

I. GENERALIDADES

1.1. TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN

“Análisis y Evaluación de empalmes soldados y empalmes mecánicos en barras de acero ASTM A706M Gr. 60, para armaduras de concreto armado en estructuras sismorresistentes, Pucallpa – 2021”.

1.2. ASESOR

Ing. Mg. Horacio Soriano Alava

1.3. AÑO CRONOLÓGICO

2021

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. DESCRIPCIÓN Y FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA

La Región Ucayali en los últimos años ha venido desarrollando un incremento expansivo de su economía, a pesar de sus limitaciones, se han generado proyectos de infraestructura en los diferentes ejes de desarrollo, tanto por parte del sector público (Ampliación de la Carretera Federico Basadre, Construcción del Nuevo Hospital Regional de Pucallpa) como privado (Construcción del Centro Comercial Open Plaza y Real Plaza), lo cual se ve reflejado en las estadísticas sectoriales, el aumento de 24% del consumo energético respecto al 2014 y el 26% del consumo interno de cemento respecto al 2016 **(INEI, 2019)**.

Todo este dinamismo se debe a que el comercio es la segunda actividad de mayor importancia en la región Ucayali, aportando un 17.4% VAB departamental. Además de ellos se prevén una lista de proyectos priorizados para el PNIC a ejecutarse dentro de la región **(MEF, 2019)**. Estos proyectos como los que se han venido ejecutando, han sido concebidos en concreto armado en la mayor parte de sus componentes, sin embargo su uso extensivo no mejorado durante el tiempo, en cuanto a productividad o sismorresistencia, prueba de ello es el uso masivo de empalmes por traslape en armaduras de concreto armado.

El uso de empalmes ha estado siempre presente en la construcción de estructuras de concreto armado, para poder garantizar la continuidad de las barras de construcción embebidas dentro del concreto, ya que estas son comercializadas en medidas de 12 y 9 m.

Estos empalmes cumplen una función muy importante, ya que garantizan la correcta transmisión de esfuerzos, ya sean esfuerzos de tracción en elementos horizontales o compresión y corte en elementos verticales **(Echevarria, Seguro, Pulgarin, Velasquez, & Molina, 1998)**.

Tradicionalmente la forma de unir estas barras de acero, es mediante el uso de empalme por traslape, el cual va atortolado con alambre para poder posicionarlas durante el vaciado de concreto. En un empalme por traslape, la validez de la transferencia de carga, está ligada directamente a la resistencia del concreto que la rodea, ya que la fuerza de la barra se transmite al concreto y este a su vez a la otra barra, generando elevados esfuerzos cortantes en el mismo, pudiendo llevarlo a un punto de ruptura de su integridad y continuidad estructural. Además de que en un empalme por traslape se genera un consumo adicional de acero aproximado de 6.23kg, 25.35kg y 57.75kg, por varilla empalmada de diámetro de 3/4", 1" y 1 3/8" respectivamente.

Estos empalmes pueden trabajar de dos formas: a tracción, o a compresión; cuando un empalme por traslape trabaja a tracción, se genera compresión diagonal en el concreto ubicado dentro de las varillas, por lo que se incorporan estribos adicionales a cada 10cm a lo largo de la longitud de traslape, para limitar el desarrollo de grietas y poder asegurar una falla dúctil **(Harmsen, 2005)**.

Cabe resaltar que la normativa peruana NTP E.060. 2009 no contempla el uso de estos estribos adicionales, ya que su exigencia es similar al ACI 318-89. Además de que las longitudes

de empalme traslapados según la normativa peruana NTP E.060. 2009 son bastante menores (hasta un 20% en varillas de mayor diámetro) a las calculadas de acuerdo a su homóloga americana ACI 318-19 (**Ibid, pp.58**).

En los empalmes por traslape que trabajan a compresión, las condiciones son más favorables, por lo que requieren una menor longitud. Sin embargo, cuando se utiliza barras de gran diámetro, suelen fallar por aplastamiento del concreto en el extremo de la varilla, por lo que el uso de este tipo de empalme no es recomendable para varillas mayores a 1 3/8" (**Ibid, pp.61**).

En el caso de trabajar con barras de diámetro pequeño, se necesitan secciones más grandes para que un número mayor de barras pueda caber, generando congestión de las barras de refuerzo en la zona de traslape, la cual es una de las razones principales de la creación de cangrejeras en el concreto, esto aunado a la disposición de las normativas de construcción no permiten una cuantía de acero mayor al 8%, esto hace casi imposible obtener un diseño equilibrado mediante el traslape.

Algunos especialistas en Ingeniería estructural recomiendan el uso de las varillas ASTM A706M sobre las varillas comunes ASTM A615M, no por mejorar el desempeño estructural, ni absorber de una mejor forma la energía sísmica, si no por comenzar a cumplir normativas internacionales para el tipo de varilla que debe de usarse en estructuras sismorresistentes y por exigir un mayor control de calidad y versatilidad en la construcción. (**Hawileh, Rahman, & Tabatabai, 2010**). Es por ello que las construcciones de estructuras de concreto armado que utilizan uniones soldadas y mecánicas son viablemente económicas y técnicamente aceptables. (**Franco & Estrella, 2009**). Además de ello, se conoce que las varillas de acero son el principal elemento de

refuerzo en el concreto armado, por lo que los factores mecánicos que evalúan la condición de sismorresistencia en estas, están dados por la relación entre la resistencia a la tracción y el límite de fluencia, así como el porcentaje de elongación. **(Naranjo, Ojeda, & Saquinga, 2015).**

El propósito de este estudio es analizar y evaluar empalmes de barras de acero ASTM A706M Gr.60 según la norma NTP E.060 (2009) que propone el tipo de empalme a utilizar en estructuras de concreto armado bajo condiciones de sismorresistencia, controlando la variable independiente mediante barras de acero ASTM A706M Gr.60 sin empalmar durante el ensayo de 36 und. experimentales en laboratorio. La variable independiente puede definirse como las barras de acero ASTM A706M Gr.60 empalmadas mediante soldadura y conector mecánico, la variable de control puede definirse como las barras de acero ASTM A706M Gr.60 sin ningún tipo de empalme (barras continuas) y la variable dependiente, como las condiciones de sismorresistencia definidas en la norma NTP E.060 (2009) que indica que el uso de empalmes soldados y mecánicos deben guardar una relación no menor a 1.25 entre la resistencia a tracción (f_u) y el esfuerzo de fluencia (f_y) de la barra, medida en laboratorio. Además, para el caso de empalmes mecánicos tipo II, el empalme debe desarrollar la resistencia a tracción especificada de la barra empalmada. Por lo que la formulación del problema de esta investigación se da de la siguiente manera.

