



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Maestría en Ingeniería de Mantenimiento

**REACONDICIONAMIENTO DE PARTES INTERNAS DE VÁLVULA  
DIVERGENTE PARA MATERIALES SÓLIDOS ABRASIVOS EN PLANTA DE  
CEMENTO**

**Ing. Gerardo José Lobos Guerra**

Asesorado por el Msc. Guillermo Rodolfo Rivera Guirola

Guatemala, noviembre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**REACONDICIONAMIENTO DE PARTES INTERNAS DE VÁLVULA  
DIVERGENTE PARA MATERIALES SÓLIDOS ABRASIVOS EN PLANTA DE  
CEMENTO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ING. GERARDO JOSÉ LOBOS GUERRA**

ASESORADO POR EL MSC. GUILLERMO RODOLFO RIVERA GUIROLA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
EXAMINADOR	Ing. Cesar Augusto Akú Castillo
EXAMINADOR	Ing. Pedro Miguel Agreda Girón
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **REACONDICIONAMIENTO DE PARTES INTERNAS DE VÁLVULA DIVERGENTE PARA MATERIALES SÓLIDOS ABRASIVOS EN PLANTA DE CEMENTO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Posgrado con fecha 11 de agosto de 2011.

**Ingeniero Gerardo José Lobos Guerra**

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### REACONDICIONAMIENTO DE PARTES INTERNAS DE VÁLVULA DIVERGENTE PARA MATERIALES SÓLIDOS ABRASIVOS EN PLANTA DE CEMENTO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Posgrado con fecha 11 de agosto de 2011.



Ingeniero Gerardo José Lobos Guerra



Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios  
De Postgrado

Como Revisor de la Maestría en Ingeniería de Mantenimiento del trabajo de tesis de graduación titulado **REACONDICIONAMIENTO DE PARTES INTERNAAS DE VÁLVULA DIVERGENTE PARA MATERIALES SÓLIDOS ABRASIVOS EN PLANTA DE CEMENTO**. Presentado por el Ingeniero Mecánico **Gerardo José Lobos Guerra**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

*"ID Y ENSEÑAD A TODOS"*



Dra. Mayra Virginia Castillo Montes  
Directora  
Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, noviembre de 2012.

Cc: archivo  
/la



Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios  
De Postgrado

Como Coordinador de la Maestría en Ingeniería de Mantenimiento, y revisor del trabajo de tesis de graduación titulado **“REACONDICIONAMIENTO DE PARTES INTERNAS DE VÁLVULA DIVERGENTE PARA MATERIALES SÓLIDOS ABRASIVOS EN PLANTA DE CEMENTO.”**, presentado por el Ingeniero Mecánico **Gerardo José Lobos Guerra**, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Msc. César Augusto Akú Castillo  
Coordinador de Maestría  
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, noviembre de 2012.

Cc: archivo  
/la



Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios  
De Postgrado

La Directora de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del trabajo de tesis de graduación titulado **“REACONDICIONAMIENTO DE PARTES INTERNAS DE VÁLVULA DIVERGENTE PARA MATERIALES SÓLIDOS ABRASIVOS EN PLANTA DE CEMENTO.”** presentado por el Ingeniero Mecánico **Gerardo José Lobos Guerra**, apruebo el presente y recomiendo la autorización del mismo.

*“ID Y ENSEÑAD A TODOS”*

  
Dra. Mayra Virginia Castillo Montes  
Directora  
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, noviembre de 2012.

Cc: archivo  
/la





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Postgrado, al trabajo de graduación de la Maestría en Ingeniería de Mantenimiento titulado: **“REACONDICIONAMIENTO DE PARTES INTERNAS DE VÁLVULA DIVERGENTE PARA MATERIALES SÓLIDOS ABRASIVOS EN PLANTA DE CEMENTO”**, presentado por el Ingeniero Mecánico **Gerardo José Lobos Guerra**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
DECANO



Guatemala, noviembre de 2012.

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por permitirme ser parte de algo más grande que mi percepción.
<b>Mis padres</b>	Por darme mucho más de lo necesario.
<b>Mis hermanos</b>	Por estar allí siempre.
<b>Mi familia y amigos</b>	Por ser un recordatorio permanente de lo que realmente importa.
<b>Maestro Guillermo Rodolfo Rivera Guirola</b>	Por su orientación, apoyo y amistad.
<b>Mis catedráticos y compañeros de cohorte</b>	Por transmitirme su experiencia y hacerme llegar más allá de mis expectativas.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser fuente de altruismo y conciencia.
<b>La Facultad de Ingeniería</b>	Por haberme dado la oportunidad de ser alguien mejor.
<b>La Escuela de estudios de Posgrado</b>	Por el apoyo mostrado y el interés en mejorar los valores académicos de cada generación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN .....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
ANTECEDENTES.....	XIX
JUSTIFICACIÓN.....	XXI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XXII
METODOLOGÍA .....	XXV
1. FUNDAMENTOS GENERALES .....	1
1.1. Industria cementera .....	1
1.1.1. Proceso productivo del cemento .....	1
1.1.2. Segmento de interés .....	4
1.2. Válvula divergente .....	4
1.2.1. Funcionamiento.....	5
1.2.2. Componentes.....	6
1.3. Desgaste .....	12
1.3.1. Tipos de desgaste.....	12
1.3.2. Desgaste predominante .....	13
1.3.3. Láminas antidesgaste .....	13
1.3.4. Consideraciones generales.....	14
2. REPARACIÓN DE ELEMENTOS INTERNOS DE LA VÁLVULA .....	17
2.1. Identificación del material base.....	17

2.2.	Parámetros de soldadura del material base .....	18
2.2.1.	Consideraciones en el proceso de soldadura .....	22
2.2.1.1.	Pre calentamiento .....	22
2.2.1.1.1.	Fórmula de Seferian .....	23
2.2.1.1.2.	Nomograma de COE .....	24
2.2.1.2.	Electrodo .....	31
2.2.1.3.	Composición química de las superficies soldadas .....	33
2.2.2.	Limitantes del espacio interno al realizar la reaparición .	37
2.3.	Procedimiento de reparación cubierta antidesgaste superior .....	38
2.3.1.	Evaluación del daño .....	38
2.3.2.	Desmontaje de la cubierta superior .....	39
2.3.3.	Colocación de tensores para evitar distorsiones en el metal .....	43
2.3.4.	Preparación de las superficies .....	43
2.3.5.	Pre calentamiento de las superficies .....	44
2.3.6.	Proceso de soldadura .....	44
2.4.	Procedimiento de reparación de la compuerta .....	46
2.4.1.	Evaluación del daño .....	46
2.4.2.	Limitantes .....	46
2.4.3.	Colocación de tensores para evitar distorsiones en el metal .....	47
2.4.4.	Preparación de las superficies .....	48
2.4.5.	Pre calentamiento de las superficies .....	48
2.4.6.	Proceso de soldadura .....	48
2.5.	Acciones preventivas .....	49
3.	DIRECTRICES PARA LA FABRICACIÓN DE CUBIERTA ANTIDESGASTE SUPERIOR .....	51
3.1.	Esquema .....	51

3.2.	Corte de los segmentos .....	52
3.3.	Unión de los segmentos .....	56
3.3.1.	Doble de segmentos triangulares .....	58
4.	ANÁLISIS DE COSTOS Y RENTABILIDAD .....	59
4.1.	Deducción de costos aproximados .....	59
4.2.	Límite de reparaciones posibles .....	63
	CONCLUSIONES .....	65
	RECOMENDACIONES .....	67
	BIBLIOGRAFÍA.....	69
	ANEXOS .....	73



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Válvula divergente de dos vías.....	5
2.	Esquema simplificado del funcionamiento de una válvula divergente de dos vías .....	6
3.	Esquema de carcasa de válvula divergente.....	7
4.	Esquema compuerta.....	8
5.	Camisa de lámina antidesgaste.....	9
6.	Chumacera y eje.....	9
7.	Cilindro neumático y acople.....	9
8.	Cubierta antidesgaste.....	10
9.	Cubierta antidesgaste.....	11
10.	Cubierta antidesgaste.....	11
11.	Diagrama de GRAVILLE.....	21
12.	Hidrógeno ml/100 g de material depositado.....	25
13.	Espesores combinados.....	26
14.	Velocidad de deposición para electrodo revestido.....	28
15.	Nomograma de COE.....	30
16.	Diagrama de SCHAEFFLER.....	36
17.	Registros laterales.....	38
18.	Fotografía de registros laterales abiertos.....	39
19.	Proceso de desmontaje de la cubierta superior.....	41
20.	Altura de soportes o tarimas.....	42
21.	Desmontaje de cubierta superior.....	42
22.	Esquema medida de soldaduras.....	45



23.	Esquemas de soldaduras.....	45
24.	Deformaciones ocasionadas por soldadura en las caras laterales de la compuerta.....	47
25.	Esquema cubierta antidesgaste superior.....	51
26.	Esquema de <i>flange</i> superior.....	53
27.	Esquema caras laterales con segmento triangular.....	54
28.	Esquema caras frontales.....	55
29.	Esquema de unión de segmentos vista frontal.....	56
30.	Esquema de unión de segmentos vista lateral.....	57
31.	Esquema de dobleces de las caras triangulares.....	58
32.	Lámina completa.....	59
33.	Costos estimados versus tiempo.....	63

## TABLAS

I.	Características de lámina antidesgaste.....	18
II.	Características del metal depositado.....	32
III.	Composición química de la soldadura.....	34
IV.	Costo aproximado total de reparación.....	60
V.	Costo materiales directos .....	60
VI.	Mano de obra directa.....	61
VII.	Costos indirectos de fabricación.....	61
VIII.	Costos consumibles .....	62

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Amp</b>	Amperios
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>CE</b>	Carbono equivalente
<b>Cm</b>	Centímetro
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>mm</b>	Milímetros
<b>Seg</b>	Segundos
<b>Tm</b>	Tonelada
<b>TTT</b>	Temperatura – tiempo - transformación
<b>ZAC</b>	Zona afectada por el calor



## GLOSARIO

<b>Aleado (de aleación)</b>	Mezcla homogénea, de propiedades metálicas, que está compuesta de dos o más elementos, de los cuales, al menos uno es un metal.
<b>Arriostrar</b>	Colocar piezas de forma oblicua para dar estabilidad y que no se deforme un armazón.
<b>Austenítico</b>	De austenita, es una forma de ordenamiento del acero. Ésta es la forma estable del hierro puro a temperaturas que oscilan entre los 723 a 1400 °C.
<b>Austenoferrítico</b>	Micro estructura de un acero que esta formada de un agregado de fase ferrita ( $\alpha$ ) y de fase austenita ( $\gamma$ ).
<b>Curva TTT</b>	Se denomina curva TTT al diagrama que relaciona el tiempo y la temperatura requeridos para una transformación isotérmica.
<b>Cromo equivalente</b>	Cantidad teórica utilizada en el diagrama de Schaeffler para predecir micro estructuras en aportes austeníticos.
<b>Desoxidante</b>	Que absorbe el oxígeno de un metal fundido.

<b>Ductilidad</b>	Es una propiedad que presentan algunos materiales, como las aleaciones metálicas que les permite bajo la acción de una fuerza, deformarse sosteniblemente sin romperse.
<b>Dureza</b>	Es la oposición que ofrecen los materiales a la penetración, la abrasión, el rayado, la cortadura.
<b>Estructura cristalina</b>	Es una forma sólida, en la que los constituyentes, átomos, moléculas, o iones están empaquetados de manera ordenada y con patrones de repetición que se extienden en las tres dimensiones del espacio.
<b>Grano fino</b>	Tamaño de estructuras metálicas que presenta mejores características mecánicas que un grano grueso.
<b>Martensita</b>	Estructura cristalina de los aceros, generada por transformaciones sin difusión de la austenita, esta estructura es la obtenida a partir del temple.
<b>Materiales disímiles</b>	Materiales distintos en sus propiedades y características.
<b>Níquel equivalente</b>	Cantidad teórica utilizada en el diagrama de Schaeffler para predecir micro estructuras en aportes austeníticos.

<b>Punto eutectoide</b>	Punto donde la temperatura de transformación de la austenita es mínima y esta se transforma en su totalidad en perlita.
<b>Recargues o rectificaciones</b>	Deposición de soldadura para regenerar superficies dañadas.
<b>Revestimiento butílico</b>	Tipo de revestimiento en electrodos de acero inoxidable, proporciona características especiales.
<b>Soldabilidad</b>	Medida de la capacidad de un metal para ser soldado con éxito.
<b>Tenacidad</b>	Capacidad de un material de absorber energía antes de alcanzar la rotura.
<b>Trabajabilidad</b>	Capacidad de un metal de ser deformado, cortado, doblado, etc.
<b>ZAC</b>	Zona afectada por el calor debido a la soldadura.



## RESUMEN

En el presente trabajo se realiza una propuesta de reacondicionamiento a una válvula divergente localizada en una planta de cemento; dicha válvula está en contacto continuo con material particulado, sumamente abrasivo, por lo que las partes internas están sometidas a un desgaste considerable; por ello, están fabricadas de un acero antidesgaste, que es básicamente un acero al manganeso con un tratamiento de temple.

A pesar de esto, el desgaste de la piezas es inevitable; las mismas han sido reparadas con anterioridad colocando parches de lámina antidesgaste por medio de uniones soldadas; estas reparaciones se han realizado si ningún tipo de análisis técnico previo, para la determinación de parámetros de soldadura adecuados que no afecten de manera importante la estructura interna del acero, de tal manera, resulta de utilidad el cálculo de dichos parámetros con base en criterios metalúrgicos, que garanticen la calidad de las reparaciones.

Hasta el momento, las soldaduras se realizan con electrodo E-7018, el cual se demuestra con base en un análisis técnico que presenta depósitos ferromartensíticos no adecuados para resistir impactos; también se analiza el electrodo recomendado por la casa fabricante de las láminas, el cual es un electrodo rico en níquel y cromo, con un contenido de ferrita delta que permite contracciones menos severas en el enfriamiento de los cordones; este electrodo también presenta características de endurecimiento bajo impacto, lo que refleja una plataforma plástica definida, haciéndolo altamente resistente a fisuras.



Se determina la necesidad de realizar un precalentamiento de 100°C previo a realizar una soldadura; esto mediante la utilización de herramientas como el diagrama de Graville, el Nomograma de COE y el criterio de Seferian, todos aplicables a la aleación en consideración.

Es importante mencionar que los cálculos se realizaron de tal manera que se pueden extender al cálculo de parámetros de soldadura de otras láminas antidesgaste con otros electrodos, pudiendo tener ambos, composiciones diferentes; esto únicamente con la sustitución de los valores de los componentes químicos.

Posteriormente, se dan las directrices para la fabricación de una cubierta reemplazable con la que cuenta dicha válvula en la parte superior; para esto se dan los esquemas para el corte y posterior armado de las partes.

Se concluye que un reacondicionamiento completo de dicha válvula con base en la comparación con el precio aproximado de reemplazo de la misma, es viable y justificado.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Proporcionar parámetros generales en el reacondicionamiento de las partes internas de una válvula divergente para materiales sólidos abrasivos, ubicada en una planta de cemento.

### **Específicos:**

1. Plantear un procedimiento adecuado de soldadura acorde al tipo de aleación específica del que están fabricadas las partes antidesgaste de la válvula.
2. Concluir sobre la conveniencia de la utilización del electrodo que se utiliza actualmente para realizar las reparaciones.
3. Definir un procedimiento de desmontaje y de reparación de los elementos internos de la válvula.
4. Realizar un esquema con directrices para la fabricación del cobertor superior de la válvula.
5. Comparar los costos aproximados de reparación y el costo de una válvula nueva.



## INTRODUCCIÓN

Una válvula divergente es básicamente un dispositivo mecánico, con el cual se puede cambiar el curso de un material en dos o más direcciones distintas; en la industria muchas veces se utiliza un mismo equipo para procesar distintos tipos de material a lo largo de cierta parte de la cadena productiva; pero a partir de cierto punto, los equipos dejan de ser comunes para todos los fines y se deben direccionar los distintos materiales, según sea necesario.

En el caso específico de este proyecto, se considera una válvula divergente de dos vías para el manejo de sólidos, situada en una planta de envasado de mezclas predosificadas de concreto; esto obliga a que el material del que está fabricada la válvula (como la mayoría de válvulas divergentes) debe contar con una resistencia no ordinaria al desgaste por abrasión, ya que el producto que pasa por la misma cae por gravedad y su granulometría y dureza varía dependiendo del producto que se esté envasando.

Los materiales a los que están expuestas las partes internas de la válvula normalmente son relaciones de cemento, grava y otros agregados, por lo que el desgaste sufrido por el constante impacto de las partículas del producto en la compuerta de la válvula es considerable, aun con materiales resistentes al desgaste; por lo que el mantenimiento, reparación o reemplazo de las partes internas de esta válvula son necesarios cada cierto tiempo. Las casas fabricantes conciben estos dispositivos con la idea de ser los proveedores únicos de sus repuestos, y en determinado punto el reemplazo de los equipos, lo que implica altos costos.

Muchas compañías optan por reparar los componentes de las válvulas y estas reparaciones se vuelven recurrentes y necesarias, ya que muchas veces el material interno es desgastado hasta el punto de presentar agujeros; a esto se suma el hecho de que al ser plantas de procesamiento continuo con paros programados para mantenimiento en el orden de horas, no siempre es viable el cambio de las partes y es necesario realizar una reparación de emergencia.

## ANTECEDENTES

Las válvulas divergentes son dispositivos mecánicos que no están pensados para el fin de dar mantenimiento indefinido a los componentes; las casas fabricantes dejan un acceso limitado a las piezas internas, con el fin de ser los únicos proveedores de los repuestos y de eventuales reemplazos de los dispositivos; pese a esto, la válvula de interés se ha reparado en repetidas ocasiones, alterando incluso la carcasa.

Estas reparaciones se han llevado a cabo sin mayores consideraciones técnicas, incluso se soldó la compuerta en reparaciones de emergencia, obviando la existencia de tornillos sobre la compuerta que permitían desprender un cubierta superficial de lámina antidesgaste y reemplazarla; de aquí la necesidad de seguir reparando la compuerta con soldadura.

