

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y**

**MECÁNICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**



---

---

**DISEÑO DE UNIÓN SOLDADA CON PROCESO GMAW PARA LA**

**AMPLIACIÓN DE CHASIS DE BUS URBANO, REGIÓN CUSCO**

---

---

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

PRESENTADO POR:

**BACHILLER. VICTOR RAUL CURO AYMA**

**ASESOR:**

**MAG. ING. EFRAIN WALTER SEQUEIROS PEREZ**

CUSCO, FEBRERO DEL 2019

## **PRESENTACIÓN**

**Señor:**

Decano de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática Y Mecánica

En cumplimiento con las disposiciones del reglamento de grados y títulos vigentes, con la finalidad de optar al título profesional de ingeniero mecánico, presento a vuestra consideración la tesis intitulada:

**“DISEÑO DE UNIÓN SOLDADA CON PROCESO GMAW PARA LA AMPLIACIÓN DE CHASIS DE BUS URBANO, REGIÓN CUSCO”**

Br. Víctor Raúl Curo Ayma

## DEDICATORIA

*Mi trabajo de tesis la dedico a mis queridos padres: Celestino Curo y Fabiana Aima, quienes con todo su esfuerzo lograron darme una carrera profesional que de hoy en adelante la desempeñare con profesionalismo y ética.*

*A mí amada esposa L. Mérida Borda, quien con todo su amor y apoyo incondicional logramos este objetivo para poder conseguir nuestra añorada felicidad.*

*A mis amados hijos: Jimena Isabela y Daniel Abad, quienes cada mañana me dan el aliento y motivo para seguir adelante y lograr mis objetivos.*

*Víctor R. Curo Ayma*

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco especialmente a mí querida Tía Victoria Contreras, que con su apoyo y sabios consejos logre culminar mis estudios universitarios y en adelante desempeñar mi profesión de la manera correcta.*

*A mis profesores de la carrera profesional de Ingeniería Mecánica, en especial a mi asesor Mgt. E. Walter Sequeiros Pérez, quien me mostro todo su apoyo para sacar adelante mi trabajo de tesis.*

*A mis hermanos Luis Alberto, Edgar Celso, Susan Oshin, y de manera especial a la familia Borda Zevallos, para quienes doy las gracias correspondientes por todo su apoyo.*

*Víctor R. Curo Ayma*

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de tesis tiene como objetivo recomendar un procedimiento de soldadura con proceso GMAW que pueda mejorar la vida útil de la unión soldada realizado al ampliar el voladizo posterior de un chasis de bus urbano (marca FUSO) puesto en servicio en la región Cusco. Este estudio se vio impulsado debido a los defectos de soldadura y sobre todo a las fisuras detectadas en la zona afectada por el calor (ZAC) del chasis, el cual debe de ser reparada inmediatamente para evitar fallas en la unión soldada y que pueda generar mayores sobrecostos y riesgos a los usuarios del bus urbano. Para dicho estudio se realizó inspecciones a los voladizos de chasis que fueron soldados con proceso SMAW. Como también se realizó un análisis metalúrgico del material base del chasis para poder diagnosticar las causas de la fisuración, siendo el contenido de hidrogeno en el material de aporte causante principal de la fisuración en frio. Se realizó un ensayo químico para determinar el porcentaje de componentes químicos del metal base del chasis y poder estimar la soldabilidad del mismo. De esta manera se evaluó un procedimiento de soldadura pre calificado con proceso de soldadura por arco eléctrico protegido con gas (GMAW) el cual nos garantiza un bajo contenido de hidrogeno, disminuyendo las probabilidades de fisuración en frio en la unión soldada.

## RESUMEN

La unión soldada analizada y diseñada en este trabajo de tesis, consideró, las variables mecánicas y metalúrgicas que puedan afectar la sanidad de la unión soldada. Como también se realizó un análisis de fisuración en frío, el cual es el causante de las fisuraciones detectadas en la ampliación del voladizo posterior de un chasis de bus urbano puesto en servicio en la ciudad del Cusco.

La tesis se estructura en seis capítulos, los cuales resumimos brevemente a continuación:

**CAPITULO I:** Se detalla la formulación del problema, objetivos generales y específicos, justificación, variables e hipótesis de este trabajo de tesis.

**CAPITULO II:** Contiene los principales fundamentos teóricos que formaron parte del desarrollo del trabajo de tesis.

**CAPITULO III:** Contienen los informes de las inspecciones realizadas a las unidades de transporte urbano, específicas para este trabajo de tesis.

**CAPÍTULO IV:** Análisis de carga realizado al voladizo posterior del chasis de bus urbano y la comparación de la resistencia mecánica del material base y aporte.

**CAPITULO V:** Análisis metalúrgico de la unión soldada con proceso de soldadura SMAW y GMAW, como también el análisis de susceptibilidad a la fisuración en frío.

**CAPÍTULO VI:** Se describe el proceso de soldadura GMAW en la ampliación del voladizo posterior del chasis con su respectivo proceso de soldadura precalificado.

Como parte final se describe las conclusiones, recomendaciones, anexos y planos elaborados en este trabajo de tesis presentado.

## **ABSTRACT**

The welded joint analyzed and designed in this thesis work, considered the mechanical and metallurgical variables that may affect the health of the welded joint. As well as a cold cracking analysis, which is the cause of the cracks detected in the extension of the rear overhang of an urban bus chassis put into service in the city of Cusco.

The thesis is structured in six chapters, which we briefly summarize below:

**CHAPTER I:** The formulation of the problem, general and specific objectives, justification, variables and hypotheses of this thesis work are detailed.

**CHAPTER II:** Contains the main theoretical foundations that were part of the development of the thesis work.

**CHAPTER III:** They contain the reports of the inspections made to the urban transport units, specific to this thesis work.

**CHAPTER IV:** Analysis of load made to the rear overhang of the urban bus chassis and the comparison of the mechanical resistance of the base material and contribution.

**CHAPTER V:** Metallurgical analysis of the welded joint with the SMAW and GMAW welding process, as well as the susceptibility analysis to cold cracking.

**CHAPTER VI:** The GMAW welding process is described in the extension of the rear overhang of the chassis with its respective pre-qualified welding process.

The final part describes the conclusions, recommendations, annexes and plans drawn up in this thesis presented.

## INDICE GENERAL

PRESENTACIÓN.....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
INTRODUCCIÓN .....	V
RESUMEN .....	VI
ABSTRACT .....	VII
LISTA DE TABLAS .....	VIII
LISTA DE FIGURAS .....	VIII
LISTA DE ABREVIATURAS.....	VIII

### CAPÍTULO I ASPECTOS GENERALES

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	9
1.4. OBJETIVOS.....	9
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	10
1.6. LIMITACIONES.....	10
1.7. VARIABLES.....	10
1.8. HIPÓTESIS .....	11

### CAPITULO II MARCO TEÓRICO

2.2. ACEROS AL CARBONO .....	13
2.3. ACEROS DE BAJO CONTENIDO DE CARBONO .....	14
2.4. SOLDEO DE FUSIÓN POR ARCO ELÉCTRICO .....	15
2.5. PROCESO DE SOLDEO GMAW .....	19
2.6. PROCESO DE SOLDADURA FCAW .....	23
2.7. AGRIETAMIENTO EN LAS UNIONES SOLDADAS .....	24
2.8. AGRIETAMIENTO EN FRIO.....	27
2.9. CICLO TÉRMICO DE LA UNIÓN SOLDADA.....	32
2.10. SOLDABILIDAD.....	40

### CAPÍTULO III INSPECCIÓN DE UNIONES SOLDADAS, PROCESO SMAW

3.2. CONSIDERACIONES PARA LA INSPECCIÓN DE UNIONES SOLDADAS.....	47
3.3. INSPECCIÓN VISUAL.....	48
3.4. LÍQUIDOS PENETRANTES .....	49
3.5. INFORME DE RESULTADOS DE LAS INSPECCIONES.....	50

### CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE CARGA DEL VOLADIZO POSTERIOR DEL CHASIS

4.2. DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR DEL VOLADIZO POSTERIOR.....	56
4.3. CALCULO DEL ESFUERZO MÁXIMO EN LA UNIÓN SOLDADA DEL VOLADIZO POSTERIOR DEL CHASIS.....	57
4.4. CENTRO DE CORTE O CENTRO DE FLEXIÓN.....	61

## CAPITULO V

### METALURGIA DE LA SOLDADURA Y FISURACIÓN EN FRIO

5.2. CONDICIONES INICIALES DE SOLDEO .....	65
5.3. MATERIAL DE APORTE EMPLEADO EN LA UNIÓN SOLDADA.....	66
5.4. DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL BASE DEL CHASIS .....	67
5.5. MATERIAL BASE PARA LA AMPLIACIÓN DEL CHASIS. ....	69
5.6. SOLDABILIDAD DEL MATERIAL BASE.....	70
5.7. ANÁLISIS DE FISURACIÓN EN FRIO DE LA UNIÓN SOLDADA .....	72
5.8. ENSAYO PARA EVALUAR LA FISURACIÓN EN FRIO DE LA UNIÓN SOLDADA CON PROCESO SMAW .....	73

## CAPÍTULO VI

### DESCRIPCIÓN DE LA UNIÓN SOLDADA CON PROCESO GMAW

6.2. CÁLCULO DE APORTE TÉRMICO .....	79
6.3. TEMPERATURA DEL METAL BASE Y GEOMETRÍA DE LA UNIÓN.....	80
6.4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR (ZAC).....	81
6.5. DETERMINACIÓN DEL MATERIAL DE APORTE, PROCESO GMAW .....	84
6.6. SUSCEPTIBILIDAD A LA FISURACIÓN EN FRIO DE LA UNIÓN SOLDADA, PROCESO GMAW.....	85
6.7. ENSAYO TEKKEN DEL METAL BASE DE LA AMPLIACIÓN DE CHASIS CON PROCESO GMAW.....	86
6.8. ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PRE CALIFICADO. .....	89

<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>91</b>
--------------------------	-----------

<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>92</b>
------------------------------	-----------

<b>BIBLIOGRAFÍA: .....</b>	<b>93</b>
----------------------------	-----------

<b>ANEXOS .....</b>	<b>94</b>
---------------------	-----------

ANEXO A MATERIAL DE APORTE PROCESO GMAW ER70S-6.....	95
--	----

ANEXO B MATERIAL DE APORTE PROCESO SMAW E7018 .....	96
---	----

ANEXO C INFORME DE LABORATORIO-PUCP.....	97
--	----

ANEXO D JUNTA PRECALIFICADA CJP AWS D1.1.....	98
---	----

ANEXO E EXTRACTO DEL REGLAMENTO NACIONAL DE VEHÍCULOS .....	101
---	-----

ANEXO F EXTRACTO DE LA NORMAS. ....	103
-------------------------------------	-----

ANEXO G ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CHASIS FUSO .....	104
---	-----

ANEXO H SOLDABILIDAD DEL ACERO ASTM A572 GRADO 50.....	105
--	-----

ANEXO I CUADRO COMPARATIVO DE PROCESOS.....	106
---	-----

ANEXO J PLANOS.....	107
---------------------	-----

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Tipos de chasis en la región cusco .....	4
Tabla 2	Dimensiones del chasis FUSO MF-100 .....	5
Tabla 3	Parámetros de soldeo según el diámetro del electrodo, proceso SMAW .....	19
Tabla 4	Variables esenciales, proceso GMAW .....	22
Tabla 5	Susceptibilidad a la fisuración por endurecimiento de la ZAC .....	29
Tabla 6	Eficiencia térmica de procesos de soldadura .....	34
Tabla 7	Nivel de Hidrogeno por el metal depositado .....	43
Tabla 8	Parámetros de Susceptibilidad a la fisuración en frio .....	44
Tabla 9	Temperatura de precalentamiento .....	45
Tabla 10	Propiedades mecánicas del metal de aporte E7018.....	66
Tabla 11	Composición química del material de aporte E7018.....	66
Tabla 12	Resultados de Análisis Químico del Chasis FUSO.....	68
Tabla 13	Tabla de Composición Química del Acero ASTM A36.....	69
Tabla 14	Propiedades Mecánicas del acero ASTM A36.....	69
Tabla 15	Comparación de composición química de los metales base. ....	70
Tabla 16	Resultado del cálculo de carbono equivalente .....	70
Tabla 17	Condiciones iniciales del ensayo TEKKEN .....	76
Tabla 18	Resultado de ensayo TEKKEN proceso SMAW .....	77
Tabla 19	Parámetros Eléctricos del Proceso de Soldadura GMAW .....	79
Tabla 20	Composición química del metal de aporte ER70S-6.....	85
Tabla 21	Índice de susceptibilidad del proceso SMAW y GMAW.....	85
Tabla 22	Ensayo TEKKEN. Proceso GMAW.....	87
Tabla 23	Resultados del ensayo TEKKEN, proceso GMAW .....	88
Tabla 24	Especificación del proceso de Soldadura Precalificado WPS.....	90

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Crecimiento del parque automotor nacional. Fuente: MTC .....	2
Figura 2. Crecimiento del parque automotor región Cusco. Fuente: MTC.....	3
Figura 3. Importación de buses y chasis a nivel nacional. Fuente: MTC .....	3
Figura 4. Dimensiones del Chasis FUSO MF-100-EURO IV.....	5
Figura 5. Deformación de la carrocería posterior. Fuente Propia.....	6
Figura 6. Ampliación de chasis con perfil "C". Fuente Propia.....	7
Figura 7. Fisuración del de la unión soldada del chasis. Fuente propia.....	8
Figura 8. Discontinuidades en la Soladura, falta de fusión, salpicaduras. Fuente propia.....	8
Figura 9. Diagrama hierro- Carbono. Fuente: CESOL 2013.....	13
Figura 10. Clasificación de los aceros. Fuente: CESOL 2013 .....	14
Figura 11. Curva esfuerzo- deformación, aceros HSLA. Fuente: CESOL 2013.....	15
Figura 12. Clasificación del soldeo por fusión por arco eléctrico .....	16
Figura 13. Proceso de soldadura SMAW. Fuente: CESOL 2013.....	18
Figura 14. Agrietamiento en caliente. Fuente: CESOL 2013.....	25
Figura 15. Desgarre laminar. Fuente: CESOL 2013.....	26
Figura 16. Solubilidad del hidrogeno en Fe según SIEVERT. Fuente: CESOL 2013 .....	30
Figura 17. Presencia de Hidrogeno en un ensayo de fatiga. Fuente: CESOL 2013 .....	31
Figura 18. Celdas unitarias de Ferrita y Austenita. Fuente CESOL 2013 .....	32
Figura 19. Distribución de temperatura en una plancha soldada. Fuente: CESOL 2013.....	33
Figura 20. Curvas de distribución de temperatura, a, b, c son puntos en la ZAC. Fuente: Fosca, Introducción a la Metalurgia de la Soldadura. 2007, Pag.79.....	33
Figura 21. Variación del ciclo térmico por el precalentamiento. Fuente: Fosca C. Metalurgia De La Soldadura, 2007.....	35
Figura 22. Sección de la unión soldad .....	38
Figura 23. Curva "S" del acero AISI 1080. Fuente: INGESOL 2013 .....	39
Figura 24. Diagrama de Graville. Fuente: AWS D1.1-2010.....	42
Figura 25. Inspección de unión soldada 01. Fuente propia .....	50
Figura 26. Inspección de unión soldada 02. Fuente propia.....	51
Figura 27. Inspección de unión soldada 03. Fuente propia .....	51
Figura 28. Inspección de unión soldada 04. Fuente propia.....	51
Figura 29. Inspección de unión soldada 05. Fuente propia.....	52
Figura 30. Distribución de capacidad de carga en el chasis .....	55

Figura 31. Diagrama de cuerpo libre DCL del voladizo posterior .....	55
Figura 32. Diagrama de fuerza cortante "V" del voladizo posterior del chasis .....	56
Figura 33. Diagrama de momento flector "M" en el voladizo posterior del chasis.....	56
Figura 34. Sección B-B del perfil "C" .....	57
Figura 35. Momento de inercia de la sección B-B.....	58
Figura 36. Esfuerzos actuantes en la sección B-B .....	60
Figura 37. Sección B-B .....	61
Figura 38. Centro de flexión.....	63
Figura 39. Almacenaje inaceptable del electrodo E7018. Fuente propia.....	65
Figura 40. Punto de toma de muestra para ensayo químico del chasis .....	67
Figura 41. Muestra del perfil del Chasis FUSO .....	68
Figura 42. Ubicación de los puntos en el diagrama de GRAVILLE .....	71
Figura 43. Probeta para ensayo TEKKEN. Fosca. Introducción a la Metalurgia de la Soldadura 2007. ....	74
Figura 44. Probeta TEKKEN para proceso SMAW. Fuente propia .....	75
Figura 45. Soldeo de probeta tekken, proceso SMAW .....	76
Figura 46. Inspección de ensayo TEKKEN con proceso SMAW. Fuente propia.....	77
Figura 47. Ciclo térmico del material base con proceso GMAW.....	82
Figura 48. Ciclo térmico del material base con proceso SMAW .....	83
Figura 49. Ciclo térmico del proceso SMAW y GMAW.....	83
Figura 50. Probeta para ensayo TEKKEN, proceso GMAW. Fuente propia.....	86
Figura 51. Inspección con líquidos penetrantes antes de 24 horas .....	87
Figura 52. Inspección con líquidos penetrantes después de 48 horas.....	88
Figura 53. Detalle de la junta soldada a penetración completa (CJP).....	89

## LISTA DE ABREVIATURAS

Pbv	peso bruto vehicular.
Cc	capacidad de carga.
CD	Capacidad de carga del eje delantero.
CP	Capacidad de carga del eje posterior.
END	Ensayos no destructivos.
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
RNV	Reglamento Nacional de Vehiculos.
ZAC	Zona afectada por el calor.
HV	Dureza Vickers
DCL	Diagrama de cuerpo libre.



## **CAPÍTULO I**

### **1. ASPECTOS GENERALES**



## 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El acelerado crecimiento económico del Perú en la última década ha creado nuevas oportunidades para los empresarios de la pequeña y mediana empresa. En la Región Cusco el crecimiento económico no ha sido ajeno a nuestras expectativas y se ha plasmado en diferentes sectores, turismo, construcción, comercio y para nuestro estudio en la fabricación de carrocerías.

Como se puede observar en la figura 01 y 02 el parque automotor en el Perú ha tenido un crecimiento anual de 4.8% en la última década y de 4.9% en la región Cusco, siendo más específicos, en la importación de buses y chasis de todo tonelaje se incrementó en un 3.9% (figura 03).

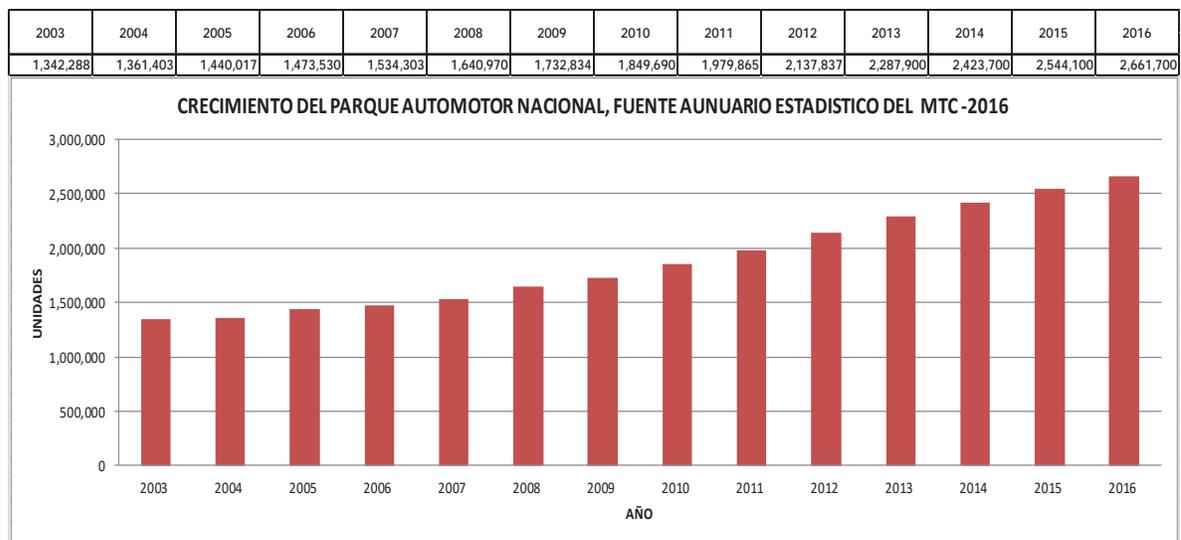


Figura 1. Crecimiento del parque automotor nacional. Fuente: MTC

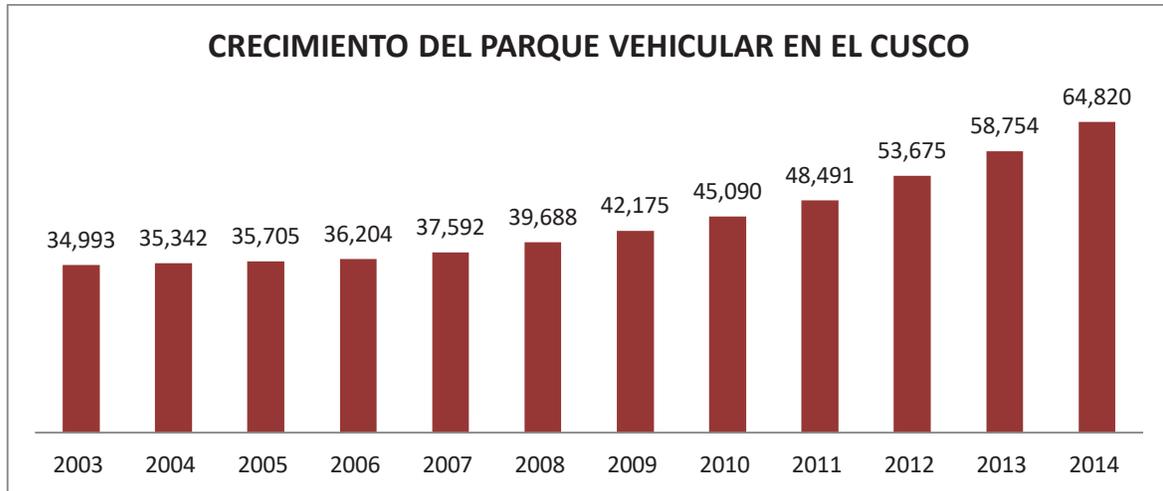


Figura 2. Crecimiento del parque automotor región Cusco. Fuente: MTC

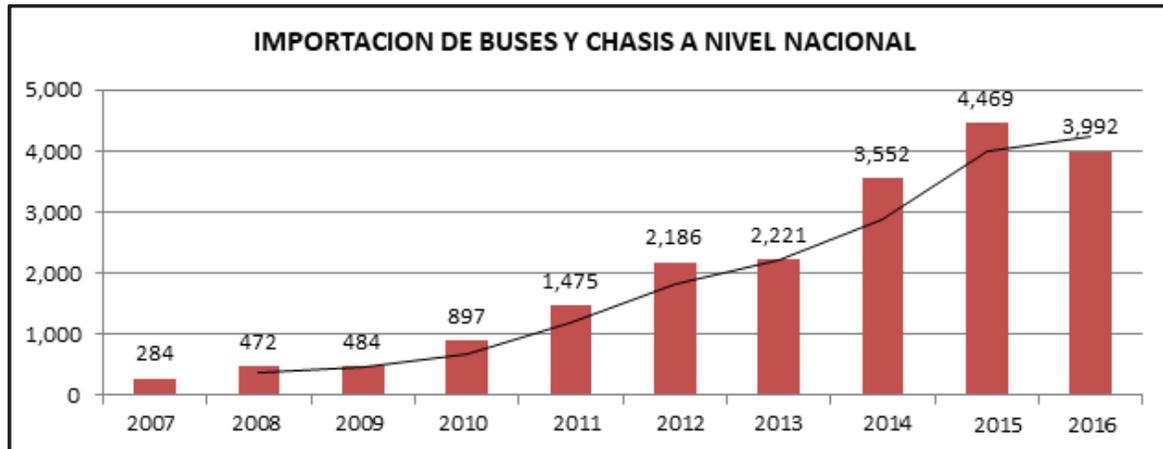


Figura 3. Importación de buses y chasis a nivel nacional. Fuente: MTC

En la región Cusco se observó un alza en la importación de buses y en gran medida en buses urbanos de 22 pasajeros, esto por la renovación del parque automotor y concesión de nuevas rutas urbanas. En estos últimos 5 años las empresas de transporte urbano del Cusco han tenido que aumentar y renovar sus flotas, importando buses y chasis de las marcas HIUNDAY, MITSUBISHI FUSO, MERCEDES, TOYOTA y marcas chinas, lo que ha generado un crecimiento de 3.9% según el MTC. Debido a este desarrollo y expansión del transporte público en la región Cusco, es necesario contar con vehículos que cumplan con los



requerimientos del usuario, de la mano con las normas técnicas establecidas por el reglamento nacional de vehículos (RNV)

### 1.2.1. Vehículos aptos para el transporte urbano en la región Cusco

Las empresas de transporte urbano requieren un bus que pueda transportar un mayor número de pasajeros en asientos e intermedio (categoría M3, clase II) con características según el bus patrón (ver anexo F) dos puertas, dimensiones, pesos, que cumplan y estén dentro del reglamento nacional vehicular (RNV) y del plan regulador de transporte urbano e interurbano de la región Cusco.

Peso bruto vehicular (PBV) 7500Kg máximo

Los chasis para carrozado de bus urbano disponibles en el mercado que tienen las características aptas y cumplen con las especificaciones mínimas según dichos reglamentos son los siguientes:

Tabla 1  
*Tipos de chasis en la región cusco*

MARCA	MODELO	ANCHO DE CHASIS	LONGITUD DE CHASIS	% EN LA REGION
MITSUBISHI	FUSO	2135	7190	52
HYUNDAI	COUNTY III	1929	6340	25
OTROS	URBANO	---	---	23

Como se muestra en el cuadro, el chasis de la marca FUSO es el más largo y tiene mayor presencia en nuestra región, pero para satisfacer los requerimientos de los transportistas, el chasis es ampliado en la parte del voladizo posterior para instalar un juego de asientos adicionales y puerta de pasajeros. Esta ampliación se logra empalmando dos perfiles “C” al chasis con dimensiones y acero de similares características. Proceso de soldadura de fusión con arco eléctrico y tipo de junta a penetración completa (CJP).