2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Los empalmes soldados y empalmes mecánicos en barras de acero ASTM A706M Gr.60 para armaduras de concreto armado cumplen con las condiciones de Sismorresistencia según la NTP E.060 (2009)?

2.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

1. ¿Cuál es la Resistencia a la Tracción en empalmes soldados de barras de acero ASTM A706M Gr.60 con electrodos de bajo hidrogeno de tipo E-8018, mediante el proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW)?

2. ¿Cuál es el Límite de Fluencia en empalmes soldados de barras de acero ASTM A706M Gr.60 con electrodos de bajo hidrogeno de tipo E-8018, mediante el proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW)?

3. ¿Cuál es el Porcentaje de Elongación en empalmes soldados de barras de acero ASTM A706M Gr.60 con electrodos de bajo hidrogeno de tipo E-8018, mediante el proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW)?

4. ¿Cuál es la Resistencia a la Tracción en empalmes mecánicos de barras de acero ASTM A706M Gr.60 con conector mecánico tipo 02 de rosca cónica, mediante roscado con llave inglesa?

5. ¿Cuál es el Límite de Fluencia en empalmes mecánicos de barras de acero ASTM A706M Gr.60 con conector mecánico tipo 02 de rosca cónica, mediante roscado con llave inglesa?

6. ¿Cuál es el Porcentaje de Elongación en empalmes mecánicos de barras de acero ASTM A706M Gr.60 con

conector mecánico tipo 02 de rosca cónica, mediante roscado con llave inglesa?

2.3. OBJETIVOS

2.3.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar y Evaluar las Condiciones de Sismorresistencia en empalmes soldados y empalmes mecánicos en barras de acero ASTM A706M Gr.60 para armaduras de concreto armado.

2.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analizar y Evaluar la Resistencia a la Tracción en empalmes soldados de barras de acero ASTM A706M Gr.60 con electrodos de bajo hidrogeno de tipo E-8018, mediante el proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW).
2. Analizar y Evaluar el Límite de Fluencia en empalmes soldados de barras de acero ASTM A706M Gr.60 con electrodos de bajo hidrogeno de tipo E-8018, mediante el proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW).
3. Analizar y Evaluar el Porcentaje de Elongación en empalmes soldados de barras de acero ASTM A706M Gr.60 con electrodos de bajo hidrogeno de tipo E-8018, mediante el proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW).
4. Analizar y Evaluar la Resistencia a la Tracción en empalmes mecánicos de barras de acero ASTM A706M

Gr.60 con conector mecánico tipo 02 de rosca cónica, mediante roscado con llave inglesa.

5. Analizar y Evaluar el Límite de Fluencia en empalmes soldados de barras de acero ASTM A706M Gr.60 con conector mecánico tipo 02 de rosca cónica, mediante roscado con llave inglesa.

6. Analizar y Evaluar el Porcentaje de Elongación en empalmes soldados de barras de acero ASTM A706M Gr.60 con conector mecánico tipo 02 de rosca cónica, mediante roscado con llave inglesa.

2.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

En la normativa **Norma Técnica Peruana E.030 (2019)**, en el apartado de Concepción Estructural Sismorresistente, nos indica que se debe de tener en cuenta la importancia de la selección y uso adecuado de los materiales de construcción. Por lo que teniendo en cuenta:

- Los materiales de calidad en las estructuras de concreto armado (que cumplan con los requisitos mecánicos y químicos establecidos por la normativa).
- La situación geográfica del país.
- La zonificación sísmica del Perú.
- El crecimiento de la industria de la construcción.

Hacen que este estudio sea válido y oportuno ya que está orientado a evaluar las propiedades de barras de acero empalmados por soldadura y conectores mecánicos de distribución nacional, con el fin de determinar cuál es el tipo de empalme más adecuado en función a varios parámetros, tales

como la ubicación del empalme, tipo de armadura y cargas a las que está sometida determinado empalme, de acuerdo a sus condiciones de sismorresistencia.

2.5. LIMITACIÓN Y ALCANCES

El estudio es posible, ya que se cuenta con la experiencia necesaria de los investigadores, la disponibilidad de los recursos materiales, así como también las facilidades para la elaboración y aprobación del proceso de soldadura en la UNI y el ensayo de laboratorio de materiales de la PUCP.

El conocimiento actual respecto a la determinación del empalme más adecuado en función a la ubicación del empalme, tipo de armadura y las cargas a las que esta sometida el empalme, se desarrollan bajo las especificaciones de la ANSI/AWS D1.4M:2018 para empalmes soldados y ACI 359/ASME III para empalmes mecánicos; y son determinados por el profesional responsable (PR).

Como nuevas líneas de investigación, se podría adoptar, además del análisis de las propiedades mecánicas; un análisis de la productividad de los empalmes soldados y empalmes mecánicos, con el cual se tuviera una visión mas integral de estos sistemas, en cuanto a alcance, costos y tiempo.

2.6. HIPOTESIS

2.6.1. HIPOTESIS GENERAL

Los empalmes soldados y empalmes mecánicos en barras de acero ASTM A706M Gr.60 para armaduras de concreto armado tienen Condiciones de Sismorresistencia aceptables según la norma NTP E.060 (2009).

2.6.2. HIPOTESIS ESPECÍFICAS

H₁: Los empalmes soldados de barras de acero ASTM A706M Gr.60 con electrodos de bajo hidrogeno de tipo E-8018, mediante proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW) tienen una Resistencia a la Tracción aceptable según la norma NTP E.060 (2009).

H₂: Los empalmes soldados de barras de acero ASTM A706M Gr.60 con electrodos de bajo hidrogeno de tipo E-8018, mediante proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW) tienen un Límite de Fluencia aceptable según la norma NTP E.060 (2009).

H₃: Los empalmes soldados de barras de acero ASTM A706M Gr.60 con electrodos de bajo hidrogeno de tipo E-8018, mediante proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW) tienen un Porcentaje de Elongación aceptable según la norma NTP E.060 (2009).

