

Edgar Serna M. (ed.)

Ingeniería y Desarrollo en la Nueva Era

Editorial
Instituto Antioqueño de Investigación
© 2022



Edgar Serna M. (ed.)

Ingeniería y Desarrollo en la Nueva Era

Edición 1

ISBN: 978-628-95135-5-4

Ingeniería y desarrollo en la nueva era / editor, Edgar Serna M. – Primera edición -- Medellín: Instituto Antioqueño de Investigación, 2022.

1. recurso en línea: archivo de texto: PDF – (Ingeniería y ciencia)

Incluye referencias bibliográficas al final de cada capítulo.

ISBN 978-628-95135-5-4

1. Ingeniería - Innovaciones tecnológicas - Investigaciones 2. Investigación industrial I. Serna M., Edgar, ed. II. Serie Ingeniería y Ciencia.

CDD: 620 ed. 23

CO-BoBN- a1098657

Investigación Científica

ISBN: 978-628-95135-5-4

DOI:

Hecho el depósito legal digital

Ingeniería y Desarrollo en la Nueva Era

Serie: Ingeniería y Ciencia

Editorial Instituto Antioqueño de Investigación

Edición 1: noviembre 2022

Publicación electrónica gratuita

©2022 Instituto Antioqueño de Investigación IAI™. Salvo que se indique lo contrario, el contenido de esta publicación está autorizado bajo Creative Commons Licence CC BY-NC-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)



Editorial Instituto Antioqueño de Investigación es Marca Registrada del *Instituto Antioqueño de Investigación*. El resto de marcas mencionadas en el texto pertenecen a sus respectivos propietarios.

La información, hallazgos, puntos de vista y opiniones contenidos en esta publicación son responsabilidad de los autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista del Instituto Antioqueño de Investigación IAI; no se garantiza la exactitud de la información proporcionada en este texto.

Ni el autor, ni la Editorial, ni el IAI serán responsables de los daños causados, o presuntamente causados, directa o indirectamente por el contenido en este libro.

Maquetación: Instituto Antioqueño de Investigación

Diseño, edición y publicación: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación

Financiador de la publicación: Instituto Antioqueño de Investigación

Instituto Antioqueño de Investigación IAI

<http://fundacioniai.org>

contacto@fundacioniai.org

Editorial Instituto Antioqueño de Investigación

<http://fundacioniai.org/index.php/editorial.html>

editorial@fundacioniai.org

Medellín, Antioquia



Contenido

Prólogo		ix
<i>Signo distintivo como estrategia de diferenciación: Análisis teórico a partir de un estudio de caso</i>	Catherine Lopera Estrada Juan David Henao Santa Iván Darío Rojas Arenas	1
<i>Caracterización del sector de transporte de pasajeros intermunicipal en el departamento de Santander, Colombia</i>	Luz Helena Mendoza Castro Sandra Milena Sandoval Marín	11
<i>Diseño, implementación y validación de un sistema Manufacturing Resource Planning MRP en una MiPyme del sector textil bajo un enfoque Back to Order</i>	Jhon Edward Aguirre Cuervo Silvana Ruiz Moreno Farley Albeiro Restrepo Loaiza Jim Giraldo Builes Iván Darío Rojas Arenas	21
<i>Modelación y automatización de los procesos de contratación y pago de proveedores a través de Business Process Management BPM</i>	Claudia Yadira Rodríguez Ríos María Camila Cárdenas Ruiz Katherine Andrea Muñoz Cely	33
<i>Incremento de la eficiencia del proceso de logística de distribución secundaria mediante la implementación de una plataforma de cross docking</i>	Ingleberto Enrique Castellanos-Pestana Miguel Ángel González-Curbelo	51
<i>Proceso analítico jerárquico como método para el análisis de la sostenibilidad de proyectos industriales en etapa de prefactibilidad</i>	Juan Sebastián Pérez Vallejo Mauricio Esteban Sánchez Sandra Carolina Agudelo Arbeláez Juan Carlos Cruz Jiménez	68
<i>La deontología en la Ingeniería Industrial: Un análisis comparativo entre países</i>	Ana C. Larrañaga Pastor Cristina González Gaya Carlos de Lama Burgos	79
<i>Condiciones de uso y aprovechamiento de las nuevas tecnologías en organizaciones de economía solidaria</i>	Jorge Andrés González Díaz Sandra Milena Malavera Pineda Juan Santiago Calle Piedrahita	92
<i>La gestión del riesgo integrada con la minería de procesos y la administración de procesos de negocios BPM: Una revisión de la literatura</i>	Nathaly Consuelo Pérez Moreno Elisa del Carmen Navarro Romero	104
<i>Modelo conceptual para el estudio de la relación entre las habilidades blandas del director de proyectos y el éxito de la gerencia de proyectos de consultoría ambiental</i>	Andrea Echeverry-Zuleta Daniel A. La Rotta-Forero Argenis Gamboa Santos	118
<i>Diseño de un proceso para la implementación de las 5S en una empresa prestadora de servicios a pequeña escala</i>	Paula Alejandra Peña Molina Luz Marina Herrera León Mary Luz Ordoñez Santos	133
<i>Análisis a las herramientas competitivas para el mejoramiento de la productividad a partir de una revisión de la literatura</i>	Juan Camilo Gutiérrez Sebastián García Méndez Zulay Yesenia Ramírez León	143
<i>Una propuesta de articulación de las normas NTC ISO 9001, NTC 6503 y NTSH 006 en establecimientos de alojamiento y hospedaje</i>		158

