



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

**“Influencia de la concentración de vanadio como material de  
aporte sobre la dureza del acero ASTM A36 - Método  
Hardfacing”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Mecánico Electricista**

**AUTOR:**

Terrones Díaz, Roberto (ORCID: 0000-0002-0218-7839)

**ASESOR:**

Dr. Villarreal Albitres, William Fernando (ORCID: 0000-0003-1743-6014)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

CHICLAYO – PERÚ

2020

## **Dedicatoria**

A Dios por guiar mis pasos por el sendero del bien.

A mi hermosa familia que han sido mi fuente de inspiración y que siempre estuvieron presentes para darme un aliento de apoyo y esperanza en el transcurso de mi vida.

***Terrones Díaz, Roberto***

## **Agradecimiento**

Mi más sincero agradecimiento al Dr. Villarreal Albitres, William Fernando por su asesoramiento, paciencia y sabios consejos para la culminación de la presente investigación.

A la plana docente de la Universidad César Vallejo que impartieron en mí sabias enseñanzas que sé que me servirán para toda mi vida profesional.

***Terrones Díaz, Roberto***

## Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de gráficos y figuras.....	vi
Resumen .....	viii
Abstract .....	ix
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
<b>III. METODOLOGÍA.....</b>	<b>11</b>
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	11
3.2. Variables y operacionalización .....	11
3.3. Población, muestra y muestreo .....	13
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	14
3.5. Procedimiento.....	15
3.6. Métodos y análisis de datos.....	16
3.7. Aspectos éticos.....	17
<b>IV. RESULTADOS .....</b>	<b>18</b>
<b>V. DISCUSIÓN .....</b>	<b>27</b>
<b>VI. CONCLUSIONES .....</b>	<b>30</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>31</b>
REFERENCIAS.....	32
ANEXOS .....	36

## Índice de tablas

<b>Tabla 01.</b> <i>Propiedades mecánicas de la martensita</i> .....	10
<b>Tabla 02.</b> <i>Definición operacional de las variables</i> .....	12
<b>Tabla 03.</b> <i>Dureza en la superficie de la zona de recargue</i> .....	14
<b>Tabla 04.</b> <i>Parámetros de soldadura por el método Hardfacing</i> .....	15
<b>Tabla 05.</b> <i>Análisis de varianza para el tratamiento con las diferentes concentraciones de vanadio</i> .....	16
<b>Tabla 06.</b> <i>Barrido de dureza</i> .....	20
<b>Tabla 07.</b> <i>Dureza superficial en la zona de recargue</i> .....	22
<b>Tabla 08.</b> <i>Datos experimentales reordenados</i> .....	23
<b>Tabla 09.</b> <i>Puntos porcentuales de la distribución <math>F_{0.05, v1, v2}</math></i> .....	24
<b>Tabla 10.</b> <i>Análisis de varianza para el tratamiento con las diferentes concentraciones de vanadio</i> .....	26
<b>Tabla 11.</b> <i>Definición operacional de las variables</i> .....	37
<b>Tabla 12.</b> <i>Ficha de registro del ensayo de dureza</i> .....	38
<b>Tabla 13.</b> <i>Ficha de registro del ensayo de soldadura</i> .....	39

## Índice de gráficos y figuras

<b>Figura 01.</b> Aplicación de un recargue duro en el cucharón de un equipo minero (Horwitz, 2009) .....	8
<b>Figura 02.</b> Proceso de soldadura SMAW (Rodríguez, 2019).....	9
<b>Figura 03.</b> Electrodo del proceso de soldadura SMAW (Rodríguez, 2019). .....	9
<b>Figura 04.</b> Martensita de un acero de alto carbono (Lean, 2015). .....	10
<b>Figura 05.</b> Dimensiones de la probeta para el ensayo de dureza (ASTM E384-11) .....	13
<b>Figura 06.</b> Dimensiones, vistas y cortes de la probeta para el ensayo de dureza	18
<b>Figura 07.</b> Durómetro Vickers y huella dejada por el indentador .....	19
<b>Figura 08.</b> Esquema del barrido de dureza.....	19
<b>Figura 09.</b> Dureza en la zona de recargue .....	20
<b>Figura 10.</b> Barrido de dureza en cada zona de trabajo.....	21
<b>Figura 11.</b> Dureza en la superficie de la zona de recargue .....	22
<b>Figura 12.</b> Adecuación del Durómetro INDENTEC. ....	40
<b>Figura 13.</b> Medición de dureza con el Durómetro INDENTEC.....	40
<b>Figura 14.</b> Medición interna del lente del Durómetro INDENTEC. ....	41

## Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la influencia de la concentración de vanadio como material de aporte sobre la dureza del acero ASTM A36 - Método Hardfacing, para la cual estuvo enmarcada en realizar una investigación del tipo, según su propósito, aplicada, y según el diseño de investigación, experimental. Como población se tuvo a revestimientos de placas de acero ASTM A 36 y como muestra a tres revestimientos con diferentes concentraciones de vanadio, con lo cual se determinaron, para cada valor de concentración de vanadio, su respectiva dureza. Con los resultados obtenidos y respaldado en el control de concentración de vanadio con soldadura SMAW, se logró obtener revestimientos del acero ASTM A36 con una óptima dureza, encontrándose valores desde 606 HV hasta 700 HV, dependiendo de la concentración de vanadio. Finalmente se concluye afirmando que, para los datos de dureza, el  $F_0 = 363.86$  es mayor a  $F_{\alpha, v_1, v_2} = F_{0.05, 2, 6} = 5.14$ , obteniendo de manera tabular, afirmando de este modo la hipótesis alterna. Esto significa que la concentración de vanadio afecta significativamente a la dureza del acero ASTM A 36 mediante el Método Hardfacing.

**Palabras Claves:** Hardfacing, vanadio, soldadura.

## Abstract

The objective of this research was to evaluate the influence of the concentration of vanadium as filler material on the hardness of steel ASTM A36 - Hardfacing Method, for which it was framed to carry out an investigation of the type, according to its purpose, applied, and according to the research, experimental design. As population we had ASTM A 36 steel plate coatings and as a sample three coatings with different concentrations of vanadium, with which, for each value of vanadium concentration, their respective hardness was determined. With the results obtained and supported in the control of concentration of vanadium with SMAW welding, it was possible to obtain coatings of ASTM A36 steel with optimum hardness, finding values from 606 HV to 700 HV, depending on the concentration of vanadium. Finally, it concludes by stating that for the hardness data,  $F_0 = 363.86$  is greater than  $F_{\alpha, v_1, v_2} = F_{0.05, 2, 6} = 5.14$ , obtaining in a tabular way, thus affirming the alternative hypothesis. This means that the vanadium concentration significantly affects the hardness of ASTM A 36 steel using the Hardfacing method.

**Keywords:** Hardfacing, vanadium, welding.



## I. INTRODUCCIÓN

Se ha observado a nivel mundial que existe una alta inclinación al uso de productos que contienen en su composición acero. Es en este sentido que es obligación de las grandes empresas recurrir a diversas formas y mecanismos de pruebas y ensayos para encontrar aceros que sean altamente útiles y al mismo tiempo económicamente rentables. El acero tiene diversos usos, es muy empleado en construcción, electrodomésticos, transporte, construcción, maquinaria pesada, entre otros (Lampadia, 2017).

Al hablar de maquinaria pesada, se ha observado que el brazo y cucharón de las excavadoras hidráulicas están diseñados para aplicaciones de movimiento de tierra de servicio pesado y alta producción, por lo cual está sometido a diferentes tipos de esfuerzos. La mayor parte de estas fuerzas están aplicadas en los puntos de articulación, por lo cual van a sufrir un desgaste, tanto en el agujero del brazo como en las orejas del cucharón o en su base. Este desgaste es uno de los problemas más comunes en la gran mayoría de maquinarias.

Los materiales de los cuales se fabrican estas piezas no necesariamente son los mejores del mercado, por lo cual mediante diferentes características de estos y su disponibilidad se puede determinar las optimizaciones necesarias para lograr una mayor eficacia y eficiencia en conjunto con el operador (Menacho, 2013).

En el Perú, se ha apreciado que las diversas empresas dedicadas al rubro minero, transporte de tierras, entre otros trabajos, necesitan del uso de maquinarias pesadas para tal fin, es por ello que durante los tiempos de utilización, sus diversas partes y mecanismos sufren desgaste por abrasión cuando entran en contacto con el suelo y/o con lo que sobre ellas se deposita, como es el caso del cucharón de las palas mecánicas, por lo que en cierta frecuencia en periodos determinados dichas partes deben ser sustituidas y en el mejor de los casos reparadas (Ayala, 2014).

El desarrollo y explotación de mineral de oro en grandes faenas mineras en Cajamarca, en su mayoría es realizado a cielo abierto, por lo tanto, una gran cantidad de equipos de extracción y movimiento de tierra para la producción en la mina, es requerido.

Dentro de este conjunto de equipos pueden identificarse a las palas, cargadores frontales, camiones, excavadora, motoniveladora, camión lubricador, entre otras. Tanto las grandes palas como cargadores frontales que se utilizan en faenas mineras, poseen los denominados elementos de desgaste, que corresponden a aquellas piezas mecánicas que tienen contacto directo con el material durante los trabajos de extracción, identificándose, como ejemplo, deterioros en los cucharones de las diversas palas hidráulicas (Fuentes, y otros, 2018).

Con todo lo antes expuesto surge la necesidad de realizar un estudio orientado a alargar la vida útil de los cucharones de las palas hidráulicas aplicando recubrimientos duros (hardfacing) que permita proteger las superficies expuestas a agentes abrasivos o en el límite de los extremos recuperar zonas deterioradas por el mismo trabajo al cual están expuestas.

Cajamarca no es ajena a esta realidad, es en este sentido que actualmente se encuentran una gran cantidad de maquinaria pesada con fallas de roturas y de desgaste presentes en sus estructuras metálicas como son en los cucharones de las palas hidráulicas, por la cual en la presente investigación se pretende realizar un estudio que permita evaluar de manera adecuada un mecanismo sobre el efecto del vanadio como material de aporte de soldadura sobre una de sus propiedades mecánicas como es la dureza del acero ASTM A 36 como material de protección.

Algunas de las consecuencias de los problemas del desgaste es qué causa altos costos de mantenimiento, bajos niveles de producción, influencia en la competitividad. Si bien es cierto que la problemática acerca de alargar la vida útil de los cucharones ha sido estudiada por muchos investigadores, sin embargo, el efecto o influencia de la concentración de vanadio como material de aporte sobre la dureza del acero ASTM A36 – método Hardfacing aún no se ha estudiado; por lo que la siguiente pregunta de investigación se plantea: ¿En qué medida la concentración de vanadio como material de aporte tiene una influencia sobre la dureza del acero ASTM A36 – método Hardfacing?