Para las reparaciones se ha utilizado un electrodo del tipo E-7018, el cual, aunque es el utilizado normalmente, deja depósitos ferromartensíticos y por ende fragiliza las uniones pudiendo dañar el material, más aún si la lámina antidesgaste estará en contacto con piedras grandes, o si forma parte de algún dispositivo donde el impacto sea de importancia.

De modo que se propone una guía basada en los antecedentes de reparación actuales, para poder llevar a cabo dichas reparaciones con el respaldo de un fundamento técnico, ya que sin modificaciones mayores a la válvula no resulta práctico cambiar la compuerta.



## JUSTIFICACIÓN

Aún con una excelente resistencia al desgaste, el deterioro de las piezas internas de la válvula es inevitable, por lo que se debe contar con un procedimiento de reemplazo y/o reparación de las partes dañadas; este procedimiento de reparación debe contar con un respaldo técnico, para asegurarse de no dañar el acero del que están fabricadas las partes internas de la válvula, ya que este material es de un costo relativamente elevado.

El cobertor superior de la válvula puede ser fabricado en un taller industrial promedio, por lo que es factible la sustitución completa de este elemento cuando el desgaste lo amerite, sin embargo, la compuerta, que es la parte más importante de la válvula, no se puede desmontar de la misma y se deben realizar las reparaciones a través del agujero superior de la válvula, una vez esta esté desmontada de su sitio de trabajo.

También es importante contar con un diagrama de la válvula y sus componentes, así como con una guía para fabricar el cobertor superior cuando sea necesario.





## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los materiales sólidos que conduce la válvula divergente son altamente abrasivos, por lo que el desgaste que sufren los componentes internos de la misma es importante a pesar de ser de un acero especialmente diseñado para soportar este tipo de procesos.

Las partes de la válvula han sido reparadas en varias ocasiones y de manera recurrente, sin un análisis previo de los parámetros de importancia. Como es de esperarse, una reparación por sencilla que sea en un acero especial conlleva ciertos aspectos técnicos no intuitivos que deben ser tomados en cuenta, como el tipo de electrodo, temperatura de precalentamiento y el proceso de soldadura adecuado; esto para realizar dicha reparación sin alterar de manera importante ninguna de las propiedades mecánicas del acero base.

Actualmente se carece de un procedimiento de desmontaje de la válvula, como también de los parámetros de soldadura adecuados para realizar las reparaciones.

Basados en los argumentos anteriores, surge la pregunta central de la investigación:

¿Cuáles son los parámetros adecuados de reacondicionamiento de las partes internas de una válvula divergente ubicada en una planta de cemento?

A su vez, de esta pregunta central se derivan las siguientes preguntas específicas en relación con los aspectos de importancia, al considerar dicho reacondicionamiento.

- ¿Que parámetros deben ser considerados al soldar la aleación de la que están fabricadas las partes antidesgate de la válvula?
- ¿Por qué es adecuado o no, el electrodo que se utiliza actualmente para realizar las reparaciones?
- ¿Cuáles son los pasos a seguir en el desmontaje de la válvula y de reparación de los elementos?
- ¿Cómo se fabrica el cobertor desmontable de la válvula para su reemplazo?
- ¿Qué relación existe entre el precio de reacondicionamiento de la válvula y el precio de una válvula nueva?

## METODOLOGÍA

Se utiliza un enfoque descriptivo mixto, donde la parte cualitativa de la investigación obedece a un análisis predictivo de las características resultantes de la aleación, donde con base en criterios metalúrgicos existentes, aplicables a dicha aleación, se llega a obtener los valores adecuados de los distintos parámetros que resultan de interés en el reacondicionamiento de la válvula.

Posteriormente se involucran brevemente variables cuantitativas al realizar un análisis simple de los costos involucrados y realizar una comparación con el precio de una válvula nueva, de esta manera se logra justificar el reacondicionamiento de la válvula.

Como alcance se debe dejar claro que los procedimientos de desmontaje, fabricación y reacondicionamiento de las piezas descritas, son sugerencias basadas en el criterio propio y del asesor de este trabajo y que obedece a un previo contacto con la reparación de esta válvula, con las limitantes de espacio y características internas de la misma; por tanto, pueden diferir del criterio de otros profesionales; además el reacondicionamiento propuesto es basado en los antecedentes específicos de reparación de la válvula de interés, y se deberá evaluar la conveniencia si se quisiera aplicar a una válvula distinta que no haya sido reparada con anterioridad.

Los parámetros de soldadura son calculados para una lámina y un electrodo específico, por lo que si las características de la lámina y del electrodo varían considerablemente, se debe realizar el mismo análisis descrito en el trabajo con los nuevos valores.

El procedimiento seguido para encontrar los parámetros adecuados para realizar las soldaduras en este tipo de láminas, puede ser fácilmente extendido a otros dispositivos que utilicen una lámina similar o con mayor dureza, sometidas a trabajo más agresivo, donde el tipo de soldaduras y sus características mecánicas son de mayor importancia.

# **1. FUNDAMENTOS GENERALES**

## **1.1. Industria cementera**

El cemento es un componente básico en las economías emergentes; en muchos países, desde Asia hasta la Europa del Este, el cemento es el cohesionador del progreso, elemento fundamental para la construcción de edificios y carreteras. Razón por la cual, el 80% del cemento que se hace es utilizado en los países en desarrollo. Solamente China emplea el 45% de la producción mundial y en Ucrania se dobla la fabricación de cemento cada cuatro años.

La industria del cemento incluye las instalaciones con hornos que emplean el proceso húmedo o seco para producir cemento de piedra caliza, y las que emplean agregado liviano para producirlo a partir de esquisto o pizarra. Se utilizan hornos giratorios que elevan los materiales a temperaturas de 1400 °C.

### **1.1.1. Proceso productivo del cemento**

La primera etapa consiste en la preparación de las materias primas básicas (caliza, marga, pizarra o grava), que se extraen de canteras a cielo abierto por medio de voladuras controladas. Posteriormente, se cargan y transportan en camiones de gran tonelaje a las trituradoras donde se fragmentan hasta un tamaño aproximado de 50 mm; luego se almacenan en zonas independientes en naves de materias primas.

Además de las materias primas básicas, también se utilizan, en proporción minoritaria, otros productos que aportan calcio, silicio, aluminio o hierro, tales como cascarilla, arena, escoria, cenizas, etc; se utilizan para ajustar con mayor precisión la composición química del "crudo".

El material que sale del molino, llamado "harina de crudo", es muy fino y se almacena en silos cerrados en donde se lleva a cabo un proceso de homogeneización por medio de la introducción de aire a presión a través del fondo del silo.

Posteriormente toma parte la etapa de cocción, la "harina de crudo" se introduce a un intercambiador de calor donde se lleva a cabo un proceso de calentamiento progresivo hasta alcanzar los 1.000°C.

En este proceso y en primer lugar, el crudo se seca, luego se deshidrata y finalmente se descarbonata.

El proceso de calentamiento del crudo se realiza por intercambio de calor entre los gases calientes ascendentes procedentes de la combustión en el horno, y la materia cruda descendente que recorre el intercambiador. A continuación la materia entra en el horno, que es un tubo de dimensiones variables pero que oscila entre 45-60 metros de longitud y 3-5 metros de diámetro.

En el interior del horno se produce la combustión controlada de un combustible que alcanza temperaturas de llama de hasta 2.000°C. Dentro del horno, el crudo sigue aumentando de temperatura, alcanzando un máximo de 1.450°C, necesario para la correcta formación de los componentes responsables de las propiedades mecánicas de los cementos.

El material que sale del horno tiene aspecto de gránulos redondeados y se conoce con el nombre de "*clinker*". Para congelar su estructura cristalina y estabilizar los componentes formados a 1450°C, el clinker se enfría con aire por debajo de los 120°C. Son necesarios 1.560 Kg. de crudo para obtener 1.000 Kg. de *clinker*. Los gases resultantes del proceso de combustión se emiten a la atmósfera a través de una chimenea, a una temperatura inferior a 120°C, después de haber sido previamente pasados a través de filtros electrostáticos o de mangas que retienen más del 99,9% del polvo arrastrado. El calor contenido en los gases de salida es reutilizado en el proceso de secado y molienda del crudo y de los combustibles.

La tercera etapa se conoce como molienda, el cemento está constituido por: clinker, componentes principales, tales como: escoria de alto horno, humo de sílice, puzolana, cenizas volantes y caliza. Componentes minoritarios, regulador de fraguado.

La proporción de cada componente depende del tipo concreto de cemento fabricado. Los distintos componentes se almacenan en zonas separadas, se dosifican por medio de básculas y se añaden de manera conjunta y continuada al molino de cemento.

Al igual que en el crudo, la proporción relativa de cada componente se ajusta de manera automática con base en los resultados de los análisis efectuados por analizadores de rayos X. En el proceso de molienda, los componentes se muelen, se entremezclan íntimamente y el material se hace pasar por separadores. Si el cemento posee las características fisicoquímicas necesarias, se almacena en silos estancos. En caso contrario, se reenvía al molino para continuar su molienda. El cemento producido y almacenado se suministra en sacos.



### **1.1.2. Segmento de interés**

Existen productos en el mercado que ofrecen una solución más rápida en temas relacionados con la construcción y/o reparaciones en concreto; estos son mezclas predosificadas, listas para ser usadas, es decir que los agregados y el cemento están dosificados en una relación exacta, o lo más exacta posible, para obtener una mezcla con características específicas de resistencia, a la cual sólo se debe agregar una cantidad establecida de agua para ser utilizada; también existen mezclas especiales para hacer reparaciones o pegar mampostería.

Específicamente, la válvula divergente que es de interés, está situada en una planta envasadora de estos productos predosificados, por lo que está expuesta al contacto continuo de material altamente abrasivo, como es el cemento y agregados de distintas granulometrías.

## **1.2. Válvula divergente**

Las válvulas divergentes son dispositivos mecánicos que pueden estar automatizados o no, que encausan cierto material en una dirección específica de dos o más posibles.

Son aplicadas en procesos donde se utiliza el mismo equipo para distintos fines, pero que en cierto punto este equipo deja de ser común y es necesario encausar los distintos materiales o productos en distintas vías para que cada uno siga su propio proceso: en este punto donde se ramifica el flujo, es donde las válvulas divergentes toman un papel importante; también son de suma importancia en el envasado de distintos materiales y son de uso común en toda la industria.

En la figura 1 se puede observar la válvula de interés, una típica válvula de dos vías; el ángulo y las dimensiones pueden variar de una a otra, dependiendo de las necesidades.

Figura 1. **Válvula divergente de dos vías**



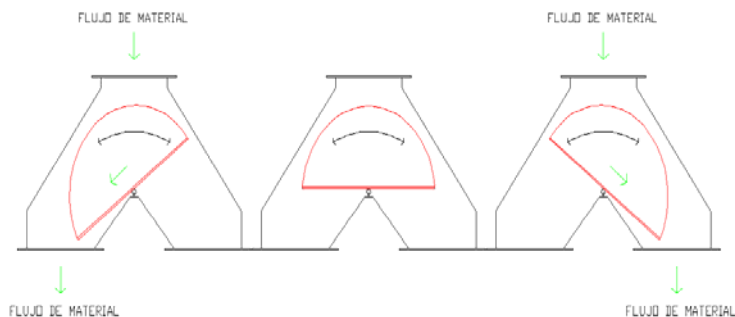
Fuente: elaboración propia, fotografía tomada en planta envasadora.

### **1.2.1. Funcionamiento**

El funcionamiento de una válvula divergente es por demás simple; consiste en una compuerta accionada normalmente por un cilindro neumático o una palanca en casos no automatizados, que habilita el flujo del material en uno de los sentidos posibles, obstruyendo a su vez el paso de material hacia el sentido contiguo; de esta manera se logra conducir el material en cualquiera de los sentidos que disponga la válvula, y se podrá cambiar la dirección del flujo cuando sea necesario.

Se ilustra un esquema simple del principio de funcionamiento en la figura 2. Como se puede observar, la compuerta encausa el flujo en una de las dos posibles direcciones; esta compuerta está fabricada de un acero resistente al desgaste, ya que el material normalmente cae por gravedad y el desgaste que se produce en la compuerta por el choque de las partículas es bastante agresivo.

Figura 2. **Esquema simplificado del funcionamiento de una válvula divergente de dos vías**



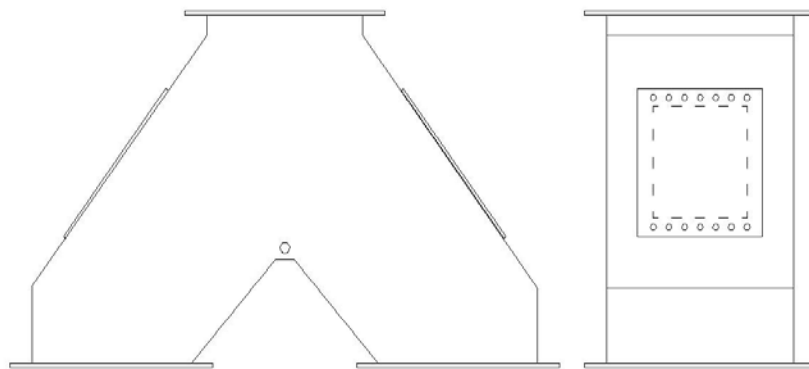
Fuente: elaboración propia.

### 1.2.2. Componentes

La válvula divergente de interés consta básicamente de los siguientes componentes:

- **Carcasa:** es todo el cuerpo exterior de la válvula, está fabricado de acero al carbono; en algunos casos está fabricada de algún acero de baja aleación, y forma en sí todo el soporte para la compuerta y su sistema; a él están soldadas los *flanges* o bridas que unirán por medio de tornillos la

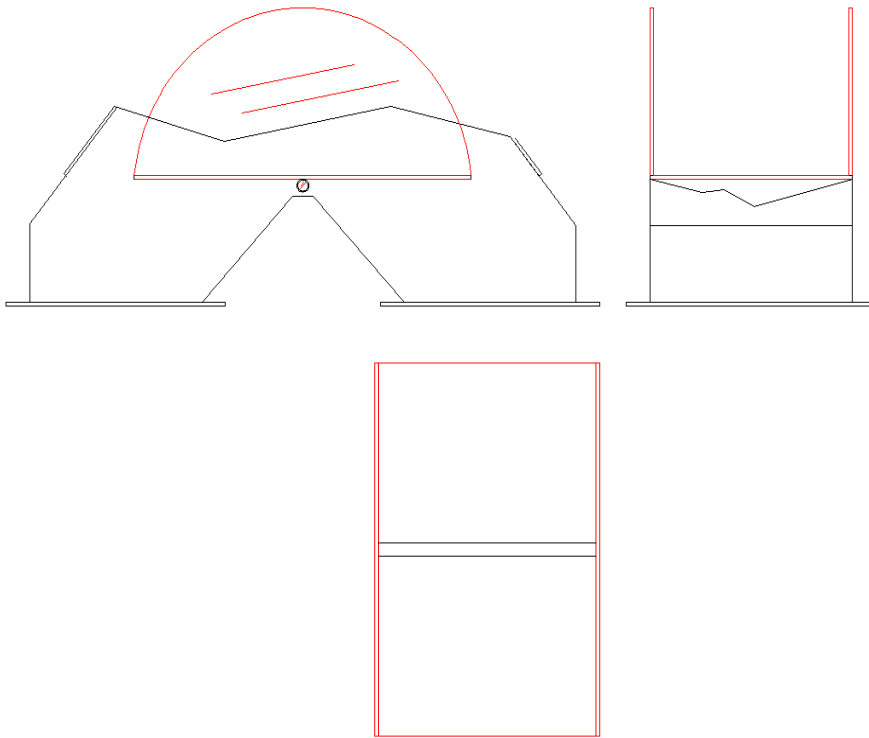
Figura 3. **Esquema de carcasa de válvula divergente**



Fuente: elaboración propia.

- Compuerta: es el dispositivo principal de una válvula divergente; es la encargada de encausar el curso del material en una u otra dirección; en el caso de la válvula de interés, la compuerta es básicamente una lámina rectangular, con un semicírculo en forma transversal en cada borde del lado largo del rectángulo. Esta compuerta está unida a un eje en su centro geométrico (lado corto del rectángulo) el cual le permite girar. Se ilustra el esquema en la figura 4.

Figura 4. Esquema compuerta



Fuente: elaboración propia.

- Eje: en la parte de abajo de la compuerta, esta cuenta con una camisa de lámina antidesgaste soldada, (figura 5); esta camisa alberga un eje de 3 cm de diámetro que permite que la compuerta gire; el eje se sujeta a la camisa por medio de tonillos de presión (castigadores), a su vez el eje descansa sobre dos chumaceras soldadas a la parte exterior de la carcasa (figura 6). En uno de los lados, el eje está unido a un cilindro neumático automatizado que impulsa la compuerta (figura 7).

Figura 5. **Camisa de lámina antidesgaste**



Unión soldada

Camisa de lámina antidesgaste

Fuente: elaboración propia, fotografía tomada en planta envasadora.

Figura 6. **Chumacera y eje**



Eje

Chumacera

Fuente: elaboración propia, fotografía tomada en planta envasadora.

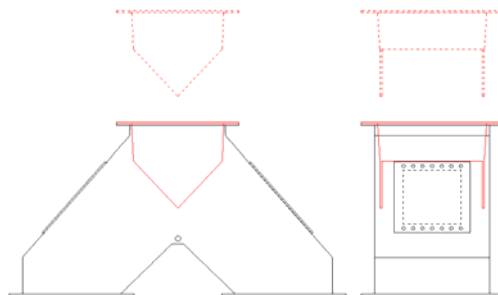
Figura 7. **Cilindro neumático y acople**



Fuente: elaboración propia, fotografía tomada en planta envasadora.