	Yuly Andrea Ujueta Castillo Diana Cristina Martínez Silva Olga Lucia Obando Vargas Hernando Camacho Camacho	
<i>Estrategias de prevención en la aparición de enfermedades osteomusculares</i>	Yuleima Esther Conrado Alarcón Cesar Alejandro García Molano	168
<i>Cómo incorporan las nuevas tecnologías las organizaciones sociales y solidarias para mejorar sus servicios</i>	Juan Santiago Calle Piedrahita Sandra Milena Malavera Pineda Julián David Colorado Agudelo	175
<i>Economía circular en Colombia: Panorama y estrategias para acelerar su implementación</i>	Juan David Carvajalino-Umaña Felipe Romero-Perdomo Mauricio López-González Natalia Ardila Miguel Ángel González-Curbelo	187
<i>Análisis de los procesos relacionados con la producción desde gestión de calidad de empresas farmacéuticas: Una revisión de la literatura</i>	Liset Dayana López Sarmiento Sylvia María Villarreal-Archila Katherine Julieth Sierra Suarez Silvia Juliana Rodríguez Mogotocoro	201
<i>Definición de método de priorización de solicitudes de trabajos de mantenimiento para contextos universitarios</i>	Andrea Michelle Gómez Giacomo Barbieri Luis Mario Mateus Yenny Jazmín Vanegas Gerardo Andrés Casas	213
<i>Análisis de la asimilación de las TIC en los productores del Servicio de Asesoría Técnica SAT como contribución a la transformación digital y competitividad de las empresas agrícolas familiares</i>	Carolina Giacaman Becerra	226
<i>Diseño de prototipo de destilador solar activo de doble pendiente, como método de obtención de agua potable</i>	Mauren Catalina Buelvas Rojano Roberto José Calderón Bermejo Iván Darío Rojas Arenas Nicolas Restrepo Henao	239
<i>Pequeñas centrales hidroeléctricas como alternativa para la obtención de energía en entornos rurales en Colombia: Un análisis teórico</i>	Santiago Vásquez Carmona Iván Darío Rojas Arenas Mariana Leandra Agudelo Calle José Alejandro Durango Marín	249
<i>Análisis y atención a las contingencias en el sistema eléctrico mexicano mediante la información de sistemas de información</i>	Francisco Javier Lira Mendoza Daniel Jiménez Alcantar Moisés Ramón Villa Fajardo	260
<i>Procedimiento de dimensionamiento de un generador fotovoltaico aislado de baja potencia que opera bajo condiciones de sombreado parcial</i>	Michael Arenas Flórez Juan David Bastidas Rodríguez	269
<i>Metodología para pronosticar las demoras en las salidas de los vuelos regulares programados utilizando herramientas predictivas</i>	Juan Gerardo Muros Anguita Oscar Díaz Olariaga	283
<i>Pronóstico de la demanda de transporte de carga aérea. Caso de estudio Colombia</i>	Juan Gerardo Muros Anguita Oscar Díaz Olariaga	300
<i>Pronóstico de demanda de tráfico aéreo mediante metodología Bayesian Structural Time Series BSTS</i>		315

	Yesid Rodríguez Pinzón Oscar Díaz Olariaga	
<i>Generación de energía eléctrica a partir de cerámicos y fluoruro de polivinilideno PVDF</i>	Eliecer Yépez Sánchez Franklin Armando Bermeo Acosta	327
<i>Métodos de evaluación y medición de redes móviles emergentes: Aplicación NB-IoT para transportar datos de calidad del aire</i>	Samuel Alejandro Clavijo Hernández Mónica Rico-Martínez Yury Jiménez-Agudelo Luis Felipe Ariza Vesga José-Luis Cabra López	341
<i>Diseño de un sistema híbrido fotovoltaico-eólico-diésel-baterías para zonas no interconectadas: Un estudio de caso</i>	Ana Lisbeth Galindo Noguera Mayra Alejandra Barrera Fajardo Rodolfo Solano Silva Luis Sebastián Mendoza Castellanos	355
<i>Evaluación de los estándares ASTM D877 y ASTM D1816 para determinar la tensión de ruptura dieléctrica a frecuencia industrial en aceites aislantes</i>	Fabio Alfonso González Michael Arenas Flórez Alonso de Jesús Retamoso Llamas Ángel Octavio Sandoval Pinzón Julián Andrés Caicedo López César Augusto Cristancho Franco	365
<i>Análisis de un sistema fotovoltaico de autoconsumo aplicado a un desarrollo tecnológico de aspersión</i>	Edwing Fabian Amaya Arias	376
<i>Desarrollo y evaluación de un sistema electrónico de adquisición de variables fisiológicas para el monitoreo de usuarios de un simulador con realidad virtual</i>	Juan Pablo Vasco Marín Santiago Caro Zapata Jonathan Gallego Londoño	384
<i>Diseño de un prototipo de balanza electrónica IoT para la medición de residuos orgánicos aprovechables en unidades residenciales</i>	Ángel Alejandro Rodríguez Aya Ramiro Hernán Polanco Contreras	404
<i>Diseño de electrodos flexibles y biocompatibles para recuperación de la función motora posterior a lesión medular</i>	Leydy Vanessa Rodríguez Robles Juan David Gómez Villa Efraín José Zapata Rey Beynor Antonio Páez Sierra Diana Maritza Marulanda Cardona Angélica María Ramírez Martínez	414
<i>Comparación de métodos de filtrado de interferencias de líneas eléctricas en la electromiografía superficial multicanal</i>	Carlos Arturo Carrasco Henao Eduardo Rodríguez Araque	423
<i>Sistema automatizado para la compensación de energía reactiva usando redes Neuronales</i>	Verena Mercado Polo Lizeth Cortes Hernández Miguel Antonio Peña Totaitive Jarvey Leonardo González Montañez	433
<i>Diseño y construcción de órtesis para alivio de cargas en la articulación de rodilla para ciclistas</i>	Duván Andrés Orjuela Santos Yolanda Torres Pérez	449
<i>Generación de un modelo predictivo de la fuerza de agarre para trabajadores del sector panelero</i>	Yulieth Tatiana Delgado Guzmán Jorge Yaith Arroyo Madera Magda Viviana Monroy Silva Christian Ricardo Zea Forero	460