La presente investigación se justifica debido a que después de realizar la experimentación, se proporcionará a la comunidad científica y tecnológica datos de concentración de vanadio como material de aporte que permita una óptima dureza

del material mediante el método de recubrimiento duro o conocido como Hardfacing – en la reparación de cucharones de una pala hidráulica. En el aspecto ambiental se disminuirá la contaminación, ya que se generará menos residuos sólidos contaminantes. En el aspecto social, permitirá brindar una satisfacción entre la empresa y la sociedad debido a que se proporcionará un proceso de soldadura adecuado que impacte positivamente en el aspecto económico y por ende en el bienestar social.

Para determinar la correlación que pudiera existir entre la concentración de vanadio y la dureza del acero, se plantean como objetivo general determinar la influencia de la concentración de vanadio como material de aporte sobre la dureza del acero ASTM A36 – método Hardfacing.

Como objetivos específicos se plantea: Habilitar las probetas necesarias según norma ASTM E384-11 que serán sometidas a experimentos, realizar las pruebas experimentales de las probetas habilitadas según la norma ASTM E384-11 referente al ensayo estandarizado para dureza Vickers de materiales, determinar el porcentaje de vanadio apropiado en el electrodo, realizar el análisis estadístico usando Análisis de Varianza (ANOVA) que permita identificar la influencia significativa entre la concentración de vanadio como material de aporte y su relación con la dureza del acero ASTM A-36, a fin de rechazar o afirmar la hipótesis.

Como hipótesis se planteó que la concentración de vanadio como material de aporte influye significativamente en la dureza del acero ASTM A-36.

## II. MARCO TEÓRICO

El problema del desgaste y erosión de los elementos principales de las excavadoras hidráulicas han sido estudiadas por varios investigadores los cuales manifiestan lo siguiente:

En la ciudad de Chile, Fuentes y otros (2018), investigaron sobre el análisis del desgaste en componentes de cargadores frontales, mediante modelos basados en elementos finitos, en la cual realizaron un estudio comparativo del desgaste en el balde de un cargador frontal, y de los elementos que lo componen, mediante aplicaciones que hacen uso del método de los elementos finitos. Para ello se requirió contar con un registro previo de caracterización de los modos de fallo más frecuentes. De esta manera, fue posible realizar un análisis dimensional comparativo del desgaste, a partir de un modelo 2D, como también 3D, respecto de las partes cuando están en buen estado.

Concluyen afirmando que la deflexión máxima que puede alcanzar la deformación del labio en el balde es de 360 mm (entre 13 y 14 pulgadas). Para este mismo caso, la pronunciación de su curvatura estuvo entre estas medidas para asegurar que el desgaste avance de manera más homogénea entre los elementos. Esto se pudo evidenciar mediante el mayor desgaste en los dientes ubicados en las esquinas del balde, respecto de la zona central. Cuando el desgaste fue inicial la concentración de cargas fue soportada por los adapters. A medida que los elementos empezaron a alcanzar su medida mínima, es la unión diente-adapter la que sufre mayor criticidad.

Según Fernández (2016) investigó sobre soldadura de reparación de mantenimiento en equipo pesado con electrodos revestidos en la empresa IMOR TRACBOL, en la cual encontró que dentro de la amplia gama de trabajos realizados en equipo pesado referidos al mantenimiento correctivo se incluye el reacondicionamiento de cucharones, tolvas y del tren de rodado mediante soldadura de algunas piezas y/o el cambio de muchas de ellas por haber concluido su ciclo de trabajo y esto constituye un gran problema pues no se trata de trabajos sencillos donde se deban ejercer esfuerzos menores, si no de ejercer grandes fuerzas para proceder al desmontaje de las piezas antes de ser reparadas.

Concluye afirmando que en la preparación del balde para la reparación las tensiones en el adaptador por las soldaduras pueden ser reducidas haciendo las soldaduras con bases desiguales donde el ancho de la soldadura debe estar 1.25 veces más amplias que la altura de la soldadura, precalentando la cuchilla base y el adaptador a una temperatura de 149°C a 260 °C y las temperaturas interbase no deben superar 260 °C.

Noriega (2013) investigó sobre la aplicación de electrodos con contenidos de 5% de Hierro-Titanio, mediante un proceso de multicapa, en donde cada capa de soldadura afecta sustancialmente a la capa anterior. Aquí aparece un mecanismo de dilución mejorada y en la capa superficial le proporciona mayor dureza, llegando a valores de hasta 737 HV. Así mismo, el investigador manifiesta que las estructuras que se presentan, después de realizar un análisis microestructural, están compuestas de martensita y austenita retenida. Por otro lado, se apreció evidencia de pérdida de material en el proceso de desgaste de 0.554 gramos con una dureza de 670 HV y una pérdida de material de 1.0665 con una dureza superficial de 586 HV.

Taipe (2013), realizó un estudio sobre el efecto del vanadio en recubrimientos duros que contenían un 5% de Fe-Ti, en donde el electrodo con 1.85 % de concentración de hierro – vanadio proporcionó una mejor resistencia al desgaste, arrojando una variación de la masa promedio de 1.2006 gramos. Así mismo realizó un análisis económico en donde determinó que es más rentable usar electrodos con contenidos bajos de hierro – vanadio que los que contienen cantidades altas de dicha aleación.

El desgaste, tratado desde la ciencia de los materiales, es considerado como el desgaste de la superficie generada por otro material. Está enfocado en la pérdida de material por una acción mecánica de fricción o interacción entre ambas superficies (Rabinowicz, 2005).

Es en este sentido que se debe diferenciar entre desgaste mecánico y cualquier otro ensayo que pueda proporcionar iguales resultados debido a movimientos relativos de contacto entre la pieza y la máquina de ensayos como son los de resistencia al desgaste (Williams, 2005).

Cuando la pieza es sometida a desgaste aparecen tres etapas claramente identificadas como son la etapa primaria con velocidades de cambio alta, la etapa secundaria con velocidades de desgaste constantes, es aquí donde se toma en cuenta la vida útil de las piezas sometidas a ensayo; y una tercera fase llamada también de edad avanzada donde se aprecia en esta etapa un envejecimiento que termina en un fallo rápido de la probeta en estudio (Rabinowicz, 2005).

Al realizar el estudio de desgaste por parte de la ciencia de los materiales, se puede apreciar estudios sobre desgaste abrasivo, adhesivo, ensayos de fatiga, desgastes por impacto, corrosivo, desgaste por cavitación y difusivo, entre otros (Jones, y otros, 2003).

El revestimiento Hardfacing es un proceso de trabajo en metal en el que se aplica material más duro o más duro a un metal base. Se suelda al material base y generalmente toma la forma de electrodos especializados para soldadura por arco o varilla de relleno para soldadura por arco de oxiacetileno y soldadura por arco de tungsteno gaseoso (TIG).

Las aleaciones de metal en polvo se usan en (PTA), también llamados procesos de soldadura por plasma en polvo y pulverización térmica, como recubrimiento de combustible de oxígeno de alta velocidad (HVOF), pulverización de plasma, pulverización y fusibles, etc. SAW, FCAW y MIG / MAG utilizan alambre continuamente alimentado que varía de diámetro según el proceso y la corriente. El proceso de revestimiento de tiras usa tiras de 50 mm de ancho a 125 mm con un espesor de 0.5 mm. La soldadura por arco abierto usa un electrodo tubular alimentado continuamente que puede contener o no fundente (Lincoln, 2014).

El extenso trabajo en investigación ha resultado en el desarrollo de una amplia gama de aleaciones y procedimientos de soldadura. La selección óptima de la aleación se realiza teniendo en cuenta las condiciones de servicio de los componentes y la retroalimentación del rendimiento del servicio.

Para cada aplicación industrial y fenómenos de desgaste, hay un electrodo de soldadura para proporcionar resistencia al desgaste. El revestimiento duro puede depositarse mediante varios métodos de soldadura: soldadura por arco metálico protegido (SMAW), soldadura por arco metálico con gas (GMAW), que incluye

soldadura por arco abierto y con protección contra gas, soldadura de oxidcombustible (OFW), soldadura por arco sumergido (SAW), soldadura por electroescoria (ESW), soldadura por arco transferido por plasma (PTAW), también llamada soldadura por plasma en polvo, pulverización térmica, compuestos poliméricos fríos y revestimiento láser (Lincoln, 2014).

Los materiales comúnmente aplicados incluyen aleaciones a base de cobalto (como la estelita), aleaciones a base de níquel, aleaciones de carburo de cromo y NOREM. El revestimiento duro a veces va seguido de un estampado en caliente para dar un acabado a la pieza o agregar color o información instructiva a la pieza. Las láminas o películas se pueden usar para una apariencia metálica u otra protección (Sales, 2015).

El mecanismo de soldadura SMAW, conocido con ese nombre por sus siglas en inglés denominada Shield Metal Arc Welding, el cual es un proceso en donde entran a interactuar el metal base y un electrodo revestido con aleaciones propicias para darle ciertas características a la unión soldada (Rodríguez, 2019).

En la soldadura SMAW la temperatura que se genera en el arco es de aproximadamente 3500°C, lo cual le proporciona una característica que sirve para poder fundir la mayor cantidad de metales. En la junta se genera un baño de metal proveniente del electrodo que es depositado sobre la pieza a unir y que genera una escoria protectora y un gas que impide que se penetren gases que se encuentran en el medio ambiente y que puede generar en la soldadura imperfecciones como son picaduras por hidrógeno, entre otras (Demáquinas, 2013).

El revestimiento Hardfacing se puede aplicar a una nueva pieza durante la producción para aumentar su resistencia al desgaste, o se puede usar para restaurar una superficie desgastada. El revestimiento duro mediante soldadura por arco es una operación de revestimiento para extender la vida útil de los componentes industriales, de manera preventiva en componentes nuevos o como parte de un programa de mantenimiento. El resultado de importantes ahorros en el tiempo de inactividad de la máquina y los costos de producción ha significado que este proceso se haya adoptado en muchas industrias como el acero, el cemento, la minería, la petroquímica, la energía, la caña de azúcar y los alimentos.

Según los resultados de un estudio experimental, los procesos de revestimiento duro de soldadura por arco metálico protegido (SMAW) y soldadura por arco metálico por gas (GMAW) fueron efectivos para reducir el desgaste del arado de la vertedera. Con los procesos de revestimiento duro SMAW y GMAW, la vida útil del arado se incrementó aproximadamente 2 veces (Yazici, 2011).



