



**DISMINUCIÓN DE POROSIDAD EN LOS ENSAMBLES
CC690-15356 PARA AVIONES BOMBARDIER CL690,
USANDO EL PROCESO TIG CON INYECCIÓN DE
ARGÓN**

TESINA

PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN MANUFACTURA
AVANZADA**

PRESENTA

ING. FERNANDO BAUTISTA GONZÁLEZ

ASESOR: DR. GERARDO BARRERA CARDIEL

CD. SAHAGÚN, HIDALGO, OCTUBRE 2018.

CARTA DE LIBERACIÓN DEL ASESOR



11 de Septiembre de 2018

Mtro. Geovany González Carlos
Coordinador Académico

Los abajo firmantes, miembros del Comité Tutorial del alumno **Ing. Fernando Bautista González**, una vez revisada la Tesis o tesina titulada: "**Disminución de porosidad en los ensambles CC690-15356 para aviones Bombardier CL690, usando el proceso TIG con inyección de Argón**", autorizamos que el citado trabajo sea presentado por el alumno para la revisión del mismo con el fin de alcanzar el grado de **Maestro en Manufactura Avanzada** durante el Examen de Titulación correspondiente.

Y para que así conste se firma la presente a los 11 días del mes de Septiembre del año 2018.

Dr. Gerardo Barrera Cardiel

[REDACTED]

Asesor Académico

Grado y nombre completo

CURP

Asesor en Planta

CARTA DE LIBERACIÓN DEL REVISOR



Santiago de Querétaro, Qro.
24 de septiembre del 2018

Dra. María Guadalupe Navarro Rojero
Directora
Posgrado CIATEQ
PRESENTE.

Por medio de la presente me estoy dirigiendo a Ud. de la manera más atenta, de que fui designado como revisor del trabajo de tesis del **Ing. Fernando Bautista González**, del trabajo titulado:

"DISMINUCIÓN DE POROSIDAD EN LOS ENSAMBLES CC690-15356 PARA AVIONES BOMBARDIER CL690, USANDO EL PROCESO TIG CON INYECCIÓN DE ARGÓN"

Después de haber leído, corregido e intercambiado información con el (la) estudiante antes mencionado(a), el trabajo de tesis que me fue entregado y haciendo resaltar que el (la) estudiante realizó todos los cambios que le fueron sugeridos a la tesis, ésta puede ser autorizada para su publicación y que de ésta manera pueda iniciar los trámites correspondientes para iniciar el proceso de titulación.

Sin otro particular por el momento y en espera de que mis sugerencias sean tomadas en cuenta y en beneficio del estudiante y la institución, agradezco la atención que se sirva prestar a la presente,

ATENTAMENTE

Dr. Raúl Pérez Bustamante

RESUMEN

En el trabajo Presente, se desarrolló una propuesta de mejora en el Proceso de Soldadura TIG para aluminio 6061-TO en Los Ensamblés de Ingeniería CC690-15356 modelo -1 y -2 (Leading Edge Skin Transition) para aviones Bombardier modelo CL690 mediante la inyección de Argón.

El propósito de esta mejora es la reducción de Porosidad, ya que en los últimos 4 años se ha incrementado el número de retrabajos para éstos Ensamblés de Ingeniería en BTM Aerospace Tubing BU, lo que genera mayor tiempo de entrega, incremento en el costo de mano de obra y pérdida en el margen de utilidad.

Ya que era una situación nueva para la empresa, la manera de resolver este problema fue, primeramente, mediante la obtención de datos necesarios que se hizo a partir del desarrollo de probetas de soldadura para determinar la relación entre la Inyección de Argón y Porosidad. Estas probetas fueron realizadas por 3 soldadoras diferentes, para tener una mejor comprensión de este proceso.

Una vez analizada y sabiendo esta relación, se aplicó argón mediante una manguera de neopreno al dispositivo de soldadura al mismo tiempo de que los ensamblés de ingeniería estaban siendo soldados.

Finalmente se comprobó que la inyección de gas argón es capaz de eliminar el hidrógeno disuelto en el aluminio líquido, minimizando así el problema de porosidad, y que para los Ensamblés de ingeniería CC690-15356 modelo -1 y -2 (Leading Edge Skin Transition) el tiempo óptimo de inyección es de 1.3 min a razón de 3 LPM.

Palabras clave: **Argón, Porosidad, Soldadura TIG, Ingeniería y Tecnología, Tecnología Metalúrgica, Aluminio.**

ABSTRACT

In the present work, a proposal was developed to improve the TIG Welding Process for 6061-T0 aluminum in Engineering Assemblies CC690-15356 model -1 and -2 (Leading Edge Skin Transition) for Bombardier aircraft model CL690 by injection of Argon.

Since it was a new situation for the company, the way to solve this problem was, firstly, by obtaining necessary data that was made from the development of welding specimens to determine the relationship between Argon Injection and Porosity.

Since it was a new situation for the company, the way to solve this problem was, firstly, by obtaining necessary data that was made from the development of welding specimens to determine the relationship between Argon Injection and Porosity. These specimens were made by 3 different welders, to have a better understanding of this process.

Once analyzed and knowing this relationship, argon was applied by means of a neoprene hose to the welding device at the same time that the engineering assemblies were being welded.

Finally, it was proved that the injection of argon gas is capable of eliminating the dissolved hydrogen in the liquid aluminum, thus minimizing the porosity problem, and that for the engineering assemblies CC690-15356 model -1 and -2 (Leading Edge Skin Transition) The optimal injection time is 1.3 min at a rate of 3 LPM.

Keywords: **Argon, Porosity, TIG Welding, Engineering and Technology, Metallurgical Technology, Aluminum.**

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARTA DE LIBERACIÓN DEL ASESOR	I
CARTA DE LIBERACIÓN DEL REVISOR.....	II
RESUMEN.....	III
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
AGRADECIMIENTOS	XIII
SIGLAS	XIV
NOMENCLATURA Y ABREVIACIONES	XV
GLOSARIO	XVI
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3 JUSTIFICACIÓN	5
1.4 ESTADO DEL ARTE.....	7
1.5 OBJETIVOS	9
1.5.1 Objetivo General	9
1.5.2 Objetivos Específicos	9
1.6 HIPÓTESIS.....	10
CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	11
2.1 ALUMINIO.....	11
2.1.1 Propiedades Químicas.....	11

2.1.2	Propiedades Físicas.....	12
2.1.3	Propiedades Mecánicas	13
2.1.4	Formas de Aluminio	13
2.1.5	Sistemas de designación de aleación y templado	13
2.1.6	Elementos de Aleación.....	13
2.1.7	Designación de Aleaciones Forjadas	13
2.1.8	Designación de Aleaciones Fundidas	14
2.1.9	Designación de Templado.....	14
2.1.10	Tratamiento Térmico después de la Soldadura	16
2.1.11	Pre calentamiento	16
2.1.12	Soldadura TIG.....	17
2.1.13	Gas Protector	17
2.1.14	Electrodos de Tungsteno	18
2.1.15	Porosidad.....	19
CAPÍTULO 3. PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN		20
3.1	DIBUJO DE INGENIERÍA.....	20
3.2	SOLDADURA POR FUSIÓN (BAPS 172-034)	25
3.2.1	Objetivo.....	25
3.2.2	Clasificación de Soldadura de acuerdo a BAPS 172-034.....	25
3.2.3	Documentos de Bombardier Aerospace	25
3.3	CLASIFICACIÓN DE LÍQUIDOS PENETRANTES DE ACUERDO A BAPS 176-002 26	
3.4	COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MATERIAL BASE.....	26
3.5	SELECCIÓN DEL METAL DE APORTE DE ACUERDO A BAPS 172-034	28
3.6	COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL METAL DE APORTE.....	29
3.7	SELECCIÓN DE GAS DE SOLDADURA DE ACUERDO A BAPS 172-034	30
3.8	COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL argón.....	31
3.9	SELECCIÓN DE ELECTRODO DE TUNGSTENO	31
3.10	COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ELECTRODOS DE TUNGSTENO	32
3.11	CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DEL ALUMINIO DE ACUERDO A BAPS 172-034	32

3.12	RETRABAJOS	34
3.13	DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	35
3.13.1	Discriminación de Variables.....	36
3.14	PROBETAS SOLDADAS MEDIANTE EL PROCESO GTAW	42
3.15	PARÁMETROS DE SOLDADURA.....	42
3.16	DISPOSITIVOS DE SOLDADURA	43
3.17	INYECCIÓN DE ARGÓN	46
CAPÍTULO 4. RESULTADOS		47
4.1	EVALUACIÓN DE LAS PROBETAS POR LÍQUIDOS PENETRANTES	47
4.2	RESULTADOS VISUALES PROBETAS 1 Y 2	48
4.3	RESULTADOS VISUALES PROBETA 3 Y 4	49
4.4	RESULTADOS VISUALES PROBETA 5 Y 6	50
4.5	APLICACIÓN DEL EXPERIMENTO A ENSAMBLES DE INGENIERÍA CC690-15356 MODELO -1 Y -2 (LEADING EDGE SKIN TRANSITION)	53
4.6	COMPARACIÓN DE RESULTADOS EN ENSAMBLES DE INGENIERÍA CC690- 15356 MODELO -1 Y -2 (LEADING EDGE SKIN TRANSITION) CON Y SIN APLICACIÓN DE ARGÓN.....	57
4.7	EVALUACIÓN DEL AHORRO ECONÓMICO EN LA IMPLEMENTACIÓN de MEJORA EN EL PROCESO DE SOLDADURA	60
4.8	EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE MEJORA EN EL PROCESO DE SOLDADURA.....	62
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES		63
APORTACIÓN DE LA TESINA		65
BIBLIOGRAFÍA		66
ANEXO 1. CERTIFICADO DE CALIDAD ALEACIÓN ALUMINIO 6061-O		67
ANEXO 2. CERTIFICADO DE CALIDAD MATERIAL DE APORTE AWS A5.10 ER 4043.....		69

ANEXO 3. CERTIFICADO CALIDAD PARA ARGÓN	70
ANEXO 4. CERTIFICADO CALIDAD DEL TUNGSTENO.....	72
ANEXO 5. WPS.....	74
ANEXO 6. DIBUJO DE DISPOSITIVO DE SOLDADURA	75
ANEXO 7. DIBUJO DE DISPOSITIVO DE SOLDADURA CON TUBO LATERAL PARA INYECCIÓN DE ARGÓN	76
ANEXO 8. DIBUJO DETALLADO DE PIEZAS	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1(a) Sección A-A (b) Vista Frontal Ensamble Ingeniería CC690-15356 modelo 1 y 2 (c) Sección B-B	21
Figura 3.2 (a) Vista superior Derecha (b) Vista Frontal Derecha (c) Vista Inferior Derecha	21
Figura 3.3 (a) Lista de Materiales (b) Cuadro de Referencia.....	23
Figura 3.4 Notas Generales.....	24
Figura 3.5 Placas Aluminio 6061-O (1.6 x 101.6 x 152.4 mm)	42
Figura 3.6 (a) Diseño y Fabricación de Dispositivo de Soldadura (b) Diseño y Fabricación de Dispositivo de Soldadura con tubo lateral para Inyección de Argón.	44
Figura 3.7 Orificio de 12.7 mm x 12.7 mm x 152.4 mm en Dispositivo de Soldadura con tubo lateral para inyección de Argón.....	45
Figura 4.1(a) Probeta Soldada. (b) Aplicación de Líquidos Penetrantes a Placas Soldadas.....	47
Figura 4.2 (a) Cordón Soldadura Superior Probeta 1. (b) Cordón de Soldadura Inferior Probeta 1.....	48
Figura 4.3 (a) Cordón Soldadura Superior Probeta 2. (b) Cordón de Soldadura Inferior Probeta 2.....	48
Figura 4.4 Cordón Soldadura Superior Probeta 3. (b) Cordón de Soldadura Inferior Probeta 3.....	49
Figura 4.5 Cordón Soldadura Superior Probeta 4. (b) Cordón de Soldadura Inferior Probeta 4.....	49
Figura 4.6 Cordón Soldadura Superior Probeta 5. (b) Cordón de Soldadura Inferior Probeta 5.....	50
Figura 4.7 Cordón Soldadura Superior Probeta 6. (b) Cordón de Soldadura Inferior Probeta 6.....	50
Figura 4.8 Medición con patrón de Porosidad en las Probetas de Soldadura	51
Figura 4.9 Modelo en 3D del Dispositivo de Soldadura con orificio de 12.7 mm de diámetro para que fluya el Argón.	54
Figura 4.10 Punteado del ensamble de ingeniería CC690-15356 modelo -1 y -2 (Leading Edge Skin Transition).....	55

Figura 4.11 (a) Suministro de Argón. (b) Manguera que suministra Argón al dispositivo de Soldadura.....	55
Figura 4.12 Aplicación de Soldadura a Ensamblés de Ingeniería CC690-15356 modelo -1 y -2 con inyección de Argón a razón de 3 LPM.....	56
Figura 4.13 Ensamblés de Ingeniería CC690-15356 modelo -1 y -2 (Leading Edge Skin Transition) SIN aplicación de Argón. (a y b) LPI parte superior e inferior. (c y d) Indicaciones de poros.....	58
Figura 4.14 1 Ensamblés de Ingeniería CC690-15356 modelo -1 y -2 (Leading Edge Skin Transition) CON aplicación de Argón (a y b) LPI parte superior e inferior. (c y d) Indicaciones de poros.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 NCR's generados para el Ensamble de Ingeniería CC690-15356-1 desde el año 2013 al año 2016	2
Tabla 1.2 NCR's generados para el ensamble de Ingeniería CC690-15356-2 desde el año 2013 al año 2016.	3
Tabla 2.1 Sistema de Designación para Aleaciones de Aluminio Forjado (7)	14
Tabla 2.2 Sistema de Designación para Aleaciones de Aluminio Fundido (7)	14
Tabla 2.3 Subdivisiones del Templado 'T': Tratado Térmicamente (8)	16
Tabla 2.4 Clasificaciones actuales de Electrodo de Tungsteno para Soldadura CA-TIG. (7)	18
Tabla 3.1 Significado de las Principales Leyendas de las Figuras.	22
Tabla 3.2 Porcentaje en Peso de la Composición Química Aleación Aluminio 6061-O de acuerdo a AMS 4025 Rev. M.	27
Tabla 3.3 Selección del Metal de Aporte de acuerdo a BAPS 172-034	28
Tabla 3.4 Porcentaje de la Composición Química del metal de aporte de acuerdo a AWS A5.10/A5.10M:2012.	29
Tabla 3.5 Gases de Soldadura de acuerdo a BAPS 172-034.	30
Tabla 3.6 Límites para Argón de acuerdo a MIL-PRF-27415C.	31
Tabla 3.7 Composición Química para Electrodo de Tungsteno AWS A5.12M/A5.12:2009	32
Tabla 3.8 Criterios de Aceptación para Aluminio Clase B (BAPS 172-034).	33
Tabla 3.9 Número de Retrabajos de acuerdo a BAPS 172-034.	34
Tabla 3.10 Piezas Soldadora 1 (Variable Humedad).	37
Tabla 3.11 Piezas Soldadora 2 (Variable Humedad).	37
Tabla 3.12 Piezas soldadora 3 (Variable Humedad).	37
Tabla 3.13 Resultados de Piezas Soldadora 1 (Variable Humedad).	38
Tabla 3.14 Resultados de Piezas Soldadora 2 (Variable Humedad).	38
Tabla 3.15 Resultados de Piezas Soldadora 3 (Variable Humedad).	38
Tabla 3.16 Piezas de Soldadora 1 (Variable Velocidad de Avance).	40
Tabla 3.17 Piezas de Soldadora 2 (Variable Velocidad de Avance).	40
Tabla 3.18 Piezas de Soldadora 3 (Variable Velocidad de Avance).	40
Tabla 3.19 Resultados de Piezas Soldadora 1 (Variable Velocidad de Avance)	41

Tabla 3.20 Resultados de Piezas Soldadora 2 (Variable Velocidad de Avance)	41
Tabla 3.21 Resultados de Piezas Soldadora 3 (Variable Velocidad de Avance)	41
Tabla 3.22 Parámetros de Soldadura.....	43
Tabla 3.23 Probetas de Soldadora 1	46
Tabla 3.24 Probetas de Soldadora 2.....	46
Tabla 3.25 Probetas de Soldadura 3.....	46
Tabla 4.1 Resultados de Probetas de Soldadora 1	52
Tabla 4.2 Resultados de Probetas de Soldadora 2.....	52
Tabla 4.3 Resultados de Probetas de Soldadora 3.....	52
Tabla 4.4 Piezas vendidas Anualmente para Ensamble de Ingeniería CC690-15356-1	60
Tabla 4.5 Piezas vendidas Anualmente para Ensamble de Ingeniería CC690-15356-2	61
Tabla 4.6 Costos de la Implementación de Mejora en el Proceso de soldadura. ..	62

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en especial a:

- Mis padres
- Mi hermana
- A mi Sobrino querido
- A mi excelente maestra y compañera de trabajo Yaneli Lozada.
- Y mi incondicional maestro J. Arimatea

SIGLAS

AMS: Aerospace Material Specification

AS9100: Sistema de Gestión de Calidad –Requerimientos para Organizaciones de la Aviación, Espacial y Defensa.

AWS: American Welding Society

AWS A5.10/A5.10M:2012: (Welding Consumables-Wire electrodes, Wires and Rods for Welding of Aluminum and Aluminum-Alloys –Classification.

AWS A5.12M/A5.12:2009: Specification for Tungsten and Oxide Dispersed Tungsten Electrodes for Arc Welding and Cutting.

BAPS: Bombardier Aerospace Process Specification (Especificaciones de Proceso de Bombardier Aeroespacial)

BAPS-172-034: Soldadura por Fusión

BAPS-176-002: Inspección por Líquidos Penetrantes

BTM Aerospace Tubing BU: Bombardier Transportation México Aerospace Tubing Business Unit

CA: Corriente Alterna

CD: Corriente Directa

GTAW: Gas Tungsten Arc Welding

MIG: Soldadura a gas y arco metálico

MIL-PRF-27415C: Propellant Pressurizing Agent, Argon

TIG: Soldadura de gas inerte con Tungsteno

NCR: Non-Conformance Report (Reporte de No-Conformidad)

NADCAP: National Aerospace & Defense Contractors Accreditation Program

WPS: Welding Procedure Specification (Especificación de Procedimiento de Soldadura)

ZAC: Zona Afectada por el Calor

NOMENCLATURA Y ABREVIACIONES

A: Amperios

°C: Grados Centígrados

K: Kelvin

LPM: Litros por minuto

MEK. Metil Etíl Ketona

m: metros

min: minutos

mm: milímetros

N: Newton

nm: nanómetros

OPP: Opposite (opuesto)

ppm: partículas por millón

Rev: Revision

SHN: Shown (mostrado)

USD: Dólar Americano

W: Watios

GLOSARIO

Aleación. Una sustancia con propiedades metálicas y compuestas de 2 o más elementos químicos de los cuales al menos uno es metal.

Aleaciones forjadas. Aleaciones que son conformadas por deformación plástica, que puede realizarse en caliente o en frío y en el que la deformación del material se produce por la aplicación de fuerzas de compresión. (Forja, laminación y extrusión).

Aleaciones fundidas. Aleaciones que son formadas por vertido o inyección de metal fundido en un molde. El metal se enfría y solidifica tomando la forma de la cavidad del molde.

Argón. Es un gas noble incoloro, inodoro y químicamente inerte.

Baño de Fusión: La acción calorífica del arco provoca la fusión del material, donde parte de este se mezcla con el material de aportación del electrodo, provocando la soldadura de las piezas una vez solidificado.

Cliente. Persona u Organización que estableció la misión o los requisitos de diseño de un producto y proporciona alguna forma de compensación por la entrega del producto. Este producto puede ser un diseño de ingeniería, una estructura, un sistema o una soldadura.

Coalescencia. 2 piezas de metal se unen para formar una.

Defecto. Una discontinuidad o discontinuidades que, por naturaleza o efecto acumulado, una parte o producto no puede cumplir con las normas o especificaciones mínimas de aceptación aplicables.

Discontinuidad. La interrupción de la estructura típica de un material, como la falta de homogeneidad en sus características mecánicas, metalúrgicas o físicas.

Ductilidad. Capacidad que presentan los materiales para deformarse plásticamente sin fracturarse.

Electrodo. Varillas metálicas preparadas para servir como polo del circuito; en su extremo se genera el arco eléctrico. En algunos casos sirven como material fundente.

Electrodo de Tungsteno. Un electrodo de metal de no-relleno utilizado en soldadura por arco, corte por arco, y pulverización por plasma hecho principalmente de tungsteno.

Endurecimiento por deformación. Método de incrementar la resistencia de un metal por trabajo en frío.

Fundente. Material que se utiliza para impedir o evitar la formación de óxidos y otras sustancias indeseables en el metal fundido y en las superficies del metal sólido y/o para disolver o facilitar la eliminación de las impurezas producidas durante el proceso de soldadura.