H₄: Los empalmes mecánicos de barras de acero ASTM A706M Gr.60 con conector mecánico tipo 02 de rosca cónica, mediante roscado con llave inglesa tienen una Resistencia a la Tracción aceptable según la norma NTP E.060 (2009).

H₅: Los empalmes mecánicos de barras de acero ASTM A706M Gr.60 con conector mecánico tipo 02 de rosca cónica, mediante roscado con llave inglesa tienen una Resistencia a la Tracción aceptable según la norma NTP E.060 (2009).

H₆: Los empalmes mecánicos de barras de acero ASTM A706M Gr.60 con conector mecánico tipo 02 de rosca cónica, mediante roscado con llave inglesa tienen una Resistencia a la Tracción aceptable según la norma NTP E.060 (2009).

2.7. SISTEMA DE VARIABLES, DIMENSIONES E INDICADORES

2.7.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

- Empalme solado
- Empalme mecánico

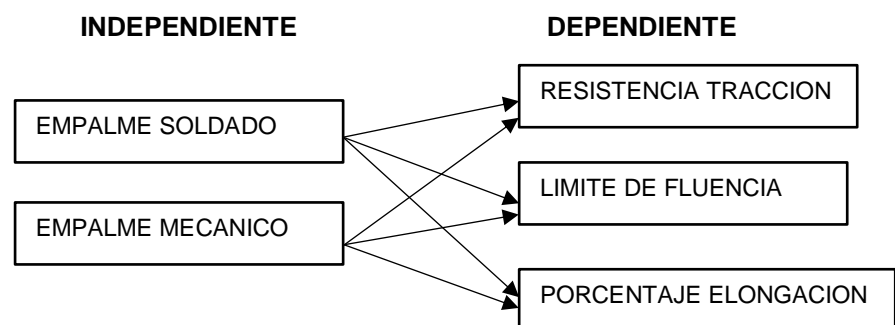
2.7.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Condiciones de Sismorresistencia

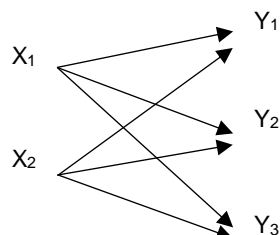
2.8. DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES, DIMENSIONES E INDICADORES

2.8.1. DEFINICION CONCEPTUAL Y OPERACIONAL DE VARIABLES

Esquema de relación causal multivariada



Símbolo



Definición Operacional

VARIABLES	DEFINICION OPERACIONAL
RESISTENCIA A TRACCION	Maquina universal - Mpa
LIMITE DE FLUENCIA	Maquina universal - Mpa
PORCENTAJE ELONGACION	Maquina universal - %

Definición Conceptual

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL
RESISTENCIA A TRACCION	Es la resistencia de un material a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta producir su rotura. Ortiz (2013)
LIMITE DE FLUENCIA	Es el limite que tiene lugar en la zona de transición entre la zona elástica y la zona plástica. Ortiz (2013)
PORCENTAJE ELONGACION	Es el aumento de longitud que experimenta un material cuando se somete a un esfuerzo de tracción. Ortiz (2013)

2.8.2. CUADRO DE VARIABLES, DIMENSIONES E INDICADORES

HIPOTESIS	VARIABLES		DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD
Los empalmes soldados y empalmes mecánicos en barras de acero ASTM A706M Gr.60 para armaduras de concreto armado tienen Condiciones de Sismorresistencia a aceptables según la norma	DEPENDIENTE	Condiciones de Sismorresistencia	Propiedades Mecánicas	Límite de Fluencia	Mpa
				Resistencia a tracción	Mpa
				Dureza	%
	VARIABLES		DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD
	INDEPENDIENTE	Empalmes Soldados	Inspección de la Soldadura	Temperatura Voltaje Amperaje	°C Voltios Amperes

NTP (2009).	E.060		Empalmes Mecánicos	Inspección del Acople	Torque	Kg.cm
----------------	-------	--	-----------------------	--------------------------	--------	-------

III. MARCO TEORICO

3.1. ANTECEDENTES O REVISIÓN DE ESTUDIOS REALIZADOS

Los estudios actuales desarrollado respecto a la línea de investigación en lo referente a la determinación de las características de las uniones soldadas de acero de refuerzo es la siguiente:

A nivel Internacional

Melissa & Cueva (2018) en su tesis de grado, realizan un estudio comparativo sobre los métodos de empalme por traslape, mecánico y soldado; realizaron ensayos a tracción en barras de acero de grado 60 en diámetros de 3/4" y 1", las pruebas de laboratorio se realizaron en el laboratorio Atteco. Los resultados confirmaron con los empalmes mecánicos poseen resistencias de 125% a 150% mayor a los empalmes por traslape, se evidencio también que los empalmes mecánicos son más funcionales debido a que implementarlos resulta más confiable, seguro y resistente. (1)

Alvis & Guerra (2017) en su tesis de grado realizaron un análisis técnico – económico del uso de empalmes mecánicos roscado donde se ensayó un total de 30 probetas a tracción suministrado por un proyecto de estudio, donde se buscó evidenciar que los empalmes cumplían en desarrollar al menos 1.25 fy de la barra. Según el punto de vista de comportamiento mecánico, los conectores mecánicos arrojaron un resultado satisfactorio en un

coeficiente de variación de 3% entre el rango de límite mínimo y límite máximo de resistencia a fluencia establecido por norma. (2)

Massone & Lagos (2010) en su tesis de grado, se sueldan y ensayan un total de 24 barras de acero A630-420H y 18 barras de acero A440-280H repartidas tanto en barras soldadas y no soldadas, en diámetros de 6mm, 9mm y 12mm. La captura de datos se realizó mediante gráficos de curva esfuerzo-deformación entregado por la máquina de ensayos. Las barras se soldaron en laboratorio por un soldador calificado, los ensayos abarcan dos tipos de empalme: empalme a tope y empalme a solapo, estos se llevaron a cabo mediante una maquina universal de 200 tn de capacidad. Los resultados indican que no hay grandes diferencias entre las uniones soldadas y las barras de control en términos de ductilidad y resistencia. Sin embargo, existe evidencia de que las barras con diferente C.E se comportan distintas entre sí. (3)

