



! POSGRADOS !

MAESTRÍA EN ————— PRODUCCIÓN Y OPERACIONES INDUSTRIALES

RPC-SO-30-No.506-2019

OPCIÓN DE
TITULACIÓN:

PROYECTOS DE DESARROLLO

TEMA:

ANÁLISIS DEL PROCESO DE SOLDADURA FUERTE DE PLATA
EN JUNTAS FERROSAS DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN
DOMÉSTICA

AUTOR:

BOLÍVAR PATRICIO PIZARRO ALMEIDA
FABIOLA ESTEFANÍA FAICAN MATUTE

DIRECTOR:

LUIS MARCELO LÓPEZ LÓPEZ

CUENCA - ECUADOR
2022

Autores:**Bolívar Patricio Pizarro Almeida**

Ingeniero Mecánico.

Candidato a Magíster en Producción y Operaciones Industriales por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Cuenca.

boloppa_1981@yahoo.com

**Fabiola Estefanía Faican Matute**

Ingeniero Industrial

Candidata a Magíster en Producción y Operaciones Industriales por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Cuenca.

faicanestefania@gmail.com

Dirigido por:**Luis Marcelo López López**

Ingeniero Mecánico.

Magister en Sistemas Integrados de Gestión de la Calidad Ambiente y Seguridad.

Doctor en Ingeniería Industrial.

llopez@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

2022 © Universidad Politécnica Salesiana.

CUENCA – ECUADOR – SUDAMÉRICA

BOLÍVAR PATRICIO PIZARRO ALMEIDA

FABIOLA ESTEFANÍA FAICAN MATUTE

Análisis del proceso de soldadura fuerte de plata en juntas fe rrosas de un sistema de refrigeración doméstica

Dedicatoria

Estefanía

Al Señor Jesús porque su mano me ha sostenido en cada momento, toda la gloria y la honra para Él siempre.

Para ti mamita, es un honor tener la madre que tengo, por tu valentía que me inspira a no desmayar en las pruebas. Eres una mujer virtuosa.

Para mi hermana, porque sé que tú puedes hacerlo mejor que yo, nunca te rindas Chi, ¡gracias por tu amor incondicional!

Bolívar

A mis hijos, por su amor incondicional, son mi motivación y mi razón de vivir, por y con ustedes lo doy todo, mis preciosos, Amanda y Alejandro, los amo.

A mi madre, por su apoyo en todo momento, pilar principal de haber llegado hasta aquí, gracias a su valentía y sacrificio soy lo que soy.

Agradecimientos

Estefanía

Primero que todo me gustaría agradecer a Dios por la bendición de haber llegado hasta aquí en mi carrera profesional, a mi madre Mercedes, por no dejar de orar por mi cada día, por su comprensión y consejos.

A mi Padre Manuel, gracias por enseñarme que no existe la palabra “no puedo”, y que se puede soñar alto, gracias por la disciplina, porque me ayudaste a enfrentar mis miedos.

Gracias a mis amigos Fer, Adri, Faby y Yuly, los quiero y admiro mucho; gracias por estar conmigo en todo tiempo.

Finalmente, un agradecimiento muy sincero a mi tutor el PhD. Luis López, él cual ayudo de guía y soporte para poder encaminar este proyecto de una manera satisfactoria. ¡Gracias Profe por la paciencia!

Bolívar

A Dios quien todos los días me da la fuerza necesaria para continuar a pesar de todos los inconvenientes que se presentan en la vida.

A toda mi familia que me tuvo paciencia en todo este tiempo y por su apoyo durante este periodo de estudio y sacrificio.

A todos los Docentes de la UPS, por compartir todo su conocimiento que me ayudaron a crecer personal y profesionalmente, en especial al PhD Marcelo López por su apoyo durante el desarrollo de este proyecto.

Índice

Dedicatoria	I
Agradecimientos	II
Resumen	IX
Abstract	X

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Situación problemática	2
1.2 Formulación del problema	4
1.2.1 Problema general	4
1.2.2 Problemas específicos	4
1.3 Justificación teórica	4
1.4 Justificación práctica	6
1.5 Objetivos	9
1.5.1 Objetivo general	9
1.5.2 Objetivos específicos	9
1.6 Hipótesis	9
1.6.1 Hipótesis general	9
1.6.2 Hipótesis específicas	9

Capítulo 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de investigación	11
2.2 Bases teóricas	11
2.2.1 Soldadura Fuerte	11

2.2.1.1	Material de Aporte	12
2.2.1.2	Soldadura de plata	12
2.2.1.3	Unión sin accesorio	13
2.2.1.4	Longitud del material de aporte	17
2.2.1.5	Capilaridad y tolerancias	19
2.2.1.6	Fallas en la soldadura	23
2.2.1.7	Métodos de examinación de uniones soldadas	24
2.2.2	Componentes del refrigerador	26
2.2.2.1	Tubo Calentador	26
2.2.2.2	Tubo Condensador	28

Capítulo 3

METODOLOGÍA

3.1	Establecimiento de los parámetros iniciales del proceso de soldadura fuerte de plata entre el tubo calentador y condensador de un refrigerador doméstico	29
3.1.1	Equipos	29
3.1.1.1	Equipo de soldadura	29
3.1.2	Materiales	34
3.1.2.1	Soldadura de plata	34
3.1.2.2	Tubo calentador	36
3.1.2.3	Tubo condensador	37
3.1.3	Proceso de soldadura fuerte en la línea de producción de productos de línea blanca	39
3.2	Propuesta de un diseño experimental en el proceso de soldadura fuerte de plata entre el tubo calentador y condensador en una planta de producción de línea blanca, para reducir las fallas de funcionamiento	42
3.2.1	Operacionalización de variables	42
3.2.2	Diseño experimental	45
3.3	Evaluación el proceso de soldadura fuerte de plata entre el tubo calentador y condensador en un refrigerador doméstico	48
3.3.1	Proceso Metalográfico	48
3.3.1.1	Preparación de la probeta	48
3.3.1.2	Ataque químico de la superficie de la probeta metalográfica	50
3.3.2	Análisis metalográfico	52

3.3.2.1	Fallas de funcionamiento	52
---------	------------------------------------	----

Capítulo 4

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1	Análisis e interpretación de resultados	57
4.1.1	Análisis del diámetro del tubo condensador	57
4.1.2	Análisis de la prueba de hipótesis	60
4.1.3	Análisis del costo de la no calidad	68
4.1.3.1	Costos de la prevención	68
4.1.3.2	Costo de evaluación	69
4.1.3.3	Costo de errores internos	70
4.1.3.4	Costo de pérdida de confianza en la marca	71

Capítulo 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones	74
5.2	Recomendaciones	75
	Referencias bibliográficas	82
	ANEXOS	83

Lista de Tablas

3.1	Ficha técnica del material de aporte	35
3.2	Rangos de temperatura de acuerdo a la norma AWS	36
3.3	Composición química del tubo calentador	37
3.4	Composición química del tubo condensador colombiano	38
3.5	Composición química del tubo condensador chino	39
3.6	Operacionalización de la variable independiente	43
3.7	Operacionalización de la variable dependiente	44
3.8	Tabla de factores con sus niveles	45
3.9	Notación para el diseño de experimentos	46
3.10	Matriz del diseño experimental	47
3.11	Conjunto de reactivos para el ataque microscopico	50
3.12	Reactivos químicos para análisis metalográficos	51
3.13	Ponderación de acuerdo a la cantidad de defectos	55
3.14	Defectos de la muestra 13	56
4.1	Medidas del diámetro del tubo condensador	57
4.2	Medidas del diámetro del tubo calentador	58
4.3	Dimensiones del intersticio	58
4.4	Análisis de holgura entre los tubos condensador y calentador	60
4.5	Combinación de tratamientos	62
4.6	Efectos estimados para las Fallas de funcionamiento	64
4.7	Análisis de Varianza para Fallas de funcionamiento	67
4.8	Nivel de significancia de los factores	67
4.9	Nivel de significancia de la combinación de los factores	68
4.10	Costo de no calidad por errores internos	71
4.11	Costo por devolución reportados externamente	72

Lista de Figuras

1.1	Comportamiento mensual de las no conformidades	3
1.2	Comportamiento mensual de las fugas en planta	3
1.3	Diagramas de fases Fe – C	5
1.4	Diagrama de pareto de las fugas de gas	8
2.1	Soldadura de plata	13
2.2	Unión de tubos	14
2.3	Radios de curvado	14
2.4	Posicionamiento y holgura de los tubos a soldar	15
2.5	Identificación de la llama neutra	16
2.6	Calentamiento de los tubos a soldar	16
2.7	Medidas en los cilindros de unión	17
2.8	Capilaridad	20
2.9	Efecto de capilaridad en tubos	21
2.10	Altura del material de aporte de acuerdo a la distancia de las paredes	22
2.11	Distancia entre las paredes de los tubos	23
2.12	Soldadura con defectos superficiales	24
2.13	Micrografías de uniones soldadas	26
2.14	Esquema del sistema de enfriamiento y del tubo calentador	27
2.15	Esquema del sistema de enfriamiento y del tubo condensador	28
3.1	Gases de la soldadura	30
3.2	Mangueras de transporte de gases	31
3.3	Válvulas manorreductoras	32
3.4	Válvulas antiretorno	33
3.5	Soplete	33
3.6	Equipo de seguridad	34

3.7	Tubo calentador coreano	36
3.8	Tubo condensador colombiano	37
3.9	Tubo condensador chino gama media	38
3.10	Tubo condensador chino de gama alta	39
3.11	Flujo de proceso para la unión de tubos	40
3.12	VARIABLES DEL PROCESO DE SOLDADURA	42
3.13	Representación geométrica del diseño factorial 2^3	46
3.14	Exposición de la probeta al reactivo químico	51
3.15	Imágenes microscópicas antes y después de la inmersión en Nital 5	52
3.16	Acople del tubo calentador en el condensador	53
3.17	Secciones de análisis	53
3.18	Análisis del barrido de la sección superior e inferior	54
3.19	Paralelismo entre los tubos calentador y condensador	55
3.20	Microestructura de la muestra 13	56
4.1	Intersticio entre los tubos	59
4.2	Efectos estandarizados para las Fallas de funcionamiento	64
4.3	Efectos principales para las Fallas de funcionamiento	65
4.4	Pruebas de evaluación de fugas	69

Resumen

El estudio de investigación tuvo como objetivo el analizar cuáles son las fallas que se presentan en un proceso de soldadura fuerte de plata, entre los tubos condensador y calentador de un sistema de refrigeración doméstica en una planta de producción de línea blanca de la ciudad de Cuenca, el enfoque de investigación es cuantitativa de tipo aplicada y con un alcance experimental donde se estableció la variable independiente “proceso de soldadura” con sus respectivas dimensiones o factores, establecidos por la composición química del material, el diámetro del tubo condensador y la distancia de abocinado del mismo que permite la penetración del tubo calentador; afectan a la variable de estudio “fallas de funcionamiento” evaluada en sus dimensiones de cantidad de poros, incrustaciones y vacíos. Para la evaluación se aplicó un diseño estadístico 2^3 factorial que determina ocho posibles combinaciones entre los niveles bajo y alto de los tres factores, junto con una réplica donde se obtienen dieciséis corridas que equivalen al número de muestras obtenidas en la línea de producción y evaluadas en un laboratorio metalográfico con protocolos de experimentación que garantizó la repetibilidad de cada experimento. Los resultados fueron procesados con la ayuda de un software estadístico determinando que la interacción de la composición del material con la distancia de penetración y el diámetro del tubo, junto con el efecto individual de la penetración son los que mayor incidencia tienen sobre las fallas de funcionamiento.

Palabras clave: soldadura fuerte, tubo calentador, tubo condensador, metalografía, capilaridad.

Abstract

The objective of the research study was to analyze the faults that occur in a silver brazing process, between the condenser and heater tubes of a domestic refrigeration system in a appliances production plant in the city of Cuenca. , the research approach is quantitative of the applied type and with an experimental scope where the independent variable “welding process” was established with its respective dimensions or factors, established by the chemical composition of the material, the diameter of the condenser tube and the flared distance of the same that allows the penetration of the heating tube; affect the study variable “functioning failures” evaluated in its dimensions of number of pores, encrustations and voids. For the evaluation, a 2^3 factorial statistical design was applied that determines eight possible combinations between the low and high levels of the three factors, together with a replica where sixteen runs are obtained that are equivalent to the number of samples obtained in the line of production and evaluated in a metallographic laboratory with experimentation protocols that guaranteed the repeatability of each experiment. The results were processed with the help of statistical software, determining that the interaction of the composition of the material with the penetration distance and the diameter of the tube, together with the individual effect of penetration, are the ones that have the greatest incidence on malfunctions.

Keywords: brazing, heating tube, condenser tube, metallography, capillarity.

Capítulo 1

Introducción

En el Ecuador la fabricación de productos de línea blanca (electrodomésticos) ha presentado un incremento de un 72% en estos últimos cinco años, según datos de El Telégrafo (2022) y El Universo (2020), donde empresas como Indurama a través de su funcionario René Mancheno indica, que se producen anualmente 800.000 artefactos, donde 500.000 corresponden a cocinas, 200000 a refrigeradoras, hornos, acondicionadores de aire y campanas extractoras con un 60% de su producción destinada a la exportación. Mabe, otra empresa nacional indica que su producción es cerca de 800 mil cocinas por año y el 80% de su producción se exporta. Dentro de la manufactura éstos electrodomésticos se aplican procesos de soldadura fuerte (Brazing) con soplete oxi-gas y mezclas de gases para la combustión del oxígeno y propano, mediante una varilla de aporte de plata, que realiza la unión de dos materiales base, donde los rangos de temperaturas de fusión del material de aporte no afectan a las características estructurales de los materiales (Federación de Enseñanza de CC.OO. de Andalucía, 2010).

Durante muchos años, la soldadura fuerte (en inglés brazing) ha sido el principal método para unir los metales por ser económica y fácil de usar, es muy utilizada en la fabricación de equipos de calefacción, aire acondicionado y refrigeración (HVAC) debido ha su unión fuerte y bien sellada, más conocida como junta estanca (American Welding Society, 2013; Cueto, 2015). La estanqueidad es especialmente crucial en las unidades de HVAC, debido a que todas ellas son sistemas cerrados que contienen un líquido o un gas como medio de calentamiento o enfriamiento, por lo que una fuga a través de cualquier junta permitirían que el líquido o el gas escape, lo cual impediría que la unidad funcione correctamente, además este tipo de soldadura presenta ventajas económicas de resistencia y estanqueidad (D'Addario, 2017; Marcos, 2011).

Debido al nivel de producción de los electrodomésticos se producen fallas en ciertas operaciones, que hace que el producto ingrese a un reproceso que representa un alto costo a la empresa, o simplemente se hace foco a una mejora continua, que una vez realizada una correcta identificación de donde se presenta el efecto negativo se trabaja para asegurar la efectividad de dicho proceso, todo esto para evitar un impacto negativo en la economía de la empresa y en la percepción de los consumidores de la marca si se percibiera un defecto en el producto. Según datos del año 2021 en la línea de producción de refrigeradoras se detectó un alto índice de fallos de fugas de refrigerante en las uniones por soldadura fuerte de los componentes llamados condensador y calentador, lo que derivó a un reproceso de productos que afectó directamente a los costos de producción (Alimentos y Calidad SAC, 2022; Cuatrecasas, 2022).

1.1. Situación problemática

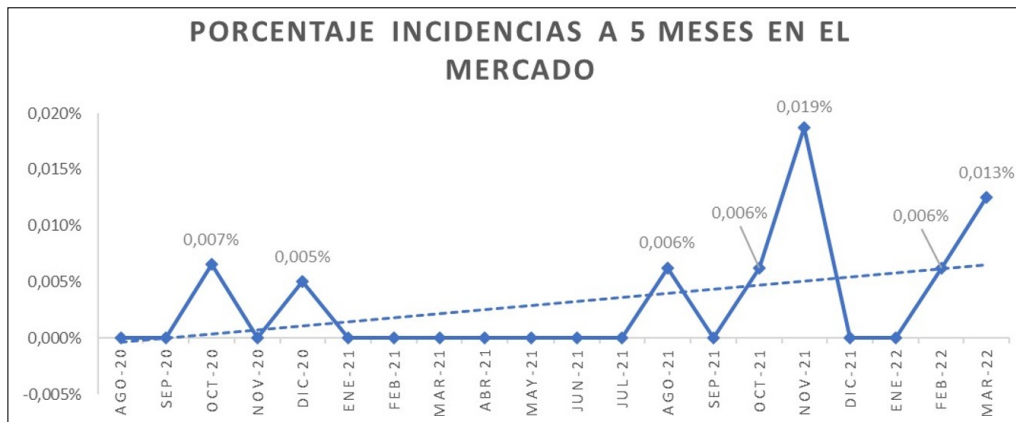
Actualmente la empresa cuenta con el departamento de postventa por la garantía que entrega a sus productos, donde los reclamos por daños de refrigeradora representan un costo de no calidad en el producto, que se refleja de la siguiente manera; una visita del técnico para revisar el reclamo \$35.00, si a eso se incluye la reparación son \$15.00 adicionales, y si es un cambio de artefacto puede llegar hasta los \$500.00. El reclamo anualmente representa un porcentaje entre el 0.003% al 0.019% de los productos vendidos y han sido registrados en el informe de seguimiento de incidencias a los cinco meses posteriores a la venta. La Figura 1.1 muestra las incidencias mensuales a los cinco meses del producto en el mercado donde, se evidencia que los fallos van en crecimiento. Por políticas de calidad se ha planteado como meta de que las no conformidades se reduzcan a valores inferiores al 0.01%, por lo que en planta se implementó filtros para detectar las fallas que van desde la inspección visual de las soldaduras hasta ensayos de prueba hidrostática, que ayudan a minimizar la llegada de productos con fallos hasta el cliente.

Para disminuir los costos de materia prima, la empresa realizó un cambio de proveedor en el mes de octubre del 2021 para la adquisición del tubo “calentador” como del tubo “condensador”, con cambios en algunas de las propiedades de los mismos como las dimensiones del diámetro del abocinado de los tubos y de la composición química de los mismos, que ha generado fallas en el proceso de soldadura fuerte. En la Figura 1.2 se observa el comportamiento de las fallas detectadas en planta debido a las fugas que se presentan en las juntas de soldadura entre el tubo calentador y condensador, considerando que algunas de estas fallas (alrededor de un 30%) son detectadas después de la venta del producto que se observó en la Figura 1.1, el

proceso de soldadura fuerte debe ser analizado, considerando todos sus aspectos fundamentales e integrándolos en el estudio como la materia prima, el operario y el proceso en sí mismo.

Figura 1.1

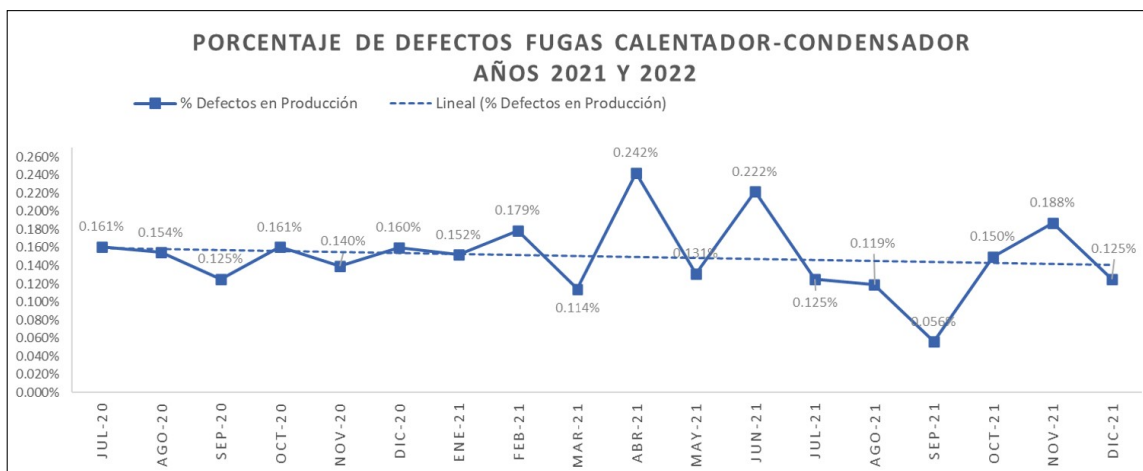
Comportamiento mensual de las no conformidades.



Nota: La figura muestra el comportamiento de los reclamos de los clientes posterior a los cinco meses de la venta realizada.

Figura 1.2

Comportamiento mensual de las fugas en planta.



Nota: La figura muestra el comportamiento de las detecciones de fallas por problemas en la soldadura fuerte (brazing) entre el tubo calentador y condensador.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

- ¿Se puede analizar el proceso de soldadura fuerte de plata entre el tubo calentador y condensador en una planta de producción de línea blanca, para reducir fallas de funcionamiento?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Se podrá establecer los parámetros iniciales del proceso de soldadura fuerte de plata entre el tubo calentador y condensador en una planta de producción de línea blanca, para reducir fallas de funcionamiento?
- ¿Es posible proponer un diseño experimental en el proceso de soldadura fuerte de plata entre el tubo calentador y condensador en una planta de producción de línea blanca, para reducir las fallas de funcionamiento?
- ¿Es factible evaluar el proceso de soldadura fuerte de plata entre el tubo calentador y condensador en una planta de producción de línea blanca, para reducir fallas de funcionamiento?