Fusión. La fusión del metal de aporte y el metal base, o el metal base solamente para producir la unión de soldadura.

Gas inerte. Un gas que no reacciona químicamente con otras sustancias o materiales.

Hidrógeno. Es un gas incoloro, inodoro y muy reactivo que se halla en todos los componentes de materia viva y en muchos minerales, siendo el elemento más abundante en el universo.

Inclusión. Partículas metálicas o no metálicas insolubles atrapadas en el metal.

Inclusión de tungsteno. Una discontinuidad que consiste en tungsteno atrapado en el metal de soldadura.

Metal. Una sustancia química elemental, buen conductor de calor y electricidad, usualmente maleable, dúctil y más denso que otras sustancias elementales.

Metal base. Metal o aleación que va a ser soldado.

Metal de aporte. Metal o aleación de aporte para hacer una unión soldada.

Piezas Soldadas Defectuosas. Aquellas que NO cumplen con los requerimientos de calidad establecidos.

Porosidad. Discontinuidades tipo cavidad o poros formados por el aprisionamiento de gas durante la solidificación del metal de soldadura fundido.

Solubilidad. Capacidad que tiene cierta sustancia para disolverse en otra y formar un sistema homogéneo. Cantidad de metal que tiene otro metal cuando se calientan a una temperatura elevada por debajo del punto de fusión.

Recocido. Tratamiento térmico para devolver un metal a su estado más suave, más dúctil y de menor resistencia. Las aleaciones no-tratadas térmicamente pueden ser recocidas por un breve intervalo de temperatura de (345°C), pero las tratadas térmicamente requieren de 2 a 3 horas en una temperatura típica de (415°C) seguida de una refrigeración lenta de (260°C).

Retrabajo. Acción de volver a realizar todo o la mayor parte del trabajo debido a una falla en el proceso.

Soldabilidad. Capacidad que tiene un metal o aleación para formar uniones soldadas.

Soldadura. Proceso de fabricación en el cual se unen 2 metales distintos, normalmente metales. Esto se logra a través de la coalescencia de varios metales en un cuerpo único, de tal manera que las piezas son soldadas fundiendo los metales y agregando un material de aporte fundido, el cual posee un punto de fusión menor al de la pieza a soldar.

Tratamiento térmico.

Conjunto de operaciones de calentamiento y enfriamiento, bajo condiciones controladas de temperatura, tiempo de permanencia, velocidad, presión, de los metales o aleaciones en estado sólido, con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas, especialmente dureza y elasticidad. Las temperaturas para tratamiento térmico son típicamente alrededor de (530°C).

Tungsteno. Es un metal pesado, con el punto de fusión más alto de todos los metales (3410°C). Tiene un tercio de la conductividad eléctrica del cobre.

Su combinación de propiedades los convierte en una elección de manera natural de los materiales de electrodo para la soldadura TIG.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

La industria manufacturera de partes y componentes aeronáuticos mexicanos continúa creciendo a un ritmo saludable en los últimos años.

Durante los últimos 10 años, este sector en México ha logrado un crecimiento anual promedio de dos dígitos en las exportaciones para alcanzar los 7.2 billones en 2016. La fuerza de trabajo competitiva y madura y el tipo de cambio favorable son incentivos importantes para que los fabricantes extranjeros envíen más trabajo a México

Con base en los nuevos proyectos de expansión de la industria en desarrollo, el horizonte de pronóstico considera un crecimiento promedio anual de 13% durante el 2016-2020 para alcanzar las exportaciones anuales de \$ 12 mil millones al final de la década.

Según el Financial Times, durante 2011-2015, México ocupó el cuarto lugar en el mundo como destino de inversión extranjera directa en la industria aeroespacial con 51 proyectos, solo detrás de los EE. UU., El Reino Unido y China. [1]

Con más de 29,400 empleados y siendo líder global en el mercado, Bombardier Aerospace, diseña, fabrica, y apoya productos de aviación innovadores para los mercados de negocios, comerciales especializados y anfibios.

BTM Aerospace Tubing BU, es el principal proveedor de tubería para Bombardier Aerospace, su compañía hermana, con una producción de más de 100,000 tubos al año.

BTM Aerospace Tubing BU es una unidad de negocios dedicada al doblado de tubería aeroespacial en aluminio, acero inoxidable y titanio en distintos espesores, así como soldadura de ensamblajes complejos en aluminio.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Hoy en día para poder permanecer en el negocio de manufactura aeroespacial es necesario cubrir con todos los estándares requeridos por la Norma AS9100 a un precio y tiempos de entrega competitivos, para lograr esto; es importante optimizar los procesos, ya que las industrias están siendo cada vez más retadoras con sus precios y calidad en sus productos.

En los últimos 4 años se ha incrementado el número de retrabajos para los Ensamblajes de Ingeniería CC690-15356 modelo -1 y -2 (Leading Edge Skin Transition) en BTM Aerospace Tubing BU, lo que genera mayor tiempo de entrega, incremento en el costo de mano de obra y pérdida en el margen de utilidad.

Con base en la información del número de reportes de calidad no conformes para estos ensamblajes generados, se ha hecho el análisis del principal ofensor en cada uno de ellos, donde se muestra el detalle a continuación:

Para el Ensamble de Ingeniería CC690-15356-1 se han generado un total de 137 NCR's desde el año de 2013 al 2016; en la Tabla 1.1 se muestran las principales causas.

Tabla 1.1 NCR's generados para el Ensamble de Ingeniería CC690-15356-1 desde el año 2013 al año 2016

Ensamble Ingeniería CC690-15356-1	
Causa de Producto NO Conforme	No. de NCR's
SD001/FRACTURAS	4
SD010/ POROSIDAD	132
SD012/INCLUSIÓN DE TUNGSTENO	1
Total	137

En la Fig. 1.1 se observa que la principal causa de Retrabajo con un 96% es la Porosidad.

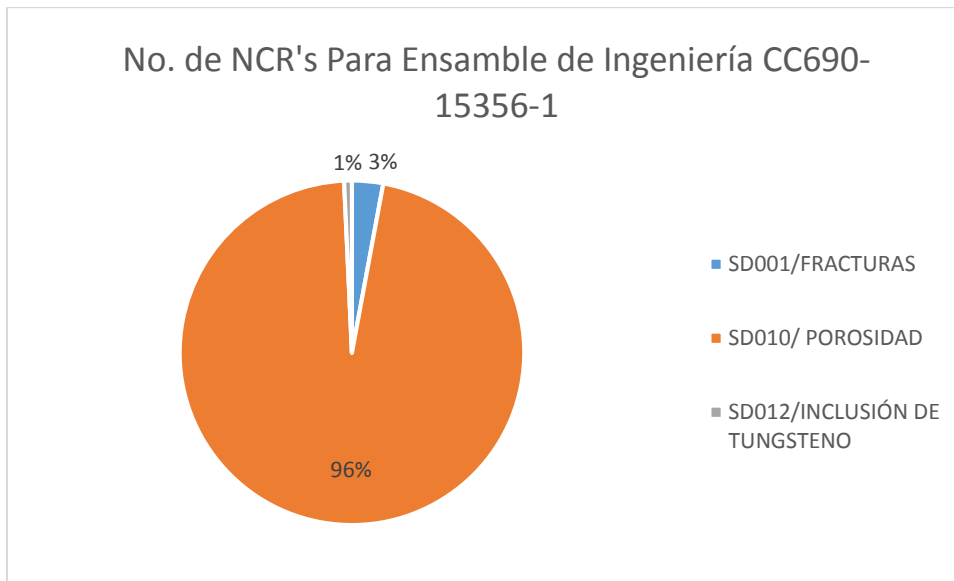


Figura 1.1 Porcentaje de Retrabajo para Ensamble de Ingeniería CC690-15356-1

Por otra parte, para el ensamble de ingeniería CC690-15356-2 se han creado un total de 35 NCR's en el mismo periodo, como se muestra en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 NCR's generados para el ensamble de Ingeniería CC690-15356-2 desde el año 2013 al año 2016.

Ensamble Ingeniería CC690-15356-2	
Causa de Producto NO Conforme	No. de NCR's
SD001/FRACTURAS	2
SD007 RAYAS EN MATERIAL BASE	1
SD010/POROSIDAD	95
Total	98

En la Fig. 1.2 se observa también que la principal causa de Retrabajo para este diseño es la Porosidad con un 97%.

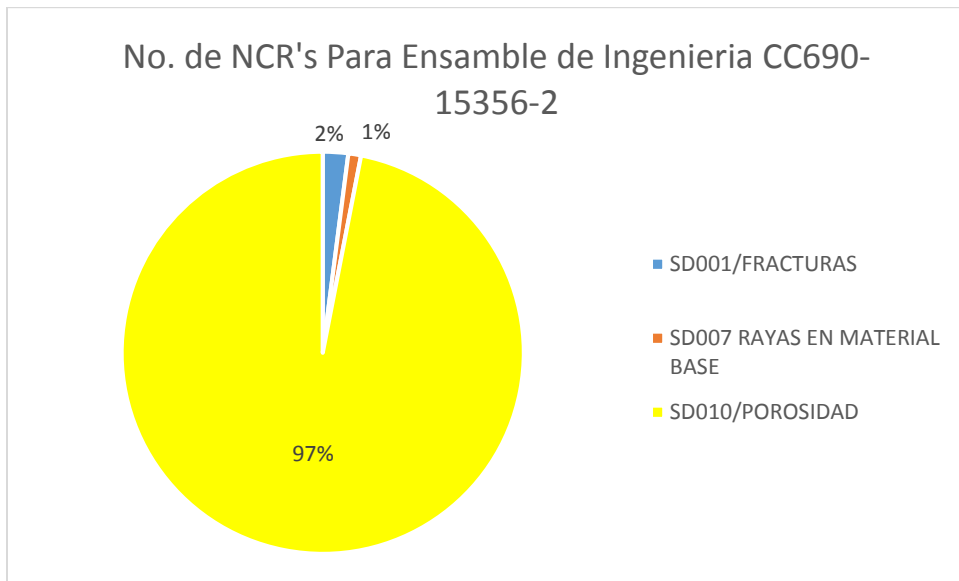


Figura 1.2 Porcentaje de Retrabajo para Ensamble de Ingeniería CC690-15356-2

El problema de porosidad presentado en estos diseños trae como consecuencia un número excesivos de horas de retrabajo.

Al ser rechazadas constantemente por la inspección de líquidos penetrantes, se quitan horas productivas destinadas a la soldadura de otros ensambles.

En el peor de los casos, algunas veces estas piezas ya no pueden ser retrabajadas y tienen que ser desechadas, lo que implica una gran pérdida económica, ya que cada pieza tiene un valor comercial de \$ 900 USD.

La porosidad trae como consecuencia también la disminución de carga de trabajo, ya que, al presentarse, disminuye nuestra capacidad de entrega en tiempo a nuestros clientes.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Consciente de la importancia que representan los Ensamblajes de Ingeniería C690-15356 modelo -1 y -2 (Leading Edge Skin Transition) para BTM Aerospace Tubing BU se está realizando esta investigación, ya que son piezas clave para este negocio. Como se puede ver en la ver en Fig. 1.3, el porcentaje de Retrabajo por Porosidad es superior al número de ventas realizadas, representando el 110% para el Ensamble de Ingeniería C690-15356-1 y 71% en el Ensamble de Ingeniería C690-15356-2 mostrado en la Fig. 1.4 en el año 2015. Cabe mencionar que este problema se presenta a partir del año 2014, que es cuando la empresa fue certificada por primera vez en AC7110 Rev E- Nadcap audit criteria for Welding/Brazing.

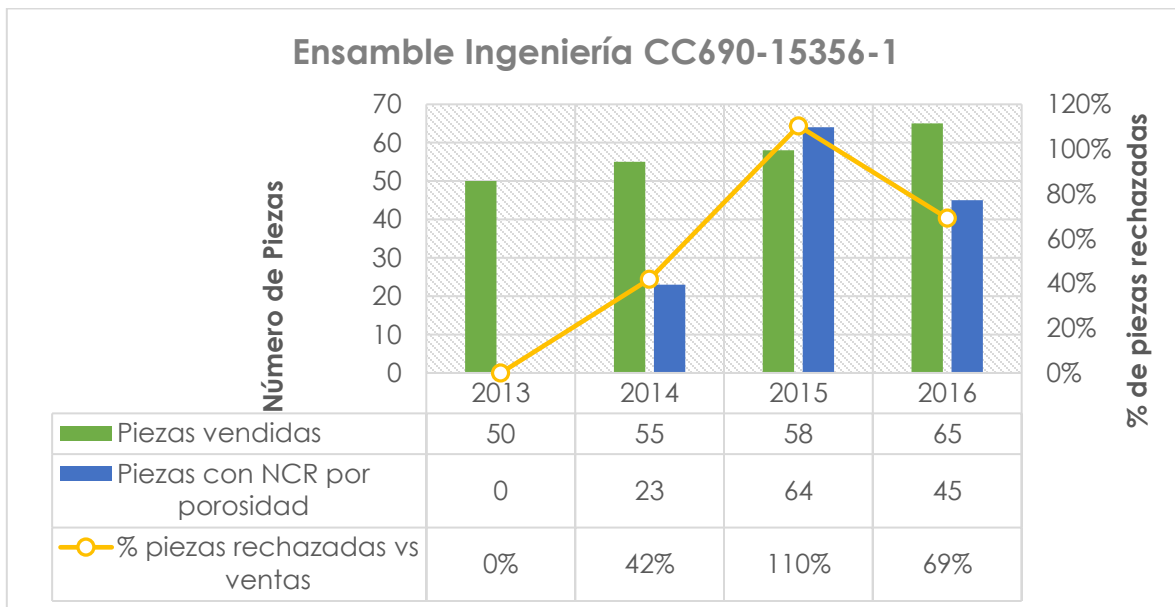


Figura 1.3 Piezas Vendidas Vs Piezas Rechazadas anualmente para el Ensamble de Ingeniería CC690-15356-1.

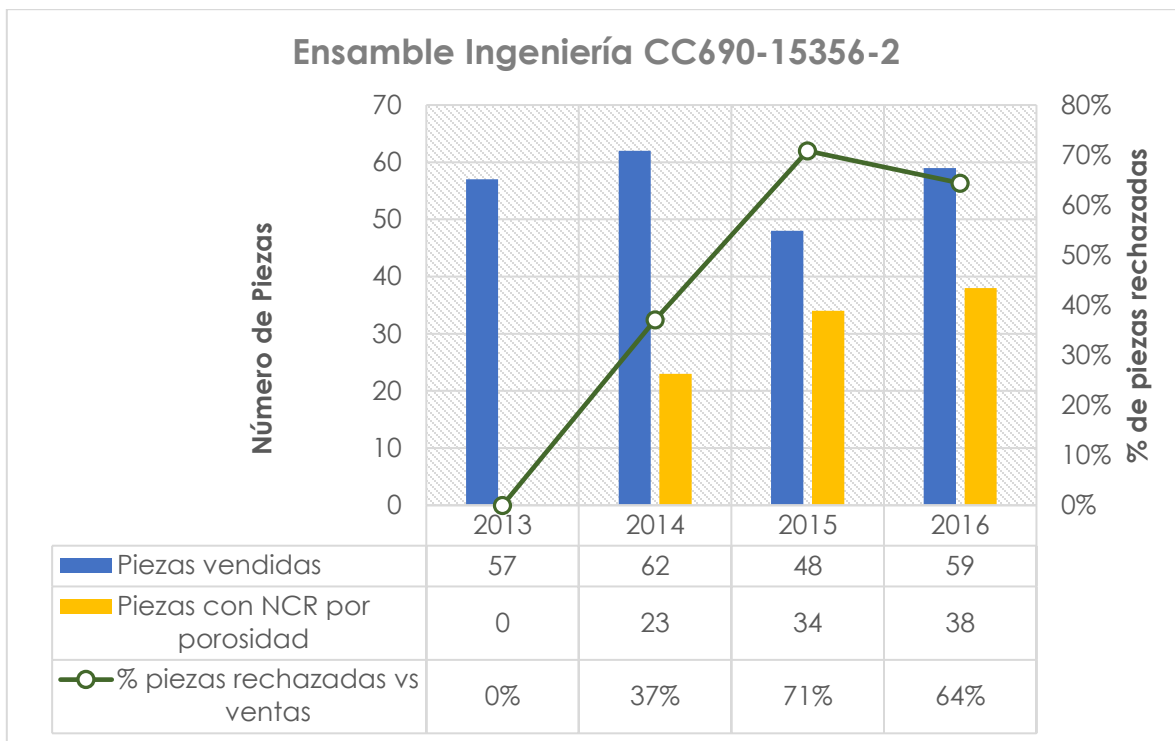


Figura 1.4 Piezas Vendidas VS Piezas Rechazadas anualmente para el Ensamble de Ingeniería CC690-15356-2

Reduciendo el problema de poros en este tipo de soldadura, además de mejorar nuestro proceso, el principal beneficiario será BTM Aerospace Tubing BU, ya que podría traer más carga de trabajo con esta clase de soldadura, asimismo del gran interés por mejorar dicho proceso para la gran carga de trabajo que se tiene para el año 2019 y 2020.

1.4 ESTADO DEL ARTE

El Aluminio en estado líquido tiene una tendencia muy fuerte a absorber gas hidrogeno del medio ambiente. La fuente más común de contaminación por hidrogeno es la humedad del aire, la cual al entrar en contacto con la superficie caliente del metal fundido reacciona produciendo oxido de aluminio e hidrogeno. El hidrogeno resultante es absorbido fácilmente por el metal caliente manteniéndose en solución mientras el aluminio se encuentra en la fase líquida. Cuando el metal pasa al estado sólido, la solubilidad del hidrógeno disminuye significativamente por lo que esta tiende a formar pequeñas burbujas o poros en el interior de la pieza de aluminio, deteriorando sus propiedades mecánicas y disminuyendo por tanto la calidad del material. [2]

Según Michael Walters [3], ingeniero en Messer Group, la formación de poros en la soldadura de aluminio se suele considerar algo inevitable y se suele incurrir en el error de aceptar un contenido excesivo de poros o descartar por completo la posibilidad de reducirlos porque es imposible soldar aluminio sin que se formen poros.

Las estrictas regulaciones en los niveles de contaminación, así como incrementos en las demandas de calidad han obligado a investigar nuevos métodos de desgasificación.

Los desgasificantes tradicionales (cloro, hexacloroetano y diclorodifluorometano (Freon 12)), tienden a ser sustituidos debido a su alta emisión de contaminantes, impulsando el desarrollo de nuevos métodos de desgasificación, tales como el uso de gases inertes que tienen una influencia directa en el aumento de calidad de producto y una completa eliminación de los gases contaminantes.

El proceso de desgasificación del aluminio consiste en la inyección de un flujo de gas de arrastre (argón (Ar) o nitrógeno (N₂)) en el aluminio fundido.

El mecanismo de desgasificación consiste en la difusión del hidrogeno a las burbujas del gas de arrastre, esto debido a las diferencias de presión parcial de hidrogeno entre el gas de arrastre y el aluminio líquido

El potencial de ionización del argón es más bajo que el de helio, entiéndase como potencial de ionización como el voltaje requerido para mover un electrón de un átomo. [4]

Los ingenieros [5] demostraron mediante un pequeño experimento casero que la inyección del gas nitrógeno es capaz de eliminar al hidrogeno disuelto en el aluminio líquido con un tiempo óptimo de desgasificación de 20 segundos.

Para la elaboración de este experimento se tomó como base la información que realizaron estos Ingenieros chinos en el 2013. [6]

Ninguna de las respuestas es muy satisfactoria. Para poder averiguar la relación entre la inyección de un flujo de gas y porosidad es necesario ensayos de carácter más práctico.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General

Optimización del Proceso de Soldadura TIG para la disminución de Porosidad en los Ensamblajes de Ingeniería CC690-15356 modelo 1 y 2 para los aviones Bombardier modelo CL690 manufacturados en BTM Aerospace Tubing BU.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Reducir tiempos de Retrabajo.
- Evitar el desperdicio de piezas productivas por causa de poros en soldadura.
- Evaluar el ahorro económico en la implementación de mejora en proceso de soldadura.

1.6 HIPÓTESIS

La presencia de porosidad en el proceso de soldadura TIG para aluminio 6061-T0 en los Ensamblés de Ingeniería CC690-15356 modelo -1 y -2 (Leading Edge Skin Transition) para los aviones Bombardier modelo CL690 en BTM Aerospace Tubing BU puede ser minimizada mediante la implementación de un método de inyección con Argón a una razón de 3 LPM.

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Para ser competitivo en el mundo industrial moderno una estructura metálica debe ser fácilmente soldable.

Fue el comienzo de un gran avance para el aluminio en el campo estructural cuando, en la década de 1940, se desarrollaron los procesos de soldadura por arco de gas inerte protegido. El aluminio ha llegado a ser un miembro completo de la familia de los metales estructurales. La diferencia ha sido hecha por el desarrollo de la soldadura TIG y MIG. [7]

2.1 ALUMINIO

El aluminio, como otros metales, tiene propiedades únicas que afectan la soldabilidad; estas deben ser entendidas, si se pretende maximizar las técnicas de soldadura en aluminio.