A nivel Nacional

Hurtado (2011) en su tesis de grado, estudia barras de refuerzo de la marca Belgo 60, que cumple con las normas ASTM A615 y ASTM A706, los diámetros de las barras objeto de estudio fueron: 3/8", 5/8", 3/4" y 1", con un total de 20 muestras. El tipo de junta estudiada fue la junta directa a tope, con soldadura de canal en V simple, posición de soldadura 1G. El estudio tuvo como objetivo, establecer un procedimiento de soldadura para barras corrugadas para concreto armado, se concluyó que estas barras cumplen los requisitos de ambas normas, teniendo la siguiente recomendación: emplear una técnica de soldeo oscilante para garantizar un adecuado aporte de calor, cubrir la unión soldada inmediatamente después de culminar la

soldadura de la junta para reducir la velocidad de enfriamiento y prevenir la formación de martensitas. (4)

Gutierrez (2016) en su tesis de pregrado, se realizó 10 pruebas de estudio en total, cada probeta fue de 50cm de longitud de 1 3/8" de diámetro de barras de acero ASTM A615 de Sider Perú. La captura de datos se realizó mediante gráficos de probabilidad de resistencia. Las 10 uniones soldadas para su respectivo estudio, fueron realizadas por un soldador homologado del área de mantenimiento de Sider Perú. El diseño utilizado fue un diseño unifactorial con 5 repeticiones de la variable posición de soldeo plana (1G) y horizontal (2G), de las cuales se determinó que la posición de soldeo influye significativamente en las propiedades mecánicas de dureza y resistencia a la tracción, siendo la posición 1G la más favorable de las 2 posiciones. (5)

Linares & Morales (2019) en su tesis de grado, se seleccionaron 8 muestras con diámetro de 1 3/8" y longitud de 50cm de barras de soldabilidad garantizada ASTM A706; las probetas fueron soldadas utilizando el proceso de arco con protección gaseosa (GMAW) con soldadura de canal y junta a tope en posición 3G y 4G, para lo cual se evaluaron bajo pruebas de resistencia a la tracción y dureza. Se utilizó un diseño con estímulos diferentes, sin preprueba y con posprueba; el factor fue la posición de soldadura y la variable dependiente fue la soldabilidad evaluada de acuerdo al código AWS D1.4. Los resultados demuestran que hay un efecto significativo de la posición 3G y 4G respecto a la soldabilidad, obteniéndose mejores propiedades en la posición 3G, debido a que en la posición 4G hay un mayor engrosamiento de las estructuras de solidificación debido a un mayor calor de aporte. (6)

A nivel Local

Finalmente, **Rivera & Romero (2016)** en su tesis de pregrado, se prepararon barras corrugadas de soldabilidad no garantizada ASTM A615 de diámetro de 5/8" en 15 juntas a tope y 10 juntas traslapadas, siendo estas ensayadas a tracción, junto a 10 barras de control. La elaboración de la soldadura se realizó en el Instituto de Soldadura de la UNI y los ensayos se realizaron en el Laboratorio de materiales de la PUCP. Para los datos seleccionados se realizó un análisis y diseño de experimentos: Diseño Completamente al Azar (DCA) y Diseño en Bloques; de las cuales se concluyó que las juntas del tipo unión plana en V (V) tienen mejores propiedades mecánicas que las uniones a traslape directo con barras de contacto (TDC). (7)

3.2. BASES TEÓRICAS

Los códigos de construcción para estructuras sismorresistentes exigen altas propiedades mecánicas combinadas con una buena soldabilidad (**Echevarria, Seguro, Pulgarin, Velasquez, & Molina, 1998**). Ejemplo de ello es la normativa peruana NTP E.060, 2009 que indica que el refuerzo de acero longitudinal y transversal en todos los elementos con responsabilidad sísmica será corrugado y deberá cumplir con las disposiciones de ASTM A706M (NTP 339.186: 2008), además la soldadura de estas barras de refuerzo debe realizarse de acuerdo con las especificaciones de "Structural Welding Code – Reinforcing Steel" (ANSI/AWS D1.4, 2018).

Los empalmes soldados y mecánicos se usan generalmente para empalmar varillas de diámetros grandes (3/4" o mayores), siendo obligatorio su uso a partir de 1 3/8".

Empalme Soldado

Un empalme soldado debe desarrollar por lo menos un 25% de incremento del límite de fluencia (f_y), tanto como un valor mínimo de seguridad y un valor máximo por economía. También se conoce que solo se puede empalmar en zonas de mínimo esfuerzo, nunca en zonas de máximo esfuerzo, ni en aquellas que puedan producirse rotulas plásticas, ni a distancias menores a $2d$ de la cara de apoyo (siendo “ d ” el peralte del elemento), tampoco se puede soldar estribos ni elementos de amarre **(ACI 318, 2014)**.

Empalme Mecánico (tipo 1)

Idem empalme soldado.

Empalme Mecánico (tipo 2)

Un empalme mecanico debe desarrollar la resistencia a traccion especificada de las barras empalmadas (f_s). Puede utilizarse en cualquier ubicación incluso a distancias menores a $2d$ de la cara de apoyo (siendo “ d ” el peralte del elemento), son validos para todo refuerzo que se encuentre bajo fuerzas sísmicas, incluyendo estribos (ACI 318, 2014).

Soldabilidad

Según **Yurioka (2001)** la soldabilidad de una unión de barra de refuerzo está representada por la propiedad de ser soldada sin defectos y brindar un comportamiento adecuado durante el servicio. Esta a su vez está relacionada con la templabilidad, que en el campo de la soldadura está representada por el enfriamiento rápido de la soldadura luego del tratamiento térmico. En 1940 Dearden y O'Neil mediante un análisis de conducción de calor en una barra redonda pudieron establecer la relación metalúrgica entre la dureza Vickers (HV) en la ZAC (zona afectada por el calor) y la composición química del acero.

$$HV_{max} = 1200 \times CE \text{ Dearden} - 200$$

$$CE \text{ Dearden} = C + \frac{P}{2} + \frac{Mn}{6} + \frac{Cu}{13} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{5}$$

