

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



## FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

### MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

---

**TEMA:** “Estudio del proceso de soldadura del sistema de anclaje placa base-varilla, y su incidencia en las propiedades mecánicas de una edificación de cuatro plantas de una estructura metálica”

---

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del título de cuarto nivel de Magister en  
Ingeniería Civil con Mención en Estructuras Metálicas

**Modalidad de titulación:** Proyecto de titulación con componentes de Investigación  
Aplicada y/o de Desarrollo.

**Autor:** Ing. Janneth Alexandra Mayanza Balla

**Director:** Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas, Mg.

Ambato – Ecuador

2024

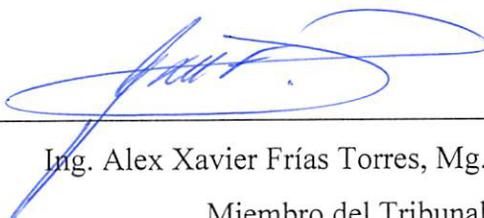
A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

El Tribunal receptor del Trabajo de Titulación, presidido por: Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg., e integrado por los señores: Ing. Alex Xavier Frías Torres, Mg. e Ing. José Luis Yunapanta Velastegui, Mg. designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “ESTUDIO DEL PROCESO DE SOLDADURA DEL SISTEMA DE ANCLAJE PLACA BASE – VARILLA, Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA EDIFICACIÓN DE CUATRO PLANTAS DE UNA ESTRUCTURA METÁLICA”, elaborado y presentado por la señora, Ing. Janneth Alexandra Mayanza Balla, para optar por el Título de cuarto nivel de Magíster en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras Metálicas; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación, el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la Universidad Técnica de Ambato.



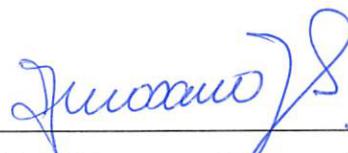
---

Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg.  
Presidente y Miembro del Tribunal



---

Ing. Alex Xavier Frías Torres, Mg.  
Miembro del Tribunal

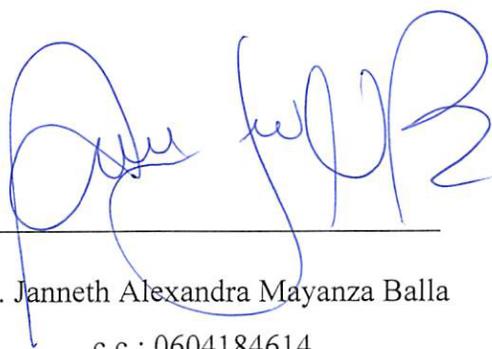


---

Ing. José Luis Yunapanta Velastegui, Mg.  
Miembro del Tribunal

## AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

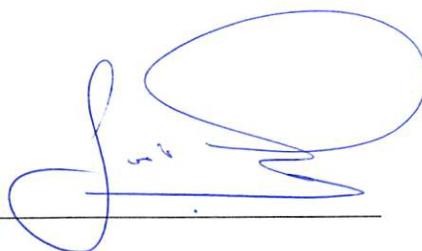
La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación, presentado con el tema: ESTUDIO DEL PROCESO DE SOLDADURA DEL SISTEMA DE ANCLAJE PLACA BASE – VARILLA, Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA EDIFICACIÓN DE CUATRO PLANTAS DE UNA ESTRUCTURA METÁLICA, le corresponde exclusivamente a: Ing. Mayanza Balla Janneth Alexandra, Autora bajo la dirección del Ing. Paredes Salinas Juan Gilberto, Mg., Director del Trabajo de investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Janneth Alexandra Mayanza Balla

c.c.: 0604184614

**AUTOR**



Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas, Mg.

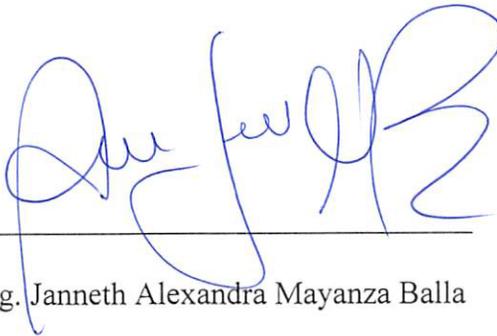
c.c.: 1803683174

**DIRECTOR**

## DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato para que el Trabajo de Titulación sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.



---

Ing. Janneth Alexandra Mayanza Balla

c.c.: 0604184614

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica .....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR .....	iv
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
DEDICATORIA .....	xiv
AGRADECIMIENTO .....	xv
RESUMEN EJECUTIVO .....	xvii
EXECUTIVE SUMMARY.....	xix
CAPÍTULO I.....	1
EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN .....	1
1.1.    Introducción .....	1
1.2.    Justificación.....	3
1.3.    Objetivos .....	4
1.3.1.    General .....	4
1.3.2.    Específicos .....	4
CAPÍTULO II .....	6
ANTECEDENTES.....	6

2.1.	Antecedentes .....	6
2.2.	Fundamentación teórica .....	7
2.2.1.	Sistema de anclaje placa base - varilla .....	7
2.2.1.1.	Placa de anclaje .....	7
2.2.1.2.	Sistemas de anclaje .....	7
2.2.1.3.	Sistemas de conexiones de placa base para edificaciones de acero .....	13
2.2.1.4.	Diseño de la placa de anclaje .....	14
2.2.1.5.	Consideraciones de diseño .....	14
2.2.1.6.	Procesos de soldadura en las conexiones de placa base.....	14
	Soldadura SMAW .....	15
	Soldadura FCAW .....	16
2.2.1.7.	Electrodos en procesos de soldadura para sistemas de anclaje .....	18
	Electrodo E71T-1C para proceso FCAW .....	18
	Electrodo E7018 para proceso SMAW .....	19
2.2.2.	Propiedades mecánicas en las conexiones de placa base .....	19
2.2.2.1.	Acero estructural .....	19
	Ventajas del acero estructural .....	20
	Desventajas del acero estructural .....	20
2.2.2.2.	Propiedades mecánicas.....	21
2.2.2.3.	Pruebas y Ensayos.....	21
	Ensayo de tracción .....	22
	Ensayo de metalografía .....	23
	Macrografía .....	24

2.2.3.	Factores que afectan las propiedades mecánicas .....	24
2.2.3.1.	Mecanismos de falla en las conexiones de placa base .....	24
2.2.3.2.	Factores que afectan la probabilidad de falla.....	25
2.2.3.3.	Prevención de la falla .....	25
CAPÍTULO III .....		27
MARCO METODOLÓGICO .....		27
3.1.	Ubicación .....	27
3.2.	Equipos y materiales .....	27
3.2.1.	Equipos: .....	27
3.2.2.	Materiales:.....	27
3.2.3.	Programas: .....	27
3.2.4.	Normativas: .....	28
Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC).....		28
AISC 341.....		28
AISC 360.....		28
ASTM A 706.....		29
ASTM A 572.....		29
3.3.	Tipo de investigación .....	30
Exploratoria:.....		30
Descriptiva: .....		30
Experimental: .....		30
3.4.	Operacionalización de variables .....	30
3.5.	Prueba de hipótesis.....	32

3.6.	Población o muestra .....	32
3.7.	Recolección de información.....	32
3.8.	Procesamiento de la información y análisis estadístico .....	32
3.9.	Variables de respuesta.....	32
3.10.	Diagrama de flujo del proceso de investigación .....	33
3.11.	Técnicas.....	33
3.12.	Especificaciones del Proceso de Soldadura (WPS) .....	34
3.13.	Parámetros de soldadura .....	35
3.13.1.	Voltaje.....	35
3.13.2.	Velocidad de alambre.....	35
3.13.3.	Caudal de gas .....	36
3.13.4.	Soldadura de Placa mediante proceso FCAW. ....	37
3.13.5.	Soldadura de Placa mediante proceso SMAW.....	38
CAPÍTULO IV .....		40
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		40
4.1.	Diseño del edificio de cuatro plantas en estructura metálica .....	40
4.1.1.	Cargas no sísmicas .....	41
4.1.2.	Cargas sísmicas .....	42
4.1.3.	Secciones o perfiles estructurales seleccionados .....	43
4.1.4.	Análisis estático lineal.....	45
4.1.5.	Análisis modal espectral .....	51
4.1.6.	Diseño de la placa base .....	60
4.2.	Propiedades mecánicas de la junta que conforma el sistema de anclaje placa	

de base - varilla .....	62
4.2.1.    Resultados de ensayos destructivos y no destructivos .....	62
CAPÍTULO V .....	79
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	79
5.1.    Conclusiones .....	79
5.2.    Recomendaciones.....	81
BIBLIOGRAFÍA .....	82

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Información específica del electrodo E71T-1C .....	18
Tabla 2. Propiedades mecánicas del electrodo E71T-1C.....	18
Tabla 3. Parámetros de soldadura recomendado del electrodo E71T-1C .....	18
Tabla 4. Información específica del electrodo E7018.....	19
Tabla 5. Descripción de propiedades del electrodo E-7018.....	19
Tabla 6. Esfuerzos principales y porcentajes de elongación del acero ASTM 706 ...	29
Tabla 7. Propiedades mecánicas del ASTM A 572. ....	29
Tabla 8. Operacionalización de la variable dependiente “Propiedades mecánicas de una edificación de estructura metálica de cuatro plantas” .....	31
Tabla 9. Operacionalización de la variable independiente “Estudio del proceso de soldadura del sistema de anclaje placa base – varilla” .....	31
Tabla 10. Valores recomendados de voltaje, velocidad de alimentación del alambre [39] .....	35
Tabla 11. Posiciones de soldadura según el tipo de junta [21]. ....	36
Tabla 12. Cargas vivas consideradas para el diseño del edificio [40]. ....	41
Tabla 13. Sobrecarga de acabados considerada para el diseño del edificio [40]. .....	41
Tabla 14. Datos para el cálculo del espectro sísmico de diseño .....	42
Tabla 15. Cálculo del cortante basal de diseño y el coeficiente de cortante estático.	45
Tabla 16. Cortante basal estático obtenido en el análisis estático lineal.....	46
Tabla 17. Deriva inelástica de piso máxima en el eje X .....	47
Tabla 18. Deriva inelástica de piso máxima en el eje Y .....	48
Tabla 19. Desplazamientos de piso en el eje X.....	49
Tabla 20. Desplazamientos de piso en el eje y.....	50

Tabla 21. Distribución de fuerzas laterales en dirección X .....	51
Tabla 22. Distribución de fuerzas laterales en dirección Y .....	52
Tabla 23. Corrección del cortante basal dinámico en los ejes X e Y.....	53
Tabla 24. Modos de vibrar y periodos .....	54
Tabla 25. Participación de masa modal.....	55
Tabla 26. Cálculo de la participación de masa modal.....	56
Tabla 27. Derivas de piso en el eje X obtenidas en el análisis modal espectral .....	56
Tabla 28. Derivas de piso en el eje Y obtenidas en el análisis modal espectral .....	57
Tabla 29. Desplazamientos del eje X obtenidos en el análisis modal espectral .....	58
Tabla 30. Desplazamientos del eje Y obtenidos en el análisis modal espectral .....	59
Tabla 31. Propiedades geométricas de la placa base y sus anclajes.....	61
Tabla 32. Tipos de ensayos para la calificación del procedimiento de soldadura [21] .....	62
Tabla 33. Resultados del ensayo de tracción de los especímenes de prueba M01 y M02 con proceso de soldadura FCAW.....	63
Tabla 34. Resultados del ensayo de tracción de los especímenes de prueba M03 y M04 con proceso de soldadura SMAW.....	65
Tabla 35. Resultados del ensayo de tracción de los especímenes de prueba M05 y M06 con proceso de soldadura SMAW.....	67
Tabla 36. Relación $F_u/F_y$ obtenida en todos los especímenes de prueba. ....	69
Tabla 37. Criterio de aceptación para el ensayo de macrografía. ....	70
Tabla 38. Resultados del ensayo del ensayo de macrografía probeta FCAW MCR171	
Tabla 39. Resultados del ensayo del ensayo de macrografía probeta FCAW MCR272	
Tabla 40. Resultados del ensayo del ensayo de macrografía probeta SMAW MCR1 .....	73

Tabla 41. Resultados del ensayo del ensayo de macrografía probeta SMAW MCR2 .....	74
Tabla 42. Resultados del ensayo del ensayo de macrografía probeta SMAW MCR3 .....	75
Tabla 43. Resultados del ensayo del ensayo de macrografía probeta SMAW MCR4 .....	76
Tabla 44. Aceptación o Rechazo - Ensayos de macrografía .....	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Placas de base de columnas .....	14
Figura 2. Proceso de Soldadura SMAW [28] .....	15
Figura 3. Soldadura FCAW [29].....	16
Figura 4. Construcción en acero estructural.....	20
Figura 5. Ensayo de tracción.....	22
Figura 6. Curva de ensayo a tracción (Esfuerzo- Deformación) [34] .....	23
Figura 7. Diagrama de flujo del proceso de investigación de las variables dependiente e independiente.....	33
Figura 8. Proceso de corte de varillas .....	34
Figura 9. Corte de la placa base de 25 mm de espesor con la técnica de oxicorte.....	34
Figura 10. Equipo de soldadura Lincoln Electric.....	36
Figura 11. Grata metálica para limpieza de superficie.....	37
Figura 12. Escuadra y hacer referencia a ángulo de 90° .....	38
Figura 10. FCAW junta a tope penetración parcial.....	38
Figura 14. Soldadura SMAW en la placa base-varilla.....	39
Figura 15. Espectro de diseño basado en aceleracion NEC-SE-DS-2015 .....	43
Figura 16. Geometría de sección de las columnas metálicas diseñadas. ....	43
Figura 17. Geometría de sección de las vigas principales tipo I diseñadas. ....	44
Figura 18. Geometría de sección de las vigas principales tipo I diseñadas. ....	45
Figura 19. Gráfica de fuerzas laterales por piso en el EJE X.....	51
Figura 20. Gráfica de fuerzas laterales por piso en el EJE Y.....	52

Figura 21. Tercer modo de vibrar de la estructura. ....	55
Figura 22. Primer modo de vibrar de la estructura.....	59
Figura 23. Segundo modo de vibrar de la estructura .....	60
Figura 24. Geometría de la placa base y disposición de las varillas de anclaje.....	60
Figura 25. Curva de esfuerzo deformación del espécimen de ensayo M01.....	64
Figura 26. Curva de esfuerzo deformación del espécimen de ensayo M02.....	64
Figura 27. Curva de esfuerzo deformación del espécimen de ensayo M04.....	66
Figura 28. Curva de esfuerzo deformación del espécimen de ensayo M04.....	66
Figura 29. Curva de esfuerzo deformación del espécimen de ensayo M0.....	68
Figura 30. Diagrama de resultados obtenidos de propiedades mecánicas. ....	68
Figura 31. Diagrama de relación $F_u^*/F_y^*$ . ....	70

## **DEDICATORIA**

Este logro va dedicado a mi familia mi esposo y mi hija, siendo vosotros las personas más importantes que hay en la vida.

A mi papi, mami, hermanos, abuelitos y mis tíos quienes son la motivación más grande día a día, el logro es suyo.

Una dedicación especial para ti niño Cesar Balla, sé que algún día nos volveremos a encontrar. Un abrazo de gol hasta el cielo.

**Janneth Alexandra Mayanza Balla**

## **AGRADECIMIENTO**

El presente trabajo producto de un gran esfuerzo y contribución especial de las personas indispensables en mi vida.

A mi madre María Balla, quien siempre me ha brindado su cariño.

A mi esposo Orlando Pilamunga, por su amor, paciencia y apoyo incondicional.

A mis hermanos Paúl, Mateo y Samy, por las palabras de aliento.

A mis suegros Maria y Manuel por la ayuda brindada a lo largo de toda la maestría.

A ti mi Hija Alejandra, mi gran inspiración para alcanzar este gran logro.

Al Ing. Marisol Bayas, Mg. Directora Académica Cohorte 2021, por estar pendiente de este proceso, quien me acompañó con su atención y ánimo para la culminación de la maestría.

Al Ing. Juan Paredes por los consejos y el apoyo brindado desde el comienzo de la investigación.

Y un profundo agradecimiento a demás familiares, amigos y compañeros que de una u otra forma han contribuido a que esta investigación se lleve a cabo.

**Janneth Alexandra Mayanza Balla**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS  
METÁLICAS**

**TEMA:**

“ESTUDIO DEL PROCESO DE SOLDADURA DEL SISTEMA DE ANCLAJE PLACA BASE – VARILLA, Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA EDIFICACIÓN DE CUATRO PLANTAS DE UNA ESTRUCTURA METÁLICA”

**MODALIDAD DE TITULACIÓN:** Proyecto de titulación con componentes de Investigación Aplicada y/o de Desarrollo

**AUTORA:** Ing. Janneth Alexandra Mayanza Balla

**DIRECTOR:** Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas, Mg.

**FECHA:** Quince de abril 2024

**RESUMEN EJECUTIVO**

En el contexto nacional de Ecuador, donde la construcción y el desarrollo urbano son fundamentales para el crecimiento económico y social, surge la necesidad de investigar y comprender a fondo el proceso de soldadura del sistema de anclaje placa base – varilla y su impacto en las propiedades mecánicas de las edificaciones de estructura metálica. La seguridad y durabilidad de las construcciones son aspectos primordiales para garantizar la protección de vidas y bienes, así como para impulsar la confianza en la infraestructura del país.

La metodología aplicada en esta investigación abarcó el diseño estático lineal y el modal espectral, utilizando normativas como AISC 360-16 y NEC 2015 para obtener reacciones que permitieran el diseño adecuado de la placa base. Además, se empleó el ensayo de inspección visual de macrografía para evaluar la calidad de la soldadura y

sus efectos en las propiedades mecánicas. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios en cuanto a la geometría de la placa base y el proceso de soldadura anclaje-varilla y los ensayos realizados, lo que indica una adecuada integridad estructural, que es capaz de resistir adecuadamente la carga generada en las columnas de un edificio de 4 pisos, transmitiendo adecuadamente las fuerzas y momentos al pedestal de hormigón y a la estructura de cimentación.

Este estudio resalta la importancia de garantizar la calidad del proceso de soldadura en las estructuras metálicas, especialmente en elementos críticos como el sistema de anclaje placa base – varilla.

Como resultado de esta investigación, se sugiere la implementación de análisis más detallados sobre el comportamiento mecánico de las soldaduras en condiciones de carga real, así como la evaluación periódica de la integridad estructural en edificaciones similares. Queda pendiente profundizar en la influencia de variables adicionales, como el ambiente operativo y la calidad de los materiales, para fortalecer aún más la seguridad y confiabilidad de las construcciones metálicas en Ecuador.

**DESCRIPTORES:** ANCLAJES DE ACERO, ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS, ESTRUCTURAS METÁLICAS, PLACA BASE, SOLDADURA.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS**  
**METÁLICAS**

**THEME:**

"STUDY OF THE WELDING PROCESS OF THE ANCHORING SYSTEM BASE PLATE - ROD, AND ITS IMPACT ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF A FOUR-STOREY BUILDING OF A METALLIC STRUCTURE".

**TITULATION MODALITY:** Degree project with Applied Research and/or Development components.

**AUTHOR:** Ing. Janneth Alexandra Mayanza Balla

**DIRECTOR:** Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas, Mg.

**DATE:** April fifteen, 2024

**EXECUTIVE SUMMARY**

In the national context of Ecuador, where construction and urban development are fundamental for economic and social growth, the need arises to investigate and understand in depth the welding process of the base plate - rod anchorage system and its impact on the mechanical properties of metal structure buildings. The safety and durability of buildings are essential aspects to ensure the protection of lives and property, as well as to boost confidence in the country's infrastructure.

The methodology applied in this research included linear static and spectral modal design, using standards such as AISC 360-16 and NEC 2015 to obtain reactions that would allow the adequate design of the base plate. In addition, the macrograph visual inspection test was used to evaluate the weld quality and its effects on the mechanical

properties. The results obtained were satisfactory in terms of the geometry of the base plate and the anchor-rod welding process and tests performed, indicating adequate structural integrity, which is capable of adequately resisting the load generated in the columns of a 4-story building, adequately transmitting the forces and moments to the concrete pedestal and the foundation structure.

This study highlights the importance of guaranteeing the quality of the welding process in metallic structures, especially in critical elements such as the base plate - rod anchorage system. As a continuation of this research, it is suggested the implementation of more detailed analyses on the mechanical behavior of welds under real load conditions, as well as the periodic evaluation of the structural integrity in similar buildings. The influence of additional variables, such as the operating environment and the quality of materials, remains to be studied in order to further strengthen the safety and reliability of metallic constructions in Ecuador.

**DESCRIPTORS:** Steel anchors, Base plate design, Nondestructive testing, Steel structures, Welding

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1.Introducción

El grado que ha demostrado tener la utilización del acero en la ingeniería de la construcción a lo largo de la historia se basa en la ligereza de construcción, su adaptabilidad, rigidez, resistencia y costo promedio [1]. En 2020, Ecuador consumió 1,39 millones de Ton de acero laminado, en el 2021 se esperaba un crecimiento del 4,8% por encima del pronóstico para el resto de América Latina, llegando a 1,45 millones de Ton [2].

Algunos de los rubros destinados al consumo de acero están estrechamente relacionados con la creciente demanda de esta materia prima para la construcción de edificaciones de estructuras metálicas. La construcción de edificaciones de estructuras metálicas comprende de múltiples variables que deben considerarse en la etapa de diseño y que deben controlarse en la etapa de construcción. Por lo tanto, se requiere del estudio integral de las facetas del diseño de cada uno de los elementos estructurales que se fabrican para este tipo de edificaciones.

El diseño y la fabricación de conexiones de placa base son aspectos críticos en la construcción de estructuras metálicas, ya que estas conexiones juegan un papel fundamental en la transferencia eficiente de cargas desde la superestructura hacia la cimentación. En este contexto, se han desarrollado diferentes estrategias de diseño que abordan los diversos modos de fallo inherentes a estas conexiones, incorporando avances en métodos analíticos y computacionales. Estas estrategias, basadas en códigos europeos y enfoques innovadores, han llevado a la implementación de sistemas más eficientes y seguros.

Un aspecto clave en este proceso es la selección adecuada del tipo de conexión, ya sea atornillada, soldada o con pernos de alta resistencia, considerando factores como la rigidez, la ductilidad y la durabilidad. Además, es fundamental realizar pruebas y ensayos exhaustivos para evaluar las propiedades mecánicas y garantizar la integridad estructural de las conexiones. Sin embargo, a pesar de estos avances, persisten desafíos en la prevención de la falla, lo que destaca la importancia de contar con un diseño

adecuado, una construcción de calidad y un mantenimiento regular para asegurar la fiabilidad a largo plazo de las conexiones de placa base en estructuras metálicas.