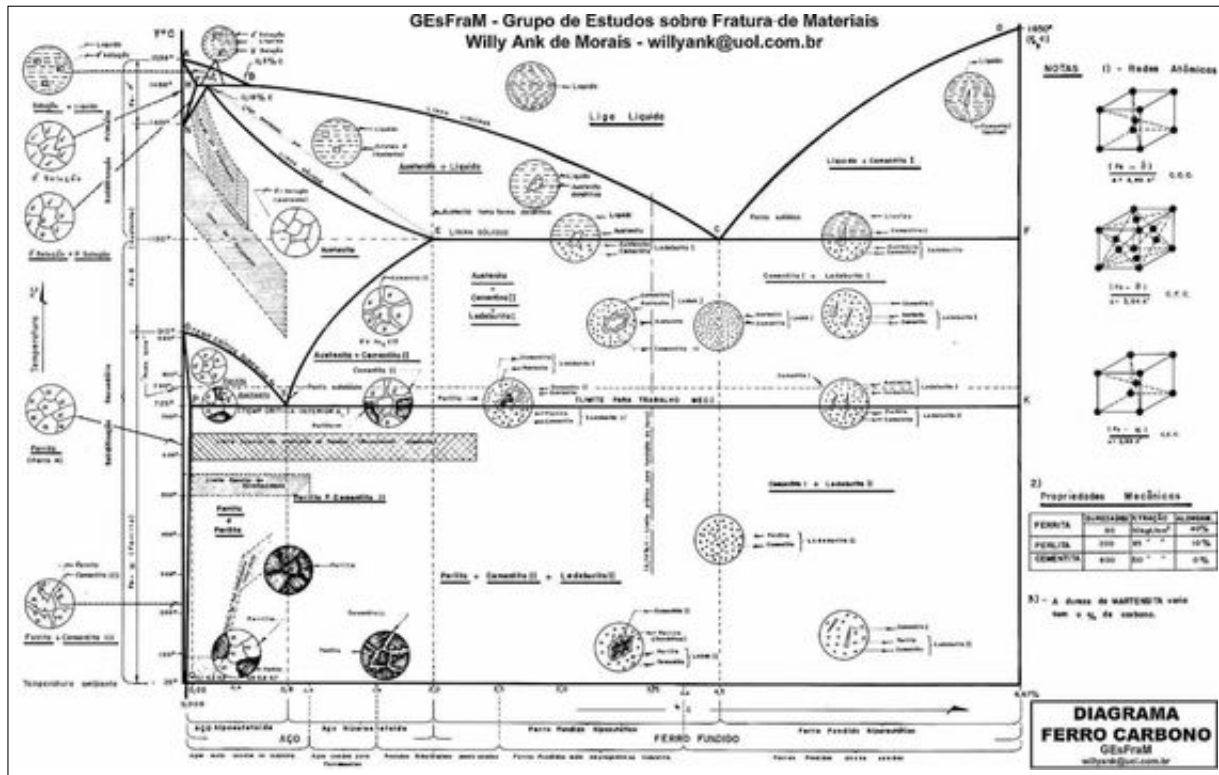
1.3. Justificación teórica

En el sistema de refrigeración doméstico analizado, existe en promedio ocho juntas de tubos, unidas a través de:

1. Soldadura fuerte de cobre, esta es realizada entre dos materiales de cobre y se suelda con material de aporte de cobre y plata al 5%.
2. Soldadura fuerte de plata, juntas de cobre y hierro, soldadas a través de material de aporte de plata al 30%.
3. Soldadura fuerte de plata, juntas de hierro-hierro, punto analizado en esta investigación, con un aporte de plata al 30%.

Figura 1.3

Diagramas de fases Fe - C.



Nota: En la figura se observa las fases presentes de acuerdo al porcentaje de carbono y a una temperatura determinada, figura tomada de Willy Ank de Morais [Recuperado de: <https://www.youtube.com/watch?v=tkYYc4CnY1c>].

En la unión de dos materiales ferrosos a través de soldadura de plata, donde la acción de la temperatura y la composición química de cada acero provocan cambios alotrópicos o micro estructurales o fase (ver figura 1.3), sin cambiar el estado físico (Ashby, Hugh, y Cebon, 2007; Callister y Rethwisch, 2013). De acuerdo a Ferrer, Cembrero, Pascual, y Pérez (2005), los cambios de microestructura se dan de una fase suave y dúctil llamada ferrita, a unas duras y quebradizas llamadas perlita y martensita. Investigadores como Jiang, Gong, y Tu (2011) y Norouzi Afshar, de Wit, Terryn, y Mol (2012) indican, que puede presentarse fallas en la soldadura debido a efectos de los componentes químicos de los aceros, a las sustancias presentes como pinturas y algunos tipos de recubrimientos, al exceso de temperatura del proceso de soldado y al proceso propio o técnica de soldado; dichas fallas se pueden observar

en un análisis microscópico que determina la calidad de la soldadura y eficacia de la técnica aplicada, donde Terán, Andaluz, Arteaga, y Bonilla (2018) indican que:

la composición química del material base tiene una influencia determinante en la soldabilidad de los materiales, quizás sea éste uno de los factores más importantes al respecto, ya que, por ejemplo, no es lo mismo soldar un acero de bajo contenido de carbono que uno de elevado contenido de éste, donde con el aumento del contenido de carbono se aumenta la templabilidad y se disminuye la soldabilidad. La relación de carbono - silicio y cromo - níquel, tiene una influencia importante en la soldabilidad de los aceros inoxidable austeníticos, debido a que estos favorecen el agrietamiento en caliente de estos aceros. (pag. 51)

1.4. Justificación práctica

Es importante indicar que la criticidad de las fugas de gas refrigerante que se presentan a consecuencia de no tener un control adecuado en el proceso de soldadura evoca primordialmente a que se tiene que cuidar la salud integral de los clientes y trabajadores que de acuerdo a Castro y Gonzáles (2017) “la seguridad, como tantos otros conceptos genéricos, tiene una acepción amplia y no exenta de subjetividad”, y que debido a que una fuga en las uniones soldadas provocaría el escape de gas refrigerante (R600a), mismo que a pesar de ser ecológico, es también un gas inflamable proveniente de un hidrocarburo derivado del petróleo podría generar consecuencias fatales. Adicionalmente, al argumento anteriormente descrito se añade, que una fuga también haría que el equipo pierda su característica principal que es refrigerar, por lo tanto, estaría causando en el mercado un problema de calidad serio para la empresa, entendiendo que:

La calidad no es ni más ni menos que el reflejo que tienen los clientes al sentir una necesidad. Si los clientes son felices en esta primera adquisición de producto, sin duda volverán a sentir esa felicidad cuando tengan que volver a comprarlos en una fecha posterior. Esto quiere decir que la calidad está directamente relacionada con la satisfacción y la lealtad y además hace marca, hace que crezca el nombre, tan importante en el mercado, el que se encarga de reflejar la experiencia de compra del cliente y el uso del producto. Garantizar la calidad y la seguridad de los productos está directamente vinculado con el éxito de la empresa (Castro y Gonzáles, 2017).

Bajo este aspecto, y de acuerdo a García, Quispe, y Raez (2020), la mala calidad de un producto le cuesta a una empresa, considerando el enfoque del costo de la calidad desde sus inicios:

- Costo de la Inspección y Ensayos
- Costo del Control de Calidad
- Costo del Aseguramiento de la Calidad
- Costo de la Gestión Total de la Calidad
- Costo del Mejoramiento Continuo de la Calidad

En otro aspecto, al presentarse fugas en el sistema de refrigeración se lo puede considerar como producto defectuoso y ser eliminado, o por otra parte el producto puede volver a un reproceso considerando que de acuerdo a Barfield, Raiborn, y Kinney (2004) y Adelberg, Babozzi, y Polimeni (2013) la contabilidad o costos de las unidades pérdidas o que entran al reproceso dependerá de su clasificación como normal o anormal, como se señala a continuación:

a) Pérdidas normales: El método tradicional requiere que el costo de la pérdida se considere un costo del producto y se incluye como parte del costo de las unidades terminadas en buen estado que resultan del proceso. De esta forma solo se reconoce como gasto cuando el producto que absorbió su costo se enajena.

Este tratamiento se considera apropiado porque las pérdidas normales se visualizan como costos inevitables en la producción. En este sentido se aplica el método de la negación, por el cual simplemente se excluyen las unidades perdidas de la cédula de unidades equivalentes, lo que da lugar a que un número más pequeño de productos terminados que absorban los costos de producción generados. En este sentido, se puede afirmar que los costos de las unidades perdidas se distribuyen de manera proporcional entre las unidades terminadas transferidas y aquellas que permanecen en el inventario de productos en proceso.

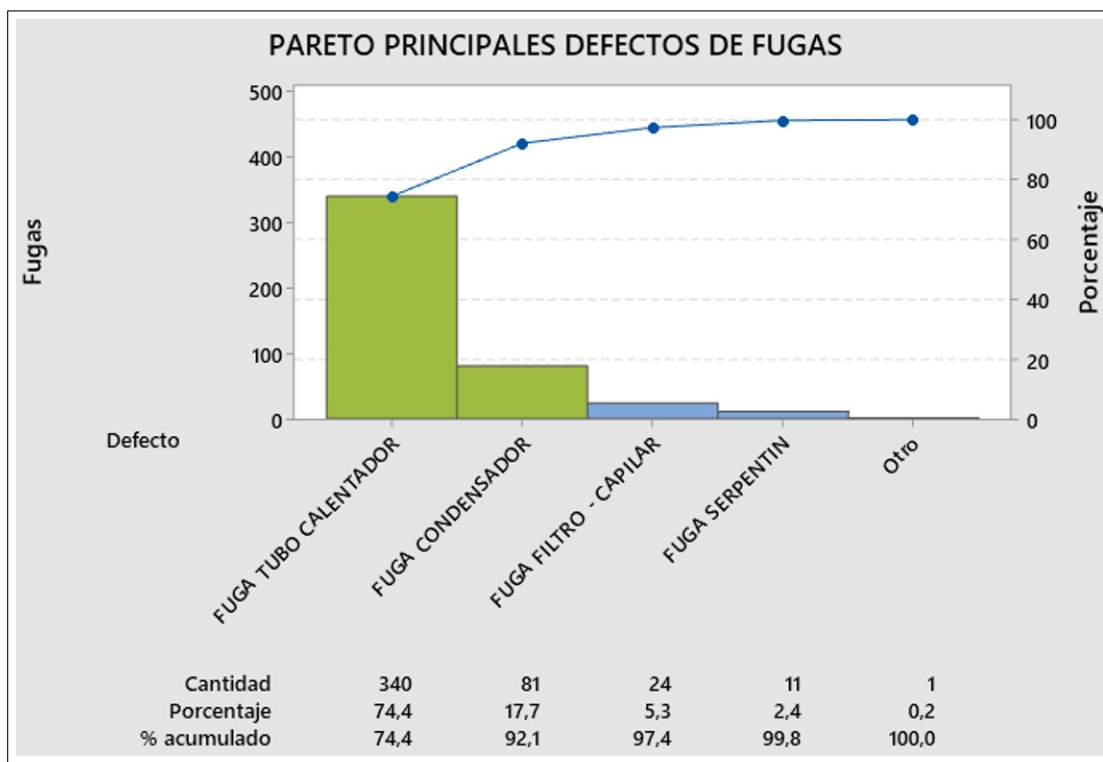
b) Pérdidas anormales: Sin importar si los defectos o pérdidas ocurren de manera continua o discreta, el costo de las pérdidas anormales debe acumularse y tratarse como una pérdida del periodo en el cual se incurrieron. El costo de las pérdidas

anormales se contabiliza sobre una base de unidades equivalentes (Barfield y cols., 2004, pag.46).

De acuerdo con el diagrama de Pareto, al enfocarse en solucionar las fugas en el tubo calentador y condensador que son los que tienen mayor incidencia, se ataca el 20% de las causas que nos dan el 80% de las consecuencias, según se observa en la Figura 1.4.

Figura 1.4

Diagrama de Pareto de las fugas de gas.



Nota: Los datos obtenidos se presentan en la producción diaria, defectos que se detectan internamente en el Departamento de Calidad y se presentan en la unión de tubo calentador y tubo condensador.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- Analizar el proceso de soldadura fuerte de plata entre el tubo calentador y condensador en una planta de producción de línea blanca, para reducir fallas de funcionamiento.

1.5.2. Objetivos específicos

- Establecer los parámetros iniciales del proceso de soldadura fuerte de plata entre el tubo calentador y condensador en una planta de producción de línea blanca, para reducir fallas de funcionamiento.
- Proponer un diseño experimental en el proceso de soldadura fuerte de plata entre el tubo calentador y condensador en una planta de producción de línea blanca, para reducir las fallas de funcionamiento.
- Evaluar el proceso de soldadura fuerte de plata entre el tubo calentador y condensador en una planta de producción de línea blanca, para reducir fallas de funcionamiento.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

- Se analizará el **proceso de soldadura fuerte** de plata entre el tubo calentador y condensador en una planta de producción de línea blanca, para reducir **fallas de funcionamiento**.

1.6.2. Hipótesis específicas

- Se establecerá los parámetros iniciales del **proceso de soldadura fuerte** de plata entre el tubo calentador y condensador en una planta de producción de línea blanca, para reducir **fallas de funcionamiento**.
- Se propondrá un diseño experimental en el **proceso de soldadura fuerte** de plata entre el tubo calentador y condensador en una planta de producción de línea blanca, para reducir las **fallas de funcionamiento**.

- Se evaluará el **proceso de soldadura fuerte** de plata entre el tubo calentador y condensador en una planta de producción de línea blanca, para reducir **fallas de funcionamiento**.

Capítulo 2

Marco teórico

2.1. Antecedentes de investigación

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Soldadura Fuerte

La soldadura fuerte, también conocida como “brazing”, es un proceso de unión de metales en donde el material de aporte se calienta hasta la fusión y mediante la capilaridad fluye hacia el espacio entre las superficies, de tal manera que el material de aporte solidificado forme una unión sólida en la junta. En este proceso el punto de fusión del material de aporte debe estar sobre los 450°C , pero menor que el punto de fusión de los materiales bases a soldar, siendo este tipo de soldadura es muy aplicado en el área de intercambiadores de calor debido a que el proceso de unión no produce deformaciones (Guamangallo, Mendoza, y Ricaurte, 2012).

Ventajas

- Uniones de alta calidad.
- Excelente apariencia.
- Uniones resistentes.
- Uniones Dúctiles (soporta vibración e impactos).
- Buena distribución de esfuerzos.

- Excelente para procesos donde no se pueden fusionar los materiales.
- Buena conductividad eléctrica.
- Se necesita una aplicación de proceso y no necesita post procesado.

Limitaciones

- Costo de preparación de las piezas a soldarse.
- En algunos casos proporciona continuidad, pero menores propiedades mecánicas.
- Las uniones por soldadura fuerte generalmente se solapan, lo que aumenta el peso de la pieza.

2.2.1.1. Material de Aporte

La selección del material de aporte es un aspecto clave para definir la calidad de la unión, y la afinidad entre los materiales base y el aporte para que exista la capilaridad y mojabilidad de los elementos. Los materiales de aporte utilizados en la soldadura fuerte principalmente se dividen en: plata, oro, aluminio, cobre, níquel, cobalto y magnesio, cada uno posee diferentes composiciones (Trejo, 2020).

El material de aporte debe tener las siguientes características:

- Capacidad de mojar al metal base.
- Apropiaada temperatura de fusión y buena fluidez para la distribución.
- Capacidad de producir una unión soldada que cumpla con los requisitos de resistencia.

2.2.1.2. Soldadura de plata

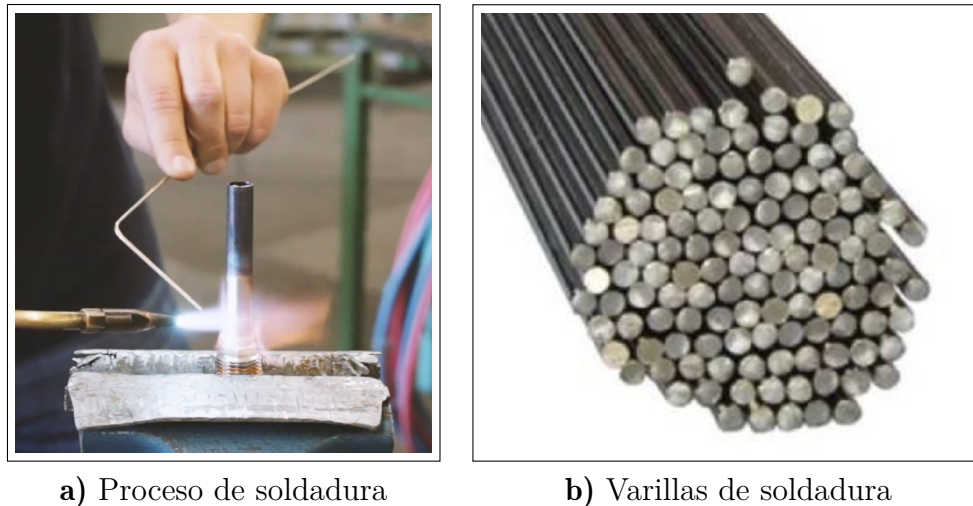
Chasi y Ramirez (2021) indican que la soldadura brazing utilizando la plata como material de aporte, se utiliza para la unión de la mayoría de los materiales férricos, este material de aporte tiene un rango de temperatura de soldeo de entre 618°C a 820°C.

Las varillas de aportación o varillas de soldadura son aleaciones metálicas generalmente compuestas por plata, cobre y fósforo en distintos porcentajes, o bien plata, cobre, zinc,

cadmio, estaño, entre otros elementos aleantes, estas aleaciones funden y fluyen con facilidad sobre superficies metálicas limpias como se observa en la Figura 2.1 y por supuesto también convenientemente calentadas (Argenta, 2022).

Figura 2.1

Soldadura de plata.



Nota: La Figura muestra el proceso de soldadura (a) utilizando las varillas de plata (b) como material de aporte. [Recuperado de: <https://www.harrisproductsgroup.com/es-CL/Products/Brazing-Soldering-Fluxes>; y <https://www.hidrocentro.cl/collin/producto/soldadura-argenta-sp-15-plata-dim/>; Accedido el: 11 de julio del 2022]

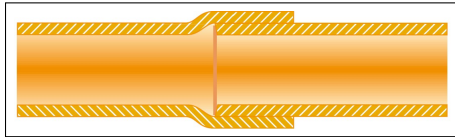
2.2.1.3. Unión sin accesorio

Según Centro español de información del cobre. CEDIC (2022), “para realizar una unión recta de dos tubos del mismo diámetro, se ensancha el extremo de un tubo hasta que permita la penetración del otro” (ver la Figura 2.13a).

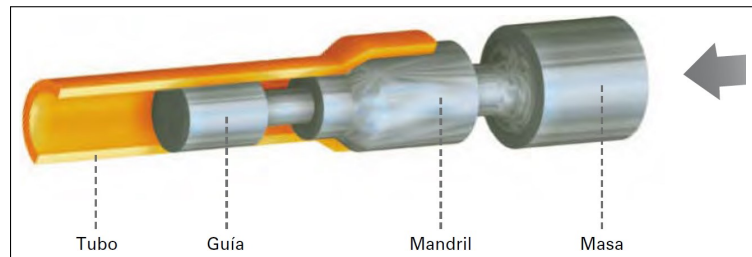
El aumento de diámetro o abocinado se lo realiza de manera mecánica a través de un elemento mecánico de hierro con la forma deseada que tiene que tener las dimensiones correctas para el conformado y obtener las medidas correctas sin estiramiento excesivo del material para que no presente problemas en procesos posteriores (ver la Figura 2.2b).

Figura 2.2

Unión de tubos.



a) Unión con extremo ensanchado



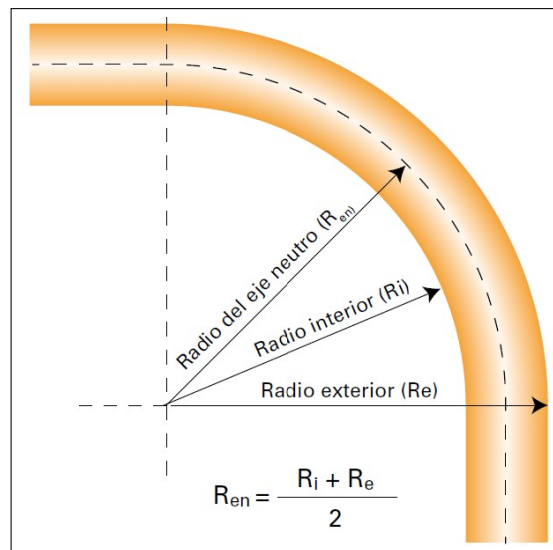
b) Conformado

Nota: En la Figura se observa la unión de tubos con penetración (Centro español de información del cobre. CEDIC, 2022).

Un aspecto fundamental es considerar el radio de curvatura del aumento de diámetro o abocinado considerando que un excesivo estiramiento del diámetro exterior (R_e) podría presentar grietas en el tubo o defectos a nivel microestructural (ver la Figura 2.3).

Figura 2.3

Radios de curvado.



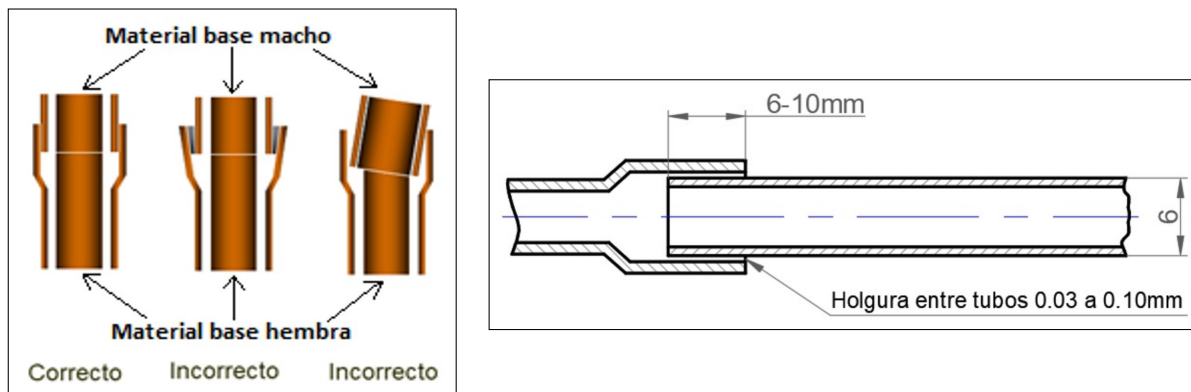
Nota: En la figura se observa los radios en el proceso de curvado (Centro español de información del cobre. CEDIC, 2022).

- **Posición de los elementos a soldar**

La posición de los elementos a soldar debe estar en la ubicación adecuada, ver Figura 2.4, de preferencia en posición vertical y paralelas entre sí, y se recomienda que la separación entre las partes a soldar debe estar entre 0.03 y 0.10 mm, para garantizar capilaridad (AWS QC-1-88, 2022).

Figura 2.4

Posicionamiento y holgura de los tubos a soldar.



a) Posicionamiento de los tubos

b) Holgura entre tubos

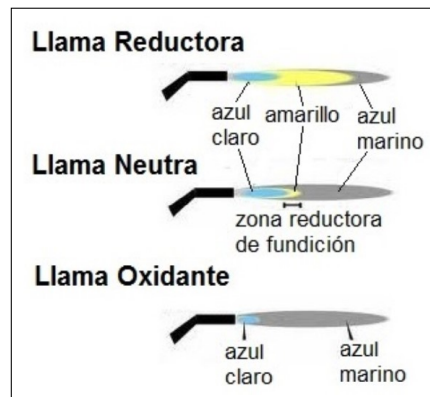
Nota: La Figura detalla las ubicaciones del tubo macho y del tubo hembra en una soldadura fuerte (Burgos, 2013; Centro español de información del cobre. CEDIC, 2022).

- **Identificación de la llama y calentamiento de los elementos**

De acuerdo a Wikipedia (2022d) "la llama neutra es la llama en la que la cantidad de oxígeno es precisamente suficiente para arder, y no se produce oxidación ni reducción, la llama se considera neutra porque ni agrega ni sustrae elementos del baño de soldadura de manera significativa". La llama se debe regular hasta una presión de oxígeno entre 3 y 4 bar y el acetileno entre 0,2 y 0,5 bar, hay que evitar una llama carburante, exceso de acetileno o una llama oxidante, exceso de oxígeno como se puede ver en la Figura 2.5, (H. Rodriguez, 2022).