En la ecuación (1), la dureza máxima en la ZAC está en función del CE Dearden. En la ecuación (2), el CE Dearden está en función de la sumatoria del contenido de elementos de aleación, este es el origen del CE (carbono equivalente) que sirve para evaluar la soldabilidad del acero. El cual fue modificado luego por IIW (Institución Internacional de Soldadura), la cual ha sido utilizada ampliamente en Europa y Estados Unidos.

$$CE \text{ IIW} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cu + Ni)}{15} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5}$$

En Japón la más utilizada fue la de Ito y Bessyo, aplicada también para acero con contenido de carbono $C < 0.18 \text{ wt\%}$

$$PCM = C + \frac{(Mn + Cr + Cu)}{20} + \frac{Si}{30} + \frac{V}{10} + \frac{Mo}{15} + \frac{Ni}{60} + 5B$$

La fórmula de la IIW, se muestra más conservadora que la de Ito y Bessyo, respecto a la tolerancia a los elementos aleantes, debido a que una menor concentración de carbono conlleva a un mejor control de la templabilidad. Actualmente la Norma Peruana NTP 339.108 G60 (2019) que hace referencia a ASTM A706M, evalúa al carbono equivalente con la fórmula propuesta por la AWS D1.1 la cual indica que el carbono equivalente no excederá el 0.55% calculado mediante la siguiente fórmula **(ANSI/AWS D1.1, 2015)**.

$$CE \text{ AWS} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cu}{40} + \frac{Ni}{20} + \frac{Cr}{10} - \frac{Mo}{5} - \frac{V}{10}$$

Además, la AWS ha establecido los criterios de Soldabilidad a través del el Comité D1.1 “Structural Welding Code – Steel” y el Comité D1.4 “Structural Welding Code – Reinforcing Steel” de la AWS.

*De acuerdo al código **AWS D1.1***, se plantea que el límite de dureza cuando se utilice electrodos de bajo hidrogeno para unir barras de refuerzo debe ser de 400 HV y considera que valores inferiores a este, no representan estructuras frágiles, ni agrietamiento en la zona afectada por el calor. Esto se basa en un límite de equilibrio para garantizar la falla dúctil en la unión soldada.

$$HV_{max} < 400$$

*De acuerdo al código **AWS D1.4***, exige que todas las barras de refuerzo unidas por soldadura tengan una resistencia a la tracción por lo menos un 125% del límite de fluencia. Este último criterio fue adoptado por la Norma Peruana E.060 Concreto Armado (2009), para definir el acero de refuerzo para estructuras sismorresistentes.

$$f_{yt} \geq 1.25f_y$$

Acero de refuerzo ASTM A706

La **ASTM A706** define su alcance para barras de sección circular que obtienen por la laminación de palanquillas de acero microaleado de alta ductilidad, precalentado hasta los 1250 °C, con propiedades de fluencia controladas para estructuras sismorresistente y con una composición química para mejorar su soldabilidad.

Estas barras de refuerzo cuentan con resaltes hi-bond de alta adherencia en el concreto, así como también una marca con la letra “W” para indicar la soldabilidad y la designación del límite

elástico del material, es decir Grado 60, que indica una resistencia a la fluencia mínima de 60 ksi (4200 kg/cm²).

Las barras de refuerzo ASTM A706 se utilizan para refuerzo en concreto armado para estructuras sismorresistentes, según lo indica la Norma Peruana E.060 (2009) y la Norma Americana ACI 318-14 (Sección 21). Estas barras se producen en longitudes de 9m a 12m, en los siguientes diámetros:

6mm, 8mm, 3/8", 12mm, 1/2", 5/8", 3/4", 1", 1 1/4" y 1 3/8".

Sus propiedades mecánicas son:

	ASTM A706	ASTM A615
Límite de fluencia (fy):	4200 kg/cm ² (min)	4200 kg/cm ² (min)
Resistencia a tracción (R):	5500 kg/cm ² (min)	6200 kg/cm ² (min)
Relación R/fy > 1.25	Bueno en todos los Φ	Bueno en todos los Φ

Elongación, Lo = 200mm:

	ASTM A706	ASTM A615
3/8", 1/2", 5/8", 3/4"	14% (min)	14% (min)
1", 1 1/4", 1 3/8"	12% (min)	12% (min)
Doblado 180°	Bueno en todos los Φ	Bueno en todos los Φ

Como se puede ver las varillas ASTM A706 tienen mayor ductilidad, pero menor resistencia que la varilla de uso común ASTM A615, a menos que se evalué el desempeño estructural mediante un análisis No-Lineal, esta menor resistencia no influye en el diseño sismorresistente convencional. Ante un sismo severo el tener mayor capacidad de deformación es bueno, pero generalmente cuando las varillas experimentan esa deformación, el daño en los elementos estructurales pudieran ser absorbidos por la capacidad a compresión del concreto. **(Garcia, 2018)**

Proceso de Soldadura SMAW

La soldadura por arco eléctrico de electrodo revestido (SMAW), es el más importante de los procesos de soldadura de fusión y a la vez el más complejo por lo que su desarrollo se produjo de forma más lenta que los demás **(Lancaster, 1987)**.

La factibilidad de este proceso de soldadura surge del descubrimiento de Sir Humphry Dary, en la cual la electricidad podía ser conducida a través del aire entre dos electrodos de carbono, conformando lo que hoy conocemos como descarga gaseosa. Posteriormente en 1885, Bernands y Olszewski patentaron un proceso donde se podía reproducir el mismo fenómeno entre un electrodo de carbono y una pieza metálica, como consecuencia del calor aportado, se lograba una fusión localizada que podía ser utilizado para unir piezas, lo que llevo a la necesidad de un metal de aporte **(Milner, 1968)**.

Inicialmente se utilizaron electrodos de alambre desnudo pero el metal de soldadura resultante contenía altos niveles de hidrogeno, lo cual confería fragilidad al cordón de soldadura, esto llevo a la idea de un recubrimiento protector al electrodo **(Lancaster, 1987)**.

Una técnica desarrollada en Gran Bretaña utilizaba tela impregnada con asbesto alrededor del alambre metálico, proveyendo una mayor protección contra la contaminación, de igual forma en Estados Unidos en ausencia de asbesto se estableció como sustituto fibras de algodón impregnadas con silicato de sodio húmedo, este recubrimiento era capaz de estabilizar el arco, crear una atmosfera protectora contra el oxígeno y el nitrógeno del aire y producir escoria; dando origen al revestimiento moderno **(Milner, 1968)**.