En el ámbito de América, la industria de la construcción juega un papel crucial en el desarrollo económico y social de la región. Con una creciente demanda de infraestructuras resistentes y seguras, los países de América enfrentan desafíos comunes en cuanto a la calidad y la integridad de las edificaciones [3]. La implementación de normativas y estándares internacionales, así como la investigación continua en procesos de construcción y tecnologías innovadoras, son aspectos clave para garantizar la sostenibilidad y la seguridad en el sector de la construcción en toda la región, teniendo en cuenta que especialmente la zona de la costa del Pacífico es propensa a terremotos [4].

En el contexto sudamericano, la industria de la construcción es un motor importante para el crecimiento económico y el desarrollo urbano. Con una diversidad de condiciones geográficas y climáticas, los países sudamericanos enfrentan desafíos específicos en términos de diseño y construcción de estructuras resistentes y duraderas [5]. La investigación en procesos de construcción, como la soldadura en estructuras metálicas, es fundamental para garantizar la seguridad y la estabilidad de las edificaciones en la región, así como para cumplir con las regulaciones y normativas de construcción vigentes [6].

En el contexto ecuatoriano, la industria de la construcción experimenta un crecimiento significativo debido a la expansión urbana y la demanda de infraestructuras modernas y seguras [7]. La implementación de normativas de construcción, como las NEC 2015, ASCE 7-16, AISC 360 y AWS D1.1 es fundamental para asegurar la calidad y la seguridad de las edificaciones [8]. La investigación en procesos de construcción, como el estudio del proceso de soldadura en estructuras metálicas, es esencial para identificar posibles puntos de mejora y garantizar la integridad estructural de las edificaciones en Ecuador.

La presente investigación pretende estudiar el proceso de soldadura del sistema de anclaje placa base – varilla, utilizado en estructuras metálicas y su incidencia en las propiedades mecánicas. El material base para la placa base seleccionado fue ASTM

572 Gr 50 y la varilla de anclaje en esta investigación es el ASTM A, los procesos de soldadura aprovechables para este tipo de conexiones se considerados fueron SMAW, y FCAW, bajo la norma AWS D1.1, y el material de aporte será E 7018, E8018 Y E71T-1C. La finalidad del estudio fue determinar la mejor combinación de variables para obtener los mejores resultados en las propiedades mecánicas de la junta soldada seleccionada.

## **1.2. Justificación**

Las conexiones de placa base son una parte fundamental en el diseño estructural. Pese a que el diseño de la conexión de la placa base es uno de los pasos finales dentro del cálculo, estos elementos son una parte crítica de las edificaciones. Las placas base permiten la transmisión de cargas y momentos hacia el suelo, de este modo, la edificación puede tener un comportamiento estructural adecuado. Hay que tener especial cuidado en el diseño de estos elementos.

Para el diseño de las conexiones de placa base – columna – cimentación se debe aplicar las recomendaciones de diseño de la AISC. En las guías de diseño de la AISC se toman en consideración las placas base con pernos de anclaje (*base plate and anchor rod design*). En estas guías de diseño se incluyen parámetros como las cargas y momentos que bajan de las columnas, los materiales de los elementos y el procedimiento de montaje. En las guías se pueden encontrar diferentes tipos de conexiones, sin embargo, todas son con pernos de anclaje.

El tipo de conexión propuesto en este análisis corresponde a la de placa base–varilla. A diferencia de las conexiones que se sugieren en la guía de diseño de la AISC, la conexión propuesta se compone de la placa base unida mediante soldadura a las varillas que se funden en la cimentación y que posteriormente se sueldan con la columna in situ. Este tipo de conexiones no cuentan con una guía basada en normativa para el diseño, por ese motivo los procesos constructivos no están regulados de forma específica.

Para el armado de la placa base – varilla, se sueldan las varillas de forma directa en la placa. Debido a que el proceso de soldadura genera concentraciones de esfuerzos, esta conexión podría presentar zonas frágiles que serían contraproducentes para el

desempeño sísmico de la estructura. Para mitigar estos problemas debe realizarse un proceso de fabricación detallado y cuidadoso. Aunque este tipo de conexiones podría resultar práctica en cuanto al proceso de montaje, existen limitados estudios de las propiedades mecánicas.

Determinar las propiedades mecánicas de la conexión de placa base – varillas podría contribuir de forma positiva y ampliar el conocimiento que se tiene de diseño de las conexiones de placa base. Además, se podrán disipar dudas en cuanto a las propiedades y desempeño de esta práctica constructiva.

En general, todos los trabajos en estructuras metálicas unidas mediante soldadura necesitan ser guiadas mediante procedimientos de soldadura WPS (Welding Procedure Specification), En la que se parametriza los parámetros con detalle cómo se realizarán las soldaduras involucradas, por ello es importante la investigación para determinar y demostrar cuál de los procedimientos es el mejor y brinda calidad, logrando confiabilidad en las uniones soldadas al fabricar una vivienda en acero. La investigación permitirá establecer los parámetros en los procesos FCAW y SMAW, en acero ASTM A572 grado 50, y el comportamiento de estos 2 procesos de soldadura para comprobar cuáles nos conceden mejores propiedades mecánicas y determinar cuál es el más confiable para una edificación de 4 pisos, luego se realizó los ensayos en laboratorios de investigación con el equipo tecnológico especializado en determinar propiedades mecánicas.

### **1.3.Objetivos**

#### **1.3.1. General**

Estudiar del proceso de soldadura del sistema de anclaje placa base – varilla, y su incidencia en las propiedades mecánicas.

#### **1.3.2. Específicos**

- a) Diseñar la estructura de cuatro plantas con la ayuda del software de análisis estructural, a fin de obtener los parámetros necesarios para el diseño de placas base.
- b) Determinar los parámetros de fabricación del sistema de anclaje placa de base –

varilla, utilizado en estructuras metálicas.

- c) Determinar las propiedades mecánicas de la junta que conforma el sistema de anclaje placa de base - varilla.

## CAPÍTULO II

### ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

#### 2.1. Antecedentes

De Moura & Marques en el año 2023 dentro de su investigación " Algoritmo genético multiobjetivo aplicado al análisis inverso por elementos finitos: Caso práctico de soldadura de uniones en T", bajo una metodología de Diseño de Experimentos (DOE) – Método de Superficie de Respuesta (MSR), exploró la influencia de diferentes parámetros de soldadura en la calidad de las uniones. Los resultados destacaron la importancia de ajustar la corriente de soldadura y la velocidad de avance para minimizar defectos como porosidad y fisuras, mejorando así la resistencia y durabilidad de las soldaduras [9].

Por otro lado, Panov y Naumov. en el año 2021 en su estudio " Efecto del precalentamiento y del tratamiento térmico post-soldadura sobre la estructura y las propiedades mecánicas de las uniones soldadas por haz láser a base de  $Ti_2AlNb$ . ", se aplicó una metodología experimental para analizar cómo la temperatura de precalentamiento afecta la microestructura y la resistencia de las soldaduras. Los resultados resaltaron la importancia de controlar la temperatura durante el proceso de soldadura para evitar la fragilización por hidrógeno y garantizar la integridad estructural de las uniones soldadas [10].

Según Belinga y Kah en el año 2022 en su investigación " Efectos del control del gas de protección: propiedades de la unión soldada en la optimización del proceso GMAW ", utilizando una metodología de análisis metalográfico y ensayos de tracción, se examinaron los efectos de diferentes gases de protección en la formación de inclusiones y la resistencia mecánica de las soldaduras. Los resultados indicaron que la elección adecuada del gas de protección puede mejorar significativamente la calidad de las uniones soldadas, reduciendo así el riesgo de defectos y fallas prematuras [11].

De acuerdo con Arunkumar & Prabha, C en el año 2020 en su estudio "Optimización del procedimiento de soldeo MIG/MAG para la fabricación de estructuras metálicas", utilizando una metodología de análisis de varianza (ANOVA) y técnicas de modelado estadístico, se investigó el efecto de diversos factores operativos en la productividad

y calidad de las soldaduras MIG/MAG. Los resultados destacaron la importancia de ajustar adecuadamente los parámetros de soldadura, como la velocidad de alimentación del alambre y el flujo de gas, para maximizar la eficiencia y minimizar los defectos en las uniones soldadas [12].

Según Seferino & Nenad en el año 2019 en su investigación "Análisis de la influencia de la preparación de bordes en la calidad de las soldaduras en estructuras metálicas", mediante una metodología experimental que incluyó ensayos de tracción y microscopía electrónica de barrido, se evaluó el impacto de diferentes técnicas de preparación de bordes en la resistencia y la integridad de las soldaduras. Los resultados demostraron que una adecuada preparación de bordes, incluyendo el chaflán y el desbaste, puede mejorar significativamente la calidad de las uniones soldadas, reduciendo así el riesgo de defectos y fracturas prematuras [13].

## **2.2. Fundamentación teórica**

### **2.2.1. Sistema de anclaje placa base - varilla**

#### **2.2.1.1. Placa de anclaje**

Las placas de anclaje o placa base son consideradas como un componente crítico en el sistema estructural, s que se emplean para unir los soportes metálicos a la cimentación y que tienen como objeto hacer que la transición del acero al hormigón se realice sin que en ningún punto se sobrepasen las tensiones admisibles en este material [12]. Una placa de base distribuye la alta intensidad del esfuerzo en el acero a un valor que pueda ser resistir con seguridad, el esfuerzo de diseño por compresión en el área de apoyo de un cimiento de concreto es mucho menor que el correspondiente a la base de acero de una columna; cuando una columna de acero descansa en el fragmento superior de un cimiento, es necesario que la carga de la columna se distribuya en un área suficiente para evitar que se sobre fuerce el concreto [13]. Las cargas de las columnas de acero se transmiten a través de una placa base de acero a un área razonablemente grande del cimiento que se localiza de dicha placa [14].

#### **2.2.1.2. Sistemas de anclaje**

Se han implementado diferentes estrategias de diseño de placas de anclaje que conectan elementos de acero o compuestos con miembros de concreto. Basado en códigos europeos existentes, este enfoque aborda múltiples modos de fallo inherentes

a los pernos, el concreto, la armadura y la propia placa de anclaje. A diferencia de los métodos tradicionales, como la teoría elástica o el método de capacidad del hormigón, el método de componentes supera las deficiencias al considerar la rigidez de la placa de anclaje, la rigidez de los pernos y la zona de compresión del concreto, lo que se ha validado experimentalmente en pruebas de carga variadas. Este enfoque promete predicciones más precisas de la capacidad de carga, rigidez y ductilidad, así como diseños más eficientes que pueden ahorrar material y costos, señalando un cambio potencial en las prácticas de diseño de placas de anclaje [14].

Otro parámetro que influye en el comportamiento estructural de los sistemas de acero corresponde al tipo de conexión diseñado para las bases. En ciertos sectores de la industria se han estado utilizando condiciones incorrectas de soporte para las bases de las columnas, especificando soportes articulados en lugar de fijos en todos los diseños. A pesar de que aplicar no disminuye la capacidad de las bases, estas condiciones arrojan resultados de diseños excesivamente sobredimensionados. Uno de los principales problemas es que se ignoran toda la capacidad de resistencia al momento en el rango elástico en las bases de las columnas de acero [15]. En el mismo estudio se resalta la importancia de comprender y aplicar correctamente las condiciones de soporte en los programas de análisis estructural para garantizar diseños seguros y económicos.

La investigación presentada por Seniwongse indica las diferencias entre soportes fijos y articulados y su comportamiento bajo cargas sostenidas, demostrando la eficacia de las bases fijas en la integridad a largo plazo de las estructuras. Las bases fijas de columnas diseñadas de manera correcta han mantenido su integridad estructural bajo cargas sostenidas durante largos períodos de tiempo. Se resaltan los casos de edificios como el edificio de la Conferencia de las Naciones Unidas para Asia y el Pacífico en Bangkok y el Edificio GPL en Lubbock, Texas, que han resistido con éxito desastres naturales como tornados [15].

Algunas intervenciones en el desarrollo de sistemas de conexiones están relacionadas con mejorar las conexiones entre columnas y placas base expuestas en edificaciones de acero de baja altura, con el objetivo de mejorar su resistencia sísmica. Mediante pruebas experimentales, se evaluaron siete especímenes de conexión a gran escala bajo cargas de compresión axial y ciclos de carga lateral. Se encontró que las conexiones

inadecuadas exhibían un comportamiento inestable debido a un fenómeno de "balanceo" causado por la deformación plástica de los pernos de anclaje. Sin embargo, al reemplazar los pernos redondos por pernos roscados de alta tensión y aumentar su número, se logró mejorar significativamente la capacidad sísmica de las conexiones, destacando la necesidad de revisar las pautas existentes para garantizar una estabilidad estructural óptima contra terremotos [16].

El proceso de soldadura sigue siendo fundamental en diversas industrias como la construcción naval, la construcción, la automotriz y la aeroespacial, ya que permite la creación de estructuras complejas con especificaciones dimensionales precisas. Sin embargo, la fatiga estructural continúa siendo una preocupación importante en la soldadura, lo que requiere una atención especial durante el diseño y la evaluación continua de las estructuras [17].

Se encontró un estudio comparativo que evalúa la resistencia a la corrosión de uniones soldadas de acero para tuberías X65, utilizando tres métodos de soldadura: plasma (PAW), TIG (para soldadura de respaldo) y MIG (para relleno), en comparación con soldaduras por arco sumergido (SAW). Los resultados mostraron que las uniones soldadas mediante PAW tienen una microestructura más fina y uniforme, cumpliendo con los criterios de dureza y demostrando una resistencia a la corrosión superior a los otros métodos. Además, las pruebas electroquímicas y de resistencia a la corrosión inducida por sulfuro revelaron que las uniones soldadas con PAW presentan el potencial de corrosión más alto y la corriente de corrosión más baja, lo que sugiere una resistencia superior a la corrosión en entornos agresivos [6]. Estos hallazgos tienen importantes implicaciones para garantizar la calidad de las soldaduras en tuberías de acero, especialmente en entornos que pueden desencadenar fallos por corrosión.

Una investigación experimental y numérica sobre las propiedades mecánicas y el rendimiento de fractura de conexiones soldadas de acero discutió los efectos de los esfuerzos en las fracturas de aceros estructurales. Los investigadores propusieron un nuevo modelo de fractura denominado "Modelo de Crecimiento de Vacíos Modificado por Ángulo de Lode" (LMVGM). Se midieron las propiedades mecánicas en la zona de soldadura y las tensiones residuales, mostrando que la resistencia y ductilidad de la zona afectada por el calor (HAZ) están generalmente entre las del metal base y la soldadura. En el análisis concluyeron que la homogeneidad del material en la zona de

soldadura afecta significativamente el rendimiento de las conexiones soldadas, y omitir las propiedades de la soldadura y HAZ subestima la capacidad de la conexión [18].

En este estudio sobre la capacidad de carga de las juntas soldadas por tope y de filete de aceros estructurales de alta resistencia de grado S960QL y S960MC, se investigó la influencia de diferentes geometrías de bisel, metal de aporte y espesores de placa. Se examinó la soldabilidad y la capacidad de carga de las juntas soldadas por gas inerte de metal con arco (MAG) en aceros de ultra alta resistencia (UHSS), cuya soldabilidad se ve limitada debido a la posible aparición de zonas suavizadas en la zona afectada por el calor (HAZ), lo que podría reducir la capacidad de carga de la conexión [19].

Los resultados indicaron que los aceros S960MC tienen una mejor soldabilidad metalúrgica y son menos propensos al suavizado en comparación con los S960QL. Además, se destacó que el uso de material de aporte G89 se consideró adecuado para las juntas de tope, mientras que para las juntas de filete, el modelo de diseño actual es suficiente pero no aprovecha completamente el rendimiento superior de los materiales de aporte de mayor resistencia [19].

Se encontró una investigación que aplicó algoritmos de aprendizaje automático para predecir la vida útil de estructuras soldadas, examinando su aplicación en diferentes parámetros como tipo de material, método de soldadura y parámetros de salida. Los resultados muestran que los métodos basados en redes neuronales, enfoques numéricos y métodos aleatorios/híbridos son los más utilizados para predecir la fatiga, con mejoras significativas en la precisión de las predicciones en comparación con técnicas tradicionales. Este tipo de análisis podría incluso desarrollar la capacidad de los algoritmos para identificar características estructurales susceptibles y áreas de concentración de estrés, fundamentales para el monitoreo de la salud estructural y la toma de decisiones de mantenimiento [17].

Otro estudio se enfoca en evaluar el comportamiento de las cimentaciones de postes de luz de alto mástil (HMLP, por sus siglas en inglés) utilizando análisis de elementos finitos no lineales. Se encontró que el fenómeno de aflojamiento de tuercas en los HMLP resulta de una deformación plástica postyield de las barras roscadas debido a cargas externas, lo que disminuye la fuerza de sujeción de la interfaz de unión atornillada. El estudio mediante el análisis con elementos finitos indicó que en algunos

casos, la deformación permanente de los sujetadores puede causar pérdida de fuerza de sujeción, pero diversas modificaciones, como aumentar el número de barras o utilizar barras de alta resistencia, aumentar el grosor de las placas, pueden mitigar este efecto y aumentar la resistencia a la separación [20].

También es importante examinar la capacidad de resistencia última de juntas soldadas en aceros de alta resistencia, haciendo énfasis en la integridad estructural en diversas industrias donde la soldadura es crucial para la unión de componentes. A medida que la resistencia del acero alcanza niveles de 960MPa, encontrar materiales de relleno con una resistencia similar se vuelve difícil, lo que limita la capacidad de carga de las juntas soldadas [21].

En el análisis realizado por Barsoum y Khurshid se investigó el impacto del desajuste en la resistencia del material de relleno y la profundidad de penetración de las soldaduras en la capacidad de resistencia última y los modos de fallo de juntas soldadas en aceros de alta resistencia, mediante análisis de elementos finitos y comparaciones con normativas de diseño [21].

Las pruebas y el análisis de elementos finitos realizados indicaron que las normativas de diseño actuales pueden aplicarse con éxito hasta aceros de 700MPa. Además, se concluye que la elección adecuada del material de relleno y la preparación de la junta son fundamentales para garantizar una resistencia óptima en juntas soldadas en aceros de alta resistencia [21].

Existen desafíos presentes en los procesos de soldadura en las conexiones típicas utilizadas en estructuras de postes de transmisión de acero. Se destacan procedimientos de soldadura complejos involucrando soldaduras de costura longitudinal, soldaduras de filete, soldaduras de penetración total y parcial en conexiones, empalmes y placas base. En el estudio realizado por Merrill y Oliphant se empleó una metodología de revisión de la American Welding Society's (AWS) Publication y el cumplimiento de los requisitos del Código de Soldadura Estructural de Acero de la AWS (D1.1), considerando las posiciones de soldadura, procesos de soldadura, tolerancias de ajuste, materiales y efectos de la galvanización en las conexiones [22].

En el análisis de identificaron ocho desafíos principales en la producción de soldaduras

de alta calidad, incluida la calificación y certificación del personal, la selección adecuada del proceso de soldadura, el ensamblaje correcto de las juntas, la verificación de los materiales, la minimización de la distorsión causada por el calor, la garantía de la inspección de calidad, el control de las temperaturas durante la soldadura y la preservación de la calidad después de la galvanización. Se concluye que, al abordar estos desafíos de manera adecuada, se puede garantizar el rendimiento confiable de los postes de transmisión de acero bajo diversas condiciones operativas [22].

Otro parámetro influyente en la calidad del cordón es la velocidad de soldadura que se relaciona con la penetración y el ancho de la soldadura, con velocidades más altas reduciendo la penetración y el ancho de la soldadura, mientras que velocidades más bajas pueden causar sobrepenetración. Un análisis realizado determinó que los parámetros óptimos son una potencia de láser de 1.2 KW, una velocidad de soldadura de 2400mm/min y un desenfoque de -0.5mm, asegurando una buena calidad de soldadura y alta dureza sin ablandamiento en la zona afectada por el calor [23]. Un análisis adecuado permite establecer parámetros óptimos que garanticen la integridad estructural y la durabilidad de las construcciones. Estos hallazgos tienen implicaciones significativas en la industria de la construcción, especialmente en el desarrollo de tecnologías más sostenibles y eficientes para la edificación de viviendas asequibles y respetuosas con el medio ambiente.

El estudio realizado por Ahola et al. se centra en investigar la resistencia a la fatiga de las uniones soldadas de acero de alta resistencia en condiciones de soldadura, tratadas posteriormente y reparadas. Utilizaron dos grados de acero de alta resistencia, EQ47TM y EQ70QT, soldados con alambre de núcleo de rutilo utilizando soldadura por arco de metal con gas. Realizaron pruebas de fatiga en especímenes a escala pequeña bajo carga axial y en especímenes de viga a escala grande bajo carga de flexión de cuatro puntos [24].

Las uniones probadas en condiciones de soldadura incluyeron el tratamiento mecánico de alta frecuencia (HFMI) como técnica de tratamiento posterior en la serie de pruebas de fatiga. Además, los especímenes de viga a escala grande fueron pre-fatigados hasta que observaron grietas por fatiga sustanciales, después de lo cual los volvieron a testear después de la reparación de la soldadura y los tratamientos posteriores a la soldadura para investigar el potencial de rehabilitación de detalles estructurales [24].

Los resultados mostraron que, en condiciones de soldadura, la resistencia a la fatiga de los detalles estudiados estaba en línea con las recomendaciones actuales. El tratamiento HFMI se mostró efectivo en mejorar la resistencia a la fatiga, especialmente en las uniones de acero EQ70QT. Las reparaciones de soldadura también demostraron extender la vida útil de los componentes estructurales, evitando que las fallas ocurrieran en las regiones reparadas. Estos hallazgos pueden contribuir al desarrollo de metodologías de diseño y prácticas óptimas para estructuras de acero soldadas de alta resistencia [24].

### **2.2.1.3. Sistemas de conexiones de placa base para edificaciones de acero**

Las placas base son elementos fundamentales en las estructuras metálicas, ya que permiten la transferencia de cargas desde la superestructura hacia la cimentación. La elección del sistema de conexión adecuado entre la placa base y la columna es crucial para garantizar la seguridad y la eficiencia estructural. Existen diferentes tipos de conexiones de placa base que se pueden emplear en los sistemas estructurales [25].

Los diferentes tipos de conexiones pueden clasificarse entre conexiones atornilladas, soldadas y de pernos de alta resistencia. Las conexiones atornilladas son las más comunes y se caracterizan por su simplicidad y facilidad de montaje. Los tornillos deben ser de alta resistencia y tener la capacidad de resistir las fuerzas de tracción y cortante. Por otro lado, se encuentran las conexiones soldadas que ofrecen mayor rigidez y resistencia que las conexiones atornilladas, pero son más complejas de instalar. La soldadura debe ser realizada por personal calificado y siguiendo los procedimientos adecuados de acuerdo con las normativas AWS. Finalmente, las conexiones con pernos de alta resistencia se utilizan para estructuras que requieren una mayor capacidad de carga. Los pernos de alta resistencia están pre-tensionados para asegurar una conexión rígida entre la placa base y la columna [25].