### 1.2.2. Especificaciones del chasis para carrozado.

El chasis modelo FUSO objeto de nuestro estudio tiene las siguientes dimensiones:

Tabla 2

*Dimensiones del chasis FUSO MF-100*

DIMENSIONES	
Longitud entre ejes:	4170mm
Longitud del voladizo posterior:	1815mm
Longitud del voladizo frontal:	1125mm
Longitud total:	7190mm
Ancho de bastidor:	753mm
Peso bruto vehicular:	7500Kg
Peso pruto vehicular eje delantero:	2880Kg
Peso bruto vehicular eje posterior:	5200kg
Peso seco:	2460Kg

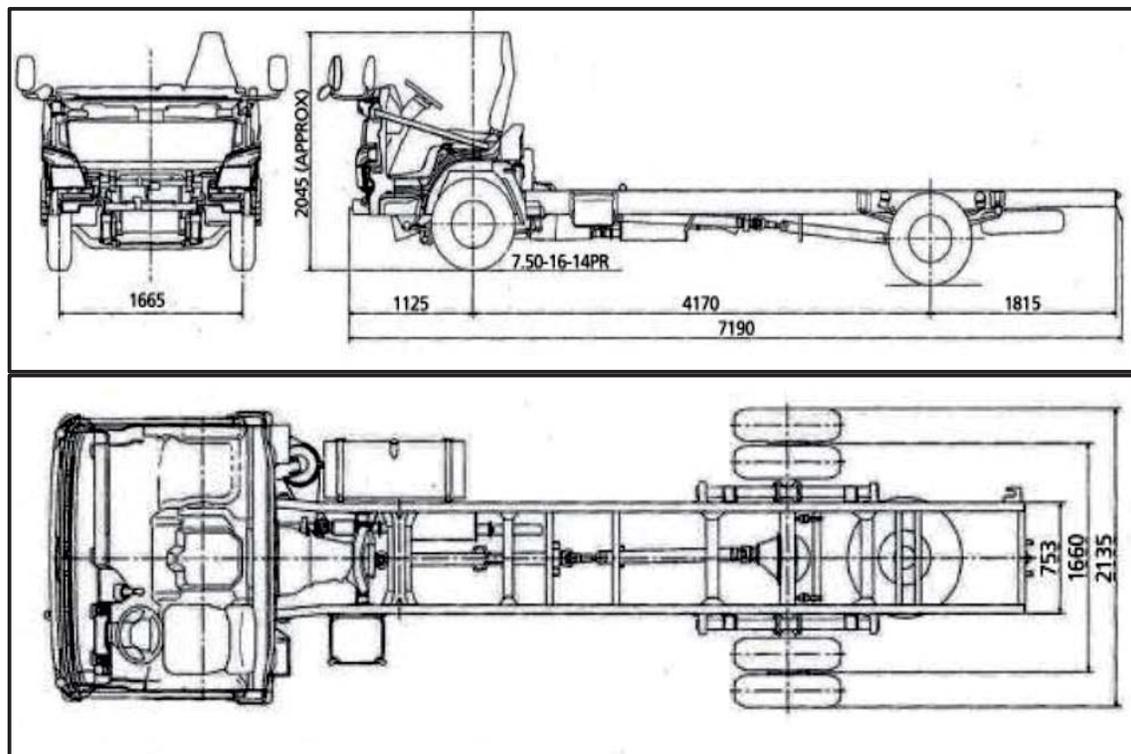


Figura 4. Dimensiones del Chasis FUSO MF-100-EURO IV

El alargamiento del chasis entre los ejes delantero y posterior está completamente prohibido.

Las especificaciones de los fabricantes indican una longitud máxima del voladizo posterior



sin contraponer lo indicado por el Reglamento Nacional Vehicular (voladizo posterior hasta 70% de la distancia entre ejes. Anexo E, pesos y medidas máximas del reglamento nacional vehicular RNV. p87).

El voladizo posterior del chasis Fuso tiene una longitud de 1815mm y con la ampliación alcanzaría una longitud de 2919mm, esto quiere decir que el perfil que se amplía al voladizo posterior tiene una longitud máxima de 1104mm.

La ampliación del voladizo posterior del chasis es práctica común entre los fabricantes de carrocerías pero se ha detectado fallas críticas en este proceso que pone en riesgo la seguridad de los usuarios e incrementa costos de reparación para los transportistas, tomaremos este caso para el trabajo de tesis presentado.

### 1.2.3. Observaciones en la ampliación del voladizo posterior del chasis.

En los buses inspeccionados se observó deformaciones en la plataforma posterior del bus, los perfiles de los travesaños y plancha base presentan deformaciones considerables que podrían afectar la resistencia de la misma. Se observa que el perfil empalmado tiene una longitud menor a 300mm que no soportaría las cargas vivas de la plataforma.



*Figura 5.* Deformación de la carrocería posterior. Fuente Propia



También se observó un sobredimensionamiento del voladizo posterior que influye directamente en los esfuerzos combinados, peso de la carrocería y costos adicionales.



*Figura 6.* Ampliación de chasis con perfil "C". Fuente Propia

Las uniones soldadas de los empalmes inspeccionados muestran diferentes discontinuidades de soldadura que para los diferentes códigos de fabricación son catalogadas como defectos. Falta de penetración, inclusión de escoria, falta de relleno, salpicaduras, son algunos de los defectos encontrados, pero el defecto más crítico y tema de análisis en este trabajo de tesis son las fisuras en la zona afectada por el calor.

En la siguiente figura se muestra una fisura ubicada en el ala superior del canal "C", exactamente en la zona afectada por el calor del chasis, dicho defecto fue inspeccionado por líquidos penetrantes (PT). Este tipo de ensayo no destructivo nos permite detectar discontinuidades superficiales, siempre que estas se encuentren abiertas a la superficie.



*Figura 7.* Fisuración del de la unión soldada del chasis. Fuente propia



*Figura 8.* Discontinuidades en la Soladura, falta de fusión, salpicaduras. Fuente propia

Las fisuras no son aceptadas en ningún código de fabricación, ASME, API, AWS, el avance gradual de la fisura en el tiempo pone en riesgo la vida útil de la unión soldada, generando costos adicionales por la reparación.



### **1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

Para las consideraciones anteriores, la presente investigación pretende responder a la siguiente interrogante: **¿Cómo evitar las fisuras en la unión soldada de la ampliación del voladizo posterior de un chasis modelo FUSO para transporte urbano en la región Cusco?**

Para responder a esta interrogante, se ha formulado los siguientes objetivos, los cuales se desarrollan a continuación.

### **1.4. OBJETIVOS.**

#### **1.4.1. Objetivos generales.**

Diseñar una unión soldada con proceso de soldadura GMAW para reducir las fisuraciones en la unión soldada del voladizo posterior del chasis de bus urbano puesto en servicio en la región Cusco.

#### **1.4.2. Objetivo específicos.**

- Inspeccionar las uniones soldadas realizadas con proceso SMAW.
- Analizar las cargas actuantes en la unión soldada del voladizo posterior del chasis.
- Realizar un análisis metalúrgico y fisuración en frío de la unión soldada.
- Describir el proceso de soldadura GMAW aplicado a la unión soldada del voladizo posterior del chasis.
- Determinar un procedimiento de soldadura GMAW precalificado.



## **1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.**

Mediante el diseño de la unión soldada en la ampliación del voladizo posterior del chasis podremos reducir las fisuras y así disminuir los costos en reparaciones.

Realizar el estudio desde el campo de la metalurgia de la soldadura para evitar las fisuraciones detectadas en la ampliación del chasis.

## **1.6. LIMITACIONES.**

- El proyecto solo considera buses de transporte urbano modelo FUSO MF-100 puestos en servicio en la región cusco, cuyo chasis es ampliado en el voladizo posterior.
- El trabajo presentado no abarca las cargas estáticas y dinámicas que soporta toda la carrocería del bus, nos enfocaremos solo en las cargas que resiste el voladizo posterior del bus.
- Se considera solo el proceso de soldadura GMAW para realizar el procedimiento de soldadura pre calificado.

## **1.7. VARIABLES.**

### **1.7.1. Variables independientes de diseño.**

Consideramos independientes las siguientes variables:

- Difusión de hidrogeno en la unión soldada.
- Temperatura inicial del metal base.
- Material base del chasis y de la ampliación del chasis.
- Aporte térmico de la soldadura.
- Composición química del material de aporte.

### **1.7.2. Variables dependientes de diseño.**

- Susceptibilidad a la fisuración en frio de la unión soldada.



- Ancho de la zona afectada por el calor.
- Velocidad de enfriamiento de la zona afectada por el calor.
- Resistencia de la unión soldada.
- Parámetros esenciales del proceso de soldadura GMAW.

### **1.8. HIPÓTESIS**

**“Con el proceso de soldadura GMAW se puede reducir las fisuraciones en la unión soldada realizadas en la ampliación del chasis de bus urbano puesto en servicio en la región Cusco”.**



## **CAPITULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**



## 2.2. ACEROS AL CARBONO

El acero es una aleación principalmente de hierro - carbono. La proporción en peso del carbono y otros aleantes en menor proporción nos dan las distintas variaciones de acero y propiedades mecánicas.

En el diagrama hierro carbono de la figura 09, se observa la reacción eutectoide donde el porcentaje de carbono es superior al 2% y se les denomina fundiciones, las aleaciones con menos de 2% de carbono son los aceros. En esta última se denomina aceros hipoeutectoides a los aceros que tiene menor de 0.8 % de carbono.

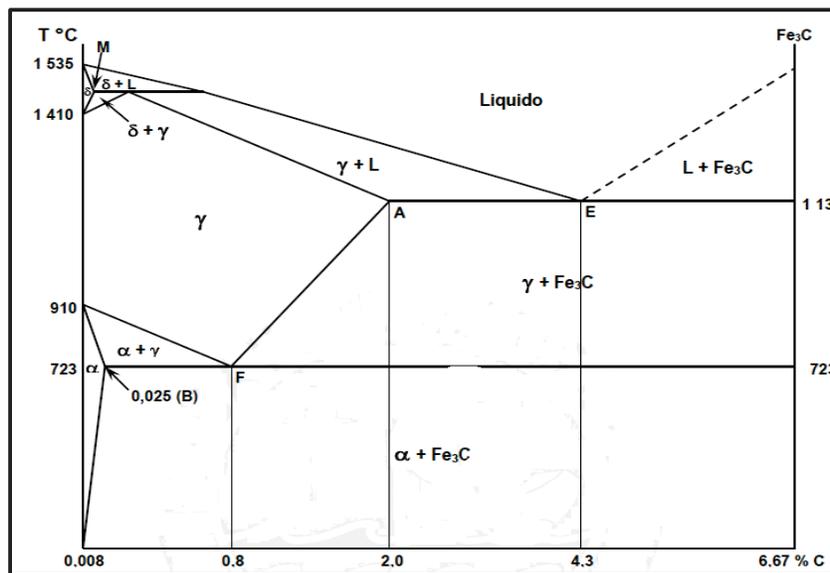


Figura 9. Diagrama hierro- Carbono. Fuente: CESOL 2013

Los aceros de acuerdo al porcentaje en peso del carbono se clasifican en: Aceros de bajo, medio y alto contenido de carbono, adicional a esto se subdividen de acuerdo al tipo de aleantes disueltos en el acero. Los aceros que contienen alto contenido de aleaciones se les conoce como aceros de alta aleación según se muestra el cuadro siguiente.

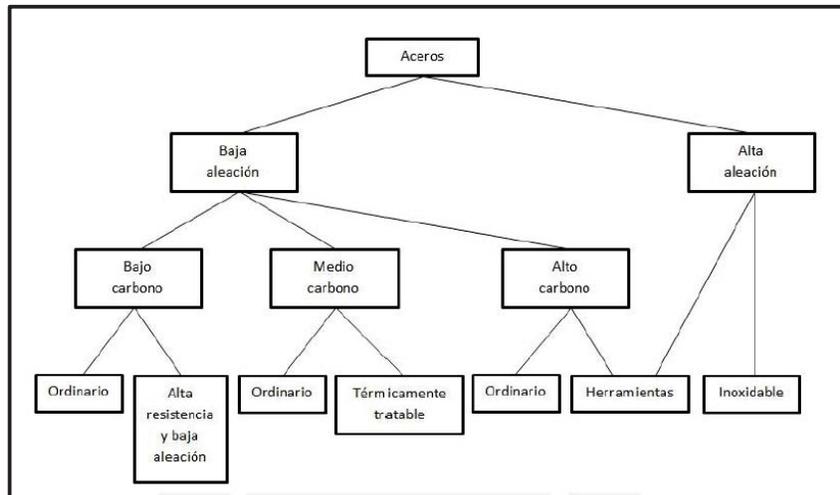


Figura 10. Clasificación de los aceros. Fuente: CESOL 2013

### 2.3. ACEROS DE BAJO CONTENIDO DE CARBONO

Son aceros que contienen menos de 0.3% de carbono y es el acero de mayor fabricación por sus propiedades mecánicas y su buena soldabilidad, siendo poco probable la formación de microestructuras frágiles durante el enfriamiento. Su microestructura está conformada por ferrita y perlita con lo que lo hace un acero muy dúctil (25%) y tenaz, con una límite elástico de hasta 275 MP y una resistencia a la tracción de 415-550 MP

#### 2.3.1. Aceros de baja aleación y alta resistencia.

Conocidos como aceros HSLA con mejores propiedades mecánicas gracias a los aleantes como el cobre, vanadio, níquel, molibdeno en concentraciones inferiores al 10%. Debido a su bajo contenido de carbono estos aceros tienen buena soldabilidad pero se debe tener en cuenta el nivel del carbono equivalente debido a las aleaciones que la vuelven susceptible al temple. Los aceros HSLA tienen un límite elástico entre 300-760 MPA y una resistencia a la tracción de 420-830 MPA.

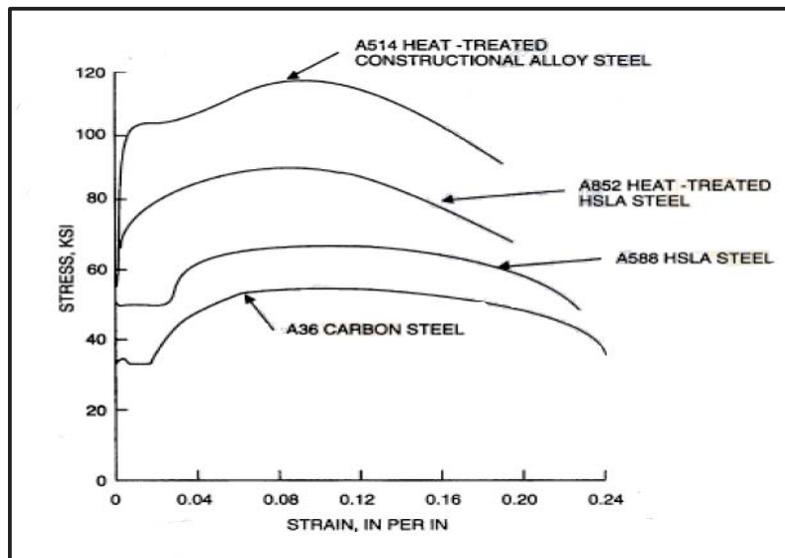


Figura 11. Curva esfuerzo- deformación, aceros HSLA. Fuente: CESOL 2013

#### 2.4. SOLDEO DE FUSIÓN POR ARCO ELÉCTRICO

Después que Humphrey Davy (1778-1829) realizó sus primeros experimentos con el arco eléctrico entre dos electrodos de carbón unidos a una batería, los primeros electrodos fueron alambres desnudos de hierro que producían soldaduras débiles y frágiles. Fue hasta 1912 cuando en USA se introdujo un nuevo electrodo con un revestimiento que además de estabilizar el arco también protegía el arco, produciendo soldaduras con buenas características mecánicas.

Siendo el arco eléctrico el aportante de calor para lograr fundir tanto el material base como el material de aporte, podemos clasificarlo de la siguiente manera:

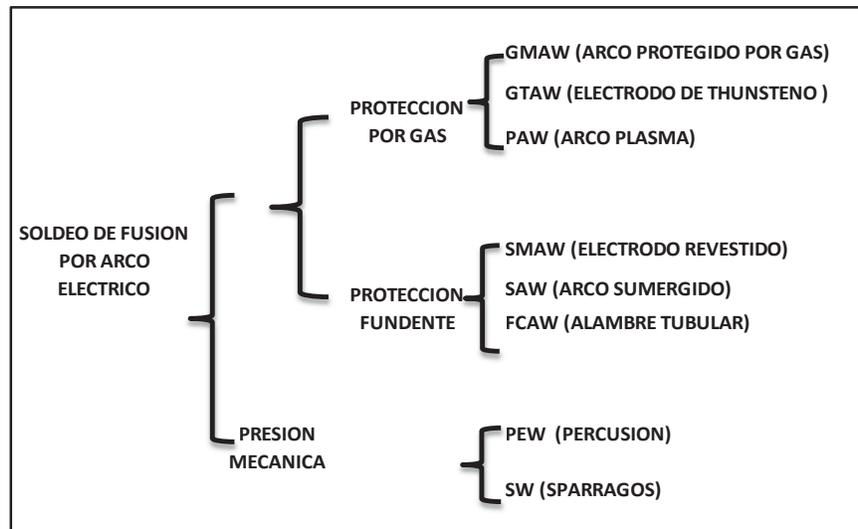


Figura 12. Clasificación del soldeo por fusión por arco eléctrico

#### 2.4.1. Proceso de soldeo SMAW

Conocido como proceso de soldadura por arco con electrodo revestido (Shielded Metal- Arc Welding. SMAW), es un proceso de fusión del metal base y aporte gracias al calor generado por un arco eléctrico debidamente protegido por una atmósfera gaseosa proveniente del revestimiento. Este proceso es el más difundido en la industria metal mecánica, mantenimiento, reparaciones y en las construcciones de campo. Este proceso es aplicable a los aceros al carbono, aceros aleados, inoxidable, fundiciones y metales no ferrosos como el aluminio, cobre, níquel y sus aleaciones, en cuanto a su aplicación de espesores se recomienda entre espesores de 3mm a 38 mm.

De acuerdo a la aplicación en los diferentes materiales base, el revestimiento puede tener diferente composición:

- **Revestimiento Acido:** Compuesto por hierro y manganeso, se caracteriza por una elevada velocidad de fusión, buena penetración y abundante escoria. Es utilizado en materiales base con buena soldabilidad, contenidos bajos de azufre y fósforo en caso contrario podría generarse fisuración en caliente.



- **Revestimiento Rutilico:** Compuesto por oxido de titanio y su aplicación es muy fácil en las posiciones vertical y sobre cabeza, como también el fácil cebado y manejo del arco eléctrico. Su escoria es fluida y densa, dejando un buen acabado en la unión soldada.
- **Revestimiento Básico:** Compuesto por carbonatos cálcicos y básicos, con una escoria densa abundante que fácilmente asciende a la superficie disminuyendo las inclusiones de escoria. La característica principal de este revestimiento es en el bajo contenido de hidrogeno, disminuyendo la susceptibilidad a la figuración en frio.
- **Revestimiento Celulósico:** Compuesto por sustancias orgánicas que generan gran cantidad de gases protectores en el arco eléctrico. Su característica principal es la buena penetración por lo cual es muy aplicado en pases de raíz de tuberías.

#### 2.4.1.1. *Ventajas*

- Bajo costo de los equipos y material de aporte
- Versatilidad, puesto se emplea en todas las posiciones y los equipos son de diferentes dimensiones
- La atmosfera protectora para el arco eléctrico provienen solo del revestimiento del electrodo.
- Se aplica a la mayoría de los metales ferrosos, no ferrosos y espesores mayores a 2 mm

#### 2.4.1.2. *Limitaciones*

- Baja tasa de deposición de material de aporte y no resulta productivo para espesores mayores a 25mm.
- Se requiere gran habilidad manual por parte del soldador.
- Se requiere un proceso de limpieza de escoria después de aplicado la soldadura.



- No aplicable a materiales con bajo punto de fusión como plomo, zinc, estaño, debido al alto aporte térmico.

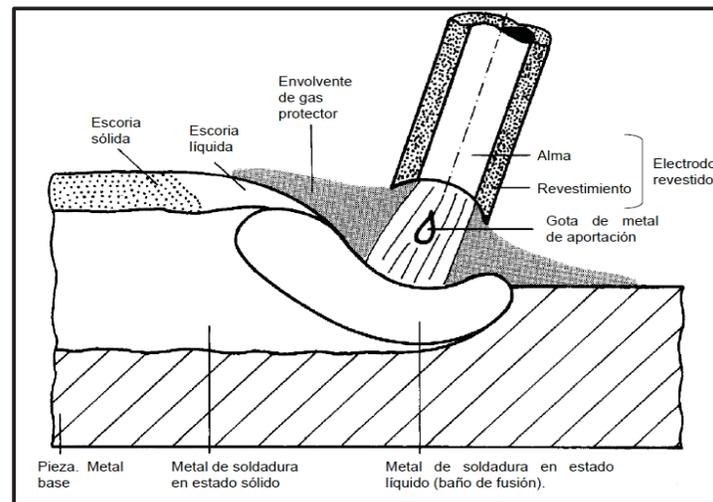


Figura 13. Proceso de soldadura SMAW. Fuente: CESOL 2013

#### 2.4.1.3. *Parámetros de soldeo.*

- **Intensidad de corriente (A):** se debe de ajustar la intensidad de corriente en función del diámetro del electrodo y considerando el espesor del material base, posición y tipo de unión. no se debe fijar intensidades superiores al rango puesto podría ocasionar mordeduras, proyecciones, soplos e inclusiones de escoria.
- **Longitud de arco:** la longitud de arco depende del tipo de electrodo, diámetro, la posición e intensidad de corriente. En general la longitud de arco debe de ser igual al diámetro del electrodo a excepción de electrodo básico que se debe de considerar la mitad del diámetro.
- **Velocidad de soldeo:** la velocidad se debe de ajustar de tal forma que el arco se adelante ligeramente al baño de fusión. Cuando mayor es la velocidad menor es el ancho del cordón, menor es el aporte térmico y mayor será la velocidad de enfriamiento.



Tabla 3

*Parámetros de soldeo según el diámetro del electrodo, proceso SMAW*

DIAMETRO DEL ELECTRODO	AMPERAJE PARA SOLDADURA	AMPERAJE PARA SOLDADURA
	PLANA	VERTICAL Y SOBRECABEZA
1/16	25-70	—
3/32	60-100	—
1/8	80-150	75-130
5/32	125-225	115-160
3/16	140-240	125-180
1/4	200-350	170-220
5/16	250-500	—
3/8	325-650	—

## 2.5. PROCESO DE SOLDEO GMAW

El soldeo de arco protegido con gas es un proceso semiautomático, los componentes electrónicos de los equipos controlan y mantienen estable el arco.

El consumible es un alambre sólido proveído en rollos generalmente de 15 kg, que se alimenta de forma continua al baño de fusión. El alambre, arco, metal fundido y zonas adyacentes al metal base quedan protegidos por un flujo de gas

Según el material base y el gas de protección este proceso presenta dos tipos

### 2.5.1. Soldeo por arco con gas inerte (MIG):

Es aplicado a material base que no deben de reaccionar con el gas de protección (no ferrosos), en vista que puede alterar la composición química en el baño de fusión. Los gases inertes usados en este proceso son el Argón (Ar) y Helio (He), siendo el primero el más utilizado en nuestro medio.

**Gas Argón:** Es un gas inerte que es relativamente costoso en nuestro medio comparado con el CO<sub>2</sub> y cuyo peso es 1.4 veces más que el aire, por lo cual tiende a cubrir bien el arco y el baño de fusión.



Sus propiedades de baja energía de ionización facilitan el cebado y genera arcos estables con poca salpicadura. Se necesita bajo aporte de calor para estabilizar el arco debido a su baja energía de ionización.

De acuerdo a normas nacionales el recipiente donde se provee este gas es de color marrón y es medible por Kg.

### **2.5.2. Soldeo por arco con gas activo (MAG):**

Este proceso se aplica a materiales ferrosos y en ocasiones a aceros inoxidable. El gas más utilizado es la mezcla de Ar con CO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> puro el cual tiene bajo costo.

**Gas CO<sub>2</sub>:** Este gas activo requiere de mucha energía para ionizarse, generando alto aporte térmico a la unión soldada.

Con este gas se puede obtener buena penetración en la unión soldada y aumentar la velocidad de soldeo

### **2.5.3. Ventajas del proceso GMAW**

- Es un proceso por fusión con el que se puede soldar toda la gama de metales comerciales ferrosos y no ferrosos.
- Se puede soldar en todas las posiciones regulando sus parámetros.
- Material de aporte alimentado de forma continua; 96% aproximadamente de eficiencia en la deposición
- Mínima o nula generación de escoria
- Es más productivo en vista que elimina el proceso de limpieza del cordón de soldadura y es un proceso que fácilmente se puede automatizar.

### **2.5.4. Desventajas del proceso GMAW**

- Se requiere de equipos con más tecnología lo que lo hace relativamente costoso.



- Por las dimensiones de la antorcha no se puede soldar en lugares de difícil acceso.
- Las condiciones de la velocidad del viento es crítica puesto puede arrastrar el gas de protección.
- El gas de protector puede ser removido por corrientes de aire por lo tanto se requiere una protección contra el aire.
- Alto nivel relativo de calor radiado por lo que se requiere mayor protección del soldador

### 2.5.5. Tipos de transferencia del material de aporte.

La transferencia de metal puede realizarse básicamente de 4 formas:

- **Cortocircuito:** el metal del electrodo se transfiere cuando el electrodo hace contacto con el metal base y se consigue con baja tensión y amperaje obteniendo bajo aporte térmico para el soldeo de espesores delgados. Este tipo de transferencia es propicio para posición de soldeo vertical, horizontal y sobre cabeza.

Los parámetros eléctricos para la obtención de este tipo de transferencia es de:

Tensión  $V = 16-22V$

Intensidad (A)= 50-150A

- **Globular:** se caracteriza por la transferencia en forma de gotas grandes mayores del diámetro del alambre, sus parámetros difíciles de controlar generan una baja aplicación

Los parámetros eléctricos típicos para son los siguientes:

Tensión  $V = 20-35V$

Intensidad (A)= 70-255A

- **Arco spray:** esta transferencia se presenta en finas gotas entre el extremo del alambre y el baño de fusión y se consigue con alto aporte térmico. Los gases inertes favorecen la estabilidad de esta transferencia



Tensión  $V = 24-40V$

Intensidad (A)= 150-500

La transferencia espray aporta grandes tasas de deposición, aprovechado para espesores mayores a 4 mm pero no se recomienda para espesores delgados por el alto aporte térmico.

- **Arco pulsado:** Es una modalidad de transferencia spray que se produce por pulsos en intervalos regularmente espaciados.

Los equipos son relativamente costosos debido a la tecnología que se aplica para generar una corriente pulsada que pueda reducir el aporte térmico del arco spray.

### 2.5.6. Parámetros de soldeo proceso GMAW.

Los parámetros fundamentales para el proceso GMAW son aquellos que se deben de mantener en un rango que no pueda afectar las propiedades mecánicas del material base, el código AWS D1.1 nos describe parámetros precalificado para diferentes procesos de soldadura y en nuestro caso para el proceso GMAW.

Tabla 4  
*Variables esenciales, proceso GMAW*

VARIABLES ESENCIALES PARA EL PROCESO GMAW	
Proceso de soldadura	GMAW
Posición de soldadura	Según pre calificado
Metal base	Grupos I, II, III
Pre calentamiento del metal base	Según pre calificado
Clasificación del metal de aporte	Según AWS
Diámetro del alambre	Según especificación
Amperaje (A)	No debe de variar en >10%
Tipo de corriente	DCEN, DCEP
Tipo de transferencia	Según proceso
Voltaje	No debe de variar en >15%
Velocidad de alimentación del alambre	No debe de variar en >10%
Velocidad de avance	No debe de variar en >25%
Composición del gas de protección	Según especificación
disminuir la tasa de flujo de gas	No debe de variar en >25%
aumentar la tasa de flujo de gas	No debe de variar en >50%
detalle de unión a tope	Según especificación

Fuente: Código De Soldadura Estructural AWS D1.1 2015, Pág. 78



## 2.6. PROCESO DE SOLDADURA FCAW

El proceso FCAW tiene ventajas del proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo continuo (GMAW) y del proceso de soldadura manual con electrodo revestido (SMAW), En el proceso FCAW se genera un arco eléctrico entre un electrodo continuo de metal de aporte y el metal base. Este proceso es usado con la protección de un fundente contenido dentro del electrodo tubular, con o sin la protección adicional de un gas externamente suministrado.

### 2.6.1. Tipos de proceso FCAW

#### 2.6.1.1. FCAW – S. No usa gas de protección

- Es una especie de mecanización del proceso SMAW.
- Tiene desoxidantes y desnitrurizantes en el núcleo de flux.
- Larga extensión de alambre más allá del tubo de contacto ( $\frac{3}{4}''$  -  $3\frac{3}{4}''$ ).
- A mayor extensión del electrodo disminuye la corriente y el calor aportado a la unión.
- Permite usar altas corrientes (altas tasas de deposición) debido a que no hay efecto de calentamiento por resistencia de la extensión de alambre.

#### 2.6.1.2. FCAW – G. Usa gas de protección

- Contiene en el núcleo fundente desoxidantes, formadores de escoria y elementos aleantes.
- Usa gas protector CO<sub>2</sub>, Ar, Ar-CO<sub>2</sub> y Ar-O<sub>2</sub>.
- Diámetros de alambre de 1/16'' más usados para posición plana y toda posición.
- Eficiencia de deposición entre 85 y 90%.
- Extensión de alambre entre  $\frac{3}{4}''$  y  $1\frac{1}{4}''$ .
- Distancia tobera a pieza entre  $\frac{3}{4}''$  y  $1''$ .