Estas propiedades pueden ser divididas en físicas, químicas y mecánicas.

2.1.1 Propiedades Químicas

- El aluminio es un elemento altamente reactivo.
- Es el elemento más común en la corteza de la tierra.
- Tiene una afinidad química tan fuerte con el oxígeno que se oxida tan pronto como se expone al aire, para formar una película de óxido fino, pero duro y tenaz sobre toda su superficie.
- Si se rompe la película de óxido se reforma inmediatamente, el espesor esencialmente instantáneo es de aproximadamente 1.5 nm.
- Mientras que el óxido es una capa extremadamente fina, es suficiente para proteger el metal contra el ataque más corrosivo y hace que el aluminio sea útil para una amplia gama de aplicaciones. Para la protección adicional o para ciertos otros beneficios, el óxido se puede hacer crecer artificialmente a los grosores mucho más grandes (1000 veces o más) por un proceso llamado anodizado.

- El metal tratado térmicamente también tiene un óxido más grueso. Sin embargo, si el óxido es grueso o delgado debe recordarse que siempre está allí y se debe tener en cuenta cuando se planea soldar aluminio.

El óxido de aluminio tiene algunas propiedades significantes:

- Es muy duro, siendo el material más duro después del diamante.
- Su punto de fusión es de (2052°C), 3 veces el del aluminio.
- Esto significa que, si se trata de soldar el aluminio sin remover el óxido, la fusión del aluminio ocurre antes que la del óxido y la unión de coalescencia no pueda ocurrir.
- El óxido es relativamente estable y químicamente inerte.
- La superficie del óxido de aluminio es bastante porosa, y puede tener humedad o contaminantes que podrían dar como resultado la porosidad de la soldadura.
- Es una buena práctica eliminar el óxido, cepillando el metal antes de ser soldado.
- El hidrogeno es altamente soluble en la fundición del aluminio (es el único gas que es así) y puede ser la causa de porosidades en la soldadura de aluminio cuando las condiciones del metal o de la soldadura no son las correctas.

2.1.2 Propiedades Físicas

- El aluminio es ligero en peso, apropiadamente un tercio del peso del acero.
- Tiene una densidad de 2700 kg/m^3 ó 2.7 gr/cm^3 .
- En su forma pura tiene un punto de fusión de (660°C).
- Su conductividad térmica es de $235 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$.
- Su coeficiente de expansión entre 20°C y 100°C es de 1.85%.
- El aluminio no cambia de color a medida que se calienta.

2.1.3 Propiedades Mecánicas

- El aluminio puro es un metal relativamente débil, pero altamente dúctil.
- Al alearse con otros elementos químicos su resistencia puede aumentarse considerablemente, manteniendo al mismo tiempo nivel de ductilidad de deformarse aceptables.
- Tiene un Módulo de Elasticidad de 6.3 a 7.0 $10^{10} N/m^2$

2.1.4 Formas de Aluminio

Las formas más generales de encontrar el aluminio son 2:

- Aluminios forjados (hojas, placas, barras, alambres, en formas estructurales como ángulos, canales, vigas, y tuberías)
- Aluminios fundidos. Son muy comunes, ya sea por fundición de arena, molde permanente o fundición en coquilla dependiendo de los requisitos del producto.

2.1.5 Sistemas de designación de aleación y templado

Sin embargo, como metal puro, la resistencia del aluminio es demasiado baja para aplicaciones estructurales y la mayoría de este elemento esta aleada para obtener las propiedades deseadas.

Un sistema de designación para la composición de aleación y templado ha sido desarrollado por la Asociación de aluminio y ahora es de uso común en Norte América y en muchos lugares del mundo.

2.1.6 Elementos de Aleación

Los principales elementos de aleación de aluminio son cobre (Cu), Manganeso (Mn), silicio (Si), magnesio (Mg) y zinc (Zn). [7]

2.1.7 Designación de Aleaciones Forjadas

Un número de 4 dígitos es utilizado para designar cada aleación de forja como se muestra en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Sistema de Designación para Aleaciones de Aluminio Forjado [7]

Serie de Aleación	Principal Elemento de Aleación
1 xxxx	Aluminio 99% mínimo y máximo
2 xxxx	Cobre
3 xxxx	Manganeso
4 xxxx	Silicio
5 xxxx	Magnesio
6 xxxx	Magnesio y silicio
7 xxxx	Zinc
8 xxxx	Otros elementos
9 xxxx	Series sin usar

2.1.8 Designación de Aleaciones Fundidas

Un número de 3 dígitos más un punto decimal es utilizado para designar cada aleación de fundición como se muestra en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Sistema de Designación para Aleaciones de Aluminio Fundido [7]

Serie de Aleación	Principal Elemento de Aleación
1 xx.x	Esencialmente aluminio puro
2 xx.x	Cobre
3 xx.x	Silicio más cobre y/o Magnesio
4 xx.x	Silicio
5 xx.x	Magnesio
6 xx.x	Series sin usar
7 xx.x	Zinc
8 xx.x	Estaño
9 xx.x	Otros elementos

2.1.9 Designación de Templado

Algunas aleaciones de aluminio logran su temple mediante endurecimiento por deformación o por tratamiento térmico.

En general para las familias de aluminio forjado 1xxx, 3xxx, 4xxx, y 5xxx son endurecidas por deformación, mientras que para las series 2xxx, 6xxx y 7xxx son tratadas térmicamente. [8]

Las series para fundiciones de aluminio 2xx.x, 3xx.x, 4xx.x y 7xx.x son tratadas térmicamente, mientras que el endurecimiento por deformación generalmente no es aplicado para estas.

La designación básica para los templados es:

- **“F”.** **Como se fabrica.** No se emplean condiciones especiales para el tratamiento térmico o endurecimiento por deformación.
- **“O” recocido.** Aplica a los productos forjados y fundidos que se han calentado para producir la condición de menor resistencia y para mejorar la ductilidad y estabilidad dimensional.
- **“H” endurecimiento por deformación.** Se aplica a los productos forjados que se hacen más fuertes mediante el endurecimiento por deformación a través del trabajo en frío. El endurecimiento por deformación es seguido de un tratamiento térmico suplementario que produce una reducción en la resistencia. La letra H siempre es seguida de 2 o más dígitos.
- **“W” solución tratada térmicamente.** Un templado inestable aplica solamente a las aleaciones que envejecen espontáneamente en una temperatura ambiente después del tratamiento térmico. Esta designación es utilizada solo cuando el periodo de envejecimiento natural es especificado.

El tratamiento térmico implica calentar las aleaciones aproximadamente a (538°C) para hacerlos una solución sólida, seguida de un enfriamiento rápido para conseguir una solución súper saturada a temperatura ambiente.

“T” tratada térmicamente para producir templados estables diferentes a F, O ó H.

Aplica a los productos que han sido sometidos a tratamiento térmico, a veces con endurecimiento por deformación para producir un templado estable. La letra T siempre es seguida por 1 o más dígitos como se muestra en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Subdivisiones del Templado 'T': Tratado Térmicamente [8]

T1 - Envejecido naturalmente después del enfriamiento de un proceso de conformación a temperatura elevada, tal como extrusión.
T2 - Trabajado en frío después del enfriamiento a partir de un proceso de conformación de temperatura elevada y luego envejecido naturalmente.
T3 - Solución tratada térmicamente, trabajo en frío y envejecida naturalmente.
T4 - Solución tratada térmicamente y envejecida naturalmente
T5 - Envejecido artificialmente después del enfriamiento del proceso de conformación de temperatura elevada.
T6 – Solución tratada térmicamente y envejecido artificialmente.
T7 – Solución tratada térmicamente y estabilizado (sobrepasado).
T8 – Solución tratada térmicamente, trabajo en frío y envejecida artificialmente.
T9 – Solución tratada térmicamente, envejecida artificialmente y trabajo en frío.
T10 – Trabajo en frío después del enfriamiento a partir de un proceso de conformación de temperatura elevada y después envejecido artificialmente.

2.1.10 Tratamiento Térmico después de la Soldadura

El tratamiento térmico después de la soldadura se usa comúnmente para incrementar las propiedades de la zona afectada por el calor (ZAC), pero de esta manera resulta que el cordón de soldadura es el componente más débil de la junta, especialmente cuando los refuerzos del cordón han sido removidos.

Esto se corrige utilizando el material de aporte 4043 para soldar las series 6xxx, ya que éste material contiene mayores niveles de magnesio y produce una buena respuesta del cordón de soldadura, después del tratamiento térmico y envejecimiento.

2.1.11 Precalentamiento

Además del uso del calor para eliminar la humedad superficial como se sugiere anteriormente, existen otras aplicaciones.

Puede utilizarse para reducir las fracturas en las piezas de fundición cuando están sometidas a reparaciones de soldadura. También se puede utilizar para equilibrar

la capacidad calorífica de componentes de espesores diferentes para un mejor control de la penetración.

Sin embargo, es importante que aquellos que usan precalentamiento estén conscientes de la posibilidad de dañar las propiedades del aluminio al sobrecalentarlo.

Las aleaciones de aluminio estructurales ganan gran parte de su resistencia y resistencia a la corrosión por el tratamiento térmico o el endurecimiento por deformación durante la fabricación. El diseñador de estructuras soldadas aprovecha estas propiedades mejoradas. Se tiene en cuenta el efecto del calor de soldadura, pero si se aplica el precalentamiento de una manera impredecible durante tiempos relativamente largos, un daño adicional al metal puede ocurrir. Por lo tanto, el precalentamiento sólo se debe utilizar en aluminio como se especifica y siempre debe ser cuidadosamente controlado por la temperatura y el tiempo.

Debido a que el aluminio no cambia de color a medida que se calienta, la temperatura debe monitorearse mediante un termómetro de contacto o pinturas, crayones o etiquetas que indican la temperatura. La aplicación del calor debe distribuirse de manera que no se pueda sobrecalentar un solo lugar.

2.1.12 Soldadura TIG

La soldadura por arco de tungsteno de gas conocida comúnmente como soldadura TIG, es un proceso de soldadura por arco que utiliza un electrodo de tungsteno no consumible con corriente alterna (CA), corriente continua, electrodo-positivo (CC, EP) o corriente continua, electrodo negativo (CC, EN) y gas de protección inerte.

El metal de aporte puede o no ser añadido según lo dicte el tipo de junta y la aleación de base. [7]

2.1.13 Gas Protector

Para la mayoría de la soldadura de aluminio de CA- TIG, el argón puro es el gas de protección preferido, el helio da un arco con más calor, y las mezclas de argón-helio pueden ser útiles en placas o cuando se van a llenar grandes ranuras de soldadura en posición plana. [7]

El helio es más caro que el argón y, debido a su menor densidad, son necesarios mayores caudales de gas. La pureza consistente del gas de protección es esencial. Los grados de los gases de soldadura se suministran a 99,998% de pureza para el argón y 99,995% para el helio y sus puntos de rocío son de (-60 ° C) o menores. Es importante recordar que esta pureza debe mantenerse hasta que el gas llegue al aire. Si el equipo de soldadura tiene fugas, el gas se contaminará. Se debe tener especial cuidado para asegurar que el aire no pueda ser aspirado en los conductos de gas y que no halla fugas de agua si se utiliza un enfriador de antorcha.

2.1.14 Electrodo de Tungsteno

Los electrodos están comúnmente disponibles en tres tipos: tungsteno puro, tungsteno de zirconio y tungsteno de torio. Los electrodos de tungsteno puros o con zirconio son adecuados para la soldadura CA, pero los zirconados tienen una clasificación de corriente ligeramente superior y son algo menos propensos a contaminarse.

La tabla 2.4 muestra los valores actuales para los 2 tipos de electrodos más comunes utilizados en soldaduras de CA.

Tabla 2.4 Clasificaciones actuales de Electrodo de Tungsteno para Soldadura CA-TIG. [7]

Diámetro del Electrodo		Onda Balanceada		Onda No Balanceada	
		Tungsteno puro	Tungsteno zirconio	Tungsteno puro	Tungsteno zirconio
(in)	(mm)	(amps)	(amps)	(amps)	(amps)
0.010	0.3	Arriba 15	Arriba 15	Arriba 15	Arriba 15
0.020	0.5	10-20	5-20	5-15	5-20
0.040	1.0	20-30	20-60	10-60	15-80
1/16	1.6	30-80	60-120	50-100	70-150
3/32	2.4	60-130	100-180	100-160	140-235
1/8	3.2	100-180	160-250	150-210	225-235
5/32	4.0	160-240	200-320	200-275	300-400
3/16	4.8	190-300	290-390	250-350	400-500
1/4	6.3	250-400	340-525	325-450	500-630

2.1.15 Porosidad

La porosidad probablemente causa la mayor preocupación de cualquiera de los defectos de soldadura, a pesar de que al menos que este separada o alineada, generalmente tiene menos efectos sobre la resistencia de la soldadura que otros defectos como grietas, penetración inadecuada y fusión incompleta. Sin embargo, la porosidad se discierne fácilmente en las radiografías y por lo tanto se ha convertido en un defecto altamente regulado.

La porosidad en las soldaduras de aluminio es causada por el gas de hidrogeno atrapado en el metal a medida que se enfría.

Esta resulta de suciedad (principalmente aceite o grasa) o humedad en o cerca de la zona de soldadura durante la soldadura. Para controlar la porosidad de la soldadura, es necesario eliminar estos contaminantes mediante la correcta preparación del metal y el control del procedimiento de soldadura.

Porosidad puede ser clasificada tanto por su tamaño como por su ubicación. Poros pueden ser finos (menores de 1.6 mm), medianos (menores de 3.2 mm) o largos (3.2 mm) y mayores. Puede ser dispersa, agrupada o alineada. La porosidad dispersa tiene el menor efecto sobre las propiedades mecánicas. La porosidad agrupada es generalmente el resultado de condiciones variables de soldadura, y puede o no ser inaceptable, dependiendo de la frecuencia y severidad de las agrupaciones. Porosidad alineada generalmente está relacionada con uno de los otros defectos, como falta de fusión o penetración inadecuada, y rara vez es aceptada.

Una forma de porosidad inusual pero muy grave es algunas veces llamada agujero de gusano. Es el resultado del atrapamiento del gas de hidrogeno en poros largos y elongados en la raíz de un cordón de soldadura penetrado parcialmente. Procesos de soldadura y procedimientos tienen influencia en la cantidad de porosidad en las soldaduras. Cuanto más tiempo permanezca fluido el baño de soldadura, mayor será la oportunidad de que escape el gas hidrogeno.

Por ésta razón las soldaduras TIG generalmente tiene menos porosidad que las soldaduras MIG, y altas corrientes de soldadura con grandes baños de fusión tienden a tener menos porosidad que bajas corrientes de soldadura. [7]

CAPÍTULO 3. PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN

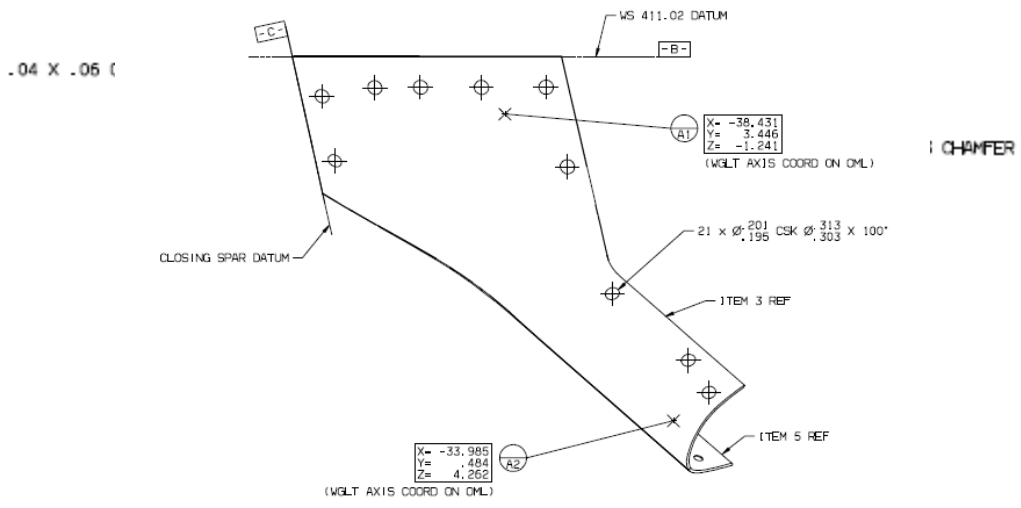
3.1 DIBUJO DE INGENIERÍA

Los ensambles de ingeniería CC690-15356 modelo -1 y -2 (Leading Edge Skin Transition) sobre los que se hace este trabajo son los que se muestran en la Fig. 3.1 y la Fig. 3. 2.

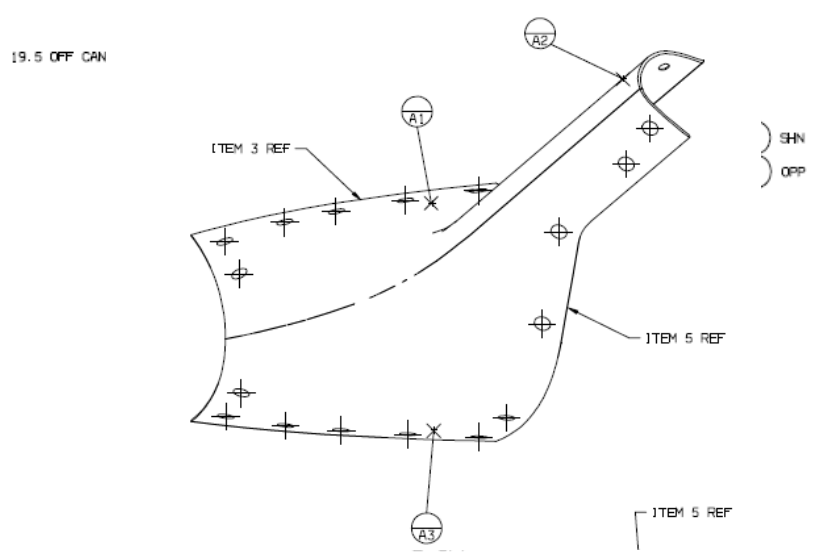
En la tabla 3.1 se muestra el significado de las principales leyendas de las Figuras.

En la Fig. 3.3 se observa la lista de materiales para armar el Ensamble de Ingeniería CC690-15356-1 (Ver flechas en color rojo).

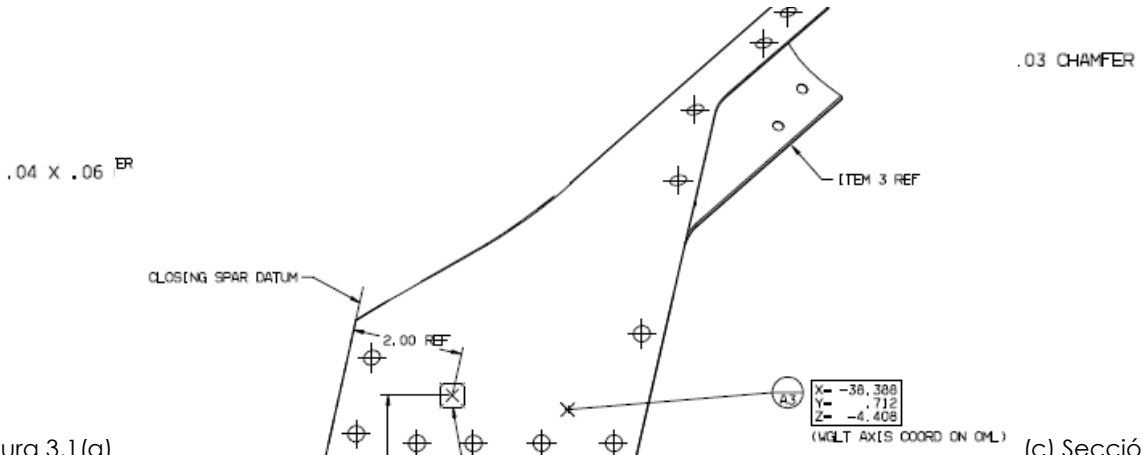
Por último, la Fig. 3.4 se muestran las principales notas que aplican a estos Ensamblados de Ingeniería.



(a)



(b)





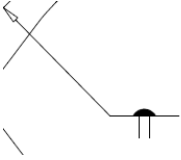
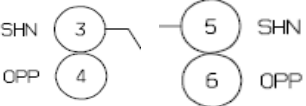
(c)

Figura 3.1(a)

(c) Sección B-B

Figura 3.2 (a) Vista superior Derecha (b) Vista Frontal Derecha (c) Vista Inferior Derecha

Tabla 3.1 Significado de las Principales Leyendas de las Figuras.

