajas adicionales; de hecho, existe el peligro de que la primera cantidad de mezcla que entre en el congelador continuo se congele rápidamente en las paredes frías del cilindro y dañe las aspas.

Cuando la mezcla ha sido adecuadamente madurada está lista para ser congelada. No se debe mantener la mezcla en los tanques maduradores por más de 5 días, pues esto causará deterioro en el sabor y la calidad.

6. Congelamiento. Es la parte más importante en la elaboración de helados. Este proceso se puede dividir en dos partes:

- La mezcla se agrega al congelador y es rápidamente congelada mientras se agita, para incorporarle aire en una cantidad adecuada para producir y controlar la formación de pequeños cristales de hielo, que son necesarios para la consistencia del helado, su textura y cuerpo.
- El helado que está parcialmente congelado, con una consistencia adecuada, sale del congelador y se envasa en recipientes apropiados, e inmediatamente se transfiere al cuarto de almacenamiento donde se completa el proceso de congelado.

La función de este proceso es congelar una porción del agua de la mezcla. Esto implica disminuir la temperatura de la mezcla, a una temperatura menor que la de maduración hasta llegar al punto de congelamiento, congelar una parte del agua de la mezcla e incorporarle aire. Existen principalmente tres tipos de congeladores:

a. Congeladores por lote. La cantidad de mezcla debe medirse y, de ser necesario, agregarle colores y sabores separadamente. Estos congeladores son ahora obsoletos para usarse a nivel industrial. Siguen existiendo para la fabricación de helados caseros o en fábricas muy pequeñas.

b. Congelador continuo. La mezcla es alimentada continuamente al congelador y se produce helado ininterrumpidamente. Son ampliamente utilizados en producciones comerciales.

c. Congeladores de helado suave. Pueden ser del tipo por lote o continuo.

El tiempo de congelamiento es afectado por factores mecánicos y propiedades de la mezcla. Los factores mecánicos son:

- Tipo de congelador
- Condiciones del congelador y las cuchillas
- Velocidad de las aspas de la cámara de congelado, las cuales raspan las paredes para quitar los cristales de hielo e incorporan aire a la mezcla
- Las paredes para quitar los cristales de hielo e incorporan aire a la mezcla
- Condiciones de operación del refrigerante
- Velocidad del refrigerante alrededor de la cámara de congelado
- Cantidad de aire que se desea incorporar

- Temperatura de salida del helado
- Tiempo de vaciado del congelador

7. **Empaque.** Cuando el helado sale del congelador se coloca en envases que le dan la forma y tamaño deseados para un buen manipuleo y venta. El envasado puede ser de dos tipos:

- Envasado a granel: el helado se coloca en envases de 5, 3 ó 2 galones.
- Envasado para venta directa: el helado se coloca en envases de varios tamaños, como 3.785L (1 galón), 1L, $\frac{1}{2}$ L, y vasos de 145ml (5 onzas fluidas) ó 87ml (3 onzas fluidas). Estos envases se colocan dentro de contenedores (cajas) para ser llevados al cuarto de endurecimiento.

En el caso de helados mezclados con sólidos, por ejemplo Ron con Pasas, la dosificación de éstos se realiza al momento de empaarlos. Este proceso se hace de forma manual por lo que no se logra una homogenización adecuada en el producto final. Generalmente se dosifica de un 6 a un 8%, en volumen, de sólidos en el helado.

8. **Endurecimiento.** Cuando el helado sale del congelador y se envasa para ingresar al cuarto de endurecimiento, su consistencia es semifluida y aún no está lo suficientemente rígido para mantener su forma. Por ello, el proceso de congelado se sigue con un enfriamiento mayor del helado, hasta llegar a una temperatura de -18°C o menor, preferiblemente -26°C . Es importante que el endurecimiento sea rápido para evitar la formación de cristales de hielo muy grandes y, con ello, la alteración del producto.

Se ha establecido que el tiempo de endurecimiento será aquel que sea necesario para que el centro del envase llegue a -18°C . Se recomienda que pasen por los menos 24 horas antes que el producto sea despachado.

9. Almacenamiento. Luego que el helado ha sido endurecido puede ser inmediatamente despachado o permanecer almacenado dos semanas como máximo. Los fabricantes planifican para un máximo de 5 días entre el congelamiento y el despacho del producto. Muchas veces se utiliza el mismo cuarto congelado para el endurecimiento y el almacenamiento del helado. Sin embargo, es conveniente que se tengan dos cuartos separados pues la temperatura de almacenamiento puede ser un poco más alta que la requerida para el endurecimiento, lo cual implica un menor costo por refrigeración. Esto también aplica para los puntos de venta en donde se debe tener un gabinete para almacenar el producto y otro, a una mayor temperatura, para despacharlo. La operación de almacenamiento es muy similar a la de endurecimiento, con dos excepciones:

- La temperatura se debe mantener uniformemente entre -23 y -18°C .
- Los envases deben apilarse muy cerca entre sí para evitar cambios de temperatura.

10. Despacho. Cuando el helado es distribuido a diferentes sitios, el fabricante usualmente es el encargado de llevarlo al punto de venta bajo condiciones refrigeradas a la misma temperatura a la cual será mantenido el producto en los congeladores de dichos comerciantes. Los transportes más utilizados son contenedores equipados con sistemas de refrigeración que permiten brindar las condiciones necesarias para que el producto llegue en buen estado hasta su destino.

III. EL ACERO

A. Aleaciones hierro – Carburo de hierro

El acero, que es una aleación de hierro (99% aproximadamente) y carbono, a la que se añaden elementos como níquel, cromo, manganeso, silicio o vanadio, entre otros (1%). Es una de las aleaciones de mayor consumo en el mundo comparable al consumo de los alimentos.

Los minerales de hierro que constituyen la mena son la magnetita (Fe_3O_4) y la hematita (Fe_2O_3) que tienen propiedades magnéticas en mayor o menor grado.

1. **Proceso de fabricación del acero.** El acero se obtiene eliminando las impurezas del arrabio, producto de fundición de los altos hornos, y añadiendo después las cantidades adecuadas de carbono y otros elementos. La principal dificultad para la fabricación del acero es su elevado punto de fusión, $1,400\text{ }^\circ\text{C}$, que impide utilizar combustibles y hornos convencionales. En 1855, Henry Bessemer desarrolló el horno o convertidor que lleva su nombre y en el que el proceso de refinado del arrabio se lleva a cabo mediante chorros de aire a presión que se inyectan a través del metal fundido. En el proceso Siemens-Martin, o de crisol abierto, se calientan previamente el gas combustible y el aire por un procedimiento regenerativo que permite alcanzar temperaturas de hasta $1,650\text{ }^\circ\text{C}$.

a. **Proceso de Crisol Abierto.** Cualquier proceso de producción de acero a partir de arrabio consiste en quemar el exceso de carbono y otras impurezas presentes en el hierro. Una dificultad para la fabricación del acero es su elevado punto de fusión, tal y como se mencionó anteriormente. Para superar la dificultad se desarrolló el horno de crisol abierto, que funciona a altas temperaturas gracias al precalentado regenerativo del combustible gaseoso y el aire empleados para la combustión. En el precalentado regenerativo los gases que escapan del horno se hacen pasar por una serie de cámaras llenas de ladrillos, a los que ceden la mayor parte de su calor. A continuación se invierte el flujo a través del horno, y el combustible y el aire pasan a través de las cámaras y son calentados por los ladrillos. Con este método, los hornos de crisol abierto alcanzan temperaturas de hasta $1,650\text{ }^\circ\text{C}$.

El horno propiamente dicho suele ser un crisol de ladrillo plano y rectangular de unos 6×10 m, con un techo de unos 2.5 m de altura. Una serie de puertas da a una planta de trabajo situada delante del crisol. Todo el crisol y la planta de trabajo están situados a una altura determinada por encima del suelo, y

el espacio situado bajo el crisol lo ocupan las cámaras de regeneración de calor del horno. Un horno del tamaño indicado produce unas 100 toneladas de acero cada 11 horas.

El horno se carga con una mezcla de arrabio (fundido o frío), chatarra de acero y mineral de hierro, que proporciona oxígeno adicional. Se añade caliza como fundente y fluorita para hacer que la escoria sea más fluida. Las proporciones de la carga varían mucho, pero una carga típica podría consistir en 60,000 kg. De chatarra de acero, 11,000 kg de arrabio frío, 45,000 kg de arrabio fundido, 12,000 kg. de caliza, 1,000 kg de mineral de hierro y 200 kg de fluorita. Una vez cargado el horno, se enciende, y las llamas oscilan de un lado a otro del crisol a medida que el operario invierte su dirección para regenerar el calor.

Desde el punto de vista químico la acción del horno de crisol abierto consiste en reducir por oxidación el contenido de carbono de la carga y eliminar impurezas como silicio, fósforo, manganeso y azufre, que se combinan con la caliza y forman la escoria. Estas reacciones tienen lugar mientras el metal del horno se encuentra a la temperatura de fusión, y el horno se mantiene entre 1,550 y 1,650 °C durante varias horas hasta que el metal fundido tenga el contenido de carbono deseado. Un operario experto puede juzgar el contenido de carbono del metal a partir de su aspecto, pero por lo general se prueba la fundición extrayendo una pequeña cantidad de metal del horno, enfriándola y sometiéndola a examen físico o análisis químico. Cuando el contenido en carbono de la fundición alcanza el nivel deseado, se sangra el horno a través de un orificio situado en la parte trasera. El acero fundido fluye por un canal corto hasta una gran cuchara situada a ras de suelo, por debajo del horno. Desde la cuchara se vierte el acero en moldes de hierro colado para formar lingotes, que suelen tener una sección cuadrada de unos 50 cm de lado, y una longitud de 1.5 m. Estos lingotes, la materia prima para todas las formas de fabricación del acero, pesan algo menos de 2,700 kg. Recientemente se han puesto en práctica métodos para procesar el acero de forma continua sin tener que pasar por el proceso de fabricación de lingotes.

b. Proceso básico de oxígeno. El proceso más antiguo para fabricar acero en grandes cantidades es el proceso Bessemer, que empleaba un horno de gran altura en forma de pera, denominado convertidor Bessemer, que podía inclinarse en sentido lateral para la carga y el vertido. Al hacer pasar grandes cantidades de aire a través del metal fundido, el oxígeno del aire se combinaba químicamente con las impurezas y las eliminaba.

En el proceso básico de oxígeno, el acero también se refina en un horno en forma de pera que se puede inclinar en sentido lateral. Sin embargo, el aire se sustituye por un chorro de oxígeno casi puro a alta presión. Cuando el horno se ha cargado y colocado en posición vertical, se hace descender en su interior una lanza de oxígeno. La punta de la lanza, refrigerada por agua, suele estar situada a unos 2 m por encima de la carga, aunque esta distancia se puede variar según interese. A continuación se inyectan en el

horno miles de metros cúbicos de oxígeno a velocidades supersónicas. El oxígeno se combina con el carbono y otros elementos no deseados e inicia una reacción de agitación que quema con rapidez las impurezas del arrabio y lo transforma en acero. El proceso de refinado tarda 50 minutos o menos, y es posible fabricar unas 275 toneladas de acero en una hora.

c. Acero de horno eléctrico. En algunos hornos el calor para fundir y refinar el acero procede de la electricidad y no de la combustión de gas. Como las condiciones de refinado de estos hornos se pueden regular más estrictamente que las de los hornos de crisol abierto o los hornos básicos de oxígeno, los hornos eléctricos son sobre todo útiles para producir acero inoxidable y aceros aleados que deben ser fabricados según unas especificaciones muy exigentes. El refinado se produce en una cámara hermética, donde la temperatura y otras condiciones se controlan de forma rigurosa mediante dispositivos automáticos. En las primeras fases de este proceso de refinado se inyecta oxígeno de alta pureza a través de una lanza, lo que aumenta la temperatura del horno y disminuye el tiempo necesario para producir el acero. La cantidad de oxígeno que entra en el horno puede regularse con precisión en todo momento, lo que evita reacciones de oxidación no deseadas.

En la mayoría de los casos, la carga está formada casi exclusivamente por material de chatarra. Antes de poder utilizarla, la chatarra debe ser analizada y clasificada, porque su contenido en aleaciones afecta a la composición del metal refinado. También se añaden otros materiales, como pequeñas cantidades de mineral de hierro y cal seca, para contribuir a eliminar el carbono y otras impurezas. Los elementos adicionales para la aleación se introducen con la carga o después, cuando se vierte a la cuchara el acero refinado.

Una vez cargado el horno se hacen descender unos electrodos hasta la superficie del metal. La corriente eléctrica fluye por uno de los electrodos, forma un arco eléctrico hasta la carga metálica, recorre el metal y vuelve a formar un arco hasta el siguiente electrodo. La resistencia del metal al flujo de corriente genera calor, que junto con el producido por el arco eléctrico funde el metal con rapidez. Hay otros tipos de horno eléctrico donde se emplea una espiral para generar calor.

2. Tratamientos térmicos del acero. El proceso básico para endurecer el acero mediante tratamiento térmico consiste en calentar el metal hasta una temperatura a la que se forma austenita, generalmente entre los 750 y 850 °C, y después enfriarlo con rapidez sumergiéndolo en agua o aceite. Estos tratamientos de endurecimiento, que forman martensita, crean grandes tensiones internas en el metal, que se eliminan mediante el temple o el recocido, que consiste en volver a calentar el acero hasta una temperatura menor. El temple reduce la dureza y resistencia y aumenta la ductilidad y la tenacidad. El objetivo fundamental del proceso de tratamiento térmico es controlar la cantidad, tamaño, forma y distribución de

las partículas de cementita contenidas en la ferrita, que a su vez determinan las propiedades físicas del acero.

Hay muchas variaciones del proceso básico. Los ingenieros metalúrgicos han descubierto que el cambio de austenita a martensita se produce en la última fase del enfriamiento, y que la transformación se ve acompañada de un cambio de volumen que puede agrietar el metal si el enfriamiento es demasiado rápido. Se han desarrollado tres procesos relativamente nuevos para evitar el agrietamiento. En el templado prolongado, el acero se retira del baño de enfriamiento cuando ha alcanzado la temperatura en la que empieza a formarse la martensita, y a continuación se enfría despacio en el aire. En el martemplado, el acero se retira del baño en el mismo momento que el templado prolongado y se coloca en un baño de temperatura constante hasta que alcanza una temperatura uniforme en toda su sección transversal. Después se deja enfriar el acero en aire a lo largo del rango de temperaturas de formación de la martensita, que en la mayoría de los aceros va desde unos 300 °C hasta la temperatura ambiente. En el austemplado, el acero se enfría en un baño de metal o sal mantenido de forma constante a la temperatura en que se produce el cambio estructural deseado, y se conserva en ese baño hasta que el cambio es completo, antes de pasar al enfriado final.

Hay también otros métodos de tratamiento térmico para endurecer el acero. En la cementación, las superficies de las piezas de acero terminadas se endurecen al calentarlas con compuestos de carbono o nitrógeno. Estos compuestos reaccionan con el acero y aumentan su contenido de carbono o forman nitruros en su capa superficial. En la carburización la pieza se calienta cuando se mantiene rodeada de carbón vegetal, coque o de gases de carbono como metano o monóxido de carbono. La cianurización consiste en endurecer el metal en un baño de sales de cianuro fundidas para formar carburos y nitruros. La nitruización se emplea para endurecer aceros de composición especial mediante su calentamiento en amoníaco gaseoso para formar nitruros de aleación.

B. Acero inoxidable

Los aceros inoxidables son aleaciones de hierro con un mínimo de un 10.5% de cromo. Sus características se obtienen mediante la formación de una película adherente e invisible de óxido de cromo.

Los aceros inoxidables ofrecen resistencia a la corrosión, una adecuada relación resistencia mecánica - peso, propiedades higiénicas, resistencia a temperaturas elevadas y criogénicas y valor a largo plazo. Son totalmente reciclables y amigables con el medio ambiente.

Son ampliamente utilizados en varios sectores, desde la más sofisticada aplicación industrial hasta los utensilios domésticos. Contribuyen, de manera indirecta, a satisfacer las necesidades humanas básicas tales como alimentación, salud, construcción, medio ambiente, transporte y energía.

Algunos ejemplos de productos fabricados con aceros inoxidable son los equipos de procesos químicos y petroquímicos, equipos de proceso de alimentos y bebidas, equipos farmacéuticos, cámaras de combustión, sistemas de escape y filtros automotrices, vagones de ferrocarril, aplicaciones arquitectónicas y estructurales, mobiliario urbano, paneles de aislamiento térmico, intercambiadores de calor, tanques y recipientes, barriles de cerveza, instrumentos quirúrgicos, agujas hipodérmicas, monedas, ollas y sartenes, cubiertos, lavadoras, lavavajillas y utensilios de cocina.

En la industria química y petroquímica, los aceros inoxidable ofrecen elevada resistencia a la corrosión y excelentes propiedades mecánicas así como un bajo costo de mantenimiento. En la industria de alimentos y bebidas y en la industria farmacéutica, proveen excelentes condiciones de higiene además de su resistencia a la corrosión y duración a largo plazo.

La resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable es debida a una delgada película de óxido de cromo que se forma en la superficie del acero; como consecuencia del agregado de los elementos cromo, níquel, molibdeno, titanio, niobio y otros se producen distintos tipos de acero inoxidable, cada uno con diferentes propiedades. Esta capa es continua, adherente, no porosa, insoluble, y autorreconstituible en la presencia de oxígeno cuando es deteriorada. La pasividad se forma bajo un rango de condiciones dependiendo de las características del ambiente circundante, pero la presencia de oxígeno es fundamental en todos los casos. En general, la resistencia a la corrosión de un acero inoxidable es máxima cuando la superficie del acero está lo suficientemente aireada o expuesta y libre de cualquier tipo de depósitos.

A pesar de ser sumamente delgada esta película invisible fuertemente adherida al metal, lo protege contra los distintos tipos de corrosión, renovándose inmediatamente cuando es dañada por abrasión, corte, maquinado, etc. Aunque la mínima cantidad de cromo necesaria para conferir esta resistencia superior a la corrosión depende de los agentes de corrosión. El Instituto Estadounidense de Hierro y Acero ha elegido el 10 por ciento de cromo como la línea divisoria entre aceros aleados y aceros inoxidable, mientras que otros establecen ese límite entre el 10.5% y el 11% (ver figura 1)

Cuando el contenido de cromo se eleva a 17 - 20%, típico de los aceros inoxidable austeníticos; o entre 26- 29% de cromo, típico de los más recientes desarrollados superferríticos, la estabilidad de la capa de pasivación aumenta notoriamente. No obstante, el mayor contenido de cromo en el acero puede afectar adversamente las propiedades mecánicas, la maquinabilidad, la soldabilidad, etc. Por lo tanto, es más eficiente mejorar la resistencia a la corrosión agregando o incrementando el contenido de otros aleantes en el acero con o sin ningún incremento de cromo.

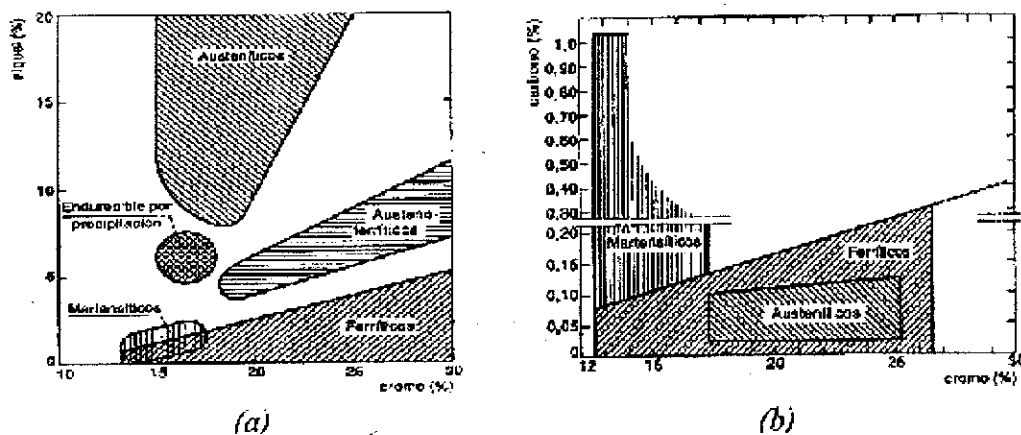


Figura 1. Diagrama de fase de un acero inoxidable típico

En la actualidad se cuenta con un gran número de tipos y grados de acero inoxidable en diversas presentaciones, y con una gran variedad de acabados, dimensiones, tratamientos, etc. Atendiendo a la estructura predominante de cada tipo, los aceros pueden ser clasificados en tres grupos (ver figura 2):

- Martensíticos
- Austeníticos
- Ferríticos

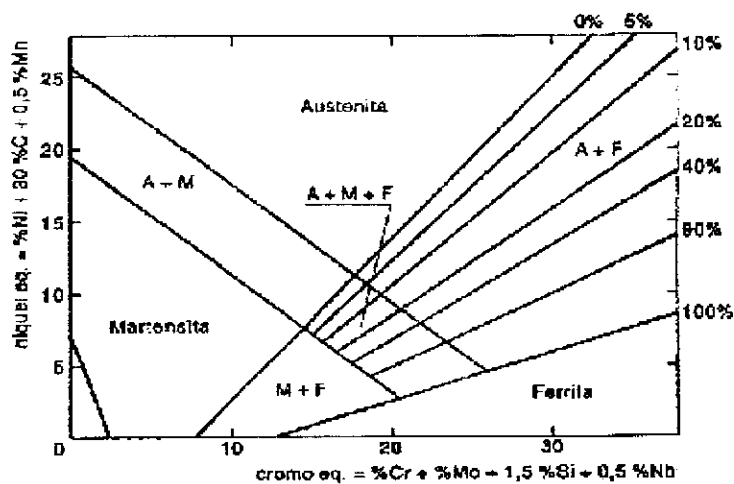


Figura 2. Estructuras típicas del acero inoxidable

1. Clasificación de los aceros inoxidable. Los aceros inoxidable no son indestructibles, sin embargo con una selección cuidadosa, sometidos a procesos de transformación adecuados y realizando una limpieza periódica, algún integrante de la familia de los aceros inoxidable resistirá las condiciones corrosivas y de servicio más severas. A continuación se presenta un diagrama que ilustra los tipos de aceros existentes:

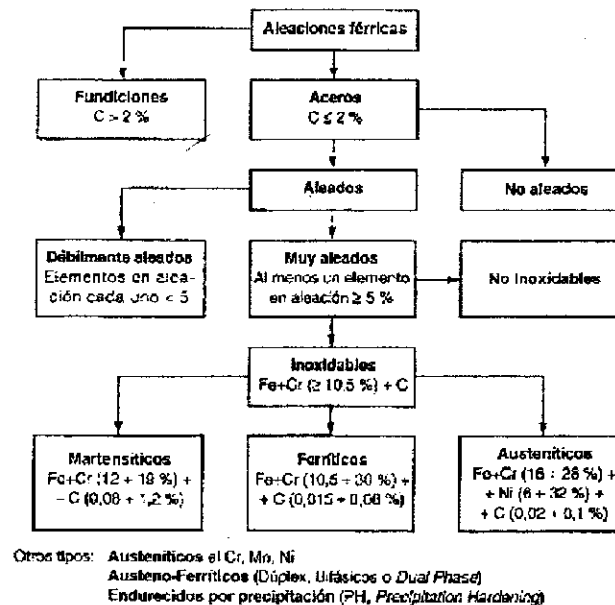


Figura 3. Clasificación de los aceros

a. Serie 400 – Aceros inoxidable martensíticos. Son la primera rama de los aceros inoxidable, llamados simplemente al Cromo y fueron los primeros desarrollados industrialmente (aplicados en cuchillería). Tienen un contenido de Carbono relativamente alto de 0.2 a 1.2% y de Cromo de 12 a 18%. Los tipos más comunes son el AISI 410, 420 y 431.

