

**DISEÑO DE JUNTAS DE EXPANSIÓN Y DE SU PROCESO DE
CONSTRUCCIÓN PARA EL ENSAMBLE DE DUCTOS EN CALDERAS DE TIPO
ACUOTUBULAR**

MARIO ANTONIO AGUILLÓN NOCUA

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
FACULTAD SECCIONAL DUITAMA
DUITAMA - BOYACÁ
2016**

**DISEÑO DE JUNTAS DE EXPANSIÓN Y DE SU PROCESO DE
CONSTRUCCIÓN PARA EL ENSAMBLE DE DUCTOS EN CALDERAS DE TIPO
ACUOTUBULAR**

MARIO ANTONIOAGUILLÓN NOCUA

**TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PRÁCTICA CON PROYECCION
EMPRESARIAL PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO
ELECTROMECAÁNICO**

**EDGAR ABSALÓN TORRES BARAHONA
DIRECTOR: INGENIERO ELECROMECAÁNICO**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
FACULTAD SECCIONAL DUITAMA
DUITAMA – BOYACÁ
2016**

Nota de aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Duitama, agosto de 2016

DEDICATORIAS

A DIOS

Por darme la sabiduría, paciencia, tranquilidad, serenidad, salud y bendiciones para empezar y culminar con éxito este proyecto.

A MIS PADRES

Que con su amor, esfuerzo, confianza, trabajo y dedicación hicieron de mí no solo una gran persona sino también un gran profesional; por brindarme apoyo moral y espiritual en cada momento de mi vida.

A MIS HERMANAS

Por sus grandes consejos y apoyo incondicional en el transcurso de mi vida y de mi carrera.

A MIS AMIGOS

Que con su compañía en el transcurso de la carrera hicieron de ella una gran aventura llena de experiencias, alegrías y tristezas que serán recordadas por siempre.

MARIO ANTONIO AGUILLÓN NOCUA

AGRADECIMIENTOS

El autor presenta sus más sinceros agradecimientos a:

El director del proyecto Edgar Absalón Torres Barahona Por su tiempo, dedicación y por todos los conocimientos que me aportó durante el desarrollo de este proyecto.

Al Gerente de SERGEMCO LTDA Hernán Ortega Joya, por permitirme desarrollar el proyecto de grado en esta institución y de igual manera quiero agradecer a todas las personas que forman parte de esta empresa, por la información brindada.

Al director de la escuela de Ingeniería Electromecánica Saulo Gilberto Pinzón Muñoz

A la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. A la Escuela de Ingeniería Electromecánica

A los profesores de la escuela de Ingeniería Electromecánica por las temáticas desarrolladas en clase, consejos y sugerencias.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	10
1. MARCO TEÓRICO	12
1.1 JUNTAS DE EXPANSIÓN.....	12
1.1.1 Definición de junta de expansión.	12
1.1.2 Tipos de juntas de expansión.	13
1.1.3 Problemáticas presentadas en las juntas de expansión	16
1.1.4 Procesos de soldadura utilizados en la elaboración de juntas de expansión.	18
1.1.5 Herramientas utilizadas para la elaboración de las juntas de expansión.	22
1.2 PROPIEDADES DEL ACERO INOXIDABLE	26
2. DISEÑO DE LAS JUNTAS DE EXPANSIÓN	28
2.1 PROCESO DE INGENIERÍA INVERSA	28
2.2 DISEÑO DE UNA JUNTA DE EXPANSIÓN MODELO	30
2.3 FABRICACIÓN UNA JUNTA EXPANSIÓN.....	43
2.3.1 Etapa de corte.....	43
2.3.2 Etapa de doblado.....	46
2.3.3 Etapa de ensamble.	52
3. ELABORACIÓN DE LA HERRAMIENTA GUÍA, PARA EL DISEÑO DE JUNTAS DE EXPANSIÓN.....	58

4. RESULTADOS	63
5. CONCLUSIONES	64
6. RECOMENDACIONES	65
BIBLIOGRAFÍA E INFOGRAFÍA	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Junta de expansión.....	12
Figura 2. Movimientos a los que pueden estar sometidas las juntas de expansión.....	14
Figura 3: Proceso SMAW.....	18
Figura 4: Proceso de soldadura GTAW.....	21
Figura 5. Proceso de soldadura TIG.....	21
Figura 6. Equipo de corte por plasma.....	23
Figura 7. Tabla de disposición del dado de la plegadora.....	24
Figura 8. Dobladora hidráulica.....	25
Figura 9. Cizalla hidráulica.....	25
Figura 10. Pulidora.....	26
Figura 11. Ducto transportador de aire caliente.....	28
Figura 12. Junta de expansión deteriorada.....	29
Figura 13. Fuelle deteriorado.....	29
Figura 14. Pliegue doblado.....	32
Figura 15. Junta sometida a esfuerzos axiales de compresión.....	34
Figura 16. Pliegue del fuelle metálico.....	35
Figura 17. Pliegue del fuelle metálico sometido a dos fuerzas iguales.....	35
Figura 18. Pliegue considerado como viga de sección transversal rectangular.....	36
Figura 19. Análisis de esfuerzo de un pliegue en Solidedge.....	40
Figura 20. Análisis de desplazamiento de un pliegue en Solidedge.....	40
Figura 21. Primera lámina de acero inoxidable para corte.....	44
Figura 22. Segunda lámina de acero inoxidable para corte.....	44
Figura 23. Tercera lámina de acero inoxidable para corte.....	45
Figura 24. Cuarta lámina de acero inoxidable para corte.	45
Figura 25. Primera lámina de acero al carbón A 36 para corte.	46
Figura 26. Segunda lámina de acero al carbón A 36 para corte.	46
Figura 27. Detalle, lámina ítem 2.....	47

Figura 28. Doble lámina ítem 2, gancho guía.....	47
Figura 29. Detalle, lámina ítem 3.....	47
Figura 30. Detalle del doblado de lámina del ítem 3.....	48
Figura 31. Detalle del corte, lámina ítem 4.....	48
Figura 32. Detalle corte, lámina ítem 4.....	49
Figura 33. Detalle, lámina ítem 5.....	49
Figura 34. Detalle del doblado de lámina del ítem 5.....	49
Figura 35. Detalle, lámina del ítem 6.....	50
Figura 36. Detalle, doblado lámina ítem 6.....	50
Figura 37. Detalle lámina ítem 7.....	51
Figura 38. Detalle doblado lámina ítem 7.....	51
Figura 39. Detalle, lámina ítem 8.....	52
Figura 40. Marco de lámina de acero al carbón.....	52
Figura 41. Diagonal, Ítem 1.....	53
Figura 42. Diagonales soldadas a cada marco.....	53
Figura 43. Fuelle metálico.....	54
Figura 44. Ensamble de los fueles con el marco metálico.....	54
Figura 45. Ensamble de cuadrados exteriores.....	55
Figura 46. Ensamble de cuadrados exteriores.....	55
Figura 47. Ensamble lámina ítem 5.....	56
Figura 48. Ensamble lámina ítem 5.....	56
Figura 49. Ensamble láminas ítem 6.....	57
Figura 50. Interfaz de selección del tipo de junta a construir.....	58
Figura 51. Interfaz de selección del tipo de junta a construir.....	59
Figura 52. Módulos y código para la ejecución de la interfaz gráfica.....	59
Figura 53. Código de los botones del formulario UserForm 1.....	60
Figura 54. Código de los botones del formulario UserForm 2 y 3.....	61
Figura 55. Interfaz de información del material requerido para la fabricación.....	61

LISTA DE ANEXOS

- Anexo A. Planos juntas de expansión de 12 pliegues
- Anexo B. Planos juntas de expansión de 9 pliegues
- Anexo C. Pasos para fabricar una junta de expansión de 9 pliegues
- Anexo D. Informe de simulación
- Anexo E. Manual de uso de la herramienta software
- Anexo F. Herramientas utilizadas en la fabricación de juntas de expansión

INTRODUCCIÓN

Sergemco Ltda., es una empresa con más de 20 años de experiencia en el desarrollo de actividades de mantenimiento al sector productivo nacional, atendiendo las necesidades de los clientes en campos como el minero, siderúrgico, electromecánico y de conversión de energía.

Entre las empresas de conversión de energía, Sergemco Ltda., presta servicios a Termopaipa, termotazajero, hidroeléctrica el quimbo y termopila, con actividades como la fabricación de estructuras, construcción de bandas transportadoras, aislamientos térmicos, montaje y desmontaje de estructuras y el mantenimiento de equipos incluyendo los sistemas de flujo de aire de las calderas, donde se revisan sus diferentes componentes como los ductos de aire, el calentador de aire, el aislamiento térmico, el mezclador de aire y las juntas de expansión que son elementos fusibles que protegen los ductos.

En este informe se hace referencia al mantenimiento, de los ductos que transportan aire caliente, por tal razón es de gran importancia decir que cuando fluye aire caliente por un ducto, éste aumenta su longitud por dilatación térmica, produciéndose sobretensiones mecánicas, razón por lo cual el ducto se divide en dos o más secciones de tal forma que se unen mediante juntas de expansión que actúan como resortes absorbiendo el aumento en dicha longitud y evitando el deterioro de los ductos; por este motivo, cuando se le realiza mantenimiento, lo que se hace es reemplazar estos elementos flexibles ya que de ellos depende la vida útil de los ductos.

SERGEMCO LTDA presta el servicio de diseñar y fabricar las juntas de expansión y es por esta razón que se requiere del diseño de estos elementos junto con su proceso de manufactura, que de garantía al cliente de la instalación de dispositivos con las características técnicas, funcionales y operacionales requeridas, entonces en el presente informe se relaciona el diseño de un modelo de junta de expansión y de una herramienta software que permite al personal de proceso determinar con base en el diseño y la selección del material, los planos, el proceso de corte y el proceso de ensamble de cada junta.

Además se hace la revisión bibliográfica del conocimiento relacionado con las juntas de expansión que actualmente se usan y que son más eficientes en diferentes sectores industriales.

Finalmente se presenta el proceso de implementación de la herramienta software, haciendo énfasis en su el modo de ejecución para obtener un buen diseño y juntas de expansión de calidad.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 JUNTAS DE EXPANSIÓN

1.1.1 Definición de junta de expansión. Una junta de expansión se define como un elemento de unión flexible entre dos ductos que sirve de fusible que para que los tubos no sufran sobretensiones mecánicas, deformaciones y desgastes cuando estos aumentan su temperatura o presión. Constituyen los sistemas más compactos que dispone para absorber dilatación en tuberías donde se presenta dilatación térmica, y según la norma EJMA (norma utilizada para seleccionar el tipo de material de las juntas de expansión a nivel mundial) para este tipo de tuberías, estos elementos flexibles deben estar hechos de un material metálico con algunas propiedades específicas requeridas.¹

Una junta de expansión o compensador de dilatación es un elemento flexible, formado por uno o más ondas/arcs, diseñado para resistir la presión interior de un determinado fluido a la temperatura de trabajo, pero lo suficientemente flexible para absorber los movimientos que se presenten.

Básicamente, se componen de un elemento de deformación mecánica perfectamente hermético, que permite compensar, en un reducidísimo espacio, considerables valores de dilatación.²

Figura 1. Junta de expansión



Fuente. El autor

¹ VICTAULIC COMPANY, Datos sobre diseño, sistema de tuberías ranuradas. Actualizado en Julio de 1998. Impreso en 2008. dirección de internet: <http://static.victaulic.com/assets/uploads/literature/26.02-SPA.pdf>

² *Ibíd.*,

Las juntas de expansión metálicas, son accesorios flexibles que se montan en las tuberías para absorber los movimientos causados por dilatación térmica y/o vibración mecánica.

La dilatación térmica genera en un sistema de tubería movimientos en diferentes sentidos como lo son: el axial, el angular y el lateral, esto hace que se desarrollen diferentes juntas de expansión metálicas para absorber estos movimientos o alguna combinación de ellos.³

El elemento flexible de las juntas de expansión metálicas es el fuelle y se fabrica normalmente en aceros inoxidable austeníticos AISI 304, 304L, 316, 316L, 316Ti, 321, 347; o en aleaciones especiales como Inconel®, Incoloy®, Monel® o Hastelloy®.

Las juntas de expansión metálicas más comunes son: junta de expansión axial, junta de expansión universal simple, junta de expansión universal cardánica, junta de expansión universal de bisagra, junta de expansión cardánica simple, junta de expansión de bisagra simple, junta de expansión universal autocompensada con derivación y junta de expansión axial antipandeo.

El rango de temperatura de operación más común de las juntas de expansión metálicas es desde -200°C hasta 750°C, y se fabrican para presiones de hasta 600 psi (42,185 Kg/cm²).⁴

1.1.2 Tipos de juntas de expansión. Existen varios tipos de juntas que se diferencian entre sí mediante las funciones de trabajo que son capaces de admitir movimientos en diferentes sentidos como lo son: a) Axiales. b) Laterales c) Angulares.

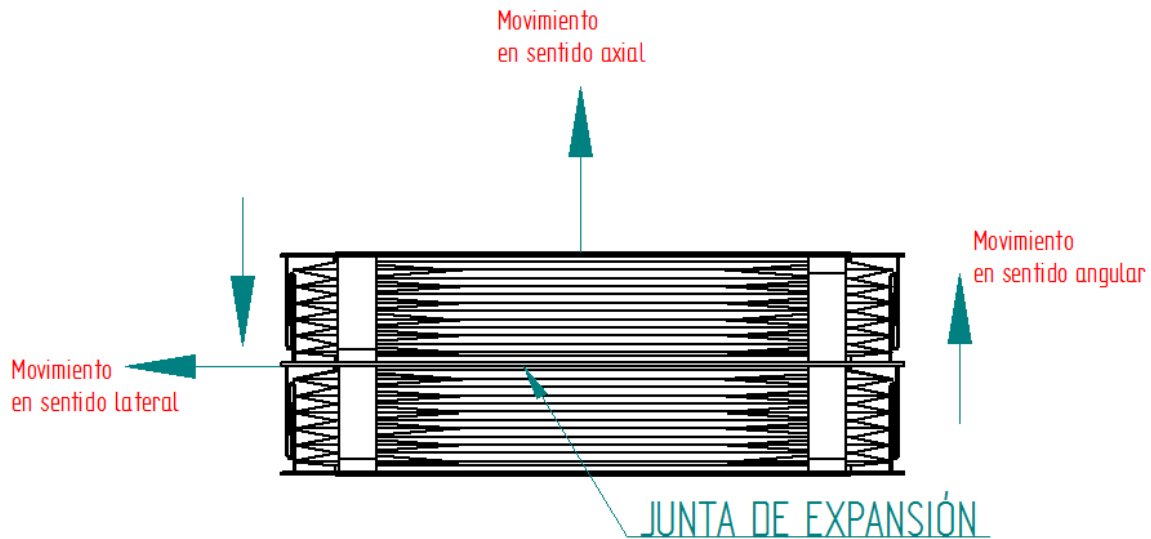
Además de otras formas combinadas posibles cuyo diseño se realiza para aplicaciones particulares.

En la figura 2, se pueden observar los movimientos que pueden experimentar las juntas de expansión, expuestas anteriormente, los cuales hacen que estos elementos flexibles, experimenten esfuerzos en diferentes sentidos, según el funcionamiento que desempeñen en los diversos sistemas.

³ Juntas de expansión metálicas. Consultada el 3 de octubre de 2015. Dirección de internet: <http://flexilatina.com/juntas-de-expansion-metalicas>.

⁴ Ibíd.,

Figura 2. Movimientos a los que pueden estar sometidas las juntas de expansión



Fuente. El autor

1.1.2.1 Juntas de expansión axiales. Son los elementos de absorción de dilatación más sencilla que se conoce. Se subdividen en: de Prensaestopas, de fuelle metálico, de fuelle sintético.