	Datum Tarjet (Puntos de sujeción)			
<p>ITEM 3 REF ITEM 5 REF</p>	Pieza 3 y 5 de Referencia			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">X= -38.431 Y= 3.446 Z= -1.241</td> <td style="padding: 2px;">X= -33.985 Y= .484 Z= 4.262</td> <td style="padding: 2px;">X= 38.388 Y= .712 Z= -4.408</td> </tr> </table>	X= -38.431 Y= 3.446 Z= -1.241	X= -33.985 Y= .484 Z= 4.262	X= 38.388 Y= .712 Z= -4.408	Coordenadas de ubicación de los Datum Tarjet Respectivamente (1,2 y 3) Coordenadas en donde se ubican las piezas en el avión.
X= -38.431 Y= 3.446 Z= -1.241	X= -33.985 Y= .484 Z= 4.262	X= 38.388 Y= .712 Z= -4.408		
<p>ASSY -1 SHN -2 OPP</p>	Ensamble 1 (Mostrado) Ensamble 2 (Opuesto)			
	Nota 8 (Lado opuesto o alejado) Nota 11 (Lado cercano) Nota 12 (Lado opuesto o alejado)			
	Símbolo de Soldadura			
	Pieza 3 y 5 (Mostradas) Pieza 4 y 6 (Opuestas) (Ver lista de Materiales)			
<p>19.5 OFF CANTED</p>	19.5° de inclinación			
<p>.03 X .03 CHAMFER</p>	Chaflán 0.76 x 0.76 mm			

BOMBARDIER
AEROSPACE

Bombardier Inc.
400 Cote Vertu Road, West
Dorval, Quebec, Canada H4S 1Y9

DRAWN BY: M. DEGALE	SHEET 1 OF 2	MS CODE CC	PL CC690-15356	REV --
TITLE LEADING EDGE SKIN TRANSITION ASSY				
CAGE CODE 88308		MODEL VERSION: 21 MODEL TYPE: MAST		

QTY REQ'D PER	FIND NO.	ZONE SHEET	CAGE CODE	PART, DASH OR IDENTIFYING NO.	DESCRIPTION	SIZE	MATERIAL SPEC	FNISH CODE	P F C N	N O T E
	1	2A	88308	CC690-15356-1	L/E SKIN TRANSITION ASSY			A001	2	△
	2	2A	88308	CC690-15356-2	L/E SKIN TRANSITION ASSY			A001	2	△
	1	3	5C	88308	CC690-15356-3	AL ALLOY 6061-T62	.063	AMS-QQ-A-250/11		
1		4	5C	88308	CC690-15356-4	AL ALLOY 6061-T62	.063	AMS-QQ-A-250/11		
	1	5	5C	88308	CC690-15356-5	AL ALLOY 6061-T62	.063	AMS-QQ-A-250/11		
1		6	5C	88308	CC690-15356-6	AL ALLOY 6061-T62	.063	AMS-QQ-A-250/11		

(a)

BOMBARDIER AEROSPACE		Bombardier Inc. 400 Cote Vertu Road, West Dorval, Quebec, Canada H4S 1Y9	
LEADING EDGE SKIN TRANSITION ASSY			
DRAWN M. DEGALE		UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS ARE IN INCHES	
L (NEAR TOLERANCES	.XX	± .03	
	.XXX	± .010	
ANGULAR TOLERANCES ± 0° 30'		ALL MACHINE SURFACE 125 ✓	
SEE PL SHEET FOR PARTS LIST AND PL SPECIFIC NOTES		SEE EDIN FOR DRAWING FILE NAME, APPROVALS AND REVISIONS.	
16		1	
SIZES MS CODE		DWG NO.	
E CC		CC690-15356	
CAGE CODE 88308		MODEL VERSION: 21 TYPE: MAST	
SCALE 1/1 AND NOTED		SHEET 1 OF 1	
© 1999 Bombardier inc.			

(b)

Figura 3.3 (a) Lista de Materiales (b) Cuadro de Referencia

NOTES


1. FINISH SPEC PER BAERD BA670/690-001
2. FINISH CODE PER BAERD GEN-004
3. IDENTIFY PER BAPS 144-005
4. DIMENSIONS AND TOLERANCES PER ANSI Y14.5-1982
5. FOR DIMENSIONS NOT SHOWN REFER TO CATIA 3D GEOMETRY
6. STANDARD FABRICATION PER BAPS 188-000
7. TOLERANCE FOR PART CONTOUR $\overline{\curvearrowright} .060 \text{ A B C}$
8. \triangle PERMISSIBLE DOT-PEEN MARKING PER BAPS 144-005 IN AREA SHOWN ON DRAWING.
9. FUSION WELD PER BAPS 172-034 CLASS B EXCEPT NO X-RAY REQUIRED.
10. PENETRANT INSPECTION PER BAPS 176-002 CLASS B.
11. \triangle AFTER HEAT TREAT OUTSIDE OF WELD TO BE GROUND SMOOTH TO MEET THE REQUIREMENTS OF BA670-31572. APPLY FINISH A100.
12. \triangle INSIDE WELD BEAD MAY BE LEFT AS WELDED, EXCEPT FOR AREA SHOWN  TO BE GRIND SMOOTH AT 1.50 L TO $\sqrt{125}$ MAX FINISH. REMAINING MATERIAL THICKNESS TO BE .125/.056, INCLUDING ROOT REINFORCEMENT.
13. STEP CONDITION AT WELD TO BE .000/.010
14. AFTER WELDING HEAT TREAT AND AGE TO T62 CONDITION PER BAPS 168-007
15. FORCE OF 5 LBS/LINEAR FOOT MAY BE APPLIED IN ORDER TO ACHIEVE PART CONTOUR TOLERANCE.
16. \triangle LINEAR & ANGULAR TOLERANCE NOTED IN THIS BLOCK ARE SUPERCEDED BY GENERIC NOTES IN PL
17. PROFILE TOLERANCE FOR OML SURFACE TO BE $\overline{\curvearrowright} .060 \text{ A B C}$
18. ALL DATUM GD&T REQUIREMENTS TO BE MET SIMULTANEOUSLY
19. ALL HOLES POSITIONAL TOLERANCE TO BE $\oplus \begin{matrix} \phi .060 \text{ (M) A B C} \\ \phi .040 \text{ (M) A} \end{matrix}$

Figura 3.4 Notas Generales

3.2 SOLDADURA POR FUSIÓN (BAPS 172-034)

Para este trabajo en especial usaremos como base la BAPS 172-034 (Fusión Welding) como se puede ver en la Nota 9 de la Fig. 3.4.

3.2.1 Objetivo

Esta especificación establece los requisitos para la calificación y el control del proceso para Soldadura por Fusión de aceros al carbón, aceros de baja aleación, aceros resistentes a la corrosión, aleaciones de níquel, aleaciones de aluminio, titanio comercial puro y aleaciones de titanio.

3.2.2 Clasificación de Soldadura de acuerdo a BAPS 172-034

Las clases de soldadura son definidas de la siguiente manera:

Clase A. Una junta soldada en aplicaciones estructurales mayores para las cuales se requiere la mejor calidad de soldadura.

Clase B. Una junta soldada en aplicaciones estructurales para las cuales una alta calidad de soldadura menor a la clase A es tolerada.

Clase C. Una junta soldada en aplicaciones estructurales menores para las cuales una buena calidad de soldadura es adecuada.

Clase D. Una junta soldada en aplicaciones no estructurales para las cuales existen restricciones limitadas en la calidad de la soldadura

3.2.3 Documentos de Bombardier Aerospace

BAPS 168-007	Tratamiento Térmico para Aleaciones de Aluminio
BAPS 176-002	Líquidos Penetrantes
BAPS 176-017	Inspección Radiográfica
BAPS 180-001	Limpieza Alcalina
BAPS 180-007	Desengrase al Vapor
BAPS 180-032	Limpieza Acida y Desoxidación de Aleaciones de Aluminio

BAPS 188-000	Fabricación Estándar de Details
BAERD GEN-004	Códigos de Acabado
BAERD GEN-010	Calificación de Soldadores de Fusión de Aeronaves
BAERD GEN-018	Requisitos de Ingeniería para Laboratorios

3.3 CLASIFICACIÓN DE LÍQUIDOS PENETRANTES DE ACUERDO A BAPS 176-002

El proceso Calificado para esta especificación se clasificará utilizando los siguientes criterios:

Clase A. Una parte crítica utilizada en una estructura mayor, para la cual se requiere la más alta calidad.

Clase B. Una parte crítica utilizada en aplicaciones estructurales, para la cual una calidad menor a la clase A es tolerada.

Clase C. Una parte no-crítica utilizada en aplicaciones estructurales menores, para la cual una calidad menor a la clase B es tolerada.

Clase D. Una parte no-crítica usada en aplicaciones no-estructurales.

3.4 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MATERIAL BASE

La Fig.3.3 (a) muestra que el material base a utilizar es una aleación de aluminio 6060-0 y la especificación de este material es la AMS-QQ-A-250/11.

Actualmente esta especificación ha sido cancelada y sustituida por la AMS 4025 Rev. M (Aleaciones de aluminio Hoja y Placa Recocido)

El porcentaje en peso de la Composición Química de la aleación de aluminio contra la especificación AMS 4025 Rev. M se muestra en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Porcentaje en Peso de la Composición Química Aleación Aluminio 6061-O de acuerdo a AMS 4025 Rev. M.

Elemento	Mínimo	Máximo
Silicio	0.40	0.8
Hierro	--	0.7
Cobre	0.15	0.40
Magnesio	--	0.15
Manganeso	0.8	1.2
Cromo	0.04	0.35
Zinc	--	0.25
Titanio	--	0.15
Otros elementos, cada uno	--	0.05
Otros elementos, total	--	0.15
Aluminio	resto	

El certificado de calidad que cumple contra estos requisitos se puede ver en el Anexo 1.

3.5 SELECCIÓN DEL METAL DE APORTE DE ACUERDO A BAPS 172-034

Para la selección del metal de aporte se ocupa el que pide la BAPS 172-034. En la Tabla 3.3 se observa que para aleaciones de aluminio 6061-0 se utiliza el metal de aporte AWS A5-10 Clase ER 4043.

Tabla 3.3 Selección del Metal de Aporte de acuerdo a BAPS 172-034

	GTAW [3]	
	Varilla de Aporte	Fundente
Aleaciones de Aluminio 1100 y 3003	AWS A5-10 Clase ER 1100	[1]
Aleaciones distintas de 1100 y 3003	AWS A5-10 Clase ER 4043	[1]
Aluminio 6061 y A356/357	AWS A5-10 Clase ER 4043 ó Clase R-A356.O/A357,0	[1]
Aceros al Carbón, Aceros de baja Aleación 4130, 8630 y 8730	AMS 6457 [2]	No requerido
Aceros de baja aleación 4340	AMS 6452 [2]	No requerido
Acero inoxidable 321 y 347	AMS 5680	[1]
Acero inoxidable 17-4 PH	AMS 5825	No debe utilizarse
Acero inoxidable 17-7 PH	AMS 5824	No debe utilizarse
Monel	MIL-E-21562 Tipo MIL-RN60	[1]
Inconel 600	AMS 5679	[1]
Inconel 625	AMS 5679	[1]
N-155 (Multimet)	AMS 5794	No debe utilizarse
Titanio Puro CP-3	AMS 4951	No debe utilizarse
Titanio Puro CP-1 y CP-2	Strips of parent material	No debe utilizarse
Titanio 6A1-4V	AMS 4954	No debe utilizarse
NOTAS:	[1] Fundente no se utiliza generalmente con GTAW, pero podría utilizarse para reducir la oxidación excesiva de la unión. (a) Para aleaciones de aluminio, fundente AMS 3414 debe usarse.	

	(b) Para aceros inoxidables (No se debe de usar en aceros PH), Monel e Inconel, fundente Inco 2 debe usarse.
[2]	(a) Donde cualquier porción de la junta está hecha de acero 4340, varilla AMS 6456 debe ser usada. (b) Donde cualquier porción de la junta está hecha de aceros 4140, 4135, 8740 o 8735 (pero no de acero 4340), varilla AMS 6452 debe ser usada. (c) Para uniones de 4130, 8630, 8730, y aceros al carbón en cualquier combinación, varilla AMS 6457 debe ser usada.
[3]	Electrodos de Tungsteno No-Consumibles deberán cumplir los requisitos de la AWS A5.12 Clase EWTh-X ó EWZr-1.

3.6 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL METAL DE APORTE

En la Tabla 3.4 se puede observar el porcentaje en peso de la Composición Química del metal de aporte de acuerdo a la AWS A5.10/A5.10M:2012.

Tabla 3.4 Porcentaje de la Composición Química del metal de aporte de acuerdo a AWS A5.10/A5.10M:2012.

Composición Química en Porcentaje de Peso [a,b]	
Aluminio-Silicio	
Clasificación AWS	ER4043 R4043
ISO 18273 Numérico	AL 4043
ISO 18273 Químico	ALSi5
Aleaciones de aluminio	
Silicio	4.5-6.0
Hierro	0.8
Cobre	0.30
Manganeso	0.05
Magnesio	0.05
Cromo	--
Zinc	0.10
Galio, Vanadio	--
Titanio	0.20
Circonio	--
Aluminio mínimo	resto
Berilio	0.0003
Otro elementos, cada uno	0.05

Otros elementos, total	0.15
[a]	Los valores individuales que se muestran en la tabla son valores máximos, excepto para el Aluminio.
[b]	Los resultados se redondearán al mismo número de cifras significativas que en los valores especificados utilizando las reglas en acuerdo con ISO 80000-1 ó ASTM E29.

El certificado de calidad que cumple contra estos requisitos se puede ver en el Anexo 2.

3.7 SELECCIÓN DE GAS DE SOLDADURA DE ACUERDO A BAPS 172-034

Para la selección del gas de soldadura se ocupa el que pide la BAPS 172-034. El gas utilizado para este proceso es el Argón con su especificación contra la MIL-PRF-27415 Tipo 1 grado A como se puede ver en la Tabla 3.4.

Tabla 3.5 Gases de Soldadura de acuerdo a BAPS 172-034.

Tipo	Especificaciones	Especificaciones Alternas
Acetileno	BB-A-106 Grado A o B	CGA G-1.1, Grado B,C,D,E,F ó G
Argón	MIL-PRF-27415 Tipo 1 Grado A	CGA G-11.1, Tipo 1 Grado B,C,D,E, ó F
Helio	BB-H-1168 Grado A	CGA G-9.1, Tipo 1 Grado L,M,N,P, ó G
Hidrogeno	BB-H-886 Grado A o B	CGA G-5.3
Oxigeno	BB-0-925 Tipo 1	CGA G-4.3, Tipo 1 Grado B,C,D,E,F ó G
Mezcla de gases	La pureza de los gases en la mezcla deberá ser la especificada por los gases individuales listados arriba.	

3.8 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ARGÓN

En la Tabla 3.6 se puede observar los límites para la composición del gas Argón de acuerdo a especificación MIL-PRF-27415C.

Tabla 3.6 Límites para Argón de acuerdo a MIL-PRF-27415C.

Composición	Grado	
	A	B
Pureza, % por volumen, min	99.998	99.985
Impurezas		
Agua, ppm por volumen, máx.	3.5	23
Punto de rocío °C(°F)	-68(-90)	-54(-65)
Oxígeno, ppm por volumen, máx.	2	50
Hidrogeno, ppm por volumen, máx.	2	50
Nitrógeno, ppm por volumen, máx.	10	50
Total de Hidrocarburos (como metano), ppm por volumen, máx.	0.5	No especificado
Dióxido de carbono, ppm por volumen, máx.	0.5	No especificado

Donde:

Tipo 1: Gaseoso

Grado A: 99.998 % de pureza

1µmol/mol= 1 ppm

El certificado de calidad que cumple contra estos requisitos se puede ver en el Anexo 3.

3.9 SELECCIÓN DE ELECTRODO DE TUNGSTENO

En la Nota 3 de la Tabla 3.3 se observa que los electrodos deberán cumplir los requisitos de la AWS A5.12 Clase EWTh-X ó EWZr-1.

3.10 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ELECTRODOS DE TUNGSTENO

En la Tabla 3.7 se observa la Composición Química de electrodos de tungsteno de acuerdo a AWS A 5.12M/A5.12:2009.

Tabla 3.7 Composición Química para Electrodos de Tungsteno AWS A 5.12M/A5.12:2009

Símbolo de Clasificación (Clasificación ISO 6848)	Requisitos de Composición Química.				
	Adición de Óxido		Porcentaje de masa de las impurezas	Porcentaje de masa del Tungsteno	Código de color. Valor de color RGB y muestra de color [a]
	Oxido principal	Porcentaje de Masa			
EWZr-1 (WZr-3)	ZrO ₂	0.15 a 0.50	0.5 máx.	Equilibrar	Café #A52A2A
NOTA:	La adición intencional de óxidos dopantes que no sean los indicados para una clasificación particular de los electrodos está prohibida.				
[a]	Valores del color RGB y muestras de color pueden ser encontradas en la siguiente dirección: http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/ms531197.aspx				

El certificado de calidad que cumple contra estos requisitos se puede ver en el Anexo 4.

3.11 CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DEL ALUMINIO DE ACUERDO A BAPS 172-034

Los principales criterios de aceptación para el aluminio de acuerdo a la BAPS 172-034 son los que se muestran en la Tabla 3.8, y principalmente nos enfocaremos en la Porosidad Superficial.

Para el estudio de este tema en especial nos basamos en la Nota 9 de la Fig. 3.4 donde nos muestra que el tipo de Soldadura es una Clase B y Rayos X no son requeridos.

En la Tabla 3.8 encontraremos también los valores permitidos que ocuparemos a lo largo de este Capítulo para la Soldadura de Clase B.

Tabla 3.8 Criterios de Aceptación para Aluminio Clase B (BAPS 172-034).

Imperfección (ver notas 1-4)	Clase de soldadura
	B
Porosidad Superficial: Tamaño individual (máx.)	0.53 mm
Tamaño relevante de Porosidad [5]:	Mayor que 0.076 mm
Espacio mínimo:	4 veces el tamaño de la imperfección adyacente más grande
Máxima longitud acumulativa de imperfecciones en cualquier longitud de 3" (76.2 mm) pulgadas de soldadura.	2.10 mm
Porosidad Subsuperficial: Tamaño individual (máx.)	0.078 mm
Tamaño relevante de Porosidad [5]:	Mayor que 0.15 mm
Espacio mínimo:	2 veces el tamaño de la imperfección adyacente más grande
Máxima área acumulada [6]	4 % del área de rayos X
NOTAS:	[1] T=espesor del miembro de la junta en pulgadas. Cuando los miembros de la junta difieran en el espesor T, valores serán basados en el espesor menor del miembro de la junta.

[2]	Una o más imperfecciones adyacentes serán tratadas como una cuando el espacio entre ellas sea menor que la dimensión de la imperfección más pequeña.
[3]	La dimensión de cualquier imperfección será como su dimensión más grande.
[4]	Imperfecciones interconectadas serán consideradas como una sola imperfección.
[5]	Solo la porosidad a la cual su diámetro mayor exceda este valor deberá ser considerada relevante en la evaluación de los criterios de solidez radiográfica.
[6]	$área = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$
[7]	Los límites en las imperfecciones subsuperficiales en una soldadura de clase C son aplicables solo cuando la examinación por radiografía es requerida por el dibujo de ingeniería o la disposición del MRB.
[8]	Para soldaduras de ranura en tubo, los valores necesitan ser ajustados en proporción con la circunferencia del tubo.

3.12 RETRABAJOS

El número de retrabajos permitidos para cada Clase de Soldadura de acuerdo a la BAPS 172-034 se muestra en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9 Número de Retrabajos de acuerdo a BAPS 172-034.

Clase de Soldadura	Número de Retrabajos Permitidos
A	1 [1]
B	2 [1]
C & D	Tantas como sean requeridas para cumplir los requisitos de calidad.
Nota: [1]	Si no se logra una soldadura satisfactoria después del número de retrabajos permitidos, la soldadura debe ser rechazada. Excepción: Las soldaduras que se someterán posteriormente a tratamientos térmicos, pueden ser retrabajadas una vez más.

3.13 DESARROLLO EXPERIMENTAL

Una vez analizada toda la información del Dibujo de Ingeniería y de la BAPS 172-034 se llega a la siguiente conclusión:

- Para las pruebas se utilizarán una aleación de aluminio 6061-O contra la especificación AMS 4025 Rev. M como se muestra en la Tabla 3.2.
- Se ocupará un material de aporte AWS A5-10 Clase ER 4043 de acuerdo a Tabla 3.3.
- El gas utilizado para este proceso es el Argón Tipo 1 Grado A con su especificación MIL-PRF-27415 como se muestra en la Tabla 3.5.
- Se ocupará un Electrodo de Tungsteno Clase EWZr-1 contra los requerimientos de la AWS A5.12 como se muestra en la Tabla 3.3.
- Y lo más importante es que nos enfocaremos en la Porosidad Superficial de acuerdo a Tabla 3.7 y Tabla 3.8.

