

## **ESTUDIO DESCRIPTIVO DE LOS DIFERENTES PROCESOS DE SOLDADURA UTILIZADOS EN COLOMBIA Y EL MANEJO DE SUS RESIDUOS**

**MONICA GONZALEZ BUSTOS**

**GEOVANNY TRESPALACIOS FRITZ**

**OSCAR GUILLERMO WALTEROS RODRIGUEZ**

**FACULTAD DE ESTUDIOS EN AMBIENTES VIRTUALES DE APRENDIZAJE**

**UNIVERSIDAD EAN**

**SEMINARIO DE INVESTIGACION**

**BOGOTÁ, D.C. JUNIO DE 2020**

## RESUMEN

La soldadura es un proceso de fijación en donde se realiza la unión de dos o más piezas de un material (generalmente metales o termoplásticos), usualmente logrado a través de la coalescencia (fusión), en la cual las piezas son soldadas fundiendo, se puede agregar un material de aporte (metal o plástico), que, al fundirse, forma un charco de material fundido entre las piezas a soldar (el baño de soldadura) y, al enfriarse, se convierte en una unión fija a la que se le denomina cordón.

Debido al amplia demanda de soldadura en la industria nacional y el desarrollo de las diferentes infraestructuras en el país, es imperativo conocer los distintos procesos involucrados en el avance industrial y del mismo modo conocer el impacto ambiental por el alta huella de carbono reflejada durante la aplicación de dichos procesos, para lo cual se presenta el estado actual de los procesos de soldadura aplicables a la industria colombiana lo que impulsara a la transformación y búsqueda de procesos más eficientes así como el conocimiento en cuanto al manejo de los residuos producidos y por consiguiente la reducción de la afectación producida al medio ambiente y a la salud humana.

## PALABRAS CLAVES:

Cordón, Metal fundido, Arco Eléctrico, Electrodo, Fundente, Metal de Aporte, Gas de Protección, Escoria, Residuos.

## ABSTRACT

Welding is a fixing process where two or more pieces of a material (generally metals or thermoplastics) are joined, usually achieved through coalescence (fusion), in which the pieces are welded by melting, adding a filler material (metal or plastic), which, when melted, forms a puddle of molten material between the parts to be welded (the weld pool) and, when it cools, it becomes a fixed joint which is called weld bead.

Due to the wide demand for welding in the national industry and the development of the different infrastructures in the country, it is imperative to know the different processes involved in the industrial advance and in the same way to know the environmental impact of the high carbon footprint reflected during the application of these processes, for which the current state of the welding processes applicable to the Colombian industry is presented, which will promote the transformation and search for more efficient processes as well as the knowledge regarding the management of the waste produced and therefore the reduction of the damage produced to the environment and human health.

## KEYWORDS

Weld bead, Molten Weld Metal, Electric Arc, Electrode, Flux, Filler Metal, Shielding Gas, Slag, Waste.

## INTRODUCCIÓN

El presente documento contiene los elementos estructurales y de detalle relacionados al Informe Técnico Resultado de Investigación del curso de Seminario de Investigación y que hace parte de los medios para el desarrollo de la competencia transversal en investigación de la Universidad EAN. En esta primera entrega se presentan básicamente los elementos de la ficha de investigación, los elementos del planteamiento del problema y el marco teórico e institucional del estado del arte *“ESTUDIO DESCRIPTIVO DE LOS DIFERENTES PROCESOS DE SOLDADURA UTILIZADOS EN COLOMBIA Y EL MANEJO DE SUS RESIDUOS”*.

## TABLA DE CONTENIDO

|                                                                               | Pág. |
|-------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1 PROBLEMA DE LA INVESTIGACION -----                                          | 1    |
| 1.1 Planteamiento del Problema -----                                          | 1    |
| 1.1.1 Antecedentes del problema. ....                                         | 1    |
| 1.1.2 Descripción del Problema. ....                                          | 7    |
| 1.1.3 Formulación del Problema. ....                                          | 7    |
| 2 JUSTIFICACION -----                                                         | 8    |
| 3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION -----                                         | 8    |
| 3.1 Objetivo General -----                                                    | 8    |
| 3.2 Objetivos Específicos -----                                               | 9    |
| 4 MARCO REFERENCIAL -----                                                     | 9    |
| 4.1 Marco Histórico -----                                                     | 9    |
| 4.1.1 El proceso de soldadura a través de la historia. ....                   | 9    |
| 4.1.2 Breve clasificación de los procesos de soldadura en la actualidad. .... | 12   |
| 4.2 Marco Legal y Normativo -----                                             | 12   |
| 4.3 Marco Teórico -----                                                       | 15   |
| 4.3.1 Procesos de soldadura más utilizados en la industria. ....              | 15   |
| 4.3.2 Principales agentes contaminantes durante el proceso de soldadura. .... | 33   |
| 4.3.3 Impacto ambiental. ....                                                 | 34   |
| 4.3.4 Manejo de residuos en el contexto global. ....                          | 35   |
| 4.3.5 Distribución geográfica de la industria metalmecánica Colombia. ....    | 38   |
| 4.3.6 Clasificación de los desechos de soldadura en Colombia. ....            | 39   |
| 5 MARCO METODOLÓGICO -----                                                    | 40   |
| 5.1 Enfoque de la investigación -----                                         | 40   |
| 5.2 Alcance de la investigación -----                                         | 40   |
| 5.3 Diseño de la Investigación -----                                          | 40   |
| 5.4 Hipótesis -----                                                           | 41   |
| 5.5 Definición de variables -----                                             | 41   |
| 5.5.1 Definición conceptual. ....                                             | 41   |

|       |                                                                       |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------|----|
| 5.5.2 | Definición Operacional. ....                                          | 42 |
| 5.5.3 | Población y Muestra.....                                              | 42 |
| 6     | METODOLOGÍA PARTICULAR -----                                          | 43 |
| 6.1   | Instrumentos para recolección de información-----                     | 43 |
| 6.2   | Medición de variables -----                                           | 43 |
| 6.2.1 | Medición de Variables en Investigaciones y artículos académicos. .... | 43 |
| 6.2.2 | Medición de Variables en Planes y Guías de Manejo de Residuos. ....   | 48 |
| 7     | ANÁLISIS DE RESULTADOS -----                                          | 50 |
| 7.1   | Análisis de variables cuantitativas-----                              | 50 |
| 7.2   | Análisis de variables cualitativas -----                              | 51 |
| 8     | CONCLUSIONES Y DISCUSION -----                                        | 56 |
| 9     | BIBLIOGRAFIA-----                                                     | 60 |

## LISTA DE TABLAS

Pág.

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. <i>Perfil Estratégico del Entorno del Proyecto</i> -----                              | 6  |
| Tabla 2. <i>Marco Legal del Proyecto.</i> -----                                                | 12 |
| Tabla 3. <i>Marco Normativo del Proyecto.</i> -----                                            | 14 |
| Tabla 4. <i>Mezclas de gases más comunes para el proceso GMAW.</i> -----                       | 27 |
| Tabla 5. <i>Impacto ambiental por los contaminantes en los procesos de soldadura.</i> -----    | 34 |
| Tabla 6. <i>Distribución geográfica industria metalmecánica por generación de empleo</i> ----- | 39 |
| Tabla 7. <i>Clasificación de los residuos de soldadura</i> -----                               | 39 |
| Tabla 8. <i>Medición de variables acorde a la muestra dirigida.</i> -----                      | 47 |
| Tabla 9. <i>Indicadores asociados a los Residuos de Soldadura.</i> -----                       | 48 |
| Tabla 10. <i>Medición de indicadores para los residuos de Soldadura.</i> -----                 | 49 |

## TABLA DE FIGURAS

Pág.

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Figura 1. Clasificación de los procesos de soldadura.</i> -----                                                            | 12 |
| <i>Figura 2. Representación esquemática del proceso SMAW durante su ejecución.</i> -----                                      | 17 |
| <i>Figura 3. Representación esquemática del proceso SAW.</i> -----                                                            | 19 |
| <i>Figura 4. Esquema del proceso GTAW.</i> -----                                                                              | 21 |
| <i>Figura 5. Esquema del proceso GMAW.</i> -----                                                                              | 23 |
| <i>Figura 6. Esquema de los tipos de transferencia metálica en función del amperaje.</i> -----                                | 24 |
| <i>Figura 7. Transferencia SPRAY en el proceso GMAW.</i> -----                                                                | 25 |
| <i>Figura 8. Transferencia GLOBULAR en el proceso GMAW.</i> -----                                                             | 26 |
| <i>Figura 9. Transferencia Corto Circuito en el proceso GMAW.</i> -----                                                       | 26 |
| <i>Figura 10. Esquema del proceso FCAW auto-protegido.</i> -----                                                              | 28 |
| <i>Figura 11. Esquema del proceso FCAW con protección externa gaseosa.</i> -----                                              | 29 |
| <i>Figura 12. Esquema de trabajo en el proceso PAW.</i> -----                                                                 | 31 |
| <i>Figura 13. Esquema del Proceso de Oxigas.</i> -----                                                                        | 33 |
| <i>Figura 14. Promedio global de generación de residuos especiales.</i> -----                                                 | 35 |
| <i>Figura 15. Composición de desperdicios a nivel global.</i> -----                                                           | 36 |
| <i>Figura 16. Ranking de reciclaje mundial</i> -----                                                                          | 36 |
| <i>Figura 17. Histograma de la Variable Metal de Aporte.</i> -----                                                            | 51 |
| <i>Figura 18. Diagrama de Barras de Variable Escoria.</i> -----                                                               | 52 |
| <i>Figura 19. Diagrama de Barras Variable Partículas Metálicas.</i> -----                                                     | 52 |
| <i>Figura 20. Diagrama de Barras Variable Humos y Gases.</i> -----                                                            | 53 |
| <i>Figura 21. Diagrama Circular para Variable de Radiación.</i> -----                                                         | 53 |
| <i>Figura 22. Diagrama de Barras Variable Gestión de Residuos publicaciones investigaciones educativas y artículos.</i> ----- | 54 |
| <i>Figura 23. Diagrama Circular indicadores gestión residuos de soldadura.</i> -----                                          | 55 |
| <i>Figura 24. Diagrama de Barras de la Variable Metal de Aporte.</i> -----                                                    | 56 |

## 1 PROBLEMA DE LA INVESTIGACION

### 1.1 Planteamiento del Problema

#### 1.1.1 Antecedentes del problema.

Mediante el siguiente análisis PESTEL conoceremos la interacción de este proyecto “*Estudio Descriptivo de los diferentes Procesos de Soldadura utilizados en Colombia y el Manejo de sus Residuos*” con los diferentes entornos a revisar, donde se observan las siguientes consideraciones:

- a) **Entorno Político:** En la actualidad el gobierno Nacional mediante la Constitución Política de 1991 (artículo 48) establece a cada empresa e industria a generar los objetivos y las políticas de Salud Ocupacional relacionadas con sus trabajadores, de esta forma el Ministerio de Trabajo reglamenta a cada empleador a realizar un análisis detallado de los riesgos que surgen en los procesos de soldadura bajo los procedimientos recomendados por NIOSH y la ISO 45001. Este reglamento técnico especifica la metodología para la toma y recolección de muestras de los humos metálicos de soldadura, con la posibilidad del empleo de nuevas tecnologías que vayan surgiendo en el campo de la higiene ocupacional.

El reglamento además contempla los procedimientos seguidos para la calibración de los equipos, los procedimientos para la evaluación del contaminante y además se enuncian los sistemas para el control de los humos metálicos de soldadura.

Este reglamento hace parte de una serie de normas relacionadas con la metodología empleada en higiene ocupacional, dirigida a la armonización de técnicas y procedimientos que se deben seguir en la identificación, evaluación y control de riesgos físicos y químicos en los puestos de trabajo.

La aplicación de los procedimientos de evaluación de contaminantes se ajusta a los lineamientos exigidos por las normas referidas a los Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional (ISO 45001) y Sistemas de Gestión Ambiental (NTC-ISO 14001) en cuanto a los programas de monitoreo y medición que deben incluir las industrias dentro de sus procesos de mejoramiento continuo y que desean ser certificadas.



Desde el ámbito de los procesos de Soldadura, la Asociación Colombiana de Soldadura y Ensayos No Destructivos (ACOSEND) es una organización sin ánimo de lucro, que reúne representantes de empresas productoras y usuarias de la soldadura, instituciones de formación y personas naturales, comprometidas con el desarrollo científico y tecnológico de la soldadura y los ensayos no destructivos y la transferencia al sector productivo nacional y que se rige de acuerdo a sus estatutos aprobados ante cámara de comercio. Acreditado por el ONAC bajo la ISO 17024 para Certificar de Personas como Inspectores en Soldadura Basado en la AWS QC1 e Inspectores de Ensayos No Destructivos Basado la norma ISO 9712. Siendo un Organismo acreditado para certificar personas con el fin de promover el desarrollo de la industria colombiana, empleando personal altamente calificado, desarrollando procesos eficientes, eficaces y de calidad, que satisfagan las necesidades y expectativas de la Industria.

- b) Entorno Económico:** Los principales indicadores económicos que afectan directamente al proyecto son los siguientes:
- **Precio del dólar:** En el último año el precio del dólar ha tenido un ascenso vertiginoso hasta valores récord de \$4.153,91, esto afecta directamente el sector industrial en el país, encareciendo el precio del acero, los consumibles, la maquinaria y los elementos de protección personal para el cuidado en la aplicación de la soldadura. Lo anterior es una debilidad para el proyecto porque la materia prima más importante es como se indicó el acero y si la TRM aumenta, el sector industrial tendrá una baja sensible en el desarrollo de nuevos proyectos aplicables.
  - **Precio del Petróleo:** En el último trimestre y caso contrario al precio del dólar, el precio de referencia del Crudo Brent exportable para Colombia ha descendido hasta un 60 % por diversos factores, entre ellos el más importante la guerra de precios entre Rusia y la OPEP. Por el lado de la demanda, estamos viendo una disminución importante como resultado de la desaceleración en la economía global y la creciente probabilidad de una recesión consecuencia de la propagación del coronavirus COVID-19. Este indicador presenta también una amenaza para el proyecto puesto que a nivel nacional el presupuesto anual se hace con base en las exportaciones de Petróleo y el nivel de crecimiento

industrial se ve claramente afectado por la baja en las exportaciones y la disminución de las ganancias sobre las ventas que genera este recurso natural.

- **Producto Interno Bruto:** El sector industrial (minería, industrias manufactureras, suministro de electricidad – gas – vapor – aire acondicionado, distribución de agua, tratamiento de aguas residuales, gestión de desechos y saneamiento ambiental, Construcción) constituyen alrededor de un 29 % del PIB en el cuarto trimestre del 2019. De igual forma el actual auge en la construcción y el uso de estructuras metálicas se espera tenga un crecimiento anual entre el 26% y 30% en los próximos años. En todas estas actividades del sector industrial los procesos de soldadura constituyen un elemento indispensable en la cadena de transformación. Por lo cual, se observa que el negocio de la soldadura en Colombia es un nicho de mercado importante en la económica del país y representa una gran oportunidad para realizar el proyecto aún más mediante la implementación de tecnologías y procesos sostenibles.
- c) **Entorno Social:** Durante muchos años procesos de soldadura han brindado una solución a las necesidades de infraestructura, el ritmo de vida capitalista y la demanda de muchos de los productos donde podemos observar “cordones de soldadura”. Sin embargo, la utilización de procesos convencionales y la no adopción de políticas para realizar un manejo adecuado de los residuos de la soldadura, los convierte en un factor contaminante de alto impacto para el medio ambiente, así como repercusiones en la salud de los seres humanos. Dicho esto, la posibilidad de generar productos más sostenibles que continúen cumpliendo la oferta - demanda social pero que a su vez no generen impactos negativos en el medio ambiente y ayuden en la reducción de residuos generados por la soldadura, constituyen un entorno favorable para el proyecto.
- d) **Entorno Tecnológico:** A nivel internacional el grado de automatización y la optimización de los procesos y la maquinaria que intervienen en la soldadura, nos ofrecen un entorno idóneo para encontrar e implementar soluciones tecnológicas que reduzcan en los procesos los tiempos, consumibles y costos de ejecutar un cordón de soldadura. Este entorno se ve como una oportunidad (fortaleza) para el proyecto, puesto que la adecuada

implementación de equipos tecnológicos mejorara los procesos de soldadura dentro de los objetivos planteados en el proyecto.

- e) **Entorno Ecológico:** Debido a la creciente preocupación mundial por el cambio climático y la inclusión de países industrializados para desarrollar el llamado "Protocolo de Kyoto", que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global, entre los que se encuentra el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Se esperaba para este año (2020) una reducción del 15% de dichas emisiones, sin embargo, ante la gravedad del asunto, en la Conferencia de las Partes COP21 desarrollada en París en el 2015 se acordó limitar el aumento global de las temperaturas por debajo de los 2°C e intentar que la subida no supere 1,5°C.

Todos estos acuerdos han parecido ser insuficientes para retroceder o detener el calentamiento global, y el último celebrado en noviembre del año pasado COP24 desarrollada en Katowice, Polonia presenta la gravedad de que Estados Unidos se retirara en el 2020, por lo que parece que nos encontramos en un camino incierto.

Colombia no es ajena a esta situación, por ello aceptó y aprobó el protocolo de Kyoto mediante la Ley 629 de diciembre de 2001, con el fin de promover el desarrollo sostenible y luchar contra el cambio climático. Actualmente la nación es responsable del 0,38% del total de emisiones globales, por ello el gobierno nacional se comprometerá a reducir el 20% de dichas emisiones de gases efecto invernadero para el año 2030. Este compromiso incluye: oportunidades de mitigación, estrategias de adaptación, promoción del desarrollo sostenible, mecanismos de implementación con apoyo tecnológico, científico y elementos financieros que permitirán la mitigación de las emisiones.

Por lo anterior, llevar a cabo el proyecto tiene una gran relevancia, porque durante la ejecución de la investigación se propone ofrecer y elaborar un estudio que ayudará notablemente con el desarrollo sostenible del País.

- f) **Entorno Legal:** Rápidamente se hará un barrido del marco legal de Colombia en el que intervienen procesos, higiene y seguridad industrial de la soldadura aplicables al proyecto:
- Constitución Política de Colombia (1991): Artículo 48, especialmente el artículo 2 el cual menciona los objetivos de la salud ocupacional.

- Ley 9ª del 24 de enero de 1979 marco de la salud ocupacional en Colombia: Dicta las medidas sanitarias para la prevención y el mantenimiento de la salud de los trabajadores que desempeñan dicha labor.
- Resolución 02400 de mayo 22 de 1979 estatuto de seguridad industrial: Establece las disposiciones básicas, sobre vivienda, higiene y seguridad en establecimientos de trabajo.
- Ley 50 de 1990 código sustantivo del trabajo: Trata lo concerniente a accidentes de trabajo, control, calificaciones, indemnizaciones, enfermedades profesionales, dotaciones, y auxilios.
- Ley 100 de 1993 marco de la seguridad social y salud ocupacional en Colombia: Define pensiones, salud, enfermedades profesionales. Y procedimiento para soldeo de materiales metálicos en sectores petroleros como entre otros.
- Resolución 8321 de agosto 4 de 1983 (Ley sobre ruido): Normas y requisitos para el manejo seguro y controlado de las emisiones de ruido. Especificaciones y procedimientos para la soldadura.
- Decreto 1831 de agosto de 1994 (Tabla de clasificación de actividades): define las actividades económicas en el sistema de riesgos profesionales (soldadores).
- Resolución 1016 de 1989: Por la cual se reglamenta la organización, funcionamiento y forma de los programas de salud ocupacional que deben desarrollar los patronos o empleadores en el país.
- Resolución 2013 de 1986: la cual reglamenta la organización y funcionamiento de comités de medicina, higiene y seguridad industrial en lugares de trabajo (inicios de COPASO).
- Decreto 2090 de 2003: Por el cual se definen las actividades de alto riesgo para la salud del trabajador y se modifican y señalan las condiciones, requisitos y beneficios del régimen de pensiones de los trabajadores que laboran en dichas actividades.