#### 2.6.1.3. Ventajas del proceso FCAW

- se puede utilizar en todas las posiciones



- Se reduce la distorsión en relación con el proceso SMAW.
- Arco visible y fácil de usar.
- Alta tolerancia a contaminantes que pueden causar agrietamiento.
- Alta resistencia al agrietamiento bajo el cordón.

### **2.6.2. Limitaciones del proceso FCAW**

- está limitado principalmente a materiales ferrosos.
- Produce una capa de escoria que debe ser removida.
- Los electrodos tubulares son más costosos que los sólidos.
- El equipo es más costoso y complicado que el de proceso SMAW.
- La protección del gas puede afectarse por las corrientes de aire.

## **2.7. AGRIETAMIENTO EN LAS UNIONES SOLDADAS**

Considerando que el objetivo de la soldadura es ofrecer una continuidad mecánica y metalúrgica de una unión soldada y garantizar una vida en servicio por la cual fue diseñada. La unión soldada genera cambios complejos en la metalurgia del material, por tal motivo es importante conocer los mecanismo de agrietamiento de una unión soldada que puedan conllevar a fisuras y fracturas en el servicio de la unión soldada

Tomando en cuenta que el agrietamiento es ocasionado por combinación de tensiones externas o internas podemos identificar 04 formas de agrietamiento más comunes en las uniones soldadas:

- Agrietamiento en caliente
- Agrietamiento por tratamientos térmicos
- Agrietamiento por desgarre laminar
- Agrietamiento en frío



### 2.7.1. Agrietamiento en caliente:

Esta forma de agrietamiento se produce por la existencia de tensiones en el cordón de soldadura durante el enfriamiento. En dicho proceso de enfriamiento existen zonas líquidas que reducen la sección resistente y las tensiones superan la resistencia a la sección sólida, provoca así la aparición de grietas que colapsan la unión soldada.

Este tipo de agrietamiento ocurre por los siguientes factores:

- La microestructura basta de solidificación. La formación de microestructuras con tamaño considerables en la ZAC en comparación con el material fundido.
- La segregación de constituyentes: generado por micro constituyente con bajo punto de fusión atribuidos a la presencia de F, P y altos contenidos de C y Mn.
- La geometría de la unión. Generado al realizar el proceso de soldadura en uniones altamente embridadas

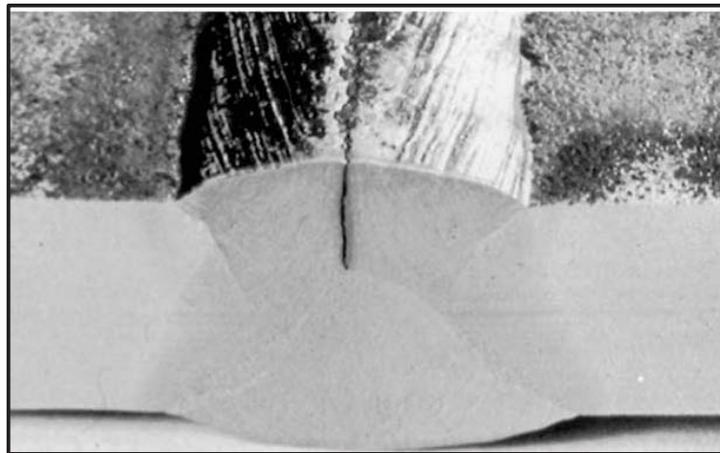


Figura 14. Agrietamiento en caliente. Fuente: CESOL 2013

#### 2.7.1.1. Características del agrietamiento en caliente:

- Las fisuraciones aparecen en el eje de la unión soldada (figura 14)
- aceros con altos contenidos de C y Mn ,  $> 0.5\%$  y  $> 1.05\%$  respectivamente



- generalmente la fisura se presenta entre temperaturas de 300- 200 °C con lo cual se detecta en el proceso de soldadura.
- Geometría incorrecta del cordón de soldadura

“Considerado lo expuesto, podemos considerar que las fisuras analizadas en nuestro caso no es ocasionado por una fisuración en caliente”.

### 2.7.2. Agrietamiento por tratamientos térmicos

Es ocasionado en los tratamientos térmicos a las uniones soldadas entre temperaturas 500-650°C, como en un proceso de normalizado o temple.

Los aceros de alta aleación y alta resistencia son los propensos a sufrir este tipo de agrietamiento.

### 2.7.3. Agrietamiento por desgarre laminar

Asociada a la calidad del material base, la presencia de micros constituyentes como el F, P o Nb afectan la resistencia de la unión en el proceso de enfriamiento.

Este tipo de agrietamiento también es consecuencia de la geometría de la unión y con más frecuencia en las uniones en T altamente embridadas.

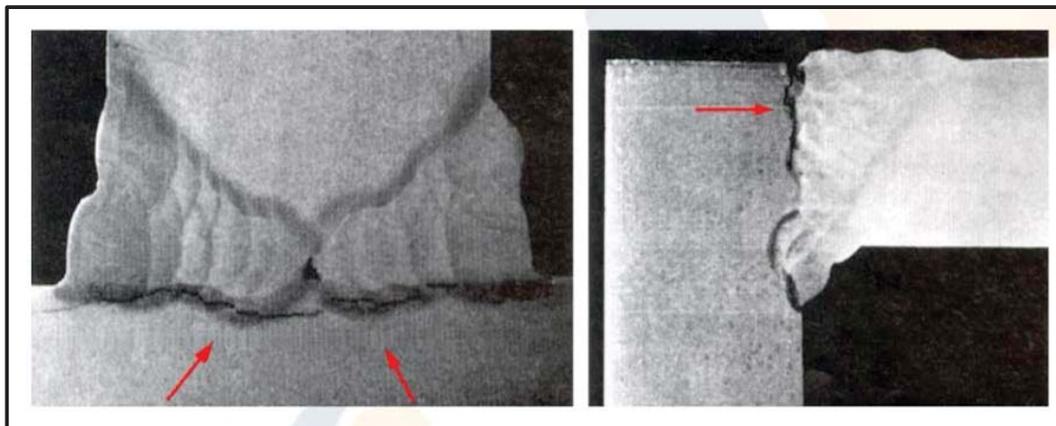


Figura 15. Desgarre laminar. Fuente: CESOL 2013



No realizaremos un análisis en profundidad en estos tipos de agrietamientos, en vista que están fuera de las condiciones del tipo de fisura detectado en la unión soldada del chasis.

## **2.8. AGRIETAMIENTO EN FRIO**

La fisuración en frío se produce en el proceso de enfriamiento de la soldadura a temperaturas menores de 300°C o posteriormente cuando la unión soldada se encuentra en servicio, en horas o meses.

Existen varios mecanismos que ocasionan la fisuración en frío en aceros al carbono o de baja aleación entre ellas describimos las principales:

- Fragilización en la zona afectada por el calor.
- Formación de tensiones residuales en el cordón de soldadura.
- Fragilización por hidrógeno.
- Fragilización por envejecimiento.

### **2.8.1. Fragilización en la zona afectada por el calor.**

El ciclo térmico desarrollado en la unión soldada genera cambios considerables en la microestructura, en zonas afectadas por el calor (ZAC) y como consecuencia a esto, pueden aparecer estructuras frágiles como la martensita, reduciendo considerablemente la tenacidad de la unión soldada.

Considerando que la unión soldada en el chasis, tema de nuestro estudio, tiene una vida en servicio a fatiga por las cargas dinámicas presentes, estas microestructuras frágiles tienen una menor tenacidad y un bajo coeficiente de elasticidad, poniendo en riesgo la unión soldada del chasis.

El acero alcanzara un valor de endurecimiento de la ZAC cuando se presente lo siguiente:

- Mayor sea el contenido de carbono.



- Mayor contenido de elementos aleantes que incrementara el carbono equivalente.
- Mayor sea la velocidad de enfriamiento.

**Contenido de carbono:** El factor determinante para la formación de estructuras frágiles (martensita) es el % de C presente en el acero. La siguiente ecuación empírica nos muestra la relación entre el contenido de carbono y la dureza máxima alcanzable considerando un 100% de martensita presente en la unión soldada

$$\text{Dureza maxima (HV)} = 939\% C + 284$$

Cabe indicar que es imposible obtener un 100% de martensita, debido a que es difícil alcanzar una velocidad de enfriamiento demasiado alta.

**Carbono equivalente:** La presencia de otros elementos aleantes en el acero incrementa la templabilidad o dicho de otro modo mayor capacidad de generar martensita, por ende mayor susceptibilidad a la fisuración.

El carbono equivalente es una expresión que nos ayuda a medir la susceptibilidad de un acero a la fisuración en frío, tomando valores no solo del % de carbono, sino también los valores de sus micro aleantes.

A través de la siguiente relación podemos predecir la dureza máxima que puede alcanzar un acero relacionando con el CE.

$$\text{Dureza maxima en la ZAC (HV)} = 1200CE + 200$$

Tomamos una ecuación de la IIW que relaciona el % de C y otros elementos aleantes (cuando %C < 0.5, %Mn < 1, %Cr < 1, %Ni < 3.5 y %Mo < 0.6) podemos estimar el CE:

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15} \dots \text{Ecu 001}$$



Con los datos obtenidos por la expresión Ecu 001 podemos predecir la susceptibilidad de la fisuración en frío a través de la siguiente tabla:

Tabla 5  
*Susceptibilidad a la fisuración por endurecimiento de la ZAC*

DUREZA DE LA ZAC	MÁXIMO PORCENTAJE DE MARTENSITA	RIESGO DE FIGURACIÓN EN FRÍO
>450	>70%	Muy probable
De 350HV a 450HV	50-70%	Probable
De 250HV a 350HV	30-50%	Poco probable
<280HV	<30%	Sin riesgo alguno

Dureza Vickers (HV) con carga de 10 Kg. Fuente: Fosca, Introducción a La Metalurgia de la Soldadura. 2007 p208.

La tabla descrita es de mucha ayuda cuando las fisuraciones son ocasionadas solo por condiciones de dureza en la ZAC, y a través de esta podemos indicar que la dureza es aceptable en la ZAC. 350HV según el cuadro.

### **2.8.2. Fragilización por Hidrogeno**

La fisuración generada por el hidrogeno se puede presentar a pocos minutos de realizado el proceso de soldadura, también horas, semanas y meses, siendo más crítico cuando la unión soldada se encuentra en servicio. Esta Fragilización debido al hidrogeno se presenta en uniones soldadas sometidas a tensiones, los cuales pueden ser menores a la resistencia elástica. Estas grietas pueden aparecer en diferentes partes de la unión soldada, en el mismo cordón de soldadura, transversal o perpendicular a esta, también debajo del cordón, y en la zona afectada por el calor. Las discontinuidades de la soldadura son referentes para la visualización de las grietas.

#### **2.8.2.1. Hidrogeno en la soldadura:**

El hidrogeno en la soldadura se presenta por la disociación de vapor de agua e hidrocarburos en el arco de soldadura, Condiciones climáticas, ambientes húmedo, mala conservación de



los consumibles y material base, son los principales aportantes de hidrogeno al metal fundido de la soldadura.

El hidrógeno atómico ( $H^+$ ) es muy pequeño, 100 000 veces más pequeño que el radio atómico del hierro y con una masa 56 veces más ligera que el hierro, por ello se disuelve fácilmente en el acero, disminuyendo esta solubilidad al descender la temperatura, la siguiente imagen muestra la disminución de la solubilidad del hidrogeno.

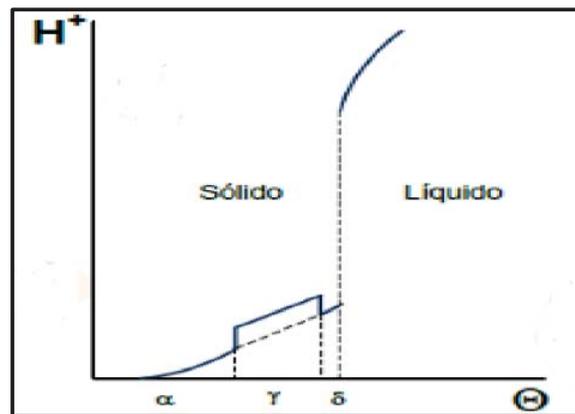


Figura 16. Solubilidad del hidrogeno en Fe según SIEVERT. Fuente: CESOL 2013

“La disminución de la solubilidad del hidrógeno en el acero sólido durante el enfriamiento puede causar la aparición de zonas ricas en hidrógeno molecular en las que la presión puede alcanzar las 1.000 atmósferas, produciéndose grietas. Estas zonas llamadas “copos” se distinguen en el acero como zonas blancas que se diferencian perfectamente de la coloración gris del resto de la sección” Fosca, Introducción a La Metalurgia de la Soldadura, 2007. Pag 211

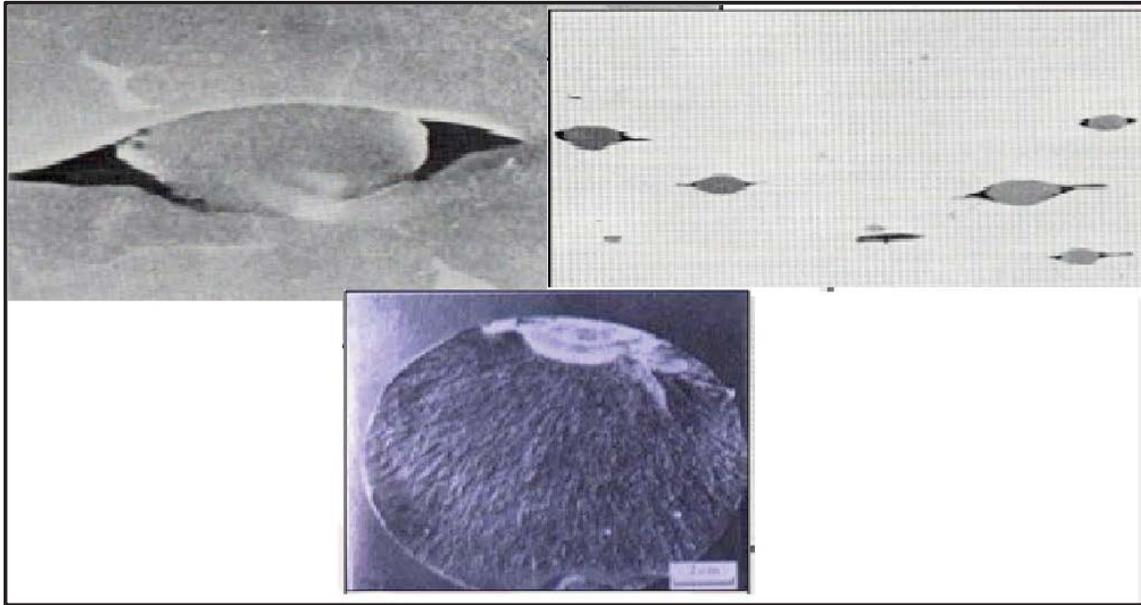


Figura 17. Presencia de Hidrogeno en un ensayo de fatiga. Fuente: CESOL 2013

#### 2.8.2.2. *Difusión del hidrogeno en la estructura del acero.*

El hidrogeno es el elemento que presenta el mayor coeficiente de difusión en el acero, comparado con otros aleantes como manganeso, molibdeno, silicio, siendo la ferrita (alfa) a temperatura ambiente la estructura que tienen mayor coeficiente de difusión del hidrogeno,

La concentración del hidrogeno puede alcanzar hasta  $30\text{cm}^3/100\text{g}$  en estado líquido del hierro  $1600^\circ\text{C}$  y en estado sólido de  $10\text{cm}^3/100\text{g}$  del hierro a ( $1536^\circ\text{C}$ )

Como se mencionó líneas arriba la difusibilidad del hidrogeno disminuye con la temperatura, esto por las características micro estructurales del acero en estado sólido.

La ferrita es un micro constituyente del acero que se encuentra a temperatura ambiente con una estructura centrado en el cuerpo, esta característica (CCC) posee menos intersticios en los cuales puede almacenar átomos de hidrogeno, en comparación con la austenita que tiene estructura centrada en las caras (CCC).

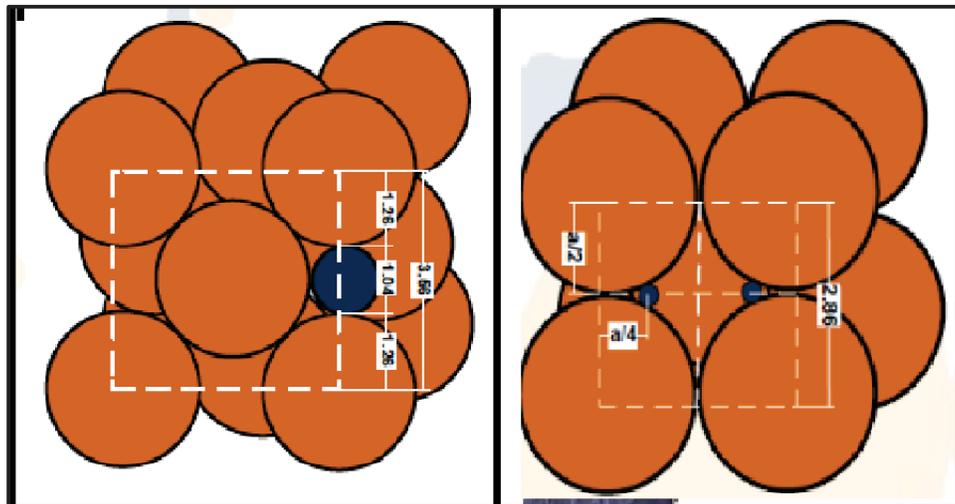


Figura 18. Celdas unitarias de Ferrita y Austenita. Fuente CESOL 2013

## 2.9. CICLO TÉRMICO DE LA UNIÓN SOLDADA

El proceso de soldadura por fusión involucra necesariamente aporte de calor por arco eléctrico, este calor generará varios y complejos cambios metalúrgicos que afectarán las propiedades mecánicas del metal base, específicamente en la zona afectada. El súbito calentamiento y enfriamiento como consecuencia de un proceso de soldeo recibe el nombre de ciclo térmico que es importante describirlo y controlarlo con el fin de conseguir mejores resultados en las propiedades mecánicas de la soldadura.

El ciclo térmico se representa básicamente por las siguientes características:

- La distribución de temperatura en la ZAC.
- La velocidad de enfriamiento.
- Velocidad de solidificación del metal fundido.

La distribución de la temperatura máxima en la zona afectada por el calor (ZAC), según muestra la figura N° 20, la temperatura máxima alcanzada es en la zona fundida y esta se va transmitiendo rápidamente por conducción a sus lados, es decir sus átomos transfieren el calor a sus átomos vecinos.

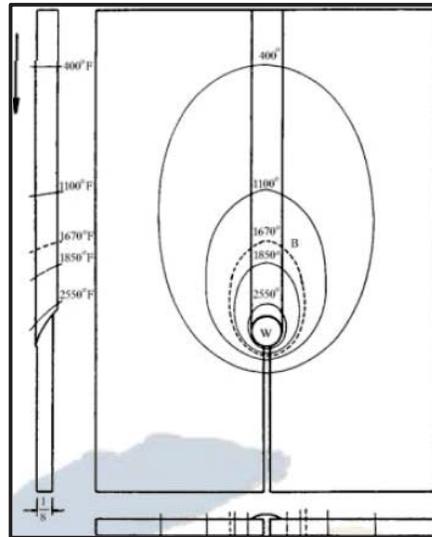


Figura 19. Distribución de temperatura en una plancha soldada. Fuente: CESOL 2013

La fuente de calor actúa solo por un tiempo determinado en un proceso de soldadura, por lo cual la zona afectada comenzará a enfriarse, esto significa que cada punto del metal sufrirá una variación de temperatura en función del tiempo. El gráfico N° muestra las curvas de temperatura que van cambiando en función del tiempo en diferentes puntos afectados por el calor.

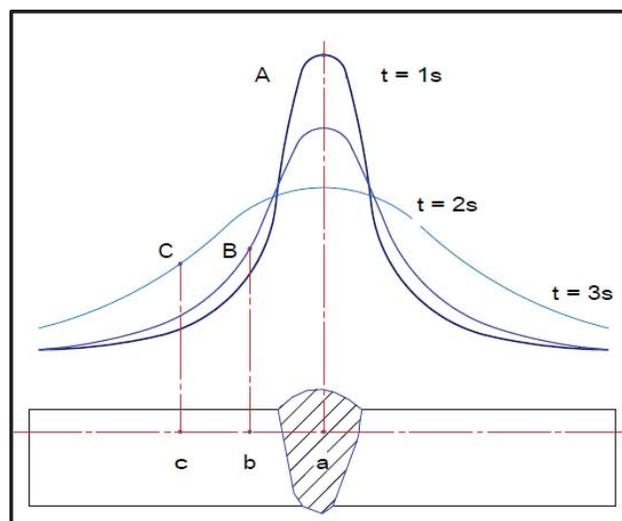


Figura 20. Curvas de distribución de temperatura, a, b, c son puntos en la ZAC. Fuente: Fosca, Introducción a la Metalurgia de la Soldadura. 2007, Pag.79



### 2.9.1. Factores que influyen en los cambios de temperatura en el proceso de soldadura por arco eléctrico.

Según Carlos Fosca (metalurgia de la soldadura 7ª edición-2007) los principales factores son:

- Aporte de calor.
- Temperatura inicial del metal base.
- Geometría de la unión soldada.
- Propiedades térmicas del metal base.

El aporte de calor conocido como HEAT INPUT (J/mm) procedente de un arco eléctrico viene representado por los siguientes parámetros eléctricos:

$$H_{neto} = \frac{V \times I}{v} \times f \dots \text{Ecu 002}$$

Donde:

$H_{neto}$	=	Aporte de calor	J/mm
$F$	=	Rendimiento de la transferencia de calor	%
$V$	=	Voltios	V
$I$	=	Amperios	A
$v$	=	Velocidad de avance del soldeo	mm/s

El rendimiento de la transferencia de calor está condicionado por el proceso de soldadura como lo muestra la tabla siguiente:

Tabla 6  
*Eficiencia térmica de procesos de soldadura*

PROCESO	EFICIENCIA (%)
Oxiacetilénico	35%
GTAW (TIG)	20-50%
GMAW (MIG-MAG)	70-85%
SMAW	70-80%
FCAW	65-85%
SAW	90-99%

Fuente: Fosca, Introducción a la Metalurgia de la Soldadura, 2007. Pag.86



El aporte de calor es un parámetro importante en un procedimiento de soldadura puesto cambia la microestructura del metal a soldar afectando las propiedades mecánicas.

Los efectos en el aporte térmico (HEAT INPUT) y temperatura inicial de la plancha base afectan directamente a la velocidad de enfriamiento así como también a la zona afectada por el calor. Debemos precisar que un menor aporte de calor y menor temperatura inicial se obtiene una mayor velocidad de enfriamiento y contrariamente al aumentar el aporte de calor o mayor temperatura inicial la velocidad de enfriamiento disminuye y la plancha base incrementara la ZAC. La temperatura inicial de la plancha base se puede modificar realizando un proceso de pre calentamiento.

La siguiente figura muestra las curvas del ciclo térmico en una plancha de 1/2" aplicando diferentes aportes térmicos y pre calentamiento.

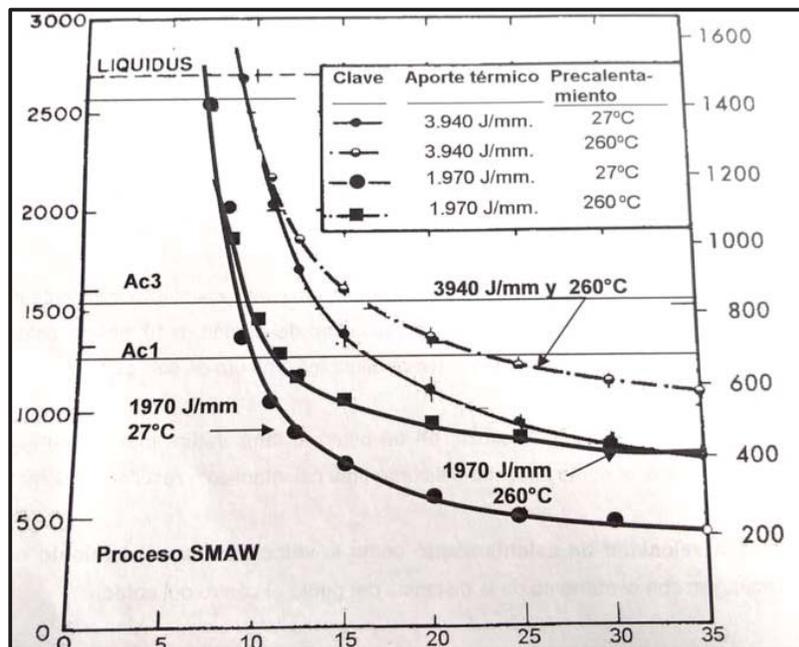


Figura 21. Variación del ciclo térmico por el precalentamiento. Fuente: Fosca C. Metalurgia De La Soldadura, 2007



El espesor y la geometría de la soldadura afecta significativamente en la velocidad de enfriamiento. La velocidad de enfriamiento tiende a aumentar cuando se incrementa el espesor de la plancha base siendo esta característica compleja de describir y se asume que las planchas delgadas conducen el calor bidimensionalmente mientras que las planchas gruesas transfieren el flujo de calor tridimensionalmente.

Para poder determinar si una plancha es delgada o gruesa se considera un valor adimensional del resultado de la siguiente ecuación.

$$r = t \sqrt{\frac{\rho \times C (T_c - T_o)}{H_{net}}} \dots \text{Ecu 003}$$

T	=	Espesor de la plancha	Mm
P	=	Densidad del material	g/mm <sup>3</sup>
C	=	Calor específico del metal sólido	J/g °C
ρ.C	=	Calor específico volumétrico	J/mm <sup>3</sup> °C
T <sub>c</sub>	=	Temperatura crítica (550 °C)	°C
T <sub>o</sub>	=	Temperatura inicial	°C
H <sub>net</sub>	=	Aporte de calor	J/mm

Considerar plancha gruesa cuando  $r > 0.9$  y  $r < 0.6$  plancha delgada. Cuando el valor de “r” está entre los valores de 0.9 y 0.6 considerara una división arbitraria con un valor de 0.75 que generara un error de no más de 15% en las ecuaciones de enfriamiento (Carlos Fosca-Metalurgia de la Soldadura, 2007).

Debemos indicar que la velocidad de enfriamiento en las juntas en filete es más elevada que las juntas a tope, puesto se considera enfriamiento tridimensional como se mencionó líneas arriba.



### 2.9.2. Efecto de las características térmicas del material.

Se considera 02 puntos importantes para considerar de acuerdo a la naturaleza de los materiales. Cuando más baja sea la conductividad térmica, se considera una mayor distribución de temperatura en los puntos cercanos a la fuente de calor. La ZAC será menor. Cuando el material tenga una buena conductividad térmica el enfriamiento será mucho más rápido.