Así la soldadura adquiría un papel importante en la industria de la construcción, esta tendencia ha continuado desde su invención en 1943 del proceso de soldadura con protección por gas inerte los procesos de soldadura se han desarrollado y multiplicado a

gran velocidad, dando como resultado los materiales de aporte utilizados en la actualidad **(Lancaster, 1987)**.

El proceso de soldadura SMAW, se define por un arco eléctrico mantenido en la punta del electrodo y la pieza metálica. Las gotas de metal líquido, son transferido a través del arco y convertidos en el cordón de soldadura, un escudo protector de gases es producido por la descomposición del material fundente que cubre el electrodo y a su vez funciona como complemento de aleación, la escoria derretida se adhiere al cordón de soldadura durante la solidificación, la cual debe ser removida después de cada procedimiento **(Franco & Estrella, 2009)**.

Transferencia de calor

En el proceso de soldadura por fusión, la transferencia de calor conlleva a rápidos calentamiento y fusión y a una vigorosa circulación del material fundido. En la pileta líquida el material fundido circula por agitación y es controlado por la gradiente de tensión superficial y por las fuerzas electrogénicas **(Debroy & David, 1995)**.

La transferencia de calor y el flujo del fluido resultante, afecta la distribución de temperatura del metal base, la forma y tamaño de la pileta líquida, el proceso de solidificación, la velocidad de enfriamiento y las cinéticas de transformación en estado sólido en el metal de soldadura y en la zona afectada por el calor **(Ibid, pp.85)**. Por lo que la predicción y control de la temperatura, la velocidad de circulación del fluido de la pileta líquida y la velocidad de enfriamiento, son esenciales para asegurar la calidad de la soldadura con la geometría deseada, la composición química y la microestructura, así como también las bajas tensiones residuales y distorsiones **(AWS, 2001)**.

Dado que la medición de las temperaturas superficiales, dentro de la pileta líquida o en las zonas que se mantiene en estado sólido

es complejo y además costoso se suele utilizar métodos de modelado numérico que permitan aportar información de la transferencia de calor durante la soldadura de fusión. En toda soldadura solo una fracción de la energía, es realmente absorbida por el metal base, la eficiencia del arco es un parámetro muy importante para la medición de la transferencia de calor durante los procesos de soldadura por arco eléctrico (**Ibid, Vol. 1**).

Microestructura de solidificación

En la soldadura a medida que la fuente de calor interactúa con el metal base, la severidad del ciclo térmico va variando de zona a zona, pudiendo identificarse tres regiones principales en la soldadura. Estos son el metal base (capa superior martensítica, zona intermedia bainítica y zona central ferrito perlítica); la zona afectada por el calor (de grano grueso, de grano fino, zona intercrítica y subcrítica) y la zona de soldadura (**Echevarria, Seguro, Pulgarin, Velasquez, & Molina, 1998**).

Metal base

- Zona martensítica: Dependiendo del diámetro de la varilla varia de 1.5mm (en 1/2") a 4.0mm (1 1/4"). En ella se observa listones de martensita revenida de bajo carbono.
- Zona bainítica: Contiene martensita, bainita y ferrita. Hacia el centro más ferrita y hacia la superficie más martensita.
- Zona perlítica: Contiene cantidades de variables de bainita, perlita y ferrita, no formándose martensita en el centro.

Zona afecta por el calor

- ZAC – Zona de grano grueso: Por lo general mientras mayor sea la temperatura alcanzada, mayor es el diámetro del grano austenítico final. La microestructura puede variar de bainita y

pequeñas cantidades de ferrita a una estructura de ferrita Widdmanstätten más bainita.

- ZAC – Zona de grano fino: Corresponde a la zona cuya temperatura de austenización está cerca de 810°C. Tiene una estructura muy fina y está asociada a una buena tenacidad. La estructura obtenida es de bainita y trazas de ferrita.
- ZAC – Zona Intercrítica: Corresponde a la zona de temperaturas de austenización en el intervalo entre 730°C y 810°C. La estructura final consiste en ferrita y productos de transformación de la austenita residual: bainita o en ocasiones perlita.
- ZAC – Zona subcrítica: Corresponde a la zona de temperaturas, entre 600°C y 730°C y presenta la globalización de los carburos. Casi no se observa esta zona en las microestructuras obtenidas a partir de las capas martensíticas y bainíticas.

Zona de la soldadura

Se distingue de la zona afectada por el calor por su aspecto columnar. Y tiene como característica principal que sus granos están orientados hacia la línea central de la soldadura y se delinean por regiones centrales de ferrita proeutectoide. Su microestructura está constituida por ferrita proeutectoide (delinean los granos austeníticos previos) y ferrita acicular (hacia el centro de los granos) (**ibid, pp.19**).

3.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Cordón de soldadura. - una soldadura resultante de un pase.

Junta a tope. - una junta entre dos miembros alineados aproximadamente en el mismo plano.

Metal base. - el metal o aleación que es soldado o cortado

Metal de aporte. - un metal o aleación a ser adicionada cuando se realiza una junta soldada.

Pase de refuerzo. - un pase de soldadura hecho para una soldadura de refuerzo.

Pre calentamiento. - la aplicación de calor al material base inmediatamente antes de la soldadura o corte.

Raíz de la junta. - aquella porción de una junta a ser soldada donde los miembros se aproximan lo más cerca posible.

SMAW. - un proceso de soldadura por arco, con un arco entre un electrodo revestido y el charco de soldadura.

Soldabilidad. - la capacidad de un material para ser soldado bajo condiciones de fabricación.

Temperatura entre pases. - en una soldadura de múltiples pasadas, la temperatura del área de soldadura entre pases de soldadura.

WPS. - los métodos detallados y practicas incluyendo todos los procedimientos de soldadura de unión involucrados en la producción del elemento soldado.

ZAC (Zona afecta por el calor). - la porción del metal base cuyas propiedades mecánicas y microestructura han sido alteradas por el calor de soldadura.

Zona de fusión. - el área del metal base fundido como se determina en la sección transversal de una soldadura.