En este entorno podemos observar la favorabilidad desde la legislación y el soporte jurídico para la ejecución de la investigación.

Luego de realizar el análisis de PESTEL, se presenta el siguiente perfil estratégico del entorno:

**Tabla 1. Perfil Estratégico del Entorno del Proyecto**

| “ESTUDIO DESCRIPTIVO DE LOS DIFERENTES PROCESOS DE SOLDADURA UTILIZADOS EN COLOMBIA Y EL MANEJO DE SUS RESIDUOS” |                                                                                                                                                           |              |          |          |          |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------|----------|----------|-----------|
| ÍTEM                                                                                                             | FACTORES                                                                                                                                                  | MUY NEGATIVO | NEGATIVO | MODERADO | POSITIVO | EXCELENTE |
| POLITICO                                                                                                         | Ministerio de Trabajo, sistemas de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional (NTC-OHSAS 18000) y Sistemas de Gestión Ambiental (NTC-ISO 14000).            |              |          | X        |          |           |
|                                                                                                                  | Plan de Desarrollo Nacional 2018-2022.                                                                                                                    |              |          |          | X        |           |
| ECONOMICO                                                                                                        | Precio del Dólar.                                                                                                                                         |              | X        |          |          |           |
|                                                                                                                  | Precio del Petróleo.                                                                                                                                      |              | X        |          |          |           |
|                                                                                                                  | Producto interno bruto (PIB).                                                                                                                             |              |          | X        |          |           |
| SOCIAL                                                                                                           | Proyectos de Infraestructura social, el ritmo de vida capitalista y la demanda de muchos de los productos donde podemos observar “cordones de soldadura”. |              |          |          | X        |           |
| TECNOLOGICO                                                                                                      | Grado de automatización y optimización de los procesos.                                                                                                   |              |          |          | X        |           |
|                                                                                                                  | Diversidad de procesos de soldadura.                                                                                                                      |              |          |          | X        |           |
|                                                                                                                  | Equipos y consumibles.                                                                                                                                    |              |          | X        |          |           |
| ECOLOGICO                                                                                                        | Protocolo de Kyoto.                                                                                                                                       |              |          |          |          | X         |
| LEGAL                                                                                                            | Ley 629 de diciembre de 2001. Normativa asociada a Seguridad industrial.                                                                                  |              |          |          | X        |           |

**Nota:** La tabla 1 muestra las cinco categorías evaluadas en el Perfil Estratégico para cada factor según los entornos del análisis de PESTEL Fuente: Elaboración de los Autores (2020).

### 1.1.2 Descripción del Problema.

El problema se incrementa debido a que la población mundial sigue demandando y requiriendo de este continuo nivel de producción en donde las industrias continúan generando y fabricando los productos requeridos para satisfacer esta demanda. Los procesos de fabricación continúan en gran medida usando la soldadura, en donde se requiere de equipos eléctricos o que manejan grupos electrógenos movidos por combustibles generalmente fósiles, consumibles tales como metales de aporte para generar la unión de las piezas y electrodos en su mayoría revestidos de diferentes compuestos en los que al momento de aplicar la soldadura desprenden concentraciones de humo y diferentes desechos que contaminan el medio ambiente debido a la fusión que se produce y que da lugar a la generación de diferentes gases que reaccionan con el oxígeno del aire produciendo distintos humos metálicos, que también llegan a afectar la salud de quien manipula estos procesos.

### 1.1.3 Formulación del Problema.

Todo este proceso deja una alta huella de carbono, en la que el planeta continuamente nos hace un llamado al cambio y a la búsqueda de procesos más eficientes y que reduzcan al máximo la afectación producida en el medio ambiente y a la salud humana.

De esta manera surge la necesidad de obtener una revisión del estado del arte que permita conocer los diferentes procesos de soldadura implicados, de manera tal que los procesos de fabricación sean ecológicos, sostenibles y amigables con el medio ambiente permitiendo a las empresas constructoras y a los diferentes tipos de industria que puedan posteriormente evaluar, revisar, conocer, manejar e implementar los nuevos procesos de soldadura que permitan responder a la demanda generada en el mercado bajo un enfoque de Sostenibilidad.

Una revisión bibliográfica o del estado del arte de los procesos de soldadura en este campo, podría responder preguntas como:

- ¿Cómo es un proceso de soldadura amigable con el medio ambiente?
- ¿Cuál es la situación actual de la industria colombiana en procesos y tecnologías de soldadura “verde” para los productos de alta demanda y los requerimientos actuales?

- ¿Qué nuevos procesos de soldadura ecológicamente sostenibles se pueden implementar en el corto plazo para reducir la huella de carbono y su impacto en el medio ambiente y la salud humana?
- La calidad de los procesos encontrados en la revisión bibliográfica y su implementación en el país, ¿son aceptables en términos de costos y calidad?

La búsqueda de las respuestas a estas preguntas constituye la base y el motivo de la presente revisión del estado del arte, lo que nos conlleva a la pregunta fundamental de la investigación:

**¿Cuáles son los diferentes procesos de soldadura utilizados en Colombia y el manejo de sus residuos?**

## 2 JUSTIFICACION

La contribución de investigar sobre los procesos de soldadura utilizados en Colombia y el manejo de sus residuos, nos permitirá tener un estudio descriptivo del estado actual sobre la tecnología en equipos de soldadura disponible a nivel industrial, conocer los residuos que afectan el medio ambiente local y cuál es la disposición final o manejo de los residuos generados durante su ejecución. De esta forma, los resultados de esta investigación podrán ser tomados a nivel industrial para gestionar y permitir la implementación de nuevas tecnologías que contribuyan a la sostenibilidad del medio ambiente del Estado Colombiano. De igual forma el estudio investigativo sirve como base a las empresas y académicos del sector involucrado para diseñar políticas de manejo de los residuos en dichos procesos industriales mediante las mediciones que se realicen con base en los programas de monitoreo y medición de humos de Soldadura descritos en los procedimientos de evaluación de contaminantes exigidos por la norma Sistemas de Gestión Ambiental (NTC-ISO 14001).

## 3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

### 3.1 Objetivo General

Describir los diferentes procesos de soldadura utilizados en Colombia y el manejo de sus residuos.



### 3.2 Objetivos Específicos

- Investigar sobre los diferentes procesos de soldadura utilizados en la industria y su impacto al medio ambiente
- Identificar los tipos de residuos generados durante el proceso de soldadura.
- Analizar el impacto de los residuos de soldadura en el medio ambiente.
- Realizar análisis de los diferentes protocolos establecidos para el manejo de residuos de soldadura.

## 4 MARCO REFERENCIAL

### 4.1 Marco Histórico

#### 4.1.1 El proceso de soldadura a través de la historia.

Si bien no es referenciado con exactitud, la historia de la soldadura se remonta a varios milenios atrás, con los primeros ejemplos de soldadura desde la edad de bronce y la edad de hierro en Europa y en Oriente Medio. La soldadura fue usada en la construcción del Pilar de hierro de Delhi, en la India, erigido cerca del año 310 y pesando 5.4 toneladas métricas. La Edad Media trajo avances en la soldadura de fragua, con la que los herreros golpeaban repetidamente y calentaban el metal hasta que se producía la unión. En 1540, Vannoccio Biringuccio publicó “De la pirotechnia”, que incluye descripciones de la operación de forjado. Los artesanos del Renacimiento eran habilidosos en el proceso, y dicha industria continuó desarrollándose durante los siglos siguientes.

Sin embargo, la soldadura fue transformada durante el siglo XIX. En 1800, Sir Humphry Davy descubrió el **arco eléctrico**, y los avances en la soldadura por arco continuaron con las invenciones de los electrodos de metal por el ruso Nikolai Slavyanov y el norteamericano, C. L. Coffin a finales de los años 1800. Incluso la soldadura por arco de carbón, que usaba un electrodo de carbón, ganó popularidad. Alrededor de 1900, A. P. Strohmenger lanzó un electrodo de metal recubierto en Gran Bretaña, que dio un arco más estable, y en 1919, la soldadura de corriente alterna fue inventada por C. J. Holslag, pero no llegó a ser popular por otra década. La soldadura por resistencia también fue desarrollada durante las décadas finales del siglo XIX, con



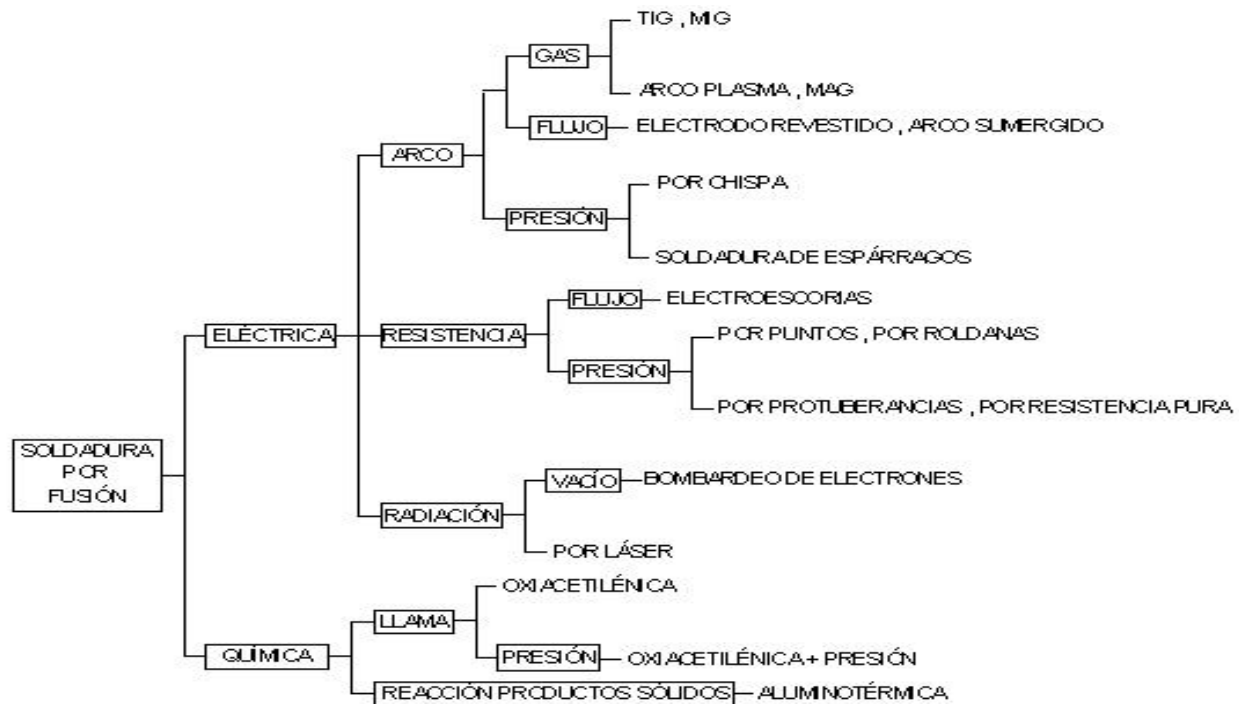
las primeras patentes del sector en manos de Elihu Thomson en 1885, quien produjo otros avances durante los siguientes 15 años. La soldadura de termita fue inventada en 1893, y alrededor de ese tiempo, se estableció otro proceso, la soldadura a gas. El acetileno fue descubierto en 1836 por Edmund Davy, pero su uso en la soldadura no fue práctico hasta cerca de 1900, cuando fue desarrollado un soplete conveniente. Al principio, la soldadura de gas fue uno de los más populares métodos de soldadura debido a su portabilidad y costo relativamente bajo. Sin embargo, a medida que progresaba el siglo 20, bajó en las preferencias para las aplicaciones industriales. Fue sustituida, en gran medida, por la soldadura de arco, en la medida que continuaron siendo desarrolladas las cubiertas de metal para el electrodo (conocidas como fundente), que estabilizan el arco y blindaban el material base de las impurezas.

La **Primera Guerra Mundial** causó un repunte importante en el uso de los procesos de soldadura, con las diferentes fuerzas militares procurando determinar cuáles de los variados nuevos procesos de soldadura serían los mejores. Los británicos usaron primariamente la soldadura por arco, incluso construyendo, mediante este procedimiento, una nave, el Fulagar, con un casco enteramente soldado. Los estadounidenses eran más vacilantes, pero comenzaron a reconocer los beneficios de la soldadura de arco cuando dicho proceso les permitió reparar rápidamente sus naves después de los ataques alemanes en el puerto de Nueva York al principio de la guerra. También la soldadura de arco fue aplicada por primera vez a los aviones durante la guerra, pues algunos fuselajes de aeroplanos alemanes fueron contruidos usando dicho proceso. Durante los años 1920, importantes avances fueron hechos en la tecnología de la soldadura, incluyendo la introducción de la soldadura automática en la que el alambre del electrodo era alimentado continuamente. El gas de protección se convirtió en un tema importante, mientras que los científicos procuraban proteger las soldaduras contra los efectos del oxígeno y el nitrógeno de la atmósfera. La porosidad y la fragilidad eran los problemas básicos derivados de este intercambio, y las soluciones que desarrollaron incluyeron el uso del hidrógeno, del argón, y del helio como gases protectores de la soldadura. Durante la siguiente década, posteriores avances permitieron la soldadura de metales reactivos como el aluminio y el magnesio. Esto, conjuntamente con desarrollos en la soldadura automática, la soldadura bajo corriente alterna, y los fundentes, alimentaron una importante extensión de la soldadura de arco durante la década de

los años 30 y el inicio de la **Segunda Guerra Mundial** tales como el lanzamiento de la soldadura de perno en 1930 que pronto llegó a ser popular en la fabricación de barcos, la soldadura de arco sumergido fue inventada el mismo año. En 1941, después de décadas de desarrollo, la soldadura de arco de gas con electrodo de tungsteno fue finalmente perfeccionada, seguida en 1948 por la soldadura por arco metálico con gas, permitiendo la soldadura rápida de materiales no ferrosos, pero requiriendo costosos gases de blindaje. La soldadura de arco metálico blindado fue desarrollada durante los años 1950, usando un fundente de electrodo consumible cubierto, y se convirtió rápidamente en el más popular proceso de soldadura de arco metálico. En 1957, debutó el proceso de soldadura por arco con núcleo fundente, en el que el electrodo de alambre auto blindado podía ser usado con un equipo automático, resultando en velocidades de soldadura altamente incrementadas, y ése mismo año fue inventada la soldadura de arco de plasma. La soldadura por electro-escoria fue introducida en 1958, y fue seguida en 1961 por su prima, la soldadura por electrogas.

Otros desarrollos recientes en la soldadura incluyen en 1958 el importante logro de la soldadura con rayo de electrones, haciendo posible la soldadura profunda y estrecha por medio de la fuente de calor concentrada. Siguiendo la invención del láser en 1960, la soldadura por rayo láser debutó varias décadas más tarde, y ha demostrado ser especialmente útil en la soldadura automatizada de alta velocidad. En las últimas décadas continua las mejoras a los procesos descritos y en el desarrollo de la nanotecnología.

#### 4.1.2 Breve clasificación de los procesos de soldadura en la actualidad.



**Figura 1.** Clasificación de los procesos de soldadura. Fuente: “Fundamentos de la Soldadura por Gas y Oxiacetilénica”. Recuperado de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn43.html>.

#### 4.2 Marco Legal y Normativo

Dentro del siguiente marco legal se establecen los requerimientos por la legislación y normativa para llevar el control y cumplimiento de los procesos de soldadura y el manejo de residuos generados por su aplicación en Colombia.

**Tabla 2.** Marco Legal del Proyecto.

| Legislación                                                              | Descripción                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Constitución política de 1991                                            | Artículo 48, especialmente el artículo 2 el cual menciona los objetivos de la salud ocupacional.                                   |
| Ley 9ª del 24 de enero de 1979 marco de la salud ocupacional en Colombia | Dicta las medidas sanitarias para la prevención y el mantenimiento de la salud de los trabajadores que desempeñan dicha labor.     |
| Resolución 02400 de mayo 22 de 1979 Estatuto de seguridad industrial     | Establece las disposiciones básicas, sobre vivienda e higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo.                      |
| Decreto 586 de febrero 25 de 1983 Comité nacional de salud ocupacional   | Se crea un comité para organizar y diseñar los programas de salud ocupacional a nivel nacional. Se definen prácticas recomendadas. |

|                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Resolución 8321 de agosto 4 de 1983<br>Ley sobre ruido                       | Normas y requisitos para el manejo seguro y controlado de las emisiones de ruido. Especificaciones y procedimientos para la soldadura                                                                                                                                |
| Resolución 2013 de 1986                                                      | Por la cual se reglamenta la organización y funcionamiento de los comités de medicina, higiene y Seguridad industrial en los lugares de trabajo.                                                                                                                     |
| Resolución 1016 de 1989                                                      | Por la cual se reglamenta la organización, funcionamiento y forma de los programas de salud Ocupacional que deben desarrollar los patronos o empleadores en el país.                                                                                                 |
| Ley 50 de 1990<br>Código sustantivo del trabajo                              | Trata lo concerniente a accidentes de trabajo, control, calificaciones, indemnizaciones, enfermedad des profesionales, dotaciones, y auxilios.                                                                                                                       |
| Ley 100 de 1993 Marco de la seguridad social y salud ocupacional en Colombia | Define pensiones, salud, enfermedades profesionales. Y procedimiento para soldeo de materiales metálicos en sectores petroleros como entre otros.                                                                                                                    |
| Decreto 1831 de agosto de 1994 Tabla de clasificación de actividades         | Actividades económicas en el sistema de riesgos profesionales (soldadores).                                                                                                                                                                                          |
| Resolución 1401 de 2007                                                      | Por la cual se reglamenta la investigación de incidentes y accidentes de Trabajo.                                                                                                                                                                                    |
| Decreto 2090 de 2003                                                         | Por el cual se definen las actividades de alto riesgo para la salud del trabajador y se Modifican y señalan las condiciones, requisitos y beneficios del régimen de pensiones de los trabajadores que laboran en dichas actividades.                                 |
| Ley 99 de 1993                                                               | Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. |
| Decreto 4741 de 2005                                                         | Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral                                                                                                                     |
| Resolución 0062 de 2007                                                      | Por la cual se adoptan los protocolos de muestreo y análisis de laboratorio para la caracterización fisicoquímica de los residuos o desechos peligrosos en el país                                                                                                   |
| Resolución 1352 de 2007                                                      | Por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para el Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos, a que hacen referencia los Artículo 27 y 28 del Decreto <b>4741 del 30 de diciembre de 2005</b> .                                     |
| Decreto 1076 de 2015                                                         | Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible                                                                                                                                                              |

**Fuente:** Elaboración de los autores (2020)

De igual forma para el caso del Marco Normativo, en la tabla 3 se observan las normas, estándares y códigos que aplican durante la aplicación de los diferentes procesos de soldadura y el manejo de residuos en Colombia.

