



**TÍTULO: TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN POR  
SOLDADURA MAG DEL CONJUNTO DE PUERTAS  
DEL VAGÓN JAULA 401S EN LA EMPRESA JOSÉ  
VALDÉS REYES.**

**Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Mecánico**

**Autor: Juan Oxmani Hernández Duquesne**

**Tutor: Ing. Radames Ocegüera Morales.**

**Matanzas, 2021**

## **DECLARACIÓN DE AUTORIDAD**

Yo Juan Oxmani Hernández Duquesne por medio de la presente declaro que soy el único autor de este trabajo de diploma que tiene como título “Tecnología de fabricación por soldadura MAG del conjunto de puertas del Vagón Jaula 401S” y, en calidad de tal, autorizo a la Universidad de Matanzas «Camilo Cienfuegos» a darle el uso que estime más conveniente.

**NOTA DE ACEPTACIÓN:**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Miembros del Tribunal:

_____	_____	
_____		
Presidente	Secretario	Vocal

## **DEDICATORIA:**

A persona extraordinarias y sin iguales...

- A quien me dio la oportunidad de ver mi primer rayito de sol y mostrarme la vida con sus cantares, realidades y sueños.
- Especialmente para ti mamá.
- A mis abuelos quienes con su amor y cariño siempre me han impulsado a dar lo mejor de mí.
- A mis amigos y compañeros de estudio.
- A la Revolución Cubana por haberme permitido estudiar y realizarme profesionalmente.

## **AGRADECIMIENTOS:**

- Al orador sin tacha, al que logra que sus discípulos tengan fe en el futuro, al que enseña a crear para el bien de todos, al que posee claridad de pensamiento, corazón ardiente y los pies sobre la tierra.
- A mis familiares, pilares importantes para mi formación como profesional.
- A mis amigos por la seguridad de contar con ellos.
- A mis profesores, sólo los buenos, los que de verdad me hicieron llegar al final.
- A mi tutor Radames, por tantas horas robadas.
- A los trabajadores de la empresa José Valdés Reyes que con su ayuda contribuyeron a la realización de las tareas presentes en este trabajo diploma.
- A todos los que de una forma u otra hicieron posible la realización de esta investigación.

## **RESUMEN:**

Este trabajo se desarrolló en la Empresa Industrial Ferroviaria José Valdés Reyes ubicada su sede principal en la ciudad de Cárdenas, provincia Matanzas. El mismo fue el resultado de la elaboración de toda la documentación técnica (cartas tecnológicas, cartas de croquis y cartas de control de calidad) necesaria para el diseño de la tecnología de fabricación por soldadura del conjunto de puertas del Vagón Jaula 401S, en él se abordaron diferentes temas teóricos relacionados con la tecnología de soldadura por arco eléctrico bajo gas protector con electrodo consumible (MIG/MAG). El método que se propuso establece los parámetros del proceso, para el cálculo se retomaron conceptos, condiciones y recomendaciones de varios autores, además del uso de coeficientes y tablas establecidas por las normas cubanas. Para el desarrollo del mismo se hizo una amplia revisión bibliográfica donde se destaca la importancia de la soldadura por arco eléctrico, así como las ventajas y desventajas del proceso. Se presentaron los datos técnicos del metal base, itinerarios de fabricación, equipo y el método para una adecuada realización del ensamble, punteo y soldadura general. Posteriormente se analizaron los resultados obtenidos, así como el análisis técnico económico de los mismos.

## **SUMMARY:**

The present work is developed in the Rail Industrial Company José located Valdés King its main headquarters in the city of Cardinal red, county Matanzas. The same one is the result of elaborating the completely necessary theoretical documentation for the one it assembles, I dot and general welding of the railroad cage car 401S, in him different theoretical topics related with the welding technology are approached by arch electric low protective gas with consumable electrode (MIG / MAG). The proposed method establishes the parameters of the process, being determined in each case the production, calculation for which concepts, conditions and several authors' recommendations were recaptured, besides the use of coefficients and charts settled down by the Cuban norms. For the development of the same one a wide bibliographical revision was made where he/she stands out the importance of the welding for electric arch, as well as the advantages and disadvantages of the process. The technical data of the metal are presented it bases, itineraries of production, team and the method for the appropriate one assemble, I dot and general welding. Later on the obtained results will be analyzed as well as the economic technical analysis of the same ones.

## ÍNDICE:

<b>INTRODUCCIÓN:</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL</b> .....	3
<b>1.1 Antecedentes de la soldadura.</b> .....	3
<b>1.2 Particularidades generales de la soldadura:</b> .....	5
<b>1.3 Tipos de soldadura:</b> .....	6
<b>1.3.1 Soldadura manual por arco con electrodos revestidos:</b> .....	7
<b>1.3.2 Soldadura por arco sumergido:</b> .....	7
<b>1.3.3 Soldadura por resistencia:</b> .....	8
<b>1.3.4 Soldadura oxigas:</b> .....	8
<b>1.3.5 Soldadura por arco protegido:</b> .....	9
<b>1.4 Procesos de soldadura por arco eléctrico con gas protector:</b> .....	9
<b>1.5 Clasificación de los gases de protección:</b> .....	11
<b>1.6 Características de los gases de protección:</b> .....	13
<b>1.7 Parámetros de soldadura y modos de transferencia del metal:</b> .....	15
<b>1.8 Ventajas y desventajas de la soldadura MIG/MAG</b> .....	17
<b>1.9 Principales defectos en la soldadura:</b> .....	18
<b>1.9.1 Consecuencias de las imperfecciones en la soldadura.</b> .....	21
<b>1.10 Corte por arco plasma:</b> .....	21
<b>1.10.1 Orígenes</b> .....	21
<b>1.10.2 Fundamentos físicos-químicos</b> .....	22
<b>1.10.3 Descripción del proceso</b> .....	22
<b>1.10.4 Características especiales del proceso</b> .....	23
<b>1.10.5 Ventajas y desventajas</b> .....	24
<b>1.10.6 Equipamiento:</b> .....	25
<b>1.10.7 Gas-plasma:</b> .....	25
<b>1.10.8 Arco eléctrico</b> .....	25
<b>1.10.9 Clasificación del corte por plasma</b> .....	26
<b>1.11 Conclusiones parciales:</b> .....	27
<b>CAPÍTULO II: MATERIALES EQUIPOS Y MÉTODOS.</b> .....	28
<b>2.1 Análisis preliminar de las condiciones del taller:</b> .....	28
<b>2.2 Análisis del material del conjunto de puertas del Vagón Jaula 401S.</b> .....	30
<b>2.2.1 Análisis de soldabilidad metalúrgica</b> .....	30
<b>2.3 Selección del tipo de proceso de soldadura.</b> .....	32
<b>2.4 Selección los parámetros del régimen de ensamble, punteo y soldadura.</b> .....	32
<b>2.5 Selección del electrodo de soldadura y del gas protector.</b> .....	33

<b>2.6</b>	<b>Cálculo del consumo de materiales y gases para el punteo y la soldadura general.</b>	
	34	
2.6.1	Cálculo del consumo de alambre. ....	34
2.6.2	Cálculo de los tiempos para el ensamble, punteo y soldadura general.....	35
2.6.3	Cálculo del consumo de Dióxido de Carbono. ....	36
2.6.4	Cálculo del consumo de energía eléctrica.....	37
2.7	Régimen de trabajo de corte por arco plasma.....	37
2.8	Control de la calidad .....	38
2.9	Conclusiones parciales. ....	39
<b>CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</b> .....		40
3.1	Selección de los parámetros para el proceso de soldadura.....	40
3.2	Resultados del proceso de ensamble y punteo. ....	41
3.3	Resultados del proceso de soldadura general. ....	41
3.4	Conclusiones parciales. ....	42
<b>CONCLUSIONES:</b> .....		43
<b>RECOMENDACIONES:</b> .....		44
<b>BIBLIOGRAFÍA:</b> .....		45
<b>ANEXOS</b> .....		46

## **INTRODUCCIÓN:**

La industria mecánica es un campo muy amplio que implica el uso de los principios físicos para el análisis, diseño, fabricación y mantenimiento de sistemas mecánicos, en ella descansa el desarrollo económico de casi cualquier país. En Cuba, esta industria ha pasado un proceso de redimensionamiento para adecuarlas a las nuevas realidades del entorno en el que el país debe desarrollarse.

El mundo está pasando por una crisis económica donde cada país busca una alternativa con el objetivo de mejorar su economía. Una de las estrategias a utilizar es la inversión en proyectos para con esto relacionar una serie de beneficios netos o egresos en dinero que se pueden ubicar en el futuro. El país con la meta de elevar la eficiencia en el sector del transporte emprendió la tarea de la construcción de coches ferroviarios. Se trata de un medio de transporte con ventajas comparativas en ciertos aspectos, tales como el consumo de combustible por tonelada/kilómetro transportada, la posibilidad de realizar transportes masivos, que hacen relevante su uso en el mundo moderno.

En los últimos años se ha estado trabajando en la construcción de nuevas vías de ferrocarril para enlazar objetivos económicos de gran importancia para el país, así como en la reparación y modernización de las vías ya existente.

Por la dirección del país se decidió que el Vagón Jaula 401S fuera el medio de transporte de la caña de azúcar.

En la provincia estas actividades de construcción de nuevos coches se realizan en la Empresa Industrial Ferroviaria “José Valdés Reyes”, perteneciente al grupo GESIME, del Ministerio de Industrias, ubicada en la ciudad de Cárdenas, donde se efectúan mantenimientos y reparaciones capitales de los vagones ferroviarios y otras tareas dentro de la metalurgia, tratándose todo esto de soldadura y maquinado.

Actualmente en esta empresa no existe la documentación técnica necesaria (Cartas tecnológicas, cartas de control de calidad y carta croquis), para la fabricación por soldadura del conjunto de puertas del Vagón Jaula 401S. Por ser un procedimiento efectivo para la fabricación de piezas y estructuras resistentes se utiliza la soldadura por arco eléctrico MIG-MAG la cual se caracteriza por la creación y mantenimiento de un

[Escriba aquí]

arco eléctrico entre una varilla metálica llamada electrodo, la pieza a soldar y protegido por gas CO<sub>2</sub>.