**Figura 01.** Aplicación de un recargue duro en el cucharón de un equipo minero (Horwitz, 2009)

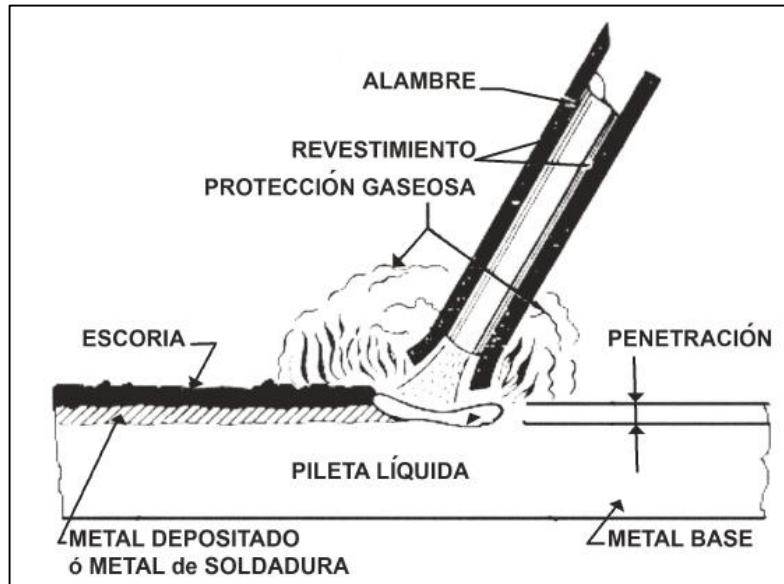
El uso de recubrimientos en superficies metálicas proporciona ciertas durezas que son factibles para aplicaciones de diversos usos, en la cual no sólo se puede mejorar la dureza sino también hacerlo más resistente a la abrasión, corrosión, tracción, entre otras. Es así que en la figura 1 se muestra a un operario aplicando un recubrimiento duro al cucharón que pertenece a una maquinaria de línea amarilla llamada excavadora y que tiene un mecanismo hidráulico de trabajo. (Horwitz, 2009).

En la soldadura SMAW se manejan múltiples parámetros como la intensidad de corriente o comúnmente denominado Amperaje la cual genera o da un entendimiento predictivo a la fijación del diámetro del electrodo, así mismo se debe de tomar en cuenta el tipo de revestimiento, la concentración de elementos aleantes con la cual cuenta el electrodo. Una vez aplicado el proceso de soldadura SMAW se genera un gas protector a la pieza sometida al proceso de soldadura. Otro parámetro a considerar es la homologación de la persona que realiza el proceso de



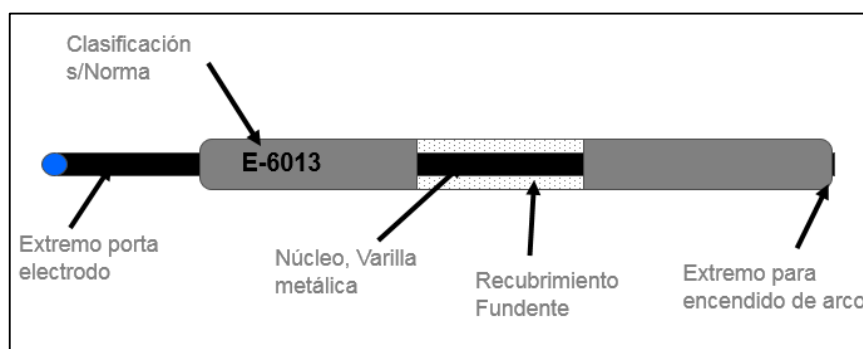
soldadura la cual permitirá una adecuada soldadura y en diversas posiciones de trabajo.

(Rodríguez, 2019).



**Figura 02.** Proceso de soldadura SMAW (Rodríguez, 2019).

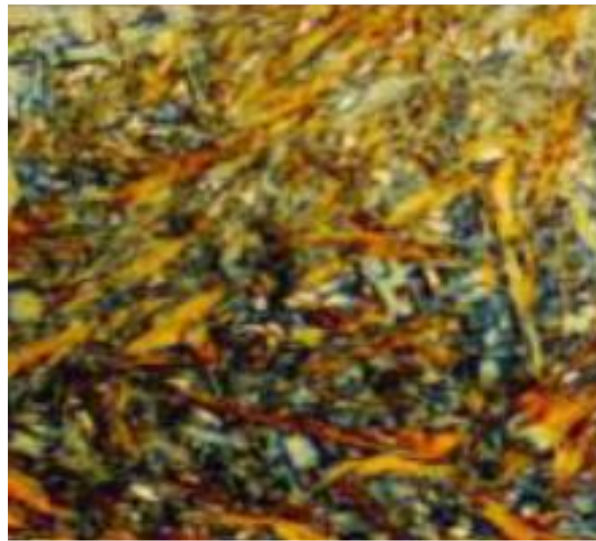
Al hablar de soldadura SMAW se toma en cuenta que existen de diversas formas, los hay rútilicos, básicos, resistentes al desgaste, entre otros. Este proceso de soldadura es muy económico en comparación a otros procesos, es más accesible o fácil de aprender a usarlo, se puede usar en interiores o exteriores o al medio ambiente (Demáquinas, 2013).



**Figura 03.** Electrodo del proceso de soldadura SMAW (Rodríguez, 2019).

En contraparte el proceso de soldadura SMAW tiene un rendimiento menor, en el orden del 60%, al usado por el proceso MIG-MAG el cual presenta rendimientos de 95% (Rodríguez, 2019).

Pasando a otras temáticas, se puede mencionar las microestructuras, se puede hablar de la martensita, la cual se aprecia en la figura 4, el cual le da cierta resistencia y dureza al acero al igual que los carburos. Su forma de la martensita es acicular en formaciones de agujas dentro de la microestructura (Lean, 2015).



**Figura 04.** Martensita de un acero de alto carbono (Lean, 2015).

En la tabla 1, descrita a continuación se aprecia las propiedades de la martensita, en donde se visualiza que tiene una resistencia mecánica 1700 a 2500 MPa, dureza de entre 60 a 68 HRC con una elongación de entre 0.5 % a 2.5 %.

**Tabla 01.** *Propiedades mecánicas de la martensita*

<b>Propiedad mecánica</b>	<b>Valor</b>
<b>Resistencia mecánica</b>	1700 – 2500 MPa
<b>Dureza</b>	50 – 68 HRC
<b>Elongación</b>	0.5 – 2.5 %

Fuente: Lean (2015)

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

##### **3.1.1. Tipo de investigación: Aplicada.**

Según el tipo de investigación fue aplicada porque se tuvo como finalidad dar solución a una problemática como es mejorar la dureza del revestimiento del acero ASTM A 36 con la adición de vanadio como material de aporte mediante el método Hardfacing.

##### **3.1.2. Diseño de investigación: Experimental.**

Según el diseño de investigación fue Experimental, debido a que la concentración de vanadio (Variable independiente) fue manipulada, es decir se trabajó con diferentes concentraciones y se determinó la influencia que tiene en la dureza del revestimiento del acero.

#### **3.2. Variables y operacionalización**

##### **3.2.1. Variable independiente.**

Concentración de vanadio.

##### **3.2.2. Variable dependiente.**

Dureza del material

### 3.2.3. Operacionalización de variables.

**Tabla 02.** Definición operacional de las variables

<b>Variables</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Escala de medición</b>
<b>Independiente:</b> <b>Concentración de vanadio en el electrodo</b>	Es la cantidad proporcional que existe de soluto en relación a la cantidad de disolución y expresado en porcentaje (Bolivar, 2018).	Proporción de vanadio en el electrodo que será electrodepositado mediante soldadura SMAW en la probeta de acero ASTM A 36 mediante el método Hardfacing.	Concentración o porcentaje de vanadio.	Razón
<b>Dependiente:</b> <b>Dureza</b>	Es un registro de mediciones de la dureza de los materiales, es decir, la resistencia al ser penetrado (Horbs, 2010).	Registro de durezas del material base, de las zonas afectadas por el calor y la zona de soldadura a distancias establecidas.	Dureza Vickers (HV)	Razón

Fuente: Elaboración propia

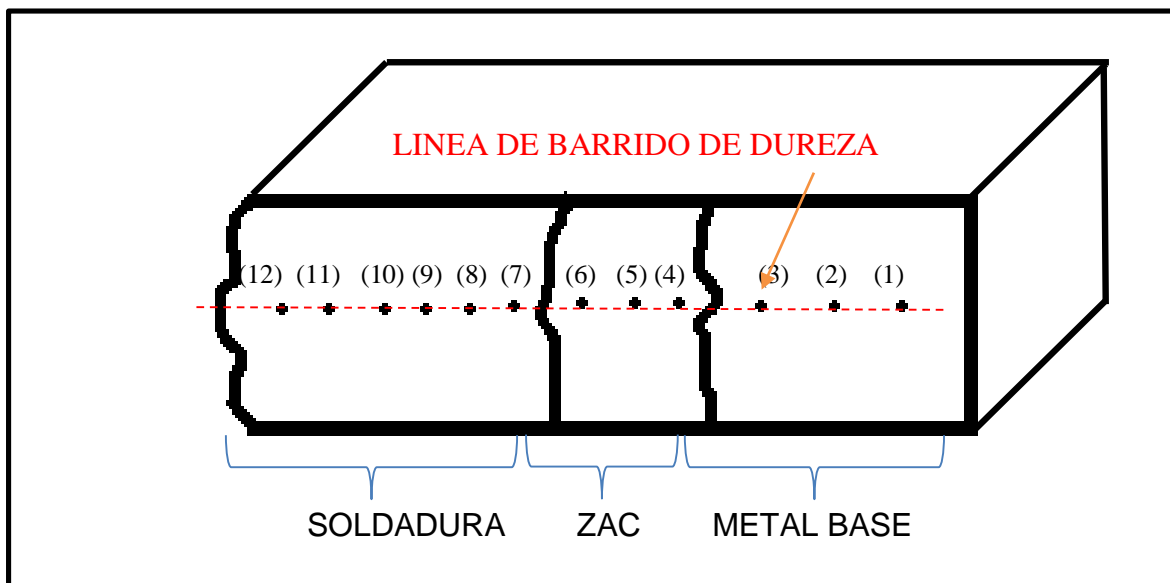
### 3.3. Población, muestra y muestreo

#### 3.3.1. Población.

La población estuvo constituida por probetas con revestimiento duro de soldadura con diferentes concentraciones de vanadio.