IV. METODOLOGIA O MARCO METODOLOGICO

4.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

4.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Investigación Cuantitativa

4.1.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Investigación Explicativa

4.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN - ESQUEMA DE INVESTIGACIÓN

Investigación Experimental: Diseño factorial con dos factores

Procedimiento experimental:

El procedimiento del empalme soldado se desarrolló de acuerdo a las especificaciones de la norma ANSI/AWS D1.4M:2018, el proceso de soldadura será soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW), se ejecutara la soldadura de las muestras seleccionadas mediante un operador soldador homologado en la unión descrita, se determinó la temperatura de precalentamiento (10°C) de acuerdo a norma, el material de aporte adecuado es el E-8018 de 1/8" (el diámetro del electrodo se define según la sección a soldar para una mayor penetración y deposición), se ha elaborado el procedimiento de soldadura en posición plana (1G), para el tipo de unión plana en V (V), recomendada por los especialistas.

El procedimiento del empalme mecánico se desarrolló de acuerdo a las especificaciones de la norma ACI 349, ACI 359/ASME III, se utilizarán conectores mecánicos tipo 02 de rosca cónica, los cuales serán acoplados y ajustados con llave inglesa.

Las barras serán de 50cm de longitud y de diámetros 3/4", 1" y 1 3/8", las variables que se modificaran son los empalmes de las

barras de acero ASTM A706M de Grado 60 (empalme soldado, empalme mecánico) y la variable dependiente será las condiciones de sismorresistencia, evaluada a través de la resistencia a la tracción, ductilidad y dureza. El total de ensayos es de 36 muestras (18 de empalmes soldados ASTM A706M y 18 de empalmes mecánicos ASTM A706M).

4.3. DETERMINACIÓN DEL UNIVERSO/POBLACIÓN

Para la presente investigación, la población objeto de estudio, se estableció como una población de tipo finita, tomando en cuenta los objetivos y los recursos disponibles, estando conformado por las barras de construcción, electrodos y conectores mecánicos distribuidos dentro de la región Ucayali y aceptados por las normativas vigentes.

4.4. MUESTRA

La selección de la muestra se realizó por un muestreo intencional o de conveniencia, que se ajustan a los objetivos de estudio para lo cual se tomaron en base a cuatro parámetros

- Riesgo sísmico del Perú
- Zonificación sísmica
- Cantidad de edificaciones
- Volumen de ventas

DIAMETRO VARILLA	TIPO EMPALME	REPETICION	L.FLUENCIA (fy)	R. TRACCION (fyt)	ELOGACION (%)	SUB TOTAL
3/4"	E. SOLDADO	R-1	1	1	1	3
		R-2	1	1	1	3
	E. MECANICO	R-1	1	1	1	3
		R-2	1	1	1	3
1 "	E. SOLDADO	R-1	1	1	1	3
		R-2	1	1	1	3
	E. MECANICO	R-1	1	1	1	3
		R-2	1	1	1	3
1 3/8"	E. SOLDADO	R-1	1	1	1	3
		R-2	1	1	1	3
	E. MECANICO	R-1	1	1	1	3
		R-2	1	1	1	3
TOTAL DE UNIDADES EXPERIMENTALES						36

4.5. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS

4.5.1. FUENTES, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

En el presente estudio, se emplearán una serie de técnicas, instrumentos y métodos de recolección, procesamiento y análisis de datos, orientadas de manera esencial a alcanzar los fines propuestos por los objetivos.

Para la calificación de los empalmes soldados se realizará según ANSI/AWS D1.4, se utilizarán Check-list de inspección antes, durante y después de realizar la unión soldada.

Para la calificación de los empalmes mecánicos se realizará según ACI 349, ACI 359/ASME III, se utilizarán Check-list de inspección antes, durante y después de realizar la unión.

4.5.2. PROCESAMIENTO Y PRESENTACIÓN DE DATOS

Los datos serán procesados haciendo uso del paquete estadístico SPSS para Windows 10 y los resultados se presentarán en tablas y gráficos haciendo uso de la estadística paramétrica (Análisis de Varianza Univariante) y estadística no paramétrica (prueba de Kolmogórov-Smirnov).

V. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS Y PRESUPUESTALES

5.1. POTENCIAL HUMANO

Pago por recursos humanos	=s/4,200.00
---------------------------	-------------

5.2. RECURSOS MATERIALES

Pago total de materiales	=s/4,550.00
--------------------------	-------------

5.3. RECURSOS FINANCIEROS

Costo total de la tesis	=s/8,750.00
-------------------------	-------------

5.4. CRONOGRAMA GANTT

N°	DENOMINACION	TIEMPO EN MESES											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	Diseño y elaboración del proyecto de tesis.												
2	Presentación del proyecto de tesis.												
3	Aprobación del proyecto de tesis.												
4	Elaboración del proyecto de tesis.												
5	Elaboración de los instrumentos de investigación.												
6	Procesamiento y análisis de datos.												
7	Redacción del informe final.												
8	Revisión y reajuste del informe final.												
9	Presentación del informe final.												
10	Aprobación del informe final.												

5.5. PRESUPUESTO

PARTIDAS	DESCRIPCION	UNIDAD	CANT.	P.U.	TOTAL
1. RECURSOS HUMANOS					
1.1.	Digitador	SERVICIO	1	400.00	400.00
1.2.	Personal de laboratorio	SERVICIO	1	600.00	600.00
1.3.	Gastos por los servicios de asesoría por especialistas	SERVICIO	1	1,000.00	1,000.00
1.4.	Movilidad Local	SERVICIO	1	200.00	200.00
1.5.	Pasajes y viáticos a la ciudad de Lima	SERVICIO	1	2000.00	2000.00
2. RECURSOS MATERIALES					
2.1.	Elaboración y aprobación del proceso de soldadura UNI	SERVICIO	1	500.00	500.00
2.2.	Ensayos de laboratorio de Materiales PUCP	SERVICIO	1	3200.00	3200.00
2.3.	Preparación de las Probetas de ensayo	UND.	1	850.00	850.00
TOTAL PRESUPUESTO (S/)					8,750.00