Para este trabajo se hicieron 6 probetas de aluminio con las mismas condiciones que tendrán los Ensamblajes de Ingeniería CC690-15356 modelo -1 y -2 (Leading Edge Skin Transition).

3 probetas serán soldadas en un dispositivo en condiciones normales, y las 3 probetas restantes serán soldadas en un dispositivo inyectando gas Argón en el cordón de soldadura.

Esto es con la finalidad de analizar cuál es el efecto del argón en las probetas a la hora de ser soldado.

3.13.1 Discriminación de Variables

Previamente a la elaboración de este experimento durante más de un año en el proceso de soldadura se observaron 3 variables importantes que pueden generar porosidad:

- Contaminación de piezas
- Humedad en el medio Ambiente
- Velocidad de avance.

La discriminación de variables para este proceso se hizo de la siguiente manera:

1. Para eliminar la variable de contaminación se cuenta con 3 tipos de limpieza antes de la aplicación de soldadura.
 - Limpieza Acida y Desoxidación de Aleaciones de Aluminio de acuerdo a BAPS 180-032.
 - Limpieza Manual (solvente MEK) de acuerdo a BAPS 180-009
 - Limpieza mecánica con cepillo de acero inoxidable de acuerdo a BAPS 180-009

Es prácticamente imposible soldar sin limpieza previa por lo que no se realizó experimento alguno, es decir siempre se consideró la limpieza en los demás experimentos.

2. Para la variable de Humedad, previamente se aplicó un precalentamiento a 18 ensambles de Ingeniería CC690-15356 modelo -1 y -2 (Leading Edge Skin Transition) con 3 operadoras en diferentes semanas como se muestra en la Tabla 3.10, 3.11 y 3.12 respectivamente.

Tabla 3.10 Piezas Soldadora 1 (Variable Humedad).

Soldadora 1	Yanéli Lozada López
Variable a Controlar	Humedad
Semana 1	Precaentamiento
Pieza 1	23°C
Pieza 2	30°C
Pieza 3	37°C
Pieza 4	44°C
Pieza 5	51°C
Pieza 6	58°C

Tabla 3.11 Piezas Soldadora 2 (Variable Humedad).

Soldadora 2	Jacquelin Gutiérrez Valencia
Variable a Controlar	Humedad
Semana 2	Precaentamiento
Pieza 7	23°C
Pieza 8	30°C
Pieza 9	37°C
Pieza 10	44°C
Pieza 11	51°C
Pieza 12	58°C

Tabla 3.12 Piezas soldadora 3 (Variable Humedad).

Soldadora 3	Dora Luz Corona Ríos
Variable a Controlar	Humedad
Semana 3	Precaentamiento
Pieza 13	23°C
Pieza 14	30°C
Pieza 15	37°C
Pieza 16	44°C
Pieza 17	51°C
Pieza 18	58°C

En la Tabla 3.13, 3.14 y 3.15 se observa que la pieza 1, 7 y 13 son las que presentan menos porosidad, pero siguen sin cumplir el tamaño permitido por la BAPS 172-034, por lo que se observa un cambio **NO** significativo en la porosidad.

Tabla 3.13 Resultados de Piezas Soldadora 1 (Variable Humedad).

Soldadora 1	Yanéli Lozada López		
Pieza	Número de Poros	Poros >0.53 mm	Poros < 0.53 mm
1	4	3	1
2	5	4	1
3	7	6	1
4	5	5	0
5	8	7	1
6	10	8	2

Tabla 3.14 Resultados de Piezas Soldadora 2 (Variable Humedad).

Soldadora 2	Jacquelin Gutiérrez Valencia		
Pieza	Número de Poros	Poros >0.53 mm	Poros < 0.53 mm
7	3	2	1
8	4	3	1
9	2	2	0
10	7	6	1
11	5	4	1
12	5	5	0

Tabla 3.15 Resultados de Piezas Soldadora 3 (Variable Humedad).

Soldadora 3	Dora Luz Corona Ríos		
Pieza	Número de Poros	Poros >0.53 mm	Poros < 0.53 mm
13	4	3	1
14	8	5	3
15	12	6	6
16	4	3	1
17	9	6	3
18	7	7	0

3. Para la variable de Velocidad de avance se soldaron 18 ensambles de Ingeniería CC690-15356 modelo -1 y -2 (Leading Edge Skin Transition) con 3 operadoras en diferentes semanas como se muestra en la Tabla 3.16, 3.17 y 3.18 respectivamente.

En la Tabla 3.19, 3.20 y 3.21 se observa que en las piezas 5, 11, y 17 es donde se presentan menos poros, pero todos están fuera del tamaño permitido por la BAPS 172-034, en todas las demás piezas presentan alto grado de porosidad.

Debido a que nuestro proceso de soldadura es manual y hecho por soldadores mujeres es prácticamente imposible controlar la velocidad de avance, por lo que se observa un cambio **NO** significativo en la porosidad.

Se trataron de ir controlando estas variables, pero el resultado era siempre el mismo. (Porosidad), es por eso que se necesitaba encontrar una solución que eliminar por completo estas variables y fue la Inyección de Argón.

Tabla 3.16 Piezas de Soldadora 1 (Variable Velocidad de Avance).

Soldadora 1	Yanéli Lozada López
Variable a Controlar	Velocidad de avance
Semana 1	Tiempo (min)
Pieza 1	3.3
Pieza 2	3
Pieza 3	2.3
Pieza 4	2
Pieza 5	1.3
Pieza 6	1

Tabla 3.17 Piezas de Soldadora 2 (Variable Velocidad de Avance).

Soldadora 2	Jacquelin Gutiérrez Valencia
Variable a Controlar	Velocidad de avance
Semana 2	Tiempo (min)
Pieza 7	3.3
Pieza 8	3
Pieza 9	2.3
Pieza 10	2
Pieza 11	1.3
Pieza 12	1

Tabla 3.18 Piezas de Soldadora 3 (Variable Velocidad de Avance).

Soldadora 3	Dora Luz Corona Ríos
Variable a Controlar	Velocidad de avance
Semana 3	Tiempo (min)
Pieza 13	3.3
Pieza 14	3
Pieza 15	2.3
Pieza 16	2
Pieza 17	1.3
Pieza 18	1

Tabla 3.19 Resultados de Piezas Soldadora 1 (Variable Velocidad de Avance)

Soldadora 1	Yanéli Lozada López		
Pieza	Número de Poros	Poros >0.53 mm	Poros < 0.53 mm
1	10	8	2
2	5	4	1
3	7	6	1
4	5	4	1
5	4	4	0
6	10	8	2

Tabla 3.20 Resultados de Piezas Soldadora 2 (Variable Velocidad de Avance)

Soldadora 2	Jacquelin Gutiérrez Valencia		
Pieza	Número de Poros	Poros >0.53 mm	Poros < 0.53 mm
7	12	10	2
8	5	4	1
9	7	6	1
10	6	5	1
11	3	3	0
12	10	8	2

Tabla 3.21 Resultados de Piezas Soldadora 3 (Variable Velocidad de Avance)

Soldadora 3	Dora Luz Corona Ríos		
Pieza	Número de Poros	Poros >0.53 mm	Poros < 0.53 mm
13	10	8	2
14	9	7	2
15	7	6	1
16	5	4	1
17	4	4	0
18	10	8	2

3.14 PROBETAS SOLDADAS MEDIANTE EL PROCESO GTAW

El material utilizado es una aleación de aluminio 6061-O, la cual fue provista en forma de placa de (1.6 x 3657.6 x 1219.2 mm).

Posteriormente se cortaron en placas más pequeñas de (1.6 x 101.6 x 152.4 mm) como se puede ver en la Fig. 3.5, para realizar la soldadura mediante el proceso de soldadura de arco eléctrico con electrodo de tungsteno y gas de protección (GTAW).

Se ocupó una máquina de soldar SQUARE WAVE TIG 355 de la marca Lincoln Electric.

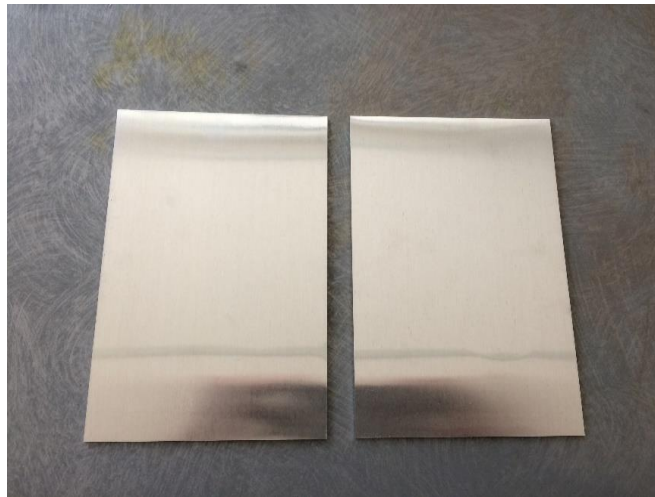


Figura 3.5 Placas Aluminio 6061-O (1.6 x 101.6 x 152.4 mm)

3.15 PARÁMETROS DE SOLDADURA

En la Tabla 3.22 se muestran los principales parámetros de soldadura. Estos parámetros son mostrados a más detalle en el Anexo 5 que es donde se observa el WPS utilizado para las probetas, que es el mismo que se implementó en los ensambles de Ingeniería CC690-15356 modelo -1 y -2 (Leading Edge Skin Transition).

Tabla 3.22 Parámetros de Soldadura.

Parámetros de Soldadura	
Amperaje (A)	96
Corriente y Polaridad	Corriente Alterna
Clasificación y diámetro de tungsteno	EWZR-1 (2.3mm)
Gas y Rango	Argón (18 Lpm)
Material de Aporte y diámetro	ER 4043 (1.5 mm)
Posición de Soldadura	1G
Penetración	CJP

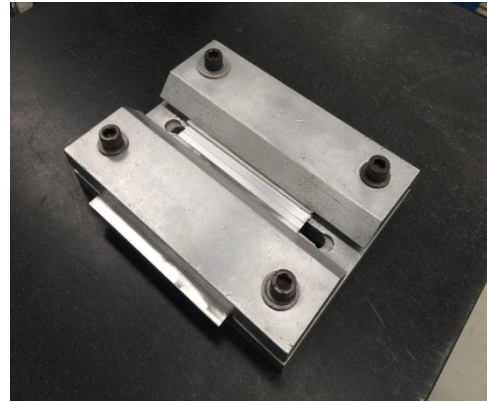
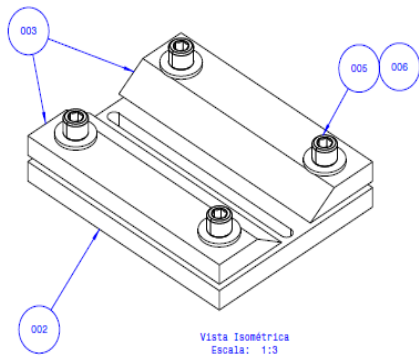
3.16 DISPOSITIVOS DE SOLDADURA

Para realizar el experimento se diseñaron con la ayuda del software de diseño Catia V5 2 dispositivos y se mandaron a fabricar.

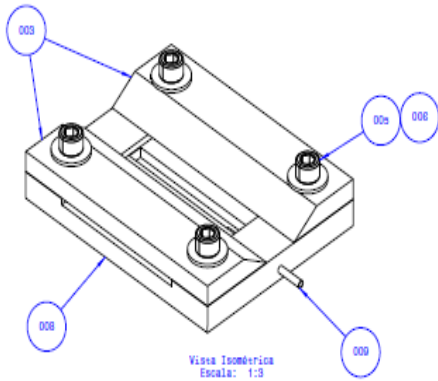
En la Fig. 3.6 (a) y (b) se observan los 2 dispositivos de aluminio que serán utilizados para realizar las pruebas de inyección de Argón. Uno de ellos presenta un tubo lateral adicional en el extremo, que es por donde se inyectara el Argón.

El detalle del diseño de los dispositivos se puede observar en los Anexos 6, 7 y 8.

La principal característica del dispositivo de soldadura con tubo lateral para inyección de Argón como se ve en la Fig. 3.7 (a) y (b) es que se dejó un orificio de 12.7 mm x 12.7 mm x 152.4 mm longitud, que es por donde va a fluir el Argón.

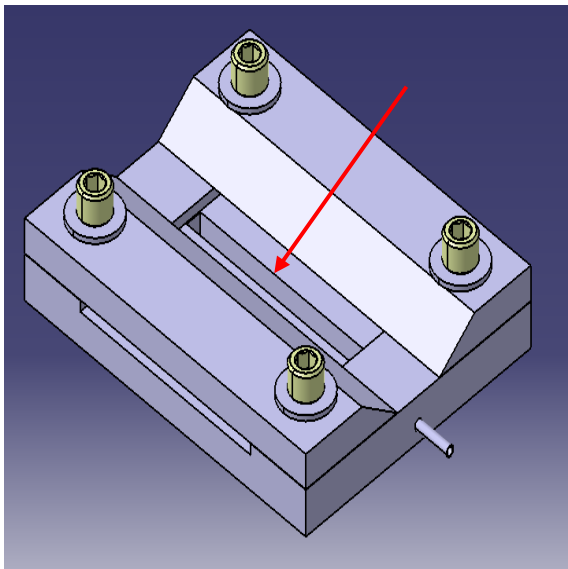


(a)

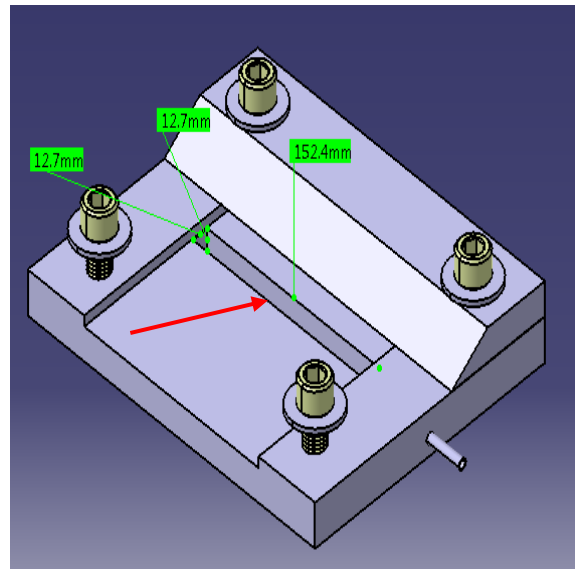


(b)

Figura 3.6 (a) Diseño y Fabricación de Dispositivo de Soldadura (b) Diseño y Fabricación de Dispositivo de Soldadura con tubo lateral para Inyección de Argón.



(a)



(b)

Figura 3.7 Orificio de 12.7 mm x 12.7 mm x 152.4 mm en Dispositivo de Soldadura con tubo lateral para inyección de Argón.

3.17 INYECCIÓN DE ARGÓN

El Argón será inyectado solo en 3 probetas (1,2 y 3) en relación a LPM para cada soldador. (Previamente se hicieron experimentos con otras relaciones de inyección de Argón teniendo resultados negativos)

Este experimento se realizó con 3 Soldadoras diferentes en 3 diferentes periodos de tiempo como se muestran en las Tablas 3.23, 3.24 y 3.25 respectivamente. Para las probetas 4, 5 y 6 se observa que no se aplicó Argón.

Tabla 3.23 Probetas de Soldadora 1.

Soldadora	Yanéli Lozada López	
Semana	1	
Probeta	LPM	Tiempo inyección (min)
1	5	1.3
2	4	1.3
3	3	1.3
4	N/A	N/A
5	N/A	N/A
6	N/A	N/A

Tabla 3.24 Probetas de Soldadora 2.

Soldadora	Jacquelin Gutiérrez Valencia	
Semana	2	
Probeta	LPM	Tiempo inyección (min)
1	5	1.3
2	4	1.3
3	3	1.3
4	N/A	N/A
5	N/A	N/A
6	N/A	N/A

Tabla 3.25 Probetas de Soldadura 3.

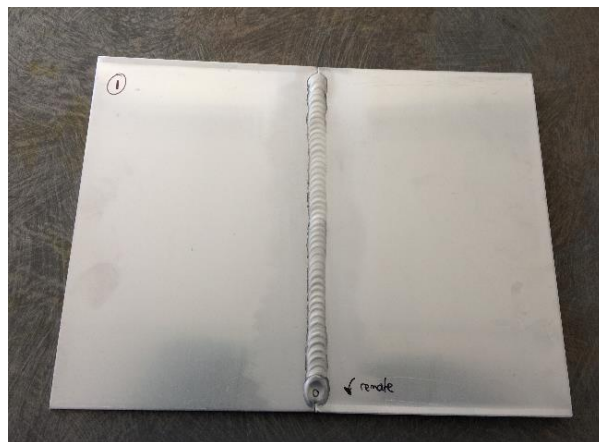
Soldadora	Dora Luz Corona Ríos	
Semana	3	
Probeta	LPM	Tiempo inyección (min)
1	5	1.3
2	4	1.3
3	3	1.3
4	N/A	N/A
5	N/A	N/A
6	N/A	N/A

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

4.1 EVALUACIÓN DE LAS PROBETAS POR LÍQUIDOS PENETRANTES

A partir de las 18 placas soldadas se obtuvieron probetas para el ensayo de evaluación de porosidad por medio de líquidos penetrantes como se observa en las Fig. 4.1.

El objetivo fue evaluar el grado de porosidad en la zona de soldadura. De la Fig. 4.2. a la 4.7 se observan los resultados visuales de las 6 probetas (Se menciona que la tendencia fue similar en las 3 soldadoras y solo se incluyeron las mejores imágenes).



(a)



(b)

Figura 4.1 (a) Probeta Soldada. (b) Aplicación de Líquidos Penetrantes a Placas Soldadas.

4.2 RESULTADOS VISUALES PROBETAS 1 Y 2

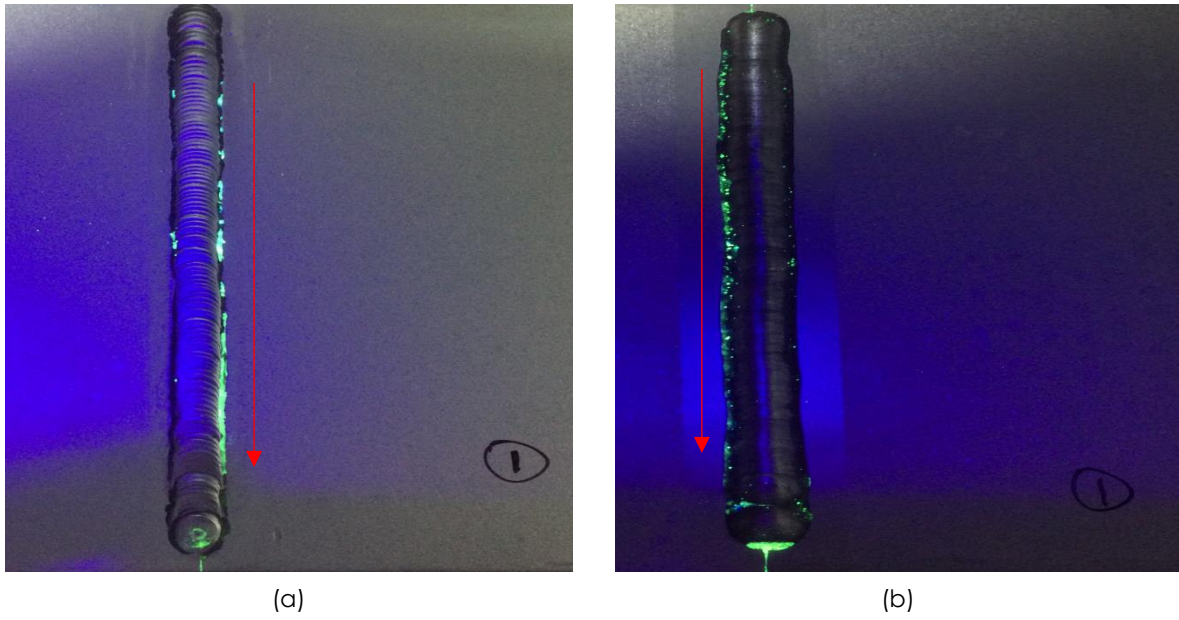


Figura 4.2 (a) Cordón Soldadura Superior Probeta 1. (b) Cordón de Soldadura Inferior Probeta 1.