### 2.9.3. Ecuación de la temperatura máxima en cada punto de la ZAC

Para describir los cambios generados en el proceso de soldadura desde el punto de vista del ciclo térmico consideramos la ecuación de la IWE que nos describe la influencia de los parámetros de soldadura en la zona afectada por el calor en una junta a tope por una pasada.

$$\frac{1}{T_{max} - T_0} = \frac{4.13 \rho \times C \times t \times Y}{H_{net}} + \frac{1}{T_{fusion} - T_0} \dots Ecu 004$$

$T_{max}$	=	Temperatura máxima en Y	$C^\circ$
Y	=	Distancia de la $T_{max}$	Mm
$T_0$	=	Temperatura inicial de la plancha	$C^\circ$
$T_{fusion}$	=	temperatura de fusión	$C^\circ$
P	=	Densidad del material	g/mm <sup>3</sup>
C	=	Calor específico del metal sólido	J/g <sup>3</sup> °C
$\rho.C$	=	Calor específico volumétrico	J/mm <sup>3</sup> °C
T	=	Espesor de la plancha	Mm
$H_{net}$	=	Energía aportada neta (=f <sub>l</sub> .E.I/V)	J/mm
f <sub>l</sub>	=	Rendimiento de la transferencia de calor	
E	=	Voltios	V
I	=	Amperios	A
V	=	Velocidad de avance del soldeo	mm/s

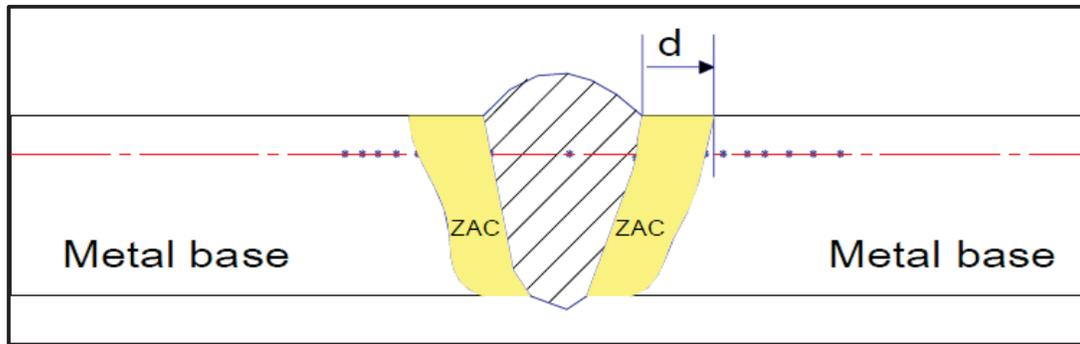


Figura 22. Sección de la unión soldad

Con esta ecuación podemos determinar lo siguiente:

- Determinar la temperatura máxima en un punto de la ZAC.
- Determinar el ancho de la ZAC.
- Demostrar el efecto causado por el pre calentamiento sobre el ancho de la ZAC.
- Velocidad de enfriamiento.

#### 2.9.4. Velocidad de enfriamiento

La velocidad de enfriamiento afecta directamente en la microestructura del metal base y por ende en las propiedades mecánicas. La velocidad de enfriamiento es variable de acuerdo a la temperatura que se encuentre el acero en el proceso de soldadura. Por ejemplo un punto que se encuentre por encima de los  $900^{\circ}\text{C}$  tiene una velocidad de enfriamiento mucho mayor al que se encuentre por debajo de los  $730^{\circ}\text{C}$ ,

La velocidad crítica de enfriamiento se encuentra en los puntos que se encuentran entre los  $800^{\circ}\text{C}$  y  $500^{\circ}\text{C}$  que corresponde a los extremos de la curva "S" conocida también como la curva TTT (tiempo, temperatura, transformación)

**Curva S:** Planteada por Bain y Davenport de la UNITED STATES STEEL. Quienes estudiaron la transformación isotérmica de la austenita a diversas temperaturas, examinando



las nuevas microestructuras que se formaban en al enfriarse la austenita. La curva S llamada también curva TTT se muestra en el siguiente gráfico:

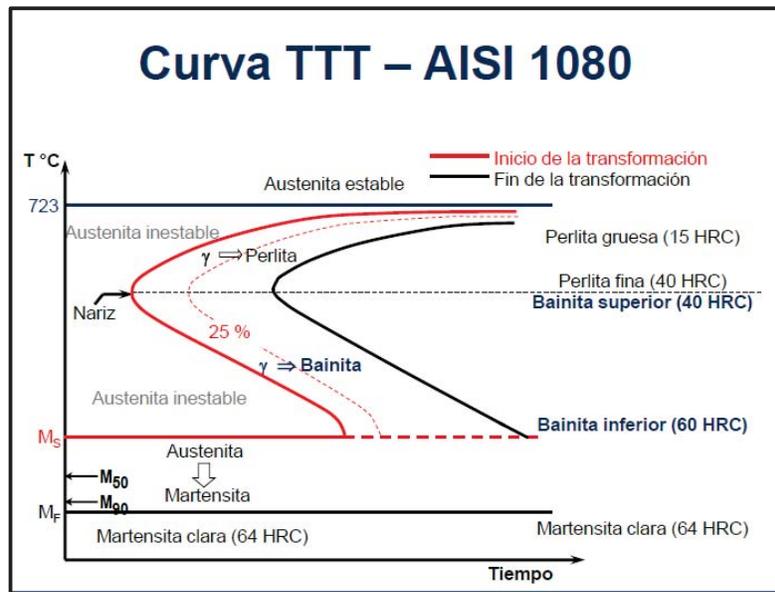


Figura 23. Curva “S” del acero AISI 1080. Fuente: INGESOL 2013

Se muestra la zona de la transformación de perlitita a 550 °C (temperatura crítica de enfriamiento) Zona de formación de bainita de 550 °C a 230 °C y Zona de transformación martensítica superior e inferior.

### 2.9.5. Ecuación de velocidad de enfriamiento para chapas gruesas y delgadas

Para determinar la velocidad de enfriamiento en una soldadura es importante conocer la temperatura crítica de enfriamiento que para mayoría de los aceros es de 550 °C según la curva “S” descrita líneas arriba.

Consideramos la velocidad de enfriamiento para planchas gruesas y delgadas según la ecu 03

Plancha gruesa (más de 6 pasadas)

$$R = \frac{2 \times \pi \times K(T_c - T_0)^2}{H_{net}} \dots \text{Ecu 005}$$



Plancha delgada (menos de 4 pasadas)

$$R = \frac{2 \times \pi \times K\rho C (T_c - T_0)^3}{(H_{net})^2} \times (t)^2 \dots Ecu 006$$

Con estas ecuaciones podemos estimar la velocidad crítica de enfriamiento y la temperatura de precalentamiento.

De acuerdo a pruebas de dureza descritas por CESOL 2103, con velocidades de soldeo de 6, 7, 8, 9, 10, se determinó, que solo a las velocidades de soldeo de 9, 10 m/s se presentan zonas duras en la ZAC. LA IWE considera hasta 8 mm/s la velocidad de soldeo para determinar la velocidad de enfriamiento crítica, que nos servirá para determinar la velocidad de enfriamiento crítica reemplazando en las ecuaciones descritas anteriormente.

De la misma forma considerando la velocidad de enfriamiento crítica ( $6C^\circ/S$ ) podemos estimar la temperatura de precalentamiento mínima en chapas gruesas y delgadas para que no se generen estructuras duras en las zonas de soldeo.

## 2.10. SOLDABILIDAD

Consideramos como soldabilidad a la capacidad de un acero a ser soldado en condiciones determinadas obteniendo microcomponentes que puedan garantizar los requerimientos de servicio solicitados. Debemos de describir la soldabilidad por los tres siguientes puntos:

- Soldabilidad operativa.
- Soldabilidad constructiva.
- Soldabilidad metalúrgica.

Siendo esta ultima la más importante y que consideraremos para alcanzar los requisitos solicitados en las propiedades mecánicas, ductilidad, tenacidad, resistencia mecánica, resistencia a la corrosión.

Los factores que determinan la soldabilidad de un acero son las siguientes:



- Las transformaciones que se generan en la zona afectada por el calor ZAC.
- Composición química del material base y de aporte.
- Tensiones residuales generadas por el proceso de soldadura.
- Procedimiento de soldadura empleado.

### 2.10.1. Carbono equivalente.

El cálculo del carbono equivalente no ayuda a predecir la soldabilidad de los aceros según su dureza, y poder predecir fisuraciones en frío, comportamiento frágil, corrosión bajo tensión y Fragilización por hidrogeno.

De acuerdo a nuestra tesis el carbono equivalente se calculara para poder determinar la susceptibilidad a fisurarse en frío y como método práctico para determinar la temperatura de precalentamiento.

$$C_{eq} = C + \frac{Mn + Si}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15} \dots Ecu 007$$

Puede utilizarse para temperaturas de enfriamiento de  $t_{8/5} > 12s$  y con un porcentaje de carbono igual o superior al 0.18%.

Según el análisis químico realizado a la muestra se tiene que el C% es de 0.9%,

### 2.10.2. Determinación de la temperatura de precalentamiento.

En el capítulo anterior se estimó la temperatura de precalentamiento teóricamente según el ciclo térmico afectado en la unión soldada.

Existen muchos criterios para determinar la temperatura de precalentamiento, en nuestro caso utilizaremos el método descrito por la AWS D1.1 que se basa en la condición de susceptibilidad a la Fragilización.



En este método y con los valores determinados del CE y el C% se localiza en la figura 24. Donde ese muestra tres zonas:

- **Zona 01:** el riesgo de fisuraciones casi improbable y el acero tienen buena soldabilidad
- **Zona 02:** se debe de tomar precauciones en el soldeo para evitar estructuras frágiles, se recomienda utilizar el método del hidrógeno para determinar la temperatura de precalentamiento
- **Zona 03:** difícil soldabilidad, alto riesgo de fisuración, en esta zona están los aceros templados y se puede utilizar el método del hidrógeno para determinar la temperatura de precalentamiento.

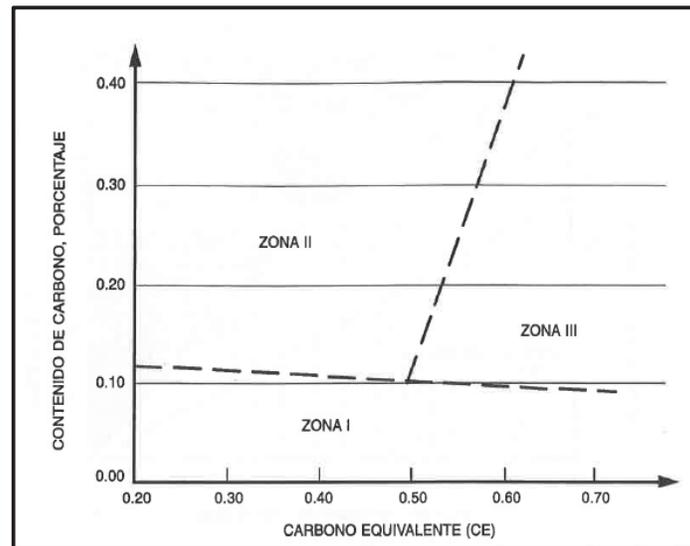


Figura 24. Diagrama de Graville. Fuente: AWS D1.1-2010

### 2.10.3. Método de control de hidrógeno:

Debido a las condiciones de humedad externa, la unión soldada es susceptible a concentrar grandes cantidades de hidrógeno, el cual generará fisuraciones en zonas con estructuras frágiles.



Se calcula el índice de susceptibilidad (ISF) a la fisuración de aceros de bajo % C con la siguiente relación:

$$ISF = 12 PCM + \text{Log}H \dots Ecu 08$$

Siendo PCM un parámetro de composición propuesta por Ito Bessyo.

$$PCM = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Si}{30} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \dots Ecu 009$$

H= Nivel de hidrogeno difundido en el metal soldado (ml/100g de metal depositado)

El nivel de hidrogeno puede ser determinado según las indicaciones y parámetros expuesto en la Tabla 07

Tabla 7

*Nivel de Hidrogeno por el metal depositado*

NIVEL DE HIDROGENO	H (ML/100g)
H1	5
H2	10
H3	30

Fuente: Código De Soldadura Estructural AWS D1.1-2015.

H1- Nivel de hidrogeno extra bajo (hasta 5ml/100g). Este nivel de hidrogeno difundible en el metal depositado es aportado por electrodos de 0.2% de humedad de acuerdo a la norma AWS A.5.1 o A5.5. En la práctica esto se puede conseguir de la manera siguiente:

- Usando electrodos de bajo contenido de H, sellados herméticamente, secados a temperaturas de 370 a 430°C por 01 hora y utilizados en un máximo de 2 horas después de retirarse de su envase.
- También puede obtenerse utilizando el proceso de soldadura GMAW o soldadura con alambre solido protegido por gas.

Considerando lo expuesto, es aceptable el uso del proceso GMAW para nuestro estudio.



H2 - Nivel de hidrogeno bajo (hasta 10 ml/100g). Esta cantidad de hidrogeno difundible en el metal depositado es obtenido por 0.4% de humedad en la cubierta de electrodo como máximo. Según la norma Código De Soldadura Estructural AWS D1.1 – 2010. Con el cálculo del índice de susceptibilidad y el nivel de hidrogeno podemos estimar un rango de parámetros mostrado en la tabla 8

H3- Nivel de hidrogeno (hasta 30 ml/100g). No se considera las condiciones de H1 y H2.

Tabla 8

*Parámetros de Susceptibilidad a la fisuración en frio*

Nivel de hidrogeno	Grupo de índice de susceptibilidad				
	A	B	C	D	E
H1	A	B	C	D	E
H2	B	C	D	E	F
H3	C	D	E	F	G

Donde A,B,C,D,E,F,G representan rangos de grupos de índices de susceptibilidad

A = 3,0      B = 3.1 - 3.5      C = 3.6 - 4.0      D = 4.1 – 4.5      E = 4.6 – 5.0      F = 5.1 – 5.5      G = 5.6 – 7.0

Fuente: Código De Soldadura Estructural AWS D1.1 -2015

Estimada el rango de parámetros en el cuadro descrito líneas arriba podemos determinar la temperatura de precalentamiento y temperatura de interfase.



Tabla 9  
Temperatura de precalentamiento

		Índice de susceptibilidad al agrietamiento						
Nivel de restricción	Espesor* (mm)	A 3,0	B 3,1-3,5	C 3,6-4,0	D 4,1-4,5	E 4,6-5,0	F 5,1-5,5	G 5,6-7,0
Bajo	<10	<20°	<20°	<20°	<20°	60	140°	150°
	10-20	<20°	<20°	20°	60	100°	140°	150°
	20-38	<20°	<20°	20°	80	110	140°	150°
	38-75	20°	20°	40°	95°	120°	140°	150°
	> 75	20	20	40°	95°	120°	140°	150°
* El espesor es el de la parte soldada más gruesa								
Nivel de restricción: es el grado de fijación que tiene una junta soldada y que impide su movimiento durante la soldadura. <b>Nivel de restricción bajo:</b> uniones soldadas con razonable libertad de movimiento.								

		Índice de susceptibilidad al agrietamiento						
Nivel de restricción	Espesor* (mm)	A 3,0	B 3,1-3,5	C 3,6-4,0	D 4,1-4,5	E 4,6-5,0	F 5,1-5,5	G 5,6-7,0
Medio	<10	<20°	<20°	<20°	<20°C	70°C	140°	160°
	10-20	<20°	<20°	20°	80°	115°	145°	160°
	20-38	20°	20°	75°	110°	140°	150°	160°
	38-75	20°	80°	110°	130°	150°	150°	160°
	> 75	95°	120°	140°	150°	160°	160°	160°
* El espesor es el de la parte soldada más gruesa								
Nivel de restricción: es el grado de fijación que tiene una junta soldada y que impide su movimiento durante la soldadura. Nivel de restricción bajo: uniones soldadas con razonable libertad de movimiento. <b>Nivel de restricción medio:</b> uniones soldadas con reducida libertad de movimiento (uniones fijas a otras estructuras)								

		Índice de susceptibilidad al agrietamiento						
Nivel de restricción	Espesor* (mm)	A 3,0	B 3,1-3,5	C 3,6-4,0	D 4,1-4,5	E 4,6-5,0	F 5,1-5,5	G 5,6-7,0
Alto	<10	<20°	<20°	<20°	40°	110°	150°	160°
	10-20	<20°	20°	65°	105°	140°	160°	160°
	20-38	20°	85°	115°	140°	150°	160°	160°
	38-75	115°	130°	150°	150°	160°	160°	160°
	> 75	115°	130°	150°	150°	160°	160°	160°
* El espesor es el de la parte soldada más gruesa								
<b>Nivel de restricción alto:</b> uniones soldadas sin libertad de movimiento (ej: uniones de gran espesor o reparación de soldaduras).								

Fuente: Código De Soldadura Estructural AWS D1.1 – 2015



## **CAPÍTULO III**

### **3. INSPECCIÓN DE UNIONES SOLDADAS, PROCESO SMAW**



Los buses de transporte urbano que circulan en la ciudad del cusco tienen diferentes características referidas a la constructividad del chasis y carrocería. Como se indica en la tabla 01, el chasis de marca Fusso tiene mayor presencia en la ciudad del Cusco y tomamos una muestra no probabilística o dirigida cuya ventaja “Es su utilidad para determinados diseños de estudio que requieren no tanto una “representatividad” de elementos de una población, sino una cuidadosa y controlada elección de casos con ciertas características especificadas previamente en el planteamiento del problema”(Hernández Sampieri, 2014, pág. 190). La Inspección se realizó a 05 unidades que tenían una vida en servicio entre 0 a 7 meses aproximadamente, cuyos chasis fueron ampliados para contar con las características mínimas según los requerimientos de la municipalidad del Cusco.

### **3.2. CONSIDERACIONES PARA LA INSPECCIÓN DE UNIONES SOLDADAS.**

La inspección se realizó a las uniones soldadas con ensayos no destructivos que nos permiten inspeccionar la unión al 100% para detectar discontinuidades pero no dan información directa de las condiciones metalúrgicas y propiedades mecánicas. Para seleccionar el método apropiado para realizar las inspecciones se consideró los siguientes criterios:

- Accesibilidad y condiciones estructurales del material a ensayar.
- El tipo de discontinuidad que se pretende ensayar.
- Velocidad de la aplicación del ensayo.
- Instrumentos y experiencia por parte del inspector.

Inspección visual (VT) e inspección con líquidos penetrantes (PT), este último para detectar discontinuidades no observables a simple vista son los métodos que aplicaremos para la inspección de las uniones soldadas realizadas en la aplicación del chasis para bus urbano.



### 3.3. INSPECCIÓN VISUAL

La inspección visual consiste en observar detalladamente bajo determinadas condiciones del ojo humano o asistido por instrumentos que permitan mejorar el alcance de la vista. Este ensayo tiene como objetivo detectar discontinuidades superficiales que no cumplan con los requerimientos específicos de fabricación o de servicio.

La inspección visual tiene cuatro etapas de ejecución: Antes del proceso de soldadura, durante el proceso de soldadura, después del soldeo y durante el servicio de la unión soldada. Esta última realizada en procesos de mantenimiento y para asegurar la sanidad de la unión soldada por defectos como el agrietamiento.

#### 3.3.1. Defectos detectados por la inspección visual:

- Desalineamiento lineal, angular y de raíz.
- Falta de fusión,
- Falta de penetración
- Mordeduras
- Salpicaduras
- Grietas, como la fisuración en frío

Para el Ensayo Visual realizado se consideró el ASME SECC. V, Art. 9, en vista que se realizó un Ensayo Directo

- Distancia máxima a la superficie de observación: 610 mm
- Ángulo de incidencia de la luz: mayor a 30°
- Nivel de iluminación mínima 1000 lux sobre la superficie de inspección.



### 3.4. LÍQUIDOS PENETRANTES

Es un tipo de ensayo no destructivo nos permite detectar discontinuidades superficiales, en materiales sólidos no porosos, siempre que estas se encuentren abiertas a la superficie. Este ensayo se fundamenta en la capacidad de ciertos líquidos para penetrar y retenerse en fisuras, porosidad con sus tres propiedades fundamentales: Poder humectante, Capilaridad y Viscosidad.

Existen dos tipos de líquidos penetrantes más comunes de acuerdo a sus características ópticas:

- Penetrantes fluorescentes.
- Penetrantes visibles (coloreados)

Los líquidos penetrantes coloreados es el que aplicaremos en las inspecciones del chasis debido a la versatilidad del proceso, condiciones de la luz y condiciones de la muestra.

#### 3.4.1. Defectos detectados por líquidos penetrantes

De acuerdo al tipo de líquido penetrante visible coloreado utilizado, los defectos que se pueden detectar son:

- Fisuras.
- Porosidad,
- Desgarre laminar.
- Falta de fusión.

Para realizar y preparar la superficie de las muestras de uniones soldadas en la ampliación del chasis se recurrió a la norma técnica ASTM E 165 y ASTM E 615: que establece en sus anexo A1 algunas indicaciones para la limpieza superficial de materiales de acuerdo a los factores de sustancias a remover, efecto del método de limpieza, factibilidad de aplicación del método de limpieza. Los ensayos se realizaron siguiendo las siguientes etapas:



- Preparación de la superficie a inspeccionar
- Aplicación del Líquido Penetrante
- Remoción del exceso de Líquido Penetrante
- Aplicación del revelador
- Observación e interpretación de las indicaciones
- Limpieza final
- Informe

### 3.5. INFORME DE RESULTADOS DE LAS INSPECCIONES.

Los ensayos se realizaron en diferentes periodos de tiempo, de acuerdo a la disponibilidad de las unidad y a continuación describimos los informes respectivos.

INSPECCIÓN 01	
<b>FECHA:</b>	12/10/218
<b>MODELO:</b>	FUSO
<b>TIPO DE INSPECCIÓN:</b>	Visual
<b>TPO VIDA APROX:</b>	Líquidos penetrantes (PT)
<b>DISCONTINUIDAD:</b>	05 meses
	<b>Fisura</b>
	Falta de fusión
	Sobre monta
	Falta de relleno
<b>UBICACIÓN:</b>	Material base extensión



Figura 25. Inspección de unión soldada 01. Fuente propia



<b>INSPECCIÓN 02</b>	
<b>FECHA:</b>	22/10/218
<b>MODELO:</b>	FUSO
<b>TIPO DE INSPECCIÓN:</b>	Visual
<b>TIEMPO VIDA APROX:</b>	03 meses
<b>DISCONTINUIDAD:</b>	Socavado Salpicadura Mordedura Falta de relleno
<b>UBICACIÓN:</b>	Material base extensión



Figura 26. Inspección de unión soldada 02. Fuente propia

<b>INSPECCIÓN 03</b>	
<b>FECHA:</b>	14/11/218
<b>MODELO:</b>	FUSO
<b>TIPO DE INSPECCIÓN:</b>	Visual Líquidos penetrantes (PT)
<b>TIEMPO VIDA APROX:</b>	0 meses
<b>DISCONTINUIDAD:</b>	<b>Fisura</b> Salpicadura Falta de fusión
<b>UBICACIÓN:</b>	Raíz



Figura 27. Inspección de unión soldada 03. Fuente propia

<b>INSPECCIÓN 04</b>	
<b>FECHA:</b>	18/11/218
<b>MODELO:</b>	FUSO
<b>TIPO DE INSPECCIÓN:</b>	Visual Líquidos penetrantes (PT)
<b>TIEMPO VIDA APROX:</b>	07 meses
<b>DISCONTINUIDAD:</b>	<b>Fisura</b> Falta de fusión Mordeduras Falta de relleno
<b>UBICACIÓN:</b>	Material base chasis



Figura 28. Inspección de unión soldada 04. Fuente propia



INSPECCIÓN 05	
<b>FECHA:</b>	02/12/218
<b>MODELO:</b>	FUSO
<b>TIPO DE INSPECCIÓN:</b>	Visual
	Líquidos penetrantes (PT)
<b>TIEMPO VIDA APROX</b>	07 meses
<b>DISCONTINUIDAD</b>	Falta de fusión Sobre monta Falta de relleno Socavado
<b>UBICACIÓN</b>	Material base extensión



Figura 29. Inspección de unión soldada 05. Fuente propia

Las fisuras detectadas tienen características de fisuración en frío y no son aceptables por ningún código de fabricación, puesto esto afecta directamente a la resistencia de la unión soldada. Cabe indicar que las fisuras fueron detectadas en la zona afectada por el calor (ZAC) tanto en el material base del chasis y del material base de la ampliación.



## **CAPÍTULO IV**

### **4. ANÁLISIS DE CARGA DEL VOLADIZO POSTERIOR DEL CHASIS**



Las cargas que actúan en el bus urbano es complejo, fuerzas estáticas, dinámicas, momento flector y torsión son algunas de las cargas que actúan en un bus de transporte urbano. En este trabajo solo nos enfocaremos en la carga que actúa en el voladizo posterior del chasis, el cual tiene una sección crítica ocasionada por la soldadura del empalme.

El chasis está compuesto de un bastidor rígido, acero de alta resistencia a la deformación y adicional a esto la carrocería en conjunto con el bastidor forma una estructura rígida. Por esto consideraremos las cargas distribuidas simétricas en los ejes delantero y posterior.

La especificación del chasis fuso (Anexo G) nos indica que el peso bruto vehicular (PBV) soportadas tanto por el eje delantero y posterior es de 2880Kg y 5200Kg respectivamente las cuales tomaremos como base de cálculo debido a la exigencia máxima que debe soportar la unión soldada. La capacidad de carga ( $C_C$ ) del chasis es de 5040Kg y se distribuye proporcionalmente a la capacidad de carga de los ejes.

$$C_P = 1.8 C_D$$

Dónde:

$C_P = 3240 \text{ Kg}$  capacidad de carga del eje posterior.

$C_D = 1800 \text{ kg}$  Capacidad de carga del eje delantero.

La capacidad de carga total distribuida en la plataforma de la carrocería se transmite a través de los parantes “P” al chasis y debido a la simetría de los dos perfiles “C” la capacidad de carga se divide equitativamente para cada lado del chasis como se muestra en la figura 43.

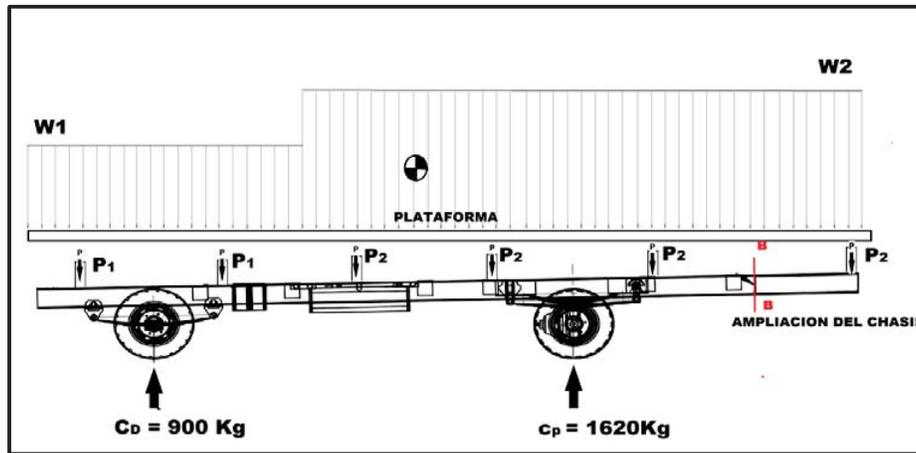


Figura 30. Distribución de capacidad de carga en el chasis

La carga crítica se encuentra en la sección B-B, donde se encuentra la unión soldada del chasis y la ampliación. Como esta sección se encuentra en el voladizo posterior, solo realizaremos el análisis de los esfuerzo máximos en esta zona.

