

**Unidad Didáctica Tecnológica**

**Modos de transferencia  
en el proceso GMAW**

**Juan Sebastián Restrepo González**  
**Juan Sebastián Rudas Flórez**

# Unidad didáctica tecnológica

## Modos de transferencia en el proceso GMAW



INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA  
**PASCUAL BRAVO®**

Vigilada Mineducación



671

R436 Restrepo González, Juan Sebastián  
Modos de transferencia en el proceso GMAW / Juan Sebastián  
Restrepo González y Juan Sebastián Rudas Flórez. —Medellín:  
IUPB, 2019  
88 Páginas. (Serie Académica)  
ISBN: 978-958-52584-1-9  
1. SOLDADURA. —2. PROCESOS INDUSTRIALES

**Unidad Didáctica Tecnológica. Modos de transferencia en el proceso GMAW.**  
Serie Académica  
Facultad de Ingeniería  
Institución Universitaria Pascual Bravo

Primera edición: diciembre de 2019  
ISBN: 978 -958-52584-1-9

**Autores**  
Juan Sebastián Restrepo González  
Juan Sebastián Rudas Flórez

**Ilustraciones**  
Alejandro Montoya Valencia

**Rector**  
Juan Pablo Arboleda Gaviria

**Vicerrectora de Investigación y Extensión**  
Carmen Elena Úsuga Osorio

**Diagramación:** Leonardo Sánchez Perea  
**Corrección de texto:** María Edilia Montoya Loaiza  
**Coordinación editorial:** Johana Martínez Ramírez

Editado en Medellín, Colombia  
Fondo Editorial Pascual Bravo  
Institución Universitaria Pascual Bravo  
Calle 73 No. 73A – 226 – Tel. (57+4) 4480520  
fondoeditorial@pascualbravo.edu.co  
www.pascualbravo.edu.co  
Medellín – Colombia

Las ideas expresadas en la obra aquí contenida son manifestaciones del pensamiento individual de sus autores, en esa medida, no representan el pensamiento de la Institución Universitaria Pascual Bravo, siendo ellos los únicos responsables por los eventuales daños o perjuicios que pudieran causar con lo expresado o por la vulneración de los derechos de autor de terceros en los que hubiesen podido incurrir en su creación.

Está prohibido todo uso de la obra que atente contra los derechos de autor y el acceso abierto. Esta obra está protegida a través de la licencia Creative Commons: Reconocimiento-No comercial 4.0 Internacional.



# Contenido

Presentación	6
Antecedentes	7
Descripción metodológica	9
Objetivos	13
<b>GUÍA DEL DOCENTE</b>	<b>14</b>
<b>Momento de contextualización</b>	<b>15</b>
<b>Momento de experimentación</b>	<b>22</b>
<b>Momento de creación</b>	<b>25</b>
<b>GUÍA DEL ESTUDIANTE</b>	<b>28</b>
<b>Momento de contextualización</b>	<b>29</b>
<i>Contenido 1. Aprendizaje colaborativo</i>	29
Actividad 1.1. Grupo o equipo, ¿cuál es la diferencia?	30
Actividad 1.2. Selección de roles	30
<i>Contenido 2. La soldadura en la historia</i>	32
Actividad 2	34
<i>Contenido 3. El proceso GMAW y sus modos de transferencia</i>	35
Fuente de potencia	36
Atmósfera protectora	39
Modos de transferencia	41
Actividad 3. Situaciones y soluciones	44
<i>Contenido 4. ¿Por qué se dan los modos de transferencia?</i>	45
Fuerzas de retención	45
Fuerzas de desprendimiento	46
Efectos de las fuerzas de desprendimiento y retención en cada modo de transferencia	46
Actividad 4. Fuerzas en una gota de metal	47
<i>Contenido 5. Diseño y evaluación de procedimientos WPS y PQR</i>	48
Actividad 5. Diseño y evaluación de procedimientos, WPS y PQR	50
<b>Momento de experimentación</b>	<b>51</b>
<i>Contenido 1. Prevención de riesgos en la soldadura</i>	51
Actividad 1. Identificación de elementos de seguridad	52
Actividad 2. Identificación de los componentes del equipo de soldadura GMAW	54

<i>Contenido 2. Sistema de adquisición de datos (SAD)</i>	55
Actividad 3. Evaluación del WPS	56
<i>Contenido 3. Inspección visual del cordón de soldadura</i>	57
Actividad 4. Inspección visual	60
<b>Momento de creación</b>	60
<i>Contenido 1. Análisis final</i>	60
Actividad 1. Análisis de resultados	61
Actividad 2. Mapa de modos de transferencia	62
Actividad 3. Socialización	63
Actividad 4. Conclusiones	63
Referencias	63
Bibliografía	65

## **MANUAL DE USUARIO**

<b>Sistema de adquisición de datos. Proceso de soldadura por arco de metal y gas GMAW</b>	67
1. Acerca de este manual	68
2. Recomendaciones	69
3. Introducción	70
3.1 Circuito integrado de adecuación de señal de voltaje	70
3.2 Tarjeta de adquisición de datos	70
3.3 Sensor de efecto Hall	70
3.4 Cables blindados	71
3.5 Computador	71
3.6 Interfaz de usuario	71
4. Objetivos del desarrollo del sistema	72
5. Instalación de interfaz de adquisición de datos GMAW	73
6. Procesos de conexión	75
6.1 Conexión de pinzas para medición de voltaje	75
6.2 Conexión del sensor de efecto Hall	75
6.3 Conexión de tarjeta de adquisición de datos	76
7. Uso de la interfaz de adquisición de datos	78
7.1 Descripción de la interfaz de adquisición de datos	78
7.2 Funcionamiento de la interfaz	80
7.3 Consideraciones conceptuales sobre adquisición de datos	82
Anexo 1. PQR: Procedure Qualification Record	84
Anexo 2. WPS, procedimiento de soldadura	86

## Presentación

Unidad Didáctica Tecnológica: modos de transferencia en el proceso GMAW es un recurso pedagógico que se basa en el aprendizaje colaborativo y en la integración de herramientas tecnológicas. Se desarrolla para el estudio de los modos de transferencia de metal (MdeT), presentes en el proceso de soldadura por arco eléctrico con protección gaseosa GMAW (Gas Metal Arc Welding), desde el estudio de los fenómenos físicos involucrados y sus aplicaciones industriales.

El desarrollo de la Unidad Didáctica Tecnológica (en adelante, UDT) se realiza en el marco del proyecto de investigación «Desarrollo de recursos pedagógicos basados en herramientas tecnológicas y aprendizaje colaborativo para la enseñanza del proceso de soldadura GMAW». La construcción de la UDT parte del reconocimiento del entorno pedagógico, teniendo en cuenta a estudiantes, docentes, laboratoristas e investigadores, así como las condiciones de las instalaciones, equipos y suministros. También se tienen en cuenta las disposiciones institucionales respecto a la asignatura de procesos de soldadura, adscrita a los programas técnicos, tecnológicos y profesionales de la Facultad de Ingeniería de la Institución Universitaria Pascual Bravo.

## Antecedentes

La idea de integrar herramientas tecnológicas para la enseñanza y aprendizaje del proceso de soldadura GMAW, nace de los resultados del proyecto de investigación «Modelamiento dinámico de los modos de transferencia del proceso de soldadura GMAW y su implementación en control automático»<sup>1</sup> llevado a cabo en la Institución Universitaria Pascual Bravo durante los semestres II-2012, I-2013 y II-2013

Dicho proyecto se desarrolló en dos etapas; en la primera se realizó una revisión sistemática de la literatura acerca del modelamiento matemático del proceso GMAW, y el diseño inicial de un sistema de adquisición de datos (SAD) para el monitoreo de las variables eléctricas de dicho proceso de soldadura. En la segunda etapa se desarrolló el modelo semifísico de base fenomenológica (MSBF) para lo cual se utilizaron dos metodologías diferentes: el modelamiento físico-matemático y la identificación de sistemas, lo que permitió describir y representar el comportamiento dinámico del voltaje y la corriente, así como predecir el modo de transferencia. Adicionalmente, se realizó la construcción e implementación del SAD, para la validación del MSBF, en el Laboratorio de Soldadura de la Institución Universitaria Pascual Bravo.

---

<sup>1</sup> Proyecto de investigación financiado por la Institución Universitaria Pascual Bravo. Convocatoria 617.

Partiendo de los resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto, y de las inquietudes de los investigadores desde la labor docente e investigativa, se exploró el potencial pedagógico de las herramientas desarrolladas (MSBF y SAD) para la enseñanza y aprendizaje del proceso de soldadura GMAW.

Como resultado inicial de la investigación, en el ámbito pedagógico, se diseñó la propuesta metodológica denominada Unidad Didáctica Tecnológica (UDT), basada en aprendizaje colaborativo. La propuesta de la UDT fue divulgada en diferentes eventos académicos nacionales e internacionales [1], [2], [3].

Esta cartilla entrega la propuesta pedagógica de forma más ilustrativa y, a su vez, se propone como herramienta formativa para los espacios académicos universitarios de nivel técnico y tecnológico.

## Descripción metodológica

La asignatura Procesos de Soldadura ofrecida en los niveles de formación técnica, tecnológica y profesional de la Institución Universitaria Pascual Bravo tiene como fin brindar herramientas y desarrollar habilidades en los estudiantes que les permitan planificar, ejecutar, aplicar y supervisar los diferentes procesos de soldadura presentes en la industria —entre los cuales se encuentra el proceso de soldadura por arco eléctrico con protección gaseosa (GMAW Gas Metal Arc Welding)—. Este proceso es ampliamente usado en la industria local e internacional, debido a sus altas tasas de productividad y su posibilidad de ser automatizado. A lo anterior se suman algunas ventajas respecto a otros procesos de soldadura, tales como: la utilización de equipos semiautomáticos, la posibilidad de trabajar con diferentes materiales base y de aporte, y ofrecer una alta eficiencia y un amplio rango de posiciones para soldar [4].

La capacitación y formación en el proceso de soldadura GMAW es un tema de interés para investigadores y desarrolladores que buscan alternativas para reducir el tiempo, costos y riesgos durante el proceso formativo, por cuanto se incrementa la comprensión del proceso y se mejora en habilidades específicas, lo cual ha llevado a la creación de recursos pedagógicos —como entornos simulados de soldadura y sistemas de adquisición y visualización de información [5] —.

Puesto en estos términos, la aplicación e implementación de buenas prácticas de soldadura requieren una formación completa que abarque no solo el conocimiento sobre procesos de soldadura, sino también sobre materiales, metalurgia, fenómenos de transferencia de masa y de calor, automatización y aseguramiento de la calidad en juntas soldadas. En consecuencia, la formación

en el área de la soldadura, en general o específicamente, en cualquiera de sus procesos, es una tarea compleja y demandante para estudiantes y docentes. Es por estas razones que en la formación de operarios, técnicos e ingenieros, se debe buscar la comprensión e integración de conocimientos teóricos, el conocimiento de las normas técnicas, al igual que los criterios de manipulación de los equipos y la evaluación de la calidad de la soldadura con la práctica industrial. Esta integración es una prioridad para la educación y la industria, máxime en países como Colombia donde el campo de la construcción aporta sensiblemente en el desarrollo de la economía [6].

La integración de la tecnología a la educación ha sido un proceso ampliamente estudiado con el fin de mejorar las habilidades tecnológicas de los docentes y estudiantes, y enriquecer los espacios educativos con herramientas tecnológicas acordes con la realidad actual [7]. Identificadas las necesidades ya mencionadas y las nuevas posibilidades que abre el uso de la tecnología en la educación, la UDT plantea un acercamiento interactivo con el proceso de soldadura y los fenómenos asociados, haciendo uso del sistema de adquisición de datos (SAD), como herramienta tecnológica que permite adquirir, visualizar y manipular las señales de voltaje de arco y corriente de soldadura. Esta información se puede relacionar con características de la soldadura aplicada como continuidad del cordón, estabilidad de arco, penetración de la junta y calor aportado, entre otras [1], [8].

Lo aquí planteado busca integrar de manera efectiva la tecnología al proceso formativo para lo cual es necesario explorar paradigmas pedagógicos alternativos, en coherencia con las nuevas realidades y posibilidades del contexto educativo. En ese orden de ideas, en la UDT se propone el aprendizaje colaborativo como marco de referencia metodológico, el cual posibilita el

trabajo conjunto de los estudiantes para alcanzar objetivos de aprendizaje compartidos, de modo que completen con éxito la tarea o actividad asignada [9]. Bajo este esquema de aprendizaje se busca que los estudiantes tengan intereses compartidos y creen una interdependencia positiva que proporcione más satisfacción que el mero beneficio individual, desarrollando habilidades sociales y comunicativas, exploradas poco, o nulamente, bajo el esquema tradicional de educación.

Así pues, la integración de la tecnología en el proceso formativo, desde un paradigma colaborativo, permite un aprendizaje activo, pues implica una interacción entre personas y la posibilidad de lograr un consenso; además, genera una posición consciente del estudiante sobre su proceso de formación. Se debe tener presente que la implementación planificada de esta metodología debe hacerse teniendo en cuenta los objetivos de aprendizaje, el tamaño de los grupos, la asignación de roles para cada estudiante y el proceso de evaluación e integración con la asignatura [10].

Para llevar a la práctica las ideas mencionadas, es necesario que los componentes temáticos, técnicos, tecnológicos y pedagógicos sean presentados en un formato que evidencie la integración de estos aspectos. Para este fin se elige como modelo estructural la unidad didáctica; entre muchas posibilidades, incluye, por lo general, secuencias de aprendizaje definidas en un periodo de tiempo determinado, contenidos estructurados y progresivos, actividades sencillas y complejas, mecanismos de evaluación y realimentación. El desarrollo de unidades didácticas debe ser un proceso de construcción dinámica y social, que se origina en las opciones y necesidades detectadas en el ambiente educativo y en la realimentación de información en la aplicación de las unidades [11].

Por esto último, la UDT es, en sí misma, una propuesta, en la medida que está abierta a la contextualización de cada ambiente educativo y a las habilidades que se deseen potencializar en los estudiantes.

El modelo estructural de la unidad didáctica está configurada por tres momentos: contextualización, experimentación y creación.

El momento de contextualización tiene como propósito que el docente pueda crear un escenario para que los estudiantes conceptualicen información técnica y práctica respecto al eje teórico de estudio de la UDT: el proceso de soldadura GMAW. Esta etapa es base fundamental de la unidad didáctica, ya que define el marco referencial sobre el cual se desarrolla la experiencia.

El momento de experimentación tiene como fundamento el hecho de que la experiencia sirve como eje de aprehensión e integración del conocimiento. Por lo tanto, en este los estudiantes se aproximan, mediante el uso de herramientas tecnológicas, a la evidencia experimental de los fundamentos conceptuales socializados en la contextualización.

Finalmente, en el momento de creación se garantiza un espacio en el cual los estudiantes puedan discutir, analizar e integrar los dos momentos anteriores para la creación, entre otros resultados, de un mapa de los modos de transferencia del proceso de soldadura GMAW.

Para atender lo anterior, la UDT se encuentra compuesta por dos guías: una para el docente y otra para los estudiantes, cada una de la cuales incluye los tres momentos anteriores. Además, la UDT incluye un manual de usuario para el sistema de adquisición de datos que se desarrolló como soporte tecnológico.

## Objetivos

### General

Fortalecer el proceso de enseñanza y aprendizaje de los modos de transferencia de metal presentes en el proceso de soldadura por arco eléctrico con protección gaseosa - GMAW, a través del uso de una herramienta didáctica basada en aprendizaje colaborativo.

### Específicos

- Reconocer los diferentes modos de transferencia en el proceso de soldadura GMAW.
- Identificar la influencia que ejercen las variables esenciales del proceso de soldadura GMAW sobre los diferentes modos de transferencia.
- Conocer el formato de WPS y las variables esenciales que deben ser consideradas para evaluar los diseños de procedimientos de soldadura.
- Relacionar cada modo de transferencia en función de sus aplicaciones industriales.
- Identificar los diferentes elementos de seguridad necesarios para una aplicación de soldadura.
- Evidenciar la influencia de los parámetros de voltaje y corriente en la morfología de un cordón de soldadura.
- Manipular herramientas tecnológicas como complemento al trabajo experimental en el laboratorio.
- Construir mapas de los modos de transferencias relacionando curvas de voltaje y corriente.
- Evaluar una aplicación de soldadura por medio de inspección visual.

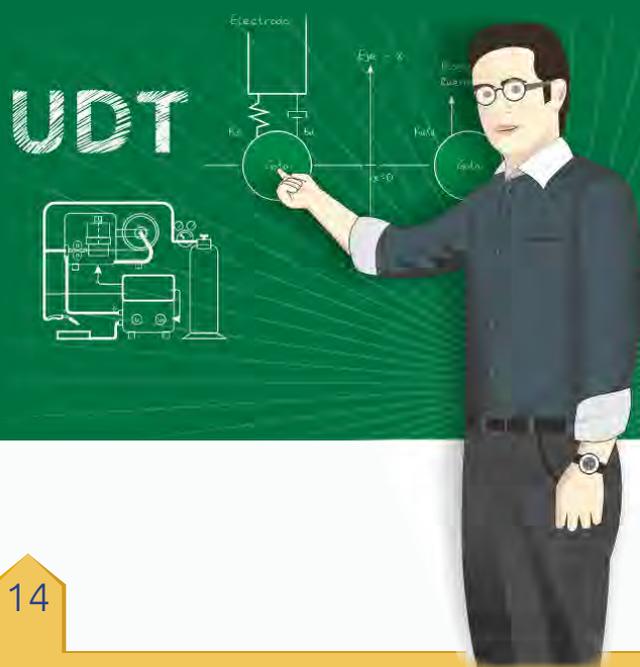
## Guía del docente

La UDT «Modos de transferencia en el proceso de soldadura GMAW» está configurada por tres momentos y espacios: contextualización en el aula, experimentación en el laboratorio y creación en la sala de cómputo. Valga advertir que los momentos de socialización y evaluación son transversales a todos ellos.