<i>Aportes a la sostenibilidad social de proyectos de infraestructura urbana. Un caso de estudio comparado entre criterios de evaluación y actores de interés para infraestructuras en el sur de Chile</i>	María Jesús Osses Osses Leonardo Sierra Varela Felipe Araya	470
<i>Relación de criterios de contribución a la sostenibilidad social de aditivos asfálticos innovados y en uso</i>	Ricardo López Altamirano María Jesús Osses Osses Leonardo Sierra Varela	489
<i>Diseño de un dispositivo de utilidad para la verificación dimensional en soldaduras de filete y ranura</i>	Jorge Wilfredo Vera Alvarado Luis Fernando Caballero García	500
<i>Estudio de las prestaciones y pérdidas de fricción de un motor de combustión interna alternativo usando un sistema de relación de compresión variable</i>	Oscar Hernando Venegas Pereira Luisa Fernanda Mónico Muñoz Duván Caballero Casallas	509
<i>Capacidad de detección de defectos en juntas soldadas al variar la técnica de ensayo con partículas magnéticas</i>	Jorge Wilfredo Vera Alvarado Luis Fernando Caballero García Martín Taboada Neira	522
<i>Evaluación numérica de la estabilidad direccional de grieta bajo esfuerzos biaxiales</i>	Martín Iván Correa Corona Guillermo Urriolagoitia Sosa Francisco Javier Gallegos Funes	529
<i>ColombiaClass: Sistema de clasificación para la gestión de activos de construcción en Colombia</i>	Juan Carlos Gómez Roldán Guillermo Mejía Aguilar	543
<i>Análisis comparativo técnico y económico de la adición de asfaltita a una mezcla asfáltica densa en frío</i>	José Rodrigo Alarcón Dallos Wilmer Orlando Galvis Pinzón Pedro Antonio Suarez Rivera	560
<i>Efecto de los parámetros sobre el calor de entrada del proceso de soldadura por puntos de resistencia RSW en un acero ferrítico bainítico FB grado 700</i>	Noé Ibarra Interrial Rocío Saldaña Garcés Emmanuel José Gutiérrez Castañeda	574
<i>Descripción y recomendaciones para la durabilidad de la construcción indígena la maloca en la Amazonía colombiana</i>	Gabriel D. Zambrano-López Carlos A. Gaviria-Mendoza Ana Milena Molina Emilmar Sulamit Rodríguez-Caldera	586
<i>Estimación numérica de los parámetros de la Mecánica de la Fractura Lineal Elástica a baja temperatura</i>	Jesús Manuel German-Carcaño Beatriz Romero-Ángeles Jacobó Martínez-Reyes Daniel Maya-Anaya Arturo Sánchez-Cervantes Guillermo Urriolagoitia-Sosa	599
<i>Simulaciones Híbridas en Tiempo-Real SHTR aplicadas en la evaluación del desempeño dinámico de muros delgados de concreto reforzado afectados en una edificación aislada</i>	Bryan Castillo Torres Sharick Melisa Vides Quintero Andry Fernanda Hoyos Triviño Peter Thomson Johannio Marulanda Casas	610
<i>Análisis numérico de los gradientes térmicos por cargas de temperatura en tableros de puentes de concreto reforzado</i>	Camilo Andrés Ballesteros Avellaneda Edison Osorio Bustamante Erika Lorena Becerra Becerra	625