#### 3.3.2. Muestra.

La muestra para la presente investigación estuvo constituida por nueve probetas preparadas con características proporcionadas en la figura 5 y tabla 3 con metodología de ensayo de dureza respaldado en la normativa ASTM E-384-11, en el cual, después de realizar un corte transversal, se aprecian tres zonas claramente identificadas la zona de soldadura, la Zona ZAC (Zona Afectada por el Calor) y el metal en estudio, que para este caso fue el acero ASTM A36



**Figura 05.** Dimensiones de la probeta para el ensayo de dureza (ASTM E384-11)

**Tabla 03.** Dureza en la superficie de la zona de recargue

	Concentración de vanadio en el electrodo (%)		
	1.85	3.85	5.85
Dureza vickers (HV)			
Promedio			

Fuente: elaboración propia

Nº total de probetas = (3) x (3) = 9 probetas.

### **3.3.3. Muestreo.**

Para el muestreo de la presente investigación se usó la técnica No Probabilística por Conveniencia, la cual fue una técnica de muestreo no aleatoria debido a la facilidad de acceso a la unidad de estudio y por efectos técnicos económicos que permitieron dar un adecuado control de calidad a las probetas soldadas con revestimiento duro.

## **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **3.4.1. Técnica.**

Se usó como técnica la Observación, la cual fue registrada mediante el uso de fotografías y filmaciones del experimento de dureza.

### **3.4.2. Instrumento y equipo.**

Se usó la Ficha de Observación como instrumento de recolección de datos, la cual permitirá registrar las diversas durezas del perfil sometido a ensayo. Durómetro digital INDENTEC.

Máquina de soldar SOLANDINAS TRC-300 AC/DC

### **3.4.3. Validez.**

Antes de tomar medidas, los instrumentos fueron preparados y calibrados de acuerdo al fabricante a fin de minimizar errores.

#### 3.4.4. Confiabilidad.

La confiabilidad la proporcionó el equipo de ensayo de dureza, la cual se encontraba debidamente calibrada y con procedimientos de trabajo estandarizados.

Los instrumentos estuvieron calibrados con un error del 1%.

El análisis estadístico se hizo a un nivel de confianza del 5%.

### 3.5. Procedimiento

#### 3.5.1. Método Hardfacing.

Para el ensayo se usó acero ASTM A36 con electrodos de 5 mm de diámetro con proceso de soldadura SMAW con parámetros que se muestran en la tabla 4. Una vez soldadas las probetas se enfriaron sumergidas en cal para que tenga un enfriamiento lento y evitar que se deforme y/o agriete.

**Tabla 04.** *Parámetros de soldadura por el método Hardfacing*

Parámetro	Descripción
<b>Material base</b>	ASTM A36
<b>Material de aporte</b>	V-1.85, V-3.85, V-5.85
<b>Diámetro electrodo</b>	5.00 mm
<b>Amperaje</b>	180 – 190 A
<b>Velocidad de avance</b>	3 – 4 cm/minuto
<b>Polaridad</b>	DCEP

Fuente: Elaboración propia

#### 3.5.2. Ensayo de dureza.

Se realizó teniendo en cuenta el Método de ensayo estandarizado para dureza Vickers de materiales según ASTM E384-11.

A la probeta se trazó una línea en la cara del corte transversal previamente realizado y con sus dos capas completamente paralelas para poder realizar una adecuada toma de datos de dureza.

En el extremo izquierdo (zona de soldadura) se procedió a realizar la primera toma de dureza y posteriormente a las otras zonas (ZAC, Metal base).

Finalmente se realizó y graficó el perfil de dureza.

### 3.6. Métodos y análisis de datos

Para analizar los datos se realizó un análisis de varianza (ANOVA), el cual permitió analizar la influencia significativa entre la variable independiente (Concentración de vanadio) sobre la variable dependiente (Dureza) con un nivel de confianza del 95% que es usada en trabajos experimentales de ingeniería.

**Tabla 05.** *Análisis de varianza para el tratamiento con las diferentes concentraciones de vanadio*

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	F <sub>o</sub>	F <sub>α, v1, v2</sub>
<b>Tratamiento A (Intensidad de corriente)</b>	K - 1	SS <sub>A</sub>	MS <sub>A</sub>	$\frac{MS_A}{MS_B}$	De tabla
<b>Error</b>	N - K	SS <sub>E</sub>	MS <sub>E</sub>		
<b>Total</b>	N - 1	SS <sub>T</sub>			

Fuente: Elaboración propia

Para el llenado de la tabla 5, se procedió a tener en cuenta las siguientes fórmulas:

$$SS_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - \frac{y^2}{N}$$

$$SS_A = \frac{\sum_{i=1}^k y_i^2}{n} - \frac{y^2}{N}$$

$$SS_T = SS_A + SS_E$$

$$\alpha = 0.05$$

$$V_1 = k-1$$

$$V_2 = N-k$$



### 3.7. Aspectos éticos

Se tomaron en cuenta los siguientes aspectos éticos:

**Confidencialidad:** Se tomó la confidencialidad de las personas que tengan que ver con proporcionar información para la realización de la presente investigación.

**Derechos de autor:** Se prohíbe la reproducción parcial o total de la presente investigación sin el debido permiso del autor.

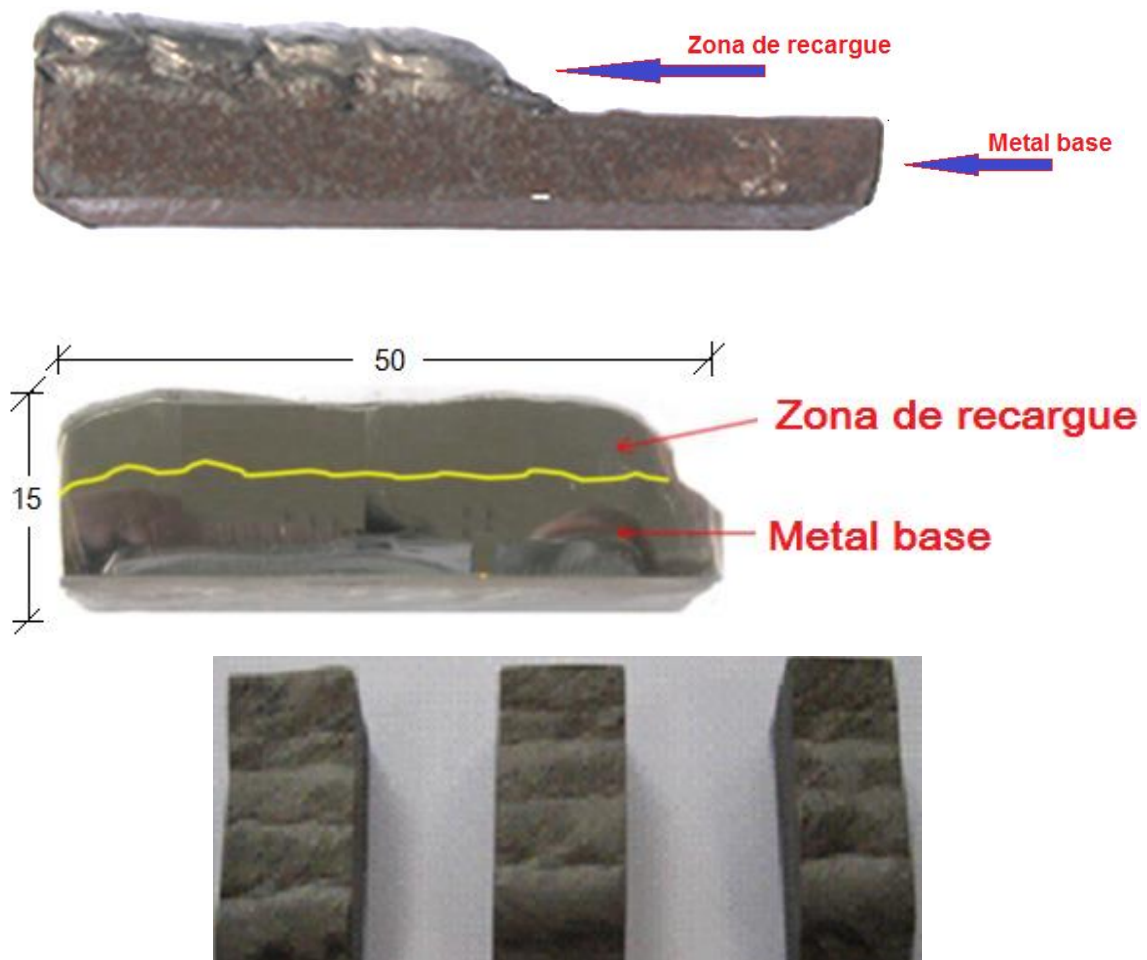
**Citaciones:** La presente investigación está citada en su totalidad teniendo en cuenta la normativa ISO 690.

**Respeto:** Se tuvo en cuenta el respeto a la propiedad intelectual en la redacción y recojo de información de laboratorio.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Habilitación de las probetas necesarias según norma ASTM E384-11 que serán sometidas a experimentos

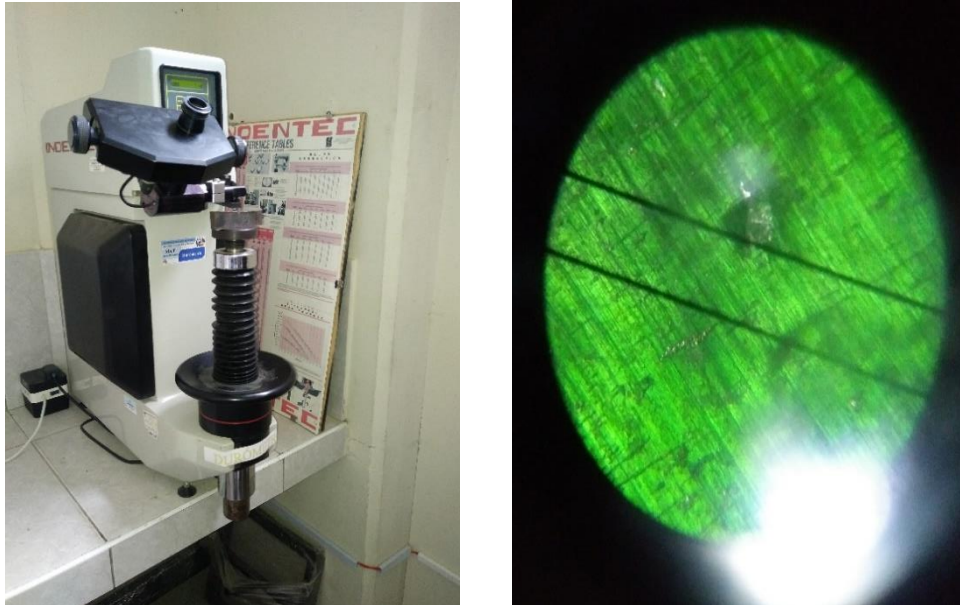
Para la habilitación de las probetas se manejaron parámetros de soldeo los cuales se usaron como material base al acero ASTM A36, el diámetro del electrodo a usar fue de 5 mm, el amperaje fue de 180 A, la velocidad de avance empleado fue de 3.5 cm/min, polaridad DCEP (Corriente Directa de Electrodo Positivo) con una cantidad de tres capas de soldadura, los resultados se aprecian en la figura 6.