**Tabla 3. Marco Normativo del Proyecto.**

| Norma                                  | Descripción                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| API RP 1104                            | Welding of Pipelines and Related Facilities. American Petroleum Institute.                                                                                                |
| ASME Section II                        | Materials specifications. American Society of Mechanical Engineers.                                                                                                       |
| ASME Section V                         | Non-Destructive Examination. American Society of Mechanical Engineers.                                                                                                    |
| ASME Section VIII                      | Boiler and Pressure Vessel Code - Section. VIII, Div. 1 Rules for Construction of Un-Fired Pressure Vessels. American Society of Mechanical Engineers.                    |
| ASME Section IX                        | Qualification Standard for Welding, And Brazing Procedures, Welders, Brazers, And Welding and Brazing Operators. American Society of Mechanical Engineers.                |
| AWS D1.1                               | Structural Welding Code. American Welding Society.                                                                                                                        |
| AISC 325-05                            | Steel Construction Manual, 13th Edition (5th Printing). America Institute of Steel Structures.                                                                            |
| AISC 2005                              | Seismic Provisions for Structural Steel Buildings. America Institute of Steel Structures.                                                                                 |
| AISC 303-10                            | Code of Standard Practice for Structural Steel Buildings and Bridges. American Institute of Steel Structures.                                                             |
| AISC 327-05                            | Seismic Design Manual. America Institute of Steel Structures.                                                                                                             |
| UNE-EN 288-2/a1:1997                   | Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para los materiales metálicos. Parte 2: Especificación del procedimiento para el soldeo por arco.          |
| UNE-EN 288-3:1994 Errata               | Especificación y cualificación de los procedimientos de soldeo para los materiales metálicos. Parte 3: Cualificación del procedimiento para el soldeo por arco de aceros. |
| ISO/TC 44 Soldadura y técnicas conexas | Aplicar las técnicas y destrezas, en soldadura de tuberías de alta presión                                                                                                |
| NTC-2050                               | Código Eléctrico Colombiano (Icontec)                                                                                                                                     |
| RETIE                                  | Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (Ministerio de minas y energía).                                                                                           |
| RETILAP                                | Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (Ministerio de minas y energía).                                                                                    |
| NSR-10                                 | Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente.                                                                                                                   |
| CCDSP-95                               | Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes                                                                                                                            |
| INVIAS                                 | Normas para construcción y ensayos de materiales para carreteras                                                                                                          |
| RAS 2000                               | Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico                                                                                                        |
| Ministerio de Minas (Decreto-283-1990) | Reglamentación para el almacenamiento, manejo, transporte, distribución de combustibles líquidos derivados del petróleo.                                                  |
| NTC-OHSAS 18001                        | Sistema de seguridad industrial y salud ocupacional. Norma Técnica Colombiana.                                                                                            |

| Norma    | Descripción                                                                                                                                               |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NTC 45   | Para el diagnóstico de condiciones de trabajo y/o panorama de factores de riesgos. Norma Técnica Colombiana.                                              |
| NTC 3250 | Higiene y seguridad. Prevención del fuego en procesos de soldadura y de corte. Norma Técnica Colombiana.                                                  |
| NTC 4116 | Seguridad industrial metodología para el análisis de tareas. Norma Técnica Colombiana.                                                                    |
| NTC 1461 | Higiene y seguridad, colores y señales de seguridad. Norma Técnica Colombiana.                                                                            |
| NTC 3701 | Higiene y seguridad. Guía para la clasificación, registro y estadística de accidentes del trabajo y enfermedades profesionales. Norma Técnica Colombiana. |

**Nota:** Aplicación de normativa y estándares nacionales e internacionales. Fuente: Elaboración de los Autores (2020).

### 4.3 Marco Teórico

Los procesos de soldadura aplicables en las facilidades relacionadas anteriormente pueden ser realizados en forma manual, semiautomática, mecánica, automática o la combinación de ellos, del mismo modo la soldadura puede ser aplicada en posición fija, rotada o la combinación de ambas. A continuación, se listan y describen los procesos de soldadura aplicables:

#### 4.3.1 Procesos de soldadura más utilizados en la industria.

##### 4.3.1.1 SMAW – Shielded Metal Arc Welding.

El proceso de soldadura SMAW, por muchos años, ha sido una de las técnicas más comúnmente aplicadas en la fabricación de estructuras de acero. Es también conocido como Soldadura Manual por arco con Electrodo Revestido, del inglés Manual Metal Arc (MMA). En la industria de fabricación del Reino Unido (UK), se conoce como Stick Welding (Soldadura de Soporte), Norrish, (1992).

De la gama de procesos de soldadura, el proceso SMAW es uno de los más ampliamente utilizados. Si bien los fabricantes continúan automatizando los procesos (por aquellos de alambre continuo) para incrementar la productividad a causa del tiempo muerto usado para reemplazar el electrodo una vez consumido, SMAW se mantiene en gran parte del total de los negocios de la construcción, ya sea en aplicaciones estructurales o en reparaciones en aceros inoxidables u ordinarios, y metales no ferrosos.

El proceso SMAW se utiliza por su versatilidad, bajos costos de accesorios y consumibles, la simplicidad de la fuente de potencia, bajos costos de mantenimiento, durabilidad, relativa simplicidad de operación y fácil configuración, en una amplia gama de aplicaciones, tanto en taller, como a pie de obra en la soldadura de materiales de espesores superiores a 1,5 mm. Los sectores de mayor aplicación son la construcción naval, de máquinas, estructuras, tubería para manejo de petróleo, tanques y esferas de almacenamiento, puentes, recipientes a presión y calderería. Es usado también en trabajos de reparación y mantenimiento, sumado a la existencia de la necesidad de concretar producciones y recuperaciones unitarias de piezas complejas y realizar trabajos en lugares inaccesibles para el equipamiento automático, dada la robustez, adaptabilidad y simplicidad del equipamiento unido a sus bajos costos de mantenimiento, junto a otras características tratadas anteriormente, sostienen la amplia diseminación de este proceso a nivel mundial.

La selección de los electrodos tiene una influencia decisiva en la calidad y el costo de la soldadura, esta selección de uno entre varios electrodos homólogos se observa con el proceso de homologación de electrodos basado en la certificación de las pruebas establecidas por la norma contra la que se desea homologar.

#### *Generalidades del proceso.*

El proceso SMAW se inicia mientras, en presencia de una diferencia de voltaje entre la punta metálica del electrodo y la pieza de trabajo, es cortocircuitada el alma metálica del electrodo revestido con la pieza a soldar; produciéndose al paso de la corriente el calentamiento por efecto Joule del metal de la punta del electrodo y sus óxidos, que permite la emisión electrónica y la aparición de un flujo de electrones.

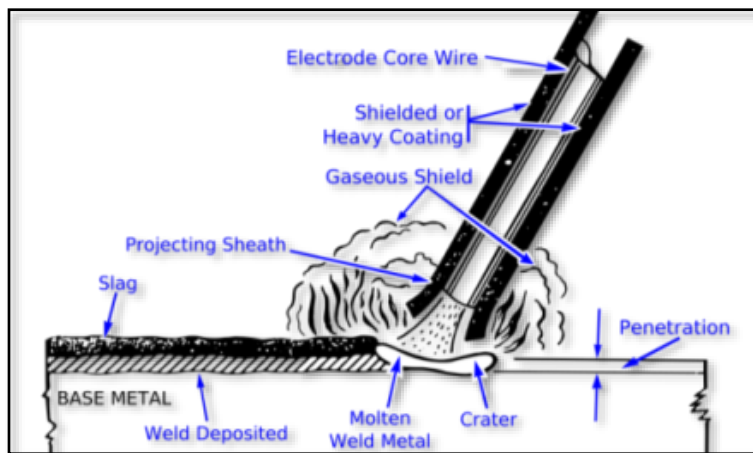
Producto de las altas temperaturas alcanzadas durante este proceso, las sustancias componentes del revestimiento son descompuestas en gases, que junto a los vapores del metal del alma pueden ionizarse para establecer un plasma térmico, que produce suficiente energía como para unir metales por fusión.

El material fundido de la punta del electrodo aporta gotas, que atraviesan el arco hasta ingresar al baño fundido, que una vez solidificado bajo la capa de escoria, constituirá el cordón



de soldadura. La atmósfera gaseosa que protege el arco evita la oxidación y la nitruración a altas temperaturas del metal depositado y la capa de escoria protege al metal fundido y contribuye a desulfurar y desfosforar el mismo, lo cual eleva las propiedades mecánicas del depósito.

El proceso puede efectuarse utilizando fuentes de corriente directa y alterna. La estabilidad del arco es más crítica en la soldadura con corriente alterna debido a la inversión de la polaridad a razón de ciento veinte veces por segundo, lo que provoca extinciones y reencendidos sucesivos del arco. La fuente debe tener una característica descendente, donde el voltaje cae mientras se incrementa la corriente de soldadura y viceversa, lo que produce la autorregulación del punto de operación cuando se suelda manualmente.



**Figura 2.** Representación esquemática del proceso SMAW durante su ejecución. Fuente: Wikipedia “Soldadura por arco”. Recuperado de [https://es.wikipedia.org/wiki/Soldadura\\_por\\_arco](https://es.wikipedia.org/wiki/Soldadura_por_arco).

Durante el proceso de fusión del electrodo, como se observa en la **figura 2**, se producen pérdidas metálicas por salpicadura, que atentan contra la economía del proceso, despidiéndose además *gases y radiaciones perjudiciales para la salud* (Cary, 1996), el metal se funde a una temperatura inferior a la del revestimiento, aproximadamente a 1535 grados Celsius para el acero. El revestimiento presenta una temperatura de fusión superior a la del alma metálica, debido a su contenido de materiales refractarios, fundiéndose con cierto retraso debido a la distribución de las isoterma alrededor del arco. Esta diferencia origina la presencia de la llamada “copa” del electrodo (entre la punta del electrodo y el charco de soldadura), (Garcia,1998).



### *Tipos de electrodos usados.*

- Celulósicos
- Rutílicos
- Básicos / Bajo Hidrogeno
- Para combatir el desgaste / Para corte
- Aceros inoxidable
- Fundición de Hierro
- Bronce, Cobre, Aluminio

### *Ventajas del proceso SMAW.*

- Bajo nivel de inversión
- Proceso simple, flexible y portable
- Acceso a juntas en lugares difíciles de llegada
- Uso en exteriores, al aire libre
- Capacidad de soldar la mayoría de los metales ferrosos y no ferrosos

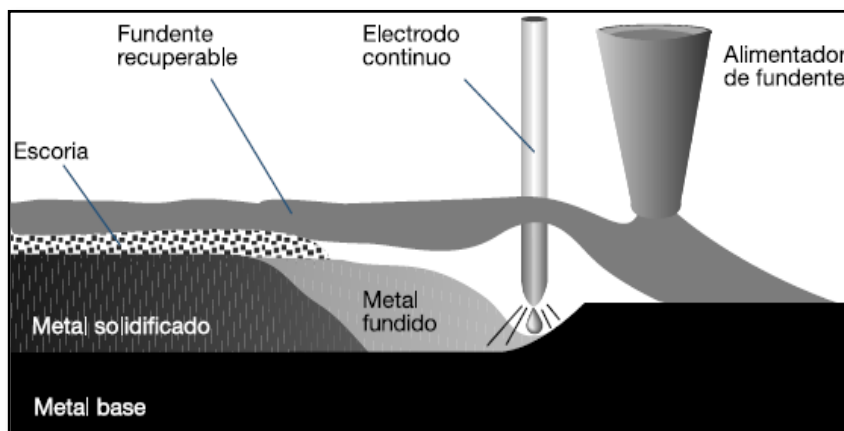
### *Limitaciones.*

- La productividad, las velocidades de deposición con electrodo revestido son menores que aquéllas obtenidas el proceso de soldadura GMAW.
- El rendimiento del electrodo revestido (60%) es menor que el alambre macizo del proceso GMAW (alrededor del 95%).
- Alta deposición de escoria después de realizar la junta soldada por lo que se requiere remoción por medios mecánicos (esmerilado o “grateado”).

#### *4.3.1.2 SAW – Submerged Arc Welding.*

De los métodos de soldadura que emplean electrodo continuo, el proceso de arco sumergido desarrollado simultáneamente en EE. UU. y Rusia a mediados de la década del 30, es uno de los más difundidos universalmente.

Es un proceso automático, en el cual, como lo indica **la figura 3**, un alambre desnudo es alimentado hacia la pieza. Este proceso se caracteriza porque el arco se mantiene sumergido en una masa de fundente, provisto desde una tolva, que se desplaza delante del electrodo.



**Figura 3.** Representación esquemática del proceso SAW. Fuente: Indura S.A. Proceso SAW. Recuperado de: <http://www.indura.cl>

El manto de fundente granular cubre por completo la operación de soldadura con arco eléctrico, evitando chispas, salpicaduras y radiaciones que son muy peligrosas en otros procesos de soldadura con arco eléctrico. De esta manera el arco resulta invisible, lo que constituye una ventaja, pues evita el empleo de elementos de protección contra *la radiación infrarroja y ultravioleta*, que son imprescindibles en otros casos, (Indura S.A., *Manual de Sistemas y Materiales de Soldadura*, 2013)

La parte del fundente más cercano al arco se derrite y se mezcla con el metal de soldadura fundido, que después de solidifican en la parte superior de la unión soldada y forman una escoria con aspecto de vidrio. La escoria y los granos de fundente no derretidos en la parte superior proporcionan una buena protección de la atmósfera y un buen aislamiento térmico para el área de soldadura. Esto produce un enfriamiento relativamente bajo y una unión de soldadura de alta calidad cuyos parámetros de resistencia y ductilidad son notables. El fundente no derretido que queda después de la soldadura puede recuperarse y reutilizarse. La escoria sólida que cubre la soldadura debe arrancarse, por lo general por medios manuales (Masabanda y Yauripoma, 2009).

### *Ventajas.*

- a) Alta velocidad y rendimiento: Con electrodos de 4,0 mm y 4,8 mm a 800 y 1000 amperes, se logran depositar hasta 15 kg de soldadura por hora. Con electrodos de 6,4 mm y 1300 amperes, se depositan hasta 24 kg por hora (tres a cuatro veces más rápido que en la soldadura manual).
- b) Propiedades de la soldadura: Este proceso permite obtener depósitos de propiedades comparables o superiores a las del metal base.
- c) Rendimiento: 100%.
- d) Soldaduras 100% radiográficas.
- e) Soldaduras homogéneas.
- f) Soldaduras de buen aspecto y penetración uniforme.
- g) No se requieren protecciones especiales.

### *Aplicaciones.*

El sistema de soldadura automática por arco sumergido permite la máxima velocidad de deposición de metal, entre los sistemas utilizados en la industria, para producción de piezas de acero de mediano y alto espesor (desde 5 mm aprox.) que puedan ser posicionadas para soldar en posición plana u horizontal: vigas y perfiles estructurales, estanques, cilindros de gas, bases de máquinas, fabricación de barcos, etc. También puede ser aplicado con grandes ventajas en relleno de ejes, ruedas de FF.CC. y polines (Indura, 2013, p.111)

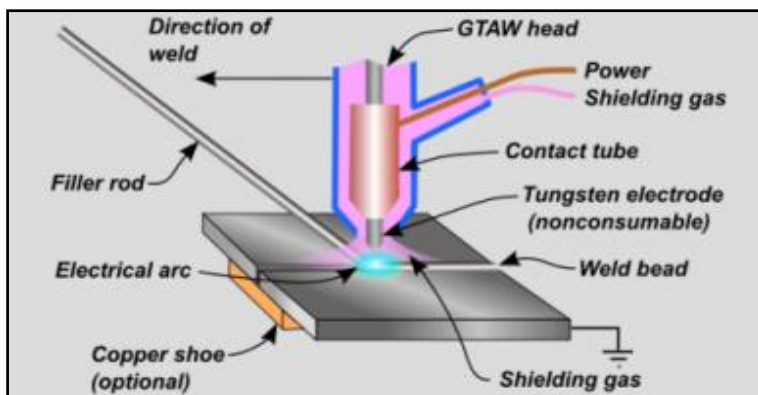
#### *4.3.1.3 GTAW – Gas Tungsten Arc Welding.*

En nuestros días, las exigencias tecnológicas en cuanto a calidad y confiabilidad de las uniones soldadas obligan a adoptar nuevos sistemas, destacándose entre ellos la soldadura al Arco con Electrodo de Tungsteno y Protección Gaseosa.

La característica más importante que ofrece este sistema es entregar alta calidad de soldadura en todos los metales, incluyendo aquéllos difíciles de soldar, como también para soldar metales de espesores delgados y para depositar cordones de raíz en unión de tuberías.

El sistema TIG (Tungsten Inert Gas) es un sistema de soldadura al arco con protección gaseosa, que utiliza el intenso calor de un arco eléctrico generado entre un electrodo de tungsteno

no consumible y la pieza a soldar, donde puede o no utilizarse metal de aporte. Se utiliza un gas de protección cuyo objetivo es desplazar el aire, para eliminar la posibilidad de contaminación de la soldadura por el oxígeno y nitrógeno presentes en la atmósfera. Como gas protector se puede emplear argón o helio, o una mezcla de ambos. La **figura 4** indica esquemáticamente una soldadura por sistema GTAW (TIG).



**Figura 4.** Esquema del proceso GTAW. Fuente: Wikipedia “Soldadura TIG”. Recuperado de [http://es.wikipedia.org/wiki/Soldadura\\_TIG](http://es.wikipedia.org/wiki/Soldadura_TIG)

En general las soldaduras hechas con sistema TIG son más fuertes, más resistentes a la corrosión y más dúctiles que las realizadas con electrodos convencionales. Cuando se necesita alta calidad y mayores requerimientos de terminación, se hace necesario utilizar el sistema TIG para lograr soldaduras homogéneas, de buena apariencia y con un acabado completamente liso.

#### *Características y ventajas del proceso.*

- No se requiere de fundente, y no hay necesidad de limpieza posterior en la soldadura.
- No hay salpicadura, chispas ni emanaciones, al no circular metal de aporte a través del arco.
- Brinda soldaduras de alta calidad en todas las posiciones, sin distorsión.
- Al igual que todos los sistemas de soldadura con protección gaseosa, el área de soldadura es claramente visible.
- El sistema puede ser automatizado, controlando mecánicamente la pistola y/o el metal de aporte.

### *Equipo para GTAW.*

El equipo para sistema TIG consta básicamente de:

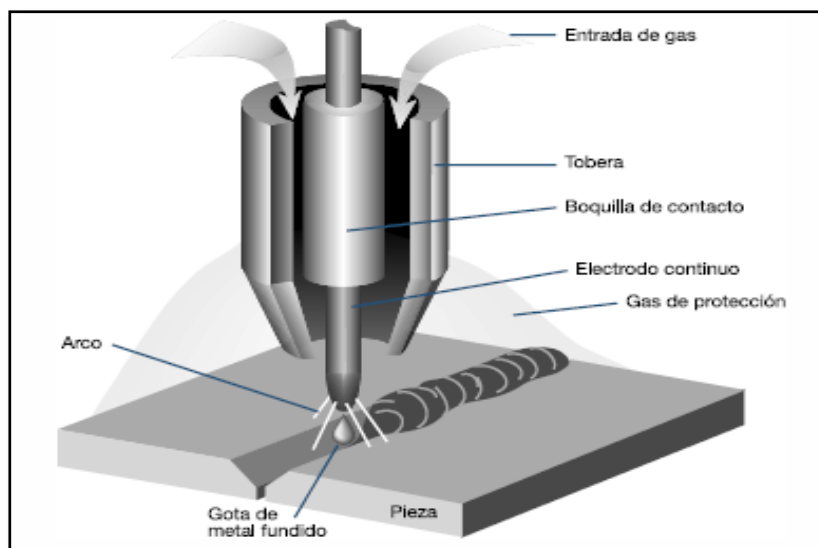
- Fuente de poder
- Unidad de alta frecuencia
- Pistola
- Suministro gas de protección
- Suministro agua de enfriamiento en aplicaciones con alta corriente.