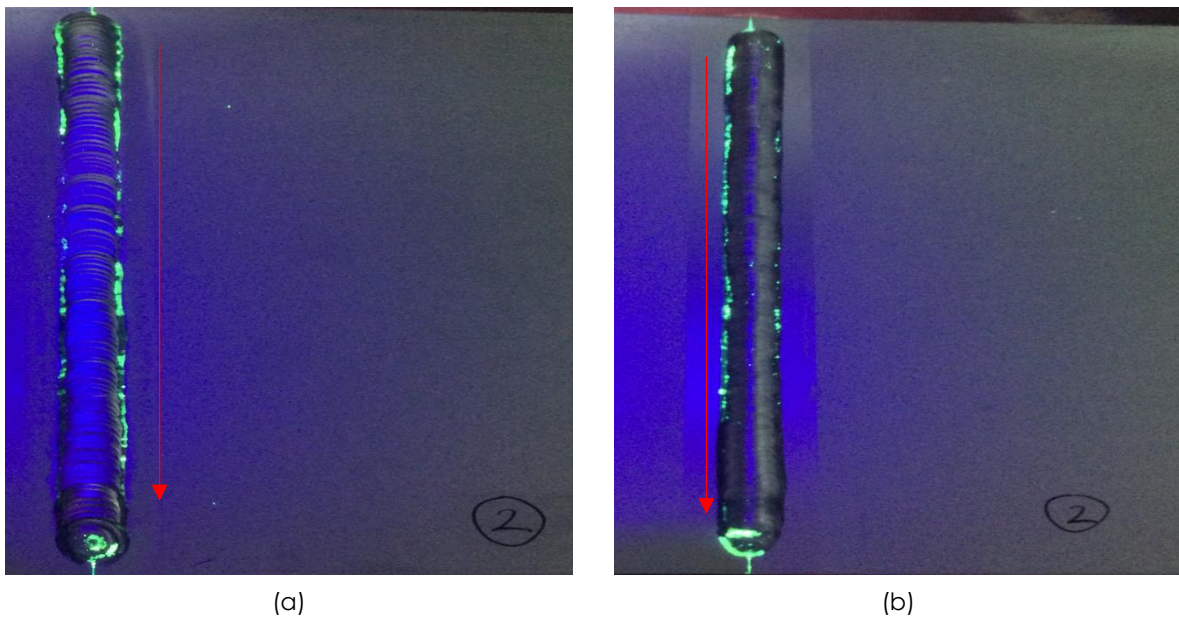


Figura 4.3 (a) Cordón Soldadura Superior Probeta 2. (b) Cordón de Soldadura Inferior Probeta 2.

4.3 RESULTADOS VISUALES PROBETA 3 Y 4

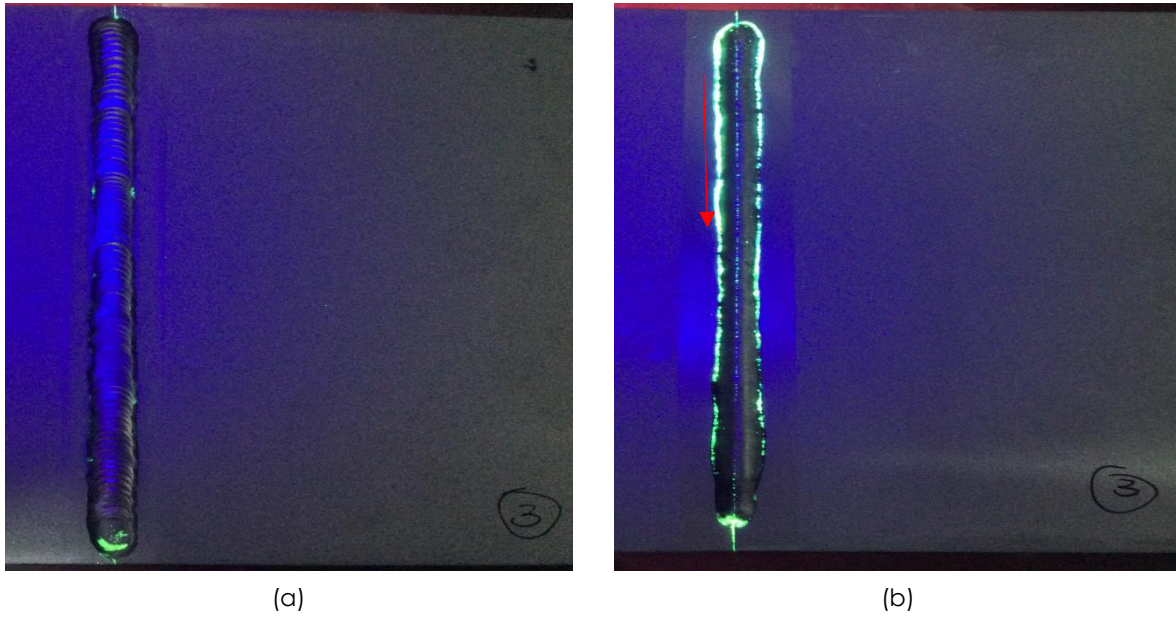


Figura 4.4 Cordón Soldadura Superior Probeta 3. (b) Cordón de Soldadura Inferior Probeta 3.

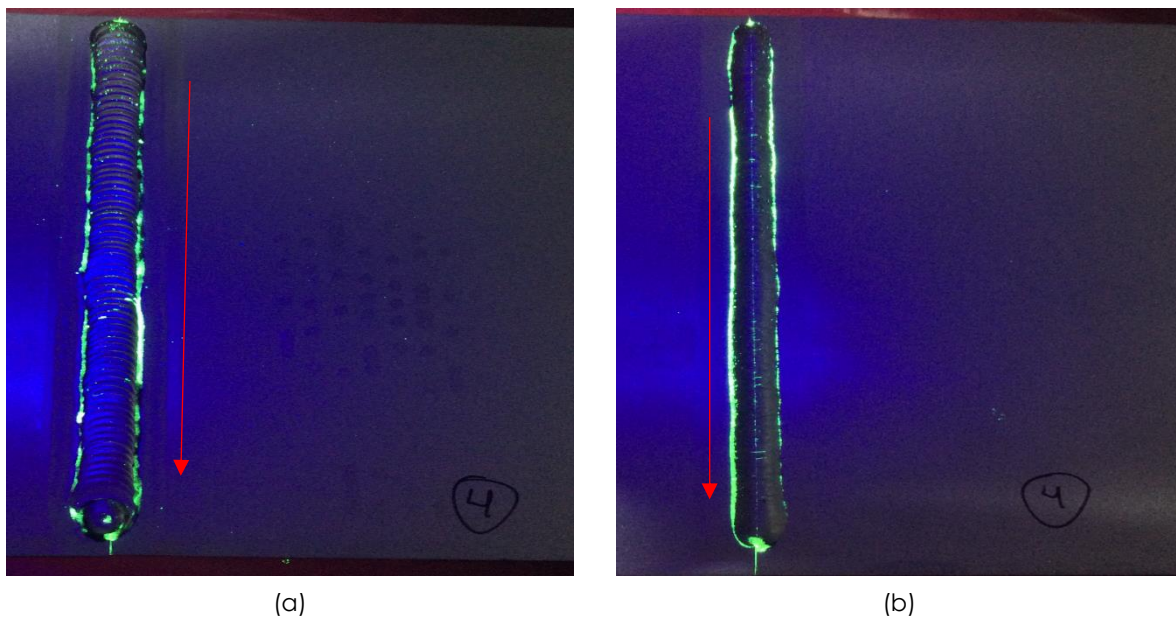
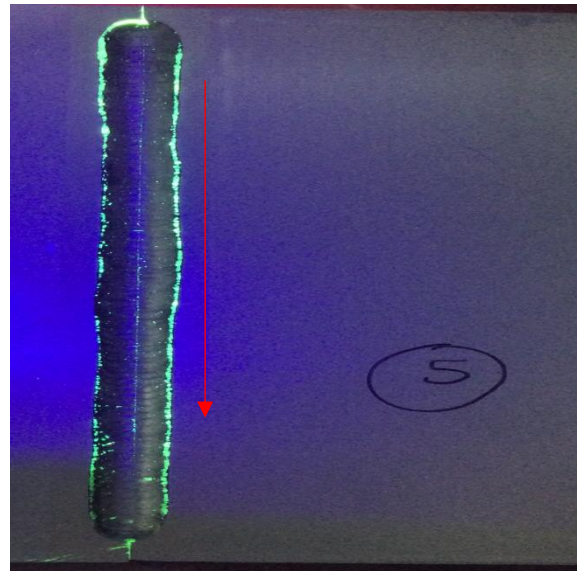


Figura 4.5 Cordón Soldadura Superior Probeta 4. (b) Cordón de Soldadura Inferior Probeta 4.

4.4 RESULTADOS VISUALES PROBETA 5 Y 6

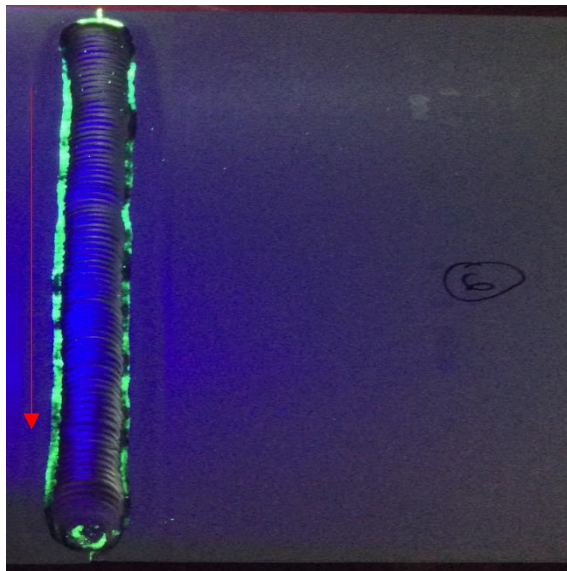


(a)

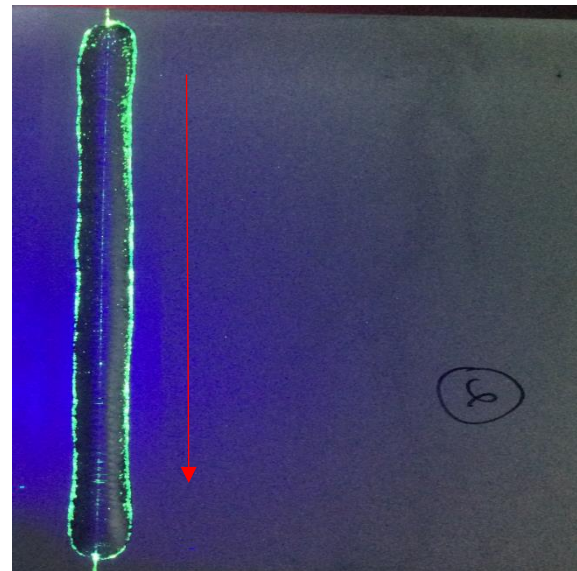


(b)

Figura 4.6 Cordón Soldadura Superior Probeta 5. (b) Cordón de Soldadura Inferior Probeta 5.



(a)



(b)

Figura 4.7 Cordón Soldadura Superior Probeta 6. (b) Cordón de Soldadura Inferior Probeta 6.

Una vez analizadas visualmente con el patrón de medición de porosidad por el personal calificado como se muestra en la Fig. 4.8 se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 4.1.

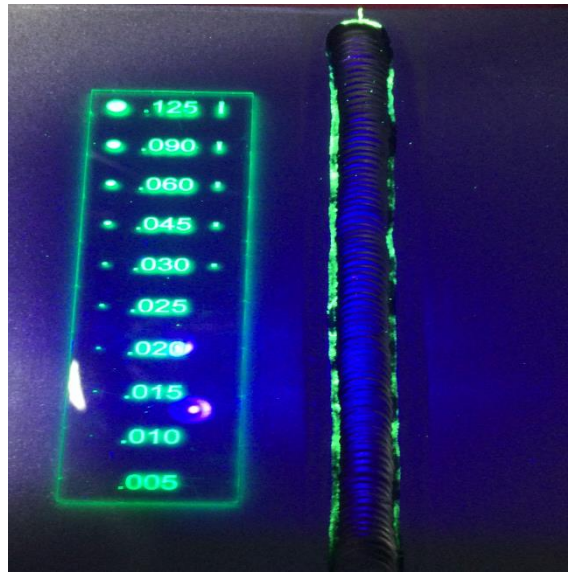


Figura 4.8 Medición con patrón de Porosidad en las Probetas de Soldadura

La Tabla 4.1, 4.2 y 4.3 respectivamente muestran claramente que las probetas 4, 5 y 6 que son las que se soldaron sin la inyección de Argón presentan el mismo problema que se estaba obteniendo antes de empezar esta investigación. (Porosidad).

A partir de las probetas 1, 2 y 3 que es donde se inyectó Argón a razón de LPM se observó claramente una disminución de las cantidades de porosidad presentadas. De las 3 primeras probetas la que mejor presentó el resultado buscado para las 3 Soldadoras fue la probeta número 3, que es donde se inyectó Argón a razón de 3 LPM ya que es ahí donde se encuentra la menor cantidad de porosidad y menor tamaño permito de acuerdo a las BAPS 172-034 (Ver tabla 3.8).

Tabla 4.1 Resultados de Probetas de Soldadora 1.

Soldadora	Yanéli Lozada López		
Probeta	Número de Poros	Poros >0.53 mm	Poros < 0.53 mm
1	5	1	4
2	4	3	1
3	2	0	2
4	7	5	2
5	9	6	3
6	10	8	2

Tabla 4.2 Resultados de Probetas de Soldadora 2.

Soldadora	Jacquelin Gutiérrez Valencia		
Probeta	Número de Poros	Poros >0.53 mm	Poros < 0.53 mm
1	5	2	3
2	4	2	2
3	1	0	1
4	7	4	3
5	10	8	2
6	11	7	4

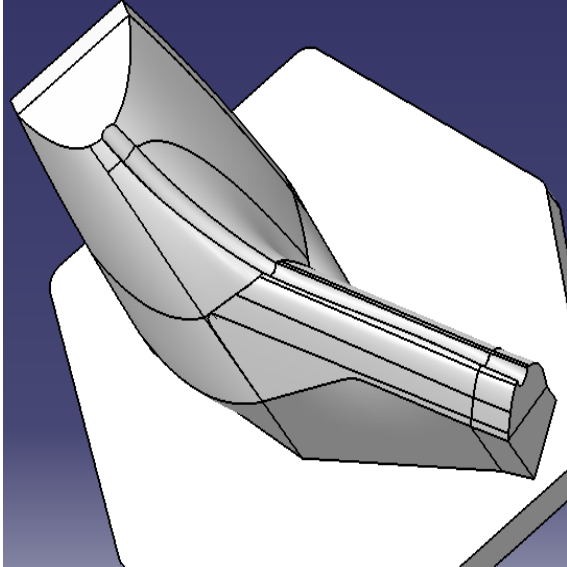
Tabla 4.3 Resultados de Probetas de Soldadora 3.

Soldadora	Dora Luz Corona Ríos		
Probeta	Número de Poros	Poros >0.53 mm	Poros < 0.53 mm
1	5	2	3
2	4	2	2
3	2	0	2
4	7	4	3
5	9	8	1
6	10	7	3

4.5 APLICACIÓN DEL EXPERIMENTO A ENSAMBLES DE INGENIERÍA CC690-15356 MODELO -1 Y -2 (LEADING EDGE SKIN TRANSITION)

Una vez obtenidos los resultados experimentales se procedió con la implementación de este experimento a los ensambles de ingeniería CC690-15356 modelo -1 y -2 (Leading Edge Skin Transition) de la siguiente manera:

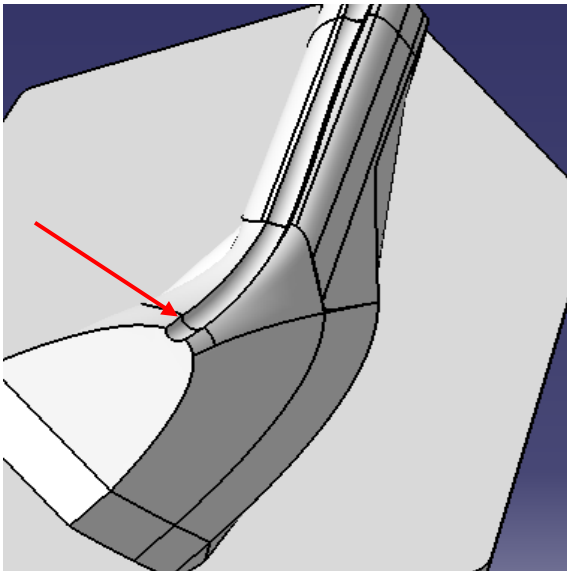
1. Mediante el software de diseño Catia V5 se modeló completamente el dispositivo de soldadura que actualmente tenemos para tener una idea de cómo se tenía que maquinar el orificio donde fluiría el Argón.
En la Figura 4.9 (a), (b), (c),(d) se observa en modelo en 3D del dispositivo de soldadura, y se observa el orificio de 12.7 mm de diámetro alrededor del dispositivo para que fluya el Argón.
2. La Fig. 4.10 muestra el punteado del ensamble de ingeniería CC690-15356 modelo -1 y -2 (Leading Edge Skin Transition) antes de la aplicación de Argón.
3. En la Fig. 4.11 (a) y (b) se muestra el suministro y la manguera que suministrará Argón al Dispositivo de Soldadura.
4. Por último la Fig. 4.12 (a), (b), (c),(d) muestra la aplicación de la soldadura a el ensamble de ingeniería CC690-15356 modelo -1 y -2 (Leading Edge Skin Transition) con la inyección de Argón mediante una manguera de Neopreno a razón de 3 LPM.



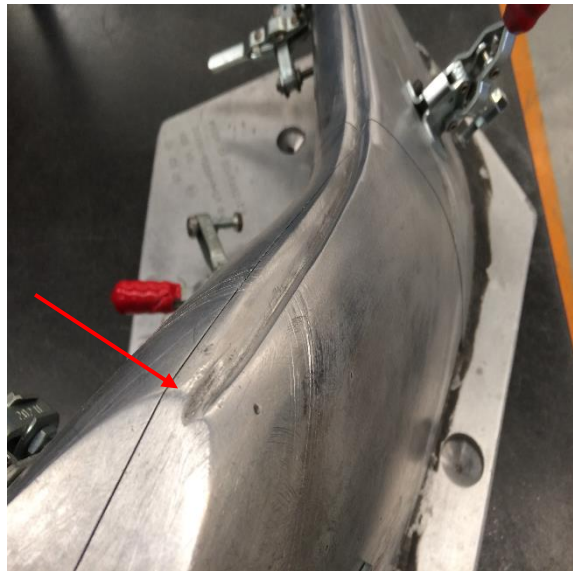
(a)



(b)



(c)

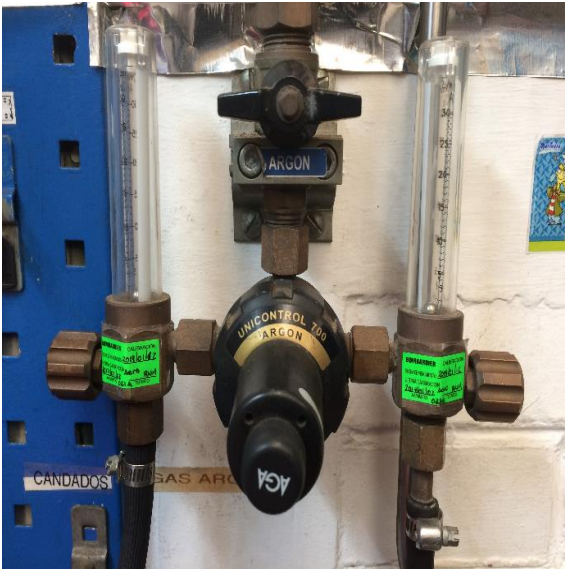


(d)

Figura 4.9 Modelo en 3D del Dispositivo de Soldadura con orificio de 12.7 mm de diámetro para que fluya el Argón.



Figura 4.10 Punteado del ensamble de ingeniería CC690-15356 modelo -1 y -2 (Leading Edge Skin Transition)

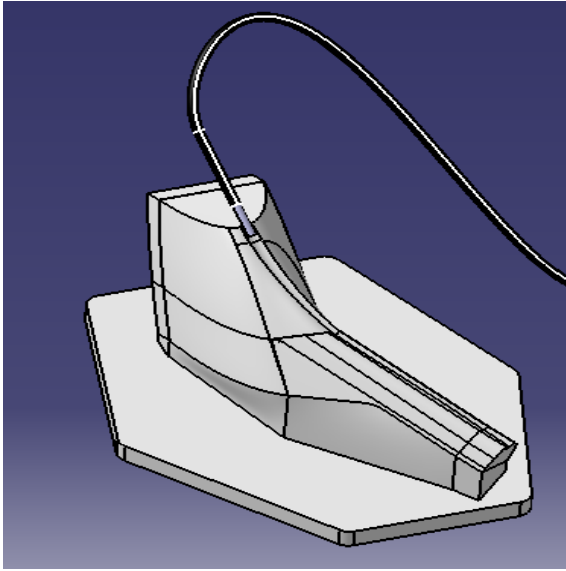


(a)



(b)

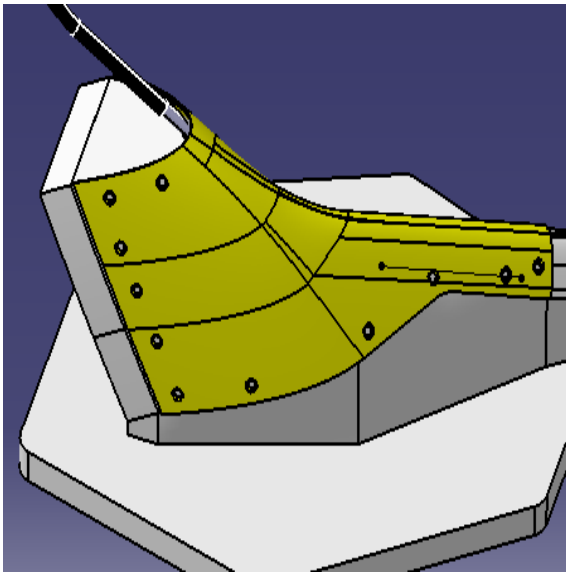
Figura 4.11 (a) Suministro de Argón. (b) Manguera que suministra Argón al dispositivo de Soldadura.