Otra clasificación que se presenta en el diseño de placas base es aquella que considera la configuración de este elemento de conexión y se divide en: placas base simples, placas base con anclajes, placas base con ménsulas y placas base compuestas. La placa base simple es la opción más económica y sencilla, pero su capacidad de carga es limitada. Se recomienda su uso en estructuras de baja altura con cargas moderadas y en suelos con buena capacidad de carga. Para columnas con mayores cargas o en suelos con poca capacidad de carga, se pueden utilizar placas base con anclajes,

ménsulas o compuestas [25].

El diseño de las conexiones de placa base debe considerar varios factores, como las fuerzas de diseño, las propiedades del material, la capacidad de la cimentación y las normas de construcción aplicables. El análisis se puede realizar mediante métodos analíticos o computacionales [25].

#### 2.2.1.4. Diseño de la placa de anclaje

Este elemento está diseñado para soportar las cargas por gravedad de la estructura y brindar parte de la resistencia de cargas laterales que soportara la estructura (carga sísmica o por efecto de viento) [15]. Pueden soldarse directamente a las columnas, o pueden ser emperradas. Estos métodos de conexión se ilustran en la Figura 1.

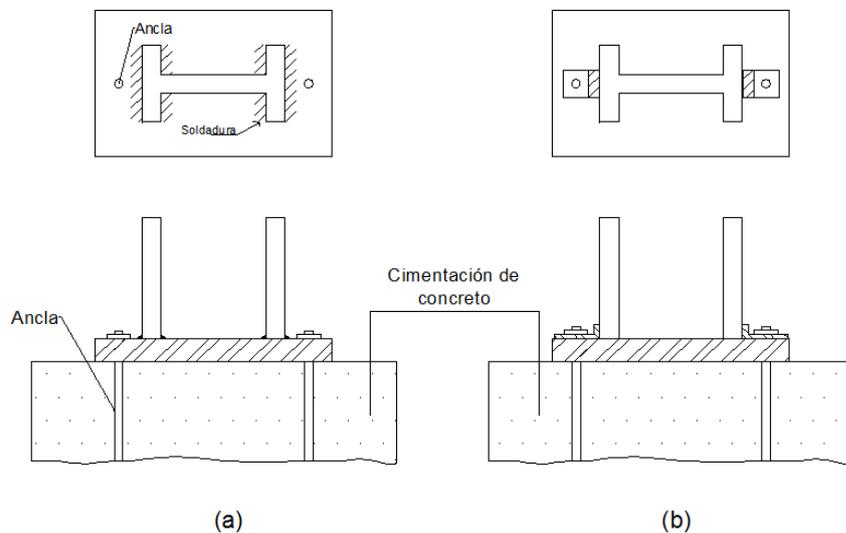


Figura 1. Placas de base de columnas

#### 2.2.1.5. Consideraciones de diseño

Al diseñar conexiones de placa base, se deben considerar diversos factores para garantizar el comportamiento adecuado de la estructura bajo diferentes condiciones. La rigidez de la conexión afecta la transmisión de fuerzas a la cimentación, la ductilidad determina la capacidad para resistir deformaciones sin daños, y la durabilidad asegura una larga vida útil contra la corrosión y el medio ambiente [26].

#### 2.2.1.6. Procesos de soldadura en las conexiones de placa base

Los procesos de soldadura desempeñan un papel crucial en la fabricación de conexiones de placa base en estructuras metálicas, garantizando uniones permanentes

y robustas. Dentro de estos procesos, la soldadura por arco eléctrico manual (SMAW) emplea un electrodo revestido para fundir y unir las piezas, mientras que la soldadura por arco eléctrico con gas (GMAW) utiliza un gas protector para mejorar la calidad y reducir las salpicaduras. Por otro lado, la soldadura por arco sumergido (SAW) sumerge el arco eléctrico bajo un flujo de material granular para proteger el metal de la oxidación, proporcionando una alta calidad de soldadura y una tasa de deposición elevada [27].

La selección del proceso de soldadura para las conexiones de placa base implica una evaluación de varios factores. Entre estos, se incluyen las propiedades deseables de la soldadura, como la resistencia, ductilidad y velocidad de deposición, donde la SMAW destaca por su resistencia, mientras que la GMAW y SAW ofrecen mejor calidad y velocidad respectivamente. Consideraciones como el costo, accesibilidad y habilidad del soldador también influyen, con la SMAW siendo más económica y versátil en espacios reducidos. El tipo de soldadura que se utilice en la fabricación de los elementos de conexión dependerá de la magnitud y sollicitaciones de la estructura metálica, por lo que cada caso es particular. Además de estas consideraciones técnicas, los procesos de soldadura requieren del control de subprocesos como la preparación de la soldadura, la ejecución de la soldadura, pruebas y ensayos [27].

### **Soldadura SMAW**

Sus abreviaturas en inglés SMAW (Shielded metal Arc Welding) es un proceso en el que el material de aportación se obtiene induciendo una diferencia de potencial entre el electrodo y la pieza a soldar, con lo cual se ioniza el aire entre ellos y pasa a ser conductor. La protección se obtiene por la descomposición del revestimiento en forma de gases y en forma de escoria líquida.

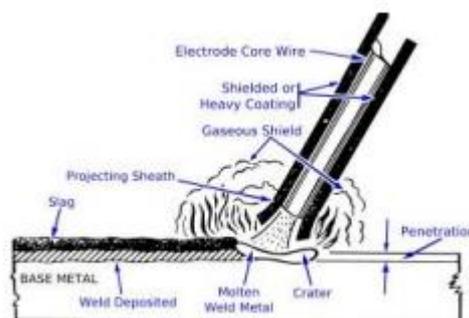


Figura 2. Proceso de Soldadura SMAW [28]

Elementos que participan en la soldadura SMAW, las mismas que se detalla a continuación.

El arco: la fuerza del arco proporciona la acción de excavar el metal base para lograr la penetración deseada, este proceso continúa a medida que la soldadura se ensancha y el electrodo avanza a lo largo de la pieza de trabajo.

El metal de aporte: al disolver que forma gotas que se depositan sobre la pieza de trabajo dando lugar al charco de soldadura, que rellena el espacio de soldadura y suelda las piezas en lo que se denomina una junta de soldadura.

El fundente: se disuelve junto con el metal de aporte formando un gas y una capa de escoria, que protegen el arco y el charco de soldadura. El fundente limpia la superficie metálica, suministra algunos elementos de aleación a la soldadura, protege el metal fundido contra la oxidación y estabiliza el arco.

### Soldadura FCAW

En el proceso de soldeo por arco con electrodo tubular la soldadura se consigue con el calor de un arco eléctrico establecido entre un alambre-electrodo consumible continuo y la pieza que se suelda. La protección se obtiene del fundente contenido dentro de un alambre tubular pudiéndose utilizar con o sin gas de protección adicional. La técnica de soldeo con hilo tubular se diferencia del soldeo MIG/MAG en el tipo de electrodo que, como su nombre indica, en este caso, es un alambre hueco y relleno de fundente el cual, al fundirse por la acción del arco eléctrico, deposita un metal fundido protegido con una fina capa de escoria; podríamos decir que es como un electrodo revestido al revés. En el resto hay bastantes similitudes con el proceso MIG/MAG [29].

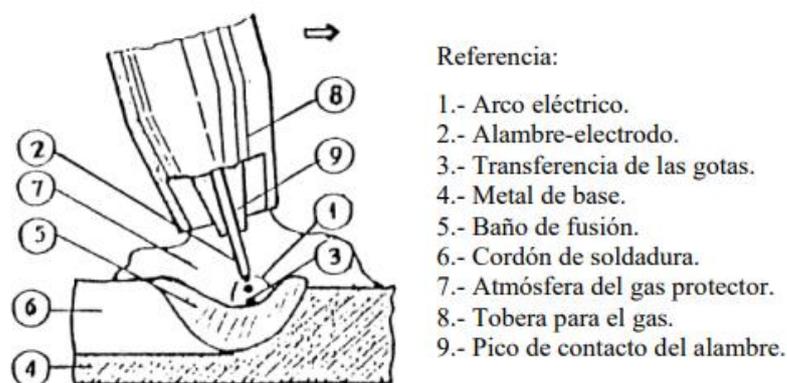


Figura 3. Soldadura FCAW [29]

Los principales elementos del equipo requerido para el proceso son:

### **La máquina de soldar (fuente de poder).**

Se emplea una pistola y cables para conducir el alambre, el gas (cuando es necesario) y la corriente de la fuente de poder al arco.

### **El Alimentador de Alambre**

El alimentador lleva el alambre tubular automáticamente desde un carrete o bobina, vía ensamblaje de cable y pistola, al arco. La velocidad de alimentación del alambre determina la cantidad de corriente de soldar que se suministra al arco. De esta manera, el control de velocidad de alimentación es, esencialmente, el ajuste de la corriente de soldar [30].

### **El Gas de Protección.**

El gas protector desaloja el aire alrededor del arco, previniendo la contaminación por oxígeno e hidrógeno de la atmósfera.

### **Preparación de la Soldadura**

La preparación de las superficies para soldar implica asegurarse de que estén limpias, secas y libres de contaminantes, eliminando óxido, pintura y grasa mediante chorro de arena o granallado. Posteriormente, se ajustan con precisión las piezas, como la placa base y la columna, utilizando bridas, calzas y otros elementos para garantizar una alineación correcta. Finalmente, se selecciona el electrodo apropiado según el material, posición de soldadura y características deseadas de la junta soldada [27].

### **Ejecución de la Soldadura**

Tras la preparación de las superficies y ajuste de las piezas, en ocasiones se procede al precalentamiento del material a una temperatura específica para mejorar la fluidez del metal de aportación. Luego, se lleva a cabo la soldadura siguiendo las especificaciones del procedimiento, controlando la corriente, voltaje, velocidad de avance y técnica de soldadura para asegurar una junta de calidad. Una vez completada la soldadura, se permite que la unión se enfríe lentamente para prevenir la formación de grietas. Esta etapa de control térmico dependerá del tipo de material que se esté soldando y las condiciones ambientales en donde se ejecute el trabajo [27].

*Material de Aporte:* Según la AWS A3-0-2001 (Standard Welding Terms and Definitions), es el material añadido a la unión soldada, también se refiere a los electrodos y a los cordones de soldadura.

### 2.2.1.7. Electrodo en procesos de soldadura para sistemas de anclaje

#### Electrodo E71T-1C para proceso FCAW

Este tipo de electrodo tiene una resistencia mínima a la tensión de 70000 psi, se puede soldar en todas las posiciones con protección gaseosa al 100% de CO<sub>2</sub> y trabaja con corriente continua (cc).

Tabla 1. Información específica del electrodo E71T-1C

Composición química metal depositado					
E71T-1C	C	Mn	Si	P	S
	0.05	1.37	0.37	0.018	0.005

Tabla 2. Propiedades mecánicas del electrodo E71T-1C

Propiedades mecánicas típicas del metal depositado				
E71T-1C	Esf. Fluencia en 0.2 % (Mpa)	Esf. Máx de tracción (Mpa)	Elongación (L=4d), %	E. Absorbida Ch-v 80J a-20 °C
	493	574	26	80J a-20 °C

Tabla 3. Parámetros de soldadura recomendado del electrodo E71T-1C

Parámetros de soldadura		
Díámetro(mm)	1,2	1,6
Intensidad de corriente(A)	140 - 320	200 - 380
Voltaje(V)	21 - 35	25 - 36

#### Características:

Normalmente, este producto está diseñado bajo las siguientes características.

- Para soldar aceros de alta resistencia.
- Bajos niveles de salpicaduras y fácil remoción de escoria, lo que permite minimizar la operación de limpieza después de soldar.
- Se caracterizan por alta deposición, calidad radiográfica, baja pérdida por salpicadura y cordón plano a levemente convexo.

## Aplicaciones:

Es muy usado para la soldadura de fabricación en tanques de almacenamiento, fabricaciones estructurales, tendidos de tuberías (piping), minería y equipos de tierra, etc.

## Electrodo E7018 para proceso SMAW

Dicho electrodo está diseñado de bajo hidrogeno con hierro en polvo con un revestimiento de color gris, diseñado para soldadura en todas posiciones con tipo de corriente continua de polaridad inversa. Contiene tres elementos químicos adicionales a comparación con el electrodo comercial usualmente aplicable en soldaduras críticas en uniones viga-columna, tiene una elevada resistencia al impacto.

Tabla 4. Información específica del electrodo E7018

Composición química metal depositado (%)					
E7018	C	Mn	Si	P	S
	0.06	1.49	0.738	0.009	0.010

Tabla 5. Descripción de propiedades del electrodo E-7018.

Propiedades mecánicas típicas del metal depositado			
E-7018	Esf. Fluencia en 0.2 % (Mpa)	Esf.Máx de tracción (Mpa)	Elongación %
	448	534	32

## 2.2.2. Propiedades mecánicas en las conexiones de placa base

### 2.2.2.1. Acero estructural

Durante siglos, diversos metales han sido empleados en la construcción, pero es innegable que, a partir del siglo XIX, el acero y sus aleaciones se han erigido como los materiales metálicos más relevantes en la edificación. La estructura metálica representa una alternativa a la construcción en hormigón, destacándose por sus ventajas como la capacidad de diseño con grandes luces, la rapidez en la ejecución de obras, su elevada resistencia y la reducción en los pesos propios. Además, es notable su ductilidad, lo que la hace especialmente adecuada para obras sujetas a fuerzas sísmicas [31]. Por ese motivo, en esta revisión de antecedentes se hace énfasis en los

sistemas de anclaje de construcciones de acero estructural.

Existe una gran cantidad de aceros clasificados por el *American Institute of Steel Construction (ASTM)*, que satisface la necesidad. Los aceros estructurales se agrupan habitualmente según distintas clasificaciones principales de ASTM en: aceros estructurales al carbono, aceros de alta resistencia y baja aleación, y los aceros aleados tratados térmicamente para la construcción [10].



Figura 4. Construcción en acero estructural

### **Ventajas del acero estructural**

El acero es uno de los materiales de construcción más manejado en el mundo y se detallan virtudes destacables del acero estructural como, por ejemplo:

- Alta resistencia: El acero conserva gran resistencia por unidad de peso, lo cual permite diseñar estructuras [10].
- Elasticidad: Este material se acerca a un comportamiento linealmente elástico (Ley de Hooke) hasta alcanzar esfuerzos considerables y los momentos de inercia de una estructura de acero pueden ser calculados con mucha exactitud.
- Tenacidad: El acero tiene la capacidad de absorber grandes cantidades de energía en deformación (elástica e inelástica).
- Ductilidad: Es considerado como un material que soportar grandes deformaciones sin fallar bajo altos esfuerzos de tensión.

### **Desventajas del acero estructural**

- Corrosión: La mayoría de los aceros son susceptibles a la corrosión al estar

expuestos al aire y al agua; permitiendo ser atacado por la corrosión, por lo tanto, se requiere protección y cierto mantenimiento en condiciones ambientales

- Protección al calor: A altas temperaturas, los integrantes estructurales son incombustibles, pero la resistencia se reduce considerablemente
- Fatiga: La resistencia del acero (así como del resto de los materiales), puede disminuir cuando se somete a un gran número de inversiones de carga o a cambios frecuentes de magnitud de esfuerzos a tensión

#### **2.2.2.2.Propiedades mecánicas**

Las propiedades mecánicas del sistema de conexión de placa base en estructuras metálicas son fundamentales para garantizar la seguridad y la resistencia de la estructura. Estas propiedades incluyen la resistencia a la tracción, la resistencia a la compresión, la resistencia al corte, la ductilidad y la resistencia a la fatiga. Sin embargo, existen algunos factores que podrían afectar a estas propiedades, a continuación, se detallan [32].

#### **2.2.2.3.Pruebas y Ensayos**

Las propiedades mecánicas del sistema de conexión de placa base pueden ser evaluadas mediante pruebas y ensayos específicos. Entre las pruebas más comunes se encuentran el ensayo de tracción, donde se aplica una fuerza para determinar la resistencia a la rotura; el ensayo de compresión, que evalúa la resistencia al aplastamiento mediante la aplicación de una fuerza de compresión; el ensayo de corte, que verifica la resistencia al deslizamiento mediante la aplicación de una fuerza de corte; y el ensayo de fatiga, donde se aplica una carga cíclica para evaluar la resistencia del sistema a la fatiga. Estos ensayos son fundamentales para garantizar la integridad estructural y el rendimiento del sistema de conexión [33].

Después de completar la soldadura, se lleva a cabo una inspección visual para detectar posibles defectos como grietas, porosidades y falta de penetración. Además, se pueden realizar pruebas no destructivas, como radiografías, ultrasonido y ensayos de partículas magnéticas, para verificar la calidad de la soldadura y asegurar que cumple con los estándares requeridos [33].

## Ensayo de tracción

Consiste en someter una probeta a esfuerzos progresivos y crecientes de tracción en la dirección de su eje (axial) hasta que llegue a la deformación y/o a la rotura correspondiente. El ensayo de tracción estática es el que mejor determina las propiedades mecánicas de los metales, ya que permite obtener, bajo un estado simple de tensión, el límite de elasticidad o el que lo reemplace prácticamente, la carga máxima y la consiguiente resistencia estática, en base a cuyos valores se fijan los de las tensiones admisibles, mediante el empleo de medios empíricos se puede conocer, el comportamiento del material sometidos a otro tipo de sollicitaciones (fatiga, dureza, etc.) [34].



Figura 5. Ensayo de tracción.

Diagrama Esfuerzo – Deformación El diagrama de esfuerzo es fundamental para determinar las propiedades físicas de los materiales. La curva tensión deformación obtenida presenta 4 zonas diferenciadas.

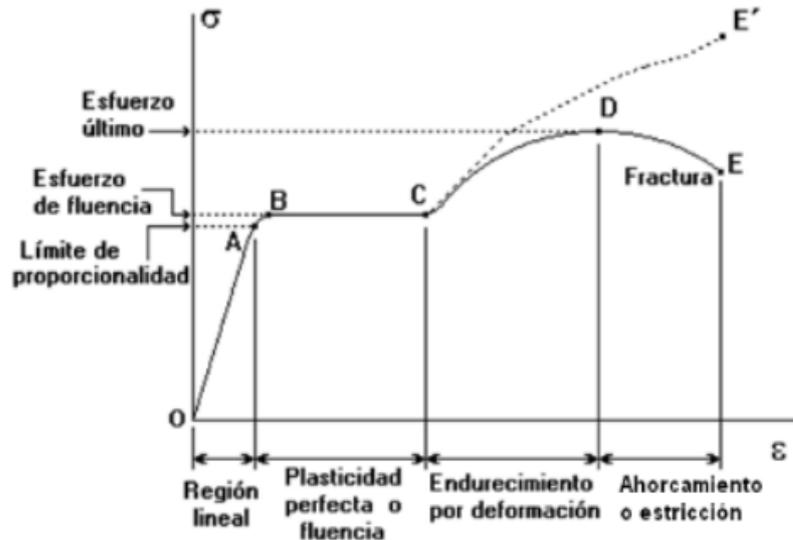


Figura 6. Curva de ensayo a tracción (Esfuerzo- Deformación) [34]

Fuente: SMITH, fundamentos de la ciencia e Ingeniería de Materiales, Pág. 208

- Deformaciones Elásticas: En esta zona las deformaciones se reparten a lo largo de la probeta y son de pequeña magnitud y si se retira la carga aplicada la probeta recuperaría su forma inicial.
- Fluencia o Cedencia: Es la deformación brusca de la probeta sin incremento de la carga aplicada.
- Deformaciones plásticas: Se retira la carga aplicada en dicha zona la probeta recupera solo parcialmente su forma quedando deformada permanentemente. Las deformaciones en esta región son más acusadas que en la zona elástica.
- Ahorcamiento o Estricción: Llegado un punto de ensayo, las deformaciones se concentran en una parte de la probeta apreciándose una acusada reducción de la sección de la probeta, momento a partir del cual las deformaciones continuaran acumulándose hasta la rotura de la probeta por esa zona. (W.F. Smith 2006, Pág.208)

### Ensayo de metalografía

El objetivo de este ensayo es observar la superficie de una probeta, para observar la alteración en la microestructura en relación con la del metal base ASTM A706 [3], aplicando calor producto del proceso de soldadura.

Algunos de los ensayos para realizar una buena metalografía se encuentran la micrografía o micro-ataque y la macrografía o el macro-ataque. Entre la macrografía y la micrografía, hay una diferencia en la cantidad de aumento para percibir las imágenes y el reactivo con la que se ataca la probeta; en la primera se necesita de un aumento comprendido desde los 10 hasta los 50 y se ataca con per-sulfato de amonio y el segundo se necesitara de un aumento desde los 50, hasta los 1000 y se ataca con Nital o ácido nítrico [35].

### **Macrografía**

El ensayo de macro-ataque es usado para revelar la heterogeneidad de metales y aleaciones, por otro lado, proporcionará información en variaciones de estructura, tal como tamaño de grano, estructura de columnas, dendritas, variaciones en la composición química como la evidencia de segregación de carburos y la ferrita, el corte, las inclusiones y la profundidad de la carburación o descarburación. La información proporcionada sobre las variaciones en la composición química es estrictamente cualitativa, pero se mostrará la ubicación de los extremos en segregación, también mostrará la presencia de discontinuidades y vacíos, tales como costuras, porosidad, ráfagas, ruptura por extrusión, grietas, entre otros [36].

### **2.2.3. Factores que afectan las propiedades mecánicas**

Las propiedades mecánicas del sistema de conexión, determinadas por el material de la placa base y la columna, como acero, hormigón o madera, son crucialmente influenciadas por el tipo de conexión, ya sea atornillada, soldada o con pernos de alta resistencia. Además, la geometría de la conexión, incluyendo la forma y tamaño de las piezas, ejerce un impacto significativo en estas propiedades. El proceso de fabricación, como la soldadura o el atornillado, también juega un papel importante en la determinación de las propiedades mecánicas finales de la conexión [32].

#### **2.2.3.1. Mecanismos de falla en las conexiones de placa base**

Las conexiones de placa base son elementos críticos en las estructuras metálicas, ya que transfieren las cargas de la superestructura a la cimentación. La falla de una conexión de placa base puede tener consecuencias graves, como el colapso parcial o total de la estructura.

**Rotura por tracción:** Este tipo de falla ocurre cuando la fuerza de tracción aplicada a la conexión supera la resistencia del material. Es común en conexiones atornilladas y soldadas [25].

**Aplastamiento:** Este tipo de falla ocurre cuando la fuerza de compresión aplicada a la conexión supera la resistencia del material. Es común en conexiones de placa base con secciones transversales delgadas [25].