Los siguientes temas deben ser estudiados previamente: introducción general y normas de seguridad, diseño de uniones, terminología, simbología y metalurgia de la soldadura. La unidad retoma algunos de estos conceptos con el fin de tener una perspectiva general y, así, garantizar la seguridad en los procedimientos.

El desarrollo de la UDT integra conocimientos de diversas áreas como: instrumentación industrial, electricidad y electrónica, circuitos eléctricos, metodología de la investigación y desarrollo humano y social.

A continuación, se presenta una guía general para el docente, con referencias bibliográficas, contenidos extendidos, sugerencias para la disposición del ambiente educativo y, adicionalmente, los recursos necesarios para cada uno de los momentos de la UDT.



## Momento de contextualización



Este momento inicial tiene como finalidad situar el aprendizaje del proceso de soldadura GMAW en un contexto amplio. El contenido integra información técnica y práctica del proceso GMAW, en un formato rico en ilustraciones. El docente acompañará la exploración del material por parte de los estudiantes.

### Ambiente

El momento de contextualización se realiza en el aula de clase; para ello, se debe disponer de un espacio amplio para el desplazamiento de los estudiantes y la distribución de los escritorios, teniendo en consideración la conformación de los equipos de trabajo.

### Recursos

Guía para cada estudiante, guía del docente, guía de evaluación y registro para docente y evaluador.

### Contenido 1

En esta UDT se propone el aprendizaje colaborativo como metodología pedagógica que posibilita aprendizajes de manera social y activa; promueve el desarrollo de habilidades interpersonales y fomenta la responsabilidad individual y grupal. El aprendizaje colaborativo es también un reto para el docente, pues es necesario que se replantee su posición en el proceso formativo y se generen relaciones horizontales con los estudiantes. En este aspecto se recomienda profundizar en la conceptualización y aplicación de estrategias desde el aprendizaje colaborativo [9], [11], [12].



### Actividad 1.1

#### Grupo o equipo, ¿cuál es la diferencia?

Considerando las formas más generales y de carácter guiado, un **grupo** de caminantes tiene un líder y un equipo de apoyo que dirigen el rumbo del grupo. Cada uno de los caminantes cumple con su función de caminar y llegar al final, se supone, habiendo disfrutado el camino. A la par, en un **equipo** de fútbol, sin que tengan que ser profesionales, las posiciones de las personas están definidas según sus capacidades. El desempeño de cada jugador, en coordinación con todos los demás, define el resultado del partido.

Las relaciones entre las personas de un grupo de caminantes, en comparación por las vividas por un equipo de fútbol, le permiten al docente abrir la discusión con los estudiantes sobre el trabajo colectivo, la necesidad de generar consenso y el respeto por la diferencia.

En la tabla 1 se presenta el paralelo para desarrollar con los estudiantes.

**Tabla 1.** Paralelo grupo y equipo

	<b>Grupo de caminantes</b>	<b>Equipo de fútbol</b>
¿Quién lidera?	Liderazgo único	Liderazgo compartido
¿Qué hay que hacer?	Objetivos personales compartidos	Objetivos personales y colectivos
¿Quién hace?	Trabajo independiente	Trabajo interdependiente
¿Quién responde?	Responsabilidad de los individuos	Responsabilidad individual y compartida
¿Quién gana méritos?	Resultados individuales	Resultados compartidos
¿A quién se evalúa?	A cada individuo	Al equipo
¿Quién decide?	Toma de decisiones individualmente	Toma de decisiones en equipo
¿Quién sabe hacerlo?	Habilidades diversas	Habilidades complementarias



## Actividad 1.2

### Selección de roles

Un aspecto importante del aprendizaje colaborativo es el trabajo en pequeños equipos, lo que favorece el intercambio de ideas y la participación activa de cada estudiante. La conformación de los equipos se puede realizar de manera guiada; la selección la realiza el docente o, de manera libre, la hacen los estudiantes. En este caso, se propone la conformación de grupos de cinco estudiantes, organizados de manera libre; así mismo, la selección de roles debe ser responsabilidad de cada estudiante, considerando sus capacidades, habilidades, conocimientos y experiencias. La asignación de roles fomenta la participación activa de los estudiantes, fortalece el trabajo en equipo y aumenta la interdependencia.

Para generar un desarrollo fluido de la UDT se plantean cinco roles: técnico, supervisor, redactor, comunicador y mediador. Para conformar los equipos de trabajo, las responsabilidades de cada rol son puestas en común por el docente y discutidas entre los estudiantes. El docente debe guiar la conformación de equipos variados, balanceados y compatibles. En caso de considerar necesario, puede intervenir, de manera respetuosa, con la conformación de los equipos y la selección de roles.

## Contenido 2

### *La soldadura en la historia*

Este contenido presenta una breve reseña del desarrollo histórico de la soldadura y sus implicaciones industriales, tecnológicas, además de las socioculturales. Se exponen las diferencias, posibilidades y limitaciones en el campo industrial del proceso de soldadura GMAW. En Lincoln Electronics [4] y C. Oz (et al.) [13] se ofrece una corta reseña del desarrollo de la soldadura y sus implicaciones en la historia.



## Actividad 2

### *Expectativas, intereses y nuevas preguntas*

Trabajar desde las expectativas e inquietudes de los estudiantes puede facilitar el desarrollo de la UDT. En este punto, el docente debe promover el interés, dirigiendo el esfuerzo de aprendizaje y manteniéndolo hasta lograr los objetivos propuestos. La actividad propone hacer evidentes las expectativas e intereses de los estudiantes y la formulación de preguntas emergentes.

## Momento de socialización 1

Socializar las expectativas y preguntas emergentes, permite generar consenso en el grupo y despertar intereses comunes por los conceptos a estudiar.

## Contenido 3

### *El proceso GMAW y sus modos de transferencia*

Por medio de un contenido abundante en ilustraciones, se presenta información general acerca del proceso GMAW como: criterios de selección de equipos, variables y parámetros, tipos de procesos, insumos, herramientas, y aplicaciones industriales. Se hace énfasis especial en los parámetros eléctricos de las fuentes de potencia (voltaje y corriente) y en el uso de gases de protección. Para ello, el docente puede ampliar la información en la bibliografía sugerida [4], [14-19].



### **Actividad 3** *Situaciones y soluciones*

Se proponen dos actividades de análisis de situaciones relacionadas con la selección de parámetros para un procedimiento de soldadura GMAW. Los estudiantes deben considerar las diferentes posibilidades; igualmente, determinar si las situaciones descritas son posibles, y proponer otra alternativa en caso de que no lo sean.

## **Contenido 4**

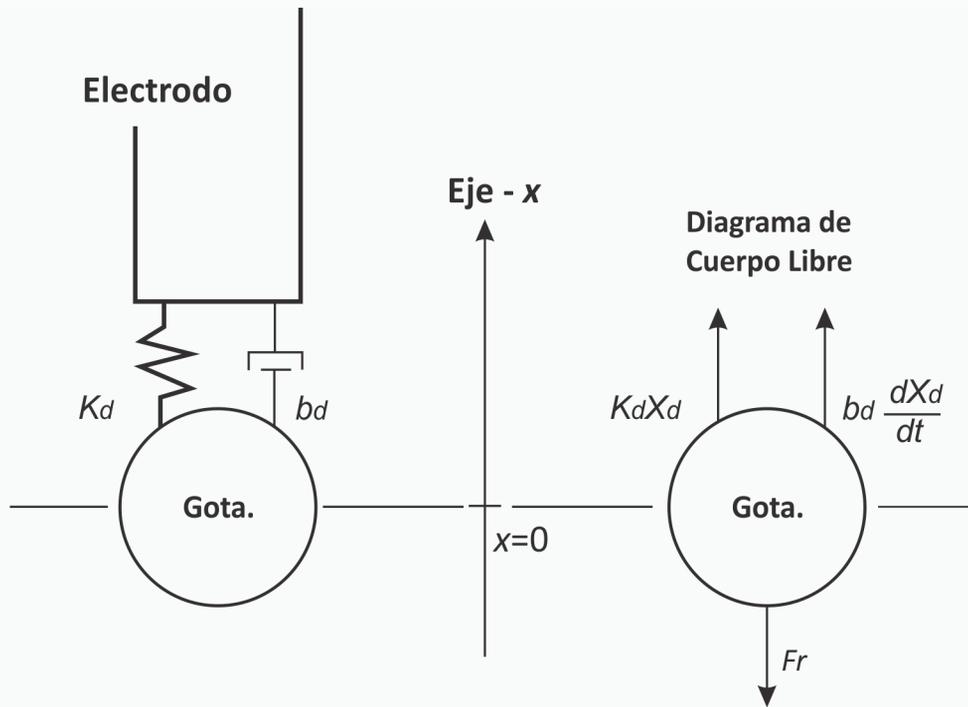
### *¿Por qué se dan los modos de transferencia?*

En este contenido se presentan los fenómenos físicos involucrados en los modos de transferencia, las fuerzas físicas que interactúan en el proceso de formación y desprendimiento de la gota de metal líquido, y se describen los efectos de estos fenómenos físicos sobre el comportamiento y resultados de la soldadura aplicada [18-19].



### **Actividad 4** *Fuerzas en una gota de metal*

La actividad propone a los estudiantes que ubiquen las fuerzas que actúan sobre la gota de metal en un diagrama de cuerpo libre, similar al presentado en la figura 1, según sean fuerzas de retención o de desprendimiento.



**Figura 1.** Diagrama de cuerpo libre para una gota de metal.

Fuente: Tomado y traducido de: Advanced Control Methods for Optimization of Arc Welding. Ph.D. Thesis Jesper Sandberg Thomsen Aalborg University, 2004

## Contenido 5

### *Diseño y evaluación de procedimientos WPS y PQR*

Se realiza una breve introducción a las normas técnicas que se aplican en los procesos de soldadura, así como su uso en diseños de procedimiento WPS (Welding Procedure Specification) y de registros de evaluación de procedimiento PQR (Procedure Qualification Record). Se describen las variables implicadas en el diseño de procedimientos de soldadura, según las normas técnicas.



## Actividad 5

### Diseño y evaluación de procedimientos, WPS y PQR

Esta actividad permite recorrer el proceso de diseño y validación de un procedimiento de soldadura, que va desde el levantamiento de las especificaciones previas, pasando por la aplicación en campo, hasta la inspección de calidad sobre las juntas. Se presenta el WPS para el desarrollo del momento de experimentación. Como actividad de cierre, se propone que cada equipo de trabajo analice el WPS presentado y complete la información en el formato de PQR.

## Momento de socialización 2

Se propone un espacio de socialización que permita poner en común los conocimientos adquiridos y llegar a consensos generales sobre los procedimientos por desarrollar en el momento de experimentación.

### Propuesta de distribución del tiempo

Momento de contextualización	Tiempo estimado
Contenido 1	25 min
Actividad 1	
Contenido 2	25 min
Actividad 2	
Contenido 3	30 min
Actividad 3	
Contenido 4	25 min
Actividad 4	
Contenido 5	30 min
Actividad 5	

## Momento de experimentación



El momento de experimentación tiene como fin acercar a los estudiantes al proceso de soldadura y permitirles poner en práctica sus conocimientos y experiencias previas. Considerando el componente experimental y práctico, inherente a la formación técnica y tecnológica, este momento busca motivar a los estudiantes al proponerles un acercamiento al proceso GMAW más interactivo, por medio del uso del SAD como herramienta de adquisición y registro de información.

### Ambiente

El momento de experimentación se realiza en el laboratorio de soldadura, con los equipos de soldadura, los implementos de seguridad, el SAD y los insumos dispuestos debidamente.

### Recursos

Guía para cada estudiante, guía del docente, SAD, auxiliar SAD, laboratorista de soldadura, placas de acero, electrodo, gas, equipo e implementos de seguridad, guía de evaluación y registro para docente y evaluador.

### Contenido 1

#### *Prevención de riesgos en la soldadura*

Para iniciar el momento de experimentación, se propone la identificación y descripción de riesgos de seguridad y los implementos necesarios para una aplicación segura de soldadura [4].



### **Actividad 1**

#### ***Identificación de elementos de seguridad***

Los estudiantes identifican y describen los elementos de seguridad y las condiciones adecuadas para el área de trabajo.



### **Actividad 2**

#### ***Identificación de los componentes del equipo de soldadura GMAW***

Los estudiantes identifican los componentes del equipo de soldadura GMAW y describen el funcionamiento de cada uno dentro del sistema mediante componentes, controles, variables y puntos de operación. Es necesario disponer de los manuales de operación de la fuente de potencia y fuente de alimentación como material complementario y necesario.

## **Momento de socialización 1**

Poner en común las dos actividades anteriores, con el fin de solucionar dudas y generar consenso en torno a los conceptos abordados.

## **Contenido 2**

### ***Sistema de Adquisición de Datos —SAD—***

Anexo a la UDT se presenta el manual de uso del SAD; para esta se recomienda un relacionamiento previo con el sistema, a lo cual procede el docente, con el fin de familiarizar a los estudiantes con el funcionamiento y uso del sistema, dando a conocer sus principales características y su forma de uso; así mismo, expone el formato en el que el sistema entrega la información adquirida del proceso.



### Actividad 3

#### Evaluación del WPS

Cada equipo de trabajo realizará las aplicaciones de soldadura, según lo establecido en los WPS y, de manera sistemática, registrará la información en las guías y en el formato de PQR.

Teniendo en consideración la disponibilidad de equipos, personal de apoyo e insumos, el docente distribuirá el orden en que se realizarán las pruebas; así mismo, coordinará los tiempos de ejecución.

#### Propuesta de distribución del tiempo

Momento de contextualización	Tiempo estimado
Contenido 1	15 min
Actividad 1	
Contenido 2	15 min
Actividad 2	
Contenido 3	20 min
Actividad 3	
Contenido 4	55 min
Actividad 4	
Contenido 5	30 min
Actividad 5	

## Contenido 3

### *Inspección visual del cordón de soldadura*

Con el fin de contar con herramientas conceptuales que posibiliten la validación del proceso de soldadura, se presenta la descripción de las

principales discontinuidades e imágenes de referencia para su posterior uso en el análisis de los cordones aplicados. El docente puede ampliar el contenido, a partir de las disposiciones del código D1.1, cap. 6, parte C. [4, 20-21].



#### **Actividad 4** ***Inspección visual***

Como actividad de cierre, cada equipo de trabajo realizará la inspección visual de los cordones aplicados y registrará la información en formatos de PQR y de la UDT.

### **Momento de creación**



El momento de creación se plantea como la posibilidad de generar nuevos conocimientos, partiendo de la información y experiencia adquirida en los dos momentos anteriores. El desarrollo de este momento se realiza en una sala de cómputo, en donde los estudiantes disponen de herramientas informáticas y acceso a internet para generar un informe completo, integrando los datos adquiridos por medio del SAD con los resultados de la validación del WPS, por medio de inspección visual, y el registro en el PQR. Los resultados de cada equipo son presentados en formato digital y socializados.

### **Ambiente**

Sala de cómputo con equipos suficientes para los equipos conformados y acceso a internet.

## Recursos

Guías digitales para los estudiantes, guía del docente, computadores, video beam, guía de evaluación y registro para docente y evaluador.

## Contenido 1

### *Mapas de los modos de transferencia*

Como producto final se propone la creación de un mapa de los modos de transferencia. Estos son herramientas prácticas que admiten la selección de parámetros, de variables e insumos, basados en información experimental validada. Los mapas de los modos de transferencia están conformados por una relación entre el voltaje del arco y la corriente de la soldadura y dan la posibilidad de conocer la forma en la que se está dando la transferencia de masa (material de aporte) en el proceso de soldadura; con base en ello seleccionar el par coordinado (voltaje y corriente) que se requiera, conforme a la aplicación a realizar.

El contenido presenta la teoría básica referente a los mapas de los modos de transferencia, su importancia y uso práctico, además de presentar algunos ejemplos de mapas para condiciones diferentes a las definidas en la UDT [18].



#### **Actividad 1.1** ***Análisis de resultados***

Con el fin de integrar la información obtenida en las etapas de contextualización y experimentación, cada equipo completará la tabla de resultados presentada en la guía.



### Actividad 1.2

#### Mapa de modos de transferencia

La construcción del mapa de modos de transferencia permitirá a los estudiantes poner en práctica los conocimientos obtenidos, además de generar un recurso práctico que puede ser usado en futuras aplicaciones. Los mapas construidos por los estudiantes son socializados con el fin de llegar a un consenso común, discutir inquietudes y corregir posibles errores.