- **De Prensaestopas.** Consiste en un conjunto deformable axialmente, compuesto por dos secciones telescópicas y su correspondiente empaquetadura de estanqueidad. Este tipo de compensadores actualmente casi en desuso debido a sus limitaciones: Sólo admite deformación axial, bajas temperaturas de operación en función del material de su empaquetadura y está sujeto a mantenimiento periódico por desgaste de esta.⁵
- **De Fuelle Metálico.** Hoy por hoy son los más difundidos y fiables universalmente. Se componen de un fuelle metálico corrugado en forma de ondas paralelas, lo cual le confiere una gran capacidad de deformación, y los correspondientes extremos de conexión. Soportan elevadas presiones y temperaturas de hasta 600 °C sin problemas y superiores bajo diseño. Son capaces de admitir alternativa o simultáneamente movimientos, axiales, laterales, angulares y vibraciones, sin detrimento de la estanqueidad. Debido a esta versatilidad, son empleados para absorción de dilatación, vibración o como conexiones flexibles y barreras estancas. Se encuentran disponibles

⁵ Ibíd.,

en una amplia gama de materiales adaptables a cualquier necesidad que va desde el tombak u otras aleaciones del cobre para aplicaciones mecánicas (membranas termostáticas, pulmones, elementos de estanqueidad, etc.), acero inoxidable que en múltiples calidades es el material más utilizado, así como en superaleaciones para los casos de corrosión (Níquel, Incolloy 825, Inconel, Titanio y otros).

La conexión puede realizarse mediante extremos roscados (recomendable para pequeños diámetros), embridados en cualquier norma conocida o mediante extremos para soldar a tope, por lo cual resultan muy eficaces y económicos en montaje.

La selección se efectúa sobre catálogo de fabricante, en el cual constan los valores de desplazamiento admisible, diámetros, presiones nominales y factores de cálculo (superficie útil y constante elástica), así como las recomendaciones de uso.

Estos valores varían de unos fabricantes a otros ya que aunque existen formas de cálculo universales para los fuelles, no existe una normalización sobre las carreras o desplazamientos estándar, así como tampoco se ha homologado un sistema de cálculo por lo que es frecuente que cada fabricante tenga el suyo contrastado con sus ensayos internos.⁶

- **De Fuelle Sintético:** Son similares a los de fuelle metálico, sólo que, a diferencia de éstos, no suelen tener más de una o dos ondas, el material del fuelle es de caucho en diferentes calidades, PTFE o fibras textiles resistentes a temperatura y su campo de utilización bajo presión y en general, no va más allá de 16 kg/cm^2 (228 psi).⁷

1.1.2.2 Juntas de expansión laterales. También llamados articulados o universales, se construyen en su forma más sencilla en base a un compensador axial de un sólo fuelle, independientemente de que su forma de conexión sea con bridas o extremos para soldar, a los cuales se suelda una placa de anclaje que serán unidas mediante tirantes apoyados sobre rótulas esféricas.

⁶ Elementos de diseño para el cálculo de flexibilidad en tuberías y aplicación de compensadores de dilatación: Guillermo Díaz Andrade. Citado el 13 de mayo de 2016. Dirección de internet: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3319/55868-4.pdf/sequence=4>.

⁷ *Ibíd.*,

Esta configuración permite un movimiento controlado lateralmente sobre un plano circular de 360 °C y por lo tanto la absorción de dilataciones en un sólo sentido o las procedentes de dos sentidos perpendiculares entre sí concurrentes.

En el caso de que la misma forma constructiva incorpore dos fuelles y un tramo intermedio de tubería separándolos, habremos incrementado enormemente su capacidad de absorción tanto más cuanto más separados entre sí estén dichos fuelles; (hay límites) así como minimizando las fuerzas de reacción del compensador sobre la línea de tubería.⁸

1.1.2.3 Juntas de expansión angulares. Son elementos de compensación constituidos por un sólo fuelle y tirantes de articulación que obligan a admitir tan sólo movimientos angulares puros.

Serán distinguidos los angulares simples, limitados a trabajar en un sólo plano, y los dobles o cardan con un grado de libertad mayor, que trabajan en varios. Su utilización además de las ventajas mencionadas para los compensadores articulados implica otras adicionales como la de permitir valores de absorción muy importantes y ser especialmente adecuados para altas presiones.

Se recomienda particularmente este tipo de compensadores por la tremenda seguridad que ofrecen y también porque perdonan muchos errores de montaje.

Para un correcto funcionamiento de la junta de expansión, el sistema de tubería debe dividirse en secciones de expansión/contracción separadas con sujeciones, guías y anclajes adecuados para dirigir el movimiento axial de los tubos.

1.1.3 Problemáticas presentadas en las juntas de expansión

1.1.3.1 Anteriores a la puesta en servicio.

- Manejo inadecuado en el transporte, almacenaje o manipulación en el montaje.⁹

⁸ Ibid.

⁹ Expansion joints. Consultada el 4 de diciembre del 2015. Page63. Dirección de internet: <http://www.bikar.com>.

- Instalación fuera de los límites tolerables en cuanto a desalineamientos de la tubería o colocación de la junta de expansión en una orientación errónea.
- Un inadecuado soportaje (anclajes, guías, etc.). Para un buen rendimiento de las juntas de expansión, es esencial una sujeción adecuada del sistema de tuberías/conductos de tal manera que permita movimientos en la dirección prevista por el diseño y contener los esfuerzos desarrollados por efecto de la presión interior o en vacío.

1.1.3.2 No tenidas en cuenta en el diseño.

- Sobrepasar las condiciones de diseño, como lo son: Sobrepresión, movimientos excesivos, temperaturas exageradas, vacío no previsto, etc.
- Fallo de un anclaje.¹⁰
- Vibraciones inducidas que pueden llevar a los materiales a su ruptura (grietas, fatiga, etc.). Se presentan por excesivas vibraciones mecánicas no previstas de los equipos del sistema o como resultado de un flujo turbulento o de una velocidad muy alta.

1.1.3.3 Inherentes al servicio.

- Envejecimiento o fatiga del material a lo largo de su servicio soportando ciclos de presión, de temperatura, de movimientos, etc.¹¹
- Erosión que se presenta en las juntas de expansión sin protección adecuada para flujos de medios abrasivos, con altas velocidades o flujos turbulentos.¹²
- Corrosión: Afectando a la resistencia de los materiales utilizados en la construcción de la junta de expansión.¹³

¹⁰ *Ibíd.*,

¹¹ Mantenimiento de juntas de expansión. Citada el 30 de junio de 2016. Dirección de internet: <http://www.dualtm.com/mantenimiento-juntas>

¹² *Ibíd.*,

¹³ *Ibíd.*,

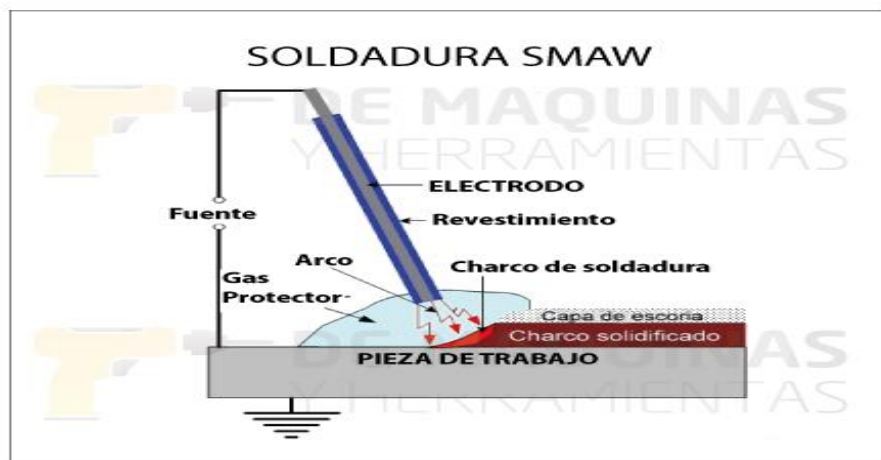
1.1.4 Procesos de soldadura utilizados en la elaboración de juntas de expansión.

1.1.4.1 Proceso SMAW (Shielded Metal Arc Welding). En castellano se la conoce por las siglas MMA (Soldadura Manual de Arco Metálico), o soldadura de electrodo.¹⁴

En este proceso se utilizan electrodos de acero revestidos con un material fundente que, con el calor de la soldadura, produce CO_2 . Este gas actúa como un escudo contra el oxígeno de la atmósfera, previniendo la oxidación y otros tipos de contaminación del metal. El núcleo de acero del electrodo, al fundirse, une las piezas y rellena los espacios.¹⁵

Se trata de una técnica en la cual el calor de soldadura es generado por un arco eléctrico entre la pieza de trabajo (metal base) y un electrodo metálico consumible (metal de aporte) recubierto con materiales químicos en una composición adecuada (fundente).¹⁶

Figura 3. Proceso SMAW



Fuente: tomado de <http://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura>

¹⁴ Soldadura, principios y aplicaciones. Citada el 10 de junio de 2016. Dirección de internet: <http://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura>.

¹⁵ *Ibíd.*,

¹⁶ *Ibíd.*,

En el proceso de soldadura SMAW (Shielded Metal Arc Welding), todos los elementos que participan cumplen una función importante. Veamos por qué:¹⁷

El arco: el comienzo de todo proceso de soldadura por arco es precisamente la formación del arco. Una vez que este se establece, el metal de aporte y el fundente que lo recubre empiezan a consumirse. La fuerza del arco proporciona la acción de excavar el metal base para lograr la penetración deseada. Este proceso continúa a medida que la soldadura se ensancha y el electrodo avanza a lo largo de la pieza de trabajo.

El metal de aporte: al disolverse, forma gotas que se depositan sobre la pieza de trabajo dando lugar al charco de soldadura, que llena el espacio de soldadura y une las piezas en lo que se denomina una junta de soldadura.¹⁸

El fundente: se derrite junto con el metal de aporte formando un gas y una capa de escoria, que protegen el arco y el charco de soldadura. El fundente limpia la superficie metálica, suministra algunos elementos de aleación a la soldadura, protege el metal fundido contra la oxidación y estabiliza el arco. La escoria se retira después de la solidificación.

Equipo de soldadura SMAW. Conocido por su simplicidad y facilidad de uso, el equipo para efectuar soldaduras SMAW se muestra en documento “herramientas utilizadas en la elaboración de juntas de expansión” anexo F.¹⁹

- **Ventajas:**

- a. Equipo simple, portátil y de bajo costo
- b. Aplicable a una amplia variedad de metales, posiciones de soldadura y electrodos
- c. Posee tasas de deposición del metal relativamente altas
- d. Adecuada para aplicaciones en exteriores

¹⁷ Soldadura Smaw que es y procedimiento. Citada el 20 de junio de 2016. Dirección de internet: [http://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura Smaw](http://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura%20Smaw).

¹⁸ *Ibíd.*,

¹⁹ *Ibíd.*,

- **Desventajas:**

- a. El proceso es discontinuo debido a la longitud limitada de los electrodos
- b. Por tratarse de una soldadura manual, requiere gran pericia por parte del soldador
- c. La soldadura puede contener inclusiones de escoria
- d. Los humos dificultan el control del proceso ²⁰

Para soldar las piezas de acero al carbón se utilizó electrodos de soldadura E7018 ideales para aplicaciones de construcción que requieren de soldaduras fuertes y de calidad, es la más utilizada para soldar piezas de acero A36, además su resistencia a la tracción de 70.000 libras por pulgada cuadrada (49.214.868 kilogramos fuerza por metro cuadrado), hace que este tipo de soldadura sea muy resistente, sin producir daño alguno en el acero A36, ya que poseen características mecánicas similares. Para la unión del acero al carbono y del acero inoxidable se empleó soldadura bimetálica 309 ya que es un tipo de soldadura que además de soldar muy bien el acero inoxidable, también se adhiere muy bien en el acero al carbón, lo cual hace que haya una unión muy resistente entre el acero inoxidable y el acero al carbón. Las soldaduras utilizadas se muestran en cada uno de los planos correspondientes a cada junta de expansión.

1.1.4.2 Proceso GTAW (Gas Tungsten Arc Welding). En castellano, Soldadura de Arco de Gas de Tungsteno, o de Gas Inerte de Tungsteno (TIG).²¹

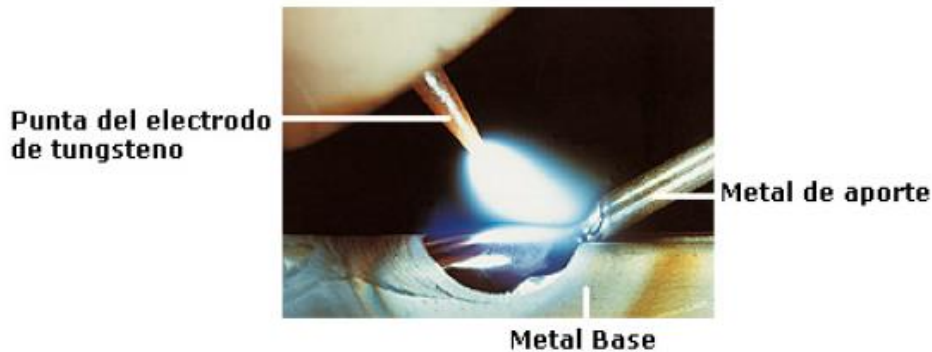
En este proceso, el electrodo es de tungsteno y no se consume, y se utilizan gases inertes o semi-inertes como blindado. Es un proceso lento y preciso, que requiere de mucha técnica, pero que permite unir metales finos y realizar trabajos delicados. Este tipo de soldaduras se utiliza extensamente en la fabricación de bicicletas.²²

²⁰ *Ibíd.*,

²¹ Proceso de soldadura TIG. Citada el 10 de marzo de 2016. Dirección de internet: http://www.esab.cl/cl/sp/education/blog/proceso_soldadura_tig.cfm

²² *Ibíd.*,

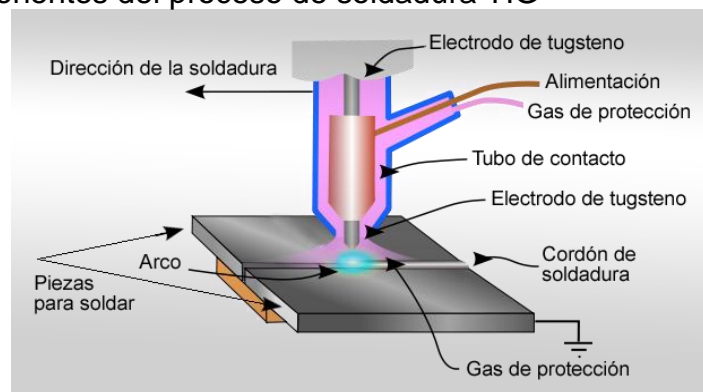
Figura 4: Proceso de soldadura TIG.



Fuente: <http://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura>

TIG (Tungsten Inert Gas) consiste en aquella técnica de soldadura que emplea gas Argón (Ar) en estado plasmático generado por la descarga en arco entre el electrodo de Tungsteno (W) y el material base. Dicha técnica emplea para el gas una presión igual o mayor a la atmosférica, el proceso se realiza en condiciones de atmósfera inerte, a 6000 K. Este gas adquiere propiedades eléctricas debido a que pasa al estado plasmático a determinadas condiciones de intensidad y voltaje de corriente eléctrica. El gas Argón empleado es de pureza elevada con contenido de contaminantes menores a 500 ppm. El Tungsteno es un metal de color gris, de alto punto de fusión 3400-4000 °C, se obtiene una mejora importante en sus propiedades cuando a estos electrodos se les adiciona óxido de Torio (Th), Circonio (Zr), Lantano (La) o Cerio (Ce) en cantidades entre el 0.15 – 4.2%. Los electrodos empleados para esta técnica se clasifican según la Norma ISO 6848.²³

Figura 5.Componentes del proceso de soldadura TIG



Fuente: <http://www.demaquinasyherramientas.com/soldaduratig>

²³ Tutorial de soldadura TIG. Consultada el 30 de febrero de 2016. Dirección de internet: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal>

- **Aplicaciones de la soldadura TIG.** Su aplicación industrial es extensa aplicándose a todos los metales ligeros tales como Aluminio, Magnesio y aleaciones. Aceros inoxidable (Cromo, Níquel, y aleaciones). Cobre y sus aleaciones. Plomo, Plata, Oro, Aceros al Carbono, Metales diferentes entre sí, etc.²⁴

Este proceso de soldadura se utilizó para unir las piezas en acero inoxidable, ya que además de no producir oxidación, le da una muy buena presentación a las piezas y una alta resistencia en la unión, comportándose así las piezas, casi como una sola.

