

# **CARACTERIZACIÓN DEL ACERO UTILIZADO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PANELES TIPO MABEY COMPACTO 100**

**Luis Javier Cárdenas A., Ing. José Pérez, Ing. Xavier Sánchez**

Carrera de Ingeniería Mecánica, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica. Escuela Politécnica del Ejército. Campus Sangolquí  
Av. General Rumiñahui s/n, Sangolquí - Ecuador

## **RESUMEN**

En el presente documento se realizaron diferentes procedimientos de caracterización mecánica que incluyó ensayos de tracción y ensayos de dureza para determinar propiedades mecánicas como resistencia a la tracción, resistencia a la fluencia y alargamiento porcentual. Se realizó también una caracterización metalográfica que incluye micrografía, macrografía, inclusiones, característica de chispa, composición química y espesor del galvanizado en los laboratorios de Metalurgia de la Escuela Politécnica del Ejército y en el Departamento de Metalurgia Extractiva de la Escuela Politécnica Nacional bajo las normas INEN y ASTM y con esto poder determinar el acero con el que se construyen diferentes elementos estructurales del panel bajo un proceso de selección en base a los resultados obtenidos en laboratorio.

## **ABSTRACT**

In this document was made different procedures of mechanical characterization including tensile and hardness tests to determine mechanical properties such as tensile strength, yield strength and elongation. There was also a metallographic characterization including micrography, macrography, inclusions, sparks characteristics, chemical composition and thickness of coating in the laboratory of Metallurgy at ESPE and the Department of Extractive Metallurgy at EPN under ASTM and INEN standards to determine the steel of different structural elements of the panel under a selection process based on the results obtained in laboratory.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Los aceros son aleaciones de hierro con una combinación variable de carbono y de otros elementos metálicos y no metálicos que le dan al material diferentes cualidades mecánicas y metalográficas que son aprovechados por la industria para someterlos a diferentes procesos de manufactura, diseño y construcción y demás aplicaciones que sean útiles para el ser humano. El hierro al constituirse como elemento base del acero, la misma conserva características metálicas del hierro en estado puro cuya estructura cristalina cambia a partir de una temperatura crítica punto en el cual, empieza a disolverse una cierta cantidad de carbono y con ello realizar tratamientos térmicos para alcanzar ciertas características metalográficas para mejorar las propiedades mecánicas del material. Por otro lado, los elementos de aleación que forman parte de la composición química del acero, le dan al material características más específicas ya que cada elemento en determinada cantidad en porcentaje en peso, hace que el acero alcance ciertos niveles de dureza, ductilidad,

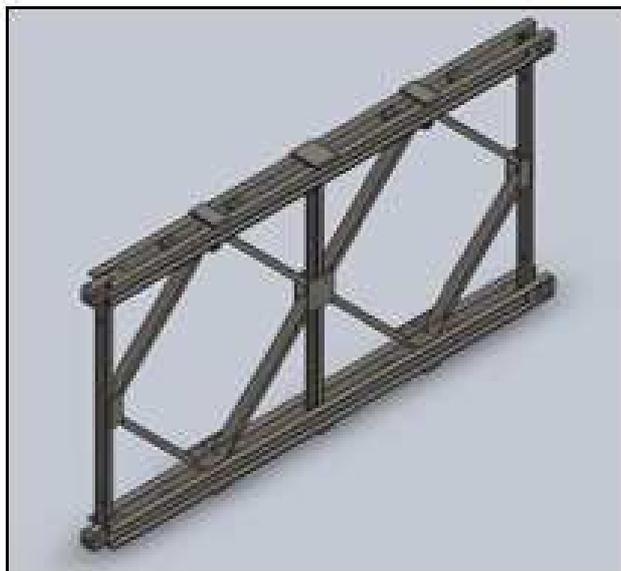
resistencia, tenacidad y en cuanto a los procesos de manufactura, se requiere que los aceros sean conformables y soldables.

Asociaciones de ingenieros e institutos realizan publicaciones acerca de las especificaciones de los productos de acero, muchas de ellas son muy conocidas y respetadas de las que se pueden obtener la información necesaria para realizar un análisis del acero mediante procedimientos específicos de laboratorio el cual permitirán en este proyecto, caracterizar y determinar el acero que es utilizado para la construcción de los paneles tipo Mabey en base a los resultados obtenidos en diferentes ensayos mecánicos y metalográficos.