Las propiedades básicas son: Elevada dureza (se puede incrementar por tratamiento térmico) y gran facilidad de maquinado, resistencia a la corrosión moderada.

Principales aplicaciones: Ejes, flechas, instrumental quirúrgico y cuchillería.

- Son endurecibles por temple + revenido, para conseguir alta resistencia mecánica y buena ductilidad y tenacidad. Tensiones de rotura hasta 1900 MPa.
- Tienen una aceptable resistencia a la corrosión. Es indicado para aplicaciones que requieren no solo resistencia a la corrosión sino resistencia mecánica, dureza y resistencia al desgaste.

- Debido a los aleantes, el acero es templeable desde fase austenítica (forma martensita en el enfriamiento) en aire o aceite.
- Con tratamientos de recocido se obtienen estructuras de ferrita y carburos esferoizados.
- Su temperatura límite de trabajo es de 475 °C puesto que se produce un fenómeno de fragilización por precipitación de fase alfa prima.
- La baja conductividad térmica de estos aceros requiere precalentar lo suficiente previo a la austenización para evitar distorsiones y fisuras de temple
- Son magnéticos

b. Serie 400 – Aceros inoxidable ferríticos. También se consideran simplemente al Cromo, su contenido varia de 12 a 18%, pero el contenido de Carbono es bajo (<0.2%). Los tipos más comunes son el AISI 430, 409 y 434.

Las propiedades básicas son: Buena resistencia a la corrosión. La dureza no es muy alta y no pueden incrementarla por tratamiento térmico.

Principales aplicaciones: Equipo y utensilios domésticos y en aplicaciones arquitectónicas y decorativas.

- Son magnéticos y no endurecibles por tratamiento térmico. Su microestructura es siempre ferrítica.
- Son de relativamente baja resistencia mecánica (YS = 240 - 380 MPa, UTS = 415 - 585 MPa) y tienen baja tenacidad y soldabilidad.
- Bajo costo, buena resistencia a la corrosión bajo tensión y aceptable resistencia a la corrosión general.
- Se los utiliza en aplicaciones arquitectónicas, automotrices, utensilios de cocina, etc.

c. Serie 300 – Aceros inoxidable austeníticos. Son los más utilizados por su amplia variedad de propiedades, se obtienen agregando Níquel a la aleación, por lo que la estructura cristalina del material se transforma en austenita y de aquí adquieren el nombre. El contenido de Cromo varia de 16 a 28%, el de Níquel de 3.5 a 22% y el de Molibdeno 1.5 a 6%. Los tipos más comunes son el AISI 304, 304L, 316, 316L, 310 y 317.

Las propiedades básicas son: Excelente resistencia a la corrosión, excelente factor de higiene - limpieza, fáciles de transformar, excelente soldabilidad, no se endurecen por tratamiento térmico, se pueden utilizar tanto a temperaturas criogénicas como a elevadas temperaturas.

Principales aplicaciones: Utensilios y equipo para uso doméstico, hospitalario y en la industria alimenticia, tanques, tuberías, etc.

- Contienen elementos como Mo, Ti, Nb, Cu, que le confieren resistencia a formas particulares de corrosión. No son magnéticos y tienen coeficiente de expansión térmica 50% mayor que el de los martensíticos y ferríticos.
- Su estructura es austenítica a temperatura ambiente. No son endurecibles por tratamiento térmico (formación de martensita) pero endurecen por deformación. Su soldabilidad es excelente.
- Son los más resistentes a la corrosión en virtud de su más alto contenido de cromo y níquel. Son resistentes a altas temperaturas (resistencia a la corrosión y resistencia al creep). Tienen una excelente ductilidad y tenacidad que los hace especialmente aptos para aplicaciones en temperaturas bajo cero. Tienen aproximadamente 200MPa de YS y 500MPa de UTS.
- En servicios a temperaturas mayores a 600 °C durante tiempos prolongados, pueden precipitar fases fragilizantes (σ , χ). La sensibilización por encima de 400 °C genera corrosión intergranular.

1) Acero inoxidable AISI 316 con adición de Molibdeno. La aleación 316 es un acero inoxidable austenítico de uso general con una estructura cúbica centrada en las caras. Es esencialmente no magnético en estado recocido y sólo puede endurecerse en frío. Se añade molibdeno para aumentar la resistencia a la corrosión especialmente en entornos que contienen cloruros. El bajo contenido en carbono de la aleación 316L otorga una mejor resistencia a la corrosión en estructuras soldadas

Resiste a la mayoría de los ácidos y agentes químicos industriales hasta 800°C además de agua salada. Para industrias químicas, alimenticia, y vitivinícola, petróleo, laboratorios, construcciones navales y aeronáuticas.

La adición de molibdeno mejora la resistencia a la corrosión en ciertos medios. Alta resistencia al ataque de ácidos orgánicos e inorgánicos.

Tratamientos térmicos

Templado: 1100°C enfriamiento en agua o aire.

Elemento	% Peso
C	0.08
Si	1.00

Mn	2.00
Cr	17.00
Ni	12.00
Mo	2.50

Propiedades eléctricas	
Resistividad eléctrica ($\mu\text{Ohm cm}$)	70-78
Propiedades físicas	
Densidad (g cm^{-3})	7.96
Punto de fusión (C)	1370-1400
Propiedades mecánicas	
Alargamiento (%)	<60
Dureza Brinell	160-190
Impacto Izod (J m^{-1})	20-136
Módulo de Elasticidad (GPa)	190-210
Resistencia a la Tracción (MPa)	460-860
Propiedades térmicas	
Coefficiente de expansión térmica @20-100C ($\times 10^{-6} \text{K}^{-1}$)	16-18
Conductividad Térmica a 23C ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	16.3

Tabla 3. Propiedades del acero inoxidable AISI 316L

2) Acero inoxidable AISI 304. La aleación 304 es un acero inoxidable austenítico de uso general con una estructura cúbica centrada en las caras. Es esencialmente no magnético en estado recocido y sólo puede endurecerse en frío. Su bajo contenido en carbono con respecto a la aleación 302 otorga una mejor resistencia a la corrosión en estructuras soldadas.

Propiedades eléctricas	
Resistividad eléctrica ($\mu\text{Ohm cm}$)	70-72
Propiedades físicas	
Densidad (g cm^{-3})	7.93
Punto de fusión ($^{\circ}\text{C}$)	1400-1455
Propiedades mecánicas	
Alargamiento (%)	<60
Dureza Brinell	160-190
Impacto Izod (J m^{-1})	20-136
Módulo de elasticidad (GPa)	190-210
Resistencia a la tracción (MPa)	460-1100
Propiedades térmicas	
Coefficiente de expansión térmica @20-100C ($\times 10^{-6} \text{K}^{-1}$)	18.0
Conductividad térmica a 23C ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	16.3

Tabla 4. Propiedades del acero inoxidable AISI 304

	C	Cr	Ni	Si	Mn	N	P _{max}	S
201	<0.15	16-18	3.5-5.5	<1	5.5-7.5	0.05-0.25	0.045	<0.015
202	<0.15	17-19	4-6	<1	7.5-10.5	0.05-0.25	0.045	<0.015
205	0.12-0.25	16.5-18	1-1.75	<0.5	14-15.5	0.32-0.4	0.03	<0.03
301	<0.15	16-18	6-8	<1	<2	-	0.045	<0.03
302	<0.07	17-19	8-10	<1	<2	-	0.045	<0.03
304	<0.07	17-19.5	8-10.5	<1	<2	<0.11	0.045	<0.015

Tabla 5. Porcentajes de los componentes de las distintas clases de aceros inoxidables

2. **Corrosión en los aceros inoxidable.** Es el principal mecanismo de deterioro que presentan los metales por acción del medio ambiente. Durante este proceso, los átomos que constituyen el metal pierden electrones y se convierten en especies cargadas positivamente (cationes), que pueden dispersarse en el entorno o formar una capa de óxido. Simultáneamente, algún otro compuesto capta esos electrones: es el agente oxidante. En medios acuosos aireados, generalmente es el oxígeno del aire el que cumple este papel.

Todos los aceros inoxidable contienen el cromo suficiente para darles sus características de inoxidable, muchas aleaciones inoxidable contienen además níquel para reforzar aun más su resistencia a la corrosión.

Estas aleaciones son añadidas al acero en estado de fusión para hacerlo inoxidable en toda su masa, por este motivo, los aceros inoxidable no necesitan ser ni chapeados, ni pintados, ni de ningún otro tratamiento superficial para mejorar su resistencia a la corrosión.

En el acero inoxidable no hay nada que se pueda pelar, ni desgastar, ni saltar o desprenderse. El acero ordinario, cuando queda expuesto a los elementos, se oxida y forma óxido de hierro pulverulento en su superficie; si esta no se combate, la oxidación sigue adelante hasta que el acero esté completamente corroído. También los aceros inoxidable se oxidan, pero en vez de óxido común, lo que se forma en la superficie es una tenue película con un espesor típico de 8 a 10 Ångstroms (1 Ångstrom = $10E-10$ m) de óxido de cromo (que también contiene hierro y níquel) muy densa que constituye una coraza contra los ataques de la corrosión. Si por cualquier razón esta película de óxido de cromo que recubre los aceros inoxidable es eliminada, se vuelve a formar inmediatamente otra es su reemplazo al combinarse el cromo con el oxígeno de la atmósfera ambiente.

Cuando dicha capa está limpia y adecuadamente formada, es bastante inerte bajo la mayoría de las condiciones ambientales o de proceso; se dice entonces que el acero inoxidable está en estado "pasivo". El empleo de acero inoxidable siempre estará bajo la dependencia de las características oxidantes del ambiente; si en un determinado proceso imperan condiciones fuertemente oxidantes, los aceros inoxidable resultan superiores a los metales y aleaciones más nobles.

Sin embargo, en la misma familia de los aceros inoxidable la resistencia a la corrosión varía considerablemente de un tipo al otro. A continuación se muestra un listado de distintos tipos de defectos que pueden causar daños en el acero inoxidable:

DEFECTO	TÉCNICA PARA ELIMINARLO
Polvo y suciedad	Lavar con agua y/o detergente. Si es necesario, hacerlo con agua a presión o vapor.

Inclusiones de partículas de hierro	Tratar la superficie con solución de ácido nítrico al 20%. Lavar con agua limpia. Confirmar la eliminación con el test del ferroxilo. Si el hierro está aún presente, utilizar una solución de ácido nítrico y ácido fluorhídrico.
Rasguños, manchas de calentamiento	Pulir la superficie con un abrasivo fino. Decapar la superficie con una solución de ácido nítrico al 10% y ácido fluorhídrico al 2 % hasta eliminar todas las trazas. Lavar con agua limpia o electropulir.
Áreas oxidadas	Tratar la superficie con una solución de ácido nítrico.
Rugosidades	Pulir con un abrasivo de grano fino.
Marcas de electrodos	Eliminar mediante pulido con abrasivo de grano fino, o soldar encima si está en la línea de soldadura.
Salpicaduras de soldadura	Prevenir las mediante la utilización de una película adhesiva a los costados del cordón de soldadura, o eliminarlas utilizando un abrasivo de grano fino.
Marcas de decapante de soldadura	Eliminar mediante abrasivo de grano fino.
Defectos de soldadura	Si es inaceptable, eliminar con amoladora y volver a soldar.
Aceite y grasa	Eliminar con solventes o limpiadores alcalinos.
Residuos de adhesivos	Eliminar con solventes o mediante pulido con abrasivo de grano fino.
Pintura, tiza, crayón	Lavar con agua limpia y/o limpiadores alcalinos
Productos de proceso	Lavar con agua limpia o vapor, o disolver mediante solvente adecuado.
Depósitos coloreados	Disolver con ácido nítrico, fosfórico o acético al 10-15%. Lavar con agua limpia.

Tabla 6. Causas y soluciones para evitar la corrosión del acero inoxidable

a. Corrosión por picado. Es una forma de ataque corrosivo que produce hoyos o pequeños agujeros en un metal. Esta forma de corrosión es muy destructiva para las estructuras de ingeniería si causa la perforación del metal. La picadura es a menudo difícil de detectar porque los pequeños agujeros causados por la picadura pueden cubrirse con los productos de la corrosión. Asimismo, el número y profundidad de los agujeros puede variar enormemente y por eso el daño producido por picadura puede ser difícil de evaluar. En consecuencia, la picadura, dada su naturaleza localizada, puede a menudo localizar fallos repentinos e inesperados, razón por la cual se considera a este tipo de corrosión como el más peligroso.

La picadura generalmente requiere de un período de iniciación, pero una vez que comienza, los agujeros crecen a gran velocidad. La mayoría de los agujeros crecen en la dirección de la gravedad y en las superficies más bajas de los equipos de ingeniería.

Lugares comunes en que se inicia el agujero son: inclusiones, heterogeneidades estructurales y heterogeneidades de composición sobre una superficie metálica.

b. Corrosión por rendijas. Es una forma de corrosión localizada asociada con espacios confinados o rendijas formadas por ciertas configuraciones geométricas. Es también llamada corrosión por aireación diferencial. Las regiones con diferentes concentraciones de oxígeno se comportan como una foco de corrosión. Las zonas de baja concentración se dan dentro de la rendija y actúan como ánodos donde el metal se oxida. Dentro de la rendija aumenta la concentración de iones positivos y si hay presencia de halógenos en el medio (Cl, por ejemplo) estos migran hacia la rendija formándose FeCl dentro de la misma. Luego por hidrólisis se genera un exceso de iones hidrógeno acelerándose notablemente la velocidad de corrosión.

c. Corrosión intergranular (sensitización). La corrosión intergranular es un ataque de corrosión localizada y/o adyacente a los límites de grano de una aleación. En condiciones ordinarias si un metal se corroe uniformemente, los límites de grano serán sólo ligeramente más reactivos que la matriz. Pero bajo otras condiciones las regiones de límites de grano pueden ser muy reactivas, dando lugar a una corrosión intergranular que cause pérdidas de resistencia en la aleación e incluso una disgregación en los límites de grano. Este es el caso de la pérdida de cromo alrededor de los límites de grano en los aceros inoxidable debido a la precipitación de carburos de cromo en temperaturas entre 400 y 800 °C. En esas zonas el material pierde resistencia a la corrosión. Ocurre como resultado de tratamientos térmicos (recocido) incorrectos, exposición térmica en ese rango de temperaturas y por realización de soldaduras. Los carburos precipitados son del tipo M_23C_6 y el tiempo para el inicio de la precipitación varía con el contenido de carbono del acero (ver figura 4).

Algunas de las soluciones para aumentar la resistencia a la corrosión es bajar el contenido de carbono y/o añadir elementos estabilizadores como niobio y/o titanio para que formen los correspondientes carburos evitando así la formación de carburos de cromo. Sin embargo, contenidos de carbono excesivamente bajos perjudican la dureza de los aceros inoxidables a temperatura ambiente.

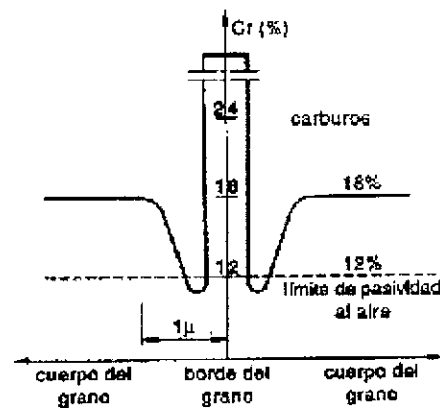


Figura 4. La sensitización en la superficie de los aceros inoxidable

d. Corrosión bajo tensión. Este tipo de corrosión es muy perjudicial, ya que en un lapso extremadamente corto se puede producir la falla de una pieza. La rotura por corrosión por esfuerzo (stress corrosion cracking SCC) de metales se refiere a la rotura causada por el efecto combinado de esfuerzos de tensión y un entorno corrosivo específico actuando sobre el metal. Durante la SCC el ataque que recibe la superficie del metal es generalmente muy pequeño mientras que las grietas aparecen perfectamente localizadas y se propagan a lo largo de la superficie del metal. Los esfuerzos que causan la SCC pueden ser residuales o aplicados. Las altas tensiones residuales capaces de provocar SCC pueden ser en consecuencia, por ejemplo, de tensiones térmicas introducidas por velocidades desiguales de enfriamiento, de un diseño mecánico defectuoso para esfuerzos, de transformaciones de fase durante el tratamiento térmico, el trabajo en frío o la soldadura.

Sólo ciertas combinaciones de aleaciones y ambientes son susceptibles de SCC. Por ejemplo, los aceros inoxidable sufren deterioro en medios como cloruro de etilo con agua (a temperaturas superiores a la ambiente), en agua de mar y otros medios que no contienen cantidades apreciables de cloruros, como soluciones de soda cáustica, agua que contiene ácido sulfhídrico, productos formados en las refinerías a partir de H_2S , agua a temperaturas elevadas, como así también en vapor de agua.

e. Corrosión galvánica. La corrosión galvánica ejerce una acción localizada que ocurre cuando dos metales diferentes están en contacto bajo una solución que puede obrar de electrolítico. Así, los dos metales diferentes forman un par de electrodos cortocircuitados que constituyen una celda electroquímica. De ello resulta la disolución del material que se comporta como electrodo anódico (donde ocurre la oxidación), mientras que el material que se comporta como cátodo (donde ocurre la reducción) permanece inalterable. El potencial electroquímico de esa celda de corrosión variará según sea la posición ocupada por los metales y aleaciones en la serie de potenciales galvánicos. Ha de tenerse cuidado, entonces,

al unir dos metales distintos, puesto que la diferencia de sus potenciales electroquímicos puede conducir a corrosión.

Otra consideración importante en la corrosión galvánica de dos metales es la relación de las áreas anódica y catódica. Esta relación se denomina efecto de área. Una relación de área desfavorable es la correspondiente a un área catódica grande y un área anódica pequeña. Cuando se aplica una cierta cantidad de corriente a un par de metales, la densidad de corriente es mucho más grande para el electrodo pequeño que para el electrodo grande. Por ello el electrodo anódico pequeño se corroerá mucho más rápido.

f. **Corrosión por contacto.** Una diminuta partícula de acero al carbono o hierro, una escama de óxido, cobre u otra sustancia extraña cualquiera incrustada en el acero inoxidable puede ser suficiente para destruir la pasividad en el punto de contacto. El ataque empieza al formarse una celda galvánica con la partícula de material extraño como ánodo. Mientras dura la acción electroquímica que disuelve lo contaminado, iones de hidrógeno se liberan haciendo que el acero inoxidable se vuelva activo en el punto de contacto. La acción de picado puede proseguir después de haber sido eliminada la partícula extraña por haberse constituido una celda activa - pasiva entre la diminuta superficie anódica atacada y la extensa área catódica circundante.

g. **Corrosión por fatiga.** La corrosión por fatiga es otro de los riesgos que han de ser eliminados. Casi todos los metales y aleaciones, incluso el acero austenítico inoxidable, pueden fallar al agrietarse o quebrarse debido a la corrosión por fatiga en condiciones que impliquen esfuerzos aplicados o tensiones residuales combinadas con agentes ligeramente corrosivos. Las soluciones de cloruro son de lo más perjudicial al provocar el agrietamiento de los aceros inoxidables austeníticos.

El mecanismo causante de la corrosión por fatiga todavía no ha sido determinado. Es principalmente transgranular y puede ir acompañado de ataques de picado. Son muy susceptibles las piezas que han estado sometidas a un fuerte trabajo en frío, pero el acero recocido puede también agrietarse cuando se le somete a condiciones difíciles. Es más fácil que el agrietamiento se produzca en soluciones calientes que en las frías. El tipo 315 y el tipo 317, en la condición de recocido, ofrecen mayor resistencia al ion cloruro que el tipo 302 y el tipo 304. Pero si están bajo tensiones fuertes, pueden fallar lo mismo en un ambiente conducente a la corrosión por fatiga.

Tensiones fuertes y débiles en el mismo elemento producen una condición que fácilmente puede conducir a la corrosión por fatiga en presencia de cloruros. Ha sido investigado cierto número de fracasos debidos a planchas perforadas. Las grietas en forma de rayos que parten de los taladros son típicas

del agrietamiento debido a la corrosión por fatiga. Los productores canadienses han resuelto este problema completamente recociendo a fondo las planchas después de taladradas.

Los aceros inoxidable, estirados, embutidos o trabajados en frío se agrietan fácilmente en sistemas que contengan sulfuro de hidrógeno acuoso. Distintos medios, incluso las soluciones cáusticas calientes bajo presión, han causado el agrietamiento según ha sido informado, aunque en la mayoría de estos casos pueden haber sido causadas por impurezas no observadas contenidas en el cloruro.

Para eliminar completamente las tensiones internas, sin perjuicio para la resistencia a la corrosión, se deberá recocer por encima de 926 °C, con enfriamiento rápido para que los carburos permanezcan en solución. Como no es posible hacer esto con los recipientes grandes, un tratamiento de revenido a 648 °C puede ser suficiente para reducir las tensiones residuales. Este tratamiento a 648 °C podrá ser aplicado únicamente para los tipos 304 L, 316 L, 317 L, 321 y 347, y para estos metales tan sólo cuando se sepa que el nivel de la tensión en el cual puede ocurrir la corrosión sea más bajo que lo que se espera después de semejante tratamiento térmico a baja temperatura. Cuando se utiliza acero inoxidable como forro para un recipiente de acero al carbono no será posible aligerar las tensiones debido a que los coeficientes de expansión son muy diferentes. Lo mismo ocurre cuando se trata de recipientes de acero inoxidable que lleven soldados refuerzos, soportes o sujeciones de acero al carbono.

Las precauciones generales que se indican a continuación deberán ser adoptadas para prevenir la corrosión por fatiga:

- Asegurarse de que no se acumulen sales corrosivas procedentes del material aislante, del goteo o de pulverizaciones o salpicaduras corrosivas en el área del recipiente.
- Evitar toda cavidad donde se recoja agua durante el ciclo de operaciones, acumulándose una concentración de sales en la cavidad.
- Especificar que las planchas perforadas deberán ser tratadas para eliminar completamente las tensiones interiores después de haber sido taladradas, si han de ser utilizadas como pantalla para operaciones de las que se sabe corren el riesgo de que se produzca corrosión
- Elíjanse tubos con buena concentricidad y con unos límites de tolerancia muy estrechos en el grueso de las paredes, para los haces de tubos destinados a los intercambiadores de calor, con el fin de evitar tensiones elevadas y desiguales cuando se los curva para los distribuidores.
- Evitar el unir por soldadura metales con coeficientes de dilatación diferentes cuando el recipiente deba ser calentado durante las operaciones. Los tipos de la serie 300 se dilatan aproximadamente de 1 a 1 1/2 veces más que los tipos de la serie 400.
- Utilizar los tipos con el 0.03% como máximo de carbono, 304L, 316L, y 317L, para reparar recipientes respectivamente de los tipos 304, 316 y 317 siempre que se desee reducir localmente las tensiones después de hecha la reparación. Únicamente el acero con el 0.03 % de carbono

como máximo deberá ser calentado a más de 426° C siempre que exista el riesgo de que se produzca corrosión intergranular.