**Situación Problemática:** No existe la documentación técnica necesaria para la fabricación del conjunto de puertas del Vagón Jaula 401S (tecnología).

**Problema Científico:** ¿Cómo elaborar la documentación técnica para la fabricación del conjunto de puertas del Vagón Jaula 401S?

**Objetivo General:** Diseñar la tecnología de fabricación por soldadura por el método MAG, del conjunto de puertas del Vagón Jaula 401S.

**Objetivos específicos:**

- Efectuar una búsqueda bibliográfica del tema.
- Sistematizar los aspectos teóricos conceptuales que permitan actualizar los conocimientos sobre las diferentes temáticas abordadas.
- Análisis de las propiedades mecánicas del metal base.
- Determinar la soldabilidad del metal base.
- Seleccionar el metal de aporte y determinar su composición química.
- Seleccionar los parámetros del régimen de ensamble, punteo y soldadura (el voltaje, el diámetro del alambre, consumo de gas y la velocidad de soldadura).
- Cálculo del consumo de materiales y gases para el punteo y la soldadura general.
- Cálculo de los tiempos para el ensamble, punteo y soldadura del conjunto de puertas del Vagón Jaula 401S.
- Cálculos de los costos para la operación de ensamble y punteo.
- Cálculos de los costos para la operación de soldadura general.
- Determinar el régimen de trabajo de corte por plasma.

## CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

### 1.1 Antecedentes de la soldadura.

La historia de la unión de metales se remonta a varios milenios, con los primeros ejemplos de soldadura desde la Edad de Bronce y la Edad de Hierro en Europa y el Oriente Medio. (Kalpakjian, 2002)

En el siglo XVIII con la revolución industrial se incentivó la introducción a escala comercial las técnicas de remachado, soldeo fuerte y blando, soldeo por fusión, entre otras. (Ramos, 2012)

El soldeo por llama se desarrolló cuando fue posible el abastecimiento a escala industrial de oxígeno e hidrógeno. En el año 1916 la soldadura oxiacetilénica era ya un proceso completamente desarrollado, capaz de producir soldaduras por fusión de calidad en chapas finas de acero, aluminio, y cobre desoxidado, con solo ligeras diferencias respecto a los procesos utilizados en la actualidad. (Ramos, 2012)

Otro proceso utilizado fue la soldadura por resistencia desarrollada durante las décadas finales del siglo XIX. (Zabala, 1988)

Alrededor de 1900, A. P. Strohmenger lanzó un electrodo de metal recubierto en Gran Bretaña, que dio un arco más estable, y en 1919, la soldadura de corriente alterna fue inventada por C. J. Holslag, pero no llegó a ser popular por otra década. (Zabala, 1988)

Al principio, la soldadura de gas fue uno de los más populares métodos de soldadura debido a su portabilidad y costo relativamente bajo. Sin embargo, a medida que progresaba el siglo XX, bajó en las preferencias para las aplicaciones industriales. En gran parte fue sustituida por la soldadura de arco, en la medida que continuaron siendo desarrolladas las cubiertas de metal para el electrodo (conocidas como fundente), que estabilizan el arco y blindaban el material base de las impurezas. (Zabala, 1988)

La Primera Guerra Mundial causó un repunte importante en el uso de los procesos de soldadura, con las diferentes fuerzas militares procurando determinar cuáles de los varios procesos nuevos de soldadura serían los mejores. Los británicos usaron primariamente la soldadura por arco, incluso construyendo una nave, el Fulagar, con un

[Escriba aquí]

casco enteramente soldado. Los estadounidenses eran más vacilantes, pero comenzaron a reconocer los beneficios de la soldadura de arco cuando el proceso les permitió reparar rápidamente sus naves después de los ataques alemanes en el puerto de Nueva York al principio de la guerra. También la soldadura de arco fue aplicada primero a los aviones durante la guerra, pues algunos fuselajes de aeroplanos alemanes fueron construidos usando el proceso. (Sola, 1987)

El gas de protección se convirtió en un tema recibiendo mucha atención, mientras que los científicos se preocupaban por proteger las soldaduras contra los efectos del oxígeno y el nitrógeno en la atmósfera. La porosidad y la fragilidad eran los problemas primarios, y las soluciones que desarrollaron incluyeron el uso del hidrógeno, argón, y helio como atmósferas de soldadura. (Buch, 1999)

Durante la siguiente década, posteriores avances permitieron la soldadura de metales reactivos como el aluminio y el magnesio. Esto, conjuntamente con desarrollos en la soldadura automática, la corriente alterna, y los fundentes alimentaron una importante extensión de la soldadura de arco durante los años 1930 y entonces durante la Segunda Guerra Mundial. (Buch, 1999)

A mediados del siglo XX, fueron inventados muchos métodos nuevos de soldadura. En 1930 vio el lanzamiento de la soldadura de perno, que pronto llegó a ser popular en la fabricación de naves y la construcción. La soldadura de arco sumergido fue inventada el mismo año, y continúa siendo popular hoy en día. En 1941, después de décadas de desarrollo, la soldadura de arco de gas tungsteno fue finalmente perfeccionada, seguida en 1948 por la soldadura por arco metálico con gas, permitiendo la soldadura rápida de materiales no ferrosos, pero requiriendo costosos gases de blindaje. (Buch, 1999)

En 1957, debutó el proceso de soldadura por arco con núcleo fundente, en el que el electrodo de alambre auto blindado podía ser usado con un equipo automático, resultando en velocidades de soldadura altamente incrementadas, y ése mismo año fue inventada la soldadura de arco de plasma. La soldadura por electro escoria fue introducida en 1958, y fue seguida en 1961 por otro proceso similar, la soldadura por electro gas. (Zabala, 1988)

Otros desarrollos recientes en la soldadura incluyen en 1958 el importante logro de la soldadura con rayo de electrones, haciendo posible la soldadura profunda y estrecha por medio de la fuente de calor concentrada. Siguiendo la invención del láser en 1960, la

[Escriba aquí]

soldadura por rayo láser debutó varias décadas más tarde, y ha demostrado ser especialmente útil en la soldadura automatizada de alta velocidad. Sin embargo, ambos procesos continúan siendo altamente costosos debido al alto costo del equipo necesario, y esto ha limitado sus aplicaciones. (Zabala, 1988)

## **1.2 Particularidades generales de la soldadura:**

La soldadura consiste en la unión permanente (no desarmable) de dos o más piezas, de metales generalmente iguales en composición química, mediante la fusión local en la zona de contacto entre los bordes de las piezas a unir. Esta fusión se produce por efecto de calor intenso suministrado por diferentes fuentes a la zona de unión. (González, 2010)

El calor para la fusión en la soldadura de metales se suministra a partir de una de dos fuentes principales: combustión de un gas (generalmente acetileno) en atmósfera enriquecida con oxígeno, o establecimiento de un arco eléctrico que se produce entre un electrodo de características apropiadas y la zona donde se debe producir la unión soldada. (González, 2010)

Soldar es uno de las técnicas de fabricación más comunes y la tendencia en la producción de las fábricas es la de automatizar este proceso para elevar los índices de productividad y calidad de la misma. Para la automatización se ha establecido una relación entre los parámetros del proceso y geometría de la costura de soldadura para predecir y controlar la calidad de la misma. Estas relaciones pueden desarrollarse usando técnicas del plan experimentales. (Shukla, 2012)

Muchas fuentes de energía diferentes pueden ser usadas para la soldadura, incluyendo una llama de gas, un arco eléctrico, un láser, un rayo de electrones, procesos de fricción o ultrasonido. La energía necesaria para formar la unión entre dos piezas de metal generalmente proviene de un arco eléctrico. La energía para soldaduras de fusión o termoplásticos generalmente proviene del contacto directo con una herramienta o un gas caliente. (Shukla, 2012)

En la actualidad la soldadura es uno de los procesos más ampliamente usados para fabricación y reparación de diversos equipos en todo el campo de la ingeniería, por ello

[Escriba aquí]

es de gran interés incrementar la calidad y prevenir fallas durante la fabricación o en servicio, para lo cual es necesario obtener información acerca de la forma, dimensiones y esfuerzos residuales. Mediante la simulación numérica, en particular mediante el método de los elementos finitos, podemos evaluar los diferentes parámetros y condiciones, sin necesidad de hacer un gran número de ensayos, algo que para las aplicaciones industriales es muy importante. (Helzer, 2005)

### **1.3 Tipos de soldadura:**

Una soldadura puede ser:

Homogénea: La obtenida al realizar el soldeo entre dos piezas de acero de composición similar sin utilizar metal de aporte o utilizando un metal de aporte de la misma naturaleza que el de las piezas a unir. (Zabala, 1988)

Heterogénea: La obtenida al realizar el soldeo de dos piezas de fundición utilizando como metal de aporte una aleación de níquel o bien realizar el soldeo entre dos piezas de distinto material utilizando como aporte otro material diferente. (Zabala, 1988)

A continuación, se muestra un esquema con los diferentes tipos de soldadura:

**Figura 1.1 Tipos de soldadura:**

[Escriba aquí]



### **1.3.1 Soldadura manual por arco con electrodos revestidos:**

La soldadura por arco con electrodos revestido es un proceso en el que la fusión del metal se produce por el calor generado por un arco eléctrico establecido entre el extremo de un electrodo revestido y el metal base de una unión a soldar. El material de aportación se obtiene por la fusión del electrodo en forma de pequeñas gotas. La protección se obtiene por la descomposición del revestimiento en forma de gases y también como escoria líquida que flota sobre el baño de fusión y posteriormente se solidifica. (Ramos, 2012)

### **1.3.2 Soldadura por arco sumergido:**

El proceso de soldadura por arco sumergido, o método SWA en la función de uno o varios electrodos continuos (en forma de alambres o cintas), protegido por la escoria que genera un flux granulado o en polvo que actúa de forma independiente y alimenta el arco. Este proceso es totalmente automático y permite obtener grandes rendimientos en producción. (Ramos, 2012)

[Escriba aquí]

El flux protege el arco y el baño de fusión de la atmósfera circundante, de tal manera que ambos permanecen invisibles durante el proceso (el operador no necesita de protección ocular). Parte del flux se funde con un papel similar al del recubrimiento en los electrodos revestidos. Además de esto permite añadirse a elementos de aleación o compensar la pérdida de estos. Todo el flux que no se funde se recupera y utiliza en el proceso nuevamente. (Ramos, 2012)