**Corte:** Este tipo de falla ocurre cuando la fuerza de corte aplicada a la conexión supera la resistencia del material. Es común en conexiones con pernos de alta resistencia [25].

**Fatiga:** Este tipo de falla ocurre debido a la aplicación repetida de cargas que pueden ser menores que la resistencia del material. Es común en conexiones soldadas y atornilladas [25].

**Corrosión:** La corrosión puede debilitar el material de la conexión y reducir su resistencia a la tracción, la compresión y el corte [25].

**Defectos de fabricación:** Los defectos de fabricación, como soldaduras incompletas o agujeros mal posicionados, pueden debilitar la conexión y aumentar la probabilidad de falla [25].

### **2.2.3.2. Factores que afectan la probabilidad de falla**

El diseño de la conexión es crucial, ya que un diseño inadecuado, como una sección transversal insuficiente o una selección incorrecta de materiales, puede incrementar el riesgo de falla. Además, la calidad de la construcción desempeña un papel importante, y una construcción deficiente, como soldaduras de baja calidad o pernos mal apretados, puede aumentar la probabilidad de falla. Las cargas de servicio, incluyendo cargas vivas y muertas que la conexión debe soportar, también pueden aumentar el riesgo de falla si no se tienen en cuenta correctamente. Asimismo, las condiciones ambientales, como la humedad y la temperatura, pueden impactar la resistencia del material, incrementando así la probabilidad de falla si no se manejan adecuadamente. Considerar estos factores es esencial para garantizar la integridad y fiabilidad del sistema de conexión [25].

### **2.2.3.3. Prevención de la falla**

Para asegurar la fiabilidad y durabilidad de la conexión, es crucial contar con un diseño

adecuado realizado por un ingeniero calificado, considerando cuidadosamente las cargas de servicio, las propiedades del material y las normas de construcción aplicables. Asimismo, la construcción debe ser llevada a cabo por personal calificado, siguiendo procedimientos y normas de calidad rigurosos. Además, se requiere una inspección regular de la conexión para detectar cualquier signo de daño o deterioro, y se deben llevar a cabo acciones de mantenimiento periódicas para reparar o reemplazar los componentes afectados, garantizando así la integridad y funcionalidad continua del sistema de conexión [25].

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1.Ubicación

La investigación se centra en la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo con el fin de realizar los procesos de soldadura, sin embargo, los ensayos de tracción se realizan en el Laboratorio de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y los ensayos micrográficos se realizó haré e ILPM ENGINEERING S.A, ubicados en la capital del Ecuador, específicamente la calle Emilio Estrada N54-139 y Oruña.

#### 3.2.Equipos y materiales

##### 3.2.1. Equipos:

- Soldadora modelo: XMT® 304 CC/CV
- Cortadora DeWalt
- Pulidora DeWalt
- Máquina de ensayos universales para ensayo de tracción, ENS-23.
- Máquina para ensayo de macrografía.

##### 3.2.2. Materiales:

- Plancha de acero mm de espesor.
- Disco de corte
- Disco de Pulir
- Electrodo AWS E7018.
- Electrodo AWS E8018.
- Electrodo AWS E71T1-1C
- Kit de tintas penetrante

##### 3.2.3. Programas:

Se emplearon programas de cálculo estructural para obtener las reacciones de los pórticos de la edificación, posteriormente se realizaron los cálculos de las placas base

mediante hojas de cálculo. También se utilizaron los programas del paquete de Autodesk para verificar las conexiones y extraer los planos de los elementos de estudio.

#### **3.2.4. Normativas:**

##### **Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC)**

La Norma Ecuatoriana de la Construcción contiene las provisiones necesarias para el diseño sismorresistente de estructuras de acero. Las descripciones dan los lineamientos para diseñar tres sistemas estructurales que han sido catalogado ser eficientes para disipar la energía sísmica, estos son: pórticos especiales a momento, pórticos especiales arriostrados concéntricamente y pórticos arriostrados excéntricamente [37].

En la ingeniería de la construcción se utiliza el acero como material estructural para el diseño, fabricación y montaje de edificaciones basado en la AISC (American Institute of Steel Construction); AWS (American Welding Society) y ASTM (American Society for Testing and Materials).

##### **AISC 341**

La norma AISC 341 "Seismic Provisions for Structural Steel Buildings", establece los requisitos para el diseño, la fabricación y montaje de estructuras de acero sujetas a cargas sísmicas. Esta norma proporciona pautas detalladas para la resistencia y la ductilidad de las estructuras de acero, así como para la evaluación y el diseño de sistemas de refuerzo y de elementos de conexión. Además, aborda aspectos relacionados con la estabilidad de las estructuras, la protección contra incendios y las prácticas de inspección y control de calidad. AISC 341 es fundamental para garantizar la seguridad y la resistencia sísmica de los edificios y otras estructuras de acero en regiones propensas a terremotos [32].

##### **AISC 360**

La norma AISC 360, conocida como "Specification for Structural Steel Buildings", es un documento ampliamente utilizado en la industria de la construcción para el diseño y la fabricación de estructuras de acero. Esta norma proporciona lineamientos detallados sobre los requisitos de diseño, análisis, fabricación y montaje de estructuras

de acero, abarcando desde la selección de materiales hasta la inspección final de la estructura. AISC 360 también incluye disposiciones para la resistencia de materiales, cargas de diseño, análisis estructural y criterios de estabilidad, asegurando la seguridad y el rendimiento óptimo de las estructuras de acero en una variedad de aplicaciones, desde edificios de gran altura hasta puentes y estructuras industriales [38].

### ASTM A 706

El material base considerado en esta investigación es el ASTM A 706 (Barra de acero corrugado para la construcción de baja aleación para la varilla grado 60 con resaltes Hi-bond de alta adherencia con el concreto.). Las principales propiedades de este tipo de acero están establecidas en la especificación de la Tabla 6. La norma establece las características de esfuerzos de porcentaje de deformación mínimo según los diámetros de las barras y el grado del acero y el porcentaje de elongación mínimo.

Tabla 6. Esfuerzos principales y porcentajes de elongación del acero ASTM 706

**TABLE 2 Tensile Requirements**

	Grade 60 [420]	Grade 80 [550]
Tensile strength, min, psi [MPa]	80 000 [550] <sup>A</sup>	100 000 [690] <sup>A</sup>
Yield strength, min, psi [MPa]	60 000 [420]	80 000 [550]
Yield strength, max, psi [MPa]	78 000 [540]	98 000 [675]
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %		
Bar Designation Nos.		
3, 4, 5, 6 [10, 13, 16, 19]	14	12
7, 8, 9, 10, 11 [22, 25, 29, 32, 36]	12	12
14, 18 [43, 57]	10	10

<sup>A</sup> Tensile strength shall not be less than 1.25 times the actual yield strength.

### ASTM A 572

Este acero posee una excelente ductilidad y permite ser soldado fácilmente por varias técnicas. Además, tiene una clasificación de cinco grados diferentes: 42, 50, 55, 60 y 65 que indican la resistencia a la fluencia (Ksi) [8] que poseen los aceros como se detalla en la Tabla 2.

Tabla 7. Propiedades mecánicas del ASTM A 572.

TIPO ASTM 572	Esfuerzo de fluencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la tensión (kg/cm <sup>2</sup> )	Elongación (%)	
			En 5 cm	En 20 cm
Grado 42	2953	4218	24	20
Grado 50	3515	4570	21	18
Grado 60	4218	5273	18	16
Grado 65	4570	5624	17	15

En este estudio el material seleccionado es el acero ASTM A572 Grado 50 siendo el más utilizado a nivel de aplicaciones que incluyen: partes de automóviles y camiones (carrocerías), vagones de ferrocarril, puentes y en edificaciones [8].

### **3.3.Tipo de investigación**

En este proyecto de investigación, se aplicaron con los siguientes tres tipos de investigación:

#### **Exploratoria:**

Este estudio se considera exploratoria con el objetivo determinar factores significativos que permitan lograr excelentes propiedades mecánicas de la junta soldadura. El método propuesto satisface las necesidades que permite mejorar la construcción de una estructura metálica, garantizando la estabilidad de estas.

#### **Descriptiva:**

Es una investigación Descriptiva ya que se explicará los resultados obtenidos de los análisis de la junta soldada por medio de ensayos destructivos y no destructivos.

#### **Experimental:**

El estudio es considerada experimental por cuanto se realizará ensayos destructivos y No destructivos considerando variables independientes que podrían incidir en las propiedades mecánicas de la junta soldada

### **3.4.Operacionalización de variables**

Se realizó la operacionalización de variables para determinar los indicadores e instrumentos a utilizarse en el estudio del proceso de soldadura, de acuerdo como se describe en las tablas 8 y 9.

**Variable dependiente:** Propiedades mecánicas de una edificación de estructura metálica de cuatro plantas

**Variable independiente:** Estudio del proceso de soldadura del sistema de anclaje placa base – varilla

Tabla 8. Operacionalización de la variable dependiente “Propiedades mecánicas de una edificación de estructura metálica de cuatro plantas”

Definición	Descripción		Indicador	Instrumento
La variable corresponde a las condiciones con las que se construye la edificación de estructura metálica, se realiza bajo normativa. Se configuran los procesos de fabricación de acuerdo con las solicitudes del diseño.	Diseño	Diseño del sistema estructural	IMF Pórtico intermedio a momento	Aplicación de normativas AISC 341 – 360 y NEC 15
		Diseño del sistema de anclaje	Placa base - varilla	Aplicación de guías de diseño AISC
	Parámetros de fabricación	Tipo de junta	Soldadura de penetración completa CJP	Ensayos bajo el código de soldadura AWS D1.1.
			Soldadura de penetración parcial PJP	
		Tipo de proceso	SMAW	
			FCAW	
		Tipo de material de aporte	E 7018	
			E 8018 E71T-1C	

Tabla 9. Operacionalización de la variable independiente “Estudio del proceso de soldadura del sistema de anclaje placa base – varilla”

Definición	Descripción		Indicador	Instrumento
Corresponde a la variable que no presenta manipulaciones. Se realizó un estudio directo de las condiciones finales en las que se construyó la edificación, aplicando los criterios normativos.	Ensayos Destructivos	Ensayo a tracción	Resistencia a la tracción	Ensayo bajo la normativa ASTM A370 / ASTM E- 8
			Porcentaje de elongación	
			Módulo de elasticidad	
	Macrografía		Nivel de penetración	Ensayo bajo la norma AWS D1.1. ASTM E-165
			Discontinuidades o imperfecciones en la soldadura	
	Ensayos no destructivos	Inspección visual VT	Número de discontinuidades	Ensayo bajo la norma AWS D1.1. Criterios de aceptación y rechazo

### **3.5.Prueba de hipótesis**

¿La variación del tipo de soldadura, tipo de junta, y material de aporte permitirá mejorar el proceso de soldadura del sistema de placa base y varilla de anclaje?

### **3.6.Población o muestra**

Para este estudio se consideró la varilla corrugada ASTM A706 de 25 mm de diámetro y la placa base corresponde al acero ASTM A572 Gr 50, se usaron dos tipos de procesos de soldadura (SMAW y FCAW) y el material de aporte fue E7018, E8018 y E71T-1C. Se realizó un diseño de experimentos con 12 juntas soldadas.

### **3.7.Recolección de información**

Para la recolección de información se procederá a la investigación bibliográfica de los procesos de soldadura en varilla corrugada microaleada y la revisión de normativa del código de soldadura. Se realizará la visita técnica a las diferentes constructoras de estructuras metálicas y conocer el proceso de conexión del sistema de placa base y varilla de anclaje.

Luego de realizar los ensayos destructivos y no destructivos se procede a recopilar los datos recibidos por la máquina universal en el caso del ensayo a tracción, así como los resultados derivados del ensayo de la macrografía e inspección visual según los criterios de aceptación de acuerdo con lo establecido por la norma AWS D1.4.

### **3.8.Procesamiento de la información y análisis estadístico**

Después, se someterán las muestras a los siguientes ensayos mecánicos: Ensayo de tracción, según ASTM A370 / ASTM E-8, Ensayo de macrografía según AWS D1.4, ASTM E3-11e Inspección Visual según AWS D1.4.

### **3.9.VARIABLES DE RESPUESTA**

- Propiedades mecánicas de la junta a tracción
- Penetración del cordón de soldadura
- Número de discontinuidades
- Criterios de aceptación y rechazo

### 3.10. Diagrama de flujo del proceso de investigación

De acuerdo con lo descrito en los apartados anteriores, en la figura 7 se presenta un diagrama de flujo con el resumen del proceso investigativo.

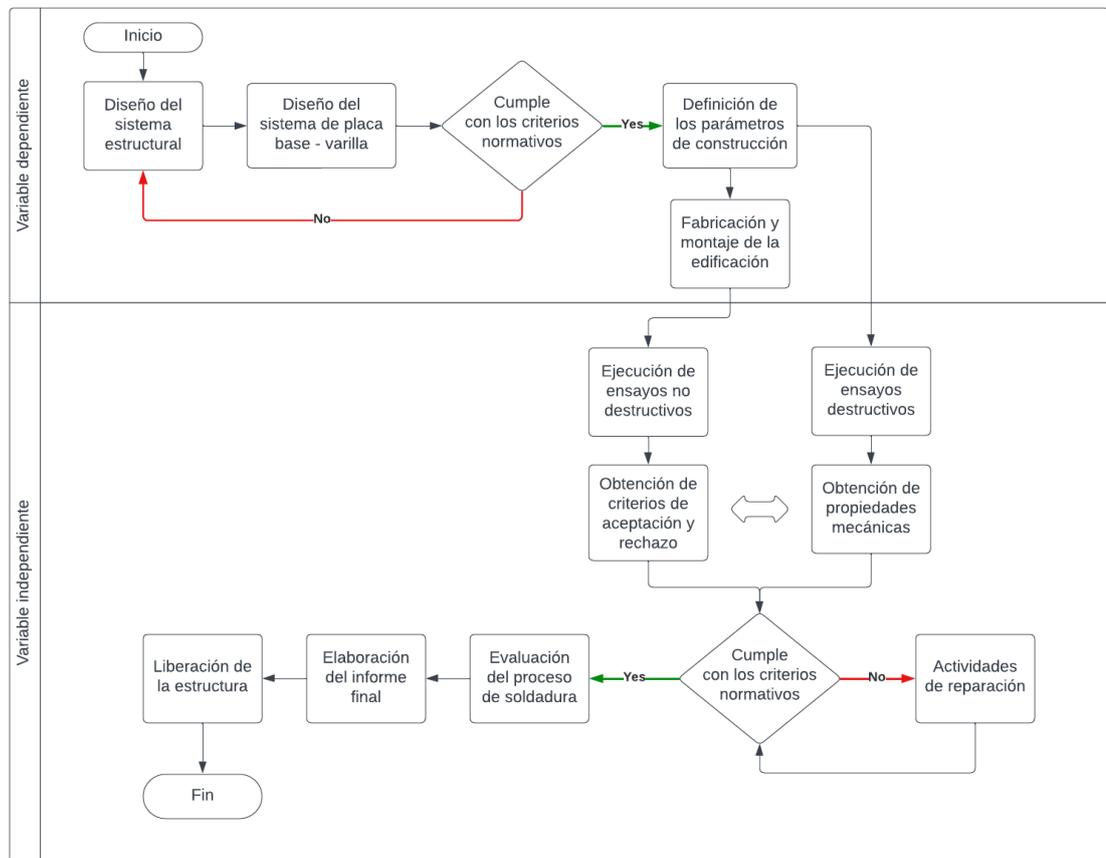


Figura 7. Diagrama de flujo del proceso de investigación de las variables dependiente e independiente

### 3.11. Técnicas

Para tomar medidas de las 12 probetas en las que se realizó el proceso de soldadura, se inició con la adquisición de la varilla de acero corrugado microaleado ASTM A706 de 25 mm de diámetro. Posteriormente se realizaron los cortes utilizando la trazadora de la marca Dewalt D28720 con un disco de 1/4 pulgada, como se aprecia en la Figura 8.



Figura 8. Proceso de corte de varillas

Se cortó la plancha de acero ASTM A572 Gr 50 de 25 mm de espesor. Mediante la máquina oxicorte se procede a realizar 12 placas de 650x650x250 mm con 8 agujeros de 25 mm + 3 mm de juego para el depósito de soldadura, como se aprecia en la Figura 9.



Figura 9. Corte de la placa base de 25 mm de espesor con la técnica de oxicorte

### 3.12. Especificaciones del Proceso de Soldadura (WPS)

La especificación para los procesos de soldadura son parámetros adaptas a cada proceso de soldadura, que permiten al soldador realizar el proceso de forma determinada, con la finalidad de conseguir excelentes efectos en la soldadura, estos parámetros son detallados en el WPS serán adjuntados al ANEXO, y han sido seleccionados de acuerdo con el material de aporte seleccionado en la investigación.

### 3.13. Parámetros de soldadura

#### 3.13.1. Voltaje

Se realizó el proceso FCAW, para lo que se denomina la tensión eléctrica que impulsa a los electrones necesarios para el trabajo de soldadura. En la Tabla 5 se muestra los valores recomendados para el voltaje según el diámetro del alambre E71T-1C.

Tabla 10. Valores recomendados de voltaje, velocidad de alimentación del alambre [39]

Diámetro, gas protector de polaridad	CTWD <sup>(5)</sup> mm (in)	Velocidad de alimentación de alambre m/min (pulgadas/min)	Voltaje (voltios)	Corriente aproximada (amperios)	Relación de fusión kg/hr (lb/hr)
<b>0.030 pulgadas (0.8mm), CD+</b>					
Transferencia de corto circuito 100% CO <sub>2</sub>	9-12	1.9 (75)	17	35	0.4 (0.9)
	(3/8-1/2)	3.6 (150)	18	70	0.8 (1.6)
		7.6 (300)	22	130	1.6 (3.6)
<b>0.035 pulgadas (0.9 mm): CD+</b>					
Transferencia de corto circuito 100% CO <sub>2</sub> <sup>(6)</sup>	9-12	2.5 (100)	18	80	0.7 (1.6)
	(3/8-1/2)	3.8 (150)	19	120	1.1 (2.4)
		6.4 (250)	22	175	1.8 (4.0)
Transferencia de roció 90% Ar/10% CO <sub>2</sub>	12-19	9.5 (125)	23	195	2.7 (6.0)
	(1/2-3/4)	12.7 (500)	29	230	3.6 (8.0)
		15.2 (600)	30	275	4.4 (9.6)
<b>0.045 pulgadas (1.1 mm): CD+</b>					
Transferencia de corto circuito 100% CO <sub>2</sub> <sup>(6)</sup>	12-19	3.2 (125)	19	145	1.5 (3.4)
	(1/2-3/4)	3.8 (150)	20	165	1.8 (4.0)
		5.1 (200)	21	200	2.5 (5.4)
Transferencia de roció 90% Ar/10% CO <sub>2</sub>	12-19	8.9 (350)	27	285	4.2 (9.2)
	(1/2-3/4)	12.1 (475)	30	335	5.7 (12.5)
		12.7 (500)	30	340	6.0 (13.2)
<b>0.052 pulgadas (1.3 mm): CD+</b>					
Transferencia de roció 90% Ar/10% CO <sub>2</sub>	12-19	7.6 (300)	30	300	4.8 (10.6)
	(1/2-3/4)	8.1 (320)	30	320	5.2 (11.5)
		12.3 (485)	32	430	7.8 (17.1)
<b>1/16 pulgadas (1.6 mm): CD+</b>					
Transferencia de roció 90% Ar/10% CO <sub>2</sub>	12-25	5.3 (210)	25	325	4.8 (10.7)
	(1/2-1)	6.0 (235)	27	350	5.4 (12.0)
		7.4 (290)	28	430	6.7 (14.8)

#### 3.13.2. Velocidad de alambre

La velocidad de alimentación de hilo (alambre) es un parámetro regulable en la máquina, y está relacionada con los valores de tensión e intensidad, el ajuste de la velocidad del hilo con llevará un mayor o menor flujo de fundente en la zona a soldar. Si se disminuye la velocidad del hilo lo que ocurre es que aumenta la penetración, con una velocidad de soldeo alta, se produce una soldadura irregular.



Figura 10. Equipo de soldadura Lincoln Electric

### 3.13.3. Caudal de gas

El caudal de gas, el cual debe ser el apropiado influye en los resultados, un caudal bajo producirá una protección insuficiente, y un caudal muy alto puede producir turbulencias formando cráteres. La postura de soldadura elegida para toda la elaboración de las muestras para dicha investigación fue la de 1G o plano, debido a que el material de aporte se deposita desde la parte superior. Las posiciones de soldaduras permitidas según el tipo de junta se describen en la Tabla 11.

Tabla 11. Posiciones de soldadura según el tipo de junta [21].

Test Position	Production Welding Joint and Position Qualified			
	Direct Butt and T-Joint [Figures 5.1, 5.2, 5.5(D)]	Fillet Joint [Figure 5.5(A), (B), and (C)]	Indirect Butt Joint [Figures 5.3 and 5.5(E)]	Lap Joint (Figure 5.4)
1G	F	F, H	—	—
2G	F, H	F, H	—	—
3G	F, H, V	<u>F, H, O</u>	—	—
4G	F, OH	F, H, V	—	—

Luego de preparar todos los elementos que conforma el sistema de placa base-varilla, se realizó la soldadura con el proceso FCAW. El material de aporte utilizado es el alambre E71T-1 de la marca Indura ya que también es el usado en la industria ecuatoriana según, ASME IIC SFA 5.20 /AWS A5.20 - E 71T-1C / E 491T-1C; con un diámetro de alambre 1.2 mm que cumple con los requerimientos de extensión

sísmico AWS D1.8. Este código se aplica a uniones soldadas en un sistema estructural de resistente a fuerzas sísmicas diseñados bajo la Norma AISC (Especificación para Construcciones de Acero).

#### **3.13.4. Soldadura de Placa mediante proceso FCAW.**

Para la fabricación de las muestras se utiliza una fuente de poder marca Lincoln Electric 256 Power, en la cual se puede modificar variables de voltaje y velocidad de alambre; para el caudal del gas externo se utiliza el CO2 de la marca Indurama.

1. En superficies relativamente plana con la utilización de una grata, como se visualiza en la Figura 11 y 12.



Figura 11. Grata metálica para limpieza de superficie



Figura 12. Escuadra y hacer referencia a ángulo de 90°

En este proceso de soldadura FCAW permite que el arco se establece entre el electrodo tubular continuo y la placa base de 25 mm; se genera una protección continua de gas protector, como se aprecia en la figura.