- Evítese el curvado cíclico que repetidamente tensa el acero inoxidable por encima de su resistencia a la deformación o límite de elasticidad. Esto puede formar tensiones interiores que favorezcan la corrosión por fatiga inclusive en un medio de efecto moderado

3. Efecto de la soldadura en el acero inoxidable. Los aceros inoxidables que contienen níquel son indispensables en la construcción de equipos para la industria de procesos. Estos aceros se usan en lugar de los aceros convencionales por sus excelentes propiedades tales como: resistencia a la corrosión, dureza a baja temperatura y buenas propiedades a alta temperatura.

Los aceros inoxidables son una excelente elección para la construcción de equipos para la industria química, láctea, alimenticia, biotecnológica y para usos arquitectónicos y relacionados.

Los aceros inoxidables austeníticos se especifican normalmente por su excelente resistencia a la corrosión. La soldadura puede reducir esa resistencia en ambientes agresivos. En la soldadura, el calor que se genera produce un gradiente de temperatura en el metal de base. La soldadura también puede inducir tensiones residuales en el área soldada, lo cual en ciertos ambientes puede resultar en rupturas por corrosión bajo tensión.

Uno de los primeros problemas de corrosión relacionados con la soldadura fue el ataque intergranular, en la zona soldada afectada por la temperatura. En el rango de temperaturas que va de 425 a 900 °C, el carbono se combina con el cromo para formar carburos de cromo en el borde de los granos. El área adyacente a los carburos tiene menor cantidad de cromo. Cuando la red de carburos es continua, la envoltura empobrecida en cromo alrededor de los granos puede ser atacada selectivamente, resultando en corrosión intergranular. En el peor de los casos, la capa empobrecida en cromo se corroe completamente y los granos se separan del metal de base. Se dice que las aleaciones están sensibilizadas, cuando por soldadura o tratamientos térmicos, existen áreas empobrecidas en cromo que puedan ser atacadas en estos ambientes corrosivos. Las aleaciones sensibilizadas aún pueden prestar buenos servicios en muchos de los ambientes moderados en que se usan los aceros inoxidables. Hoy, con la tendencia de proveer productos con bajo carbono, el ataque intergranular de los aceros inoxidables austeníticos ocurre menos a menudo. El grado de sensibilización, o sea la cantidad de carburos de cromo formado en los límites de grano, está influenciado por la cantidad de carbono y la temperatura y tiempo de exposición.

La figura 5, ilustra las curvas de sensibilización tiempo-temperatura para el acero inoxidable tipo 304. Las curvas para otros aceros inoxidables austeníticos son similares, con valores ligeramente diferentes. Para explicar esta figura, la aleación está sensibilizada (se ha formado una red de carburos de cromo en los límites de grano) cuando el tiempo a una temperatura determinada para un contenido

particular de carbono está a la derecha de la curva de % de carbono. Se puede ver que la temperatura a la cual la sensibilización ocurre más rápidamente varía desde 700 °C, para una aleación de 0.062% de carbono, a 600 °C, para una aleación con 0.03%. De la misma figura se puede ver que una aleación con el 0.062% de carbono podría quedar sensibilizada en un tiempo tan pequeño como 2 a 3 minutos a 700 °C. Por otro lado, el tipo 304 con 0.030% de carbono podría mantenerse a 595 °C por 8 horas antes de sensibilizarse. Por esta razón los grados bajos en carbono se utilizan más comúnmente en los equipos resistentes a la corrosión, donde la corrosión intergranular es un riesgo. Con el grado "L", la zona afectada por el calor no permanece el tiempo suficiente para sensibilizarse. Se puede prevenir la formación de los carburos de cromo en los límites de grano agregando titanio (Ti) o niobio (Nb) - tantalio (Ta) a la aleación. El niobio también se lo conoce como Columbio (Cb). Estos elementos tienen una afinidad más grande por el carbono que el cromo, y forman carburos distribuidos uniformemente, lejos de los límites de grano, con lo cual no se afecta la resistencia a la corrosión. El tipo 321 (UNS S32100) contiene titanio y el 347 (UNS S34700) contiene niobio-tantalio. Ambos son versiones estabilizadas del tipo 304. Los grados estabilizados se prefieren para aplicaciones donde la aleación estará un largo tiempo en el rango de temperaturas de sensibilización (425 a 900 °C). Un tercer método de prevenir el ataque intergranular en la zona afectada por el calor, en aleaciones conteniendo más de 0.03% de carbono, es redisolver los carburos de cromo por templado por disolución, entre 1040 y 1175 °C, seguido por un enfriamiento rápido. El templado por disolución es un buen método para restaurar completamente la resistencia a la corrosión cuando el tamaño, forma y geometría de las soldaduras permiten el tratamiento térmico. El templado por disolución debe ser muy bien controlado, tanto en el calentamiento como en el enfriamiento, para mantener la distorsión dentro de límites aceptables.

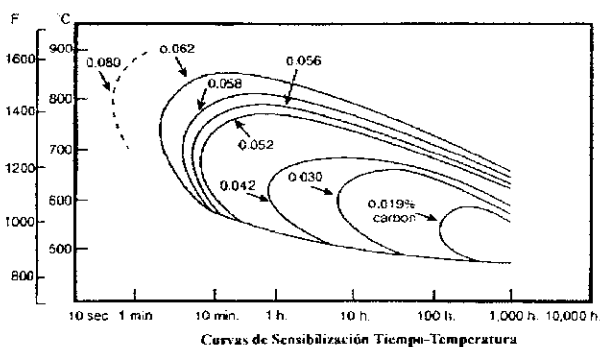


Figura 5. Curvas de sensibilización tiempo – temperatura del acero inoxidable 304

a. El papel de la ferrita en el metal soldado. Se conoce que ocurren microfisuras o grietas en soldaduras de aceros inoxidable austeníticos. Pueden aparecer en el metal soldado durante o inmediatamente después de la soldadura, o pueden ocurrir en la zona afectada por el calor de la capa de soldadura depositada previamente. La microestructura del metal soldado influye fuertemente en la

formación de microfisuras. Una soldadura completamente austenítica es más susceptible a las microfisuras que una soldadura con algo de ferrita.

Niveles de ferrita de 5 a 10% o más en soldaduras o fundiciones pueden ser bastante beneficiosas en la reducción de grietas producidas en caliente y microfisuras. Por ejemplo, una soldadura tipo 308 (UNS W30840) con 0 a 2% de ferrita puede ser bastante sensible a agrietarse, mientras otra soldadura con 5 a 8% de ferrita puede tener una buena resistencia al agrietamiento. La cantidad de ferrita en la serie 300 se controla con la composición y velocidad de enfriamiento de la soldadura, cuanto más rápido el enfriamiento, más alto el contenido de ferrita.

Desafortunadamente, la ferrita no es obtenible en todas las aleaciones inoxidables con níquel. Por ejemplo, no es posible ajustar la composición para obtener ferrita en un tipo 310 (UNS S31000). A pesar de ser completamente austenítico y susceptible a las fisuras, la aleación se ha usado por más de 50 años con excelentes resultados. En ausencia de ferrita en la soldadura, es más importante para el fabricante de metal de aporte controlar los elementos minoritarios, como silicio, fósforo y azufre, para bajarlos lo más posible, para prevenir las fisuras.

Cuando se requiere un metal de aporte con un nivel de ferrita determinado, se deberá especificar el nivel al proveedor. Las normas para metales de aporte para acero inoxidable, ANSI/AWS A5.4 para electrodos y ANSI/AWS A5.9 para alambres desnudos, no especifican niveles de ferrita para ninguna clase de aleación.

Mientras hay un amplio acuerdo en los efectos beneficiosos de la ferrita en la soldadura, no siempre es fácil medir la cantidad exactamente en un dado depósito de soldadura. Se pueden utilizar alguno de estos tres métodos:

1) Instrumentos magnéticos. Este es el método más usado por los fabricantes de metales de aporte. La calibración de los instrumentos es crítica y la AWS ha desarrollado un procedimiento especial de calibración. La AWS también detalla cómo se debe realizar el relleno de la soldadura y la preparación para el muestreo, dado que esto influencia a la medición. La determinación de la ferrita por medio de sofisticados instrumentos magnéticos de laboratorio a menudo no es práctico para el usuario común. Existen instrumentos magnéticos portables, que aunque sean menos precisos, son más fáciles para usar.

2) Diagramas de constitución para acero inoxidable soldado. Al principio, los diagramas de ferrita la representaban en unidades de volumen. Los diagramas más recientes del Welding Research Council, WRC, determinan el número de ferrita, FN, por respuesta magnética. El FN y el volumen son los mismos hasta el 6%, pero difieren a niveles más altos. La determinación de ferrita usando

el diagrama es fácil y bastante precisa, siempre que se disponga de un análisis químico confiable. A continuación se muestra un ejemplo de estos diagramas:

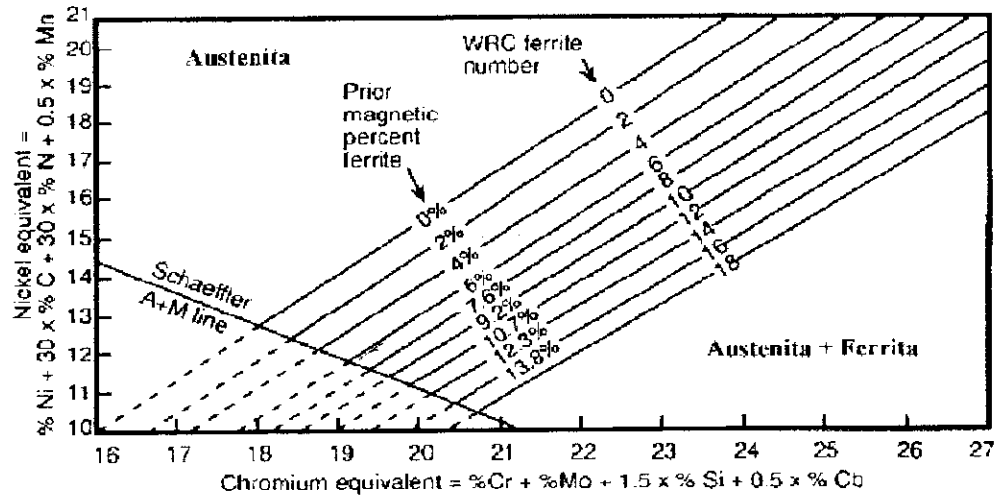


Figura 6. Diagramas WRC

3) Examen metalográfico. Es más exacto cuando la ferrita está en un rango de 4 a 10%, y deberá ser realizado por un técnico experimentado. Una de las ventajas de este método es que se puede usar en pequeñas muestras sacadas de las soldaduras, o cuando los otros dos métodos no son prácticos.

Hay aplicaciones donde la presencia de ferrita en la soldadura no es beneficiosa. A temperaturas criogénicas ($-195\text{ }^{\circ}\text{C}$), la dureza y la resistencia al impacto se ven reducidas por la ferrita, y es una práctica común especificar soldaduras con no más de 2 FN y preferiblemente 0 FN. Es preferible también tener baja ferrita cuando las soldaduras se exponen a temperaturas entre 480 y $925\text{ }^{\circ}\text{C}$, para evitar una pérdida de ductilidad a temperatura ambiente como resultado de una fase sigma de alta temperatura.

b. Soldadura por arco de metal protegido. Es un proceso versátil, ampliamente utilizado para la soldadura del acero inoxidable, cuando los tamaños o cantidades no justifican la soldadura automática. El electrodo es un alambre sólido recubierto con una capa de decapante extruído, aunque algunos fabricantes utilizan un alambre hueco. Como gases de protección para la soldadura MIG y TIG, se utilizan aquellos que son inertes, como Argón y Helio. Durante la soldadura, el gas inerte enfría la boquilla de soldadura y protege, al mismo tiempo, al electrodo y al baño de fusión (de la oxidación del material por el contacto con el oxígeno de la atmósfera). El gas también participa en el proceso eléctrico (en la formación del arco), lo cual determina la penetración que va a tener la soldadura en el metal, además de dejar un mejor acabado en los cordones de soldadura.

La soldadura se lleva a cabo manualmente con el soldador manteniendo control sobre la longitud del arco y dirigiéndolo hacia la junta a soldar. El recubrimiento del electrodo tiene estas funciones:

- La cubierta exterior de decapante no se quema tan rápido como el alambre del electrodo, lo cual ayuda a controlar la acción del arco y permite soldar en varias posiciones.
- El decapante se utiliza para aportar aleación al metal de soldadura. El alambre del electrodo no siempre es de la misma composición que el metal que se deposita en la soldadura, y por lo tanto es una mala práctica sacar el recubrimiento del electrodo y utilizar el alambre como metal de aporte en otro proceso como la soldadura TIG.
- El recubrimiento gaseoso de la descomposición del decapante excluye al oxígeno y nitrógeno del metal fundido.
- La escoria fundida que se forma sobre la soldadura protege al metal de la contaminación atmosférica y ayuda a dar forma al cordón de soldadura.

1) Soldadura TIG. El proceso TIG (Tungsten Inert Gas) se usa ampliamente y es muy adecuado para soldar acero inoxidable. Un gas inerte (normalmente argón) se usa para proteger del aire al metal fundido de la soldadura. Si se necesita, se agrega metal de aporte en forma de alambre dentro del arco, bien manual o automáticamente. La figura 7 ilustra el proceso en detalle.

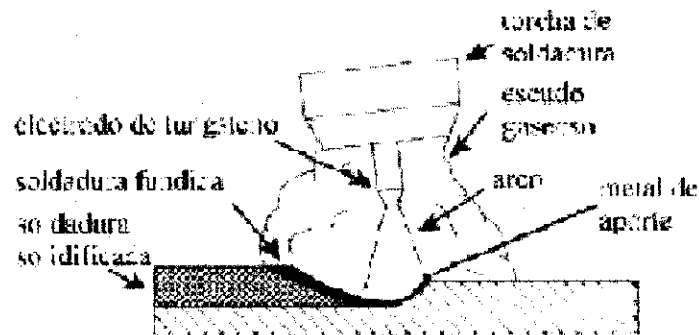


Figura 7. Proceso de soldadura TIG

Mediante el proceso TIG se puede soldar materiales tan finos como algunas centésimas hasta espesores grandes, pero normalmente se usa hasta 6.4 mm (1/4").

Para conseguir la fusión, se emplea un arco que se establece entre el electrodo y la pieza de trabajo. El electrodo es no consumible y el metal de aporte, si se requiere, se aporta desde fuera.

El gas de protección más empleado es el Argón, pero se pueden emplear Helio o mezclas de Argón/Helio o mezclas de Argón/Hidrógeno para obtener mejores resultados, siempre en función de las características del material a soldar (ver tabla 7).

GAS DE PROTECCIÓN	METAL
ARGÓN	Todos los metales.
HELARC 25 (Ar + He)	Recomendado para aceros Inoxidables no compatibles con ARGÓN H, metales y aleaciones de alta conductividad térmica (Aluminio y Cobre). La adición de Helio proporciona una soldadura más rápida que con Argón.
HELARC 75 (Ar + He)	Para espesores mayores y para aumento de velocidad. Recomendado para aceros Inoxidables no compatibles con ARGÓN H, metales y aleaciones de alta conductividad térmica (Aluminio y Cobre).
ARGÓN H-5 (Ar + H ₂)	Recomendado para soldadura manual de acero Inoxidable, Cupro-Níquel y aleaciones de Níquel.
ARGÓN H-10 (Ar + H ₂)	Para espesores mayores y para aumento de velocidad. Recomendado para soldadura automática de aceros Inoxidables, Cupro-Níquel y aleaciones de Níquel.

Tabla 7. Gas de protección utilizados para el proceso de soldadura TIG

Algunas ventajas de este proceso de soldadura incluyen:

- No hay escoria que eliminar, lo cual minimiza las tareas de limpieza posterior.
- Es un proceso de soldadura que se puede utilizar en todas posiciones, lo cual lo hace especialmente apto para la soldadura de cañerías.
- No hay salpicaduras de soldadura que limpiar.
- Prácticamente no hay una variación en la composición química de la aleación del metal de base durante la soldadura.

2) Soldadura MIG. La soldadura MIG (Metal Inert Gas), también conocida como "Gas Metal Arc Welding" (GMAW) o como Gas Arco Metal (MAG), es un proceso donde un arco eléctrico se mantiene entre un micro alambre sólido que funciona como electrodo continuo y la pieza de trabajo, formándose un charco de metal fundido que al enfriarse se solidifica y permite la unión del metal. Cabe destacar que el arco y la soldadura fundida son protegidos por un chorro de gas inerte o activo. El proceso puede ser usado en la mayoría de los metales y la gama de alambres en diferentes aleaciones y aplicaciones es casi infinita.



Figura 8. Proceso de soldadura MIG

La soldadura MIG es un proceso versátil, con el cual se puede depositar soldadura a un rango muy alto y en cualquier posición. El proceso es ampliamente usado en láminas de acero de bajo y mediano calibre de fabricación y sobre estructuras de aleación de aluminio particularmente donde existe un alto requerimiento de trabajo manual o trabajo de soldador.

Para proporcionar el calor necesario para la operación de soldadura se requiere un arco de bajo voltaje (18-49 V) y alta intensidad (60-450 A) entre el electrodo y la pieza de trabajo. Este método no requiere del reemplazo constante de los electrodos, lo que permite realizar un proceso de alta producción. La soldadura se protege por medio de una atmósfera con gas Helio y CO_2 y el micro alambre contiene las propiedades específicas que se le quiera adicionar a la soldadura protegida por los gases. En los procesos de fusión, la temperatura que aporta el arco al metal base y al de aporte quedan en estado líquido logrando un intercambio molecular entre los metales que intervienen.

Algunas de las ventajas de este proceso respecto a otros:

- Mayores velocidades de soldadura
- No hay escoria que eliminar, lo cual facilita el proceso de limpieza posterior
- Facilidad de automatización

GASES	ACERO INOXIDABLE
PROTINOX (Ar + CO_2)	Válido para soldadura convencional y MIG-sinérgico. La adición de CO_2 aumenta la penetración.
ARGOMAG 1 ARGOMAG 2 (Ar + O_2)	Válido sólo para la transferencia en spray. La adición de O_2 estabiliza el arco y disminuye las mordeduras.
HELARC 1 (Ar + He + CO_2)	Recomendado para la transferencia en cortocircuito en aplicaciones de soldadura de láminas de pequeño espesor y en cualquier posición. Aumento de la velocidad y productividad.
HELARC 2 (Ar + He + CO_2)	Válido para la transferencia en spray, cortocircuito, pulsada y las técnicas de MIG-sinérgico para todas las posiciones. Buenos perfiles de los cordones de soldadura y buena apariencia. Poca oxidación superficial.

FINARC
(Ar + He + CO₂ + H₂)

Válido para aceros inoxidables Austeníticos. Soldadura en cortocircuito para todas las posiciones. Muy apropiado para arco pulsado. Mejora de la penetración y fusión de la soldadura. Carácter reductor que proporciona un acabado brillante de la soldadura. Mínimas proyecciones.

Tabla 8. Gas de protección utilizado en el proceso de soldadura MIG

Tipo de electrodo (alambre)	Diámetro alambre (in)	Diámetro alambre (mm)	Gas	Corriente mínima de transición (A)
Bajo Carbón	.030	.76	98% Argón-2% oxy	150
Bajo Carbón	.035	.89	98% Argón-2% oxy	165
Bajo Carbón	.045	1.1	98% Argón-2% oxy	220
Bajo Carbón	.052	1.3	98% Argón-2% oxy	240
Bajo Carbón	.062	1.6	98% Argón-2% oxy	275
Acero Inoxidable	.035	.89	99% Argón-1% oxy	170
Acero Inoxidable	.045	1.1	99% Argón-1% oxy	225
Acero Inoxidable	.062	1.6	99% Argón-1% oxy	285
Aluminio	.030	.76	Argón	95
Aluminio	.046	1.19	Argón	135
Aluminio	.062	1.6	Argón	180
Cobre desoxidado	.035	.89	Argón	180
Cobre desoxidado	.045	1.1	Argón	210
Cobre desoxidado	.062	1.6	Argón	310
Bronce silicón	.035	.89	Argón	165
Bronce silicón	.045	1.1	Argón	205
Bronce silicón	.062	1.6	Argón	270

Tabla 9. Electrodo y corrientes de trabajo utilizado el proceso de soldadura MIG

Se llama transferencia a la forma en que se deposita al material de aporte sobre el metal base. De aquí que el proceso básico MIG incluye tres técnicas muy distintas:

- Transferencia por corto circuito

En soldadura de arco de corto circuito, también conocido como "Arco Corto", "Transferencia espesa" y "Micro Wire", se utiliza intensidades de corriente bajas que producen poca de acumulación de material de soldadura y rápido enfriamiento, de modo que la transferencia del metal ocurre cuando un corto circuito eléctrico es establecido, esto ocurre cuando el metal en la punta del alambre hace contacto con la soldadura fundida. Este tipo de aplicación se indica generalmente para soldadura de uniones delgadas, trabajando con intensidad de corriente muy baja, menor es el calor que se aporta a la unión y menor será la distorsión.

La soldadura MIG por la técnica de corto circuito se obtiene usando un alambre de bajo calibre de 0.030-in (0.76 mm) hasta 0.045-in (1.1 mm) de diámetro y la operación se efectúa con un arco más corto (bajo voltaje) y corriente más baja. El producto final es un cordón de soldadura más reducido que se enfría más rápido.

Esta técnica es particularmente útil para juntar materiales más delgados en cualquier posición, así como materiales más gruesos en posición vertical y sobre cabeza, también para rellenar grandes cavidades.

La técnica de soldadura por corto circuito debería ser usada donde evitar la distorsión de la pieza a ser soldada sea requerido.

- **Transferencia globular**

En este tipo de soldadura se usa una fuente de poder de corriente directa con el alambre de electrodo conectado al polo positivo, y se hace uso de una densidad de corriente relativamente baja sin importar el tipo de gas de protección, entonces el proceso ocurre cuando las gotas del metal fundido son lo suficientemente grandes para caer por la influencia de la fuerza de gravedad. Durante este tipo de transferencia el metal de aporte se deposita en forma globular o gotas grandes (ver figura 10).

Esta técnica es muy poco usada por su dependencia de la posición de piso, ya que depende de la gravedad para completar el efecto de la técnica, este modo de soldar podría ser errático en ciertas aplicaciones y presenta muchas veces salpicaduras y los cortos circuitos del alambre son muy comunes, restando tiempo al proceso, no obstante algunos han logrado estabilizar el proceso convirtiéndolo en una técnica alternativa en aplicaciones especiales.