1.1.5 Herramientas utilizadas para la elaboración de las juntas de expansión.

1.1.5.1 Equipo de plasma. Este equipo es utilizado para el corte de las láminas de acero.

Se tiene entendido en términos sencillos, que el corte por plasma es un proceso que utiliza un chorro de alta velocidad de gas ionizado que se envía desde un orificio de constricción. La alta velocidad del gas ionizado, que es el plasma, conduce la electricidad desde la antorcha de plasma a la pieza de trabajo. El plasma calienta la pieza de trabajo, fundiendo el material. El flujo de alta velocidad del gas ionizado sopla mecánicamente el metal fundido, rompiendo el material.²⁵

El proceso de corte por plasma se debe hacer por una persona experta en la materia y debe estar acompañado por un supervisor.²⁶

- **Descripción dispositivos en el aparato del plasma. Ver figura 6.**

- A. Cable de alimentación
- B. Empalme aire comprimido (rosca 1/4" gas hembra)
- C. Interruptor de red
- D. Luz testigo de red
- E. Empuñadura regulación presión
- F. Manómetro
- G. Led termostato
- H. Borne de masa

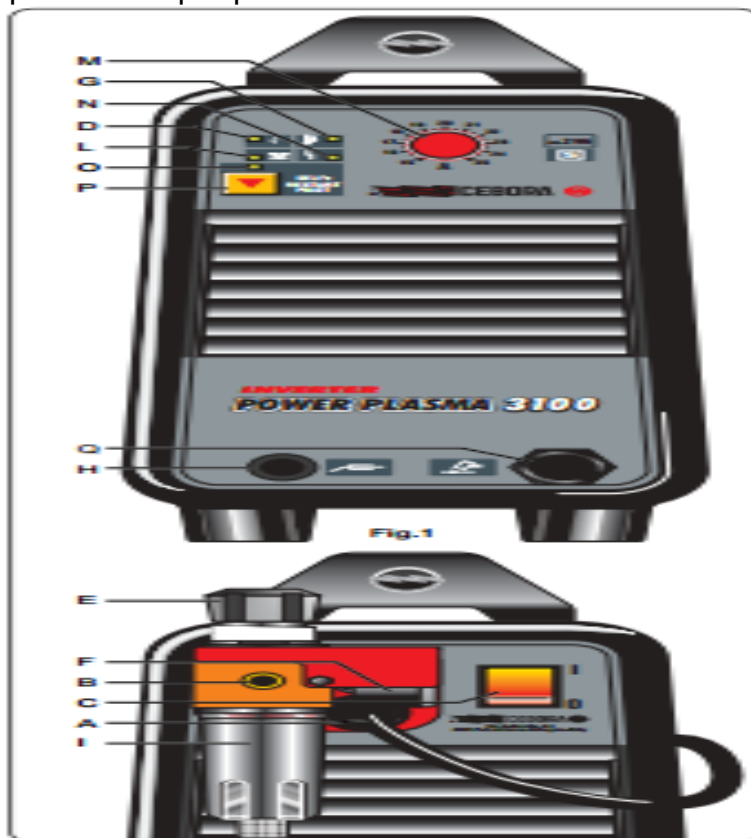
²⁴ Procesos de soldadura TIG. Consultada el 4 de marzo de 2016. Dirección de internet: <http://www.solter.com/es>

²⁵ Manual de instrucciones para equipo de corte en plasma. Consultada el 27 de Marzo de 2016. Dirección de internet: <http://www.cebora.it/istr/ist823E.pdf>.

²⁶ *Ibíd.*,

- I. Cubeta recoge condensación
- J. Led presión aire insuficiente.
- K. Empuñadura de regulación de la corriente de corte
- L. Led de bloqueo; se ilumina si se verifican condiciones peligrosas.
- M. Led que se ilumina cuando es activa la función "
- N. SELF-RESTART PILOT "
- O. Pulsador para activar y desactivar la función " SELFRESTART PILOT "
- P. Antorcha plasma²⁷

Figura 6. Equipo de corte por plasma



Fuente: <http://www.cebora.it/istr/ist823E.pdf>

1.1.5.2 Plegadora. Máquina utilizada para doblar láminas de metales principalmente de acero y aluminio, en diferentes ángulos. La plegadora utilizada en Sergemco Ltda., es de 22 KW de potencia capaz de doblar hasta 12.7 mm de acero al carbón y 7 mm de espesor de acero inoxidable, esta máquina es controlada electrónicamente, lo que la hace una muy precisa y confiable y debe ser manejada

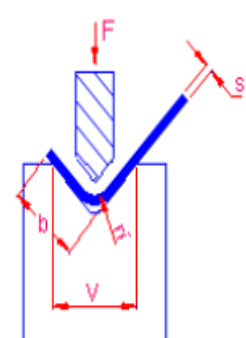
²⁷ *Ibíd.*,

por una persona capacitada; en este caso una persona de la empresa SERGEMCO LTDA. Este proceso de doblado se realiza mediante un punzón y un dado el cual está provisto de varias V, correspondientes cada una al grosor de la lámina que se pretenda doblar, ver figura 7. ²⁸

Para el proceso de doblado se debe programar en la maquina la V del dado que se va a trabajar y se escoge de acuerdo al grosor de la lámina, el tipo de punzón y el ángulo que se requiere de doblado. ²⁹

Figura 7. Tabla de disposición del dado de la plegadora

V	b	ri	s (mm)																						
			0.5	0.8	1	1.2	1.5	1.8	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	6	7	8	9	10	12	15	18	20	
6	5	1	2.5	6.5	10																				
8	6	1.3	2	5	8	11																			
10	7	1.7	1.5	4	6	9	13																		
12	9	2		3	5	7	11	16																	
15	12	2.7			4	6	9	13	16																
20	15	3.3				4	7	10	12	19															
26	18	4.2					5	7.5	9	14	21														
30	22	5						6.5	8	12	19	24													
32	23	5.4							7.5	11.6	17	23	30												
37	25	5.8								10	14.5	20	26	33											
42	29	6.7										13	17	23	29	33.5									
45	32	7.5											16	21	27	33	48								
50	36	8.3												19	24	30	43	58							
60	43	10													20	25	36	49	64						
70	50	11.5														21	31	42	55	59					
80	57	13.5															27	37	48	60	75				
90	64	15																32	42	54	66	95			
100	71	17																	38	48	60	86	134		
130	93	22																		37	46	66	103	149	
180	130	30																			33	48	75	107	133
200	145	33																				43	67	97	119
250	180	42																					54	77	95



Fuente: Manual de usuario ADR. Pág. 47

²⁸ Productos ofrecido por DURMA cortes y plegados. Citada el 3 de diciembre del 2015. Dirección de internet: <http://www.durma.co.za/metal-work-products>.

²⁹ Ibíd.,

Figura 8. Dobladora hidráulica



Fuente: Manual de usuario AD-R 30220. Pág. 1

1.1.5.3 Cizalla. Esta es una máquina que sirve para cortar lámina. La cizalla utilizada en Sergemco Ltda., es de una potencia de 30 KW, capaz de cortar un grosor de lámina de acero al carbón de hasta 12,7 mm y lamina de acero inoxidable de 8 mm de espesor, esta cizalla funciona con 4 partes primordialmente que son: la cuchilla que es una platina de alta resistencia con una gran filo capaz de cortar el acero, los pisones los cuales pisan la lámina para que la cuchilla pueda bajar bien y no se presenten desplazamientos de esta en el proceso de corte, el control CNC el cual permite programar la distancia de lámina que se desea cortar, la cantidad de cortes y por último el volante de selección del espesor de la lámina que se desea cortar, tal vez éste es el más importante ya que para el corte de cada grosor de lámina se requiere una potencia específica y si el volante no se opera adecuadamente podría dañarse rápidamente tanto los punzones como la cuchilla de corte.³⁰

El proceso de corte debe hacerse por una persona capacitada en la operación del manejo de la cizalla hidráulica.³¹

Figura 9. Cizalla hidráulica



Fuente: Fuente: Manual de usuario SBT 3013. Pág.

³⁰Productos ofrecidos por DURMA. Consultada el 3 de marzo de 2016. Dirección de internet: <http://www.durma.co.za/metal-work-products/vs-series-variable-rake-cnc-shear/vs-series-variable-rake-cnc-shear.asp>

³¹ Ibíd.,

1.1.5.4 PULIDORA: Las pulidoras manuales de operación eléctrica, son máquinas empleadas para pulir salientes, cordones de soldadura, soltar remaches, redondear ángulos, cortar metales, entre otras. Es un equipo muy versátil y su campo de aplicación se extiende a varios procesos de la industria. El proceso de pulido debe hacerse por una persona con experiencia en pulir, ya que requiere de mucha técnica.³²

Figura 10. Pulidora



Fuente: <http://www.ecured.cu/PulidoraEléctrica>

1.2 PROPIEDADES DEL ACERO INOXIDABLE

El acero inoxidable es una aleación de hierro y carbono que contiene por definición un mínimo de 10,5% de cromo. Algunos tipos de acero inoxidable contienen además otros elementos aleantes. Los principales son el níquel y el molibdeno. Es un tipo de acero resistente a la corrosión, el cromo que contiene posee gran afinidad por el oxígeno y reacciona con él formando una capa pasivadora que evita la corrosión del hierro contenido en la aleación. Sin embargo, esta película puede ser afectada por algunos ácidos dando lugar a un ataque y oxidación del hierro por mecanismos intergranulares o picaduras generalizadas.³³

Los aceros inoxidables que contienen más de un 7% de níquel, se llaman "austeníticos", ya que tienen una estructura metalográfica en estado recocido, formada básicamente por austenita. No son magnéticos en estado recocido, y por tanto no son atraídos por un imán. Estos aceros austeníticos se pueden endurecer por deformación, pasando su estructura metalográfica a contener "martensita". En esta situación se convierten en parcialmente magnéticos.³⁴

³² ECURED, Conocimientos de todos y para todos, Pulidora_El%C3%A9ctrica disponible en <http://www.ecured.cu/PulidoraElectrica>, consultada el 16 de Marzo de 2016.

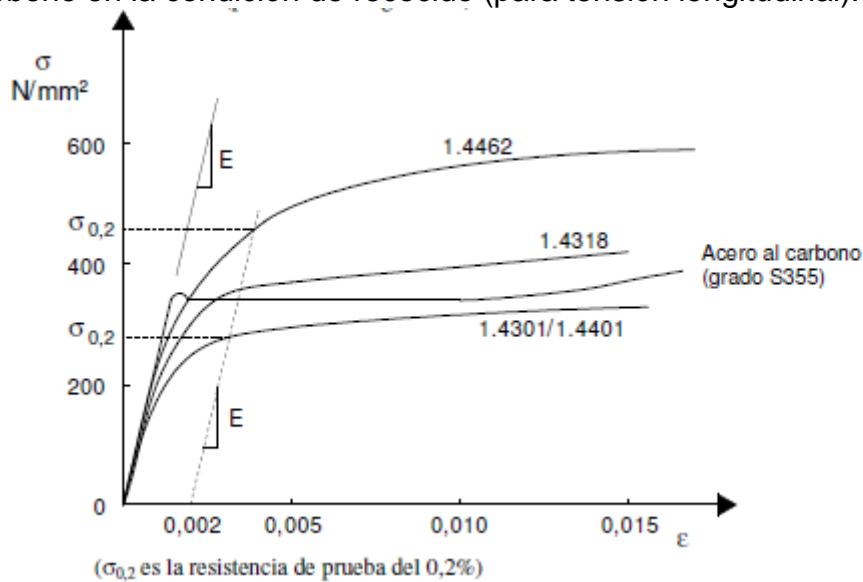
³³ *Ibíd.*,

³⁴Propiedades del acero inoxidable. Consultada el 15 de diciembre del 2015. Dirección de internet: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3319/55868-4.pdf?sequence=4>

Los grados más utilizados, referidos generalmente como grados austeníticos estándares, son 1.4301 (comúnmente conocido como 304 en denominación AISI) y 1.4401 (AISI 316). Estos aceros inoxidable contienen entre un 17-18% de cromo y un 8-11% de níquel. El grado 1.4301 es adecuado en ambientes rurales, urbanos y ligeramente industriales, mientras que el 1.4401 es un grado más aleado y por tanto recomendable en ambientes marinos e industriales.³⁵

Las versiones de estos mismos grados con bajo contenido en carbono son 1.4307 (AISI 304L) y 1.4404 (AISI 316L). Los grados 1.4301 y 1.4401 se fabricaban anteriormente con contenidos de carbono más elevados lo cual tenía implicaciones en el comportamiento de los mismos frente a la corrosión. Tanto el grado 'L' como un acero estabilizado tal como el 1.4541 y el 1.4571 deberían utilizarse cuando sea determinante el comportamiento frente a corrosión en estructuras soldadas.³⁶

Figura 10.1 Curvas tensión-deformación típica para el acero inoxidable y el acero al carbono en la condición de recocido (para tensión longitudinal).



Fuente: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3319/55868-4.pdf>

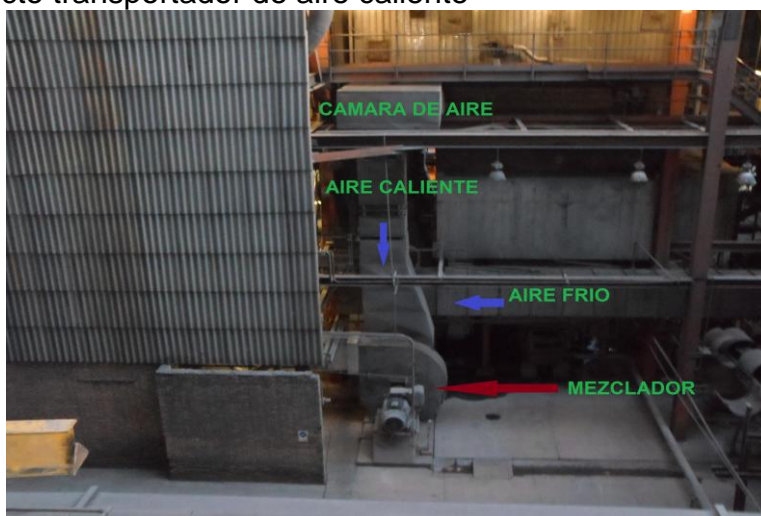
³⁵ *Ibíd.*,

³⁶ *Ibíd.*,

2. DISEÑO DE LAS JUNTAS DE EXPANSIÓN

En este proyecto se realizó un análisis mecánico de las juntas de expansión térmica, para ductos en calderas tipo acuotubular; estas juntas son parte de ductos los cuales transportan aire caliente entre la cámara y el mezclador de aire como se muestra en la figura 11. Las dilataciones de dichos ductos ya están determinadas como también la forma específica de dichas juntas, estos parámetros son tratados en el desarrollo del proyecto y son exigidos por GENSA.

Figura 11. Ducto transportador de aire caliente



Fuente. El autor

2.1 PROCESO DE INGENIERÍA INVERSA

Teniendo en cuenta que una de las actividades de la empresa se relaciona directamente con el mantenimiento de las juntas de expansión, entonces, es valioso, tomar la información resultante del trabajo realizado por la empresa en el desmonte de las juntas que sufrieron algún tipo de problema para establecer criterios de diseño que permitan dar viabilidad a la propuesta que se va a plantear.

Tomando el dispositivo de uno de los ductos que transporta aire caliente de la unidad número 2 de la central termoeléctrica de Paipa, que se muestra en la figura 12, se observa que la junta de expansión está compuesta por fuelles conformados por varios pliegues, por 32 ganchos guía y por marcos cuadrados soldados a los ductos. Todas estas partes están hechas de acero al carbón A 36.

