

DISEÑO DE CENTRADOR EXTERIOR DE JAULA AJUSTABLE PARA SOLDEO DE TUBERÍAS DE VARIOS DIÁMETROS.

Ing. Oscar Fernández Fernández¹, Ing. David Porbén
Sabater², M.Sc. Adolfo Torres Valhuerdi¹

1. *Universidad de Matanzas, oscar.fernandez@umcc.cu,
adolfo.torres@umcc.cu*

2. *EPEP Centro, Matanzas.*

Resumen

Este trabajo responde a la necesidad de incorporar centradores de tuberías de fabricación propia, en los procesos de soldeo durante las reparaciones de ductos en la empresa del petróleo. Al consultar los sitios de intranet cubana relativos a la actividad petrolera y los catálogos de centradores disponibles y los anuncios *on-line* de varios fabricantes extranjeros, se concluye que los centradores de tuberías no se fabrican en Cuba y que de los modelos disponibles en el mercado internacional es posible proponer el rediseño de uno para ser fabricado, sustituyendo la importación de los mismos con el consiguiente ahorro de divisas, disponibilidad en menor tiempo y adecuación a las actividades propias de la empresa de petróleo de nuestro país. Para dar solución a lo anterior se plantea como objetivo general lograr el diseño de un centrador de tuberías, cumpliendo con todo lo normado al respecto.

Palabras claves: petróleo; centrador; jaula; diseño.

INTRODUCCIÓN

El aporte práctico fundamental de este trabajo consiste en demostrar la posibilidad de rediseñar, un novedoso centrador exterior de jaula ajustable para soldeo de tuberías. Para lograr lo anterior fue necesario realizar un análisis completo sobre la tecnología de construcción del mismo, donde predomina el proceso tecnológico de soldadura.

Se destaca en este trabajo el carácter exclusivo del diseño del centrador el cual va a tener la posibilidad de ajustarse a varios tipos de diámetros de tuberías.

DESARROLLO

- Transporte de petróleo, gas, aguas residuales y otros productos.

Como consecuencia de la estructura capitalista de la economía mundial a partir de la Revolución Industrial y la posterior expansión imperialista de las principales potencias; en la actualidad, los principales consumidores de petróleo y sus derivados, están alejados de las zonas geográficas donde se produce. Para el trasiego de materias primas desde los yacimientos hasta los consumidores se utilizan diversos medios de transporte. Los oleoductos y gasoductos son el segundo medio de transporte en importancia a nivel mundial, después del marítimo. En Cuba, también se manifiesta esta situación, pues los yacimientos más importantes se ubican en el Occidente y Centro, mientras que, aunque hay una alta concentración industrial en el Occidente, hay también refinerías importantes en Centro y Oriente, además de otras industrias y termoeléctricas, a lo largo del país. Los principales consumidores del producto cubano, además de las refinerías, son las centrales termoeléctricas y otras industrias que generan vapor para sus procesos, a partir del crudo nacional, como: centrales azucareros, fábricas de derivados del azúcar y otras industrias ampliamente distribuidas. Por otro lado, los principales yacimientos cubanos se encuentran en zonas costeras o bajo el mar, por lo que para disminuir los efectos medioambientales negativos, se extrae el petróleo y el gas acompañante desde la línea de costa y se transporta hasta centros de procesamiento, almacenamiento y distribución, ubicados tierra adentro. Por esta situación, los ductos de todo tipo, cobran especial importancia en la interconexión de todo el sistema.

- Impacto medioambiental.

Algunas operaciones de la industria petrolera han sido responsables por la contaminación del agua debido a los desechos o productos derivados del refino y por derrames de petróleo. Las averías en tuberías de trasiego de petróleo, gas y aguas residuales tienen gran impacto en el medio ambiente por la contaminación y destrucción de ecosistemas. La combustión de combustibles fósiles produce gases de efecto invernadero y otros contaminantes del aire. Los contaminantes incluyen óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, compuestos orgánicos volátiles y metales pesados. La mayoría de los desastres petrolíferos pasan en el mar, sobre todo cerca de las costas donde los ecosistemas son

más diversos y llenos de vida. Los peces pueden incorporar contaminantes orgánicos persistentes y los depredadores que los consumen transmiten el envenenamiento petrolero de un animal a otro por la cadena alimenticia, poniendo en riesgo, incluso, la seguridad en la alimentación humana.

Existen varias normas que rigen el diseño, construcción, reparación e inspección de ductos en la industria petrolera. (API 1104,2009)

API: Instituto Americano del Petróleo.

API 1104 “Soldadura de líneas de tuberías e instalaciones afines.”

API 5L “Tuberías para industria del petróleo.”

ASME: Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos.

ASME Sección IX “Soldadura.”

ASME Sección II “Materiales.”

ASME Sección VIII División 1 “Recipientes a Presión” (tiene criterios de soldaduras y de aceptación muy usados.)

ASME B 31 “Líneas Tuberías a presión”:

B31.1 “Power Piping”

B31.3 “Process Piping”

B31.4 “Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids”

B31.5 “Refrigeration Piping”

B31.8 “Gas Transportation and Distribution Piping Systems”

B31.9 “Building Services Piping”

B31.11 “Slurry Transportation Piping Systems”

ASTM: Sociedad Americana de Ensayo de Materiales.

Dimensiones y pesos Tubos ASTM A-53 _A_ 106 _API.

Normas ASTM para cañerías y tubos.

Tuberías ASTM A53-Gr A y B.

Tuberías para Gas y Fluidos ASTM-A-53- COLMENA (Colombia).