La pistola asegura el electrodo de tungsteno que conduce la corriente, el que está rodeado por una boquilla de cerámica que hace fluir concéntricamente el gas protector. La pistola normalmente se refrigera por aire. Para intensidades de corriente superiores a 200 A se utiliza refrigeración por agua, para evitar el recalentamiento del mango.

Los *gases protectores* son por lo general gases inertes o semi-inertes, su función es crear una protección sobre el metal fundido y así evitar el efecto contaminante de la atmosfera (oxígeno y nitrógeno). Cuanto más denso sea el gas, mejor será su resultado en las aplicaciones de soldadura con arco protegido por gas. El Argón es aproximadamente 10 veces más denso que el Helio, y un 30% más denso que el aire. Cuando el Argón se descarga sobre la soldadura, éste forma una nube densa protectora, mientras que la acción del Helio es mucho más liviana y vaporosa, dispersándose rápidamente. Por este motivo, en caso de usar Helio, serán necesarias mayores cantidades de gas (puro o mezclas que contengan Helio) que si se utilizara Argón (Indura, 2013, p.121).

#### *4.3.1.4 GMAW – Gas Metal Arc Welding.*

El sistema Gas Metal Arc Welding, también conocido como MIG (Metal Inert Gas) fue introducido a fines del año 1940. El proceso es definido por la AWS como un proceso de soldadura al arco, donde la fusión se produce por calentamiento con un arco entre un electrodo de metal de aporte continuo y la pieza, donde la protección del arco se obtiene de un gas suministrado en forma externa, el cual protege el metal líquido de la contaminación atmosférica y ayuda a estabilizar el arco.



**Figura 5.** Esquema del proceso GMAW. Fuente: Indura S.A. “Proceso GMAW”. Recuperado de: <http://www.indura.cl>

La **figura 5** indica esquemáticamente una soldadura por proceso GMAW el cual posee cualidades importantes al soldar aceros, entre las cuales sobresalen:

- a) El arco siempre es visible para el operador.
- b) La pistola y los cables de soldadura son ligeros, de fácil manipulación.
- c) Es uno de los más versátiles entre todos los sistemas de soldadura.
- d) Rapidez de deposición y Alto rendimiento.
- e) Posibilidad de automatización.

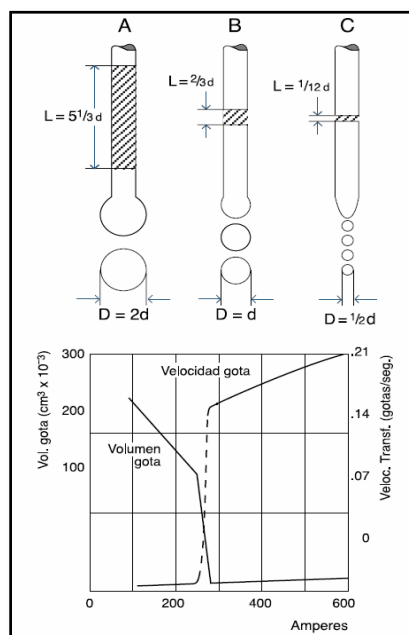
En el sistema MIG, un sistema de alimentación que impulsa en forma automática y a velocidad predeterminada el alambre-electrodo hacia el trabajo o baño de fusión, mientras la pistola de soldadura se posiciona a un ángulo adecuado y se mantiene una distancia tobera-pieza, generalmente de 10 mm. Este es un proceso de soldadura por arco eléctrico, en el cual un alambre es automática y continuamente alimentado hacia la zona de soldadura a una velocidad constante y controlada. El área de soldadura y arco están debidamente protegidas por una atmósfera gaseosa suministrada externamente, que evita la contaminación.

El voltaje, amperaje y tipo de gas de protección, determinan la manera en la cual se transfiere el metal desde el alambre-electrodo al baño de soldadura. Para comprender mejor la naturaleza de estas formas de transferencia en el sistema MIG, a continuación, se detallan:

### TRANSFERENCIA METÁLICA.

En el proceso de soldadura GMAW, las gotas de metal fundido son transferidas a través del arco, desde un alambre-electrodo alimentado continuamente, a la zona de soldadura. Para un diámetro dado de electrodo  $d$ , con una protección gaseosa, la cantidad de corriente determina el tamaño de las gotas  $D$  y el número de ellas que son separadas desde el electrodo por unidad de tiempo (Indura, 2013, p.82 - 84).

A continuación, y como se muestra en la **figura 6** existen tres formas de transferencia metálica descritas como sigue:



**Figura 6.** Esquema de los tipos de transferencia metálica en función del amperaje. Fuente: Indura S.A. Transferencia Metálica GMAW. Recuperado de <http://www.indura.cl>.

**Zona A:** a valores bajos de amperaje, las gotas crecen a un diámetro que es varias veces el diámetro del electrodo antes que éstas se separen. La velocidad de transferencia a bajos amperajes es sólo de varias gotas por segundo.

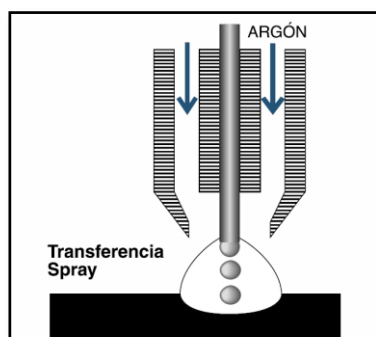


*Zona B:* a valores intermedios de amperaje, el tamaño de las gotas separadas decrece rápidamente a un tamaño que es igual o menor que el diámetro del electrodo, y la velocidad de separación aumenta a varios cientos por segundo.

*Zona C:* a valores altos de amperaje, la velocidad de separación aumenta a medida que se incrementa la corriente, las gotas son bastante pequeñas.

#### *a. Transferencia Spray.*

La fuerza electromagnética es bastante fuerte para expulsar las gotas desde la punta del electrodo en forma lineal con el eje del electrodo, sin importar la dirección a la cual el electrodo está apuntando. Se tiene transferencia spray al soldar, con argón, acero inoxidable y metales no ferrosos como el aluminio (Indura, 2013, p. 84). El metal es transportado a alta velocidad en partículas muy finas a través del arco, como se observa en la **figura 7**.

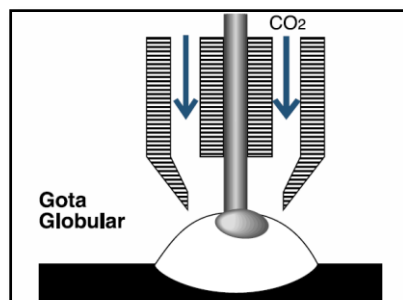


**Figura 7.** Transferencia SPRAY en el proceso GMAW. Fuente: Indura S.A. Recuperado de <http://www.indura.cl>

#### *b. Transferencia Globular.*

El metal se transfiere en gotas de gran tamaño, véase la **figura 8**. La separación de las gotas ocurre cuando el peso de éstas excede la tensión superficial que tiende a sujetarlas en la punta del electrodo. La fuerza electromagnética que actuaría en una dirección para separar la gota es pequeña en relación a la fuerza de gravedad en el rango de transferencia globular (sobre 250 Amp).

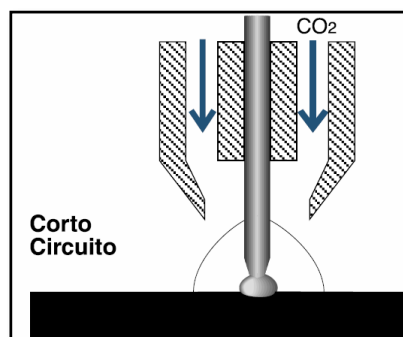
La transferencia globular se utiliza para soldar acero dulce en espesores mayores a 13 mm, en que se requiere gran penetración.



**Figura 8.** Transferencia GLOBULAR en el proceso GMAW. Fuente: Indura S.A. Recuperado de <http://www.indura.cl>

**c. Transferencia por Corto Circuito.**

El metal no es transferido libremente a través del arco, sino que se deposita, cuando la punta del electrodo toca el metal base, como se indica en la **figura 9**. Los cortos circuitos producidos por el contacto del electrodo con el baño fundido ocurren con mucha regularidad, hasta 200 o más veces por segundo. El resultado final es un arco muy estable usando baja energía (inferior a 250 Amp) y bajo calor. El bajo calor reduce al mínimo la distorsión, deformación del metal y otros efectos metalúrgicos perjudiciales. Esta transferencia metálica se obtiene en presencia de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) o mezcla Ar- $\text{CO}_2$ . (Indura, 2013, p.85).



**Figura 9.** Transferencia Corto Circuito en el proceso GMAW. Fuente: Indura S.A. Recuperado de <http://www.indura.cl>

### GASES PROTECTORES.

El propósito principal del gas de protección es desplazar el aire en la zona de soldadura y así evitar su contaminación por nitrógeno, oxígeno y vapor de agua. Estas impurezas afectan las propiedades del metal de soldadura. La **tabla 4**, permite observar las aplicaciones, características y mezclas más comunes empleadas en el proceso GMAW, en donde se tienen en cuenta varios factores que son necesarios considerar al determinar el tipo de gas de protección a emplear. Entre otros podemos citar:

1. Tipo de metal base.
2. Características del arco y tipo de transferencia metálica.
3. Velocidad de soldadura.
4. Tendencia a provocar socavaciones.
5. Penetración, ancho y forma del depósito de soldadura.
6. Disponibilidad y costo del gas.
7. Requerimientos de propiedades mecánicas.

**Tabla 4.** Mezclas de gases más comunes para el proceso GMAW.

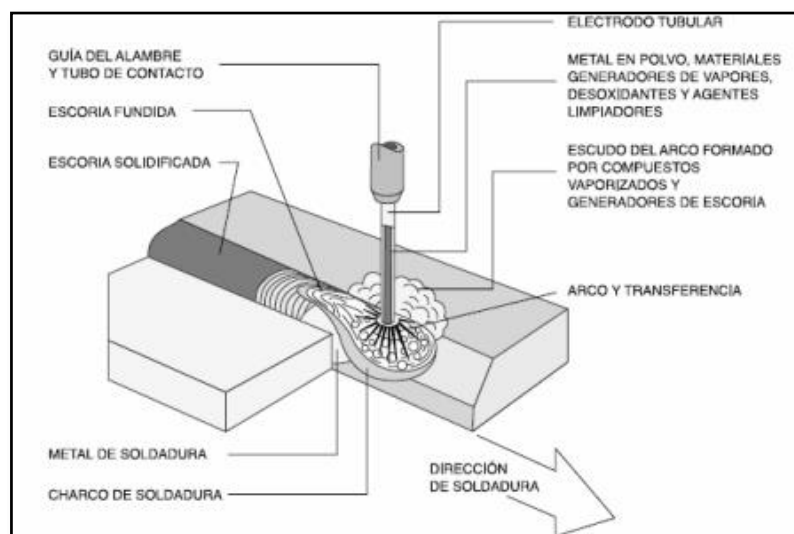
| METAL BASE                           | TRANSFERENCIA SPRAY                                                                                                  | TRANSFERENCIA CORTO<br>– CIRCUITO                                                                          |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Acero inoxidable                     | Argón + 2% CO <sub>2</sub><br>Argón + 1% o 2% O <sub>2</sub>                                                         | 90% Helio + 7,5% Argón +<br>2,5% CO <sub>2</sub>                                                           |
| Aceros al carbono y<br>baja aleación | Argón + 2% O <sub>2</sub><br>Argón + 20% CO <sub>2</sub><br>Argón + 5% CO <sub>2</sub><br>Argón + 8% CO <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub><br>Argón + 20% CO <sub>2</sub><br>Argón + 8% CO <sub>2</sub><br>Argón + 5% CO <sub>2</sub> |
| Aluminio y<br>magnesio               | Argón o Helio<br>Argón + 25% o 75% He                                                                                |                                                                                                            |
| Cobre                                | Helio<br>Argón + 25%, 50% o 75% He                                                                                   |                                                                                                            |

**Nota:** Aplicación de normativa y estándares nacionales e internacionales. Fuente: Indura S.A. Recuperado de <http://www.indura.cl>.

En general los gases inertes y activos se emplean en el sistema MIG. Cuando se desea soldar metales no ferrosos, se emplean gases inertes debido a que ellos no reaccionan con los metales. Los gases inertes usados en sistema MIG son: argón, helio y mezclas de argón-helio. Sin embargo, en la soldadura de metales ferrosos se pueden emplear gases inertes o activos. Gases activos como: Dióxido de carbono, mezclas de dióxido de carbono, o gases protectores que contienen algún porcentaje de oxígeno. Estos gases no son químicamente inertes y pueden formar compuestos con los metales. (Indura, 2013, p.85).

#### 4.3.1.5 FCAW – Flux Cored Arc Welding.

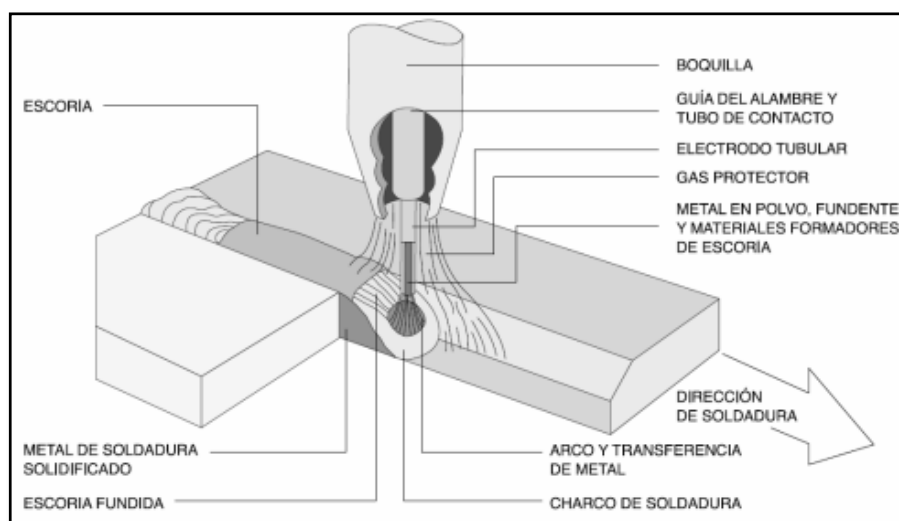
La soldadura al arco con núcleo de fundente (FCAW), conocido como MIG tubular, es un proceso de soldadura que aprovecha el arco eléctrico entre un electrodo continuo de metal de aporte y el metal base. El aspecto que distingue al proceso tubular (FCAW) de otros procesos de soldadura por arco es la incorporación de componentes en el fundente dentro de un electrodo de alimentación continua, este fundente va al interior del alambre conocido como tubular, sin embargo, de igual forma puede ir con o sin ayuda de una protección externa gaseosa. Las notables características de operación del proceso y las propiedades de la soldadura resultante se pueden atribuir al empleo de este tipo de electrodo (Indura, 2013, p.98).



**Figura 10.** Esquema del proceso FCAW auto-prottegido. Fuente: Indura S.A. Recuperado de <http://www.indura.cl>

El FCAW tiene dos variaciones principales que difieren en su método de protección del arco y de la poza de soldadura contra la contaminación por gases atmosféricos (oxígeno y nitrógeno). Una de ellas, es el *tubular auto protegido (figura 10)* que resguarda al baño mediante la descomposición y vaporización del núcleo fundente en el calor del arco.

El otro tipo, es el *tubular con protección externa gaseosa (figura 11)*, este utiliza un flujo de gas que protege la zona de trabajo. En ambos métodos, el material del núcleo del electrodo proporciona una capa de escoria abundante que protege el metal de soldadura durante su solidificación.



**Figura 11.** Esquema del proceso FCAW con protección externa gaseosa. Fuente: Indura S.A. Recuperado de <http://www.indura.cl>.

Las aplicaciones de las dos variantes del proceso FCAW se traslapan, pero las características específicas de cada una las hacen apropiadas para diferentes condiciones de operación. El tipo de FCAW que se use, dependerá del tipo de electrodos de que se dispone, los requisitos de propiedades mecánicas de las uniones soldadas y los diseños y emplentillado de las uniones.

El proceso tubular tiene amplia aplicación en trabajos de fabricación en taller, mantenimiento y construcción en terreno. Se ha usado para soldar ensambles que se ajustan al código de calderas y recipientes de presión de la ASME, a las reglas del American Bureau of Shipping (ABS) y a ANSI/AWS D1.1, código de soldadura acero estructural. Se

han usado electrodos de acero inoxidable con núcleo fundente, auto protegidos y con protección gaseosa, para trabajos de fabricación en general, recubrimiento, unión de metales disímiles, mantenimiento y reparación (Indura, 2013, p.99).

### *Equipo para FCAW.*

El equipo básico para la soldadura por alambre tubular auto protegido y con protección gaseosa es similar al usado en el proceso GMAW, la principal diferencia radica en el suministro y regulación del gas para el arco en la variante con protección gaseosa. La fuente de poder recomendada es la de corriente continua y voltaje constante, similar a la que se usa para soldadura por sistema MIG/MAG. Esta fuente deberá ser capaz de trabajar en el nivel de corriente máximo requerido para la aplicación específica.

El propósito del control de alimentación del alambre es suministrar el electrodo continuo al arco de soldadura con una velocidad constante previamente establecida. La rapidez de alimentación del electrodo determina el amperaje de soldadura suministrado por una fuente de poder de voltaje constante. Si se modifica esta rapidez, la máquina soldadora se ajustará automáticamente para mantener el voltaje de arco preestablecido. La velocidad de alimentación del electrodo se puede controlar por medios mecánicos o electrónicos.

Este proceso requiere rodillos impulsores o alimentadores que no deformen el electrodo tubular, con superficies ranuradas y moleteadas. Algunos tienen sólo un par mientras que otros cuentan con dos pares, conectados a su vez por un motor (Indura, 2013, p.100).

### *Características principales.*

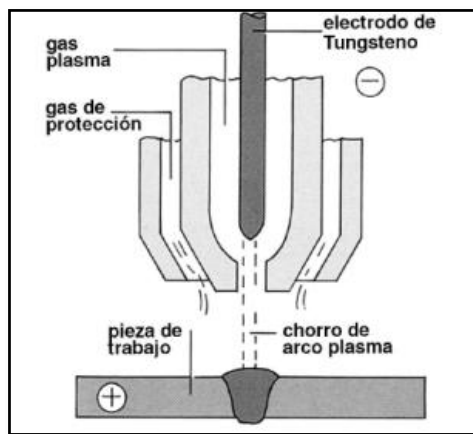
El proceso FCAW combina características de la soldadura por arco manual protegido SMAW, soldadura GMAW y la soldadura por arco sumergido SAW, de esta combinación se obtienen los siguientes beneficios:

1. La productividad de la soldadura de alambre continuo.
2. Las cualidades metalúrgicas que pueden derivarse de un fundente.
3. Una escoria que sustenta y moldea el cordón de soldadura.

En el método con protección gaseosa externa, generalmente se utiliza una mezcla de argón y dióxido de carbono, también se utiliza 100% dióxido de carbono. Por su parte, en el proceso tubular auto protegido, la protección se obtiene a partir de ingredientes del fundente que se vaporizan y que desplazan el aire y además por la escoria que cubre las gotas de metal fundido y la poza de soldadura durante la operación.