<i>Análisis dinámico no lineal de puentes de vigas cajón continuas mediante modelos simplificados de un solo grado de libertad</i>	Juan David Bravo José Miguel Benjumea Fabián A. Consuegra	635
<i>Diagnóstico al reflujo en un sistema de alcantarillado pluvial y sanitario</i>	Cesar Divantoque Martínez	650
<i>Evaluación de la vulnerabilidad física de la infraestructura rural por el desbordamiento de afluentes de agua</i>	Abdón Felipe Cely Negret Alejandro Franco Rojas	668
<i>Caracterización de las precipitaciones como primer detonante en la evaluación multi riesgo de los fenómenos de origen natural</i>	Yeison A. Mosquera Valencia Deison Cárdenas Espinal	682
<i>Evaluación de umbrales críticos de precipitación como principal detonante de la amenaza por procesos de remoción en masa</i>	María Alejandra Valencia Diaz Carlos Andrés Ordoñez Ante	693
<i>Proceso de soldadura por arco sumergido de biseles estrechos utilizando un electrodo de cinta metálica de sección rectangular</i>	Ronan Lázaro da Silva Costa Ariel Rodríguez Arias Eduardo José Sánchez Lobo	710
<i>Aprender programación de computadores a partir del reconocimiento de patrones lexicográficos y lógicos usando Brain Based Learning BBL</i>	Omar Iván Trejos Buriticá Luis Eduardo Muñoz Guerrero	720
<i>Modelo de arquitectura empresarial utilizando el lenguaje de modelado Archimate: Un estudio de caso</i>	José Daniel Peña Meneses	730
<i>RecordaMedic: Una aplicación móvil para la supervisión en la toma de medicamentos de los adultos mayores</i>	Jhon Freddy Hernández Corzo Alexandra María Silva Monsalve	739
<i>Desarrollo e implementación de un sistema de monitoreo de temperatura y humedad utilizando Internet de las Cosas IOT</i>	Bárbara Emma Sánchez Rinza Liosbel Cabrera Hernández Mario Rossainz López	751
<i>Machine Learning predictivo a partir de la analítica y de modelos de inteligencia artificial. Un caso de estudio</i>	Raúl Bareño Gutiérrez	759
<i>Impacto del método Attribute-Driven Design ADD 3.0 en la definición de arquitecturas de software</i>	Carlos Andrés Arboleda Suaza Jorge Eliecer Giraldo Plaza Adriana Xiomara Reyes Gamboa	768
<i>Diseño de una aplicación web para la atención de usuarios a partir de la metodología de desarrollo tecnológico</i>	Nancy Tavera Castillo Cesar Augusto López Cortés Ernesto Solano Hernández Jesús Guillermo Banquez Mendoza	779
<i>Impacto de la implementación de una plataforma como servicio para apoyar procesos de Formación empresarial mediante la modalidad MOOC</i>	José de los Santos Solórzano Suárez Sandra Milena García Córdoba Doris Constanza Alvarado Mariño Raúl Bareño Gutiérrez Jhonatan Paolo Tovar Soto	791
<i>Aplicación y uso de conceptos de matemáticos en procesos ingenieriles: Caso de estudio Ingeniería de sistemas</i>	Edwin Romero Cuero Robinson Pulgarín Giraldo	800
<i>Aplicación de Building Information Modeling BIM en el entorno educativo para el desarrollo de proyectos arquitectónicos</i>	Néstor Ariel Gómez Quisoboni Juan David Cortes León	811

<i>Utilización de métricas de calidad para evaluar las características de uso de un producto software</i>	Maribel Romero Mestre Edwin Manuel Vides Hernández	829
<i>Algoritmo para la interpretación dimensional de piezas automotrices con el uso de visión computacional y procesamiento de imágenes para el control de calidad</i>	Thania Godínez Gamiño Ylutiery Reyes Campos Cesar Augusto García Isais	840
<i>Mejoramiento del proceso de revisión tecnomecánica para motocicletas en un centro de diagnóstico automotor por medio de una simulación por eventos discretos en Promodel</i>	Luis Emiro Meneses Espinosa Duván Ernesto Meneses Espinosa Jaime Humberto Mendoza Chacón Nora Fernanda Arciniegas Sánchez	851
<i>Dinámica de sistemas y sus aplicaciones en logística urbana</i>	Claudia Milena Gómez Zuluaga Luis Alberto Rivera Martínez Andrés Rey Piedrahita	868
<i>Diseño de un sistema de conteo vehicular automático a través de visión por computador</i>	Fredy Nocua Mesa Daniel Albarracín Sepúlveda Diego Pita Pedraza	874
<i>Trastorno musculoesquelético derivado del uso de dispositivos móviles o síndrome de cuello de texto: Una revisión de la literatura</i>	Ricardo De la Hoz Lara Laura Imitola González Jhon Arráez Restan Jessica Cortez López Jhonatan Domínguez Perdomo Héctor Saltarín Castillo	883
<i>Desarrollo de un prototipo de realidad mixta como apoyo al proceso de aprendizaje de estudiantes con y sin discapacidad auditiva</i>	Yersson Sánchez Lozano Emmanuel Santiago Buitrago Barreto Martha Yaneth Segura Ruiz	891

Como citar los capítulos de este libro

Autor del capítulo. (2022). *Título del capítulo.* En Serna E. (ed.), *Ingeniería y Desarrollo en la Nueva Era* (pp. del capítulo xx-xx). Editorial Instituto Antioqueño de Investigación.

Proceso de soldadura por arco sumergido de biseles estrechos utilizando un electrodo de cinta metálica de sección rectangular

Ronan Lázaro da Silva Costa¹

Ariel Rodríguez Arias²

Eduardo José Sánchez Lobo³

Universidade Federal de Minas Gerais
Brasil

Las exigencias de la industria y la demanda de procesos más eficientes han obligado a los investigadores a buscar nuevos procesos de soldadura para aumentar la productividad de las piezas unidas, sin sacrificar la calidad y buscando disminuir los costos de producción. En este trabajo se presenta una nueva técnica de soldadura en chaflán estrecho, con la diferencia de que utiliza un consumible de cinta metálica o de área rectangular. Para la aplicación de este proceso se vio la necesidad de diseñar y construir una antorcha especial o cabezal de soldadura que utiliza cintas metálicas como metal de aporte que, posteriormente, se acopló a una fuente de soldadura utilizada para arco sumergido SAW, disponible en el laboratorio de Robótica, Soldadura y Simulación LRSS de la Universidad Federal de Minas Gerais UFMG de Brasil.

¹ Estudiante de Maestría en Ingeniería mecánica.

Contacto: ronanlazar@yahoo.com.br

² Doctor en Ingeniería mecánica.

Contacto: arielra@demec.ufmg.br

³ Estudiante de Maestría en Ingeniería mecánica.

Contacto: ejsanchezl@ufps.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

El arco es una descarga eléctrica que suele oscilar entre 1 y 2000 Amperios cuando se aplica a la soldadura[1]. Hay una gran variedad de procesos de soldadura, entre ellos el proceso de arco sumergido. Generalmente, estos procesos utilizan uno o más hilos circulares o tiras metálicas.