Norma CSA: Asociación de Normas Canadienses.

Z 662-94 Sistemas de tuberías para líneas de Gas y petróleo.

- Conceptualización del proceso de soldeo en ductos que se lleva a cabo con el auxilio del centrador.

- Normas para el proceso de soldeo en ductos.

La Norma API 1104 “Soldadura de líneas de tuberías e instalaciones afines” en la Sección 4 “Diseño y preparación de la unión para la ejecución de la soldadura.” [API 2010]; plantea:

La tubería se soldará por soldadores calificados usando procedimientos normalizados. Las superficies que serán soldadas estarán lisas, uniformes y libres de laminaciones, gotas de rebabas, incrustaciones, escorias, grasa, pinturas, costras y otra materia que pueda afectar adversamente a la soldadura. El diseño de la unión y el espaciado entre los bordes enfrentados serán según la Especificación de Procedimiento de Soldadura. (WSP por sus siglas en inglés)

La alineación entre los bordes minimizará el desplazamiento entre las superficies. Para bordes de tubos de igual espesor de pared, el desplazamiento no excederá 1/16 in. (1.59 mm). Si un desplazamiento mayor es causado por variaciones dimensionales este será igualmente distribuido alrededor de la circunferencia del tubo. El martillado de la tubería para obtener el alineado propio será llevado al mínimo.

Los centradores serán usados para soldaduras a tope en concordancia con la WSP.

Cuando sea permisible retirar el centrador antes que el pase de raíz sea completado, la parte completada de la pasada será aproximadamente igual al espaciado de los segmentos aproximadamente igual alrededor de la circunferencia de la unión.

Sin embargo cuando un centrador lineal interno sea usado y existan las condiciones de dificultad para prevenir el movimiento del tubo o si la soldadura fuese indebidamente sometida a esfuerzo el pase de raíz será completado después de liberar la tensión del centrador. Los cordones o segmentos de la pasada de raíz usados en la conexión con centradores exteriores estarán espaciados uniformemente alrededor de la circunferencia del tubo y tendrán una longitud adicional de al menos 50 % de la circunferencia del tubo antes de ser retirado el centrador según el epígrafe 4.3 de la Norma API 1104. La preparación del chaflán o bisel en los bordes de la tubería se conformará según el diseño de la unión de la WSP.

Los bordes de los tubos deben ser biselados por maquinado o corte con máquina de corte por oxígeno. Si es autorizada por la empresa puede además ser usado el corte manual de oxígeno. El biselado de bordes debe ser razonablemente liso y las dimensiones serán según la WSP. La soldadura no debe ser realizada cuando la calidad de esta pueda ser deteriorada por las condiciones ambientales prevalecientes incluyendo pero no limitando la humedad ambiental, ráfagas de arena, fuertes vientos etc. Protectores de vientos

pueden ser usados cuando sea práctico. La compañía decidirá cuando las condiciones climáticas sean adecuadas para la soldadura.

Cuando el tubo es soldado encima de la tierra la sección libre de trabajo alrededor del tubo soldado no debe ser menor que 16 in. (406 mm). Cuando el tubo es soldado en zanja, el ensanchamiento tendrá el largo suficiente para asegurar que el soldador o los soldadores tengan acceso a la unión. Las incrustaciones de escoria serán eliminadas en cada pasada y unión.

El amolado será usado cuando sea listado en la WSP. También la limpieza se puede realizar a mano o usando herramientas eléctricas. Cuando se utiliza soldadura automática o semiautomática la superficie debe estar limpia de poros, y protuberancias antes que se deposite el metal de soldadura. Todas las soldaduras de posición serán hechas por las partes a ser unidas evitando movimientos contrarios con un adecuado espacio libre alrededor de las uniones que permitan al soldador trabajar.

Para la soldadura de posición el número de aporte y pases finales será tal que sea completada la soldadura obteniendo sustancialmente una sección uniforme alrededor de toda la circunferencia del tubo. No se admitirá una superficie abovedada del cordón por debajo de la superficie de la cara exterior del tubo, el refuerzo del cordón no se elevará por encima del metal en más de 1/16 in (1.59 mm). No se comenzarán dos cordones en el mismo lugar. La superficie de la soldadura completa debe ser aproximadamente de 1/2 in (38.1 mm) más ancha que el espesor de la ranura original. La soldadura debe estar totalmente libre de impurezas.

Según el Código API, la soldadura con electrodo revestido, es la unión de dos tubos en progresión descendente con electrodo 6010, 7010, 8010 de 5/32 in (3.97 mm) para la primera pasada (pase de raíz, fondeo) y de 5/32 in (3.97 mm) o 3/16 in (4.76 mm) según el espesor de pared del material base.

Según Código ASME, Sección IX de Soldadura; se realizara la unión de dos tubos de acero al carbono en posición 5G tubería horizontal, con electrodo E-6010 de 1/8 in (3.175 mm) para primera pasada (pase de raíz, fondeo) y E-7018 de 1/8in (3.175 mm) para pase de relleno o remate.

Especificaciones de tubos de acero al carbono para la industria petrolera.

- Materiales: Los materiales más utilizados en la industria petrolera son los aceros al carbono API 5L de los siguientes grados:

A25, A, B, C, X42, X46, X52, X60, X65, X70, X80, A179, A192, T1, STKM11A, STKM12A, STB340, J55, M55, K55, L80, N80, P110, 20G (St 45.8), 320, 360, 440, St 37, St 44, St 35, St 45, St 52, 10#, 20#, 35#, 45# (China), Q195, Q235, Q345 (16Mn), Q390, etc.