### **1.3.3 Soldadura por resistencia:**

La soldadura eléctrica por resistencia tiene un campo de aplicación específica en la soldadura entre chapas. El proceso consiste en apretar fuertemente las dos chapas con una pieza metálica y establecer una descarga eléctrica entre las dos patas de la pinza que hacen de electrodos. La zona de mayor resistencia de este circuito eléctrico está en el contacto entre las chapas, la cual se calienta por efecto Joule hasta fundir el metal y producir la unión. En general esta unión se realiza por puntos (soldadura por puntos) pero también puede hacerse una costura continua por medio de una pinza con roldanas. La soldadura por punto se utiliza generalmente en forma automatizada (robots y otras máquinas) en la soldadura de la carrocería de los automóviles, bastidores de electrodomésticos, armarios metálicos y en sistemas análogos. (González, 2010)

### **1.3.4 Soldadura oxigas:**

La soldadura oxigas es un proceso por fusión que utiliza el calor producido por una llama, obtenida por la combustión de un gas con oxígeno, para fundir el metal base y el de aporte (si fuera necesario). (Ramos, 2012)

Para conseguir la combustión se necesita:

1. Un gas combustible: Acetileno, propano, gas natural, entre otros.
2. Un gas comburente: Oxígeno.

Cuando ese suelda con metal de aportación, este se aplica mediante una varilla con independencia de la fuente de calor, lo que constituye una de las principales características del procedimiento. (Ramos, 2012)

[Escriba aquí]

En cuanto a la protección del baño de la fusión la realizan los propios gases de la llama, aunque en algún caso es necesario recurrir al empleo de desoxidantes (fundentes).

(Ramos, 2012)

### **1.3.5 Soldadura por arco protegido:**

Los procesos de soldeo por arco protegidos por gas son:

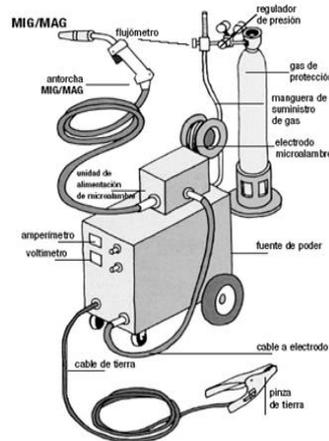
1. Proceso TIG.
2. Proceso MIG-MAG
3. Proceso de corte por plasma

La función primordial de los gases de protección es evitar que a altas temperaturas el metal, el electrodo y el baño de fusión se oxiden o contaminen con impurezas. Si el air entra en contacto con el metal fundido, el oxígeno del aire reaccionara con el material produciendo óxidos, el nitrógeno puede causar porosidad y la humedad del aire puede causar porosidad y provocar grietas. Otra función importante de los gases de protección es la de facilitar la transferencia del metal a la soldadura por arco, ionizándose para permitir el establecimiento del arco y la formación de la columna de plasma. (Ramos, 2012)

### **1.4 Procesos de soldadura por arco eléctrico con gas protector:**

El proceso al arco eléctrico se emplea principalmente para la soldadura de láminas, placas o tuberías de metal. Donde se tiene en cuenta la influencia del ancho del cordón en las propiedades de la soldadura y el calor introducido en las tenciones residuales que surgen en el área soldada producto del proceso de soldadura. (Sola, 1987)

[Escriba aquí]



**Figura 1.2. Máquina de soldadura MAG.**

La soldadura por arco eléctrico con gas de protección es un proceso semiautomático que es válido tanto para la operación manual como automatizada. Puede ser clasificada como:

- TIG: Tugsten Inert Gas
- MIG: Metal Inert Gas
- MAG: Metal Active Gas (Sola, 1987)

Para proporcionar el calor necesario para la operación de soldadura se requiere un arco de bajo voltaje (16-40 V) y alta intensidad (60-600 A) que se establece entre el electrodo y la pieza de trabajo. (Sola, 1987)

Para la soldadura de placas, tuberías de espesor delgado y piezas en posición plana se recurre al proceso de “transferencia en spray” que opera dentro del rango de intensidades de 180 A-450 A. En este proceso se forman pequeñas gotas de metal fundido del alambre de aporte, que se proyectan al baño de fusión a través del arco. Las soldaduras que están localizadas en posiciones en las cuales el metal fundido tiende a salir hacia fuera de la unión por acción de la gravedad (vertical, sobre cabeza), se sueldan a menores intensidades (60 A-180 A). (Riesco, 2016)

La técnica apropiada para estos tipos de unión es: (Riesco, 2016)

- a) Transferencia en cortocircuito: se transfiere el metal a la unión cuando el alambre de aporte contacta con el baño de fusión.
- b) Transferencia en arco pulsado: se transfiere el metal a la unión en forma de pequeñas gotas (tipo spray) controladas mediante impulsos regularmente espaciados.

[Escriba aquí]

Estas dos técnicas se emplean también para la soldadura de láminas delgadas 1.6 mm (1/16”) y menores. (Sola, 1987)

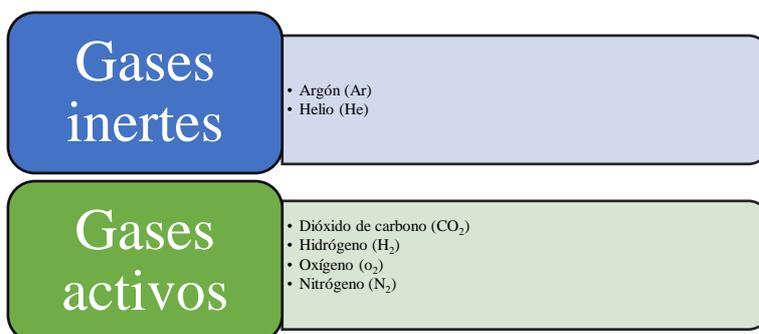
La soldadura MIG/MAG y la soldadura TIG son dos de los procesos más importantes que emplean un gas de protección para proteger al metal soldado de la contaminación atmosférica. (Riesco, 2016)

El MIG-Sinérgico es un sistema MIG/MAG avanzado que incorpora la transferencia en spray y la transferencia en pulsado. Se deben establecer las condiciones óptimas de trabajo para un rango de aplicaciones. El proceso MIG-sinérgico requiere un equipo específico de soldadura. Se pueden unir aceros al carbón, inoxidable, aluminio, cobre y aleaciones, titanio y magnesio.

### 1.5 Clasificación de los gases de protección:

La función primordial de los gases de protección es evitar que a altas temperaturas el metal, el electrodo y el baño de fusión se oxiden o contaminen con impurezas. Si el aire entra en contacto con el metal fundido, el oxígeno del aire reaccionará con el material produciendo óxidos, el nitrógeno puede causar porosidad y la humedad del aire puede también causar porosidad y provocar grietas. Otra función importante de los gases de protección es la de facilitar la transferencia del metal en la soldadura por arco, ionizándose para permitir el establecimiento del arco y la formación de la columna de plasma. (Kalpakjian, 2002)

En la **figura 1.3** se muestra la clasificación de los gases de protección:



[Escriba aquí]

## Propiedades de los gases

### 1. Energía de Ionización:

Al establecerse un arco eléctrico el gas circundante se ioniza (se produce la separación de átomos o moléculas del gas en iones y electrones) y forma la columna de plasma.

También los gases formados con más de un átomo, como el nitrógeno ( $N_2$ ) o el hidrógeno ( $H_2$ ) se disocian, es decir, se producen la separación con carácter reversible, de los iones en sus átomos. (Helzer, 2005)

Para conseguir estos fenómenos, ionización y dislocación, es necesario suministrar al gas una energía denominada, respectivamente, de ionización y de dislocación. En ambos casos esta energía la proporciona el propio arco durante la operación de soldadura. (Weman, 2003)

Cuando el gas es ionizado o dislocado entra en contacto con la pieza que se va a soldar, se enfría y el plasma se convierte de nuevo en gas como al inicio. Al unirse los átomos se libera la energía de ionización o dislocación que se transmite a la pieza. (Shukla, 2012)

### 2. Densidad:

Cuanto mayor sea la densidad de un gas, se requerirá menor caudal para obtener la misma protección, ya que cubrirá más fácilmente la zona de la soldadura; por ejemplo: el argón posee mayor densidad que el helio y menor que el dióxido de carbono ( $CO_2$ ), por lo que para un mismo grado de protección se necesita menor caudal de  $CO_2$  que el argón y helio. (Shukla, 2012)

### 3. Conductividad térmica:

Facilidad para transmitir el calor cuanto mayor sea la conductividad térmica, la distribución de temperaturas en el arco es más homogénea, dando lugar a cordones más anchos y una penetración más uniforme; por ejemplo: la conductividad del argón es menor que la del helio, por lo que la penetración de este último es mayor. (Shukla, 2012)

[Escriba aquí]

## **1.6 Características de los gases de protección:**

El **Argón** posee las siguientes características:

- Eficiente protección debido a su alta densidad.
- Cebado fácil.
- Buena estabilidad del arco.
- Resulta económico.
- Idóneo para pequeños espesores.
- Buenos resultados en la forma y penetración.

**Helio:**

- Potencial de ionización elevado.
- Alta conductividad, por lo que la columna de plasma es ancha.
- Posee muy baja densidad.

El **Dióxido de carbono** es el único gas activo que puede utilizarse como protección, aunque únicamente se utiliza en el soldeo MAG. Dentro de sus ventajas más importantes se encuentran: (Helzer, 2005)

- Bajo costo.
- Gran penetración.
- Alta velocidad de soldadura.

Como mismo presenta ventajas, también presenta inconvenientes como son:

- Se producen gran cantidad de salpicaduras.
- Únicamente se logra globular o cortocircuito.
- La superficie de los cordones queda ligeramente oxidada.