Figura 12. Junta de expansión deteriorada

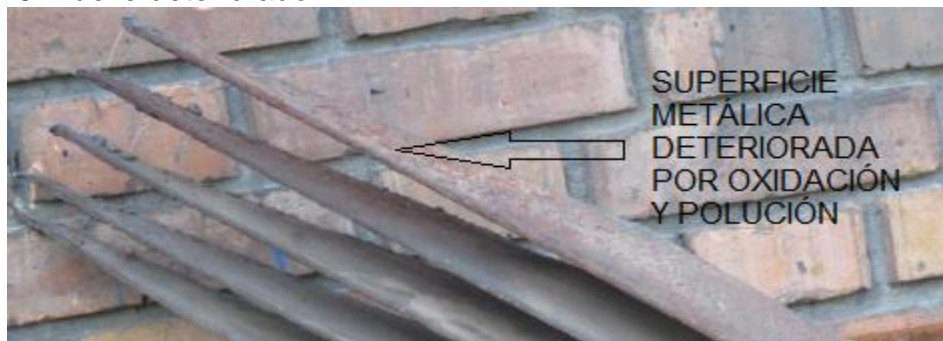


Fuente. Autor propuesta de grado

En el análisis que se le hizo a las juntas de expansión se observó que no existe fatiga mecánica, ya que los pliegues de los fuelles no se encuentran fracturados, ni agrietados, hay deterioro por corrosión como se observa en la figura 13, afectando las partes más importantes de las juntas como los fuelles metálicos, además se observó que las láminas de sello que se ven en la figura 1 estaban soldadas en el lado contrario a donde deben ir soldadas por lo que permitió la infiltración de mucha ceniza. Se pudo evidenciar que las solo se comprimen y se extienden por lo que solo soportan fuerzas axiales.

Gracias a la colaboración por parte del personal de GENSA se extrajo información correspondiente a la temperatura y presiones a las que se someten las juntas de expansión cuando entran en funcionamiento y se encontró que alcanzan un máximo de 180 °C de temperatura y una presión muy baja de 100 mm de agua (980 Pa), por lo cual es claro que la presión no influye en el análisis de estos elementos flexibles.

Figura 13. Fuelle deteriorado



Fuente. El autor

Cuando se observó la separación de los ductos en donde debía ir instalada la junta de expansión, se encontró un elemento importante denominado candado (consultar plano 24 anexo A y plano 14 anexo B, proporcionado por la central termoeléctrica de GENSA), que es el elemento que restringe la distancia que se debe comprimir cada junta, según se observa en el plano del candado de cada junta, la distancia que debe comprimirse la junta de 9 pliegues es de 45 mm, y la de 12 pliegues debe comprimirse 60mm, por lo que se deduce que cada pliegue se comprime 5mm independientemente de que tipo de junta que se analice.³⁷

Otro de los aspectos importantes que se observó en este tipo de juntas son los factores externos a los que está sometida la junta de expansión, como lo son: el flujo de ceniza, el oxígeno del aire, y alguna cantidad de agua lluvia.

La velocidad con que fluye ceniza, no deseada, por el ducto hace que se acumule gran cantidad de ésta dentro de los fuelles de la junta y por lo tanto éstos no puedan desempeñarse bien, ya que los pliegues de los fuelles actúan como elementos sólidos que no permiten la compresión, ni expansión de la junta. Otro aspecto importante que se debe tener en cuenta es que los fuelles estaban hechos en acero al carbón (información otorgada por GENSA), razón por la cual al entrar en contacto con el oxígeno del aire y en algunas ocasiones con agua; produjera oxidación lo que ocasiona la pérdida de sus propiedades.

Con base en la información que se recopiló y a la que brindó GENSA, se establecieron todos los parámetros geométricos y técnicos de la juntas de expansión los cuales se presentan...en el numeral 2.2...

2.2 DISEÑO DE UNA JUNTA DE EXPANSIÓN MODELO

Las juntas de expansión analizadas están sometidas a una temperatura máxima de 180 °C, la cual no supera el punto de fusión del acero que es de aproximadamente 1300 °C, por lo que térmicamente estos elementos fusibles podrán soportar las temperaturas a las cuales serán sometidos en su funcionamiento.

Además como la temperatura a la que está sometida la junta no es elevada, no experimentara el fenómeno de termofluencia, que es la deformación plástica que puede sufrir un material a temperatura elevada y durante periodos largos de tiempo aun cuando el esfuerzo aplicado sea menor que su resistencia a la fluencia.

Los metales como los aceros al carbón, presentan fases cristalinas que son una parte estructuralmente homogénea de un material, es decir, la exhibición de un solo

³⁷ Ibíd.,

acomodamiento de átomos; como el acero A36 del que están hechas las juntas de expansión no sobrepasa los 180°C; no experimentara transformaciones de fase, que se producen desde los 700°C y por lo tanto el material no sufrirá cambios en sus propiedades.

Entonces, debido a lo expuesto anteriormente, solo se hará el diseño mecánico de estos elementos flexibles.

En el diseño de las juntas se cambió el material de los fuelles reemplazando el acero al carbón por acero inoxidable 304 de 1,9 mm de espesor ya que según la norma EJMA (norma que rige el material de las juntas de expansión a nivel mundial); este es el espesor y el tipo de material que se debe utilizar y actualmente éste es el más empleado para este tipo de elementos ya que como se dijo anteriormente en sus propiedades, éste tiene alta resistencia a la corrosión.

Los parámetros geométricos de las juntas de expansión se encuentran en los planos de las juntas de 12 y de 9 pliegues que se encuentran en los anexos A y B respectivamente.

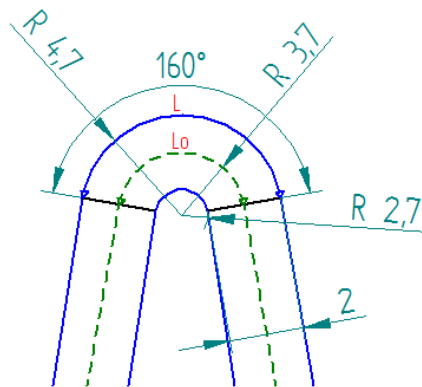
Una primera parte de este diseño hace un análisis de lo que le sucede a las láminas de acero inoxidable al realizarles el proceso de doblado. Como se habló anteriormente la plegadora, dispone de una tabla que se puede observar en la figura 7, la cual da la información del tipo de V que se debe utilizar para doblar cada lamina, esto con el fin de que esta se doble el ángulo que se programó y principalmente para que esta no sufra fracturas ni deformaciones excesivas.

La tabla de la figura 7 es la base de funcionamiento de la plegadora y siempre se debe tener en cuenta para cualquier doblez que se haga, ya que ya ha sido ensayada y comprobada por la empresa DURMA, suministradora de la plegadora; sin embargo en este trabajo se hará el análisis de los esfuerzos y deformaciones que sufren las láminas al doblarlas teniendo en cuenta la información suministrada por la tabla de la figura 7, y así poder comprobar si esta tabla garantiza que en el proceso de doblado éstas láminas no van a sufrir daños.

El análisis tiene en cuenta algunas simplificaciones como considerar que el espesor del material permanece constante durante el proceso de doblado y que la fricción entre la lámina y los componentes del equipo durante el doblado es despreciable.

El análisis está encaminado a determinar que no se supera ni el porcentaje de elongación, ni el esfuerzo último del material.

Figura 14. Pliegue doblado



Fuente. Autor propuesta de grado

Para hacer éste análisis es necesario determinar la longitud de la región de doblado de las láminas antes y después del doblado de las láminas, para poder calcular el porcentaje de elongación, la deformación unitaria plástica verdadera y posteriormente el esfuerzo al que va a estar sometida la lámina después del doblado; para verificar que la lámina no va fracturarse ni a someterse a esfuerzos excesivos.

Dado que:

$$\text{longitud de arco} = R * \theta \quad \text{ecuación 1}$$

Entonces se reemplazan los valores de R y θ se hallan los valores de L_0 y L como se muestra a continuación:

Para hallar L_0 $R=3,7\text{mm}$ y $\theta=160^\circ$. Ver figura 14.

$$L_0 = 3,7\text{mm} * \frac{160 * 3,1416}{180} = 10,33 \text{ mm}$$

Para hallar L $R=4,7\text{mm}$ y $\theta=160^\circ$. Ver figura 14.

$$L = 4,7\text{mm} * \frac{160 * 3,1416}{180} = 13,12 \text{ mm}$$

L_0 = longitud inicial de la region de la lámina que se desea hacer el doblado
 L = longitud final de la region de la lámina que se le hizo el doblado

Con esta información se calcula el porcentaje de elongación de la lámina que está dado por la ecuación 2:

$$\% \text{ elongacion} = \frac{L - L_0}{L_0} * 100\% \quad \text{ecuación 2}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 2 se tiene que:

$$\% \text{ elongacion} = \frac{13,12 - 10,33}{10,33} * 100\% = 27\%$$

Este porcentaje está muy por debajo del porcentaje de elongación máximo del acero inoxidable 304 que es del 40% ³⁸, lo que indica que al doblar cada lámina esta no va superar su límite máximo de elongación.

La deformación unitaria verdadera está dada por:

$$\varepsilon = \ln \frac{L}{L_0} \quad \text{ecuación 3}$$

$\varepsilon = \text{deformacion unitaria plástica verdadera}$

Reemplazando los valores de L_0 y L se tiene que:

$$\varepsilon = \ln \frac{13,12}{10,33} = 0,24$$

Datsko ³⁹ describe la región plástica del diagrama esfuerzo verdadero-deformación unitario verdadero mediante la ecuación 4.

$$\sigma = \sigma_0 \varepsilon^m \quad \text{ecuación 4}$$

$\sigma = \text{esfuerzo verdadero}$

$\sigma_0 = \text{coeficiente de resistencia o coeficiente de resistencia a la deformación}$

$m = \text{exponente de resistencia a la deformación}$

³⁸ RICHARD Budynas; KEITH Nisbett. Diseño en ingeniería mecánica. Edición McGraw Hill. Novena edición. Consultada el 10 de mayo de 2016.página 1043. Apéndice A.

³⁹ Joseph Datsko, "Solid Materials," Chap. 32 in Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke, and Thomas H. Brown, Jr. (eds.), Standard Handbook of Machine Design, 3rd ed., McGraw-Hill, New York, 2004. See also

Según la tabla A-22 del libro de diseño de ingeniería mecánica de Shigley ⁴⁰ se tiene que:

$$\sigma_o = 1270 \text{ MPa}$$

$$m = 0,45$$

Reemplazando los valores m y σ_o en la ecuación 4 se tiene el esfuerzo que debe soportar la lámina de acero inoxidable al doblarla.

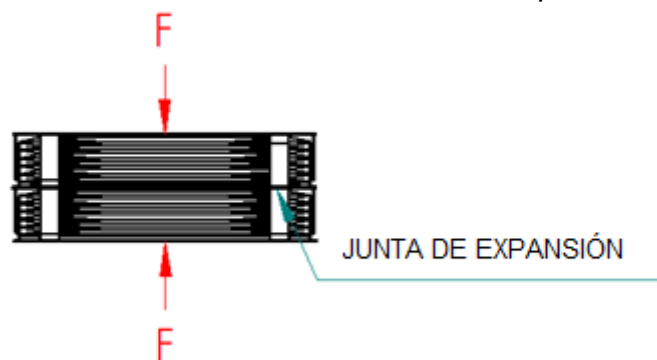
$$\sigma = 1270 \text{ MPa}(0,24^{0,45})$$

$$\sigma = 668 \text{ MPa}$$

Según la tabla A-22 del libro de diseño de ingeniería mecánica de Shigley para el acero inoxidable 304, el esfuerzo último de 1600 MPa, por lo que se tiene un factor de seguridad de 2,4 y se comprueba que los valores suministrados por la tabla de la figura 7 de la dobladora es veraz y garantizará que las láminas que se doblen no van a fracturarse ni a disminuir su área transversal de manera significativa.

En una segunda parte se tiene que las juntas de expansión analizadas no están sometidas a esfuerzos laterales ni angulares, solo se someten a esfuerzos axiales de compresión como se observa en la figura 15. En esta clase de juntas los componentes más importantes son sus fuelles metálicos de acero inoxidable, que en sí, son los que absorben las dilataciones causadas en los ductos cuando estos se calientan por el flujo de aire caliente que circula por ellos.⁴¹

Figura 15. Junta sometida a esfuerzos axiales de compresión



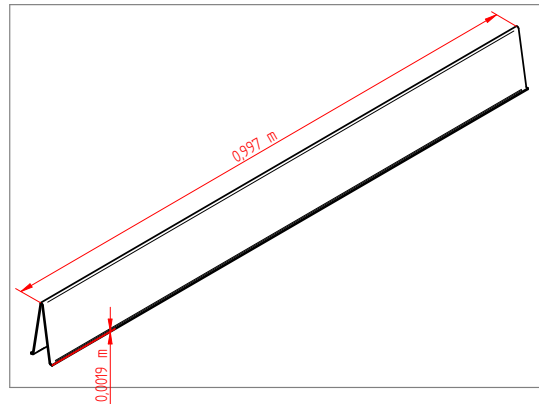
Fuente. El autor

⁴⁰ RICHARD Budynas; KEITH Nisbett. Diseño en ingeniería mecánica. Edición McGraw Hill. Novena edición. Consultada el 10 de mayo de 2016.página 1043. Apéndice A.

⁴¹ Central termoeléctrica de Paipa, Gensa. Consultado 3 de diciembre del 2015.

El pliegue que se ve en la figura 16, se va a someter a dos fuerzas como se muestra en la figura 17, para que se comprima un máximo de 5mm como se dijo en el proceso de ingeniería inversa, es decir, que cada uno de sus extremos se comprima 2,5mm.

FIGURA 16. Pliegue del fuelle metálico

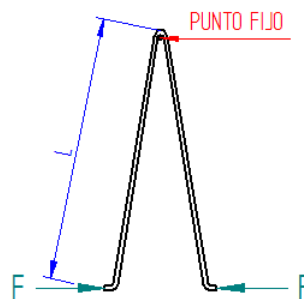


Fuente. El autor

Lo que se hará en este análisis, será calcular la fuerza para que cada pliegue se comprima la distancia que se requiere y se observará cual es el esfuerzo máximo al cual va a estar sometido cada uno, luego se determinara el factor de seguridad y por último se concluirá si el diseño cumple o no cumple con los parámetros requeridos.

Para hacer el análisis se anclará el pliegue en un punto fijo y se someterá a dos fuerzas de igual magnitud como se muestra en la figura 17.

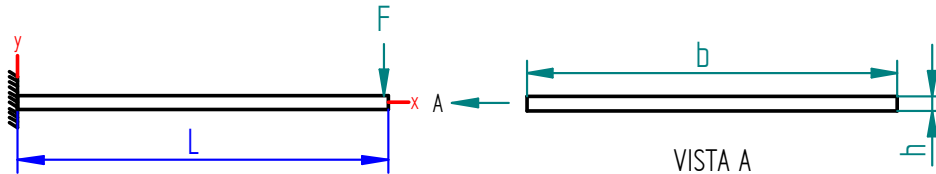
FIGURA 17. Pliegue del fuelle metálico sometido a dos fuerzas iguales



Fuente: El autor

Este estudio se puede hacer analizando solo la mitad del pliegue considerándolo como una viga de sección transversal rectangular, la cual se observa en la figura 18, la parte curva (ver figura 14) del pliegue no se tomara en cuenta, ya que esta ya sufrió deformación previa, por lo que su resistencia es más grande y por lo tanto la parte que más soportara esfuerzo será la que está más cerca a la curva, es decir, la parte que se muestra anclada en la figura 18.

FIGURA 18. Pliegue considerado como viga de sección transversal rectangular



Fuente. El autor

La deflexión máxima vertical a la que se puede someter la viga mostrada en la figura 18 es de 2,5 mm como se dijo anteriormente, entonces para hallar ésta se tendrá en cuenta la ecuación 5⁴², que muestra cual va a ser el desplazamiento máximo que va a tener el pliegue en sus extremos.

$$y_{m\acute{a}x} = \frac{FL^3}{3EI} \quad \text{ecuación 5}$$

$y_{m\acute{a}x}$ = desplazamiento máximo vertical del pliegue
 F = fuera perpendicular a la cual se somete el pliegue
 E = modulo de elasticidad del material de análisis
 I = momento de inercia de la sección transversal del pliegue

Como en este caso lo que se pretende es hallar la fuerza máxima a la cual va a estar sometido cada pliegue en este caso la mitad del pliegue, entonces de la ecuación 5 se despeja F como se muestra en la ecuación 6.⁴³

$$F = \frac{3y_{m\acute{a}x}EI}{L^3} \quad \text{ecuación 6}$$

⁴² RICHARD Budynas; KEITH Nisbett. Diseño en ingeniería mecánica. Edición McGraw Hill. Novena edición. Consultada el 10 de mayo de 2015.página 160.capítulo 4.