Figura 9. Cordones de soldadura logrados por la transferencia globular

- **Transferencia por rociado**

Este tipo de transferencia se obtiene por medio de una protección de gas de argón o helio no inferior al 80%. El método de transferencia por rociado (spray), tiene una columna de arco muy fina y el material de aporte derretido se transfiere a través de arco en forma de gotas muy finas, llamadas "Moltens", las cuales son arrancadas de la punta del alambre y proyectadas por la fuerza electromagnética hacia la soldadura fundida. El diámetro de estas gotas es más o menos igual al diámetro del alambre electrodo.

La soldadura por rociado puede producir altos rangos de deposición de soldadura, esta técnica es generalmente usada para juntar materiales de 3/32 in. (2.4 mm) en adelante, excepto en las aplicaciones sobre aluminio o cobre, la soldadura por rociado esta generalmente restringida para la posición de piso por el monto de la soldadura fundida líquida que maneja, sin embargo, acero de bajo carbón puede ser soldado

en otras posiciones con esta técnica cuando los cordones de soldadura son más delgados; Generalmente con alambres de 0.889mm (0.035 in) o 1.1 mm (0.045 in) de diámetro.

Comparación de modos de transferencia de arco en la soldadura MIG de aceros inoxidables			
	Spray	Corto Circuito	Arco Pulsado
Espesores	3 mm mínimo 6 mm y más	1.6 mm y más	1.6 mm y más
Posiciones	Plana y horizontal	Todas	Todas
Velocidad relativa de deposición	La más alta	La más baja	Intermedia
Diámetro típico del alambre	1.16 mm	0.8 ó 0.9 mm	0.9 ó 1.2 mm
Corriente típica de soldadura	250 - 300 amperios	50 - 225 amperios	Arriba de picos de 250 amperios
Escudo gaseoso (1)	Argón - 1% oxígeno Argón - 2% oxígeno	90% helio	90% helio
		7.5% argón	7.5% argón
		2.5% CO ₂	2.5% CO ₂
		o 90% argón	o 90% argón
		7.5% helio 2.5% CO ₂	7.5% helio 2.5% CO ₂
		o argón - 1% oxígeno	

(1) Se usan otras mezclas de gases, sin embargo, el escudo gaseoso debe contener al menos 97.5% de gas inerte, por ej. argón, helio o una mezcla de los dos.

Tabla 10. Modos de transferencia de arco en la soldadura MIG de aceros inoxidables

Los materiales que se usan como alambre electrodo influyen en la calidad del cordón de soldadura y determinan las propiedades químico-mecánicas del material depositado. El alambre electrodo, en este proceso normalmente tiene las mismas características en la composición química de los materiales de aporte que se usan en otros procesos de soldadura con alambres sólidos. Los alambres electrodos de acero al carbón están recubiertos por una ligera capa de cobre, que los protege de óxido y permite mejor contacto eléctrico al pasar por el tubo de contacto del maneral de soldadura. El alambre electrodo no siempre deben tener las mismas características del material base, los electrodos para este proceso son de diámetro mucho menor de los que se emplean en el proceso de arco eléctrico manual con electrodo revestido.

En el proceso GMAW como todos los procesos de soldadura, la aplicación de un cordón de soldadura está sujeta a factores que se deban respetar, porque influyen en forma directa en la calidad de la soldadura. Los componentes de estas condiciones son:

- Selección del gas de protección adecuado: el uso de protección, o una mezcla, es un factor determinante en soldadura, siendo que el uso de determinado gas o de una combinación de gases influyen en la penetración y geometría de un cordón de soldadura.
- Corriente apropiada: de acuerdo con el tipo de trabajo la corriente se disminuirá o se aumentará; es decir, para espesores de material delgado, menor amperaje, mientras que para materiales de grueso espesor se usará amperajes más altos. Como en todos los procesos de soldadura, el amperaje se elige con base en:

Tipo de unión
 Espesor de metal base
 Tipo de material base
 Posición de junta
 Diámetro del alambre electrodo

- Selección correcta del alambre: el diámetro del electrodo y su composición determinan el rango correcto del amperaje. La combinación de estos factores es muy importantes, ya que junto con el tipo de unión, espesor de la misma y posición de soldadura, influyen en la calidad y costo del metal depositado.
- Voltaje de arco correcto: la longitud del arco es directamente proporcional al voltaje. Los factores que afectan la operación del arco, es el proceso de soldadura eléctrica manual, también afecta el arco en el proceso de soldadura GMAW porque el voltaje es el potencial eléctrico existente entre la pieza de trabajo y la punta de alambre electrodo durante el derretimiento.
- Ángulo de boquilla: el ángulo correcto de la boquilla de soldadura GMAW, se refiere a la posición que debe mantener el maneral respecto a la unión. Estas posiciones constan de dos ángulos: El ángulo transversal, y el ángulo longitudinal. El ángulo transversal es la relación entre las boquilla y la unión de soldadura en un ángulo perpendicular a la dirección de avance.

Un buen procedimiento de soldada esta caracterizado por la poca presencia de porosidad, buena fusión, y una terminación libre de grietas o quebraduras. La porosidad, es una de las causas más frecuentemente citadas de una soldadura pobremente ejecutada. Es causada por el exceso de oxígeno de la atmósfera, creada por el gas usado en el proceso y cualquier contaminación en el metal base, que, combinado con el carbón en el metal soldado forma diminutas burbujas de monóxido de carbono (CO). Algunas de estas burbujas de CO pueden quedar atrapadas en la soldadura fundida después que se enfría y se convierten en poros mejor conocidos como porosidad. Una suficiente desoxidación del cordón de soldadura es necesaria para minimizar la formación de monóxido de carbono CO y, por consiguiente, la porosidad. Para lograr esto, algunos fabricantes han desarrollado alambres que contienen elementos con los cuales el oxígeno se combina preferentemente al carbón para formar escorias inofensivas. Estos elementos, llamados desoxidantes, son manganeso (Mn), silicón (Si), titanio (Ti), aluminio (Al), y zirconio (Zr).

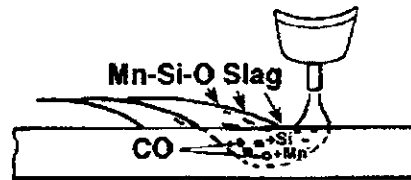


Figura 10. Proceso de la soldadura MIG

La fluidez de la soldadura fundida en el cordón es muy importante por varias razones. Cuando la soldadura fundida es suficientemente fluente, mientras está en su estado líquido, tiende a moverse sola llenando los espacios hasta los bordes produciendo una forma rasa, con formas más gentiles especialmente en las soldaduras de filetes. Esto es muy importante para las soldaduras de corto circuito de multi-paso, donde un defecto de "carencia de fusión" puede ocurrir si la forma en los pasos iniciales es pobre. Soldaduras rasas bien moldeadas son también bien apreciadas cuando la apariencia es una de las principales preocupaciones y donde el uso de esmeriles sea necesario para llegar a cumplir los requerimientos del trabajo. La excesiva fluidez podría generar problemas en la ejecución de la soldadura en ciertas posiciones o haciendo soldaduras sobre filetes cóncavos horizontales.

c. Aspectos a considerar en la soldadura del acero inoxidable. Antes de discutir las pautas para la soldadura, es útil describir los tipos de soldaduras y las superficies de acero inoxidable que darán el mejor resultado en ambientes corrosivos. Estos son factores que pueden controlar los soldadores, y no la elección del material, la cual se hace generalmente por el usuario final o por el Ingeniero en Materiales. La fabricación de equipos resistentes a la corrosión debiera ser un esfuerzo conjunto de la selección de la aleación correcta y entonces emplear las prácticas correctas de fabricación y soldadura. Ambos elementos son esenciales.

1) **Penetración completa de las soldaduras.** Es bien sabido que para lograr una óptima resistencia, las soldaduras a tope deben penetrar completamente. En servicio corrosivo, cualquier rendija resultante de la falta de penetración es un sitio potencial para el desarrollo de la corrosión por rendijas. Un ejemplo típico de una rendija indeseable es una fusión incompleta en la pasada de raíz en la soldadura en una tubería.

En algunos ambientes, la corrosión tiene lugar en la rendija, la cual, a su vez, puede dar lugar a una falla en la junta soldada.

2) Sellar las rendijas en las soldaduras. Las rendijas entre dos superficies de acero inoxidable tales como en los soportes para bandejas en un tanque. También favorece la corrosión por rendijas. Evitar tales rendijas es una responsabilidad del Ingeniero de Diseño. Sin embargo, es útil que aquellos que están haciendo el equipo lo ayuden a eliminar las rendijas siempre que sea posible

3) Contaminación por hierro. Cuando un equipo nuevo de acero inoxidable desarrolla puntos de herrumbre, casi siempre es el resultado de la contaminación por partículas de hierro. En algunos ambientes, si el hierro no se elimina, puede tener lugar un severo ataque en forma de corrosión por picado. En atmósferas no tan exigentes, las partículas de hierro pueden actuar como un contaminante, afectando la pureza del producto, o presentar una apariencia superficial desagradable a la vista.

El hierro libre resulta a menudo incluido en la superficie del acero inoxidable durante las operaciones de formado o soldado. Algunas reglas a seguir para evitar la inclusión de partículas de hierro son: No permitir el contacto de las superficies de acero inoxidable con elementos de hierro o acero. El contacto podría provenir de herramientas de izado, mesas de acero o rack de almacenamiento, por citar algunas. No usar herramientas, tales como discos abrasivos que hayan sido previamente usados con hierro o acero ordinarios, ya que podrían tener hierro incrustado.

Usar sólo cepillos de acero inoxidable que nunca hayan sido usado con hierro o acero al carbono. Nunca usar cepillos de alambre de acero al carbono. No dejar las planchas u hojas de acero inoxidable en el piso, expuestas al tráfico. Se deben guardar en posición vertical.

Si es posible, realizar las operaciones de fabricación de los equipos de acero inoxidable en un lugar alejado de donde se realicen operaciones con hierro o acero al carbono, para evitar contaminaciones con partículas de hierro provenientes de amoladoras, herramientas de corte o arenadoras.

4) Evitar óxidos superficiales de la soldadura. Para una mejor resistencia a la corrosión, las superficies de acero inoxidable deben estar libres de óxidos superficiales. Los óxidos pueden estar en la forma de tinte de calor, en el otro lado de la chapa, como resultante de la soldadura, o tinte de calor en la soldadura, o en la zona afectada por el calor (ZAC). Los óxidos también se pueden desarrollar en el lado interno de las cañerías soldadas con una purga inadecuada del gas inerte.

Los óxidos pueden variar desde un color pajizo, pasando por el púrpura, hasta negro. Cuanto más coloreado es el óxido, más grueso es, y más fácilmente desarrollará la corrosión por picado, causando un serio ataque al metal subyacente. Se debe entender que los óxidos son peligrosos en ambientes corrosivos.

Normalmente, los óxidos no necesitan ser eliminados cuando el acero inoxidable operará a alta temperatura, donde los óxidos se formarían nuevamente. El tinte de calor a menudo conduce a la corrosión, una vez expuesto el acero inoxidable a la atmósfera u otro ambiente levemente corrosivo.

Cuando después de haber tomado todas las precauciones normales, todavía hay óxidos superficiales, deben ser eliminados mediante decapado ácido, blastinado o algunos de los otros métodos.

5) Otros defectos relacionados con la soldadura. Se listan tres defectos relacionados con la soldadura, y el procedimiento para su eliminación: Las marcas de encendido del arco dañan la capa protectora del acero inoxidable y crean imperfecciones similares a rendijas. Los puntos de parada de la soldadura pueden crear defectos similares a pinchazos de alfiler en el metal soldado. Ambas imperfecciones se deben eliminar mediante un ligero pulido con abrasivos de grano fino.

Las salpicaduras de soldadura crean pequeñas marcas donde el metal fundido toca la superficie y se adhiere. La capa protectora de óxido del acero inoxidable es penetrada y se crean pequeñas rendijas donde esta capa es más débil. Las salpicaduras de soldadura se pueden eliminar fácilmente aplicando una pasta a ambos lados de la soldadura, que previene la salpicadura. Esta pasta, junto con las salpicaduras, se lavan en el proceso posterior de limpieza.

La escoria de algunas soldaduras practicadas con electrodos revestidos es difícil de eliminar completamente. Pequeñas partículas de escoria resisten la limpieza y permanecen particularmente donde hay pequeñas hendiduras u otras irregularidades.

Estas partículas crean rendijas, y deben ser eliminadas mediante cepillado, un ligero pulido o blastinado con materiales libres de hierro.

6) Calificación para soldadura. Es una práctica normal para los fabricantes de equipos de proceso desarrollar o mantener especificaciones para procedimientos de soldadura, para los distintos tipos. Los operarios soldadores se prueban y certifican mediante la realización de soldaduras de calidad aceptable. Hay un número de códigos de Sociedades Industriales que gobiernan las calificaciones para la soldadura. Los dos más usados en Estados Unidos para equipos resistentes a la corrosión son:

- American Society of Mechanical Engineers, ASME, Boiler and Pressure Vessel Code - Sección IX, Welding and Brazing Qualifications
- American Welding Society, AWS, Standard for Welding Procedure and Performance Qualification - AWS B2.1

Internacionalmente, cada país tiene sus propias normas o códigos individuales. Afortunadamente, hay una tendencia hacia la aceptación o intercambio de especificaciones, en el interés de eliminar recalificaciones no deseadas.

Común a estos códigos es la identificación de variables esenciales que establecen cuándo se requiere un nuevo proceso de calificación. Las variables esenciales difieren para cada procedimiento de soldadura, pero algunos ejemplos comunes pueden ser:

- Cambio en el metal de base a ser soldado (número P)
- Cambio en el metal de relleno (número F)
- Cambio significativo en el espesor a ser soldado
- Cambio en el gas inerte utilizado
- Cambio en el proceso de soldadura utilizado

La Sección IX de la Norma ASME de clasificación de números P, a menudo determina si se necesita una nueva Especificación de Proceso de Soldadura. Un cambio de número P a otro en el mismo metal de base requiere una recalificación. También las juntas entre dos metales distintos de diferentes números P requieren una especificación de proceso de soldadura separada, aún cuando las pruebas de calificación hayan sido hechas para cada uno de los metales base soldados entre sí. Los números P son:

No se ha asignado a todas las aleaciones un número P. Las aleaciones que no tengan un número requieren una calificación individual, aún cuando se haya calificado para aleaciones similares en composición. Si una aleación no está listada en la Tabla de Números P, se deberá contactar al fabricante para determinar si a esa aleación se le ha asignado recientemente un número P.

d. Especificaciones para fabricaciones soldadas de acero inoxidable

- ASTM A240 – Láminas y hojas de acero inoxidable al cromo/cromo-níquel resistente al calor
Es una especificación básica para fabricaciones soldadas de acero inoxidable. Requiere Templado por disolución en la Usina. Esta especificación incluye 40 grados austeníticos, 4 dúplex y 16 ferríticos. Precaución: se debe tener cuidado en seleccionar los grados más bajos en carbono o estabilizados para servicios resistentes a la corrosión. Los grados altos en carbono se utilizan principalmente en aplicaciones que requieran resistencia a la temperatura.
- ASTM A262 – Detector de la susceptibilidad al ataque intergranular en el acero inoxidable austenítico

Es una especificación suplementaria que cubre cinco pruebas que pueden ser incluidas en los documentos de fabricación cuando se requiera la máxima resistencia al ataque intergranular. Cuando se usa la A262, los criterios a ser encontrados en la prueba deben ser incluidos como criterios pasa/no pasa, y no son parte de la A262.

- ASTM A264 – Láminas y hojas de acero inoxidable ligero al cromo níquel
Es la especificación para construcción revestida, usando grados austeníticos cubiertos por la A240.
- ASTM A265 – Acero inoxidable al níquel o sus aleaciones
Es la especificación para construcción revestida usando los 10 grados de aleación más alta de níquel.
- ASTM A312 – Tubería de acero inoxidable austenítico soldado
- ASTM A403 – Accesorios de acero inoxidable austenítico
Son las especificaciones más antiguas para caños de aceros inoxidables austeníticos utilizados en ambientes agresivos, desarrolladas y ampliamente usadas por la industria química. Ambos productos requieren un temple por disolución después de la soldadura. La mayoría de los aceros inoxidables están cubiertos. Precaución: Se debe tener cuidado en seleccionar los grados más bajos en carbono o estabilizados para servicios donde se requiera resistencia a la corrosión. Están incluidos los grados más altos de carbono y tamaños desde 1/8 de pulgada a 30 pulgadas de diámetro.
- ASTM A778 – Productos tubulares de acero inoxidable austeníticos
- ASTM A774 – Accesorios de acero inoxidable soldados para ambientes corrosivos y de temperatura baja a moderada
Se utilizan cuando los grados bajos en carbono y estabilizados se pueden usar en la condición soldada. El templado por disolución después de la soldadura no se requiere. Sólo los grados bajos en carbono y estabilizados se incluyen en estas especificaciones. Están cubiertos tamaños desde 3 a 48 pulgadas de diámetro.
- ASTM A409 – Tubería de acero inoxidable austenítico de grandes diámetros para ambientes corrosivos de alta temperatura
Cubre los espesores menores, con soldadura lineal o en espiral, caños desde 14 pulgadas hasta 30 pulgadas de diámetro. Se requiere templado por disolución, a menos que específicamente no se lo requiera. Se cubren 14 grados. Precaución: Se debe tener cuidado en seleccionar los grados con bajo

carbono o estabilizados para servicios resistentes a la corrosión, dado que se incluyen los grados con más alto contenido de carbono. No hay especificaciones para accesorios.

e. Manipulación del acero inoxidable. Los aceros inoxidables deben ser manejados con un poco más de cuidado que los aceros ordinarios, en el corte y montaje. El cuidado que se tome en la preparación para la soldadura será tiempo bien usado, lo que incrementará la calidad de la soldadura y la terminación del producto, lo cual dará un óptimo rendimiento en servicio.

1) Corte y preparación de las juntas. Con excepción del corte oxiacetilénico, el acero inoxidable puede ser cortado con los mismos métodos utilizados para el acero al carbono. El corte oxiacetilénico resulta en la formación de óxidos de cromo refractarios, que impiden un corte preciso y parejo. El espesor y la forma de las partes a ser cortadas o preparadas para la soldadura, son los que dictan cuáles de los métodos que se muestran a continuación.

Métodos de corte de Acero Inoxidable

Método	Espesor	Comentario
Guillotina	Láminas, cintas, placas finas	Preparar el borde expuesto al ambiente para eliminar rendijas
Corte por sierra y abrasivo	Amplio rango de espesores	Eliminar lubricantes o líquidos de corte antes de la soldadura o tratamiento térmico
Maquinado	Amplio rango de formas	Eliminar lubricantes o líquidos de corte antes de la soldadura o tratamiento térmico
Corte con arco de plasma	Amplio rango de espesores	Amolar las superficies cortadas para limpiar el metal
Corte con polvo metálico	Amplio rango de espesores	Corte menos preciso que con plasma, se deben eliminar todas las escorias
Corte por arco de grafito	Usado para acunalar la parte de atrás de soldaduras y cortar formas irregulares	Amolar las superficies cortadas para limpiar el metal

Tabla 11. Métodos de corte del acero inoxidable

2) Diseño de las juntas. El diseño de juntas utilizadas para acero inoxidable, es similar a las de los aceros ordinarios. El diseño de junta seleccionada debe producir una soldadura de resistencia apropiada y desempeño en servicio, manteniendo bajos los costos. Las soldaduras a tope deberán ser con penetración completa, para servicio en atmósferas corrosivas. Los filetes de soldadura no necesitan tener penetración completa, siempre que se suelden ambos lados y las puntas para evitar espacios vacíos que puedan juntar líquido y permitir la corrosión por rendijas.

La conexión de secciones de tubería mediante filetes de soldadura deja una rendija grande en el interior del diámetro, lo cual favorece una corrosión por rendijas y microbiológica, y debe ser prohibida en toda construcción de tuberías de acero inoxidable, para todo servicio. El acero inoxidable

fundido de la soldadura es bastante menos fluido que el acero al carbono, y la profundidad de la penetración de la soldadura no es tan grande. Para compensar, las juntas de soldadura en acero inoxidable deberán tener un chaflán y un espacio para la pasada de raíz más anchos. El proceso de soldadura también influye en el diseño de junta óptimo. Por ejemplo, la soldadura MAG por rociado de arco, da una penetración mucho más profunda que la MAG por cortocircuito.

3) Limpieza en la preparación de la soldadura. El área a soldar que debe ser limpiada incluye los bordes de la junta y 50 a 75 mm de la superficie adyacente. Una limpieza inapropiada puede causar defectos en la soldadura tales como fisuras, porosidad o falta de fusión. La resistencia a la corrosión de la soldadura y de la zona afectada por el calentamiento se puede reducir sustancialmente si se deja material extraño en la superficie antes de la soldadura o una operación de calentamiento. Después de limpiadas, las juntas deben ser cubiertas, a menos que se realice inmediatamente la soldadura.

4) Óxido y otras capas superficiales. Las juntas a ser soldadas deberán estar libres de los óxidos superficiales que quedan frecuentemente después del corte por métodos térmicos. Estos óxidos están compuestos preferentemente por compuestos de cromo y níquel, los cuales se funden a una temperatura mucho mayor que el metal de base, y por lo tanto no se funden durante la soldadura. A menudo una capa de óxido queda atrapada en la soldadura, resultando en un defecto que es difícil de detectar por radiografía. Esto es una diferencia básica con la soldadura del acero ordinario. Con el acero, los óxidos de hierro funden a casi la misma temperatura que el metal de base. Si bien se considera mala práctica soldar sobre una capa de óxido en acero, esto no presenta el problema causado por los óxidos en el acero inoxidable. Las diferencias entre las temperaturas de fusión del metal y sus óxidos se presentan a continuación:

Temperatura de fusión de metales y óxidos metálicos

Metal	Temperatura de fusión (°C)	Oxido metálico	Temperatura de fusión (°C)
hierro	1537	Fe ₂ O ₃	1563
Níquel	1454	NiO	1982
AISI 304	1400 - 1454	Cr ₂ O ₃	2266

Tabla 12. Temperatura de fusión de metales y óxidos metálicos

Los productos de acero inoxidable forjados, normalmente están libres de óxidos y no necesitan tratamiento especial antes de ser soldados. Cualquier capa de óxido será fina y no causará inconvenientes en la soldadura. Con metales muy delgados, tales como cinta por debajo de 0.25 mm, puede ser necesaria una limpieza especial con vapor, dado que capas finas de óxido superficial pueden quedar atrapadas en la soldadura que se solidifica muy rápido. Los aceros inoxidables que han estado en servicio, a menudo requieren una limpieza especial. Si la aleación ha estado expuesta a altas temperaturas, la

superficie estará fuertemente oxidada, carburizada o sulfurizada. Estas capas deben ser eliminadas mediante esmerilado o maquinado. La limpieza con cepillos de alambre pule y no remueve los óxidos firmemente adheridos. El equipamiento de acero inoxidable que ha estado en servicio químico, puede estar contaminado por el producto. Un buen ejemplo es un medio cáustico, que si se deja en la superficie durante la soldadura, la misma y la zona calentada desarrollarán fisuras. Es una práctica recomendable neutralizar los residuos alcalinos con una solución medianamente ácida y los ácidos con una solución medianamente alcalina, antes de proceder a la reparación de equipos que hayan estado en contacto con elementos químicos. Al tratamiento neutralizador debe seguir siempre un lavado con agua caliente para eliminar los residuos.