### Actividad 1.3

#### Conclusiones

La redacción de las conclusiones permitirá a los estudiantes poner de manifiesto los conocimientos adquiridos a lo largo de la UDT.

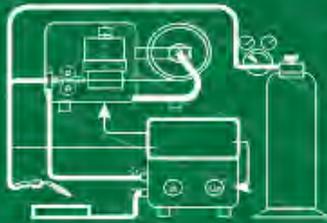
#### Propuesta de distribución del tiempo

Momento de contextualización	Tiempo estimado
Contenido 1.1	15 min
Actividad 1.2	30 min
Actividad 1.3	45 min
Actividad 1.4	45 min

# Guía del estudiante

## Modos de transferencia en el proceso de soldadura GMAW

Proceso de soldadura por arco de metal y gas GMAW



# UDT



## Momento de contextualización

### Contenido 1

#### *Aprendizaje colaborativo*

Generalmente hay tres posibilidades de enfrentar el proceso de aprendizaje. La más tradicional ha sido la educación basada en la competencia, en la que cada estudiante busca ser mejor que el otro, creando una interdependencia negativa: *el fracaso del otro es mi éxito*. Por otro lado, está la educación basada en el individuo, en la que cada estudiante conserva sus propias dinámicas, independientes de sus pares, con una interdependencia neutra: *lo que hace el otro no me afecta*. Por último, está la educación basada en la cooperación, en la que los estudiantes asumen el proceso de manera conjunta y con objetivos comunes, lo cual genera interdependencias positivas: *si al otro le va bien a mí también*.

En esta UDT se propone el aprendizaje colaborativo como metodología pedagógica, teniendo como fundamento algunas características que posibilitan generar y potenciar aprendizajes técnicos de manera social y activa, lo que deriva en el desarrollo de habilidades interpersonales, a la vez que fomenta la responsabilidad individual y colectiva.

Un aspecto importante del aprendizaje colaborativo es el trabajo en pequeños equipos (tres a cinco estudiantes), que favorece el intercambio de ideas y la participación activa de cada uno. Para garantizar esta participación, cada estudiante debe asumir un rol teniendo en cuenta sus capacidades, habilidades, conocimientos y experiencias. Cabe reiterar que para el adecuado desarrollo de las actividades se deben conformar equipos variados, balanceados y compatibles.



### Actividad 1.1

#### Grupo o equipo, ¿cuál es la diferencia?

Para comprender mejor en qué consiste el aprendizaje colaborativo, se propone un paralelo entre las situaciones vividas por un equipo de fútbol en la cancha y un grupo de caminantes en una montaña.

A partir de la discusión común de las dos situaciones anteriores, describa en la tabla 1 las similitudes y diferencias entre ellas, considerando las preguntas de la primera columna.

**Tabla 1.** Paralelo entre grupo y equipo

	Grupo de caminantes	Equipo de futbol
¿Quién lidera?		
¿Qué hay que hacer?		
¿Quién hace?		
¿Quién responde?		
¿Quién gana méritos?		
¿A quién se evalúa?		
¿Quién decide?		
¿Quién sabe hacerlo?		



### Actividad 1.2

#### Selección de roles

En el momento de asumir un rol es necesario considerar las capacidades, habilidades, conocimientos, gustos y experiencias de cada uno. A continuación, se presentan los cinco roles necesarios para el desarrollo de la UDT.

Una vez leídos los siguientes roles, formar equipos de cinco personas, ocupando cada uno de los roles propuestos. Dar un nombre para el equipo y registrar la información en la tabla 2.

**Tabla 2.** Registro de roles

Nombre del equipo:	
Nombre de los integrantes del equipo	Rol seleccionado
	Técnico
	Supervisor
	Redactor
	Comunicador
	Mediador

## Técnico

Administra y gestiona insumos, materiales y equipos. Supervisa, valida y suministra información de los procedimientos que se llevan a cabo durante el desarrollo de la UDT.

## Supervisor

Controla el tiempo de desarrollo de la UDT, orienta el trabajo del equipo, revisa las instrucciones y distribuye actividades.

## Redactor

Fomenta la participación, toma notas sobre las discusiones y procedimientos, redacta el informe del equipo y diligencia los formatos.

## Comunicador

Monitorea el comportamiento y avance del equipo; recoge, resume y expresa las conclusiones del equipo, y genera diálogo e interacción con los otros equipos.

## Mediador

Promueve y motiva la participación activa de todos los miembros del equipo, media en la solución de conflictos, cuestiona sobre ideas y conclusiones, y ofrece alternativas.

## Contenido 2

### *La soldadura en la historia*

Contemplar el desarrollo de la soldadura, desde un aspecto histórico, puede ayudar a comprender las implicaciones actuales de este proceso industrial y los avances en la técnica que hicieron posible que hoy en día existan sofisticadas máquinas y materiales, los cuales facilitan el uso masificado de la soldadura en la construcción de diversas estructuras y objetos fundamentales para el funcionamiento del mundo contemporáneo.

El verbo *soldar* hace referencia a unir fuertemente, de manera indisoluble; acción que el ser humano viene realizando hace más de cuatro mil años sobre materiales metálicos y, más recientemente, sobre polímeros y cerámicos.

Durante la llamada Edad de Bronce se desarrolló este material en las regiones de Asia menor y Grecia, producto de la aleación de cobre y estaño. Para unir piezas en bronce se usaba la forja, proceso que consiste en aplicar calor y golpes para fusionar las piezas, método que se mantuvo por un largo periodo alcanzando grandes avances hasta llegar a la actualidad. Es usado, principalmente, en labores artesanales.

El desarrollo de nuevos materiales, como el cobre y el hierro, trajo consigo nuevos problemas por solucionar como la cantidad de calor que se debía aplicar y la forma de hacerlo. El desarrollo de la soldadura por gas permitió avanzar en estas cuestiones. Este proceso, inicialmente, mezclaba el oxígeno y el hidrógeno para generar una llama lo suficientemente potente como para fundir los metales a unir, pero presentaba el inconveniente de ser inherentemente oxidante. A finales del siglo XIX se empiezan a usar mezclas de oxígeno y acetileno que permiten obtener una llama más potente. Para 1903 este descubrimiento ya era usado en Europa en procesos de soldadura a nivel industrial.

Durante el siglo XIX, y más decididamente en el XX, el desarrollo de la electricidad abrió el camino para la soldadura por arco eléctrico y por resistencia. Lo anterior facilitó el auge de nuevas industrias como la automovilística; posteriormente, la aparición de nuevos materiales dio paso a los primeros electrodos metálicos y con recubrimientos, con el fin de proteger las piezas soldadas del efecto corrosivo de la atmósfera.

Durante las dos guerras mundiales se produjeron importantes avances en la técnica de soldadura. En 1920 se introduce la soldadura automática con suministro constante de electrodo; posteriormente, en 1942, se combina con la inclusión de gases activos e inertes como atmósfera protectora, lo que permitió el desarrollo y aplicación industrial de la soldadura con arco de metal y gas GMAW, asunto que tuvo relevancia para la soldadura de aluminio y para el ulterior avance de la industria aeronáutica.

La tecnología microelectrónica moderna favoreció la aparición de fuentes de poder para el proceso GMAW cada vez más estables, eficientes y automatizadas, lo que permitió obtener mayor rendimiento en los procesos, reducir el tamaño de los equipos, aumentar la velocidad de soldadura y permitir diversas posiciones para soldar. Estos factores hacen que en la actualidad el proceso GMAW sea uno de los más usados en el ámbito industrial y siga siendo objeto de investigaciones e innovación.

En la segunda mitad del siglo XX y hasta hoy se han desarrollado múltiples procesos de soldadura —como soldadura por rayos de electrones y rayos láser— con diversas aplicaciones en todos los campos industriales —desde soldadura bajo el agua hasta reparaciones en el espacio— [22].



## Actividad 2

Realizado este breve panorama histórico, sumado a los conocimientos, necesidades y experiencias previas de cada uno, completar:

Las expectativas que se tienen a la hora de estudiar el proceso de soldadura GMAW son: \_\_\_\_\_

---

---

---

Los aspectos teóricos y prácticos del proceso GMAW que más le interesan son: \_\_\_\_\_

---

---

---

Considerando las respuestas anteriores, escriba las preguntas que surgen respecto al proceso de soldadura GMAW: \_\_\_\_\_

---

---

---

Conocer el punto de vista del otro, sus intereses y preguntas, puede revelar algunas cuestiones útiles para el estudio de cualquier tema. Por esto, es importante compartir con los otros equipos las expectativas y preguntas expresadas anteriormente y complementar la propia información en caso de considerarlo necesario.

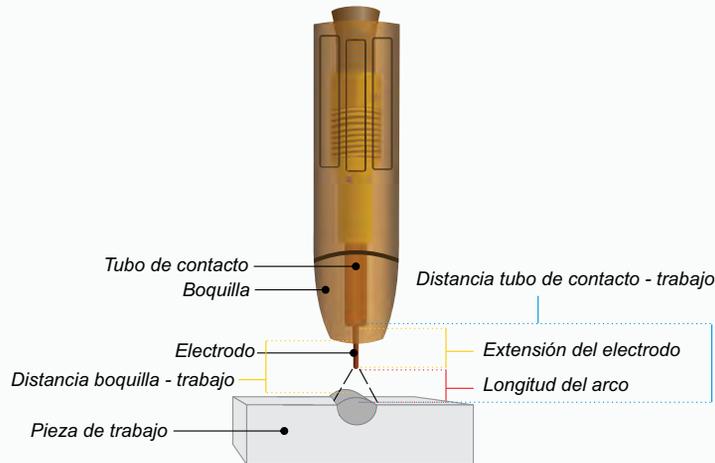
## Contenido 3

### *El proceso GMAW y sus modos de transferencia*

El proceso de soldadura por arco eléctrico con protección gaseosa —conocido comúnmente por sus siglas en inglés como GMAW—, emplea un arco eléctrico entre un alambre continuo (electrodo) y la pieza de trabajo. El arco eléctrico funciona como fuente de calor necesaria para fundir el alambre y así proveer el material de aporte. El alambre puede ser sólido o tubular y es suministrado al proceso de manera continua y controlada.

El proceso GMAW dispone de una protección gaseosa suministrada externamente que actúa como atmósfera protectora; según la naturaleza del gas usado, se tendrán dos clasificaciones: si es un gas activo se denomina MAG (Metal Active Gas), si es un gas inerte se denomina MIG (Metal Inert Gas). La selección del gas dependerá de las condiciones y requerimientos técnicos. Este proceso se caracteriza por su versatilidad para ser aplicado en todas las posiciones de soldadura, su facilidad para ser automatizado y robotizado, la homogeneidad en la calidad de los cordones y la posibilidad de ser usado para aplicar una amplia gama de materiales, incluso aquellos que tienen problemas de soldabilidad.

Antes de continuar es necesario definir algunos nombres que se usarán a lo largo de la UDT. En la figura 1 se presenta un diagrama general de la zona del arco y la nomenclatura usada.



**Figura 1.** Nomenclatura de la zona del arco.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan algunos componentes del proceso GMAW de manera más detallada.

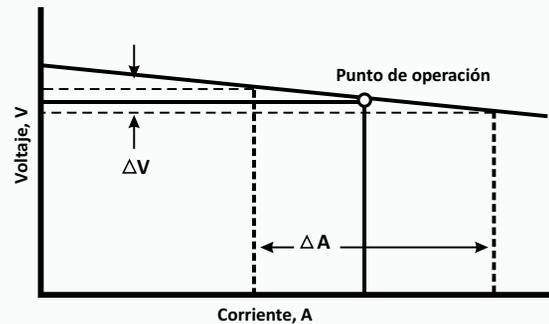
## Fuente de potencia

Es la encargada de suministrar la energía eléctrica al circuito formado por los cables que salen de la fuente hacia la pistola y de allí hacia la pieza de trabajo (material base). Por lo general, se usa alimentación de corriente continua con electrodo positivo; es decir, la terminal positiva de la fuente se conecta a la pistola y la negativa a la pieza de trabajo. Un aspecto importante a tener en cuenta en el proceso GMAW es su carácter semiautomático, que se encarga de mantener constante la extensión del electrodo (*stick out*) con el fin de obtener un arco estable y así garantizar características deseadas del cordón de soldadura, como la penetración y dilución. Para controlar la extensión del electrodo, el proceso cuenta con una unidad de control que relaciona las variables eléctricas de corriente y voltaje con los parámetros de operación de velocidad de alimentación de electrodo y longitud de arco, respectivamente.

Las fuentes de potencia para el proceso GMAW presentan dos variantes. El primer tipo es la fuente de voltaje constante y velocidad de alimentación constante, donde se controla el nivel de corriente, en función de la longitud de arco; esto es, las variaciones en el voltaje (longitud de arco) son compensadas con cambios en la intensidad de la corriente. Este comportamiento se aprecia en la figura 2.

**Figura 2.** *Relación corriente/voltaje en una fuente de voltaje constante.*

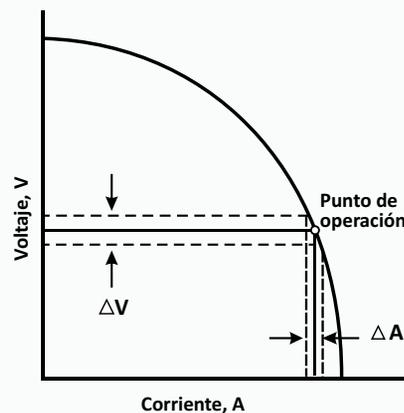
Fuente: Traducida y tomada de: Lincoln Electric. GMAW Welding Guide. The Lincoln Electric Company, 2006.



El segundo tipo son las fuentes de corriente constante. Operan modificando la velocidad de alimentación del electrodo cuando se presentan cambios en el nivel de voltaje. Este comportamiento se presenta en la figura 3.

**Figura 3.** *Relación corriente/voltaje en una fuente de corriente constante*

Fuente: Traducida y tomada de: Lincoln Electric. GMAW Welding Guide. The Lincoln Electric Company, 2006.



La configuración de la fuente de potencia requiere de práctica y conocimiento por parte del operario. Los principales controles que se manipulan son el voltaje de arco y la velocidad de alimentación.

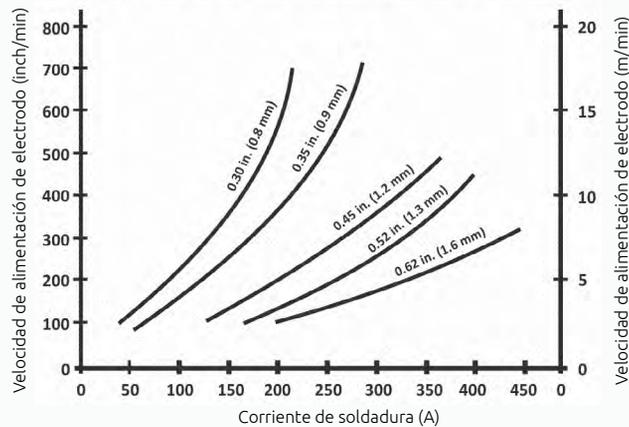
La corriente de soldadura se define con la velocidad de alimentación y el diámetro del electrodo; a mayor velocidad mayor corriente y un arco más corto. Por otro lado, al aumentar el voltaje, aumenta la longitud del arco y afecta de manera indirecta la corriente. Los niveles de voltaje y velocidad de alimentación se deben variar según el diámetro del electrodo y de manera correlacionada. Con niveles altos de velocidad de alimentación y bajos de voltaje se tendrán intermitencias en la fusión del electrodo, lo que podría ocasionar faltas de fusión o faltas de llenado en el material base. En el caso contrario, con un nivel alto de voltaje y bajo de velocidad de alimentación, se genera salpicadura; esto puede aumentar la zona afectada térmicamente (ZAT).

Una correcta configuración del voltaje y la velocidad de alimentación, se reflejará en un arco estable, un sonido uniforme y un cordón parejo. Una buena indicación visual para verificar que la relación voltaje/velocidad de alimentación es adecuada radica en inspeccionar la morfología y color del cordón de soldadura. En la tabla 3 se muestran algunos diámetros de electrodos y sus respectivos niveles de corriente.

Los niveles de corriente son aproximados y se deben comparar con los suministrados por el proveedor del electrodo. La figura 4 permite encontrar una relación aproximada entre los niveles de corriente y la velocidad de alimentación para diferentes diámetros de electrodos de acero al carbón.

**Tabla 3.** Rangos aproximados de niveles de corriente para algunos diámetros de electrodo

Diámetro de electrodo (mm)	Niveles de corriente (A)
0,6-0,8	100 máx.
0,9-1,2	100-200
1,2-1,4	200-350
1,6-2,0	350 min.



**Figura 4.** Relación velocidad de alimentación/corriente para electrodos de acero al carbón

Referencia: Kita-Shinagawa, Shinagawa-Ku, "Essential factors in Gas Metal Arc Welding", Tokio, Japón. Ed: Kobe Steel, LTD 2011, p. 8.

## Atmósfera protectora

El proceso GMAW cuenta con una alimentación externa de gas, que puede ser activo, inerte o una mezcla de ellos, y tiene como función principal la de proteger la soldadura aplicada del efecto corrosivo del medio ambiente. No obstante, el tipo de gas también afecta directamente las características del arco, la quema de los materiales maleables presentes en el electrodo, la absorción de nitrógeno, carbono y oxígeno, el modo de transferencia y la tasa de deposición, así como la formación y emisión de humo.