Figura 2.5

Identificación de la llama neutra.

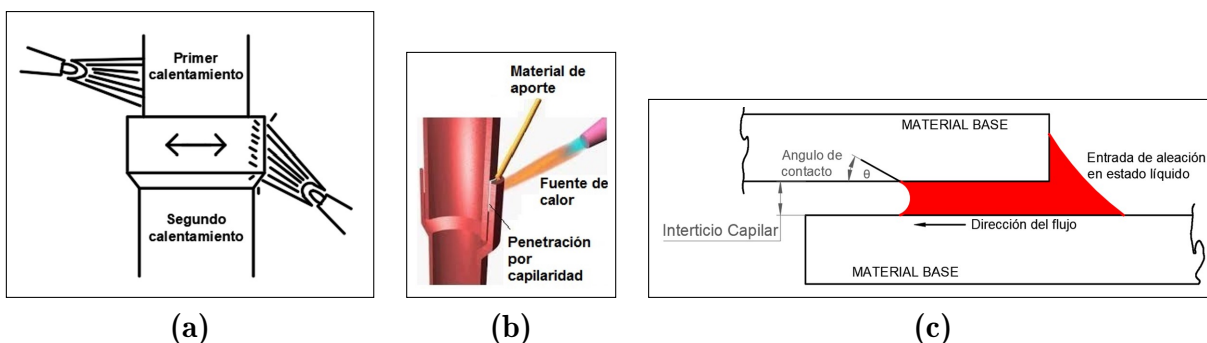


Nota: En la Figura se observa las características de una llama neutra (H. Rodríguez, 2022).

En la Figura 2.6 se observa que primero se calienta el tubo interior y posteriormente el tubo exterior con una boquilla doble para el ingreso de los gases de soldadura oxígeno y acetileno que funden al material de aporte, el cual fluye por la holgura o intersticio entre los dos tubos (Harris. The Lincoln Electric Company, 2022).

Figura 2.6

Calentamiento de los tubos a soldar.



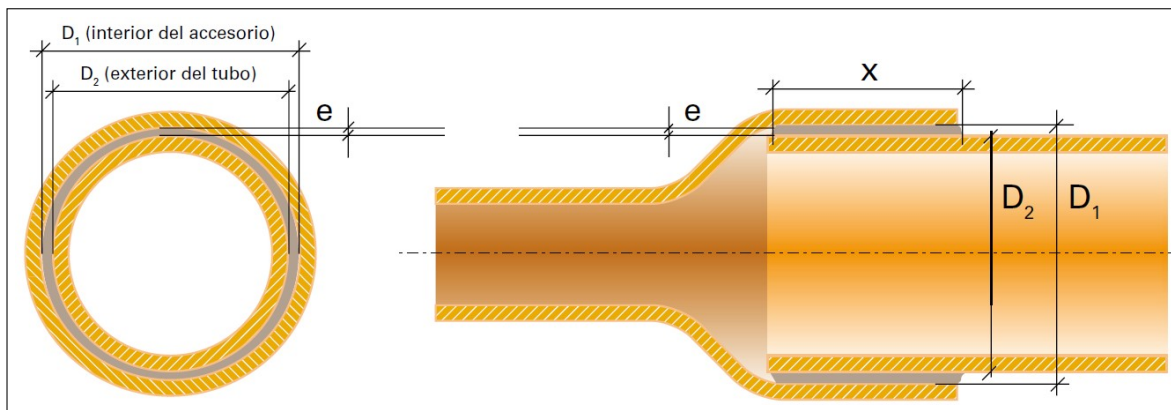
Nota: En la Figura se observa el orden del calentamiento de los elementos a soldar (a), la penetración del material de aporte por capilaridad (b) y el ángulo de contacto que se forma por la tensión superficial (c) (Centro español de información del cobre. CEDIC, 2022; Eagar, 2022).

2.2.1.4. Longitud del material de aporte

Para determinar la longitud del material de aporte, primeramente se considera el volumen que se genera entre los cilindros a unirse, como se observa en la Figura 2.7, posteriormente se debe establecer la geometría del material de aporte o su sección para relacionarlo con el volumen requerido, además se debe considerar que uno de los cilindros debe tener un abocinado (variación de diámetro) para el ingreso del otro cilindro (ver Figura 2.7) donde la altura está definida por la curvatura de deformación que no debe ser pronunciada para que no exista grietas de conformación por excesivo estiramiento que sería perjudicial para la micro estructura al momento de ser sometido a la temperatura de soldadura y enfriamiento de la misma (Centro español de información del cobre. CEDIC, 2022).

Figura 2.7

Medidas en los cilindros de unión.



Nota: En la figura se observa las dimensiones generadas por el acoplamiento de los cilindros a unirse (Centro español de información del cobre. CEDIC, 2022).

donde:

- x** es la longitud del solapamiento entre el tubo macho y el accesorio (o tubo hembra).
- e** es la tolerancia entre el tubo y el accesorio, es decir, el espesor del intersticio que queda entre el tubo y el accesorio, que se define mediante la ecuación 2.1.

$$e = \frac{D_1 - D_2}{2} \quad (2.1)$$

El volumen de un cilindro es:

$$V = \text{superficie} \times \text{altura}$$

$$V = \left[\pi \times \left(\frac{D^2}{4} \right) \right] \times \text{altura}$$

El Centro español de información del cobre. CEDIC (2022) indica, que el volumen del intersticio (volumen entre cilindros) se calcula restando, del volumen interior del accesorio, el volumen ocupado por el tubo (ecuación 2.2), suponiendo que éste fuera macizo (reemplazando la altura por x):

$$V_{\text{intersticio}} = \left[\left(\frac{\pi \times D_1^2}{4} \right) \times x \right] - \left[\left(\frac{\pi \times D_2^2}{4} \right) \times x \right]$$

$$V_{\text{intersticio}} = \frac{\pi}{4} \times x \times (D_1^2 - D_2^2)$$

$$V_{\text{intersticio}} = 0,785 \times (D_1^2 - D_2^2) \times x \quad (2.2)$$

Si para el calculo se utiliza un hilo de soldar de 2mm de diámetro, el volumen de hilo que se necesita para llenar de acuerdo a Centro español de información del cobre. CEDIC (2022) el volumen del intersticio sería el que se define en la ecuación 2.3.

$$V_{\text{hilo}} = \frac{\pi \times (\text{diámetro hilo})^2}{4} \times \text{longitud hilo}$$

reemplazando el diámetro del hilo por 2, tenemos:

$$V_{\text{hilo}} = \frac{\pi \times (2^2)}{4} \times \text{longitud hilo}$$

$$V_{\text{hilo}} = \pi \times \text{longitud hilo} \quad (2.3)$$

Igualando la ecuación 2.2 y la ecuación 2.3, tenemos:

$$V_{intersticio} = V_{hilo}$$

$$0,785 \times (D_1^2 - D_2^2) \times x = \pi \times longitud\ hilo$$

$$longitud\ hilo = \frac{0,785 \times (D_1^2 - D_2^2) \times x}{\pi}$$

$$longitud\ hilo = 0,25 \times (D_1^2 - D_2^2) \times x \quad (2.4)$$

2.2.1.5. Capilaridad y tolerancias

De acuerdo al Centro español de información del cobre. CEDIC (2022), “el proceso de soldadura está basado en el fenómeno natural de capilaridad, si en un recipiente que contenga un líquido se introducen dos tubos de diferente diámetro (véase la Figura 2.8, donde se observa que en el de mayor diámetro el nivel del líquido es el mismo que el del recipiente; sin embargo, en el tubo de un diámetro mucho menor, el líquido asciende debido a la tensión superficial; a menor distancia entre paredes, mayor altura alcanza el líquido” (pag. 58). En definitiva Brown, LeMay, Bursten, y Burdge (2004) y Chang (2002) definen como capilaridad:

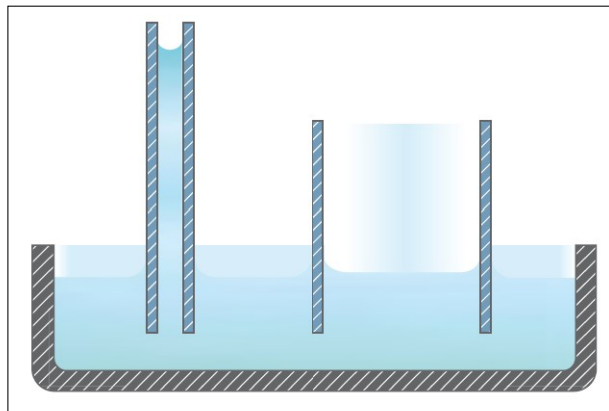
Una propiedad de los fluidos que depende de su tensión superficial, la cual, a su vez, depende de la cohesión del fluido, y que le confiere la capacidad de subir o bajar por un tubo capilar. Cuando un líquido sube por un tubo capilar, es debido a que la fuerza intermolecular o cohesión intermolecular es menor que la adhesión del líquido con el material del tubo; es decir, es un líquido que moja. El líquido sigue subiendo hasta que la tensión superficial es equilibrada por el peso del líquido que llena el tubo. Éste es el caso del agua, y esta propiedad es la que regula parcialmente su ascenso dentro de las plantas, sin gastar energía para vencer la gravedad. (Wikipedia, 2022a, pag. 1)

Igualmente, si se sustituye el tubo pequeño por dos tubos encajados el uno dentro del otro, con una holgura muy pequeña, se observa que el líquido sube por el espacio entre ambos tubos (véase la Figura 2.10). Esta es la situación que se da en la unión entre tubos. Este fenómeno de capilaridad que se produce con el líquido es el mismo que el que tiene

lugar con los metales en estado de fusión; su aplicación práctica constituye la soldadura por capilaridad. Dentro de la soldadura fuerte autores como Schwartz (2003) definen que “la capilaridad es el resultado de la tensión superficial entre los metales base, el metal de aporte, el fundente o la atmósfera y el ángulo de contacto entre la base metal y metal de aporte.

Figura 2.8

Capilaridad.



Nota: La altura del líquido está relacionada con el diámetro de tubo, al ser menor el mismo la altura será mayor, se puede decir que el diámetro está en proporción inversa a la ascensión capilar del líquido (Centro español de información del cobre. CEDIC, 2022).

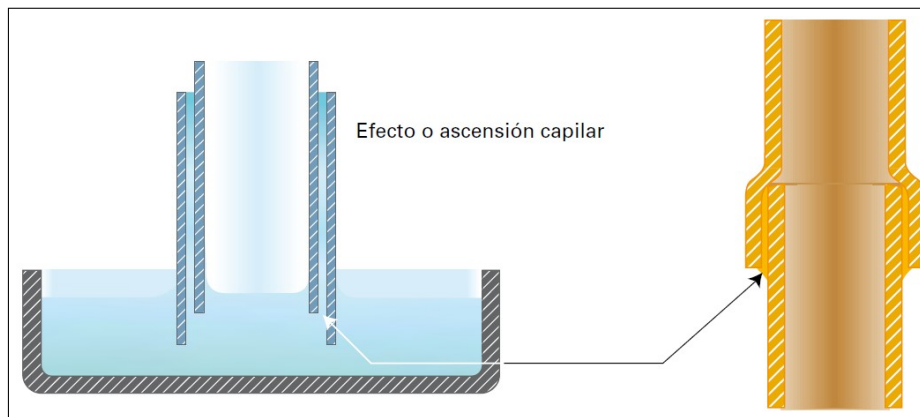
En la práctica real, las características de flujo del metal de aporte también están influenciadas por consideraciones dinámicas que involucran la viscosidad, la presión de vapor, la gravedad y las reacciones metalúrgicas entre el metal de aporte y el metal base”.

En resumen, la soldadura por capilaridad tiene lugar cuando a la unión de tubos, después de su calentamiento, se le aporta un metal que se funde al contacto con ellos, debido al fenómeno de capilaridad, el metal fundido asciende y se extiende en cualquier sentido, por el reducido espacio que queda entre la pared de los tubos; con ello, al enfriarse, se consigue una unión totalmente hermética, por tanto, el resultado final de la soldadura será tanto mejor cuando más favorezcamos el principio de capilaridad. Esto se consigue observando lo siguiente: distancia mínima entre paredes, a menor distancia entre paredes, mayor altura alcanza el líquido, en este caso el material de aporte fundido. La figura proporciona la

relación directa entre ambos parámetros. (Centro español de información del cobre. CEDIC, 2022, pag. 60)

Figura 2.9

Efecto de capilaridad en tubos.



Nota: La altura del líquido está relacionado con los diámetros de los tubos, la tensión superficial y la distancia entre las paredes (Centro español de información del cobre. CEDIC, 2022).

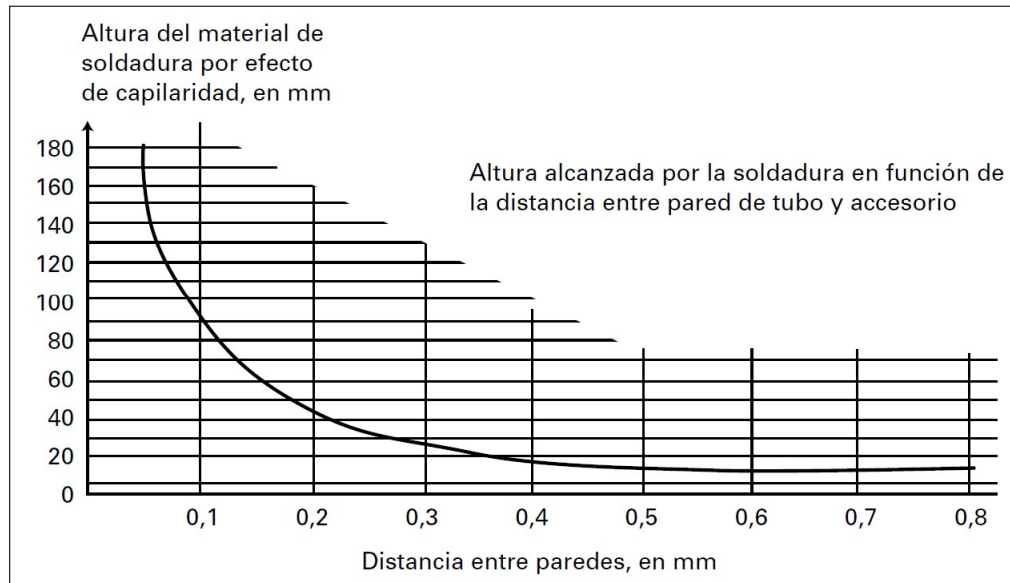
Las tolerancias de las medidas de los cilindros deben ser lo más preciso posible por lo antes expuesto, “el instalador debe recordar que para cada tamaño de tubo existe su accesorio de soldar correspondiente. No se deben unir nunca, por urgencia u otra causa, tubos y accesorios de distintas medidas por muy “aproximadas” que parezcan” (Centro español de información del cobre. CEDIC, 2022, pag. 62).

Además hay que tener presente que:

Las tolerancias en el espesor de pared, expresadas en porcentaje del espesor nominal medido en cualquier punto deben cumplir los requisitos indicados, la utilización de los calibres definidos en esta misma norma garantizarán la correcta repartición tanto de la soldadura blanda como de la fuerte, y permitirán alinear correctamente el extremo macho de un accesorio o, para un extremo hembra, el extremo libre del tubo por toda la junta. (Centro español de información del cobre. CEDIC, 2022, pag. 63, 64)

Figura 2.10

Altura de la soldadura de aporte de acuerdo a la distancia de las paredes.



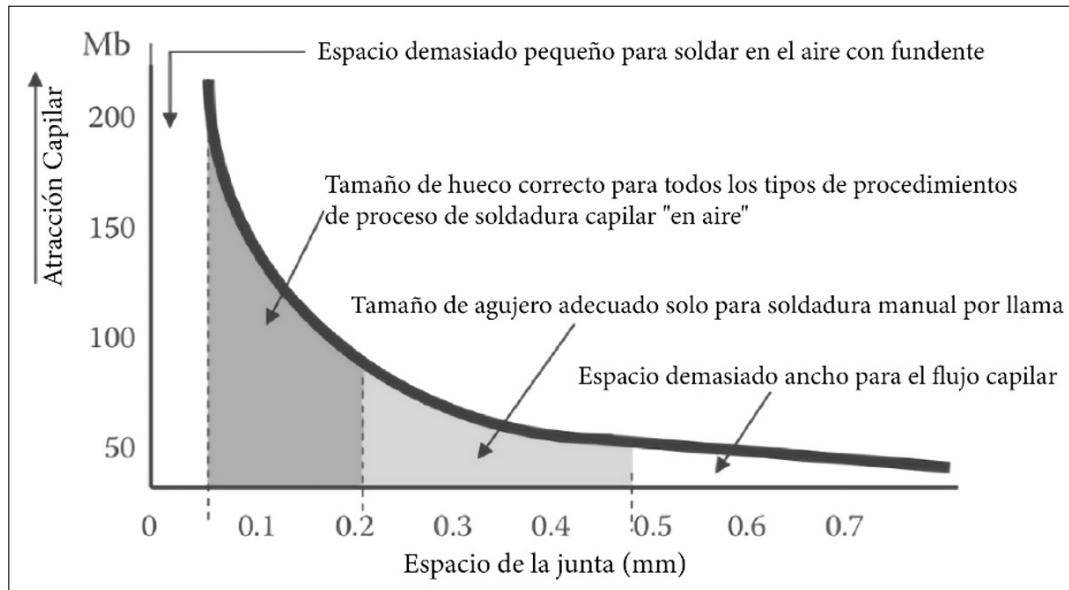
Nota: En la Figura se observa que a menor distancia entre las paredes del tubo, mayor será la altura del material de aporte (Centro español de información del cobre. CEDIC, 2022).

De acuerdo a Philip Roberts en su libro *Industrial brazing practice* –CRC Press (2013):

para que el flujo y el llenado de la junta resulten efectivos, el espacio de la junta a la temperatura de soldadura fuerte debe estar en el rango de 0,05mm a 0,20 mm. Este rango es aceptable para cualquier proceso de soldadura fuerte en el que se deba emplear un fundente fusible. En tales situaciones, no se pueden recomendar dimensiones de separación de la junta por debajo de 0,05 mm porque esto inevitablemente da como resultado que el flujo presente en la junta sea insuficiente para garantizar la eliminación efectiva de la capa de óxido que inhibe el flujo en las superficies de contacto de la junta. (Philip, 2022, pag. 36)

Figura 2.11

Distancia entre las paredes de los tubos.



Nota: En la Figura se observa que de acuerdo a recomendaciones de Argenta (2022), la separación oscila entre 0.03 a 0.10 mm, que es el rango estandar de trabajo.

2.2.1.6. Fallas en la soldadura

Alexander y Amlng (2021) al igual que LucasMilhaupt (2022) indican que las discontinuidades comunes de las uniones soldadas, identificadas a través de exámenes no destructivos, incluyen los siguientes hallazgos:

- **Agujeros o Porosidad**

Un flujo incompleto del metal de aportación para soldadura puede disminuir la resistencia de la unión y favorecer las fugas, generalmente provocadas por una limpieza inadecuada, una holgura incorrecta, metal de aportación insuficiente, gas atrapado o dilatación térmica.

- **Atrapamiento del Fundente**

Resultado de la ventilación insuficiente en el diseño de la unión, lo cual impide el flujo del metal de aportación y reduce la resistencia de la unión, además de su vida útil.

- **Filetes Discontinuos**

Áreas sobre la superficie de la unión donde el filete se interrumpe, estas generalmente se descubren mediante inspección visual.

- **Erosión del Metal Base**

Se produce cuando el metal de aportación se funde con el metal base durante la soldadura fuerte; el movimiento de la aleación lejos del filete puede causar erosión y reducir la resistencia de la unión.

- **Estado o Apariencia no Satisfactoria de la Superficie**

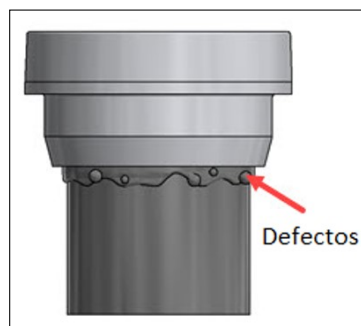
El excesivo metal de aportación o las superficies rugosas pueden actuar como sitios de corrosión y concentradores de tensión, lo que también interfiere con las examinaciones, como se puede apreciar en la Figura 2.12.

- **Grietas**

Reducen la resistencia y la vida útil de la unión; pueden deberse al debilitamiento del material base (tubos cilíndricos) al tener contacto con el metal líquido, donde se producen micro fisuras que al ser sometido a esfuerzos presentan agrietamientos por donde se producen las fugas.

Figura 2.12

Soldadura con defectos superficiales.



Nota: En la Figura se observa que el exceso de calor puede causar una mala calidad en la junta (Alexander y Amlng, 2021).

2.2.1.7. Métodos de examinación de uniones soldadas

De acuerdo a Struers Ensuring Certainty (2022) existen diversos métodos de evaluar una soldadura, a continuación se analizan las utilizadas en la unión de tubos por soldadura fuerte.

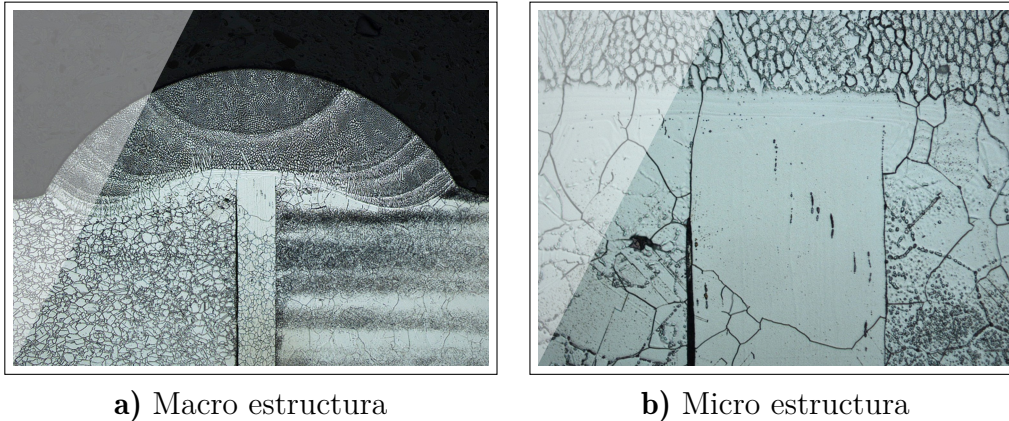
- **Métodos de evaluación no destructivos.** Los métodos de evaluación no destructivos para verificar la calidad y el cumplimiento de las especificaciones incluyen los siguientes:
 - **Examinación Visual.** Con o sin ampliación, ayuda a evaluar existencia de agujeros, porosidades, grietas en la superficie, tamaño y forma de los filetes, filetes discontinuos más erosión del metal base (no problemas internos como porosidad y falta de relleno)
 - **Prueba de Fugas.** Sirve para determinar la impermeabilidad al gas o líquido de una soldadura fuerte. La prueba de presión (o fuga de burbujas) incluye la aplicación de aire a presiones mayores que las de servicio. Las pruebas de vacío son útiles para equipos de refrigeración y detección de fugas pequeñas, empleando un espectrómetro de masas y una atmósfera de helio. (Milhaupt, 2021).