La mayoría de las tuberías utilizadas en la empresa de petróleo para los ductos, son del grado X52.

Tabla 1.1 Propiedades mecánicas de los aceros al carbono API 5L según su grado.

Grados	Límite de fluencia mínimo		Resistencia a la tracción, mínima		Resistencia a la tracción, máxima		Elongación, porcentaje mínimo en 50.80 mm (2 pulg) ^a
	psi	MP	psi	MP	psi	MP	
A25	25,000	(172)	45,000	(310)	-	-	-
A	30,000	(207)	48,000	(331)	-	-	-
B	35,000	(241)	60,000	(413)	-	-	-
X42	42,000	(289)	60,000	(413)	-	-	-
X46	46,000	(317)	63,000	(434)	-	-	-
X52	52,000	(358)	66,000	(455)	-	-	-
X56	56,000	(386)	71,000	(489)	-	-	-
X60	60,000	(413)	75,000	(517)	-	-	-
X65	65,000	(448)	77,000	(530)	-	-	-
X70	70,000	(482)	82,000	(565)	-	-	-
X80	80,000	(551)	90,000	(620)	120,000	(827)	-

a) El menor alargamiento en 50,80 mm (2 pulg) se determinará según la fórmula siguiente:

$$e = \frac{1942,57 * A^{0,2} (mm)}{U^{0,9}}$$

Donde:
e: Es el alargamiento mínimo en 50,80 mm (2 pulg) expresado en porcentaje y redondeado a 0,5 %.
A: Es el área de la sección transversal de la probeta en pulgadas cuadradas, basándose en el diámetro externo y espesor de pared especificados con aproximación de 6,5 mm² (0,01 pulg²) ó 484 mm² (0,75 pulg²), el menor valor.
U: Es la resistencia a la tracción especificada en Mpa (psi)

- El centrador de tuberías.

En el mundo, constantemente, se realizan soldaduras de todo tipo en el montaje de tuberías y reparación de averías en ductos, en el área industrial, residencial y de servicios. La industria petrolera se guía por normas internacionales que exigen el uso de centradores o alineadores de tuberías que ayudan al proceso de soldeo y mejoran la calidad del mismo.

Un centrador cumple su función al garantizar la linealidad y concetricidad en la unión a soldar. Estos son retirados durante o al final del proceso de soldeo según el procedimiento especificado.

- Principales modelos y materiales usados.

Existe gran variedad de centradores, fabricados por varios proveedores de renombre internacional como son: *TAG PIPE EQUIPMENT SPECIALISTS LTD*, *CODESOL*, *MATHEY DEARMAN*, entre otros.

Entre los tipos de centradores existentes, están:

- 1- Centrador exterior *'E-Z' Fit tm*: Rápido y fácil de usar, combina precisión y seguridad, centrado instantáneo, producto de calidad a bajo costo, diseñado para el centrado de tuberías, bridas, piezas en T, y otros adaptadores; capacidad de sujeción del diámetro de la tubería con solo tres pinzas.

Advertencia: Estos centradores no deben usarse como dispositivos elevadores. Podría provocar daños o lesiones.

- 2- Centrador exterior *'E-Z' Fit RED*: Se puede utilizar en acero inoxidable sin necesidad de accesorios adicionales debido a los pies y los tornillos creados de acero inoxidable, evitando así la contaminación del tubo. Según el modelo, se ajustan a rangos diferentes de diámetros de tuberías.

Advertencia: Estos centradores no deben usarse como dispositivos elevadores. Podría provocar daños o lesiones.

- 3- Centrador exterior *'E-Z' Gold*: Rápido y fácil de usar, combina precisión y seguridad, centrado instantáneo, producto de calidad a bajo costo, en acero forjado para reforzarlo, tornillo de mariposa con soporte de acero inoxidable. Componentes extras opcionales: Anclajes de acero inoxidable que se ajustan rápidamente a los centradores. Esto hace que los puntos de contacto del centrador sean de acero inoxidable, eliminando así la contaminación de la tubería.

Advertencia: Estos centradores no deben usarse como dispositivos elevadores. Podría provocar daños o lesiones.

- 4- Centrador exterior *Wizard* con cadena: Se diseña con un rango de 6 in a 72 in (152.4 mm a 1828.8 mm) para ofrecer al soldador las mejores posibilidades. En primer lugar, un centrador con la fuerza y habilidad de alinear y reformar ligeramente los tubos; y en segundo lugar, un diseño ligero y de uso sencillo. Puede adaptarse a una amplia gama de tamaños y toda la circunferencia del tubo se puede soldar sin retirar el centrador. Puede alinear codos, extremos, alas, tapas y la mayoría de accesorios de tubería. Todas las cadenas y tornillos, son de zinc pasivado para evitar salpicaduras de soldaduras y corrosión. También hay disponible modelos en acero inoxidable. Las bases de sujeción se han diseñado para que haya espacio alrededor de la tubería para cualquier antorcha de soldadura

o varilla. Las bases son de aleación de acero de alta calidad. El diseño y construcción de peso reducido los hace robustos y duraderos. Dispone de dos tornillos de alineación que permiten modificar la presión que debe aplicarse en ambas tuberías.