**Figura 06.** Dimensiones, vistas y cortes de la probeta para el ensayo de dureza

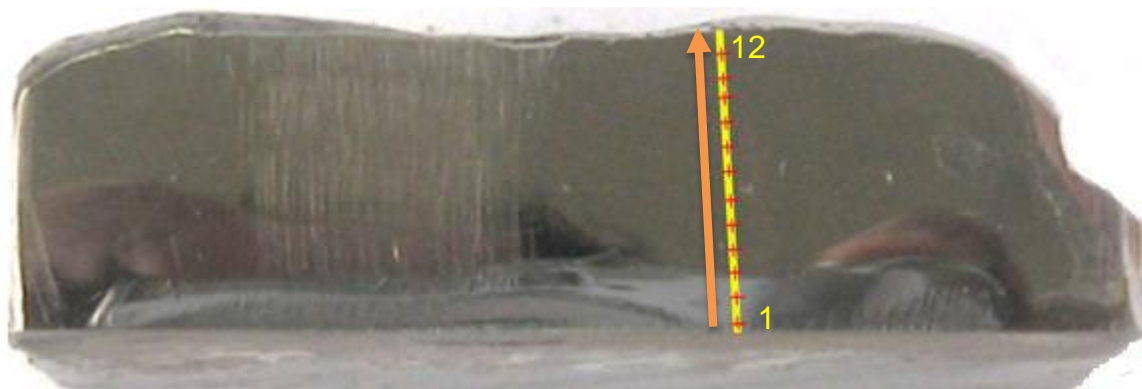
**4.2. Realización de las pruebas experimentales de las probetas habilitadas según la norma ASTM E384-11 referente al ensayo estandarizado para dureza Vickers de materiales**

Se realizó un ensayo de dureza Vickers según la norma ASTM E384, empleándose un durómetro marca Indentec.



**Figura 7.** Durómetro Vickers y huella dejada por el indentador

Los ensayos de dureza conocido como indentaciones se realizaron en el metal base, en la zona de recargue y en la zona superficial, tal cual como se puede ver en la figura 8.



**Figura 8.** Esquema del barrido de dureza

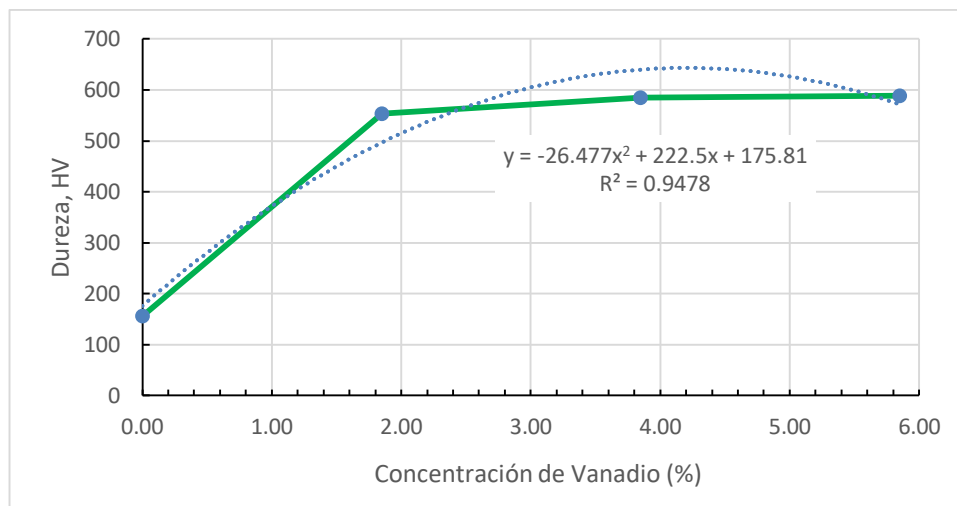
#### 4.3. Determinación del porcentaje de vanadio apropiado en el electrodo

Para la determinación del porcentaje de vanadio adecuado en el electrodo se procedió a evaluar los resultados obtenidos y que son plasmados en la tabla 6 y figura 9

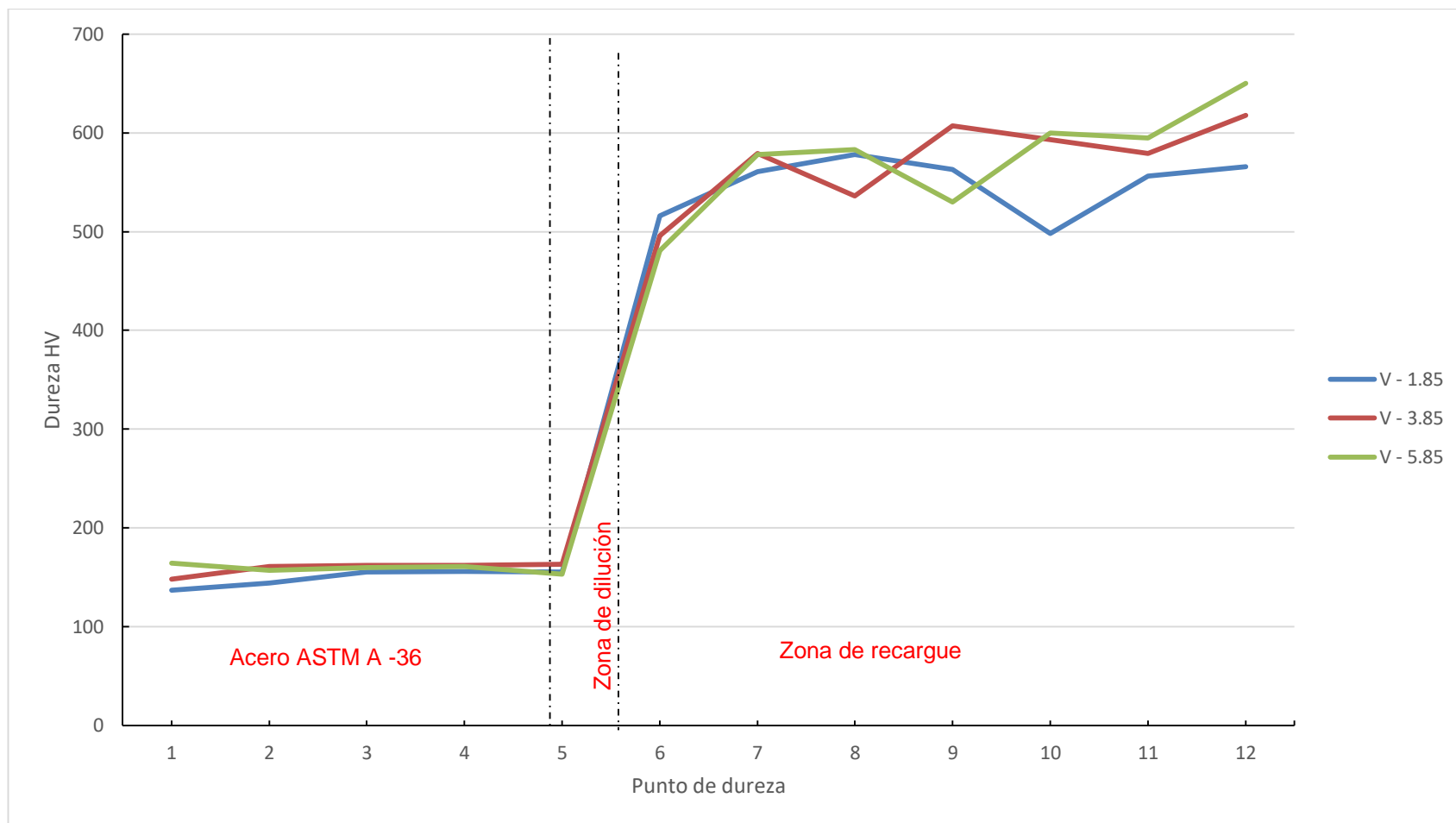
**Tabla 06.** Barrido de dureza

Posición	Zonas	Porcentaje de vanadio en el electrodo		
		V-1.85	V-3.85	V-5.85
1	Metal base	137	148	164
2		144	161	157
3		155	162	160
4		156	162	161
5	Zona de dilución	155	163	153
6		516	496	481
7	Zona de recargue	561	579	578
8		578	536	583
9		563	607	530
10		498	593	600
11		556	579	595
12		566	618	650
	Promedio de la zona de recargue	553.7	585.3	589.3
	Dureza Superficial	606	676	700

Fuente: Elaboración propia



**Figura 9.** Dureza en la zona de recargue



**Figura 10.** Barrido de dureza en cada zona de trabajo.

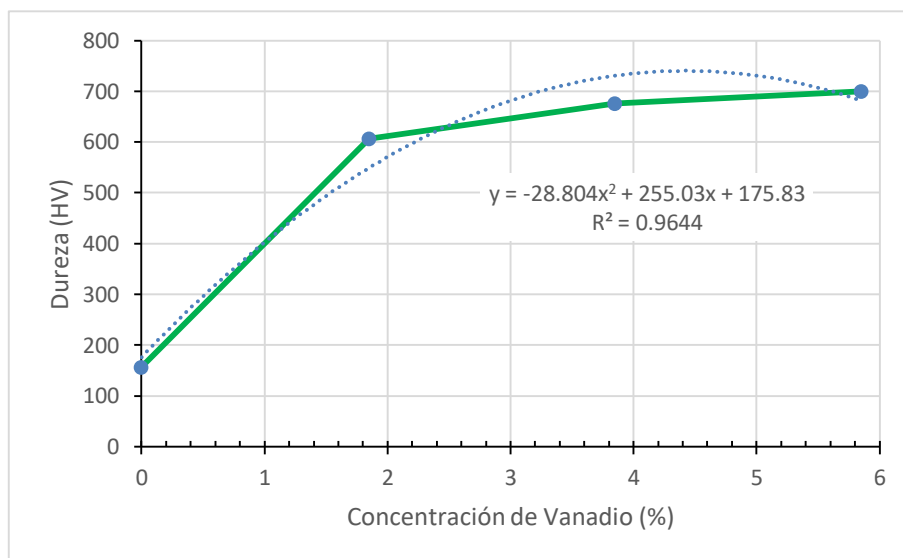
En la figura 10 se puede apreciar que en la probeta sometida a análisis de dureza se aprecian tres zonas claramente identificadas, una en donde aparece el metal base en donde la dureza fue de 155.6 HV y conforme fue aumentando la capa de medición de ensayo de dureza apareció una zona de dilución, en donde la dureza fue de 327.3 HV y en la zona de recargue apareció una dureza de 576.1 HV, en donde se pudo apreciar claramente el incremento de dureza en cada una de estas capas.