Considerando que la carga se transmite de forma simétrica a través de los 4 parantes “P” al voladizo posterior del chasis, la carga actuante en la sección B-B son una carga cortante “V” y un momento flector “M” (ver figura 44)



Figura 31. Diagrama de cuerpo libre DCL del voladizo posterior



Realizando los cálculos y considerando  $g = 9.78\text{m/s}^2$  (aceleración de la gravedad en la región Cusco)

$$V = P = 405 \text{ kg} \times 9.78\text{m/s}^2 = 3961\text{N}$$

$$M = P \times L = 3961\text{N} \times 1.1 \text{ m} = 4357 \text{ Nm}$$

#### 4.2. DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR DEL VOLADIZO POSTERIOR

Con los datos obtenidos líneas arriba graficamos los diagramas respectivos:

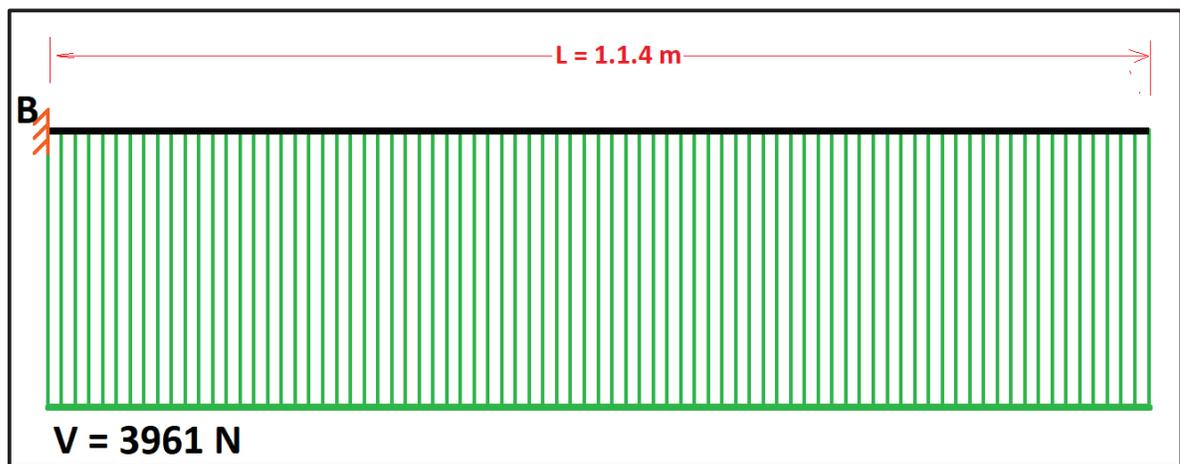


Figura 32. Diagrama de fuerza cortante "V" del voladizo posterior del chasis

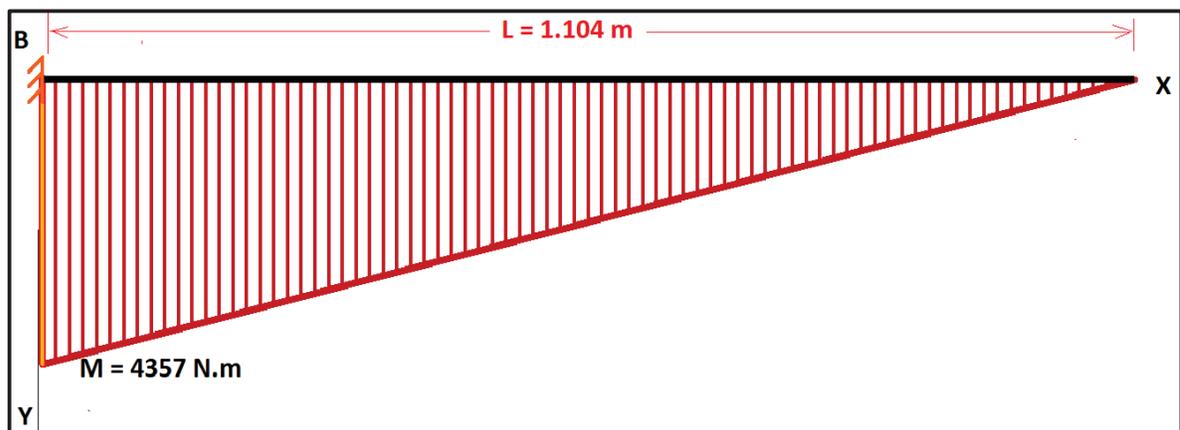


Figura 33. Diagrama de momento flector "M" en el voladizo posterior del chasis



#### 4.3. CALCULO DEL ESFUERZO MÁXIMO EN LA UNIÓN SOLDADA DEL VOLADIZO POSTERIOR DEL CHASIS.

Debido a la fuerza cortante  $V$  y al momento flector  $M$  que actúa en el voladizo posterior del chasis en la sección B-B, esta desarrolla esfuerzo internos los cuales son básicos para determinar la resistencia del material.

A continuación realizamos el análisis del esfuerzo flexión y esfuerzo cortante transmitido a la soldadura. Primeramente debemos considerar para el análisis el área efectiva y el momento de inercia respecto al eje neutro de la sección B-B.

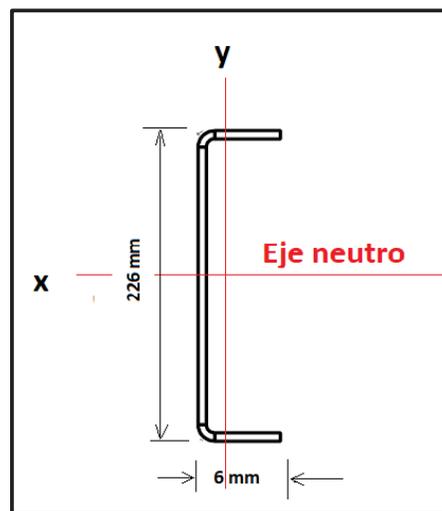


Figura 34. Sección B-B del perfil "C"

Área efectiva "A", en una junta a tope se obtiene multiplicación de la longitud efectiva y el tamaño efectivo de la sección B-B

$$A = 2004 \text{ mm}^2.$$

Momento de inercia "I", de la sección B- B referente al eje neutro viene dado por:

$$I_1 = \frac{1}{12} b \cdot h^3 + A_1 \cdot y^2 = 4\,357\,080 \text{ mm}^4$$

$$I_2 = \frac{1}{12} b \cdot h^3 + A_2 \cdot y^2 = 4\,900\,172 \text{ mm}^4$$

$$I_3 = \frac{1}{12} b \cdot h^3 + A_3 \cdot y^2 = 4\,357\,080 \text{ mm}^4$$

$$I_{B-B} = I_1 + I_2 + I_3 = 13\,614\,332 \text{ mm}^4$$



Segundo momento polar de area “J”, referente al eje neutro es:

$$J_U = \frac{(2 \times b + h)^3}{12} - \frac{b^2(b + h)^2}{(2 \times b + h)}$$

$$J_U = \frac{(2 \times 57 + 220)^3}{12} - \frac{57^2(57 + 220)^2}{(2 \times 57 + 220)}$$

Considerando una junta a tope, el espesor es el tamaño de la junta tenemos lo siguiente:

$$J = J_U \cdot t, \text{ para } t = 6 \text{ mm}$$

$$J_U = 3451811.3 - 851056.64$$

$$J_U = 2600755.3 \text{ mm}^4$$

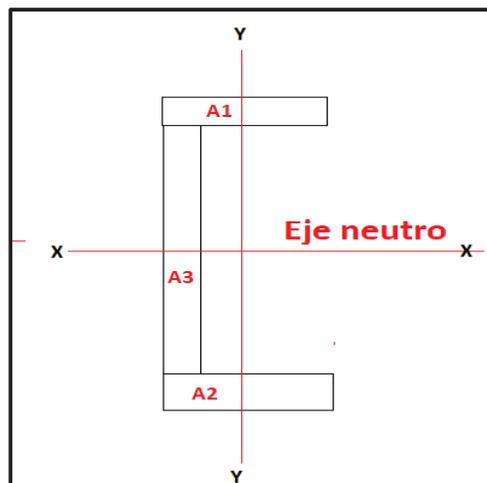


Figura 35. Momento de inercia de la sección B-B

#### 4.3.1. Esfuerzo Cortante “ $\tau_p$ ”.

Generado por la fuerza de corte “V” se expresa según lo siguiente considerando el canal C de pared delgada:

$$\tau_p = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t}$$

$$\tau_p = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t} = \frac{3961 \text{ N} \cdot 39600 \text{ mm}^3}{13\,614\,332 \times 6 \text{ mm}^5} = 1.9 \text{ MPa}$$

Donde:

$\tau_p$  = Esfuerzo cortante en el ala superior del canal.



$Q =$  Área del ala superior del canal,  $Q = A_1 \cdot 110mm$ .

$I =$  Momento de inercia.

$t =$  Espesor del canal C.

#### 4.3.2. Esfuerzo de flexión “ $\sigma_x$ ”

Generado por el momento flector es la siguiente:

$$\sigma_f = -\frac{M_f \times Y}{I}$$

$$\sigma_f = -\frac{M_f \times Y}{I} = \frac{4357 N.m \times 0.113m}{13\,614\,332 mm^4} = 36.16 MPa$$

Donde:

$\sigma_x =$  momento flector actuante en la sección B-B, considerando máximo en el ala superior del canal C.

$Y =$  distancia analizada respecto al eje neutro y el ala superior del canal C,

$I =$  momento de inercia respecto al eje neutro,

#### 4.3.3. Esfuerzo torsional “ $T_x$ ”

Considerado para un perfil abierto de pared delgada.

$$T_x = \frac{M_c \cdot r}{J}$$

$$T_x = \frac{34 N.m \times 0.110m}{2600755.3 mm^4} = 1.43 MPa$$

Donde:

$R =$  Distancia del eje neutro al ala superior del canal C, considerando perfil de pared delgada.



$J =$  Segundo momento polar de area.

$M_c =$  Momento torsor, referente al eje perpendicular al eje neutro.

$M_c =$  momento torsor, referente al eje perpendicular al eje neutro,  $M_c = F_f \cdot R$

Para  $F_f$ , consideramos la fuerza reactiva del ala superior del canal C estimado por:

$$F_f = \frac{V \cdot h \cdot t \cdot b^2}{4 I} = \frac{3961 \times 220 \times 6 \times 57^2}{4 \times 13\,600\,400} = 312 \text{ N}$$

Entonces:  $M_c = F_f \cdot R = 312 \text{ N} \times 0.110 \text{ m}$

$M_c = 34 \text{ N} \cdot \text{m}$

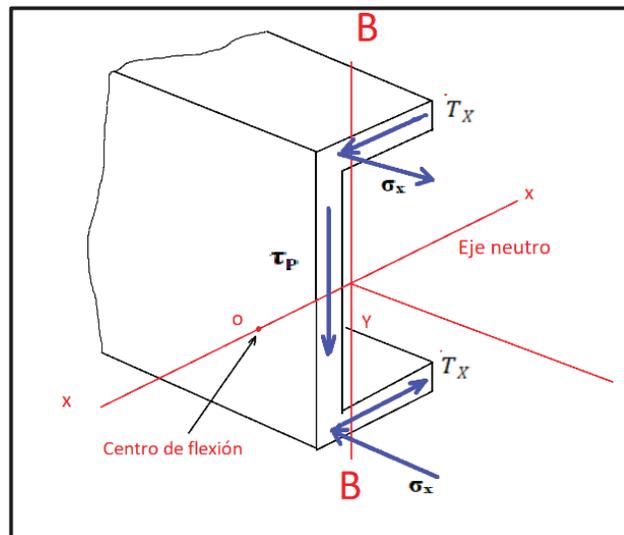


Figura 36. Esfuerzos actuantes en la sección B-B

El esfuerzo máximo resultante se encuentra en el ala superior del perfil “C” donde el momento flector actúa a tensión, este esfuerzo es menor al esfuerzo de fluencia tanto del metal base de la ampliación y del material de aporte, considerando que para una junta soldada que trabaja con cargas variables, esta carga debe de estar por debajo del límite de fluencia para garantizar la no presencia de fisuraciones por fatiga.



Debemos mencionar que la resistencia a la fluencia del chasis es mucho mayor que el de la extensión, por ende se encuentra fuera del margen de falla por fatiga.

Esfuerzo máximo en la unión soldada	Esfuerzo de fluencia del metal base ASTM A36	Esfuerzo de fluencia del metal de aporte ER70S-6
36MPa	250 MPa	420 MPa

#### 4.4. CENTRO DE CORTE O CENTRO DE FLEXIÓN.

Es el punto en el eje del simétrico donde la viga solo se flexionara sin torcerse.

Se describe a continuación la distancia “e” del eje neutro con respecto al alma del canal C.

$$e = \frac{F_f \cdot h}{V}$$

Donde:

$F_f$  = fuerza cortante en las alas del canal C que ocasionan la torsión.

$V$  = carga actuante

$h$  = alma del canal C (pared delgado)

La sección de la viga del chasis tiene las siguientes dimensiones:

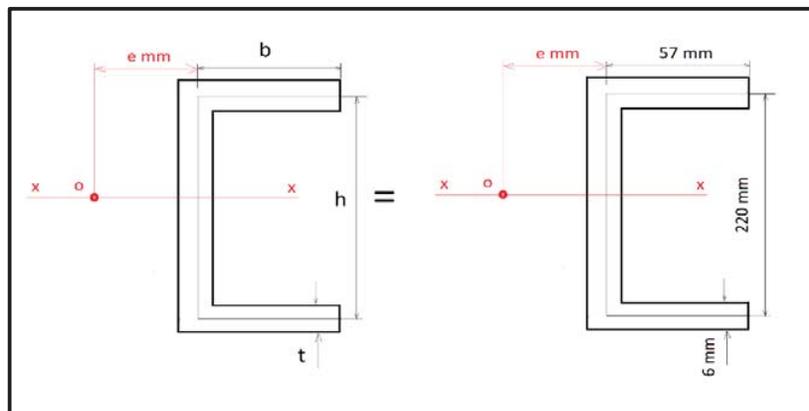


Figura 37. Sección B-B



Calculamos el momento de inercia respecto al eje neutro con la siguiente relación:

$$I = \frac{1}{12} t h^3 + 2 \left[ b \cdot t \left( \frac{h}{2} \right)^2 \right]$$

$$I = \frac{1}{12} 6 \times 220^3 + 2 \left[ 57 \times 6 \left( \frac{220}{2} \right)^2 \right]$$

$$I = 13\,600\,400 \text{ mm}^4$$

El flujo de cortante “q” en un punto del ala del canal viene dado por:

$$q = \frac{V \cdot Q}{I}$$

Donde:

$$Q = \frac{h}{2} (b - x) t$$

Entonces para determinar  $F_f$  consideramos lo siguiente:

$$F_f = \int_0^b q \, dx = \frac{V}{I} \cdot \frac{h \cdot t}{2} \int_0^b (b - x) \, dx$$

$$F_f = \frac{V}{I} \cdot \frac{h \cdot t}{2} \cdot \frac{b^2}{2} = \frac{V \cdot h \cdot t \cdot b^2}{4 I}$$

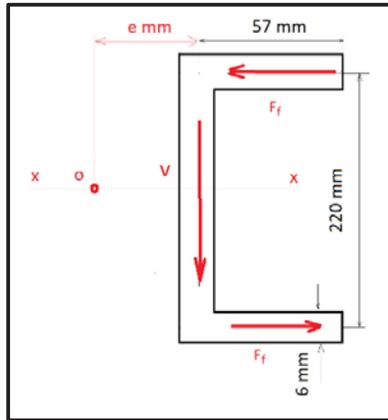


Figura 38. Centro de flexión

Reemplazando los valores calculados en la ecuación tenemos lo siguiente:

$$e = \frac{F_f \cdot h}{V} = \frac{b^2}{\left[\frac{h}{3} + 2b\right]} = \frac{(57)^2}{\left[\frac{220}{3} + 2 \times 57\right]}$$

$$e = 17.3 \text{ mm}$$

Podemos indicar lo siguiente:

“El centro de cortante se encuentra siempre sobre un eje de simetría de la sección transversal.

La posición del centro de corte es solo una función de la geometría de la sección trasversal y no depende de la carga aplicada”. Hibbeler 6ta edición. Pag.408.



## **CAPITULO V**

### **5. METALURGIA DE LA SOLDADURA Y FISURACIÓN EN FRIO**



## 5.2. CONDICIONES INICIALES DE SOLDEO

La unión soldada en la ampliación del chasis para bus urbano se realiza con el proceso de soldadura SMAW, siendo este proceso muy difundido en la fabricación de carrocerías por la practicidad y bajo costos del equipamiento.

Se observó primeramente que el proceso de soldeo en la ampliación del chasis, no se realiza con un procedimiento de soldadura calificado, solo se ejecuta con la experiencia del soldador quienes no cuentan con una certificación que garantice su habilidad en el proceso de soldadura SMAW.

No se considera ninguna especificación en la preparación de la junta, abertura de raíz, Angulo de bisel, arriostamiento y precalentamiento para reducir la velocidad de enfriamiento. La falta de control del proceso de soldadura pone en riesgo la sanidad de la soldadura



*Figura 39.* Almacenaje inaceptable del electrodo E7018. Fuente propia



### 5.3. MATERIAL DE APORTE EMPLEADO EN LA UNIÓN SOLDADA

El material de aporte usado en la unión soldada del chasis es el electrodo E7018. Clasificación AWS 5.1. Según especificación de los fabricantes “Electrodo revestido de tipo básico, de bajo hidrógeno con extraordinarias características mecánicas y de soldabilidad. Presenta un arco muy suave, bajo nivel de salpicaduras y la escoria es de muy fácil remoción. El contenido de hierro en polvo mejora su tasa de depósito. Dentro de su categoría es el producto que presenta los mejores niveles de resistencia a la tracción” (SOLDEXA. Manual de Soldadura y Catálogo, 7ª Edición, p160). Se debe de tomar en cuenta las condiciones mínimas de almacenaje para evitar que el electrodo absorba humedad y pueda aportar hidrogeno atómico al baño de fusión, por ende se debe de considerar para el electrodo E7018 lo siguiente:

- Mantener en un lugar seco y evitar la humedad.
- Almacenamiento en horno a 125°C a 150°C.
- Resecado de 300°C a 350°C por 2 horas

*Tabla 10*  
Propiedades mecánicas del metal de aporte E7018

Tratamiento térmico	Resistencia a la tracción (MPa (Psi))	Límite de fluencia(MPa (Psi))	Elongación en 2'' (%)	Energía absorbida ISO-V(°C(°F)) [J (Ft-Lbf)]
Sin Tratamiento	520-610 (75400-88450)	Min. 400 (58000)	Min. 23	[-30 °C (-22 °F)] min. 70 (57)

Fuente: SOLDEXA, Manual De Soldadura Y Catálogo De Productos, 7<sup>ma</sup> Edición

*Tabla 11*  
Composición química del material de aporte E7018

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0.05	1.00	0.6	0.02 max.	0.02 max.	--	--	--	--	--

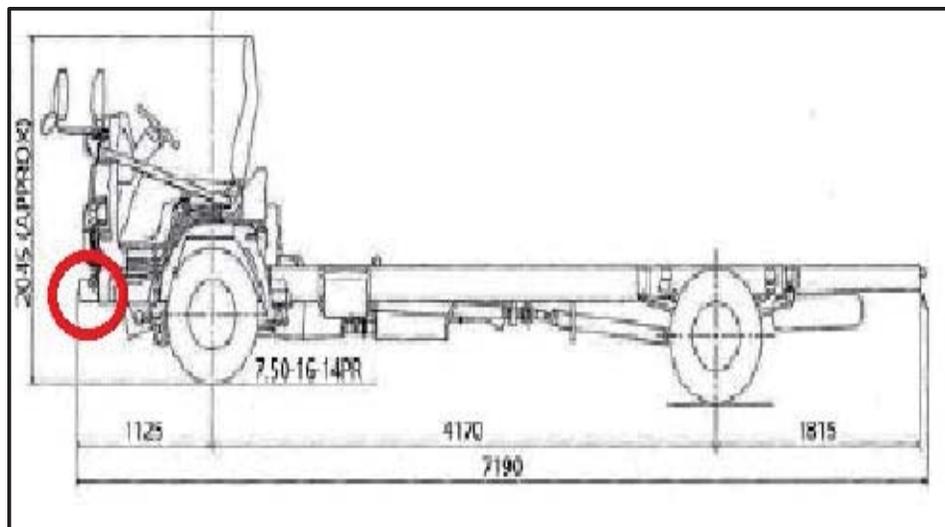
Fuente: SOLDEXA, Manual De Soldadura Y Catálogo De Productos, 7<sup>ma</sup> Edición



Al no tener la asistencia técnica mínima para realizar el proceso de soldadura SMAW, los electrodos E7018 son utilizados por los fabricantes de carrocerías sin realizar el secado al horno y también se observa que los electrodos son almacenados expuestos al medio ambiente, con lo cual existe el riesgo de absorción de humedad por parte del revestimiento del electrodo. Estas condiciones del proceso de soldadura en la ampliación del chasis, nos hacen suponer que las fisuras detectadas en la unión soldada son ocasionadas por el fenómeno de Fragilización por hidrogeno en la zona afectada por el calor (ZAC), el cual será parte de nuestro estudio.

#### 5.4. DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL BASE DEL CHASIS

El chasis es una estructura que aporta rigidez y sostiene los diferentes componentes mecánicos, suspensión, motor y a la carrocería. El chasis del bus urbano FUSO es de tipo autoportante que está conformado por un bastidor rígido compuesto principalmente de dos perfiles en “C” con peralte variable. El perfil “C” tiene un espesor de 6 mm en toda su longitud y el peralte de 170mm en la parte frontal, esta se incrementa hasta que el peralte en el eje posterior sea de 226mm.



*Figura 40.* Punto de toma de muestra para ensayo químico del chasis



#### 5.4.1. Toma De Muestra Del Chasis

La muestra fue extraída de la parte frontal del chasis para realizar un análisis químico en los laboratorios de materiales de Ing. Mecánica de la Pontificia Universidad Católica Del Perú.

Los ensayos de análisis químico se realizó de acuerdo a la norma ASTM E415-17, con los requerimientos solicitados de la norma AWS D1.1, quien hace referencia a los microaleantes que conforman el material base para determinar el carbono equivalente.



Figura 41. Muestra del perfil del Chasis FUSO

Los resultados del ensayo químico debidamente certificados se encuentran en el anexo C

Tabla 12

Resultados de Análisis Químico del Chasis FUSO

ELEMENTOS	CONTENIDO %
Carbono ( C )	0.16
Silicio (Si)	0.01
Manganeso (Mn)	1.18
Fosforo (P)	0.014
Azufre(S)	0.002
Cromo (Cr)	0.04
Níquel (Ni)	0.01
Cobre (Cu)	0.01
Titanio (Ti)	0.03
Boro (B)	0.0005



Según estos resultados podemos estimar el tipo de acero y clasificarlo según sus elementos constituyentes.

### 5.5. MATERIAL BASE PARA LA AMPLIACIÓN DEL CHASIS.

El material elegido para la ampliación del chasis, es un acero de bajo contenido de carbono, con propiedades mecánicas similares a la del chasis y la soldabilidad se analizará en el capítulo siguiente considerando la composición química mostrada en la tabla 13.

La elección de este material también se basó en la disponibilidad en el mercado tanto en su presentación (planchas, perfiles, bobinas) y la ductilidad para ser preformado en el perfil “C” del chasis

Tabla 13  
*Tabla de Composición Química del Acero ASTM A36*

PRODUCTO	PERFIL		PLANCHAS				
	Espesor mm	Todos	Hasta 20	De 20 a 40	De 40 a 65	De 65 a 100	De 100 mas
Carbon max %	0.26	0.25	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
Manganeso %	...	...	0.8-1.2	0.8-1.2	0.8-1.2	0.85-1.2	0.85-1.2
Fosforo max %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Azufre max %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicio %	0.4 max	0.04 max	0.044max	0.15-0.4	0.15-0.4	0.15-0.4	0.15-0.4
Cobre min %	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Fuente: ASM Metals Reference Book, 2014

Tabla 14  
*Propiedades Mecánicas del acero ASTM A36*

Planchas, perfiles y barras	
Resistencia a la tracción Ksi (MPa)	50-80 (400-550)
Resistencia a la fluencia Ksi (MPa)	36 (250)
Planchas y barras	
Elongación en 8 pulgadas (200mm)min%	20
Elongación en 2 pulgadas (50mm)min%	23
Perfiles	
Elongación en 8 pulgadas (200mm)min%	20
Elongación en 2 pulgadas (50mm)min%	21

Fuente: ASM Metals Reference Book, 2014



Tabla 15  
*Comparación de composición química de los metales base.*

<b>ALEANTES</b>	<b>% CHASIS</b>	<b>% EXTENSION (A36)</b>
Carbono ( C )	0.16	0.26
Silicio (Si)	0.01	0.4
Manganeso (Mn)	1.18	....
Fosforo (P)	0.014	0.04
Azufre(S)	0.002	0.05
Cromo (Cr)	0.04	....
Níquel (Ni)	0.01	....
Cobre (Cu)	0.01	0.2
Titanio (Ti)	0.03	....
Boro (B)	0.0005	....

Fuente propia

### 5.6. SOLDABILIDAD DEL MATERIAL BASE.

De acuerdo a la composición química de los aceros tanto del chasis y de la extensión (A36) podemos estimar si dichos materiales tienen propiedades metalúrgicas que faciliten la soldabilidad. Para determinar la soldabilidad de los materiales recurriremos a lo indicado por el código AWS D1.1 que hace referencia al diagrama de GRAVILLE relacionando el % de carbono y el carbono equivalente ( $C_{eq}$ ).

Calculamos el carbono equivalente para el acero del chasis y del material de la extensión (ASTM A36) con la siguiente formula considerando la composición química de los materiales base:

$$C_{eq} = C + \frac{Mn + si}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15} \dots Ecu 007$$

Tenemos como resultado lo siguiente:

Tabla 16  
*Resultado del cálculo de carbono equivalente*

<b>Metal base</b>	<b>Carbono equivalente (<math>C_{eq}</math>)</b>	<b>% de Carbono</b>
Chasis	0.367	0.16
Extensión (A36)	0.34	0.26

Fuente propia



Con estos resultados ubicamos los puntos en el diagrama de Graville, donde se muestra que para el acero del chasis y de la extensión se encuentra en la ZONA II, Según lo indicado en el capítulo 2, en esta zona los acero presenta una adecuada soldabilidad pero se debe de realizar un control en la temperatura de precalentamiento para evitar la formación de micro estructuras frágiles.

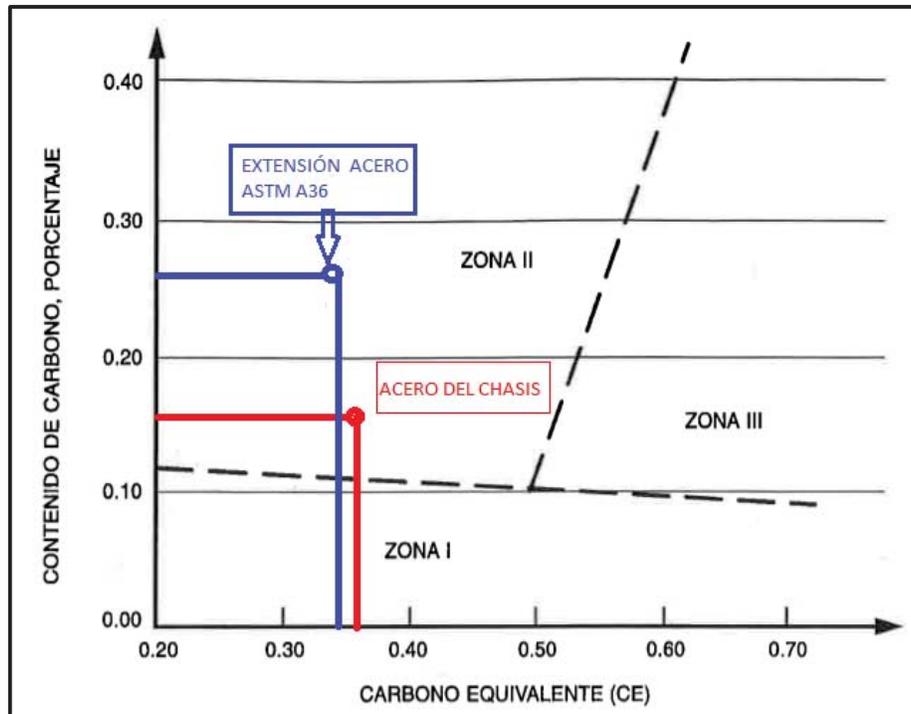


Figura 42. Ubicación de los puntos en el diagrama de GRAVILLE

El código AWS D1.1, al que hacemos referencia nos indica, que si los materiales base se sitúan en la zona II, debemos de considerar para uniones a tope y de canal, el método de control de hidrogeno para determinar la susceptibilidad de fisuración en frio y estimar la temperatura de precalentamiento. Este método de control de hidrogeno hace referencia a la difusión de hidrogeno por parte del material de aporte. Dicho análisis se presenta a continuación.



### 5.7. ANÁLISIS DE FISURACIÓN EN FRIO DE LA UNIÓN SOLDADA

En el capítulo 04 se describe las cargas que afectan la unión soldada, siendo estas menores al esfuerzo a la fluencia, por ende existe muy poca probabilidad de fisuraciones por las cargas que soporta la unión soldada. Las fisuraciones en caliente son poco probables debido a la menor composición química de S y P.