Figura 13. FCAW junta a tope penetración parcial

### **3.13.5. Soldadura de Placa mediante proceso SMAW.**

Para este proceso de soldadura se tienen dos tipos de electrodos E7018 de 1/8 pulg de diámetro, sirve para soldar en todas las posiciones, posee buena eficiencia de deposición y E8018 de 5/32 pulg de diámetro revestimiento básico con polvo de hierro que produce depósitos debajo contenido de hidrógeno, aleados al níquel. Para estos

procesos de soldadura se recomienda limpieza entre pases con cepillos de acero o grata. En el Anexo 4 se puede observar la ficha técnica del electrodo empleado, además de ciertos parámetros WPS de soldadura recomendados por el fabricante.



Figura 14. Soldadura SMAW en la placa base-varilla

Tras la preparación de la probeta, para lo que se requirió aplicar las normas técnicas sobre metalografías como la ASTM E3-11 que abarca las recomendaciones para estos ensayos destructivos complementando la norma ASTM E-340, que detalla específicamente lo referente a macrografías en diferentes materiales.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Diseño del edificio de cuatro plantas en estructura metálica

Se diseñará un edificio de oficinas en estructura metálica localizado en la ciudad de Riobamba, Ecuador, este se encuentra en una zona con actividad sísmica significativa, dado que la ciudad está situada en una región altamente sísmica debido a su ubicación en la Cordillera de los Andes y su proximidad a la Zona de Subducción de la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana. Esta condición sísmica hace que sea crucial que el diseño y la construcción del edificio estén especialmente orientados hacia la seguridad estructural.

La investigación se enfoca especialmente en tres áreas críticas: las columnas, la placa base y los anclajes.

- Las columnas de la estructura metálica se diseñan para resistir tanto las fuerzas verticales como laterales generadas por los sismos, utilizando materiales y secciones transversales adecuadas para asegurar su resistencia y ductilidad.
- La placa base de las columnas juega un papel crucial en la estabilidad del edificio durante un terremoto, requiriendo una correcta dimensionamiento y detalle para transmitir eficientemente las cargas y resistir las fuerzas horizontales.
- Los anclajes son esenciales para garantizar una conexión segura entre la estructura y los cimientos, diseñados para resistir las fuerzas sísmicas y prevenir el desplazamiento lateral y fallas prematuras durante un evento sísmico, en este contexto se estudió el proceso de soldadura del sistema de anclaje placa base – varilla, y su incidencia en las propiedades mecánicas con las sollicitaciones del edificio diseñado.

Con el diseño se obtuvo la geometría del edificio y las cargas que se transmiten a las placas base y anclajes relacionado con su peso propio además de las cargas permanentes, temporales y sísmicas.

Con esto se obtuvo la geometría de la placa base y las dimensiones de los anclajes soldados que se analizaron.

#### 4.1.1. Cargas no sísmicas

##### 4.1.1.1. Carga viva

Las cargas vivas se obtuvieron del apartado 4.2.1 de la NEC 15 que establece los valores en kN/m<sup>2</sup> según el tipo de edificio y sus áreas los valores recomendados para el tipo de edificio planteado se presentan de forma detallada en la Tabla 12, estos valores se ingresaron en el software de cálculo estructural en el área de la losa tipo Deck.

Tabla 12. Cargas vivas consideradas para el diseño del edificio [40].

Edificio de oficinas	Carga	Unidad
Áreas de recepción y corredores del primer piso	4,800	kN/m <sup>2</sup>
Oficinas	2,400	kN/m <sup>2</sup>
Corredores sobre el primer piso	4,000	kN/m <sup>2</sup>

##### 4.1.1.2. Acabados

Se consideraron los materiales de acabado más comunes en el medio local, sus pesos fueron obtenidos del capítulo de cargas no sísmicas de la NEC 2015, apartado 4.1.

Para obtener el peso total de la sobrecarga de acabados que soportará la estructura los pesos que se encuentran por unidad de volumen se dividen para la luz de la viga más grande (6.2 m) y finalmente se suman, obteniendo el valor final en la Tabla 13.

Tabla 13. Sobrecarga de acabados considerada para el diseño del edificio [40].

Material	Peso	Unidad	Peso kN/m <sup>2</sup>
Ladrillo cerámico prensado (0 a 10% de huecos)	19,000	kN/m <sup>3</sup>	3,065
Baldosa cerámica	18,000	kN/m <sup>3</sup>	2,903
Cielorraso de yeso sobre listones de madera (incluido listones)	0,200	0,20 kN/m <sup>2</sup>	0,200
Chapa ondulada de acero galvanizado (deck metálico 1.3 mm)	0,140	kN/m <sup>3</sup>	0,023
<b>TOTAL</b>			<b>6,190</b>

#### 4.1.2. Cargas sísmicas

Tabla 14. Datos para el cálculo del espectro sísmico de diseño

Parámetro	Variable	Valor	Unidades	Referencia
Factor de importancia	<b>I</b>	1,00	s.u	Tabla 6, Sec.4.1
Factor de reducción de respuesta	<b>R</b>	6,00	s.u	Tabla 15, Sec.6.3.4
<b>Zonificación Sísmica</b>		<b>V</b>		Tabla 1, Sec.3.1.1
Región del Ecuador		Sierra, Esmeraldas y Galapagos		Sec.3.3.1
Factor de aceleración de la zona sísmica	<b>Z</b>	0,40	s.u	Tabla 1, Sec.3.1.1
Relación de amplificación espectral	<b>n</b>	2,48	s.u	Sec.3.3.1
Coefficiente Ct	<b>Ct</b>	0,055	s.u	Sec.6.3.3
Altura total del elemento	<b>hn</b>	15,00	m	Planos
Coefficiente para Calculo de Periodo	<b><math>\alpha</math></b>	0,90	s.u	Sec.6.3.3
Tipo de Suelo		D		Tabla 2, Sec.3.2.1
factor de sitio Fa	<b>Fa</b>	1,20	s.u	Tabla 3, Sec.3.2.2
factor de sitio Fd	<b>Fd</b>	1,19	s.u	Tabla 4, Sec.3.2.2
factor de comportam. inelástico suelo	<b>Fs</b>	1,28	s.u	Tabla 5, Sec.3.2.2
Factor asociado al periodo de retorno	<b>r</b>	1,00	s.u	Se 3.3.1
Factor de irregularidad en planta	<b><math>\emptyset_p</math></b>	1,00	s.u	Tabla 13, Sec.5.2.3
Factor de irregularidad en elevación	<b><math>\emptyset_e</math></b>	1,00	s.u	Tabla 14, Sec.5.2.3
Aceleracion de la gravedad	<b>g</b>	9,81	m/s <sup>2</sup>	
Período teórico metodo 1	<b>Tm1</b>	0,629	seg.	Sec.6.3.3
Período teórico metodo 1 mayorado	<b>Tm2</b>	0,818	seg.	Sec.6.3.3
Período fundamental direccion x	<b>Tx</b>	1,584	seg.	ETABS
Período fundamental direccion y	<b>Ty</b>	1,511	seg.	ETABS
Periodo Límite en T=To	<b>To</b>	0,127	seg.	Sec.3.3.1
Periodo Límite en T=Tc	<b>Tc</b>	0,698	seg.	Sec.3.3.1
Periodo Límite en T=TL	<b>TL</b>	2,856	seg.	Sec.3.3.1
Aceleración en T=0	<b>Sa</b>	0,480	g	Sec.3.3.1
Aceleración en T=To	<b>Sa<sub>o</sub></b>	1,190	g	Sec.3.3.1
% de reduccion de respuesta	<b>f</b>	0,17	s.u	% energía R. LINEAL
		0,83	s.u	% energía R. no LINEAL

Los valores con los que se obtuvo el espectro sísmico de diseño relacionados con el sitio de construcción, el tipo de suelo y la zona sísmica se exponen en la Tabla 14 en este aspecto se hace especial énfasis en el factor de importancia que asume el valor de 1, porque el edificio no es esencial o de ocupación especial y el factor de reducción de cargas sísmica R de 6 al considerarse un pórtico intermedio a momento.

Con estos datos se grafica el espectro elástico y el espectro reducido expuestos en la Figura 15.

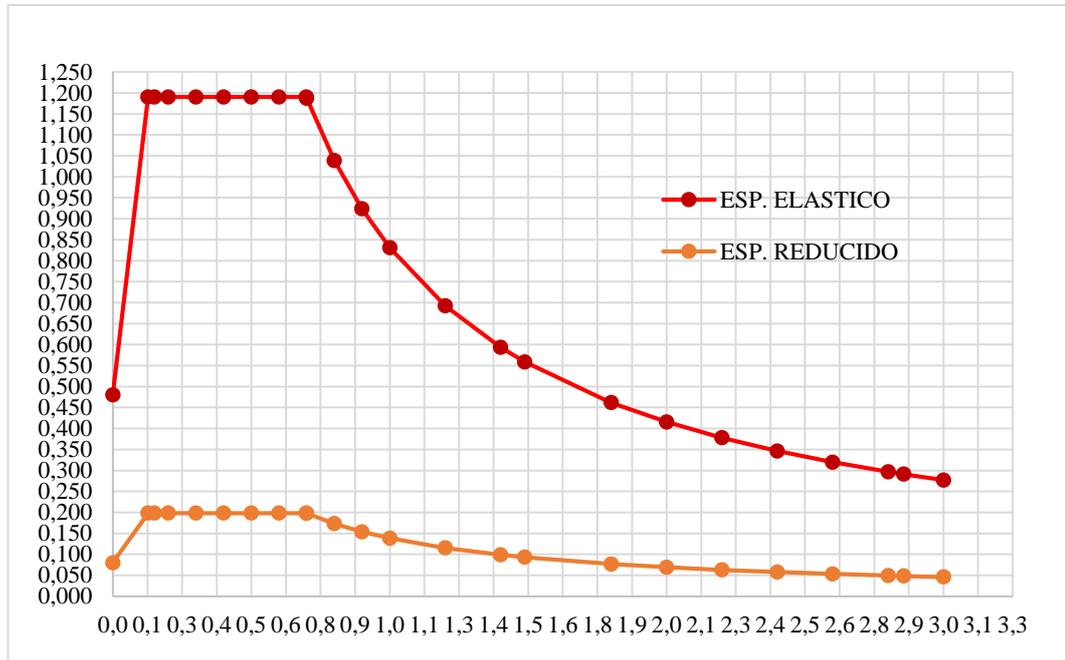


Figura 15. Espectro de diseño basado en aceleración NEC-SE-DS-2015

#### 4.1.3. Secciones o perfiles estructurales seleccionados

##### a) Columnas

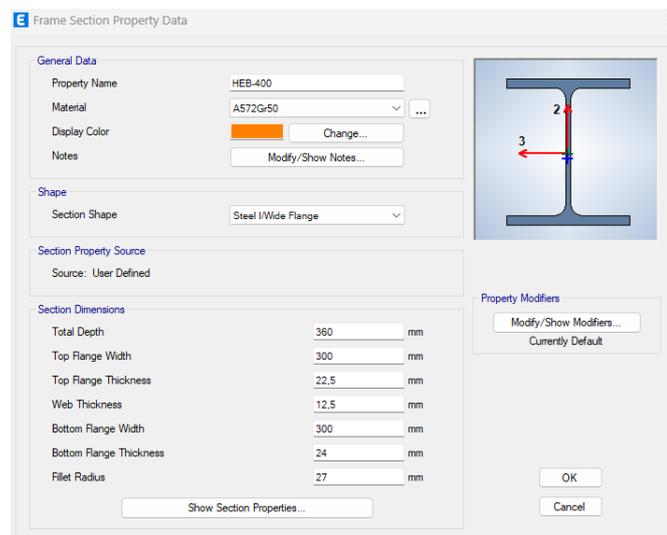


Figura 16. Geometría de sección de las columnas metálicas diseñadas.

Como se muestra en la figura 16 la sección establecida para las columnas metálicas corresponde a un perfil tipo HEB estos tienen una sección transversal en forma de "H",

con alas paralelas más anchas que el alma central. Esta geometría proporciona una excelente resistencia tanto en dirección vertical como lateral, lo que los hace ideales para soportar cargas verticales y momentos de flexión en aplicaciones de construcción, como las columnas.

### b) Vigas principales

Por otro lado, para las vigas secundarias se seleccionaron perfiles tipo IPE, Estos perfiles tienen una sección transversal en forma de "I", con un alma central y alas paralelas en la parte superior e inferior. Las alas son más anchas que el alma, lo que proporciona una distribución eficiente del material y una mayor resistencia a la flexión y la compresión.

Los perfiles IPE suelen ser fáciles de manipular e instalar, lo que facilita su uso en la construcción de vigas y otros elementos estructurales. Las dimensiones establecidas para las vigas principales se presentan en la figura 14.

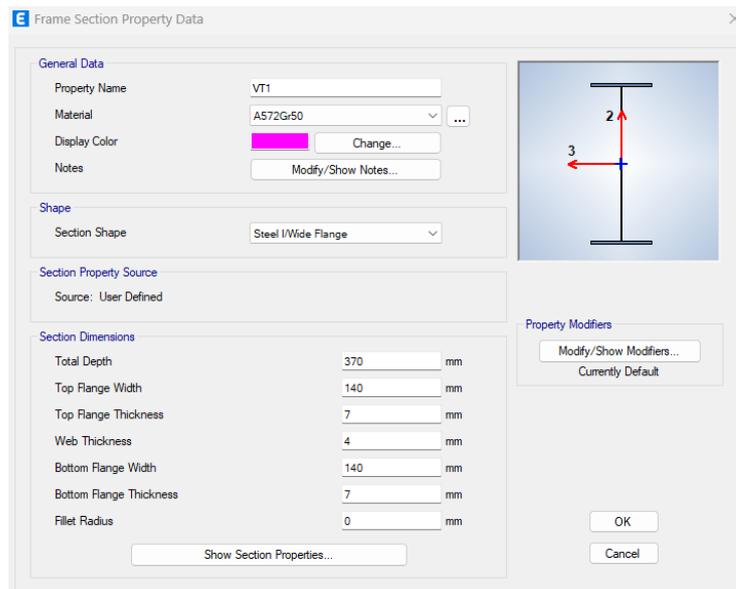


Figura 17. Geometría de sección de las vigas principales tipo I diseñadas.

Los perfiles IPE también son una opción eficiente y confiable para vigas secundarias en conexiones a corte. Su diseño en forma de "I" ofrece una distribución equilibrada de material, proporcionando resistencia óptima a la flexión y la compresión, las dimensiones de las vigas secundarias se presentan en la figura 17.



en la tabla 15 se obtuvo un cortante basal de diseño del 270,73 tonf, que es el valor mínimo que debe cumplir la estructura según la NEC 2015 en función de su peso y los factores de zonificación sísmica y de suelo,

En este contexto el cortante basal obtenido en la tabla 16 mediante software de cálculo estructural fue de 287,92 tonf que es superior al de diseño, lo cual es adecuado

Tabla 16. Cortante basal estático obtenido en el análisis estático lineal

<b>Carga sísmica</b>	<b>Cortante Basal X</b>	<b>Cortante Basal Y</b>	<b>Unidades</b>
Sismo X Estático. Lineal	-287,9292	0	tonf
Sismo Y Estático. Lineal	0	-287,9292	tonf
Cortante de diseño	270,731		tonf
<b>Criterio de aceptación</b>	<b>CUMPLE</b>		

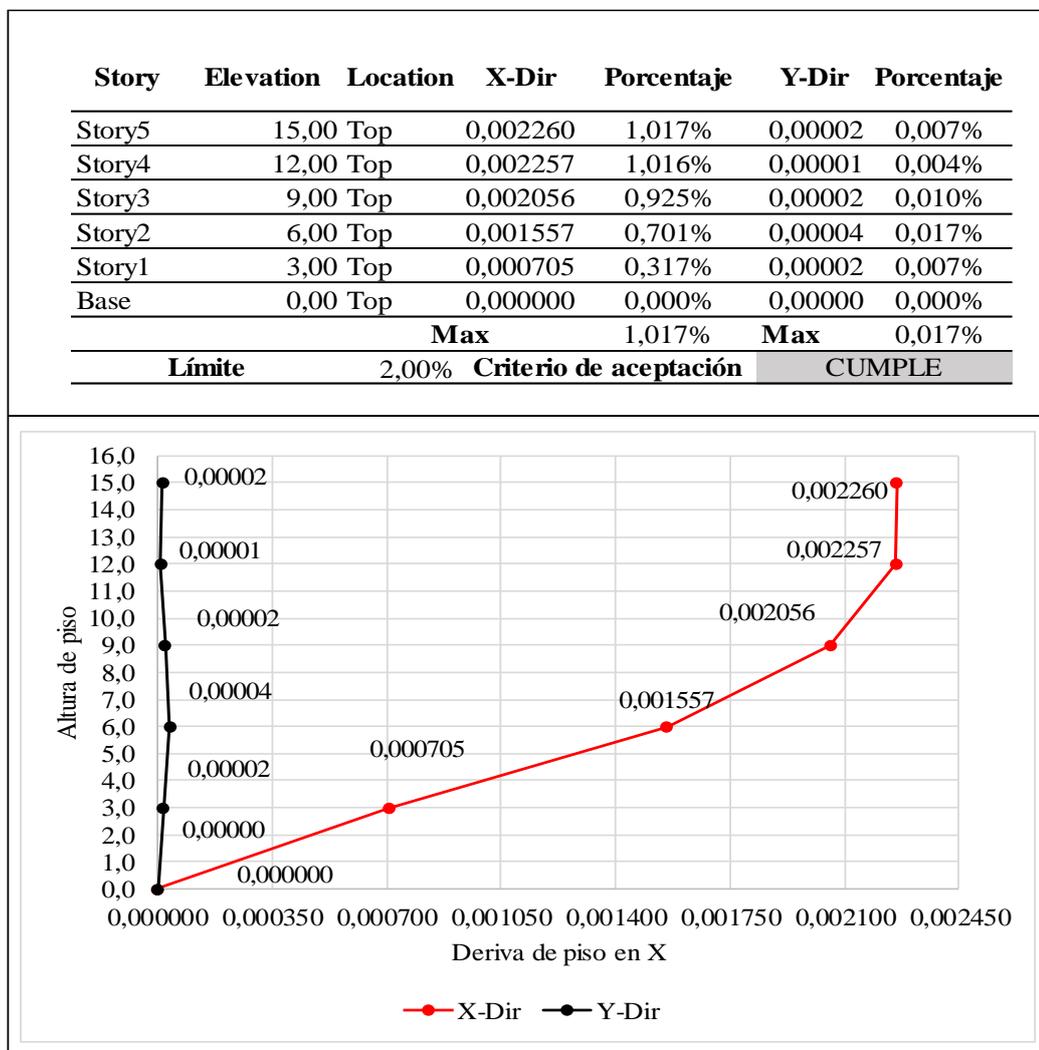
#### **4.1.4.2. Derivas de piso**

La deriva de piso se refiere al desplazamiento lateral relativo entre dos puntos ubicados en pisos distintos de un edificio debido a la acción de fuerzas horizontales, como las provocadas por el viento o un terremoto.

El objetivo principal de determinar las derivas de piso en un análisis estructural es evaluar cómo un edificio se desplaza lateralmente debido a cargas como viento o sismo. Estas derivas, que representan las deflexiones horizontales entre diferentes niveles de la estructura, son cruciales para garantizar la estabilidad y la seguridad de la edificación, así como para proteger a sus ocupantes. Al comprender y calcular con precisión estas derivas, los ingenieros pueden diseñar medidas de mitigación adecuadas y garantizar que la estructura cumpla con los estándares de seguridad y desempeño requeridos.

a) Eje X

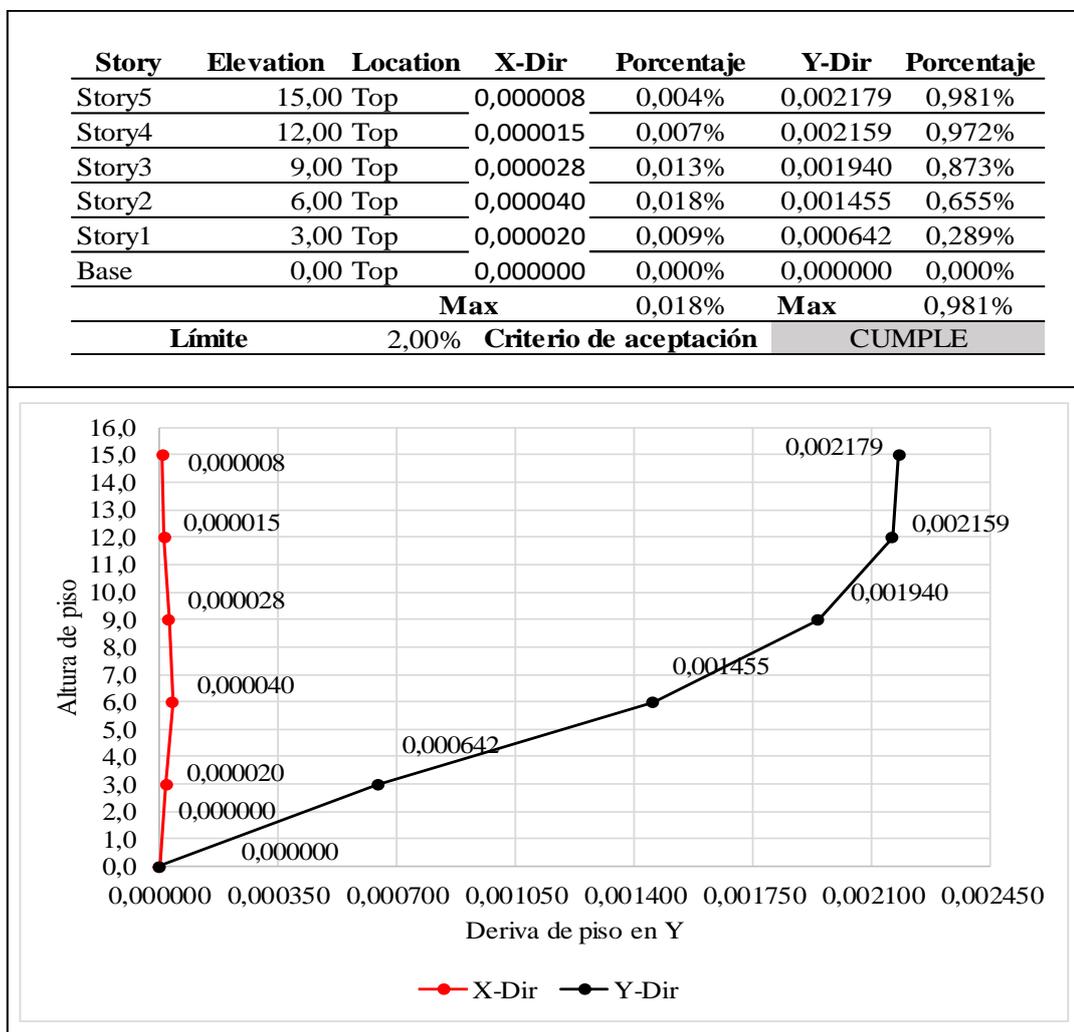
Tabla 17. Deriva inelástica de piso máxima en el eje X



Teniendo en cuenta que la deriva de piso es una medida importante para evaluar la respuesta sísmica y el comportamiento estructural del edificio, el límite permisible dado por normativa corresponde al 2% en este contexto para el eje X de la estructura se obtuvo un valor de 1,017% como se indica en la tabla 17 que está dentro del límite estipulado por la normativa de construcción vigente.