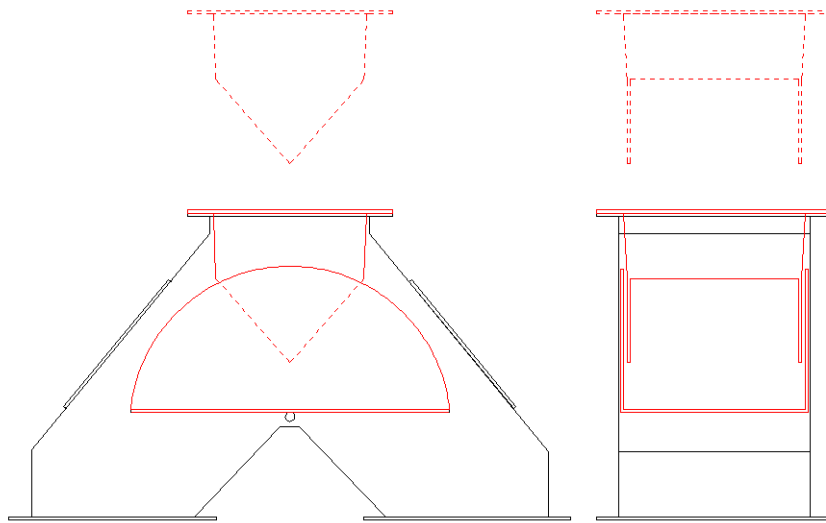
- Cubierta antidesgaste superior: el sistema cuenta con una cubierta antidesgaste desmontable, de forma tal que empata con la compuerta en cada una de las dos posiciones posibles para encausar el material, evitando que este entre en contacto con la carcasa; esto se ilustra en el esquema de la figura 8 y 9.

Figura 8. **Cubierta antidesgaste**



Fuente: elaboración propia.

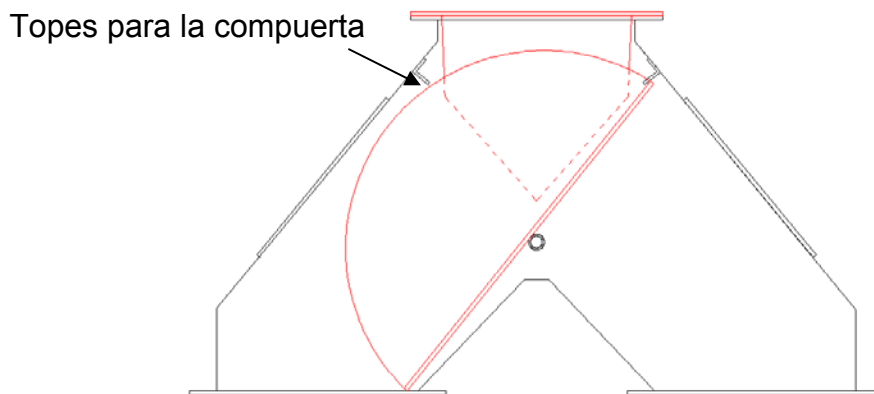
Figura 9. **Cubierta antidesgaste**



Fuente: elaboración propia

Como se muestra en la figura siguiente, el material es encausado a través de la cubierta superior y la compuerta, evitando que entre en contacto con la carcasa de la válvula.

Figura 10. **Cubierta antidesgaste**



Fuente: elaboración propia.



### **1.3. Desgaste**

El desgaste es un proceso complejo que se produce en las superficies de los cuerpos debido a la fricción de otro cuerpo o medio, trayendo como consecuencia la variación de la micro y macrogeometría superficial, la estructura, las propiedades mecánicas y físicas del material con o sin pérdida de volumen. En otras palabras es la pérdida de material progresivo debido al contacto de dos superficies o materiales con distintos grados de dureza, dando como resultado el desgaste de la superficie más suave.

#### **1.3.1. Tipos de desgaste**

- Desgaste por abrasión: es el más común en la industria, se define como la acción de corte de un material duro y agudo a través de la superficie de un material más suave. Tiende a formar ralladuras profundas cuando las partículas duras penetran en la superficie, ocasionando deformación plástica y/o arrancando virutas.
- Desgaste adhesivo: también llamado desgaste por fricción o deslizante, es una forma de deterioro que se presenta entre dos superficies en contacto deslizante. Este desgaste es el segundo más común en la industria y ocurre cuando dos superficies sólidas se deslizan una sobre la otra bajo presión. El aspecto de la superficie desgastada será de ralladuras irregulares y superficiales.
- Desgaste corrosivo: ocurre en una combinación de desgaste (abrasiva o adhesiva) y de un ambiente corrosivo. El índice de la pérdida material puede ser muy alto debido a que los productos sueltos o flojos de la corrosión se desprenden fácilmente por el desgaste y se

revela continuamente el metal fresco, que alternadamente, puede volverse a corroer rápidamente.

- **Desgaste por fatiga superficial:** se observa durante el deslizamiento repetido o rodamiento sobre una pista. Las partículas suspendidas entre dos superficies sometidas a una carga cíclica pueden causar fracturas superficiales que, eventualmente debido a la carga repetida, conllevan a la destrucción de la superficie.

### **1.3.2. Desgaste predominante**

El desgaste predominante, en este caso particular, es casi exclusivamente abrasivo; es causado por el choque continuo de partículas de cemento y agregados, que a pesar de ser partículas finas, son sumamente abrasivas, y una lámina de acero al carbono simple durará muy poco (semanas) en contacto con este material. Esto hace necesaria la utilización de un acero de dureza y tenacidad superior, para no solo resistir el desgaste abrasivo de una mejor manera, sino también poder resistir impactos moderados de arena y grava de distintos tamaños.

### **1.3.3. Láminas antidesgaste**

El acero antidesgaste que se está considerando, es un acero de grano fino, con durezas que están entre 360 y 450 HB; se utiliza en la industria minera, cementera, de agregados, plantas de generación de energía, ingenios azucareros, y en general en aplicaciones de manejo de material particulado, en condiciones de alto desgaste abrasivo por rozamiento e impacto.

Se da el nombre de aceros especiales o aceros aleados a aquellos cuyas propiedades y características son debidas en gran medida a la presencia de otros elementos además del carbono. Aunque todos los aceros contienen cantidades moderadas de manganeso (hasta 0.90%), y de silicio (hasta 0.30%), no se consideran como aleaciones ya que la función de estos elementos en estas cantidades es principalmente como desoxidante, combinándose con el oxígeno y el azufre, para así reducir sus efectos dañinos.

Cuando el contenido de manganeso en un acero es superior al 1%, este se considera como un acero aleado; este elemento influye grandemente en la dureza y resistencia de los aceros, siendo una característica importante que también aporta tenacidad a la aleación, permitiendo contener más carbono sin perder excesivamente la ductilidad, hace descender las temperaturas críticas y disminuye la cantidad de carbono del punto eutectoide de la aleación.

Estas láminas de acero al manganeso poseen una muy buena combinación entre dureza, tenacidad y ductilidad, por lo que son la solución óptima en situaciones donde se requiere moderada resistencia al desgaste y una trabajabilidad y soldabilidad aceptables.

#### **1.3.4. Consideraciones generales**

Se debe tener en cuenta que a pesar de que este tipo específico de acero antidesgaste no presenta mayor dificultad para ser soldado y trabajado en frío o caliente, sí se deben tomar las consideraciones apropiadas al momento de soldarlas y controlar los parámetros básicos como el precalentamiento, el uso de electrodos adecuados y las medidas de seguridad de cualquier trabajo en caliente.

Es importante estar consciente de que estas válvulas no están diseñadas pensando en la reparación de los componentes, por lo que existen algunas limitantes en cuanto al espacio y el desmontaje de las piezas; la compuerta no es desmontable por lo que se deben realizar las reparaciones a través del agujero superior de la válvula, una vez esta esté desmontada de su lugar de trabajo.

Es un hecho que esta válvula ha sido reparada varias veces sin mayores consideraciones técnicas, por lo que uno de los fines del presente trabajo es establecer los parámetros para que se repare de una manera adecuada.

Resulta importante señalar que los procedimientos que se describen para el cálculo de los parámetros de precalentamiento y estructura del depósito, son aplicables a otros tipos de acero antidesgaste de mayor resistencia y criticidad en aspectos de soldabilidad; obviamente para esto se deben considerar los parámetros químicos específicos de cada material para calcular dichos parámetros.

Dentro de los aspectos generales, es adecuado mencionar que se deben tener las consideraciones de seguridad industrial propias de cualquier trabajo de soldadura, por mencionar lo más importante:

- Utilización de careta protectora, gabacha, mangas y guantes para soldar mascarillas para humos.
- Contar con ventilación adecuada en el lugar de trabajo.
- Contar con extintores cerca del área de trabajo.

- Utilización de pantallas para aislar el área de trabajo de la vista del personal circundante.
- Evaluación de riesgos de incendio en el área de trabajo
- Evaluación de las conexiones y cables de los dispositivos a utilizar, previo a iniciar el trabajo.
- Realización de los trabajos por personal calificado y capacitado en métodos de trabajo seguro.

## **2. REPARACIÓN DE ELEMENTOS INTERNOS DE LA VÁLVULA**

### **2.1. Identificación del material base**

Uno de los parámetros más importantes en la reparación de los componentes, es saber qué material es el que se está reparando; como se ha mencionado, el material del que está fabricada la compuerta es un acero antidesgaste; estos son aceros al carbono con manganeso como principal elemento aleante, básicamente es un acero templado en agua o en aceite que posee una muy buena resistencia al desgaste, y una muy buena tenacidad, pero también conserva una aceptable trabajabilidad mecánica.

Esta trabajabilidad mecánica es resultado de que el contenido de carbono en estas láminas es relativamente bajo; la resistencia al desgaste se proporciona principalmente por el templado del acero, lo que hace evidente que se deben tomar ciertas precauciones básicas en la aplicación de calor a las láminas, ya que se puede dañar tanto el material como el tratamiento térmico que posee.

Normalmente, se recomienda este tipo de láminas para el trabajo bajo impacto moderado, es decir elementos como tierra y agregados triturados, son aceros que cuentan con una buena resistencia a la tensión, compresión y torsión, toleran altas presiones, impactos moderados y esfuerzos ocasionados por contactos de rodadura; pueden ser utilizados en tolvas, piezas de desgaste en plantas industriales y maquinaria agrícola, entre otros.

Aunque en Guatemala este tipo de láminas son importadas; existen varias casas fabricantes en el mercado, de tal manera las composiciones químicas pueden presentar leves variaciones, pero cualquier lámina antidesgate que esté en el rango de 360 – 450 HB y sea templada en agua o en aceite, presentará composiciones muy similares a la siguiente (lámina Maxdur 400, industria colombiana, anexo 1). El procedimiento en el cálculo de los parámetros será el mismo para otras composiciones.

Tabla I. **Características químicas de la lámina**

<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>	<b>B</b>	<b>Ni</b>
0.15	1.40	0.02	0.003	0.4	0.20	0.003	0.12
<b>Límite elástico aparente</b>		<b>Resistencia a la tracción</b>		<b>Porcentaje de elongación</b>		<b>Dureza nominal HB</b>	
1 100 N/mm <sup>2</sup>		1 350 N/mm <sup>2</sup>		13 %		360 – 440 HB	

Fuente: elaboración propia.

## 2.2. **Parámetros de soldadura del material base**

El principal elemento que condiciona la soldabilidad de un acero simple es el contenido de carbono, sin embargo para aceros que contienen otros elementos, dependiendo de su contenido en porcentaje, estos también pueden tomar papeles determinantes en el comportamiento del acero ante el proceso de soldadura; de tal manera, aunque con el contenido de carbono de un acero en específico, se tiene la idea inicial de la facilidad con que un acero puede ser soldado; es necesario considerar otros elementos y aspectos del material en cuestión.

De lo anterior deriva un concepto muy útil en la evaluación de la soldabilidad de los aceros, este es el concepto de carbono equivalente, el cual relaciona la soldabilidad de un acero con el contenido en porcentaje de varios elementos que pueden tener incidencia en la soldabilidad y no únicamente el carbono; en otras palabras, básicamente es traer a términos de un acero simple una aleación con distintos elementos, con el fin de poder juzgar su soldabilidad.

En relación con el carbono equivalente, existen varias fórmulas para encontrarlo. Una fórmula ampliamente aceptada desarrollada por IIW (Instituto Internacional de Soldadura) es la siguiente:

$$C_e = C + \frac{\%V + \%Cr + \%Mo}{5} + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Ni + \%Cu}{15} \quad (\text{Fórmula 1})$$

Para la lámina analizada:

$$C_e = 0.15 + \frac{0.4 + 0.2}{5} + \frac{1.40}{6} + \frac{0.12}{15} = 0.51 \%$$

En términos generales se puede juzgar la soldabilidad de los materiales de acuerdo con su carbono equivalente, como sigue:

- Hasta 0.25%C (soldables)
- De 0.25%C a 0.40%C (medianamente soldables)
- Por encima de 0.40%C (poco soldables)

A partir de los criterios anteriores, se tiene una buena idea del grado de soldabilidad del acero; no obstante, a continuación se realiza un análisis más profundo para delimitar un poco más la soldabilidad del acero en cuestión.



## **Diagrama de Graville**<sup>1</sup>

El diagrama de Graville es una herramienta útil para conocer o por lo menos dar una idea más clara de los cuidados que representará soldar un acero al relacionar el carbono equivalente y el contenido de carbono; este diagrama está dividido en tres zonas.

- Zona I: aceros de bajo carbono y bajo endurecimiento no susceptibles a fisuras.
- Zona II: aceros con mayor porcentaje de carbono y bajo endurecimiento; el riesgo a fisuras en la ZAC puede ser evitado mediante el control de la velocidad de enfriamiento.
- Zona III: aceros con elevado porcentaje de carbono y alto endurecimiento; en todas las condiciones de soldadura pueden producir microestructuras susceptibles a fisuras.

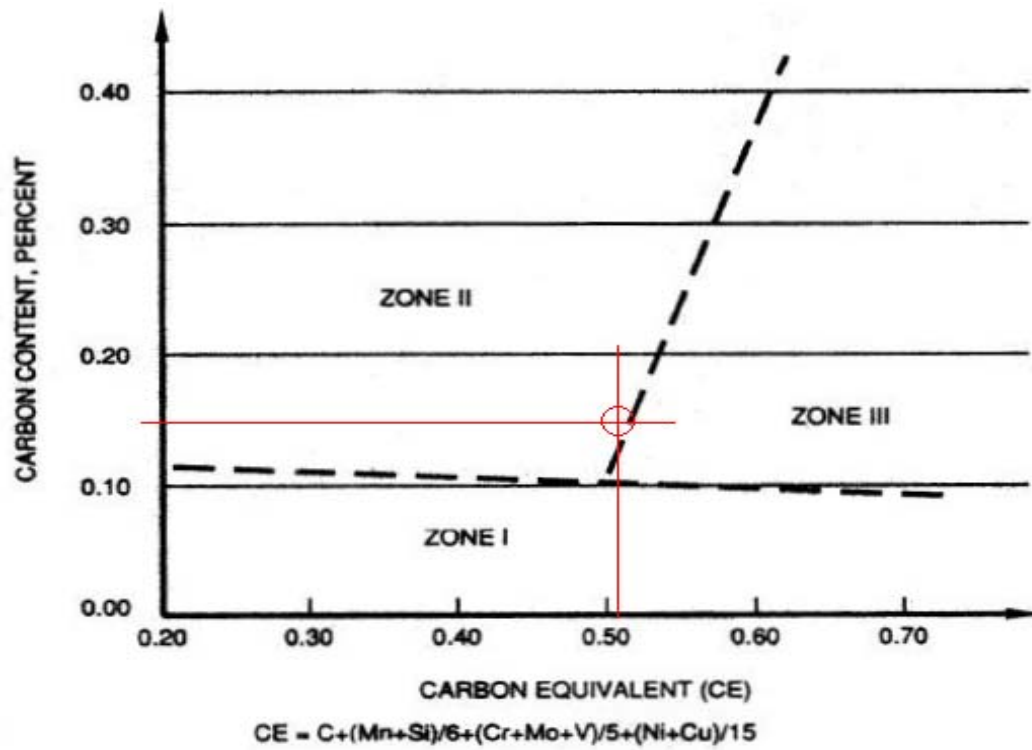
Diagramando los valores del carbono equivalente y el contenido de carbono, se localiza la aleación en el diagrama de Graville, dependiendo de la zona en que esté localizada.

Se estiman los cuidados que se deberán prestar de acuerdo con los criterios anteriores; cabe mencionar que estos son criterios generales y que los valores de los parámetros específicos deben ser calculados para cada caso en particular.

---

<sup>1</sup> B.A. Graville, B.A. Welding of HSLA (microalloyed) structural steels, Proceeding of International Conference, American Society for Metals, 1976, p 85-101.

Figura 11. Diagrama de GRAVILLE



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/65719204/CUADERNO-Temperatura-de-Precaentamiento>.

Consulta: agosto de 2012.

Como se observa en la figura 11, el diagrama de Graville con valores de  $C_e = 0.51$  y  $C = 0.15$ , reafirma que el acero de interés es soldable bajo los parámetros adecuados y da una mejor idea de la soldabilidad del material que solamente el criterio del porcentaje de carbono equivalente.

### **2.2.1. Consideraciones en el proceso de soldadura**

De la sección anterior se concluye que el acero de interés está en la frontera entre los aceros medianamente soldables y poco soldables del diagrama de Graville, por lo que se hace necesario tener ciertos cuidados al momento de realizar una soldadura, aun sabiendo que la compuerta de la válvula no resiste cargas importantes.

Es necesario precalentar la pieza, usar un electrodo adecuado y no sobrecalentar las piezas por encima de  $250^{\circ}\text{C}$  (recomendación del fabricante), para no alterar su estructura cristalina; se debe recordar que es un acero templado. Esto no incluye la ZAC.

#### **2.2.1.1. Precalentamiento**

El precalentamiento consiste en la aplicación de una determinada cantidad de calor al metal base, inmediatamente antes de una operación de soldadura, esto con el fin de disminuir la pendiente de la curva TTT; dicho de otra manera, se busca que los enfriamientos sean más lentos para prevenir la formación de estructuras martensíticas lo mejor que se pueda.

### 2.2.1.1.1. Fórmula de Seferian <sup>2</sup>

Se puede estimar a partir de la fórmula propuesta por un reconocido metalúrgico francés de apellido SEFERIAN, cuyos términos se definen a continuación; esta fórmula es apta para aceros de carbonos equivalentes que según la fórmula de Cq que se utiliza para esta expresión, no sean mayores a 0.40.