#### 4.3.1.6 PAW – Plasma Arc Welding.

El proceso de soldadura por arco Plasma se emplea principalmente para uniones a tope de placas y tuberías (de bajo y mediano espesor). Su ventaja principal es que permite una penetración controlada. La soldadura por arco plasma utiliza los mismos principios que la soldadura TIG, por lo que puede considerarse como un desarrollo de este último proceso ya que emplea los mismos electrodos de tungsteno, véase la **figura 12** (Air Products and Chemicals, Inc (2018), p.22). Sin embargo, tanto la densidad energética como las temperaturas son en este proceso mucho más elevadas ya que el estado plasmático se alcanza cuando un gas es calentado a una temperatura suficiente para conseguir su ionización, separando así el elemento en iones y electrones



**Figura 12.** Esquema de trabajo en el proceso PAW. Fuente: Air Products and Chemicals, Inc (2018).

El arco empleado en el proceso TIG se puede convertir en un arco de alta energía si se le obliga a pasar por un pequeño orificio practicado en la boquilla, este se constriñe y forma el chorro de plasma. La mayor ventaja del proceso PAW es que su zona de impacto es dos o



tres veces inferior en comparación a la soldadura TIG, por lo que se convierte en una técnica óptima para soldar metal de espesores pequeños.

Otra aplicación común de la soldadura por arco plasma es la de recargues duros o revestimientos de soldadura donde un consumible en hilo o en polvo se utiliza para crear una capa de material resistente al desgaste o la corrosión en la superficie de un componente. Esto se conoce como soldadura por arco plasma con polvo (PPAW).

#### *Características principales del proceso.*

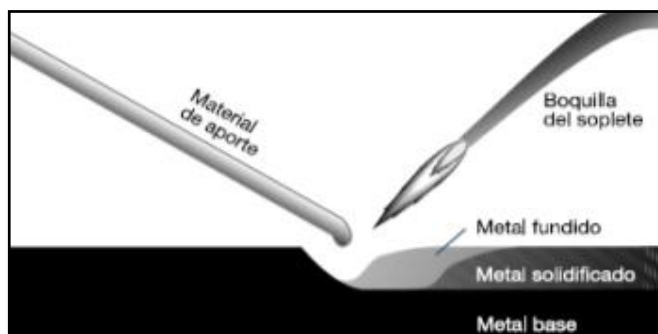
La soldadura por arco Plasma se basa en tres técnicas principales: *ojo de cerradura o keyhole*, *micro-plasma* y *plasma*. En el primer caso, el arco de plasma crea un agujero a través de la unión. A medida que la antorcha se desplaza a lo largo de la unión, el metal se funde en el frente del agujero de vapor, se desplaza girando hacia la parte de atrás y solidifica formando el cordón de soldadura. La soldadura micro-plasma permite la aplicación de soldadura de materiales de calibres muy delgados (más delgados del calibre 16) y permite soldaduras en espesores que no permitirían soldarse con ningún otro proceso.

Como soporte del arco generalmente se emplea argón puro o en ciertos casos helio con pequeñas proporciones de hidrógeno, que pasa a estado plasmático a través del orificio de la boquilla que estrangula el arco, dirigiéndose al metal base un chorro concentrado que puede alcanzar los 28.000 °C. El flujo de gas de plasma no suele ser suficiente para proteger de la atmósfera al arco, el baño de fusión y al material expuesto al calentamiento, por ello a través de la envoltura de la pistola se aporta un segundo gas de protección, puede ser argón o combinaciones de argón e hidrógeno o argón y helio.

#### *4.3.1.7 OFW – Oxi Fuel Welding.*

Su mayor aplicación en la industria se encuentra en el campo del mantenimiento, reparación, soldadura de tuberías de diámetro pequeño y manufacturas livianas. También puede ser usado como fuente de energía calórica, para calentar, doblar, forjar y/o endurecer. Es normalmente usado para soldar metales de hasta 6,4 mm de espesor, se puede utilizar también para soldar metales de mayor espesor, pero ello no es recomendable (Indura, 2013,

p.129). Posee ventajas en el transporte de su equipo portátil y puede ser utilizado en todas las posiciones de soldadura.



**Figura 13.** Esquema del Proceso de Oxigas. Fuente: Indura S.A. Recuperado de <http://www.indura.cl>.

### 4.3.2 Principales agentes contaminantes durante el proceso de soldadura.

#### 4.3.2.1 Residuos Sólidos.

Compuestos principalmente por:

- Partículas y polvos metálicos
- Resto de metales
- Varillas de electrodos

#### 4.3.2.2 Humos y gases.

Los humos y gases aparecen por reacción química de los diferentes componentes que intervienen en el proceso. Dependiendo del origen de las diferentes sustancias químicas potencialmente peligrosas tendrán diferentes características. Podemos destacar las siguientes fuentes:

- Producidos debido a la reacción del aire circundante.
- Producidos debido al material base.
- Producidos tras el recubrimiento del material base.
- Producidos a partir del material de aportación, del revestimiento o de los fundentes.
- Producidos debido los líquidos o gases que están contenidos en los depósitos a soldar.
- Producidos debido a los productos desengrasantes o los utilizados para limpiar el material base o el de aportación.

#### 4.3.2.3 Radiaciones.

En cuanto a los procesos de soldeo por arco generan radiaciones visibles, ultravioletas e infrarrojas, las cuales van a producir lesiones en los ojos y la piel, especialmente las ultravioletas por tratarse de las más peligrosas. En el caso de los procesos por llama también van a producir este tipo de radiaciones, aunque por suerte con menor intensidad. Otros procesos de soldeo como el de resistencia producirán radiaciones infrarrojas y visibles, por lo que no van a resultar tampoco tan nocivas.

#### 4.3.2.4 Ruido y proyección de partículas.

El ruido producido durante el proceso se debe a la acción de operaciones complementarias al soldeo, como por ejemplo el esmerilado, el picado, martillado, etc. Y es que algunos procesos de soldeo y corte, como el proceso por plasma y algunos de resistencia eléctrica, van a crear ruidos superiores a 90 dB.

En el caso de las proyecciones de partículas incandescentes pueden llegar a alcanzar los 10 m de distancia en horizontal. Dichas partículas, debido a la acción conjunta de la presencia de gases y materiales combustibles y del calor producido pueden llegar a crear incendios, por lo que debemos trabajar en un lugar con suelo, paredes, pantallas, etc.

#### 4.3.3 Impacto ambiental.

Los principales impactos sobre el medio ambiente por los contaminantes generados en los procesos de soldadura se enuncian en la tabla 5 relacionada a continuación:

**Tabla 5.** Impacto ambiental por los contaminantes en los procesos de soldadura.

| IMPACTO                           | ORIGEN                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Disminución de recursos naturales | Utilización de fuentes de energía fósiles (gas) o centrales hidroeléctricas                                                                                                                                                                                                                            |
| Contaminación atmosférica         | Emisión de gases metálicos Humos metálicos, NO <sub>x</sub> , CO y CO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> . Gases (acroleína, fosgeno, fluoruros). Escapes de gases (acetileno, argón, CO <sub>2</sub> ), principalmente Monóxido de carbono y Óxido de Nitrógeno, formados durante el proceso de soldadura. |
| Contaminación fuentes de agua     | Partículas metálicas que llegan al agua a través de los gases.                                                                                                                                                                                                                                         |

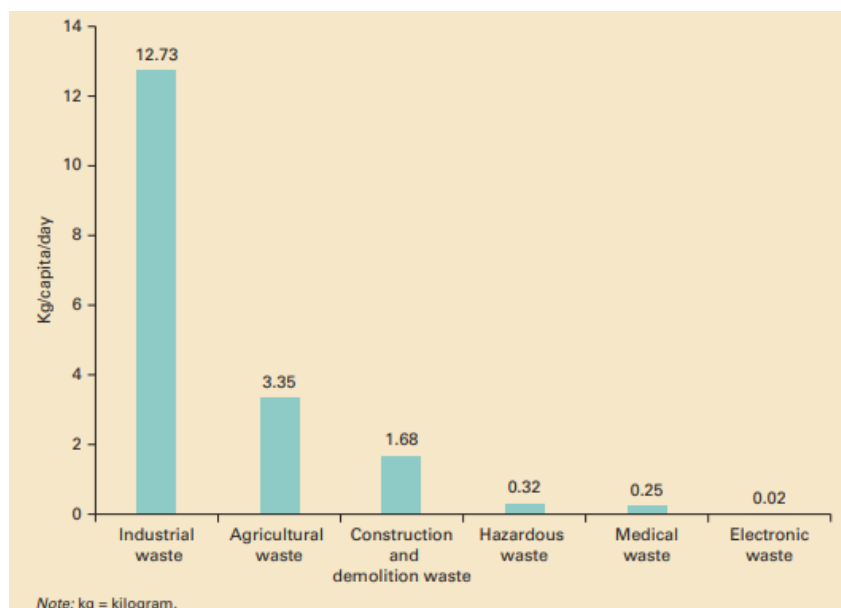
**Nota:** Se relaciona el impacto con el origen o causa contaminante. Fuente: Elaboración de los Autores (2020).

#### 4.3.4 Manejo de residuos en el contexto global.

Minimizar el impacto al medio ambiente y frenar el cambio climático es, sin lugar a dudas, el principal reto a nivel mundial, pero esto solo es posible con el compromiso y participación de todos los países. Sin embargo, las reglamentaciones laxas existentes y el bajo compromiso de la población no contribuyen al logro de este objetivo cuyo plazo se estima para el año 2030, para evitar efectos irreversibles en el cambio climático

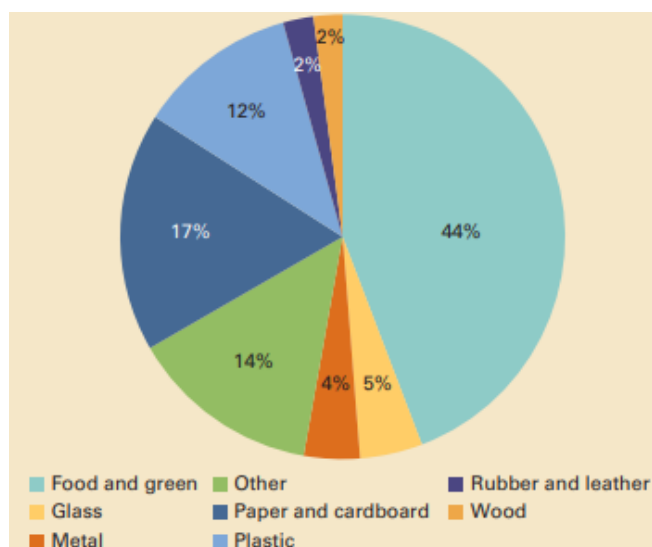
Diversas cumbres se han realizado con el fin de unir esfuerzos, la última de ellas la cumbre de París llevada a cabo en 2015 en donde una gran mayoría de países se comprometió a *“mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C”*, alcanzar esta meta requiere que el Estado, las organizaciones y la comunidad trabajen mancomunadamente en pro del medio ambiente.

Según el informe *“What a waste 2.0 a global snap-shop of solid waste management to 2050(2018)”*, se generan 12.73 Kg per cápita diariamente en el sector industrial, siendo este en donde deben enfocarse los esfuerzos para reducir su generación. A continuación, se muestra la cantidad per cápita diaria de generación de residuos por tipo de industria:



**Figura 14.** Promedio global de generación de residuos especiales. Fuente: *What a waste 2.0. (2018)*

De estos, el 4% corresponde a metales, pero el estudio no profundiza con claridad el tipo de metales por lo que los residuos de soldadura sólidos (Partículas y polvos metálicos, resto de metales y varillas de electrodos) que debido a su composición principal en esta investigación la incluimos dentro de este porcentaje.



**Figura 15.** Composición de desperdicios a nivel global. Fuente: *What a waste 2.0. (2018)*

Del total de residuos sólidos generados, solo el 14.5% son reciclados lo que representa que un gran porcentaje de residuos no tienen un manejo adecuado, terminando en rellenos comunes incrementando así el impacto ambiental.



**Figura 16.** Ranking de reciclaje mundial. Fuente: *La República (2019).*

Es de resaltar, que países como Suiza, Suecia, Austria, Alemania, Bélgica y los países bajos tienen un porcentaje de reciclaje mayor al 50% (**figura 16**), en gran parte por las medidas adoptadas por los gobiernos que incluyen fuertes sanciones para quienes no cumplan con esta norma, la educación enfocada al cuidado del medio ambiente desde edades tempranas y el uso de tecnologías permiten que los residuos que no puedan reciclarse se incineren para la generación de energía logrando así hasta un 100% de aprovechamiento de los residuos.

Según el portal Jernkontoret (2018), en Suecia el 80% a escoria de los procesos de la industria metalúrgica se usa en diferentes aplicaciones tanto internamente como en plantas siderúrgicas. Este es un cambio significativo en comparación con la situación a principios de este siglo cuando se enviaron grandes cantidades al vertedero. De igual manera, durante 2010, por ejemplo, todas las escorias de alto horno producidas se utilizaron de manera efectiva, casi todas con fines externos.

En Suecia, el uso principal de las escorias metalúrgicas se encuentra en aplicaciones de procesos internos (44 %). Esto indica que la industria del acero puede capitalizar sus materiales de entrada mediante la reutilización en gran medida.

Alrededor de una cuarta parte de la escoria de la producción de acero se utiliza para la construcción de carreteras en Suecia; Esto es mucho menos que en el resto de la UE. Existen otras diferencias significativas en las áreas de aplicación de la escoria entre la UE en su conjunto y Suecia. En la UE, menos de la mitad de la cantidad total de escoria producida se utiliza para la producción de cemento. En Suecia, por otro lado, la cantidad es inferior al uno por ciento. En el conjunto de la UE, el uso de escoria de plantas siderúrgicas para la construcción de vertederos es pequeño en comparación con el 23 por ciento en Suecia.

También se utiliza toda la escoria de horno de arco eléctrico de baja aleación producida, con más del 80 % aplicado externamente. Sin embargo, la escoria de horno de arco eléctrico de alta aleación es más difícil de encontrar. Durante 2010, menos del 20 por ciento de este material encontró una aplicación adecuada; la mitad de esto externamente.

Por su parte Ming Wang (2018) en su artículo *“Steel slag in China: Treatment, recycling, and management”* en China la producción anual de escoria alcanzó más de 100 millones de toneladas, su tasa de utilización es solo del 29.5%. A partir de 2016, más de 300 millones de toneladas de escoria de acero no se han utilizado de manera efectiva. Las grandes emisiones de escoria de acero están causando problemas ambientales debido a su baja en comparación con la de los países industriales: la tasa de utilización es del 98,4% en Japón, del 87,0% en Europa y del 84,4% en los Estados Unidos.

En comparación con otras naciones, China también tiene una brecha en el uso de escoria en la construcción de carreteras y la agricultura. Aunque el gobierno chino ha estado activo en la creación de un marco legislativo e institucional para realizar un tratamiento y reciclaje efectivo de la escoria de acero, estos esfuerzos son limitados. Los enfoques de tratamiento anticuados son una de las razones de la baja tasa de utilización en China, la mayoría de las plantas siderúrgicas chinas llevan a cabo el tratamiento preliminar (como los talleres familiares) de la escoria de acero, no se puede utilizar ningún sistema para la recuperación de todos los residuos ferrosos, y el 47% de las empresas de la escoria de acero después del tratamiento no cumple con los requisitos del producto. Los problemas de construcción de carreteras causados por los altos costos y las políticas limitadas, las restricciones legales y la falta de estándares en las aplicaciones agrícolas son otras dos razones para la baja tasa de utilización de la escoria de acero. Se necesitan nuevas políticas para mejorar las tasas de utilización. Proponemos el concepto de utilización gradual para promover la utilización efectiva de la escoria de acero.

En México, el país en Latinoamérica en donde se genera la mayor cantidad de residuos se encuentra en alza la creación de empresas especializadas dedicadas al reciclaje de residuos del proceso de soldadura que, dependiendo del tipo de aleación, contribuye a la reutilización de este tipo de material y a minimizar el impacto al medio ambiente.

#### **4.3.5 Distribución geográfica de la industria metalmecánica Colombia.**

El sector metalmecánico es uno de los sectores más importantes en la generación de residuos de soldadura teniendo en cuenta la transformación de materiales y el uso de



soldadura que se realizan durante cada uno de sus procesos. De acuerdo a lo anterior y teniendo en cuenta que la industria metalmecánica es un sector que tiene presencia en todo el territorio nacional, a continuación, se enuncian las principales regiones con mayor concentración de industria de acuerdo a la generación de empleo publicada por Bancoldex en su publicación Diversificación inteligente: posibilidades de diversificación y sofisticación de la industria metalmecánica en Colombia (2018).

**Tabla 6.** Distribución geográfica industria metalmecánica por generación de empleo

| No | Departamento    | Empleo | Participación por Departamento |
|----|-----------------|--------|--------------------------------|
| 1  | Bogotá D.C.     | 96.836 | 34,52%                         |
| 2  | Antioquia       | 56.915 | 20,29%                         |
| 3  | Valle del Cauca | 32.189 | 11,47%                         |
| 4  | Atlántico       | 15.519 | 55,30%                         |
| 5  | Cundinamarca    | 13.172 | 47,00%                         |
| 6  | Santander       | 11.609 | 41,40%                         |
| 7  | Risaralda       | 7.287  | 2,60%                          |
| 8  | Bolívar         | 7.192  | 2,56%                          |
| 9  | Boyacá          | 5.987  | 2,13%                          |
| 10 | Caldas          | 5.683  | 2,03%                          |

**Fuente:** Bancoldex (2018)

#### 4.3.6 Clasificación de los desechos de soldadura en Colombia.

En Colombia los desechos de soldadura se encuentran definidos como desechos peligrosos según la clasificación reglamentada mediante el Decreto 4741 de 2005 en su Anexos I y II como se relaciona a continuación:

**Tabla 7.** Clasificación de los residuos de soldadura

| Anexo                                                                      | Índice | Descripción                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------|--------|----------------------------------------------------------------------------|
| Anexo I Lista de residuos o desechos peligrosos por procesos o actividades | Y17    | Desechos resultantes del tratamiento de superficie de metales y plásticos. |
| Anexo II Residuos o desechos peligrosos por corrientes de residuos         | A1060  | Líquidos de desecho del decapaje de metales.                               |

**Fuente:** Elaboración de los autores (2020)

## 5 MARCO METODOLÓGICO

### 5.1 Enfoque de la investigación

El enfoque dado a la investigación es un enfoque mixto”, debido a que se aplican instrumentos cualitativos y cuantitativos a la información recopilada. Se realizó una revisión exhaustiva y completa de la literatura pertinente para el planteamiento del problema y el consecuente desarrollo del marco teórico.

### 5.2 Alcance de la investigación

Para el desarrollo del “*Estudio Descriptivo de los diferentes Procesos de Soldadura utilizados en Colombia y el manejo de sus residuos*” se escogió el tipo de investigación descriptiva puesto que el objetivo de la investigación es recopilar, clasificar y evaluar la literatura actual correspondiente a los diferentes procesos de soldadura en la industria colombiana y la gestión de residuos implementada en la generación de estos.

La propuesta metodológica busca identificar aquellos documentos, artículos, y/o ensayos en donde por sus aportes podamos conocer el estado actual de los procesos de soldadura aplicables en Colombia y los protocolos de gestión a sus residuos que se vienen aplicando en la industria.

### 5.3 Diseño de la Investigación

Según la metodología expuesta por Hernández et al (2014), nuestra investigación es un diseño transversal no experimental debido a que la información investigada y el enfoque del proyecto no permite la manipulación de la información y de las variables, en donde se tiene menor control, las variables son más cercanas a la realidad, entre otros factores, realizando la recolección de datos en un solo momento (1 mes de investigación).

Debido al tiempo de ejecución de la investigación, realizamos una ejecución concurrente en donde aplicamos el análisis de los datos cuantitativos – cualitativos en el mismo tiempo y con una prioridad de enfoque igual.

El tipo de diseño usado es Diseño de triangulación concurrente (DITRIAC).