La selección del gas protector se debe hacer teniendo en cuenta el material a soldar, el material de aporte, el modo de transferencia a usar, la forma del cordón, la velocidad de soldeo y los costos económicos. A continuación, se presentan diferentes gases empleados en la protección del arco en el proceso GMAW y su influencia en diferentes características como la estabilidad de arco y la soldadura obtenida:

- **Gases inertes:** son aquellos que no reaccionan químicamente con otros elementos químicos para formar compuestos. Los siguientes son usados en el proceso GMAW para soldar materiales no ferrosos y aceros inoxidables principalmente:
  - Argón (*Ar*). Es el gas más usado en el proceso GMAW, debido a que es un gas inerte, lo que posibilita que no reaccione con los elementos químicos presentes en el proceso. Sin embargo, es el gas más caro y por tal motivo se trata de usar en mezclas con otros gases (como el dióxido de carbono o helio). Presenta una buena estabilidad de arco, bajo aporte de calor y baja penetración. Facilita el inicio del arco y permite longitudes de arco más cortas.
  - Helio (*He*). Un alto contenido de helio en la mezcla del gas genera gotas más grandes con una frecuencia de desprendimiento más baja. La gota desprendida contiene una mayor energía y esto se ve reflejado en una mayor temperatura en la pieza de trabajo. El cordón obtenido con gases ricos en helio tiene menos penetración que con gases ricos en argón.
- **Gases activos.** Bajo ciertas condiciones, se pueden combinar con otros elementos químicos y formar compuestos. Se emplean, generalmente, para soldar aceros al carbón y de baja aleación. En el proceso GMAW se emplean principalmente los siguientes gases:
  - Dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Generalmente, se trata de tener mezclas de gas con  $CO_2$  para disminuir costos; sin embargo, la adición de este gas en la mezcla disminuye la estabilidad del arco y requiere mayores niveles de voltaje. Presenta tasas de deposición más bajas y decrece la calidad del cordón de soldadura.
  - Oxígeno ( $O_2$ ). El oxígeno permite obtener arcos más estables, elevar la temperatura del arco y reducir la tensión superficial del metal líquido. Este gas también expande las zonas de conducción eléctrica a medida que aumenta su concentración en la mezcla.

Los gases mencionados anteriormente se suelen usar en combinaciones en las que el argón es el gas predominante. En la tabla 4 se presentan algunas combinaciones posibles, sus características y los modos de transferencia que se pueden obtener.

**Tabla 4.** *Combinaciones de gases de protección, características y modos de transferencia que se pueden obtener.*

Combinaciones	Características	Modos de transferencia posibles
Ar + CO <sub>2</sub>	Estabilidad de arco normal. Aporte térmico moderado. Salpicadura moderada, aumenta con más CO <sub>2</sub>	Cortocircuito. Globular. Aspersión (hasta el 20% de CO <sub>2</sub> ).
Ar + O <sub>2</sub>	Estabilidad de arco buena. Aporte térmico moderado. Salpicadura moderada.	Corto circuito. Globular. Aspersión.
CO <sub>2</sub>	Estabilidad de arco normal. Aporte térmico alto. Salpicadura alta.	Corto circuito.

## Modos de transferencia

Por modos de transferencia (MdeT) se hace referencia a la forma en que se genera la gota de metal fundido en la punta del electrodo y es transferida al charco de soldadura. Una correcta selección del MdeT afecta la eficiencia y productividad del proceso de soldadura.

Según la configuración de los parámetros operacionales del proceso, como la velocidad de alimentación y voltaje, el diámetro y composición del electrodo y la composición del gas protector, entre otros, es posible obtener diferentes modos de transferencia de metal.

Se consideran modos de transferencia fundamentales aquellos que se dan de manera natural en el proceso GMAW. En este grupo se consideran dos divisiones: transferencia por corto circuito y transferencia en vuelo libre. Este

último se divide a su vez en transferencia globular y por aspersion. Aunque se pueden encontrar clasificaciones con hasta siete modos de transferencia, en esta guía abordaremos solo los tres modos señalados anteriormente, por tratarse de los más usados y estables.

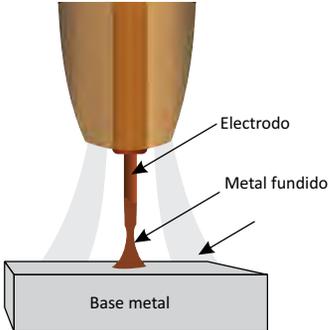
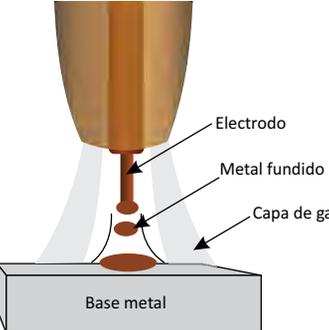
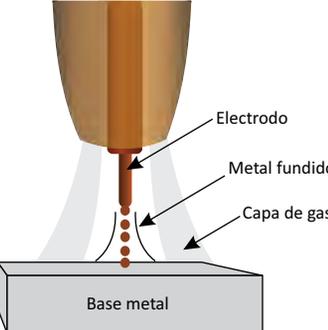
En el proceso de soldadura GMAW el electrodo es tanto la fuente de calor como la fuente de material de aporte; desde este se genera un flujo de masa de metal líquido que se forma en cinco fases:

- Formación de la gota de metal líquido en la punta del electrodo.
- Desprendimiento de la gota de metal líquido desde la punta del electrodo.
- Transferencia de la gota a través del arco.
- Formación del charco de soldadura.
- Solidificación

Lo anterior cumple para modos de transferencia donde la gota se desprende y «vuela» hasta el charco de soldadura; por el contrario, en el modo de transferencia por corto circuito, se presenta transferencia de masa únicamente cuando el metal fundido en la punta del electrodo entra en contacto con el charco de soldadura, generando un cortocircuito en el sistema eléctrico y haciendo que el arco se extinga.

Al momento de seleccionar un modo de transferencia para un procedimiento específico, se deben considerar los requerimientos del procedimiento, las condiciones de aplicación, las características del equipo a usar, el espesor del material o parte a soldar, la transferencia de calor que pueda efectuarse, la penetración, la dilución, la posición de soldadura, la fuente de potencia y el material de aporte. En la tabla 5 se presentan algunas características generales de los tres modos de transferencia descritos anteriormente.

**Tabla 5. Características generales de los tres modos de transferencia**

Corto circuito	Globular	Aspersión
<p>20 a 200 cortos por segundo. Corriente baja-moderada. Voltaje bajo. Baja energía de arco. Bajo aporte de calor. Sonido fluctuante. Independencia de la gravedad, no hay vuelo de gota. Permite obtener cordones planos. Nivel de salpicadura depende de una correcta calibración. Permite soldar en todas las posiciones. Recomendado para espesores delgados entre 0,6 y 5 mm Se emplean electrodos delgados entre 0,58mm a 1,14mm El gas más empleado es y mezcla de 75 % Ar y 25 % Niveles de voltaje y corriente típicos: 16-22V 50-150A</p>	<p>Cinco gotas por segundo en promedio. Gotas con diámetro mayor De al diámetro del electrodo. Corriente alta. Voltaje medio o alto. Sonido más estable que en corto circuito. Vuelo de las gotas por fuera del eje axial. Cordón irregular. Para disminuir salpicadura se puede trabajar con arco sumergido. Aplicación de soldadura en posición plana y horizontal. Para aceros al carbón se trabaja con 100 % Mayor tasa de deposición. Niveles de voltaje y corriente típicos: 20-35V 70-250A</p>	<p>Más de 200 gotas por segundo. Gotas con diámetro menor al diámetro del electrodo. Corriente alta, mayor a la corriente de transición. Voltaje moderado. Sonido estable. Alto aporte de calor. Vuelo axial de las gotas. Baja salpicadura. Posibilita soldar en diferentes posiciones. Espesores gruesos de metal base. Se recomienda un mínimo de 80 % Ar como gas protector. Alta tasa de deposición. Mayor exigencia al operario. Niveles de voltaje y corriente típicos: 24-40V 150-500A</p>
		

Fuente: elaboración propia



### Actividad 3

#### Situaciones y soluciones

Considerando la información presentada hasta el momento, realice las actividades propuestas a continuación.

En la tabla 6 se presentan diferentes diámetros de electrodo de acero al carbón. Determine en cada caso si el nivel de corriente y velocidad de alimentación son adecuados; de no ser así proponga nuevos valores

**Tabla 6.** Actividad de análisis de situaciones en la relación de corriente y velocidad de alimentación para diferentes diámetros de electrodos

Diámetro de electrodo (mm)	Corriente (A)	Vel. de alimentación (m/min)	¿Es posible?
0,76	90	5	
0,9	150	12	
1,02	70	8	
1,14	250	10	
1,6	300	4	

Para un metal base de acero al carbón de diferentes espesores, primera columna de la tabla 7, considere para cada caso si el modo de transferencia y la atmósfera protectora propuestos son adecuados. Proponga alternativas en los casos en que no lo sean.

**Tabla 7.** Actividad de análisis de situaciones en la relación de MdeT y gas protector para diferentes espesores de material base

Espesor de metal base (mm)	Modo de transferencia	Gas	¿Es posible?
6	Cortocircuito	100% CO <sub>2</sub>	
0,6	Cortocircuito	25% CO <sub>2</sub> + 25% Ar	
2	Globular	100% CO <sub>2</sub>	
4	Globular	100% CO <sub>2</sub>	
5,5	Aspersión	100% Ar	
5,5	Aspersión	100% CO <sub>2</sub>	
1	Aspersión	100% Ar	

## Contenido 4

### *¿Por qué se dan los modos de transferencia?*

Comprender los fenómenos físicos que generan los MdeT ayuda a entender a fondo la naturaleza del proceso GMAW y a alcanzar criterios conceptuales que complementen los criterios técnicos para manipular y aplicar soldadura.

La formación y desprendimiento de una gota de metal líquido en el proceso GMAW, depende de la selección de parámetros operacionales tal como se mostró anteriormente. Ahora, lo importante es comprender por qué una determinada configuración de parámetros genera un MdeT específico. Para esto, es necesario describir las interacciones entre diversas fuerzas físicas presentes en la zona del arco de la soldadura.

El estudio de las fuerzas físicas y sus consecuencias sobre los MdeT han sido investigadas con el fin de comprender, mejorar y aportar conocimientos sobre el proceso GMAW. En esta UDT se mencionarán las fuerzas más relevantes, su origen y consecuencias sobre la formación y desprendimiento de las gotas de metal líquido. Se considerarán dos tipos de fuerzas que interactúan entre sí: las fuerzas de retención, que mantienen el metal líquido en la punta del electrodo; y las fuerzas de desprendimiento, las cuales, al superar en magnitud a las primeras, logran el desprendimiento del metal fundido y la deposición final en el charco de soldadura.

### Fuerzas de retención

- **Tensión superficial.** El metal en estado líquido posee una tensión superficial que mantiene la gota en formación unida al electrodo. Esta fuerza está en función de la constante de tensión superficial del metal en estado líquido y del diámetro del electrodo.

- **Electromagnética.** El flujo de corriente a través del electrodo, incluyendo la gota, genera un campo magnético circular alrededor del electrodo. La fuerza electromagnética (FEM) depende principalmente de la corriente de soldadura y se ve afectada por la composición química del electrodo y del gas protector. El efecto de la fuerza electromagnética se vuelve dominante con el incremento de la corriente y, bajo ciertas condiciones, puede convertirse en una fuerza de retención, lo que puede crear desprendimientos erráticos de gotas.

## Fuerzas de desprendimiento

- **Electromagnética.** La FEM genera un fenómeno importante llamado *efecto de estrangulamiento electromagnético*, el cual se da por los campos electromagnéticos originados por el flujo de corriente que producen fuerzas radiales y hacia adentro, «estrangulando» el electrodo y formando la gota de metal líquido hasta su final desprendimiento.
- **Fuerza gravitacional.** Hace referencia a la fuerza que ejerce la gravedad sobre cualquier cuerpo, en este caso, la gota en formación, y está en función de la masa de la gota, lo cual implica que a mayor tamaño de la gota, mayor será la fuerza ejercida por la gravedad.
- **Fuerza de arrastre aerodinámico.** Considerando un flujo de gas uniforme sobre una esfera de metal fundido, se tiene que el flujo del gas protector ejerce una fuerza que ayuda al desprendimiento de la gota.

## Efectos de las fuerzas de desprendimiento y retención en cada modo de transferencia

- **Cortocircuito.** En este modo de transferencia, el electrodo toca el charco de soldadura generando un cortocircuito. Durante este momento, a través del electrodo, el flujo de corriente aumenta y el voltaje se

extingue, calentando y fundiendo el metal hasta depositarlo en el charco. Después de esto el cortocircuito finaliza y el arco eléctrico es nuevamente establecido. En este MdeT la fuerza de tensión superficial y el efecto de estrangulamiento tienen mayor relevancia.

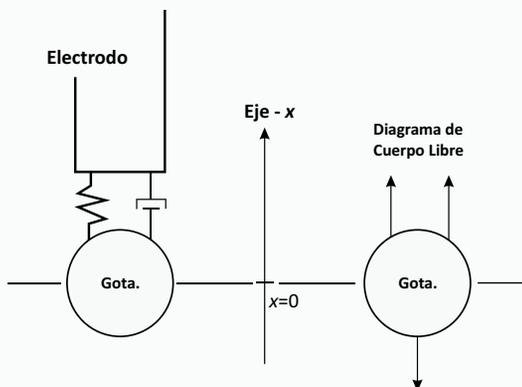
- **Globular.** Este modo de transferencia se alcanza con niveles bajos y medios de corriente y niveles altos de voltaje, con la consecuencia de incrementar la extensión del electrodo. La gota en formación es retenida por la tensión superficial hasta alcanzar la suficiente masa como para que la fuerza gravitacional supere la de tensión superficial y sea desprendida.
- **Aspersión.** Al superar el nivel de la corriente de transición y con altos niveles de voltaje se obtienen gotas con diámetros inferiores o iguales al del electrodo. La fuerza electromagnética es especialmente fuerte en este MdeT, lo que genera el rápido desprendimiento de gotas, gracias al efecto de estrangulamiento.



#### Actividad 4

##### Fuerzas en una gota de metal

A continuación, se presenta un diagrama de cuerpo libre en el cual la gota de metal líquido es asumida como una esfera. Ubique las fuerzas que actúan sobre la gota, según sean de retención o desprendimiento.



**Figura 5.** Diagrama de cuerpo libre para una gota de metal

Fuente: Tomado y traducido de: Advanced Control Methods for Optimization of Arc Welding. Ph.D. Thesis Jesper Sandberg Thomsen Aalborg University, 2004

## Contenido 5

### *Diseño y evaluación de procedimientos WPS y PQR*

Con el fin de garantizar la replicabilidad, calidad y seguridad en los procedimientos de soldadura, existen normas técnicas que reglamentan en el contexto mundial la aplicación de soldadura, estableciendo códigos, recomendaciones, clasificaciones y guías. Estas normas son redactadas por organizaciones como la American Society for Testing and Materials (ASTM), American Welding Society (AWS) y la Organización Internacional de Normalización (ISO).

En el marco de estas normas, el diseño de procedimientos de soldadura WPS (Weldin Procedure Specification) es un documento que contiene las directrices para la aplicación de soldadura cumpliendo con los códigos establecidos. Dentro de la información especificada en un WPS se tienen tres tipos de variables: esenciales, esenciales complementarias, no esenciales e información adicional necesaria para la aplicación. Cada proceso de soldadura tiene sus variables características. Las variables esenciales son aquellas que ante su variación en la aplicación generan cambios significativos en la junta obtenida, que pueden afectar propiedades mecánicas, generar distorsiones, entre otras. Si alguna de estas variables es modificada, el WPS se debe evaluar nuevamente. En la tabla 8 se presenta un resumen de las variables fundamentales.

**Tabla 8.** *Resumen de las variables esenciales para el diseño de un WPS*

<b>Electrodo: diámetro y clase</b>	<b>Posición de soldadura</b>	<b>Tratamientos térmicos</b>	<b>Información de registro de procedimiento</b>
Metal base	Capas de soldadura	Diseño de junta	Proceso
Metal de aporte	Corriente-Vel. de alimentación	Velocidad de soldadura	Técnica de soldadura
Gas protector	Voltaje	Tipo y polaridad de corriente	Metal de aporte

De acuerdo con la norma AWS D1.1, se consideran las siguientes variables esenciales para el proceso GMAW:

- Aumento en el esfuerzo del material de aporte. Cambio para un electrodo no especificado en la AWS A5,18 o A5,23. Cambio en el número de electrodos.
- Cambio en el amperaje para cada diámetro usado (superior al 10% de aumento o disminución).
- Cambio en el tipo de corriente (AC o DC), en la polaridad o en el modo de transferencia.
- Cambio en el voltaje utilizado para cada diámetro (superior al 7% de aumento o disminución).
- Aumento o disminución en la velocidad de alimentación del alambre para un diámetro dado, cuando el amperaje no es controlado. El cambio debe ser superior al 10 %.
- Cambio en la velocidad de aplicación (a menos que se requiera un control de temperatura). El cambio debe ser superior a un 25% de aumento o disminución de la velocidad de aplicación.
- Cualquier incremento superior al 10% en la entrada de calor.
- Cambio en el gas de protección.
- Cambio en el flujo del gas de protección (incremento superior al 50 % o disminución del 20%).
- Cambio en el gas de protección por uno no cubierto en la AWS A5.18 o A5.28.
- Cambio en la posición de soldadura.
- Cambio en el diámetro del electrodo o en el espesor del material base.
- Cambio en el material base.
- Aplicación de la soldadura en posición vertical.