Estas fórmulas, al ser expresiones deducidas experimentalmente, deben estar dentro de los parámetros recomendados por los autores; también resulta importante notar que se debe calcular el Cq con la expresión que se propone específicamente para ser usada con la fórmula.

$$Tp = 350\sqrt{CE - 0.25}$$

$$CE = Cq + Ce$$

$$Cq = \frac{360 \cdot \%C + 40 \cdot \%(Cr + Mn) + 20 \cdot \%Ni + 28 \cdot \%Mo}{360} \quad (\text{Fórmula 2})$$

$$Ce = 0.005 \cdot e \cdot Cq$$

Siendo:

Tp = Temperatura de precalentamiento (°C).

CE = Carbono equivalente total (%)

Cq = Carbono equivalente en función de la composición química.

Ce = Carbono equivalente en función del espesor y de Cq.

e = Espesor (mm).

---

<sup>2</sup> GÓMEZ, M. Reina. *Soldadura de los aceros, aplicaciones*. España: autor.

Las láminas que se consideran, son de 6 mm de espesor

$$Cq = \frac{360(0.15) + 40 \cdot (0.4 + 1.40) + 20(0.12) + 28(0.20)}{360} = 0.37$$

$$Ce = 0.005 \cdot 6 \cdot 0.37 = 0.0111$$

$$CE = 0.37 + 0.0111 = 0.3811$$

$$Tp = 350\sqrt{0.3811 - 0.25} = 126^{\circ}\text{C}$$

De tal manera la temperatura de precalentamiento según la fórmula de SEFERIAN debe rondar los 126°C.

El método de SEFERIAN descrito, no toma en cuenta el aporte de energía de los procesos de soldadura, por lo que el valor dado puede ser un poco más elevado de lo realmente necesario, pero permite tener una primera idea de el precalentamiento que se requiere; también es una manera más rápida de calcular los parámetros de soldadura si no se tiene a la mano otro método más profundo, como por ejemplo el nomograma de COE, que se describe en la sección siguiente.

#### **2.2.1.1.2. Nomograma de COE<sup>3</sup>**

El Nomograma de Coe se utiliza en procesos de soldadura por arco eléctrico en aceros al carbono – manganeso; este diagrama toma en cuenta la cantidad difusible de hidrogeno, el aporte térmico de la soldadura, el espesor de las juntas y el carbono equivalente. En este caso se utilizará para confirmar la temperatura propuesta anteriormente.

---

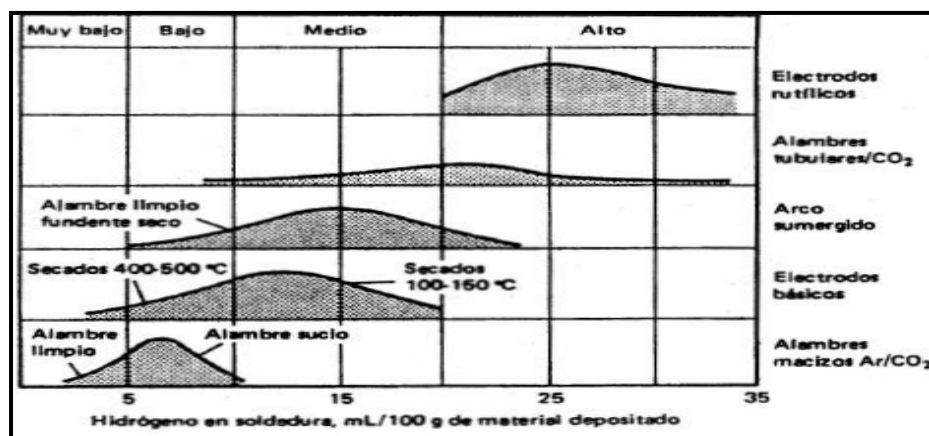
<sup>3</sup> BAILEY, N. F. Coe, T Gooch, P. Hart, N Jenkins and R. Pargeter, (1973). *Welding steels without hydrogen cracking*. England: Woodhead publishing. P.51.

El hidrógeno difusible presenta las siguientes escalas:

- Escala A: consumibles que aporten un metal de soldadura con tenores de hidrógeno difusible mayor de 15 ml/100 gr, luego de un adecuado secado.
- Escala B: consumibles que aporten un metal de soldadura con tenores de hidrógeno difusible entre 10 y 15 ml/100 gr, luego de un adecuado secado.
- Escala C: consumibles que aporten un metal de soldadura con tenores de hidrógeno difusible entre 5 y 10 ml/100 gr, luego de secado.
- Escala D: consumibles que aporten un metal de soldadura con tenores de hidrógeno difusible menor de 5 ml/100 gr, luego de un adecuado secado.

La cantidad de hidrógeno que aporta un consumible se puede estimar en la siguiente figura:

Figura 12. **Hidrógeno ml/100 g de material depositado**



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/65719204/CUADERNO-Temperatura-de-Precaentamiento>.

Consulta: septiembre de 2012.

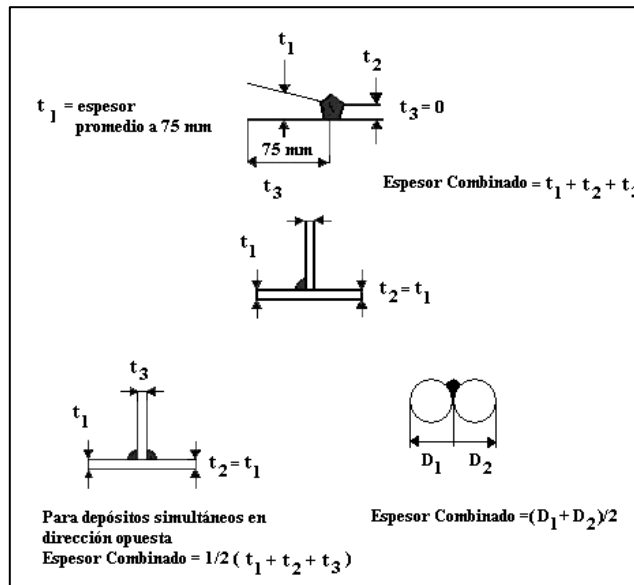
Carbono equivalente:

$$C_e = C + \frac{\%V + \%Cr + \%Mo}{5} + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Ni + \%Cu}{15} \quad (\text{Fórmula 3= Fórmula1})$$

Espesor combinado

El espesor combinado es un parámetro que toma en cuenta el tamaño de los caminos disponibles para la conducción de calor fuera de la soldadura en una distancia de 75 mm. En la figura siguiente se presentan los parámetros para calcular este espesor combinado.

Figura 13. **Espesores combinados**



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/65719204/CUADERNO-Temperatura-de-Pre calentamiento>.

Consulta: septiembre de 2012.

En el caso de la lámina de interés, se está considerando la utilización de láminas de 6 mm de espesor, por lo que un espesor equivalente al ser elemento para parchar la compuerta, puede ser considerado como:

$$t = 18 \text{ mm}$$

La expresión utilizada para calcular los aportes de energía es la siguiente:

$$H = \frac{V * I}{w} * 10^{-3} \left[ \frac{KJ}{mm} \right] \quad (\text{Fórmula 3})$$

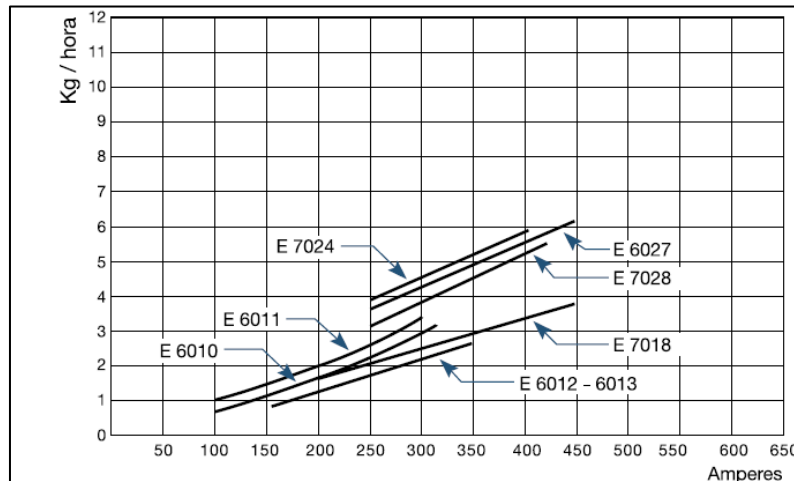
Donde V es el voltaje, I es la corriente y W es la velocidad de pasada en mm/seg.

La velocidad de avance de una soldadura normalmente es un parámetro que se controla durante la aplicación de la misma, de tal manera por motivos de ejemplo se calculará un valor aproximado.

Se estima el valor de depósito por hora, de acuerdo con la siguiente gráfica, aun siendo esta para electrodos de acero al carbono; el electrodo que se utilizará es un acero inoxidable que da una aproximación satisfactoria; el amperaje según fabricante del electrodo que se describirá más adelante, puede estar en un rango de 80 A – 100 A, por lo que de la gráfica se puede estimar la velocidad de deposición en 1kg/ hora.



Figura 14. Velocidad de deposición para electrodo revestido



Fuente: INDURA. Manual de sistemas y materiales de soldadura. p. 11.

Si se toma para el acero aproximadamente  $0.0078 \text{ kg por cm}^3$ , se puede encontrar la velocidad de deposición en función del volumen:  $128 \text{ cm}^3/\text{hora}$  y como se mencionará en la sección 2.3.6, se utilizará una soldadura de filete de catetos iguales de 6 mm; así se podrá estimar la velocidad de avance necesaria para generar este volumen de soldadura; esta velocidad es solamente una aproximación, ya que depende de la experiencia del soldador y los resultados obtenidos, al ir graduando la velocidad necesaria de avance conforme se realiza la soldadura.

El área de la soldadura se puede estimar conservadoramente como  $\frac{1}{2} (0.6 \times 0.6) \text{ cm} =$  esto es equivalente a  $0.18 \text{ cm}^2$ . O en una longitud de 1 cm, un volumen de  $0.18 \text{ cm}^3$ .

Si se depositan aproximadamente  $128 \text{ cm}^3$  en una hora, entonces aplicando una regla de tres, se tardará  $(0.18 \times 1) / 128$  horas en depositar  $0.18 \text{ cm}^3$ , esto es  $0.001406$  horas = 5.06 segundos.

Los  $0.18 \text{ cm}^3$  son el volumen que ocupará 1 cm de soldadura de filete con los catetos propuestos. Entonces, se puede tomar como velocidad de avance:  $10 \text{ mm} / 5.06 \text{ seg} = 2 \text{ mm/seg}$ .

El voltaje se tomará de la máquina utilizada, pero deberá rondar los 20 voltios y la corriente recomendada para los electrodos que se describirán más adelante, está en el rango 80 A – 120 A; por lo que se puede utilizar un valor de 100 A.

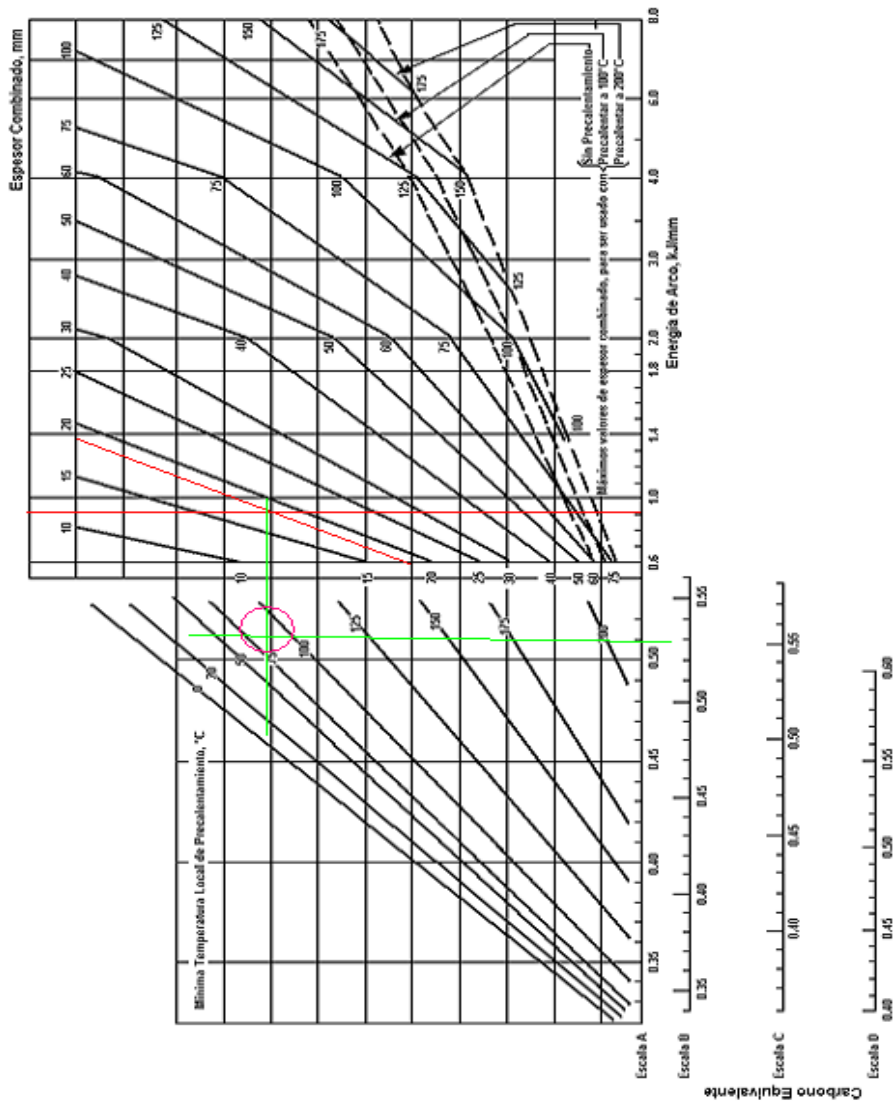
$$\text{Así, } H = (20 \cdot 80) / 2 \cdot 10^{-3} = 2.4; \mathbf{H=0.96}$$

Calculado el valor de H, se busca dicho valor en la parte derecha del nomograma y se levanta una línea vertical hasta interceptar la línea correspondiente al espesor equivalente de la junta en consideración. Una vez identificado el punto de intersección, se traza sobre el mismo una línea horizontal que extendida hasta la parte izquierda del nomograma, corta las líneas que corresponden a las diferentes temperaturas de precalentamiento; la temperatura de precalentamiento a adoptar queda determinada levantando una vertical por el valor del carbono equivalente que se lee en el eje de horizontal.

El punto de intersección de esta vertical con la horizontal previamente trazada, determina tal temperatura. Obsérvese que existen cuatro escalas diferentes para ubicar el carbono equivalente. Estas escalas dependen de los electrodos utilizados, y pueden ser obtenidos con los criterios descritos al principio de la sección y la figura 10. El nomograma de COE se ilustra en la figura siguiente. El revestimiento del electrodo utilizado, al ser un electrodo de acero inoxidable no está dentro de la clasificación del monograma de COE, de modo que, de una forma conservadora, se pueden considerar como electrodos de la escala A.

En la figura 15 se ilustra el nomograma de COE y el trazo de las variables encontradas previamente; el punto encerrado en un círculo es la temperatura de precalentamiento sugerida por el nomograma.

Figura 15. **Nomograma de COE**



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/65719204/CUADERNO-Temperatura-de-Precalentamiento>.

Consulta: septiembre de 2012.

Del nomograma de COE, se estima que la temperatura mínima de precalentamiento debe rondar los 87°C; se puede apreciar que el aporte de energía del proceso de soldadura en sí, puede disminuir la temperatura de precalentamiento mínima en relación con la temperatura que se encontró mediante la fórmula de SEFERIAN, a pesar de esto, el valor encontrado de 126 °C es perfectamente funcional.

#### **2.2.1.2. Electrodo**

El fabricante de las láminas recomienda un electrodo rico en níquel y cromo, para permitir que la dilución tenga características austeníticas específicamente recomienda Weldinox 629 (equivalente AWS: *E-312-16*) (Anexo 2). Es un electrodo con revestimiento butílico y depósito austenoferrítico para soldadura, en uniones de materiales disímiles y para recargues (rectificaciones). Se utiliza en soldadura de unión de aceros de construcción de alta resistencia, aceros no aleados o de baja aleación, con aceros altamente aleados o aceros al manganeso austeníticos, como soldaduras de aporte para aplicar en capas resistentes al desgaste, a la corrosión y a altas temperaturas.

Como se puede ver en la aplicación recomendada de los electrodos, estos son adecuados para unir materiales con distintas características: el níquel aporta características especiales en cuanto a la disminución de la probabilidad de fisuración, al tener ciertos efectos de expansión durante el enfriamiento de las soldaduras compensa en cierta manera la contracción desigual que pueden presentar dos materiales disímiles o materiales muy duros, permitiendo que la solidificación se lleve a cabo de una mejor manera.

El depósito es de estructura austenítica con 35 a 40 % de ferrita delta, altamente resistentes a rajaduras; endurece por presión o impacto de 240 a 400 Hb, la ferrita delta es otra característica de importancia de este tipo de electrodos, ya que al solidificar de una solución líquida a una ferrita delta (BCC), esta se contrae alrededor de un 50 % menos que la solidificación en una estructura austenítica (FCC).

Se utilizará este electrodo para conservar uniformidad en el caso de estudio, pero se debe aclarar que existen equivalentes en distintas marcas en el mercado. También se analizará el electrodo E-7018 que es el que normalmente se usa para realizar las reparaciones de la válvula.

Tabla II. **Características del metal depositado**

<b>Electrodo Weldinox 629 (E 188 Mn3)</b>				
<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>
0.12	1	0.8	29	9
<b>Límite elástico</b>		<b>Resistencia a la tracción</b>		<b>Elongación</b>
430 N/mm <sup>2</sup>		750 N/mm <sup>2</sup>		20 %

<b>Electrodo E-7018</b>								
<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Mo</b>	<b>V</b>
0.15	0.75	1.60	0.20	0.30	0.035	0.035	0.30	0.08
<b>Limite elástico</b>			<b>Resistencia a tracción</b>			<b>Elongación</b>		
58,000 psi (400 N/mm <sup>2</sup> )			70,000 psi (483N/mm <sup>2</sup> )			22%		

Fuente: elaboración propia.