- **Métodos de evaluación destructivos.** Existen diversos métodos de evaluación destructivos, entre ellos el metalográfico de uniones soldadas que se realiza normalmente conforme a dos niveles de inspección:
 - **Macro.** Se trabaja hasta con 50 aumentos en el microscopio, donde principalmente se analiza:
 - Geometría de la soldadura
 - Profundidad de penetración
 - Extensión de la zona afectada térmicamente
 - Imperfecciones superficiales como fracturas, mordeduras, garganta excesiva, convexidad o ángulo de soldadura.
 - Imperfecciones internas como fracturas, porosidad, inclusiones metálicas, falta de fusión, falta de penetración o escoria.
 - Imperfecciones en la geometría de la junta como abertura de la soldadura, cara de raíz, ángulo de chaflán o desalineación.
 - **Micro.** Se trabaja con microscopios ópticos con aumentos superiores de hasta 1000, donde principalmente se analiza:
 - Agujeros (porosidades, cavidades con contracción, fracturas diminutas)
 - Fases especiales (fase-sigma en acero inoxidable)
 - Tamaños/estructuras de grano
 - Estructura de soldadura

- Segregación
- Zona afectada térmicamente y estructura base

Figura 2.13

Micrografías de uniones soldadas.



Nota: En la Figura se observa las imágenes metalográficas en dos niveles de inspección (Struers Ensuring Certainty, 2022).

2.2.2. Componentes del refrigerador

El refrigerador doméstico está formado por diferentes elementos mecánicos, electrónicos y dispositivos que garantizan su funcionalidad; a continuación se presentan los elementos que forman parte de la investigación:

2.2.2.1. Tubo Calentador

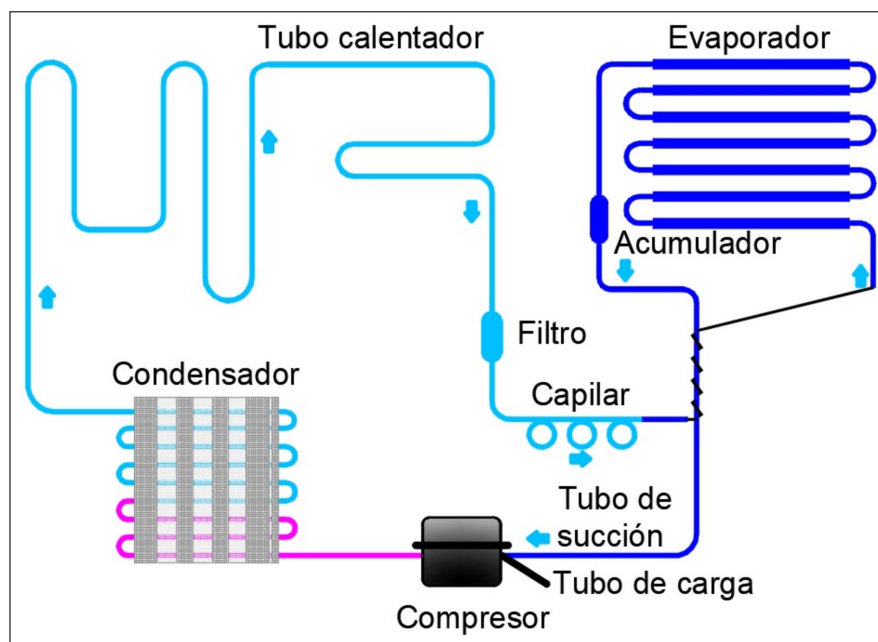
El tubo calentador es el elemento dentro del sistema de refrigeración ubicado en el lateral de la refrigeradora, es el encargado de transferir el calor del sistema de refrigeración al exterior. El sistema utiliza la alta temperatura de vaporización del refrigerante, para lograr una transferencia eficiente de calor; algunos de los aspectos más importantes a tomar en cuenta a la hora del diseño de tuberías son el diámetro de la tubería, material de la tubería, número de componentes conectados, entre otros (Arnabat, 2007; Tecener SA de CV, 2015).

El material utilizado para los tubos dentro de un sistema de refrigeración son de un acero de alta resistencia que debe tener un recubrimiento superficial para evitar la corrosión por el contacto que mantiene con el ambiente y los gases refrigerantes, además el acero debe ser resistente a la abrasión por los fluidos que circulan en el interior (Revista Cero Grados, 2013; Technologies, 2022).

En la Figura 2.14 se observa el sistema de refrigeración y la unión que debe de existir entre los elementos a través de una tubería de acero de alta calidad desarrollada como sustituto de la tubería de cobre para el componente del ciclo de enfriamiento de los refrigeradores (Silli, Jinwi, Pyeongtaek, y Gyeongg, 2022).

Figura 2.14

Esquema del sistema de enfriamiento y del tubo calentador.



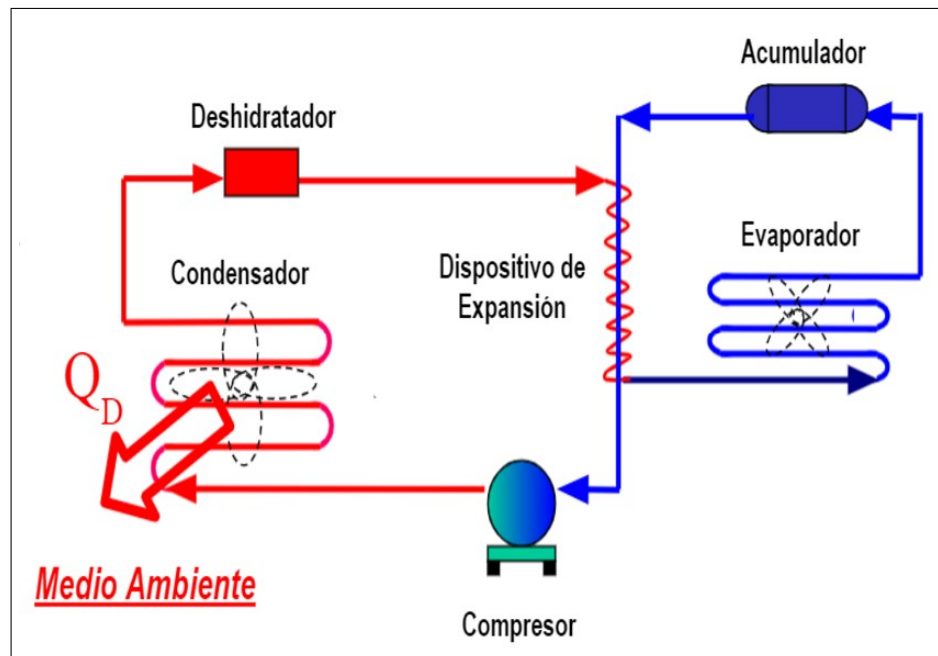
Nota: En la figura se observa los componentes de un sistema de refrigeración para un refrigerador doméstico, figura adaptada de Silli-gil, Jinwi-myeon, Pyeongtaek-si y Gyeonggi-do [Recuperada de: <https://www.seahfs.co.kr/eng/product/product-info-06.jsp>].

2.2.2.2. Tubo Condensador

El condensador es un equipo compuesto por un tubo delgado de metal en forma de serpentina colocado en la parte posterior de las refrigeradoras domésticas. Su función es transformar en líquido el gas refrigerante comprimido en el compresor y eliminar el calor del mismo, debido a este intercambio, el gas se condensa y se convierte en una fuente de refrigerante en estado líquido capaz de fluir con facilidad en el equipo produciendo así el efecto de enfriamiento esperado (Alves, 2021). El agente refrigerante en estado gaseoso llega al condensador, en donde al contactar con temperatura muy inferiores a las del gas, comienza a perder calor de tal manera que se produzca la condensación del refrigerante (ver Figura 2.15). Este calor perdido es disipado al ambiente permitiendo que la condensación continúe (Diplakiz, 2019; Jara, 2018).

Figura 2.15

Esquema del sistema de enfriamiento y del tubo condensador.



Nota: En la figura se observa el funcionamiento del tubo condensador, dentro del ciclo de refrigeración, figura adaptada de Walter Diplakiz [Recuperada de: <https://ondasyparticulas.com/2019/08/01/como-funciona-un-refrigerador/>].

Capítulo 3

Metodología

3.1. Establecimiento de los parámetros iniciales del proceso de soldadura fuerte de plata entre el tubo calentador y condensador de un refrigerador doméstico

3.1.1. Equipos

3.1.1.1. Equipo de soldadura

La función de este equipo es el suministro de la mezcla de gases de tal manera que se pueda controlar la presión, velocidad y sus proporciones para obtener una soldadura con una buena calidad, Lesur (2007); New Jersey Department of Health (2017); P. Rodriguez (2013) indican el equipo requerido para realizar el proceso, es el siguiente:

- **Gas Licuado de Petróleo**

El Gas Licuado del Petróleo (GLP) se utiliza como combustible y proviene de la mezcla de dos hidrocarburos: el propano y butano y otros en menor proporción, es obtenido de la refinación del petróleo o como gas natural en pozos de extracción, es incoloro e inodoro, comúnmente se añade un agente fuertemente “odorizante” para detectar con facilidad cualquier fuga, en condiciones normales de temperatura, el GLP es un gas y cuando se somete a presiones moderadas o se enfría, se transforma en líquido para su transporte y almacenamiento es considerado como un combustible verde, versátil, moderno y de múltiples usos con potencial para ampliar la canasta energética del país y

es suministrado por Austro Gas (Gasnova, 2022).

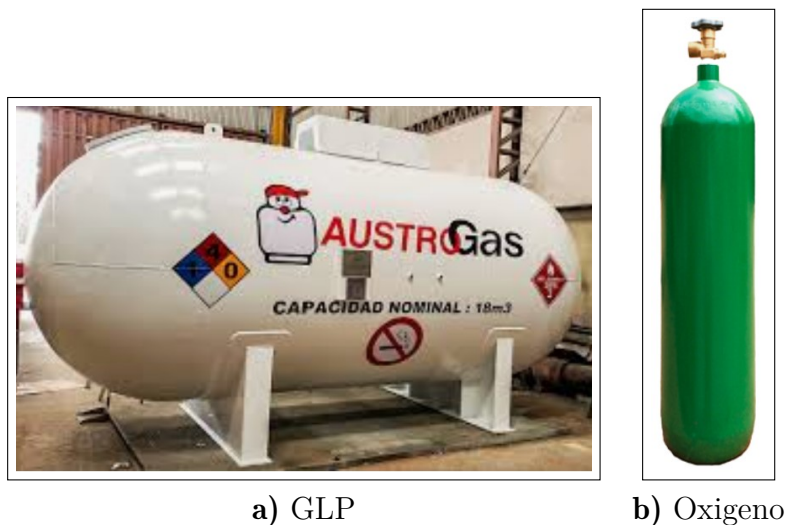
■ Oxígeno

Según Wikipedia (2022c) el oxígeno, es un “elemento químico de número atómico 8, masa atómica 15,99 y símbolo O ; es un gas incoloro e inodoro que se encuentra en el aire, en el agua, en los seres vivos y en la mayor parte de los compuestos orgánicos e inorgánicos; es esencial en la respiración y en la combustión, se usa en soldaduras”.

Este gas se almacena a una presión de 150 kg/cm^2 y es necesario en el proceso de soldadura oxiacetilénica para lograr la mezcla de gases encargada de generar la llama, el mismo no debe estar en contacto con grasas o aceites, por lo que no se deben engrasar válvulas u otros componentes que puedan estar en contacto con el oxígeno. El suministro del oxígeno que se utilizó en el proceso de soldadura es distribuido por la empresa Quimipac de la ciudad de Guayaquil.

Figura 3.1

Gases de la soldadura.



Nota: En la Figura se observan los tanques utilizados para el suministro de gas, el color verde corresponde a contenedores de oxígeno y el blanco de GLP. [Recuperado de: <http://induacero.com.ec/productos/>; Accedido el: 11 de julio del 2022].

■ Mangueras

Las Mangueras de caucho (paquete doble) están diseñadas principalmente para el transporte de oxígeno y acetileno que se adaptan al soplete de soldadura y regulador de presión, su longitud de suministro van desde los 25 a 50 pies para garantizar una distancia prudente de los puntos de alimentación o tanques contenedores, son codificadas con colores rojo y verde para enganchar al regulador correcto, son comúnmente utilizadas ya que poseen una gran resistencia al corte y abrasión, son las encargadas de transportar los gases al soplete dentro de interiores y exteriores de un hogar, taller mecánico, o en cualquier lugar del trabajo (ABN AutoBodyNOW, 2022; Chasi y Ramirez, 2021; Lesur, 2007; P. Rodriguez, 2013).

Figura 3.2

Manguera de transporte de gases.



Nota: En la Figura se observa las mangueras utilizadas para el transporte de los gases para el proceso de soldadura oxiacetilénica. [Recuperado de: <https://www.empresacarbhone.com/pdf/oxicorte.pdf>; Accedido el: 11 de julio del 2022].

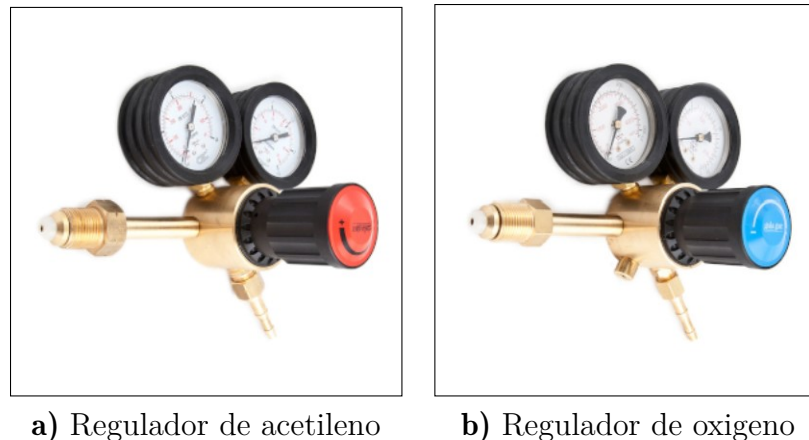
■ Manorreductores

Los manorreductores son válvulas reguladoras de presión encargadas del suministro del gas comprimido al soplete, permite reducir la presión del fluido en una red, cada tubería de gas cuenta con su propio manorreductor (Chasi y Ramirez, 2021). La Figura 3.3 muestra la válvula manorreductora que esta presente en el proceso de soldadura de la empresa de línea blanca, otorga seguridad al proceso ya que regula la presión de los gases para una perfecta regulación de la llama de calentamiento. La presión de los

contenedores de combustible varia según se vacía o cambia la temperatura ambiente, para que la presión utilizada se mantenga o sea la correcta se reduce a la presión más baja del contenedor (Wikipedia, 2022b).

Figura 3.3

Válvulas manorreductoras.



Nota: La Figura presenta las válvulas reguladoras de presión de gas utilizada en los tanques de gas para soldadura. [Recuperado de: <https://soldemos.net/regulacion/83-manorreductor-de-acetileno.html>; Accedido el: 11 de julio del 2022]

■ Dispositivos antirretornos

Las válvulas antirretornos son un tipo de válvula de seguridad encargada de evitar el retroceso de la llama durante el proceso de soldadura, gracias a que solo permiten el flujo de gas en un sentido único, también son llamadas válvulas de retención o válvulas check.

Una válvula check o antirretorno cuenta con un corte térmico que cierra el paso del gas al detectar aumentos de temperatura Chasi y Ramirez (2021). La Figura 3.4 muestra dos válvulas antirretorno que son utilizadas para cada tipo de gas en el proceso de soldadura (Hernández, Quero, Sánchez, Santillán, y Trujillo, 2020).

Figura 3.4

Válvulas antirretorno.



Nota: La Figura presenta las válvulas antirretorno para el suministro de gas. [Recuperado de: <http://inkinstruments.com/products>; Accedido el: 11 de julio del 2022]

■ Soplete

Es el elemento encargado de la mezcla de los gases para generar correctas características en la llama, tiene la capacidad de controlar la salida de los gases mediante llaves de salida de gas (Chasi y Ramirez, 2021). La Figura 3.5 nos muestra la forma que tiene el soplete con las dos salidas de los gases, así como la perilla de regulación, este elemento es esencial para el proceso de soldadura ya que sin él no se conseguirá la forma de llama necesaria para un correcto proceso.

Figura 3.5

Soplete.



Nota: En la Figura se puede observar el soplete con las 2 entradas para cada manguera de gas. [Recuperado de: <https://www.llccj1.com/index.php>; Accedido el: 11 de julio del 2022]

▪ Equipo de seguridad

Además de los elementos del equipo de soldadura es necesario contar con equipo de seguridad que nos brinde protección como guantes, casco de soldar, mandil, entre otros. La Figura 3.6 muestra el equipo de seguridad utilizado en este proceso para disminuir el riesgo en el mismo.

Figura 3.6

Equipo de seguridad.



Nota: En la Figura se observa los equipos de protección necesarios para una soldadura segura. [Recuperado de: <https://www.reinsol.es/productos>; Accedido el: 11 de julio del 2022]

3.1.2. Materiales

3.1.2.1. Soldadura de plata

La unión a base de plata se utiliza para soldadura entre sí de: acero, cobre, latón y bronce; para la unión de los tubos calentador y condensador (acero – acero) se utiliza una varilla de plata al 30%, con fundente incorporado; la misma tiene un punto de fusión sobre los 710°C, pero inferior a la temperatura de fusión de los metales a soldar, es común que en la soldadura fuerte se emplee como material de aporte diferentes tipos de aleaciones de plata con fosfato de cobre y zinc, o de cobre y plata; el fundente (decapante) viene incorporado en una capa exterior de la suelda de plata suministrado en barras de diferente diámetro (Argenta, 2022), a continuación la tabla 3.1 presenta los datos técnicos de la suelda de plata utilizada en la investigación.

Tabla 3.1

Ficha técnica del material de aporte.

<u>Norma internacional</u>	
ANSI/AWS	A 5.8-92
AWS	B Ag-2a
<u>Características técnicas</u>	
Rango de fusión	607 – 710°C
Resistencia a la tracción de la unión soldada	39 – 47 kg/mm ²
Peso específico	9,2 gr/cm ³
Separación de unión recomendada	Min: 0,03 mm Max: 0,10 mm
<u>Análisis químico nominal (%)</u>	
Ag	30 %
Cu	27 %
Zn	23 %
Cd	20 %

Nota: La tabla presenta los datos técnicos de la soldadura de plata utilizada como aporte. [Recuperado de: http://argenta.cl/productos/soldadura_fuerte/brazing2.php?p_categoria=01&p_subcategoria=077&p_idproducto=3 Accedido el: 19/9/2022]

La Tabla 3.2 presenta el rango de temperatura establecido de acuerdo a la norma AWS, para la soldadura fuerte de plata BAg-2a.

Tabla 3.2

Rangos de temperatura de acuerdo a la norma AWS.

Solidus, liquidus, and brazing temperature ranges						
AWS Classification	Solidus		Liquidus		Temperature range	
	°F	°C	°F	°C	°F	°C
BAg-2a	1125	607	1310	710	1310-1550	710-843

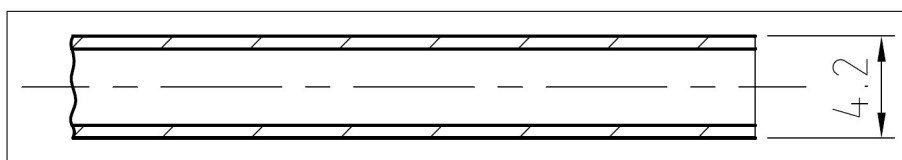
Nota: La Tabla presenta los datos técnicos de la soldadura de plata utilizada como aporte (American Welding Society, 1991)

3.1.2.2. Tubo calentador

El tubo calentador (tubo macho) utilizado para las neveras de gama alta como para las de gama media es de origen coreano con un diámetro de 4.2 ± 0.08 mm, como se observa en la Figura 3.7.

Figura 3.7

Tubo calentador coreano.



Nota: En la Figura se observa la dimensión del tubo calentador coreano.

A continuación se presenta la Tabla 3.3 con la composición química del tubo calentador.

Tabla 3.3

Composición química del tubo calentador.

Elemento	Porcentaje %
Carbono	0.15
Manganeso	0.60
Fósforo	0.05
Azufre	0.05

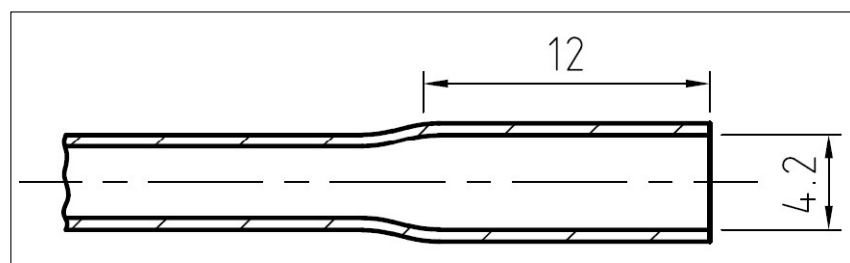
Nota: La tabla presenta los porcentajes de los componentes químicos del tubo calentador (Sae International, 2021).

3.1.2.3. Tubo condensador

- **Tubo condensador colombiano** El tubo condensador (tubo hembra, que se observa en la Figura 3.8, es utilizado para las neveras de gama alta como para las de gama media con diámetro interno en su abocinado de $4.2_{-0.0}^{+0.2}$ mm y una longitud de 12 ± 1 mm, para el acople con el tubo calentador,

Figura 3.8

Tubo condensador colombiano.



Nota: En la Figura se observa la dimensión del abocinado del tubo colombiano.

La composición química del condensador colombiano se presenta en la tabla 3.4, de acuerdo a la norma Sae International J409, que indica que en el proceso de formación de cañerías las mismas deben ser bajo en carbono.

Tabla 3.4

Composición química del tubo condensador colombiano.

Elemento	Porcentaje %
Carbono	0.18 max
Manganeso	0.60 max
Fósforo	0.035 max
Azufre	0.035 max

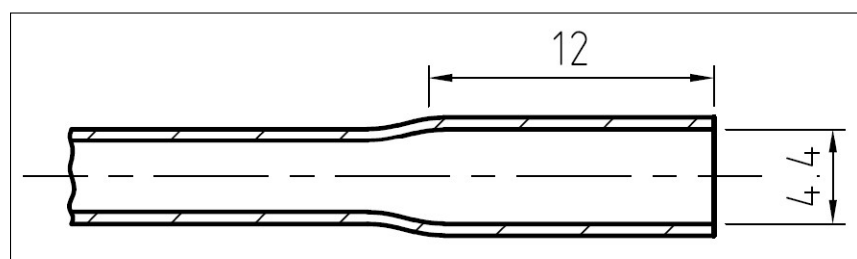
Nota: La tabla presenta los porcentajes de los componentes químicos del tubo condensador (Sae International, 2021).