## 2. MARCO TEÓRICO

El panel Bailey es un armazón soldado integrado por dos cordones de perfiles estructurales en C que se unen por montantes verticales y diagonales. A los cordones del panel se los denomina cordón superior y cordón inferior cuyos extremos están unidos por un muñón perforado y dos cartelas perforadas soldadas a los perfiles permitiendo así la conexión de un panel con otro con el acoplamiento del muñón con las cartelas insertando el bulón de panel en las respectivas perforaciones. Tanto el cordón superior como el cordón inferior, presentan cuatro placas que se distribuyen a lo largo de cada cordón con el nombre de palastros taladrados. Estos palastros facilitan el ensamble de otros paneles en forma vertical con la inserción de pernos de cordón en la respectiva perforación y como complemento de la estructura del puente se pueden colocar bastidores de arriostamiento para construir puentes de tipo Doble-Simple.

En los montantes verticales de los extremos del panel, se puede apreciar un par de perforaciones. El agujero que se encuentra cerca del cordón superior sirve para fijar con un perno de cordón el tornapuntas que a su vez este se conecta con el travesero para darle una mayor estabilidad a la estructura. Esta perforación sirve también para fijar una placa de unión que se utiliza para unir el segundo y tercer panel cuando se trata de un puente de viga triple. La perforación cerca del cordón inferior se utiliza para fijar el travesero.



**Figura 1. Panel Bailey**

### 3. RESULTADOS

Tabla 1. Caracterización Metalográfica

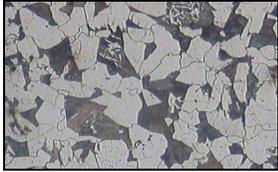
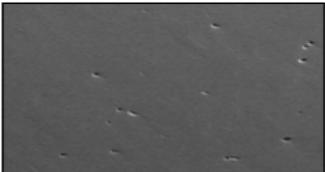
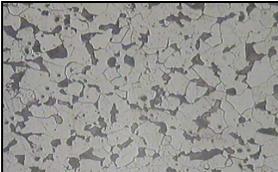
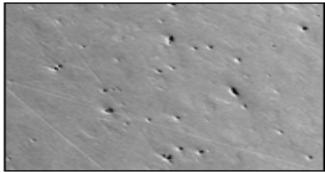
CARACTERIZACIÓN METALOGRÁFICA							
Elemento estructural	Composición química		Metalografía	G	Inclusiones	Chispa de característica	Espesor de Galvanizado
	%C	% aleantes	-	-	-	-	µm
Muñón de panel	0,239	0,242 Si 1,214 Mn 0,071 Cr 0,158 Ni <0,005 P <0,125 S 0,234 Cu 0,015 Al 0,059 Mo	 100X	3,5	 100X		166,9
Bulón de panel	0,211	0,164 Si 0,487 Mn 0,019 Cr 0,005 Ni <0,005 P <0,125 S 0,021 Cu <0,005 Al <0,010 Mo	 100X	4	 200X		-

Tabla 1. Caracterización Metalográfica (Continuación)

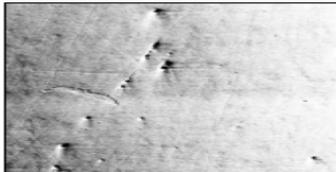
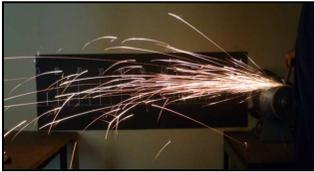
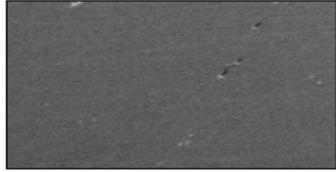
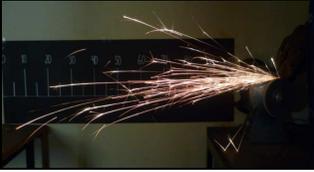
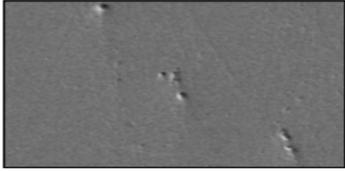
CARACTERIZACIÓN METALOGRÁFICA							
Elemento estructural	Composición química		Metalografía	G	Inclusiones	Chispa de característica	Espesor de Galvanizado $\mu\text{m}$
	%C	% aleantes	-	-	-	-	$\mu\text{m}$
<b>Perfil estructural C</b>	0,134	0,284 Si 1,241 Mn 0,024 Cr 0,019 Ni <0,005 P <0,125 S 0,033 Cu 0,020 Al <0,010 Mo 0,125 V	 <b>100X</b>	5	 <b>200X</b>		229,7
<b>Perfil de arriostramiento</b>	0,209	0,172 Si 1,278 Mn 0,012 Cr 0,013 Ni <0,005 P <0,125 S 0,033 Cu 0,037 Al <0,010 Mo 0,072 V	 <b>200X</b>	7	 <b>500X</b>		236,9