### 2.2.1.3. Composición química de las superficies Soldadas

El cordón de soldadura es una mezcla entre el metal aportado y el metal base fundido, por lo que la composición final del cordón estará en función de esta mezcla. El porcentaje de metal base fundido respecto del metal aportado en la soldadura se denomina coeficiente de dilución.

La composición química de una soldadura está dada por la siguiente fórmula:

$$C_x = C_a + \frac{D \cdot (C_b - C_a)}{100} \quad (\text{Fórmula 4})$$

D = Coeficiente de dilución

C<sub>x</sub> = Porcentaje del elemento "x" en el cordón de soldadura

C<sub>a</sub> = Porcentaje del elemento "x" en el metal de aporte

C<sub>b</sub> = Porcentaje del elemento "x" en el metal base

$$D = \frac{A_{mb}}{A_{ma} + A_{mb}} \quad (\text{Fórmula 5})$$

Donde:

D = Dilución (SMAW 20 – 30 %)

A<sub>mb</sub> = Área del metal base

A<sub>ma</sub> = Área del metal de aporte

Se asume un valor de dilución de 25%, ya que las diluciones variarán dependiendo del tipo de reparación que se realice; normalmente estas son parches rectangulares soldados a las partes dañadas de la compuerta o el cobertor superior, por lo que las soldaduras principalmente serán de filete.

De tal manera la composición química aproximada de la soldadura será la que se lista en la tabla III; se realizan los cálculos tanto para el electrodo recomendado como para el E-7018, que es el que comúnmente se utiliza.

Tabla III. **Composición química de la soldadura**

<b>Electrodo Weldinox 629 (E 188 Mn3)</b>									
	C	Mn	P	S	Cr	Mo	B	Ni	Si
<b>Metal de base</b>	0.15	1.4	0.02	0.003	0.4	0.2	0.003	0.12	0
<b>Metal electrodo</b>	0.12	0.8	0	0	29	0	0	9	1
	<b>0.120075</b>	<b>0.8015</b>	<b>0.00005</b>	<b>7.5E-06</b>	<b>28.9285</b>	<b>0.0005</b>	<b>7.5E-06</b>	<b>8.9778</b>	<b>0.9975</b>

<b>Electrodo E-7018</b>									
	C	Mn	P	S	Cr	Mo	B	Ni	Si
<b>Metal de base</b>	0.15	1.4	0.02	0.003	0.4	0.2	0.003	0.12	0
<b>Metal electrodo</b>	0.15	1.6	0.035	0.035	0.2	0.3	0	0.3	0.75
	<b>0.15</b>	<b>1.5995</b>	<b>0.034963</b>	<b>0.03492</b>	<b>0.2005</b>	<b>0.29975</b>	<b>7.5E-06</b>	<b>0.2995</b>	<b>0.74812</b>

Fuente: elaboración propia.

Es necesario que la aleación resultante en los cordones de soldadura sean dúctiles, por lo que, como se mencionó anteriormente, se debe buscar una estructura austenítica o austenoferrítica para prevenir el endurecimiento y el agrietamiento a raíz de una estructura martensítica.

A pesar de que la ficha técnica del electrodo dice que el cordón presentará una estructura ferroaustenítica, se debe corroborar la aleación resultante entre el material base y el material de aporte.

Existen diagramas que permiten predecir la microestructura del metal de soldadura a temperatura ambiente, a partir de la composición química de la aleación; en este caso se utiliza el diagrama de Schaeffler, figura 12. Este diagrama fue obtenido por Al Schaeffler de manera empírica y permite determinar la estructura de un metal, conociendo su composición química empleando las siguientes expresiones:

$$\text{Níquel equivalente} = \% \text{ Ni} + 0.5 \% \text{ Mn} + 30\% \text{ C} \quad (\text{Fórmula 6})$$

$$\text{Cromo equivalente} = \% \text{ Cr} + \% \text{ Mo} + 1.5\% \text{ Si} + 0.5\% \text{ Nb} + 2\% \text{ Ti} \quad (\text{Fórmula 7})$$

Sustituyendo en las expresiones anteriores los porcentajes existentes en cada uno de los elementos y posteriormente trasladando los valores obtenidos al diagrama, se puede establecer la estructura del material

Para la aleación resultante utilizando Weldinox 629:

$$\text{Níquel equivalente} = 8.98 + 0.5 (0.80) + 30(0.12) = 12.98$$

$$\text{Cromo equivalente} = 28.92 + 0.0005 + 1.5 (0.99) = 29.41$$

Para la aleación resultante, utilizando E-7018:

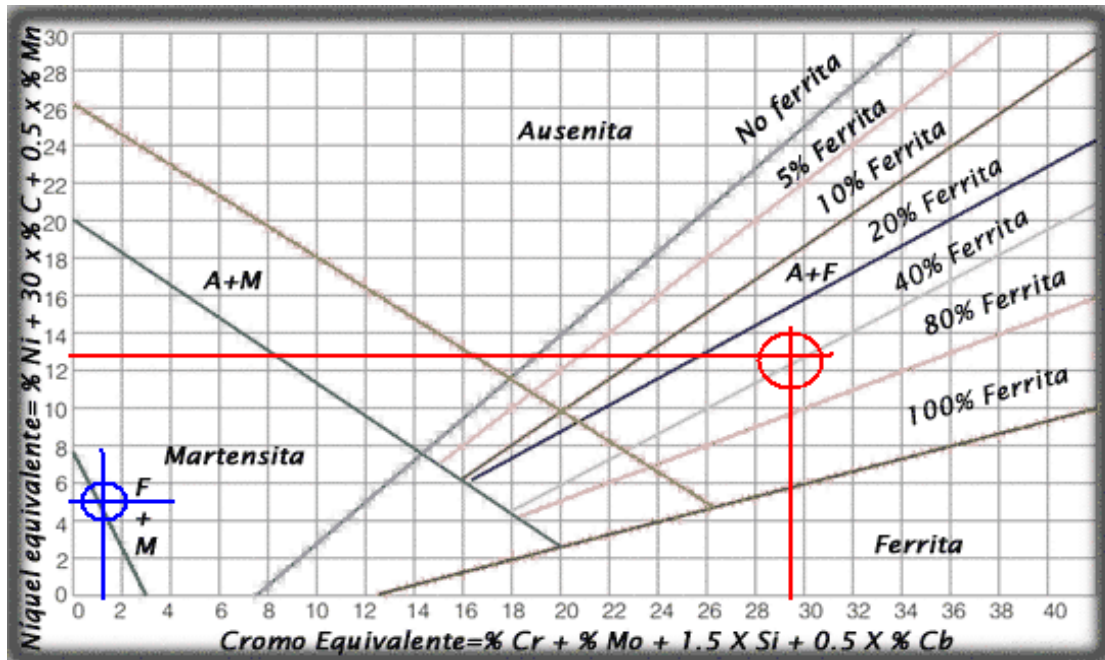
$$\text{Níquel equivalente} = 0.2995 + 0.5 (1.5995) + 30(0.15) = 5.19$$



$$\text{Cromo equivalente} = 0.2005 + 0.2997 + 1.5 (0.7481) = 1.62$$

A primera vista, comparando los valores anteriores, se puede observar que distan mucho los valores, tanto en el cromo equivalente, como en el níquel equivalente, al utilizar estos dos tipos de electrodos, por lo que se pueden esperar características bastante distintas.

Figura 16. Diagrama de SCHAEFFLER



Fuente: [http://www.grupoogman.com/og\\_it\\_manual.html](http://www.grupoogman.com/og_it_manual.html). Consulta: agosto de 2012.

Debe corroborarse que la estructura de la soldadura realizada con Weldinox 629 se mantendrá en el área ferroaustenítica (círculo rojo), mas no así las soldaduras realizadas con un electrodo 7018 (circulo azul); lo cual genera una estructura ferromartensítica que puede ser propensa a generar fisuras, principalmente durante impactos o cargas dinámicas o cíclicas.

El fin de utilizar electrodos ricos en níquel y cromo, se evidencia claramente en las expresiones de cromo y níquel equivalente y su influencia en el diagrama de Schaeffler, de modo que no se justifica el uso de un electrodo E-7018 en este tipo de reparaciones.

### **2.2.2. Limitantes del espacio interno al realizar la reparación**

Al no estar la válvula diseñada para su mantenimiento con soldadura, ni para el desmontaje y reemplazo de la compuerta, el espacio para reparar las partes dañadas de la misma es bastante limitado; el cobertor superior es desmontable por lo que se puede reparar con mayor facilidad, incluso se le puede cambiar caras enteras o reemplazarlo en su totalidad. Sin embargo, es necesario recalcar que estas reparaciones se deben realizar con el cobertor desmontado, ya que no existe el espacio suficiente para ejecutarlas de manera adecuada a través de los registros.

Otro aspecto que puede resultar crítico son los espacios existentes entre los semicírculos de la compuerta y las partes triangulares del cobertor superior; estos son de aproximadamente 0.5 cm; por lo que es de vital importancia restringir las partes de la compuerta con tensores de angular punteados a las caras de la compuerta o a las caras del cobertor; esto para prevenir su deformación producto del calentamiento y esfuerzos inducidos de la soldadura, ya que una leve torcedura ocasionará la interferencia entre el cobertor y la compuerta al momento de ser accionada, y por ende el atoramiento de la válvula.

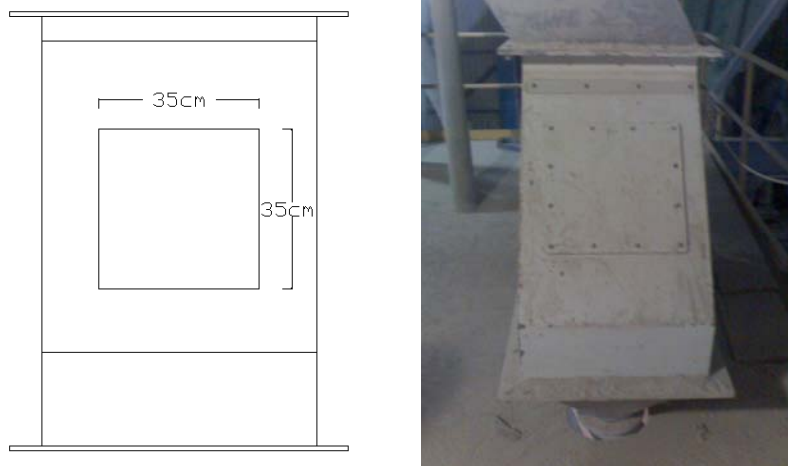
## 2.3. Procedimiento de reparación cubierta antidesgaste superior

A continuación se describe el proceso para la reparación de la cubierta antidesgaste superior, incluyendo fotografías que revelan su estado en la inspección realizada.

### 2.3.1. Evaluación del daño

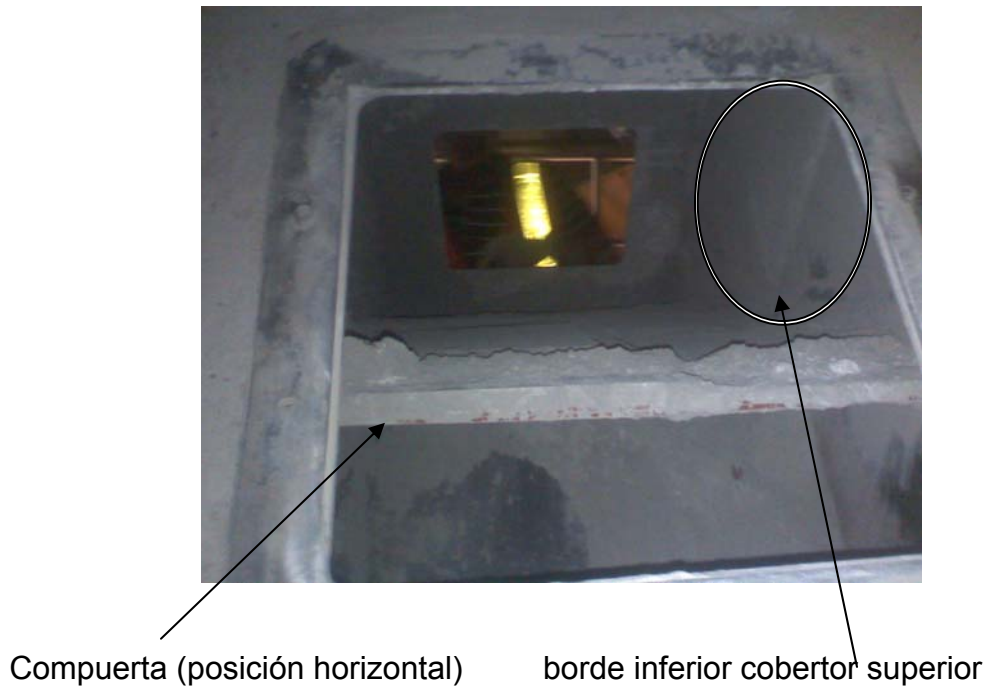
Como primer punto se debe realizar una inspección general del sistema, ver si posee daños significativos; el acceso a la cubierta superior es bastante limitado desde los registros que posee la válvula; estos consisten en agujeros cuadrados de 35 x 35 cm, como se ilustra en las figuras 17 y 18.

Figura 17. Registros laterales



Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Fotografía de registros laterales abiertos**



Fuente: elaboración propia, fotografía tomada en planta envasadora.

Como se ilustra en la fotografía, el espacio para realizar una reparación a través de los registros es bastante reducido, por lo que, a menos que sea una emergencia, es recomendable desmontar la cubierta superior para realizar los trabajos necesarios con comodidad.

### **2.3.2. Desmontaje de la cubierta superior**

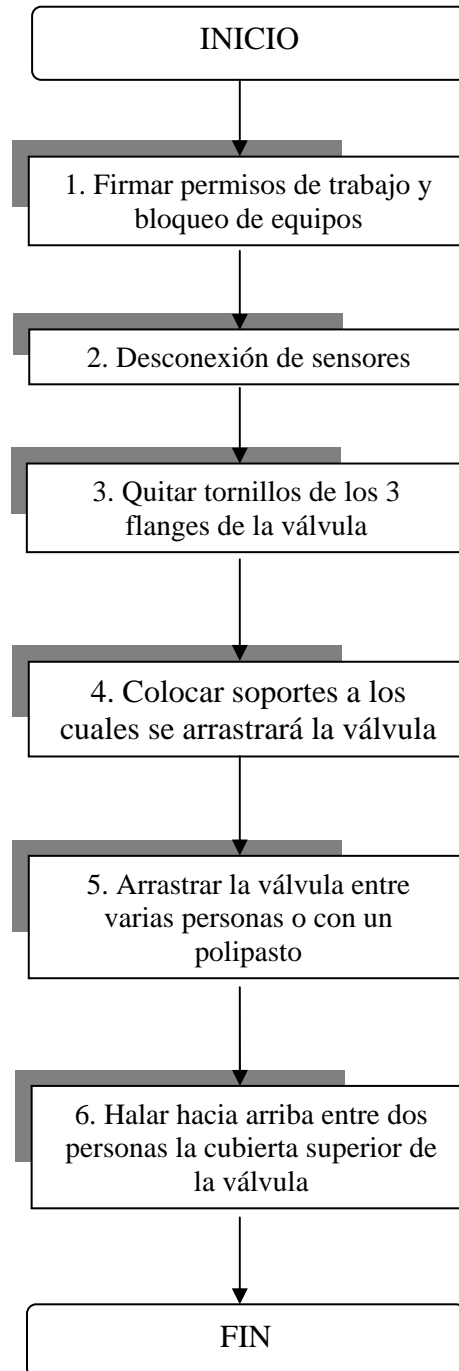
Para desmontar la cubierta superior, primero se debe desmontar la válvula de su lugar de trabajo.

Para realizar el proceso de desmontaje, deben seguirse los siguientes pasos:

- Firmar permisos de trabajo y bloqueo de equipos.
- Desconectar todos los sensores del sistema neumático de la compuerta.
- Retirar todos los tornillos de los tres flanges que sujetan la válvula a la tubería; son 14 pernos de 16 mm en cada *flange*.
- Una vez la válvula está libre, colocar tarimas de madera o algún banco o soporte de la misma altura o un poco más bajo que la distancia “H”, desde el piso hasta la parte de abajo de los *flanges* inferiores (debe ser lo suficientemente robusto para soportar el peso de la válvula).
- Arrastrar la válvula hasta las tarimas o bancos entre varias personas o con ayuda de un polipasto.
- Una vez la válvula está libre y se encuentra de una manera estable sobre las tarimas, se retira la cubierta superior halándola hacia arriba; esta no queda asegurada de ninguna manera, una vez se retiraron los tornillos de los *flanges*.

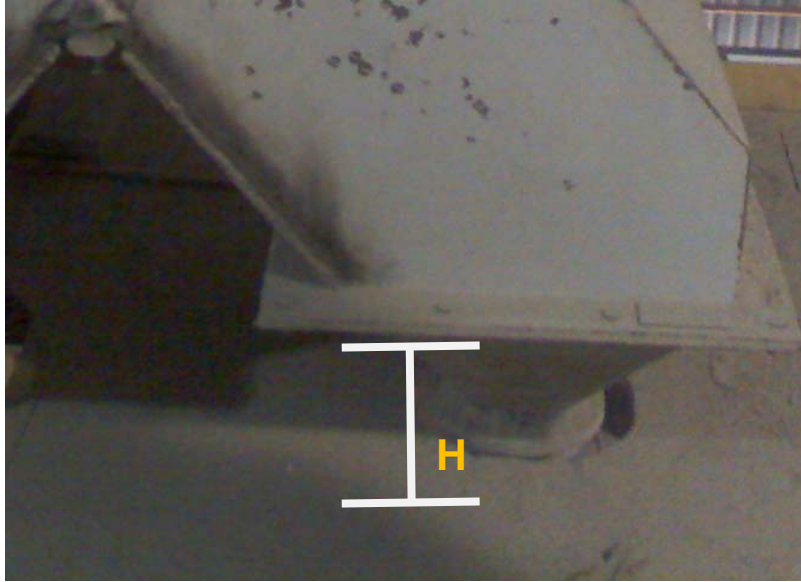
El diagrama del procedimiento se presenta en la figura siguiente.