En la tabla 7 y figura 11 respectivamente se colocaron los datos obtenidos de dureza, pero en la parte superficial de la zona de recargue para diferentes concentraciones de vanadio en el electrodo encontrándose durezas desde 606 HV hasta 700 HV.

**Tabla 07.** Dureza superficial en la zona de recargue

	Material base	Concentración de vanadio en el electrodo (%)		
		1.85	3.85	5.85
<b>Dureza Vickers (HV)</b>	155.6	608	675	705
		607	680	693
		603	673	702
<b>Promedio</b>		606	676	700

Fuente: Elaboración propia



**Figura 11.** Dureza en la superficie de la zona de recargue

**4.4. Realización del análisis estadístico usando Análisis de Varianza (ANOVA) que permite identificar la influencia significativa entre la concentración de vanadio como material de aporte y su relación con la dureza del acero ASTM A-36, a fin de rechazar o afirmar la hipótesis.**

Para la realización del Análisis de Varianza se emplearon los resultados reordenados, los cuales se verifican en la tabla a continuación:

**Tabla 08. Datos experimentales reordenados**

Factor [V] (%)	Dureza (HV)			$\Sigma Y_i$	$Y_{i, prom}$
	1	2	3		
<b>1.85</b>	608.0	607.0	603.0	1818.0	606.0
<b>3.85</b>	675.0	680.0	673.0	2028.0	676.0
<b>5.85</b>	705.0	693.0	702.0	2100.0	700.0
$\Sigma Y_j$		5946.0		5946.0	
$\Sigma y_{ij}$	1988.0	1980.0	1978.0		660.7

Fuente: Elaboración propia

Luego se emplearon las siguientes fórmulas:

K: Número de niveles (Para nuestro caso = 3)

N: Número de datos totales (Para nuestro caso = 9)

n: Número de repeticiones (Para nuestro caso = 3)

$\alpha = 0.05$

$V_1 = k-1 = 3 - 1 = 2$

$V_2 = N-k = 9 - 3 = 6$

Con estos datos se encontró el valor del  $F_{\alpha, v_1, v_2} = F_{0.05, 2, 6} = 5.14$  y extraído de la tabla 9 de Puntos porcentuales de la distribución  $F_{0.05, v_1, v_2}$

Tabla 09. Puntos porcentuales de la distribución  $F_{0.05, v_1, v_2}$

$V_2 \backslash V_1$	Grados de libertad del numerador ( $V_1$ )																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	inf.
2	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3
3	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
4	10.73	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
5	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
6	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
7	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
8	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
9	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
10	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
11	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
12	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.52	2.49	2.45	2.40
13	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
14	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
15	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
16	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
17	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
18	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
19	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
20	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
21	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
22	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
23	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
24	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
25	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
26	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
27	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
28	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
29	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
30	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
40	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
60	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
120	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
Inf.	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.49	1.43	1.35	1.25
Inf.	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.85	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

Fuente: Montgomery



Luego se aplicaron las fórmulas descritas en la metodología, en donde se encontraron las siguientes:

$$SS_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - \frac{y^2}{N}$$

$$SS_T = 608^2 + 607^2 + \dots + 702^2 - \frac{5946^2}{9} = 14430$$

$$SS_A = \frac{\sum_{i=1}^k y_i^2}{n} - \frac{y^2}{N}$$

$$SS_A = \frac{1818^2 + 2028.0^2 + 2100^2}{3} - \frac{5946^2}{9} = 14312$$

$$SS_T = SS_A + SS_E$$

$$14430 = 14312 + SS_E \Rightarrow SS_E = 118$$

$$MS_A = \frac{SS_A}{n-1}$$

$$MS_A = \frac{14312}{3-1} = 7156$$

$$MS_E = \frac{SS_E}{N-K}$$

$$MS_E = \frac{118}{9-3} = 19.67$$

$$F_0 = \frac{MS_A}{MS_E}$$

$$F_0 = \frac{7156}{19.67} = 363.86$$

Con todos estos datos obtenidos se procedió a plasmarlo en la tabla 10 descrita a continuación, en donde se aprecia el resumen encontrado del análisis de varianza al tratamiento de datos.

**Tabla 10.** *Análisis de varianza para el tratamiento con las diferentes concentraciones de vanadio*

<b>Fuente de Variación</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Media de Cuadrados</b>	<b>F<sub>o</sub></b>	<b>F<sub>α, v1, v2</sub> (F<sub>0.05, 2, 6</sub>)</b>
<b>Tratamiento [V]</b>	2	14312	7156.00	363.86	5.14
<b>Error</b>	6	118	19.67		
<b>Total</b>	8	14430			

Fuente: Elaboración propia

Después de realizar el análisis de varianza se encontró que el  $F_0 = 363.86$  fue mayor que el  $F_{\alpha, v1, v2} = 5.14$  y con ello se puede concluir el rechazo de la hipótesis nula y la aceptación de la hipótesis alterna en donde la concentración de vanadio en el electrodo afecta significativamente en la dureza del acero.

## V. DISCUSIÓN

Al Realizar las pruebas experimentales, usando para ello las probetas habilitadas según la norma ASTM E384-11 referente al ensayo estandarizado para dureza Vickers de materiales, se pudo determinar que la mayor dureza superficial se encuentra con el electrodo que tuvo 5.85% de vanadio, en donde existe un complejo mecanismo de procesos referidos al desgaste como son por adhesión, por abrasión por fricción, por erosión, por impacto, corrosivo y por difusión.

Estos mecanismos de desgaste son corroborados por Jones & Scott (2003), los cuales mencionan que los mecanismos que gobiernan el desgaste son por abrasión, fricción y erosión, en donde ello tiene que ver con la dureza superficial que manifiesta el material y por ende la presente investigación se enfocó en generar un mecanismo de endurecimiento que permita incrementar la vida útil del acero sometido a diversos usos y/o trabajos y por ende aumentar la resistencia al desgaste.

Esto se da debido a que El vanadio en los aceros refina los granos, aumenta la resistencia del acero e inhibe su efecto de envejecimiento, refina granos y aumenta la resistencia y tenacidad, ello es también corroborado por Jinzhou (2020), el cual manifiesta que el vanadio aumenta la estabilidad de templado del acero, mejorando su endurecimiento secundario, mejora su resistencia al desgaste, extiende la vida útil; el vanadio también juega un papel beneficioso en el acero aportándole resistencia al calor y resistencia a la penetración de hidrógeno en el proceso de soldadura; promueve la formación de perlita debido a la formación de carburos, estabiliza la cementita y la forma de las partículas de grafito es fina.

Afina uniformemente los granos de cristal de la matriz, aumentando así la dureza, la resistencia a la tracción y la resistencia al desgaste de la fundición.

Al determinar el porcentaje de vanadio apropiado en el electrodo, se pudo visualizar que a medida que se aumenta el porcentaje de vanadio del electrodo había una mayor dureza y por ende el electrodo con menor porcentaje de vanadio presentó menor dureza, esto es corroborado por Taipe (2013), el cual investigó sobre la el efecto que tiene un acero que ha sido recubierto con un 5% de Fe-Ti y con diferentes concentraciones de vanadio en el electrodo, manifestando que con un

1.85 % de hierro – vanadio se logran resistencias óptimas al desgaste, encontrándose valores de variación de masa del orden del 1.2006 gramos.

Así mismo abordó en su investigación factores económicos en donde se manifiesta que electrodos con baja concentración de hierro – vanadio son más rentables que los que se trabajan con altas concentraciones. Aquí se apreció micro estructuralmente hablando la presencia de microestructuras finas de austenita el cual produjo el endurecimiento austenítico.

También se realizaron tratamientos termomecánicos con condiciones apropiadas de Temperatura, Tiempo y Transformación (TTT), entrando a tallar aquí la composición de los elementos aleantes del acero. Cuando se adicionan algunos elementos aleantes al acero, ello genera cambios en la cinética haciendo que se demore la recristalización y en muchos de los casos un desvío generándose una precipitación inducida.

La presencia del vanadio afecta la cinética del proceso y sobre la SRCT (Temperatura Crítica de recristalización). En la SRCT de un acero con presencia de microaleantes como es el vanadio ayuda al endurecimiento de la austenita y por ende existe la aparición de ferrita en estructura de transformación fina (Quispe, y otros, 2020).

Todo lo anteriormente mencionado es respaldado por Noriega (2013), el cual realizó una investigación sobre revestimientos duros empleando electrodos con concentraciones de hierro – titanio del orden del 5% en donde se emplearon múltiples capas para el recargue y recubrimiento de la capa superficial de soldadura mostrándose que cada pase de soldadura afectó al anterior pase de manera térmica, incrementando la dureza de recargue y mejorando el fenómeno de dilución, obteniéndose durezas del orden de 737 HV en la superficie de la pieza ensayada.

Microestructuralmente hablando se observó martensita en matriz austenítica. Noriega también concluye afirmando que cuando el contenido de hierro – vanadio se incrementa es inversamente proporcional a la presencia de austenita retenida, es decir disminuye.

Aquí se evidenció que la probeta que experimentó una dureza de 670 HV generó una pérdida de masa del orden de 0.554 gramos, en contraparte la que alcanzó una dureza de 586 HV generó una pérdida de material del orden de 1.0665 gramos.

Al realizar el análisis estadístico usando Análisis de Varianza (ANOVA) se pudo identificar la influencia significativa entre la concentración de vanadio como material de aporte y su relación con la dureza del acero ASTM A-36, con la cual se afirma la hipótesis alterna, es decir que la concentración de vanadio influye significativamente sobre la dureza del acero en estudio, ello debido a que el  $F_0$  el cual se obtuvo de manera matemática resultó con un valor de 363.86 y realizando la comparación con el  $F_{0.05, 2, 6}$  resultó 5.14, es decir fue sumamente mayor el  $F_0 > F_{0.05, 2, 6}$  teniendo la presente investigación un respaldo técnico, científico y estadístico de la influencia de las variables.