En la literatura, solo se encontró el uso de cintas rectangulares para el recubrimiento de la superficie o revestimiento duro buscando un recubrimiento de un metal de adición con características especiales resistentes al desgaste, resistentes a la corrosión y a las altas temperaturas en la superficie de trabajo principalmente en las industrias del acero, la minería y la industria petrolera [2].

Como ya se ha descrito por su nombre, en el proceso de soldadura por arco sumergido, el arco está protegido por una capa de fundente que lo protege, además de proteger el metal base fundido y el charco de fusión [3], por esta razón, es difícil visualizar la transferencia metálica [4].

La soldadura en bisel estrecho es una técnica desarrollada para soldar chapas gruesas de forma más económica. Por lo general, se utilizan biseles de hasta un máximo de 20°, ya que estos requieren menos soldadura y menos tiempo de soldadura. En la soldadura de estos biseles se están aplicando varias técnicas, como la soldadura de arco sumergido SWAW, la soldadura de metal protegido por gas MIG/MAG, GMAW y la soldadura de gas inerte de tungsteno TIG, GTAW [5].

Para aumentar aún más la tasa de deposición y reducir el tiempo de soldadura, en este trabajo, para soldar biseles estrechos, se utilizó una tira de metal con sección transversal rectangular como metal de aportación. La Figura 1 muestra el posicionamiento de la banda en relación con el chaflán.



Figura 1. Posición de la cinta en el chaflán

2. MÉTODO

La metodología es presentada con una breve información de los componentes del proceso de soldadura y su principal función, además de seguir un paso a paso de las etapas desarrolladas para obtener resultados y analizarlos de la manera más clara y eficiente.

2.1 Máquina de soldar

Para la realización de las pruebas se utilizó una máquina de soldadura por arco sumergido, fabricada por White Martins, modelo V-800 mostrada en la Figura 2. Esta máquina está compuesta por una fuente de tensión constante de tipo transformador-rectificador, con una tensión de alimentación de 220/380/440V, un factor de potencia de 0,98, una capacidad de corriente de 800A y una tensión máxima de 43V [6]. Conectado a esta fuente se utilizó una unidad de control Unionmelt CAS-100, que permite controlar la corriente y la velocidad de soldadura.

2.2 Fabricación del cabezal de soldadura

La máquina de soldar fue diseñada para trabajar con alambres circulares, lo que hizo necesaria la construcción de un cabezal para soldar con cintas de sección rectangular. El cabezal fabricado está

compuesto por 2 (dos) rodillos, uno motorizado y el otro accionado, protegido por una caja metálica, aislada eléctricamente de la carcasa de la máquina. En esta caja se encuentra la primera parte de la pinza de contacto, compuesta por placas de acero al carbono y cobre. La segunda parte del agarre de contacto es simétrica en con respecto a la primera. Las garras se fijan mediante tornillos y muelles, que facilitan el ajuste entre el electrodo de cinta y las garras. El electrodo de la banda pasa entre los rodillos, correctamente ajustados, para suministrar una alimentación continua, y se dirige hacia las mordazas de contacto, que tocan la banda mediante el ajuste realizado con tornillos y muelles. La Figura 3 muestra el diseño del cabezal de soldadura fabricado y adaptado a la unidad de control.



Figura 2. máquina de soldadura por arco sumergido



Figura 3. Cabezal de soldadura adaptado a la unidad de control CAS-100.

2.3 Ajuste eléctrico

La fuente de soldadura utilizada en este trabajo es una fuente de tensión constante, y la alimentación de metal de adición viene dada por el ajuste de la corriente, no siendo posible ajustar las dos magnitudes por separado. Esta funcionalidad hace imposible soldar con tiras de metal, ya que la máquina de soldar, V-800, fue diseñada para trabajar con alambre circular. Sin embargo, el motor encargado de alimentar el metal de adición es una máquina de corriente continua compuesta (excitación en serie y en paralelo) y su alimentación se realiza de forma independiente por fuentes internas (V_{dc1} y V_{dc2}).

Por lo tanto, mediante la inserción de una resistencia variable, es posible atenuar el par, ya que la corriente del inducido se atenúa y, en consecuencia, mediante la caída de tensión en los bornes, es posible controlar la velocidad de la máquina y la velocidad del avance del metal de adición. La Figura 4 muestra el diagrama de cableado después de insertar el reóstato mostrado en la Figura 5.

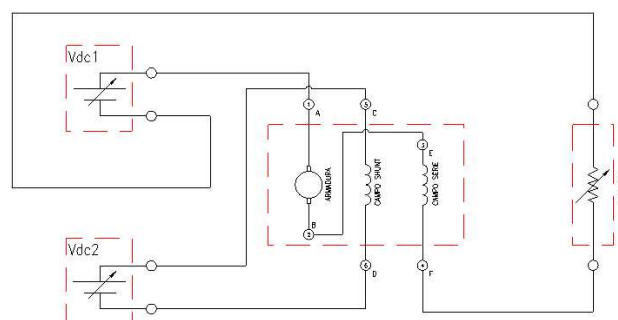


Figura 4. Adaptación eléctrica con la inserción de un reóstato



Figura 5. Reóstato

2.4 Velocidad de alimentación del metal depositado

Como ya se mencionó en el ajuste eléctrico el motor encargado de alimentar el metal de adición es una máquina de corriente continua compuesta (excitación en serie y en paralelo) y su alimentación se realiza de forma independiente por fuentes internas (Vdc 1 y Vdc 2). Además, en el motor de corriente continua, la variación del conjugado se refleja directamente en la corriente del inducido, según la ecuación (1).

$$T = N \times \varphi_p \times I_a \quad (1)$$

Donde:

T = Par o conjugado mecánico;

N = Constante constructiva de la máquina;

φ = Flujo polar teórico;

I_a = Corriente de armadura.