⁴³ Ibíd.,

Y máx, es de 0,0025m; ya que es la máxima distancia a la cual se puede comprimir medio pliegue.⁴⁴

Según la tabla A-5 del libro de diseño de Shigley el módulo de elasticidad del acero inoxidable 304 es de 190 GPa.⁴⁵

De la tabla A-18 del libro de diseño mecánico de Shigley se tiene que:⁴⁶

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad \text{ecuación 7}$$

I = Momento de inercia

b = longitud del largo del pliegue

h = espesor de la lámina del pliegue

En este caso $b=0,997m$, $h=0,0019m$ como se muestra en la figura 16. Al reemplazar estos resultados en la ecuación 4 se tiene que:

$$I = \frac{0,997m(0,0019m)^3}{12} = 5,7 * 10^{-10} m^4$$

La distancia L es de 0,1032 m (consulte plano No. 10 anexo A).

Al reemplazar cada valor en la ecuación 6 se obtiene lo siguiente:

$$F = - \frac{3(0,0025m) * \left(190 * 10^9 \frac{N}{m^2}\right) * (5,7 * 10^{-10}m^4)}{(0,1032m)^3}$$

$$F = -739 N$$

La fuerza máxima a la cual va a estar sometido este medio pliegue es de 739 N.

⁴⁴ Central termoeléctrica de Paipa, Gensa. Consultado 3 de diciembre del 2015.

⁴⁵ RICHARD Budynas; KEITH Nisbett. Diseño en ingeniería mecánica. Edición McGraw Hill. Novena edición. Consultada el 10 de mayo de 2016.página 971. Apéndice A.

⁴⁶ RICHARD Budynas; KEITH Nisbett. Diseño en ingeniería mecánica. Edición McGraw Hill. Novena edición. Consultada el 10 de mayo de 2016.página 1036. Apéndice A.

Ahora con esta fuerza se va a calcular cual es el esfuerzo máximo al que va a estar sometido este pliegue y en qué punto se va a presentar éste.

De la ecuación 3-26a de libro de diseño mecánico de Shigley se tiene que:⁴⁷

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{Mc}{I} \quad \text{ecuación 8}$$

$\sigma_{m\acute{a}x}$ = esfuerzo maximo al cual se somete cada pliegue
 c = distancia en la cual se presenta el mayor esfuerzo en la seccion transversal

Al reemplazar $C = \frac{h}{2}$ e $I = \frac{bh^3}{12}$ en la ecuación 8 se obtiene:⁴⁸

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{6M}{bh^2} \quad \text{ecuación 9}$$

El esfuerzo máximo se presenta cuando el momento flector es máximo, y este ocurre en el punto más distante de donde se aplica la fuerza, es decir, en el punto fijo que está a L distancia de la fuerza perpendicular. Este momento es igual a:⁴⁹

$$M = F * L \quad \text{ecuación 10}$$

M = Momento flector

Reemplazando la ecuación 10 en la ecuación 9 se obtiene:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{6FL}{bh^2}$$
$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{6 * 739N * 0,1032m}{0,997m(0,0019m)^2}$$
$$\sigma_{m\acute{a}x} = 127 MPa$$

⁴⁷ RICHARD Budynas; KEITH Nisbett. Diseño en ingeniería mecánica. Edición McGraw Hill. Novena edición. Consultada el 10 de mayo de 2016.página 87. Capítulo 3.

⁴⁸ *Ibíd.*,

⁴⁹ R. c. Hibbeler. Mecánica vectorial para ingenieros. Décima edición. Consultada 3 de junio del 2016. página 114. Capítulo 4.

Como se observa el esfuerzo máximo al que va a estar sometido cada pliegue es de 127 Mpa, ahora se va a hallar el factor de seguridad para poder garantizar que la junta que se va a elaborar no va sufrir deformaciones plásticas.⁵⁰

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{m\acute{a}x}} \quad \text{ecuación 11}$$

S_y es el esfuerzo de fluencia, es decir el esfuerzo que puede soportar el material deformándose elásticamente, es decir, recuperando sus dimensiones originales al no aplicarle ninguna fuerza; al sobrepasar este esfuerzo, el material empezaría a deformarse plásticamente hasta fracturarse y no poder desempeñar las funciones para las cuales se diseñó.⁵¹

Para el acero inoxidable 304 el S_y es de 276 Mpa, al sustituir este valor en la ecuación 11 se tiene que:⁵²

$$n = \frac{276 \text{ MPa}}{127 \text{ MPa}}$$

$$n = 2,2$$

Este valor del factor de seguridad demuestra que el material con el cual se diseñaron los fuelles de las juntas de expansión cumplen con los requerimientos que la empresa necesita ya que al instalarlos y ponerlos en funcionamiento se tendrá la plena seguridad de que no van a fallar al menos por efectos mecánicos.

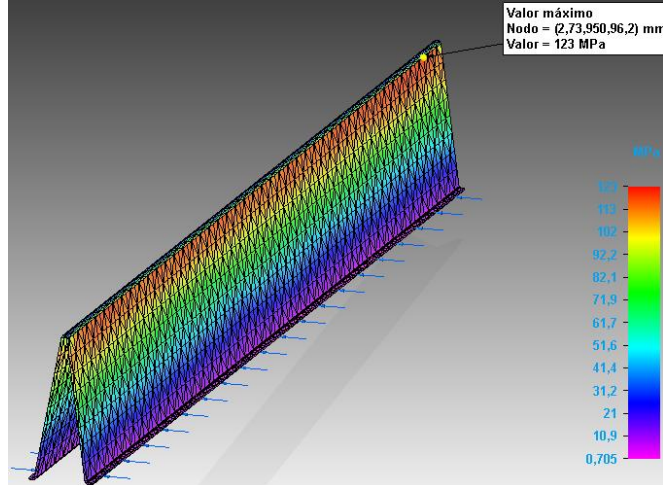
Para verificar esta información se hizo la simulación de este análisis en Solidedge y se obtuvieron resultados similares como los que se muestra en la figura 19.

⁵⁰ RICHARD Budynas; KEITH Nisbett. Diseño en ingeniería mecánica. Edición McGraw Hill. Novena edición. Consultada el 10 de mayo de 2016.página 17. Capítulo 1.

⁵¹ *Ibíd.*,

⁵² RICHARD Budynas; KEITH Nisbett. Diseño en ingeniería mecánica. Edición McGraw Hill. Novena edición. Consultada el 10 de mayo de 2016.página 1007. apéndice A.

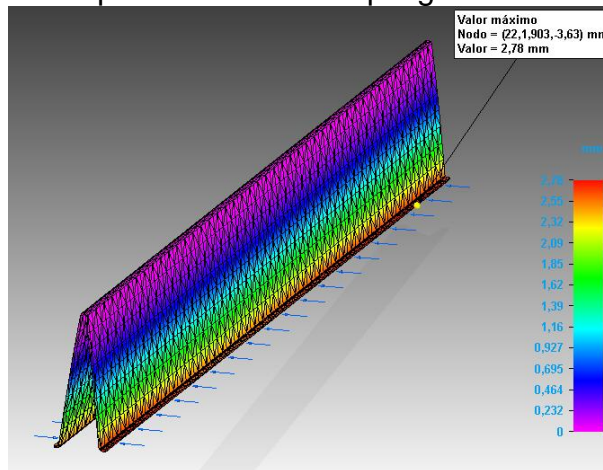
Figura 19. Análisis de esfuerzo de un pliegue en Solidedge.



Fuente: El autor

Como se observa en la figura 19 el esfuerzo máximo es de 123 MPa que se aproxima a lo calculado que fue de 127 Mpa.

Figura 20. Análisis de desplazamiento de un pliegue en Solidedge.



Fuente: El autor

Como se observa en la figura 20 el desplazamiento es de 2,78 mm que se aproxima a lo calculado que fue de 2,5 mm.

Para mayor información sobre esta simulación consultar “Informe de simulación” anexo D.

Al decidir si había que hacer análisis por fatiga a esta clase de juntas se observó que estas solo tienen 3 ciclos en un año por lo que se concluye que estas juntas de expansión no van a fallar por fatiga

Además por medio de información ofrecida por Gensa. Para que haya una muy buena combustión en la caldera, se desea que las temperaturas y presiones a las que están sometidos los ductos por donde circula aire caliente, permanezcan siempre constantes, razón por la cual las juntas de expansión no se van a someter a grandes variaciones en la fuerza que las comprime durante el funcionamiento del sistema de generación de vapor.⁵³

Para los tipos de ductos cuadrados de a los que van ensamblados las juntas de expansión analizadas solo es permitida una separación máxima entre ductos de 550 mm, razón por la cual se instalan dos juntas de expansión en un mismo ducto para que los ductos se puedan dilatar las distancias que requieren, pero si por alguna razón se permitiera que la separación entre ductos fuera más grande o más pequeña solo hay que tener en cuenta las siguientes ecuaciones.

Si se tiene la distancia la separación de los ductos, y debido a que cada pliegue tiene 33 mm de ancho, se deduce la ecuación 12.

$$Np = \frac{D}{33} - x \quad \begin{array}{l} x = 2 \text{ si } D < 650 \\ x = 3 \text{ si } D > 650 \end{array} \quad \text{ecuación 12}$$

Np = Número de pliegues que debe tener la junta de expansión

La variable x resta el número de pliegues debido al grosor que tienen los marcos metálicos y a las pestañas que hay que dejarle a los fuelles en sus extremos, (ver plano de la junta de 12 pliegues del anexo A), este valor de x cambia debido a que si aumenta el número de fuelles también aumenta el número de marcos cuadrados que tiene la junta.

Ya que cada fuelle máximo debe tener máximo 6 pliegues porque así lo exige Gensa, y por que según el diseño, para que cada pliegue cumpla su función, no debe excederse el número de pliegues en cada fuelle, entonces se tiene que:

$$Nf_6 = \frac{NP}{6} \quad \text{ecuación 13}$$

Nf₆ = Número de fuelles de 6 pliegues

⁵³ *Ibíd.*,

Si hay residuo, se agrega otro fuelle con el número de pliegues igual al residuo, es decir, si son 14 pliegues entonces $Nf6$ es igual $14/6 = 2$ con residuo de 2, entonces serían 3 fuelles, dos compuestos por 6 pliegues y uno compuesto por 2 pliegues.

Como se puede evidenciar en plano de la junta de 12 pliegues de anexo A, el número de marcos es igual al:

$$Nm = Nf + 1 \quad \text{ecuación 14}$$

Nm = Número de marcos metálicos cuadrados

Nf = Número de fuelles

Las ecuaciones 12, 13 y 14, solo son para el análisis de diseño, ya que como se dijo anteriormente solo se permiten una distancia de separación entre ductos máxima de 550 mm, por lo que no se recomienda elaborar juntas con anchos diferentes a los que se elaboraron en el actual proyecto.

También es posible dejar este tipo de juntas pre extendidas en la instalación, es decir, así como el pliegue puede comprimirse 5 mm, también puede extenderse 5mm, lo que aumentaría el ancho de la junta en 5mm por pliegue, es decir la junta de 12 pliegues podría instalarse ya no solo en ductos con separación de 46 cm sino en ductos con una separación de 52cm y la junta de 9 pliegues además de poderse instalar en ductos con separación de 35cm podría instalarse en ductos con una separación de 39,5 mm. En conclusión una junta de expansión de este tipo puede instalarse en ductos con separaciones de diferentes rangos dependiendo el número de pliegues en que esta se fabrique.

Otros elementos importantes pertenecientes a las juntas de expansión son sus ganchos guía, (ver plano No. 8 anexo A) estos hacen que la junta de expansión no sufra desalineamientos, es decir, que la junta solo se contraiga o expanda longitudinalmente y no haya deformaciones angulares, ni deformaciones laterales.⁵⁴

Para soldar estos elementos fusibles al ducto se requiere que los marcos cuadrados de la junta sean de un acero de similares características a las del material de éste por lo que se elaboran en acero al carbono A 36, estos marcos junto con sus diagonales como los de la figura 1, sirven para ensamblar los dos fuelles de la junta, y además junto con los ganchos guía restringen la compresión de los fuelles de

⁵⁴Central termoeléctrica de Paipa, Gensa. Consultado 2 de diciembre del 2015.

cada junta. Además estos marcos metálicos poseen un grosor mayor a la lámina de los fuelles, para garantizar una unión muy resistente entre éstos y los ductos.⁵⁵

Las láminas de sello son una de las partes más importantes de las juntas de expansión ya que básicamente son las que impiden el flujo de ceniza a los fuelles metálicos, estas están soldadas a las juntas de tal manera que puedan desplazarse cuando la junta se comprima o se expanda, ver plano junta de 9 pliegues anexo B.⁵⁶

2.3 FABRICACIÓN DE UNA JUNTA EXPANSIÓN

Este proceso se muestra específicamente para fabricar una junta de expansión de 12 pliegues. El proceso de elaboración una junta de 9 pliegues se encuentra en el anexo C.

En el proceso de doblado y corte se dispondrá de una dobladora, una cizalla y un equipo de corte por plasma; por eso es recomendado que lea primero la guía de herramientas y equipos utilizados que se encuentra en el cuadro de dialogo de la herramienta guía.

En el mercado las láminas de acero inoxidable que se encuentran de acuerdo a las dimensiones de las piezas que se necesitan son de 8 ft * 4 ft y de 10ft*5ft.⁵⁷

En el mercado las láminas de acero al carbón A36 que se encuentran de acuerdo a las dimensiones de las piezas que se necesitan son de 1220*2440, 1000*6000, 1200*6000.⁵⁸

En el proceso de fabricación de las juntas de expansión que se muestra a continuación, se recomienda consultar cada plano que se menciona ya que en estos se encuentra al detalle cada una de las especificaciones de construcción.

2.3.1 Etapa de corte. Las líneas punteadas que se muestran en las figuras de la 21 a la 26 corresponden a las líneas donde se debe cortar cada lámina según la normas de dibujo técnico.

⁵⁵ *Ibíd.*,

⁵⁶ *Ibíd.*,

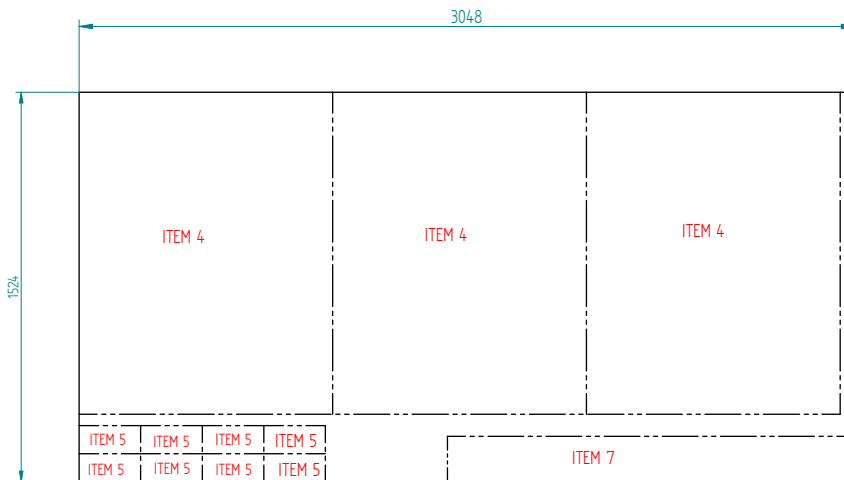
⁵⁷ Láminas de acero inoxidable. Consultada el 30 de marzo del 2016. Dirección de internet. [http://www.wesco.com.co/Laminas de acero inoxidable.](http://www.wesco.com.co/Laminas%20de%20acero%20inoxidable)

⁵⁸ *Ibíd.*,

Para el proceso de corte de la lámina se deben seguir el siguiente procedimiento:

- 1) Utilice 4 láminas de 10ft*5ft (3048mm*1524mm), de 1,9 mm de espesor de acero inoxidable 304, las cuales se deben cortar como se muestra en las figuras 21, 22, 23 y 24.