Tabla 1. Caracterización Metalográfica (Continuación)

CARACTERIZACIÓN METALOGRÁFICA							
Elemento estructural	Composición química		Metalografía	G	Inclusiones	Chispa de característica	Espesor de Galvanizado
	%C	% aleantes	-	-	-	-	µm
Placa de unión central	0,204	<0,010 Si 0,793 Mn 0,015 Cr 0,011 Ni <0,005 P <0,125 S 0,009 Cu 0,046 Al <0,010 Mo	 <p>200X</p>	6	 <p>1000X</p>		80,1

**Tabla 2. Caracterización Mecánica**

<b>CARACTERIZACIÓN MECÁNICA</b>					
<b>Elemento estructural</b>	<b>Re</b>	<b>Rm</b>	<b>A</b>	<b>Dureza</b>	<b>Curva Carga - Desplazamiento cabezal</b>
	<b>MPa</b>	<b>MPa</b>	<b>%</b>	<b>HRB</b>	<b>-</b>
<b>Muñón de panel</b>	458,7	577,7	20,4	84,4	
<b>Bulón de panel</b>	482,6	556,1	20,1	86,7	
<b>Perfil estructural</b>	502,4	633,3	20,9	93,4	
<b>Perfil de arriostramiento</b>	532,7	635,9	21,9	87,6	
<b>Placa de unión central</b>	354,7	494,6	26,4	78,1	

## 4. SOLDADURA

### Proceso de soldadura

El proceso soldadura utilizado en el panel fue posible analizarlo al existir la presencia de un pedazo de electrodo justo en el cordón que une el perfil de arriostramiento con el perfil estructural tal y como se indica en la figura 2a señalado con una circunferencia de color rojo para distinguirlo de mejor manera, siguiendo el mismo procedimiento para preparar la muestra en resina fenólica y luego someterlo a un proceso de desbaste y pulido para determinar si el alambre es tipo tubular o sólido.



Figura 2. Proceso de soldadura; a) electrodo de alambre, b) superficie pulida

### Análisis del cordón de soldadura

La sección transversal mostrada en la figura 3, muestra claramente los defectos que tienen las cuatro juntas soldadas que se manifiestan en forma de grietas y porosidades sin antes haber realizado un proceso de pulido y ataque químico. Para una mejor comprensión, la sección transversal estará dividida en cuatro cuadrantes utilizando la nomenclatura C1, C2, C3, C4 para referirse a una junta soldada en particular. El análisis se lo realizará principalmente en el cuadrante C3 debido a que esta zona presenta mayor cantidad de defectos.

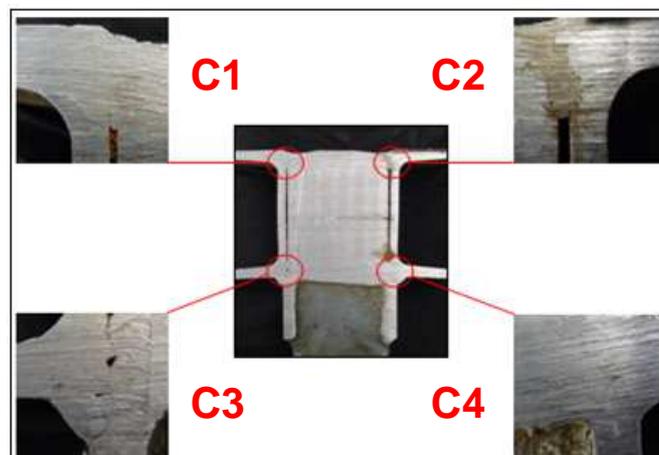


Figura 3. Sección transversal del muñón del panel

**Tabla 3. Defectos de la soldadura**

<b>Soldadura cuadrante C3</b>	
	
Defectos	Causas
Fusión incompleta de la primera pasada del cordón con el metal base	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Electrodo defectuoso</li> <li>• Corriente y arco defectuoso</li> <li>• Electrodo inadecuado</li> <li>• Preparación defectuosa</li> </ul>
Soldadura agrietada manifestándose claramente la diferencia de ambos cordones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preparación no adecuada</li> <li>• Cordones defectuosos</li> <li>• Unión rígida</li> <li>• Tamaño de la soldadura en desbalance con las piezas soldadas</li> </ul>
Penetración incompleta del cordón en el material base	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mucha velocidad</li> <li>• Corriente muy baja</li> <li>• Preparación inadecuada</li> </ul>
Presencia de porosidades en la soldadura y entre el metal base	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Charco insuficiente</li> <li>• Corriente muy baja</li> <li>• Electrodo inadecuado</li> </ul>