**Alambre y gas protector.**

En la soldadura MIG/MAG el alambre se orienta en la misma dirección de avance que la antorcha (técnica de empuje). Esto permite que el arco funda el metal base por delante del baño de fusión y se obtenga una mejor penetración. El soldador debe controlar la velocidad de avance para asegurar que el baño de fusión no vaya por delante del arco, lo que podría provocar una falta de fusión. (Shukla, 2012)

[Escriba aquí]

La calidad de la soldadura en la soldadura MIG/MAG depende del ajuste de las variables de soldadura: (Shukla, 2012)

- ✓ El voltaje controla el perfil de la soldadura.
- ✓ La inductancia en la transferencia en cortocircuito estabiliza el arco y reduce el nivel de proyecciones. Inductancia baja: Aceros al carbón, aluminio, cobre.  
Inductancia alta: Aceros inoxidables.
- ✓ La velocidad de alimentación del alambre establece el amperaje de soldadura.
- ✓ El amperaje controla:
  - El aporte térmico.
  - El tamaño de la soldadura.
  - La profundidad de penetración.

El diámetro del alambre depende de la corriente requerida. La tabla 1.1 sirve de guía para la selección del diámetro de alambre, pero la relación exacta depende también del material y del gas de protección.

Tabla 1.1: Recomendaciones de intensidad de la corriente y alimentación del hilo para diferentes diámetros del alambre.

Diámetro ( mm)	Intensidad ( A )	Alimentación del hilo (m/min)
0,9	80-200	7,5-10
1,1	160-240	8,8-14

Normalmente, los alambres que se emplean para la soldadura MIG/MAG son sólidos. Para aceros dulces, aceros al Carbono–Manganeso y aceros Inoxidables, se pueden emplear alambres tubulares. Éstos ofrecen mayores velocidades de soldadura y un control más fácil de los perfiles de las soldaduras en el caso que nos ocupa el alambre ER 7056 es un electrodo (continuo) de acero al carbono que presenta una excelente soldabilidad. Es para ser utilizado principalmente con gas carbónico (CO<sub>2</sub>) y otras mezclas (Argón-CO<sub>2</sub>), es recomendado utilizarlos en aceros corrientes de baja aleación ya que su contenido de Silicio y Manganeso le confieren excelentes propiedades

[Escriba aquí]

desoxidantes, asegurando una soldadura libre de porosidades y prácticamente sin escoria, lo que reduce las tareas de limpieza. (Shukla, 2012)

### **1.7 Parámetros de soldadura y modos de transferencia del metal:**

La transferencia del metal desde el electrodo hasta la pieza puede realizarse de dos formas:

1. Desprendimiento de gotas del electrodo que viajan a través del arco hasta llegar a la pieza. Se conoce también como transferencia por vuelo, lo mismo globular o spray, en dirección axial o no axial. (Ramos, 2012)

2. Desprendimiento de la gota del electrodo a la pieza cuando esta contacta con el metal fundido depositado por soldadura. Transferencia por cortocircuito. (Ramos, 2012)

Los parámetros principales de soldadura para cada uno de los casos se pueden enunciar de la manera siguiente: (Ramos, 2012)

Para caso 1

- Tipo, magnitud, densidad y composición de la corriente de soldadura.
- Longitud libre del electrodo (desde la punta del tubo de contacto).
- Presencia de ciertos materiales en la superficie del electrodo.
- Composición del gas de protección.

Para caso 2

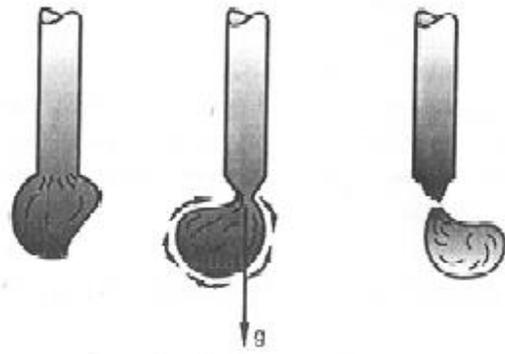
- Características de la fuente de energía y su respuesta dinámica a los cambios de carga.
- Magnitud de la corriente.
- Extensión, composición y diámetro del electrodo.
- Composición del gas de protección.

Modo de transferencia globular:

Se caracteriza por la formación de una gota relativamente grande en el extremo del electrodo. Esta gota se va formando y aumenta su tamaño hasta que la fuerza de

[Escriba aquí]

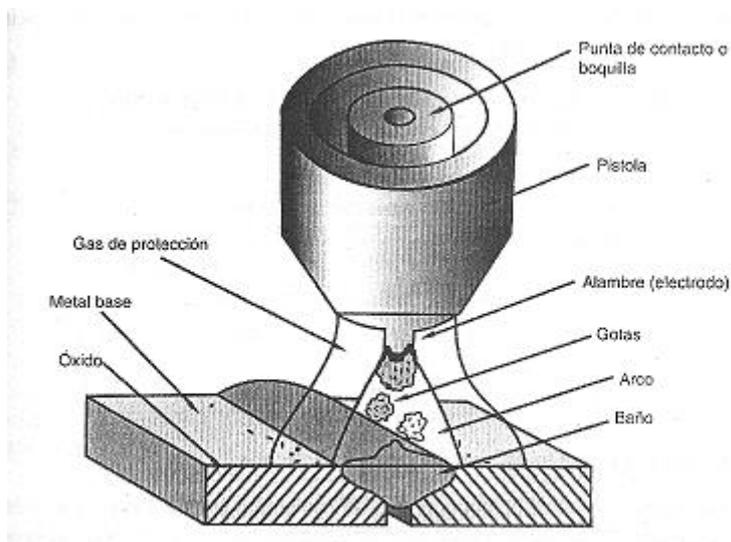
gravedad supera la tensión superficial de la gota fundida, momento en el cual la gota cae en el baño fundido. (Ramos, 2012)



**Figura 1.4: Modo de transferencia Globular.**

Modo de transferencia spray:

Las gotas son iguales o menores que el diámetro del alambre y su transferencia se realiza desde el extremo del electrodo al baño fundido en forma de una corriente axial y una tras otra, pero sin estar interconectadas. (Ramos, 2012)

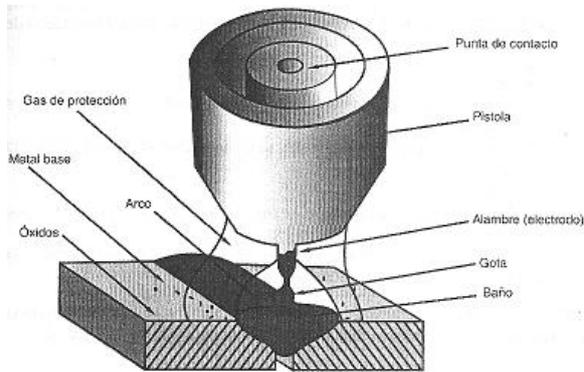


**Figura 1.5: Modo de transferencia Spray.**

Modo de transferencia por cortocircuito:

[Escriba aquí]

Este se produce por el contacto del electrodo con el metal depositado y da lugar a que estalle la gota. A este modo no se aplican los términos "dirección axial o no axial"; sin embargo, sí puede haber salpicaduras causadas por los gases de protección o por fuerzas electromagnéticas sobre el electrodo. (Ramos, 2012)



**Figura1.6: Modo de transferencia Cortocircuito**

## 1.8 Ventajas y desventajas de la soldadura MIG/MAG

Ventajas: (Ramos, 2012)

1. Proceso de elevada productividad (electrodo continuo y altas velocidades de soldadura).
2. Permite la soldadura en todas posiciones.
3. Se pueden realizar soldaduras largas sin empalme, eliminando de defectos por esta causa.
4. No requiere limpieza de escoria, ya que no las produce.
5. Es un proceso que puede ser automatizado con gran facilidad, de hecho es la elección fundamental en la robótica.
6. Se ejecuta con gran aprovechamiento del metal de aportación.
7. Necesita de menos habilidad por parte del soldador, ya que este solo realiza el movimiento de avance, porque el de alimentación es automático.
8. Se suelda todo tipo de metal.

Desventajas: (Ramos, 2012)

1. El equipamiento suele ser más costoso, complejo y menos transportable que el de soldadura con electrodos revestidos.

[Escriba aquí]

2. Resulta difícil utilizar en lugares con espacio muy reducido, por lo voluminoso del equipamiento y la necesidad de que el cable no tenga dobleces o rodeos pequeños dificulten la alimentación adecuada del electrodo.
3. No puede emplearse en lugares distantes de la fuente de energía.
4. Como proceso que utiliza gas de protección, no puede trabajar en exteriores por su susceptibilidad a las corrientes de aire.
5. A causa de su gran impud térmico, genera relativamente altos niveles de calor provocando en ocasiones el rechazo del personal de operación.

### **1.9 Principales defectos en la soldadura:**

Los principales defectos que se producen en el soldeo por fusión están clasificados en los siguientes grupos. (Weman, 2003)

1. Grietas o fisuras: pueden estar localizadas en:
  - El metal base.
  - La zona afectada térmicamente.
  - La zona de unión entre zona afectada térmicamente y el cordón de soldadura.
  - El cordón de soldadura.
  - El cráter de soldadura.
2. Sopladuras o poros: Las sopladuras son cavidades formadas por inclusiones gaseosas. Se pueden distinguir los siguientes tipos:
  - Sopladuras de forma esférica que también se denominan poros.
  - Sopladuras vermiculares con forma de gusano que se forma al escapar el gas cuando existe una alimentación continua de éste y la velocidad de solidificación muy rápida.
3. Inclusiones sólidas, (escoria, óxidos, inclusiones de wolframio o de cobre): residuos de revestimiento del electrodo o el fundente, que han fundido y solidificado en la soldadura. Pueden presentarse de forma aislada, alineada o agrupadas.
4. Falta de fusión: La falta de fusión es la falta de unión entre el metal base y el metal depositado, o entre dos cordones consecutivos de metal depositado. Éste

[Escriba aquí]

es un defecto muy peligroso y por lo tanto normalmente no es aceptado, cuando se acepta sus dimensiones serán muy pequeñas.