5) Elementos contaminantes. Hay un número de elementos y compuestos que deben ser eliminados de la superficie antes de la soldadura. Si no se sacan, el calor de la soldadura puede causar fisuras, defectos de soldadura o disminución en la resistencia a la corrosión en la soldadura y en la zona afectada por el calor. Los elementos a ser evitados y su fuente común son:

- Azufre, carbono, Hidrocarburos tales como fluidos de corte, grasa, aceite, ceras, etc.
- Azufre, fósforo, carbono, crayones para marcar y pinturas
- Plomo, zinc, cobre, herramientas tales como martillos, barras de respaldo de cobre, pinturas ricas en zinc.
- Suciedad del taller cualquiera o todos de los ya citados

La presencia de azufre, fósforo y metales de bajo punto de fusión pueden causar fisuras en la soldadura o en la zona afectada por el calor. El carbono o materiales carbonosos dejados en la superficie antes de la soldadura, pueden ser incluidos en la misma, resultando en una capa superficial con alto carbono, que puede reducir la resistencia a la corrosión en determinados ambientes.

La limpieza para eliminar estos contaminantes se puede realizar siguiendo unas pocas recomendaciones, junto con el sentido común. Los contaminantes metálicos y materiales que no tengan una capa de grasa, se pueden eliminar mediante un pulido o blastinado. Es esencial que los elementos que se usen para este tratamiento no estén contaminados con hierro de operaciones anteriores. Un tratamiento con ácido nítrico, seguido de una neutralización, puede también eliminar metales de bajo punto de fusión, sin afectar al acero inoxidable.

Los contaminantes a base de aceite o grasa (hidrocarburos) deben ser eliminados mediante limpieza con solventes, debido a que no son eliminados mediante tratamiento ácido o con agua. Los trabajos grandes se limpian normalmente mediante paños saturados con solvente. Otros métodos aceptables incluyen inmersión, trapeado o pulverizado con soluciones alcalinas, emulsiones, solventes, detergentes o una combinación de éstos; por limpieza con vapor, con o sin un limpiador, o por agua a alta

presión. La norma ASTM A380, que refiere a los procedimientos para limpieza y decapado de equipos de acero inoxidable, es una guía excelente para fabricantes y usuarios.

Un procedimiento típico para eliminar aceites o grasas incluye:

- Eliminar el exceso de contaminante por limpieza con un trapo limpio
- Limpiar el área a soldar (por lo menos 50 mm a cada lado de la soldadura) con un solvente orgánico, tales como solventes alifáticos, clorados o mezclas de los dos. Usar únicamente solvente limpio y trapos sin uso previo.
- Eliminar los solventes secándolos con trapo limpio
- Asegúrese de la completa limpieza. Un residuo en el trapo de secado puede indicar limpieza incompleta.
- Donde el tamaño lo permita, utilizar una prueba del rompimiento de la película de agua.

La selección de los solventes para limpieza involucra algunas consideraciones, aparte de su habilidad para eliminar grasas o aceites. Dos precauciones son las que siguen:

- **Solventes clorados:** Muchos solventes comerciales contienen clorados y son efectivos en la limpieza de partes maquinadas y componentes libres de fisuras. El problema potencial con solventes clorados es que pueden permanecer y concentrarse en fisuras, y más tarde iniciar procesos de corrosión por rendijas o por tensión estrés. Ha habido innecesarias y costosas fallas en el acero inoxidable de intercambiadores de calor después de limpiarlos con solventes clorados. La limpieza de áreas abiertas con solventes clorados no presenta problema, pero antes de arriesgar una mala aplicación, algunas organizaciones prohíben el uso de cualquier solvente clorado para cualquier tarea. **Los solventes no clorados se prefieren para la limpieza del acero inoxidable, y se debe usar siempre en la limpieza de equipos y piezas con ranuras.**
- **Riesgos para la salud:** Están incluidos carcinógenos, agentes tóxicos, irritantes, corrosivos, sensibilizantes y cualquier agente que dañe los pulmones, piel, ojos o la mucosa de las membranas. Cada organización debe asegurar que los solventes que utiliza no son peligrosos para el personal o equipo. Además del efecto tóxico, se debe prever el venteo de vapores explosivos, y la evacuación segura de las soluciones usadas. Obviamente estos procedimientos deberán estar de acuerdo con las disposiciones de los Organismos Estatales. Los solventes utilizados en la limpieza previa de las soldaduras incluyen, pero no están limitados a:
 - No clorados: tolueno, metil etil cetona, y acetona
 - Solventes clorados: 1.1.1 tricloroetano

Todos deben ser utilizados de acuerdo con los requisitos de las normas regulatorias y las instrucciones del fabricante.

6) **Instalación y montaje.** Una buena alineación de las juntas puede reducir el tiempo de la soldadura. Es esencial que las piezas a ser soldadas estén cuidadosamente alineadas para lograr un buen resultado. Cuando una de ellas es considerablemente más gruesa que la otra, (Ej. la cubierta de un tanque más gruesa que la pared: el lado de la cubierta debe ser maquinado para rebajarlo, para reducir la concentración de tensiones). Las juntas con distancias variables requieren ajustes especiales por parte del soldador, y pueden dar lugar a quemaduras o falta de penetración. Cuando el volumen de las partes iguales es grande, el uso de sostenes a menudo se justifica económicamente.

7) **Sostenes y posicionadores.** Los sostenes se diseñan habitualmente para cada montaje particular, y mantienen a las partes juntas durante la operación de soldadura. Cuando los sostenes están ligados a posicionadores, existe la ventaja adicional de que la soldadura se puede realizar en la posición más conveniente. Algunas ventajas de usar sostenes son:

- Mejor ajuste de las juntas
- Menos tiempo de punteado y soldadura
- Se minimiza la distorsión
- La terminación del montaje se hace con tolerancias menores

Es importante que la superficie de los sostenes que tienen contacto con las partes de acero inoxidable no introduzcan contaminación por hierro. Esto se puede evitar haciendo que las superficies en contacto con las piezas de acero inoxidable, también sean del mismo material. Estos sostenes deberán usarse sólo para montaje de piezas de acero inoxidable.

8) **Materiales de respaldo.** Se pueden utilizar materiales de respaldo en la soldadura de chapas o planchas, a menos que se puedan soldar ambos lados. Sin un respaldo, la parte de abajo puede tener una penetración errática, con fisuras, huecos y oxidación excesiva. Tales defectos reducen la resistencia de la soldadura y pueden iniciar una corrosión acelerada. El cobre, con su alta conductividad térmica, es el material más usado para barras de respaldo.

En una operación normal de soldadura, la barra de cobre enfría el metal que se suelda. El arco no debe ser mal direccionado al punto tal que el cobre se funda y se incorpore dentro de la soldadura de acero inoxidable, o resultará una rajadura en la soldadura. Es una buena práctica decapar después de soldar para eliminar trazas de cobre de la superficie e imprescindible si a la soldadura sigue un tratamiento de temple.

El respaldo con argón provee una excelente protección al lado interno de la soldaduras con TIG. Ayuda a controlar la penetración y mantiene una superficie brillante y limpia. El nitrógeno también se usa como gas de respaldo, y tiene un precio ventajoso comparado con el argón. Sin embargo, el nitrógeno no debiera introducirse dentro de la atmósfera del arco, porque podría alterar la composición de la soldadura.

Cuando una barra de cobre de respaldo o una purga con gas inerte no sea práctico, hay productos cerámicos, cintas y pastas disponibles comercialmente. Estos ofrecen alguna protección contra el quemado, pero dan poca protección contra la oxidación, así que será necesaria una limpieza final por medios abrasivos o decapado con ácidos.

9) **Punteado de la soldadura.** Las juntas no soportadas con sostenes, se deberán puntear para mantener una alineación y espaciado uniforme. Las puntadas se deberán hacer en secuencia para minimizar el efecto de contracción. Para realizar el montaje de dos chapas, se deberán hacer dos puntadas en cada punta de la chapa, y luego una en el medio. A continuación se muestran las formas correctas (figura 11A) e incorrectas (figura 11B) de hacer punteados:

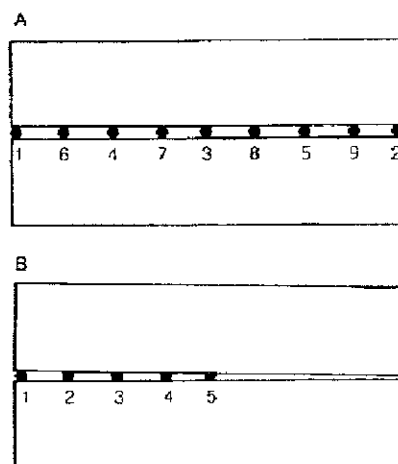


Figura 11. Punteado de soldadura

Los puntos de soldadura en el acero inoxidable deberán estar considerablemente más juntos que lo que sería necesario para el acero al carbono, dado que una expansión térmica más grande del acero inoxidable causa mayor distorsión. Una guía aproximada es usar la mitad de la distancia que se usa en el acero al carbono, cuando la distorsión sea un factor importante.

La longitud de las puntadas de soldadura deberán ser tan cortas como 3 mm, o un pequeño punto de soldadura para materiales finos, y hasta 25 mm de longitud para placas gruesas. Lo que es más importante, es que las puntadas no causen defectos en la soldadura final. Las puntadas gruesas o

muy altas deberán ser esmeriladas. El tamaño de las puntadas se controla más fácil con el proceso TIG, siendo una buena elección para realizar puntadas de soldadura. Aquellas que se incorporen a la soldadura final deberán ser limpiadas con cepillo o esmeriladas. Se deberán inspeccionar para comprobar que no tengan rajaduras, o eliminarlas por esmerilado.

10) Montaje de juntas de tuberías para soldadura TIG. Los puntos de soldadura son importantes porque normalmente quedan incluidos en la soldadura final. La purga con gas inerte antes de este proceso es necesaria como protección contra la oxidación. En las juntas por puntos con insertos consumibles, o soldaduras de raíz abiertas, como se las suele llamar, hay una fuerte tendencia de las fuerzas de deformación a cerrar la junta. Para mantener la separación deseada, puede ser necesario utilizar espaciadores e incrementar el tamaño y la cantidad de puntos de soldadura. Los espaciadores normalmente son pequeños pedazos de alambre limpio de acero inoxidable de diámetro adecuado. Cualquier punto de soldadura defectuoso o fisurado debe ser eliminado mediante esmerilado. Ambos extremos de los puntos de soldadura en raíz abierta deberán ser biselados para ayudar a que se fundan dentro de la soldadura de raíz.

La necesidad de mantener una separación adecuada durante la pasada de soldadura de raíz se debe a dos razones. La primera es que un espaciamiento uniforme ayuda al soldador a producir un contorno óptimo en el diámetro interno del tubo. Cuando la junta es muy cerrada, hay una tendencia a raíces cóncavas en lugar de la deseable, que es levemente convexa. La segunda es que se necesita mantener una composición química uniforme en la pasada de raíz. Para muchas aplicaciones en corrosión, la adición de metal de aporte es esencial para que la soldadura tenga una resistencia a la corrosión similar a la del metal de base. Si la junta es muy chica, será imposible fundir una cantidad adecuada de metal de aporte dentro de la soldadura de raíz. Por ejemplo, los aceros inoxidables con el 6% de molibdeno requieren una adecuada separación de la raíz y el agregado de un metal de aporte adecuado.

11) La purga durante la soldadura de raíz en cañerías. El interior del caño debe ser purgado con un gas inerte adecuado antes de la pasada de raíz con TIG. La falta de purga puede resultar en una superficie muy oxidada en la parte interior del caño, con una resistencia a la corrosión menor. La purga se realiza normalmente con argón puro, pero también se suele utilizar el nitrógeno, debido a su bajo costo. Con los aceros inoxidables dúplex, el respaldo gaseoso con nitrógeno compensa la pérdida del mismo en el metal soldado, y devuelve a la soldadura su resistencia a la corrosión por picado. En Europa se utiliza ampliamente una mezcla de nitrógeno con 10% de hidrógeno para purgar los caños de aceros austeníticos, lo cual no se recomienda para aceros dúplex.

La purga es una operación en dos pasos. La primera se realiza antes de la soldadura para desplazar el aire que contiene el caño. Para ahorrar tiempo y gas, se usan baffles a ambos lados de la junta, con el fin de reducir el área de purga.

Las juntas de la soldadura de raíz abierta deberán ser encintadas y los espacios muertos venteados antes de la purga. El contenido interno de oxígeno deberá bajarse a menos del 1% antes de la soldadura.

Antes de comenzar la soldadura, el flujo de la purga deberá reducirse hasta un punto donde sólo haya una ligera presión positiva. La cinta que cubre la junta deberá ser quitada sólo momentos antes de realizar la soldadura. Después de la primera pasada, la purga deberá mantenerse durante las próximas dos pasadas con metal de aporte, con el fin de minimizar el desarrollo de color en la zona afectada por el calor (oxidación) en el interior de la cañería. Esto es especialmente importante cuando no sea práctico el decapado después de la soldadura.

f. Tratamientos aplicados al acero inoxidable para su limpieza. Muy a menudo se supone que el producto, ya sea un tanque, un recipiente a presión, la junta de una tubería, etc., está listo para el servicio después de que se haya realizado la última soldadura. La limpieza después de la fabricación debe ser tan importante como cualquiera de los pasos discutidos anteriormente. La condición superficial de los aceros inoxidables es crítica, bien cuando el producto no debe ser contaminado (plantas farmacéuticas, alimenticias o nucleares), o cuando el acero debe resistir ambientes agresivos, tales como en plantas de procesos químicos. Las condiciones superficiales que pueden reducir la resistencia a la corrosión se pueden agrupar en cuatro categorías: contaminación superficial, incrustaciones de hierro, daño mecánico, o defectos relacionados con la soldadura.

En ambientes agresivos, los contaminantes orgánicos sobre las superficies de acero inoxidable pueden favorecer la corrosión por rendijas. Tales contaminantes incluyen grasas, aceites, marcas de crayones, pinturas, cintas adhesivas, y otros depósitos pegajosos. Las superficies a ser decapadas o tratadas con ácido deben estar libres de contaminantes orgánicos para que el ácido sea efectivo en remover la contaminación por hierro, óxidos superficiales o condiciones similares. Debido a que poco se puede hacer durante la fabricación para reducir la contaminación orgánica, el fabricante lo debe hacer durante la limpieza final.

Para poder asegurar la estabilidad del acero inoxidable frente a los agentes corrosivos químicos y biológicos, este se puede someter procesos como el pasivado, decapado y pulido.

1) Pasivado. Durante los diferentes procesos a que son sometidos los aceros inoxidables, tales como, mecanizado, formado, pulido etc., ciertas partículas de hierro, aceros de herramientas u otros materiales extraños pueden depositarse sobre la superficie del acero. Estos contaminantes pueden reducir la efectividad de la película natural de óxido de cromo. Para prevenir esta situación a las partes

semiterminadas o terminadas se les somete a un proceso de pasivación. Este tratamiento consiste en un baño químico con el objeto de disolver los materiales contaminantes y maximizar las cualidades de resistencia a la corrosión propias del acero inoxidable.

El pasivado es un proceso de formación de una película protectora de óxido en la superficie del acero inoxidable. La norma ASTM A380-99 nota que el pasivado es un proceso en el cual el acero inoxidable formará de manera espontánea una superficie químicamente inactiva cuando se expone al aire, o a cualquier ambiente que contenga oxígeno. Antes, se consideraba que era necesario un tratamiento oxidante, el cual reafirmaba la película pasiva en el material, sin embargo esto ya no es así.

Por otro lado, la norma ASTM también dice que la pasivación se encarga de remover material exógeno o hierro libre, o cualquier otro compuesto de hierro de la superficie del acero inoxidable, mediante una disolución química, generalmente, mediante un tratamiento con una solución ácida que removerá la contaminación superficial y que no afectará significativamente la estructura del acero inoxidable.

De esta manera, la pasivación se refiere a una remoción química de hierro libre u otros compuestos de hierro de la superficie, o también puede referirse al desarrollo espontáneo de una superficie químicamente inactiva (película protectora de óxido) en el acero inoxidable.

La formación de la superficie pasiva generalmente se alcanza mediante un proceso llamado Bright Annealing o sometiendo al material a un tratamiento químico adecuado. Con cualquiera de los anteriores procedimientos, los contaminantes son eliminados de la superficie y subsecuentemente el material forma su película protectora.

El Bright Annealing es un proceso que requiere el calentamiento del acero inoxidable a una temperatura adecuada (usualmente a 1040°C) en una atmósfera reducida, como por ejemplo hidrógeno gaseoso seco. Los contaminantes orgánicos son volatilizados y la mayor parte de óxidos metálicos (incluyendo los de hierro, níquel y cromo) serán reducidos, dando como resultado una superficie libre de óxidos. Luego, el acero inoxidable es enfriado rápidamente (en un rango de temperaturas de 870 a 425°C) para inhibir la precipitación de carburos, y después, a temperaturas más bajas el material es expuesto al aire, momento en el cual se forma la película protectora de óxido.

El tratamiento químico usual involucra la exposición de la superficie del acero inoxidable a una solución ácida oxidante, en donde, las variables de control importantes son el tiempo, la temperatura y la concentración de la solución. Muchas combinaciones de estas tres variables pueden ser utilizadas, pero las dos más comunes son:

- 20% de ácido nítrico a una concentración mayor al 50%, en un rango de temperatura de 20 a 50°C por 20 a 120 minutos.
- 10% de ácido cítrico, de 0.5 a 2.0% de EDTA (ácido etilendiaminetetracético) a 77°C por 1 a 10 horas. El EDTA es un agente que mantiene el hierro en solución en un rango mayor de pH. Esta solución es altamente reactiva con el hierro libre, es menos sensitiva al tiempo de exposición, es menos costoso y considerado más amigable al medio ambiente cuando se utiliza adecuadamente.

Con la disponibilidad de técnicas mejoradas de medición, ha sido posible desarrollar mejores formulaciones para realizar la pasivación. El primer paso en este proceso de desarrollo fue el reformular la química del proceso para reemplazar los ácidos minerales (nítrico o fosfórico) con ácidos orgánicos (primordialmente ácido cítrico). Estos nuevos químicos son capaces de remover selectivamente iones metálicos de la superficie, para prevenir que los contaminantes puedan dañar la película de óxido de cromo. Este proceso selectivo está basado en el uso de diferentes agentes y la variación del pH de las soluciones.

El segundo paso en la reformulación fue el añadir a la base de ácidos orgánicos, otros materiales para lograr la remoción de hierro libre. Como resultado del nuevo trabajo de reformulación, el mejor desempeño de fluidos para realizar la pasivación se logra con formulaciones de 5 ó 6 ingredientes. Estos ingredientes adicionales incluyen surfactantes, ácidos que reaccionan con metales específicos, agentes para mantener el pH en determinado rango y reducir fuertemente la cantidad de ácidos que facilitan la disolución de óxidos de hierro.

El proceso comienza con una limpieza minuciosa. Esto permite la remoción de aceite, grasa, compuestos en formación, lubricantes, refrigerantes y otros residuos orgánicos y metálicos no deseables, que se encuentran en la superficie del metal por procesos de manufactura y maquinado de las piezas. Generalmente la limpieza y desengrasado se puede lograr de distintas maneras, incluyendo vapor desengrasante, solventes limpiadores, soluciones alcalinas e inclusive procesos mecánicos.

Después de remover los residuos metálicos y orgánicos, el metal es colocado dentro de una solución pasivadora adecuada. Aunque existen muchas variaciones de soluciones de este tipo, la más utilizada es la solución base de ácido nítrico.

Las tres variables que deben de ser consideradas y controladas para realizar la pasivación son el tiempo, la temperatura y la concentración de las soluciones. Generalmente las inmersiones toman entre 20 minutos a dos horas. El rango de temperaturas debe de mantenerse entre la temperatura ambiente y 70°C. La concentración del ácido nítrico oscila entre 20 y 50% en volumen. Existen muchas especificaciones que incluyen el uso de dicromato de sodio en la solución de pasivado o como un baño post

pasivado, lo cual ayuda a la formación de la película de óxido. El cuidado en el control de la solución, pureza del agua (químicamente pura), partículas por millón de impurezas metálicas y el mantenimiento químico son cruciales para el éxito del proceso.

El tipo del acero inoxidable también determina la efectividad del proceso. La selección del baño (tiempo, temperatura y concentración) es una función del tipo de aleación sometida al proceso. Un conocimiento minucioso del material y del proceso de pasivación es de suma importancia para alcanzar los resultados esperados. Consecuentemente, la selección de baños inapropiados y/o mal control del proceso dará malos resultados.

Este proceso debe de ser realizado por técnicos entrenados y con experiencia, familiarizados con los peligros potenciales que conlleva el proceso. Las practicas seguras deben de ser comprendidas en su totalidad cuando se manejen los químicos utilizados para realizar el proceso. Se deberá utilizar botas especiales, guantes, overol y demás equipo de seguridad. Los tanques, calentadores y ventilación, deberán ser apropiadamente diseñados para realizar el proceso. Las partes o equipo de hierro o acero, no deben de ser introducidos en el proceso, debido a que pueden sufrir daños severos.

Preservar la película pasiva requiere la presencia de oxígeno en el ambiente en el cual está expuesto el acero inoxidable. En muchas instancias en donde el pasivado falla o existe un ataque de corrosión, la integridad de la película de óxido pasiva es comprometida por la concentración de algunos iones como los de cloro, que atacan la película de óxido. **Concentraciones extremadamente altas de cloro pueden ser causadas por evaporación, en sistemas que no son adecuadamente drenados, lo cual anula la protección a la corrosión que se espera del acero inoxidable.**

Generalmente se piensa que media vez el sistema ha sido pasivado, esta película durará para siempre. Desafortunadamente, los sistemas que se encuentran, por ejemplo, en agua purificada o sistemas de vapor, son extremadamente corrosivos y la película pasiva está bajo constante ataque. El uso frecuente de fuertes oxidantes en procesos de sanización también perjudican la película pasiva, de esta manera provocando la migración de hierro libre a la superficie.

Con este continuo ataque al metal, es imperativo conocer si la superficie ha sido proveída con la mejor superficie resistente a la corrosión por medio de una minuciosa limpieza y tratamiento de pasivación.

La norma ASTM, establece las técnicas adecuadas para determinar la presencia de hierro libre (una medida para una pasivación adecuada) en la superficie del acero inoxidable. La más utilizada es la prueba del sulfato de cobre ("Prueba FerroxyI"), en la que una solución de sulfato de cobre y ácido sulfúrico es depositada en la superficie por seis minutos. La presencia de cualquier hierro libre (resultado

de una mala pasivación) es indicado por la precipitación del cobre en la superficie en donde está presente el hierro. Esta prueba es muy fácil de realizar en hojas de metal, tuberías, accesorios, soldaduras y zonas afectadas por el calor.