- Cambio en el tipo de junta.
- Disminución de la temperatura de precalentamiento en 150°C.
- Disminución en la temperatura entre pases en 150°C.
- Cambio en el tratamiento térmico posterior a la soldadura.

Las variables esenciales complementarias son aquellas que afectan las propiedades de tenacidad de los materiales a bajas temperaturas y se deben especificar para algunos códigos.

Las variables no esenciales son aquellas que ante un cambio en su rango no afectan las propiedades mecánicas de la junta, entre estas el procedimiento de limpieza.

Una vez que el WPS es definido, se procede a la evaluación de este por medio de una Calificación del Procedimiento de Soldadura PQR, Procedure Qualification Record por sus siglas en inglés, en el que se detallan los rangos de calificación y se anexan los ensayos mecánicos realizados para validar el diseño del procedimiento.



### **Actividad 5**

#### ***Diseño y evaluación de procedimientos, WPS y PQR***

El WPS que se anexa en la guía está diseñado para realizar doce cordones de soldadura, cuatro de ellos para cada modo de transferencia. De acuerdo con ello, analice la información presentada en el WPS y complete la información en el formato de PQR, el cual servirá para realizar las prácticas en el momento de experimentación.

## Momento de experimentación



### Contenido 1

#### *Prevención de riesgos en la soldadura*

En la tabla 9 se presenta la descripción de los principales riesgos presentes durante el proceso de soldadura y las consideraciones concernientes para prevenirlos.

**Tabla 9.** Descripción de riesgos en el proceso de soldadura

Riesgo	Descripción	Prevención
Choque eléctrico	Las partes expuestas como bornes, electrodo y tierra pueden generar lesiones debido a la alta tensión.	Asegúrese de que el equipo posee un circuito de alimentación apropiado y en correctas conexiones. Siempre vestir ropa seca. Trabaje en espacios libres de humedad. Tener aislamiento en manos y calzado. Desconectar el equipo para realizar mantenimiento. Mantener limpias y organizadas todas las partes del equipo e insumos de soldadura.
Emisión de rayos ultravioleta	Durante el proceso de soldadura se emiten rayos ultravioleta que pueden quemar la piel expuesta y los ojos.	Cubrir por completo el rostro y la piel con vestimenta apropiada. Utilizar careta de protección con el número de lente adecuado.

Continuación **Tabla 9**

Riesgo	Descripción	Prevención
Emisión de campos electromagnéticos	Cuando la corriente circula por un conductor, se generan campos electromagnéticos que pueden interferir con marcapasos y generar otros problemas de salud aun no establecidos.	Poner juntos (paralelos), los cables de potencia (pistola y tierra). No enrollarse los cables alrededor del cuerpo. Conectar los cables lo más cerca posible del área de soldadura. No soldar cerca de fuente de potencia.
Emisión de gases	La fusión de los metales emite gases perjudiciales.	Realizar la soldadura en espacios ventilados y con extractor de humos, además de mascarillas apropiadas.
Desprendimiento de chispas	Durante el proceso de soldadura se desprenden chispas que pueden generar fuego y quemar a las personas.	Mantener el área de trabajo despejada, libre de material combustible. Identificar un extintor cerca.
Explosión del cilindro de gas	Este caso se puede dar cuando el cilindro de gas está mal instalado o con piezas en mal estado	Ubicar el cilindro a una distancia adecuada y protegido de chispas. Revisar periódicamente los componentes de conexión. Identificar un extintor cerca.

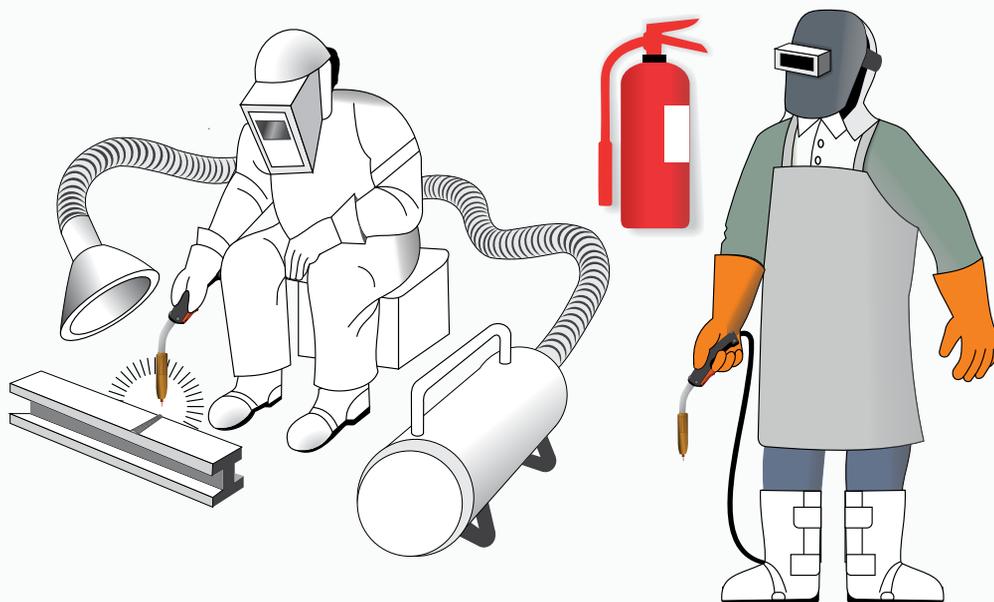
Fuente: elaboración propia



### Actividad 1

#### *Identificación de elementos de seguridad*

Considerando los riesgos de seguridad descritos anteriormente, identifique en la figura 8 los elementos de seguridad y disposiciones del área de trabajo necesarias para una aplicación segura de soldadura.



**Figura 6.** Elementos de seguridad y disposición del área de trabajo.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

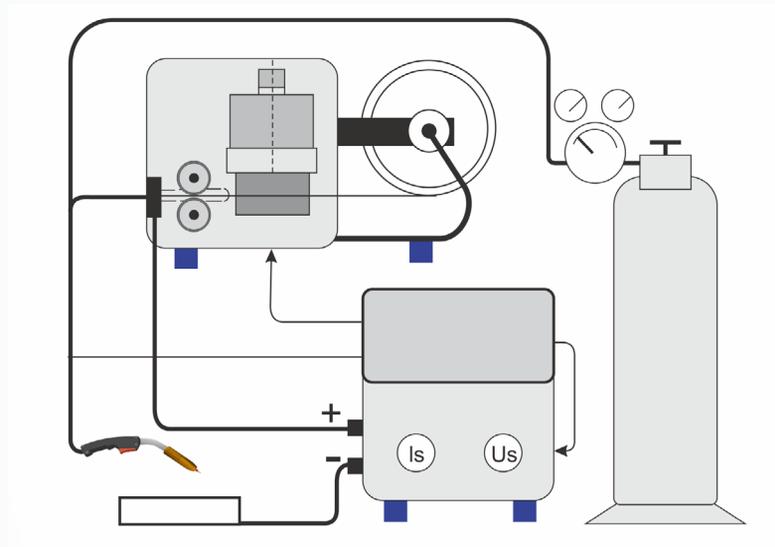
---



## Actividad 2

### Identificación de los componentes del equipo de soldadura GMAW

En la figura 9 se presenta un diagrama del equipo de soldadura GMAW. Identifique los componentes del equipo y describa brevemente cada uno, según su función en el proceso.



**Figura 7.** Identificación de los componentes del equipo de soldadura GMAW

---

---

---

---

---

---

---

---

## Contenido 2

### Sistema de adquisición de datos (SAD)

El sistema de adquisición de datos permite medir, filtrar, graficar, almacenar y analizar la dinámica de las variables medidas en el proceso de soldadura GMAW, específicamente el voltaje de circuito abierto y la corriente de soldadura. En la figura 10 se muestra el esquema general del SAD y su conexión al sistema.

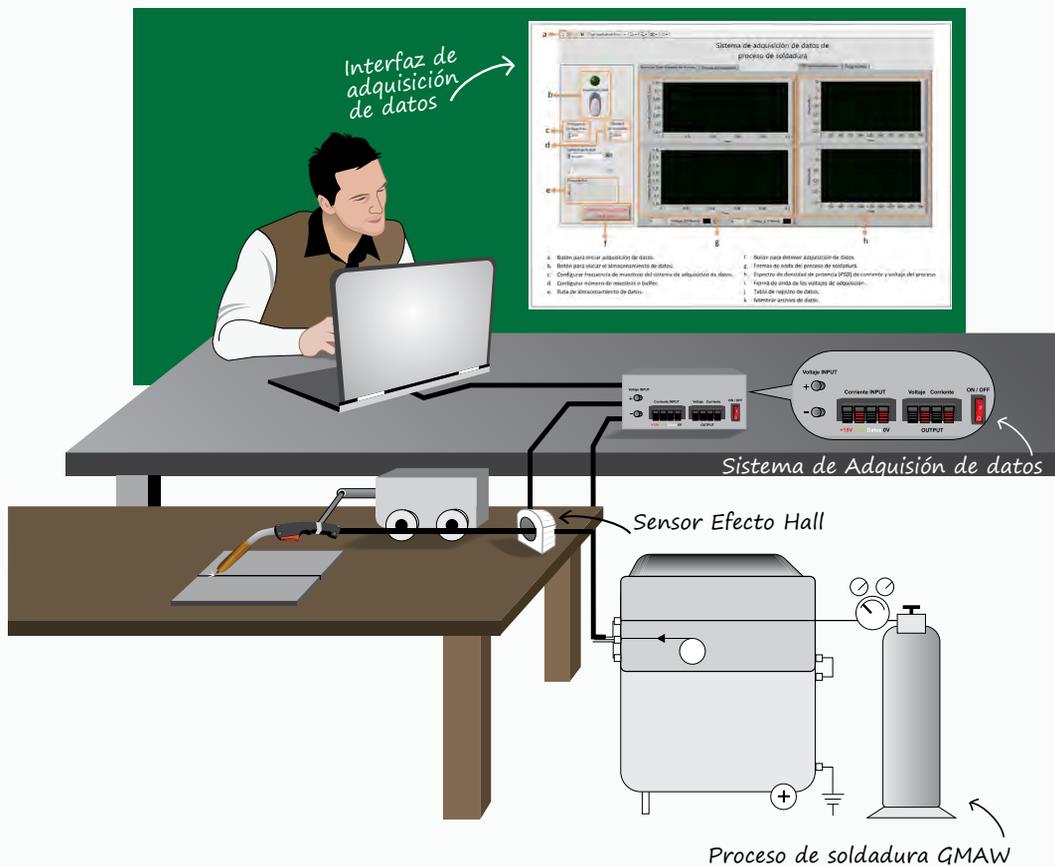
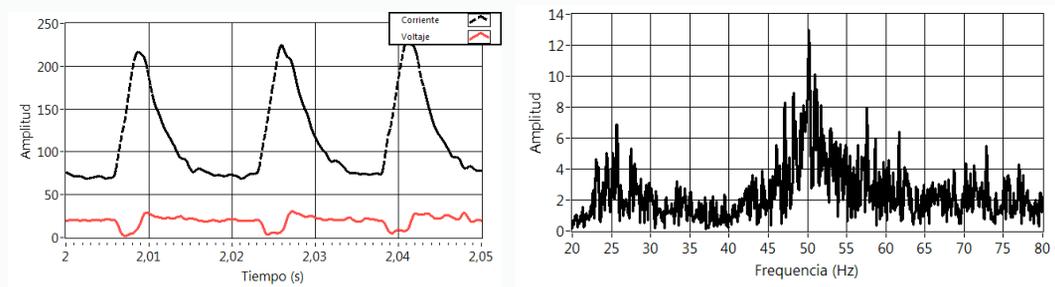


Figura 8. Sistema de Adquisición de Datos (SAD)

El SAD permite obtener valores promedio de las señales de corriente de soldadura y voltaje de arco, graficar las señales en el dominio del tiempo y de la frecuencia, y establecer relaciones entre el comportamiento de las señales y características del proceso, como la estabilidad y continuidad del cordón de soldadura. Para más detalles del funcionamiento del SAD, remítase al manual de usuario de la herramienta.

En la figura 11 se muestran algunos ejemplos de los datos adquiridos con el SAD y la forma en que son presentados en la interfaz de usuario.



**Figura 9.** Ejemplo de los datos y gráficas obtenidos por medio del SAD

Fuente: elaboración propia



### Actividad 3 Evaluación del WPS

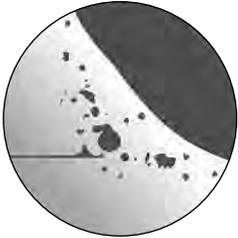
Para la calificación (PQR) del procedimiento propuesto (WPS) se debe tener en cuenta la distribución de roles y la dinámica de trabajo colaborativo propuesta, necesaria para la aplicación coordinada y segura del proceso de soldadura, garantizando que se disponga de los insumos necesarios, se registren adecuadamente los datos y todos participen activamente.

## Contenido 3

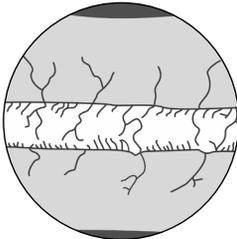
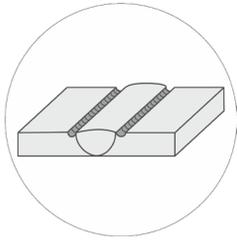
### *Inspección visual del cordón de soldadura*

Una discontinuidad en la soldadura se define como «una interrupción de la estructura física normal del material, tal como falta de homogeneidad en las características mecánica, metalúrgica o físicas del material o soldadura» [23]. Una discontinuidad será considerada un defecto según lo determine la norma que se use para evaluar el procedimiento, teniendo en cuenta el tamaño, ubicación, forma y orientación. Algunas discontinuidades pueden ser identificadas por medio de inspección visual, un método no destructivo que permite verificar si la soldadura cumple con los requerimientos establecidos por los códigos. En la tabla 10 se presenta una lista de las principales discontinuidades que se dan en la soldadura.

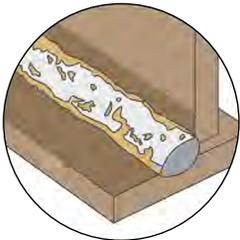
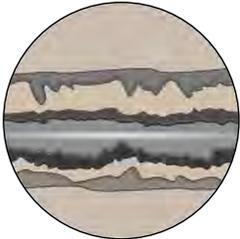
**Tabla 10.** *Discontinuidades más frecuentes en la soldadura*

Defecto	Causa	Solución	Imagen muestra
<b>Porosidad</b>	Electrodo contaminado o sucio	Usar solo insumos en buen estado y limpios	
	Voltaje alto	Disminución de voltaje	
	Extensión de electrodo muy larga	Reducir extensión y regular voltaje	
	Baja protección de gas por alta velocidad de soldeo	Disminuir velocidad de soldeo	
	Gas de protección contaminado	Usar gases y recipientes de calidad, limpiar mangueras y empaques antes de usar.	

Continuación **Tabla 10**

Defecto	Causa	Solución	Imagen muestra
<b>Falta de fusión o penetración</b>	El arco no llega hasta la raíz de la soldadura	Adecuar parámetros de soldadura: aumentar voltaje y corriente, disminuir extensión del electrodo	
	Mala manipulación de la pistola de soldadura	Distribuir el calor de manera uniforme en la zona de soldadura	
	Diseño inapropiado de junta	Rediseñar montaje para permitir desplazamiento adecuado de la pistola	
	Suciedad en las superficie	Limpiar y descartar si es necesario	
	Técnica de soldeo inadecuada	Adecuar técnica	
<b>Grietas</b>	Electrodo inadecuado	Revisar la composición del electrodo	
	Penetración excesiva	Disminuir velocidad de alimentación o aumentar voltaje	
	Alto aporte de calor	Aumentar velocidad de desplazamiento o disminuir voltaje y corriente	
	Enfriamiento rápido	Precalear y revisar secuencia de soldeo	
<b>Mordeduras -socavado</b>	Voltaje y/o corriente muy altos	Disminuir niveles	
	Movimiento lateral muy rápido	Hacer un movimiento más lento y detenerse en los bordes del cordón	
	Velocidad alta de desplazamiento	Disminuir velocidad	

Continuación **Tabla 10**

Defecto	Causa	Solución	Imagen muestra
<b>Agujeros</b>	Alta corriente	Disminuir la intensidad	
	Voltaje de arco bajo	Aumentar la tensión	
	Movimiento muy lento de la pistola	Aumentar velocidad de avance	
	Metal base muy caliente	Dejar enfriar entre pases	
	Metal base muy delgado	Definir nuevos parámetros de soldadura	
<b>Cordón irregular</b>	Mala selección de parámetros	Ajustan niveles de corriente y voltaje	
	Movimiento irregular de avance	Realizar un movimiento uniforme de la pistola	
	Avance irregular del alambre	Ajustar rodillos de tracción y revisar piezas involucradas	
	Inclinación excesiva de la pistola	Ajustar inclinación	
<b>Salpicaduras</b>	Inadecuada preparación térmica de la pieza, cuando se requiere	Ajustan niveles de corriente y voltaje	
	Inadecuada preparación térmica de la pieza, cuando se requiere	Precalentar y revisar secuencia de soldeo	

Fuente: Elaboración propia



#### **Actividad 4** **Inspección visual**

Considerando los diferentes tipos de discontinuidades presentadas en la tabla 9, realice una inspección visual de los cordones obtenidos en la actividad 3. Registre, además, todas las características físicas que pueda identificar en la geometría del cordón (alto y ancho del cordón). Identifique si se presentan discontinuidades; verifique diferencias entre los cordones.