5. Falta de penetración: En las soldaduras con penetración parcial se considera falta de penetración cuando se obtienen penetraciones de dimensiones menores a las especificadas o deseadas. Este tipo de imperfección también es peligroso y solo se admite en los niveles de calidad moderado e intermedio, cuando la falta de penetración tiene dimensiones muy pequeñas.
6. Imperfecciones de forma: se encuentran las siguientes:
  - Mordedura.
  - Solapamiento.
  - Sobre espesor excesivo.
  - Exceso de penetración.
  - Ángulo de sobre espesor incorrecto.
  - Falta de alimentación o deformación angular.
  - Falta de metal en la soldadura.
  - Perforación.
  - Exceso de asimetría en la soldadura en ángulo.
  - Anchura irregular y superficie irregular.
  - Empalme defectuoso.
7. Otras imperfecciones:
  - Cebado de arco.
  - Salpicaduras o proyecciones.
  - Desgarre local.
  - Marca de amolado o burilado.
  - Amolado excesivo.

A continuación, se presenta un resumen de las principales causas de los principales defectos en la soldadura: (Shukla, 2012) (Weman, 2003)

#### Grietas o fisuras:

- Soldar con excesiva intensidad.
- Enfriamiento rápido de la soldadura.
- Soldar con un embriamiento excesivo.

[Escriba aquí]

- Existir tensiones residuales en el metal base debidas a los procesos previos de fabricación.
- Mala secuencias de soldeo que provoque excesivas tensiones y deformaciones.
- Inadecuado e insuficiente material de aportación (electrodos, varillas, alambres o gases de protección).
- Metal base de mala soldabilidad.
- Finalizar el cordón de soldadura retirando el electrodo de forma rápida y brusca.

Sopladuras o poros:

- Falta de limpieza en los bordes de la unión, presencia de óxidos, pintura o grasa.
- Intensidad excesiva.
- Condiciones atmosféricas desfavorables: excesivo viento.
- Mala técnica operatoria: soldar con el arco demasiado largo o con un ángulo de desplazamiento muy grande.
- Equipo de soldeo en mal estado: fugas en el sistema de refrigeración, gases de protección con humedad, etc.
- Gas de protección inadecuado o insuficiente.

Inclusiones sólidas:

- Soldeo con intensidad muy baja en el caso de inclusiones de escoria.
- Contaminación del baño de fusión.
- Mala preparación de la unión.
- Inclinación incorrecta del electrodo o inadecuado balanceo de éste.

Falta de fusión:

- Arco demasiado largo.
- Intensidad baja.
- Excesiva velocidad de desplazamiento.
- Defectuosa preparación de bordes, por ejemplo bisel con ángulo muy pequeño, una separación muy pequeña entre las chapas a unir o existencias de una desalineación entre piezas.

[Escriba aquí]

- Posición del electrodo incorrecta, no centrada con respecto a los bordes de la unión.
- Soldar encima de un cordón que tiene un exceso de espesor muy grande.
- Realizar empalmes defectuosos.
- Protección deficiente del baño de soldadura, que favorece la aparición de óxidos.

#### Falta de penetración:

- Baja intensidad de soldeo.
- Excesiva velocidad de soldeo.
- Separación en la raíz muy pequeña, ángulo del bisel demasiado pequeño o talón de la raíz muy grande.

### **1.9.1 Consecuencias de las imperfecciones en la soldadura.**

- Mala calidad de la estructura soldada y por tanto rotura de la misma.
- Mayor tiempo invertido (al tener que reparar).
- Mayor costo (por reparación y demora en el plazo de entrega). (Weman, 2003)

Cuando las imperfecciones sean superiores a las indicadas por la norma se rechazará la pieza.

### **1.10 Corte por arco plasma:**

El corte por arco de plasma. También denominado PAC (plasma arc cutting), separa el metal empleando un arco constreñido para fundir un área localizada de la pieza de trabajo, que al mismo tiempo elimine el material derretido con un chorro de alta velocidad. (Kalpakjian, 2002)

#### **1.10.1 Orígenes**

La tecnología de uniones de piezas metálicas por arco eléctrico vio sus éxitos en 1930 al construir un barco totalmente soldado en Carolina del Sur en Estados Unidos, años después se introdujo mejoras en el proceso como corriente alterna, y se utilizó protección como fundente granulada. (Kalpakjian, 2002)

[Escriba aquí]

En los años 40 se introdujo el primer proceso con protección gaseosa empleando un electrodo no consumible de wolframio y helio como gas protector, recibió el nombre de TIG (Tngsten Inert Gas). (Kalpakjian, 2002)

En 1954 los científicos descubren que, al aumentar el flujo del gas y reducir la abertura de la boquilla utilizada en la soldadura TIG, se obtiene un chorro de plasma. Este chorro es capaz de cortar metales, lo que dio lugar al proceso de corte por plasma conocido hoy en día. (Kalpakjian, 2002)

### **1.10.2 Fundamentos físicos-químicos**

El plasma se considera el cuarto estado de la materia después de la sólida, el líquido, y el gaseoso. El plasma consiste en un aglomerado de iones positivos átomos neutros y electrones libres. Y obteniéndose por calentamiento de gases hasta temperaturas extremadamente elevadas. En los cambios de estados de la materia interviene una cierta cantidad de calor (calor latente de la transformación) así, para transformar agua en vapor es necesario aportar calor. De la misma forma el arco suministra calor al gas para llevarlo al estado de plasma. Posteriormente cuando el plasma vuelve al estado gaseoso devuelve la misma cantidad de calor. (Kalpakjian, 2002)

A muy elevadas temperaturas, los electrones tienen suficiente energía como para escapar de su órbita alrededor del núcleo del átomo, generando iones de carga positiva. (Kalpakjian, 2002)

El plasma es el estado en el que se encuentran las estrellas por su elevada temperatura. En la atmosfera terrestre solo podemos conseguir el plasma por medios artificiales. (Kalpakjian, 2002)

Al calentar un gas a temperaturas del orden de 50. 000°C los átomos pierden electrones. Estos electrones libres se colocan en los núcleos que han perdido sus propios electrones, convirtiéndose así en iones. De esta forma el gas se convierte en plasma y por consecuencia tendremos un conductor eléctrico gaseoso con alta densidad de energía. (Kalpakjian, 2002)

### **1.10.3 Descripción del proceso**

[Escriba aquí]

El proceso de corte con arco de plasma, también denominado PAC (plasma arc cutting), separa metal empleando un arco constreñido para fundir un área localizada de la pieza de trabajo, que al mismo tiempo elimine el material derretido con un chorro de alta velocidad de gas ionizado que sale por el orificio de constricción. El gas ionizado es un plasma, de ahí el nombre del proceso. Los arcos de plasma por regular operan a temperaturas de 10 000° a 14 000°C. (Gómez, 2006)

Un plasma de arco es un gas que ha sido calentado por un arco hasta alcanzar un estado de por lo menos ionización parcial, lo que permite conducir una corriente eléctrica. En cualquier arco eléctrico existe un plasma, pero el termino arco de plasma se aplica a sopletes que utilizan un arco constreñido. La principal característica que distingue a los sopletes de arco de arco de plasma de otros sopletes de arco es que, para una corriente y tasa de flujo de gas dadas, el voltaje del arco es más alto en el soplete de arco constreñido. El arco se constriñe haciéndolo pasar por un orificio situado en el electrodo. Cuando el gas de plasma atraviesa el arco, se calienta rápidamente hasta una temperatura elevada, se expande y se acelera al pasar por el orificio de constricción hacia la pieza de trabajo. (Gómez, 2006)

La intensidad y la velocidad del plasma dependen de cierto número de variables, entre las que están el tipo de gas, su presión, el patrón de flujo, la corriente eléctrica, el tamaño y la forma del orificio y la distancia respecto a la pieza de trabajo. El proceso trabaja con corriente continua, de polaridad recta. El orificio dirige el chorro de plasma sobrecalentado desde el electrodo hasta la pieza de trabajo. Cuando el arco funde la pieza de trabajo, el chorro de alta velocidad expulsa el metal derretido para formar el corte. El arco de corte se conecta o transfiere a la pieza de trabajo, por lo que se conoce como arco transferido. (Gómez, 2006)

#### **1.10.4 Características especiales del proceso**

Esta moderna tecnología es usable para el corte de cualquier material metálico conductor, y más especialmente en acero estructural, inoxidable y metales no férricos. (Gómez, 2006)

[Escriba aquí]

El corte por plasma puede ser un proceso completamente para trabajos especiales, como pueden ser la producción de pequeñas series, la consecución de tolerancias muy ajustadas o la mejora de acabados. (Gómez, 2006)

También se produce una baja afectación térmica del material gracias a la alta concentración energética del arco-plasma. El comienzo del corte es prácticamente instantáneo y produce una deformación mínima de la pieza. (Gómez, 2006)

Este proceso permite mecanizar a altas velocidades de corte y produce menos tiempos muertos, (no se necesita precalentamiento para la perforación). (Gómez, 2006)

Permite espesores de corte de 0,5 a 160 milímetros, con unidades de plasma de hasta 1 000 amperios. El corte por plasma también posibilita mecanizados en acero estructural con posibilidad de biselados hasta en 30 milímetros. (Gómez, 2006)

Una de las características más reseñables es que se consiguen cortes de alta calidad y muy buen acabado. (Gómez, 2006)

### **1.10.5 Ventajas y desventajas**

Ventajas: (Kalpakjian, 2002)

- En comparación con los procesos de corte mecánicos, la cantidad de fuerza requerida para sostener la pieza de trabajo en su lugar y desplazar el soplete (o viceversa) es muy inferior en el caso del proceso de corte con arco de plasma, que no hace contacto.
- En comparación con el OFC, el proceso de corte con plasma opera en un nivel energético muy superior, lo que permite mayores velocidades de corte.
- El PAC tiene la ventaja de iniciarse inmediatamente, sin necesidad de precalentamiento. El inicio instantáneo resulta especialmente ventajoso en aplicaciones que implican interrupción del corte, como en el corte de mallas.

Desventajas: (Kalpakjian, 2002)

- En con la mayor parte de los métodos de corte mecánicos, presenta peligros como son incendio, choque eléctrico, luz intensa, humo y gases, y niveles de ruido que probablemente no estén presentes en los procesos mecánicos.

[Escriba aquí]

- Es difícil controlar el PAC con tanta precisión como algunos procesos mecánicos, para trabajos con tolerancias estrechas.
- En comparación con el OFC, el equipo de PAC tiende a ser más costoso, requiere energía eléctrica y presenta peligros de choque eléctrico.