La película pasiva formada no puede ser observada y es invisible para el ojo humano. La resistencia a la corrosión del acero inoxidable se debe a su previa oxidación, lo cual se constituye como una película protectora, sin embargo la exposición del acero inoxidable a un ambiente oxidante a altas temperaturas (o a un ambiente altamente oxidante a temperatura ambiente) dará como resultado la formación de óxidos de mayor grosor (óxidos con mayores contenidos de hierro y magnesio y menor contenido de cromo), de una variada gama de colores. El grosor de este tipo de óxido aumenta las probabilidades de que la corrosión ocurra debajo de la película protectora de óxido.

La película de óxido posee una relación más alta cromo/hierro, que el resto del material debido a la oxidación del cromo y a la disolución del hierro. El mejor desempeño es alcanzado cuando la relación Cr/Fe en la superficie del material es mayor de 1.5.

La prueba FerroxyI no ofrece datos cuantitativos, como la cantidad de óxido de cromo o hierro que existe en la superficie. Las inclusiones de aluminio no son detectadas con esta prueba y se constituyen como lugares específicos de corrosión (pitting).

Existen tres métodos de prueba que son nuevos para la práctica del pasivado. Estos métodos son AES (Auger Electron Spectroscopy), XPS (X-Ray Photoelectron Spectroscopy) o ESCA (Electron Spectroscopy for Chemical Analysis) y CP (Cyclic Polarization). Cada proceso da una alternativa, más precisa y analítica, para medir el grado de pasividad de la superficie del material.

2) Decapado. El decapado del acero inoxidable consiste en remover mediante una acción mecánica o química todos los elementos que no son propios del acero. Dentro del decapado se pueden distinguir, a la vez, distintos grados de profundidad para este proceso; existiendo el decapado comercial, donde se remueve en forma parcial el óxido de laminación (o cualquier otro proceso de maquinado) y con éste todas las impurezas presentes.

El decapado metal blanco es el siguiente nivel en la línea de procesos de decapado y, como su nombre lo indica, consiste en remover absolutamente toda impureza ajena al acero dejándolo metal blanco, es decir, se retira en un 100% el óxido y con éste todas los demás elementos de suciedad.

El decapado se puede realizar en forma mecánica o química. Por lo general, el decapado mecánico se realiza mediante chorro de arena de cuarzo para evitar sales (que en realidad no siempre se cumple), mediante granalla (chorros de pequeños elementos metálicos) u otros similares.

El decapado químico, en tanto, consiste en remover mediante la utilización de sustancias químicas, normalmente ácido clorhídrico, el óxido de laminación y otros, combinando con éste, cierta acción mecánica de ondulación de la lámina que termina finalmente por remover todo elemento extraño al acero. El baño de decapado contendrá diversos tipos de metal en solución en función del tipo de material base y del grado de mantenimiento a darle al equipo.

La ventaja del decapado químico respecto del arenado consisten en que el proceso mecánico, inevitablemente disminuye el espesor de la pieza tratada, pues es muy difícil controlar hasta qué punto aplicar el arenado o la granalla sin dañar el material.

3) Pulido. La presencia de superficies no porosas es esencial para poder evitar la corrosión y mantener la eficiencia en los sistemas de limpieza. Superficies porosas permiten el crecimiento bacteriano y la acumulación de partículas, factores que en conjunto promueven la formación de películas biológicas (biofilms), los que son precursores de contaminación y corrosión.

Los procesos de pulido se pueden separar en dos tipos:

a) Pulido con abrasivos

En una escala macroscópica, el contorno de una superficie maquinada se, puede considerar como una serie de picos y valles. La profundidad de los mismos y la distancia entre los picos dependen de los métodos utilizados para producir la superficie.

En una escala microscópica, la superficie es aún más compleja, con pequeñas irregularidades sobrepuestas a los picos y valles. Con el fin de producir una superficie verdaderamente lisa, ambos tipos de irregularidades (macroscópicas y microscópicas) deben ser eliminadas.

Así, las funciones de un proceso de pulido ideal se pueden distinguir como alisado, (eliminación de las irregularidades a gran escala, mayor a 1 micrón), y abrillantado, (remoción de pequeñas irregularidades de un tamaño inferior a centésimas de micrón).

La preparación mecánica de las superficies se puede dividir convenientemente en dos etapas:

- 1) Esmerilado; usando técnicas abrasivas para producir una superficie razonablemente lisa y plana.
- 2) Pulido; usando abrasivos finos sobre discos para dar una superficie lisa y brillante.

A continuación se muestran dos tipos de pulidos. El de la izquierda es un tipo de pulido con abrasivos y el de la derecha es un pulido con microesferas de vidrio.

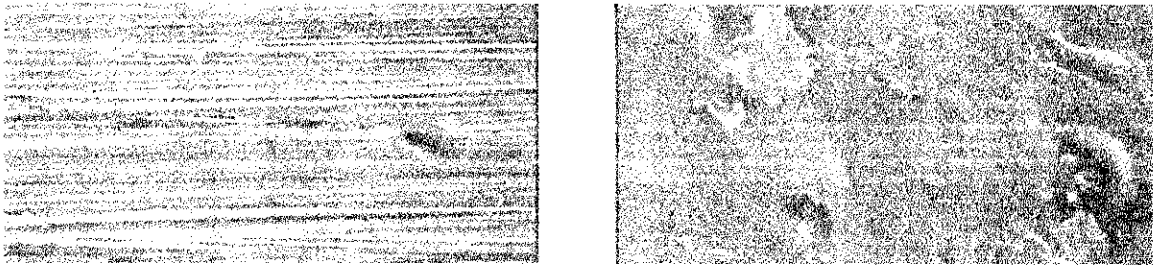


Figura 12. Tipos de pulidos

Algunos objetos abrasivos son utilizados para realizar el pulido mecánico. Generalmente, los componentes abrasivos como el óxido de aluminio quedan adheridos a la superficie. Estas inclusiones de aluminio pueden facilitar una futura corrosión, si éstas inclusiones no son tratadas. Este tipo de contaminantes son lugares específicos para la corrosión conocida como pitting. Por esto es necesario que estos contaminantes sean removidos previo a la pasivación.

b) Pulido electrolítico. El electropulido es un proceso en el que se sumerge el acero inoxidable en un baño electrolítico. La corriente y el voltaje en el sistema son las variables críticas que se deben de controlar para mantener un correcto electropulido. Es un tratamiento superficial mediante el cual el metal a ser pulido actúa como ánodo en una celda electrolítica, disolviéndose. Con la aplicación de corriente, se forma una película polarizada en la superficie metálica bajo tratamiento, permitiendo a los iones metálicos difundir, a través de dicha película, las micro y macro proyecciones, o puntos altos de la superficie rugosa, lo mismo que zonas con rebabas, las cuales son áreas de mayor densidad de corriente que el resto de la superficie, y se disuelven a mayor velocidad, dando lugar a una superficie más lisa, nivelada y/o rebanada. Simultáneamente, y bajo condiciones controladas de intensidad de corriente y temperatura, tiene lugar un abrillantamiento de la superficie.

La solución electrolítica, por lo general, es una mezcla de ácidos y aditivos orgánicos, incluyendo ácido sulfúrico y fosfórico. Por esta razón, este es un proceso, que remueve de manera selectiva, metal para alisar el área de la superficie. En otras palabras, el electropulido rasura y remueve los picos de la superficie.

Este proceso es requerido por sistemas altamente estériles, como para el uso farmacéutico. Este proceso puede dejar otro tipo de contaminantes en la superficie, como sulfatos y fosfatos, los cuales deben eliminarse previo a la pasivación.

En aleaciones, como el acero inoxidable, se tiene además la ventaja adicional que, al ser el hierro un metal que se disuelve fácilmente, se incrementa el contenido de cromo y níquel en la superficie, aumentando así la resistencia a la corrosión.

El electropulido (o pulido electroquímico, o pulido electrolítico) funciona básicamente debido que, al disolverse el metal bajo la circulación de corriente, se forma una capa viscosa de productos de la disolución, la cual se va difundiendo lentamente en el baño electrolítico.

El espesor de esta capa no es constante, siendo mayor en los valles; y como su resistencia eléctrica es superior a la que tiene la solución del electropulido conduce a una disolución preferencial de los picos, y a una nivelación de la superficie.

En este proceso no se forma una capa superficial como en el caso del pulido mecánico, ya que lo que se disuelve es el metal de base.

El espesor de material disuelto varía entre 10 y 25 micrones, de acuerdo con la intensidad de corriente utilizada y el tiempo de exposición.

Enfocado al acero inoxidable, el uso de este proceso permite obtener superficies lisas y brillantes, de condiciones sanitarias, debido a la ausencia de ralladuras que impiden el acceso a los productos de limpieza y se convierten en focos de contaminación por microorganismos.

4. Aceros inoxidables dúplex. Son una familia de aleaciones que tienen dos fases: ferrita y austenita, con un contenido típico de ferrita entre 40 y 60%. La relación ferrita/austenita se logra en las aleaciones forjadas por ajustes en la composición junto con trabajo en caliente y prácticas de templado en la usina. Las aleaciones podrían ser llamadas aceros inoxidables ferrítico-austeníticos, pero el término "dúplex" es más usado. La microestructura típica de un acero inoxidable dúplex se muestra en la figura siguiente. La matriz que aparece como un fondo más oscuro es ferrita, y la fase más clara, similares a islas alargadas, es la austenita.



Figura 13. Granos de un acero inoxidable dúplex

Las aleaciones dúplex datan de los años 1930, y las primeras aleaciones ahora se identifican como de primera generación. Desafortunadamente, las primeras aleaciones tuvieron el problema de una pérdida significativa de la resistencia a la corrosión en la soldadura, y tomó algún tiempo para que las aleaciones de segunda generación superaran esta reputación. La mayoría de estas aleaciones contienen de un 0.15 a un 0.30% de nitrógeno. Uno de los beneficios del nitrógeno es mejorar la resistencia a la corrosión por picado y por rendijas. Con procedimientos adecuados de soldadura, los aceros inoxidables dúplex de segunda generación tienen casi el mismo nivel de resistencia a la corrosión que el material templado de la usina. El nitrógeno también es beneficioso en la fabricación de planchas de aleaciones de segunda generación, donde la transición dúctil-quebradizo se bajó bien por debajo de la temperatura ambiente, haciendo prácticas las soldaduras de grandes espesores. Sin embargo, las aleaciones dúplex no son usadas a temperaturas inferiores a $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que algunas aleaciones completamente austeníticas se pueden usar a $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La aleación 2205 (UNS S31803) es la aleación dúplex más ampliamente usada y hay una cantidad de fabricantes que la producen. Comparando la composición de esta aleación con una de acero inoxidable completamente austenítica, tal como la tipo 316, la 2205 es más alta en cromo, más baja en níquel y contiene nitrógeno.

Las aleaciones dúplex ofrecen dos importantes ventajas sobre las aleaciones austeníticas tales como las 304L y 316L, una resistencia más grande a la corrosión por fatiga debido a los cloruros, y mejores propiedades mecánicas. La resistencia a la fluencia de las aleaciones dúplex es dos a tres veces mayor y la resistencia a la tracción 25% más grande, mientras que mantienen buena ductilidad a temperaturas normales de operación.

La susceptibilidad de los aceros inoxidables austeníticos a la corrosión por fatiga debido a los cloruros, alrededor de 60°C , es bien conocida. Los aceros inoxidables ferríticos son altamente resistentes, pero son más difíciles de fabricar y soldar. Las aleaciones dúplex tienen una resistencia intermedia a la

corrosión por fatiga inducida por cloruros, y en muchos ambientes representa un incremento sustancial sobre las austeníticas. Las aleaciones dúplex también ofrecen:

- Resistencia a la corrosión general y por picado, igual o mejor que la del tipo 316L, en muchos ambientes corrosivos.
- Resistencia a la corrosión intergranular, debido al bajo contenido de carbono.
- Buena resistencia a la erosión y abrasión.
- Un coeficiente de expansión térmica cercano al del acero al carbono, lo cual puede resultar en menores tensiones en las soldaduras que involucren inoxidable dúplex con acero al carbono.

Hay diferencias metalúrgicas comparadas con las aleaciones austeníticas, que cuando son conocidas y reconocidas se pueden manejar fácilmente. Las diferencias ocurren como resultado de exposición a alta temperatura.

IV. DISEÑO

A. Parámetros de diseño

Para obtener los parámetros de diseño, se realizó dos mediciones con dos tipos distintos de helados, los cuales varían sus propiedades físicas, específicamente su densidad, debido a que las cantidades de aire que se le incorporan varían, para darle la constitución deseada. Esto hace que el flujo de helado que se va a manejar dependa del tipo de helado que se esté fabricando.

A continuación se presenta una tabla en donde se resumen las mediciones realizadas:

SABOR DE HELADO	VOLUMEN	TIEMPO PROMEDIO DE LLENADO	MASA PROMEDIO
Mango	3 gal (0.011356 m ³)	73s	9.50kg
Ron con pasas	3 gal (0.011356 m ³)	59s	8.10kg
Ron con pasas	½ gal (0.00189 m ³)	16s	1.35kg

Tabla 13. Tiempos de llenado de helados de mango y ron con pasas

Con estas mediciones se puede obtener la densidad y el flujo que maneja la maquinaria que fabrica el helado. Estos dos parámetros son esenciales para determinar la velocidad de trabajo y los requerimientos del motor a utilizar.

Estos valores se calculan de la siguiente manera:

$$\text{Densidad } (\delta) = \frac{\text{Masa } (m)}{\text{Volumen } (V)}, \quad [\text{kg}/\text{m}^3]$$

$$\text{Flujo de Helado} = \frac{\text{Volumen } (V)}{\text{Tiempo } (t)}, \quad [\text{l}/\text{h}]$$

SABOR DE HELADO	DENSIDAD (kg/m ³)	FLUJO DE HELADO	
		(m ³ /h)	(L/h)
Mango	836.54	0.560	560
Ron con pasas (3 gal)	713.28	0.692	692
Ron con pasas (½ gal)	714.28	0.425	425

Tabla 14. Densidades y flujos volumétricos en la producción de helado

Es preciso notar que el flujo de helado que se maneja varía dependiendo del volumen que se esté envasando. A medida que se trabaje con un menor volumen de llenado, la velocidad de la llenadora debe de reducirse para que dé el tiempo necesario para el cambio de envase, al momento en que se llenó el anterior.

B. Mecanismo de dosificación

1. **Descripción.** El mecanismo de dosificación consta de los componentes, que se esquematizan a continuación (el diseño de algunos de estos componentes se discuten con mayor precisión):

Descripción	
A	Una entrada para dosificar los sólidos (4 a 6% en volumen de helado) y otra (no se muestra en el esquema) en donde se dosificará el helado a una razón máxima de 540L/h.
B	Tornillo sin fin de acero inoxidable
C	Motoreductor con su respectivo acople al motor
D	Motor
E	Salida de la mezcla lista para ser envasada
F	Eje del tornillo sin fin
G	Sellos
H	Chumaceras

*NOTA: todo el material a utilizar es un acero inoxidable austenítico

Tabla 15. Componentes básicos del sistema

El elemento más importante del mecanismo es, sin duda, el tornillo sin fin o gusano, ya que a partir de éste se realiza el diseño de velocidad de trabajo, potencia y torque (motor y motoreductor), tipo de cojinetes a utilizar (determinado por la velocidad de trabajo), etc.

Este tipo de transportador, también llamado, sin fin o de gusano es uno de los más antiguos y versátiles del mundo. Consiste en un sistema de aspas seccionales, montadas en una tubería o un eje y que giran en una artesa. La potencia de transporte debe transmitirse a través del eje o la tubería y se ve limitada por el tamaño permisible de sus piezas. La capacidad de estos transportadores se limitan en general a aproximadamente 4.72m³/min.

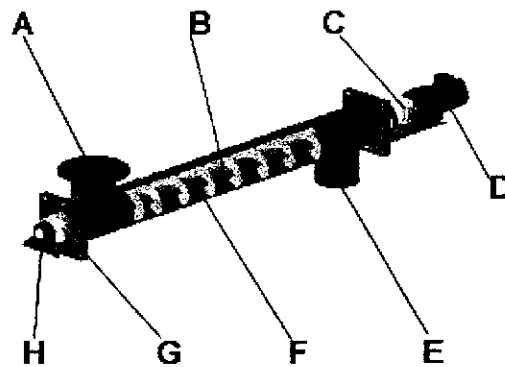


Figura 14. Diagrama del sistema de dosificación y mezcla de sólidos en el helado

Los transportadores de tornillo sin fin pueden adaptarse a una gran variedad de operaciones de procesamiento. Se puede lograr casi cualquier grado de mezcla con transportadores de tornillo sin fin de aspas recortadas. El uso de aspas de caucho permite manejar materiales pegajosos. Las unidades de aspas escalonadas o cónicas y de paso variable pueden proporcionar un control excelente para las aplicaciones de alimentación o en transportadores en los que se requieren control preciso del índice de desplazamiento. Se usan tornillos de paso corto para aplicaciones de desplazamiento inclinado y vertical y unidades de paso corto y aspas dobles, que evitan eficientemente la acción de inundación.

Además los transportadores de tornillo sin fin pueden fabricarse en gran variedad de materiales que van desde hierro colado hasta acero inoxidable. El uso de tornillos huecos y tuberías para la circulación de fluidos calientes o fríos permite que los transportadores de tornillo sin fin se usen para operaciones de calentamiento, enfriamiento y desecación. Se pueden usar tuberías recubiertas con el mismo fin. Es fácil sellar un transportador de gusano de la atmósfera exterior, para que pueda funcionar al aire libre sin protección especial. De hecho, se puede sellar completamente para funcionar en su propia atmósfera con una presión positiva o negativa y el tubo se puede aislar para mantener temperaturas internas en regiones de temperaturas ambiente elevadas o bajas. Otra ventaja adicional es el hecho de que se puede diseñar con una descarga por debajo para facilitar la limpieza, con el fin de evitar la contaminación cuando se deban manejar en el mismo sistema materiales diferentes.

Puesto que los transportadores de tornillo sin fin se hacen por lo común con secciones estándar acopladas, es preciso prestar una atención especial a los esfuerzos de torsión en los acopladores. Los cojinetes de suspensión que sostienen los tramos obstruyen el flujo de los materiales cuando la artesa se carga por encima de su nivel. Así pues, con materiales difíciles, la carga en la artesa se debe mantener por debajo de este nivel o bien utilizar cojinetes de suspensión especiales que minimicen la obstrucción.

Los transportadores de tornillo sin fin funcionan a velocidades de rotación relativamente bajas. Un acondicionamiento donde se eleva un extremo del sistema, puede causar un problema de desgaste.

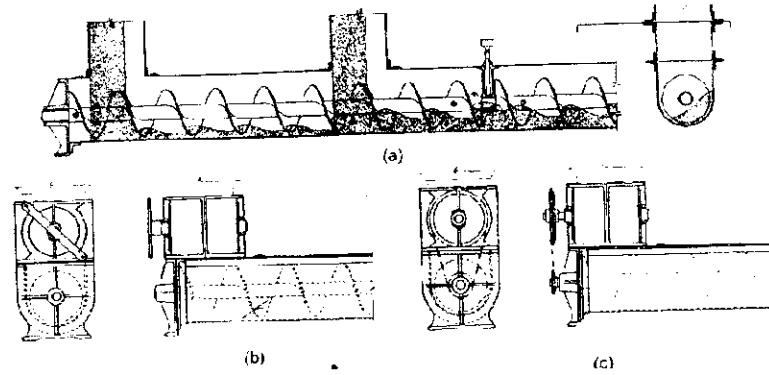


Figura 15. Diseños típicos de tornillos sin fin utilizados para sistemas de transporte

Para efectos de diseño, el tornillo sin fin se diseño con un paso corto para disminuir el posible reflujó que se pueda producir por la consistencia del helado. Esto significa que la distancia entre dos puntos (en un mismo eje) del tornillo será menor que su diámetro (las dimensiones se considerarán en la siguiente sección). Los tornillos estándares utilizan un paso igual al diámetro.

Obviamente, el material de construcción (de todo el equipo) será un acero inoxidable austenítico, debido a que es una maquinaria que se encontrará en contacto con productos alimenticios, por lo que se debe de asegurar que no existirá ningún tipo de contaminación debido a depósitos que puedan quedar acumulados en cualquier superficie de contacto. Para este efecto, se procederá a efectuar los tratamientos de limpieza respectivos después de fabricada la máquina, que fueron discutidos con anterioridad.

Por último cabe mencionar que al final de tornillo sin fin habrá una serie de paletas las cuales serán las responsables de homogenizar la mezcla. El tornillo sin fin ayuda a que se dé esta mezcla, sin embargo, esto se hace para asegurarnos que se repartan de una manera equitativa los sólidos dosificados al helado.

Otro de los elementos que es necesario considerar a la hora de realizar un diseño, son los cojinetes o rodamientos, los cuales tienen como función la sujeción del eje. Sin embargo, si se consideran las cargas que se van a manejar en este sistema, no tiene sentido realizar un cálculo para determinar el rodamiento a utilizar (lo cual no significa que no sea importante realizarlo, especialmente para fines de mantenimiento). Lo que sí es necesario, es considerar el material de construcción del rodamiento, ya que es un equipo que va a estar en contacto con productos alimenticios.

En cuanto al dosificador de sólidos en el sistema, será uno de tipo vibratorio, al cual se le ajusta la frecuencia de vibración y la inclinación de la bandeja dosificadora, para obtener la cantidad deseada de producto dosificado. De la misma manera que con los rodamientos, no es necesario realizar cálculos de diseño para su selección debido a que son equipos estándar que se ajustan de una manera empírica.

2. Dimensionamiento. El campo de los transportadores es muy amplio debido a las diversas aplicaciones que se le puede dar. La firma estadounidense Martin Sprocket & Gear se especializa en esta rama, proporcionando los parámetros de ingeniería necesarios para diseñar y dimensionar este tipo de sistemas. Esta información ha sido el resultado de muchos años de experiencia en el exitoso diseño de aplicaciones industriales estándar. Por esta razón, las relaciones y fórmulas que aparezcan más adelante son el resultado de el trabajo empírico de ésta compañía.

En orden para determinar los parámetros de funcionamiento del tornillo transportador, primero es necesario establecer el tipo de material a transportar. En las tabla proporcionadas en el Catálogo 60 de Martin Sprocket & Gear existen listados los distintos tipos de materiales a transportar. Debido a que no se encuentra listado el helado, se buscó una aproximación física del material, de manera que coincidiera no sólo con su aspecto y textura, sino que también con su densidad. Por esto se decidió utilizar el factor propuesto para las Hojuelas de Hielo.

$$\text{Factor del material} \quad F_m = 0.6$$

Después de definir el material a transportar, se necesita dimensionar el diámetro de la tubería.. Debido a que este tipo de transporte es utilizado, en su mayoría, para manejar volúmenes considerablemente altos, el diámetro mínimo que se proporciona en el mencionado catálogo es de 101.6mm (4in). Este diámetro de tubería se utiliza para producciones de hasta 3,230 l/h, y lo que se maneja en la fábrica en cuestión es de un máximo de 700 l/h, lo cual significa una quinta parte del volumen mencionado anteriormente. Por esto, se decidió tomar como base el diámetro de la tubería utilizada por las máquinas que fabrican el helado, las cuáles son de 50.8mm (2in), sin embargo, como el tornillo sin fin se encuentra en el interior de la tubería se decidió utilizar una tubería de 63.5mm (2½ in).

$$\text{Diámetro de la tubería} \quad D_t = 63.5mm \left(2 \frac{1}{2} in\right)$$

De la misma manera, se decidió utilizar un largo de tubería de 914.4mm (3ft)

$$\text{Largo de la tubería} \quad L = 914.4mm (3ft)$$

La velocidad de funcionamiento del tornillo sin fin va determinada por el diámetro del mismo. Experimentalmente se ha establecido que el estándar de carga de un tornillo sin fin puede ser del 45, 30 ó 15%. Esto significa que entre el espacio contenido entre dos vueltas del tornillo habrá un 45, 30 o 15% del volumen, de ese espacio, de material a transportar. Para efectos de diseño, se considerará un 45% de carga en el tornillo.