## **Momento de creación**

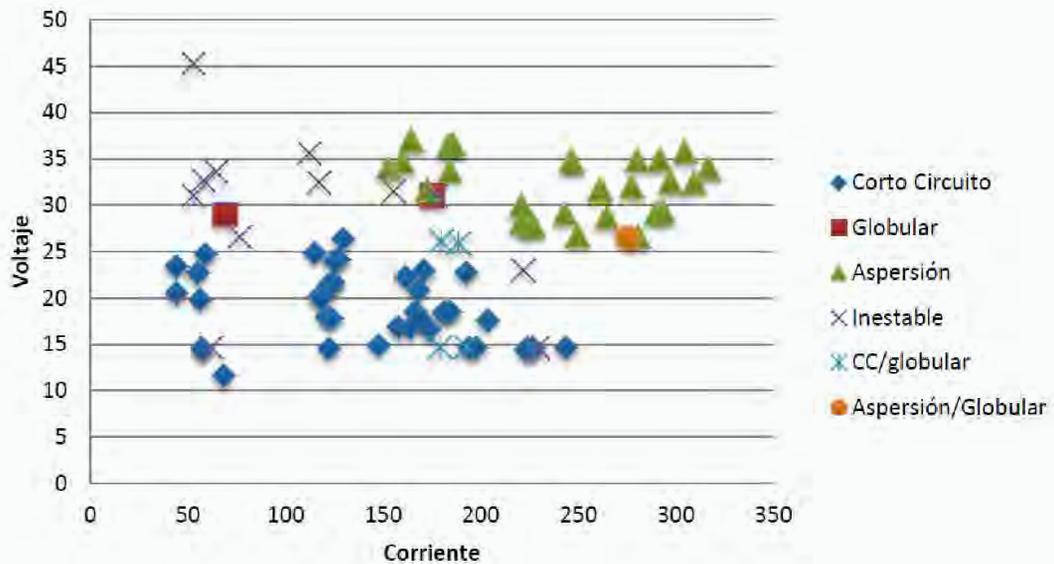


### **Contenido 1**

#### ***Mapa de los modos de transferencia (MdeT)***

Los mapas de los MdeT son una representación en dos dimensiones donde los ejes están dados por la corriente de soldadura y el voltaje del arco que delimita las zonas en que se dan los diferentes modos de transferencia para una configuración específica y un gas de protección dado. Los mapas de MdeT son una herramienta práctica para la adecuada selección de las condiciones de operación y los parámetros de soldadura. En estos mapas es posible identificar las corrientes de transición, niveles críticos de corriente que separa dos modos de transferencia y los modos mixtos, en los que de manera inestable se dan dos modos de transferencia.

Las gráficas de relación entre la corriente y el voltaje sirven para el desarrollo de procedimientos de soldadura, considerando que el código ASME sección IX y, en general, la mayoría de los códigos de soldadura, establecen el modo de transferencia de metal como una variable esencial para el proceso de soldadura GMAW. En la figura 12 se presentan algunos ejemplos de mapas de modos de transferencia para configuraciones específicas de soldadura [18].



**Figura 10.** Ejemplos de mapas de modos de transferencia

Fuente: M. I. Arias, *Levantamiento del Mapa de Modo de Transferencia de Metal para el Electrodo ER100S1 Aplicado con Proceso de Soldadura GMAW*, Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Colombia, 2013.



### Actividad 1 Análisis de resultados

Completar la tabla 10 de resultados, teniendo en cuenta la información y experiencia adquiridas a lo largo de la UDT, a saber:

- WPS y PQR.
- Cordones de soldadura en platina.
- Tabla de datos y graficas del SAD.
- Inspección visual de discontinuidades y geometría del cordón.

**Tabla 11.** Resumen de resultados obtenidos en la UDT

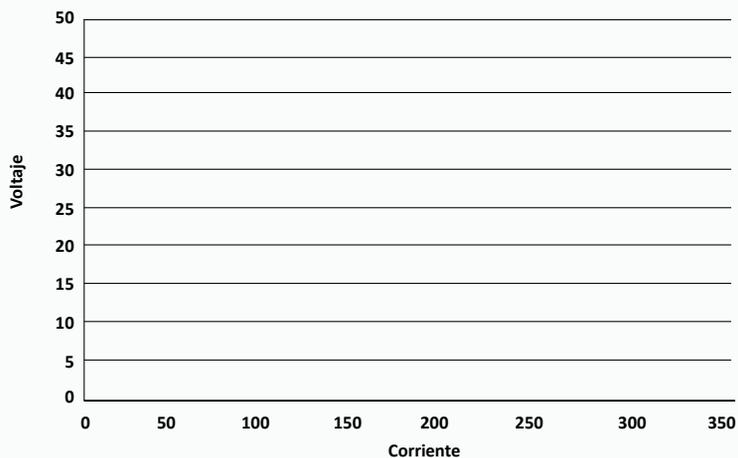
Modo de transferencia		Cortocircuito	Globular	Aspersión
Forma característica del cordón				
Características observadas				
Rango de valores de variables	Voltaje			
	Corriente			
	Frecuencia de desprendimiento			
	Velocidad de avance			
Aplicaciones industriales				



## Actividad 2

### Mapa de modos de transferencia

Construya un mapa de modos de transferencia para las condiciones en que se desarrolló el momento de experimentación.



**Figura 11.** Diagrama base para mapa de modos de transferencia



### Actividad 3

#### Socialización

Compartir el conocimiento: intercambiar el mapa realizado con cada uno de los equipos de trabajo y completar el propio mapa, en caso de considerarlo necesario.



### Actividad 4

#### Conclusiones

A continuación, se presentan cinco aspectos trabajados durante el desarrollo de la UDT. Para cada uno, escriba como mínimo una conclusión. Compartir las conclusiones al interior de cada equipo de trabajo y con los otros equipos.

- Trabajo colaborativo como metodología de estudio.
- Uso de herramientas tecnológicas (SAD).
- Unidad Didáctica Tecnológica como material didáctico.
- Proceso de soldadura GMAW.
- Modos de transferencia del proceso GMAW.

## Referencias

- [1] J. S. Restrepo, J. S. Rudas, L. Tobón, "Desarrollo de un sistema de adquisición de datos de las variables eléctricas del proceso de soldadura GMAW con fines pedagógicos". *Memorias del 13º Congreso Internacional en Ciencia y Tecnología de Metalurgia y Materiales, SAM – CONAMET*. Universidad Nacional de Misiones. Iguazú - Argentina, 2013.
- [2] J. S. Restrepo, J. S. Rudas, L. Tobón, "Modelamiento, adquisición y análisis de variables relevantes del proceso de soldadura GMAW como una herramienta pedagógica". *Memorias de Encuentro Nacional de Investigación y Desarrollo, ENID*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín – Colombia. 2013.
- [3] J. S. Restrepo, J. S. Rudas, L. Tobón, "Proceso de soldadura GMAW: Adquisición de datos y Modelamiento de sistemas hacia un énfasis pedagógico", *Memorias de I Encuentro de*

*Tecnología e Ingeniería & IX Simposio Internacional en Energías*. Institución Universitaria Pascual Bravo. Medellín - Colombia, 2013.

- [4] Lincoln Electronics. GMAW welding guide. [En línea]. Disponible en: [http://www.lincolnelectric.com/assets/global/Products/Consumable\\_MIGGMAWwires-SuperArc-SuperArcL-50/c4200.pdf](http://www.lincolnelectric.com/assets/global/Products/Consumable_MIGGMAWwires-SuperArc-SuperArcL-50/c4200.pdf) [Diciembre 10, 2019]
- [5] C. Oz, K. Ayara, S. Serttas, O. Iyibilgin, U. Soy, G. Cita, "A performance application for welder candidate in virtual welder simulator", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 55, pp. 492-501, 2012, DOI: 10.1016/j.sbspro.2012.09.529
- [6] S. Pal, S. K. Pal, A. K. Samantaray, "Artificial neural network modeling of weld joint strength prediction of a pulsed metal inert gas welding process using arc signals", *Journal of Material Processing Technology*, vol. 202 (1-3), pp. 464-474, 2008, DOI: 0.1016/j.jmatprotec.2007.09.039
- [7] C. M. Kim, M. K. Kim, C. Lee, J. M. Spector, K. DeMeester, "Teacher beliefs and technology integration", *Teaching and Teacher Education*, vol. 29, pp 76-85, 2013, DOI: 10.1016/j.tate.2012.08.005
- [8] A. Scottie, V. Ponomarev, W. Lucas, "Scientific application oriented classification for metal transfer modes in GMA welding", *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 212, pp. 1406-1413, 2012, DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2012.01.021
- [9] D.W. Johnson, R. T. Johnson, H. E. Johnson, "Los nuevos círculos del aprendizaje, La cooperación en el aula y la escuela", Buenos Aires: Editorial Aique, 1999.
- [10] M., W. Keyser, "Active learning and cooperative learning: understanding the difference and using both styles effectively", *Research Strategies*, vol. 17 (1), pp. 35-44, 2000, DOI: 10.1016/S0734-3310(00)00022-7
- [11] P. M. Graells, "Diseño instructivo de unidades didácticas". Disponible en <http://peremarques.pangea.org/ud.htm#unidad>, [Diciembre 10, 2019]
- [12] C. Zea, J. D. Zapata, M. R. Atuesta, S. Sanín, L. Rada, M. L. Eslava, "Multimedia e hipermedios para fortalecer el aprendizaje colaborativo. Propuesta Tecnológica Conexiones, Universidad EAFIT, 1998
- [13] Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, "Las estrategias y técnicas didácticas en el rediseño: Aprendizaje colaborativo". Disponible en [http://sitios.itesm.mx/va/dide2/tecnicas\\_didacticas/ac/Colaborativo.pdf](http://sitios.itesm.mx/va/dide2/tecnicas_didacticas/ac/Colaborativo.pdf) [Diciembre 10, 2019]
- [14] J. Thomsen, "Advanced Control Methods for Optimization of Arc Welding" Ph. D Thesis Department of Control Engineering, Aalborg University, Aalborg East - Denmark 2004.
- [15] Thermal Arc, Manual No.: 0-5155 "Manual de operación 252i Fabricator", 2012. Disponible en <https://www.weldersupply.com/Content/files/ProductPDFs/W1004401ThermalArc252iOperatingManual.pdf> [Diciembre 10, 2019]

- [16] Kita-Shinagawa, Shinagawa-Ku, “*Essential factors in Gas Metal Arc Welding*”, Tokio, Japón. Ed: Kobelco Steel, LTD 2011.
- [17] C. Llano, “Soldadura GMAW MIG/MAG”, *Metal Actual*, vol. 18, pp. 18-25, 2011.
- [18] K. Weman, G. Lindén, (Eds.). “MIG welding guide” Woodhead Publishing. Cambridge, England, 2006.
- [19] M. I. Arias, “Levantamiento del Mapa de Modo de Transferencia de Metal para el Electrodo ER100S1 Aplicado con Proceso de Soldadura GMAW”, Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Medellín - Colombia, 2013.
- [20] J. S. Restrepo, “Modelamiento dinámico de los modos de transferencia en un proceso de soldadura GMAW”, Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia, Medellín - Colombia, 2011.
- [21] E. E. Niebles, W. G. Arnedo, “Procedimientos de Soldadura y Calificación de Soldadores: una Propuesta de Enseñanza y Guía de Aplicación para la Industria”, *Información Tecnológica*, vol. 20, pp. 19-30, 2009, DOI: 10.1612/inf.tecnol.4064it.08
- [22] G.E. Linnert, “Welding Metallurgy”. Miami, Florida: Ed. American Welding Society, 1967.
- [23] AWS B1.10:1999 American Welding Society, “AWS B1.10:1999-, Guide for the Nondestructive Examination of Welds.” 1999.

## Bibliografía

- [1] K. L Moore, D. S Naidu, R. Yender, R. Tyler, “Gas Metal Arc Welding Control: part I - Modeling and Analysis” *Nonlinear Analysis: Theory, Methods & Applications*, vol. 30, (5), pp. 3101-3111, 1997, DOI: doi.org/10.1016/S0362-546X(97)00372-6
- [2] Y. Wang, H.L. Tsai, “Impingement of filler droplets and weld pool dynamics during gas metal arc welding process”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 44., pp 2067–2080, 2001. DOI: S0017-9310(00)00252-0
- [3] J. Hu, H. L. Tsai, “Heat and mass transfer in gas metal arc welding. Part I: The Arc”. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 50. pp. 833–846, 2007a, DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2006.08.025
- [4] J. Hu, H. L. Tsai, “Heat and mass transfer in gas metal arc welding. Part II: The Metal”. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 50, pp. 808–820, 2007b, DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2006.08.026
- [5] S. Mishra, S. Chakraborty, T. DebRoy, “Probing liquation cracking and solidification through modeling of momentum, heat, and solute transport during welding of aluminum alloys”, *Journal of Applied Physics*, vol. 97. P 094912/1-094912/9, 2005, DOI: 10.1063/1.1886272

- [6] P. Sukhomay, K.P. Surjya, K.S. Arun, "Artificial neural network modeling of weld joint strength prediction of a pulsed metal inert gas welding process using arc signals" *Journal of Material Processing Technology*, vol. 202. pp 464-474, 2008, DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2007.09.039
- [7] D. Barborak, C. Conrardy, B. Madigan, "Through-arc, process monitoring techniques for control of automated gas metal arc welding". *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics & Automation*, pp. 3053-3058, 1999, DOI: 10.1109/ROBOT.1999.774062
- [8] K. L. Moore, M. A. Abdelrahman, D. S. Naidu, "Gas metal arc welding control - II Control strategy", *Nonlinear Analysis*, vol. 35, pp. 85-93, 1999, DOI: 10.1016/S0362-546X(98)00099-6
- [9] J. S. Rudas, J. S. Restrepo, L. M. Gómez, "Prediction of metal transfer modes in the GMAW process," 2015 IEEE 2nd Colombian Conference on Automatic Control (CCAC), Manizales, pp. 1-6. 2015, DOI:10.1109/CCAC.2015.7345190
- [10] N. D. Subbaram, S. Oozcelik, L. M. Kevin, *Modeling, Sensing, and Control of Gas Metal Arc Welding*, Oxford, Ed. Elsevier, 2003
- [11] G. Xu, J. Hu, H. L. Tsai, "Three-dimensional modeling of arc plasma and metal transfer in gas metal arc welding", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol, 52, pp. 1709–1724, 2009, DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2008.09.018
- [12] J. J. Lowke, "Physical basis for the transition from globular to spray modes in gas metal arc welding", *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol. 42, pp. 1-7, 2009, DOI:10.1088/0022-3727/42/13/135204).
- [13] K. L. Moore, D. S. Naidu, R. Yender, J. Tyler, "Modeling, Calibration, and Control-Theoretic Analysis of the GMAW Process". *Proceedings of the American Control Conference Philadelphia*, Pennsylvania. pp. 1747-1751 1998. DOI: 10.1109/ACC.1998.707306
- [14] Y. S. Kim, T. W. Eagar, "Analysis of metal transfer in gas metal arc welding", *Welding Research Supplement*, pp. 269-278, 1993.
- [15] J. B. Bjorgvinsson, G. E. Cook, K. Andersen, "Microprocessor-based arc voltage control for gas tungsten arc welding using gain scheduling", *Industry Applications, IEEE Transactions*, vol. 29-2, pp. 250-255, 1993, DOI:10.1109/28.216528
- [16] S. Ozelik, K. L. Moore, D. S. Naidu, "Application of MIMO direct adaptive control to gas metal arc welding". En: *Proceedings of the American Control Conference*, vol.3. P. 1762-1766, 1998, DOI: 10.1109/ACC.1998.707309
- [17] J. S. Rudas, J. S. Restrepo, L. Olmos, "Revisión sistemática de literatura. Caso de estudio. Modelamiento del proceso de soldadura GMAW.," *El Hombre y la Máquina*, vol. 46, no. 73, pp. 102–113, 2015.

# Manual de usuario

## Sistema de adquisición de datos

Proceso de soldadura por arco de metal y gas GMAW



## 1. Acerca de este manual

Este manual contiene la información detallada para la conexión y uso del sistema de adquisición de datos, implementado en el proceso de soldadura GMAW, en el marco del proyecto «Modelamiento de los modos de transferencia del proceso de soldadura GMAW», con la financiación de la convocatoria de investigación de la Institución Universitaria Pascual Bravo.