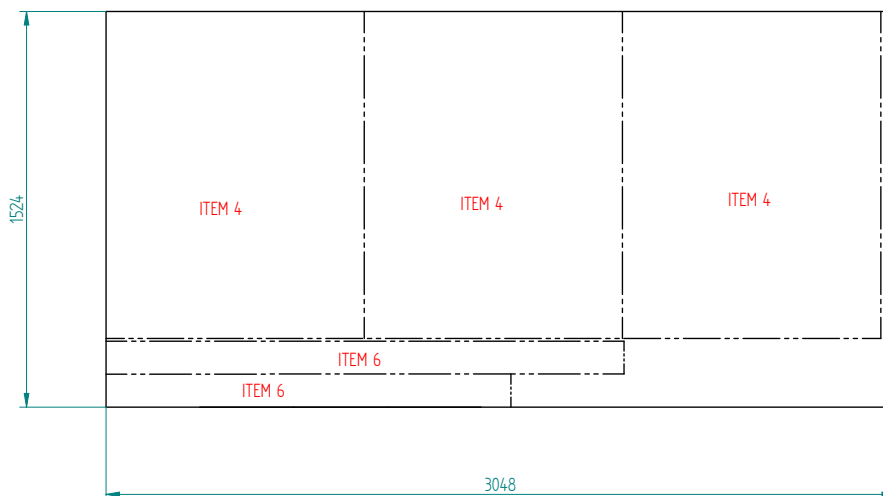
Figura 21. Primera lámina de acero inoxidable para corte.



Fuente: El autor

Para mayores especificaciones consultar plano No. 1, anexo A

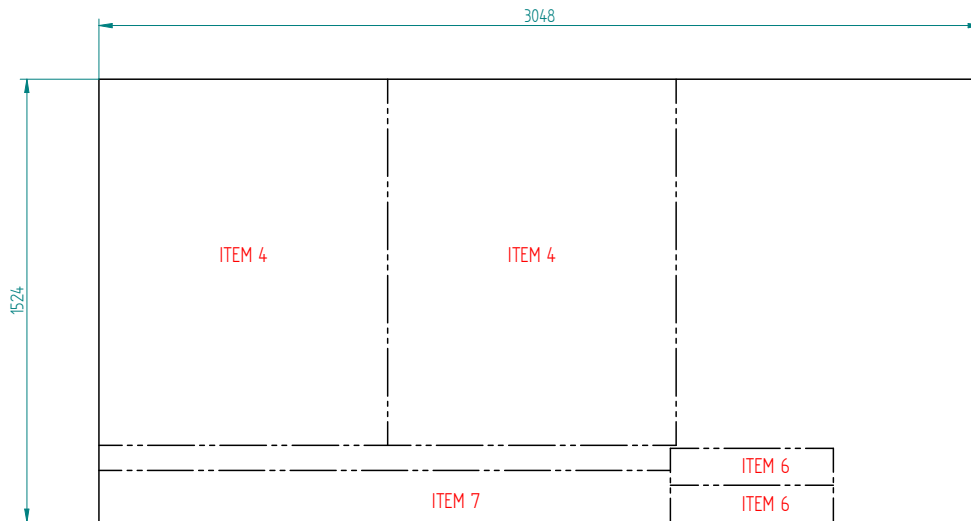
Figura 22. Segunda lámina de acero inoxidable para corte.



Fuente: El autor

Para mayores especificaciones consultar plano No. 2, anexo A.

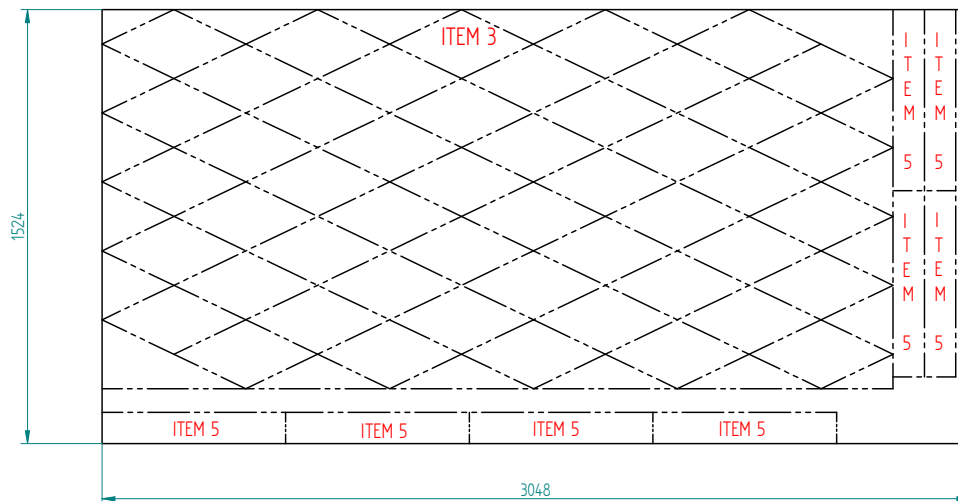
Figura 23. Tercera lámina de acero inoxidable para corte.



Fuente: El autor

Para mayores especificaciones consultar plano No. 3, anexo A.

Figura 24. Cuarta lámina de acero inoxidable para corte.

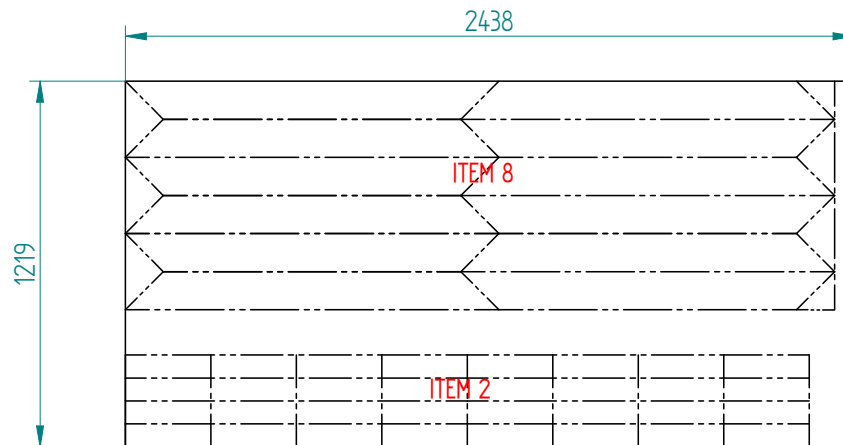


Fuente: El autor

Para mayores especificaciones consultar plano No. 4, anexo A.

- 2) Utilice 1.1 láminas de 1220*2440 ft de acero al carbono A36 de 6,35 mm de espesor, con la disposición de corte que se muestra en las figuras 25 y 26.

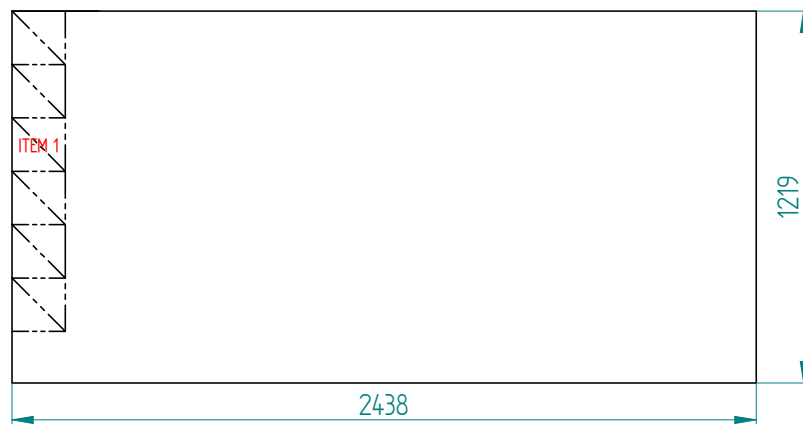
Figura 25. Primera lámina de acero al carbón A 36 para corte.



Fuente: El autor

Para mayores especificaciones consultar plano No. 5, anexo A.

Figura 26. Segunda lámina de acero al carbón A 36 para corte.



Fuente: El autor

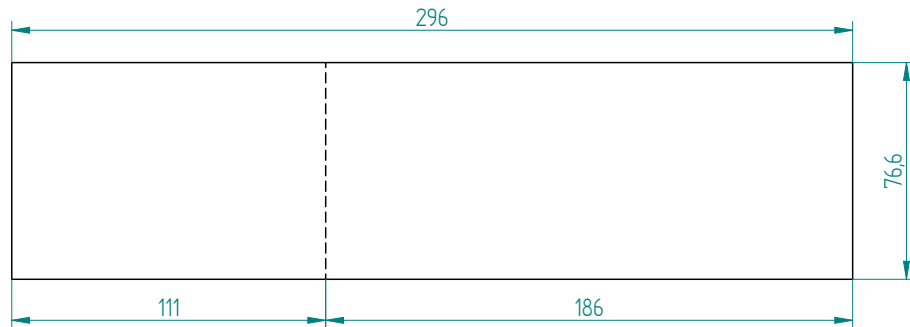
Para mayores especificaciones consultar plano No. 6, anexo A

2.3.2 Etapa de doblado. Las líneas punteadas que se muestran en las figuras de la 27 a la 38 corresponden a las líneas donde se debe doblar cada uno de los ítems señalados según la normas de dibujo técnico.

Para el proceso de doblado de la lámina se deben seguir el siguiente procedimiento:

- 1) Doble las láminas del ítem 2 en la línea punteada que se muestra en la figura 27 para que se llegue al doblado que se muestra en la figura 28.

Figura 27. Detalle, lámina ítem 2.



Fuente: El autor

Figura 28. Doble lámina ítem 2, gancho guía.

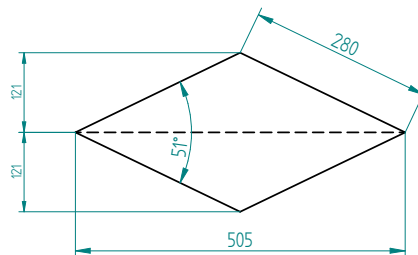


Fuente: El autor

Para mayores especificaciones consultar plano No. 8, anexo A.

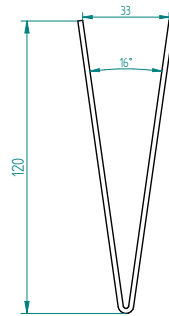
- 2) Doble las 48 láminas del ítem 3 en la línea punteada central que se muestra en la figura 29 para que se llegue al doblado que se muestra en la figura 30.

Figura 29. Detalle, lámina ítem 3.



Fuente: El autor

Figura 30. Detalle del doblés de lámina del ítem 3.

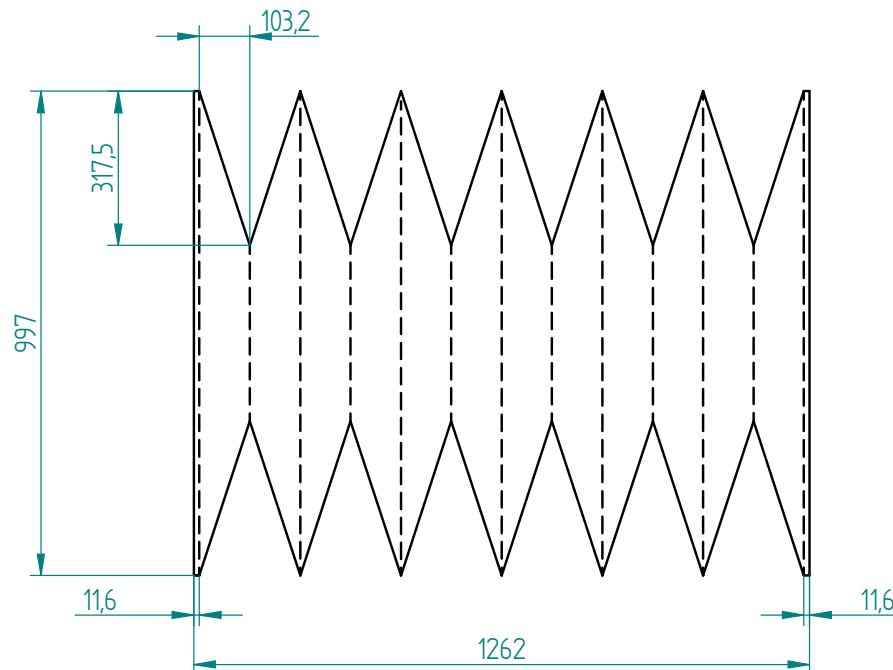


Fuente: El autor

Para mayores especificaciones consultar plano No. 9, anexo A.

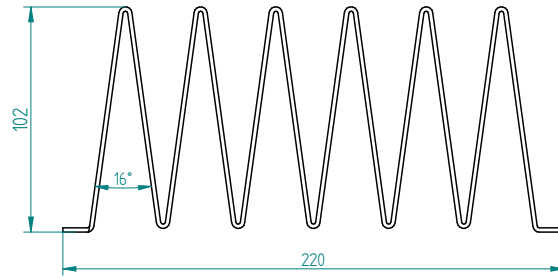
- 3) Corte 8 láminas de acero inoxidable del ítem 4 como se muestra en la figura 31 y se deben doblar como se muestra en la figura 32.

Figura 31. Detalle del corte, lamina ítem 4.



Fuente: El autor

Figura 32. Detalle corte, lámina ítem 4.

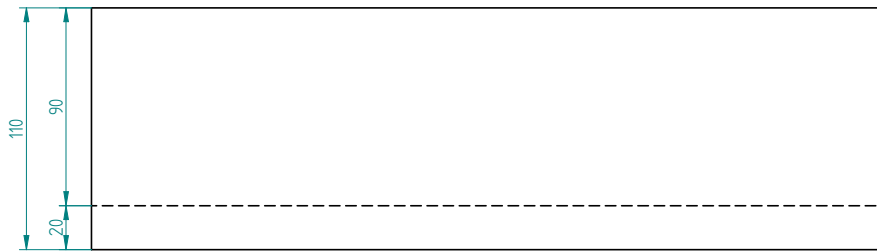


Fuente: El autor

Para mayores especificaciones consultar plano No. 10, anexo A.

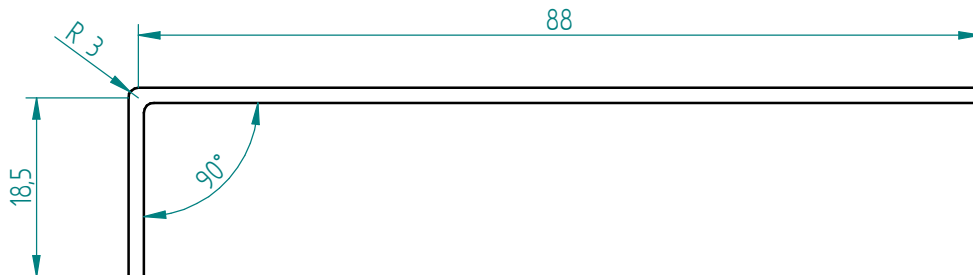
- 4) Doble las 16 láminas del ítem 5 en las líneas punteadas que se muestran en la figura 33, para que se llegue al doblado que se muestra en la figura 34.

Figura 33. Detalle, lámina ítem 5.



Fuente: El autor

Figura 34. Detalle del doblado de lámina del ítem 5.



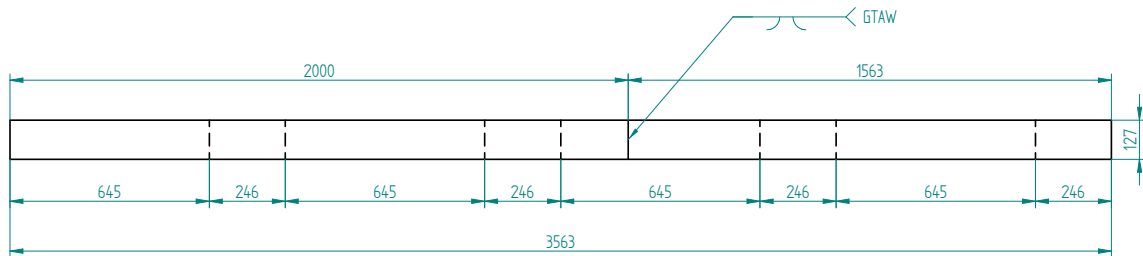
Fuente: El autor

Para mayores especificaciones consultar plano No. 11, anexo A.

- 5) Suelde con proceso GTAW las dos partes del ítem 6 que ya se cortaron previamente; como se muestra en la figura 35.