Como no existen datos para tubería de 63.5mm (2.5in) se obtuvo por extrapolación los datos necesarios. A continuación se proporcionan las tablas de los datos obtenidos (para RPM y capacidad máxima, en ambos sistemas de medición):

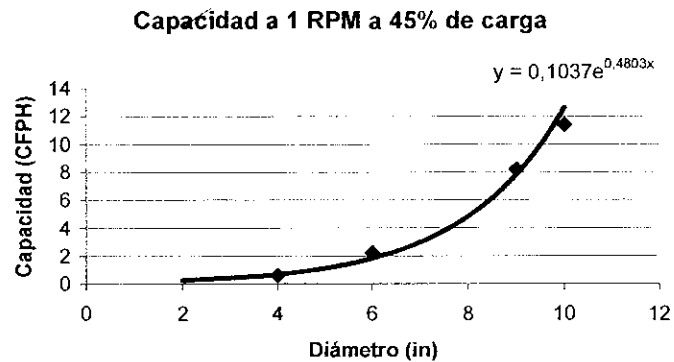


Figura 16. Capacidad de transporte a 1RPM y 45% de carga

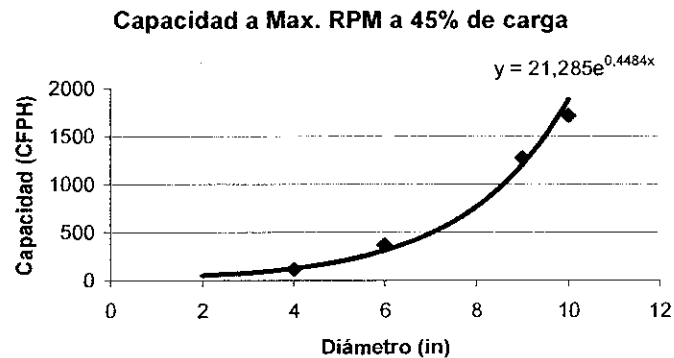


Figura 17. Capacidad a velocidad máxima a 45% de carga

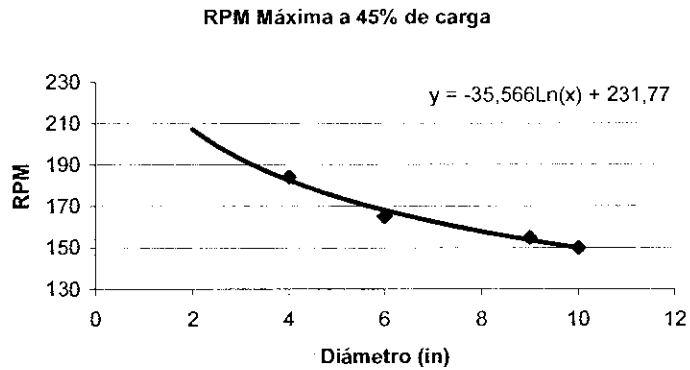


Figura 18. Velocidad máxima a 45% de carga

Capacidad máxima y mínima a 45% de carga			
Diámetro (m)	Capacidad (m ³ /h)		MAX RPM
	@ 1 RPM	@ MAX RPM	
0.0635	0.0096	1.842	199
0.1016	0.0176	3.231	184
0.1524	0.0632	10.429	165
0.2287	0.2324	35.990	155
0.2541	0.3231	48.459	150

Tabla 16. Valores de capacidades máximas y mínimas a 45% de carga (SI de medida)

Capacidad máxima y mínima a 45% de carga			
Diámetro (in)	Capacidad (ft ³ /h)		MAX RPM
	@ 1 RPM	@ MAX RPM	
2.5	0.34	65	199
4	0.62	114	184
6	2.23	368	165
9	8.2	1270	155
10	11.4	1710	150

Tabla 17. Valores de capacidad máxima y mínima a 45% de carga (sistema inglés)

$$\text{Capacidad de la fábrica} \quad Q = 0.692 \frac{m^3}{h} \left(692 \frac{l}{h} \right)$$

$$\text{Capacidad @ 45\% paso estándar} \quad Q = 0.0096 \frac{m^3}{h \times RPM} \left(9.6 \frac{l}{h \times RPM} \right)$$

Debido a que el paso del gusano es aproximadamente $\frac{2}{3}$ del diámetro del gusano, se debe de hacer una corrección en la capacidad de producto transportado.

$$\text{Factor de corrección} \quad CF_1 = 1.5$$

$$\text{Corrección de capacidad} \quad Q = CF_1 \times \text{Capacidad requerida} = 1.5 \times 0.692 \frac{m^3}{h} = 1.0395 \frac{m^3}{h}$$

$$\text{Velocidad de trabajo} \quad V = \frac{\text{Capacidad de la fábrica}}{\text{Capacidad @ 45\%}} = \frac{1.5 \times 0.692 \frac{m^3}{h}}{0.0096 \frac{m^3}{h} \times \text{RPM}} = 108 \text{ RPM}$$

Además de la velocidad, existen otros factores que determinan la potencia que se requiere para que el mecanismo de transporte funcione adecuadamente. La potencia del motor a utilizar se calcula de la siguiente manera (es preciso notar que debido a que estas relaciones son experimentales sólo se pueden utilizar en el sistema inglés):

$$\text{Potencia del transportador vacío} \quad HP_f = \frac{L \times N \times F_d \times F_b}{1,000,000}$$

En donde,

L: largo total del transportador (ft)

N: velocidad de operación (RPM)

F_d: factor del diámetro del transportador

F_b: factor de cojinetes retenedores

$$\text{Potencia para mover el material} \quad HP_m = \frac{C \times L \times W \times F_f \times F_m \times F_p}{1,000,000}$$

En donde,

C: capacidad de transporte (ft³/h)

W: peso del material (lb/ft³)

F_f: factor del perfil de las aspas del gusano

F_m: factor de material

F_p: factor de aspas

$$\text{Potencia total } HP = \frac{(HP_f + HP_m)F_o}{e}$$

En donde,

F_o : factor de seguridad

e : eficiencia de la transmisión

Para determinar la potencia requerida para el sistema sin carga, es decir, sin la presencia del helado, es necesario determinar los factores del diámetro del gusano y del tipo de cojinetes a utilizar. Los datos utilizados para realizar este cálculo se presentan a continuación:

Factor del diámetro del transportador, F_d		
Diámetro (in)	Diámetro (m)	Factor F_d
2.5	0.0635	9
4	0.1016	12
6	0.1524	18
9	0.2287	31
10	0.2541	37

Tabla 18. Valores de los factores por diámetro del transportador

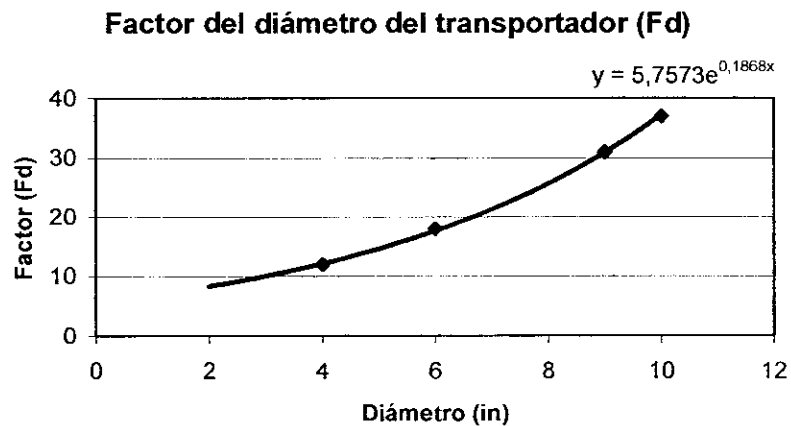


Figura 19. Factor de diámetros de transportador

$$\text{Factor del diámetro del transportador } F_d = 9$$

Para el factor de los cojinetes se consideró la utilización de cojinetes de bolas estándar:

Factor de cojinetes retenedores $F_b = 1.0$

$$HP_f = \frac{3 \times 108 \times 9 \times 1}{1,000,000} = 0.002916 \text{ hp (2.17 W)}$$

La potencia requerida para mover el material es proporcional a los factores de material, del perfil de las aspas y el de la forma de las aspas. Como se mencionó con anterioridad el material considerado para efectos de cálculo son las Hojuelas de hielo, el perfil de las aspas es estándar y existirá un aspa por paso del gusano. Los factores se muestran a continuación:

Factor del material $F_m = 0.60$

Factor del perfil de aspas $F_f = 1.00$

Factor de aspas $F_p = 1.29$

$$HP_m = \frac{24.45 \times 3 \times 52 \times 0.60 \times 1.00 \times 1.29}{1,000,000} = 0.002953 \text{ hp (2.20 W)}$$

El factor de la transmisión se consideró como la de un motoreductor con acople el factor de seguridad se calcula con los datos que se proporcionan a continuación:

Factor de la transmisión $e = 0.95$

Factor de seguridad (F_o)	
HP	Factor F_o
0.005869	5.05
0.200000	3.00
0.250000	2.88
0.300000	2.75
0.350000	2.68
0.400000	2.60

Tabla 19. Valores de factores de seguridad

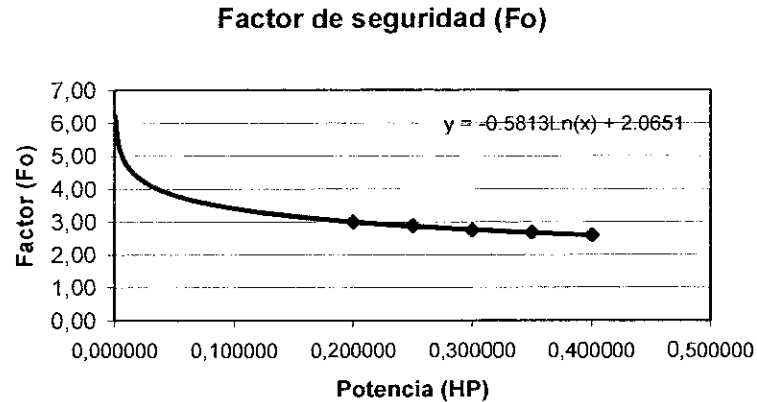


Figura 20. Factores de seguridad

Factor de seguridad $F_o = 5.05$

$$HP = \frac{(0.002916 + 0.002953) \times 5.05}{0.95} = 0.03121 \text{ hp (23.27 W)}$$

La potencia del motor nos sugiere una menor a $\frac{1}{8}$ hp. Sin embargo la selección de este componente estará sujeto a lo que se encuentra disponible en el mercado.

Otro parámetro muy importante a considerar es el torque transmitido por el motor a las partes móviles del sistema. Esta variable depende de la potencia del motor y de la velocidad de operación. Así mismo, el torque, va a determinar el diámetro mínimo a utilizar en el eje del tornillo si fin.

$$P = \tau \times \omega$$

En donde,

ω : velocidad angular (rad/s)

τ : torque (N-m)

P: potencia (W)

Torque del sistema $\tau = \frac{P}{\omega} = \frac{23.27}{108 \times \frac{2\pi}{60}} = 2.06 \text{ N-m}$

El diámetro mínimo del eje del gusano se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{J}{c} = \frac{T}{\tau} = \frac{1}{2} \pi c^3$$

En donde:

J. es el momento de inercia del eje (m^4)

C: es el radio del eje (m)

T: es el torque del sistema (N-m)

τ : es el esfuerzo máximo a corte (Pa)

Para efectos de cálculo se consideró el esfuerzo máximo a corte (τ) del acero inoxidable 316.

$$\text{Radio mínimo de eje} \quad c = \sqrt[3]{\frac{2 \times T}{\pi \tau}} = \sqrt[3]{\frac{2 \times 12.93}{\pi \times 130E6}} = 1.004E-4 \quad m$$

$$\text{Diámetro mínimo de eje} \quad d = 2c = 2 \times 1.004E-4 \times 1000 = 0.2001 \quad mm$$

C. Desarrollo del prototipo

Para efectos de comprobar el desempeño de la máquina desarrollada, se pensó en la construcción del mecanismo, de una forma simplificada, pero que permitiera realizar observaciones y luego sacar conclusiones de su funcionamiento. Esto permitiría, en caso necesario, realizar las correcciones pertinentes en cualquiera de los parámetros de diseño establecidos, para luego poder construir la máquina de una forma definitiva.

Para su construcción se consideró varias opciones: compra de materiales nuevos (acero inoxidable), utilización de chatarra, otros materiales (polímeros, madera, etc.) e incluso piezas similares de otros equipos. Sin embargo ninguna de las opciones anteriormente mencionadas fue posible debido a que la compra de materiales nuevos y su maquinado requería de una inversión inicial demasiado alta (Q.10,000.00 aproximadamente), y no se encontraron piezas similares de otros equipos, fundamentalmente porque la

aplicación tratada en este trabajo es muy especial, sobre todo porque los requerimientos de operación sugieren la utilización de piezas no estándar.

En la sección de anexos se incluyen los planos de las piezas más importantes del dosificador y mezclador de sólidos en helados.

V. CONCLUSIONES

- El conocimiento del material a tratar, en este caso el helado, y establecer la finalidad de la máquina es lo más importante para la definición del mecanismo a utilizar.
- Uno de los aspectos más importantes a considerar en el diseño de una maquinaria es determinar los materiales que se usarán. Esto se debe a que juegan un importante papel en los procesos de construcción, limpieza y mantenimiento del equipo
- En la industria actual es necesaria la optimización y automatización de procesos para producir productos diferenciados, de calidad y de un bajo costo.
- En el diseño de una máquina es necesario tomar en cuenta materiales y equipos auxiliares que ofrece el mercado y la utilización de piezas estándar, con la finalidad de facilitar su construcción y mantenimiento.
- En aplicaciones muy específicas como ésta, es necesario hacer uso de relaciones físicas y mecánicas fundamentales, sin embargo es necesario referirse a estudios especializados, los cuales proveen datos empíricos, los cuales dan una mejor perspectiva para poder realizar un dimensionamiento adecuado del sistema.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un estudio financiero para establecer la factibilidad de la implementación del proyecto
- Se recomienda la construcción de un prototipo sencillo, tratando de respetar los parámetros de diseño establecidos en el presente trabajo.
- Se recomienda realizar pruebas con un modelo de la máquina para comprobar el desempeño de la misma, comportamiento de los sólidos durante la dosificación y mezcla, y homogeneidad del producto final.

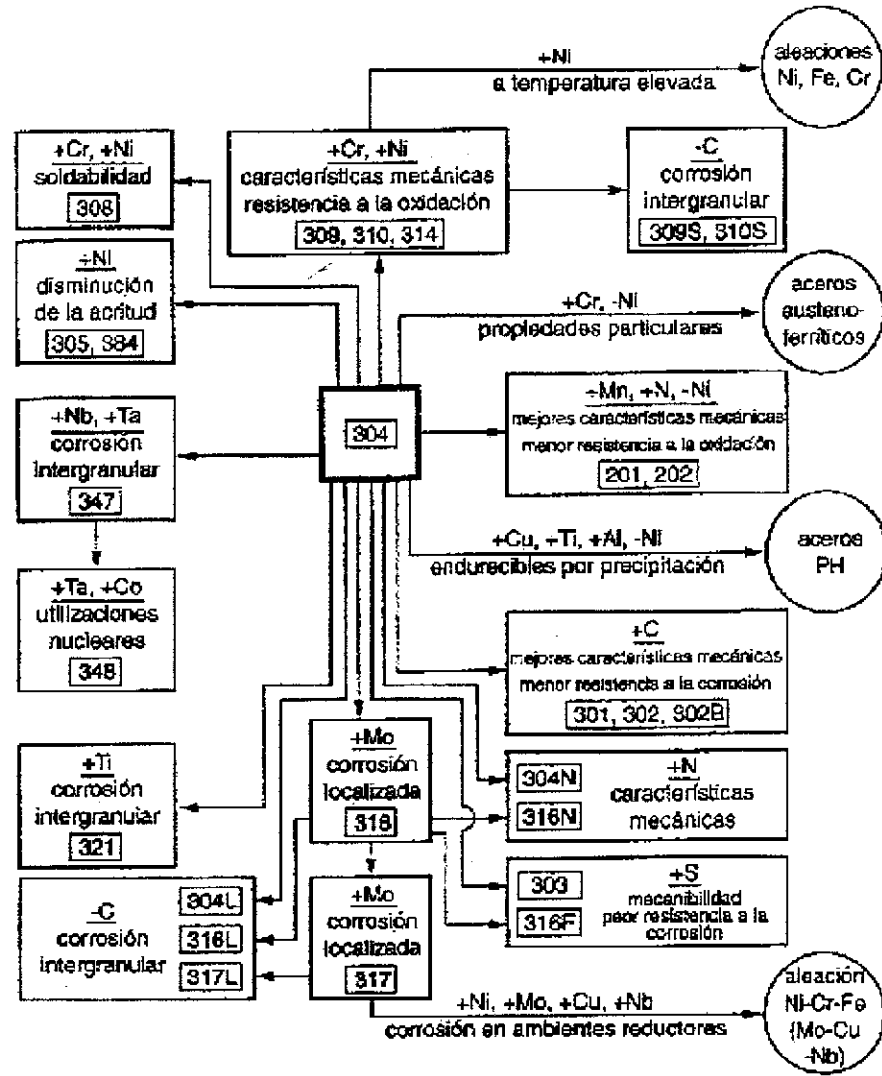
VII. BIBLIOGRAFÍA

- BEER, FERDINAND Y JOHNSTON, RUSSELL, 1997. *Mecánica de Materiales* 2da edición, México, 739págs.
- GONZÁLEZ FERNÁNDEZ J, 1989, *Control de la corrosión: Estudio y medida por técnicas electroquímicas*, Grafipen, España.
- MARTÍN SPROCKET & GEAR, INC., *Catálogo* No. 60
- MORRIS W and VAZQUEZ M, 2002, *Corrosion of reinforced concrete exposed to marine environment*, Corrosion Reviews, Vol. 20, No. 6.
- MORRIS W, VÁZQUEZ M y R DE SÁNCHEZ S, 1999, *Evaluación y diagnóstico de estructuras de hormigón armado y pretensado afectadas por corrosión*, V Congreso Iberoamericano de Patología de las Construcciones CONPAT '99, Montevideo, Uruguay.
- MORRIS W, VICO A, VÁZQUEZ M and R DE SÁNCHEZ S, 2002, *Corrosion of reinforcing steel evaluated by means of concrete resistivity measurements*, Corrosion Science, Vol. 44.
- Red DURAR (Durabilidad de la armadura), CYTED, 1997, *Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado*.
- SHIGLEY, JOSEPH Y MISCHKE, CHARLES, 2002. *Diseño en ingeniería mecánica*. 6ta. Edición. México, 2002. 1257 págs.
- CARBUROS METÁLICOS. Productos. <http://www.carburos.com/>
- ENGLEBERT, DAN. Pasivation of stainless steel. <http://www.pfonline.com/articles/119806.html>
- JJK. *New Developments In Passivation Technology*.
<http://www.corrosionsource.com/discuss2/ubb/Forum42/HTML/000001.html>
- KEY TO STEEL . *Welding of Stainless Steels*. <http://www.key-to-steel.com>
- LOPER, CARL. *Keeping stainless steels stainless, How important is passivation for stainless steel?*.
http://www2.thefabricator.com/Articles/Tube_And_Pipe_Article.

TECNOLOGÍA DE PROCESOS INDUSTRIALES. *Tratamientos a los que son sometidos los aceros
inoxidables.* <http://www.tpi.cl/pdf/biblioteca/industrial/tratam.pdf>

UNIVERSIDAD DE ECUADOR. *Soldadura.* <http://facultad.usfq.edu.ec/sae/suelda.html>

VIII. ANEXOS



Análisis Químico de aceros inoxidable austeníticos forjados, %, de los principales elementos

(Máximo, a menos que se indique otra cosa)

Tipo AISI o nombre común (UNS)	C	Cr	Ni	Mo	Otro
304 (S30400)	0.08	18.0 - 20.0	8.0 - 10.5	-	0.10 N
304 L (S30403)	0.03	18.0 - 20.0	8.0 - 12.0	-	0.10 N
309 (S30900)	0.20	22.0 - 24.0	12.0 - 15.0	-	-
310 (S31000)	0.25	24.0 - 26.0	19.0 - 22.0	-	-
316 (S31600)	0.08	16.0 - 18.0	10.0 - 14.0	2.0 - 3.0	0.10 N
316L (S31603)	0.03	16.0 - 18.0	10.0 - 14.0	2.0 - 3.0	0.10 N
317 (S31700)	0.08	18.0 - 20.0	11.0 - 15.0	3.0 - 4.0	0.10 N
317L (S31703)	0.03	18.0 - 20.0	11.0 - 15.0	3.0 - 4.0	0.10 N
317 LM (S31725)	0.03	18.0 - 20.0	13.0 - 17.0	4.0 - 5.0	0.10 N
321 (S32100)	0.08	17.0 - 19.0	9.0 - 12.0	-	5 x %C mín, 0.70 máx Ti
347 (S34700)	0.08	17.0 - 19.0	9.0 - 13.0	-	10 x %C mín, 1.10 máx. (Nb + Ta)
Aleación 904L (N08904)	0.02	19.0 - 23.0	23.0 - 28.0	4.0 - 5.0	1.0 - 2.0 Cu
Aleación 254 SMO* (S31254)	0.02	19.5 - 20.5	17.5 - 18.5	6.0 - 6.5	0.18 - 0.22 N 0.50 - 1.00 Cu
AL-6XN* (N08367)	0.03	20.0 - 22.0	23.5 - 25.5	6.0 - 7.0	0.18 - 0.25 N 0.75 Cu
1925 hMo* (N08926)	0.02	20.0 - 21.0	24.5 - 25.5	6.0 - 6.8	0.18 - 0.20 N 0.8 - 1.0 Cu
20 Mo-6* (N08026)	0.03	22.0 - 26.0	33.0 - 37.0	5.0 - 6.7	2.0 - 4.0 Cu
20 Cb-3* (N08020)	0.07	19.0 - 21.0	32.0 - 38.0	2.0 - 3.0	3.0 - 4.0 Cu 8 x %C mín, 1.00% máx.
25-6 MO* (N08926)	0.02	19.0 - 21.0	24.0 - 26.0	6.0 - 7.0	0.15 - 0.25 N 0.5 - 1.5 Cu

* 254 SMO es una marca de Avesta AB

AL-6XN es una marca de Allegheny Ludlum Steel Corporation

1925 hMo es una marca de VDM Nickel Technologie A.G.