■ Tubo condensador chino

Debido a los costos de los tubos, la empresa decide buscar una nueva propuesta comercial y decide cambiar a un condensador de procedencia China con variación en la composición química del material y en los diámetros internos de abocinado, donde se tiene un diámetro de $4.7^{\pm 0.1}$ mm para neveras de gama media y $4.4^{\pm 0.1}$ mm para neveras de gama alta, manteniendo la profundidad de abocinado de 12 mm, como se puede observar en las Figuras 3.9 y 3.10

Figura 3.9

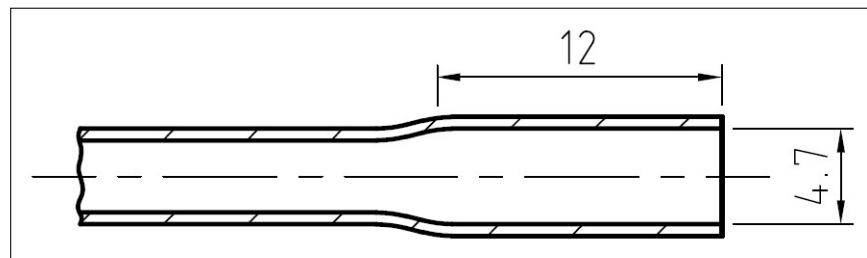
Tubo condensador chino gama media.



Nota: En la Figura se observa la dimensión del abocinado del tubo chino para refrigeradoras de gama media.

Figura 3.10

Tubo condensador chino de gama alta.



Nota: En la Figura se observa la dimensión del abocinado del tubo chino para refrigeradoras de gama alta.

La Tabla 3.5 indica la composición química del condensador chino.

Tabla 3.5

Composición química del tubo condensador chino.

Elemento	Porcentaje %
Carbono	0.001 – 0.006
Manganeso	0.04 – 0.15
Silicio	0.02
Fósforo	0.013
Azufre	0.006

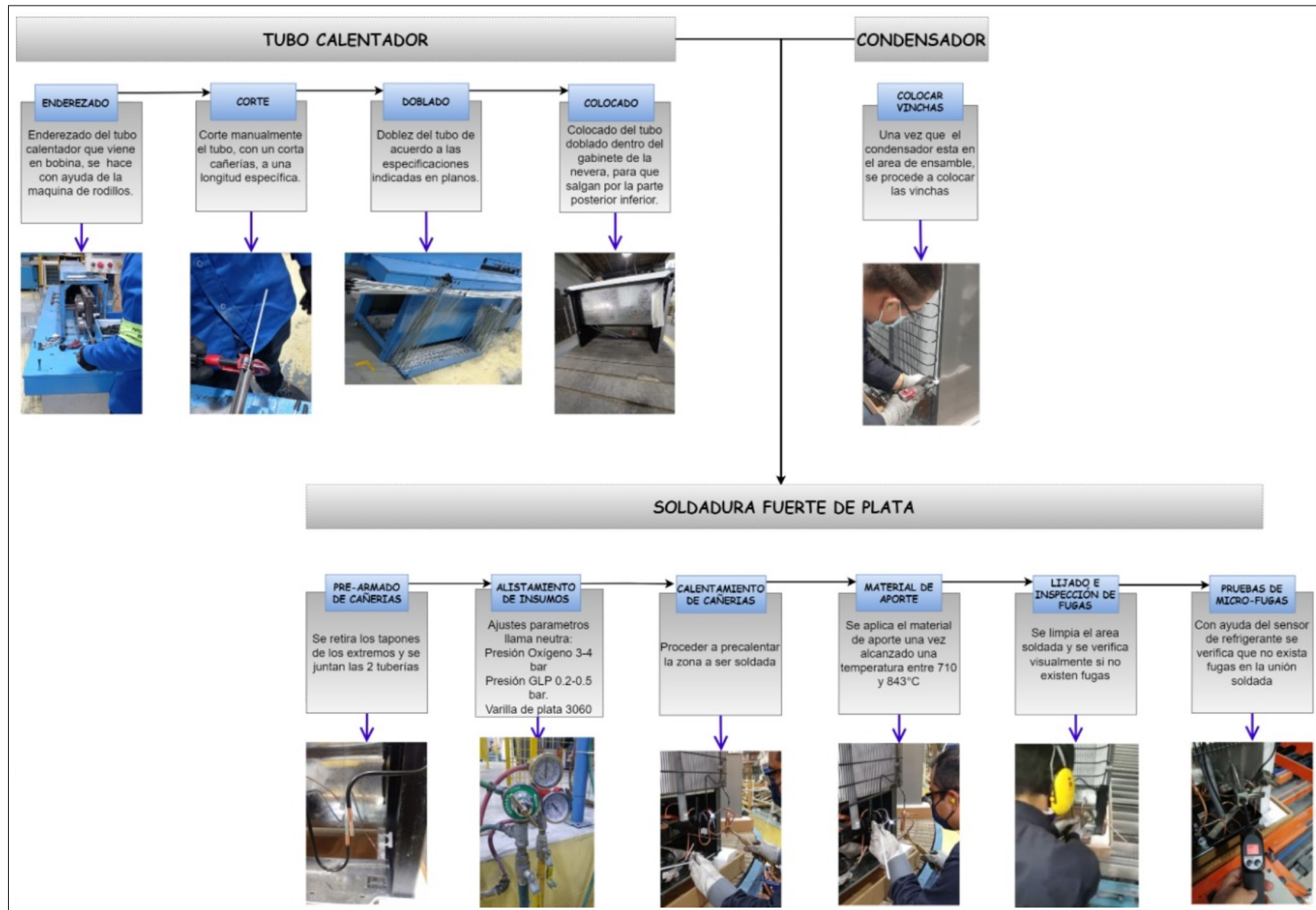
Nota: La Tabla presenta los porcentajes de los componentes químicos del tubo condensador chino (Sae International, 2021).

3.1.3. Proceso de soldadura fuerte en la línea de producción de productos de línea blanca

La Figura 3.11 presenta el proceso de soldadura entre el tubo calentador y el tubo condensador en la línea de producción, desde la preparación de los mismos hasta las pruebas de calidad para la detección de fugas.

Figura 3.11

Flujo de proceso para la unión de tubos.



Nota: En la Figura se observa el proceso de soldadura fuerte con plata, desde la preparación y conformación de la materia prima (tubos) hasta las pruebas de calidad que se realizan a las uniones soldadas.

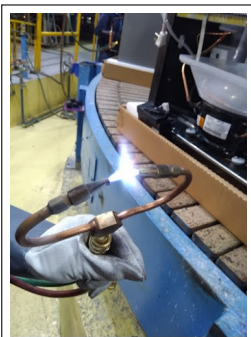
A continuación, se presenta el protocolo establecido específicamente en el área de soldadura fuerte de plata utilizado en la unión del tubo calentador y el tubo condensador, en la línea de ensamble de las refrigeradoras domésticas.



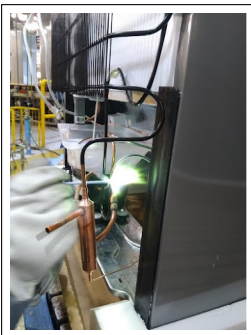
1) Posicionamiento de los tubos.- Previo a realizar la unión de los tubos calentador y condensador se deben retirar los tapones de protección de los fillos y alinear correctamente para continuar con el proceso.



2) Regulación de los gases.- En el proceso de soldadura fuerte, el gas licuado de petróleo GLP esta regulado a una presión de 3 – 4 bar y el gas oxígeno a una presión 0.2 – 0.5 bar.



3) Regulación de la llama.- En la línea se regula la llama obtenida por la combustión del gas licuado de petróleo GLP y el oxígeno, que genera el calor para calentar los tubos y fundir el metal de aporte que corresponde a la soldadura de plata.



4) Calentamiento de los tubos y aporte de la soldadura.- Una vez alineados los tubos y regulada la llama se procede a colocar la soldadura de plata en la unión de los mismos.

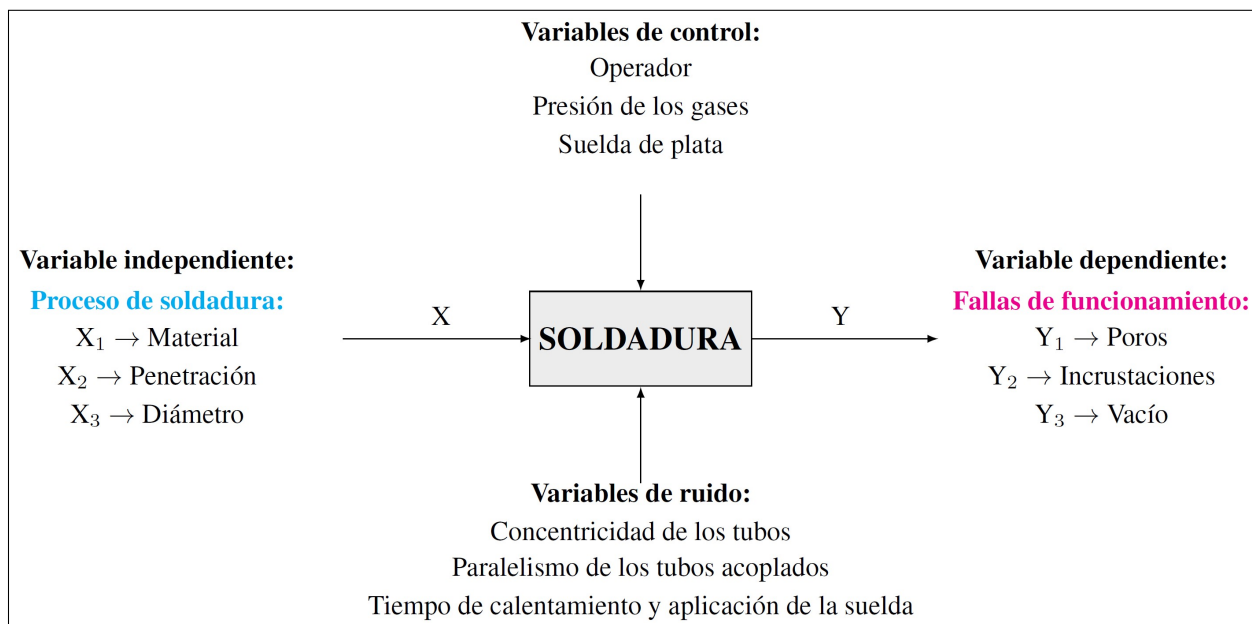
3.2. Propuesta de un diseño experimental en el proceso de soldadura fuerte de plata entre el tubo calentador y condensador en una planta de producción de línea blanca, para reducir las fallas de funcionamiento

3.2.1. Operacionalización de variables

Para la operacionalización de las variables, se establecen las mismas a partir de su relación planteada directamente en las hipótesis de la investigación, donde se pretende establecer la relación entre la variable independiente “proceso de soldadura fuerte” con la variable dependiente “fallas de funcionamiento”, las mismas que serán analizadas en sus dimensiones para poder ser cuantificadas y poder determinar su relación directa o correlación que pueda existir entre las dimensiones que interfieren en la variable dependiente.

Figura 3.12

Variables del proceso de soldadura.



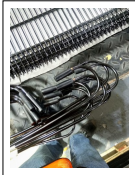
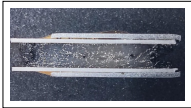

Nota: En la Figura se puede observar las variables que intervienen en el proceso de soldadura fuerte, las que se consideraron de ruido y las que están en control.

Tabla 3.6

Operacionalización de la variable independiente.

VARIABLE INDEPENDIENTE: PROCESO DE SOLDADURA

DEFINICIÓN CONCEPTUAL: La soldadura fuerte (“brazing”) es el proceso de unión de dos piezas mediante calor y un material de aportación que se funde a una temperatura por encima de los 427°C (800°F) y por debajo del punto de fusión de las piezas a ser soldadas. (Wikipedia, 2022e)
DEFINICIÓN OPERACIONAL: Proceso de unión de dos tubos de hierro por medio de una soldadura con varilla de plata.

DIMENSIONES	DEFINICIONES	INDICADOR	MAGNITUD	INSTRUMENTO DE DATOS	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
Material 	<p>CONCEPTUAL En función del proceso de soldadura que se pretende utilizar, la composición química y la microestructura con la que están conformados.</p> <p>OPERACIONAL Material del tubo que se va a unir.</p>	Porcentaje	%	Hoja técnica	Espectrómetro de masas, proveedor
Penetración del tubo 	<p>CONCEPTUAL Distancia donde se produce una capilaridad con el líquido fundido y tiene lugar con los metales en estado de fusión, su aplicación práctica constituye la soldadura.</p> <p>OPERACIONAL Distancia de penetración del tubo calentador en el condensador.</p>	Longitud	mm	Norma	Calibrador digital en mm
Diámetros 	<p>CONCEPTUAL Los diámetros de tubos y accesorios son de distintas medidas con tolerancias según la norma vigente.</p> <p>OPERACIONAL Son los diámetros del tubo condensador y tubo calentador que deben cumplir con sus medidas para tener la holgura necesaria para la penetración correcta del material de aporte.</p>	Longitud	mm	Hoja técnica	Calibrador digital en mm

Nota: La tabla presenta las dimensiones de la variable independiente con sus indicadores e instrumentos.




Tabla 3.7

Operacionalización de la variable dependiente.

VARIABLE DEPENDIENTE: FALLAS DE FUNCIONAMIENTO

DEFINICIÓN CONCEPTUAL: Las fallas o averías son el deterioro o desperfecto en cualquier parte de un equipo que no permite el funcionamiento normal. (Linares, 2022)

DEFINICIÓN OPERACIONAL: Presencia de defectos en la microestructura de la suelda.

DIMENSIONES	DEFINICIONES	INDICADOR	MAGNITUD	INSTRUMENTO DE DATOS	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
Poros 	CONCEPTUAL Espacio que hay entre las moléculas de los cuerpos. (Real Academia Española, 2022)				
	OPERACIONAL Presencia de una burbuja de un gas en la microestructura.	Unidades	Adimensional	Microscopio	Conteo visual
Incrustaciones 	CONCEPTUAL Presencia de un elemento extraño sobre la superficie o cuerpo de un material con diferente composición química.				
	OPERACIONAL Presencia de carbono por una descarburización en la microestructura.	Unidades	Adimensional	Microscopio	Conteo visual
Vacíos 	CONCEPTUAL Presencia de oxígeno o algún gas en un elemento, ó ausencia de materia en un espacio definido.				
	OPERACIONAL Ausencia de soldadura de plata en la superficie metálica del tubo calentador o en el tubo condensador (capilaridad).	Unidades	Adimensional	Microscopio	Conteo visual

Nota: La tabla presenta las dimensiones de la variable dependiente con sus indicadores e instrumentos.

3.2.2. Diseño experimental

El diseño experimental utilizado para determinar la influencia de las variables independientes: material del tubo, distancia de penetración del tubo calentador en el tubo condensador, y el diámetro del tubo condensador junto con sus correlaciones o combinaciones sobre la variable dependiente: fallas de funcionamiento que esta definida por las dimensiones: poros de gas atrapado en la soldadura, incrustaciones de carbono provocadas por la descarburación y vacíos donde la suelta no se adhiere a la superficie del tubo; es el diseño factorial 2^k factorial donde k, corresponde al número de factores o variables que intervienen en el proceso, y cada una de ellas se encuentran en dos niveles, para el caso de estudio la tabla 3.8, presenta los factores con sus respectivos niveles.

Tabla 3.8

Tabla de factores con sus niveles

		Niveles	
		Nivel 1	Nivel 2
Factores	(A) Material	Composición 1 ¹	Composición 2 ²
	(B) Penetración	6 mm	12 mm
	(C) Diámetro	4,4 mm	4.7 mm

¹ Composición 1: C 0,001%, Mn 0,04%, P 0.013%, S 0.006%

² Composición 2: C 0,006%, Mn 0,15%, P 0.013%, S 0.006%

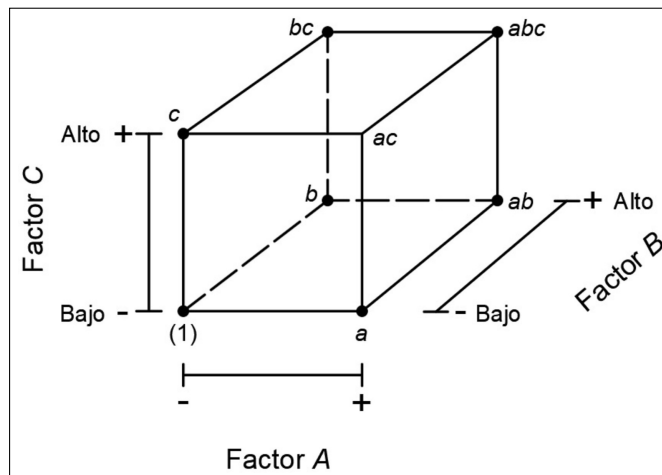
Nota: La Tabla presenta los factores utilizados en el diseño 2^3 factorial con sus respectivos niveles; la penetración del tubo calentador en el condensador es de 12 mm suministrado por el proveedor y los 8 mm es el calculado de acuerdo a la ecuación 2.2.

De acuerdo a Montgomery (2004) el diseño 2^3 es:

la representación geométrica de las ocho combinaciones de tratamientos que puede hacerse con un cubo como se muestra en la Figura 3.13. Utilizando la notación “+” y “-” para representar los niveles alto y bajo de los factores, las ocho corridas del diseño 2^3 pueden enlistarse como en la Tabla 3.10, las combinaciones de los tratamientos en el orden estándar se escriben como (1), a, b, ab, c, ac, bc y abc, recuerde que estos símbolos representan también el total de las n observaciones hechas con esa combinación de tratamientos en particular. (pag. 228)

Figura 3.13

Representación geométrica del diseño factorial 2^3 .



Nota: En la Figura se observa las posibles combinaciones de los niveles de los factores A, B y C que corresponde al material, penetración y diámetro respectivamente.

La tabla 3.9 presenta la notación utilizada para el diseño de experimentos:

Tabla 3.9

Notación para el diseño de experimentos.

		Niveles	
		Nivel 1	Nivel 2
Factores	Material	Composición 1 (-)	Composición 2 (+)
	Penetración	6 mm (-)	12 mm (+)
	Diámetro	4,4 mm (-)	4.7 mm (+)

Nota: La Tabla presenta las notaciones utilizadas para los diferentes niveles de los factores analizados.

Hay siete grados de libertad entre las ocho combinaciones de tratamientos del diseño 2^3 , tres grados de libertad se asocian con los efectos principales de A, B y C. Cuatro grados de libertad se asocian con las interacciones; uno con cada una

de las interacciones AB , AC y BC y uno con la interacción ABC . (Montgomery, 2004, pag. 228)

Tabla 3.10

Matriz del diseño experimental.

Corrida	Factor			Etiquetas	Factor		
	A	B	C		A	B	C
1	-	-	-	(1)	-1	-1	-1
2	+	-	-	a	1	-1	-1
3	-	+	-	b	-1	1	-1
4	+	+	-	ab	1	1	-1
5	-	-	+	c	-1	-1	1
6	+	-	+	ac	1	-1	1
7	-	+	+	bc	-1	1	1
8	+	+	+	abc	1	1	1

Nota: La Tabla presenta la matriz del diseño experimental donde se encuentran las posibles combinaciones y notación de los factores (Montgomery, 2004).

El modelo estadístico del diseño experimental considera la interacción entre los factores involucrados, la ecuación para este modelo se muestra a continuación (López, 2021):

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \alpha\beta_{ij} + \alpha\gamma_{ik} + \beta\gamma_{jk} + \alpha\beta\gamma_{ijk} + \varepsilon_{ijk} \quad (3.1)$$

- μ es la media general del experimento.
- α_i es el efecto debido al i -ésimo nivel del factor A.
- β_j es el efecto del j -ésimo nivel del factor B.
- γ_k es el efecto del k -ésimo nivel del factor C.
- $\alpha\beta_{ij}$ representa el efecto de interacción de la combinación ij .
- $\alpha\gamma_{ik}$ representa el efecto de interacción de la combinación ik .
- $\beta\gamma_{jk}$ representa el efecto de interacción de la combinación jk .
- $\alpha\beta\gamma_{ijk}$ representa el efecto de interacción de la combinación ijk
- ε_{ijk} el error aleatorio que, se supone, sigue una distribución normal con $\mu=0$ y $\sigma^2=$ Constante, además de que son independientes entre sí.

3.3. Evaluación el proceso de soldadura fuerte de plata entre el tubo calentador y condensador en un refrigerador doméstico

3.3.1. Proceso Metalográfico

3.3.1.1. Preparación de la probeta

El objetivo del encapsulado es proteger los materiales frágiles o revestidos durante la preparación metalográfica y obtener una perfecta retención de bordes. La embutición o encapsulado se utiliza cuando la protección de capas es imprescindible, a la vez que también permite una manipulación más segura y cómoda de la muestra, por ejemplo, muestras afiladas, pequeñas o de formas irregulares. A continuación se presenta el protocolo utilizado en el proceso de obtención de probetas para el ensayo metalográfico y el ataque químico para revelar la microestructura de las uniones soldadas (Metalinspec, 2021).



1) Corte de las muestras.- El corte de la soldadura de los tubos se lo realizó en su sección longitudinal con una medida alrededor 30 mm de largo, de tal manera que sea posible realizar el embebido, al momento de cortar las muestras por electroerosión por hilo se trabajó con la intensidad más baja para evitar alterar la estructura de los materiales (ASTM E3-11, 2017).



2) Centrado de la probeta.- Una vez cortados los tubos soldados de manera longitudinal se centran en el pistón de la máquina encapsuladora, que posteriormente se vuelve a colocar en la máquina para mantener una presión alineada antes de verter la resina.



3) Pesado de la resina.- Se utilizó un embudo para evitar que la resina se derrame y la baquelita no tenga las dimensiones requeridas, en la figura se observa que se utilizó una balanza con dos decimales de exactitud (0.01 g) y un recipiente con su corrección en el peso (encerado) para evitar un fallo en el pesaje, para las probetas se utilizó 16 g de resina.

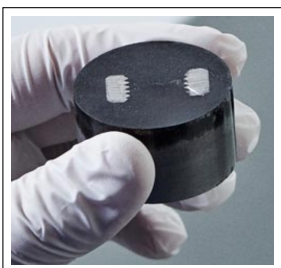


4) Colocación de la resina.- Se puede observar la utilización de un embudo, el mismo se utilizó a la hora de colocar la resina sobre la muestra para evitar derramamientos y que no se alteren las dimensiones requeridas de la la probeta, la resina es de marca “Pace Technologies” y serie CM-1001B-25.