Además, en las máquinas de corriente continua, la velocidad desarrollada por el inducido es proporcional a la tensión de velocidad (fracción de la tensión en bornes que es inducida por el movimiento de los conductores en el flujo polar), lo que puede verse en la ecuación (2).

$$V_{ind} = \frac{W}{\varphi_p} * N \quad (2)$$

Donde: W = Velocidad desarrollada por el inducido, y V_{ind} = Tensión de velocidad.

2.5 Electrodo metálicos

Para fabricar los electrodos se utilizó una chapa de acero ASTM A-36 de 0,75 mm de espesor y 15 mm de ancho, cuya composición es mostrada en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición química del electrodo la cinta metálica.

Fe	C	Mn	P	S	Si	Cu
98,54	0,28	Max. 0,90	Max. 0,04	Max.0,05	Max. 0,04	0,2

2.6 Cuerpos de prueba

Para la fabricación de la muestra se fresó una ranura de 8 mm de ancho, 10 mm de profundidad y 200 mm de longitud, según la Figura 6.

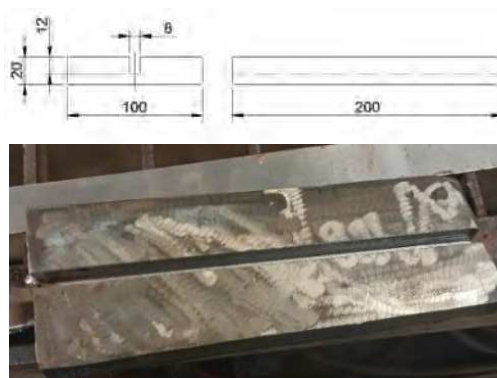


Figura 6. Cuerpo de Prueba

El material utilizado es una aleación de acero con composición química como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición química do metal de base

Elemento	Fe	Mn	Si	C	Cu	V	Nb	Ni	Cr	Mo	P	Al	Ti	S	Co
(%)	98,06	1,45	0,23	0,09	0,08	0,05	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,005	0,05

Para verificar la soldabilidad del acero API 5LX70, el carbono equivalente se calculó con la ecuación (3).

$$Ceq = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr+\%Mo+\%V}{5} + \frac{\%N+\%Cu}{15} \quad (3)$$

El valor hallado al aplicar esta ecuación es de 0,35%, lo que indica que este acero tiene una buena soldabilidad [7].

2.7 Dirección de la soldadura

Para la realización de la soldadura, se inclinó el cabezal en relación al metal base, haciendo que la distancia entre los extremos de la tira y el charco de fusión se mantuviera igual. Además, esta inclinación hacía que parte del electrodo hiciera el pase de la raíz y el resto llenara completamente la junta, de forma gradual, pero en una sola pasada. La Figura 7 muestra de forma esquemática cómo se realiza la deposición del metal de relleno.

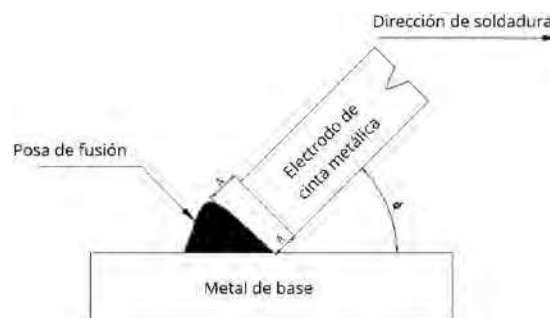


Figura 7. Dirección de la soldadura

2.8 Parámetros de soldadura

Se realizaron tres soldaduras con diferentes parámetros, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Parámetros de la prueba

Prueba	1	2	3
Tensión (V)	17	17	17
Corriente (A)	280	240	200
Stick-aut (mm)	60	60	60
Velocidad de Soldadura (mm/s)	3,9	2,2	1,3
velocidad de alimentación (mm/s)	21,5	18,9	14,4
inclinación (°)	12	12	12

2.9 Adquisición de señales

Para entender la transferencia de metal en el proceso de soldadura de chaflanes estrechos utilizando un electrodo de cinta, se midieron las señales de tensión y corriente. Para ello se utilizó un sistema de adquisición, modelo SAP V4, cuyo fabricante es la empresa IMC SOLDAGEM, que tiene una capacidad de adquisición de 5000 puntos por segundo.

Para la adquisición de las señales de tensión, se instaló un sensor de tensión en paralelo con la fuente de la máquina de soldar, y para las señales de corriente, se instaló un sensor Hall en serie con la misma fuente. La Figura 8 muestra el dibujo esquemático de la conexión del sistema de adquisición de señales.