## 5.4 Hipótesis

En Colombia se tienen establecidos protocolos que permitan minimizar el impacto ambiental de los residuos de los procesos de soldadura.

## 5.5 Definición de variables

### 5.5.1 Definición conceptual.

#### 5.5.1.1 Metal de aporte.

Se entiende como material de aportación, todo aquel material que se utiliza para la realización de un cordón de soldadura de buena calidad y donde distinguimos, por un lado, el núcleo del electrodo y el revestimiento, y, por otro lado, la varilla de aporte y los fundentes, basados en la generación de residuos sólidos y el tipo de tecnología usado durante los procesos de soldadura se clasificará en: varillas de aporte (VA), electrodo revestido (ER), alambre continuo (AC), fundente (F) o sin aportación (SA).

#### 5.5.1.2 Escoria.

Durante la conformación del cordón de soldadura constituido por el metal base y el metal de aporte del electrodo, en la parte superior del metal de soldadura se puede observar un compuesto formado por impurezas que son segregados durante la solidificación y que posteriormente son eliminadas. De iguales formas basadas en la generación de residuos sólidos puede medirse mediante esta variable y ser clasificada así: con remoción de escoria (C) y sin remoción de escoria (S).

#### 5.5.1.3 Partículas metálicas.

En la medida que se requiera una mejor presentación del cordón de soldadura y eliminación completa de la escoria, la proyección de partículas en operaciones de “grateado” (uso de grata después de la soldadura) y esmerilado con pulidora serán requeridas de acuerdo a la tecnología usada. Es por esto que esta variable será clasificación en alta (A), media (M) y baja producción (B).

#### *5.5.1.4 Producción de humos y gases.*

De acuerdo al uso de diferentes componentes en la soldadura aplicada tales como: material base, material de aporte, gas protector, preparación de la junta y manejo de consumibles (electrodos); se puede clasificar en alta (A), media (M) y baja producción (B).

#### *5.5.1.5 Radiación.*

Esta variable incide directamente en el riesgo de lesiones de los ojos y la piel de los soldadores, el aumento de la temperatura en la zona de trabajo y el confort de esta. Por lo tanto, su clasificación será alta (A), media (M) y baja generación (B).

#### *5.5.1.6 Ruido.*

Debido a la tecnología usada se deberán implementar acciones complementarias a la soldadura por lo que esta variable será clasificada en alta (A), media (M) y baja generación de ruido (B).

#### *5.5.1.7 Gestión de residuos.*

Como parte del análisis para validar la aplicación de protocolos actuales para el manejo de residuos de soldadura y su impacto al medio ambiente, esta variable será clasificada en Si, No y no aplica (NA).

### **5.5.2 Definición Operacional.**

Por tratarse de variables en donde no hay manipulación sino medición, se usarán técnicas como la observación directa (basado en experiencias previas y el trabajo de campo), el juicio de expertos, la revisión de los documentos académicos específicos para la categorización de la información muestreada.

### **5.5.3 Población y Muestra.**

La unidad de análisis que usaremos en la población y muestra serán las *Referencias Académicas*. Dicho esto, la población estará delimitada por un conjunto de casos de búsqueda en donde al ejecutar los motores de búsqueda logremos resultados asociados y

que comprendan “*Procesos de Soldadura utilizados en Colombia y el manejo de sus residuos*”.

Para el caso de la Muestra y dado el requerimiento de las características especificadas en el planteamiento del problema (nivel Nacional), usaremos una *muestra dirigida* en donde podamos encontrar casos típicos que representen y hagan inferencia al resto de la población.

## 6 METODOLOGÍA PARTICULAR

### 6.1 Instrumentos para recolección de información

Para el desarrollo del “*Estudio Descriptivo de los diferentes Procesos de Soldadura utilizados en Colombia y el manejo de sus residuos*” el principal instrumento usado en la recolección de la información será el análisis del contenido (revisión documental) encontrado en los motores de búsqueda disponibles en la web (Google Académico, Scirus, Live Search Academic y Refseek), de igual forma se puede usar preguntas específicas en la muestra basadas en la escala Likert para las variables que manejan opciones de respuesta.

Una vez obtenidos los datos mediante los instrumentos de recolección descritos anteriormente se usarán herramientas de análisis estadístico como los diagramas de Pastel o Pareto, así como las medidas y tipos de frecuencia para medir las tendencias de la muestra mediante un histograma en las variables más representativas.

### 6.2 Medición de variables

#### 6.2.1 Medición de Variables en Investigaciones y artículos académicos.

La selección de la *muestra dirigida* en donde encontramos casos típicos que representen y hacen inferencia al estudio descriptivo se lista a continuación (y ordenando alfabéticamente la muestra):

1. Ángulos, A., & García, L. (2017). *Propuesta para la implementación de un sistema de control de riesgo químico en el proceso de soldadura en la empresa diseños y*

- montajes industriales ARTECG S.A.S. (Artículo investigativo) Universidad ECCI, Bogotá, Colombia.*
2. Cabrejo, Á. P. (2018). *La educación ambiental en el manejo de residuos sólidos en el centro de materiales y ensayos–SENA. (Trabajo de Grado para Magister en Educación Ambiental). Universidad Santo Tomas, Bucaramanga, Colombia.*
  3. Cañón, A. P. & Rodríguez, J. M (2011). *Manejo seguro y gestión ambiental de sustancias químicas y residuos peligrosos en Mi Pymes del sector metalmecánico de Bogotá, 2010. Caso Estudio. Proyecto de grado para Ingeniero Industrial. Universidad Libre de Colombia.*
  4. Cerpa, W. (2016). *Plan de acción para disminuir los factores de riesgo químico por exposición a altas concentraciones de manganeso presente en humos metálicos de soldadura en la empresa MULTISEGUA Ltda. (Tesis, monografía, seminario de investigación) Universidad ECCI, Bogotá, Colombia.*
  5. Chinome, R. (2018). *Recuperación de materiales metálicos en escorias del proceso de soldadura de arco sumergido en la empresa HB SADELEC. (Tesis para ingeniero metalúrgico). Universidad Pedagógica y Tecnológica, Tunja, Colombia.*
  6. Cortes L. (2017). *Diseño del plan de gestión de residuos sólidos para la empresa “metalmecánica industrias Fercolplast S.A.S”, ubicada en Bogotá. Monografía para Administración Ambiental. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.*
  7. Díaz, D. & Salazar, J. (2013). *Procedimiento para el manejo integral de residuos peligrosos del centro de diseño tecnológico industrial SENA-Salomia. Cali-Colombia. Tesis de grado para Ingeniería Industrial. Universidad de San Buenaventura.*
  8. García, C., González, J. y, Gil, L. (2019). *Efectos a la salud por exposición a partículas ultrafinas generadas en los procesos de soldadura. Mare Ingenii. Ingenierías 1(1). pág. 29-pag 36 <http://cipres.sanmateo.edu.co/index.php/mi>*
  9. Goenaga Rosas, K. P. (2015). *Importancia de los elementos de protección personal (EPP) en la Industrias Metalmecánica en Colombia. (Trabajo de Grado para*

- Administración de Negocios). Universidad de San Buenaventura. Seccional Cartagena, Colombia.
10. Gómez Soto, M. F. (2005). *Metodología de clasificación y separación en la fuente para manejo de residuos peligrosos en la Compañía Colombiana Automotriz S.A.* Proyecto de grado para Ingeniería Ambiental. Universidad de Los Andes. Bogotá, Colombia.
  11. Hernández, B. A.; Lozano, S. L & Ramos, N. D. (2018). *Criterios de implementación ISO 14001:2015 Caso Estudio SERPROCONS Ltda.* Artículo de Diplomado Gerencia del Sistema Integrado de Gestión en Seguridad, Salud, Ambiente y Calidad – HSEQ. Universidad Nacional Abierta y a distancia.
  12. Hernández, C., & Torres, D. (2018). *Relación entre la Exposición al Humo de Soldadura y Alteraciones del Sistema Respiratorio de los Trabajadores del Proceso de Soldadura del Acero Inoxidable en la Empresa ASEMAQ.* (Proyecto de grado para especialización en gerencia de riesgos laborales seguridad y salud). Corporación Universitaria Minuto de Dios, Bogotá, Colombia
  13. López, J.A. & Sandoval, E.L (2012). *Viabilidad para la creación de una empresa que preste los servicios de manejo de los residuos peligrosos generados durante la operación de pozos petroleros en el departamento del Meta.* Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10882/3305>.
  14. Marrugo, D., Puello, J., León, G., Alta Miranda, N. y León, D. (2018). *Determinación de Cadmio proveniente de humos metálicos en ambientes de trabajo dedicados a la soldadura.* Revista Bistua Facultad de Ciencias Básicas, Vol. (16) pág. 110- pág. 117. Recuperado de [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:P4N4dFoHI2AJ:revistas.unipamplona.edu.co/ojs\\_viceinves/index.php/BISTUA/article/download/3198/1711+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=co](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:P4N4dFoHI2AJ:revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/BISTUA/article/download/3198/1711+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=co)
  15. Morato R. (2012). *Análisis de los procesos de soldadura aplicados en cuatro empresas de la ciudad de Bogotá dedicadas a la fabricación de los cuerpos de los*



- carro tanques en acero al carbono para transporte de crudo*. Proyecto de grado para Especialista en Soldadura. Universidad Libre de Colombia.
16. Naranjo, F; Tolosa, J. & Forero, N. (2002). *Caracterización de partículas de residuos de disparo y de partículas críticas provenientes de procesos industriales y ocupaciones, mediante M.E.B./ D.E.X.* Revista colombiana de física, vol. 34, (No. 2), pág. 621- pág. 624. Recuperado de [http://www.revcolfis.org/busqueda/vol34\\_2/articulos/pdf/3402621.pdf](http://www.revcolfis.org/busqueda/vol34_2/articulos/pdf/3402621.pdf)
  17. Núñez, J. A. (2012). *Guía de información para el control de la contaminación de gases y humos del proceso de soldadura*. Proyecto de grado para Especialización en Gerencia Ambiental. Universidad Libre de Colombia. Recuperado de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10745/monograf%c3%ada.pdf?sequence=1&isallowed=y>
  18. Puello Silva, J., León Méndez, G., Gómez Marrugo, D., Muñoz Monroy, H., & Blanco Herrera, L. (2018). *Determinación de metales pesados en humos metálicos presentes en ambientes informales de trabajo dedicados a la soldadura*. Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas, 47(1), 14-25. Recuperado de <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v47n1.70653>
  19. Rondón V. (2014). *Desarrollo de un procedimiento de soldadura para recuperación de espesor de pared en tubería API 5L grado X65 en servicio, para transporte de hidrocarburos*. Monografía de grado para Especialista en Soldadura. Universidad Libre de Colombia.
  20. Ruiz B. & Trujillo C. (2011). *Elaboración de un programa de gestión integral de residuos para una empresa representativa del sector productor de fertilizantes*. Monografía de Especialización en Ingeniería Ambiental. Universidad Industrial de Santander. <http://noesis.uis.edu.co/bitstream/123456789/6822/1/141059.pdf>
  21. Secretaría Distrital de Ambiente (2010). *Guía para la gestión y manejo integral de residuos. Industria Metalmecánica*. Bogotá, Colombia: Secretaría Distrital de Ambiente

22. Servicio Nacional de Aprendizaje (2006). *Caracterización ocupacional área de la soldadura*, SENA. Bogotá, Colombia: Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). Recuperado de <https://hdl.handle.net/11404/2096>
23. Sevilla, L. M. L., Pineda, J. C. G., & Toro, A. (2004). *Relación microestructura resistencia al desgaste de recubrimientos duros ricos en cromo y tungsteno aplicados por soldadura eléctrica (SMAW)*. Dyna, 71(144), 165-171. <https://www.redalyc.org/pdf/496/49614417.pdf>
24. Valero, Á. (2017). *Diseño de un plan de gestión integral de residuos sólidos para una industria metalmeccánica en la localidad de Puente Aranda (Bogotá – Colombia)*. Recuperado de: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/13041>.

En la tabla 8, se evidencia la medición de las variables según la muestra dirigida.

**Tabla 8.** Medición de variables acorde a la muestra dirigida.

| Muestra | Metal de aporte | Escoria | Partículas metálicas | Humos y gases | Radiación | Ruido       | Gestión residuos |
|---------|-----------------|---------|----------------------|---------------|-----------|-------------|------------------|
| 1.      | ER              | C       | A                    | A             |           |             | SI               |
|         | VA              | S       | M                    | M             |           |             |                  |
| 2.      | ER              | C       | A                    | A             |           |             | SI               |
|         | SA              | S       | B                    | B             |           |             |                  |
| 3.      |                 |         | M                    | M             | A         | M           | SI               |
|         |                 |         | B                    | B             |           |             |                  |
| 4.      | ER              | C       | A                    | A             | A         |             | SI               |
| 5.      | F               | C       | A                    |               |           |             | SI               |
| 6.      | ER              | C       | A                    | A             |           |             | SI               |
| 7.      | ER              | C       | A                    |               |           |             | SI               |
|         | VA              | S       | M                    | M             | M         |             |                  |
| 8.      | ER              | C       | A                    | A             | A         |             | SI               |
|         | AC              | C       | M                    | M             | M         |             |                  |
|         | SA              | S       | B                    | B             | A         |             |                  |
| 9.      |                 | C       | A                    | A             | A         | A<br>M<br>B | SI               |
| 10      | AC              | C       | M                    | M             |           |             | SI               |
|         | SA              | S       | B                    | B             |           |             |                  |
| 11.     | ER              | C       | A                    | A             | A         | A           | SI               |
| 12.     | VA              | S       | M                    | M             | A         |             | SI               |
|         | SA              | S       | B                    | B             |           |             |                  |
| 13.     | ER              | C       | A                    |               |           |             | SI               |

| Muestra | Metal de aporte | Escoria | Partículas metálicas | Humos y gases | Radiación | Ruido | Gestión residuos |
|---------|-----------------|---------|----------------------|---------------|-----------|-------|------------------|
| 14.     | ER              | C       | A                    | A             |           |       | NA               |
| 15.     | ER              | C       | A                    |               |           |       | NA               |
|         | AC              | C       | M                    |               |           |       |                  |
| 16.     | VA              | S       | M                    |               |           |       | NA               |
|         | ER              | C       | A                    |               |           |       |                  |
| 17.     | VA              | S       | M                    | M             |           |       | SI               |
|         | ER              | C       | A                    | A             |           |       |                  |
|         | AC              | C       | M                    | M             |           |       |                  |
| 18.     | ER              | C       | A                    | A             |           |       | NA               |
| 19.     | ER              | C       |                      |               |           |       | NA               |
| 20.     | ER              | C       | A                    |               |           |       | SI               |
| 21.     | ER              | C       | A                    | A             |           | A     | SI               |
|         | AC              | C       | M                    | M             |           | M     |                  |
| 22.     | VA              | S       |                      | M             | M         |       | SI               |
|         | ER              | C       |                      | A             | A         |       |                  |
|         | AC              | C       |                      | M             | M         |       |                  |
|         | SA              | S       |                      | B             | A         |       |                  |
| 23.     | ER              |         | A                    |               |           |       | NA               |
| 24.     | ER              | C       | A                    |               |           |       | SI               |

**Nota:** Se realiza la medición de las variables de la muestra basados en las convenciones descritas y enunciadas para cada una en el numeral 5.5.1. Fuente: Elaboración de los Autores (2020).

## 6.2.2 Medición de Variables en Planes y Guías de Manejo de Residuos.

Usando un indicador de manejo de residuos de soldadura y basado en los procesos para el manejo de residuos de soldadura más utilizados a la literatura existente (en un contexto nacional), definiendo el óptimo se presenta a continuación la medición de los indicadores descritos en la tabla 9.

**Tabla 9.** Indicadores asociados a los Residuos de Soldadura.

| No.          | Indicadores                                                                                       | Ponderación |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 1            | Analiza el impacto de los residuos de soldadura al medio ambiente                                 | 33,33%      |
| 2            | Enfatiza en la importancia de adoptar protocolos para el adecuado manejo de residuos de soldadura | 33,33%      |
| 3            | ¿Propone un protocolo de buenas prácticas para el manejo de residuos de soldadura?                | 33,33%      |
| <b>Total</b> |                                                                                                   | <b>100%</b> |

**Fuente:** Elaboración de los Autores (2020).

Basado en los indicadores listados, se presenta a continuación la medición respectiva.

**Tabla 10.** Medición de indicadores para los residuos de Soldadura.

|   | Titulo                                                                                                                                | Autor                                                                         | Ciudad          | Link                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Año        | Indicador   | SI/NO          |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------|----------------|
| 1 | Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos, bases conceptuales                                                                | Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial                     | Nacional        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 2007       | 1<br>2<br>3 | NO<br>SI<br>NO |
| 2 | Plan Departamental para la gestión de Residuos Peligrosos                                                                             | Corporación Autónoma Regional del Quindío                                     | Quindío         | <a href="https://www.crq.gov.co/imagenes/Ideam/Generadores-de-Residuos-Religiosos/NUEVA-CARTILLA-DE-RESPEL.pdf">https://www.crq.gov.co/imagenes/Ideam/Generadores-de-Residuos-Religiosos/NUEVA-CARTILLA-DE-RESPEL.pdf</a>                                                                                                                       | No Precisa | 1<br>2<br>3 | SI<br>NO<br>NO |
| 3 | Guía para la gestión y manejo integral de residuos industria metalmeccánica                                                           | Alcaldía Mayor de Bogotá, secretaria Distrital de Ambiente                    | Bogotá D.C.     | <a href="http://www.ambientebogota.gov.co/documents/10157/224727/guia_metalmecanica.pdf">http://www.ambientebogota.gov.co/documents/10157/224727/guia_metalmecanica.pdf</a>                                                                                                                                                                     | 2010       | 1<br>2<br>3 | SI<br>SI<br>SI |
| 4 | Política Ambiental para la Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos                                                         | Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial                     | Nacional        | <a href="https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbanismo/pdf/PoliticaAmbientalelaDireccionalAmbientaIntegraldeResiduosDesechosPeligrosos.pdf">https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbanismo/pdf/PoliticaAmbientalelaDireccionalAmbientaIntegraldeResiduosDesechosPeligrosos.pdf</a> | 2005       | 1<br>2<br>3 | SI<br>NO<br>NO |
| 5 | Prevención en la Generación de residuos                                                                                               | Subdirección de Ecourbanismo y Gestión Ambiental Empresarial                  | Bogotá D.C.     | <a href="http://ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=fefedf2-84">http://ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=fefedf2-84</a>                                                                                                                                                                                 | 2015       | 1<br>2<br>3 | SI<br>SI<br>SI |
| 6 | Plan de Alternativas tecnológicas y/o herramientas como las buenas prácticas de manufactura en ingeniería en el sector metalmeccánico | Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC Universidad del Valle | Valle del Cauca | <a href="https://www.cali.gov.co/dam/secure/loader.php?lServicio=Tools2&amp;lTipo=descargas&amp;lFuncion=descargar&amp;idFile=3194">https://www.cali.gov.co/dam/secure/loader.php?lServicio=Tools2&amp;lTipo=descargas&amp;lFuncion=descargar&amp;idFile=3194</a>                                                                               | 2018       | 1<br>2<br>3 | SI<br>NO<br>SI |
| 7 | Oportunidades de producción más limpia en el sector de metalmeccánica. Guía para empresarios.                                         | Acero Rene                                                                    | Bogotá D.C.     | <a href="http://www.ambientebogota.gov.co/documents/24732/3988003/Oportunidadesdeproduccionmaslimpiaenelsectorde+metalmeccanica.pdf">http://www.ambientebogota.gov.co/documents/24732/3988003/Oportunidadesdeproduccionmaslimpiaenelsectorde+metalmeccanica.pdf</a>                                                                             | 2004       | 1<br>2<br>3 | SI<br>NO<br>SI |