- 5- Centrador *Scissor* Serie TM 100: Se utiliza para realizar sujeciones y centrado de tuberías, de diámetros iguales o variables en una línea de centro común, mediante la compensación automática de diámetro. No hay necesidad de hacer ajustes suplementarios. Soldadura accesible por todas partes. Se ofrece en tres modelos.
- 6- Centrador *linear* Serie 200: Para centrar y sujetar bridas, boquillas, secciones cortas de tubería, en tubos y en recipientes cilíndricos. Centradorees en forma de cuña. Compensación automática del diámetro, incluso para piezas de diámetros muy diferentes. Se ofrecen siete modelos.
- 7- Centrador *spider* TM : Para centrar y sujetar con precisión y rapidez bridas, boquillas, tramos cortos de tuberías, etc., en tubos y recipientes cilíndricos. Carriles de instalación para un ángulo colindante correcto y compensación automática de diámetro, incluso para diámetros muy diferentes. Sin ajustes complementarios. El centrado interno permite que la soldadura sea accesible por todas las partes. Se dispone de tres modelos.
- 8- Centrador de codos "*Spider* TM" serie 500: Este modelo con dos cuerpos extensibles tensables, independientes entre sí, se utiliza para sujetar bridas de todo tipo, codos de tubos y otros tramos curvados de tuberías de diferentes diámetros. El cuerpo extensible inferior del mecanismo de centrado queda tan bien sujeto en el codo que los bordes anteriores del cuerpo extensible superior se ajustan perfectamente en la parte delantera del codo. Se dispone de cuatro modelos.
- 9- Centrador Exterior *Cage* (Jaula), con sistema de bloqueo manual o hidráulico: Estos centradores no solo son muy fuertes y precisos, sino también ligeros, tanto con barras estándar transversales plana como con barras arqueadas cruzadas sin remate. Los centradores están disponibles con sistema de bloqueo del cierre con palanca manual y con sistema hidráulico. Se fabrica para un diámetro fijo. Se dispone de modelos diferentes para cada diámetro de tubería normalizada entre 4 in y 80 in (101.6 mm y 2032 mm). Su peso varía según el modelo desde 2Kg hasta 40Kg.

Procedimientos realizados actualmente durante las reparaciones de ductos.

- Se montan ambos tubos en soportes provisionales alineados o se izan con buldócer o grúas, se enfrentan las caras a soldar, se fijan en la posición adecuada soldando un angular en la superficie exterior de los tubos, el cual es retirado al finalizar el pase de raíz. Al retirarse el angular soldado para la alineación quedan

zonas propensas a la corrosión que deben ser tratados adecuadamente, mediante recubrimientos.

- El proceso de soldeo actual cumple las normas de inspección pero no con la calidad óptima y la agilidad que brinda el uso de un centrador

DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN CENTRADOR DE TUBERÍAS PARA SOLDADURA.

Análisis de los modelos de centrador existentes en el mercado.

De todos los modelos de centradores expuestos se descartan, por no cumplir los requisitos, que es la soldadura de tramos largos de tubería, los centradores interiores como el Centrador Lineal serie 200, Centrador *Spider TM* en cada una de sus series y los centradores y accesorios para trabajos en tuberías de acero inoxidable, como el Centrador Exterior 'E-Z' *Fit RED* y el Centrador Exterior 'E-Z' *Gold* debido a que no se trabaja con tuberías de acero inoxidable en la EPEP-Centro por lo que no se justificaría un gasto mayor en un dispositivo de acero inoxidable, el cual es un material mucho más caro que otros aceros. Se considerará para la selección los centradores exteriores siguientes: *Wizard* con cadena, *E-Z Fit tm*, *Scissor Serie- TM 100-1* y el exterior de Jaula con palanca de bloqueo manual.

En la tabla siguiente se recogen las características fundamentales de los modelos considerados para la selección del más adecuado.

Tabla 1.2 Comparación de centradores exteriores para selección.

Aspectos a comparar	Modelos			
	'E-Z' Fit tm	Wizard con cadena	Scissor Serie TM 100-1	Exterior de Jaula de 10 in (254 mm) con palanca de bloqueo manual
Rapidez de montaje	SÍ		SÍ	
Facilidad de uso	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Precisión	SÍ		SÍ	SÍ
Seguridad	SÍ			SÍ
Calidad en el proceso	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Robusto		SÍ		SÍ
Ligeros		SÍ		SÍ
Fuerte		SÍ		SÍ
Peso (Kg)	6.7	9	2.1	8

Capacidad de reformar ligeramente los tubos		SÍ		
Material	Acero Forjado	Acero de alta calidad	Acero	Acero
Precio (usd)	391.13	7633.66	1018.87	767.39

El modelo de Centrador *Wizard* con cadena se descarta debido a que la cadena es un elemento que esta normalizado y no se fabrica en Cuba, por lo tanto habría que comprarlo, mientras que su producción conllevaría altos costos de fabricación con acero de alta calidad. La frecuencia de utilización será baja y no es requerimiento la reformación de tubos que es su principal ventaja. El modelo *'E-Z' Fit tm* se descarta, porque, no es robusto ni fuerte. En cuanto al modelo *Scissor Serie 100-1*, este fue descartado porque es de compleja fabricación, no es fuerte, no es tan seguro como otros modelos y requiere un soporte externo siendo inestable e insegura su operación para reparaciones en el campo.

El Centrador Exterior de Jaula (*Cage*) con palanca de bloqueo manual es fácil de usar, preciso, seguro, robusto, ligero, fuerte, de fabricación económica al requerir plancha, barras y tornillería de acero de relativo bajo costo. Para su fabricación se requiere de procesos tecnológicos de tornado, fresado, corte y soldadura de planchas. Por todo lo expuesto, el modelo seleccionado para posterior rediseño y adaptación es el Centrador Exterior de Jaula (*Cage*) con palanca de bloqueo manual. (ANEXO 1)

Diseño de un nuevo modelo de centrador exterior de jaula ajustable para soldeo de Tuberías de 6 in (152.4 mm) , 8 in (203.2 mm) y 10 in (254 mm).