5) Embebido de la probeta.- Para el encapsulado de las probetas se utilizó una prensa de marca “Pace Technologies” y serie “Terapress Mounting Press” con los siguientes parámetros:

Temperatura	300	°C
Presión	2-3	Psi
Tiempo	10	Min
Peso de resina	16	g



6) Extracción de la probeta.- Una vez colocada la resina sobre la muestra de los tubos soldados y encapsulada con los parámetros antes establecidos se extrae la muestra donde se retira las rebabas y se verifica que no exista deformaciones para pasar al proceso de pulido.



7) Desbaste de la probeta.- Se realiza el desbaste de acuerdo a la norma ASTM E3-11 (2011) en el banco de lijado para aplanar toda zona irregular y nivelar la superficie, se utiliza el agua como medio lubricante con las siguiente lijas durante determinado tiempo:

Nº 320	20 min
Nº 600	15 min



8) Pulido de la probeta.- Se realiza el pulido de acuerdo a la norma ASTM E407-99 (1999), en el banco automático de pulido de marca Fremto 1000. Para pulir la superficie se utilizan lijas finas aplicando una presión suave para finalmente aplicar alúmina con un paño.

N° 1200 10 min

N° 1500 5 min

3.3.1.2. Ataque químico de la superficie de la probeta metalográfica

De acuerdo a Tecmipro (2018), el proceso de lijado y pulido permite observar la superficie de la probeta de forma clara, pero únicamente se puede determinar pocas características, tales como, discontinuidades, principios de corrosión, entre otros. Mediante el ataque químico es posible evidenciar la estructura del material, lo que permite realizar un mejor análisis de la estructura.

Tabla 3.11

Conjunto de reactivos para el ataque microscopico.

* REACTIVOS PARA MICROSCOPIA MATERIALES FERROSOS - frasco 100 cc con dosificador									
NITAL 2	NITAL 4	PICRAL 2	PICRAL 4	UNICO COGNE	AGUA FUERTE GLICERINADA VILELLA 2 componentes	PICRATO SODICO ALCALINO	FERRICIANURO POTASICO MURAKANI	FERRICIANURO MURAKANI ATENUADO	CLORURO RAMEICO
CMF001	CMF002	CMF003	CMF004	CMF005	CMF006	CMF007	CMF008	CMF009	CMF010
REACTIVOS ESPECIALES - frasco 100 cc con dosificador									
KELLER	NITAL 5 - 10	MARBLE	KROLL	OBERHOFFER	VILELLA PICRICO				
Aluminio y sus aleaciones	Aceros y fundiciones	Para aceros Aleación de níquel Revela la fase sigma en los aceros inoxidables austeníticos	Para Titanio	Aceros y fundiciones Revela estructura dentrítica	Aceros, aceros inoxidables Revela el tamaño de grano de la austenita en aceros templados y revenidos, en los aceros inoxidables ataca la martensita				
CMF109	CMF105	CMF011	CMF103	CMF005	CMF122				

Nota: En la Tabla se presentan los reactivos de forma general que se deben de utilizar para diferentes metales y aleaciones ferrosas donde predomina un componente en especial (Tecmipro, 2018).

Para la selección del químico que se utiliza en el ataque, se considera que la Tabla 3.11 recomienda que para aceros y fundiciones se utilice Nital 5 – 10, por lo que la Tabla 3.12 presenta algunos de los reactivos de utilizados en las pruebas de acuerdo al material base de los tubos y la suelda, que de acuerdo al nivel de concentración y al tiempo de contacto entre la probeta, el químico reacciona con la superficie presentando diferencias de nivel y de coloración, así como diferentes orientaciones en la superficie, lo que es observable mediante un microscopio.

Tabla 3.12

Reactivos químicos para análisis metalográficos.

Reactivo de ataque	Composición	Usos
Ácido Nítrico (Nital)	Ácido nítrico 5 cm ³ - Alcohol etílico 95 cm ³	Acero, hierros
Ácido Prícico (Picral)	Ácido picórico 4 ml - Alcohol etílico 100 ml	Ac. baja aleación
Persulfato de Amonio	Persulfato de Amonio 10 g - Agua 90 ml	Cobre, latón, plata

Nota: La Tabla presenta los tres diferentes reactivos probados en el ataque a diferentes tiempos de exposición de la superficie en el reactivo químico. La concentración al 5% de ácido nítrico fue la que permitió obtener los mejores resultados considerando que el material de las tuberías analizadas es acero al carbono.

Figura 3.14

Exposición de la probeta al reactivo químico.

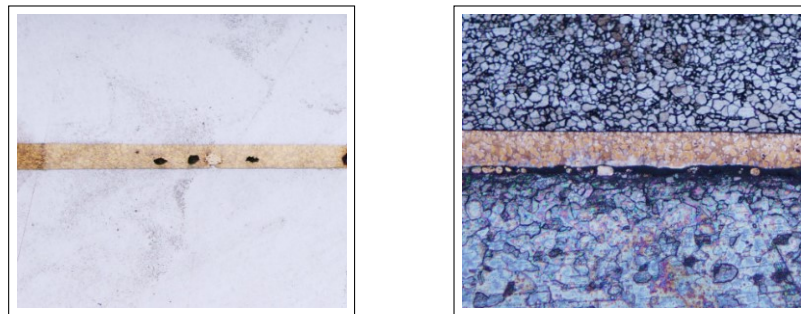


Nota: La probeta se sumerge en el ácido nital durante 15 segundos y se mueve para una mejor visualización de la microestructura.

Seleccionado el reactivo químico nital al 5%, se procede a la inmersión de la probeta con la ayuda de unas pinzas (ver Figura 3.14), donde de acuerdo con la norma ASTM E3-11 (2011) se recomienda un tiempo entre 5 a 40 segundos por lo que se realizó diferentes inmersiones sometidas en diferentes tiempos, siendo el más adecuado el de 15 segundos que permitió visualizar la microestructura. La Figura 3.15 muestra la probeta, que se considera la muestra encapsulada en la resina, después del proceso de pulido fino y la misma probeta después del ataque químico durante 15 segundos con nital 5.

Figura 3.15

Imágenes microscópicas antes y después de la inmersión en Nital 5.



a) Antes de la inmersión (5x) b) Después de la inmersión (5x)

Nota: La Figura presenta la diferencia de observación en el microscopio de la superficie antes y después de la inmersión en nital 5, con una ampliación de 5x.

3.3.2. Análisis metalográfico

El análisis metalográfico se lo realizó a cada una de las probetas de las ocho combinaciones posibles que se plantearon en el diseño de experimentos con una réplica de cada combinación, dando un total de 16 ensayos, donde las fallas de funcionamiento en sus tres dimensiones se evaluaron de forma general como se presenta a continuación.

3.3.2.1. Fallas de funcionamiento

En la micrografía se observa la profundidad de penetración del tubo calentador en el tubo condensador como se observa en la figura 3.16, las mismas que están definidas por 12 mm que viene en estado de suministro por parte del proveedor chino y de 6 mm que es el resultado

del cálculo establecido, considerando que el tubo fue cortado en la línea de producción a esta dimensión requerida.

Figura 3.16

Acople del tubo calentador en el condensador.



a) 12 mm de penetración (5x).



b) 6 mm de penetración (5x).

Nota: La Figura presenta la diferencia que existe en la penetración del tubo calentador en el tubo condensador entre los materiales suministrado por el proveedor y por el calculado de acuerdo a la teoría de capilaridad.

También se consideró los dos diámetros de suministro del material de 4.4 mm y 4.7 mm y el material del tubo en sus dos composiciones donde la una tiene un mayor porcentaje de carbono. Para el análisis se realiza una cobertura de las dos secciones de la superficie de la probeta con el microscopio, en la superior como en la inferior como se observa en la Figura 3.17.

Figura 3.17

Secciones de análisis.

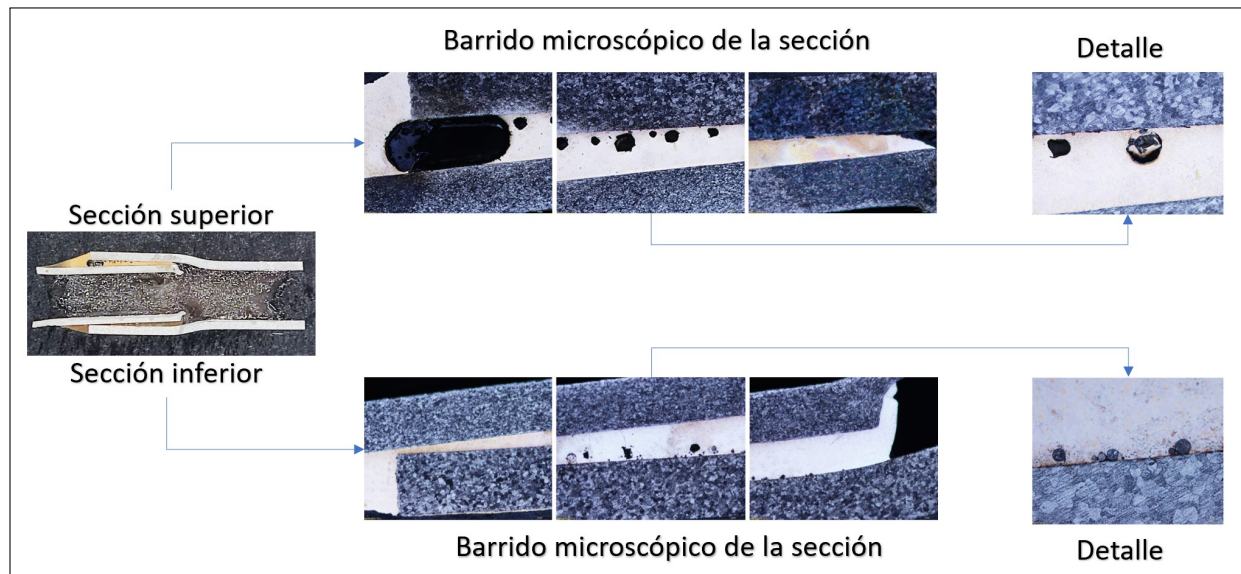


Nota: En la Figura se observa las secciones superior e inferior donde se hará el desplazamiento del microscopio para determinar la cantidad y tipo de defectos en la soldadura.

A continuación se procedió a realizar un barrido horizontal en el microscopio, en cada una de las secciones para establecer el número de defectos como se observa en la Figura 3.18.

Figura 3.18

Análisis del barrido de la sección superior e inferior.



Nota: En la Figura se observa el barrido con el microscopio de las secciones superior e inferior que determina la cantidad de defectos puntuales.

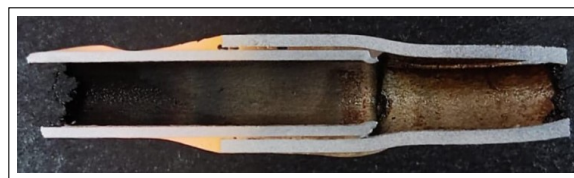
Para determinar la falla de funcionamiento, se debe considerar que la misma viene establecida por sus dimensiones en la cantidad de poros, incrustaciones y vacíos que se encuentran en las secciones superior e inferior de la metalografía (Ver Tabla 3.7), se plantea la Tabla 3.13 de ponderación de acuerdo a las dimensiones ya antes establecidas. Es necesario tener presente que para el estudio el paralelismo entre el tubo calentador y el tubo condensador se encuentra bajo control en la experimentación, es así que en muestras donde se obtuvieron desviaciones demasiado grandes que no dependen del diámetro del tubo fueron consideradas como anómalas y se repitió el experimento para la obtención correcta de los datos. La Figura 3.19 muestra el paralelismo entre los tubos y la otra una inclinación que podría presentarse por la excentricidad del diámetro del tubo en el momento del corte para dejarlo a una longitud de 6 mm, debido que la longitud de suministro es de 12 mm.

Figura 3.19

Paralelismo entre los tubos calentador y condensador.



a) Error en el paralelismo (5x).



b) Paralelismo correcto (5x).

Nota: En la Figura se puede observar el paralelismo de los tubos que se ven restringidos por el diámetro y concentricidad del tubo condensador.

Tabla 3.13

Ponderación de acuerdo a la cantidad de defectos.

		Cantidad				Subtotal
		1 – 3	4 – 6	7 – 9	+ de 10	
Fallas	Poros					
	Incrustaciones					
	Vacíos					
					SUMA	

Nota: La Tabla presenta los defectos en una prueba metalográfica.

Para la valoración de la variable independiente “falla de soldadura” se aplica una ponderación de acuerdo a la cantidad defectos observados en la fotografía de la microestructura, con la consideración siguiente:

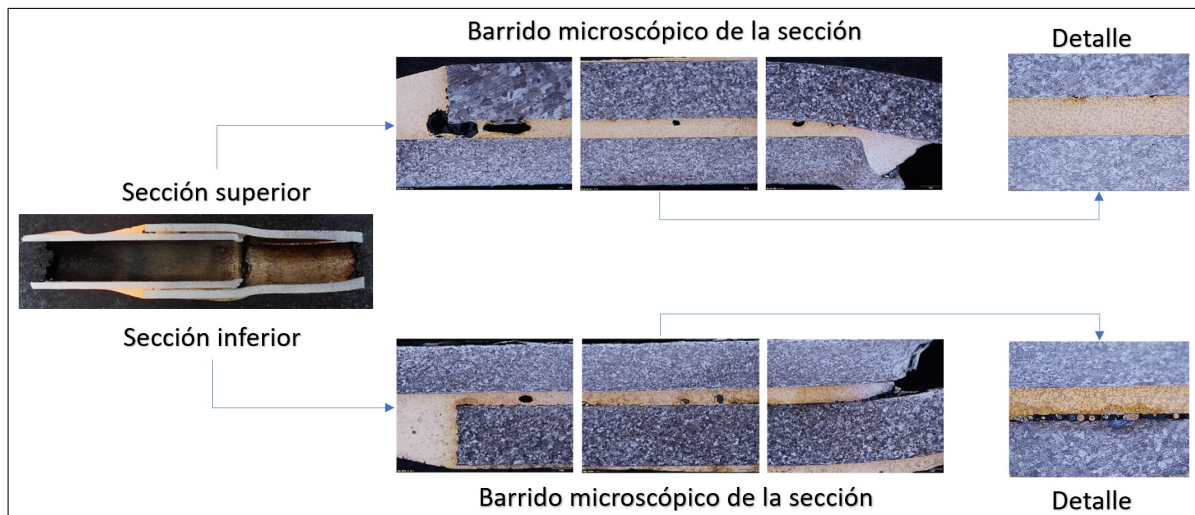
Cantidad	Valoración
1 – 3	1
4 – 6	2
7 – 9	3
≥ de 10	4

La Tabla 3.14 presenta un ejemplo de la evaluación de las fallas de funcionamiento de

acuerdo al número de defectos en la fotografía de la microestructura de la muestra 13, aplicando la ponderación antes expuesta.

Figura 3.20

Microestructura de la muestra 13.



Nota: En la Figura se observa los defectos en la soldadura producidos en la muestra 13.

Tabla 3.14

Defectos de la muestra 13.

Fallas	Cantidad				Subtotal
	1 - 3	4 - 6	7 - 9	+ de 10	
Poros	–	–	–	–	–
Incrustaciones	–	–	3	–	3
Vacíos	1	–	–	–	1
				SUMA	4

Nota: La Tabla presenta la cantidad de defectos en la muestra metalográfica 13, el valor encontrado es el resultado de la falla de funcionamiento para la combinación que se encuentra colocado en la Tabla 4.5 correspondiente a la corrida 5 y Réplica II.

Capítulo 4

Resultados y análisis

4.1. Análisis e interpretación de resultados

4.1.1. Análisis del diámetro del tubo condensador

Los datos que se presentan a continuación en la Tabla 4.1, son los comparativos entre las dimensiones de los diámetros de los tubos del condensador de gama media (GM) y gama alta (GA), de los dos proveedores, el chino y colombiano.

Tabla 4.1

Medidas del diámetro del tubo condensador.

	Colombiano	Chino	
	ϕ Int. GA y GM	ϕ Int. GA	ϕ Int. GM
Condensador	4,4	4,4	4,7
Tol. cond. +	0,2	0,1	0,1
Límite superior	4,6	4,5	4,8
Tol. cond. -	0	0,1	0,1
Límite inferior	4,4	4,3	4,6

Nota: En la Tabla se presentan las medidas en mm del tubo calentador de alta y media gama con sus tolerancias respectivas, el proveedor colombiano presenta un solo diámetro para las dos gamas, y el chino presenta un diámetro diferente para cada gama.

El tubo colombiano presenta un solo diámetro de 4,4 mm para artefactos de media y alta gama, en el caso del tubo chino presenta dos diámetros el de 4,40 mm para gama alta y 4,7 mm para gama media, la Tabla 4.1 presenta también sus tolerancias dimensionales por lo que se establecen sus límites superior e inferior.

La tabla 4.2 presenta las dimensiones del tubo calentador con sus tolerancias respectivas, los datos son proporcionados por el proveedor coreano y verificados en la línea de producción por el departamento de calidad.

Tabla 4.2

Medidas del diámetro del tubo calentador.

	Tubo Coreano
	ϕ Ext. GA y GM
Calentador	4,2
Tolerancia	0.08
Límite superior	4,28
Límite inferior	4,12

Nota: En la Tabla se presentan las medidas del diámetro del tubo calentador con su tolerancia respectiva, las medidas están en mm.

A continuación la tabla 4.3 presenta la separación entre tubos, en base al estándar recomendado por el proveedor de solda, para lo que se refiere a la separación entre tubos.

Tabla 4.3

Dimensiones del intersticio.

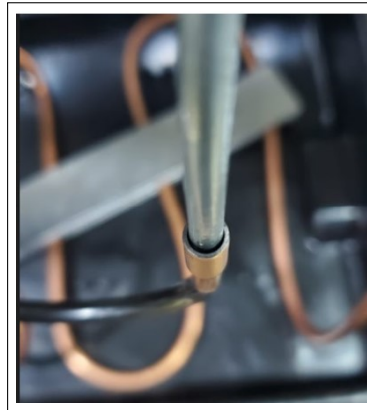
Separación entre tubos (Intersticio) (mm)		
Mínima	Media	Máxima
0,03	0,065	0,100

Nota: En la Tabla se presentan las medidas del intersticio recomendado por el proveedor.

En la Figura 4.1 se puede observar el intersticio o la holgura entre el tubo condensador y el tubo calentador, que depende de las dimensiones del tubo condensador del proveedor chino y debe de cumplir con las condiciones recomendadas en la Tabla 4.3.

Figura 4.1

Intersticio entre los tubos.



Nota: En la Figura se observa el intersticio o la holgura entre los tubos, antes del proceso de unión por soldadura fuerte.

Analizando las medidas de los diámetros interiores del tubo condensador colombiano y el tubo condensador chino (ver Tabla 4.1) con relación a las medidas del tubo calentador de origen coreano (ver Tabla 4.2), se establece que no se cumple en algunos de los casos con la tolerancia de separación recomendada en la Tabla 4.3, e inclusive la separación se ha incrementado con los nuevos tubos condensadores chinos ya que se llega hasta un máximo de 0.34mm de holgura, lo que puede dificultar el proceso de soldadura, llegando inclusive a necesitar una suelda de relleno para cubrir la misma, o por otro lado puede presentar mayor presencia de defectos por vacío causado por el principio de la capilaridad y su tensión superficial que puede afectar a la soldadura provocando una rotura por la presión ejercida por el compresor en el proceso de refrigeración.

La Tabla 4.4 presenta el análisis de las dimensiones de la holgura en función de las dimensiones de los diámetros de los tubos condensador y calentador, considerando la combinación de los límites superior e inferior de los mismos.

Tabla 4.4

Análisis de holgura entre los tubos condensador y calentador.

Condensador a L. Superior - Calentador a L. Inferior

	Colombiano	Chino	
	ϕ Int. GA y GM	ϕ Int. GA	ϕ Int. GM
	0,48	0,38	0,68
Holgura	0,24	0,19	0,34

Condensador a L. Inferior - Calentador a L. Superior

	0,12	0,02	0,32
Holgura	0,06	0,01	0,16

Condensador a L. Inferior - Calentador a L. Inferior

	0,28	0,18	0,48
Holgura	0,14	0,09	0,24

Condensador a L. Superior - Calentador a L. Inferior

	0,32	0,22	0,52
Holgura	0,16	0,11	0,26

	NO CUMPLE
	CUMPLE

Nota: La Tabla presenta las diferencias de holgura entre los tubos, considerando sus límites superior e inferior (valores en mm).

4.1.2. Análisis de la prueba de hipótesis

Para establecer la influencia de la variable independiente analizada “Proceso de soldadura” en sus tres dimensiones: material del tubo condensador, distancia de penetración del tubo calentador en el condensador y el diámetro del tubo condensador, conocidas como factores dentro del diseño experimental planteado 2^k factorial sobre la variable independiente “Fallas de soldadura” que es evaluada de acuerdo al número de poros, incrustaciones y vacíos, se

plantea la siguiente hipótesis de trabajo:

H0: Todos los factores producen el mismo efecto en la variable respuesta

H1: Al menos uno de los factores no produce el mismo efecto en la variable respuesta

$$\mathbf{H0:} \alpha = \beta = \gamma = 0$$

$$\mathbf{H1:} \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 0$$

Se puede también establecer como hipótesis si cada factor influye en la variable respuesta como se presenta a continuación:

Para los efectos del factor A (Material):

$$\mathbf{H0:} \alpha_i = \alpha_j = 0$$

$$\mathbf{H1:} \alpha_i \neq \alpha_j \neq 0$$

Para los efectos del factor B (Penetración):

$$\mathbf{H0:} \beta_i = \beta_j = 0$$

$$\mathbf{H1:} \beta_i \neq \beta_j \neq 0$$

Para los efectos del factor C (Diámetro):

$$\mathbf{H0:} \gamma_i = \gamma_j = 0$$

$$\mathbf{H1:} \gamma_i \neq \gamma_j \neq 0$$

También se puede analizar como hipótesis, si la combinación entre los factores influye o no sobre la variable respuesta, que para el caso de estudio analizado son las fallas de funcionamiento.

Para los efectos del factor AB (Material):

$$\mathbf{H0:} \alpha_i \beta_i = \alpha_j \beta_j = 0$$

$$\mathbf{H1:} \alpha_i \beta_i \neq \alpha_j \beta_j \neq 0$$

Para los efectos del factor AC (Material):

$$\mathbf{H0:} \alpha_i \gamma_i = \alpha_j \gamma_j = 0$$

$$\mathbf{H1:} \alpha_i \gamma_i \neq \alpha_j \gamma_j \neq 0$$

Para los efectos del factor BC (Diámetro):

$$H_0: \beta_i \gamma_i = \beta_j \gamma_j = 0$$

$$H_1: \beta_i \gamma_i \neq \beta_j \gamma_j \neq 0$$

Para los efectos del factor ABC (Diámetro):

$$H_0: \alpha_i \beta_i \gamma_i = \alpha_j \beta_j \gamma_j = 0$$

$$H_1: \alpha_i \beta_i \gamma_i \neq \alpha_j \beta_j \gamma_j \neq 0$$

Una vez establecida las hipótesis estadísticas se estableció los efectos del material del tubo (A), la penetración del tubo (B) y el diámetro del tubo (C) sobre las fallas de funcionamiento determinada por la cantidad de imperfecciones (poros, incrustaciones y vacíos) que se establecen de acuerdo a la Tabla 3.14, además para cada factor se establecieron dos niveles, un bajo (-) y alto (+) de acuerdo a las condiciones necesarias en el proceso de soldadura fuerte (Ver Tabla 3.9), seguido se corre una réplica (se repite) de los ensayos con las combinaciones propuestas en el diseño factorial 2^3 .