Figura 19. **Proceso de desmontaje de la cubierta superior**



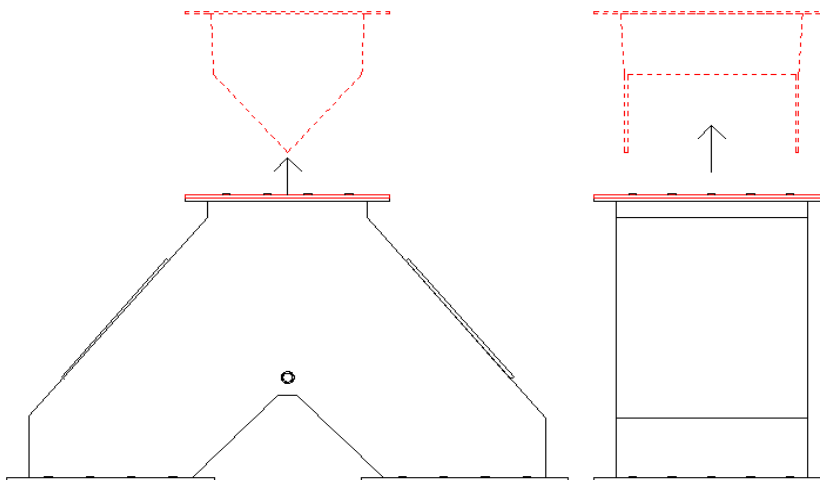
Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Altura de soportes o tarimas**



Fuente: elaboración propia, fotografía tomada en planta envasadora.

Figura 21. **Desmontaje de cubierta superior**



Fuente: elaboración propia.

### **2.3.3. Colocación de tensores para evitar distorsiones en el metal**

La compuerta y el cobertor superior forman en sí el componente que encausa el material y evita que este entre en contacto directamente con la carcasa de la válvula; estos tienen un movimiento relativo el uno del otro con una distancia bastante corta, alrededor de 0.5 cm; por lo que una pequeña distorsión en las medidas o en los ángulos de unión de los componentes provocará que entren en contacto ambas piezas y se atasque la compuerta.

Cualquier procedimiento de soldadura ejerce fuerzas de contracción hacia el lado soldado, por esta razón es necesario la colocación de tensores unidos por puntos de soldadura en distintos sitios, para arriostrar todas las paredes de la cubierta antidesgaste; estos tensores pueden ser angulares o cualquier perfil metálico lo suficientemente robusto, para restringir el movimiento de las paredes del cobertor mientras este es soldado.

### **2.3.4. Preparación de las superficies**

Si las piezas que se van a colocar serán sobrepuestas sobre el cobertor, el mismo espesor de la lámina permitirá realizar una soldadura de filete.

Se debe tener mucho cuidado en no colocar parches sobrepuestos en lugares donde puedan ocasionar atascamientos. Si se debe realizar algún injerto con unión a tope, se debe biselar con soplete o plasma con un bisel simple a 30° o 45°.



### **2.3.5. Precalentamiento de las superficies**

Como se encontró en la sección 2.2.1.1, la temperatura de precalentamiento debe rondar lo 100°C; puede mantenerse en un rango entre 100 °C a 125°C. Debe existir un control de temperatura en una distancia de 7.5 cm a cada lado de la unión.

### **2.3.6. Proceso de soldadura**

El proceso considerado es soldadura por arco manual con electrodos revestidos. Se utilizará un electrodo (*AWS: E-312-16*), rico en níquel y cromo o un electrodo equivalente en características y composición química, de diámetro 3.25 mm (1/8") y una corriente alterna entre 80 – 110 A.

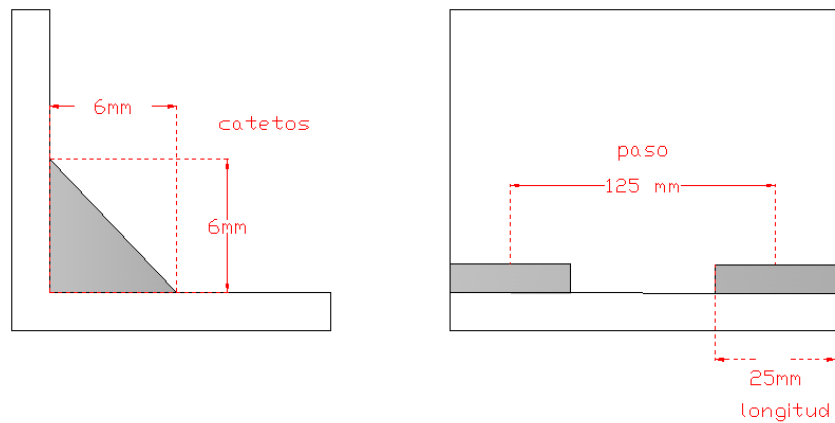
Se debe controlar durante el proceso la temperatura de disipación de calor, ya que si el enfriamiento es demasiado rápido, las soldaduras pueden resultar frágiles y si es demasiado lento, puede perder tenacidad.

Como premisa fundamental en cualquier diseño de soldadura, se debe buscar que se realice la unión con la menor cantidad de material de aporte posible, esto para limitar calor excesivo aportado por el proceso y así evitar transformaciones en las estructuras cristalinas de los materiales.

Las soldaduras que se necesitan en las reparaciones, prácticamente no estarán sometidas a ningún esfuerzo de importancia, por lo que un diseño teórico no vale la pena y solamente se darán medidas sugeridas, haciendo la salvedad de que estas no están atadas a un diseño mecánico y pueden ser cambiadas sin ningún problema a juicio y pericia del soldador.

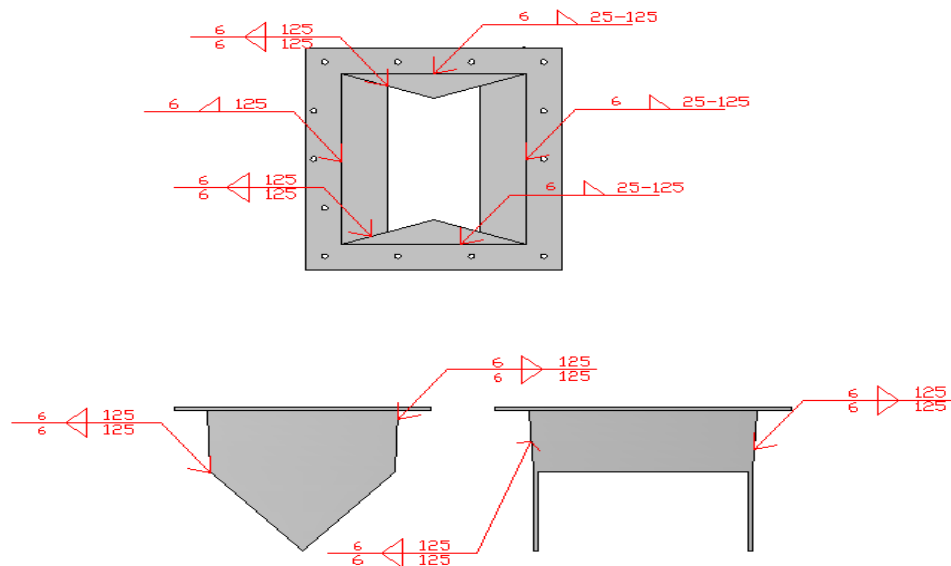
En general, las soldaduras que se presentan en estas reparaciones son de filete y las dimensiones sugeridas se esquematizan a continuación en las figuras 22 y 23.

Figura 22. **Esquema medida de soldaduras**



Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Esquemas de soldaduras**



Fuente: elaboración propia.

Los símbolos sobre la flecha indican que la soldadura se realiza del otro lado de donde toca la punta de la misma y los símbolos debajo de la flecha simbolizan que la soldadura va del lado donde está tocando la punta de esta. Los símbolos tanto arriba como abajo de la flecha, significan que las soldaduras se hacen en ambos lados de la junta. Los números al lado izquierdo del símbolo (6) hacen referencia al tamaño del cateto en mm y los números al lado derecho simbolizan las longitudes y el paso de los cordones en mm.

## **2.4. Procedimiento de reparación de la compuerta**

A continuación se describe el procedimiento de reparación de la compuerta, presentando la evaluación del daño, las limitantes, la preparación y precalentamiento de las superficies, así como el proceso de la soldadura.

### **2.4.1. Evaluación del daño**

La compuerta en sí, es la pieza de la válvula que más desgaste sufre, ya que es la que recibe directamente todo el impacto del material; el daño presente en esta puede ser desde superficies muy delgadas o desgastadas, hasta superficies agujeradas, dependiendo del tiempo que ha pasado en contacto con el material sin que se hayan hecho reparaciones.

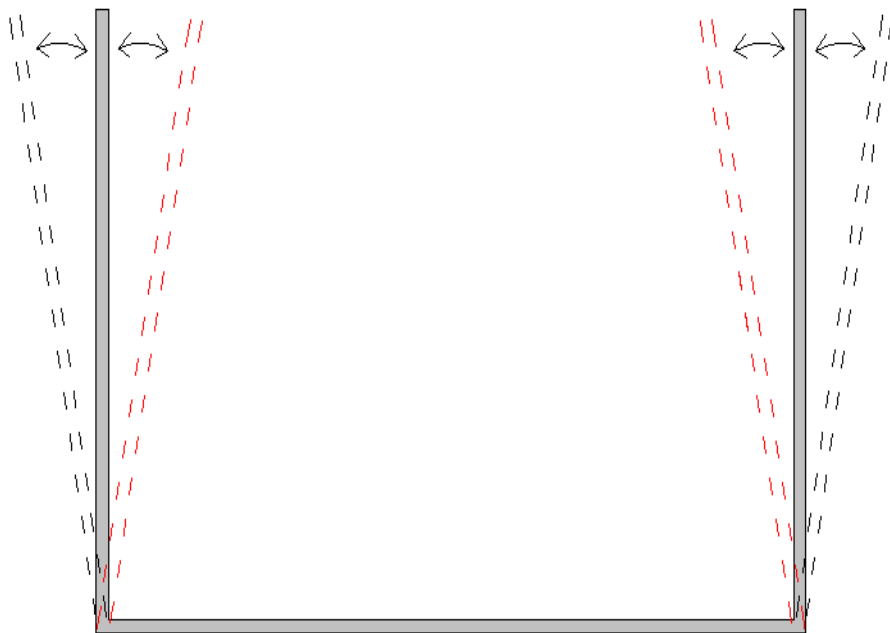
### **2.4.2. Limitantes**

El diseño de la válvula no permite que se desmonte la compuerta de la válvula, por lo que las reparaciones a la compuerta se deben de hacer a través de los registros y de la entrada superior de la válvula, una vez esté desmontada y el cobertor se haya retirado.

### 2.4.3. Colocación de tensores para evitar distorsiones en el metal

Al igual que en el cobertor, se deben colocar tensores para arriostrar la compuerta; estos son bastante más críticos que en el cobertor, ya que los semicírculos sólo están unidos en la base, y esto provoca que sea fácil que sufran distorsiones como las que se muestran en la figura 24. Obviamente, ocasionará el atascamiento de la válvula.

Figura 24. **Deformaciones ocasionadas por soldadura en las caras laterales de la compuerta**



Fuente: elaboración propia.

#### **2.4.4. Preparación de las superficies**

Si las piezas a colocar serán sobrepuestas sobre la compuerta, el mismo espesor de la lámina permitirá realizar una soldadura de solape.

Esto sólo es posible en la parte horizontal de la compuerta, ya que de colocarse en las caras laterales, los parches o injertos chocarán con la parte baja del cobertor y se atascará el mecanismo.

Si fuera necesario realizar algún injerto con unión a tope, se debe biselar con soplete o plasma, o con un bisel simple o doble, a 30° o 45°.

Es posible remplazar ambas caras laterales (semicírculos) en su totalidad; aunque estas piezas son en general las que menos desgaste presentan.

#### **2.4.5. Pre calentamiento de las superficies**

Se debe precalentar cerca de los 100°, puede mantenerse en un rango entre 120 a 140°C; debe tenerse cuidado de no sobrecalentar la pieza, ya que durante todo el proceso esta estará montada sobre la válvula.

#### **2.4.6. Proceso de soldadura**

El proceso considerado es el mismo que para el cobertor superior, simplemente con el cuidado que acarrea trabajar con la compuerta montada en la válvula y sus componentes.

La temperatura no debe sobrepasar los 250°C para evitar que la lámina pierda sus propiedades, esto no incluye la ZAC.

## **2.5. Acciones preventivas**

El desgaste sufrido por las piezas antidesgaste es función directa del material que se esté conduciendo; al estar ubicada esta válvula en una planta de envasado, el material cambia continuamente, de modo que, es importante realizar revisiones periódicas que permitan verificar el estado de la compuerta cada cierto tiempo.

Al ser un equipo de funcionamiento sencillo, las verificaciones se reducen a una inspección por lo menos cada dos semanas, a través de los registros laterales, para constatar el estado de la compuerta y del cobertor, verificar el estado de las soldaduras de los parches existentes y el desgaste general de las piezas.

Se lista el procedimiento sugerido a continuación:

- Parar el equipo del que la válvula forma parte
- Colocar candados de bloqueo en control central
- Firmar permisos de trabajo de ser necesarios
- Colocarse mascarilla antipolvo y gafas
- Desmontar los dos registros laterales
- Inspeccionar con linternas previo a introducir cualquier extremidad
- Remover el material adherido a la compuerta y al cobertor superior
- Verificar el estado general de los componentes
- Si lo amerita, planificar el desmontaje de la válvula para la reparación o para el reemplazo del cobertor
- Verificar que no queden objetos extraños en la válvula antes de cerrar los registros
- Cerrar los registros

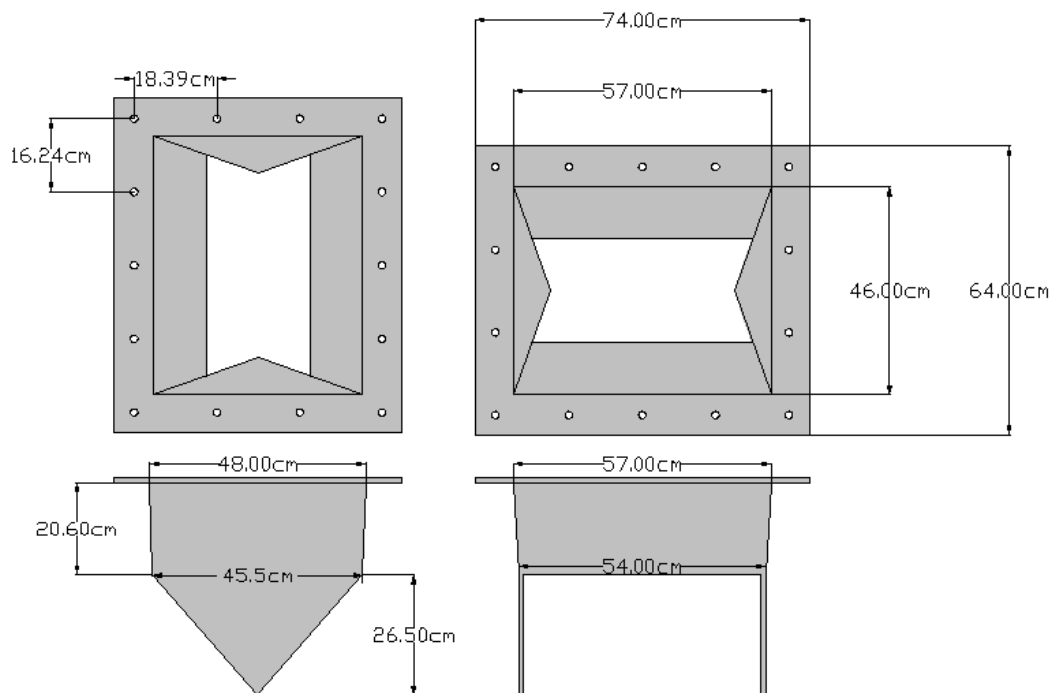


### 3. DIRECTRICES PARA LA FABRICACIÓN DE CUBIERTA ANTIDESGASTE SUPERIOR

#### 3.1. Esquema

Se presenta un esquema en la figura 25, con medidas en cm del cobertor superior de la válvula, se debe tener especial cuidado en los leves declives hacia adentro que tienen las paredes del cobertor, ya que esto es lo que evita que rocen con las caras semicirculares de la compuerta

Figura 25. Esquema cubierta antidesgaste superior



Fuente: elaboración propia.



Las medidas de los agujeros son estimadas con relación al tamaño de los *flanges*; se debe sacar una plantilla de los flanges de la válvula y de las tuberías, ya que las medidas pueden variar levemente en las tuberías existentes con las medidas del diagrama y ocasionar que no encajen pernos por una mínima diferencia.

### 3.2. Corte de los segmentos

Estas láminas al ser de baja aleación permiten aún ser trabajadas con corte oxiacetilénico, pero puede usarse corte plasma, de estar disponibles.