## VI. CONCLUSIONES

1. Se concluye afirmando que existe influencia de la concentración de vanadio como material de aporte sobre la dureza del acero ASTM A36 – método Hardfacing, ello se comprobó después de realizar las corridas experimentales, logrando incrementar sustancialmente la dureza superficial de la pieza en estudio, es decir el metal base el cual presentó una dureza de 155.6 HV y después de realizar la corrida experimental se logró incrementar hasta 700 HV.
2. Así mismo, se concluye afirmando que al realizar las pruebas experimentales de las probetas habilitadas según la norma ASTM E384-11 referente al ensayo estandarizado para dureza Vickers de materiales, se encontró que a 1.85 % V la dureza superficial de la probeta fue de 606 HV y conforme se utilizó una concentración más alta de vanadio, es decir a 5.85 % V, se encontró una dureza de hasta 700 HV.
3. Otra conclusión del presente trabajo radica que, al determinar el porcentaje de vanadio apropiado en el electrodo, el óptimo fue el cual tuvo un porcentaje de 5.85 % de vanadio.
4. Finalmente, se concluye afirmando que al Realizar el estudio estadístico usando Análisis de Varianza (ANOVA) permitió identificar la influencia significativa entre la concentración de vanadio como material de aporte y su relación con la dureza del acero ASTM A-36, a fin de rechazar o afirmar la hipótesis, como consecuencia de que el  $F_0 = 363.86$  (obtenida matemáticamente) fue mayor que el  $F_{0.05, 2, 6} = 5.14$  (obtenida de tablas).

## **VII. RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda el uso de otros parámetros de medición como resistencia a la abrasión, estudio de multipase de capa de soldadura, amperajes, velocidad de soldadura, entre otras.
2. Incrementar otros estudios como tratamientos térmicos de alivio de tensiones, revenido, bainitizado y otros.
3. Realizar el empleo de otros tipos de electrodos con temperaturas de precalentamientos y controles más exhaustivos de enfriamiento, entre otros.
4. Se recomienda que para realizar las corridas experimentales sea realizado por profesionales de reconocida trayectoria y en lugares que presten la confianza del caso en donde emitan certificados para tal fin, que acrediten que los resultados sean los apropiados.
5. Realizar un análisis microestructural a las soldaduras para visualizar zonas afectadas por el calor y la formación de nuevas estructuras, así como ensayos no destructivos como el empleo de líquidos penetrantes, entre otros.

## REFERENCIAS

Ayala, Batista 2014. Costo de operación de la maquinaria pesada. [En línea] 25 de octubre de 2014. [Citado el: 03 de octubre del 2019.]

Disponible en:

<https://es.slideshare.net/AyalaBatista/05-capitulo3-costodeoperaciondelequipodoc>.

Bolivar, Gabriel. 2018. Concentración Porcentual: Características, Cálculo y Ejemplos. [En línea] 11 de mayo de 2018. [Citado el: 25 de octubre de 2019.]

Disponible en: <https://www.lifeder.com/concentracion-porcentual/>.

Demáquinas. 2013. Soldadura con tecnología SMAW. [En línea] 07 de junio de 2013. [Citado el: 14 de octubre de 2019.]

Disponible en: <https://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/soldadura-smaw-que-es-y-procedimiento>.

Ecured. 2016. Intensidad de corriente. [En línea] 2016. [Citado el: 30 de octubre de 2019.]

Disponible en: [https://www.ecured.cu/Intensidad\\_de\\_Corriente](https://www.ecured.cu/Intensidad_de_Corriente).

Fernández, Estanislao. 2016. *Soldadura de reparación y mantenimiento en equipo pesado con electrodos revestidos en la empresa IMOR TRACBOL*. La Paz : Universidad Nacional de San Andrés, 2016.

Fuentes, Paulo, Villanueva, Jaime y Estupiñán, Edgar. 2018. Análisis del desgaste en componentes de cargadores frontales, mediante modelos finitos. [En línea] 08 de octubre de 2018. [Citado el: 06 de octubre de 2019.]

Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ingeniare/v26n4/0718-3305-ingeniare-26-04-00612.pdf>.

Horbs, Eddy. 2010. Propiedades del acero. [En línea] 11 de octubre de 2010. [Citado el: 30 de octubre de 2019.]

Disponible en: <https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/10/propiedades-del-acero.html>.

Horwitz, H. 2009. *Soldadura: Aplicaciones y Práctica*. México : Alfaomega., 2009.



Jinzhou, Hongda. 2020. Ferrer Vanadium Powder. [En línea] 2020. [Citado el: 15 de Junio de 2020.]

Disponible en: <http://es.jzhdferreroalloy.com/ferro-vanadium-powder/ferro-vanadium-powder-for-welding-rod.html>.

Jones, M. y Scott, E. 2003. *Industrial Tribology: the practical aspects of friction, lubrication, and wear*. New York : Elsevier Scientific Publishing Company., 2003.

Lampadia, B. 2017. [En línea] 21 de agosto de 2017. [Citado el: 06 de octubre de 2019.]

Disponible en: <https://www.lampadia.com/analisis/recursos-naturales/acero-una-larga-historia-con-multiples-aplicaciones/>.

Lean, R. 2015. *Tratamientos Térmicos*. Lima : pontificia Universidad Católica del Perú, 2015.

Lincoln. 2014. Hardfacing Product and procedure selection. [En línea] 14 de junio de 2014. [Citado el: 15 de septiembre de 2019.]

Disponible en: <https://www.lincolnelectric.com/assets/US/EN/literature/C7710.pdf>.

Menacho, Paulo. 2013. Desgaste en articulación de una excavadora hidráulica 320 DL. [En línea] 04 de diciembre de 2013. [Citado el: 05 de octubre de 2019.]

Disponible en: <http://excavadoracat-320dl.blogspot.com/>.

MIPERSA. 2015. Soldadura TIG. [En línea] 10 de abril de 2015. [Citado el: 25 de marzo de 2017.]

Disponible en: [http://www.mipersa.com.pe/soldadura\\_tig.html](http://www.mipersa.com.pe/soldadura_tig.html).

Noriega, Ainsworth. 2013. *Resistencia al desgaste abrasivo de recargues duros fabricados con electrodos con 5% de FeTi y contenido variable de FeV*. Lima : Pontificia Universidad Católica del Perú, 2013.

Quispe, A. y Medina, S. 2020. Diagrama de Recristalización-PrecipitaciónTiempo-Temperatura (RPTT) de un acero microaleado al vanadio. [En línea] 2020. [Citado el: 15 de junio de 2020.]

Disponible en: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/56485/1/38-1997.pdf>.

Rabinowicz, E. 2005. *Friction and Wear of Materials*. New York : John Wiley and Sons, 2005.

Rodríguez, Mathias. 2019. Proceso de soldadura SMAW. [En línea] 2019. [Citado el: 15 de octubre de 2019.]

Disponible en : <https://www.esab.com.ar/ar/sp/education/blog/proceso-soldadura-smaw.cfm>.

Sales, E. 2015. Estampado en caliente. [En línea] 2015. [Citado el: 16 de octubre de 2019.]

Disponible en: [https://translate.googleusercontent.com/translate\\_c?depth=1&hl=es&prev=search&rurl=translate.google.com&sl=en&sp=nmt4&u=https://kandbmoldedproducts.com/plastic-injection-molding/hot-stamping/&xid=17259,15700022,15700186,15700190,15700256,15700259,15700262](https://translate.googleusercontent.com/translate_c?depth=1&hl=es&prev=search&rurl=translate.google.com&sl=en&sp=nmt4&u=https://kandbmoldedproducts.com/plastic-injection-molding/hot-stamping/&xid=17259,15700022,15700186,15700190,15700256,15700259,15700262).

Salvador, Iván. 2016. Tipos de muestreo. [En línea] Marzo de 2016. [Citado el: 02 de mayo de 2019.]

Disponible en: [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/56813129/Tipos.de.Muestreo.Marzo.2016.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DTIPOS\\_DE\\_MUESTREO.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=ASIATUSB6BAEHEOEPMM%2F20200502%2Fus-east](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/56813129/Tipos.de.Muestreo.Marzo.2016.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DTIPOS_DE_MUESTREO.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=ASIATUSB6BAEHEOEPMM%2F20200502%2Fus-east).

SOLDEXA. 2015. Soldadura. [En línea] 18 de mayo de 2015. [Citado el: 27 de octubre de 2017.]

Disponible en: <http://www.soldexa.com.pe/soldexa/sp/support/index.cfm..>

Taipe, Luiggi. 2013. *Influencia del contenido de vanadio en la resistencia al desgaste de recubrimientos duros con 5% de ferro-titanio*. Lima : pontificia Universidad Católica del Perú, 2013.

Williams, J. 2005. *Wear and wear particles - Some fundamentals*. New York : Tribology International , 2005.

Yazici, Aysel. 2011. Investigation of the reduction of mouldboard ploughshare wear through hot stamping and hardfacing processes. [En línea] 2011. [Citado el: 15 de octubre de 2019.]

Disponible en: <http://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/issues/tar-11-35-5/tar-35-5-2-1105-29.pdf>

# **ANEXOS**

## ANEXO 1. MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 11. Definición operacional de las variables

<b>VARIABLES</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Escala de Medición</b>
<b>Independiente:</b>  <b>Concentración de vanadio en el electrodo</b>	Proporción o relación que hay entre la cantidad de soluto y la cantidad de disolución (Bolívar, 2018).	Proporción de vanadio en el electrodo que será depositado mediante soldadura SMAW en la probeta de acero ASTM A 36 mediante el método Hardfacing.	Concentración o porcentaje de vanadio.	Razón
<b>Dependiente:</b>  <b>Dureza</b>	Es un registro de mediciones de la dureza de los materiales, es decir, la resistencia al ser penetrado (Horbs, 2010).	Registro de durezas del material base, de las zonas afectadas por el calor y la zona de soldadura a distancias establecidas.	Dureza Vickers (HV)	Razón

Fuente: Elaboración propia

## ANEXO 2. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Tabla 12. Ficha de registro del ensayo de dureza

PARÁMETROS DEL ENSAYO 01-A	
<b>Realizado bajo la norma:</b>	
<b>Instrumento:</b>	
<b>Método:</b>	
RESULTADOS DE LA PRUEBA	
<b>Dureza (HV):</b>	<b>Zona:</b>
IMÁGENES	
Gráfico del perfil de dureza	<b>Probeta ensayada</b>

Observaciones

Cálculos

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 13.** *Ficha de registro del ensayo de soldadura*

---

**Nombre del responsable:** \_\_\_\_\_

---

**Solicitado por:** \_\_\_\_\_

---

**Procedimiento N°** 001

---

**Tipo de proceso de soldadura / % V** SMAW / \_\_\_\_\_ %V

---

**Fecha:** \_\_\_\_\_

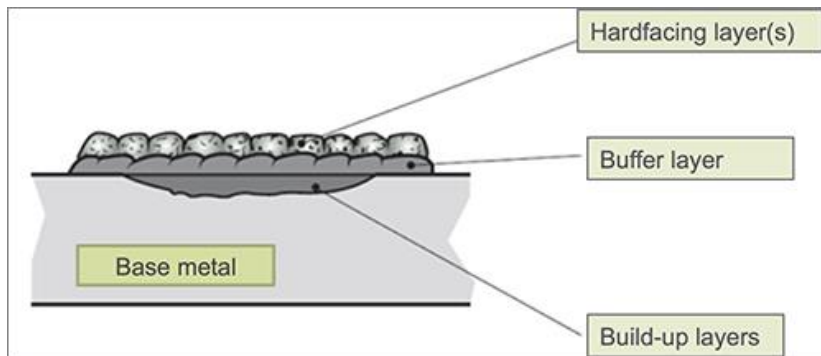
---

**Diseño de junta:** \_\_\_\_\_

**Respaldo:** \_\_\_\_\_

**Material de respaldo:** \_\_\_\_\_

---



**METAL BASE**

- **Tipo Material de base:** \_\_\_\_\_
- **Espesor (mm):** \_\_\_\_\_

**PROCESO DE SOLDADURA**

- **Tipo** \_\_\_\_\_
- **Clasificación del material de aporte** \_\_\_\_\_
- **Diámetro** \_\_\_\_\_
- **Velocidad de avance** \_\_\_\_\_

**PARÁMETROS DE SOLDADURA**

- **Amperaje** \_\_\_\_\_
- **Voltaje** \_\_\_\_\_
- **Polaridad** \_\_\_\_\_

Fuente: Elaboración propia.