Realizaremos un análisis para determinar la susceptibilidad de la fisuración en frío con el proceso de soldadura SMAW, teniendo las condiciones iniciales del proceso de soldadura, realizamos el análisis para determinar la susceptibilidad a la fisuración en frío por el método de control de hidrogeno recomendado por el código AWS D1.1 en vista que los materiales base se localizaron en la zona II (ver capítulo 5.5 soldabilidad del materiales base)

El índice de susceptibilidad a la fisuración viene dado por la expresión

$$ISF = 12 PCM + LogH$$

Para el parámetro de composición PCM tenemos lo siguiente:

$$PCM = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Si}{30} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

Se considera el porcentaje de los aleantes presentes en el chasis en vista que tienen un valor mayor de carbono equivalente que la extensión A36, por lo tanto reemplazando en la expresión tenemos:

$$PCM_{(CHASIS)} = 0.2245$$

Para el nivel de hidrogeno (H) consideramos el NIVEL III (30 ml/100gr) donde el nivel de hidrogeno no es controlado, debido a que en las condiciones iniciales los electrodos básicos (supercito) no se secó en horno por lo menos 1 hora de acuerdo a lo recomendado por el fabricante y el código AWS D1.1, como también los electrodos no se utilizan inmediatamente después de retirar el sello del envase.



Por lo tanto:

$$ISF_{(CHASIS)} = 4.17$$

La tabla 09, relaciona el índice de susceptibilidad a la fisuración con el arriostamiento de la unión soldada, según los índices estimados la unión soldada con proceso SMAW debe de tener una temperatura de precalentamiento mínima de 40°C, esto para evitar la fisuración en frío.

		INDICE DE SUSCEPTIBILIDAD AL AGRIETAMIENTO EN FRIO						
NIVEL DE RESTRICCIÓN	ESPESOR (mm)	A 3,0	B 3,1-3,5	C 3,6-4,0	D 4,1-4,5	E 4,6-5,0	F 5,1-5,5	G 5,6-7,0
Bajo	<10	<20°	<20°	<20°	<20°	60°	140°	150°
	10-20	<20°	<20°	20°	60°	100°	140°	150°
	20-38	<20°	<20°	20°	80°	110°	140°	150°
	38-75	20°	20°	40°	95°	120°	140°	150°
	>75	20°	20°	40°	95°	120°	140°	150°
Medio	<10	<20°	<20°	<20°	<20°	70°	140°	160°
	10-20	<20°	<20°	20°	80°	115°	145°	160°
	20-38	20°	20°	75°	110°	140°	150°	160°
	38-75	20°	80°	110°	130°	150°	150°	160°
	>75	95°	120°	140°	150°	160°	160°	160°
Alto	<10	<20°	<20°	<20°	40°	110°	150°	160°
	10-20	<20°	20°	65°	105°	140°	160°	160°
	20-38	20°	85°	115°	140°	150°	160°	160°
	38-75	115°	130°	150°	150°	160°	160°	160°
	>75	115°	130°	150°	150°	160°	160°	160°

### 5.8. ENSAYO PARA EVALUAR LA FISURACIÓN EN FRIO DE LA UNIÓN SOLDADA CON PROCESO SMAW

Según lo descrito líneas arriba y de acuerdo do a las condiciones con las que se aplica el proceso SMAW para realizar el empalme del chasis, la unión soldada es susceptible a presentar fisuración en frío. Para poder determinar de manera practica la susceptibilidad de fisuración en frío, existen varios métodos o ensayos descritos en los códigos de fabricación



y los ensayos más solicitados en nuestro medio son el ensayo **CTS** (Control Thermal Severily Test) de origen británico que es muy difundido para juntas en filete.

Para juntas a tope, el más difundido es el ensayo **TEKKEN** (desarrollado por el instituto japonés para la investigación de ferrocarriles). Es un ensayo realizado para obtener la temperatura de precalentamiento para evitar la fisuración en frío. La presencia de fisuras en la probeta es evaluada por ensayos no destructivos y destructivos, partículas magnéticas, líquidos penetrantes, macrografía, micrografía.

La probeta es autoembrizada por los cordones de fijación en los extremos, previamente acanalados por el canal tipo “Y” que es la más severa de las uniones soldadas. La figura 34 muestra las dimensiones y el perfil del canal para realizar el ensayo TEKKEN.

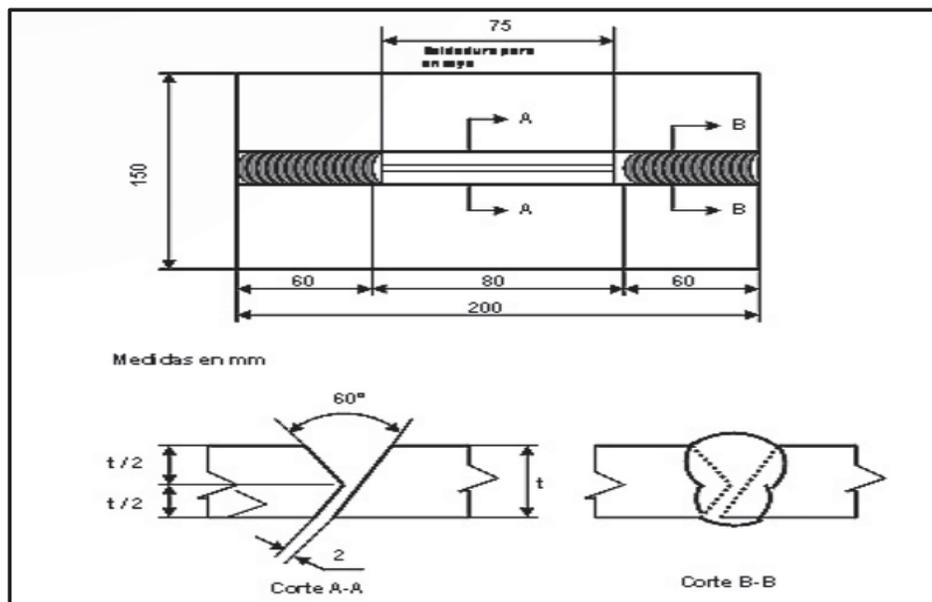


Figura 43. Probeta para ensayo TEKKEN. Fosca. Introducción a la Metalurgia de la Soldadura 2007.

Una vez habilitada la probeta, se realiza el cordón de ensayo en la zona de 80mm y se procede a inspeccionar luego de 24 o 48 horas para detectar posible presencia de fisuración.



### 5.8.1. Ensayo Tekken del metal base de la ampliación de chasis con proceso SMAW

En nuestro estudio usaremos como material para habilitar la probeta, el acero para la ampliación del chasis (acero A36) que tienen características metalúrgicas similares al acero del chasis, el cual no podemos extraerlas con las dimensiones solicitadas para dicho ensayo.

Para el ensayo se simuló las mismas condiciones con las que se practicaba el empalme del chasis con proceso SMAW, tanto en posición de soldeo, precalentamiento, parámetros eléctricos y condiciones del metal de aporte electrodo E7018 que no es mantenido en el horno.



Figura 44. Probeta TEKKEEN para proceso SMAW. Fuente propia

En el siguiente cuadro se describe las condiciones iniciales del ensayo TEKKEEN practicado para determinar la susceptibilidad de fisuración en frío del chasis fuso.



Tabla 17  
*Condiciones iniciales del ensayo TEKKEN*

<b>Condiciones para ensayo TEKKEN proceso SMAW</b>	
Material base de la probeta	A36
Espesor de la probeta	6 mm
Dimensiones de la probeta	150x200mm
Material de aporte	E7018
Diámetro del electrodo	3mm
Proceso de soldadura	SMAW
Amperaje	90A-140A
Voltaje	22 V-28V
Pre calentamiento	NO
Enfriamiento	Acelerado



*Figura 45. Soldeo de probeta tekken, proceso SMAW*

La inspección de la probeta se realizó inmediatamente fría la soldadura mediante ensayo de líquidos penetrantes (PT), no detectando fisuración alguna. La segunda inspección se realizó después de 48 horas realizado el ensayo TEKKEN también con líquidos penetrantes, detectándose fisuras en la raíz.

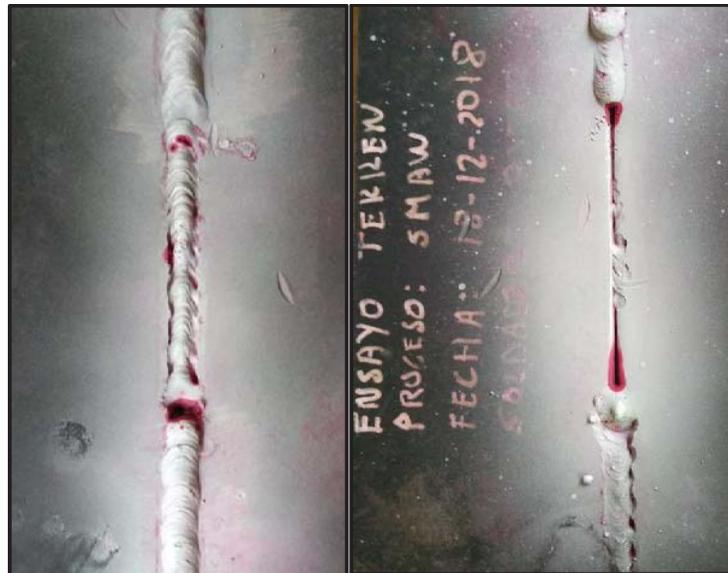


Figura 46. Inspección de ensayo TEKKEW con proceso SMAW. Fuente propia

Tabla 18

Resultado de ensayo TEKKEW proceso SMAW

<b>RESULTADOS DEL ENSAYO TEKKEW CON PROCESO SMAW</b>		
	<b>INSPECCIÓN CERO HORAS</b>	<b>INSPECCIÓN 48 HORAS</b>
<b>TIPO DE INSPECCIÓN</b>	Inspección visual (VT) Líquidos penetrantes (PT)	Inspección visual (VT) Líquidos penetrantes (PT)
<b>FISURAS DETECTADAS</b>	no	si
<b>UBICACIÓN DE FISURAS</b>	----	ZAC (tramo 80mm)
<b>OTRAS DISCONTINUIDADES</b>	salpicadura cráter socavado	salpicadura cráter socavado

Fuente propia

Mediante este ensayo y con los cálculos realizados líneas arriba podemos demostrar que las fisuraciones presentes en la unión soldada del chasis son causadas por el fenómeno de fisuración en frío.

El proceso SMAW, sin considerar las condiciones de precalentamiento y control de hidrogeno en el material de aporte, tienen una mayor susceptibilidad de fisuración en frío, por lo tanto este proceso no es recomendable.



## **CAPÍTULO VI**

### **6. DESCRIPCIÓN DE LA UNIÓN SOLDADA CON PROCESO GMAW**



De acuerdo a las condiciones del perfil del chasis, la junta a tope y posición vertical, el proceso GMAW se realizara con transferencia corto circuito (ver capítulo 2.4.2) tanto para el pase de raíz y relleno. Según las condiciones de la transferencia y material de aporte los parámetros eléctricos estimados son los siguientes:

Los parámetros esenciales para el procedimiento de soldadura GMAW tomando como referencia el código AWS D1.1

Tabla 19  
*Parámetros Eléctricos del Proceso de Soldadura GMAW*

<b>Variables esenciales para el proceso GMAW</b>		
Proceso de soldadura	GMAW	GMAW
posición de soldadura	Vertical ascendente	
Metal base	Chasis	
Pre calentamiento del metal base	No aplica	
clasificación del metal de aporte	AWS A5.18 / ER70S-6	
Diámetro del alambre	0.8 mm	
Amperaje (A)	150 A	no debe de variar en >10%
tipo de corriente	inversa DCEN	
tipo de transferencia	Corto circuito	
voltaje	16 V	no debe de variar en >15%
Velocidad de alimentación del alambre		no debe de variar en >10%
Velocidad de avance	6 cm / min	no debe de variar en >25%
composición del gas de protección	CO <sub>2</sub>	
disminuir la tasa de flujo de gas	5L/min	no debe de variar en >25%
aumentar la tasa de flujo de gas		no debe de variar en >50%
detalle de unión a tope	CJP	

Fuente: Código De Soldadura Estructural AWS D1.1 - 2015

## 6.2. CÁLCULO DE APORTE TÉRMICO

Considerando la relación enunciada en el capítulo 2, estimaremos el aporte térmico generado en el proceso de soldadura por fusión, proceso de soldadura GMAW y



compararemos con el proceso de soldadura SMAW con el cual se venía realizando la unión del chasis.

$$H_{neto} = \frac{V \times I}{v} \times f \dots Ecu 02$$

Para las variables  $V = 16V$ ;  $A = 150$ ;  $v = 6 \text{ mm/s}$  y consideramos la eficiencia térmica del proceso de soldadura GMAW  $f = 70\%$  según la tabla 06. Tenemos el aporte de calor:

$$H_{neto} = \frac{16 \times 150}{6} \times 0.75$$

$$H_{neto} = 300 \text{ J/mm}$$

Para el proceso de soldadura SMAW con electrodo E7018;  $A = 110$ ;  $V = 22$ ,  $v = 6 \text{ m/s}$  y una eficiencia térmica de 75% tenemos el siguiente calor de aporte:

$$H_{neto} = 322 \text{ J/mm}$$

### 6.3. TEMPERATURA DEL METAL BASE Y GEOMETRÍA DE LA UNIÓN

Según las inspecciones realizadas, no se realiza ningún precalentamiento al material base, según lo visto en el capítulo 5.6, para el proceso SMAW se requiere una temperatura mínima de  $40^\circ\text{C}$  mientras para el proceso GMAW no se requiere precalentamiento y el material base tendrá la temperatura ambiente promedio de la región Cusco de,  $17^\circ\text{C}$ .

La unión soldada está compuesto de perfiles con un espesor de 6mm pero es necesario estimar si consideraremos como una plancha gruesa o delgada para describir el ciclo térmico.

Según la ecuación 0.03 Del capítulo 2, tenemos lo siguiente:

$$r = t \sqrt{\frac{\rho \times C(T_c - T_o)}{H_{net}}} \dots Ecu 03$$



$$r = 6 * \sqrt{\frac{0.0044(550 - 17)}{300}}$$

$$r = 0.53$$

Reemplazando los valores obtenemos el valor de “r” con el cual consideramos como una “plancha delgada”

#### 6.4. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR (ZAC)

Debido al calor aportado por el proceso de soldadura GMAW, el material base es afectado en su microestructura en una zona delimitada desde el punto donde el material se funde hasta el punto más alejado donde se pueda encontrar la microestructura austenita. Este sector es conocido como ZAC y podemos estimar su dimensión con la relación 04, visto en el capítulo 2.

$$\frac{1}{T_{max} - T^{\circ}} = \frac{4.13\rho \times C \times t \times Y}{H_{net}} + \frac{1}{T_{fusion} - T^{\circ}} \dots Ecu 04$$

Despejando y reemplazando:

$$Y_{ZAC} = 2.1 \text{ mm}$$

Para  $Y_{ZAC}$  consideraremos  $T_{MAX} = 723^{\circ}\text{C}$  puesto a esta temperatura el material base se transforma en Austenita.

Temperatura de fusión del acero y temperatura ambiente son  $1510^{\circ}\text{C}$  y  $17^{\circ}\text{C}$  respectivamente, este último evaluado líneas arriba.

El valor del  $H_{net}$  fue evaluado en la sección 6.1, considerando las propiedades térmicas y geométricas del material base, el valor de  $Y_{ZAC}$  es de 2.1mm. En esta zona conocida como ZAC debemos tomar las precauciones para asegurar la sanidad de la soldadura y controlar la presencia de hidrogeno quien es causal de la fisuración en frio.



Con la ecuación 04 también nos es útil para describir el comportamiento térmico de la unión soldada. Considerando puntos dentro y cercanos a la ZAC estimaremos la temperatura máxima que alcanzo el material base.

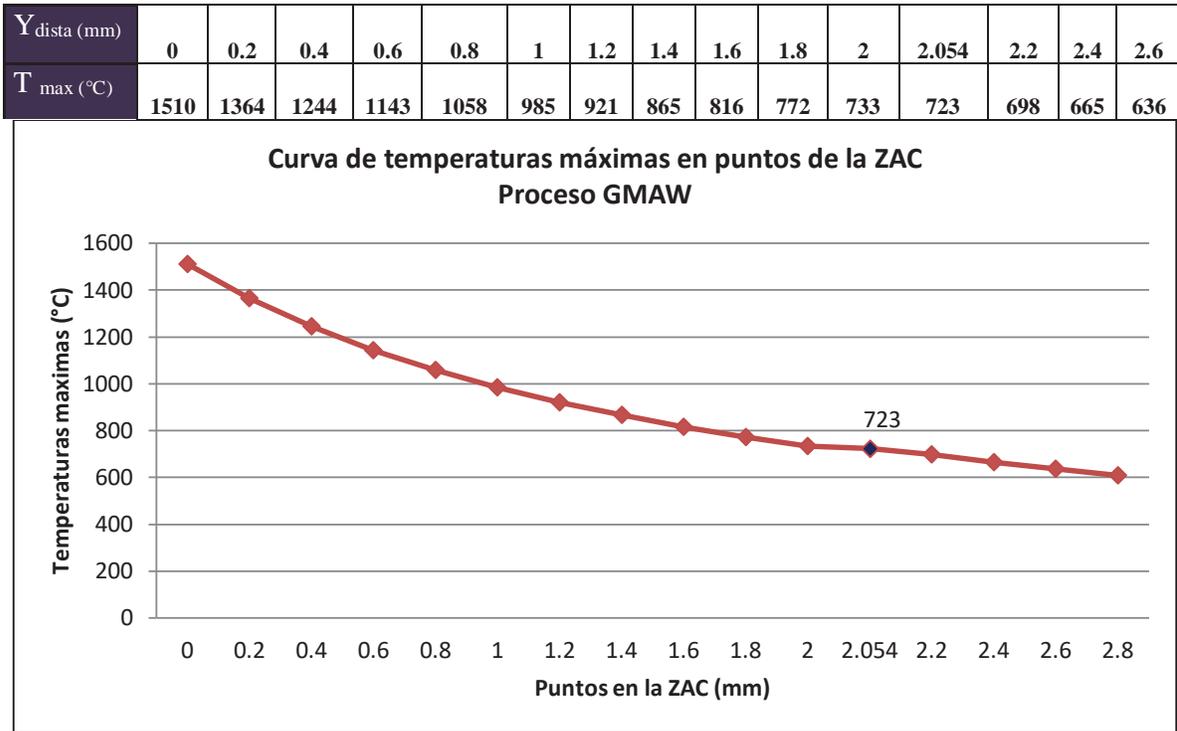


Figura 47. Ciclo térmico del material base con proceso GMAW

Como se observa en la figura el ancho de la zac es relativamente corta (2mm) determinado principalmente por el calor de aporte del proceso GMAW, un aporte de calor mayor incidirá directamente en el ancho de la ZAC. El proceso de soldadura SMAW con el cual se venía soldando en la ampliación del chasis tienen una ZAC mayor por ende es más susceptible a la generación de microestructuras frágiles.



<b>Y<sub>dist</sub>(mm)</b>	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.209	2.4	2.6
<b>T<sub>max</sub> (°C)</b>	1510	1373	1259	1163	1081	1009	947	892	843	799	760	725	723	692	663

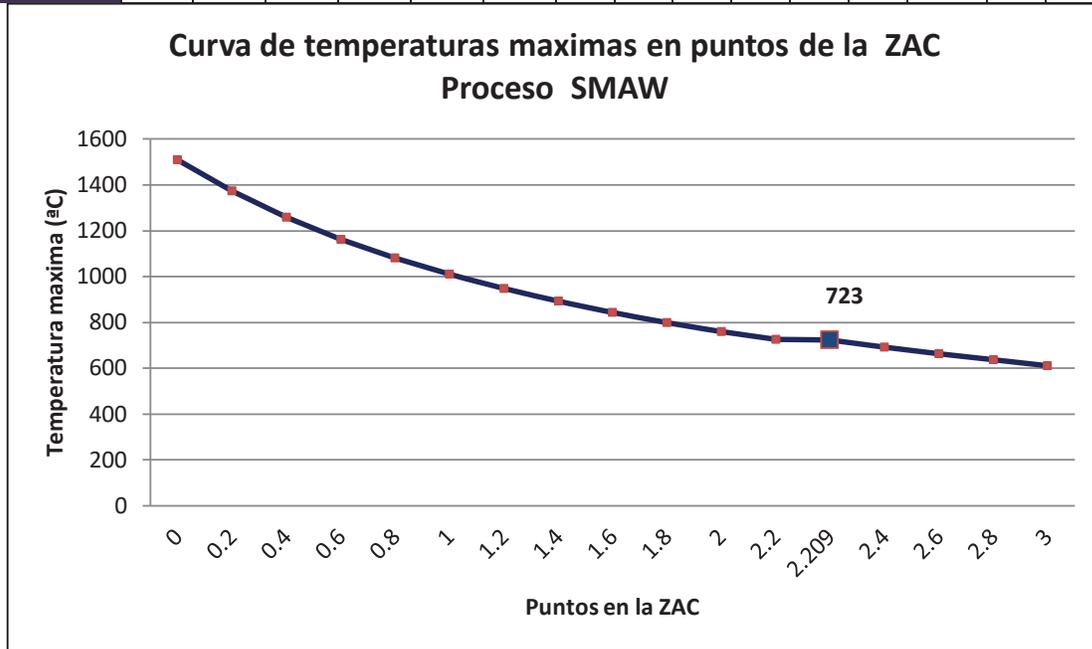


Figura 48. Ciclo térmico del material base con proceso SMAW

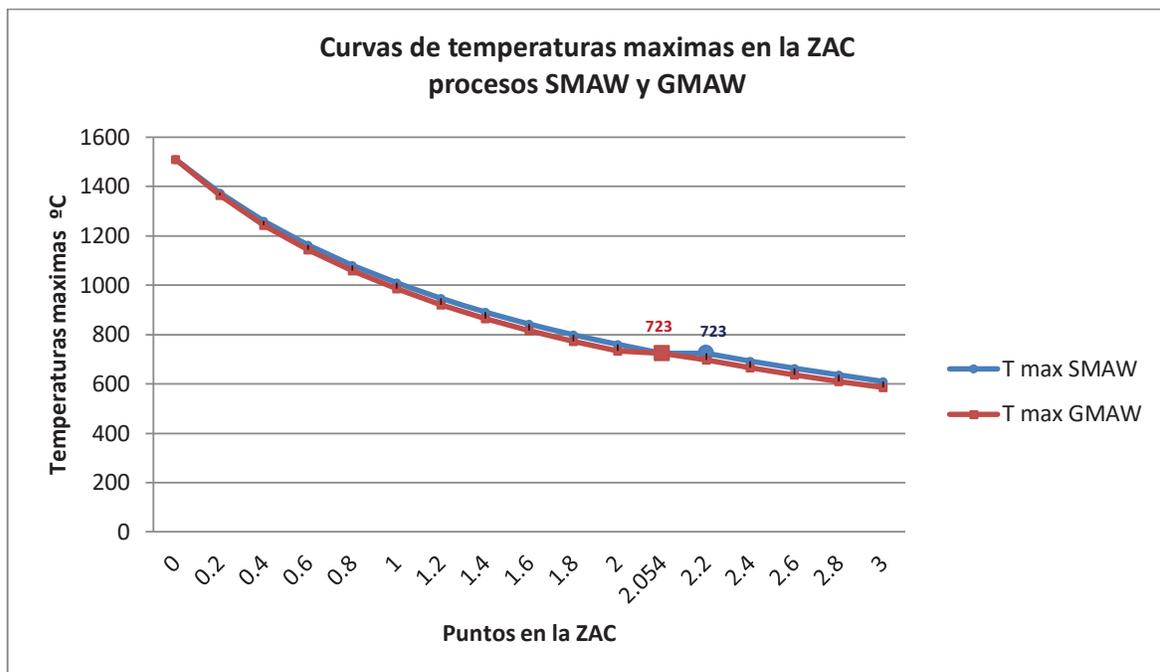


Figura 49. Ciclo térmico del proceso SMAW y GMAW



En el proceso SMAW la zona afectada por el calor es 0.2mm más que el proceso GMAW, esto se muestra en la figura 40 cuyas variables se mantuvieron constantes a excepción del aporte térmico. Para el proceso SMAW la ZAC tiene un ancho de 2.22 mm, valor calculado también por la ecuación 004.

#### **6.5. DETERMINACIÓN DEL MATERIAL DE APORTE, PROCESO GMAW**

Según lo descrito en el capítulo 04, el acero del chasis, el acero de la ampliación del chasis y del material de aporte se encuentran en el grupo I, además de tener sus propiedades metalúrgicas similares, los requerimientos mínimos de resistencia a la tracción y límite de fluencia.

El proceso de soldadura GMAW propuesto para controlar la fisuración en frío, nos presenta una amplia gama de material de aporte y para la selección del mismo, consideraremos primeramente la disponibilidad en nuestro medio, propiedades químicas y mecánicas que se ajusten al diseño de la unión soldada.

El alambre de soldadura ER70S-6 (clasificación según AWS A5.18) cuenta con los requerimientos solicitados y cuyas propiedades las describimos a continuación.

Resistencia a la fluencia (Mpa, ksi):	420 min, 60.9
Resistencia a la tracción (Mpa, ksi):	500-640, 72.5-92.8
Elongación en 2" (50mm) %:	22 min

Según especificación del proveedor descrita en los anexos, este material de aporte no requiere tratamiento térmico alguno, el cual se ajusta al diseño de soldadura descrito en este trabajo.

Las especificaciones químicas del ER70S-6 son similares al de materiales base, resaltando la cantidad de manganeso para la tenacidad requerida.



Tabla 20

*Composición química del metal de aporte ER70S-6*

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0.06	1.40	0.8	Máx.	Máx.					
0.12	1.60	1.15	0.025	0.025					

Fuente: SOLDEXA, Manual De Soldadura y Catálogo De Productos, 7<sup>ma</sup> Edición, p213

### 6.6. SUSCEPTIBILIDAD A LA FISURACIÓN EN FRIO DE LA UNIÓN SOLDADA, PROCESO GMAW

Realizamos los cálculos del método de control de hidrogeno, pero teniendo en cuenta el proceso semiautomático GMAW, el cual según la tabla 07 el nivel de hidrogeno es de HI (5ml/100g) debido al alambre solido limpio como material de aporte.

Reemplazamos en las relaciones antes descritas:

$$PCM = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Si}{30} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

$$PCM_{(CHASIS)} = 0.2245$$

$$ISF = 12 PCM + LogH$$

$$ISF_{(CHASIS)} = 3,39$$

El índice de susceptibilidad ISF se ubica en la categoría C de la tabla 08, que se relaciona con el mismo nivel de arriostamiento corresponde a una temperatura menor de  $< 20^{\circ}$  para el precalentamiento, prácticamente no es necesario un precalentamiento para asegurar que la unión soldada no sea susceptible a la fisuración en frio.

Tabla 21

*Índice de susceptibilidad del proceso SMAW y GMAW*

Parámetros	Proceso SMAW	Proceso GMAW
Espesor <10mm	6mm	6mm
ISF	4,1	3,39
Restricción	ALTA	ALTA
T° Precalentamiento	40°C minimo	No requiere

Fuente propia



Según lo descrito, el proceso de soldeo del chasis con un proceso convencional (SMAW) es susceptible a la fisuración en frío y se debe de considerar un precalentamiento mínimo de 40 °C, incrementando los costos de producción, sin embargo, con el proceso GMAW es menos susceptible a la fisuración en frío y no requiere de precalentamiento, convirtiéndolo en el proceso de soldadura recomendado para la unión soldada del chasis.

#### 6.7. ENSAYO TEKKEEN DEL METAL BASE DE LA AMPLIACIÓN DE CHASIS CON PROCESO GMAW

Para realizar el ensayo TEKKEEN con proceso GMAW también usaremos el material base utilizado en la ampliación del chasis (ASTM A 36). No se requiere precalentamiento considerando los resultados obtenidos por el método de control de hidrogeno.