- Diseño de la estructura.

Para lograr abarcar con el centrador, el diámetro exterior de 273.05 mm de la tubería de 10 in (254 mm), se articulan siete pares de eslabones unidos por travesaños, por medio de doce pares de orejetas y veinticuatro pasadores con sus 48 anillos elásticos; cerrando los extremos de la cadena así formada con un mecanismo de cierre manual ajustable mediante tuerca y tornillo, accionado por una palanca.

Se adicionó tres tornillos de ajuste manual en los eslabones que se colocan espaciados aproximadamente a 120 grados (2.09 rad) en cualquiera de las dos secciones del centrador y en cualquiera de los tres diámetros disponibles con el objetivo de repartir uniformemente en el diámetro las diferencias entre tuberías de distinto fabricante.

- Selección del material.

En el diseño del nuevo modelo de centrador se seleccionó acero AISI 1020 debido a sus propiedades mecánicas. Este es un acero bajo en contenidos de carbono, ideal para partes donde se requiere una dureza uniforme. Sus propiedades mecánicas y su maquinabilidad versátil, lo convierten en uno de los aceros de mayor uso, y los productos elaborados con este material son de una magnífica calidad. Los mejores acabados se hacen por el procedimiento de estirado en frío que a diferencia de los laminados en caliente hay que maquinar menos para alcanzar las medidas deseadas. Sus aplicaciones pueden ser en partes que requieran de un formado en frío, tales como ondulados, doblados o escalonados, especial para partes donde se requiere un interior suave y una superficie dura como: Engranajes, Piñones, Tornillos sin fin, Pernos, Retenes, etc. (ACAVISA Productos. 2016)

Soldeo del Centrador.

- Análisis de la soldabilidad metalúrgica.

La soldabilidad es la capacidad que tienen los metales y materiales de la misma o diferente naturaleza de ser unidos de forma permanente mediante procesos de soldadura, sin presentar transformaciones estructurales o físico – químicas perjudiciales, tensiones o deformaciones, defectos, entre otros.

Los factores que influyen en la soldabilidad son:

1. Proceso de soldadura (tipo, régimen de soldadura, etc.).
2. Naturaleza del metal base antes de ser soldado.
3. Elementos de aleación que se introducen en la unión durante el proceso.
4. Velocidad de enfriamiento (energía suministrada y precalentamiento).
5. Espesor del metal base y tipo de unión soldada.
6. Características térmicas del metal base.

La determinación de la soldabilidad del acero AISI 1020 se realizó utilizando los datos mostrados anteriormente, de acuerdo a la ecuación planteada por Seferian, por ser la más utilizada para el cálculo del carbono equivalente:

$$[C] = [C]_q + [C]_s \quad (1.1)$$

Donde:

$[C]$: Carbono equivalente; que no es más que la suma de las influencias cuantitativas de los diferentes elementos de aleación sobre la soldabilidad metalúrgica del metal base.

$[C]_q$: Carbono equivalente químico.

$[C]_s$: Carbono equivalente del espesor.

Para calcular el valor de $[C]_q$ se usará la ecuación:

$$[C]_q = C + \frac{Mn*Cr}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{7Mo}{90} \quad (1.2)$$

Donde:

C, Cr, Mn, Ni, Mo: Composición química de los elementos en %.

Para el cálculo de $[C]_s$ se emplea la ecuación:

$$[C]_s = 0,005 * S * [C]_q \quad (1.3)$$

Donde:

S: Espesor de la pieza en mm.

$$[C]_q = 0.2 + 0 + 0 + 0$$

$$[C]_q = 0.2$$

$$[C]_s = 0.005 * 5 * 0.2$$

$$[C]_s = 0.005$$

$$[C] = 0.2 + 0.005$$

$$[C] = 0.205$$

Como el Carbono equivalente es menor de 0.4, se considera que el acero AISI 1020 tiene buena soldabilidad.

- Identificación del tipo de unión y de la preparación de bordes.

Los travesaños y los eslabones correspondientes, forman uniones en ángulo y no llevan preparación de bordes debido a que el espesor de la pieza menor es de 10 mm. (NC ISO 9606-1: 2004)

- Selección del electrodo de soldadura.

Para la selección del electrodo de soldadura en los procesos SMAER se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- ✓ Composición química del metal base.
- ✓ Composición química del electrodo.
- ✓ Propiedades mecánicas de ambos.

La composición química del metal base y del electrodo deben ser iguales o semejantes.

El electrodo seleccionado para el soldeo del nuevo centrador es electrodo E6010 clasificación AWS A5.1 [CONARCO, 2019]. Se muestran las propiedades mecánicas y químicas del metal depositado, en las tablas 1.5 y 1.6 respectivamente.

Tabla 1.5 Propiedades Mecánicas del metal depositado

Metal

σ

σ_f

δ (%)

ak. (Joule)

base	(MPa)	(MPa)		a
AISI-1020	480	380	28	-30°C 45

Tabla 1.6 Composición química del metal depositado

Metal base	%C	%Si	%Mn	%S
AISI-1020	0.16	0.10	0.30	-

Para seleccionar el diámetro de los electrodos considerando el espesor del material base se utilizan los datos anteriores. Criterio de selección de diámetro del electrodo. (Burgos Solas, 2012)

Tabla 1.7 Criterio de selección de diámetro del electrodo.