20 Mo-6 y 20 Cb-3 son marcas de Carpenter Technology Corp.

25-6 MO es una marca de Inco Alloys International, Inc.

Análisis químico de fundiciones de aceros inoxidables resistentes a la corrosión, %, de los principales elementos

(Máximo, a menos que se indique otra cosa)

Tipo ACI (UNS)	Tipo similar forjado	C	Cr	Ni	Mo	Otros	Estructura más común	Templado a (°C)
CF-8 (J92600)	304	0.08	18.0 - 21.0	8.0 - 11.0	-	-	Ferrita en austenita	1035 - 1120
CF-3 (J92500)	304L	0.03	17.0 - 21.0	8.0 - 11.0	-	-	"	1035 - 1120
CF-8M (J92900)	316	0.08	18.0 - 21.0	9.0 - 12.0	2.0 - 3.0	-	"	1035 - 1120
CF-3M (J92800)	316L	0.03	17.0 - 21.0	9.0 - 13.0	2.0 - 3.0	-	"	1065 - 1120
CN-7M (N08007)	20Cb-3 (1)	0.07	19.0 - 22.0	27.5 - 30.5	2.0 - 3.0	3.0 - 4.0 Cu	Austenita	1120 mín.
CK-3M Cu (J93254)	Aleación 254 SMO (2)	0.02	19.5 - 20.5	17.5 - 18.5	6.0 - 6.5	0.18 - 0.22 N 0.50 - 1.00 Cu	Austenita	1150 - 1205
CA-6NM (J91540)		0.06	11.5 - 14.0	3.5 - 4.5	0.4 - 1.0	-	Martensita	1035 - 1065
CD-7MCuN	Ferrallium 255 (3)	0.04	24.0 - 27.0	4.5 - 6.5	2.0 - 4.0	0.10 - 0.25 N 1.5 - 2.5 Cu	Dúplex - austenita y ferrita	1050 mín
CD-3MN ASTM-A-890, Gr4A (J92205)	2205	0.03	21.0 - 23.5	4.5 - 6.5	2.5 - 3.5	0.10 - 0.30 N	Dúplex - austenita y ferrita	1120 mín.
Zeron 100 (4) (J93380)	Zeron 100 (4)	0.03	24.0 - 26.0	6.0 - 8.5	3.0 - 4.0	0.2 - 0.3 N	Dúplex - austenita y ferrita	1120 mín.

(1) 20Cb-3 es una marca de Carpenter Technology Corporation

(3) Ferrallium es una marca de Langley Alloys, Ltd.

(4) Zeron 100 es una marca de Weir Material Services, Ltd.

(2) 254SMO es una marca de Avesta AB

Análisis químico de aceros inoxidables dúplex, %, de los principales elementos

(Máximo, a menos que se diga otra cosa)

Nombre Común (UNS)	C	Cr	Ni	Mo	Otros
7-Mo PLUS ⁽¹⁾	0.03	26.0 - 29.0	3.5 - 5.2	1.0 - 2.5	0.10 - 0.35 N
Aleación 2205 (S31803)	0.03	21.0 - 23.0	4.5 - 6.5	2.5 - 3.5	0.08 - 0.20 N
FERRALIUM 255 ⁽²⁾	0.03	24.0 - 27.0	4.5 - 6.5	2.0 - 4.0	0.10 - 1.25 N 1.5 - 2.5 Cu
SAF 2507 ⁽³⁾ (S32750)	0.03	24.0 - 26.0	6.0 - 8.0	3.0 - 5.0	0.24 - 0.32 N
Zeron 100 ⁽⁴⁾ (S32760)	0.03	24.0 - 26.0	6.0 - 8.0	3.0 - 4.0	0.5 - 1.0 Cu 0.5 - 1.0 W 0.2 - 0.3 N

(1) 7-Mo PLUS es una marca de Carpenter Technology Corporation

(2) FERRALIUM es una marca de Langley Alloys, Ltd.

(3) SAF 2507 es una marca de Sandvik AB

(4) Zeron 100 es una marca de Weir Material Services, Ltd.

Composición típica de los metales de aporte para aceros inoxidable dúplex

Nombre común del metal de aporte (UNS)	Para soldar metal base	C	Cr	Ni	Mo	Otros
Electrodos recubiertos						
2209-16 (1) (W39209) tentativo	2205 (S31803)	0.03	23	9.7	3.0	0.10 N
22.9.3.L-16 (2)	3RE60 (S31500)	0.03	22	9.5	3.0	0.15 N
22.9.3.L-15 (2)	2205 (S31803)					
22.9.3.LR	2304 (S32304)					
7-Mo PLUS enriquecido en Ni (3)	7-Mo PLUS (S32950)	0.03	26.5	9.5	1.5	0.20 N
FERRALIUM 255 (4) (W39553) tentativo	FERRALIUM 255 (S32550)	0.03	25	7.5	3.1	0.20 N 2.0 Cu
Alambre desnudo						
22.8.3L (2)	3RE60 (S31500) 2205 (S31803) 2304 (S32304)	0.01	22.5	8.0	3.0	0.10 N
7-Mo PLUS enriquecido con Ni (3)	7-Mo PLUS (S32950)	0.02	26.5	8.5	1.5	0.20 N
FERRALIUM 255 (4) (S39553) tentativo	FERRALIUM 255 (S32550)	0.03	25	5.8	3.0	0.17 N
Zeron 100 (5)	Zeron 100 (S32760)	0.03	25	10*	3.5	0.25 N 0.7 Cu 0.7 W
Alambre con alma rellena						
In-flux 2209-0 (1) (W31831)	2205 (S31803)	0.02	22.0	8.5	3.3	0.14 N
In-flux 259-0 (1)	FERRALIUM 255 (S32550)	0.02	25.0	10.0	3.2	0.14 N 2.0 Cu

(1) 2209-16, In-flux 2205-0 e In-flux 259-0 son marcas de Teledyne McKay

(1) 22.9.3.L-16, 22.9.3.L-15, 22.9.3.LR y 22.8.3.L son marcas de Sandvik AB

(2) 7-Mo PLUS es una marca de Carpenter Technology Corporation

(3) FERRALIUM es una marca de Langley Alloys, Ltd.

(4) Zeron 100 es una marca de Weir Material Services, Ltd.

* Cuando la junta es tratada térmicamente después de la soldadura, el Ni deberá ser 6.0-8.0%

**Metales de aporte sugeridos para la soldadura
de algunos aceros inoxidables martensíticos,
ferríticos y endurecibles por precipitación**

Metal de base	Electrodos recubiertos	Varillas y electrodos desnudos
AISI (UNS) Tipo 410 (forjado) (S41000)	AWS A5.4 (UNS) E410 (W41010)	AWS A5.9 (UNS) ER410 (W41040)
CA-15 (fundido) (J91540)	E410 (W41010)	ER410 (W41040)
CA-6NM (fundido) (J91540)	E410NiMo (W41016)	ER410NiMo (W41046)
Tipo 430 (forjado) (S43000)	E430 (W43010)	ER430 (W43040)
17-4PH (S17400)	E630 ⁽¹⁾ (W37410)	ER630 ⁽¹⁾ (W37440)

⁽¹⁾ Cuando la soldadura no necesita tener la resistencia del metal de base, se puede usar E 308 (UNS W30810) o ER 308 (UNS W30840)

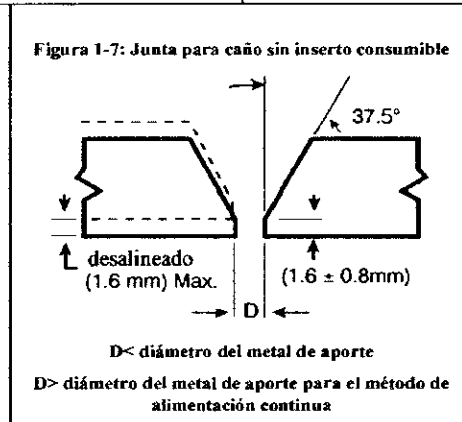
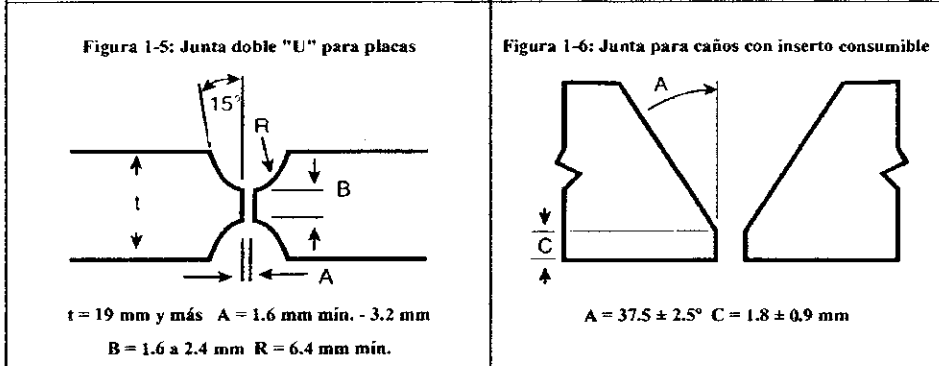
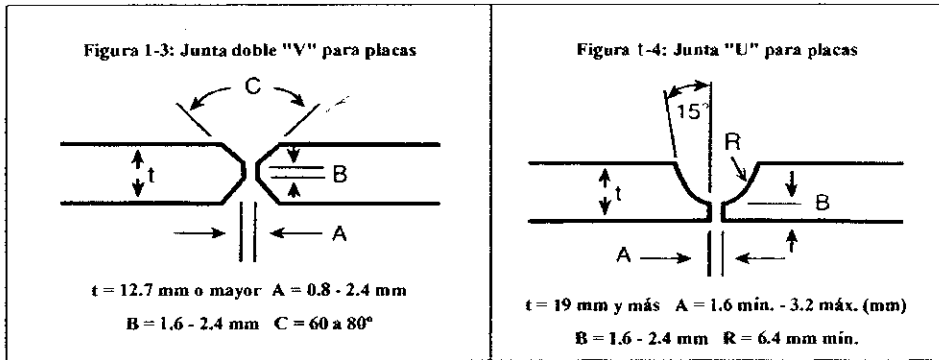
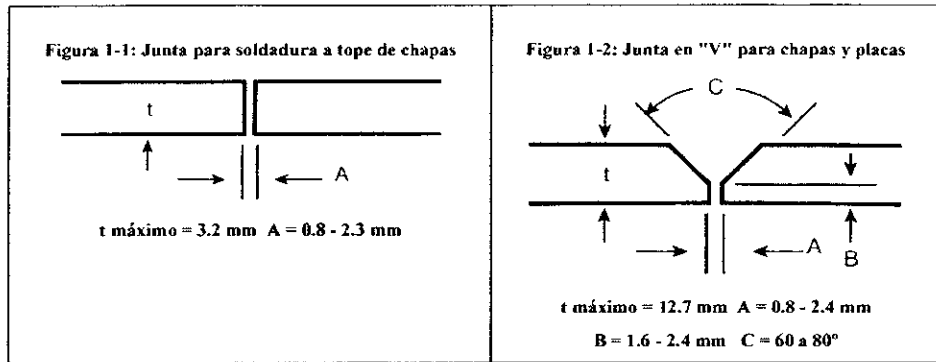
Formas de presentación de los productos de acero inoxidable

Item	Descripción	Espesor	Ancho	Diámetro o tamaño
Chapas	Bobinas y cortadas a medida:			
	Terminación de laminación n° 1, 2D y 2B	Debajo de 4.75 mm	600 mm y más	-
	Terminación por pulido n° 3, 4, 6, 7 y 8	Debajo de 4.75 mm	todos los anchos	-
Flejes	Laminados en frío, bobinas o cortados a medida	Debajo de 4.75 mm	Menos de 600 mm	-
Planchas	Rolada plana o forjada	4.75 mm y más	Más de 254 mm	-
Barras	Laminadas en caliente, cuadradas, hexagonales y octogonales	-	-	6.35 mm y más
	Planas laminadas en caliente	3.2 mm y más	6.35 mm a 254 mm inclusive	-
	Laminadas en frío, redondas, cuadradas, hexagonales y octogonales	-	-	más de 30.5 mm
	Planas laminadas en frío	-	9.5 mm y más	-
Varillas	Laminadas en caliente, redondas, cuadradas, octogonales y hexagonales en bobinas para laminación en frío o trefilado en frío	-	-	6.35 mm a 19.05 mm
Alambres	Laminados en frío solamente: Redondos, cuadrados, octogonales, hexagonales, planos	0.25 mm a 4.75 mm	1.57 mm a 9.5 mm	12.7 mm y menos
Extrudados	No considerados perfiles estándar, pero de mucho interés. Normalmente limitados en tamaño a aproximadamente; los circulares a 165 mm de diámetro o estructurales a 127 mm de diámetro			
Tubos	Dimensiones de acuerdo con el diámetro exterior y espesor de pared			
Caños	Tamaño nominal de caño es el diámetro interior desde 3.175 mm (0.125 pulg.) hasta e incluyendo 304.8 mm (12 pulg.). Tamaño nominal de caño es el diámetro exterior para 355.6 mm (14 pulg.) y más. El espesor de pared se expresa como Schedule (5S, 10S, 20, 30, 40, 80, 120, 160, XX y sus variaciones) para todos los tamaños nominales de caños			

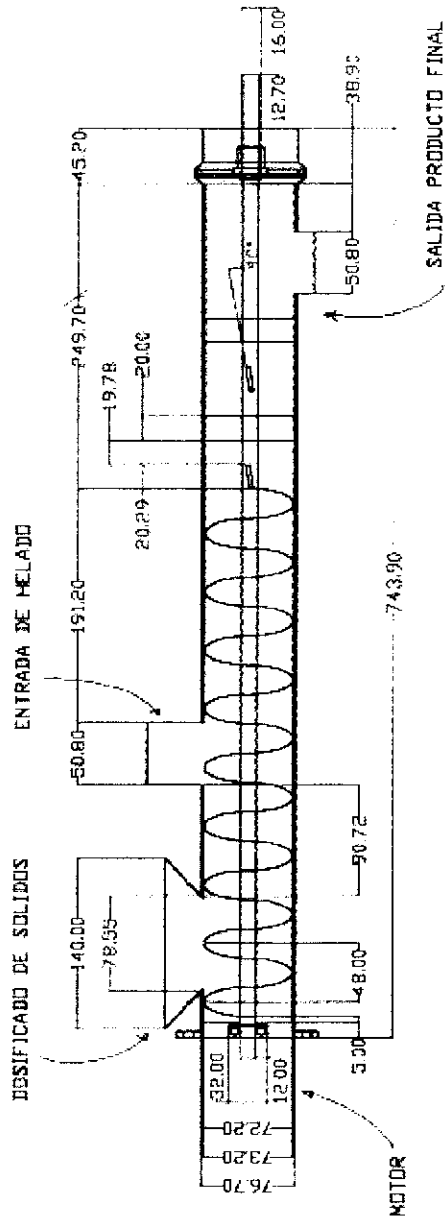
Influencia de las propiedades físicas en la soldadura de aceros inoxidable austeníticos, comparados con el acero al carbono

	Aceros inoxidables austeníticos	Aceros al carbono	Observaciones
Punto de fusión (Tipo 304)	1400 - 1450 °C	1540 °C	El Tipo 304 requiere menos calor para producir la fusión, lo cual significa una soldadura más rápida para el mismo calor, o menos calor para la misma velocidad
Respuesta magnética	No magnético a todas las temperaturas ⁽¹⁾	Magnético hasta más de 705 °C	Los aceros inoxidable al níquel no están sujetos a la sopladura de arco
Velocidad de conductividad térmica A 100 °C A 650 °C	28% 66%	100% 100%	El Tipo 304 conduce el calor mucho más lentamente que los aceros al carbono, lo cual produce gradientes de temperatura más pronunciados. Esto acelera la deformación. Una difusión más lenta del calor a través del metal de base significa que la zona soldada permanece caliente por más tiempo, resultado de lo cual puede ser una mayor precipitación de carburos, a menos que se usen medios artificiales para extraer el calor, tales como barras enfriadoras, etc
Resistencia Eléctrica (aleado) (microhm.cm, aprox.) a 20 °C a 885 °C	72.0 126.0	12.5 125	Esto es importante en los métodos de fusión eléctrica. La resistencia eléctrica más grande del tipo 304 resulta en la generación de más calor para la misma corriente, o la misma cantidad de calor con menos corriente, comparado con los aceros al carbono. Esta propiedad, junto con una menor velocidad de conductividad térmica, resulta en la efectividad de los métodos para soldadura por resistencia del Tipo 304
Expansión térmica en el rango indicado pulg./pulg.°C x 10 ⁻⁶	17.6 (20 - 500 °C)	11.7 (20 - 628 °C)	El tipo 304 se expande y contrae a una velocidad más alta que el acero al carbono, lo cual significa que se debe permitir expansión y contracción a fin de controlar la deformación y el desarrollo de tensiones térmicas después del enfriamiento. Por ejemplo, para el acero inoxidable deben usarse más puntos de soldadura que para el acero al carbono

(1) Los aceros inoxidable dúplex son magnéticos.



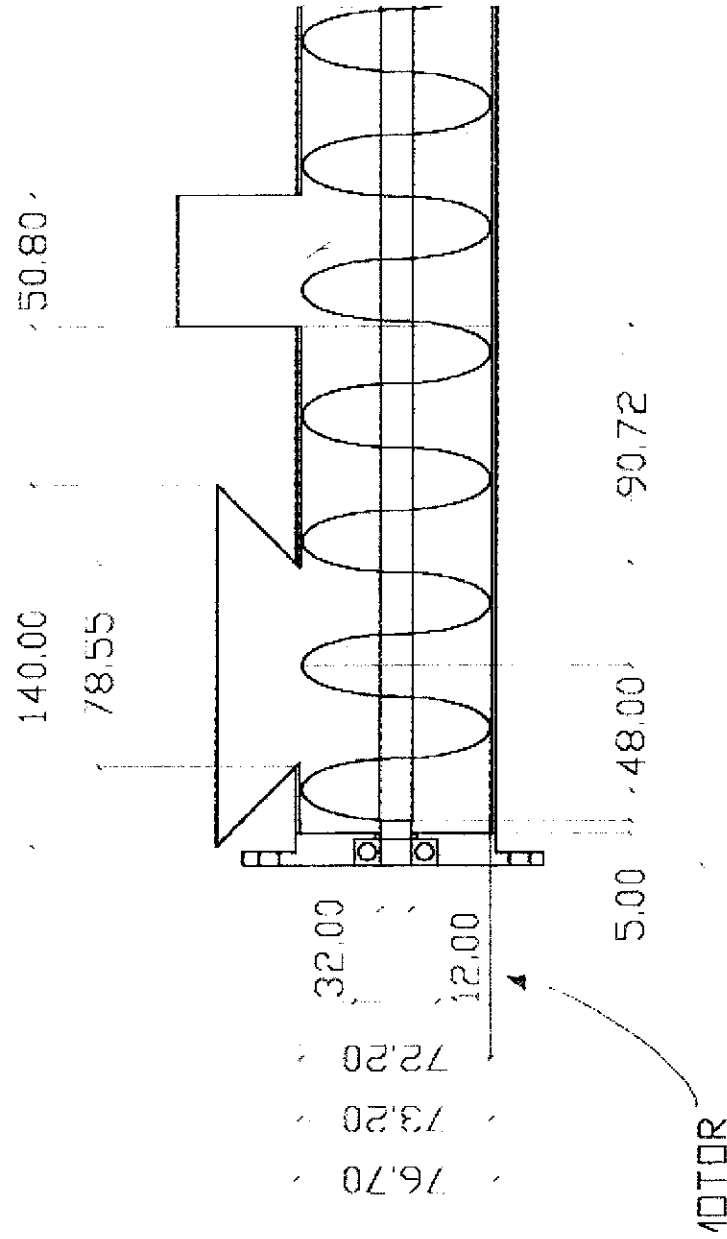
ESCALA 1/4000



PROYECTO: DOSIFICADOR Y MEZCLADOR DE SOLIDOS EN HELADO

AUTOR: RODRIGO RUIZ MOTTA

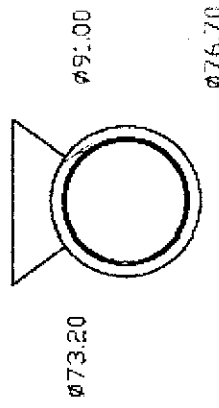
COTAS EN MM



COTAS EN MM	PROYECTO: DOSIFICADOR Y MEZCLADOR DE SOLIDOS EN HELADO
	AUTOR: RODRIGO RUIZ MOTTA
	FECH:

CORTE (VISTA ENTRADA)

100.00



91.00

27.20

28.10

4.00

16.00

22.10

76.76

91.30

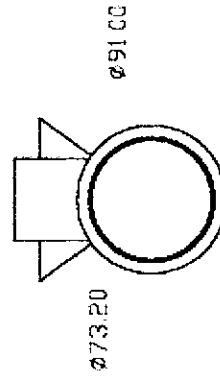
3.00

ACOPLE (FINAL EJE

CORTE (VISTA SALIDA)

100.00

50.80



73.20

91.00

76.70

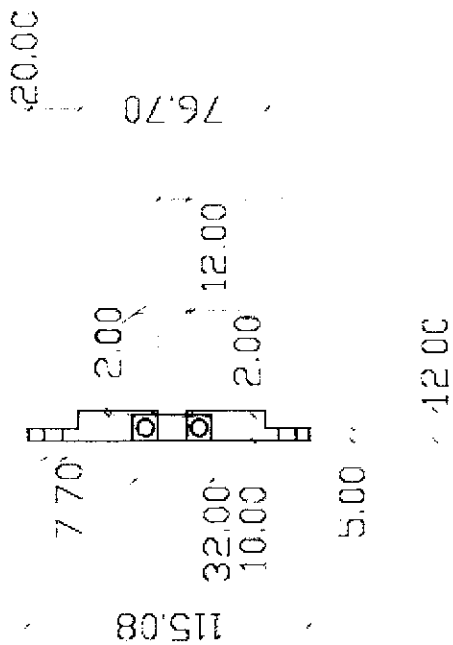
ESCALA 1:3000

COTAS EN MM

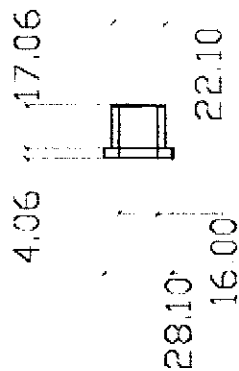
PROYECTO: DOSIFICADOR Y MEZCLADOR DE SOLIDOS EN HELADO

AUTOR: RODRIGO RUIZ MOTTA

FERRULA (ACOPLE MOTOR)



BUSHING (FINAL DE EJE)



ESCALA 1:2000

PROYECTO: DOSIFICADOR Y MEZCLADOR DE SOLIDOS EN HELADO
 AUTOR: RODRIGO RUIZ MOTTA

COTAS EN MM