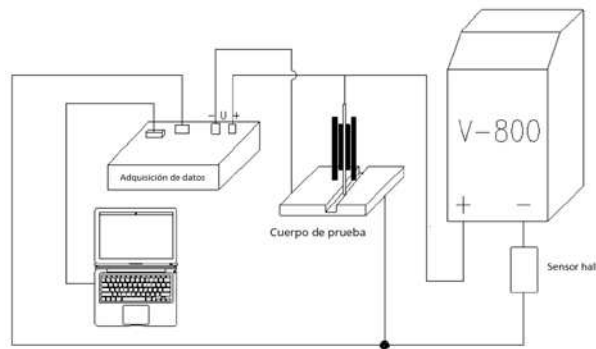


Figura 8. Adquisición de la señal

Para el procesamiento de las señales eléctricas colectadas se utilizó el software SINAL, desarrollado por la UNIVERSIDAD FEDERAL DE MINAS GERAIS, BRASIL, el cual mide en un cierto periodo de tiempo señales eléctricas como tensión, corriente, potencia, tensión de arco en abierto, y frecuencias de corto circuito, además de generar gráficos que facilitan el análisis de los resultados.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Todas las pruebas se realizaron con el mismo valor de tensión y stick-out (Distancia entre el contacto energizado al metal base). La Figura 9 representa el comportamiento de la tensión en función del número de puntos para las muestras 1, 2 y 3. En esta gráfica se puede ver que no hay puntos de cortocircuito en ninguna de las tres pruebas y tampoco hay puntos de extinción de arco, porque no hay curvas a la derecha y a la izquierda de la curva que representa el arco abierto (curva con pico a 32V).

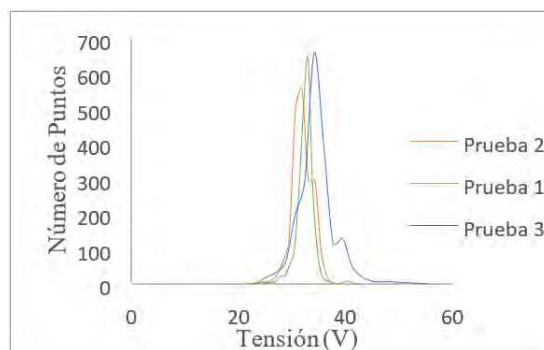


Figura 9. Histograma de Tensión - Prueba 1, 2 y 3

Según [8], se puede evaluar la estabilidad de un proceso por la curva generada en un histograma de tensión, onde las curvas o picos con una abertura de base menor y un pico de puntos más alto se caracteriza como el proceso más estable. Todavía es posible ver que la curva relativa a la prueba 1 representa los parámetros que dieron mayor estabilidad al proceso, ya que la distribución de la tensión estaba más concentrada en esta curva. La Figura 10 muestra las señales de tensión y corriente recogidas para la muestra 1; la Figura 11 para la muestra 2 y la Figura 12 para la muestra 3. Los datos se recogieron tras 5 segundos de apertura del arco y se muestran en el periodo de 200 ms.

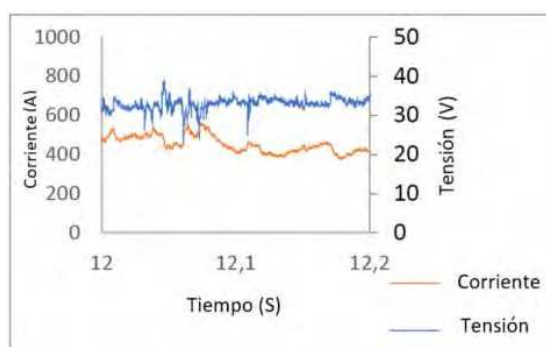


Figura 10. Tensión, corriente x tiempo - Prueba 1

La Figura 10 permite identificar que las líneas de tensión y corriente no sufren perturbaciones bruscas y se mantienen con una cantidad de picos insignificantes para el proceso lo que se traduce a un proceso estable.

En la Figura 11 se puede evidenciar picos altos y bajos de corriente y tensión, lo que lo hace menos estable que la prueba 1.

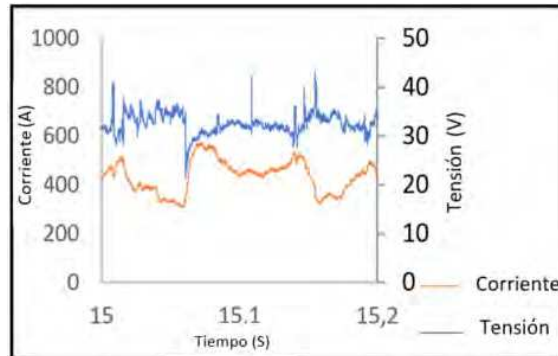


Figura 11. Tensión y corriente x tiempo - Prueba 2

La Figura 12 muestra los valores obtenidos de la soldadura realizada a la prueba 3, evidenciándose perturbaciones más elevadas que en la prueba 2 y la prueba 1, siendo esta la prueba con mayor inestabilidad del proceso.

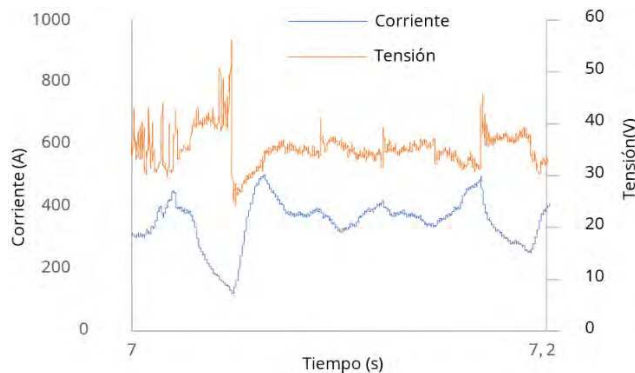


Figura 12. Tensión y corriente x tiempo - Prueba 3

La Tabla 4 muestra el resultado de la tensión media, la corriente media y la desviación estándar de las tres muestras.