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ACI 318. (2014). Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural.
2. Alvis Fonseca, D., & Guerra Bejarano, J. (2017). Analisis tecnico, economico y constructivo del uso de empalmes mecanicos roscado en edificaciones. *Tesis de Grado, Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas*.
3. ANSI/AWS D1.1. (2015). *Structural Welding Code - Steel*.
4. ANSI/AWS D1.4. (2018). *Structural Welding Code - Steel Reinforcing Bars* (Octava ed.).
5. ASTM A706/ A706M-13. (2015). *Standard Specification for Low-Alloy Steel Deformed and Plain Bars for Concrete Reinforcement*.
6. AWS. (2001). *Welding Handbook* (9 ed., Vol. 1).
7. Dearden, J., & O'Neil, H. (1940). *Trans. Int. Weld* (Vol. 3).
8. Debroy , T., & David, S. (1995). *Physical processes of fusion welding, Reviews of Modern Physics*.
9. Easterling, K. (1983). *Introduction to the Physical Metallurgy of Welding*. Londres.
10. Echevarria, A., Seguro, R., Pulgarin, F., Velasquez, C., & Molina, R. (1998). Soldabilidad del Acero de Refuerzo Estructural para aplicaciones Sismoresistentes fabricado por Simesa. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*(17), 14-24.
11. Franco, R., & Estrella, J. (2009). Soldabilidad de varillas con resaltes de acero al carbono laminadas en caliente para hormigon armado.
12. Garcia, A. (2018). Comparacion entre varillas de acero A706 Gr.60 y A615 Gr.60. ASCE.
13. Gonzales, M., & Cueva Florian, P. (2018). Estudio comparativo entre empalmes por traslape y empalmes mecanicos utilizados en elementos de hormigon armado. *Tesis de Grado, Universidad Nacional Pedro Henriquez Ureña*.
14. Gutierrez , S. (2016). Efectos de la posicion de Soldeo sobre la dureza, resistencia a la traccion y ductilidad en la union soldada del acero ASTM A615 mediante proceso SMAW. *Tesis de Grado, Universidad Nacional de Trujillo*.

15. Harmsen, T. (2005). *Diseño de estructuras de concreto* (Cuarta ed.). Pontificia Universidad Católica del Perú.
16. Hawileh, R., Rahman, A., & Tabatabai, H. (2010). Evaluation of the Low-Cycle Fatigue Life in ASTM A706 and A615 Grade 60 Steel Reinforcing Bars. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22(1), págs. 65-76.
17. Hernadez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodologia de la Investigacion* (6ta ed.). Mexico, DF: McGraw-Hill.
18. Hurtado, R. (2011). Estudio de la Soldabilidad de barras corrugadas de acero para concreto reforzado Belgo 60. *Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica del Perú*.
19. INEI. (2019). Avance Coyuntural de la Actividad Económica. *Informe Técnico*.
20. Lancaster, J. (1987). *Welding Metallurgy* (4 ed.). Londres: Allen & Unwin.
21. Linares, S., & Morales, G. (2019). Efectos de la posición de soldeo 3G y 4G en la soldabilidad de acero ASTM A706 soldadas mediante proceso por arco con protección gaseosa. *Tesis de Grado, Universidad Nacional de Trujillo*.
22. Massone, L., & Lagos, R. (2010). Efectos de la Soldadura en empalmes de acero de refuerzo, para hormigón armado. *Tesis de Grado, Universidad de Chile*.
23. MEF. (2019). Plan Nacional de Infraestructura para la Competitividad.
24. Milner, R. (1968). *Introduction to Welding and Brazing* (1 ed.). Oxford: Pergamon Press.
25. Naranjo, C., Ojeda, H., & Saquina, D. (2015). Evaluación de las Condiciones de Sismoresistencia y Soldabilidad de varillas de refuerzo de concreto enteras y al ser empalmadas mediante soldadura. *En Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE*, 10(1), 142-147.
26. Norma Técnica Peruana E.030. (2019). Diseño Sismorresistente.
27. Norma Técnica Peruana E.060. (2009). Concreto Armado.

28. Rivera, W., & Romero, P. (2016). Estudio de la Soldabilidad de barras corrugadas de acero NTP 341.031 de 5/8", en juntas traslapadas y a tope, para concreto armado. *Tesis de Grado, Universidad Nacional Hermilio Valdizan.*
29. Yurioka, N. (2001). *Physical Metallurgy of Steel Weldability*. Technical Development Bureau, Nippon Steel Corporation, Shintomi, Futtsu, ISIJ International.

MATRIZ DE CONSISTENCIA DEL PROYECTO DE TESIS

TITULO: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE EMPALMES SOLDADOS Y EMPALMES MECÁNICOS EN BARRAS DE ACERO ASTM A706M GR. 60, PARA ARMADURAS DE CONCRETO ARMADO EN ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTES, PUCALLPA – 2021

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLES		DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	UNIDAD
¿Cuáles son las Condiciones de Sismorresistencia en empalmes soldados y empalmes mecánicos en barras de acero ASTM A706M Gr.60 para armaduras de concreto armado?	Analizar y Evaluar las Condiciones de Sismorresistencia en empalmes soldados y empalmes mecánicos en barras de acero ASTM A706M Gr.60 para armaduras de concreto armado.	Los empalmes soldados y empalmes mecánicos en barras de acero ASTM A706M Gr.60 para armaduras de concreto armado tienen Condiciones de Sismorresistencia aceptables según la norma NTP E.060 (2009).	DEPENDIENTE	Condiciones de Sismorresistencia	Propiedades Mecánicas	Límite de Fluencia	Maquina Universal	Mpa
						Resistencia a tracción		Mpa
						Elongación		%
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICAS	VARIABLES		DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	UNIDAD
1. ¿Cuál es la Resistencia a la Tracción en empalmes soldados de barras de acero ASTM A706M Gr.60 con electrodos de bajo hidrogeno de tipo E-8018, mediante el proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW)?	1. Analizar y Evaluar la Resistencia a la Tracción en empalmes soldados de barras de acero ASTM A706M Gr.60 con electrodos de bajo hidrogeno de tipo E-8018, mediante el proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW).	1. Los empalmes soldados de barras de acero ASTM A706M Gr.60 con electrodos de bajo hidrogeno de tipo E-8018, mediante proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW) tienen una Resistencia a la Tracción aceptable según la norma NTP E.060 (2009).	INDEPENDIENTE	Empalmes Soldados	Inspección de la Soldadura	Temperatura Voltaje Amperaje	Tiza termica Voltímetro Amperímetro	°C Voltios Amperes
				Empalmes Mecánicos	Inspección del Acople	Torque	Torquímetro	Kg.cm