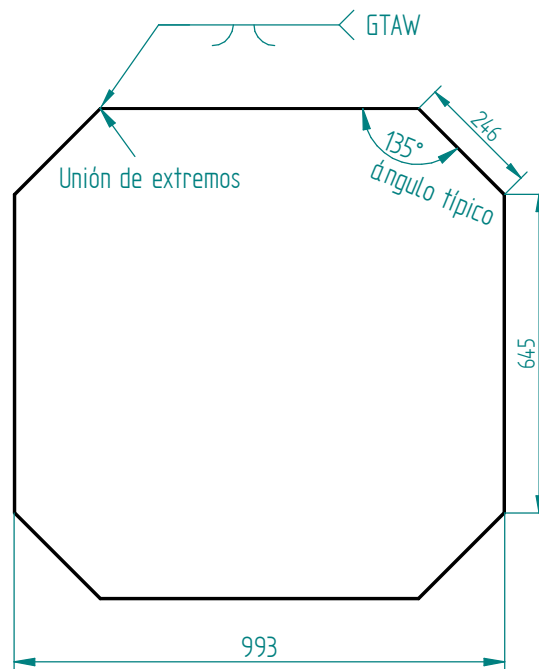
Esta lámina se debe doblar en las líneas punteadas que se muestran para que se llegue al doblado que se muestra en la figura 36 en donde se deberán soldar los dos extremos de la lámina.

Figura 35. Detalle, lámina del ítem 6.



Fuente: El autor

Figura 36. Detalle, dobléz lámina ítem 6.



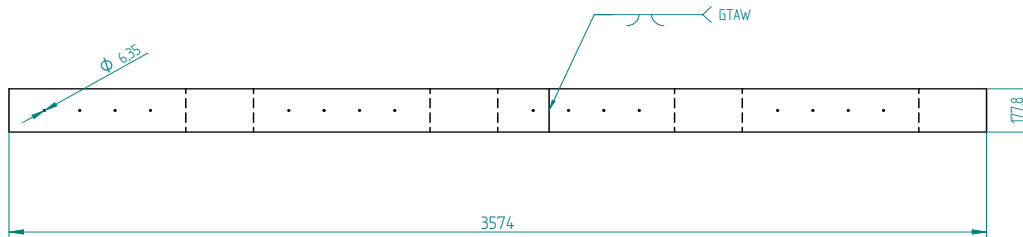
Fuente: El autor

Para mayores especificaciones consultar plano No. 12, anexo A.

- 6) Suelde las dos partes del ítem 7 que ya se cortaron previamente, además se deben hacer los agujeros de 6,35 mm de diámetro; como se muestra en la figura 37.

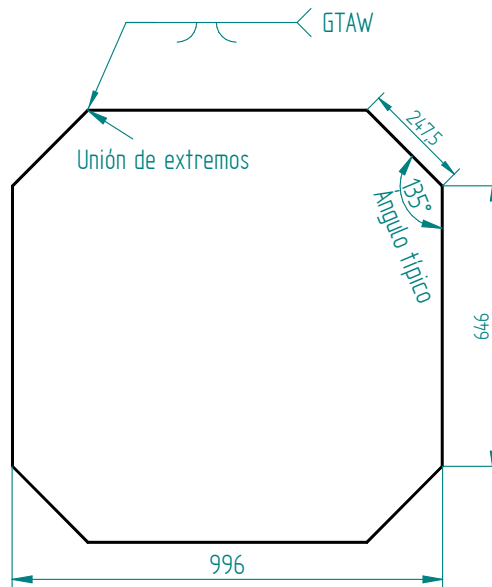
Esta lámina se debe doblar en las líneas punteadas que se muestran para que se llegue al doblado que se muestra en la figura 38 en donde se deberán soldar los dos extremos de la lámina.

Figura 37. Detalle lámina ítem 7.



Fuente: El autor

Figura 38. Detalle dobléz lámina ítem 7.



Fuente: El autor

Para mayores especificaciones consultar plano No. 13, anexo A.

2.3.3 Etapa de ensamble. Para el proceso de ensamble de las juntas de expansión, se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. Suelde con proceso SMAW, las láminas del ítem 8 como las que se muestra en la figura 39; de las cuales se tendrán 3 marcos, como el que muestra en la figura 40.

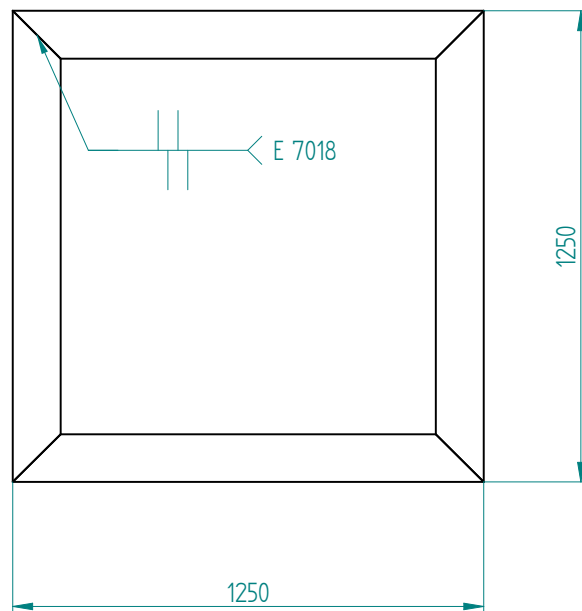
Figura 39. Detalle, lámina ítem 8.



Fuente: El autor

Para mayores especificaciones consultar plano No. 14, anexo A.

Figura 40. Marco de lámina de acero al carbón.

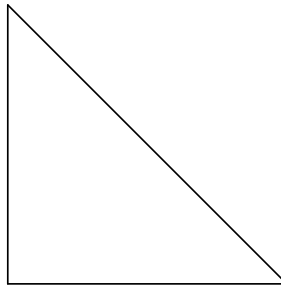


Fuente: El autor

Para mayores especificaciones consultar plano No. 15, anexo A.

2. Suelde con proceso SMAW, las diagonales del ítem 1 como la que se muestra en la figura 41 a los 3 marcos como se muestra en la figura 42.

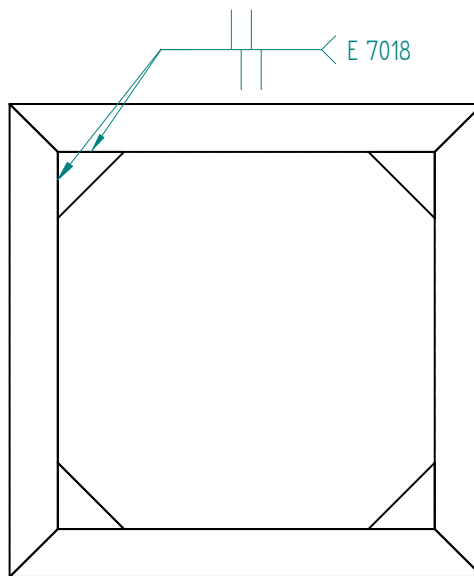
Figura 41. Diagonal, Ítem 1.



Fuente: El autor

Para mayores especificaciones consultar plano No. 7, anexo A.

Figura 42. Diagonales soldadas a cada marco.

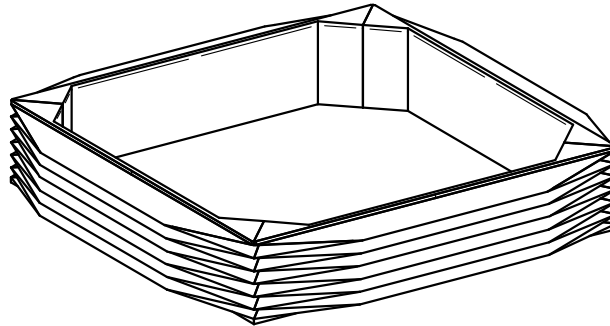


Fuente: El autor

Para mayores especificaciones consultar plano No. 16, anexo A.

3. Suelde cada una de las piezas del ítem 4 con las piezas del ítem 3, para formar el fuelle que se ve en la figura 43, en total se deben formar 2 fuelles.

Figura 43. Fuelle metálico.

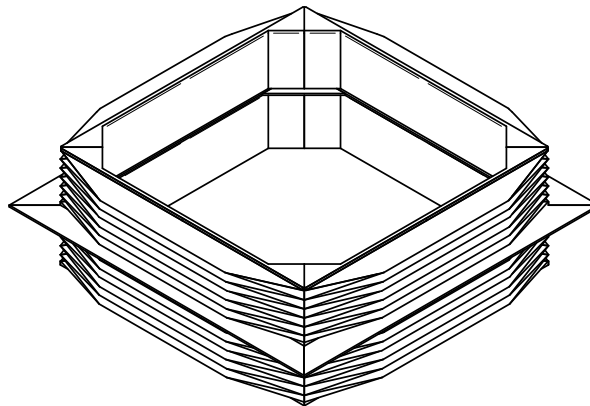


Fuente: El autor

Para mayores especificaciones consultar plano No. 17, anexo A.

4. Suelde con proceso GMAW, los 2 fuelles de la figura 43 al marco de la figura 42 como se muestra en la figura 44.

Figura 44. Ensamble de los fuelles con el marco metálico.

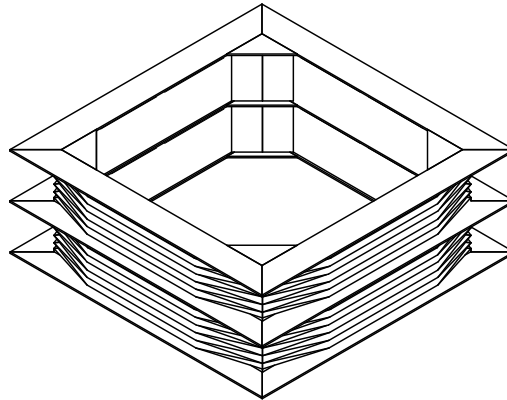


Fuente: El autor

Para mayores especificaciones consultar plano No. 18, anexo A.

5. Suelde con proceso GMAW, los dos cuadrados restantes a cada lado de los fulles como se muestra en la figura 45.

Figura 45. Ensamble de cuadrados exteriores.

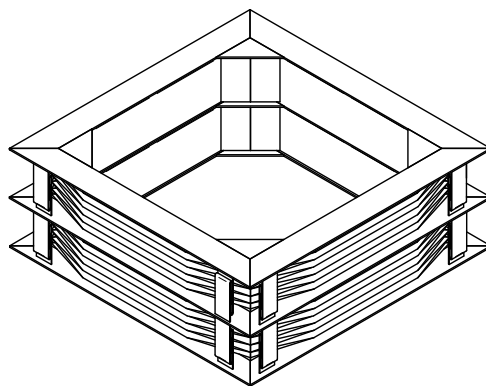


Fuente: El autor

Para mayores especificaciones consultar plano No. 19, anexo A.

6. Suelde con proceso SMAW, los 32 ganchos del ítem 2, como se observa en la figura 46.

Figura 46. Ensamble de cuadrados exteriores.

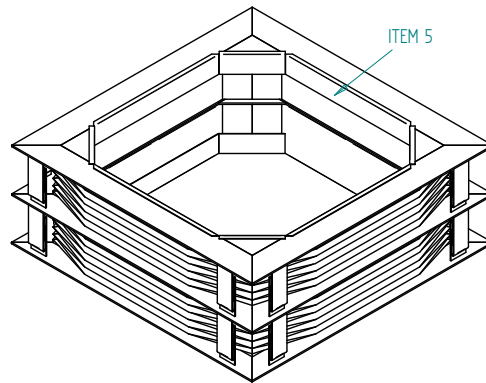


Fuente: El autor

Para mayores especificaciones consultar plano No. 20, anexo A.

7. Suelde con proceso SMAW, los las 16 láminas del ítem 5, a los marcos de los extremos como se muestra en la figura 47.

Figura 47. Ensamble lámina ítem 5.

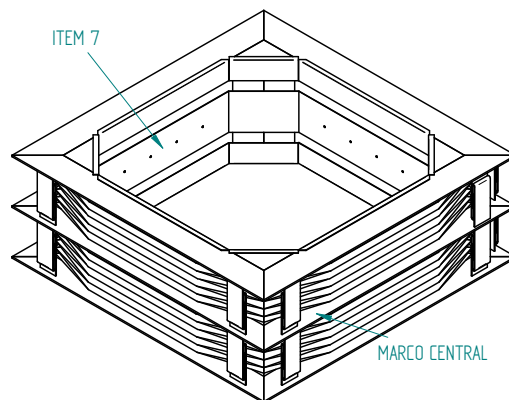


Fuente: El autor

Para mayores especificaciones consultar plano No. 21, anexo A.

8. Suelde con proceso SMAW, la lámina del ítem 7 el centro de la junta al marco metálico central como se muestra en la figura 48.

Figura 48. Ensamblaje lámina ítem 5.

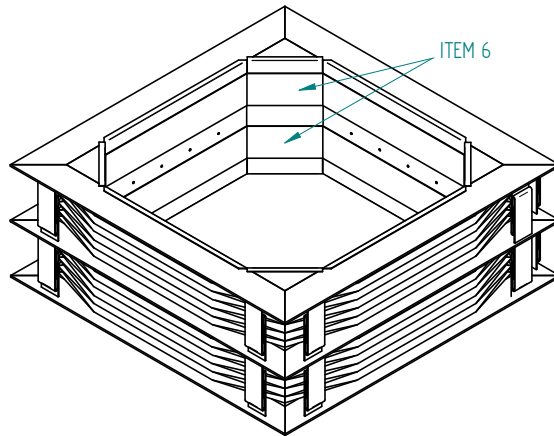


Fuente: El autor

Para mayores especificaciones consultar plano No. 22, anexo A.

9. Suelde con soldadura SMAW, las dos láminas del ítem 6 como se muestra en la figura 49.

Figura 49. Ensamble láminas ítem 6.



Fuente: El autor

Para mayores especificaciones consultar plano No. 23, anexo A.

3. ELABORACIÓN DE LA HERRAMIENTA GUÍA, PARA EL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE JUNTAS DE EXPANSIÓN

Se elaboró una herramienta guía, con el fin de agilizar el proceso de diseño y fabricación de juntas de expansión en este caso de 9 y de 12 pliegues, por medio de dos software como son Excel y Solid Edge.

En Excel se hizo una interfaz gráfica la cual nos muestra el tipo de junta a fabricar y diferentes aspectos como los son: el proceso de elaboración, el análisis de diseño y la forma en la cual se puede ahorrar la mayor cantidad de material posible, claro está que sin disminuir la calidad de las juntas a fabricar.

En Solidedge se realizaron los diferentes planos de cada junta, junto con los planos de cada una de sus partes para mostrar de forma más detallada el proceso de construcción de cada junta de expansión.

En si con la herramienta guía que se desarrolló en el presente proyecto se recopiló todo el diseño de la junta en un solo conjunto para que se pudiera saber la cantidad de material requerido, el proceso de elaboración, el análisis realizado y las herramientas utilizadas para el proceso de elaboración de las juntas, esta recopilación se hizo con la herramienta de visual Basic que posee Excel, en esta básicamente lo que se hizo fue programar una interfaz gráfica que le ofreciera al usuario la posibilidad de elegir el tipo de junta a construir como se muestra en la figura 59 y luego después de elegir el tipo de junta a construir, se pudiera mostrarle al usuario cada uno de los aspectos correspondiente al diseño y fabricación de cada junta como de muestra en la figura 51.

Figura 50. Interfaz de selección del tipo de junta a construir



Fuente: autor de propuesta de trabajo de grado

Figura 51. Interfaz de selección del tipo de junta a construir

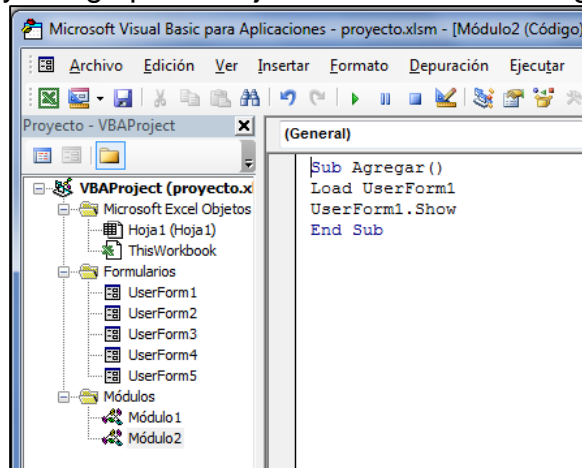


Fuente: autor de propuesta de trabajo de grado

Para elaborar la interfaz gráfica primero se crearon 2 módulos en Visual Basic, es decir, 2 macros (Secuencias de instrucciones que se realizan automáticamente con una sola orden) con el fin de poder ejecutar la interfaz desde Excel y desde el escritorio.