|    |                                                                                                            |                                                                |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |   |    |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---|----|
| 8  | Plan de residuos peligrosos para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá                                 | Universidad Pontificia Bolivariana                             | Medellín  | <a href="https://www.metropol.gov.co/ambiental/residuos-solidos/Documents/Anexo%206.%20Documento%20Plan%20RESPEL.pdf">https://www.metropol.gov.co/ambiental/residuos-solidos/Documents/Anexo%206.%20Documento%20Plan%20RESPEL.pdf</a>                                                                                                                                                                                         | 2016 | 1 | NO |
|    |                                                                                                            |                                                                |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      | 2 | NO |
|    |                                                                                                            |                                                                |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      | 3 | NO |
| 9  | Formulación del plan de gestión integral de residuos sólidos regional del Valle de Aburrá – PGIRS Regional | Universidad Pontificia Bolivariana                             | Medellín  | <a href="https://www.metropol.gov.co/ambiental/residuos-solidos/Documents/PGIRS/C.%20Cap%20III%20Diagrama%20C3%B3stico.pdf">https://www.metropol.gov.co/ambiental/residuos-solidos/Documents/PGIRS/C.%20Cap%20III%20Diagrama%20C3%B3stico.pdf</a>                                                                                                                                                                             | 2006 | 1 | NO |
|    |                                                                                                            |                                                                |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      | 2 | NO |
|    |                                                                                                            |                                                                |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      | 3 | NO |
| 10 | Plan de Gestión Integral de Residuos Peligrosos-Respel de la Alcaldía de la Virginia Risaralda             | Dirección de Gestión Ambiental Municipal-La Virginia Risaralda | Risaralda | <a href="http://laviginiarisaralda.micolombiadigital.gov.co/sites/laviginiarisaralda/content/files/000118/5851_plan-de-gestion-integral-de-residuos-peligrosos--respel-de-la-alcaldia-de-la-virginia-final-1.pdf">http://laviginiarisaralda.micolombiadigital.gov.co/sites/laviginiarisaralda/content/files/000118/5851_plan-de-gestion-integral-de-residuos-peligrosos--respel-de-la-alcaldia-de-la-virginia-final-1.pdf</a> | 2017 | 1 | NO |
|    |                                                                                                            |                                                                |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      | 2 | NO |
|    |                                                                                                            |                                                                |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      | 3 | NO |
| 11 | Plan institucional de gestión integral de residuos o desechos peligrosos Alcaldía Municipal de Pereira     | Alcaldía de Pereira                                            | Pereira   | <a href="http://www.pereira.gov.co/Transparencia/Planeacion/GestionControl/Plan%20Institucional%20de%20Gesti%C3%B3n%20Integral%20de%20Residuos%20y%20Desechos%20Peligrosos.pdf">http://www.pereira.gov.co/Transparencia/Planeacion/GestionControl/Plan%20Institucional%20de%20Gesti%C3%B3n%20Integral%20de%20Residuos%20y%20Desechos%20Peligrosos.pdf</a>                                                                     | 2015 | 1 | NO |
|    |                                                                                                            |                                                                |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      | 2 | NO |
|    |                                                                                                            |                                                                |           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      | 3 | SI |

**Fuente:** Elaboración de los Autores (2020).

## 7 ANALISIS DE RESULTADOS

Basados en la muestra y los instrumentos descritos en la sección 6.1 se realizó la medición de las variables como se describe en la tabla 8, acorde a este flujo y manejo de los datos procedemos a seleccionar los resultados relevantes para presentar a continuación.

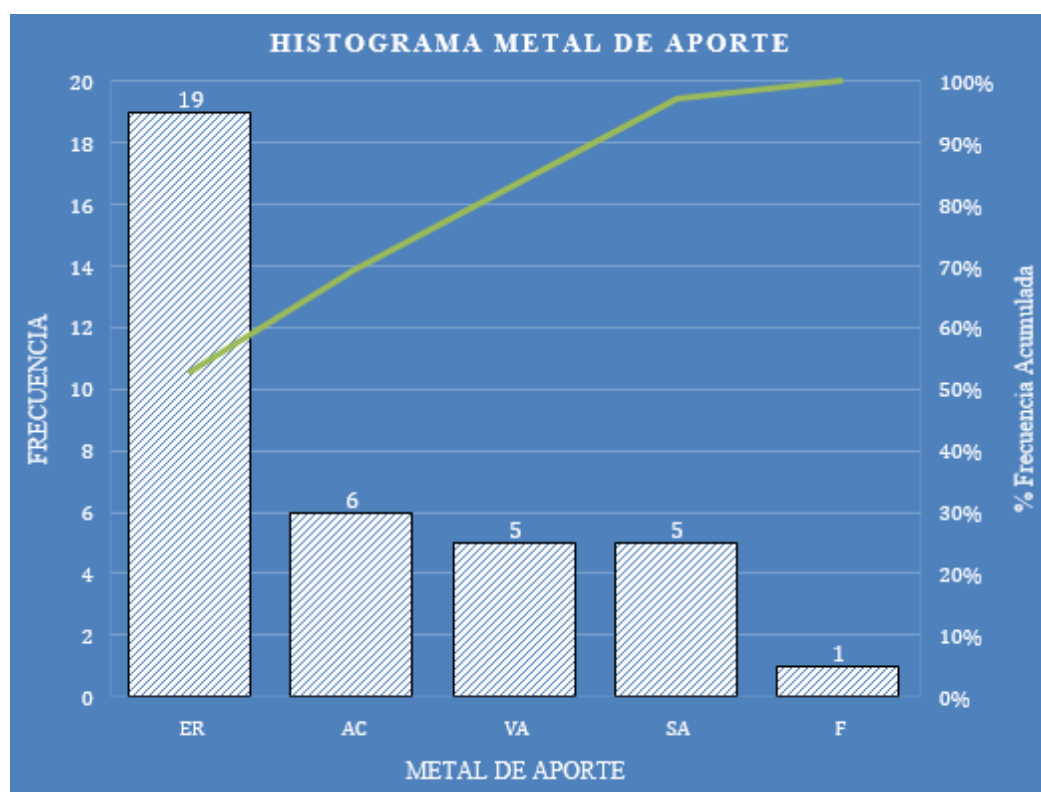
### 7.1 Análisis de variables cuantitativas

De acuerdo al objetivo principal del estudio descriptivo se procedió a revisar la variable de Metal de Aporte con el fin de determinar mediante un histograma de frecuencia los procesos de soldadura más utilizados en Colombia (ver figura 17).

Como se observa para el caso del metal de aporte, un total de 19 muestras nos indica que la moda está definida como Electrodo Revestido ER, lo que representa el uso de Proceso SMAW – Shielded Metal Arc Welding, y en un segundo lugar con 6 muestras el uso de

Alambre Continuo que representa el uso de Proceso GMAW – Gas Metal Arc Welding. En esta misma grafica se observan otros valores para Varilla de aporte (OFW) y Sin Metal de Aporte (GTAW) con 5 resultados y con Fundente (SAW) con un solo resultado.

Otro tipo de procesos usados en Colombia no son medidos en la muestra sin embargo y como se indica al principio de este numeral la muestra fue dirigida para determinar el proceso más utilizado en Colombia.

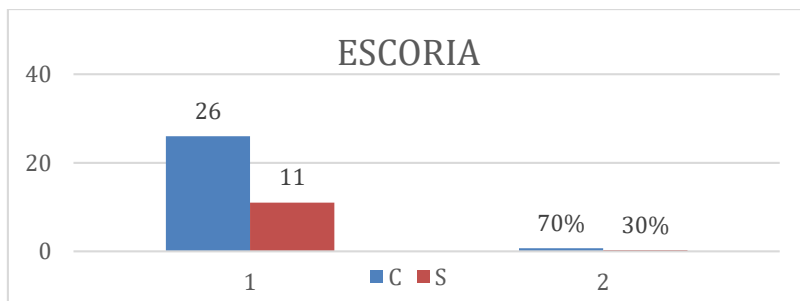


**Figura 17.** Histograma de la Variable Metal de Aporte. Fuente: Elaboración de los Autores (2020).

## 7.2 Análisis de variables cualitativas

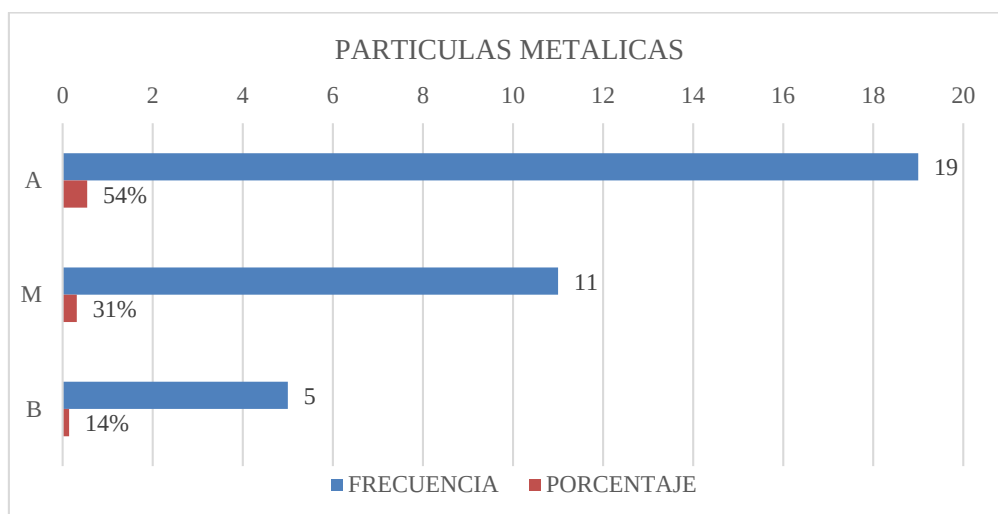
A continuación, se observará un análisis cualitativo de algunas variables dentro del muestreo realizado:

- Cerca del 70% de los procesos de soldadura utilizados en Colombia producen escoria.



**Figura 18.** Diagrama de Barras de Variable Escoria. Fuente: Elaboración de los Autores (2020).

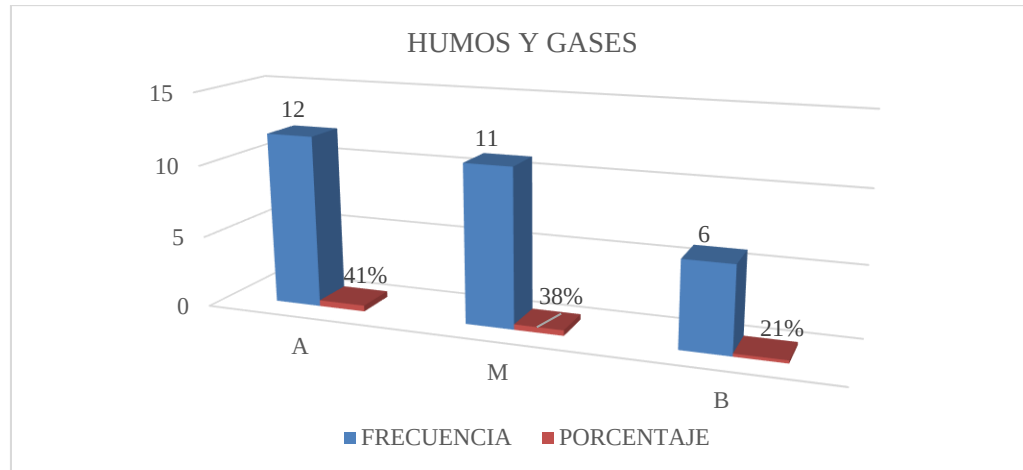
- El 54% de los procesos de soldadura producen una alta emisión de material metálico particulado, lo que confirma que el proceso SMAW y la remoción de escoria es un factor a considerar en el cambio de tecnología para evitar mayores trabajos durante los procesos de soldadura.



**Figura 19.** Diagrama de Barras Variable Partículas Metálicas. Fuente: Elaboración de los Autores (2020).

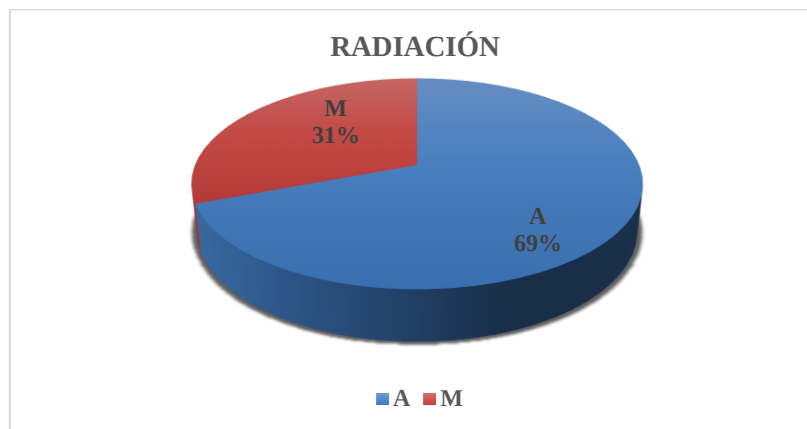
- El 41% de los procesos de soldadura producen una alta emisión de humos, seguido de un 38% en producción media y un 21% con baja producción.





**Figura 20.** Diagrama de Barras Variable Humos y Gases. Fuente: Elaboración de los Autores (2020).

- Ningún proceso de soldadura tiene bajas producciones de radiación, por ser procesos de arco eléctrico o de fundición (como el OFW), ya que se tienen temperaturas que oscilan entre los 800°C y los 1500 °C.



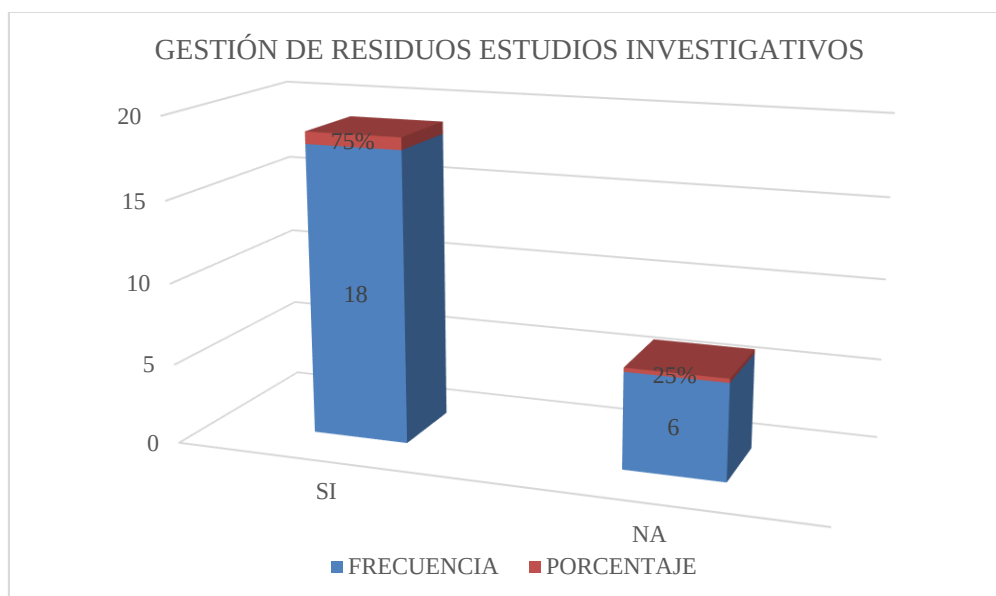
**Figura 21.** Diagrama Circular para Variable de Radiación. Fuente: Elaboración de los Autores (2020).

La muestra recolectada nos permitió realizar el análisis correspondiente al manejo de residuos de soldadura, observando dos tipos de referencias:

- Avances académicos investigativos y artículos que proponen un plan o metodología para el manejo de residuos de soldadura (listados en 6.2.1).
- Planes y guías de buenas prácticas para manejo de residuos de soldadura emitidos por departamentos en Colombia acorde a la distribución geográfica de la industria metalmecánica por generación de empleo (ver tabla 10).

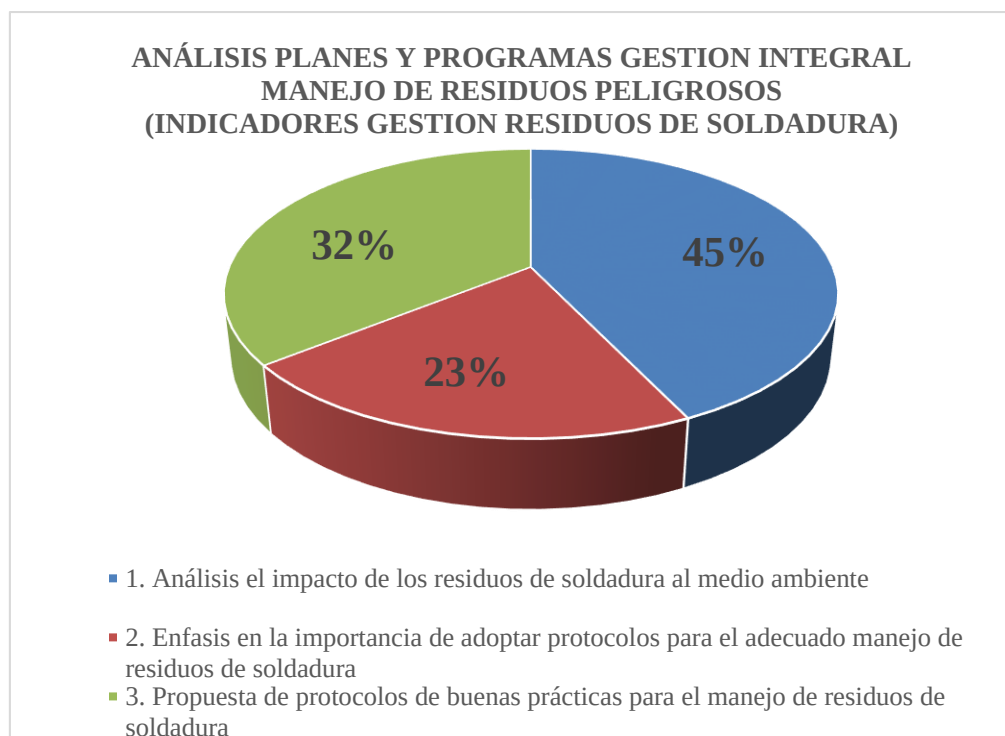
Al realizar el análisis correspondiente se obtuvieron los siguientes resultados en gestión de residuos de soldadura tanto en estudios académicos investigativos como en planes y programas de manejo de residuos peligrosos (RESPEL).

- El 75% de las referencias correspondientes a investigaciones académicas y artículos, arrojan un manejo y gestión de los residuos producidos por la industria de la Soldadura. Esto es un porcentaje alto que podría ser favorable para el medio ambiente en Colombia.



**Figura 22.** Diagrama de Barras Variable Gestión de Residuos publicaciones investigaciones educativas y artículos. Fuente: Elaboración de los Autores (2020).

- Del total de planes y programas para gestión integral de residuos peligrosos (RESPEL) de los departamentos consultados, el 45% realizan un análisis del impacto de los residuos de soldadura al medio ambiente, el 32% propone un protocolo para el manejo de los residuos de soldadura y tan solo el 23% realizan énfasis en la importancia de implementar protocolos para el adecuado manejo de los residuos de soldadura.