## b) Eje Y

Tabla 18. Deriva inelástica de piso máxima en el eje Y



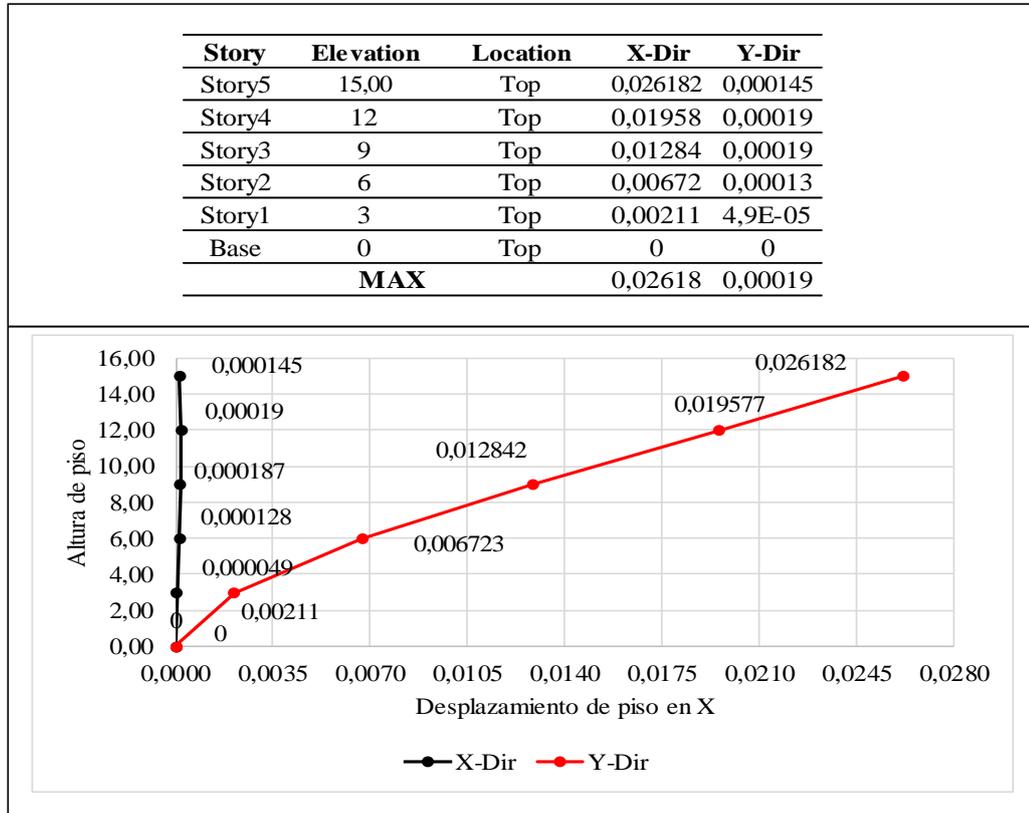
En el análisis estático lineal realizado en el eje Y (Tabla 18), se determinó que la deriva elástica máxima de piso es del 0,981%, una cifra que se encuentra dentro del límite establecido. Esta deriva, al igual que la obtenida en el eje X, asegura la integridad y seguridad estructural del edificio. Es importante destacar que estas derivas máximas se manifiestan en el último piso del edificio, lo que revela un patrón de desplazamiento creciente a medida que se incrementa la altura de la estructura.

Este fenómeno resalta la importancia de considerar la distribución vertical de cargas y la respuesta sísmica en el diseño y la evaluación de la estabilidad de la edificación en su conjunto.

#### 4.1.4.3.Desplazamientos

##### a) Eje x

Tabla 19. Desplazamientos de piso en el eje X

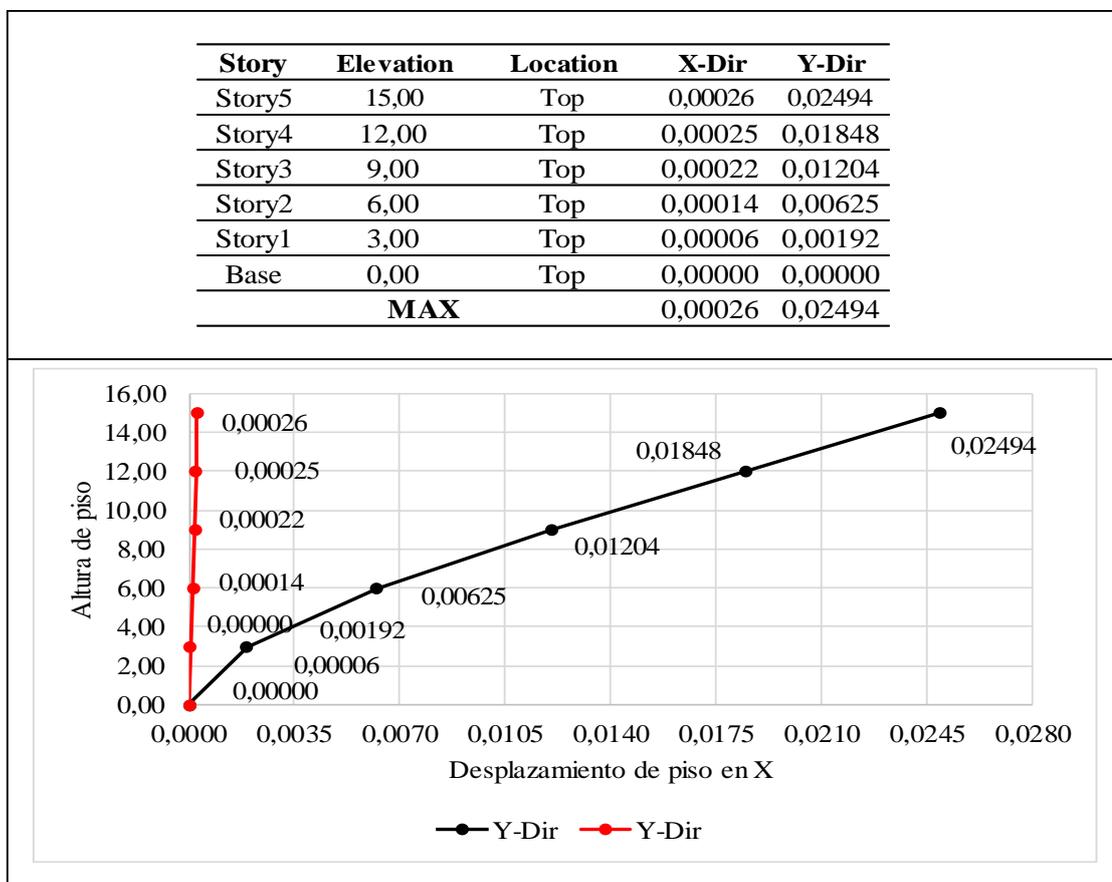


En relación con los desplazamientos analizados mediante el análisis estático lineal, se evidencia que en el eje X, el valor máximo se registra en el piso superior de la estructura, alcanzando una magnitud de 0.02618 metros (equivalente a 2,618 centímetros). Este desplazamiento se genera como resultado de la carga sísmica estática aplicada, la cual se calcula mediante la aplicación del coeficiente de cortante basal en los patrones de carga del modelo estructural desarrollado en el software de cálculo correspondiente.

Además, la tabla 19 muestra una representación gráfica de estos desplazamientos, revelando un patrón claro de aumento conforme se asciende en la altura del edificio o en los diferentes pisos de la estructura. Este comportamiento progresivo de los desplazamientos indica una distribución característica en la respuesta de la estructura ante las cargas aplicadas.

**b) Eje y**

Tabla 20. Desplazamientos de piso en el eje y.



En el análisis estático lineal de los desplazamientos, se observa que la mayor magnitud en el eje Y se encuentra en el nivel superior de la estructura, alcanzando 0.02494 metros (equivalente a 2,494 centímetros). Este desplazamiento es producto de la carga sísmica estática aplicada, calculada utilizando el coeficiente de cortante basal en los patrones de carga del modelo estructural creado en el software correspondiente.

Adicionalmente, la tabla 20 ofrece una representación gráfica de estos desplazamientos, mostrando un claro incremento conforme se asciende en la altura del edificio o en los distintos pisos de la estructura. Este comportamiento progresivo indica una distribución característica en la respuesta de la estructura ante las cargas aplicadas.

#### 4.1.5. Análisis modal espectral

##### 4.1.5.1. Cortante basal

Tabla 21. Distribución de fuerzas laterales en dirección X

DISTRIBUCION DE FUERZAS LATERALES DIRECCION X							
PISO	Nivel	H (m)	METODO ESTATICO			MODAL ESPECTRAL	
			VE acum (ton)	VE (ton)	0.85*VE (t)	VD acum (ton)	VD (ton)
Story 5	15,00	3,00	90,96	90,96	77,32	74,92	74,92
Story 4	12,00	3,00	169,74	78,78	66,96	135,07	60,15
Story 3	9,00	3,00	228,84	59,10	50,24	174,15	39,08
Story 2	6,00	3,00	268,23	39,39	33,48	194,31	20,16
Story 1	3,00	3,00	287,92	19,69	16,74	200,37	6,06
Base	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			<b>TOTAL</b>	<b>287,92</b>	<b>244,73</b>	<b>TOTAL</b>	<b>200,37</b>

En la tabla 21 se presenta la distribución de fuerzas laterales obtenidas tanto el análisis estático lineal como en el modal espectral se observa un cortante basal estático de 244,73 tonf, mientras que el obtenido en el análisis modal espectral es menor porque la carga sísmica se distribuye de otra manera ya que se ve influida por la aceleración, la tabla también presenta el cortante por piso que se ve incrementado conforme se sube la altura del edificio, para las dos metodologías de diseño.

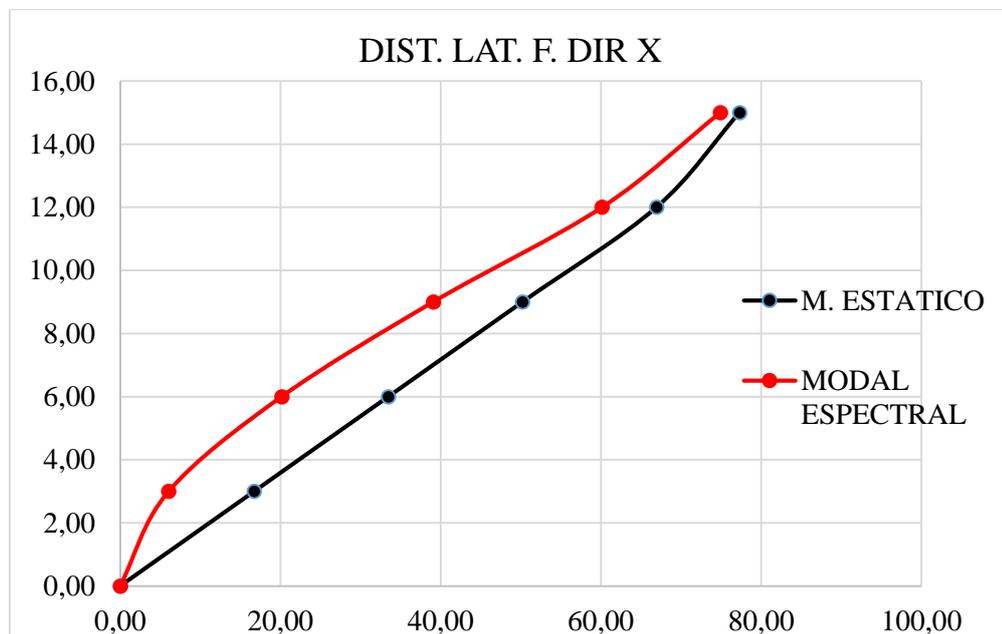


Figura 19. Gráfica de fuerzas laterales por piso en el EJE X.

En la figura 19 se presenta el comportamiento del cortante basal estático y dinámico conforme se eleva la altura del edificio, se observa que el cortante basal del análisis modal espectral tiene puntos más pronunciados que el estático.

Tabla 22. Distribución de fuerzas laterales en dirección Y

DISTRIBUCION DE FUERZAS LATERALES DIRECCION Y							
PISO	Nivel	H (m)	METODO ESTATICO			MODAL ESPECTRAL	
			VE acum (ton)	VE (ton)	0.85*VE (t)	VD acum (ton)	VD (ton)
Story 5	15,00	3,00	90,05	90,05	76,54	75,33	75,33
Story 4	12,00	3,00	168,48	78,43	66,67	135,20	59,87
Story 3	9,00	3,00	227,73	59,25	50,36	173,78	38,58
Story 2	6,00	3,00	267,63	39,90	33,92	193,49	19,71
Story 1	3,00	3,00	287,92	20,29	17,25	199,37	5,88
Base	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			<b>TOTAL</b>	<b>287,92</b>	<b>244,73</b>	<b>TOTAL</b>	<b>199,37</b>

En la Tabla 22 se muestra la distribución de fuerzas laterales obtenidas tanto en el análisis estático lineal como en el modal espectral. Se observa un cortante basal estático de 244,73 tonf, mientras que en el análisis modal espectral este valor es menor debido a la redistribución de la carga sísmica influenciada por la aceleración. Además, la tabla presenta el cortante por piso, el cual aumenta con la altura del edificio en ambas metodologías de diseño.

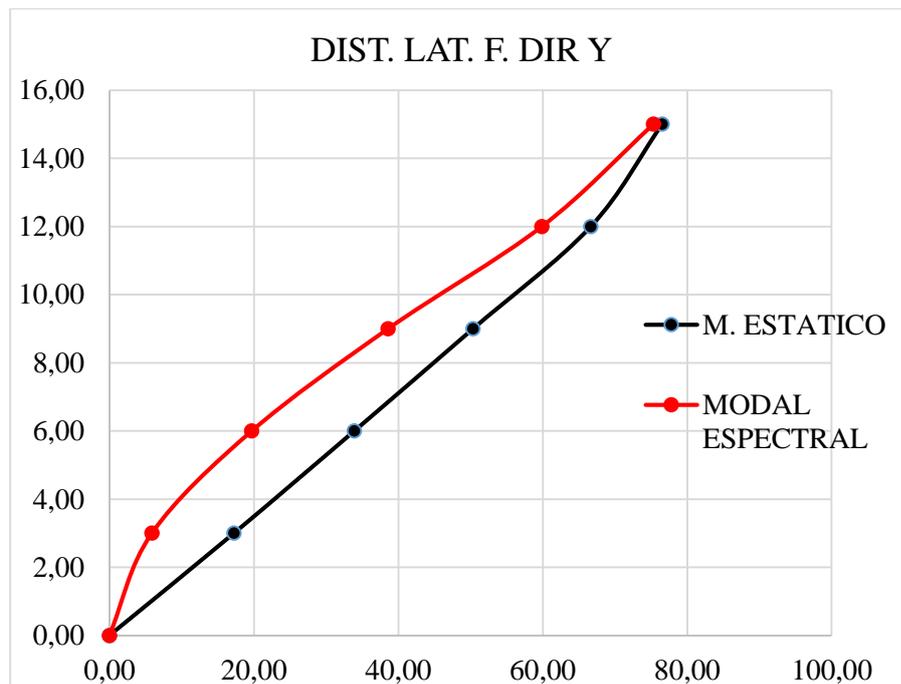


Figura 20. Gráfica de fuerzas laterales por piso en el EJE Y.

En la figura 20 se presenta el comportamiento del cortante basal estático y dinámico en dirección Y conforme se eleva la altura del edificio, se observa que el cortante basal del análisis modal espectral tiene puntos más pronunciados que el estático al igual que en el eje X.

#### 4.1.5.2. Corrección del cortante basal dinámico

Tabla 23. Corrección del cortante basal dinámico en los ejes X e Y

VE	287,92	tonf
VD	200,37	tonf
VD/VE	0,6959	s.u
VD/VE (NEC)	0,85	tonf
Factor de corrección X	<b>1,221</b>	s.u
VE-Y	287,92	tonf
VD-Y	199,37	tonf
VD/VE	0,6924	s.u
VD/VE (NEC)	0,85	tonf
Factor de corrección Y	<b>1,228</b>	s.u

Los coeficientes de corrección del cortante basal dinámico calculados fueron 1,221 en el eje X y 1,228 en el eje Y como se muestra en la tabla 23. Estos valores se multiplican por el factor de escala del caso de carga modal espectral para equiparar los resultados con el análisis estático lineal. Después de esta corrección, es esencial garantizar que el valor total del cortante dinámico en la base, obtenido mediante cualquier método de análisis dinámico, no sea inferior a:

- El 80% del cortante basal V calculado por el método estático para estructuras regulares.
- El 90% del cortante basal V calculado por el método estático para estructuras irregulares.

En este contexto, tras la corrección, se obtuvieron valores que muestran una notable similitud entre el cortante basal obtenido con el método estático y el método modal espectral, como se detalla en las tablas 21 y 22 para los ejes X y Y de la estructura.

Este cortante basal tiene en cuenta la respuesta de la estructura a las fuerzas sísmicas, considerando la masa, la rigidez y las características del suelo, así como la aceleración del sismo, un factor que no se contempla en el análisis estático lineal.

Al igual que en el método estático el que sea superior al mínimo indica que la estructura representa la carga horizontal máxima que debe ser resistida por los cimientos y la estructura en su conjunto para garantizar su estabilidad y seguridad

durante un terremoto.

#### 4.1.5.3.Periodos y modos de vibración

Tabla 24. Modos de vibrar y periodos

Case	Mode	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
		sec	cycle/sec	rad/sec	rad <sup>2</sup> /sec <sup>2</sup>
Modal	1	0,543	1,841	11,568	133,822
Modal	2	0,527	1,897	11,920	142,074
Modal	3	0,302	3,316	20,837	434,172
Modal	4	0,161	6,223	39,098	1528,671
Modal	5	0,161	6,223	39,102	1528,945
Modal	6	0,154	6,494	40,804	1664,964
Modal	7	0,154	6,497	40,820	1666,247
Modal	8	0,152	6,558	41,207	1697,992
Modal	9	0,152	6,576	41,321	1707,426
Modal	10	0,151	6,621	41,603	1730,809
Modal	11	0,151	6,635	41,691	1738,127
Modal	12	0,149	6,713	42,178	1778,985
Modal	13	0,149	6,714	42,183	1779,399
Modal	14	0,144	6,935	43,574	1898,690
Modal	15	0,144	6,935	43,576	1898,854
Modal	16	0,144	6,936	43,578	1899,003
Modal	17	0,144	6,936	43,580	1899,248
Modal	18	0,143	6,975	43,823	1920,441

La tabla 24 muestra 18 modos de vibrar y sus respectivos periodos se observa que los más altos son los 3 primeros, que alcanzan un valor de 0.543 s en X y 0,527 s en Y los cuales son adecuados considerando la altura del edificio. La mayoría de los códigos y normas de construcción recomiendan que el periodo sea de alrededor de 0.1s por piso y en este caso se cumple ese criterio considerando la terraza inaccesible del edificio. El tercer modo de vibrar torsional se representa en la figura 21.

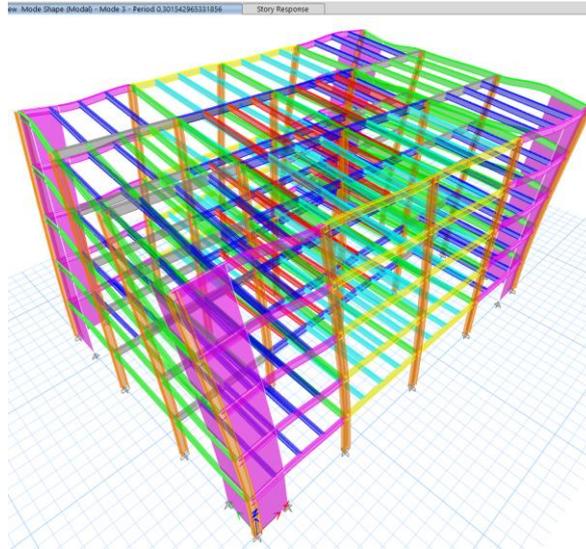


Figura 21. Tercer modo de vibrar de la estructura.

#### 4.1.5.4. Participación de masa modal

Tabla 25. Participación de masa modal

TABLE: Modal Participating Mass Ratios											
Case	Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ
		sec									
Modal	1	0,543	0,6957	0	0	0,6957	0	0	0	0,0656	0
Modal	2	0,527	0	0,6922	0	0,6957	0,6922	0	0,1132	0	0
Modal	3	0,302	0	0	0	0,6978	0,6973	0	0	0	0,6854
Modal	4	0,161	0	0	0	0,6957	0,6922	0	0	0	1,22E-06
Modal	5	0,161	1,31E-05	0	0	0,6957	0,6922	0	0	0,0041	0
Modal	6	0,154	0	0	0,0278	0,6957	0,6922	0,0278	0	0	0
Modal	7	0,154	0	1,36E-05	0	0,6957	0,6922	0,0278	0,0038	0	0
Modal	8	0,152	0	0	0,3867	0,6957	0,6922	0,4145	0	0	0
Modal	9	0,152	0	1,78E-05	0	0,6957	0,6922	0,4145	0,0671	0	0
Modal	10	0,151	3,18E-05	0	0	0,6957	0,6922	0,4145	0	0,2065	0
Modal	11	0,151	0	0	0	0,6957	0,6922	0,4145	0	0	1,37E-05
Modal	12	0,149	0	0	0	0,6957	0,6922	0,4145	0	0	0
Modal	13	0,149	2,29E-06	0	0	0,6957	0,6922	0,4145	0	0,0001	0
Modal	14	0,144	0	0	0	0,6957	0,6922	0,4145	0	0	1,40E-06
Modal	15	0,144	1,37E-05	0	0	0,6957	0,6922	0,4145	0	0,0034	0
Modal	16	0,144	0	0	0	0,6957	0,6922	0,4145	0	0	0
Modal	17	0,144	2,79E-06	0	0	0,6957	0,6922	0,4145	0	0,0021	0
Modal	18	0,143	0	0	0,0102	0,6957	0,6922	0,4247	0	0	0

En la Tabla 25 se muestran las participaciones de masa correspondientes a 18 modos de vibración. Se observa que tanto los coeficientes de participación de masa modal en los ejes X como en Y alcanzan un valor máximo de 0.6957 en la mayoría de los modos de vibración. Utilizando estos valores, se calculó a través de una hoja de cálculo (ver Tabla 22) que la participación de masa modal en el eje X es del 99,69%, mientras que en el eje Y es del 99,27%, lo que sugiere que los dos primeros modos de vibración son predominantemente traslacionales.