Los resultados de las fallas de funcionamiento que se determinaron con la ponderación propuesta se presentan en la Tabla 4.5, siendo los siguientes:

Tabla 4.5

Combinación de tratamientos.

Corrida	Factor			Combinación de tratamientos del diseño 2^3	Falla de funcionamiento		Niveles del Factor	
	A	B	C		Réplica I	Réplica II	Bajo (-1)	Alto (+1)
1	-1	-1	-1	(1)	3	2	Material 1	Material 2
2	+1	-1	-1	a	4	6	(%C 0,001)	(%C 0,006)
3	-1	+1	-1	b	3	4	Penetración 1	Penetración 2
4	+1	+1	-1	bc	2	4	6 mm	12 mm
5	-1	-1	+1	c	3	4	Diámetro 1	Diámetro 2
6	+1	-1	+1	ac	6	3	4,4 mm	4,7 mm
7	-1	+1	+1	bc	5	3		
8	+1	+1	+1	abc	3	2		

Nota: La Tabla presenta los resultados de la combinación de tratamientos propuestos para determinar el efecto del proceso de soldadura sobre las fallas de funcionamiento.

Al utilizar todas las combinaciones de los tratamientos de la Tabla 4.5, los efectos de los factores se estimaron con las siguientes ecuaciones:

$$A = \frac{1}{4n} [a - (1) + ab - b + ac - c + abc - bc]$$

$$B = \frac{1}{4n} [b + ab + bc + abc - (1) - a - c - ac]$$

$$C = \frac{1}{4n} [c + ac + bc + abc - (1) - a - b - ab]$$

Para determinar el efecto de las interacciones de los factores sobre la variable respuesta se utilizó:

$$AB = \frac{1}{4n} [ab - a - a + (1) + abc - bc - ac + c]$$

$$AC = \frac{1}{4n} [(1) - a + b - ab - c + ac - bc + abc]$$

$$BC = \frac{1}{4n} [(1) + a - b - ab - c - ac + bc + abc]$$

Para la interacción de los tres factores sobre la variable respuesta se utilizó:

$$ABC = \frac{1}{4n} [abc - bc - ac + c - ab + b + a - (1)]$$

La resolución de las ecuaciones se realizó con el software Statgraphics, con el asistente de diseño de experimentos, donde se definió la variable de respuesta "fallas de funcionamiento" y tres factores: material, penetración y diámetro con sus niveles alto y bajo de influencia. La Tabla 4.6 presenta que el efecto más grande se da por la combinación del material del tubo condensador y de la distancia de penetración del tubo calentador en el condensador con un valor de -1,125, además del efecto de la combinación del material con el diámetro con un valor de -0,875. El factor de penetración es el que más influye independientemente e indica que mientras tenga una mayor distancia de penetración, las fallas de funcionamiento disminuirán de acuerdo a su valor estimado de -0,875 (Ver Figura 4.2).

Tabla 4.6

Efectos estimados para las Fallas de funcionamiento.

Efectos estimados para Fallas de funcionamiento (u)			
Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	3,4375	0,3125	
A:Material	0,625	0,625	1,0
B:Penetración	-0,875	0,625	1,0
C:Diámetro	0,375	0,625	1,0
AB	-1,125	0,625	1,0
AC	-0,875	0,625	1,0
BC	0,125	0,625	1,0
ABC	-0,125	0,625	1,0

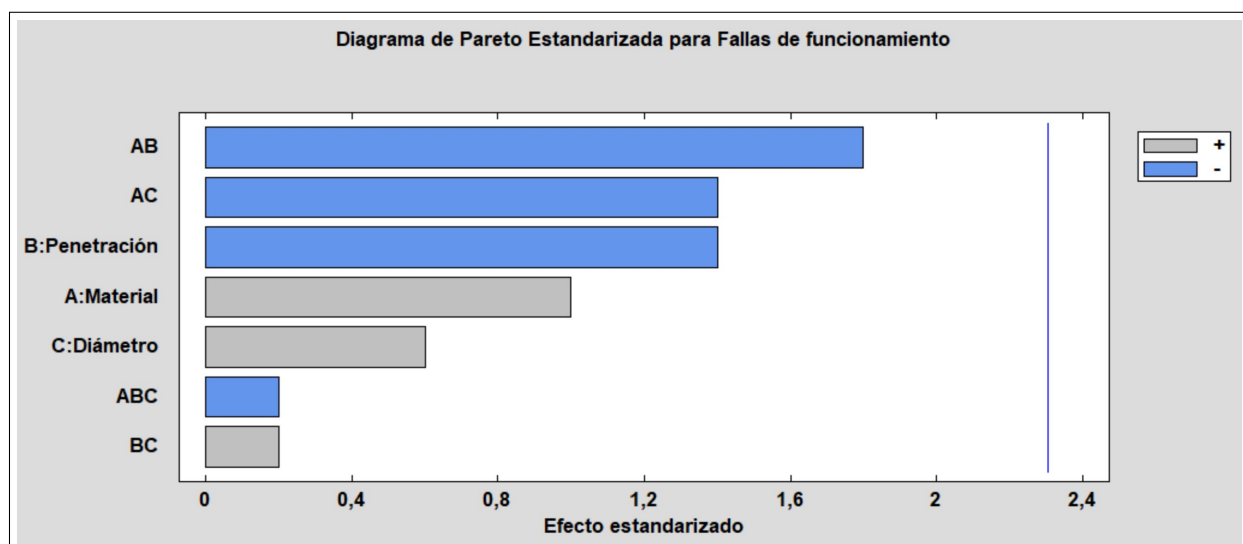
Errores estándar basados en el error total con 8 g.l.

Nota: En la Figura se observa los efectos estimados de cada factor y la combinación de los mismos sobre la variable independiente o de respuesta “fallas de funcionamiento”.

La Figura 4.2 presenta el efecto estandarizado de los factores sobre la variable respuesta.

Figura 4.2

Efectos estandarizados para las Fallas de funcionamiento.

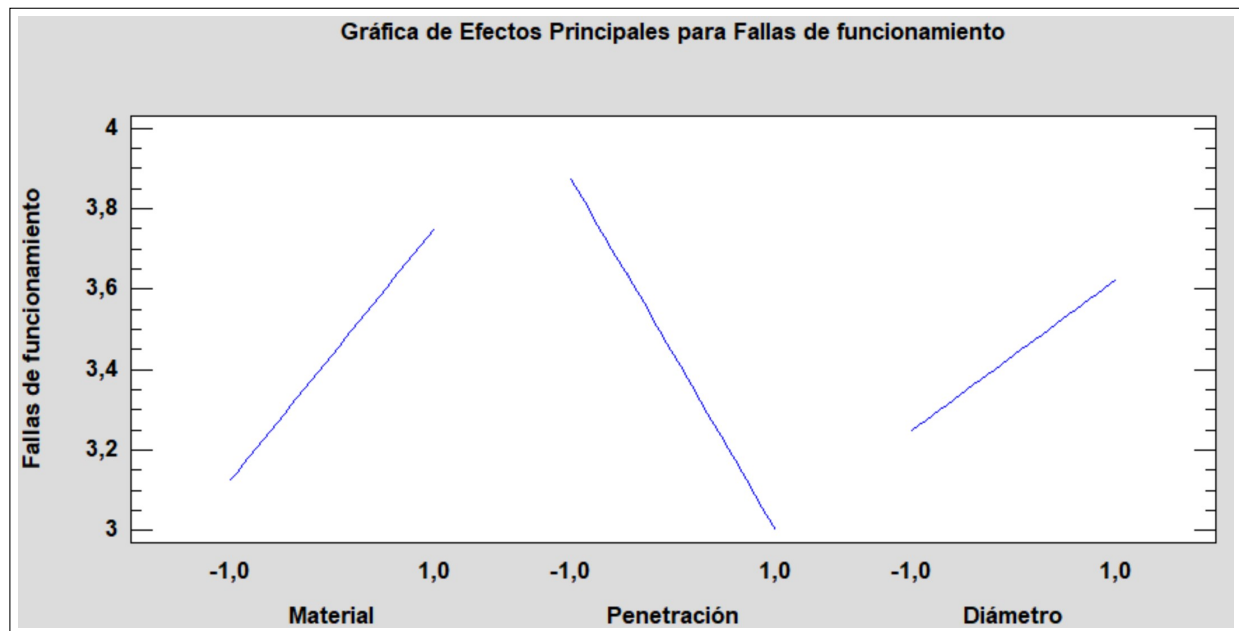


Nota: En la Figura se observa los efectos estandarizados de cada factor y de la combinación de los mismos sobre la variable independiente o de respuesta “fallas de funcionamiento”.

En la Figura 4.3 se observan que las fallas de funcionamiento aumentan a medida que se incrementa el porcentaje de carbono en el material y el diámetro de tubo; y en el caso de la distancia penetración del tubo calentador en el condensador tiene un efecto negativo (-0,875), lo que indica que las fallas aumenta al tener una menor distancia de penetración, lo que es lógico porque a esa distancia se produce un efecto de capilaridad que provoca los vacíos y aumenta las fallas de funcionamiento, a una mayor distancia de penetración no se presentan los defectos por capilaridad.

Figura 4.3

Efectos principales para las Fallas de funcionamiento.



Nota: En la Figura se observa los efectos principales de cada factor y de la combinación de los mismos sobre la variable independiente o de respuesta “fallas de funcionamiento”.

La Tabla Anova (Tabla 4.7) particiona la variabilidad de Fallas de funcionamiento en piezas separadas para cada uno de los efectos, entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, ningún efecto tiene un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0%, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa en que los efectos son diferentes en la variable respuesta “Fallas de funcionamiento”, o que cada factor produce un efecto diferente en la variable respuesta al igual que la combinación de los mismos.

Las tablas 4.8 y 4.9 presentan los resultados del valor-p y el efecto de los factores y sus iteraciones sobre la variable respuesta. El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, presenta un 51,8072% de variabilidad en las Fallas de funcionamiento o que los resultados obtenidos dependen el 51,8072% de los factores planteados.

El estadístico R-cuadrada ajustada es de 9,63855%, lo que determina la varianza de la variable respuesta “fallas de funcionamiento” con respecto a sus tres factores o variables predictoras que tienen influencia directa sobre el valor determinado, en el caso de estudio el porcentaje es bajo debido a que la combinación de los factores es la que más influye en forma positiva, es decir en crecimiento al valor de las fallas de funcionamiento, además se debe pensar en aumentar más variables predictoras en el modelo por lo que se esperaría que R cuadrado aumentará y el modelo mejor.

El error estándar del estimado en la muestra de la desviación estándar de los residuos es 1,25 que se lo puede determinar cómo bajo porque existen muchos valores de “Fallas de funcionamiento repetidos” por lo tanto el error es pequeño. El error medio absoluto (MAE) es de 0,8125 que se entiende como el valor promedio de los residuos, que en este caso es bajo y puede tener la misma interpretación que el error estándar.

El estadístico de Durbin-Watson (DW) es igual a 2,54 ($P=0,8509$) y prueba que los residuos se encuentran en normalidad y no hay alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo, es decir ningún dato de la variable respuesta depende de otro. Puesto que el valor-P es mayor que 5,0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5,0%.

Tabla 4.7

Análisis de Varianza para Fallas de funcionamiento.

Análisis de Varianza para Fallas de funcionamiento					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Material	1,5625	1	1,5625	1,00	0,3466
B:Penetración	3,0625	1	3,0625	1,96	0,1991
C:Diámetro	0,5625	1	0,5625	0,36	0,5651
AB	5,0625	1	5,0625	3,24	0,1096
AC	3,0625	1	3,0625	1,96	0,1991
BC	0,0625	1	0,0625	0,04	0,8465
ABC	0,0625	1	0,0625	0,04	0,8465
Error total	12,5	8	1,5625		
Total (corr.)	25,9375	15			

R-cuadrada = 51,8072 por ciento

Nota: En la Tabla, se observa los valores-P de los efectos de los factores y sus combinaciones.

Tabla 4.8

Nivel de significancia de los factores.

FACTOR	HIPÓTESIS	COMPARACIÓN CON NIVEL DE SIGNIFICANCIA	OBSERVACIÓN
<u>Factor A:</u> Material	$H_0 : \alpha_i = \alpha_j = 0$ $H_1 : \alpha_i \beta_i \neq \alpha_j \beta_j \neq 0$	valor-p> α 0.3466>0.05	Se acepta la hipótesis alterna, el material produce un efecto diferente a los otros factores.
<u>Factor B:</u> Penetración	$H_0 : \beta_i = \beta_j = 0$ $H_1 : \beta_i \neq \beta_j \neq 0$	valor-p> α 0.1991>0.05	Se acepta la hipótesis alterna, la penetración produce un efecto diferente a los otros factores.
<u>Factor C:</u> Diámetro	$H_0 : \gamma_i = \gamma_j = 0$ $H_1 : \gamma_i \neq \gamma_j \neq 0$	valor-p> α 0.5651>0.05	Se acepta la hipótesis alterna, el diámetro produce un efecto diferente a los otros factores.

Nota: La Tabla presenta los resultados del valor-p de cada factor y su interpretación a base de la observación del efecto sobre la variable respuesta considerada como las fallas de funcionamiento.

Tabla 4.9

Nivel de significancia de la combinación de los factores.

FACTOR	HIPÓTESIS	COMPARACIÓN CON NIVEL DE SIGNIFICANCIA	OBSERVACIÓN
<u>Factores AB:</u> M/D	$H_0 : \alpha_i \beta_i = \alpha_j \beta_j = 0$ $H_1 : \alpha_i \beta_i \neq \alpha_j \beta_j \neq 0$	valor- $p > \alpha$ 0.1096 > 0.05	Se acepta la hipótesis alterna, la combinación produce un efecto diferente a las demás.
<u>Factor AC:</u> M/P	$H_0 : \alpha_i \gamma_i = \alpha_j \gamma_j = 0$ $H_1 : \alpha_i \gamma_i \neq \alpha_j \gamma_j \neq 0$	valor- $p > \alpha$ 0.1991 > 0.05	Se acepta la hipótesis alterna, la combinación produce un efecto diferente a las demás.
<u>Factor BC:</u> D/P	$H_0 : \beta_i \gamma_i = \beta_j \gamma_j = 0$ $H_1 : \beta_i \gamma_i \neq \beta_j \gamma_j \neq 0$	valor- $p > \alpha$ 0.8465 > 0.05	Se acepta la hipótesis alterna, la combinación produce un efecto diferente a las demás.
<u>Factor ABC:</u> M/D/P	$H_0 : \alpha_i \beta_i \gamma_i = \alpha_j \beta_j \gamma_j = 0$ $H_1 : \alpha_i \beta_i \gamma_i \neq \alpha_j \beta_j \gamma_j \neq 0$	valor- $p > \alpha$ 0.8465 > 0.05	Se acepta la hipótesis alterna, la combinación produce un efecto diferente a las demás.

Nota: La Tabla presenta los resultados del valor-p de la combinación de los factores y su interpretación a base de la observación del efecto sobre la variable respuesta considerada como las fallas de funcionamiento.

4.1.3. Análisis del costo de la no calidad

4.1.3.1. Costos de la prevención

La empresa cuenta con cinco soldadores y un reprocesador, certificados por cada turno, debido a que la empresa realizó la certificación del personal, para ello es necesario que los soldadores del proceso cuenten con una capacitación teórica-práctica mínima de 40 horas en un Instituto de Formación Técnica, adicionalmente cuenten con la expertiz practica como soldadores juniors en el proceso de soldadura oxigas. Una vez que se cumple con este requisito, es factible que el operador se certifique internamente a cargo de Ing. De Proceso, Ing. De Calidad y Producción, en su puesto de Soldador en soldadura fuerte de plata, y el mismo sea capaz de generar calidad a la primera y sin defectos de fugas en las juntas de soldadura. Por lo tanto, una certificación de un puesto de trabajo como “soldador” para el área de talento humano representa un sueldo considerable de aproximadamente dos sueldos básicos unificados.

Adicional, se tiene previsto en un futuro cercano, que los operadores soldadores puedan obtener una certificación internacional, la cual se basa en la revisión in situ con la empresa

certificadora para observar el método de soldar de cada persona, así como generar probetas para que sean analizadas en laboratorios, la capacitación para la certificación tiene un costo aproximadamente de 250USD.

4.1.3.2. Costo de evaluación

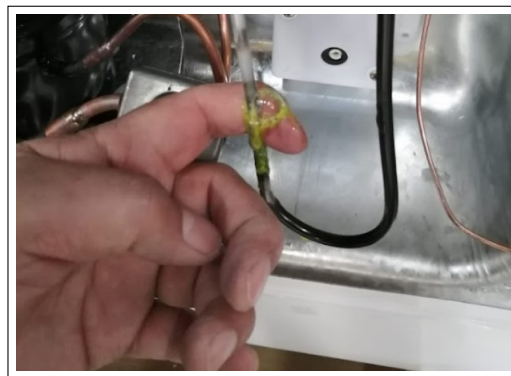
El análisis se lo realiza en base a la información obtenida de Agramkow (2022) e Inficon (2022), donde indican que la empresa mantiene un sistema de control llamado PLIS (Production Line Information System) que realiza dos pruebas de evaluación al artefacto; la primera es una prueba de vacío, donde mediante bombas extrae toda la humedad y realiza un corte del proceso para observar a que el nivel de presión de vacío llega el sistema, determinando como resultado si existe fugas en el sistema. La segunda prueba se realiza a continuación en el laboratorio de pruebas PLIS, donde un inspector de calidad, es el responsable del 100% de la verificación en la estación mediante un detector de fugas Inficon, (ver Figura 4.4) que tiene un sensibilidad tan elevada que puede indicar como fuga la presencia de menos de una millonésima parte de un gramo de gas refrigerante, es por ello que se realizan cambios diarios del filtro en el equipo de detección, así como su mantenimiento preventivo de acuerdo con la carga de producción. Una vez identificada la fuga, con un jabon detector se vuelve nuevamente a verificar si existe dicha fuga como se observa en la Figura 4.4.

Figura 4.4

Pruebas de evaluación de fugas.



a) Prueba con detector de fugas.



b) Prueba de vacío.

Nota: La Figura presenta las pruebas de evaluación de fugas mediante pruebas de vacío y a través de un detector de fugas Inficon.

4.1.3.3. Costo de errores internos

Adicional a los controles descritos, una vez identificada la fuga, la empresa dispone de un operador netamente dedicado a reprocesar el producto en planta, de forma que el equipo por defecto tiene que ser cambiado el filtro, en ciertos casos se agrega una extensión de cañería, un porcentaje de suelda de varilla de plata 30-60, la mano de obra del soldador, y la pérdida de productividad por no calidad a la primera y por ende un segundo ingreso a la línea de producción. La empresa determinó que cada reproceso representa un costo de \$6.50 por artefacto reparado internamente (ver Tabla 4.10).

Como parte del flujo del proceso, cabe mencionar que no es menos importante la inspección que se realiza en la bodega de recepción de materiales, la cual cuenta con dos inspectores de calidad, que revisan bajo el plan de muestreo a la llegada de los condensadores y tubos calentadores, si los mismos llegan sin humedad, llegan limpios los extremos a ser soldados, sin pintura, sin óxido, y cumpliendo con los diámetros indicados en el plano de control, según corresponda; a pesar de ello en el proceso de producción también se reporta hallazgos por parte de los soldadores al momento de ejecutar el proceso, por lo tanto estos materiales son llevados a la bodega de no conforme hasta que se pueda obtener una devolución por producto en buenas condiciones desde el proveedor, lo que representa una pérdida de tiempo que se puede representar en costos no cuantificados en la producción.

En la Tabla 4.10 se observa las fugas del tubo calentador y del condensador desde el mes de julio del año 2020 hasta diciembre del año 2021, la cuarta columna presenta el total de fugas de los meses analizados y el valor por costo de reproceso que ha esta definido por la empresa. La última columna presenta el costo total del reproceso en cada mes de acuerdo al total de fugas, la suma de estos costos es de 2.736,50 dólares.

De acuerdo Bentancourt (2022) identificar hasta dónde puede llegar una empresa en la asimilación de los costos ocultos por los reprocesos, ya que se pueden identificar los costos directos que estos representan en términos de mano de obra, costos de compensación y repuestos si es el caso, pero la pérdida de credibilidad en el mercado, es algo que no se puede cuantificar anticipadamente, sólo el tiempo dará una respuesta de cuáles fueron los reales efectos de este reproceso en términos de ventas.

Tabla 4.10

Costo de no calidad por errores internos.

Mes	Fuga calentador	Fuga condensador	Total Fugas	Costo por reproceso (\$)	Costos de no calidad (\$)
jul-20	9	7	16	6,50	104,00
ago-20	7	19	26	6,50	169,00
sep-20	16	14	20	6,50	130,00
oct-20	22	5	27	6,50	175,50
nov-20	17	9	26	6,50	169,00
dic-20	20	7	27	6,50	175,50
ene-21	24	1	25	6,50	162,50
feb-21	24	2	26	6,50	169,00
mar-21	20	1	21	6,50	136,50
abr-21	31	4	35	6,50	227,50
may-21	14	2	16	6,50	104,00
jun-21	28	6	34	6,50	221,00
jul-21	20	-	20	6,50	130,00
ago-21	15	4	19	6,50	123,50
sep-21	9	-	9	6,50	58,50
oct-21	22	2	24	6,50	156,00
nov-21	27	3	30	6,50	195,00
dic-21	15	5	20	6,50	130,00
				Total	2.736,50

Nota: La Tabla presenta los costos de errores internos presentados en la soldadura.

4.1.3.4. Costo de pérdida de confianza en la marca

Según Trout y Rivkin (1996) para el ser humano solo le es sencillo recordar 7 marcas de una categoría, dentro de las infinitas marcas que puede haber entre productos sustitutos o similares para que una marca pueda posicionarse en el mercado.

Tabla 4.11

Costo por devolución reportados externamente.

Mes	Producción	Daños	Costo por reemplazo de unidad (\$)	Subtotal (\$)
ago-20	17387	0	500	-
sep-20	15887	0	500	-
oct-20	15289	1	500	500,00
nov-20	19726	0	500	-
dic-20	19798	1	500	500,00
ene-21	16688	0	500	-
feb-21	13772	0	500	-
mar-21	18412	0	500	-
abr-21	14442	0	500	-
may-21	12192	0	500	-
jun-21	15346	0	500	-
jul-21	16000	0	500	-
ago-21	16000	1	500	500,00
sep-21	16000	0	500	-
oct-21	16000	1	500	500,00
nov-21	16000	3	500	1.500,00
dic-21	16000	0	500	-
ene-22	16000	0	500	-
feb-22	16000	1	500	500,00
mar-22	16000	2	500	1.000,00
			Total	5.000,00

Nota: La Tabla presenta los costos por devolución del producto hasta los primeros meses del año 2022.