Se facilita al lector instrucciones para el manejo de la interfaz de adquisición de datos del proceso de soldadura GMAW programada en LabView, la cual permite visualizar las señales de corriente y voltaje del proceso, al igual que sus densidades espectrales de potencia (PSD, por sus siglas en inglés).

## 2. Recomendaciones

Se recomienda al usuario leer cuidadosamente este manual antes de dar uso al sistema de adquisición de datos. Seguir cuidadosamente las indicaciones aquí descritas permitirá realizar satisfactoriamente el proceso de adquisición de datos.



**Cuidado:** este sistema se encuentra directamente conectado a una entrada de energía de alta potencia; por lo tanto, se debe prestar atención en el tipo de conexión.



**Atención:** revisar constantemente la integridad de los cables y borneras.



**Atención:** el sistema de adquisición de datos es sensible a los campos magnéticos, los cambios térmicos y a la humedad. Estos factores pueden afectar la calidad de la señal medida. Se recomienda al usuario efectuar las correspondientes acometidas a tierra para reducir las interferencias en las medidas ocasionadas por ruido electromagnético y almacenar los instrumentos de medida en un lugar libre de humedad.

## 3. Introducción

El sistema de adquisición de datos permite medir, adecuar, almacenar y graficar las dinámicas de voltaje de circuito abierto y corriente del proceso de soldadura GMAW para su posterior análisis. El sistema está compuesto por los elementos que a continuación exponemos.

### 3.1 Circuito integrado de adecuación de señal de voltaje

Este circuito está compuesto por un divisor de tensión para el voltaje de entrada, un filtro RC y una fuente dual para la alimentación del sensor de efecto Hall.

### 3.2 Tarjeta de adquisición de datos

Se implementa una tarjeta NI USB-6211 de National Instruments, la cual cuenta con dieciséis entradas analógicas de una sola terminal y ocho entradas diferenciales. La tarjeta NI USB-6211 tiene una resolución de dieciséis bits y permite una velocidad de adquisición de datos de hasta 250 kS/s.

### 3.3 Sensor de efecto Hall

El sensor de efecto Hall, implementado en este sistema, permite tener un rango de medida de -300 amperios hasta 300 amperios, en los cuales entrega un voltaje desde -12 voltios hasta 12 voltios. Requiere una alimentación dual de  $\pm 15$  voltios.

### 3.4 Cables blindados

Para reducir interferencia por ruido electromagnético se implementan cables blindados; de este modo se cuida la integridad de la señal procesada por el sistema de adquisición de datos.

### 3.5 Computador

Se cuenta con una Laptop COMPAQ Presario CQ42, para procesar y analizar los datos obtenidos con el sistema de adquisición de datos. Este equipo es usado exclusivamente para la adquisición de datos del proceso de soldadura GMAW.

### 3.6 Interfaz de usuario

Mediante LabView se ha desarrollado una interfaz de usuario que facilita la adquisición, visualización y almacenamiento de los datos del proceso de soldadura GMAW.

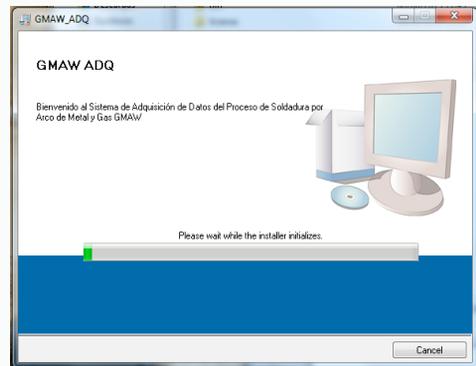
El sistema de adquisición de datos debe ser operado por un usuario que posea conocimientos básicos sobre el proceso de soldadura GMAW, informática básica y manejo del *software* LabView.

## 4. Objetivos del desarrollo del sistema

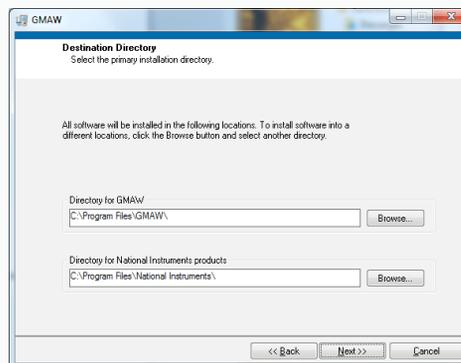
- Medir en tiempo real la dinámica de las variables de entrada de energía, voltaje de circuito abierto y corriente de soldadura, del proceso de soldadura GMAW.
- Procesar y filtrar las señales medidas en el proceso de soldadura GMAW.
- Visualizar y almacenar las señales medidas en el proceso de soldadura GMAW.
- Analizar la dinámica frecuencia y temporal de las variables medidas en el proceso de soldadura GMAW.
- Generar una herramienta que comunique la información fenomenológica del proceso de soldadura.

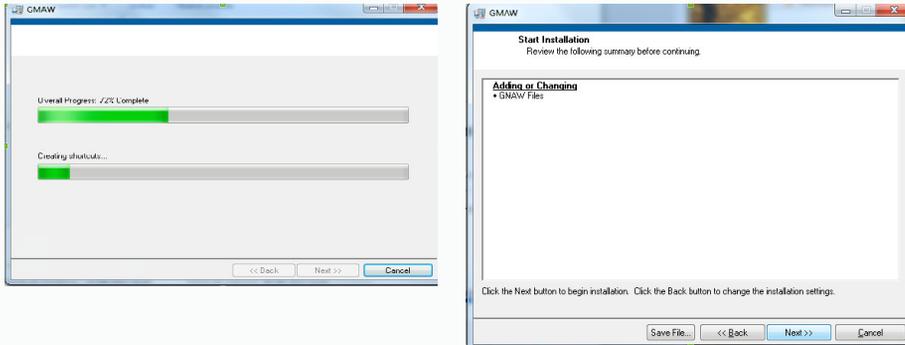
## 5. Instalación de interfaz de adquisición de datos GMAW

- a. Copiar la carpeta builds en el escritorio.
- b. El instalador de la interfaz de adquisición de datos GMAW ADQ se encuentra en el directorio siguiente: builds – GMAW\_ADQ– Installer– Volume – Setup.
- c. Hacer doble clic en el instalador setup.exe para iniciar la instalación. El asistente GMAW guía al usuario en la instalación de la aplicación.
- d. Se selecciona el directorio de destino donde será instalada la aplicación GMAW, luego se hace clic en Next>>.

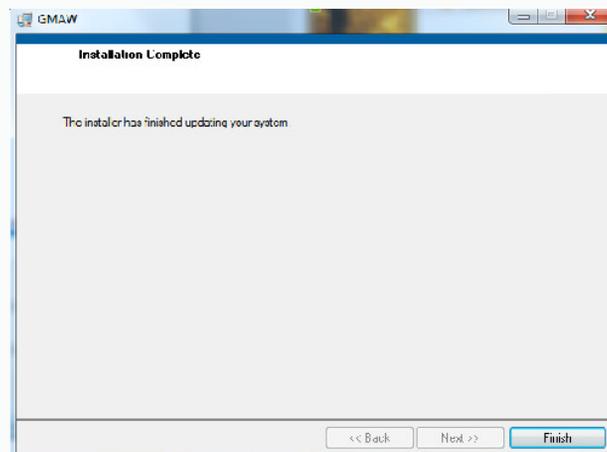


Fuente: elaboración propia





- e. Se abre la ventana de confirmación de instalación, se hace clic en Next>> para comenzar la instalación de la aplicación GMAW.



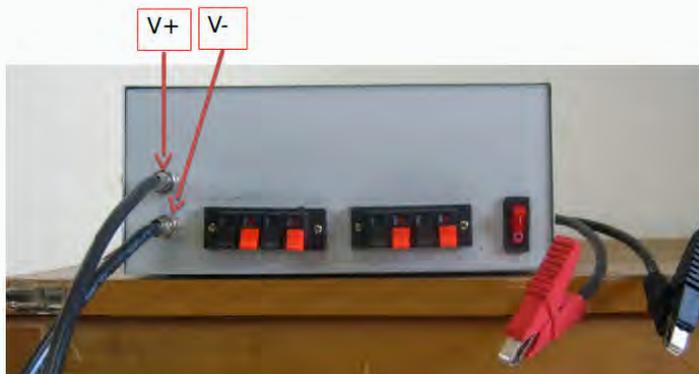
- f. Se hace clic en finalizar para terminar la instalación de la aplicación GMAW

**Nota:** En caso de no contar con LabView instalado en un equipo, se debe instalar el Run-time Engine correspondiente a la versión de LabView con la que fue programado el sistema de adquisición de datos.

## 6. Procesos de conexión

### 6.1 Conexión de pinzas para medición de voltaje

Primero se debe realizar la conexión de las pinzas que estarán en contacto con el proceso de soldadura, a las borneras de entrada de voltaje. La pinza roja conectada al puerto V+ será instalada en la terminal positiva de la fuente de potencia del proceso. La pinza negra conectada al puerto V- se instala en la terminal de tierra del proceso. La figura 1 muestra esta primera conexión.

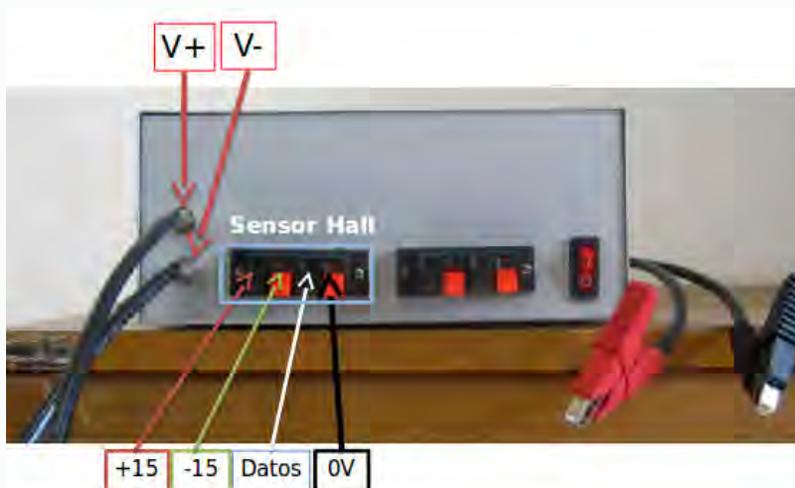


**Figura 1.** Conexión de pinzas para medición de voltaje

Fuente: elaboración propia

### 6.2 Conexión del sensor de efecto Hall

El sensor de efecto Hall es utilizado para medir la corriente del proceso. En la figura 2 se indican los puertos donde deben ser conectados los terminales del sensor de efecto Hall. Los colores de las flechas se corresponden con el color de los cables utilizado para la conexión del sensor. La terminal de conexión al sensor tiene una referencia blanca. Esta terminal debe conectarse con dicha referencia hacia arriba, como muestra la figura 3.



**Figura 2.** Conexión de terminal del sensor de efecto Hall.

Fuente: elaboración propia

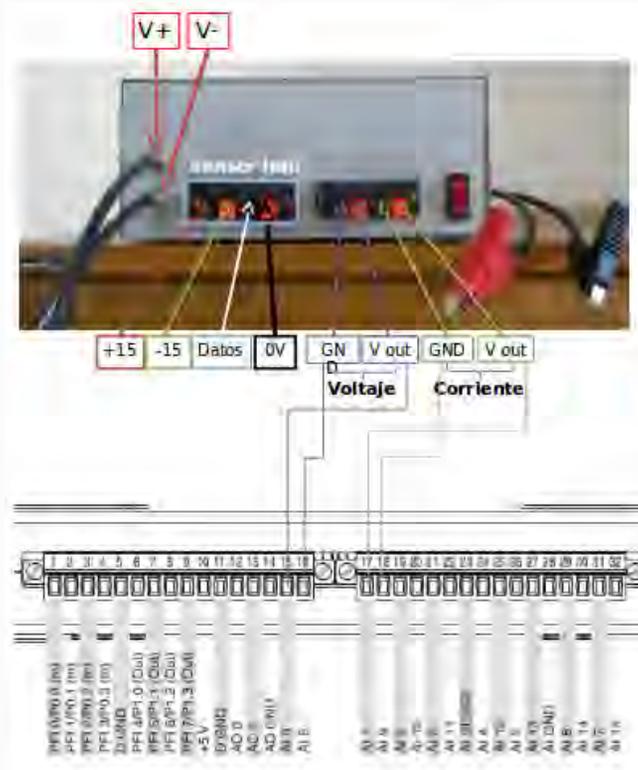


**Figura 3.** Conexión de terminal del sensor de efecto Hall

Fuente: elaboración propia

## 6.3 Conexión de tarjeta de adquisición de datos

Los puertos análogos de la tarjeta de adquisición de datos son conectados en las salidas de voltaje del sistema; de este modo, se registra en la interfaz de adquisición de datos las señales de corriente y voltaje del proceso de soldadura. La figura 4 muestra cómo realizar la conexión.



**Figura 4.** Conexión tarjeta de adquisición de datos

Fuente: elaboración propia



**Figura 5.** Conexión e indicador de NI USB-3211

Fuente: elaboración propia

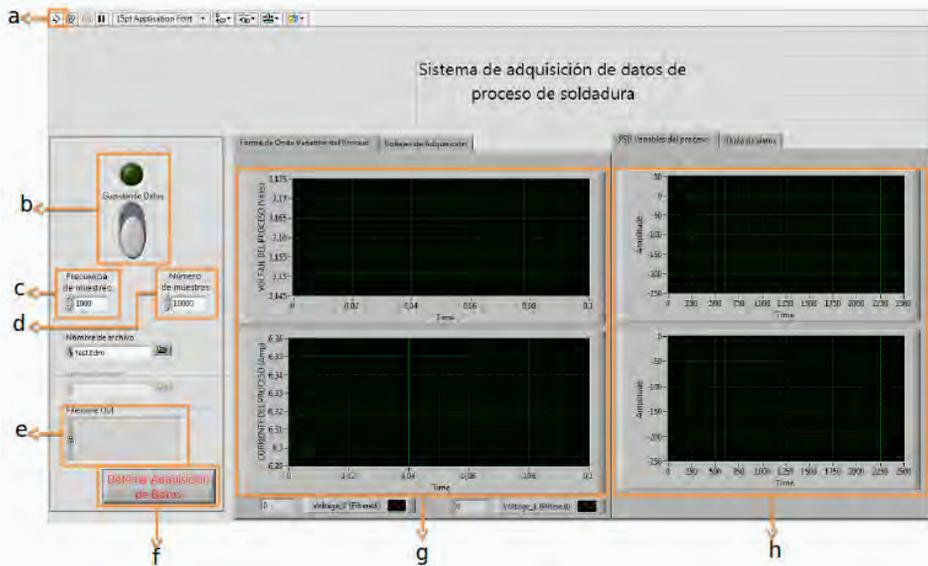
## 7. Uso de la interfaz de adquisición de datos

La interfaz de adquisición de datos registra la información de las señales de corriente y voltaje del proceso de soldadura GMAW. Esta interfaz permite visualizar la forma de onda de dichas señales y calcular los espectros de densidad de potencia de estas.

### 7.1 Descripción de la interfaz de adquisición de datos

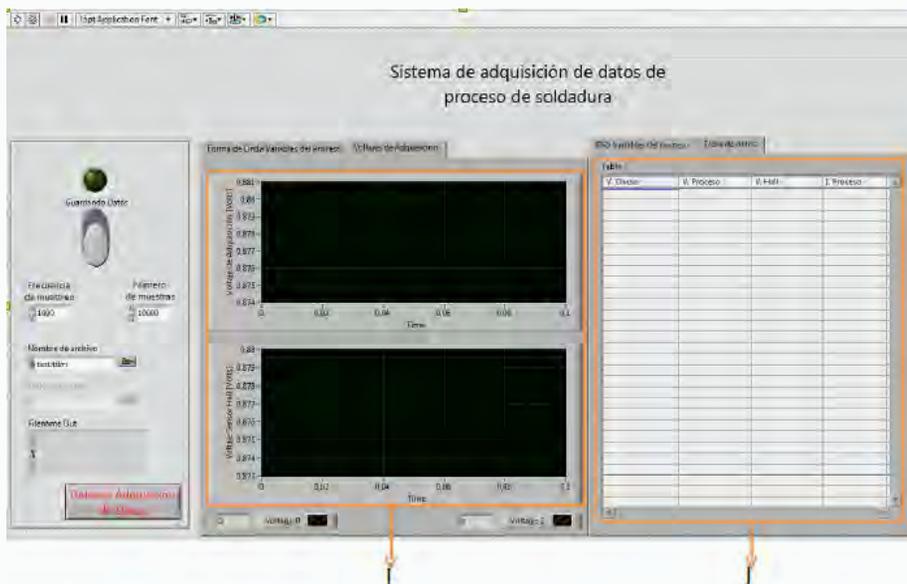
Las figuras 6 y 7 presentan la interfaz de adquisición de datos desarrollada. Una descripción del sistema se tiene a continuación:

- a. Botón para iniciar adquisición de datos.
- b. Botón para iniciar el almacenamiento de datos.
- c. Configurar frecuencia de muestreo del sistema de adquisición de datos.
- d. Configurar número de muestras o buffer.
- e. Ruta de almacenamiento de datos.
- f. Botón para detener adquisición de datos.
- g. Formas de onda del proceso de soldadura.
- h. Espectro de densidad de potencia (PSD) de corriente y voltaje del proceso.
- i. Forma de onda de los voltajes de adquisición.
- j. Tabla de registro de datos.
- k. Nombrar archivo de datos.