Figura 50. Probeta para ensayo TEKKEEN, proceso GMAW. Fuente propia

Para realizar el ensayo TEKKEEN consideramos las variables esenciales del proceso GMAW



Tabla 22  
*Ensayo TEKKEN. Proceso GMAW*

<b>Condiciones iniciales para ensayo TEKKEN, proceso GMAW</b>	
Material base de la probeta	A36
Espesor de la probeta	6 mm
Dimensiones de la probeta	150x200mm
Material de aporte	ER70S-6
Diámetro de alambre	0.8
Proceso de soldadura	GMAW
Amperaje	150A-180A
Voltaje	16 V-18V
Pre calentamiento	NO
Enfriamiento	Acelerado



Figura 51. Inspección con líquidos penetrantes antes de 24 horas

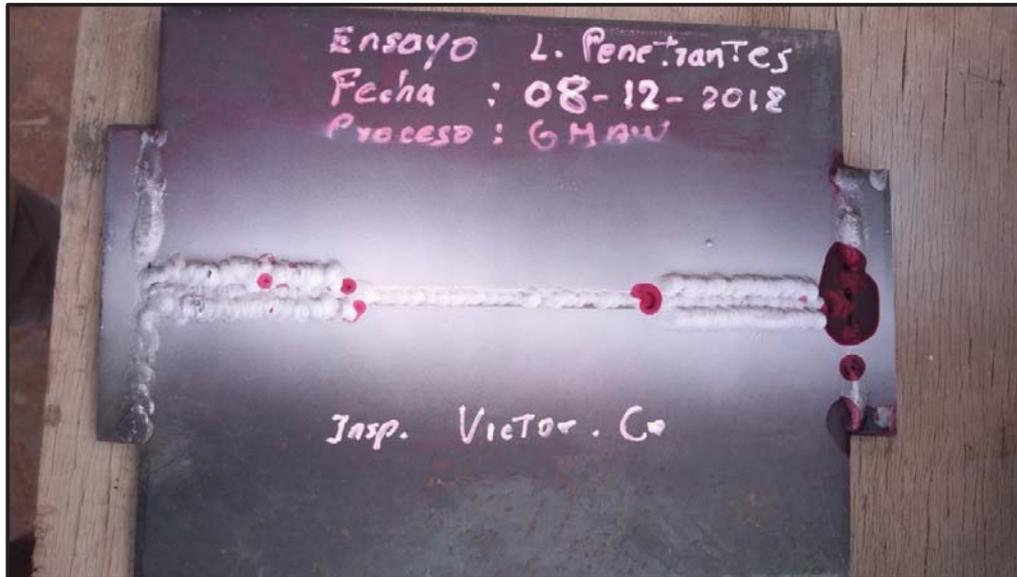


Figura 52. Inspección con líquidos penetrantes después de 48 horas

Tabla 23

Resultados del ensayo TEKKEN, proceso GMAW

	Inspección Cero Horas	Inspección 48 Horas
<b>Tipo De Inspección</b>	Inspección visual (VT) Líquidos penetrantes (PT)	Inspección visual (VT) Líquidos penetrantes (PT)
<b>Fisuras detectadas</b>	NO	NO
<b>Ubicación de fisuras</b>	----	----
<b>Otras discontinuidades</b>	salpicadura cráter mordedura	salpicadura cráter mordedura

Se observa en la probeta TEKKEN, no se detecta fisuras pasadas las 48 horas de realizado la prueba y sumados las estimaciones por el método de control de hidrogeno, el proceso de soldadura GMAW tienen menos susceptibilidad a la fisuración en frío.

Recomendamos realizar ensayo de barrido de dureza en la zona afectada por el calor para garantizar las propiedades mecánicas del material base después del proceso de soldeo.



## 6.8. ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PRE CALIFICADO.

Como parte final elaboraremos un procedimiento de soldadura considerando todos los datos descritos en este trabajo de tesis y nos soportaremos en los WPS del código de fabricación AWS D1.1 los cuales se consideran precalificados si respetamos los requerimientos de la sección III de dicho código.

El material base están en el grupo I de la tabla 3.1 (ver anexo) en un orden de 36 ksi – 45 ksi del límite de fluencia, donde se encuentra el material de la extensión (A36). Para este grupo de material base se tiene el material de aporte ER70S-6.

El detalle de junta pre calificada mostrada en la figura 50, es considerada para una junta a tope con penetración completa tanto para proceso GMAW y SMAW (ver anexo D)

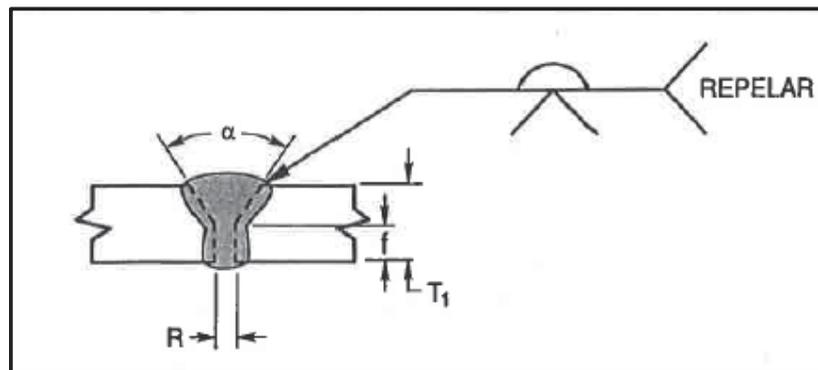


Figura 53. Detalle de la junta soldada a penetración completa (CJP)

Considerando los parámetros eléctricos del proceso GMAW descritos en el capítulo 05 detallamos la especificación de proceso de soldadura.



Tabla 24

*Especificación del proceso de Soldadura Precalificado WPS*

<b>Especificación de procedimiento de soldadura</b>			
Proceso de soldadura:	GMAW	Tipo de proceso:	Semi automático
Calificación:	Precalificado		
<b>Diseño de junta</b>		<b>Posición</b>	
Tipo de junta:	Canal simple	Posición:	Vertical
Respaldo:	Sin respaldo	<b>Transferencia</b>	
Apertura de raíz:	3mm	Tipo de transferencia:	Cortocircuito
Cara de raíz:	3mm	<b>Metal de aporte</b>	
Angulo de cenal:	60°	Especificación	AWS 18.3
<b>Metal base</b>		Clasificación	ER70S-6
especificación	ASTM	Diametro	0.8mm
Grado		Gas	CO2
Espesor	6mm	Flujo de gas	5 l/min
<b>Precalentamiento</b>			
Precalentamiento	No, AWS D1.1		
<b>Proceso De Soldadura</b>			
Tipo de corriente	DCEN		
Corriente eléctrica	150-180 A		
Voltios	16-22 V		
Velocidad	6 mm/s		



## CONCLUSIONES

Las inspecciones realizadas a las uniones soldadas con proceso de soldadura SMAW, indican que de cinco inspecciones, tres presentan fisuraciones u otras discontinuidades que afectan la sanidad de las uniones soldadas. La inspección se realizó en chasis que tenían hasta 7 meses de servicio.

La carga actuante en la unión soldada (36 MPa) está por debajo del límite de fluencia del material base (ASTM A36,  $\sigma_f = 250$  MPa), considerando que el factor de seguridad a fatiga de la unión soldada debe de considerarse en un rango menor al límite de fluencia. Podemos indicar que una falla por fatiga es menos probable en la unión soldada del chasis

El acero del chasis es de bajo carbono (C) y alto contenido de manganeso (Mn), según el certificado de ensayo químico. Este acero tiene buenas propiedades metalúrgicas para su soldabilidad, pero con el soldeo con proceso de soldadura SMAW sin control del hidrogeno en el material de aporte es más susceptible a la fisuración en frío en un orden de 1.3 más susceptible en comparación al proceso de soldadura GMAW (ISF 3.39).

El proceso de soldadura de arco protegido con gas (GMAW) aporta menos calor en el baño de fusión, 5% menos que el proceso SMAW de acuerdo a los parámetros evaluados en este trabajo. Por estas condiciones disminuye la zona afectada por el calor (ZAC) de ambos metales base reduciendo el riesgo de presencia de microestructuras frágiles.

El proceso de soldadura GMAW cumple los requerimientos mínimos para garantizar la sanidad de la unión soldada del voladizo posterior del chasis. Los parámetros esenciales se encuentran dentro de procedimientos precalificados, por tal razón no se requiere su calificación. Los parámetros esenciales son:

Amperaje (A)	150 A
Voltaje	16 V
Tipo de corriente	inversa DCEN
Tipo de transferencia	Corto circuito



## RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un estudio de las fisuras detectadas en los chasis, en el campo de la mecánica de fractura y análisis de fallas. El crecimiento de las fisuras tiene un punto de crítico que definirá la vida de la unión soldada.

Se recomienda analizar la susceptibilidad de fisuración en frío en la zona afectada por el calor por el método de barrido de dureza, con el cual se detectaría el ancho de la ZAC y la presencia de microestructuras frágiles como la martensita.

Un análisis completo de carga en todo lo largo del chasis y considerando la rigidez de la estructura nos brindaría mayores datos para calcular los esfuerzos combinados en los voladizos frontal y posterior.

Se recomienda realizar un estudio de factibilidad con el proceso de soldadura FCAW y como material de aporte el acero ASTM A572 G 50, el cual es un material con buenas características soldables.



## BIBLIOGRAFÍA:

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (2008). Designation: A36/A36M-08. USA.

AMERICAN WELDING SOCIETY. (2015). Structural Welding Code Steel D1.1.

ASM. Metals referece book. 3<sup>ra</sup> edición.

ASKELAND. Donald R. (2012). Ciencia e Ingenieria de Materiales. 6<sup>ta</sup> edición.

BUDYNAS, Richard y KEITH, J. (2008). Diseño En Ingeniería Mecánica de Sigley. 8<sup>va</sup> edición.

FOSCA, Carlos. (2007). Introducción a la Metalurgia de la Soldadura. Lima, Pontificia Universidad Católica del Perú. 7<sup>a</sup> edición.

HERNÁNDEZ, German. (2012). Manual del soldador. CESOL Madriz. 23<sup>a</sup> edición.

HERNÁNDEZ S. Roberto. (2014). Metodología De La Investigación. 6<sup>ta</sup> edición.

HIBBELER, C. (2006). Mecánica de Materiales. 6<sup>ta</sup> edición.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. (2003). Reglamento Nacional de Vehículos.

SOLDEXA, Manual de Soldadura y Catálogo de Productos. Lima. 7<sup>a</sup> Edición.



## ANEXOS

GMAW

Aceros al Carbono y Baja Aleación



CARBOFIL PS6-GC

Alambre con alto contenido de Manganeso (Mn) y Silicio (Si), que permite soldar con corriente alta cuando se emplea como gas protector CO<sub>2</sub> ó mezcla Ar-CO<sub>2</sub>. Son adecuados para soldar sobre aceros con suciedad y cascarilla de óxido en cantidad moderada. Permite incrementar la velocidad de deposición sin afectar la calidad del depósito de soldadura. El trabajo en posiciones forzadas es mediante el uso de transferencia por cortocircuito.

Clasificación	
AWS A5.18 / ASME SFA-5.18	ER70S-6

Aprobaciones	Grados
ABS	3M SA
LR	Dvuo,BF,3S,H15,NA
GL	3S

## Análisis Químico del Alambre Solido (valores típicos) [%]

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0,06 0,12	1,40 1,60	0,8 1,15	máx. 0,025	máx. 0,025	-	-	-	-	-

## Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía Absorbida ISO-V (-20°C) [J]
Sin tratamiento	500 - 640 (72 500 - 92 800)	mín. 420 (60 900)	mín. 22	mín. 81

Conservación del Producto
<ul style="list-style-type: none"> <li>Mantener en un lugar seco y evitar humedad.</li> <li>No requiere almacenamiento bajo horno.</li> </ul>

Posiciones de Soldadura
P, H, Va, Sc, Vd.

## Parámetros de Soldeo Recomendados

Diámetro [mm (pulg.)]	0,80 (0,030)		1,00 (0,040)		1,20 (0,047)	
Polaridad	Corriente continua electrodo al negativo (DCEP)					
Gas protector	100%CO <sub>2</sub> ó Mezcla Ar+CO <sub>2</sub> (80%/20% - 75%/25%)					
Posición de soldadura	Amp. [A]	Volt. [V]	Amp. [A]	Volt. [V]	Amp. [A]	Volt. [V]
Plana, Filete Horizontal (T. Spray)	170 - 200	24 - 27	180 - 250	27 - 32	180 - 270	29 - 35
Horizontal (T.C. Circuito)	90 - 130	17 - 20	110 - 180	18 - 23	120 - 180	20 - 26
Vertical Ascendente (T. C. Circuito)	110 - 160	15 - 19	110 - 170	17 - 22	120 - 190	19 - 22
Sobrecabeza (T. C. Circuito)	100 - 150	15 - 19	100 - 180	17 - 21	110 - 180	18 - 22

## Aplicaciones

- Aceros estructurales no aleados y de grano fino. Aceros navales A, B, C, D, E.
- Puede trabajar con cualquier transferencia de material de aporte.
- Para trabajos de alto rendimiento, en soldadura semiautomática o automatizada.
- Para la fabricación de estructuras metálicas, tolvas, industria carrocería, muebles metálicos, mototaxis, etc.
- Como aplicación especial este alambre puede ser empleado en el proceso de arco sumergido en combinación con nuestro flujo POP 170, POP 175 o POP 185 para la reconstrucción de muñones y cigüeñales de acero fundido o forjado, fabricación de tanques GLP, etc.

## ANEXO B

### MATERIAL DE APORTE PROCESO SMAW E7018

## SMAW

### Aceros al Carbono y Baja Aleación



## SUPERCITO

Electrodo revestido de tipo básico, de bajo hidrógeno con extraordinarias características mecánicas y de soldabilidad. Presenta un arco muy suave, bajo nivel de salpicaduras y la escoria es de muy fácil remoción. El contenido de hierro en polvo mejora su tasa de depósito. Dentro de su categoría es el producto que presenta los mejores niveles de resistencia a la tracción.

Clasificación	
AWS A5.1 / ASME-SFA 5.1	E7018

Aprobaciones	Grados
ABS	3H15,3Y
LR	3m,3ym
GL	3Y

#### Análisis Químico de Metal Depositado (valores típicos) [%]

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0,05	1,00	0,60	máx. 0,020	máx. 0,020	-	-	-	-	-

#### Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía Absorbida ISO-V [°C (°F)] [J (Ft-Lbf)]
Sin tratamiento	520 – 610 (75 400 – 88 450)	mín. 400 (58 000)	mín.23	[-30 °C (-22 °F)] min. 70 (57)

Conservación del Producto
<ul style="list-style-type: none"> <li>Mantener en un lugar seco y evitar humedad.</li> <li>Almacenamiento en horno: 125 - 150°C.</li> <li>Resecado de 300°C a 350 °C por 2 horas.</li> </ul>

Posiciones de Soldadura
P, H, Va, Sc.

#### Parámetros de Soldeo Recomendados

Para corriente alterna (AC) o continua (DC): Electrodo al polo positivo DCEP							
Diámetro	[mm]	1,60	2,50	3,25	4,00	5,00	6,30
	[pulgadas]	1/16	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4
Amperaje mínimo	-	60	90	120	170	210	
Amperaje máximo	-	90	140	190	240	280	

#### Aplicaciones

- Para aceros de mediano a alto contenido de carbono, alta resistencia y baja aleación.
- Para aceros de alto contenido de azufre y fácil fresado.
- Para aceros laminados al frío.
- Por sus características de resistencia y su fácil manejo, especialmente adecuado para: Soldaduras de tuberías de vapor, calderas de alta presión, piezas de maquinaria pesada, instalaciones de la industria petrolera, petroquímica y minera.

Nota: El precalentamiento está en función al tipo y espesor del material a soldar.

ANEXO C  
INFORME DE LABORATORIO-PUCP

LABORATORIO DE MATERIALES  
CITEmateriales

Departamento de Ingeniería  
Sección Ingeniería Mecánica



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DEL PERÚ

CON SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD SEGÚN NTP ISO/IEC 17025

MAT-NOV-1381/2018

**ANÁLISIS QUÍMICO**

MAT-Lab-4.04 Rev.6

**INFORME DE LABORATORIO**

Número Total de Páginas: 1

**SOLICITADO POR** : VICTOR RAUL CURO AYMA  
**DIRECCIÓN** : Pasaje Llanganuco 1838 Dpto. 101 – Lince.  
**REALIZADO POR** : Laboratorio de Materiales – Analista 15.  
**MÉTODO** : Espectrometría de emisión.  
**MUESTRA** : 1 MUESTRA DE ACERO  
**FECHA DE EMISIÓN** : 2018.11.15.

**RESULTADOS:**

Elemento	Contenido (%)
C	0,16
Si	0,01
Mn	1,18
P	0,014
S	0,002
Cr	0,04
Ni	0,01
Cu	0,01
Ti	0,03
B	0,0005

Fecha de ejecución: 2018.11.13.

Norma de ensayo: ASTM E415 - 17

**OBSERVACIONES:**

- La muestra analizada fue proporcionada por el solicitante.
- De acuerdo a la composición química de la muestra y teniendo como referencia el **ASM METALS REFERENCE BOOK**, el material analizado es compatible con un **Acero de Bajo Carbono con contenido de Mn mayor a 1%**.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
Sección Ingeniería Mecánica

Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas.  
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del Laboratorio de Materiales.  
Los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

1 de 1

### 3. Precalificación de WPSs

#### 3.1 Alcance

La precalificación de WPSs (Especificaciones del Procedimiento de Soldadura) debe definirse como exento del ensayo de calificación de WPS requerido en la sección 4. Todos los WPSs precalificados deben ser escritos. Para que un WPS sea precalificado, se debe requerir conformidad con todos los requerimientos aplicables de la sección 3. Los WPSs que no estén en conformidad con los requerimientos de la sección 3 deben ser calificados mediante ensayos en conformidad con la sección 4. Para facilitar, el anexo Q enumera las provisiones que se deben incluir en un WPS precalificado, y que deberán ser tomadas en cuenta en el programa de soldadura del fabricante o del Contratista.

Los soldadores, operadores de soldadura y apuntaladores que utilicen WPS precalificados, deben ser calificados en conformidad con la sección 4, parte C.

#### 3.2 Procesos de Soldadura

**3.2.1 Procesos Precalificados.** Los WPSs SMAW, SAW, GMAW, (excepto GMAW-S) y FCAW que se ajustan a todas las provisiones de la sección 3 deben considerarse como precalificados y por lo tanto son aprobados para su uso sin llevar a cabo ensayos de calificación de WPS para el proceso. Para la precalificación de WPS, debe requerirse la conformidad con todas las provisiones aplicables de la sección 3 (ver 3.1).

**3.2.2 Procesos Aprobados por el Código.** La soldadura ESW, EGW, GTAW Y GMAW-S puede utilizarse, siempre que los WPSs estén calificados en conformidad con los requerimientos de la sección 4. Tome en cuenta que las limitaciones de variables esenciales de la tabla 4.5 para GMAW también deben aplicarse a GMAW-S.

**3.2.3 Otros Procesos de Soldadura.** Otros procesos de soldaduras no cubiertos por 3.2.1 y 3.2.2 pueden utilizarse, siempre que los WPSs sean calificados por ensayos aplicables como se describe en la sección 4.

**3.2.4 Fuentes de Poder FCAW y GMAW.** FCAW y GMAW que se realiza con WPSs precalificados deben llevarse a cabo utilizando fuentes de poder de voltaje constante (VC).

#### 3.3 Combinaciones de Metal Base/ Metal de Aporte

Sólo los metales base y los metales de aporte enlistados en la tabla 3.1 pueden utilizarse en WPSs precalificados. (Para la calificación de metales base y metales de aporte enlistados, y para metales base y metales de aporte no enlistados en la tabla 3.1, ver 4.2.1).

Las relaciones de resistencia metal base/metal de aporte mostradas abajo deben usarse en conjunto con la tabla 3.1 para determinar si se requieren metales de aporte de la misma resistencia o resistencia menor.

Relación	Metal(es) Base	Relación de Resistencia de Metal de Aporte Requerida
De la misma resistencia	Cualquier acero a sí mismo o cualquier acero a otro en el mismo grupo	Cualquier metal de aporte enlistado en el mismo grupo
	Cualquier acero en un grupo a cualquier acero en otro	Cualquier metal de aporte enlistado para cualquiera un grupo de menor resistencia. [Los electrodos SMAW deben ser de clasificación de bajo hidrógeno]
De resistencia menor	Cualquier acero a cualquier acero en cualquier grupo	Cualquier metal de aporte enlistado en un grupo de resistencia debajo del grupo de menor resistencia. [Los electrodos SMAW deben ser de clasificación de bajo hidrógeno]

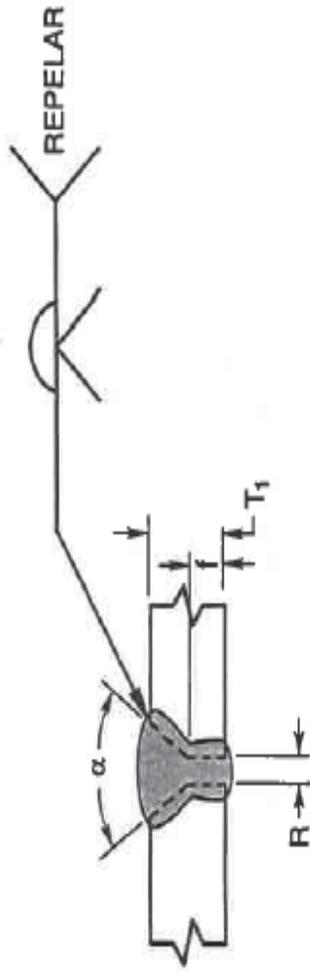
Nota: Ver la tabla 2.3 ó 2.6 para determinar los requerimientos de resistencia del metal de aporte para igualar o ser menor que la resistencia del metal base.

Tabla 3.1

**Metal de Base Precalificado—Combinaciones de Metales de Aporte (ver 3.3)**

G r u p o	Requerimientos de la Especificación de Acero				Requerimientos de Metal de Aporte				
	Especificación de Acero		Mínima Resistencia a La Fluencia		Especificación de Electrodo	Clasificación de Electrodo			
	ksi	MPa	ksi	MPa					
I	ASTM A 36	(≤3/4 pulg. [20 mm])	36	250	58-80	400-550	Proceso	Especificación de Electrodo AWS	Clasificación de Electrodo
	ASTM A 53	Grado B	35	240	60 min.	415 min.			
	ASTM A 106	Grado B	35	240	60 min.	415 min.			
	ASTM A 131	Grados A, B, CS, D, DS, E	34	235	58-75	400-520			
	ASTM A 139	Grado B	35	240	60 min.	414 min.			
	ASTM A 381	Grado Y35	35	240	60 min.	415 min.			
	ASTM A 500	Grado A	33	230	45 min.	310 min.			
		Grado B	42	290	58 min.	400 min.			
		Grado C	46	315	62 min.	425 min.			
	ASTM A 501		36	250	58 min.	400 min.			
	ASTM A 516	Grado 55	30	205	55-75	380-515			
		Grado 60	32	220	60-80	415-550			
ASTM A 524	Grado I	35	240	60-85	415-586				
	ASTM A 573	Grado II	30	205	55-80	380-550	GMAW	A5.18	ER70S-X, E70C-XC, E70C-XM (Los electrodos con sufijo -GS deben ser excluidos)
		Grado 65	35	240	65-77	450-530			
		Grado 58	32	220	58-71	400-490			
		Grado 36 (≤3/4 pulg. [20 mm])	36	250	58-80	400-550			
		Grado 30	30	205	45 min.	310 min.			
		Grado 33 Tipo I	33	230	48 min.	330 min.			
		Grado 40 Tipo I	40	275	52 min.	360 min.			
		Grado 30	30	205	49 min.	340 min.			
		Grado 33	33	230	52 min.	360 min.			
		Grado 36 Tipo I	36	250	53 min.	365 min.			
		Grado 40	40	275	55 min.	380 min.			
		Grado 45	45	310	60 min.	410 min.			
API 5L	Grado B	35	241	60	414	FCAW	A5.20	E7XT-X, E7XT-XC, E7XT-XM (Los electrodos con el sufijo -2C, -2M, -3, -10, -13, -14, y -GS debe ser excluidos y los electrodos con el sufijo -11 debe ser excluidos para espesores mayores a 1/2 pulg. [12 mm])	
ABS	Grado X42	42	290	60	414				
	Grados A, B, D, CS, DS	34	235	58-75	400-520	A5.28 <sup>c</sup>	ER70S-XXXX, E70C-XXXX		
	Grado E <sup>b</sup>	34	235	58-75	400-520			A5.29 <sup>c</sup>	E6XTX-X, E6XTX-XC, E6XTX-XM, E7XTX-X, E7XTX-XC, E7XTX-XM

Soldadura de canal simple-V (2)  
Junta a tope (B)



DIMENSIONES EN mm

Proceso de Soldadura	Designación de Junta	Espesor de Base de Metal (U = ilimitado)		Preparación de Canal			Posiciones de Soldar Permisibles	Gas de Protección para FCAW	Notas
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	Abertura de Raíz Cara de Raíz Ángulo de Canal	Como Detallado (ver 3.13.1)	Como Ajustado (ver 3.13.1)			
SMAW	B-U2	U	—	R = 0 a 3 f = 0 a 3 α = 60°	+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 No limitado +10°, -5°	Todas	—	d, e, j
		U	—	R = 0 a 3 f = 0 a 3 α = 60°	+2, -0 +2, -0 +10°, -0°	+2, -3 No limitado +10°, -5°	Todas	No requerido	a, d, j
SAW	B-L2c-S	Más de 12 a 25	—	R = 0 f = 6 max. α = 60°	R = ±0 f = +0, -f α = +10°, -0°		F	—	d, j
		Más de 25 a 38	—	R = 0 f = 12 max. α = 60°					
		Más de 38 a 50	—	R = 0 f = 16 max. α = 60°					

**Figura 3.4 (Continuación)—Detalles de Juntas de Canal Soldadas Precalificadas como CJP (ver 3.13) (Dimensiones en Milímetros)**

## ANEXO E

### EXTRACTO DEL REGLAMENTO NACIONAL DE VEHÍCULOS

#### 3. TOLERANCIA DEL PESAJE DINAMICO

Eje (s)	Neumáticos	Tolerancia
Simple	02	350 kg
Simple	04	550 kg
Doble	04	600 kg
Doble	06	800 kg
Doble	08	900 kg
Triple	06	800 kg
Triple	10	1150 kg
Triple	12	1250 kg

La tolerancia para el peso bruto vehicular simple o combinado determinado en el pesaje dinámico será de 3%

#### 4. EJES RETRACTILES

El conjunto de ejes que incluya un eje retráctil dentro de su configuración, debe cumplir con la siguiente distribución de peso al eje retráctil.

TIPO DE EJE	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	PORCENTAJE MÍNIMO DEL PESO TOTAL DEL CONJUNTO ASUMIDO POR EL EJE RETRÁCTIL
Doble	4 neumáticos	8 neumáticos	40 %
Doble	6 neumáticos		22 %
Triple	6 neumáticos	12 neumáticos	30%
Triple	10 neumáticos		20%

Queda prohibido transitar con ejes retraídos dentro del SNTT, estando los vehículos con carga.

#### 5. SUSENSIONES NEUMÁTICAS Y NEUMÁTICOS EXTRA ANCHOS

En los vehículos con suspensión neumática y/o neumáticos extra anchos se permitirá una bonificación adicional respecto de los pesos máximos por eje establecidos en el presente Reglamento.

Las características técnicas de los neumáticos, la suspensión y los ejes serán proporcionados por el fabricante de los mismos y los requerimientos específicos para los permisos correspondientes serán regulados de acuerdo al procedimiento que para dicho efecto establezca el Ministerio.