#### **1.10.6 Equipamiento:**

El equipo necesario para aportar esta energía consiste en un generador de alta frecuencia alimentado por energía eléctrica, gas para generar la llama de calentamiento, y que más tarde se ionizara (argón, hidrogeno, nitrógeno), un electrodo y porta electrodo que dependiendo del gas puede ser de tungsteno, hafnio o circonio, y por supuesto la pieza a mecanizar. (Gómez, 2006)

#### **1.10.7 Gas-plasma:**

Los principales gases que se utilizan como gases plasmagenos son, argón, nitrógeno y aire, o mezcla de estos gases, en general se utiliza el nitrógeno por su mejor comportamiento respecto a la calidad del corte y garantiza una durabilidad de la boquilla. El chorro del gas-plasma utilizado en el proceso se compone de dos zonas: (Kalpakjian, 2002)

Zona envolvente: que es una capa anular fría sin ionizar que envuelve la zona central. Al ser fría conseguimos refrigerar la boquilla, aislarla eléctricamente y confinar el arco de la región de la columna-plasma.

Zona central: que se compone por dos capas, una periférica constituida por un anillo de gas caliente no suficientemente conductor y la columna de plasma o el núcleo donde el gas-plasma presenta su más alta conductividad térmica la mayor densidad de partículas ionizadas y las más altas temperaturas, entre 10.000 y 30.000 °C.

#### **1.10.8 Arco eléctrico**

[Escriba aquí]

El arco generado en el proceso de corte por plasma se denomina arco transferido. Como su propio nombre lo indica, el arco se genera en una zona y es transferido a otra. (Kalpakjian, 2002)

### **1.10.9 Clasificación del corte por plasma**

El corte por arco de plasma se clasifica teniendo en cuenta varios parámetros, a continuación, definimos algunos de ellos: (Kalpakjian, 2002)

#### Corte por plasma por aire:

En el año 1963 se introduce el corte por plasma por aire. El oxígeno del aire aumenta las velocidades de corte en un 25 por ciento en relación con el corte tradicional por plasma seco, sin embargo, también conlleva una superficie de corte muy oxidada y una rápida erosión del electrodo que está dentro de la boquilla de corte.

#### Corte con inyección de agua:

En 1968, Dick Couch, presidente de Hypertherm, inventa el corte con inyección de agua, un proceso que implicaba inyectar radialmente agua en la boquilla. El resultado final fue corte mejor y más rápido, así como con menos escoria. Este proceso también utiliza como gas nitrógeno, pero como protector utiliza una capa de agua.

#### Corte con inyección de oxígeno:

En 1983 se desarrolla una nueva técnica que implica la utilización de oxígeno como gas de corte y la introducción de agua por la punta de la boquilla. Este proceso denominado “corte por plasma con inyección de oxígeno” ayuda a solucionar los problemas del rápido deterioro de los electrodos y la oxidación del metal.

#### Corte con doble flujo:

Este es el sistema convencional o standard, de alta velocidad, de alta velocidad que utiliza como gas-plasma nitrógeno y como gas protector puede emplearse bióxido de carbono o bien oxígeno.

[Escriba aquí]

### **1.11 Conclusiones parciales:**

Del análisis anteriormente realizado se puede plantear que:

- Soldar no es más que la unión de dos o más metales de forma permanente.
  
- La unión soldada por arco eléctrico resulta más ventajosa económicamente que otras uniones soldadas.
  
- El proceso de soldadura bajo protección de gases, resulta una variante tecnológica de gran eficiencia y calidad.

[Escriba aquí]

## **CAPÍTULO II: MATERIALES EQUIPOS Y MÉTODOS.**

En el capítulo siguiente se tratarán los diferentes aspectos relacionados con la caracterización del objeto de estudio, se realizará una explicación de los procedimientos utilizados para el desarrollo de la investigación, mostrando la metodología propuesta para la tecnología de fabricación por soldadura MAG del conjunto de puertas del Vagón Jaula 401S.

### **2.1 Análisis preliminar de las condiciones del taller:**

Para la colocación en el dispositivo de las piezas de gran peso o de grandes longitudes que forman los diferentes subconjuntos utilizaremos una grúa viajera del tipo mostrado en la figura siguiente e instalada en el taller de partería y soldadura.



**Figura 2.1: Grúa de Izaje.**

#### **Características técnicas.**

- Modelo = S/M
- CAP Izaje = 5 Ton
- País de origen = Bulgaria

Selección de la máquina de soldadura

[Escriba aquí]

Para la selección de la máquina de soldadura se debe tener en cuenta:

- Rango de intensidad de corriente en amperes.

La intensidad de corriente en los parámetros a seleccionar se encuentra en el rango de (150 a 200 A) por lo que la máquina seleccionada cumple con requisito porque se encuentran dentro de la carga nominal.

- Tipo de corriente (continúa, alterna, rectificada)



**Figura 2.2: Transformador BDY-506C Y3 con el cual se realiza el proceso de soldadura MIG - MAG.**

#### **Características técnicas.**

- Voltaje = (440 Volt)
- Frecuencia = (60 Hz)
- Carga nominal = (500 A)
- Consumo = (10 kW / h)

#### **Medidas de seguridad en la soldadura MIG-MAG**

1. Mantener los equipos conectados a tierra.
2. Emplear cables y tenazas adecuadamente aislados.
3. Usar los medios de protección personal (careta, guantes, polaina, mangas y casco)
4. Utilizar cristales filtros en las caretas.

[Escriba aquí]

5. Utilizar cortinas, mamparas y tabiques.
6. Utilizar un sistema de ventilación adecuado.

## 2.2 Análisis del material del conjunto de puertas del Vagón Jaula 401S.

El material empleado para la elaboración del conjunto de puertas del Vagón Jaula 401S, corresponden a los aceros de construcción, destinados para la construcción de elementos de máquinas, estructuras, piezas que han de sufrir grandes cargas, resistencia a la fatiga, resistencia al desgaste, utilizándose tratados térmicamente o no. Corresponde al sub-grupo de los aceros estructurales: que se emplean para la construcción de puentes, gasoductos, oleoductos, calderas, etc. En la construcción del bastidor el material base según la Norma ISO es AISI 1020 (semi-calmado).

Este acero posee un bajo contenido de carbono (0.22%-0.29%), por lo cual tiene buena soldabilidad, sin necesidad de aplicar técnicas auxiliares para garantizar la misma, tales como: precalentamiento, tratamiento térmico posterior, etc.

La tabla 2.1 muestra las propiedades químicas del acero AISI 1020.

Material	C	Mn	Si	S	P	Cr	Cu	Ni	A	N
AISI 1020	0.20	0,40-0,65	0,05-0,15	≤ 0,035	≤ 0,025	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,080	≤ 0,010

Las propiedades mecánicas de este material pueden ser observadas en la tabla 2.2:

Material	Resistencia a la tracción	Tensión límite de fluencia	Elongación	Doblado en frío 1800
AISI 1020	370 - 480	245	26	d = 1.5 a

### 2.2.1 Análisis de soldabilidad metalúrgica

La soldabilidad es la capacidad que tienen los metales y materiales de la misma o diferente naturaleza de ser unidos de forma permanente mediante procesos de soldadura,

[Escriba aquí]

sin presentar transformaciones estructurales o físico – químicas perjudiciales, tensiones o deformaciones, defectos, entre otros. (Riesco, 2016)

Los factores que influyen en la soldabilidad son:

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

Para la determinación de la soldabilidad del material, se usará la ecuación 2.1. (Riesco, 2016)

$$[C] = [C]_q + [C]_s \quad (2.1)$$

donde:

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

Para calcular el valor de  $[C]_q$  se usará la ecuación 2.2:

$$[C]_q = C + \frac{Mn \cdot Cr}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{7Mo}{90} \quad (2.2)$$

siendo:

C, Cr, Mn, Ni, Mo: es la composición química de estos elementos en %.

Para el cálculo del carbono equivalente del espesor, se usa la ecuación 2.3:

$$[C]_s = 0.005 \cdot S \cdot [C]_q \quad (2.3)$$

entonces:

$$[C] = 0.734$$

[Escriba aquí]

Como tiene buena soldabilidad metalúrgica no es necesario dar precalentamiento, metalúrgica, constructiva y operatoria. Se puede asegurar que el AISI 1020 tiene buena soldabilidad.

- Selección de la preparación de bordes.

Se realiza de acuerdo a la norma NC ISO 9692 1

### **2.3 Selección del tipo de proceso de soldadura.**

La soldadura bajo protección de gases o soldadura en atmósfera de gases protectores, como se mencionó anteriormente, tiene como característica fundamental que el electrodo o el metal de aportación, el arco y el baño de fusión, se hallan protegidos del efecto del aire circundante por medio de un gas, suministrado a la zona de soldadura con este propósito. Con este fin se pueden usar gases inertes (argón, helio), activos (dióxido de carbono) o una mezcla de ambos.

Esta soldadura puede ser clasificada como se mencionó anteriormente en:

- TIG (Tungsten inert gas): Soldadura bajo protección de gases inertes con electrodo infusible de wolframio (tungsteno).
- MIG (Metal inert gas): Soldadura bajo protección de gases inertes con electrodo metálico fusible.
- MAG (Metal active gas): Soldadura bajo protección de gases activos con electrodo metálico fusible.

La soldadura por procesos TIG se utiliza, generalmente, de forma manual, mientras que los procesos MIG y MAG se aplican mediante soldadura automática, semiautomática y mediante robots.

### **2.4 Selección los parámetros del régimen de ensamble, punteo y soldadura.**

Para la selección de los parámetros tecnológicos para el régimen de ensamble, punteo y soldadura fue usado el libro Tecnología de Soldadura, del autor José Burgos Sola (1987). Para el cálculo de los parámetros de los procesos de soldadura MAG solamente es necesario conocer el espesor del material que se va a procesar. Estos parámetros son

[Escriba aquí]

seleccionados en dependencia de la forma de la unión soldada. Para uniones a tope es usada la tabla 4.11 del texto anteriormente citado, la cual está en el Anexo 1.