**Figura 6.** Interfaz de adquisición de datos

Fuente: elaboración propia



**Figura 7.** Interfaz de adquisición de datos (continuación)

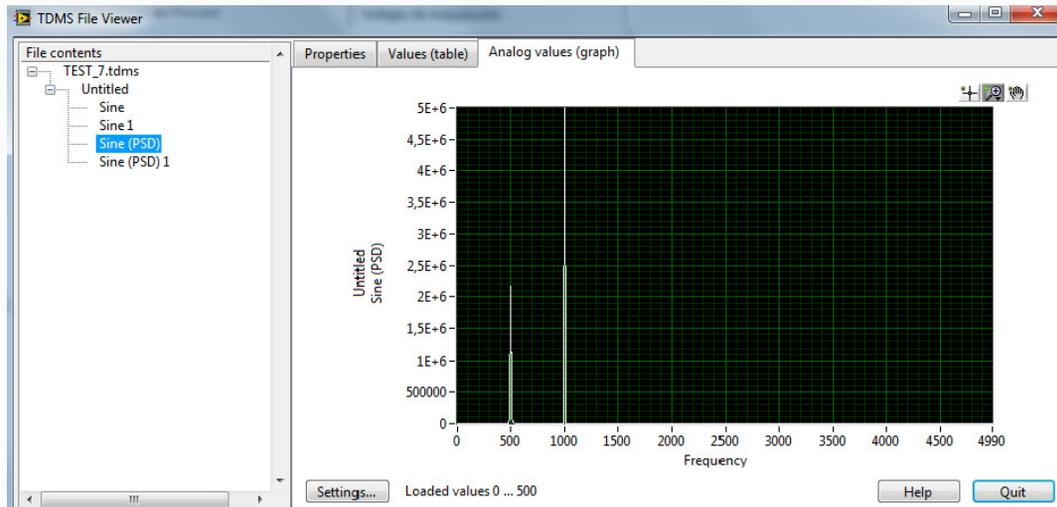
Fuente: elaboración propia

## 7.2 Funcionamiento de la interfaz

- Para realizar la adquisición de datos es necesario, primero, que se hayan realizado todas conexiones del sistema apropiadamente. Una vez hecho esto, se recomienda utilizar una frecuencia de muestreo de 1000 Hz que debe ser ingresada en la casilla denotada con (c) —figura 6—. La casilla denotada con la letra (d) hace referencia al tamaño del buffer; se recomienda ser configurado en 100 —figura 6—. Una vez se ha realizado esta configuración, se hace clic en el botón (a) —figura 6— para iniciar el sistema de adquisición de datos.
- Las formas de onda de voltaje y corriente son registradas en las gráficas presentadas en la pestaña «forma de onda de las variables del proceso» resaltadas por el recuadro nombrado con la letra (g) —figura 6—. De igual modo, la densidad espectral de potencia es graficada en la pestaña «PSD de las variables del proceso», en el recuadro identificado con la letra (h). Los datos pueden ser vistos en la pestaña «tabla de datos».
- Para iniciar el almacenamiento de datos, primero se ingresa en la casilla (k) —figura 7— el nombre con el cual se guardará el archivo de datos. Se debe presionar el interruptor deslizable identificado con la letra (b); el indicador se encenderá informando que está activo el almacenamiento de datos —figura 6—. Una vez finaliza el proceso de soldadura GMAW, se presiona nuevamente el interruptor deslizable. El indicador se apagará informando que ha finalizado el almacenamiento de datos.

**Nota:** En caso de no actualizarse el nombre del archivo de datos y de volver a presionar el interruptor deslizable para almacenar nuevamente datos del proceso, los nuevos datos se guardarán en el mismo archivo TDMS. Se recomienda que por cada prueba se asigne un nuevo archivo de datos, asignando un nuevo título al mismo.

- Para finalizar el proceso de adquisición de datos, se debe hacer clic en el botón «Detener adquisición de datos». Una vez hecho esto, se abrirá una nueva ventana en la que después de buscar el archivo de datos por su correspondiente nombre, se visualizan los gráficos de densidad espectral de potencia, y las formas de onda de voltaje y corriente —figura 8—.



**Figura 8.** Visualización de datos almacenados

Fuente: elaboración propia

- El archivo de datos puede ser encontrado en el directorio indicado en la casilla identificada con la letra (e) —figura 6—. Este archivo tiene un formato TDMS que puede ser abierto mediante Excel, haciendo doble clic sobre este. Una vez realizado esto, el archivo puede ser guardado en formato \*.xls para ser abierto en cualquier ordenador que no cuente con LabView.
- Una vez finaliza el análisis de densidades espectral de potencia PSD, se hace clic en el botón Quit de la ventana presentada en la figura 8.

- En caso de llevar a cabo una nueva adquisición de datos, primero se debe hacer clic en el menú edit. y se selecciona la opción Reinitialize Values to Default (figura 9). Una vez hecho esto, se puede comenzar a realizar una nueva adquisición de datos siguiendo los pasos ya descritos.



**Figura 9.** Reiniciar a valores por defecto

Fuente: elaboración propia

### 7.3 Consideraciones conceptuales sobre adquisición de datos

La interfaz de adquisición de datos está configurada por unos valores pre-establecidos para optimizar la obtención de datos del proceso de soldadura GMAW, teniendo en cuenta la laptop implementada para este proceso. En caso de instalar el sistema de adquisición de datos en un equipo con otras especificaciones y de querer modificar las frecuencias de muestreo, se recomienda aplicar el teorema de muestreo de Nyquist-Shannon, dado por la siguiente expresión: implementando el teorema de Nyquist-Shannon es posible registrar completamente el comportamiento de la señal estudiada y

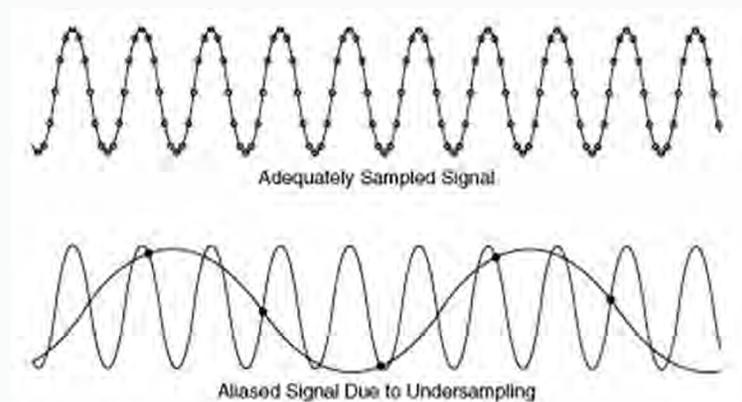
evitar el efecto aliasing. En la figura 10 se presenta el efecto aliasing causado por realizar un muestreo de una señal a una frecuencia menor a la recomendada por la expresión 1. Se aprecia cómo se obtiene una señal que no representa el fenómeno que en realidad se desea estudiar.

$$f_s > 2f_{max} \quad (1)$$

donde:

$f_s$ : es la frecuencia de muestreo

$f_{max}$ : Es la frecuencia más alta contenida en la señal que se desea registrar



**Figura 10.** *Efecto aliasing*

Fuente: tomado de sitio web de soporte de la National Instruments NI, soporte on line

# Anexo 1. PQR: Procedure Qualification Record



INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA  
**PASCUAL BRAVO**

TECNOLOGÍA, INNOVACIÓN  
CULTURA Y VIDA

## Sample Procedure Qualification Record (PQR) Form

Procedure Qualification Record (PQR) No. \_\_\_\_\_

Contractor \_\_\_\_\_  
 Authorized by \_\_\_\_\_ Revision No. \_\_\_\_\_  
 Welder \_\_\_\_\_ Test Date \_\_\_\_\_  
 Welding Process:  FCAW-G  FCAW-S  GMAW  SMAW

**PQR JOINT TYPE**  Direct Butt  Indirect Butt  T-Joint  
 Test Assembly:  Figure 6.5(A)  Figure 6.5(B)  Figure 6.5(C)  Figure 6.5(D)  
 Position \_\_\_\_\_ Groove Type \_\_\_\_\_  Single Bevel  Double Bevel  
 Root Opening \_\_\_\_\_ Root Face \_\_\_\_\_ Groove Angle \_\_\_\_\_  
 Backing:  Yes  No Backing Type \_\_\_\_\_  
 Backgouging:  Yes  No Backgouging Method \_\_\_\_\_  
 Technique:  Stringers  Weave

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Current:  AC  DCEP  DCEN  
 Transfer Mode (GMAW):  Short-circuiting  Globular  Spray

**BASE METAL**  
 Material Specification \_\_\_\_\_ Grade \_\_\_\_\_  
 welded to Material Specification \_\_\_\_\_ Grade \_\_\_\_\_  
 Carbon Equivalent (Bar) \_\_\_\_\_ Bar size \_\_\_\_\_  
 Coated Bar:  Yes  No Type of Coating \_\_\_\_\_

### FILLER METAL

AWS Specification \_\_\_\_\_ AWS Classification \_\_\_\_\_  
 Describe filler metal (if not covered by AWS specification) \_\_\_\_\_

### SHIELDING

Gas:  Single  Mixture Composition \_\_\_\_\_ Flow rate \_\_\_\_\_

### PREHEAT/INTERPASS

Preheat/Interpass Temperature (Min) \_\_\_\_\_  
 Interpass Temperature (Max) \_\_\_\_\_

### WELDING PARAMETERS

Pass Number	Electrode Diameter	Current				Electrical Stickout	Travel Speed (ipm)	Joint Detail
		Type	Amperage	WFS ipm [mm/min.]	Volts			

Note: Attach additional sheets as required for detailing each pass.

Form A-1 (front)

**Sample Procedure Qualification Record (PQR) Form**

Continuation of Procedure Qualification Record (PQR) No. \_\_\_\_\_

**TEST RESULTS**

**VISUAL EXAMINATION**

Test Assembly Number One

Pass  Fail (AWS D1.4, Clause 4.4)

Comments \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Test Assembly Number Two

Pass  Fail (AWS D1.4, Clause 4.4)

Comments \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**TENSILE TEST**

Test Assembly Number One

Pass  Fail (AWS D1.4, Clause 6.3.7.2)

Test Assembly Number Two

Pass  Fail (AWS D1.4, Clause 6.3.7.2)

Specimen No.	Width	Thickness	Area	Ultimate Tensile Load (lbs)	Ultimate Unit Stress (psi)	Character of Failure and Location

**MACROETCH TEST**

Test Assembly Number One

Pass  Fail (AWS D1.4, Clause 6.3.7.3)

Test Assembly Number Two

Pass  Fail (AWS D1.4, Clause 6.3.7.3)

Specimen No.	Results	Remarks

Welder's Name \_\_\_\_\_ Clock No. \_\_\_\_\_ Stamp No. \_\_\_\_\_

Test conducted by \_\_\_\_\_ (Laboratory)

Test Number \_\_\_\_\_

Per \_\_\_\_\_

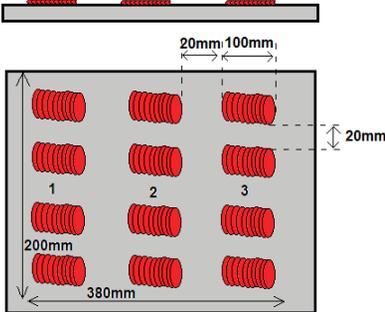
We, the undersigned, certify that the statements in this record are correct and that the welds were prepared and tested in accordance with the requirements of AWS D1.4/D1.4M:2011, *Structural Welding Code—Reinforcing Steel*.

Manufacturer or Contractor \_\_\_\_\_

Authorized by \_\_\_\_\_ Date \_\_\_\_\_

Form A-1 (back)

## Anexo 2. WPS, procedimiento de soldadura

 <b>INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO</b>		<b>TECNOLOGÍA. INNOVACIÓN CULTURA Y VIDA</b>
<b>ESPECIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)</b>		
ORGANIZACIÓN: <u>Institución Universitaria Pascual Bravo</u> IDENTIFICACIÓN DEL WPS: _____ REVISIÓN: <u>  </u> HOJA 1 DE 1 FECHA DE EMISIÓN: _____ PQR DE SOPORTE: _____ WPS DISEÑADO POR: _____ AUTORIZA PARA REPARACIÓN: _____		 <b>INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO</b>
<b>DISENO DE LA JUNTA</b> TIPO DE JUNTA: <u>Cordón superficial en platina</u> ABERTURA DE RAÍZ: <u>  </u> ALTURA DE CARA: <u>  </u> ÁNGULO DE BISEL: <u>  </u> ÁNGULO INCLUIDO: <u>  </u>		 <p style="text-align: center;"><b>Distribución de cordones en placa</b></p>
<b>MATERIAL BASE</b> P-No.: <u>  </u> GRUPO No.: <u>  </u> ESPECIFICACIÓN: <u>ASTM A76</u> TIPO O GRADO: _____ INTERVALO DE ESPESORES : _____		
<b>MATERIAL DE APORTE</b> ESPECIFICACIÓN SFA: _____ CLASIFICACIÓN AWS: <u>ER70-S6</u> NUMERO F: <u>  </u> NUMERO A: <u>  </u> DIÁMETRO DEL ELECTRODO (QW-404.7): <u>1.2mm</u> ESPESOR DE METAL DEPOSITADO: _____		
<b>POSICIÓN</b> POSICIÓN EN PLATINA: <u>PLANA-1G</u> POSICIONES CALIFICADAS: _____ PROGRESION CALIFICADA: _____		<b>TRATAMIENTO TÉRMICO POST-SOLDADURA</b> <b>NO APLICA</b>
<b>PRECALENTAMIENTO</b> TEMPERATURA MÍNIMA : _____ TEMPERATURA INTERPASES MÁX. : _____		<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS</b> INTERVALO DE ENTRADA DE CALOR: _____ TIPO DE CORRIENTE: <u>CONTINUA</u> POLARIDAD: <u>DIRECTA</u> INTERVALOS: AMPERAJE: <u>120-250A</u> VOLTAJE: <u>20-26V</u>
		<b>TÉCNICA DE SOLDADURA</b> CORDONES: <u>12</u> OSCILACIÓN : _____ No. DE PASES POR LADOS 1 DE PLATINA: <u>1</u> MÉTODO DE LIMPIEZA DE RESPALDO: <u>PULIDO</u> <u>MANUAL</u> ÁNGULOS DE: TRABAJO: _____ AVANCE: _____ SECUENCIA: _____

**PARÁMETROS ESPECÍFICOS DE SOLDADURA**

Pasadas	Lado de la junta	Proceso	Modo de transferencia	Clasificación del metal de aporte	Diámetro del electrodo	Tipo de polaridad	Amperios	Voltaje	Protección
1	1	GMAW	Corto	ER70-S6	1.2mm	CDEP	120-210A	15-21V	25%CO2+Ar
2	1	GMAW	Globular	ER70-S6	1.2mm	CDEP	130-230A	26-28V	25%CO2+Ar
3	1	GMAW	Asperción	ER70-S6	1.2mm	CDEP	140-250A	26-28V	25%CO2+Ar

**AUTORIZADO PARA REPARACIÓN POR:**

NOMBRE: \_\_\_\_\_  
 TÍTULO: \_\_\_\_\_  
 CARGO EN EPM: \_\_\_\_\_  
 FIRMA: \_\_\_\_\_  
 FECHA: \_\_\_\_\_

**DISEÑO DEL PROCEDIMIENTO REALIZADO POR:**

NOMBRE: \_\_\_\_\_  
 TÍTULO: \_\_\_\_\_  
 INSPECTOR AWS CERTIFICADO No.: \_\_\_\_\_  
 FIRMA: \_\_\_\_\_  
 FECHA: \_\_\_\_\_

La Unidad *Didáctica Tecnológica: modos de transferencia en el proceso GMAW* es un recurso pedagógico que se basa en el aprendizaje colaborativo y en la integración de herramientas tecnológicas; se desarrolla para el estudio de los modos de transferencia de metal (MdeT) presentes en el proceso de soldadura por arco eléctrico con protección.

La construcción de la Unidad Didáctica Tecnológica (UDT) parte del reconocimiento del entorno pedagógico teniendo en cuenta a estudiantes, docentes, laboratoristas e investigadores, así como las condiciones de las instalaciones, equipos y suministros. También se tuvieron en cuenta las disposiciones institucionales respecto a la asignatura de procesos de soldadura, adscrita a los programas técnicos, tecnológicos y profesionales de la Facultad de Ingeniería de la Institución Universitaria Pascual Bravo.



**Alcaldía de Medellín**



**IUPascualBravo**

[www.pascualbravo.edu.co](http://www.pascualbravo.edu.co)

Vigilada Mineducación

Línea gratuita: 01 8000 510944

448 05 20 extensión 1142

Calle 73 N° 73A - 226 Robledo, Vía El Volador  
Medellín - Colombia