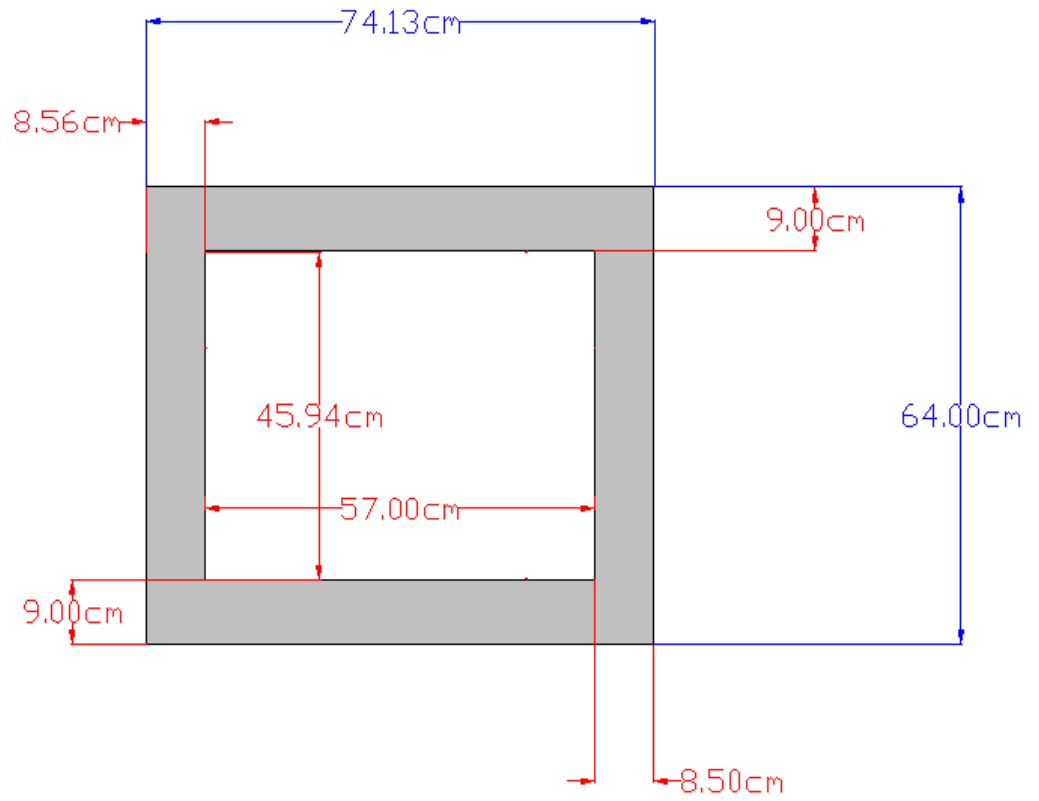
De acuerdo con el espesor de 6 mm (aprox. ¼") de la lámina, se recomienda una boquilla de 6 mm para oxicorte; aunque estos parámetros dan una idea, no se deben tomar como requerimientos inquebrantables.

El espesor de material que consumirá el acetileno, varía por factores como: el grosor de boquilla, la presión de trabajo, el operario, y otros. Entonces, aunque esta medida está siempre en el orden de unos pocos mm, se deben realizar los cortes por afuera de las líneas de trazo para conservar las medidas lo más exactas posibles. Dichos cortes son:

- **Corte del flange superior:** para la fabricación del *flange* se necesita simplemente cortar un rectángulo externo, al que se le cortará en el centro un rectángulo interno para dar la forma al *flange*, posteriormente se procederá a taladrar los agujeros con brocas de acero rápido de alta aleación.

Se da un esquema de la pieza en la figura siguiente.

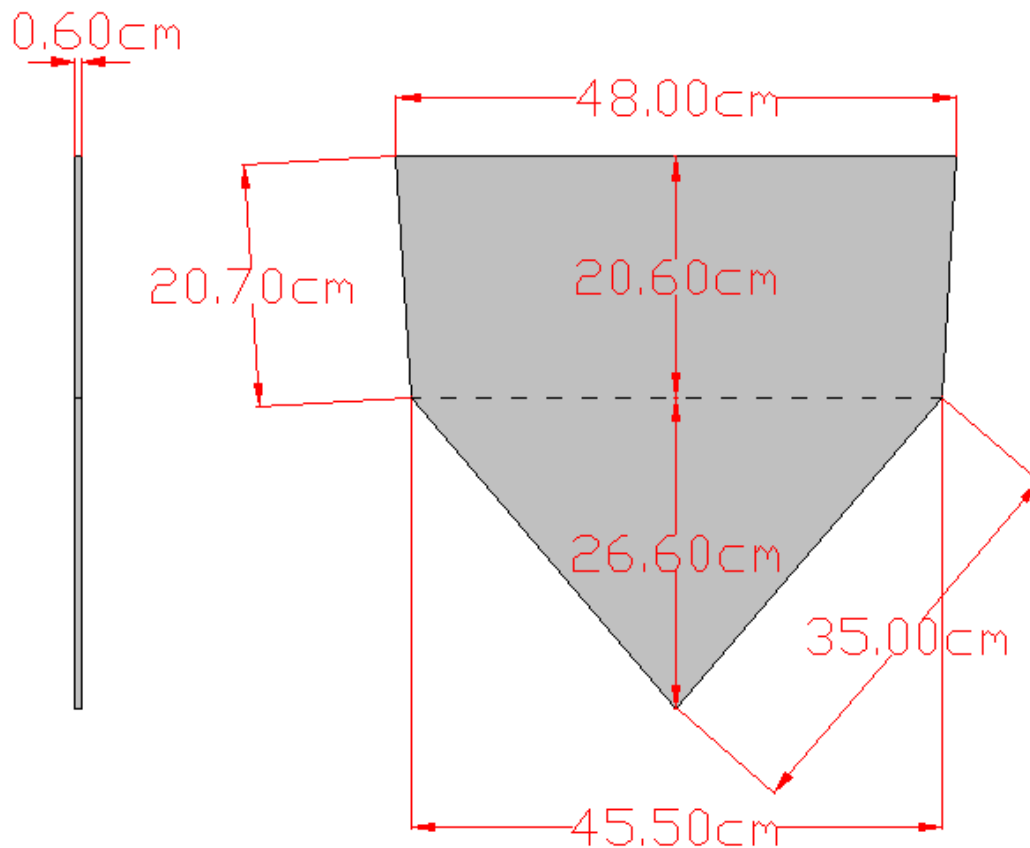
Figura 26. Esquema de *flange superior*



Fuente: elaboración propia.

- Corte de caras laterales con segmento triangular:** la forma de la cubierta superior es trapezoidal y no rectangular; esto para dar espacio para el movimiento relativo entre la compuerta y el cobertor, de tal manera las medidas de los cortes en la lámina plana difieren un poco de las medidas del conjunto ensamblado con los ángulos necesarios, se ilustran estas medidas en la figura siguiente.

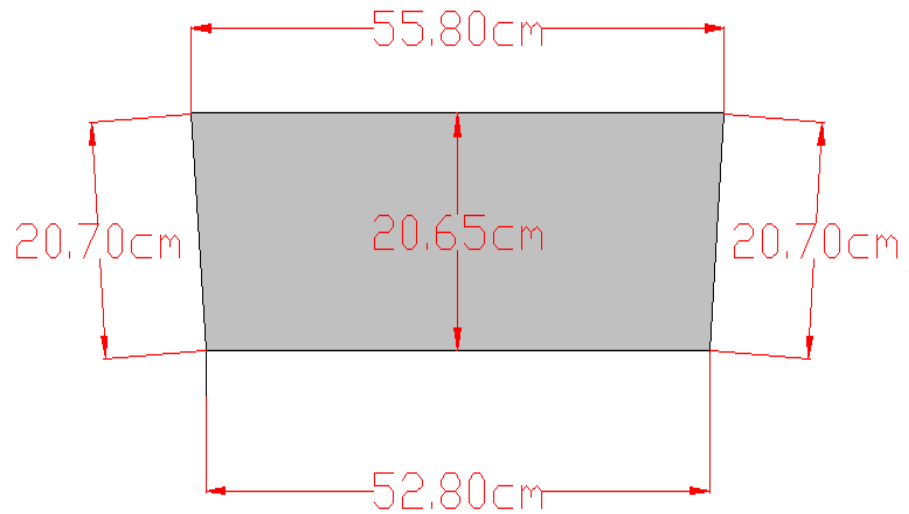
Figura 27. **Esquema caras laterales con segmento triangular**



Fuente: elaboración propia.

- **Corte de caras frontales:** en la siguiente figura se ilustran las medidas de los segmentos a cortar, para las caras frontales de la cubierta antidesgaste.

Figura 28. **Esquema caras frontales**

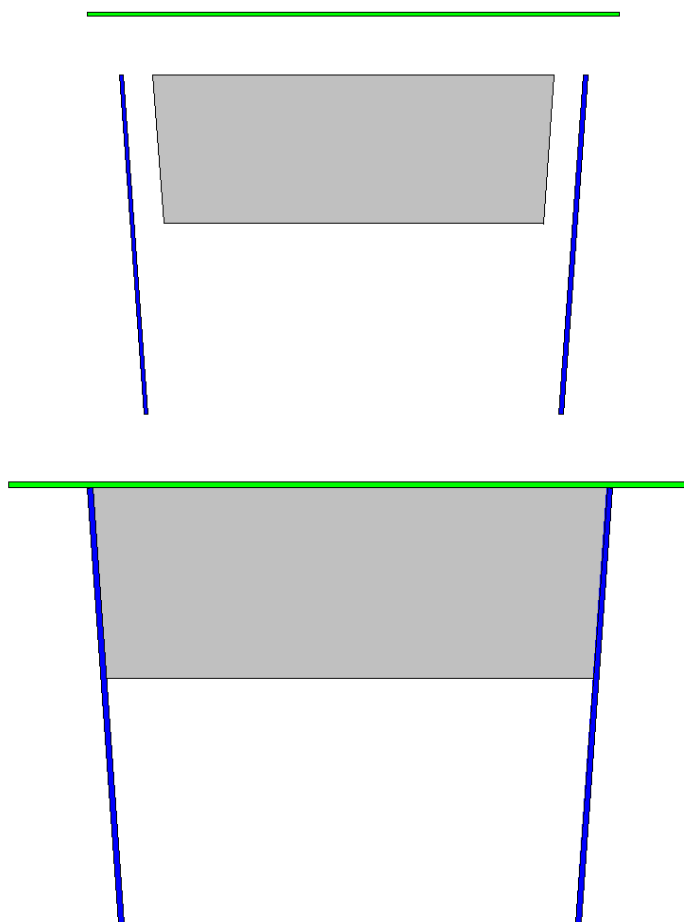


Fuente: elaboración propia.

### 3.3. Unión de los segmentos

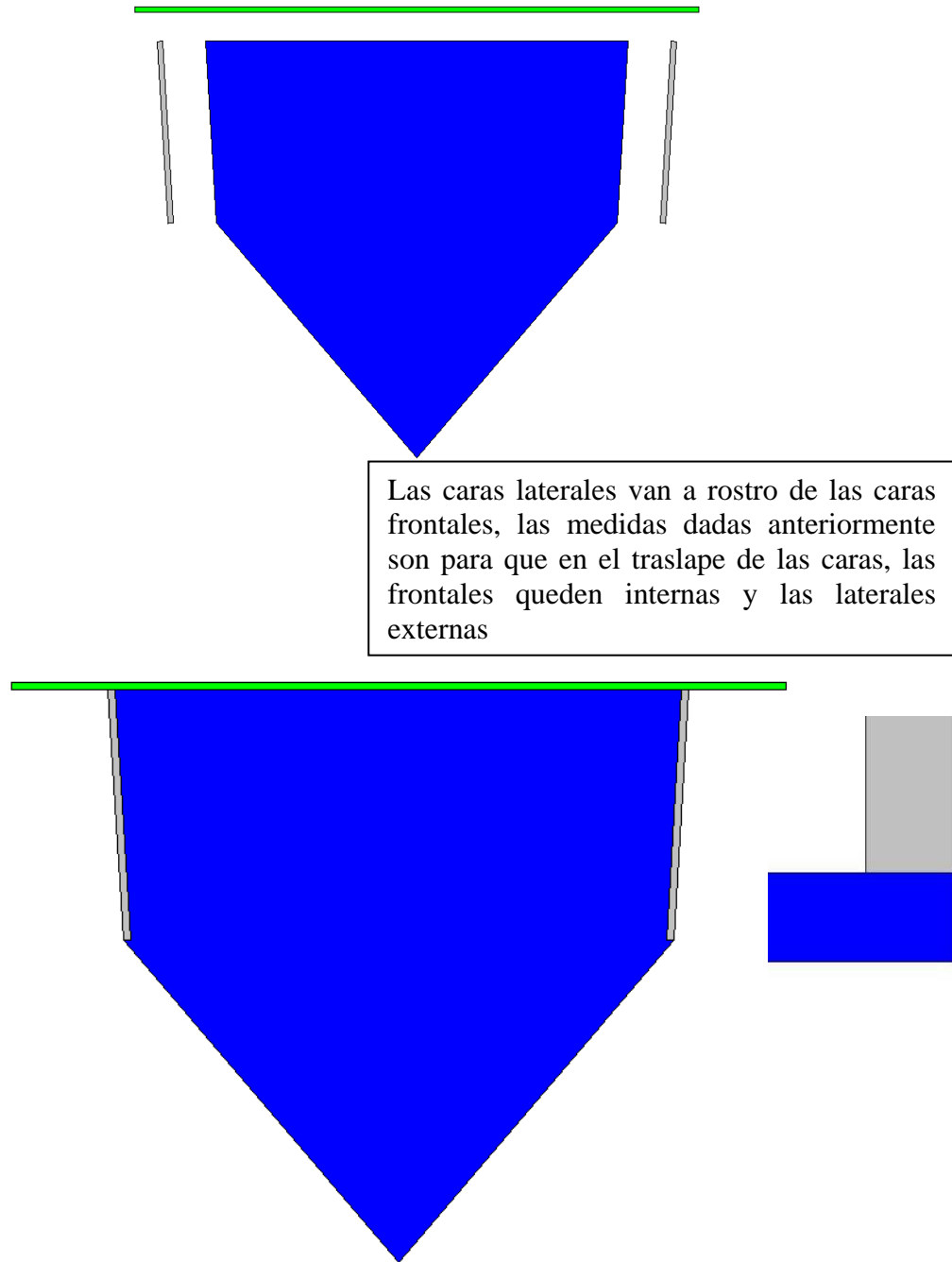
Para unir los segmentos se debe realizar primero una unión de todas las piezas con puntos de soldadura para dar forma a la cubierta sin dañar la geometría deseada; después se deben colocar tensores metálicos con puntos de soldadura para restringir el movimiento de las láminas derivado de los esfuerzos de contracción de las soldaduras. En las figuras siguientes se colocó distinto color a los segmentos para ilustrar cómo van dispuestos.

Figura 29. **Esquema de unión de segmentos vista frontal**



Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Esquema de unión de segmentos vista lateral**

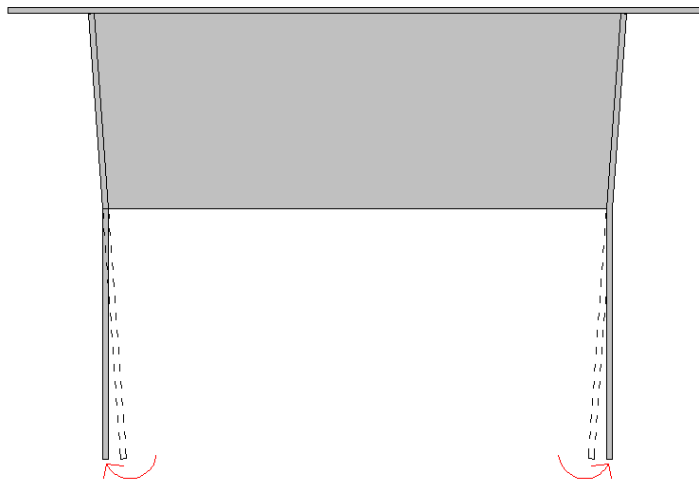


Fuente: elaboración propia.

### 3.3.1. Dobleces de segmentos triangulares

Aunque no es del todo necesario, se puede realizar un doblez en frío a los segmentos triangulares, para orientarlos verticalmente donde ya no interfieren con la compuerta. Esto trae la ventaja de que el impacto del material disminuye si las superficies son paralelas a su trayectoria; el ángulo en el doblez es tan pequeño que puede realizarse antes de unir las partes o bien después que la cubierta esté soldada totalmente.

Figura 31. Esquema de dobleces de las caras triangulares



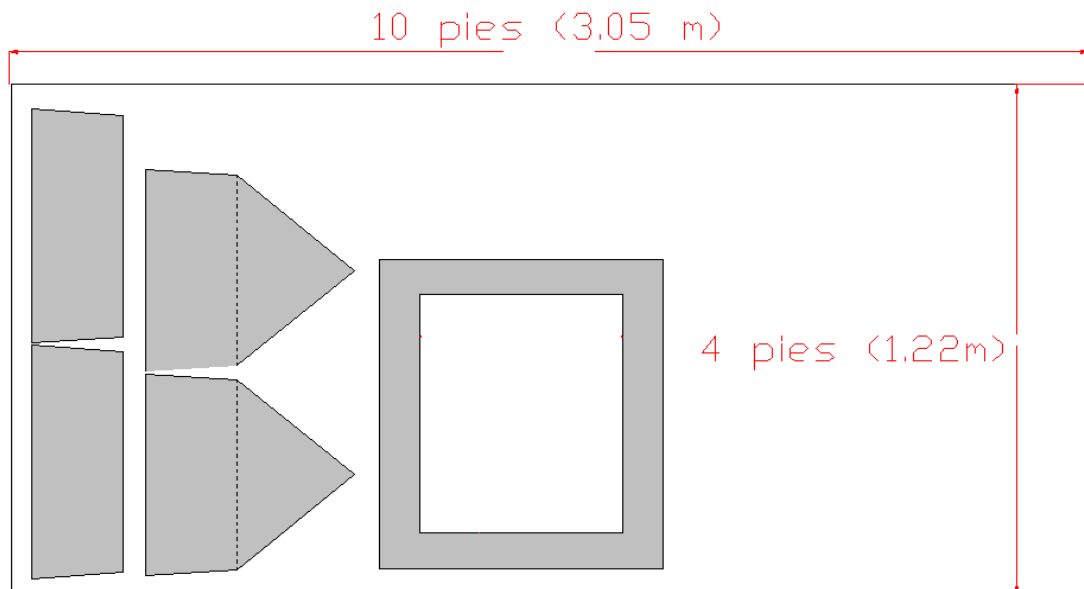
Fuente: elaboración propia

## 4. ANÁLISIS DE COSTOS Y RENTABILIDAD

### 4.1. Deducción de costos aproximados

El costo más importante que influye en la reparación de esta válvula es la lámina antidesgaste; estas al ser aleaciones especiales e insumos importados, son de un valor considerable; la presentación de estas láminas, normalmente es de 4x10 pies o 4 x 8 pies (1.22 x 3.05 m ó 1.22 x 2.44 m), dependiendo de la casa fabricante. Si la reparación consiste en la fabricación de la cubierta superior y la reparación de partes dañadas en la compuerta, es necesario alrededor de la mitad de la lámina comercial. Esto se ejemplifica en la imagen a escala del tamaño total de la lámina con las piezas necesarias dentro de ella.