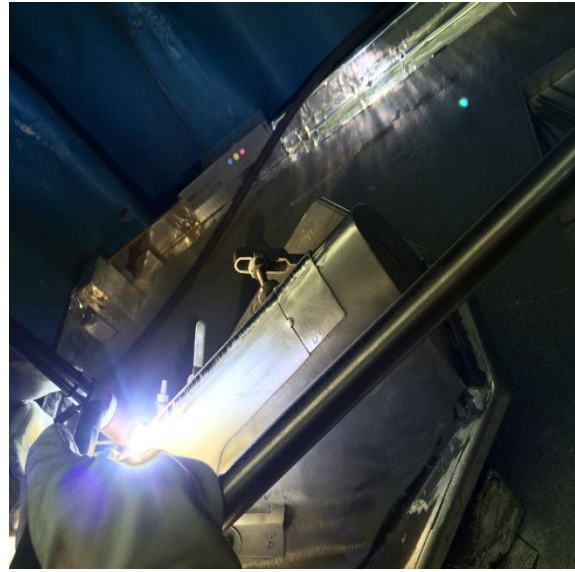
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4.12 Aplicación de Soldadura a Ensamblajes de Ingeniería CC690-15356 modelo -1 y -2 con inyección de Argón a razón de 3 LPM.

La flecha roja indica la manguera de Neopreno

4.6 COMPARACIÓN DE RESULTADOS EN ENSAMBLES DE INGENIERÍA CC690-15356 MODELO -1 Y -2 (LEADING EDGE SKIN TRANSITION) CON Y SIN APLICACIÓN DE ARGÓN.

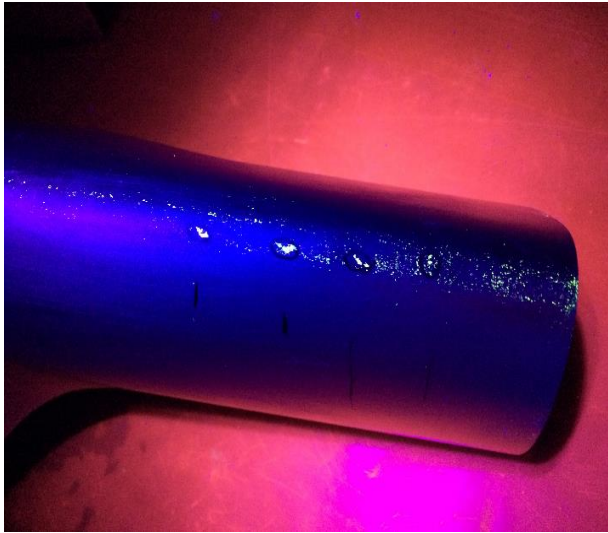
En la Fig. 4.13 (a, b, c y d) se muestran los resultados obtenidos al aplicar soldadura a los ensambles de Ingeniería CC690-15356 modelo -1 y -2 (Leading Edge Skin Transition) SIN la aplicación de Argón.

La Fig. 4. 13 (a) y (b) muestran la aplicación de Líquidos Penetrantes en la parte superior e inferior del ensamble de Ingeniería.

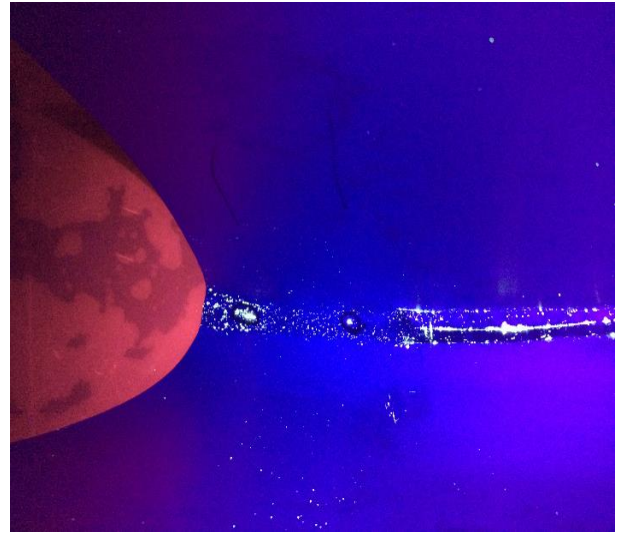
La Fig. 4.13 (c) y (d) muestran la aparición de 5 poros, 3 en la parte superior y 3 en la parte inferior.

Por otro lado en la Fig. 4.14 (a,b,c y d) se muestran los resultados obtenidos al aplicar soldadura a los ensambles de Ingeniería CC690-15356 modelo -1 y -2 (Leading Edge Skin Transition) CON la aplicación de Argón a razón de 3 LPM.

En la Fig. 4.14 (b) y (d) se aprecia solo la aparición de un poro en la parte inferior. Se observa claramente la mejora del proceso con la inyección de Argón.



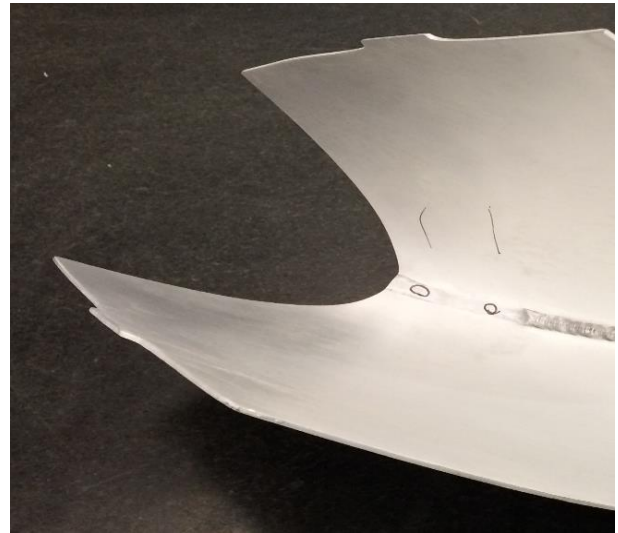
(a)



(b)

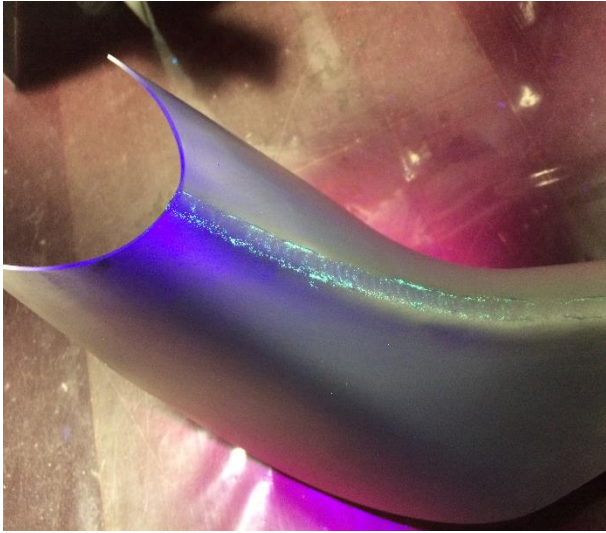


(c)

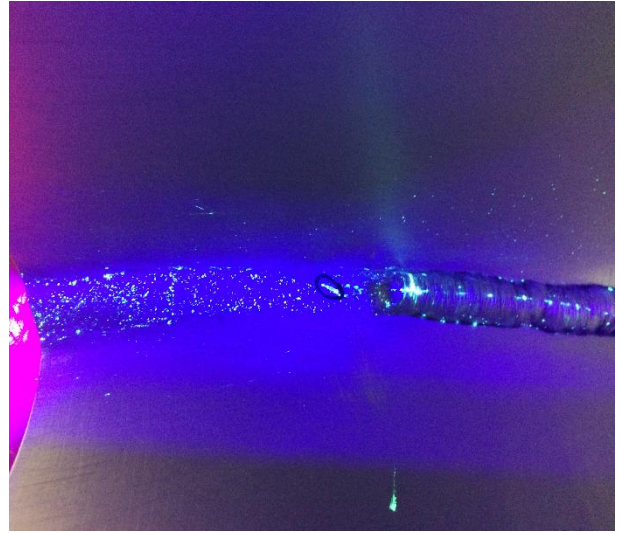


(d)

Figura 4.13 Ensamblajes de Ingeniería CC690-15356 modelo -1 y -2 (Leading Edge Skin Transition) SIN aplicación de Argón. (a y b) LPI parte superior e inferior. (c y d) Indicaciones de poros.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4.14 1 Ensamblados de Ingeniería CC690-15356 modelo -1 y -2 (Leading Edge Skin Transition) CON aplicación de Argón (a y b) LPI parte superior e inferior. (c y d) Indicaciones de poros.

4.7 EVALUACIÓN DEL AHORRO ECONÓMICO EN LA IMPLEMENTACIÓN DE MEJORA EN EL PROCESO DE SOLDADURA

En la Tabla 4.4 se observa que a partir del año 2017 que es cuando se implementó esta mejora se nota claramente una disminución del número de piezas rechazadas por porosidad.

En el año 2017 para el Ensamble de Ingeniería CC690-15356-1 solo el 23 % del total de piezas fueron retrabajadas, es decir, solo 15 piezas presentaron problemas de porosidad, para el año 2018 hasta el mes de Septiembre de la 40 piezas que hemos vendido solo 5 piezas han presentado porosidad lo que representa solo 17.5 % de Retrabajo para dichas piezas.

Tabla 4.4 Piezas vendidas Anualmente para Ensamble de Ingeniería CC690-15356-1

Año	Piezas Vendidas	Piezas con NCR por porosidad	Piezas rechazadas vs ventas (%)
2013	50	0	0
2014	55	23	42
2015	58	64	110
2016	65	45	69
2017	65	15	23
2018	40	7	17.5

Por otro lado, en la Tabla 4.5 se muestran los resultados para el Ensamble de Ingeniería CC690-15356-2. También se observa que para el año 2017 de las 70 piezas que se vendieron solo 18 piezas presentaron problemas de porosidad lo que representa solo el 26 % de Retrabajo.

Para el año 2018 hasta el mes de Septiembre de las 40 piezas que se han vendido solo 4 piezas han presentado problema de porosidad, lo que representa solo el 0.1% de Retrabajo para dichas piezas.

Tabla 4.5 Piezas vendidas Anualmente para Ensamble de Ingeniería CC690-15356-2

Año	Piezas Vendidas	Piezas con NCR por porosidad	Piezas rechazadas vs ventas (%)
2013	57	0	0
2014	62	23	37
2015	48	34	71
2016	59	38	64
2017	70	18	26
2018	40	4	0.1

Esta reducción de Retrabajo a partir del año 2017 equivale a 700 horas productivas. El precio actual de la hora productiva para BTM Aerospace Tubing BU es de \$140.5 USD.

Por lo a que partir de esta implementación se ha hecho un ahorro económico de \$ 98,350 USD.

4.8 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE MEJORA EN EL PROCESO DE SOLDADURA.

Los principales costos que se hicieron en esta implementación son los que se muestran en la Tabla 4.6.

Se observa que aproximadamente se generó un costo de \$ 8730 USD que resulta prácticamente despreciable con el ahorro que se generó a partir del 2017 de \$ 98,350 USD.

Tabla 4.6 Costos de la Implementación de Mejora en el Proceso de soldadura.

Elementos	Costos
2 Dispositivos para hacer pruebas	\$ 1250 USD
Maquinado de orificio a Dispositivos de soldadura	\$ 860 USD
Argón	No se detectó incremento en el consumo de argón por cada aplicación de soldadura a los a los ensambles de Ingeniería CC690-15356 modelo -1 y -2 (Leading Edge Skin Transition)
Materiales para Probetas	\$ 1000 USD
Horas Productivas para realizar experimentos (40 horas aprox.)	\$5620 USD
Total	\$ 8730 USD

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

1.- Se observó que la inyección de gas argón es capaz de eliminar el hidrogeno disuelto en el aluminio líquido y que para los Ensamblés de ingeniería CC690-15356 modelo -1 y -2 (Leading Edge Skin Transition) el tiempo óptimo de inyección es de 1.3 min a razón de 3 LPM, por lo que se ha comprobado nuestra hipótesis, ya que esta razón es la que permitió a partir del 2017 una disminución en el problema porosidad y por lo tanto una mejora en las horas de retrabajo, aumentando nuestra productividad.

2.- Se observa que la aplicación de argón a razón de 3 LPM no es afectada por un cambio de soldador. Es decir, independientemente de que soldador la aplique los resultados son muy similares.

3.- Además de reducir drásticamente el porcentaje de Retrabajo para estos Ensamblés de Ingeniería, se hizo un ahorro relativamente grande para la empresa BTM Aerospace Tubing BU.

4. Al disminuir las horas de retrabajo, se elimina por completo que se tengan que desechar piezas, ya que después de 2 retrabajos a cada pieza estas ya no pueden ser consideradas como productivas.

5. Es por esto por lo que al final de este proyecto se concluye que el proceso de inyección con Argón es viable y se puede aplicar a diferentes ensamblés de Ingeniería de Bombardier que presentes las mismas condiciones de Soldadura.

5. Se pretende mejorar la forma de Inyección de Argón al dispositivo de Soldadura. Actualmente ya contamos con un pedido de 300 piezas para entregar durante el año 2019 y 2020, y también se está cotizando la fabricación de otras 200 piezas para un nuevo modelo avión que está saliendo al mercado.

Con lo que con las nuevas mejoras que se pretende hacer a los dispositivos para mejorar la inyección de Argón podamos entregar los ensamblés de ingeniería a

tiempo sin la necesidad de hacer retrabajos al minimizar el problema de la Porosidad.

APORTACIÓN DE LA TESINA

Gracias al estudio de esta Tesina, BTM Aerospace Tubing BU cuenta más información acerca de cómo minimizar el problema de porosidad que se estaba presentando en los últimos años para los Ensamblados de ingeniería CC690-15356 modelo -1 y -2 (Leading Edge Skin Transition).

Se cuenta con bases científicas para la implementación de esta mejora en ensambles de ingeniería que produce BTM Aerospace Tubing BU con condiciones similares. Se mejora notablemente el proceso de soldadura y se incluyen series de experimentos con las variables de humedad, velocidad de avance e inyección de Argón, que anteriormente no se hacían a ningún ensamble.


Adicionalmente se tomará este estudio para el diseño de un nuevo dispositivo que inyecte argón para las 300 nuevas piezas que se pretende entregar en el año 2019 y 2020.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. México, *Estado de Asuntos Entrano en 2018*. **Ornelas, Sergio L.** 21-22-24-26 Y 28, Cd. Juarez : MEXICONOW, 2107, Vol. 91.
- [2]. *Effects of Porosity on Mechanical Properties of Aluminum Welds*. **RUPERT, J. F. RUDY AND E. J.** 322s to 336s, s.l. : Welding Journal, 1970.
- [3]. *Porosidad e Influencia de las mangueras en la soldadura de aluminio*. **Wolters, Michael.** 12-13, Cd. México : METALMECÁNICA, 2017, Vol. 22 Edicion 2.
- [4]. *Effects of Shielding Gas on Gas Metal Arc Welding Aluminum*. **W.R REICHELT, J.W. EVANCHO AND M.G. HOY.** 147-s to 155s, s.l. : Welding Journal, 1980.
- [5]. *Pruebas de densidad en vacio en muestras de aluminio obtenido a partir de latas para bebidas carbonatadas*. **Carlos Ernesto Rivas, Manuel Amador Pineda, Julio Emilio Arguello y Gustavo Alberto Mejia.** 2006, Salvador : UCA. 1-5.
- [6]. *Reducing the Porosity in Die-Cast Magnesium Alloys during Laser Welding*. **J. ZHANG, J.G.SHAN, J.L.REN AND P.WEN.** 10-1s to 109-s, Beiging : Welding Journal, 2013, Vol. 92.
- [7]. **Sanders, H. L.** *Welding Aluminum: Theory and Practice*. s.l. : The Aluminum Association, 1991 Second Edition. 89-080539.
- [8]. **Mathers, Gene.** *The welding of aluminium and its alloys*. Cambridge : Woodhead Publishing Limited, 2002 First Edition. 0-8493-1551-4.

ANEXO 1. CERTIFICADO DE CALIDAD ALEACIÓN ALUMINIO 6061-

O

SHIP TO: TW METALS 1200 BLAKE DRIVE WICHITA, KS 67219						 Trentwood Works - Spokane, WA 99215 Phone: (800) 367-2586					
SOLD TO: TW METALS INC THE ARBORETUM 760 CONSTITUTION DRIVE EXTON, PA 19341						CERTIFIED TEST REPORT Serial Number <i>Cofc</i> 4453996 AMENDMENT (01-Mar-2017, replaces 4442272)					
CUSTOMER PO NUMBER: M49360757-1		WORK PACKAGE:		CUSTOMER PART NUMBER: 05795		SHIP RUN/LOAD: 103765/9		GOV'T CONTRACT NUMBER:			
KAISER ORDER NO: 1225545-1		SHIP DATE: 4-DEC-2016		ALLOY: 6061	CLAD: BARE	TEMPER: O	PRODUCT DESCRIPTION: HT Flat Sheet				
WEIGHT SHIPPED: 4325 LB	QUANTITY: 103 PCS EST.		TRUCK B/L #: 2063847		GAUGE: 0.0630 IN (1.6002 MM)	DIAMETER/WIDTH: 48.000 IN (1219.2 MM)		LENGTH: 144.000 IN (3657.6 MM)			

MHU 2064958; LOT 19981485; 103 pieces;

Certified Specifications

AMS 4025/RevM ✓
CMMP 025/RevV

ASTM B 209/Rev 14

CMMP 019/RevD

Test Code: 1925
Lot: 19981485

Cast 677

Drop 27

Test Results
Ingot 4

Melted in USA

(ASTM E8/B557)
(EN 2002-1)

Tensile	Temper	Dir / # Tests	Ultimate KSI (MPA)	Yield KSI (MPA)	Elongation %
O		LT / 2 (Min:Max)	18.4 : 18.5 (127 : 128)	7.8 : 8.0 (54 : 55)	25.5 : 25.9 ✓
T42		LT / 2 (Min:Max)	37.4 : 37.7 (258 : 260)	18.5 : 18.6 (128 : 128)	22.9 : 23.0
T62		LT / 2 (Min:Max)	50.2 : 50.4 (346 : 348)	43.9 : 44.0 (303 : 303)	13.1 : 13.1

(ASTM E1251)

Chemistry: SI / FE / CU / MN / MG / CR / ZN / TI / V / ZR / OTHER
 Actual(wt%) 0.71 0.6 0.29 0.11 1.0 0.19 0.09 0.02 0.01 0.00 TOT 0.06



TEST REPORTS
ACCEPTED BY
[Signature]
MAR 09 2017
49360757
TW METALS

KAISER ALUMINUM

Trentwood Works - Spokane, WA 99215
Phone: (800) 367-2586

CERTIFIED TEST REPORT

Serial Number
4453996

ALLOY LIMITS

	SI	FE	CU	MN	MG	CR	ZN	TI	V	ZR	OTHER	MAX
6061												
MIN(wt%)	0.40	0.0	0.15	0.00	0.8	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	EACH	0.05
MAX(wt%)	0.8	0.7	0.40	0.15	1.2	0.35	0.25	0.15	0.05	0.05	TOT	0.15

Aluminum Remainder

ORDER COMMENTS

FAR BAA (FAR 52.225-1 BUY AMERICAN
ACT-SUPPLIES)
DFARS BAA (DFARS 252.225-7001 BUY
AMERICAN ACT & BAL. OF PAYMENTS PROG
FAR TAA (FAR 52.225-5 TRADE AGREEMENTS)
ALL MATERIALS PROVIDED UNDER THIS
PURCHASE ORDER MUST BE FREE OF
CONFLICT MINERALS IN ACCORDANCE WITH THE
DODD FRANK ACT SECTION 1502

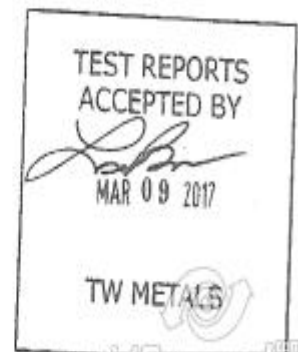


TEST NOTES

6061 sheet or plate certified to AMS 4025, AMS 4026, or AMS
4027 also meets applicable requirements of cancelled
specification AMS-QQ-A-250/11, Rev. A.