Estos módulos tienen un código muy simple como se muestra en la figura 52.

Figura 52. Módulos y código para la ejecución de la interfaz gráfica.



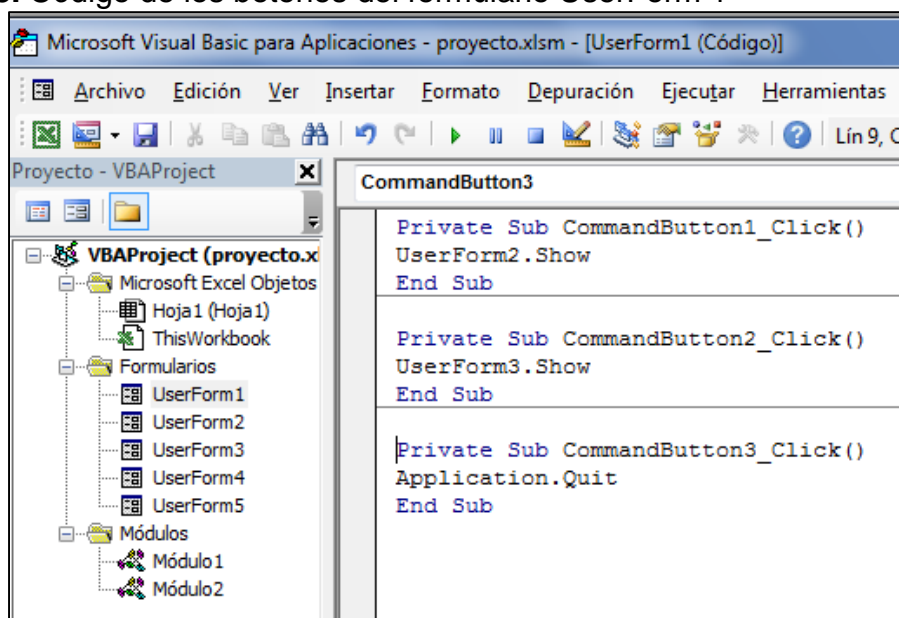
Fuente: autor de propuesta de trabajo de grado

Luego se crearon 5 formularios los cuales nos permiten interactuar con el usuario, los cuales van desde el UserForm 1 hasta el UserForm 5, como se muestra en la figura 52.

A continuación se explicara cada uno de ellos:

UserForm 1: este permite elegir el tipo de junta a fabricar como lo muestra la figura 50. Cada botón se programa como se muestra en la figura 53, estos códigos son para que al seleccionar cada botón, cada uno abra otro formulario y también para poder salir de la aplicación.

Figura 53. Código de los botones del formulario UserForm 1



Fuente: autor de propuesta de trabajo de grado

UserForm 2: al igual que UserForm 3 permite la selección de cada uno de los aspectos relacionado con el diseño y elaboración de cada junta de expansión, ver figura 51, cada botón se programa como se muestra en la figura 54, estos códigos son para llamar cada uno de los planos, los documentos que se necesiten en cuanto al diseño de cada junta y para mostrar otro formulario si se quiere.

Figura 54. Código de los botones del formulario UserForm 2 y 3

```
Private Sub CommandButton1_Click()  
|  
prog = Shell("C:\Program Files (x86)\Adobe\Acrobat  
  
End Sub  
  
Private Sub CommandButton2_Click()  
prog = Shell("C:\Program Files (x86)\Adobe\Acrobat  
  
End Sub  
  
Private Sub CommandButton3_Click()  
UserForm4.Show  
End Sub  
  
Private Sub CommandButton4_Click()  
  
End Sub  
  
Private Sub CommandButton5_Click()  
prog = Shell("C:\Program Files (x86)\Adobe\Acrobat  
End Sub  
  
Private Sub CommandButton6_Click()  
UserForm2.Hide  
End Sub
```

Fuente: autor de propuesta de trabajo de grado

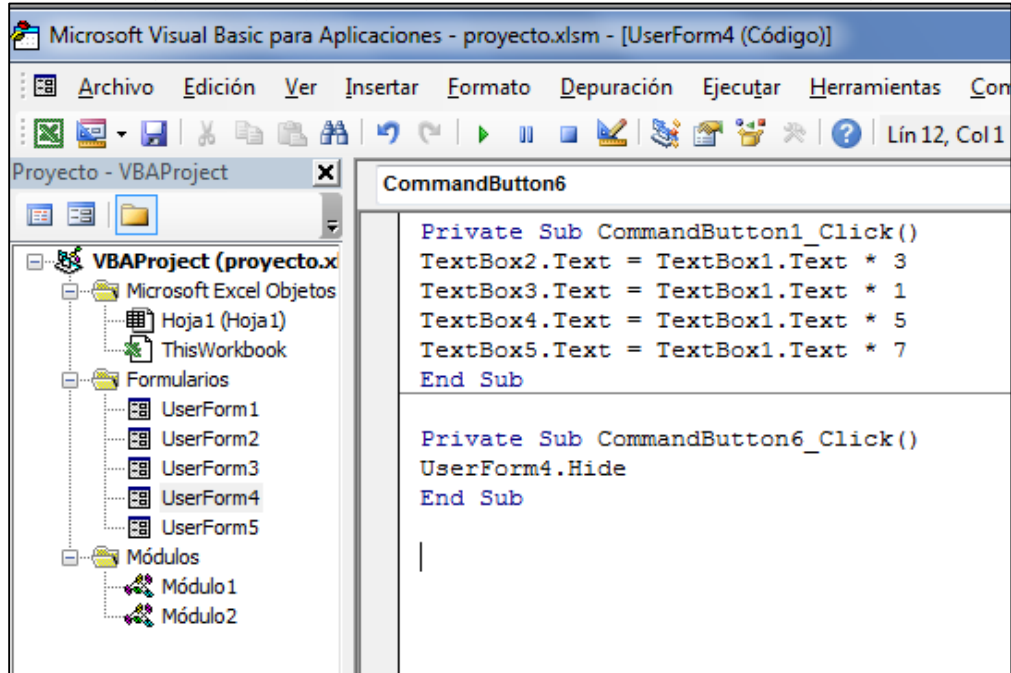
UserForm 4: al igual que UserForm 5 da la información del material necesario para fabricar cada junta de expansión, dependiendo de la cantidad de juntas que se deseen construir, esta cantidad de juntas se pueden digitar en este formulario, como se muestra en la figura 55, además los códigos de programación se muestran en la figura 56, estos códigos multiplican el número de juntas a construir por la cantidad que se requiere para fabricar una junta.

Figura 55. Interfaz de información del material requerido para la fabricación

DIGITE LA CANTIDAD DE JUNTAS DE EXPANSION DE 9 PLIEGUES A FABRICAR	<input type="text"/>
CALCULAR	
CANTIDAD DE LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE DE 1550mmX3000mm de 1,9 mm de espesor	<input type="text"/>
CANTIDAD DE LÁMINA DE ACERO AL CARBON DE 1219mmX2438mm de 6,35 mm de espesor	<input type="text"/>
CANTIDAD DE SOLDADURA E 7018 EN Kg	<input type="text"/>
CANTIDAD DE SOLDADURA BIMETALICA 309L EN Kg	<input type="text"/>
ATRAS	

Fuente: autor de propuesta de trabajo de grado

Figura 56. Códigos de programación para cada una casilla de la figura 50



Fuente: autor de propuesta de trabajo de grado

Los pasos para usar esta herramienta se encuentran el documento “Manual de uso de la herramienta software” en el anexo D.

4. RESULTADOS

Adquisición del conocimiento relacionado con los tipos de juntas de expansión en cuanto a sus diferentes tipos, su funcionamiento, su diseño, su fabricación y sus falencias; se pudo evidenciar la importancia que tienen estas juntas para los diferentes tipos de ductos y como éstas ayudan a que aquellos no sufran tensiones excesivas y en consecuencia puedan protegerlos, actuando así como elementos fusibles.

Aprendizaje del funcionamiento de una gran parte de una caldera tipo acuotubular, ya que para poder saber los parámetros del diseño de las juntas de expansión hubo que investigar el medio en que interactuaban estas y la función que desempeñaban teniendo como resultado una gran comprensión global del funcionamiento de una gran parte del sistema de producción de vapor.

Se ha demostrado que las juntas de expansión fabricadas en Sergemco LTDA, soportarán las condiciones a las cuales van a estar sometidas en su medio de funcionamiento.

Esta demostración se pudo hacer mediante el análisis de diseño que se le hizo a las juntas, el cual incluía aspectos como los factores externos a los que van a estar expuestas las juntas, la distancia que debía comprimirse cada una, las temperaturas de funcionamiento, sus presiones; en fin parámetros los cuales se analizaron cada uno y que matemáticamente, analíticamente y mediante un software de diseño como lo fue Solidedge comprobaron que las juntas no fallarán al ponerse en funcionamiento.

Realización de la herramienta guía de las juntas de expansión logrando vincular todos los aspectos que tienen que ver con la producción, elaboración y análisis de cada una, lo que es de gran ayuda para poder fabricar cada una de las juntas teniendo en cuenta todos los parámetros y así aumentando la calidad de estas y disminuyendo los tiempos de fabricación.

Validación de la herramienta guía poniéndola en práctica en la empresa Sergemco LTDA., haciéndole algunas correcciones; teniendo en cuenta las recomendaciones dadas por cada una de las personas encargadas de la construcción de estas, las cuales con su experiencia pueden hacer aportes significativos en esta clase de procesos metalmeccánicos que poco a poco van optimizando esta herramienta para que aumente su eficacia, aumentando así la producción y al mismo tiempo la calidad de estos elementos.

5. CONCLUSIONES

- La información encontrada sobre las juntas de expansión fue de gran ayuda para poder analizar y entender a grandes rasgos cómo funcionan e intervienen estos elementos en los diferentes tipos de ductos.
- El proceso de ingeniería inversa, que se desarrollo fue un instrumento esencial para poder hacer un buen análisis de las juntas de expansión que se fabricarán en la empresa.
- La elaboración de una herramienta guía es de gran ayuda para aumentar la calidad y eficacia de un producto final, en este caso las juntas de expansión.
- Este trabajo fue una herramienta clave para el fortalecimiento de los conceptos y temas desarrollados en las diferentes asignaturas durante el transcurso de la carrera.
- Se observó de forma teórica y práctica como la carrera aporta a las empresas del sector de metalmecánica soluciones integrales para su desarrollo productivo, lo que abre al Ingeniero Electromecánico diversas puertas de tipo laboral en un mundo tan competitivo.

6. RECOMENDACIONES

- Para la ejecución de la herramienta guía es necesario el acompañamiento de una persona capacitada en el área de metalmecánica, para que supervise que se desarrollen bien los procesos y procedimientos descritos en esta guía.
- En la elaboración de estos tipos de juntas se deben tener en cuenta todas las normas de seguridad instauradas por el HSQE de la empresa.
- Esta herramienta guía, de acuerdo con las especificaciones de la empresa, solo es válida para la elaboración de juntas de expansión de 9 y de 12 pliegues, sin embargo, puede ser modificada para la obtención de juntas con el número de pliegues que otra configuración de esta naturaleza sea requerida.
- Antes de empezar cualquier trabajo en cuanto a la elaboración de estas juntas, es necesario verificar el buen funcionamiento de los equipos y herramientas utilizados en su fabricación y que se dispone del material necesario para la construcción.
- Para abordar el proceso de elaboración de las juntas son necesarios los planos de cada una de las partes de las juntas de expansión, estas partes se distinguen cada una con un ítem que en el caso de la junta de 12 pliegues va del 1 al 8 y en el caso de la junta de 9 pliegues va del 1 al 9.
- Para abordar la herramienta guía es necesario consultar el documento “Manual de uso de la herramienta guía” que se encuentra en el anexo E.
- Para el proceso de fabricación de las juntas de expansión es necesario revisar cada uno de los planos citados para garantizar que las juntas van a cumplir con los parámetros requeridos.
- En las juntas expansión de 9 y 12 pliegues se encuentra piezas que son iguales en ambas juntas, por lo que se referencian con un mismo plano.

BIBLIOGRAFÍA E INFOGRAFÍA

BIKAR. Expansion joints. Consultada el 3 de mayo de 2016. Dirección de internet: http://www.bikarexpansionjoints.com/?page_id=61.

CEBORA. Manual de instrucciones para equipo de corte en plasma. Consultada el 27 de Marzo de 2016. Dirección de internet: <http://www.cebora.it/istr/ist823E.pdf>.

DEMAQUINAS Y HERRAMIENTAS. Soldadura, principios y aplicaciones. Citada el 10 de junio de 2016. Dirección de internet: <http://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura>.

DÍAZ ANDRADE, Guillermo. Elementos de diseño para el cálculo de flexibilidad en tuberías y aplicación de compensadores de dilatación:. Citado el 13 de mayo de 2016. Dirección de internet: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3319/55868-4.pdf/sequence=4>.

DUALTM. Mantenimiento De Juntas De Expansión. Citada el 30 de junio de 2016. Dirección de internet: <http://www.dualtm.com/mantenimiento-juntas>

DURMA. Productos ofrecido por DURMA cortes y plegados. Citada el 3 de diciembre del 2015. Dirección de internet: <http://www.durma.co.za/metal-work-products>.

ECURED, Conocimientos de todos y para todos, Pulidora_EI%C3%A9ctrica disponible en http://www.ecured.Cu/Pulidora_EI%C3%A9ctrica, consultada el 16 de Marzo de 2016.

INGEMECANICA. Tutorial de soldadura TIG. Consultada el 30 de febrero de 2016. Dirección de internet: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal>

Joseph Datsko, "Solid Materials," Chap. 32 in Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke, and Thomas

H. Brown, Jr. (eds.), Standard Handbook of Machine Design, 3rd ed., McGraw-Hill, New York, 2004. See also

JFLEXILATINA. Juntas de expansión metálicas. Consultada el 3 de octubre de 2015. Dirección de internet: <http://flexilatina.com/juntas-de-expansion-metalicas>.

MUÑOZ DOMÍNGUEZ, Marta; ROVIRA de ANTONIO, Antonio José. Máquinas Térmicas. Procesos que tienen lugar en las calderas. Edición digital: Marzo de

2014.Universidad Nacional y a Distancia de Colombia. Pág. 51 consultada 15 de septiembre de 2015.

NTC 520: Tubería metálica. Tubos de acero al carbono soldados por resistencia eléctrica para calderas y sobrecalentadores destinados a servicios de alta presión. Edición ICONTEC. Bogotá 1993. Págs. 6.

NTC 4490: Referencias documentales para fuentes de información electrónicas. Edición Icontec. Bogotá 1998. Págs. 27.

NTC 5613: Referencias bibliográficas. Contenido, forma y escritura.

R. C, Hibbeler. Mecánica vectorial para ingenieros. Décima edición. Consultada 3 de junio del 2016. Página 114. Capítulo 4.

RICHARD Budynas; KEITH Nisbett. Diseño en ingeniería mecánica. Edición McGrawHill. Novena edición. Consultada el 10 de noviembre de 2015.

RIVAS, Virginia. Procesos de manufactura. Instituto universitario politécnico "Santiago Mariño". Maturín. Mayo de 2012. Consultado el 10 de Noviembre de 2015.

ROBERT Mott. Diseño de elementos de máquinas. Cuarta edición. Edición pleason. Consultada el 11 de noviembre de 2015.

SOLTER. Procesos De Soldadura TIG. Consultada el 4 de marzo de 2016. Dirección de internet: <http://www.solter.com/es>

UPCOMMONS. Propiedades del acero inoxidable. Consultada el 15 de diciembre del 2015. Dirección de internet: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3319/55868-4.pdf?sequence=4>.

VICTAULIC COMPANY, Datos sobre diseño, sistema de tuberías ranuradas. Actualizado en Julio de 1998. Impreso en 2008.direccion de internet: <http://static.victaulic.com/assets/uploads/literature/26.02-SPA.pdf>

WESCO. Láminas de acero inoxidable. Consultada el 30 de marzo del 2016.Dirección de internet. <http://www.wesco.com.co/Laminas de acero inoxidable>.