Si la unión es en ángulo como es el caso, para la selección de los parámetros, se debe utilizar la tabla 4.12 del libro Tecnología de Soldadura, la cual está en el Anexo 2.

## 2.5 Selección del electrodo de soldadura y del gas protector.

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

- Composición química del metal base y el electrodo.
- Composición química del electrodo.
- Propiedades mecánicas

En la selección de un electrodo en la soldadura se debe tener en cuenta las propiedades mecánicas y la composición química del metal base y del electrodo, los cuales deben ser iguales o semejantes.

Para la realización del ensamble, punteo y soldadura general del conjunto de puertas del Vagón Jaula 401S se cuenta con un electrodo macizo de acero revestido en cobre, cuya composición química se muestra en la tabla 2.3.

<b>Clasificación</b>	<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>Si</b>
<b>AWS</b>			
ER 70S-6	0.1	1.5	0.8

Las propiedades mecánicas del electrodo ER 70S-6 pueden ser observadas en la tabla 2.4:

<b>Alambre</b>	<b><math>\sigma_r</math>(MPa)</b>	<b><math>\sigma_t</math>(MPa)</b>	<b><math>\sigma_f</math> (%)</b>
ER-70S-6	570	470	25

[Escriba aquí]

## 2.6 Cálculo del consumo de materiales y gases para el punteo y la soldadura general.

Para el ensamble y punteo es necesario utilizar la relación de 15 mm de punto de soldadura por cada 200 mm de espacio, teniendo en cuenta que los puntos deben estar rasantes para la posterior pasada de la costura

La cantidad de puntos viene dada por la expresión:

$$X = \frac{L}{p} \quad (2.4)$$

donde:

- X: Cantidad de puntos.
- L: Longitud de la costura.
- P: suma de la relación 15 x 200 (215 mm).

Para hallar la profundidad de fusión de la soldadura empleamos la siguiente fórmula:

$$H_f = I_s * K \quad (2.5)$$

- H<sub>f</sub>: Profundidad de fusión.
- I<sub>s</sub>: Intensidad de la soldadura.
- K: Coeficiente igual a 0,01 mm / A

### 2.6.1 Cálculo del consumo de alambre.

Para el cálculo del consumo de alambre son usadas las ecuaciones 2.6 y 2.7:

$$G = f * l * \gamma \quad (2.6)$$

donde:

- G: Peso del metal depositado (kg).
- F: Área de la costura (mm<sup>2</sup>).
- L: Longitud de la costura (mm).
- $\gamma$ : Peso específico del metal (kg/m<sup>3</sup>).

[Escriba aquí]

$$G_{al} = K_p * G \quad (2.7)$$

donde:

- $K_p$ : Coeficiente de pérdidas (en este caso igual a 1.03).
- $G_{al}$ : Gasto del alambre (kg).

Para el cálculo de las áreas fueron usadas las siguientes fórmulas para las costuras en ángulo:

$$F = F_1 + F_2 \quad (2.8)$$

donde F: es el área total,  $F_1 = 0.75 \cdot b \cdot h$  (2.9);

$$F_2 = \frac{C_2}{2} \quad (2.10)$$

En el caso de las costuras a tope, el área total viene dada por la expresión:

$$A_t = A1 + A2 + A3 \quad (2.11)$$

donde

- $A1=0.75 b \times h$  (2.12)
- $A2=a \times S$  (2.13)
- $A3=b \times S$  (2.14)
- S: espesor de la chapa a soldar.
- b: ancho de la costura.
- a: espacio entre costuras.
- h- altura.

### 2.6.2 Cálculo de los tiempos para el ensamble, punteo y soldadura general.

El tiempo tecnológico es el que transcurre mientras el operario realiza la soldadura. Viene expresado por la ecuación 2.15:

$$Tt = \frac{Ltc}{Vs} \quad (2.15)$$

siendo

- Ltc: Longitud Total de las Costuras.
- Vs: Velocidad de soldadura.

[Escriba aquí]

El tiempo auxiliar es el tiempo de preparación para el proceso de soldar. Generalmente es el 30% del tiempo tecnológico.

El tiempo operativo es la suma del tiempo tecnológico y del tiempo auxiliar (ecuación 2.17):

$$T_a = 30\% * T_t \quad (2.16)$$

$$T_{op} = T_t + T_a \quad (2.17)$$

- $T_t$ : Tiempo tecnológico.
- $T_a$ : Tiempo auxiliar.

El tiempo de servicio es el cual se prepara las herramientas para el proceso se calcula por la ecuación 2.18:

$$T_{ser} = 0.06 * T_{op} \quad (2.18)$$

Este tiempo representa el 6% del tiempo operativo.

El tiempo de descanso representa el 4% del tiempo operativo (ecuación 2.19):

$$T_{des} = 0.04 * T_{op} \quad (2.19)$$

El tiempo total del proceso es la suma de: tiempo operativo, tiempo de servicio, tiempo de descanso (ecuación 2.20).

$$T_{tot} = T_{op} + T_{ser} + T_{des} \quad (2.20)$$

### 2.6.3 Cálculo del consumo de Dióxido de Carbono.

Para estimar el consumo de dióxido de carbono se pueden realizar las conversiones:

- 1 Botellón = 0,028 toneladas.
- 1 Botellón = 6,3 m<sup>3</sup>.
- 1m<sup>3</sup> = 1000 L

El consumo de dióxido de carbono viene dado por la expresión 2.21:

$$S_t = T_t * C \quad (2.21)$$

[Escriba aquí]

Donde  $T_t$  es el tiempo tecnológico del proceso y  $C$  es el consumo de gas para una pasada, el cual varía en dependencia del tipo de soldadura.

#### 2.6.4 Cálculo del consumo de energía eléctrica.

El consumo de corriente eléctrica viene dado por la expresión 2.22:

$$A = \frac{W_a}{(n * V_s)} \quad (2.22)$$

donde:

- $A$ : Consumo de electricidad (kW/ h).
- $W_a$ : Potencia del arco eléctrico.
- $\eta$ : Eficiencia de la máquina (máquina de corriente continua es igual a 0.6)
- $V_a$ : Voltaje de la soldadura.
- $I_s$ : Intensidad de la soldadura.
- $V_s$ : Velocidad de soldadura

Para el cálculo de la potencia del arco eléctrico es usada la ecuación 2.23:

$$W_a = I_s * V_a * 0.001 \quad (2.23)$$

#### 2.7 Régimen de trabajo de corte por arco plasma.

Corte con protección a 105 A (acero al carbono)

**En este caso el espesor es 8 mm y los parámetros para el corte son:**

- Distancia antorcha-pieza: 3.2 mm
- Altura de perforación inicial: (6.4 mm) y (200 %)
- Tiempo retardado de perforación: 0.75 s

Ajustes de mejor calidad:

- Velocidad de corte: 3140 mm/min
- Voltaje: 145 Volt

Ajustes de producción:

- Velocidad de corte: 3870 mm/min
- Voltaje: 145 Volt

[Escriba aquí]

### **Sistema de medidas anglosajón:**

- Espesor: ¼ in
- Distancia antorcha-pieza: 0.125 in
- Altura de perforación inicial: 0.25 in y (200 %)
- Tiempo retardado de perforación: 0.5 s

### **Ajustes de mejor calidad:**

- Velocidad de corte: 156 in/min
- Voltaje: 144 Volt

### **Ajustes de producción:**

- Velocidad de corte: 192 in/min
- Voltaje: 145 Volt

## **2.8 Control de la calidad**

Con relación al control de la calidad es necesario señalar primeramente la certificación de los operarios que van a trabajar en la fabricación del conjunto de puertas, la calidad de la materia prima que se va a utilizar en el mismo, el material de aporte en este caso el alambre de las soldaduras a realizar en el conjunto de puertas de Vagón Jaula 401S, otra de las medidas del control de la calidad es la inspección visual esta consiste en que el personal calificado para la misma haga una revisión de las soldaduras con el fin de detectar defectos en las costuras como son poros, grietas, socabaduras y deformaciones provocadas por la concentración de tensiones y el exceso de temperatura, ensayos destructivos este consiste en utilizar una probeta y en un laboratorio realizarle diferentes pruebas a las soldaduras esta es uno de los controles más utilizados para este tipo de trabajos.

Esta inspección se realiza con el objetivo de determinar el grado de fiabilidad que tienen las soldaduras una vez terminado el proceso. El conjunto de puertas puede que no se encuentre libre de defectos, pero es necesario que se realicen los controles necesarios puesto que el conjunto de puertas de Vagón Jaula 401S va a estar sometido a diferentes esfuerzos y en condiciones riesgosas.

[Escriba aquí]

## **2.9 Conclusiones parciales.**

En este capítulo se analizaron los siguientes aspectos:

- Se determinaron las características técnicas del metal base y el electrodo a emplear.
- La aplicación adecuada de las cartas tecnológicas las cuales son la base de la organización en el trabajo.

[Escriba aquí]

## CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En el capítulo anterior se hizo referencia al itinerario de fabricación, además se mostraron los diferentes métodos y fórmulas empleados para la obtención de los resultados con el objetivo de determinar los parámetros de tiempos y gasto de material. En este capítulo se verán reflejados los resultados de la investigación.