KAISER ALUMINUM, TRENTWOOD WORKS PHYSICAL ADDRESS IS:
15000 EAST EUCLID AVENUE
SPOKANE VALLEY, WA 99216

107129



**ANEXO 2. CERTIFICADO DE CALIDAD MATERIAL DE APOORTE AWS
A5.10 ER 4043**

GE Aerospace Metals, Inc.
6447 Miami Lakes Dr. Suite #225A
Miami Lakes FL, 33014
Phone 1-855-60-METAL or 305-362-0040
www.GEAerospaceMetals.com

Certification of Conformance

Date: 9/6/2013

P.O.4500563550-A3A-16

Customer: BOMBARDIER

Invoice No.:1051

P/N:520083124

VENDOR:147498

Material/Product: ALUM WELD, ER 4043
Specification: AWS A5.10-12
Quantity:40# LBS
Size: 3/32" DIA X 36"LG.
Heat/Lot#: RB1330170
Mill: ALCOTEC

GE Aerospace Metals, Inc. Miami Lakes, Florida hereby certifies that all material supplied under this purchase order/contract meet all applicable requirements.

Quality Signature


Authorized Company Representative





A subsidiary of The ESAB Group, Inc.

AlcoTec Wire Corporation
2750 Aero Park Drive
Traverse City, MI 49688-9283 USA
(231) 941-4111 Phone
(231) 941-9154 Sales & Marketing Fax
(231) 941-1040 Adm. & Quality Control Fax
alcotec@alcotec.com Email

8/02/13

CERTIFIED MATERIAL REPORT

Package Description	Lot Number
R4043 3/32(2.4mm) x 36" (900mm) RODS	RB1330170

P.O. Number : E1371805
Date of manufacture : 7/31/13

Chemical Composition Limits :

Element	Minimum %	Maximum %
Silicon	4.5	6.0
Iron	--	0.8
Copper	--	0.30
Manganese	--	0.05
Magnesium	--	0.05
Zinc	--	0.10
Titanium	--	0.20
Beryllium	--	0.0003
Others/Each	--	0.05
Others/Total	--	0.15
Aluminum	Remainder	

AlcoTec Wire Corporation hereby certifies that the material covered by this report has been inspected in accordance with and been found to meet the applicable requirements of specification ANSI/AWS A5.10:2012, ASME SPA A5.10 Section II, Part C, ANSI/AWS A5.01-2008 Level of Testing -P, Traceability Class S1 (or as requested by the purchase order), and any order requirements listed below.

- * Material furnished under this order is commercially free from contamination by the presence of mercury or cadmium.
 - * Material manufactured in the USA.
- All packaging materials are in compliance with CONEG legislation.

GE AEROSPACE METALS, INC.
WE CERTIFY THIS IS A COPY OF A
MILL TEST CERTIFICATE. ORIGINAL ON FILE.

CUSTOMER Emberber DATE: 9/6/13
P.O. NUMBER 150026550 BY: [Signature]
A3A-16



W Hamilton
Quality Assurance Manager

ANEXO 3. CERTIFICADO CALIDAD PARA ARGÓN



Praxair México, S. de R.L. de C.V.
Laboratorio de Control de Calidad de
Producto y Producción de Materiales de
Referencia
Planta Santo Domingo
Autopista Méx-Qro, Km 32.5
54900 Tultitlán, Edo de México
Tels: 5899 3000 • 5899 3024
Fax: 5899 3075

INFORME DE CONFORMIDAD DE ESPECIFICACIONES

CLIENTE: **BOMBARDIER TRANSPORTATION
MEXICO S.A. DE C.V.**

FECHA: 2018, SEPTIEMBRE 04.

ATENCION:
DIRECCION DE ENTREGA:

No. DE CONTROL: M1847899

PLANTA LLENADORA: STO. DOMINGO

ORDEN DE COMPRA:

CODIGO:

El presente es para certificar que el producto: **ARGON 5,0 UAP BOMBARDIER*** cumple las especificaciones mínimas de pureza indicadas:

COMPONENTE	ESPECIFICACION
ARGON	99,999 cmol / mol mínimo
OXIGENO	1 µmol / mol máximo
HUMEDAD	3 µmol / mol máximo
BIOXIDO DE CARBONO	0,5 µmol / mol máximo
TOTAL DE HIDROCARBUROS	0,5 µmol / mol máximo
NITROGENO	6 µmol / mol máximo
HIDROGENO	1 µmol / mol máximo

La concentración está expresada en unidades del Sistema Internacional. La unidad µmol / mol es equivalente a ppm y cmol / mol es equivalente a %mol / mol.

(*) Cumplimiento con la especificación para el Gas Argón UAP, de acuerdo con la norma MIL-PRF-27415B "PERFORMANCE SPECIFICATION PROPELLANT PRESSURIZING AGENT, ARGON".

No. DE LOTE: P0215:20180905824



TIPO DE CILINDRO: "K"
PRESION: 2 200 psig
VOLUMEN: 6,88 m³ @ 21 °C; 1 atm
CONEXION: CGA-580

AUTORIZADO POR

**EULALIO HERNANDEZ E.
METROLOGO D**

IMPORTANTE

La información aquí contenida ha sido preparada por personal experto de Praxair México a manera de orientación hacia el usuario. Las Técnicas analíticas sugeridas han demostrado una alta confiabilidad en sus resultados, sin embargo el uso que se de a esta información estará bajo la responsabilidad exclusiva del usuario. Este informe no puede ser reproducido sin autorización del Laboratorio de Control de Calidad de Producto y Producción de Materiales de Referencia de Praxair México, S. de R.L. de C.V., Planta Santo Domingo.

Impreso en papel reciclado

PRAXAIR

ANEXO 4. CERTIFICADO CALIDAD DEL TUNGSTENO

GE Aerospace Metals, Inc.
6447 Miami Lakes Dr. Suite #225A
Miami Lakes FL, 33014
Phone 1-855-60-METAL or 305-362-0040
www.GEAerospaceMetals.com

Certification of Conformance

Date: 1-24-2018

P.O.# 4500563550

Customer: BOMBARDIER

Invoice No.: GE-1563

P/N: 520084120

VENDOR.# 147498

Item
Material/Product: TUNSTEN ELC,AWS A5.12
Specification: CL-EWZr1
Quantity: 5 PACKS
Size: 3/32" DIA X 7"IN.
Heat/Lot#: Z03WE15808
MIII:WELDSTONE

GE Aerospace Metals, Inc. Miami Lakes, Florida hereby certifies that all material supplied under this purchase order/contract meet all applicable requirements.

Quality Signature



Authorized Company Representative



Inspection certificate acc. to DIN EN 10204 3.1

Shandong Weldstone
Tungsten Industry Co., Ltd

No.3001 Sichou Road
255300 Zhoucun District, Zibo
Shandong, China

Datum / Date: 22.04.2016
Kunde, Nr. / Customer, No. ASTARAS / 20300002
Angebotsnr., Datum / Quotation, Date
Bestellnr., Datum / Order No., Date PO-040816ED / 11.04.2016
Auftragsbestätigung, Datum / Order Confirmation, Date PO-040816ED / 11.04.2016
Lieferscheinnr., Datum / Delivery note, Date 201604 / 026 / 22.04.2016
Zeugnisnummer / No. of Certificate PO-040816ED
Werkstoff, Bezeichnung / Material, Description WZr 3
Artikelnummer / Article No.
Spezifikation / Specification 3/32*7
Menge / Quantity 1500
Chargennummer / Lot No. Z03WE15808
Bearbeitungszustand / Processing status Geschliffen / Ground

Tel: +86 (533) 6824658
Fax: +86(533) 6823685

Chemische Merkmale / Chemical Properties			Bestimmungsmethode / method of determination
Fe	≤	0.0030 %	
Ni	≤	0,0030 %	
Al	≤	0,0020 %	
Ca	≤	0,0020 %	
Mg	≤	0,0020 %	
Si	≤	0,0030 %	
N	≤	0,0030 %	
C	≤	0,0030 %	
ZrO ₂		0.34 %	
W		Balance	

Physikalische Merkmale / Physical Properties		
Dichte / Density	g/cm ³	ISO 3369
Härte / Hardness	HV30	ISO 6507-1
Grain number	K/mm ²	DIN 50125

Bemerkungen / Remarks

GTAW (gas tungsten arc welding) electrodes according to ISO 6848 and AWS A5.12M/A5.12:2009.

Shandong Weldstone Tungsten Industry Co.,Ltd

Checked:



without sign



ANEXO 5. WPS

BOMBARDIER

Especificación de Procedimiento de Soldadura
Welding Procedure Specification

Métodos

Procedimiento No. - Proc. No. AWPS-2-G-AL1G63T_63T
 Fecha. - Date. 09/03/2014
 Calificado por Pruebas. - Qualified by Testing. N/A No. de Registro de Calificación de Proced. - PQR No. APQR-2-G-AL1G63T_63T
 Procedimiento Precalificado. - Precalified Procedure N/A (.063" AL 6061-TO QQ-A-250/11)/
 Proceso de Soldadura. - Welding Process GTAW Metal Base. - Base Metal (.063" AL 6061-TO QQ-A-250/11)
 Material Aporte. - Filler Meta AWS 5.10 ER 4043 Gas o Fundente. - Gas or Flux. 100% Ar
 Corriente y Polaridad. - Current & Polarity Corriente Alterna/CA Rango de Flujo. - Flow Rate 18+/-2 LPM. 36+/-20 CFH.
 Tipo de Transferencia. - Transfer Mode N/A
 Posición. - Position 1G Extensión Electrizada. - Stickout. N/A Diam. de Boquilla. - Gas Cup Size #5
 Angulo de la Avance. - Gun Angle. Angulo de empuje / Forehand technique Técnica de Aplicación. - Technique Recto / Right angle
 Penetración. - Penetration. Complete/CJP Vaciado posterior. - Gouging N/A Respaldo. - Backing N/A
 Limpieza. - Cleaning. Ver nota 1/See note 1
 Pre calentamiento. -Preheat N/A Temperatura de Interpaso. Interpass Temp. N/A Min. N/A Max. N/A
 Tratamiento Termico Posterior. - Postheat Treatment T62 Clasificación del Tungsteno.-Tungsten Classification EWZr-1 Diametro. - Diameter 3/32"
 High Frequency - alta frecuencia Ver nota 2/ See note 2 Temperatura. - Temperature. Ver nota 6/ See note 6 AC Balance Ver nota 3/ See note 3 Pre-flow 3s Post-flow 10-15 s

Nota 1/ Note 1: Antes de soldar, cepillar con cepillo de inox. y limpiar con trapo limpio y solvente MEK. / Before welding operation, brush with steel brush and clean with clean clothe and MEK solvent.

Nota 2/ Note 2: Para maquina square wave-tig 355 usar continuos. / For square wave-tig 355 set on use continuos.

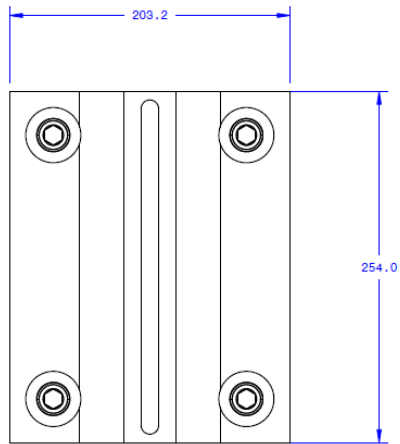
Nota 3/ Note 3: Para maquina square wave-tig 355 usar 8.5 balance. / For square wave-tig 355 machine set on 8.5 balance.

Nota 4/ Note 4: Afilar el tungsteno con un angulo de inclinacion de 30°. / Tungsten sharpening with 30° grades inclination.

Caso Case	T Espesor material base Base metal thickness(in)		S Tamaño de soldadura (pulgadas) Weld size (inches)	Lado Side	Diámetro de electrodo Electrode diameter	Amp. + - 10 %	Volt. + - 7 %	Velocidad de alambre Wire Speed Cm / Min (in/Min)	Velocidad de avance Travel Speed Cm / Min (In / Min)	Observaciones. - Remarks
	T1	T2								
	.063"	.063"	Sin limite / No limit	1	3/32"	96	N/A	N/A	N/A	Nota 5/ Note 5: Utilizar camareo con gas argon con un flujo de 3 L.P.M. / Argon backup shielding gas is used with flow rate of 3 L.P.M.
					1/16"	Solo punteado				Nota 6/ Note 6: Utilizar horno a 600 °F de 15 a 20 min. Cada pieza debe de estar entre 75 y 80 °F. / Use oven at a temperature of 600°F for 15 to 20 min. Each piece must be between 75 and 80°F.

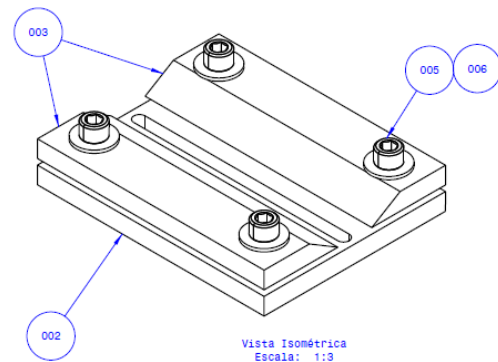
No. Revision	01									
Fecha. - Date	01/03/2018									
Por. - By.										
Firma y Sello Signature and stamp										

ANEXO 6. DIBUJO DE DISPOSITIVO DE SOLDADURA



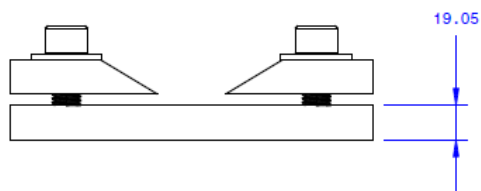
Vista Frontal
Escala: 1:3

@ jstercos3d



Vista Isométrica
Escala: 1:3

@ jstercos3d

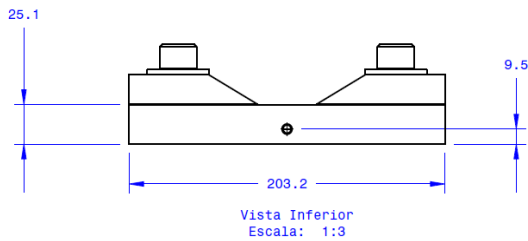
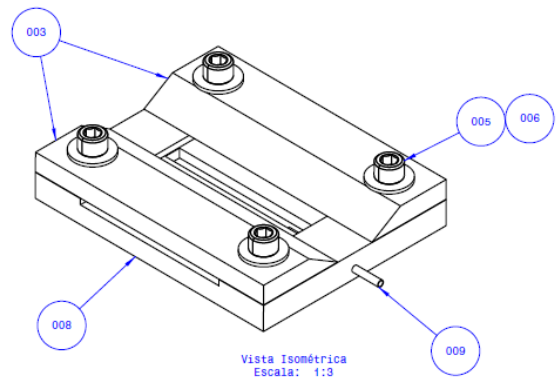
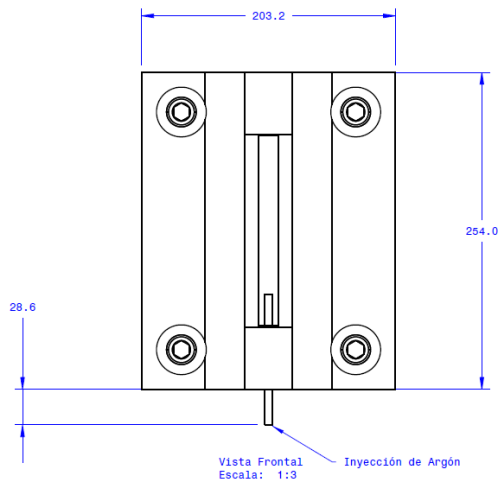


Vista Inferior
Escala: 1:3

Lista de Materiales

Cantidad	Número de Parte	Descripcion	Material
4	006	Torn. allen 15.8 mm x 38.1 mm long	Estandar
4	005	Arandela tornillo 15.8 mm	Estandar
2	003	Placa aluminio 19 mm x 82.5 mm x 254mm	Aluminio
1	002	Placa 19 mm x 203.2 x 254 mm	Aluminio

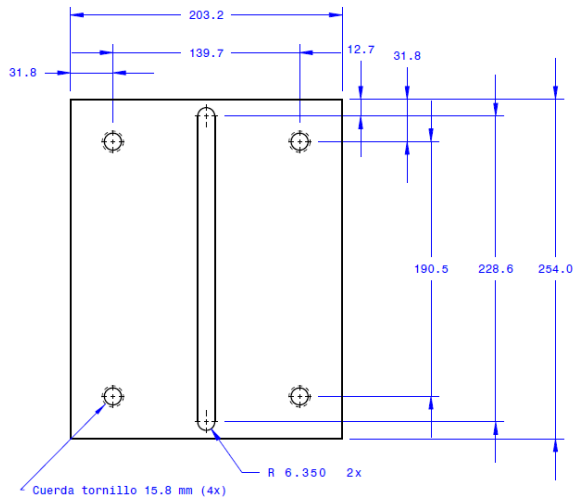
ANEXO 7. DIBUJO DE DISPOSITIVO DE SOLDADURA CON TUBO LATERAL PARA INYECCIÓN DE ARGÓN



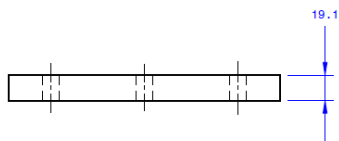
Lista de Materiales

Cantidad	Numero de Parte	Descripcion	Material
1	008	Placa aluminio 25.1 mm x 203.2 mm x 254 mm	Aluminio
2	003	Placa aluminio 19 mm x 82.5 mm x 254 mm	Aluminio
1	009	Tubo 6.3 mm x 76.2 mm long. Espesor pared .6 mm	Acero Inoxidable
4	006	Torn. allen 15.8 mm x 38.1 mm long	Estandar
4	005	Arandela tornillo 15.8 mm	Estandar

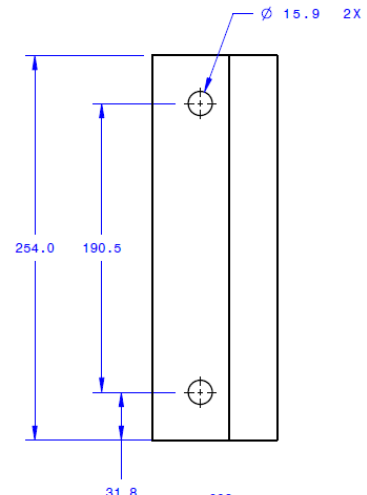
ANEXO 8. DIBUJO DETALLADO DE PIEZAS



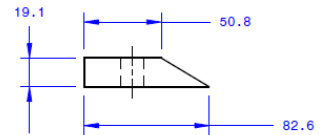
002
Vista Frontal
Escala: 1:3



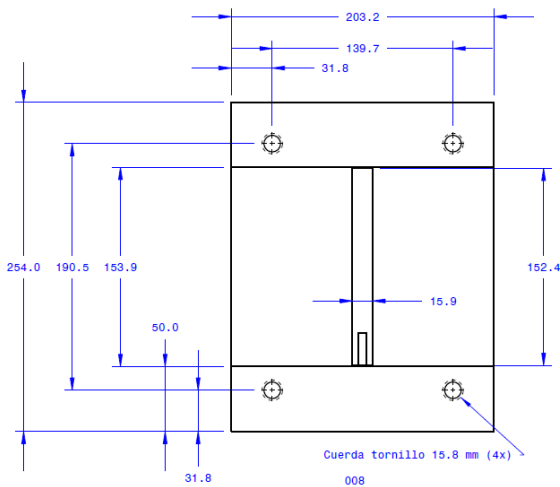
002
Vista Inferior
Escala: 1:3



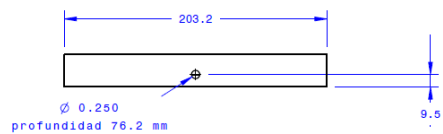
003
Vista Frontal
Escala: 1:3



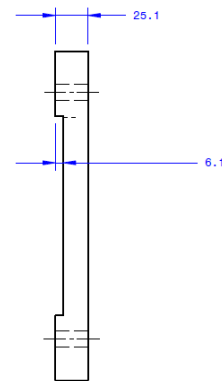
003
Vista Inferior
Escala: 1:3



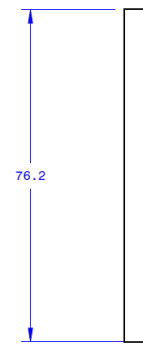
008
Vista Frontal
Escala: 1:3



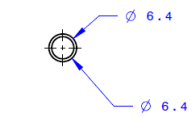
008
Vista Inferior
Escala: 1:3



008
Vista Lateral Derecha
Escala: 1:3



009
Vista Superior
Escala: 1:1



009
Vista Frontal
Escala: 1:1