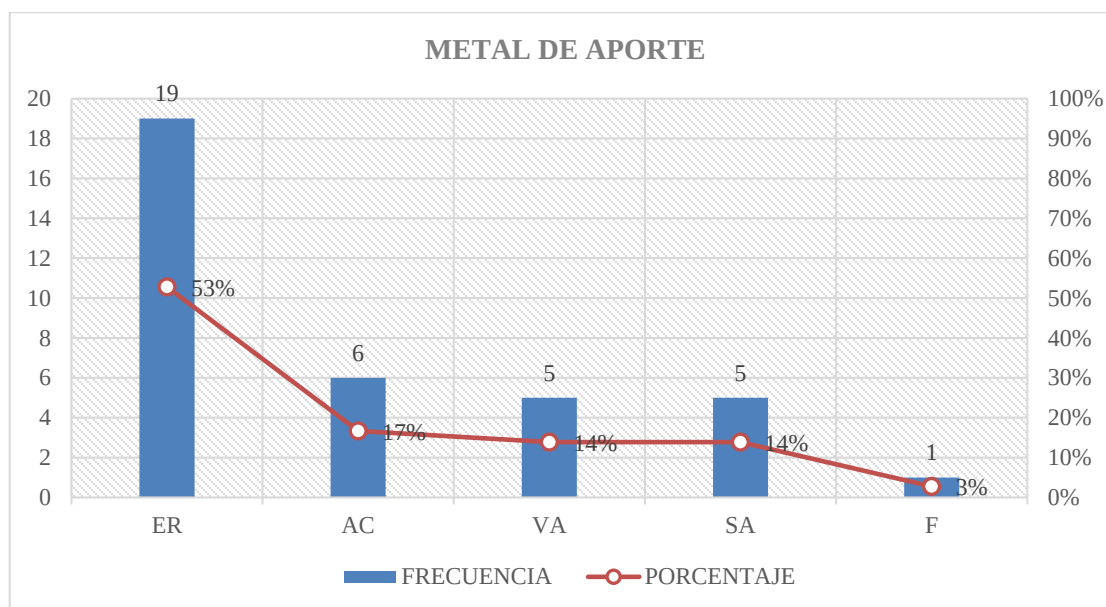
**Figura 23.** Diagrama Circular indicadores gestión residuos de soldadura. Fuente: Elaboración de los Autores (2020).

## 8 CONCLUSIONES Y DISCUSION

Una vez realizado el análisis de las variables podemos responder nuestro problema:

**¿Cuáles son los diferentes procesos de soldadura utilizados en Colombia y el manejo de sus residuos?** A continuación, se muestran las conclusiones de la investigación:

- Como se observa en la figura 23, podemos observar que más del 50% de los procesos de soldadura utilizados en Colombia son con metal de aporte Electrodo Revestido lo que representa el uso de Proceso SMAW-Shielded Metal Arc Welding.



**Figura 24.** Diagrama de Barras de la Variable Metal de Aporte. Fuente: Elaboración de los Autores (2020).

- Los principales residuos generados en los procesos de soldadura son: Escoria, Partículas metálicas, Humos & Gases, Radiación y Ruido.  
Sin embargo, se observa que para las variables de radiación y ruido no se cuenta con suficientes datos, lo que indicaría que la gestión de estos residuos puede llegar a ser menor respecto a las demás. Aunque autores como Goenaga (2015) (p. 26) afirman que “el empleado deber ser consciente de que los elementos de protección personal (EPP) minimiza los riesgos y es de suma importancia su uso”, estableciendo el

“autocuidado” como herramienta contra los efectos de estas variables. Se deben promover avances o estudios investigativos para medir el impacto de estos contaminantes y sus efectos en la salud humana permitiendo mejorar los protocolos para minimizar los riesgos y proporcionar planes de gestión de residuos para la conservación del medio ambiente.

- El análisis de Humos y Gases observado nos muestra que alrededor del 41% de estos tiene una alta emisión de humos con el proceso de soldadura más utilizado en Colombia (SMAW). Dentro de estas emisiones y como cita Puello, León, Gómez, Muñoz & Blanco (2018) (p. 14) donde indica “con el fin de establecer el riesgo de exposición a humos metálicos de cadmio *Cd*, arsénico *As*, cromo *Cr*, manganeso *Mn* y plomo *Pb* en 15 empresas en ambientes dedicados a la soldadura con resultados de *Pb* con valores cercanos (13) y por encima (2) del valor límite umbral (TLV - Threshold Limit Values) de 0,05 mg *Pb*/m<sup>3</sup>” establecidos por la OSHA (Occupational Health and Safety Administration), se evidencia un inminente riesgo para la salud de los trabajadores y una alta emisión de humos metálicos al ambiente.
- Las investigaciones académicas proveen un avance hacia el camino de la adopción de buenas prácticas para el manejo y gestión de los residuos de soldadura en Colombia mediante la propuesta de protocolos que permiten minimizar su impacto al medio ambiente, así como al ser humano. Si bien el enfoque sigue siendo el control de residuos mediante la implementación de protocolos que minimicen el riesgo por exposición de acuerdo a la NTC 18000:2007.  
Lo anterior denota un incremento en la concientización de la importancia de la gestión del manejo de residuos de soldadura y su impacto al medio ambiente tal como lo plantea Hernández, B. A.; Lozano, S. L & Ramos, N. D. (2018) en su caso Estudio a la empresa SERPROCONS Ltda. buscando implementaciones que se han dado en el sector bajo la norma ISO 14001, o como lo indica García, González y Gil (2019) (p. 35) donde resalta que “se encuentra información sobre metodologías

preventivas en soldadores, pero de forma muy general, es importante establecer procesos de vigilancia médica y epidemiológica para reducir el riesgo de aparición de efectos adversos a la salud de los trabajadores expuestos a las PUF (Partículas Ultra Finas)” en los procesos de soldadura.

Todos estos protocolos y recomendaciones establecidas no son efectivas sin un riguroso cumplimiento de las políticas de Gestión y manejo de residuos en las empresas, políticas HSE en autocuidado y el correcto uso obligatorio de los EPP.

- En cuanto a los planes o programas para la gestión de residuos peligrosos por parte de los Departamentos que fueron tomados como muestra teniendo en cuenta como base el ranking de distribución geográfica de la industria metalmecánica por generación de empleo se concluye que:
  - No se observa un lineamiento estándar para la realización de los planes y programas para la gestión de residuos peligrosos (RESPEL), aunque todos toman como base el decreto 4741 de 2001 y las resoluciones 1023 de 2005 y 1935 de 2008. Lo anterior debido a que no en todos los planes y programas de Gestión de Residuos Peligrosos consultados se contemplan la importancia de realizar un adecuado manejo a los residuos de soldadura ni tampoco se proponen protocolos que minimicen sus impactos al medio ambiente y la salud humana.
  - Pese a que se realizó búsqueda en los diferentes motores de búsqueda, no fue encontrada información de los planes o programas para la gestión integral de residuos peligrosos por parte de los departamentos de Atlántico, Bolívar, Bucaramanga, Cundinamarca, Santander. Incumpliendo con lo establecido en el artículo 25 del Decreto 4741 de 2005 que enuncia “Apoyar la realización de campañas de sensibilización, divulgación, educación e investigación con el fin de promover la gestión integral de los residuos o desechos peligrosos”. Teniendo en

cuenta lo anterior y pese a que se cuentan con normas y reglamentaciones de base para su implementación, se concluye que no existen protocolos a nivel nacional que permitan un manejo adecuado de los residuos de soldadura que minimicen el impacto al medio ambiente, por lo que el resultado en respuesta a la hipótesis planteada en la presente investigación es negativo.



## 9 BIBLIOGRAFIA

- Air Products - INFRA. (2018). *Manual de conceptos basicos en soldadura y corte. SOLDADOR, soldadura y oxicorte con gas de proteccion.*
- Alcaldia de Pereira. (2015). *Plan institucional de gestión integral de residuos o desechos peligros Alcaldia Municipapal de Pereira.* Obtenido de <http://www.pereira.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionControl/Plan%20Institucional%20de%20Gesti%C3%B3n%20Integral%20de%20Residuos%20y%20Desechos%20Peligrosos.pdf>
- Alcaldia Mayor de Bogota, Secretaria Distrital de Ambiente. (2010). *Guia para la gestion y manejo integral de residuos industria metalmecanica.* Obtenido de [http://www.ambientebogota.gov.co/documents/10157/224727/guia\\_metalmecanica.pdf](http://www.ambientebogota.gov.co/documents/10157/224727/guia_metalmecanica.pdf)
- Ángulos, A., & García, L. (. (2017). *Propuesta para la implementación de un sistema de control de riesgo químico en el proceso de soldadura en la empresa diseños y montajes industriales ARTECG S.A.S. (Artículo investigativo) Universidad ECCI, Bogotá, Colombia.*
- AWS, ANSI. (1991). *Specification for carbon steel electrodes for Shielded Metal Arc Welding, Standard 5.1 - 91.* Miami Florida: American National Standards Institute / American Welding Society.
- Bocanegra, W. (2012). *Implementacion de Normas de Seguridad Industrial en el area de soldadura de la empresa perforaciones B&V S.A Universidad Libre. Bogota - Colombia.*
- Cabrejo, Á. P. (2018). *La educación ambiental en el manejo de residuos sólidos en el centro de materiales y ensayos-SENA. (Trabajo de Grado para Magister en Educación Ambiental). Universidad Santo Tomas, Bucaramanga, Colombia. .*
- Caldereria, G. (2017). *Que tipos de agentes contaminantes se producen durante el soldeo.* Obtenido de <http://www.gnccaldereria.es/tipos-agentes-contaminantes-soldeo>
- Cañón, A. P. (2011). *Manejo seguro y gestión ambiental de sustancias químicas y residuos peligrosos en Mi Pymes del sector metalmecánico de Bogotá, 2010. Caso Estudio. Proyecto de grado para Ingeniero Industrial. Universidad Libre de .*
- Cary, H. (1996). *Modern Welding Technology 3th. edition.*
- Cerpa, W. (2016). *Plan de acción para disminuir los factores de riesgo químico por exposición a altas concentraciones de manganeso presente en humos metálicos de*

*soldadura en la empresa MULTISEGUA Ltda.(Tesis, monografía, seminario de investigación) . Universidad ECCI, Bogota.*

Chinome, R. (2018). *Recuperación de materiales metálicos en escorias del proceso de soldadura de arco sumergido en la empresa HB SADELEC. (Tesis para ingeniero metalúrgico).* . Universidad Pedagógica y Tecnológica, Tunja, Colombia.

Chu, W. H. (2004). *Automatizacion SMAW mediante control Fuzzy para controlador PID con ganancia programada.*

Corporacion Autonoma Regional del Quindio. (s.f.). *Plan Departamental para la gestion de Residuos Peligrosos.* Obtenido de <https://www.crq.gov.co/images/Ideam/Generadores-de-Residuos-Peligrosos/NUEVA-CARTILLA-DE-RESPEL.pdf>

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC Universidad del Valle. (2018). *Plan de Alternativas tecnológicas y/o herramientas como las buenas prácticas de manufactura en ingeniería en el sector metalmecánico.* Obtenido de <https://www.cali.gov.co/dagma/loader.php?lServicio=Tools2&lTipo=descargas&lFuncion=descargar&idFile=3194>

Cortes, L. (2017). *Diseño del plan de gestión de residuos sólidos para la empresa “metalmecánica industrias Fercolplast S.A.S”, ubicada en Bogotá. Monografía para Administración Ambiental.* Universidad Distrital Francisco José de Caldas. .

Díaz, D., & Salazar, J. (2013). *Procedimiento para el manejo integral de residuos peligrosos del centro de diseño tecnológico industrial SENA-Salomia. Cali-Colombia. Tesis de grado para Ingeniería Industrial.* Universidad de San Buenaventura. .

Dirección de Gestión Ambiental Municipal - La Virginia; Risaralda. (2017). *Plan de Gestión Integral de Residuos Peligrosos-Respel de la Alcaldia de la Virginia Risaralda.* Obtenido de [http://lavirginiarisaralda.micolombiadigital.gov.co/sites/lavirginiarisaralda/content/files/000118/5851\\_plan-de-gestion-integral-de-residuos-peligrosos--respel-de-la-alcaldia-de-la-virginia-final-1.pdf](http://lavirginiarisaralda.micolombiadigital.gov.co/sites/lavirginiarisaralda/content/files/000118/5851_plan-de-gestion-integral-de-residuos-peligrosos--respel-de-la-alcaldia-de-la-virginia-final-1.pdf)

Garcia, A. R. (1998). *Consideraciones sobre Soldadura Manual con Electrodo Revestido.*

García, C., González, J., & Gil, L. (2019). *Efectos a la salud por exposición a partículas ultra finas generadas en los procesos de soldadura. Mare Ingenii. Ingenierías 1(1).* pág. 29-pag 36 . Obtenido de <http://cipres.sanmateo.edu.co/index.php/mi>

- Goenaga, K. P. (2015). *Importancia de los elementos de protección personal (EPP) en la Industrias Metalmecánica en Colombia. (Trabajo de Grado para Administración de Negocios)*. Universidad de San Buenaventura, Cartagena, Colombia.
- Gómez Soto, M. F. (2005). *Metodología de clasificación y separación en la fuente para manejo de residuos peligrosos en la Compañía Colombiana Automotriz S.A. Proyecto de grado para Ingeniería Ambiental*. Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia.
- Hernández, B. A., Lozano, S. L., & Ramos, N. D. (2018). *Criterios de implementación ISO 14001:2015 Caso Estudio SERPROCONS Ltda. Artículo de Diplomado Gerencia del Sistema Integrado de Gestión en Seguridad, Salud, Ambiente y Calidad – HSEQ*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Hernández, C., & Torres, D. (2018). *Relación entre la Exposición al Humo de Soldadura y Alteraciones del Sistema Respiratorio de los Trabajadores del Proceso de Soldadura del Acero Inoxidable en la Empresa ASEMAQ*. (Proyecto de grado para especialización en gerencia de riesgos laborales seguridad y salud). Corporación Universitaria Minuto de Dios, Bogotá, Colombia.
- INDURA S.A - Industria y Comercio. (2013). *Manual de Sistemas y Materiales de Soldadura*.
- Ingemecanica. (s.f.). *Fundamentos de la Soldadura por Gas y Oxiacetilénica*. Obtenido de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn43.html>
- López, J., & Sandoval, E. (2012). *Viabilidad para la creación de una empresa que preste los servicios de manejo de los residuos peligrosos generados durante la operación de pozos petroleros en el departamento del Meta*.
- Marrugo, D., Puello, J., León, G., Alta Miranda, N., & León, D. (2018). Determinación de Cadmio proveniente de humos metálicos en ambientes de trabajo dedicados a la soldadura. *Revista Bistua Facultad de Ciencias Básicas*, Vol. (16). pág. 110- pág. 117. Obtenido de [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:P4N4dFoHI2AJ:revistas.unipamplona.edu.co/ojs\\_viceinves/index.php/BISTUA/article/download/3198/1711+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=co](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:P4N4dFoHI2AJ:revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/BISTUA/article/download/3198/1711+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=co)
- Masabanda, S. J., & Yauripoma, M. R. (2009). *Elaboracion de un manual para Prácticas de la materia Teoria de Procesos de Soldadura*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2005). *Politica Ambiental para la Gestion Integral de Residuos o Desechos Peligrosos*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pd>

f/Polit%C3%ACcas\_de\_la\_Direcci%C3%B3n/Pol%C3%ADtica\_Ambiental\_para\_la\_Gesti%C3%B3n\_Integral\_de\_Residuos\_o\_Desechos\_Peligrosos.pdf

Morato, R. (2012). *Análisis de los procesos de soldadura aplicados en cuatro empresas de la ciudad de Bogotá dedicadas a la fabricación de los cuerpos de los carro-tanques en acero al carbono para transporte de crudo*. Proyecto de grado para Especialista de Soldadura. Universidad Libre de Colombia, Bogotá.

Naranjo, F., Tolosa, J., & Forero, N. (2002). Caracterización de partículas de residuos de disparo y de partículas críticas provenientes de procesos industriales y ocupaciones, mediante M.E.B./ D.E.X. (R. C. Física, Ed.) 34(2), pág. 621 - pág. 624. Obtenido de [http://www.revcolfis.org/busqueda/vol34\\_2/articulos/pdf/3402621.pdf](http://www.revcolfis.org/busqueda/vol34_2/articulos/pdf/3402621.pdf)

Norrish, J. (1992). *Advanced Welding Processes. New Manufacturing Processes and Materials Series*. Philadelphia, New York: IOP Publishing LTD.

Núñez, J. A. (2012). *Guía de información para el control de la contaminación de gases y humos del proceso de soldadura*. Proyecto de grado para Especialización en Gerencia Ambiental. Universidad Libre de Colombia, Bogotá.

PMI, Project Management Institute. (2017). *Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyecto (Guía del PMBOK)* (Sexta ed.). Newtown Square, Pennsylvania: Project Management Institute, Inc.

PREVENCIONAR. (2017). *Humos de Soldadura*. Recuperado el 19 de Marzo de 2020, de <https://prevencionar.com.co/2017/08/16/humos-de-soldadura/>

Puello Silva, J., León Méndez, G., Gómez Marrugo, D., Muñoz Monroy, H., & Blanco Herrera, L. (2018). Determinación de metales pesados en humos metálicos presentes en ambientes informales de trabajo dedicados a la soldadura. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*. Obtenido de <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v47n1.70653>

Rene, A. (2004). *Oportunidades de producción más limpia en el sector de metalmeccánica. Guía para empresarios*. Obtenido de <http://www.ambientebogota.gov.co/documents/24732/3988003/Oportunidades+de+producci%C3%B3n+mas+limia+en+el+sector+de+metalmecanica.pdf>

Rondón, V. (2014). *Desarrollo de un procedimiento de soldadura para recuperación de espesor de pared en tubería API 5L grado X65 en servicio, para transporte de hidrocarburos*. Monografía de grado para Especialista en Soldadura. Universidad Libre de Colombia, Bogotá.

Ruiz, B., & Trujillo, C. (2011). *Elaboración de un programa de gestión integral de residuos para una empresa representativa del sector productor de fertilizantes*.

Monografía de Especialización en Ingeniería Ambiental. Universidad Industrial de Santander. Obtenido de <http://noesis.uis.edu.co/bitstream/123456789/6822/1/141059.pdf>

Servicio Nacional de Aprendizaje. (2006). *Caracterización ocupacional área de la soldadura, SENA*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11404/2096>

Sevilla, L. M., Pineda, J. C., & Toro, A. (2004). Relación microestructura resistencia al desgaste de recubrimientos duros ricos en cromo y tungsteno aplicados por soldadura eléctrica (SMAW). *Dyna*, 71(144), 165-171. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/496/49614417.pdf>

Subdirección de Ecourbanismo y Gestión Ambiental Empresarial. (2015). *Prevención en la Generación de residuos*. Obtenido de [http://ambientebogota.gov.co/c/document\\_library/get\\_file?uuid=fefeedf2-84](http://ambientebogota.gov.co/c/document_library/get_file?uuid=fefeedf2-84)

Universidad Pontificia Bolivariana. (2006). *Formulación del plan de gestión integral de residuos sólidos regional del Valle de Aburrá - PGIRS Regional*. Obtenido de <https://www.metropol.gov.co/ambiental/residuos-solidos/Documents/PGIRS/C.%20Cap%20III%20Diagn%C3%B3stico.pdf>

Universidad Pontificia Bolivariana. (2016). *Plan de residuos peligrosos para el Área Metropolitana del Valle de Aburra*. Obtenido de <https://www.metropol.gov.co/ambiental/residuos-solidos/Documents/Anexo%206.%20Documento%20Plan%20RESPEL.pdf>

Valero, Á. (2017). *Diseño de un plan de gestión integral de residuos sólidos para una industria metalmecánica en la localidad de Puente Aranda*. Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/13041>