Figura 32. Lámina completa



Fuente: elaboración propia.



Los costos aproximados se detallan en las tablas siguientes, se toma en cuenta un tiempo conservador de 1 semana de trabajo entre la fabricación de la cubierta y el desmontaje y reparación de la válvula.

Tabla IV. **Costo aproximado total de reparación**

<b>COSTOS EN QUETZALES</b>	
<b>Materiales directos</b>	5 750.00
<b>Mano de obra directa</b>	2 000.00
<b>Costos indirectos de fabricación</b>	425.00
<b>Costos consumibles</b>	550.00
<b>TOTAL QUETZALES</b>	<b>8 725.00</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Costo materiales directos**

<b>MATERIALES DIRECTOS</b>				
<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Medida</b>	<b>Costo unitario aproximado en quetzales</b>	<b>Costo total</b>
1/2	Lámina antidesgaste 400 HB	4x8'	8,500.00	4 250.00
10	Electrodo	libras	150.00	1 500.00
			<b>TOTAL QUETZALES</b>	<b>5 750.00</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Mano de obra directa**

<b>MANO DE OBRA DIRECTA EN QUETZALES</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Costo total</b>
Sueldo técnico 1	1,000.00
Sueldo técnico 2	1,000.00
<b>TOTAL EN QUETZALES</b>	<b>2,000.00</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Costos indirectos de fabricación**

<b>COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN EN QUETZALES</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Costo total</b>
Energía eléctrica taller	100.00
Servicio de agua taller	25.00
Gastos varios	300.00
<b>TOTAL EN QUETZALES</b>	<b>425.00</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Costos consumibles**

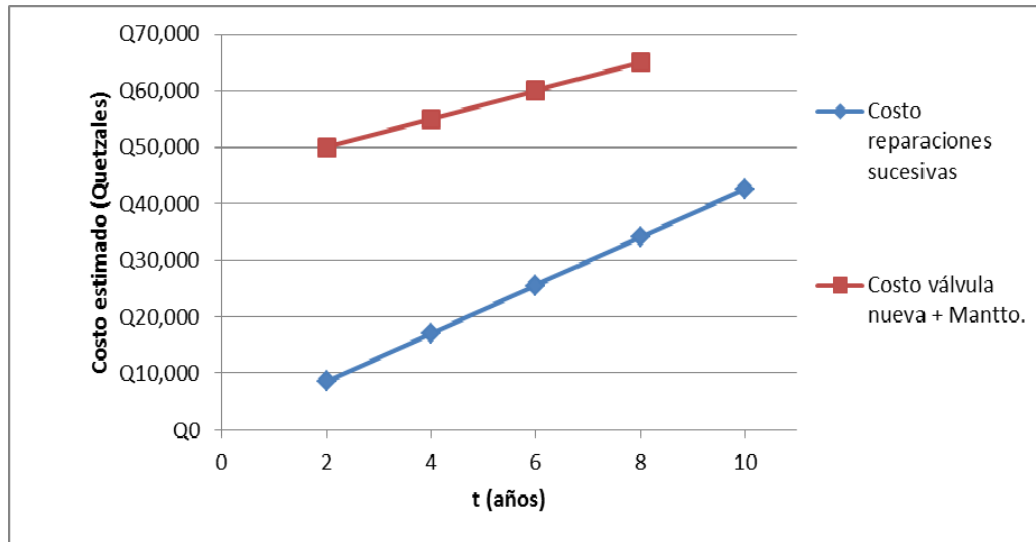
<b>MATERIALES CONSUMIBLES</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Costo total en quetzales</b>
Discos de corte	50.00
Discos de pulir	50.00
Acetileno	150.00
Oxigeno	300.00
<b>TOTAL EN QUETZALES</b>	<b>550.00</b>

Fuente: elaboración propia.

Al sustituir la cubierta y mantener el control adecuado del estado de la compuerta y sus reparaciones, se estará regenerando casi en su totalidad las partes críticas de la válvula, ya que el resto de componentes como chumaceras, ejes y sistema neumático, no presentan desgaste perceptible al estar trabajando muy por debajo de sus capacidades límite. En el caso de la carcasa, esta no entra en contacto con el material mientras las cubiertas y la compuerta estén en buen estado, por lo que no sufre desgaste alguno.

Se estima que una válvula nueva de este tipo representaría un costo no menor de Q.50, 000.00, por lo que se considera rentable conservar la válvula con las reparaciones adecuadas por el tiempo que sea posible. Si se estima de una manera conservadora realizar un reacondicionamiento completo cada 2 años, durante 10 años, y se asume que una válvula tendrá un comportamiento lineal en el costo de mantenimiento, se puede plasmar la siguiente gráfica.

Figura 33. Costos estimados versus tiempo



Fuente: elaboración propia.

#### 4.2. Límite de reparaciones posibles

Los materiales sometidos a ciclos térmicos pueden presentar en algún punto una concentración de esfuerzos residuales que pueden comprometer su utilidad. Pero al ser el parámetro crítico de servicio en estos dispositivos el desgaste y no esfuerzos mecánicos directos, se puede esperar que el acero base de la compuerta donde se realizarán las reparaciones, admita de manera prolongada estos ciclos térmicos sin que presente características desfavorables.

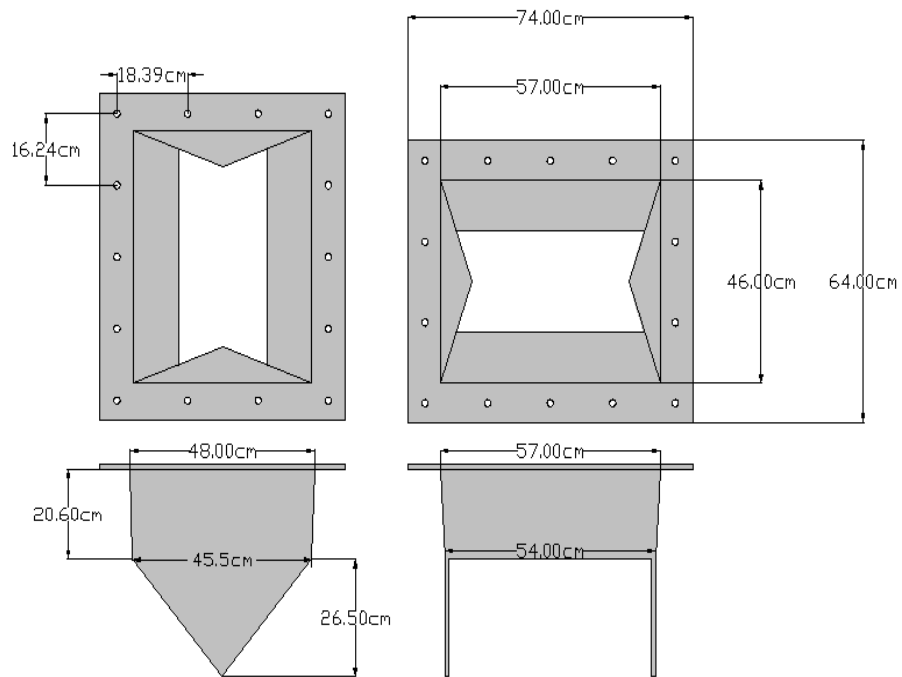
El criterio para determinar el límite de reparaciones a realizar, deberá ser a juicio del encargado de dicho mantenimiento, deformaciones excesivas debidas al calor y degeneración del volumen del material base debido a la remoción de parches anteriores, previo a la colocación de parches nuevos.



## CONCLUSIONES

1. El procedimiento de soldadura para la aleación considerada consiste en la evaluación del daño, la realización de biseles y el precalentamiento de las piezas a 100°C, sin permitir que las zonas aledañas a la misma sobrepasen los 250°C; se debe utilizar un electrodo rico en níquel y cromo E-312-16 y un amperaje entre 80 y 100 Amp.
2. La utilización de electrodo E-7018 puede ser una solución de emergencia; aunque se sale de los parámetros adecuados de reparación puede dar resultados relativamente satisfactorios en elementos sometidos a poco impacto, se debe dejar claro que para otros dispositivos o para usos más agresivos, la utilización de dicho electrodo puede generar fisuras y agrietamiento en las soldaduras.
3. El procedimiento de desmontaje consiste en la desconexión de sensores y elementos neumáticos, retirar todos los tornillos de las 3 bridas, colocar un apoyo donde descansará la válvula, arrastrar la válvula sobre dicho apoyo hasta que esté totalmente libre de los ductos y retirar la cubierta antidesgate superior.
4. El precio de ejecución de una reparación resulta en una fracción no mayor al 15% del costo de una válvula nueva.

5. Las directrices para la fabricación de cobertor antidesgaste superior de la válvula abarcan el corte del *flange* superior, el corte de las caras laterales y frontales y la unión de los segmentos; el resultado final será el diagrama siguiente:



## RECOMENDACIONES

1. Se debe tener en cuenta las correctas prácticas para realizar cualquier trabajo en caliente; es conveniente el uso de mascarillas para soldar, el uso de gafas para corte, caretas para soldar, gabachas y mangas, tener a la mano extintores y evaluar los riesgos de incendio previo a iniciar cualquier trabajo.
2. Se recomienda no utilizar el electrodo E-7018 como práctica regular para realizar reparaciones en láminas antidesgaste, dependiendo del grado de dureza, espesor de las láminas y situaciones de trabajo, este puede resultar satisfactorio bajo cargas bajas de impacto, pero esto no lo hace un parámetro aceptable en todos los casos.
3. Se recomienda contar con permisos de trabajo y bloqueo de equipos, previo a realizar cualquier actividad de desmontaje.
4. Se recomienda realizar todos los reacondicionamientos que permita la estructura base de la compuerta de la válvula, previo a sustituirla la válvula por una nueva.
5. Se recomienda rectificar medidas antes de fabricar la cubierta superior; pueden existir modificaciones realizadas a la válvula o los agujeros de las bridas pueden variar levemente.





## BIBLIOGRAFÍA

1. ASM HANDBOOK. Vol. 1. *Properties and selection, Irons and Steels*, American Society of Metals, 1978. 793 p.
2. ASTA, E.P. *El precalentamiento en la soldadura de aceros estructurales*, Revista Soldar CONARCO, N° 108, 1998. 275 p
3. AWS WELDING HANDBOOK. Vol. 1. 9th edition, American Welding Society, 1978. 669 p.
4. BAILEY, N. F. Coe, T Gooch, P. hart, N Jenkins and R. Pargeter. *Welding steels without hydrogen cracking*. England: Woodhead publishing, 1973. 156 p.
5. BALLEY, N., *Weldability of ferritic steels*. Inglaterra: Abington Publishing, 1992. 271 p.
6. GAXIOLA Maya. *Curso de capacitación de soldadura*, México: Editorial Limusa, 2004. 179 p.
7. GIACHINO, Joseph W. y William Weeks. *Técnica y práctica de la soldadura*. España: Editorial Reverté S.A., 2007. 457 p.
8. GIL, Hermógenes. *Soldadura: principios, técnicas y equipos*. España: Ediciones Ceac, 2005. 401 p.

9. GÓMEZ, M. Reina. *Soldadura de los aceros, aplicaciones*. España: 1994. 506 p.
10. GRAVILLE, B.A. *Welding of HSLA structural steels, Proceeding of International Conference, American Society for Metals*. 1976. 265 p.
11. IBARRA ECHEVERRÍA, Mauricio, NÚÑEZ, Solís Eduardo y HUERTA IBÁÑEZ, José Miguel. *Manual de aceros inoxidables*: Chile: 2M Impresores Ltda, 2010. 72 p.
12. INDURA. *Manual de sistemas y materiales de soldadura*. Chile: 2005. 88 p.
13. ISTRATI, George. *Manual de los aceros inoxidables*. Argentina: Alsina, 1961. 230 p.
14. JEFFUS, Larry. *Soldadura, principios y aplicaciones*, España: Editorial Paraninfo, 2009. 894 p.
15. MOLERA SOLÁ, Pere. *Soldadura Industrial: Clases y Aplicaciones*, Barcelona: Marcombo, 1992. 125 p.
16. OERLIKON. *Manual de soldadura*. Perú, 1999. 156 p.
17. OLIVA MINILO, Carlos. *Inspector de soldadura*. Chile: Instituto Chileno de Soldadura, 2007. 292 p.

18. RIVERA GUIROLA, Guillermo Rodolfo. *Reacondicionamiento de los álabes directrices de una turbina hidráulica tipo Francis, en hidroeléctrica Los Esclavos y su análisis de costos*. Maestría en Ingeniería de Mantenimiento, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009. 41 p.
19. SVENSSON Las-Erik. *Control of microstructures and properties in steel arc welds*, Inglaterra: CRC Press, Cambridge, 1995. 240 p.
20. Universidad de San Carlos de Guatemala. *Material didáctico de cursos de Diseño y metalurgia de la soldadura y reacondicionamiento de piezas*. Guatemala: Maestría en Ingeniería de Mantenimiento, Universidad de San Carlos de Guatemala. Presentaciones ppt.
21. YURIOKA, N. *Comparison of preheat predictive methods*, IIW Doc. IX-2025-02, 2004. 16 p.



## ANEXOS

### Anexo 1. Ficha técnica Lámina MAXDUR

**MAXDUR 400/450**

Maxdur 400 y Maxdur 450 son aceros especiales de grano fino con durezas típicas entre 400 y 450 HB. Su alta dureza, tenacidad y límite elástico, lo hacen un material de muy buena resistencia a las deformaciones plásticas y al desgaste abrasivo por deslizamiento e impacto.

Maxdur 400 es una muy buena solución cuando se requiere moderada resistencia al desgaste por deslizamiento o por impacto; y una adecuada facilidad de conformado en frío.

Maxdur 450 es óptima cuando se requiere máxima resistencia al desgaste por deslizamiento e impacto, con relativa facilidad de transformación en frío y una muy buena soldabilidad.

Las siguientes tablas muestran la composición química, dureza, resistencia mecánica y aptitud para la soldadura de Maxdur 400 y Maxdur 450.

a. Composición química Maxdur 450

C	Mn	P	S	Cr	Mo	B	Ni
0.18	1.45	0.02	0.003	0.8	0.20	0.003	0.12

Valores mínimos garantizados (lb en peso)

Fuente: [www.cga.com.co](http://www.cga.com.co). Consulta septiembre de 2011.

## Anexo 2. Ficha técnica lámina MAXDUR

### b. Composición química Maxdur 400

Espesor de la lámina	C	Mn	P	S	Cr
Menor o igual a 20mm	0.15	1.40	0.02	0.003	0.4
Mayor a 20mm	0.12	1.40	0.02	0.003	0.6

Valores máximos garantizados (%) en peso

### c. Propiedades mecánicas

	Límite elástico aparente	Resistencia a la tracción	% Elongación	Dureza nominal (HB)
Maxdur 400	1100 N/mm <sup>2</sup>	1350 N/mm <sup>2</sup>	13%	350-440
Maxdur 450	1200 N/mm <sup>2</sup>	1400 N/mm <sup>2</sup>	8%	410-450

d. Carbono equivalente calculado a partir de la siguiente fórmula:

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15}$$



**Maxdur**<sup>®</sup>  
soluciones al desgaste

Fuente: www.cga.com.co. Consulta septiembre de 2011.

# WELDINOX 629

Ficha Técnica

**Electrodo con revestimiento butílico. Depósito austeno-ferrítico para soldaduras en uniones de materiales disímiles y para recargues. Resistente a la corrosión hasta 1000°C.**

## APLICACIONES

Aceros resistentes a la corrosión con elevado porcentaje de delta-ferrita, aleado con cromo y níquel, aceros de alta resistencia mecánica y aceros de herramientas. Soldadura de unión de aceros de construcción de alta resistencia, aceros no aleados o de baja aleación con aceros altamente aleados o acero al manganeso austenítico (tipo Hadfield). Soldaduras de aporte para aplicar en capas resistentes al desgaste, a la corrosión al calor y a las altas temperaturas. Soldadura de reconstrucción y unión de dientes para draga, trituradoras, aletas de molinos, agujas, corazones, armaduras para compuertas, aletas agitadoras, cuchillos y moldes para la industria de materia sintética, hornos para recocido, mandriles y placas para desbastar en caliente.

## PROPIEDADES MECÁNICAS DEL METAL DEPOSITADO PURO

Tratamiento térmico		Sin tratamiento
Temperatura de ensayo	[°C]	+20
Límite elástico R <sub>p0.2</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	430
Resistencia a la tracción R <sub>m</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	750
Alargamiento A5	[%]	20

Fuente: <http://www.weldingcutting.com>. Consulta: septiembre de 2011.



## Anexo 4. Ficha técnica electrodo Weldinox 629

### INDICACIONES

Arco estable, cordones lisos y excelente aspecto, muy fácil eliminación de la escoria. El depósito es de estructura austenítica con 35 a 40% de delta ferrita, altamente resistente a rajaduras; y con alta resistencia a la tracción.

El depósito endurece por presión o impacto de 240 a 400 HB. Resistente al a fricción.

**Tratamiento térmico:** No es necesario.

**Pre calentamiento:** En general no hay necesidad.

### COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL METAL DEPOSITADO EN PESO%

C	Si	Mn	Cr	Ni
0.12	1	0.8	29	9

### MEDIDAS E INTENSIDAD DE CORRIENTE

Ø [mm]	5.0Largo [mm]	Empaque [A]	Empaque [Kg/caja]
1.6	250	20 - 50	5
2.5	250	60 - 90	5
3.25	350	80 - 110	5
4.0	350	100 - 150	5
5.0	450	150 - 190	5

Características	
REFERENCIA	DIMENSIÓN
SOISER0041	Diam. 2.4mm(3/32")
SOISER0042	Diam. 3.2mm (1/8")

**EMPAQUE:** Para diámetro 1/8" ó mayor, caja de 5 Kg peso neto. Para diámetro 3/32" caja de 2 Kg peso neto.

Fuente: <http://www.weldingcutting.com>. Consulta: septiembre de 2011.