Espesor del metal base (mm)	0,5 – 1,5	1,5 – 3	3 – 5	6 – 8	9 – 12	13 - 20
Diámetro del electrodo	1,5 – 2	2 – 3	3 – 4	4 – 5	4 – 6	5 - 6

Según lo reflejado para espesor de material base de 5 mm se seleccionó electrodos de 3 mm.

- Determinación del consumo de electrodos.

$$G = F * L * \gamma \quad (1.4)$$

Donde:

G: Peso del metal depositado.

F: Área de la costura [NC ISO 08-06:82]

L: Longitud de la costura.

γ : Peso específico del metal. ($\gamma_{\text{acero}} = 7,83 \text{ g/cm}^3$).

$$F = 0,75 * b * h. \quad (1.5)$$

Para la soldadura de un travesaño:

$$Gt = 0.75 * 5 * 5 * 160 * 0.00783$$

$$Gt = 23.49 \text{ g}$$

El centrador presenta 7 travesaños por lo que

$$Gt = 23.49 \text{ g} * 7$$

$$Gt = 164.43 \text{ g}$$

El número de pasadas serán tres, una para el pase de raíz y dos para el relleno por lo que se multiplica el valor final por tres.

$$G_{\text{total}} = 164.43 \text{ g} * 3$$

$$G_{\text{total}} = 493.29 \text{ g}$$

$$Gelect = K_1 * G_{total} \quad (1.6)$$

Donde:

K_1 : Coeficiente de pérdidas (1,60 para electrodos de revestimiento grueso).

Consumo de electrodo:

$$Gelect = 1.60 * 493.29 \text{ g}$$

$$Gelect = 789.264 \text{ g}$$

- Planos de diseño del Centrador Exterior de Jaula Ajustable.

Se realizaron 20 planos digitales con la ayuda de *SolidWorks 2016 Premium* según las Normas Cubanas de Dibujo vigentes, de estos son 15 planos de pieza, 4 planos de subensamble y un plano de ensamble general. Los formatos utilizados fueron A2, A3 y A4.

- Montaje del Centrador.

El centrador diseñado posee un peso aproximado de 11 Kg que lo hace suficientemente ligero para ser transportado por una persona y su robustez evita deformaciones durante el almacenaje, transportación y utilización.

Para realizar el soldeo, se colocan soportes auxiliares cercanos a los extremos de ambos tubos, los cuales son enfrentados a una distancia de 3 mm. [Norma API 1104, 2009]. Se coloca el centrador alrededor de las tuberías con ambas secciones equidistantes respecto a la unión y se ajusta el sistema de cierre, obteniendo un centrado seguro e instantáneo. Al terminar el pase de raíz se retira el centrador accionando la palanca del sistema de cierre.

Para adaptar el centrador a la tubería de 8 in (203.2 mm) se le retira el eslabón 6 y dos pares de orejetas con sus respectivos pasadores, volviendo a ensamblar el centrador. Si se necesita usar el centrador en tubería de 6 in (152.4mm), se le retiran los eslabones 5 y 6 con sus correspondientes pares de orejetas y pasadores, volviendo a ensamblar sin ellos. En caso de que las tuberías tengan variaciones ligeras en el diámetro exterior, se dispone de tornillos de ajuste manual que se pueden colocar en cualquier eslabón para lograr una distribución circular aproximada de 120 grados (2.09 rad) entre ellos y poder distribuir uniformemente la diferencia de diámetro entre las caras a soldar aunque los cambios de sección en el ducto queden hacia la izquierda o hacia la derecha.

No se debe utilizar, el centrador, como dispositivo elevador de las tuberías. Esto podría causar daños a las personas y rotura del dispositivo.

UTILIZACIÓN DEL SOFTWARE *SOLIDWORKS*

- Software CAD.

En la actualidad se dispone de varias potentes herramientas de Diseño Asistido por Computadora (CAD por sus siglas en inglés) que agilizan, humanizan el trabajo de diseño y permiten lograr resultados más exactos en cálculos y diseños aplicables a todas las ramas de la ingeniería como la Arquitectura, Ingenierías Civil, Electrónica, Mecánica, etc. Los más utilizados a nivel mundial son: *CAD SOLIDWORKS*, *Auto CAD*, *AutoDesk Inventor*, *Solid Edges*, *Sketshup*. Unos se enfocan más en diseño 2D y la generación de planos, mientras otros potencian el diseño 3D paramétrico con simulaciones de prototipos y a partir de ahí, generan la documentación en 2D. Esto permite que los diseñadores escojan uno de ellos o combinen el uso de varios programas en la realización de un mismo proyecto logrando gran eficiencia, cortos tiempos de entrega de proyectos, optimización de los prototipos sin tener que construir y destruir durante las pruebas.

De los programas disponibles, los más utilizados por los ingenieros mecánicos son *SolidWorks*, *Auto CAD* y *AutoDesk Inventor*.

- Modelación y simulación mediante software.

SOLIDWORKS es un software de diseño CAD 3D para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D desarrollado en la actualidad por *SolidWorks Corp.*, una filial de *Dassault Systèmes, S.A.* (Suresnes, Francia), para el sistema operativo *Microsoft Windows*. El *software* ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto. Sus productos ofrecen la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño.

La labor de *SOLIDWORKS* en el proceso de desarrollo del producto es muy específica, las soluciones ayudan a acelerar el proceso ahorrando tiempo y dinero dando paso a la innovación de los productos.

Cuando en la mayoría de las empresas la cadena de valor es un proceso secuencial en el que necesitan terminar las fases anteriores para iniciar las nuevas, las soluciones de *SOLIDWORKS* permiten llevar el proceso en paralelo en lugar de secuencialmente, con el fin de ganar tiempo y poder tomar mejores decisiones empresariales creando mejores diseños.