Tabla 4. Datos experimentales

Tensión	1	2	3
Tensión media (V)	32,91	32,51	35,4
Corriente media (A)	453,53	436,72	352,64
Desvío estándar Tensión	1,59	2,12	3,44
Desvío estándar Corriente	43,42	66,16	75,57

A partir de los datos presentados en la Tabla 3, se puede observar que a medida que la corriente disminuye, las desviaciones estándar de la tensión y la corriente aumentan, siendo que los menores desvíos estándar se refieren a la prueba 1. Este hecho corrobora la afirmación realizada a partir de la Figura 9, el proceso que mostró mayor estabilidad fue el utilizado en la primera prueba.

A continuación, se presentan registros fotográficos de los cordones de soldadura, aclarando que las Figuras 13 y 14 se refieren a la prueba 1, las Figuras 15 y 16 a la prueba 2 y las Figuras 17 y 18 a la prueba 3.

En la Figura 13 se puede observar el aspecto superficial del cordón de soldadura de la prueba 1, donde se puede observar que no existen poros superficiales ni grietas, donde la cinta metálica lleno por completo el chaflán.



Figura 13. Aspecto exterior del cordón de soldadura - Prueba 1

Después de realizar el corte del cordón de soldadura y ser sometido por una preparación metalográfica, pasando por un proceso de lijado y atacado químicamente con Nital 5% (95% Ácido Nítrico y 5% d alcohol), para logra identificar las zonas de la soldadura como la zona térmicamente afecta, la línea de fusión y el metal depositado y también para observar defectos en la soldadura como grietas por solidificación, porosidad, falta de fusión en las paredes del chaflán e inclusión de escoria, se logró observar el área transversal del cordón de soldadura como se muestra en la Figura 14, donde se puede identificar que la cantidad de poros durante el proceso es despreciable, no se generaron grietas, buena fusión del metal depositado con las pards del chaflán y no existe inclusión de escoria.



Figura 14. Corte en el cordón de soldadura de la prueba 1

En la prueba 2 se logró identificar un aspecto superficial bueno sin presencia de poros ni grietas y buena deposición del metal (Figura 15), sin embargo, la parte superficial del cordón de soldadura tiene una apariencia gruesa o extensa.



Figura 15. Aspecto exterior del cordón de soldadura - Prueba 2

En la parte interna del cordón de soldadura de la prueba 2 mostrado en la Figura 16, se logró identificar claramente presencia de poros por falta de fusión del metal depositado con la paredes del chaflán principalmente en la base, además se observa que en la parte superior del cordón de soldadura la cinta metálica se fundió de manera elevada, depositando mayormente metal de adición en esta parte del chaflán, además se logo identificar que no hay presencia de grietas ni inclusiones de escoria en el proceso.



Figura 16. Corte de Cordón de soldadura - Prueba 2

En la Figura 17 se puede observar el aspecto superficial de la prueba 3, evidenciándose poca presencia de poros superficiales y un cordón de soldadura no uniforme en comparación de la prueba 1 y prueba 2.



Figura 17. Aspecto exterior del cordón de soldadura - Prueba 3

En la Figura 18, se presenta el corte del cordón de soldadura donde se evidencia como principal imperfección la falta de fusión de la pared del chaflán, además de no llenar completamente el chaflán en la parte superior.



Figura 18. Corte en el cordón de soldadura de la Prueba 3

También se puede observar que en las tres pruebas fue posible llenar completamente los chaflanes con una sola pasada y el aspecto visual externo fue bueno en las tres muestras, sin embargo, internamente la mejor calidad del cordón se obtuvo en la muestra 1, es decir, en el proceso más estable.

4. CONCLUSIONES

La soldadura de chaflanes estrechos mediante el proceso de arco sumergido y un electrodo de sección transversal rectangular se ha mostrado prometedora, ya que tiene una alta tasa de deposición, que se puede probar con el llenado completo del chaflán en una sola pasada. Además, en las pruebas realizadas, al aumentar la corriente de soldadura la calidad del cordón mejoró considerablemente.

El material utilizado como metal de relleno fue el acero ASTM A-36, debido a su facilidad de adquisición. Sin embargo, para futuros trabajos y para su uso industrial es necesario el estudio de un electrodo de cinta con elementos de aleación capaces de ayudar a la calidad del cordón de soldadura.

Como complemento a este trabajo, se sugiere el estudio de las características mecánicas adquiridas por las probetas aquí estudiadas y la comparación con procesos establecidos de soldadura de chaflanes estrechos, como el GMAW (Gas Metal Arc Welding).

REFERENCIAS

- [1] Modenesi P. (1990). Statistical modelling of the narrow gap gas metal welding process. Grandfield Institute of Technology.
- [2] Thornton C. (1992). Increasing productivity in submerged arc welding. *Weld. Rev.* 11(1), 14–15.
- [3] Gimenes L. y Pinto J. (1990). Processo de Soldagem por Arco Submerso. Infosolda.com.br
- [4] Modenesi A. y Bracarense A. (2012). Introdução à física do arco elétrico e sua aplicação na soldagem dos metais. Belo Horizonte.
- [5] TWI Group. (1999). Trade show shipping & Exhibition logistics specialist. Recuperado: <https://www.twigroup.com/>
- [6] Vasata P. (2013). Construção e avaliação de um calorímetro com vazão contínua de água para avaliação do rendimento térmico em processos de soldagem. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- [7] ABNT. (2015). ABNT NBR 14842 - Soldagem 2015 - Válida a partir de edição Norma ABNT NBRABNT NBR Brasileira.
- [8] Guo N. et al. (2016). Effect of boric acid concentration on the arc stability in underwater wet welding. *Journal of Materials Processing Technology* 229, 244–252.