#### 6. MEDIDAS VEHICULARES

**1 : Ancho máximo :**

Ancho máximo (sin espejos) para todo tipo de vehículo 2,60 m  
(incluida la mercancía o bienes transportados)

**2 : Altura máxima :**

? Vehículos de la categoría N en general 4,10 m  
? Vehículos de categoría M con carrocería convencional 3,60 m  
? Vehículos de categoría M con carrocería integral 4,30 m

? Vehículos de categoría O de compartimento cerrado tipo Semirremolque	4,30 m
? Vehículos de categoría O diseñados para el transporte de Contenedores	4,30 m
? Vehículos de categoría O diseñados para el transporte de Contenedores de gran volumen (High Cube)	4,60 m

**3 : Longitudes máximas :**

Las longitudes máximas de los vehículos de las categorías M y N, y la combinación de los vehículos de las categorías N y O, se encuentran en las Tablas de Pesos y Medidas del numeral 1, del presente Anexo.

Adicionalmente, las longitudes máximas de los vehículos de categoría O entre parachoques:

? Remolque (no incluye punta de lanza)	10,00 m
? Remolque balanceado ( no incluye punta de lanza)	8,50 m
? Semirremolque	14,68 m

**4 : Voladizo posterior :**

Categoría M :

? Con motor posterior	Hasta 60% de la distancia entre ejes
? Con motor central	Hasta 65% de la distancia entre ejes
? Con motor delantero	Hasta 70% de la distancia entre ejes

Categoría N :

Hasta 60% de la distancia entre ejes, no pudiendo exceder los 3.50m.

**7. TABLA DE INFRACCIONES Y SANCIONES**

INFRACCIÓN		SANCIÓN			MEDIDA PREVENTIVA
		Conductor	Transportista	Generador / dador <sup>(1)</sup>	
P.1	Vehículo con PBV mayor a los límites establecidos para su configuración en el presente Reglamento	Multa de acuerdo a la tabla 3	Multa de acuerdo a la tabla 3	10 UIT	Descarga de la mercancía hasta el peso legal permitido.
P.2	Vehículo cuyo peso por ejes exceda los límites establecidos en el presente Reglamento	No aplica	Multa de acuerdo a la tabla 2	10 UIT	Reestiba si el vehículo lo permite o, descargada de la mercancía para reiniciar su marcha
P.3	Conducir un vehículo cuyo medidas excedan los límites establecidos en el presente Reglamento	Multa de acuerdo a la tabla 1	Multa de acuerdo a la tabla 1	10 UIT	Interrupción del tránsito del vehículo
P.4	No contar con la balanza dentro de sus instalaciones, de acuerdo al artículo 51	No aplica	No aplica	10 UIT	Interrupción del tránsito del vehículo
P.5	No contar con autorización para el transporte de mercancías especiales	1 UIT	1 UIT	No aplica	Interrupción del tránsito del vehículo
P.6	Adulteración de autorización para el transporte de mercancías especiales	2 UIT	2 UIT	No aplica	Interrupción del tránsito del vehículo
P.7	Trasbordo de mercancías de un vehículo a otro para la evasión del control de pesos y medidas	1 UIT para cada vehículo	No aplica	No aplica	Interrupción del tránsito de los vehículos involucrados

## ANEXO F

### EXTRACTO DE LA NORMAS PARA LA ADMINISTRACIÓN DEL SERVICIO DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO E INTERURBANO DE PERSONAS EN LA PROVINCIA DEL CUSCO.



MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DEL CUSCO

#### Artículo 13° DE LOS VEHÍCULOS PARA LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO E INTERURBANO DE PERSONAS.

Los vehículos para la prestación de servicio de transporte público urbano e interurbano de personas, sólo podrán ser habilitados si corresponden a la categoría M3 clase II, de la clasificación vehicular establecida en el Reglamento Nacional de Vehículos (D.S. 058-2003-MTC), además de cumplir con las características técnicas y datos de identificación que se detallan a continuación:

#### 13.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

1	Tipología del vehículo	Ómnibus (M3)
2	Peso máximo bruto vehicular.	7.5 Toneladas.
3	Número de asientos.	26 o más (fijos a la estructura del vehículo y diseño ergonómico). Ancho mínimo de los asientos 0.45 metros por pasajero y distancia entre asientos de 0.65 metros.
4	Capacidad mínima de asientos	26
5	Número de puertas de servicio	02 en el lado lateral derecho del vehículo, altura mínima de 1.80 metros y 0.80 metros de ancho (con acondicionamiento neumático plegables dos piezas, abertura hacia adentro). Debiendo utilizarse la anterior para la subida y la posterior para la bajada de pasajeros, con la inscripción indicadora en la parte superior de cada puerta tanto interior como exterior.
6	Ventanas	Frontal y posterior (parabrisas, panorámica laminado) y ventanas laterales parcialmente corredezas. (transparente)
7	Número de salidas de emergencia	01 en el lado lateral izquierdo del vehículo y 01 en la parte posterior del vehículo. (Con deshumificador de vidrio).
8	Asideros	Asideros en las puertas de servicio y barras longitudinales, instalados en el techo con un mínimo de dos postes verticales.
9	Cinturones de seguridad	Contar con 3 puntos como mínimo en el asiento del conductor y de 2 puntos como mínimo en los asientos que se encuentran en la primera fila del vehículo.
10	Número de neumáticos	06 neumáticos (02 delanteras y 04 posteriores)
11	Fórmula Rodante	Tracción trasera o doble (4x2 ó 4x4)
12	Sistema de frenos	Sistema de frenos de servicio, estacionamiento y emergencia.
13	Combustible	Diesel, biodiesel o GNV u otros combustibles menos contaminantes.
14	Emisiones	Deberá contar con dispositivos post combustión (catalizador) que permita la reducción de contaminantes, conforme a los límites máximos permisibles establecidos en la normatividad vigente de la materia.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CHASIS FUSO

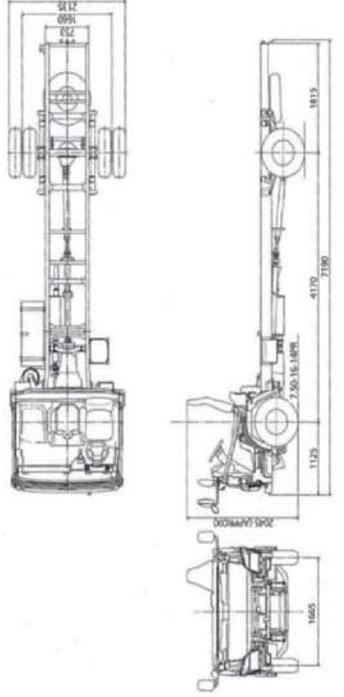
**MF-100**

**Especificaciones Técnicas & Equipamiento**

<b>DIMENSIONES (mm)</b>	7,190 / 2,135 / 2,045
Largo / Ancho / Alto (mm)	4,170
Distancia entre ejes	1,125
Voladizo delantero	1,815
Voladizo posterior	1,665
Trocha delantera	1,660
Trocha posterior	8,700
Largo total carrozado aprox. (mm)	
<b>PESOS (kg)</b>	
Peso bruto vehicular (kg)	7,500
Peso bruto vehicular eje delantero (kg)	2,880
Peso bruto vehicular eje posterior (kg)	5,200
Peso seco (kg)	2,460
Capacidad de carga bruta (kg)	5,040
<b>DESEMPEÑO</b>	
Más. Grado de Trepado (a máx. carga)	42,0% (tanó)
Radio mínimo de giro (m)	7,3
<b>MOTOR</b>	
Tipo	Mitsubishi 4M50 - 5AT5
Cilindrada (cc)	Diesel de 4 tiempos, 4 cilindros en línea, 16 válvulas, enfriado por agua, 4,899
Sistema de alimentación	Inyección Directa TDI - Sistema Common Rail, Bujías de precalentamiento
Potencia máx. (HP/rpm)	177 / 2,700
Torque máx. (Kg.m/rpm)	54 / 1,600
Máxima velocidad del motor (rpm)	2,900
Norma de emisiones	Euro IV
<b>EMBRAGUE</b>	
Tipo / Diámetro	De control hidráulico, monodisco seco
<b>TRANSMISION</b>	
Tipo	4x2 - Mecánica de 6 velocidades y reversa. Marcha sincronizada de 2da. a 6ta.
Relaciones de caja	5-400 - 3.657 - 2.368 - 1.465 - 1.000 - 0.711 / Rev. 5.400
<b>EJES</b>	
Eje delantero	Viga "1"
Eje posterior	Eje Flotante, Reducción Simple
Relación del diferencial	5.714
<b>DIRECCION</b>	
Tipo	Bolas recirculantes servo asistidas, con columna de dirección basculante y telescópico
<b>SUSPENSION</b>	
Delantera/Posterior	Muelles laminados semielípticos con amortiguadores y barra estabilizadora
<b>FRENOS</b>	
De servicio	Hidráulicos. Servoasistidos por vacío, circuito dual
Delanteros / Posteriores	Tambores
Estacionamiento	Tipo de expansión interna aplicado al cardán
Auxiliar	Freno Motor (Escape)

MTBC y/o MC Autos se reservan el derecho de realizar cualquier modificación respecto a colores, equipamiento o especificaciones detalladas en esta ficha técnica en cualquier momento sin previo aviso. Para mayor información, consulte al concesionario Mitsubishi más cercano.

<b>SISTEMA ELECTRICO</b>	
Alternador	24V
Baterías	2 x 12 Volts, 65 Ah
<b>TANQUE DE COMBUSTIBLE</b>	
Capacidad (lt.)	170
Adicionales	Filtro de combustible con separador de agua
<b>RUEDAS Y PNEUMATICOS</b>	
Cantidad	6 + 1 rueda de repuesto
Delantero	Simple: 215/75R17.5
Posteriores	Dobles: 215/75R17.5
Aros	Tipo disco, 17.5 x 6.00 - 127 - 9T
<b>EQUIPAMIENTO</b>	
Timón de altura regulable, velocímetro, odómetro y tacómetro, tapa de tanque de combustible con llave, alarma de retroceso, asiento de piloto abatible de tela, espejo de punto ciego.	



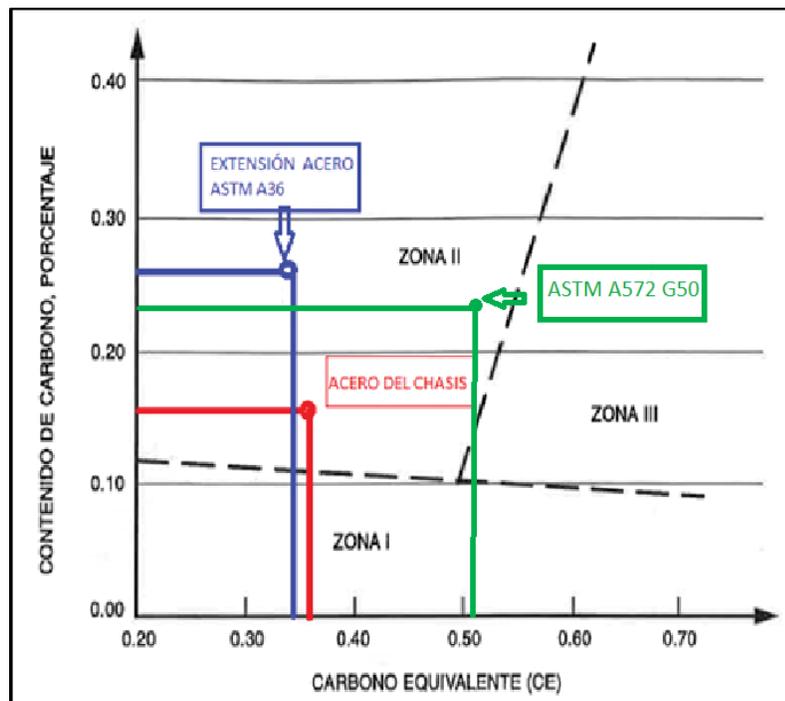
## ANEXO H

### SOLDABILIDAD DEL ACERO ASTM A572 GRADO 50

Composicion quimica del acero ASTM A572 grado 50										
C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros	
0.23	1.35	0.3	0.04 max.	0.05 max.	--	--	--	--	--	--

Fuente: ASM Metals Reference Book, 2014

Metal base	Carbono equivalente (C <sub>eq</sub> )	% de Carbono
Chasis	0.367	0.16
Extensión (A36)	0.34	0.26
ASTM A572 G50	0.5	0.23



## ANEXO I

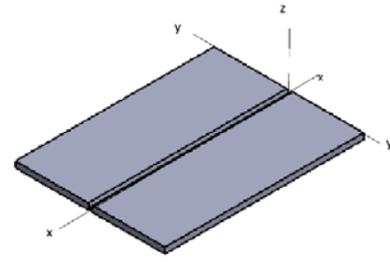
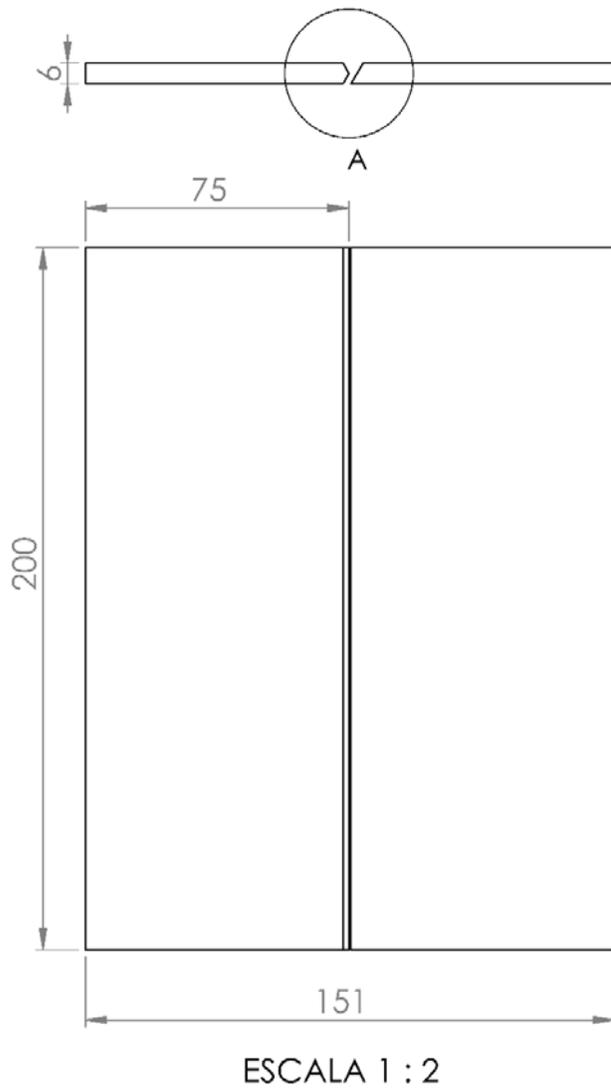
### CUADRO COMPARATIVO DE PROCESOS DE SOLDADURA EN CONDICIONES SIMILARES.

<b>Parámetros</b>	<b>Proceso SMAW</b>	<b>Proceso GMAW</b>	<b>Proceso FCAW</b>
Espesor <10mm	6mm	6mm	6 mm
ISF	4,1	3,39	3.6
Restricción	ALTA	ALTA	ALTA
T° Pre calentamiento	40°C mínimo	No requiere	No requiere

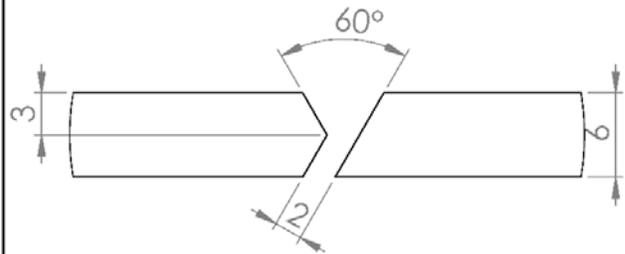
<b>Parámetros</b>	<b>Proceso SMAW</b>	<b>Proceso GMAW</b>	<b>Proceso FCAW</b>
Posición vertical	vertical	vertical	vertical
voltaje	22-22	16-22	20-30
amperaje	110-150	130-150	110-150
Velocidad de avance	6 mm/s	6 mm/s	10 mm/s
Heat imput	300 J/mm	322 J/mm	157 J/mm
Eficiencia térmica	70 - 80%	70 - 85%	65 - 80%

**ANEXO J**  
**PLANOS**

## PROBETA PARA ENSAYO TEKKEN



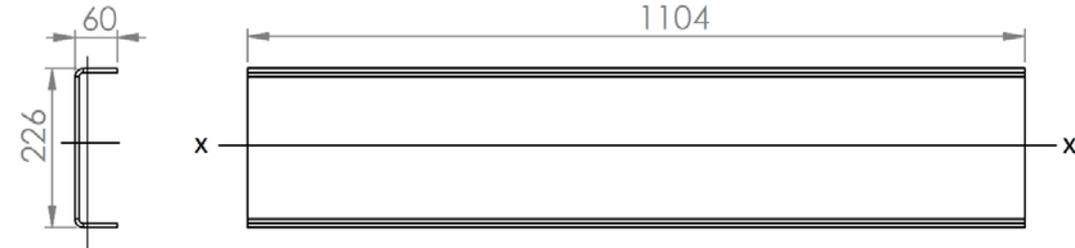
Vista Isometrica



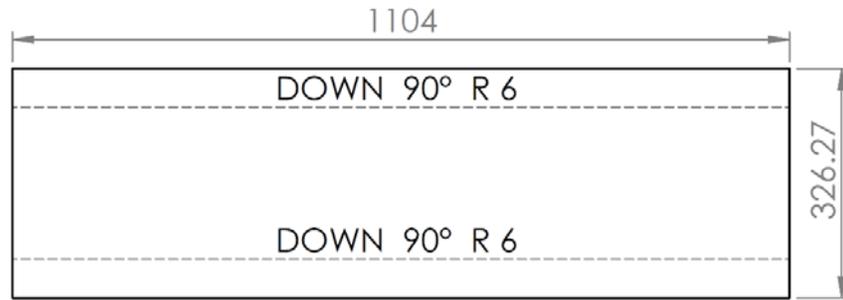
DETALLE A  
ESCALA 2 : 1

<i>01</i>	<i>01</i>	<i>Probeta TEKKEN</i>	<i>ASTM</i>	<i>A36</i>	<i>200 x 150 x 6</i>
<i>ITM</i>	<i>CAT</i>	<i>DESCRIPCION</i>	<i>NORMA</i>	<i>MATERIAL</i>	<i>DIMENSIONES</i>
<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</b> FIEEIM - CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA					
<i>METODO DE PROYECCION</i>		<i>TITULO:</i>			<i>ESCALA</i>
		DISEÑO DE UNIÓN SOLDADA CON PROCESO GMAW PARA LA AMPLIACION DE CHASIS DE BUS URBANO, REGIÓN CUSCO			1:2
<i>TESISTA</i>		<i>ALUMNO:</i>			<i>FECHA:</i>
		CURO AYMA, VÍCTOR RAÚL			2019.02.15
<i>ASESOR: MAG. ING. SEQUEIROS PEREZ, EFRAIN WALTER</i>					<i>LAMINA:</i>
					A4.TES01

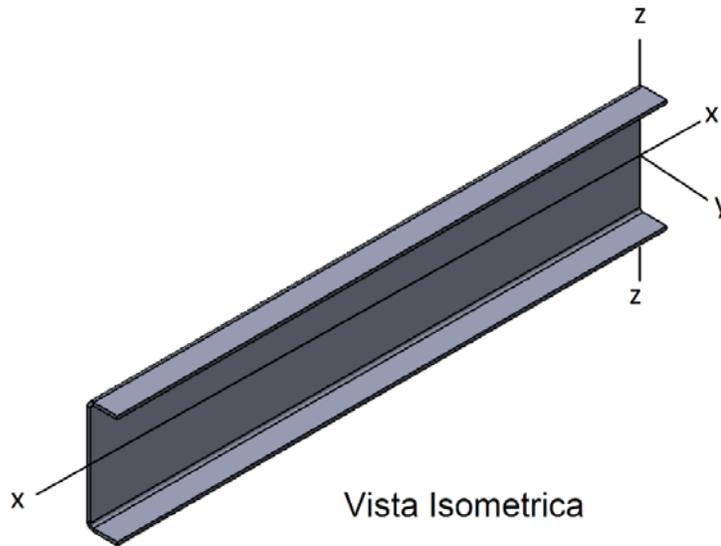
### Perfil para la ampliacion del chasis



Seccion del perfil "C"



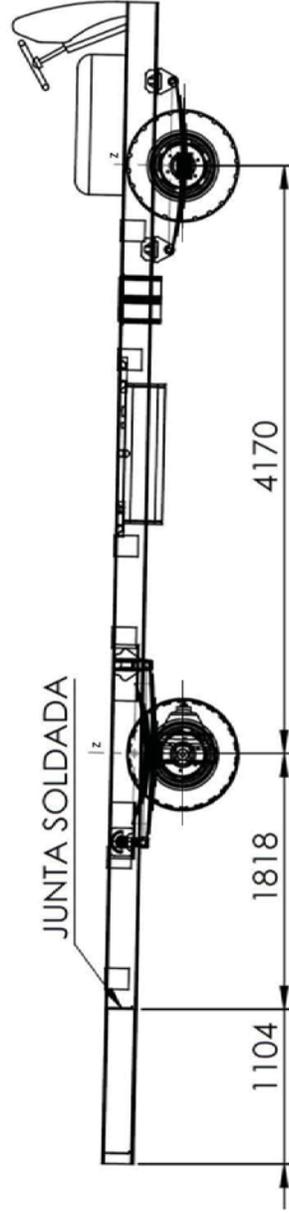
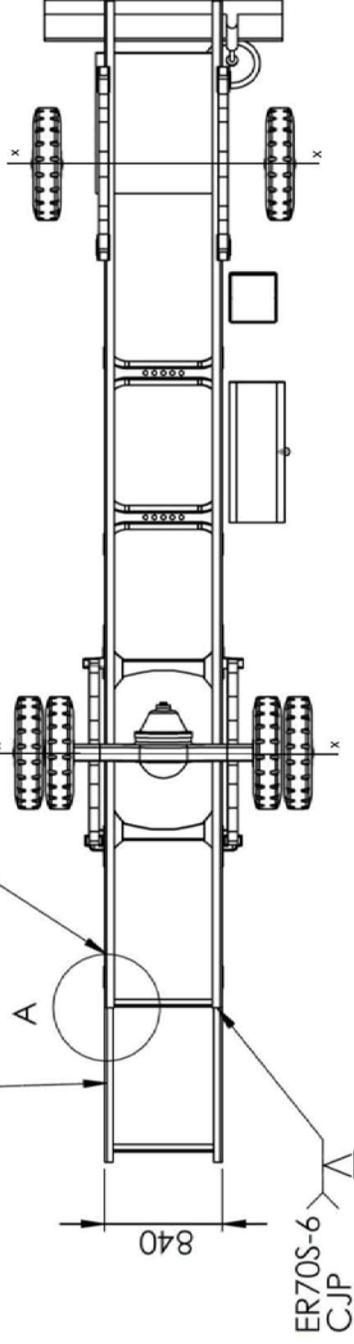
Plancha desplegada



Vista Isometrica

01	02	Perfil "C"	ASTM	A36	1104 x 326 x 6
ITM	CANT	DESCRIPCION	NORMA	MATERIAL	DIMENSIONES
<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</b> FIEEIM - CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA					
METODO DE PROYECCION 		TITULO: DISEÑO DE UNIÓN SOLDADA CON PROCESO GMAW PARA LA AMPLIACION DE CHASIS DE BUS URBANO, REGIÓN CUSCO			ESCALA 1:10
TESISTA		ALUMNO: CURO AYMA, VÍCTOR RAÚL			FECHA: 2019.02.15
ASESOR: MAG. ING. SEQUEIROS PEREZ, EFRAIN WALTER					LAMINA: A4.TES02

PERFIL ASTM A36

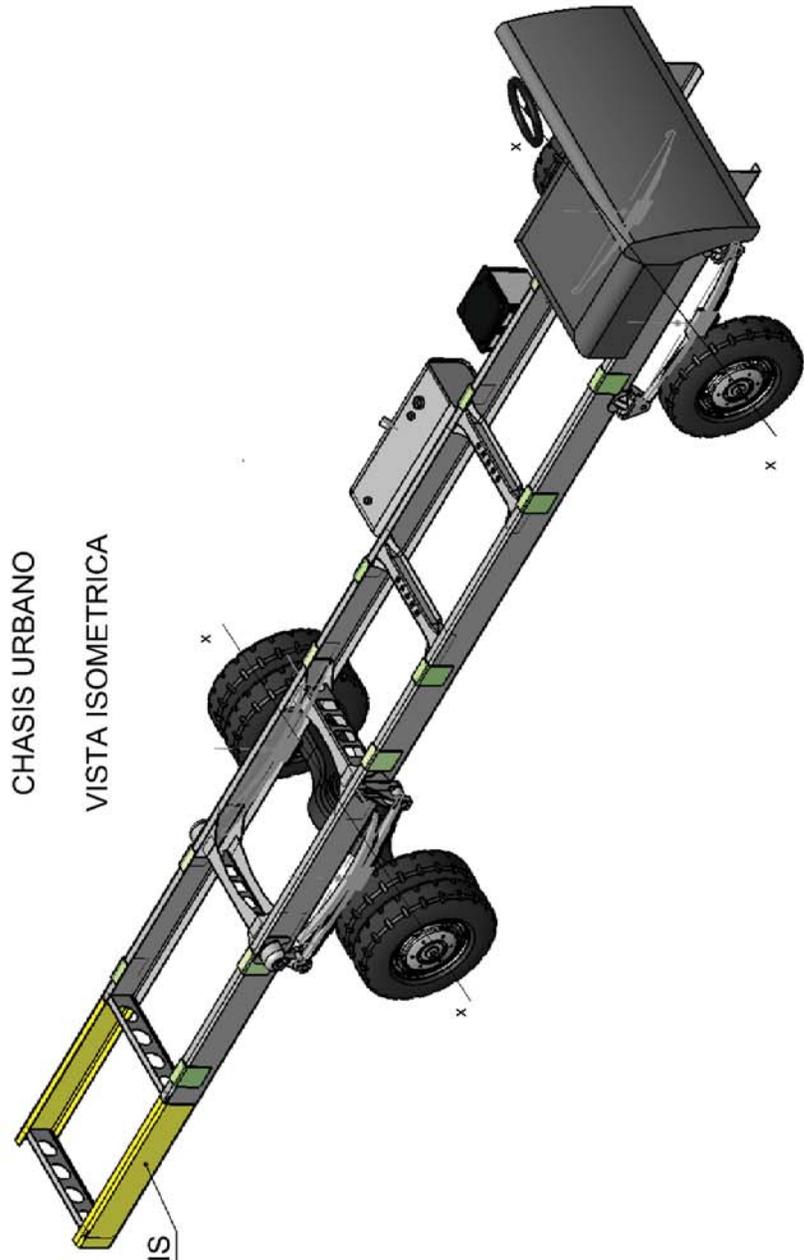


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
FIEEIM - CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA

METODO DE PROYECCION	TITULO:	ESCALA
	DISEÑO DE UNIÓN SOLDADA CON PROCESO GMAW PARA LA AMPLIACION DE CHASIS DE BUS URBANO, REGION CUSCO	1:50
TESISTA	ALUMNO:	FECHA:
	CURO AYMA, VÍCTOR RAÚL	2019.02.15
	ASESOR: MAG. ING. SEQUEIROS PEREZ, EFRAIN WALTER	LAMINA:
		A4.TES03

CHASIS URBANO

VISTA ISOMETRICA



AMPLIACION DE CHASIS

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO</b> FIEEIM - CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA		ESCALA
METODO DE PROYECCION	TITULO:	1:40
	DISEÑO DE UNIÓN SOLDADA CON PROCESO GMAW PARA LA AMPLIACION DE CHASIS DE BUS URBANO, REGIÓN CUSCO	FECHA: 2019.02.15
TESISTA	ALUMNO:	LAMINA: A4.TES04
	CURO AYMA, VÍCTOR RAÚL	
	ASESOR: MAG. ING. SEQUEIROS PEREZ, EFRAIN WALTER	