Existen distintos tipos de posicionamientos, entre ellos está el posicionamiento en base al precio y calidad: lo que se ofrezca debe ir acorde a lo que se trasmite de él, por ello la calidad y el precio deben ir de la mano según sus grados, así entenderán los consumidores

que la empresa piensa en ellos con seriedad, en caso contrario la percepción del producto y la marca se verán seriamente comprometidas a la fidelidad del cliente por la no conformidad del producto que puede terminar en un rechazo a la marca y todo lo que rodea al posicionamiento de la misma, por tal motivo el costo de no calidad por la confianza es difícil de estimar con el presente estudio, pero se considera fundamental para la sostenibilidad de la empresa.

Como lo indica Bentancourt (2022) se debe considerar que:

la calidad de las empresas, no solo está relacionada a garantizar la perfección de los productos o servicios; el contenido emocional de los clientes frente a la empresa, lo que podríamos definir como imagen, tiene un alto componente en la percepción de la calidad, donde la suma de todas las experiencias satisfactorias en la relación del cliente con la empresa, van capitalizando esta imagen y defienden la relación a futuro, si llegase a ocurrir algún evento que afecte realmente la calidad y la imagen de la empresa frente al cliente. El ideal es poder controlar los dos aspectos, calidad del producto - servicios y calidad en la relación con los clientes; pero como Toyota, pueden ocurrir eventos que se salen de cualquier modelo de gestión de calidad y es donde las empresas, de cualquier tamaño, pueden salir beneficiadas al haber desarrollado una relación estrecha y satisfactoria con sus clientes y perjudicadas si no han capitalizado adecuadamente esta relación.

Capítulo 5

Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

Conclusión 1:

Se establecieron los parámetros iniciales del proceso de soldadura considerando protocolos estandarizados dentro de la línea de producción como la técnica aplicada por los soldadores y los equipos de soldadura utilizados al igual que los materiales certificados como la soldadura de plata que cumpla con las normas de establecidas de calidad, además de establecer una variabilidad en las dimensiones del diámetro del tubo condensador chino entre $4.4^{\pm 0.1}$ mm y $4.7^{\pm 0.1}$ mm con una composición química variante del 0.001 al 0.005% en el porcentaje de carbono y del 0.04 al 0.15% en el porcentaje de manganeso. Se establecieron los parámetros iniciales garantizando la configuración del proceso y la repetibilidad en la toma de muestras de la planta.

Conclusión 2:

Se propuso en la investigación un diseño experimental 2^k factorial, donde k corresponde al número de dimensiones analizadas en la variable independiente de la investigación “proceso de soldadura” en sus niveles más altos y bajos de aplicación, definidos por el material como el primer factor con sus valores mínimos de composición de 0,001% C, 0,04% Mn y máximos de 0,006% C, 0,15% Mn; como segundo factor la penetración definida como la distancia de abocinado del tubo condensador y que encuentra entre su valor mínimo de 6mm y su máximo de 12mm,

finalmente se determinó como tercer factor el diámetro del tubo condensador con sus dos valores de suministro comprendidos entre 4,4 mm de diámetro mínimo y 4,7 mm como el máximo. La variable dependiente de la investigación “fallas de funcionamiento” es considerada como la variable de respuesta del diseño experimental propuesto y se evaluó en sus tres dimensiones establecidas por los poros, incrustaciones y vacíos analizados en las fotografías microestructurales de las muestras obtenidas. En el diseño factorial se realizó una réplica de las ocho posibles combinaciones con un total de 16 corridas en muestras independientes que se obtuvieron con los mismos protocolos de experimentación que garantizaron su repetibilidad.

Conclusión 3:

En la evaluación de la soldadura fuerte se estableció que el efecto de la distancia de la penetración en el proceso de soldadura es alta con un valor de -0,875 al igual que la interacción del material con el diámetro del tubo, además se evidenció que la interacción de la composición del material del tubo condensador con la distancia de penetración es la que causa un mayor efecto en las fallas de funcionamiento con un valor de -1,125, todo esto demostrado en el planteamiento de las hipótesis estadísticas donde se rechaza la hipótesis nula con un P-valor mayor a 0.05 y se acepta la alternativa donde los factores presentan un diferente efecto sobre la variable respuesta con un nivel de confianza del 95%. El valor de R-cuadrada obtenido corresponde al 51,8072, lo que indica el porcentaje del efecto en las fallas de funcionamiento por parte de las variables o factores planteados. Se estableció el estadístico de Durbin-Watson de 2,54 que indica que los residuos se encuentran en normalidad y que los factores no tienen correlación entre ellos.

5.2. Recomendaciones

Recomendación 1:

Aunque el estadístico de Durbin-Watson sea bajo de 2,54 e indique que los datos de los residuos están bajo normalidad y además de no existir correlación entre los factores junto con un error estándar de 1,25 que se interpreta que no hay una gran dispersión de los datos de entrada, en esta caso las fallas de funcionamiento; se recomienda realizar un estudio 2^3 factorial fraccionario debido a que el valor

R-cuadrado es bajo y se podría mejorar analizando las dimensiones de la variable respuesta establecidas por los poros, incrustaciones y vacíos, determinando que dimensión es la que más afecta o no afecta sobre el resultado de la variable respuesta.

Recomendación 2:

Establecer pruebas de adherencia como ensayos de tracción y desgaste de la soldadura de plata con los tubos calentador y condensador para determinar el efecto en la suelda de plata de la difusión de los átomos de carbono de los dos tubos.

Referencias Bibliográficas

- ABN AutoBodyNOW. (2022). *Twin welding oxigen acetylene hoses*. Descargado de <https://www.amazon.com/-/es/ABN-acetileno-accesorios-soldadura-mangueras/dp/B07F18VZSX?th=1>
- Adelberg, A., Babozzi, F., y Polimeni, R. (2013). *Contabilidad de costos. conceptos y aplicaciones para la toma de decisiones gerenciales*. Editorial Mcgraw-hill. ISBN: 9586001954.
- Agramkow. (2022). *The digital foundation your business needs to improve quality and productivity*. [Disponible en: <https://agramkow.com/products/software/plis-smart-suite>; Accedido el: 14/10/2022].
- Alexander, E., y Amlng, T. (2021). *Troubleshooting leaks: Understanding a leak from a orfs braze sleeve*. Parker. [Disponible en: <https://blog.parker.com/site/usa/en-US/details-homepage/troubleshooting-leaks-understanding-a-leak-from-a-orfs-braze-sleeve-us>; Accedido el: 22/9/2022].
- Alimentos y Calidad SAC. (2022). *Cómo hacer de manera efectiva los reprocesos*. [Disponible en: <https://m.facebook.com/alimentosycalidadSAC/photos/a.1728539654069342/2421408904782410/>; Accedido el: 14/9/2022].
- Alves, J. (2021). *Dimensionamento um trocador de calor auxiliar para um refrigerador doméstico visando o aproveitamento da energia dissipada no condensador*. <https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/3310/6/MONOGRAFIA-DimensionamentoTrocadorCalor.pdf>.
- American Welding Society. (1991). *Brazing handbook*. Committee on Brazing and Soldering. Quinta Edición.
- American Welding Society. (2013). *Manual de inspección de soldadura*. 8669 Doral Blvd, Doral, FL 33166.
- Argenta. (2022). *Argenta tecnología en soldadura*. [Disponible en: <http://soldadura.cl/productos/soldadura>; Accedido el: 20/9/2022].

- Arnabat, I. (2007). *Sistemas de refrigeración aire acondicionado: compresión y absorción*. [Disponible en: <https://www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/aire-instalaciones-componentes/sistemas-de-refrigeracion-compresion-absorcion.html>; Accedido el: 14/10/2022].
- Ashby, M., Hugh, S., y Cebon, D. (2007). *Materiales: ingeniería, ciencia, procesamiento y diseño*. Primera Edición. Butterworth – Heinemann. ISBN 978-0-7506-8391-3.
- ASTM E3-11. (2011). *Standard guide for preparation of metallographic specimens*. [Disponible en: <https://tienda.aenor.com/norma-astm-e3-11-077070>; Accedido el: 8/10/2022].
- ASTM E3-11. (2017). *Standard guide for preparation of metallographic specimens*. ASTM Internacional Helping our world work better. American Society for Metals (ASM) Metals Park.
- ASTM E407-99. (1999). *Standard practice for microetching metals and alloys*.
- AWS QC-1-88. (2022). *Standard for aws certification of welding inspectors*. American Welding Society.
- Barfield, J., Raiborn, C., y Kinney, M. (2004). *Contabilidad de costos: tradición e innovaciones*. Editorial desconocida. ISBN: 9706863583.
- Bentancourt, M. (2022). *Los reprocesos, un costo oculto de calidad ante los ojos del cliente*. Quality Magazine.
- Brown, T., LeMay, E., Bursten, B., y Burdge, J. (2004). *Química de la ciencia*. Atlacomulco 500-5to. Piso Industrial Atoto53519 Naucalpan de Juárez, Edo. de México: Pearson Educación. p. 419.
- Burgos, J. (2013). *Tecnología de la soldadura*. Editorial Pueblo y Educación. ISBN: 959-13-0485-4.
- Callister, W., y Rethwisch, D. (2013). *Ciencia e ingeniería de materiales* (Wiley, Ed.). Introducción. Novena Edición, ISBN-13: 978-1118324578.
- Castro, A., y Gonzáles, S. (2017). *La calidad de los productos y su importancia*. [Disponible en: <https://castroygonzalez.es/blog/la-calidad-de-los-productos-y-su-importancia/?v=3fd6b696867d>; Accedido el: 16/9/2022].
- Centro español de información del cobre. CEDIC. (2022). *Manual de tubo y accesorios de cobre*. AENOR, CEDIC, Deutsches Kupferinstitut (DKI), Gas Natural, IBP Atcosa, LEAF BUSINESS HOLDINGS SPAIN, S.A.
- Chang, R. (2002). *Química*. (7ª edición). Cedro Núm.512 Atlampa. México, D. F.: McGraw-Hill. p. 425. ISBN: 970-10-3894-0.
- Chasi, M., y Ramirez, L. (2021). *Elaboración de un manual sobre la capilaridad de los materiales de aporte usado en soldadura fuerte*. [Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/>

- bitstream/15000/4276/1/CD-3464.pdf; Accedido el: 20/9/2022].
- Cuatrecasas, L. (2022). *La producción. procesos. relación entre productos y procesos* (D. de Santos, Ed.). Diaz Santos. ISBN: 9788499693590.
- Cueto, J. (2015). *Manual de soldadura fuerte*. Ediciones Ceysa. Cano Pina, ISBN: 9788486108687.
- D'Addario, M. (2017). *Manual de soldadura industrial: fundamentos, tipos y aplicaciones*. Createspace, ASIN: B071NL89D9.
- Diplakiz, W. (2019). *¿cómo funciona un refrigerador?* <https://ondasyparticulas.com/2019/08/01/como-funciona-un-refrigerador/>.
- Eagar, T. (2022). *Welding brazing and soldering. energy sources used for fusion welding*. Printed in the United States of America. Massachusetts Institute of Technology. ISBN: 0-87170-377-7(V.1). [Disponible en: <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=The+Art+%26+Science+of+Brazing%2C+por+Harol+Nelson>; Accedido el: 26/9/2022].
- El Telégrafo. (2022). *La producción de línea blanca creció un 72% en cinco años*. [Disponible en: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/1/la-produccion-de-linea-blanca-crecio-un-72-en-cinco-anos>; Accedido el: 14/9/2022].
- El Universo. (2020). *Industria de línea blanca empieza a recuperarse en ventas tras confinamiento por la pandemia*. [Disponible en: <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/07/13/nota/7905210/industria-linea-blanca-ventas-reactivacion-economica-pandemia/>; Accedido el: 14/9/2022].
- Federación de Enseñanza de CC.OO. de Andalucía. (2010). *Procesos de soldadura*. ISSN: 1989-4023 Dep.Leg: GR 2786-2008.
- Ferrer, C., Cembrero, J., Pascual, M., y Pérez, M. (2005). *Ciencia y tecnología de materiales*. Pearson. ISBN: 9788420542492.
- García, M., Quispe, C., y Raez, L. (2020). *Costo de la calidad y la mala calidad* (I. de Investigación de la Facultad de Ingeniería Industrial UNMSM, Ed.). [Disponible en: https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/v05_n1/calidad.htm; Accedido el: 16/9/2022].
- Gasnova. (2022). *Qué es el glp*. [Disponible en: <https://www.gasnova.co/sobre-el-glp/que-es-el-glp/>; Accedido el: 14/10/2022].
- Guamangallo, J., Mendoza, V., y Ricaurte, E. (2012). *Análisis de la soldadura indirecta por horno fb en aceros al carbono*. [Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5429/1/CD-4614.pdf>; Accedido el: 16/9/2022].
- Harris. The Lincoln Electric Company. (2022). *Procedimientos para la soldadura fuer-*

- te de tubos y conductos. [Disponible en: <https://www.harrisproductsgroup.com/es-MX/Resources/Knowledge-Center/Articles/Procedures-for-Brazing-Pipe-and-Tubing>; Accedido el: 26/9/2022].
- Hernández, M., Quero, E., Sánchez, I., Santillán, D., y Trujillo, E. (2020). *Valvula antirretorno (check). circuitos hidráulicos y neumáticos*. David ITTOL.
- Inficon. (2022). *Detectores de fugas*. [Disponible en: <https://www.inficon.com/es/productos/detectores-de-fugas>; Accedido el: 14/10/2022].
- Jara, A. (2018). *Propuestas de mejora del tubo capilar de un refrigerador doméstico para incrementar la eficiencia energética, mediante software especializado*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15740/1/UPS-CT007723.pdf>.
- Jiang, W., Gong, J., y Tu, S. (2011). Effect of brazing temperature on tensile strength and microstructure for a stainless steel plate-fin structure. *Materials & Design*, 32(2), 736-742. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026130691000467X> doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.07.032>
- Lesur, L. (2007). *Manual de soldadura con oxiacetileno (una guía paso a paso)*. Editorial Trillas S.A. ISBN13: 978-9682479083.
- Linares, R. (2022). *Qué es una falla?* [Disponible en: <https://www.valborsoluciones.com/mantenimiento/como-se-clasifican-las-fallas/>; Accedido el: 5/10/2022].
- López, F. (2021). *Diseño factorial 2³*. [Disponible en: https://rpubs.com/fer_12lu/814909; Accedido el: 8/10/2022].
- LucasMilhaupt. (2022). *Metales de aportación*. LucasMilhaupt a steel partners company. [Disponible en: <https://lucasmilhaupt.com/ES/Products/Filler-Metals.htm>; Accedido el: 22/9/2022].
- Marcos, C. (2011). *Manual de prácticas de soldadura* (C. P. S.L., Ed.). Editorial Técnica.
- Metalinspec. (2021). *¿cómo hacer un encapsulado metalográfico en caliente de tus muestras?* [Disponible en: <https://www.blog.metalinspec.com.mx/post/como-hacer-un-encapsulado-metalografico-en-caliente-de-tus-muestras>; Accedido el: 8/10/2022].
- Montgomery, D. (2004). *Diseño y análisis de experimentos* (Vol. 1) (n.º 2). Limusa S. A. de C.V. Grupo Noriega Editores.
- New Jersey Department of Health. (2017). *Hoja informativa sobre sustancias peligrosas. acetileno*. Número CAS: 74-86-2. Número DOT: UN 1001.
- Norouzi Afshar, F., de Wit, J., Terryn, H., y Mol, J. (2012). The effect of brazing process on microstructure evolution and corrosion performance of a modified aa4xxx/aa3xxx brazing sheet. *Corrosion Science*, 58, 242-250. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010938X12000649> doi:

<https://doi.org/10.1016/j.corsci.2012.01.030>

- Philip, R. (2022). *Industrial brazing practice*. CRC Press. ISBN: 978-1466567740.
- Real Academia Española. (2022). *Diccionario de la lengua española*. 23.^a ed., [versión 23.5 en línea: <https://dle.rae.es>].
- Revista Cero Grados. (2013). Montaje de tuberías en sistemas de refrigeración. *Cero Grados*. Descargado de <https://0grados.com/montaje-de-tuberias-en-sistemas-de-refrigeracion/>
- Rodriguez, H. (2022). *Fundamentos de la soldadura fuerte y blanda*. Ingeniería, consultoría y formación. Barriada de la Paz, 6, izda. C.P. 41600 – Arahal (Sevilla) – España. [Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn49.html>; Accedido el: 26/9/2022].
- Rodriguez, P. (2013). *Manual de soldadura oxiacetilénica o por gas*. Librería y Editorial Alsina. ISBN13: 978-9505530960.
- Sae International. (2021). *Product analysis - permissible variations from specified chemical analysis of a heat or cast of steel*. SAE Internatinal (SAE).
- Schwartz, M. (2003). *Brazing*. Brazing Second Edition. ASM Internacional. ISBN: 087170-784-5.
- Silli, G., Jinwi, M., Pyeongtaek, S., y Gyeong, D. (2022). *Fluid carrying system for refrigerator* (SeAHFS, Ed.). [Disponible en: <https://www.seahfs.co.kr/eng/product/product-info-06.jsp>; Accedido el: 16/9/2022].
- Struers Ensuring Certainty. (2022). *Acerca de la inspección de soldadura*. [Disponible en: <https://www.struers.com/es-ES/Knowledge/Weld-inspection#>; Accedido el: 22/9/2022].
- Tecener SA de CV. (2015). *Sistema de aire acondicionado. tutorial para el trabajo de campo*. El Comité Nacional de Productividad e Innovación Tecnológica, A.C. (COMPITE). <http://www.compite.org.mx/>.
- Technologies, A. C. (2022). *Heat pipes - a basic demonstration*. <https://www.1-act.com/heat-pipes-a-basics-demonstration/>.
- Tecmipro. (2018). Consumibles para metalografía [Manual de software informático].
- Terán, H., Andaluz, v., Arteaga, O., y Bonilla, W. (2018). *Procesos metalúrgicos de la soldadura* (D. A. Aguirre, Ed.). Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. ISBN: 978-9942-765-28-4.
- Trejo, E. (2020). *Principios básicos del brazing*. [Disponible en: <https://es.linkedin.com/pulse/principios-b%C3%A1sicos-del-brazing-edgar-trejo>; Accedido el: 20/9/2022].
- Trout, J., y Rivkin, S. (1996). *El nuevo posicionamiento*. Mexico. McGraw [Disponible

en: <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=SIDINA.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mf=001875>; Accedido el: 14/10/2022].

Wikipedia. (2022a). *Capilaridad* — *wikipedia, la enciclopedia libre*. Descargado de <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Capilaridad&oldid=145672860>

Wikipedia. (2022b). *Nanorreductor*. Descargado de <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Ox%C3%ADgeno&oldid=146242596>

Wikipedia. (2022c). *Oxígeno* — *wikipedia, la enciclopedia libre*. Descargado de <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Ox%C3%ADgeno&oldid=146242596>

Wikipedia. (2022d). *Qué son las llamas oxidantes - neutrales - reductoras - definición*. Descargado de <https://material-properties.org/es/que-son-las-llamas-oxidantes-neutrales-reductoras-definicion/>

Wikipedia. (2022e). *Soldadura fuerte* — *wikipedia, la enciclopedia libre*. Descargado de https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Soldadura_fuerte&oldid=146265925

ANEXOS

ANEXO A: Manual de tubo y accesorios de cobre



manual de tubo y accesorios de cobre

.....



CEDIC
Centro Español de Información del Cobre

ANEXO B: Reportes técnicos de análisis químicos

		REMARK :							
SEAH FS CO.,LTD 126 HANAMSANDAN 9BEON-RO, GWANGSAN-GU, GWANGJU 506-258, KOREA ATTN : Ms. GRACE SHIN									
MILL'S TEST CERTIFICATE AND CHEMICAL ANALYSIS REPORT									
CUSTOMER : BRAMHALL & LONSDALE LIMITED DESCRIPTION : SINGLE WALL STEEL TUBE ITEM / SIZE : TSW-SG-N / φ4.20 X 0.5 t QUANTITY : 296,699M KILOS LOT NO. : 201207 R. MATERIALS : SPCC		DATE : 2020-12-11 PO/No. : Invoice No. :							
SPEC. : SFS-C-601 ,KS R 2028		[CHEMICAL COMPOSITION(%)]							
		C	Si	Mn	P	S			
		X100	X100	X100	X1000	X1000			
		15 ↓	-	60 ↓	50 ↓	50 ↓			
		4	TR	18	4	4			
COUNTRY OF ORIGIN: KOREA									
CATEGORY	ITEM	SPEC	X1	X2	X3	X4	X5	Avg.	RESULT
APPEARANCE	NO DEFECT	NO DEFECT	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K
DIMENSION	OUTS. DIA.	φ4.2 -0.08 / +0.08	4.17	4.22	4.18	4.20	4.21	4.20	O.K
	WALL THICK.	0.50 t -0.05 / +0.05	0.51	0.53	0.52	0.51	0.53	0.52	O.K
MECHANICAL PROPERTIES	TENSILE STRENGTH	MIN 30 kgf/mm ²	39.10	38.70	38.90	39.30	39.50	39.10	O.K
	YIELD POINT	MIN 18 kgf/mm ²	30.10	29.80	30.30	30.50	30.80	30.30	O.K
	ELONGATION	MIN 20 %	30.90	31.10	30.60	30.30	30.10	30.60	O.K
	HARDNESS	MAX Hv 150	125.00	120.00	122.00	128.00	132.00	125.40	O.K
PHYSICAL TEST	BENDING TEST	Free from crack (360°, 1.5D) Flattening Rate 15%	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K
	FLARING TEST	No groove & crack after out dia. increased by 20%	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K
	EXPANSION TEST	Free from crack, flaw	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K
	FLATTENING TEST	Free from crack, flaw	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K
	WORKING PRESSURE (BURST PRESSURE)	Press φ4.20 250 kgf / cm ² for 5 minute / 800 kgf / cm ²	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K
COATING TEST	HOT WATER RESISTANCE	Free from blisters, peeling, deformation(40°C, 48Hr)	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K
	HEAT CYCLE TEST	Free from cracks, blisters, peeling (3Cycle)	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K
CORROSION RESISTANCE	RED RUST	240 Hr	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K
COATING THICKNESS	METAL COATING THICKNESS	MIN 3μm Avg 6μm	10.00	10.00	12.00	8.00	8.00	9.60	O.K
RELIABILITY TEST	LEAK TEST	No harmful defect	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K
	E.R.M	Reference of RoHS	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K
	N.D.T (Eddy Current)	No harmful defect	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K
TOTAL RESULT	ACCEPTED	SIGNED :			QUALITY MANAGEMENT TEAM MANAGER				
1 / 1			INSPECT PRINT NO. : 2-20201211-0001						

Este documento fue realizado enteramente en L^AT_EX