SOLIDWORKS ofrece soluciones intuitivas para cada fase de diseño. Cuenta con un completo conjunto de herramientas que le ayudan a ser más eficaz y productivo en el desarrollo de sus productos en todos los pasos del proceso de diseño. La sencillez que es parte de su propuesta de valor, es decisiva para lograr el éxito de muchos clientes.

La solución de *SOLIDWORKS* incluye cinco líneas de productos diferentes:

1. Herramientas de diseño para crear modelos y ensamblajes.
2. Herramientas de diseño para la fabricación mecánica, que automatiza documentos de inspección y genera documentación y planos 2D.

3. Herramientas de simulación para evaluar el diseño y garantizar que es el mejor posible.
4. Herramientas que evalúan el impacto medioambiental del diseño durante su ciclo de vida.
5. Herramientas que evalúan los costos.
6. Herramientas que reutilizan los datos de CAD en 3D para simplificar el modo en que las empresas crean, conservan y utilizan contenidos para la comunicación técnica.
7. Finalmente, todas estas herramientas están respaldadas por *SOLIDWORKS PDM* para gestionar y controlar de forma segura los datos mediante una única fuente de datos reales de sus diseños y *SOLIDWORKS Manage*, una herramienta que gestiona los procesos y proyectos implicados en todo el desarrollo del producto y está conectado al proceso de diseño.

Para la realización del diseño mecánico del centrador de tuberías objeto de este trabajo, se utilizó el software *CAD SOLIDWORKS 2016 Premium* en su versión en inglés.

Diseño de un nuevo modelo de centrador exterior de jaula ajustable con el uso de *SOLIDWORKS 2016 Premium*.

- Dibujo de modelo 3D.

Con la herramienta de diseño para crear modelos y ensamblajes del *SOLIDWORKS 2016 Premium* se realizó el dibujo en 3D de todas las partes componentes del Centrador exterior de jaula ajustable con mecanismo de bloqueo manual para tuberías de 10 in (254 mm) y un ensamble de las mismas. De esta forma se dispone de un prototipo virtual de dicho centrador con las mismas características de movimiento, materiales, apariencia y desempeño que tendría su equivalente real. Así se dispone de modelos independientes de cada pieza para generar la documentación técnica y los planos de cada una para su fabricación. La plantilla de este software fue personalizada para que cumpliera con las NC ISO referidas a Dibujo Mecánico.

Además se realizó un modelo de la tubería de 10 in (254 mm) que se soldaría con la ayuda de este centrador y de sus soportes, que consta de dos tubos de acero al carbono de 10 m de largo, diámetro exterior de 273,05 mm; diámetro interior de 254,50mm, con un peso de 40,483 Kg/pie (1.32 Kg/cm). Las tuberías estarían en dos soportes espaciados a 5 m entre si y a 2.5 metros de los extremos. En el modelo virtual se idealizó los apoyos de las tuberías como un empotramiento por un extremo de un tramo de tubería de 2.5 metros. También se realizaron dos modelos del centrador con travesaños de sección transversal 5 mm x10 mm y 10 mm x 10 mm respectivamente.

- Simulación estática del modelo 3D.

Se realizó una simulación estática del modelo montado en las tuberías, y estas apoyadas sobre dos soportes fijos, simulando un empotramiento para así idealizar el sistema bajo el efecto de su propio peso, obteniendo como resultados de interés un desplazamiento o deflexión de $7.63 \cdot 10^{-8}$ m en los extremos de las tuberías. En este estudio no se tuvieron en cuenta para el análisis los soportes adicionales, debido a que con estos se eliminarían las tensiones generadas en el dispositivo y no se obtendrían datos importantes, por lo que al no incluirlos se logra una simulación para la peor condición posible. Esto permitió obtener gráficos de desplazamientos, tensiones de Von- Mises, compresiones y factor de seguridad para estas condiciones específicas. Además se descartó la realización de un estudio sobre la afectación de la temperatura de soldeo de las tuberías sobre el centrador debido a que el área de influencia de calor es aproximadamente un 2% del ancho de la costura y no logra ponerse en contacto con los travesaños.

A partir de los resultados obtenidos se escoge el modelo de centrador cuyos travesaños presentan una sección transversal de 10 mm x 10 mm.

- Cálculo del peso.

A partir del modelo dibujado y los materiales asignados se calculó con ayuda de *SolidWorks 2016 Premium*, una masa aproximada de 10, 2 Kg para este diseño. Por otro lado se calculó el peso del material depositado en las soldaduras que es de 789.456 g. Sumando ambos, se estima que el centrador tendrá un peso de 11 Kg.

- Cálculo del costo con plantilla predeterminada de *SolidWorks 2016 Premium*.

Utilizando las plantillas predeterminadas de la herramienta de evaluación de costos de *SolidWorks 2016 Premium*, se obtuvo un costo aproximado de \$576.11 usd. Esto refleja los gastos involucrados en la fabricación de un prototipo, según los costos de materiales, mano de obra y uso de equipos.

- Generación de Planos de Diseño.

A partir de los modelos en 3D se generaron los planos de diseño necesarios en la sección de dibujo de *SolidWorks 2016 Premium*. Para esto se utilizó plantillas personalizadas según las Normas Cubanas de Dibujo vigentes, en los formatos A4, A3 y A2. Desde el espacio de trabajo se seleccionó insertar las vistas proyectadas del modelo 3D y se realizó el acotado. En caso de los subensambles y plano general, se insertaron las tablas correspondientes que son generadas por el propio software.