## 5. CONCLUSIONES

- Los valores de resistencia última a la tracción y resistencia a la fluencia de todos los materiales estructurales del panel mostrados en tablas anteriores, hacen que estos materiales sean de alta resistencia cumpliendo los mínimos requerimientos de alargamiento porcentual que piden las normas con una probeta de 50 mm entre marcas.
- Las imágenes obtenidas por un ensayo de chispa, elementos del panel como el perfil estructural C y perfil de arriostramiento fueron trabajos en caliente al presentar un color anaranjado característico al final del haz de chispa no así el del muñón y el del bulón de panel que al presentar un color amarillento blanquecino hacen que estos materiales sean aleados con manganeso y silicio al igual que la placa de unión central cuya aleación más representativa es el manganeso.
- Por la longitud del haz de chispa de los elementos estructurales del panel hacen que estos materiales sean aceros de bajo contenido de carbono.

- Los datos tanto de resistencia a la tracción y de resistencia a la fluencia hacen que elementos estructurales como el perfil estructural, perfil de arriostramiento, placa de unión central y muñón cumplan con las especificaciones de un acero ASTM A 572 mientras que el del bulón cumple con las especificaciones de un acero AISI 1020 estirado en frío.
- En cuanto a la resistencia a la corrosión, los valores de composición química del cobre, níquel y silicio del muñón cumplen con las especificaciones de un acero ASTM A 588 mas no de los demás elementos estructurales cuyos valores indican que es un acero al carbono.
- Los espesores de galvanizado de los elementos estructurales del panel como el perfil estructural en C, perfil de arriostramiento y muñón al ser de 230  $\mu\text{m}$ , 237  $\mu\text{m}$ , 167  $\mu\text{m}$  respectivamente cumplen con los espesores mínimos requeridos por las normas INEN 2483 y ASTM A 123 para perfiles y placas estructurales que requieren de un mínimo de 100  $\mu\text{m}$  para el perfil estructural y el muñón de panel y 75  $\mu\text{m}$  para el perfil de arriostramiento mas no el de la placa de unión central que tiene un espesor de galvanizado de 80  $\mu\text{m}$  para una especificación mínima de 100  $\mu\text{m}$ .
- El proceso de soldadura utilizado para unir los elementos estructurales del panel fue un proceso con alambre continuo y protección gaseosa (GMAW) luego de haber realizado un estudio macro de un pedazo de electrodo que fue depositado en el perfil de arriostramiento.
- Analizando la soldadura en esa sección del panel se pone en manifiesto la inaceptabilidad de los cordones de soldadura según la especificación que hace la norma AWS D1.1 para una inspección visual debido a la presencia de grietas que se logra divisar en cada uno de los mismos.

## 6. REFERENCIAS

- ASM Handbook. Properties and Selection: Irons Steels and High Performance Alloys volume 1. 9 ed. USA. 2004
- ASM Handbook. Mechanical Testing and Evaluation volume 8. 9 ed. USA. 2004
- ASM Handbook. Metallography and Microstructures volume 9. 9 ed. USA. 2004
- Mangonon, Pat L. Ciencia de Materiales y Diseño. Primera ed. Pearson Education. México. 2001.
- Callister, William. Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Ed Reverté. España. 1996
- Bailey, Donald C. Manual Bailey y Uniflote. Primera ed. Acrow Press. Inglaterra. 1970.
- AWS D1.1/D1.1M. Structural Welding Code Steel. 21 ed. 2008
- ASTM A 370 – 05. Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products. 2005
- ASTM A 123/123M – 02. Specification for Zinc (Hot-Dip Galvanized) Coatings on Iron and Steel Products. 2002
- ASTM E 112 – 96R04. Test Methods for Determining Average Grain Size. 2004
- ASTM E 3 – 01. Guide for Preparation of Metallographic Specimens. 2001