Por otra parte, en el eje Z, el porcentaje de participación de masa modal se sitúa en

68.54%. Este valor es adecuado ya que supera el umbral del 50%, lo cual indica que el tercer modo de vibración del edificio está asociado principalmente a movimientos de tipo torsional.

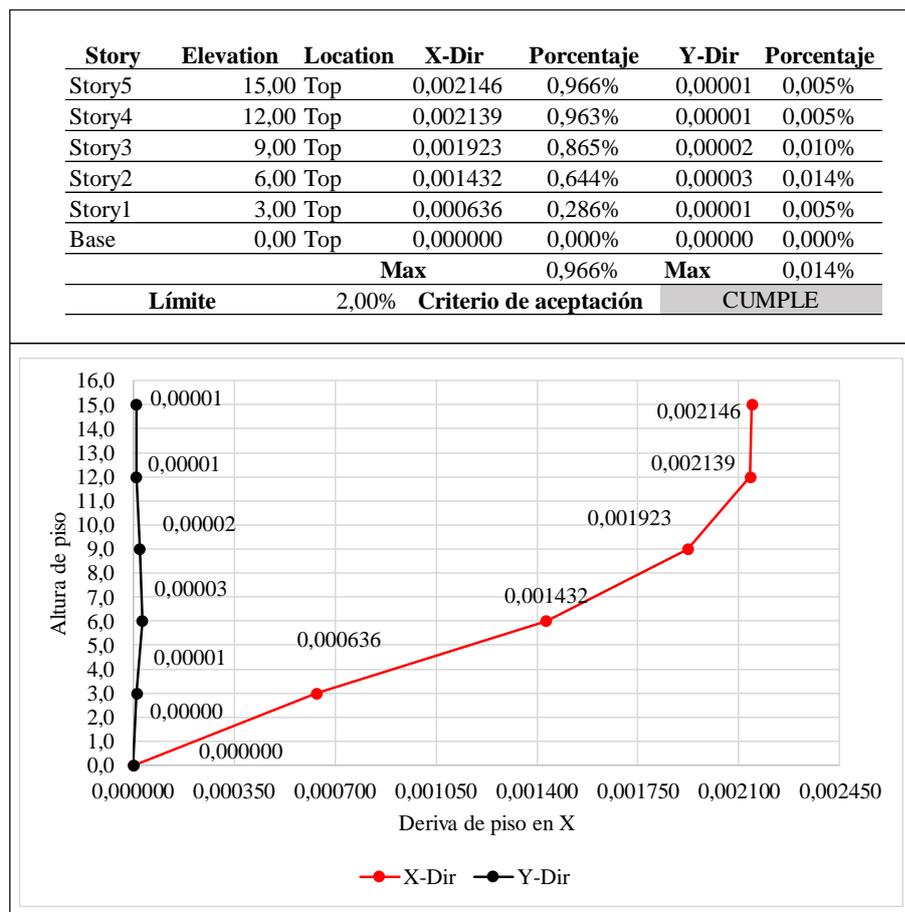
Tabla 26. Cálculo de la participación de masa modal

PPM		
X	Y	Z
99,69905	0,00000	0,00000
0,00000	99,26861	0,00000
0,00000	0,00000	68,54000

#### 4.1.5.5. Derivas de piso

##### a) Eje X

Tabla 27. Derivas de piso en el eje X obtenidas en el análisis modal espectral

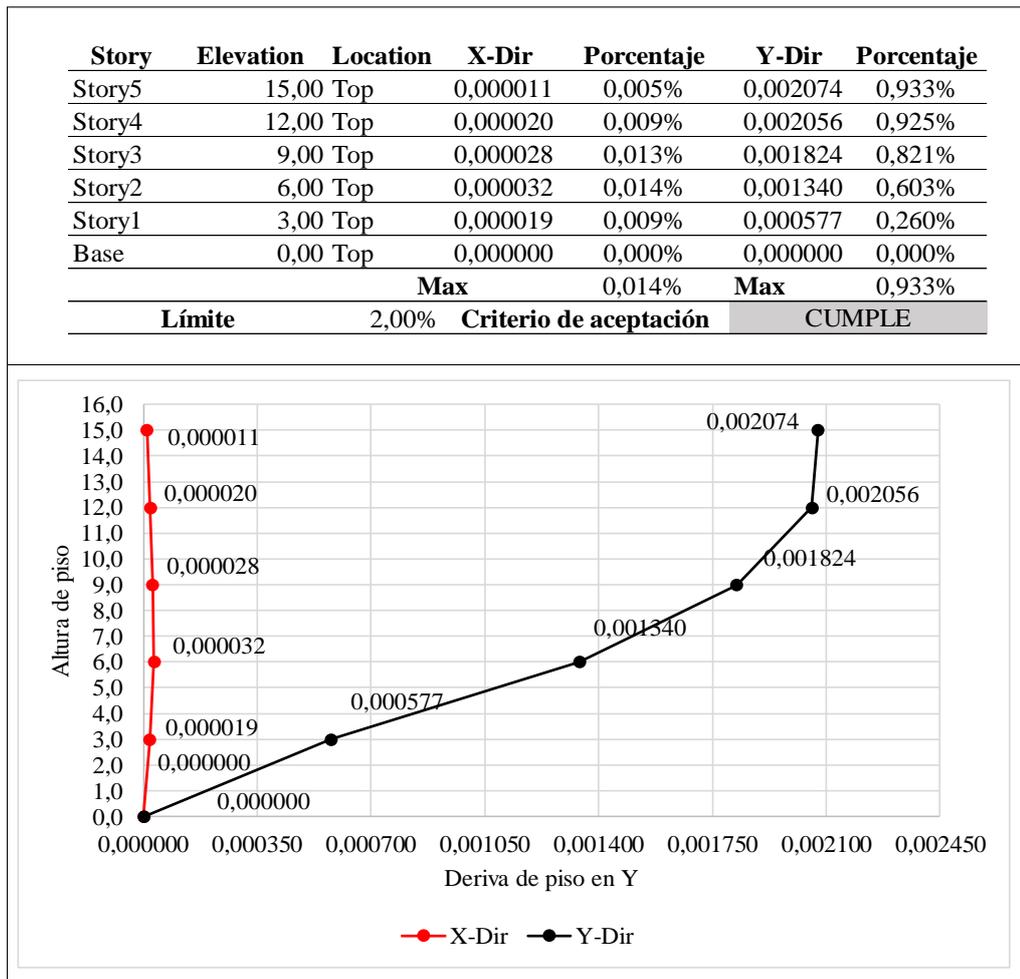


Con el análisis modal espectral la deriva elástica máxima en el eje X de la estructura alcanza un valor de 0.966% lo que indica que está dentro de los límites establecidos

por la norma ecuatoriana de la construcción NEC 15 y otros códigos internacionales como el ASCE 7-16, como se muestra en la tabla 27, dicho valor se alcanza en los dos niveles superiores de la estructura, este valor indica la magnitud de la deformación horizontal experimentada por el edificio en respuesta a la carga sísmica y al ser bajo demuestra que la configuración estructural del edificio es estable.

**b) Eje Y**

Tabla 28. Derivas de piso en el eje Y obtenidas en el análisis modal espectral



En el eje Y de la estructura, se registró una deriva de piso inelástica del 0,933%, un valor que resulta adecuado ya que se sitúa por debajo del umbral del 2% recomendado por los códigos y normativas de construcción vigentes como se muestra en la tabla 28. Esta baja deriva se debe en gran medida a la simetría del edificio y a la ausencia de irregularidades tanto en planta como en elevación.

La simetría en el diseño del edificio ha contribuido a generar resultados similares en

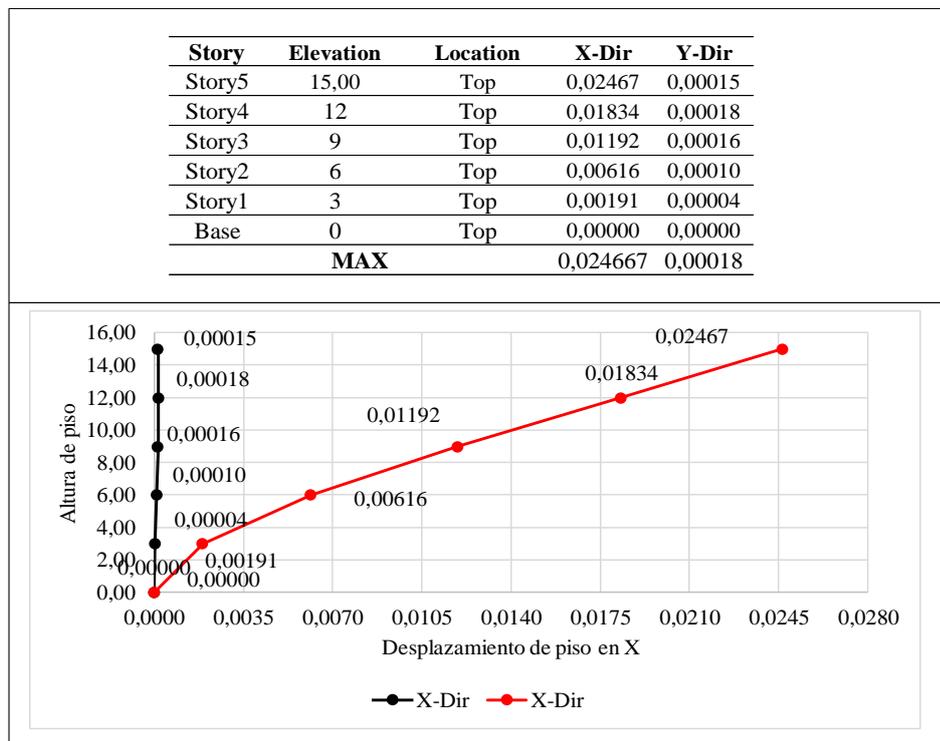
los desplazamientos y derivas entre los ejes X e Y. Esta uniformidad en los valores observados sugiere una distribución equilibrada de las cargas sísmicas a lo largo de la estructura. Además, la ausencia de irregularidades en planta y elevación ha minimizado las concentraciones de esfuerzos y ha promovido un comportamiento estructural más homogéneo durante un evento sísmico.

#### 4.1.5.6.Desplazamientos

Los desplazamientos causados por la carga sísmica en edificios de acero (Tabla 29) se refieren a los movimientos horizontales y verticales que experimenta la estructura durante un terremoto. Estos desplazamientos pueden ser debidos a la deformación elástica de los elementos estructurales, a la flexión de los miembros de la estructura. A continuación, se exponen los resultados obtenidos en cuanto a desplazamientos con el análisis modal espectral para un sismo con un periodo de retorno de 475 años.

##### a) Eje X

Tabla 29. Desplazamientos del eje X obtenidos en el análisis modal espectral



El desplazamiento máximo en el último piso causado por la carga sísmica en el eje X fue de 0.02467 metros, lo cual se considera un valor apropiado para un sismo con un período de retorno de 475 años como se muestra en la tabla 29. Este resultado sugiere

que el edificio posee estabilidad y una rigidez suficiente para disipar la energía generada por la carga sísmica. Es importante destacar que este desplazamiento guarda una estrecha relación con el segundo modo de vibración, como se puede observar en la Figura 22.

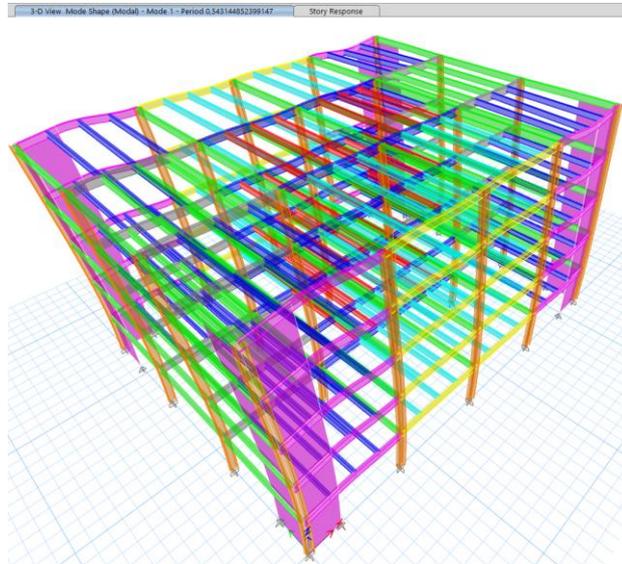
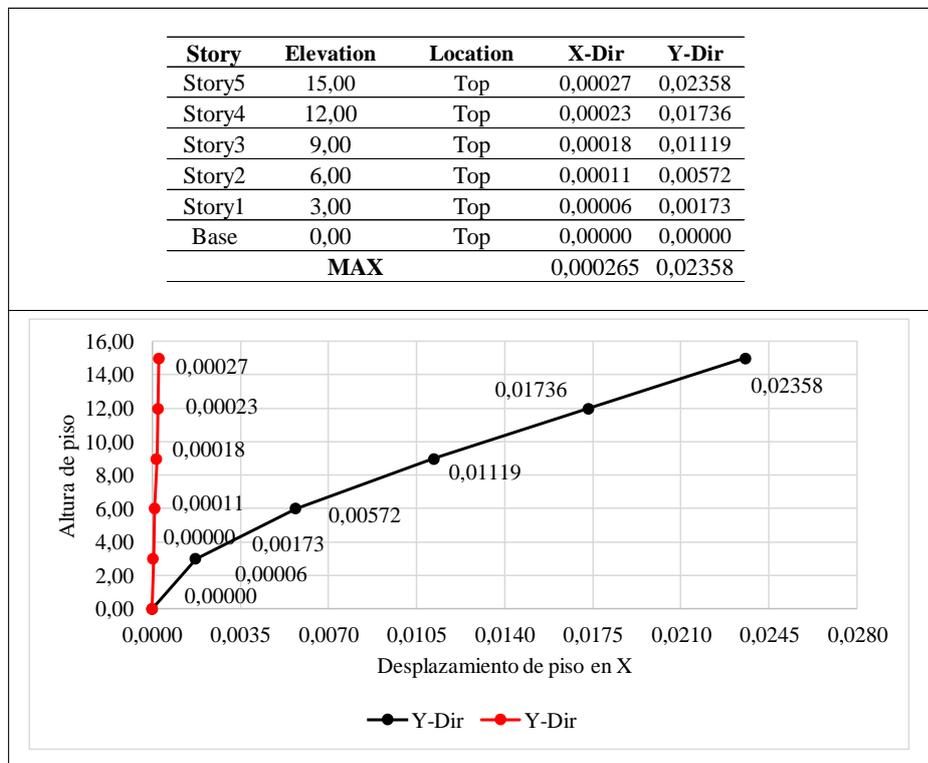


Figura 22. Primer modo de vibrar de la estructura

**b) Eje Y**

Tabla 30. Desplazamientos del eje Y obtenidos en el análisis modal espectral



De igual manera en el eje Y se obtuvo un desplazamiento máximo en el último piso de 0,02358 m que es un valor adecuado para un sismo con un periodo de retorno 475 años, este valor indica que el edificio es estable y su rigidez es adecuada para disipar la energía causada por la carga sísmica. Este desplazamiento está estrechamente relacionado con el segundo modo de vibración como se aprecia en la figura 23.

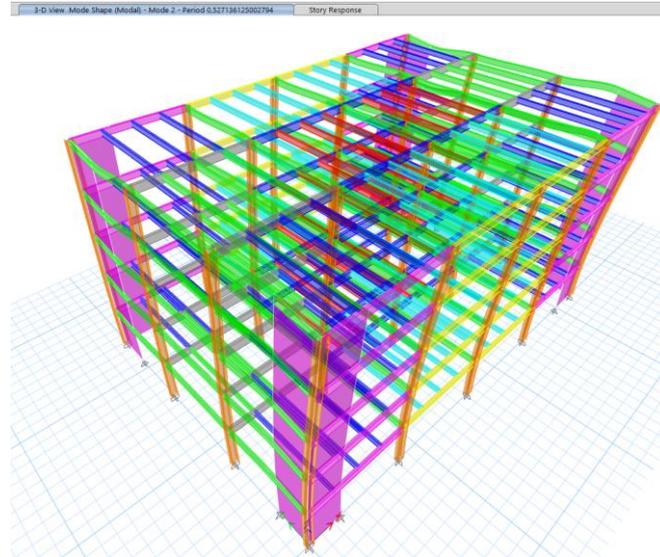


Figura 23. Segundo modo de vibrar de la estructura

#### 4.1.6. Diseño de la placa base

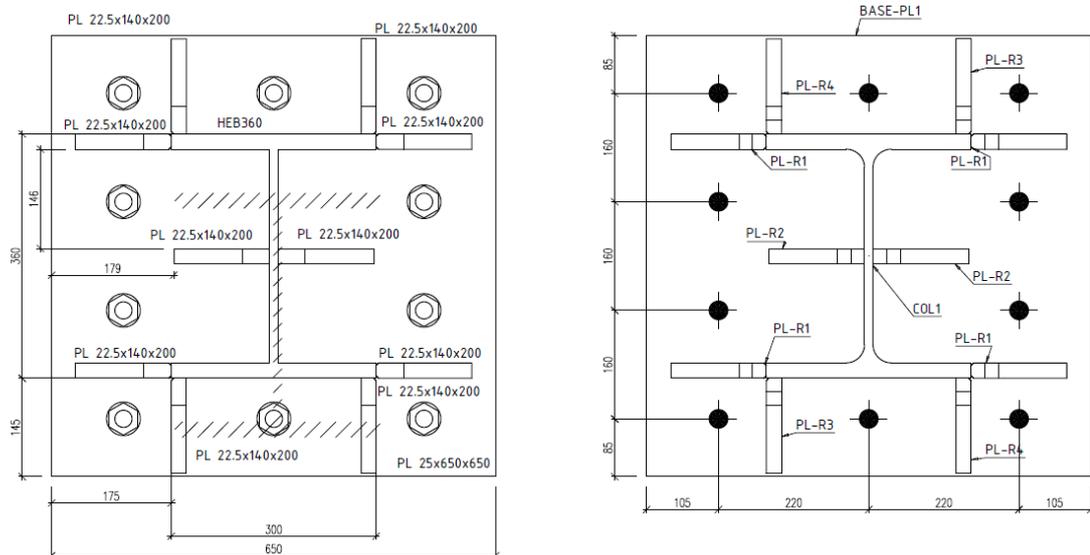


Figura 24. Geometría de la placa base y disposición de las varillas de anclaje

Luego de realizar el diseño de la conexión de la columna hacia la placa base se obtuvo la geometría de la placa base (ancho, largo y espesor) y la disposición o distribución

de los anclajes como se aprecia en la figura 24, la geometría de la placa base y los anclajes se justifica mediante la hoja de cálculo desarrollada en el **ANEXO 1** en donde se obtuvieron las dimensiones mostradas en la tabla 31.

Tabla 31. Propiedades geométricas de la placa base y sus anclajes

<b>Dimensión</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Longitud	650	mm
Ancho	650	mm
Espesor	25	mm
Longitud de la varilla de anclaje	736.6	mm
Diámetro de la varilla de anclaje	25.4	mm
Cantidad de varillas de anclaje	10	u
Holgura de agujero	$\pm 2.0$	mm

#### **4.1.6.1. Dimensionamiento de la varilla de anclaje**

Para dimensionar la varilla de anclaje se tomaron en cuenta fuerzas cortantes y axiales, las mismas empleadas para el diseño de la placa base, la diferencia es que las solicitaciones se dividen para el número de anclajes en este caso corresponden a 10 varillas de una pulgada de diámetro con una longitud de 736.6 mm el esfuerzo admisible corresponde a 308.91 MPa obtenido con el método LRFD según la metodología de la Guía de diseño de placa de anclaje de la AISC.

El esfuerzo combinado de una varilla obtenido alcanza un valor de 280.835 MPa que es inferior al admisible, por lo tanto, la varilla de anclaje de 1 pulgada de diámetro y 29 pulgadas de largo es adecuada para resistir la carga de las columnas de la estructura. El cálculo detallado se presenta en el **ANEXO 1**.

#### **4.1.6.2. Parámetros de fabricación del sistema de anclaje placa de base – varilla**

Los parámetros constructivos del sistema de anclaje se realizaron con las dimensiones tanto de placa como de varilla obtenidos en el ANEXO 1, Teniendo en cuenta los parámetros estipulados en la norma AWS D1.1 para la junta soldada de tapón que une la varilla con la placa, el sistema de anclaje empleado para transmitir la carga de las columnas del edificio se presenta de manera detallada en la figura 17.

## 4.2. Propiedades mecánicas de la junta que conforma el sistema de anclaje placa de base - varilla.

### 4.2.1. Resultados de ensayos destructivos y no destructivos

Dentro de lo que se indica en la norma AWS D1.4, apartado 8.2.4.2 para este estudio se desarrolló 2 ensayos de tracción y 2 ensayos de macrografía para cada caso, de acuerdo con lo señalado en la Tabla 32,

Tabla 32. Tipos de ensayos para la calificación del procedimiento de soldadura [21]

Number and Type of Tests for WPS Qualification (see 8.2.4.2)					
Production		Minimum	Tension Tests	Macro etch Tests	Joints Qualified per Figures
Type of Joint	Figure	Number of Test Assemblies	(8.2.4.4)	(8.2.4.5)	
Direct butt	8.5(A)	2	2	2	5.1, 5.2, 5.5(D)
T-Joint	8.5(B)	2	2	2	5.1, 5.5(D)
Indirect butt	8.5(C)	2	2	2	5.3(A), 5.3(B), 5.4(B), 5.5(E)
Indirect butt	8.5(D)	2	2	2	5.3(C), 5.4(A)

Para determinar los valores de algunas propiedades mecánicas se requiere realizar ensayo de tracción mediante una máquina universal, que sea capaz de lograr una fuerza necesaria para concebir la fractura de la probeta, tener una velocidad controlada de aumento de fuerzas y registrar las fuerzas.

Desde la tabla 33 hasta la tabla 35, se observan los valores obtenidos de resistencia a la tracción para cada caso de estudio, así como el límite de elasticidad, estos son puntos clave para determinar si la junta soldada de la varilla de anclaje a la placa base es apropiada para resistir las sollicitaciones de la estructura teniendo en cuenta las propiedades de los materiales con los que está constituida, así como el material de aporte empleado.