### ANEXO 3. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA CORRIDA EXPERIMENTAL

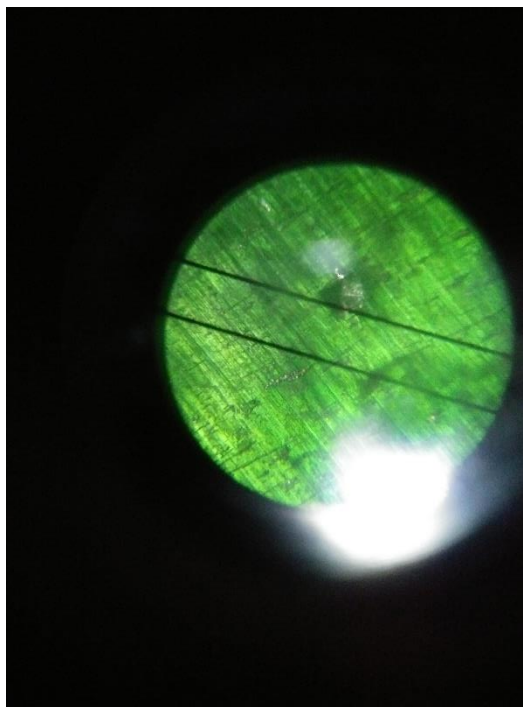


**Figura 12.** Adecuación del Durómetro INDENTEC.



**Figura 13.** Medición de dureza con el Durómetro INDENTEC.





**Figura 14.** Medición interna del lente del Durómetro INDENTEC.

## ANEXO 4. CERTIFICADO DE LA CORRIDA EXPERIMENTAL



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Departamento Académico Profesional de Ingeniería de Materiales**

---

**Nombre:** Terrones Díaz, Roberto.

**Tesis:** Influencia de la concentración de vanadio como material de aporte sobre la dureza del acero ASTM A36 - Método Hardfacing.

**Fecha:** 12 de marzo de 2020.

**Condición:** Muestra puesta en laboratorio.

**Características del material:** Datos promedios de dureza superficial en la zona de recargue del acero ASTM A36, usando proceso de soldadura SMAW con electrodos de 5 mm de diámetro de diferentes concentraciones de vanadio (1.85%, 3.85% y 5.85%) del maerial de aporte, a una velocidad de avance de 3 a 4 cm/minuto a 180 A, polaridad DCEP y con tres capas de soldadura del Método Hardfacing.

	Metal base	V-1.85	V-3.85	V-5.85
Dureza Vickers (HV)	155.6	608.0	673.0	702.0




Dr. ALEXANDER VEGA ANTICONA  
Jefe de Laboratorio Compuestos

## ANEXO 5. FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

### DATOS GENERALES DEL EXPERTO.

- Apellidos y Nombres:  
Arévalo Aranda César Pol
- Profesión:  
Ingeniero Metalurgista & Ingeniero Civil.
- Grado académico:  
Magíster en Gestión de Riesgos Ambientales y de Seguridad en las Empresas (Concluidos y titulado)  
Estudio de Doctorado en Ciencias e Ingeniería (V ciclo)
- Actividad laboral actual:  
Catedrático Universitario: Universidad Nacional de Trujillo.  
Asesor de tesis  
Consultor especialista en diversos temas metalmeccánicos y metalúrgicos.  
Consultor especialista en Seguridad, Salud en el Trabajo y Medio Ambiente.  
Consultor de obras con Reg. N°: C – 73187 – RNP



**Mg. Ing. César Pol Arévalo Aranda**  
ING. METALURGISTA - ING. CIVIL  
REGISTRO DE CONSULTOR N° C 73187  
CIP N° 139835

## INDICACIONES AL EXPERTO.

En la tabla siguiente, se propone una escala del 1 al 5, que va en orden ascendente del desconocimiento al conocimiento profundo. Marque con una "X" conforme considere su conocimiento sobre el tema de la tesis evaluada.

1 Ninguno	2 Poco	3 Regular	4 Alto	5 X Muy alto
--------------	-----------	--------------	-----------	-----------------

1. Sírvase marcar con una "X" las fuentes que considere han influenciado en su conocimiento sobre el tema, en un grado alto, medio o bajo.

FUENTES DE ARGUMENTACIÓN	GRADO DE INFLUENCIA DE CADA UNA DE LAS FUENTES EN SUS CRITERIOS		
	A (ALTO)	M (MEDIO)	B (BAJO)
a) Análisis teóricos realizados. (AT)	X		
b) Experiencia como profesional. (EP)	X		
c) Trabajos estudiados de autores nacionales. (AN)	X		
d) Trabajos estudiados de autores extranjeros. (AE)	X		
e) Conocimientos personales sobre el estado del problema de investigación. (CP)	X		



**Mg. Ing. César Pol Arévalo Aranda**

ING. METALURGISTA - ING. CIVIL  
REGISTRO DE CONSULTOR N° C 73187  
CIP N° 139835

**Estimado(a) experto(a):**

El instrumento de recolección de datos a validar es una **Ficha de Registro de Ensayo de dureza**, cuyo objetivo es determinar la influencia de la concentración de vanadio como material de aporte sobre la dureza del acero ASTM A36 – método Hardfacing.

Con el objetivo de corroborar la validación del instrumento de recolección de datos, por favor le pedimos responda a las siguientes interrogantes:

1. ¿Considera pertinente la aplicación de esta **Ficha de Registro de Ensayo de Dureza** para los fines establecidos en la investigación?  
Es pertinente:  Poco pertinente:  No es pertinente:   
Por favor, indique las razones:  
Está enfocado en datos técnicos operacionales de aplicación internacional.
2. ¿Considera que la **Ficha de Registro de Ensayo de Dureza** formula las preguntas suficientes para los fines establecidos en la investigación?  
Son suficientes:  Insuficientes:   
Por favor, indique las razones:  
Está enfocado en obtener datos que se encuentran debidamente sustentados en sus objetivos e hipótesis.
3. ¿Considera que las preguntas están adecuadamente formuladas de manera tal que no existan dudas en la elección y/o redacción de sus respuestas?  
Son adecuadas:  Poco adecuadas:  Inadecuadas:   
Por favor, indique las razones:  
Son preguntas sencillas de fácil entendimiento, no emplea palabras muy técnicas que dificulten las respuestas.

4. Califique los ítems según un criterio de precisión y relevancia para el objetivo del instrumento de recolección de datos.

Ítem	Precisión			Relevancia			Sugerencias
	Muy precisa	Poco precisa	No es precisa	Muy relevante	Poco Relevante	Irrelevante	
Ficha de Registro de Ensayo de dureza	<b>X</b>			<b>X</b>			Ninguna

5. ¿Qué sugerencias haría Ud. para mejorar el instrumento de recolección de datos?

Todo está conforme.

Le agradecemos por su colaboración.

Fecha de evaluación: 20 de julio de 2020



**Mg. Ing. César Pol Arévalo Aranda**  
ING. METALURGISTA - ING. CIVIL  
REGISTRO DE CONSULTOR N° C 73187  
CIP N° 139835

**Estimado(a) experto(a):**

El instrumento de recolección de datos a validar es una **Ficha de Registro de Ensayo de Soldadura**, cuyo objetivo es determinar la influencia de la concentración de vanadio como material de aporte sobre la dureza del acero ASTM A36 – método Hardfacing.

Con el objetivo de corroborar la validación del instrumento de recolección de datos, por favor le pedimos responda a las siguientes interrogantes:

1. ¿Considera pertinente la aplicación de esta **Ficha de Registro de Ensayo de Soldadura** para los fines establecidos en la investigación?

Es pertinente: **X** Poco pertinente: \_\_\_ No es pertinente: \_\_\_

Por favor, indique las razones:

Está enfocado en datos técnicos operacionales de aplicación internacional.

2. ¿Considera que la **Ficha de Registro de Ensayo de Soldadura** formula las preguntas suficientes para los fines establecidos en la investigación?

Son suficientes: **X** Insuficientes: \_\_\_

Por favor, indique las razones:

Está enfocado en obtener datos que se encuentran debidamente sustentados en sus objetivos e hipótesis.

3. ¿Considera que las preguntas están adecuadamente formuladas de manera tal que no existan dudas en la elección y/o redacción de sus respuestas?

Son adecuadas: **X** Poco adecuadas: \_\_\_ Inadecuadas: \_\_\_

Por favor, indique las razones:

Son preguntas sencillas de fácil entendimiento, no emplea palabras muy técnicas que dificulten las respuestas.

4. Califique los ítems según un criterio de precisión y relevancia para el objetivo del instrumento de recolección de datos.

Ítem	Precisión			Relevancia			Sugerencias
	Muy precisa	Poco precisa	No es precisa	Muy relevante	Poco Relevante	Irrelevante	
<b>Ficha de Registro de Ensayo de soldadura</b>	X			X			Ninguna

5. ¿Qué sugerencias haría Ud. para mejorar el instrumento de recolección de datos?

Todo está conforme.

Le agradecemos por su colaboración.

Fecha de evaluación: 20 de julio de 2020



**Mg. Ing. César Pol Arévalo Aranda**  
ING. METALURGISTA - ING. CIVIL  
REGISTRO DE CONSULTOR N° C 73187  
CIP N° 139835