### 3.1 Selección de los parámetros para el proceso de soldadura.

Para la selección de los parámetros del proceso de soldadura se empleó el libro Tecnologías de Soldadura, de José Burgos Sola (1987). Donde para las uniones a tope, los parámetros seleccionados son los relacionados en la tabla 3.1:

**Tabla 3.1. Parámetros del proceso de soldadura para las uniones a tope. (18)**

Espesor de las chapas (mm)	Holgura (mm)	No. de pasadas	Diámetro del alambre del electrodo (mm)	Intensidad de la corriente (A)	Tensión de arco (V)	Velocidad de soldadura para una pasada (m/h)	Consumo de gases para una pasada (L/min)
3-5	1.6-2.0	1-2	1.6-2.0	180-200	28-30	20-22	14-16
6-8	1.8-2.2	1-2	2.0	250-300	28-30	18-22	16-18

En el caso de las costuras angulares los parámetros seleccionados según el espesor de las chapas son los expuestos en la tabla 3.2:

**Tabla 3.2. Parámetros del proceso de soldadura de costuras angulares. (18)**

Espesor de las chapas (mm)	Diámetro del alambre del electrodo (mm)	Cateto de la costura (mm)	Número de pasadas	Intensidad de la corriente (A)	Tensión de arco (V)	Velocidad de soldadura para una pasada (m/h)	Longitud libre del electrodo	Consumo de gases para una pasada (L/min)	
Ensamble y punteo	1.5-3.0	1.2	3.0-4.0	1	150	20	18	10-12	12-14
Soldadura general	8	1.6	5.0-6.0	1	300	30	31	16-18	16-18

[Escriba aquí]

### 3.2 Resultados del proceso de ensamble y punteo.

La **Tabla 3.3** muestra un resumen de los resultados del proceso de ensamble y punteo del conjunto de puertas del Vagón Jaula 401S:

	Soldadura en Ángulo	Soldadura a Tope
Profundidad de fusión. (Según 2.5)	Hf = 1.5 mm	Hf = 2 mm
Peso del metal depositado. ( Según 2.6 )	G = 678.24 kg G = 288.88 kg G = 188.4 kg	G= 53.694 kg
Gasto de alambre. ( Según 2.7 )	Gal = 698.5872 kg Gal = 297.5464 kg Gal = 194 kg	Gal = 55.305 kg
Área de la costura. (Según 2.8 y 2.11)	F = 20 mm <sup>2</sup>	F = 76 mm <sup>2</sup>
Consumo del CO <sub>2</sub> ( Según 2.21 )	St=6.1*10 <sup>-2</sup> ton St = 343.56 L	St=1.109*10 <sup>-2</sup> ton St = 62.88 L
Potencia del arco eléctrico (Según 2.23)	Wa= 3 kW	Wa= 6 kW
Consumo energía eléctrica.(Según 2.22 )	A = 0.1851 kW*h/m	A = 0.3 kW*h/m
Tiempo Tecnológico. ( Según 2.15)	Tt = 0.409 h	Tt = 0.0655 h
Tiempo Auxiliar (Según 2.16 )	Ta = 0.0123 h	Ta = 0.001 h
Tiempo Operativo. ( Según 2.17)	Top = 0.4213 h	Top = 0.0665 h
Tiempo de servicio ( según 2.18 )	Tser = 0.0253 h	Tser = 0.003 h
Tiempo de descanso ( Según 2.19 )	Tdes = 0.0169 h	Tdes = 0.0027 h
Tiempo Total. ( Según 2.20)	Ttot = 0.4635 h	Ttot = 0.0722 h

### 3.3 Resultados del proceso de soldadura general.

Después de realizado el proceso de ensamble y punteo del conjunto de puertas del Vagón Jaula 401S comienza el proceso de soldadura general cuyos resultados se recogen en la **Tabla 3.4** que se presenta a continuación.

[Escriba aquí]

	Soldadura en Ángulo	Soldadura a Tope
Profundidad de fusión. (Según 2.5)	Hf = 3 mm	Hf = 3 mm
Peso del metal depositado. ( Según 2.6 )	G = 1805.814 kg G = 769.143 kg G = 501.615 kg	G= 65.175 kg
Gasto de alambre. ( Según 2.7 )	Gal = 1859.9884 kg Gal = 792.2172 kg Gal = 516.6634 kg	Gal = 67.13 kg
Área de la costura. (Según 2.8 y 2.11)	F = 53.25 mm <sup>2</sup>	F = 92.25 mm <sup>2</sup>
Consumo del CO <sub>2</sub> ( Según 2.21 )	St=4.523*10 <sup>-2</sup> ton St = 256.392 L	St=1.248*10 <sup>-2</sup> ton St = 70.74 L
Potencia del arco eléctrico (Según 2.23)	Wa= 9 kW	Wa= 9 kW
Consumo energía eléctrica.(Según 2.22 )	A = 0.3226 kW*h/m	A = 0.4545 kW*h/m
Tiempo Tecnológico. ( Según 2.15)	Tt = 0.2374 h	Tt = 0.0655 h
Tiempo Auxiliar (Según 2.16 )	Ta = 0.0071 h	Ta = 0.001 h
Tiempo Operativo. ( Según 2.17)	Top = 0.2445 h	Top = 0.0665 h
Tiempo de servicio ( según 2.18 )	Tser = 0.0147 h	Tser = 0.003 h
Tiempo de descanso ( Según 2.19 )	Tdes = 0.0098 h	Tdes = 0.0027 h
Tiempo Total. ( Según 2.20)	Ttot = 0.269 h	Ttot = 0.0722 h

Estos cálculos se realizan dos veces más para las otras dos puertas tanto el de ensamble y punteo como el de soldadura general.

### 3.4 Conclusiones parciales.

Luego de haber realizado la descripción del itinerario de fabricación del conjunto de puertas del Vagón Jaula 401S.

- Realizamos la comparación de los resultados entre las operaciones de ensamble y punteo y soldadura general

## **CONCLUSIONES:**

- Se realizó un análisis profundo y detallado del material base, electrodo a emplear y parámetros de soldadura.
- Con la documentación técnica elaborada en este trabajo de diploma se resuelve el problema de la no existencia de documentación técnica para la producción del coche Vagón Jaula 401S.
- Con este trabajo diploma queda demostrado que con una documentación es posible producir con disciplina tecnológica y a su vez se logra cumplir con la calidad que requiere el producto.
- Por la importancia que reviste la producción de un vagón ferroviario para carga y por sus requerimientos de calidad, se demuestra a través de una buena documentación técnica.
- En este trabajo de diploma se seleccionó todos los parámetros tecnológicos para la soldadura MAG tales como: diámetro del alambre, I sold, voltaje, velocidad de soldadura.
- Se seleccionó los parámetros tecnológicos del régimen de corte plasma.

[Escriba aquí]

## **RECOMENDACIONES:**

- Utilizar la documentación elaborada en este trabajo de diploma para la tecnología de fabricación del conjunto de puertas del Vagón Jaula 401S por soldadura MAG en la empresa industrial ferroviaria “José Valdés Reyes”.
- Se realice un estudio de los costos de fabricación por parte de la Facultad de Economía.
- Se cumpla con los documentos de calidad de este trabajo.

[Escriba aquí]

## **BIBLIOGRAFÍA:**

Buch, T., 1999. "*Sistemas tecnológicos*". Buenos Aires, Argentina : Editorial Aique, ISBN: 978-95-07015-36-6.

Gómez, S. M., 2006. "*Procedimientos de Mecanizado*". Madrid: Editorial Paraninfo, ISBN: 8497324285.

González, M. V., 2010. "*Procesos tecnologicos de la industria mecánica*". La Habana : Editorial Félix Varela, ISBN: 978-959-07-1328-6.

Helzer, H. B. C. a. S. C., 2005. "*Modern Welding Technology*". 6th ed. Tallahassee: Pearson, ISBN: 978-01-31131-16-3.

Kalpakjian, S., 2002. "*Manufactura, ingeniería y tecnología*". s.l.:Editorial Pearson, Educación, ISBN: 978-97-02601-37-1.

Ramos, M. A. J., 2012. "*Soldadura Manual para operarios y técnicos*". La Habana : Editorial Científico Técnica, ISBN: 978-959-05-06543.

Riesco, G. H., 2016. "*Manual del Soldador*". España: Editorial CESOL, ISBN: 978-84-944980-1-5.

Shukla, R. G. & D., 2012. "Parametric Efecct on Mechanical Properties in Submerged arc welding process". *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, Vol. 4(No. 2), ISSN: 0075-5462.

Sola, J. B., 1987. "*Tecnología de la Soldadura*". Ciudad de La Habana: Editorial Pueblo y Educación, ISBN: 978-959-13-0485-8.

Weman, K., 2003. "*Welding processes handbook*". New York : Editorial Woodhead Publishing, ISBN: 978-18-55736-89-4.

Zabala, O., 1988. "*Soldadura y técnicas afines*". Madrid : Editorial Bellisco, ISBN: 978-84-85198-28-3.

[Escriba aquí]

## ANEXOS

### Anexo 1: Parámetros tecnológicos para la soldadura semiautomática con dióxido de carbono de uniones a tope de aceros de bajo contenido de carbono.

<b>Espesor de las chapas (mm)</b>	<b>Holgura (mm)</b>	<b>No. de pasadas</b>	<b>Diámetro del alambre del electrodo (mm)</b>	<b>Intensidad de la corriente (A)</b>	<b>Tensión de arco (V)</b>	<b>Velocidad de soldadura para una pasada (m/h)</b>	<b>Consumo de gases para una pasada (L/min)</b>
0.6-1.0	0.5-0.8	1	0.5-0.8	50-60	18-20	20-25	6-7
1.2-2.0	0.8-1.0		0.8-1.0	70-100		18-24	10-12
3-5	1.6-2.0	1-2	1.6-2.0	180-200	28-30	20-22	14-16
6-8	1.8-2.2		2.0	250-300		18-22	16-18
8-12	1.8-2.2	2-3	2.0			16-20	18-20

[Escriba aquí]

**Anexo 2: Parámetros tecnológicos para la soldadura semiautomática con dióxido de carbono de costuras angulares en aceros de bajo contenido de carbono.**

<b>Espesor de las chapas (mm)</b>	<b>Diámetro del alambre eléctrico (mm)</b>	<b>Cateto de la costura (mm)</b>	<b>Número de pasadas</b>	<b>Intensidad de la corriente (A)</b>	<b>Tensión de arco (V)</b>	<b>Velocidad de soldadura para una pasada (m/h)</b>	<b>Longitud libre del electrodo (mm)</b>	<b>Consumo de gases para una pasada (L/min)</b>
1.0-1.3	0.5	1.0-1.2	1	50-60	18-20	18-20	8-10	5-6
	0.6	1.0-1.2		60-70				
1.5-2.0	0.8	1.2-2.0		60-75		16-18		6-8
		1.5-3.0		70-110				
1.5-3.0	1.2	2.0-3.0		90-130	14-16	10-12	12-14	
		3.0-4.0		120-150	16-18			
		1.6		5.0-6.0	150-180	20-22	20-22	16-18
3.0-4.0	1.6	5.0-6.0		230-260	20-22	26-28	16-18	16-18
5.0-6.0	2.0			260-300		28-30		