La revisión y corrección de los planos fue ágil gracias a que estos conservan en todo momento su relación con el modelo 3D, por lo que cualquier cambio en este último se realiza de manera automática en el plano correspondiente. Como resultado de todo esto se

- Análisis estático del centrador exterior de jaula ajustable.

El modelo virtual de centrador exterior de jaula ajustable se sometió a análisis estático con ayuda del complemento *SolidWorks Simulation*, que incluye análisis de tensiones de Von-Mises, deformación, factor de seguridad y desplazamientos. Para esto, se ensambló el centrador con dos tramos de 2,5 m de tubería de 10 in (254 mm) con fijación en los extremos libres simulando empotramiento, idealizando así la condición real de tuberías de 10 m apoyadas sobre dos soportes espaciados a 5 m. Se consideran los valores máximos que están ubicados en el centrador. El modelo inicial considerado presenta travesaños con una sección transversal de 5 mm x 10 mm. Al valorar los posibles impactos en los extremos exteriores de los mismos durante el almacenaje, transportación y uso, se decidió realizar otro modelo con travesaños de sección transversal de 10 mm x 10 mm. Se realizó análisis estáticos a ambos cuyos resultados se exponen a continuación.

Tabla 1.8 Resultados de análisis estáticos de dos modelos del centrador exterior de jaula ajustable con variación en los travesaños.

Sección transversal de travesaño	ESTUDIOS			
	Tensiones de Von Mises (N/mm ²)	Deformación (mm)	Desplazamiento (mm)	Factor de seguridad
	Máximo	Máximo	Máximo	Máximo
5x10 mm	0,09329	0,0000001942	0,0001850	3,0
10x10 mm	0,05810	0,0000001604	0,00007638	3,0

- Estudio de tensiones de Von Mises.

Se aprecia una concentración de tensión en los travesaños laterales, en las aristas que van soldadas a los eslabones, menor en el modelo de travesaño con sección transversal de 10 mm x 10 mm. En ambos casos estos valores son despreciables respecto al Módulo de Elasticidad del acero AISI 1020 utilizado en los diseños, que es de 200000 N/mm². En los travesaños superiores e inferiores y demás partes componentes del centrador, no se aprecia concentración de tensiones.

- Estudio de deformación.

La mayor deformación se aprecia en las zonas de los travesaños laterales que quedan entre las tuberías y los eslabones; de menor valor en el caso del travesaño de sección transversal de 10 mm x 10 mm. En ambos casos, se considera de valores despreciables comparados con las características mecánicas del acero AISI 1020.

- Estudio de desplazamiento.

El desplazamiento mayor se observa en el arco central de los travesaños laterales; mucho menor en el travesaño de sección transversal de 10 mm x10 mm. Estos desplazamientos no serían apreciables a simple vista en un prototipo real.

- Estudio de Factor de Seguridad.

El factor de seguridad es el cociente entre el valor calculado de la capacidad máxima de un sistema y el valor del requerimiento esperado real a que se verá sometido. Por este motivo es un número mayor que uno, que indica la capacidad en exceso que tiene el sistema por sobre sus requerimientos.

En este sentido, en ingeniería, es común, y en algunos casos imprescindible, que los cálculos de dimensionado de elementos o componentes de maquinaria, o dispositivos en general, incluyan un coeficiente de seguridad que garantice que bajo desviaciones aleatorias de los requerimientos previstos, exista un margen extra de prestaciones por encima de las mínimas estrictamente necesarias. En el estudio realizado a ambos modelos se obtiene un factor de seguridad en todo el centrador. Esto implica que no debe fallar ninguno de sus componentes ante algunas situaciones imprevistas.

- Impacto económico.

El centrador obtenido es una herramienta novedosa que sustituye a tres (una para cada diámetro de tubería) de las comercializadas actualmente. Un centrador exterior de jaula para utilizar solo en tuberías de diámetro 10 in (254 mm), cuesta alrededor de \$720.47 usd en el mercado internacional; uno, de 8 in (203.2 mm) cuesta \$645.3 usd y uno, de 6 in (152.4 mm) cuesta \$574.88 usd; incluyendo impuesto sobre la venta sin costos de envío e importación. Sumando el valor de los tres centradores, resulta \$1941.23 usd. El costo del centrador exterior de jaula ajustable representa, aproximadamente, el 38.83% de este valor, por lo que se estima un ahorro del 61%, o sea, \$1187.42 usd.

CONCLUSIONES

No existe un diseño como este en el mercado que sea capaz de ajustarse a varios diámetros de tuberías. El centrador diseñado realiza un centrado preciso, seguro e instantáneo de forma fácil. Es una herramienta portátil de calidad y bajo costo que garantiza la sujeción de las tuberías con la menor cantidad de elementos posibles. Los estudios realizados muestran que el modelo de centrador exterior de jaula ajustable resiste las condiciones de uso previstas y garantiza la seguridad del personal que lo utilice. Se obtuvieron todos los planos de diseño necesarios para la fabricación del prototipo.

Referencias bibliograficas

ACAVISA Productos. (2016). Acero al carbono AISI 1020.

API 1104, (2009), *Welding of pipelines and related facilities*.

BURGOS SOLAS, JOSÉ. Tecnología de la soldadura,(2012), Editorial Científico Técnica, La Habana.

NC - ISO 9606-1, (2004), Calificación de soldadores- soldadura por fusión, ISO – 9606-1:2004, La Habana, Cuba.

ANEXOS

Anexo 1. Modelo 3D del Centrador Exterior de Jaula Ajustable.