Tabla 33. Resultados del ensayo de tracción de los especímenes de prueba M01 y M02 con proceso de soldadura FCAW

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRIA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN ESTRUCTURAS METÁLICAS			
N° de ensayo	1 y 2		Espécimen	M01 y M02
Material	Soldadura	Hormigón del pedestal de hormigón	Pernos	Mat. Aporte Soldadura
	FCAW	$f'c=280 \text{ kg/cm}^2$	No aplica ya que todas las conexiones son soldadas.	E71T-1C
Características de Ensayo	Carga aplicada	Apoyo	Tipo de ensayo	Tiempo de procesamiento
	Max: 323,7 kN	Fijo y tracción con mordazas ( Máquina universal)	Tracción	20 minutos
Software utilizado	Proporcionado por el laboratorio de materiales			
Realizado por:	Ing. Alexandra Mayanza	Revisado por:	Ing. Juan Paredes	
		Fecha:	9/4/2024	
<b>Curva de esfuerzo Vs Deformación</b>				
Proceso de soldadura	Material de aporte	Codificación de la probeta	Límite de Fluencia (Sy) [Mpa]	Resistencia a la tracción (Sut) [Mpa]
FCAW	E71T-1C	M01	428,00	661,00
	E71T-1C	M02	458,00	657,00
	Promedio		<b>443,00</b>	<b>659,00</b>
<b>Observaciones:</b> Con el proceso de soldadura FCAW se obtuvo un límite de fluencia de 428 MPa en el primer espécimen y 458 Mpa en el segundo lo que da como resultado un valor promedio de 443 Mpa se observa que el comportamiento de las curvas de esfuerzo deformación para ambos casos es similar.				

En la tabla 33 se presentan los resultados obtenidos en el ensayo de tracción de las probetas soldadas con el proceso FCAW en este caso los especímenes M01 y M02 de los cuales se obtuvo un límite de fluencia promedio de 443,00 MPa, los resultados individuales de cada probeta corresponden a 428,00 MPa para la probeta M01 y 458 MPa para la probeta M02

En la figura 25 se presenta la curva esfuerzo deformación de la probeta M01 mostrando un comportamiento lineal hasta el límite de fluencia, por otro lado, el rango plástico se extiende desde los 443 MPa hasta los 657 MPa que corresponde al Sut o resistencia a la tracción.

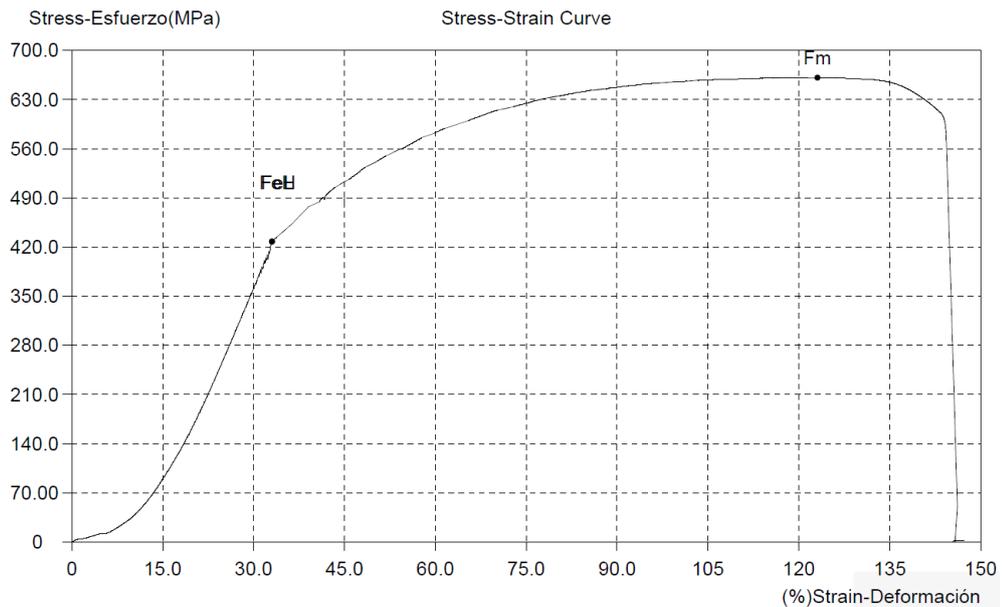


Figura 25. Curva de esfuerzo deformación del espécimen de ensayo M01

Por otro lado, En la figura 26 se presenta la curva esfuerzo deformación de la probeta M02 del mismo modo que en la probeta M01 el comportamiento es lineal hasta el límite de fluencia 458 MPa, por otro lado, el rango plástico se extiende desde el  $S_y$  hasta los 661 MPa que corresponde al  $S_{ut}$  o resistencia a la tracción.

Los resultados obtenidos con ambas probetas son coherentes, por ende, los resultados son confiables, los resultados se obtuvieron en laboratorio conforme a los resultados del ANEXO 3.

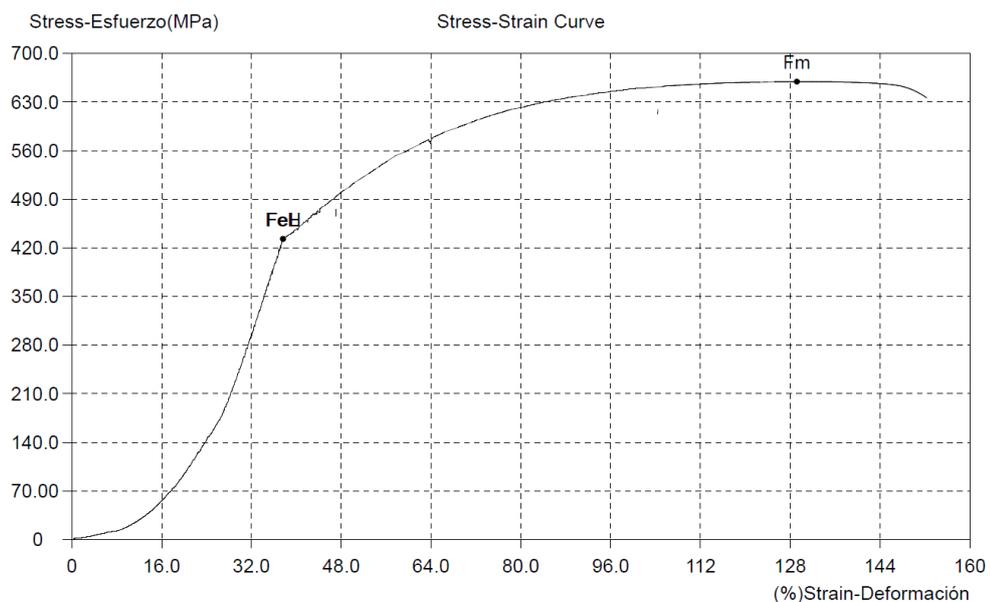


Figura 26. Curva de esfuerzo deformación del espécimen de ensayo M02

Tabla 34. Resultados del ensayo de tracción de los especímenes de prueba M03 y M04 con proceso de soldadura SMAW

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRIA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN ESTRUCTURAS METÁLICAS			
N° de ensayo	3 y 4		Espécimen	M03 y M04
Material	Soldadura	Hormigón del pedestal de hormigón	Pernos	Mat. Aporte Soldadura
	SMAW	$f'c=280 \text{ kg/cm}^2$	No aplica ya que todas las conexiones son soldadas.	E7018
Características de Ensayo	Carga aplicada	Apoyo	Tipo de ensayo	Tiempo de procesamiento
	Max: 323,7 kN	Fijo y tracción con mordazas (Máquina universal)	Tracción	20 minutos
Software utilizado	Proporcionado por el laboratorio de materiales			
Realizado por:	Ing. Alexandra Mayanza	Revisado por:	Ing. Juan Paredes	
		Fecha:	09/4/2024	
<b>Curva de esfuerzo Vs Deformación</b>				
Proceso de soldadura	Material de aporte	Codificación de la probeta	Límite de Fluencia (Sy) [Mpa]	Resistencia a la tracción (Sut) [Mpa]
SMAW	E7018	M03	427,00	659,00
	E7018	M04	433,00	659,00
	Promedio		<b>430,00</b>	<b>659,00</b>
<b>Observaciones:</b> Con el proceso de soldadura SMAE se obtuvo un límite de fluencia de 427 MPa en el segundo espécimen y 433 Mpa en el tercero lo que da como resultado un valor promedio de 430 MPa inferior al obtenido con el proceso FCAW se observa que el comportamiento de las curvas de esfuerzo deformación para ambos casos es similar.				

En la tabla 34 se presentan los resultados obtenidos en el ensayo de tracción de las probetas soldadas con el proceso SMAW en este caso los especímenes M03 y M04 de los cuales se obtuvo un límite de fluencia promedio de 430,00 MPa, los resultados individuales de cada probeta corresponden a 427,00 MPa para la probeta M03 y 433 MPa para la probeta M04 lo que indica que con el proceso SMAW se tiene menor ductilidad que con FCAW.

En la figura 27 se presenta la curva esfuerzo deformación de la probeta M03 mostrando un comportamiento lineal hasta el límite de fluencia, por otro lado, el rango plástico se extiende desde los 427 MPa hasta los 659 MPa que corresponde al Sut o resistencia a la tracción.

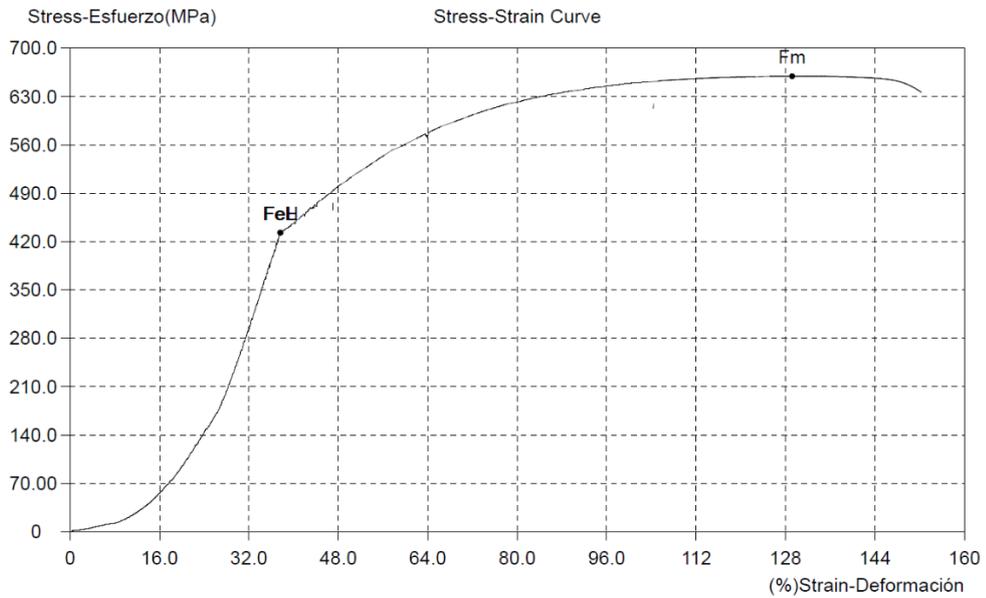


Figura 27. Curva de esfuerzo deformación del espécimen de ensayo M04

En la figura 28 se muestra la curva esfuerzo-deformación de la probeta M04. Al igual que en la probeta M03, su comportamiento es lineal hasta alcanzar el límite de fluencia a 433 MPa. Posteriormente, el material experimenta un comportamiento plástico, extendiéndose el rango plástico desde el límite de fluencia ( $S_y$ ) hasta los 659 MPa, correspondientes a la resistencia última a la tracción ( $S_{ut}$ ).

Los resultados obtenidos con ambas probetas muestran coherencia, lo que confiere confiabilidad a los datos obtenidos. Es importante destacar que estos resultados fueron obtenidos en condiciones de laboratorio, conforme a lo especificado en el ANEXO 3.

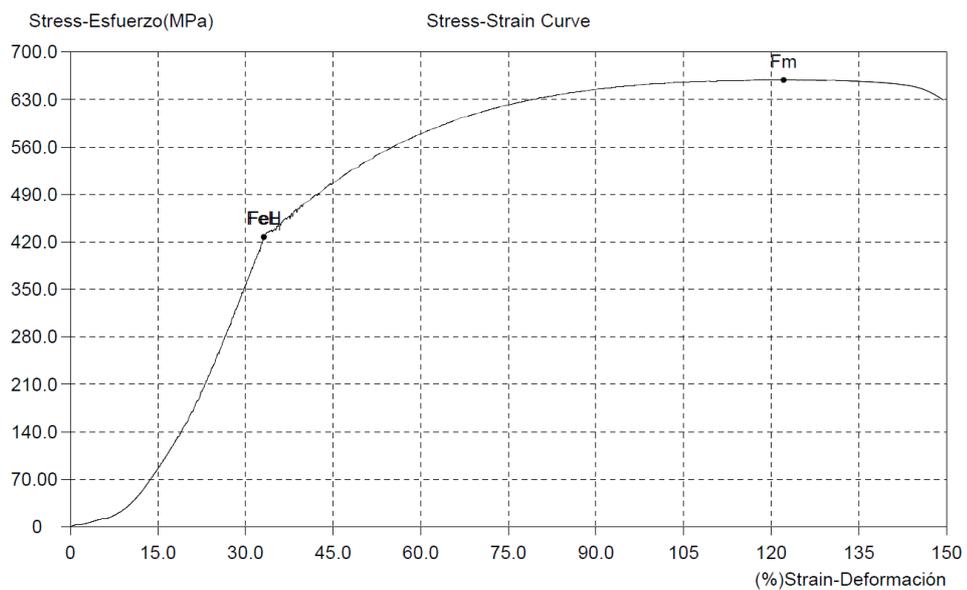


Figura 28. Curva de esfuerzo deformación del espécimen de ensayo M04

Tabla 35. Resultados del ensayo de tracción de los especímenes de prueba M05 y M06 con proceso de soldadura SMAW

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRIA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN ESTRUCTURAS METÁLICAS			
N° de ensayo	5 y 6		Espécimen	M05 y M06
Material	Soldadura	Hormigón del pedestal de hormigón	Pernos	Mat. Aporte Soldadura
	SMAW	$f'c=280 \text{ kg/cm}^2$	No aplica ya que todas las conexiones son soldadas.	E8018
Características de Ensayo	Carga aplicada	Apoyo	Tipo de ensayo	Tiempo de procesamiento
	Max: 322,2 kN	Fijo y tracción con mordazas (Máquina universal)	Tracción	20 minutos
Software utilizado	Proporcionado por el laboratorio de materiales			
Realizado por:	Ing. Alexandra Mayanza	Revisado por:	Ing. Juan Paredes	
		Fecha:	9/4/2024	
<b>Curva de esfuerzo Vs Deformación</b>				
Proceso de soldadura	Material de aporte	Codificación de la probeta	Límite de Fluencia (Sy) [Mpa]	Resistencia a la tracción (Sut) [Mpa]
SMAW	E8018	M05	425,00	656,00
	E8018	M06	431,00	656,00
	Promedio		<b>428,00</b>	<b>656,00</b>
<b>Observaciones:</b> Con el proceso de soldadura SMAW se obtuvo un límite de fluencia de 425 MPa en el quinto espécimen y 433 Mpa en el sexto lo que da como resultado un valor promedio de 428 MPa inferior al obtenido con el proceso FCAW se observa que el comportamiento de las curvas de esfuerzo deformación para ambos casos es similar.				

Los resultados del ensayo de tracción de las probetas soldadas con el proceso SMAW, específicamente los especímenes M05 y M06, se presentan en la Tabla 35. Se obtuvo un límite de fluencia promedio de 428,00 MPa. Los valores individuales de cada probeta son 425,00 MPa para la probeta M05 y 431 MPa para la probeta M06. Estos resultados indican que, a pesar de utilizar material de aporte con mayor resistencia, el proceso SMAW resulta en una menor ductilidad en comparación con el FCAW.

En la figura 29 se presenta la curva esfuerzo deformación de la probeta M05 que presenta un comportamiento similar que los ensayos anteriores

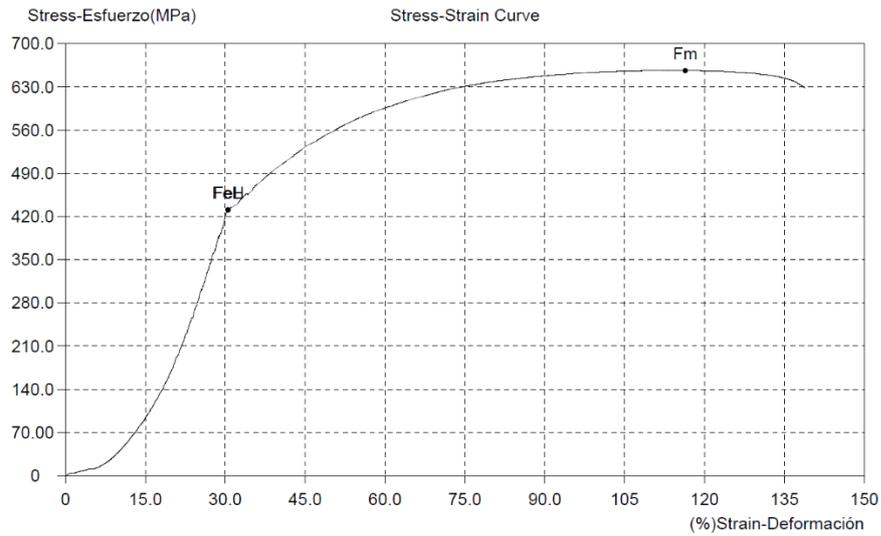


Figura 29. Curva de esfuerzo deformación del espécimen de ensayo M0

En el diagrama que se logra visualizar en la figura 30, se resume los resultados obtenidos para las principales propiedades mecánicas.

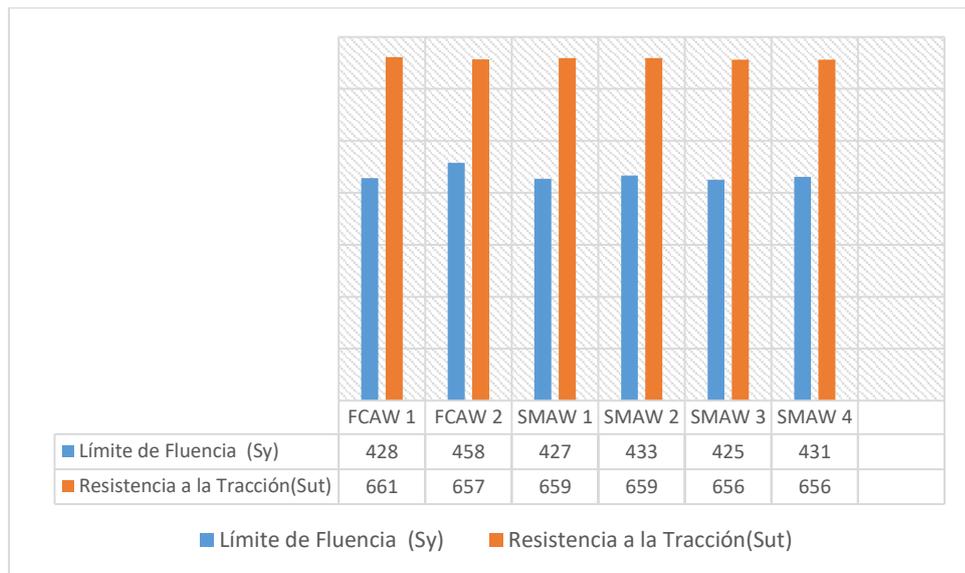


Figura 30. Diagrama de resultados obtenidos de propiedades mecánicas.

La norma establece que la relación entre la resistencia a la tracción real y el límite de fluencia real registrado en los ensayos de laboratorio debe ser mayor o igual a 1.25,

como indica la ecuación 4.1, del apartado 8.3.7.2 de la AWS D1.4.

$$\frac{Fu}{Fy} \geq 1.25$$

Los valores obtenidos para las relaciones entre  $Fu^*$  y  $Fy^*$  se presentan en la tabla.

Tabla 36, donde se observa que en todos los ensayos se supera el límite mínimo lo cual indica que la junta soldada de la varilla a la placa base tiene un buen comportamiento en el rango plástico lo que es adecuado para resistir la demanda a la que está sometida la estructura.

Tabla 36. Relación  $Fu/Fy$  obtenida en todos los especímenes de prueba.

Especímen	Límite de Fluencia (Sy) [Mpa]	Resistencia a la tracción (Sut) [Mpa]	Fu/Fy
M01	428,00	661,00	1,54
M02	458,00	657,00	1,43
<b>Promedio</b>			<b>1,49</b>
M03	427,00	659,00	1,54
M04	433,00	659,00	1,52
<b>Promedio</b>			<b>1,53</b>
M05	425,00	656,00	1,54
M06	431,00	656,00	1,52
<b>Promedio</b>			<b>1,53</b>

Para todos los ensayos de tracción se cumple con la relación entre resistencia a la tracción y límite de fluencia, como muestra en la Figura 31.

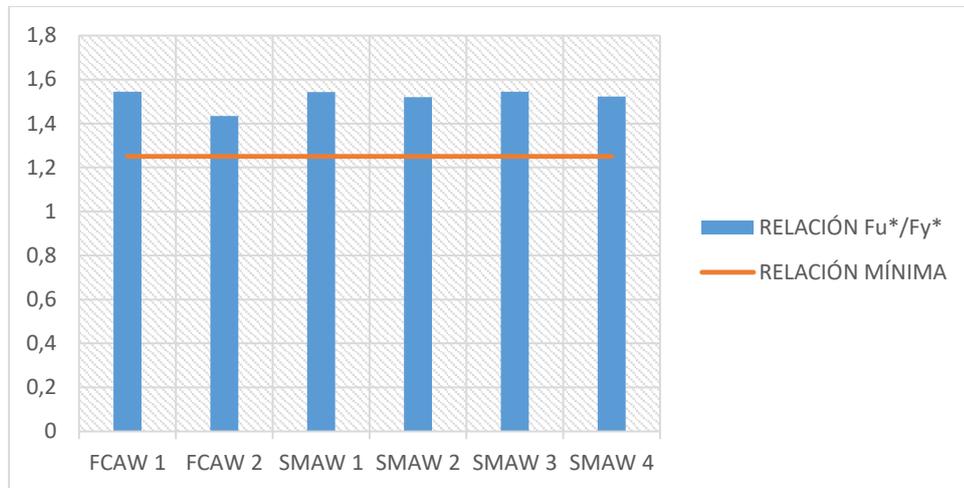


Figura 31. Diagrama de relación Fu\*/Fy\*.

### Inspección Visual (VT)

Los resultados de los ensayos no destructivos por Inspección Visual (VT) realizada a las superficies expuestas de la soldadura no presentaron discontinuidad mayor; por lo cual aprobaron para todas las uniones soldadas y se plasma en anexo.

### Ensayo de Macrografía

Para el criterio de aceptación de la junta soldada se acepta o rechaza bajo la norma AWS D1.4, que indica que al realizar los ensayos se debe obtener una fusión completa y cumplir con los requerimientos del apartado 6.4 de la norma, como se observa en la tabla.

Tabla 37. Criterio de aceptación para el ensayo de macrografía.

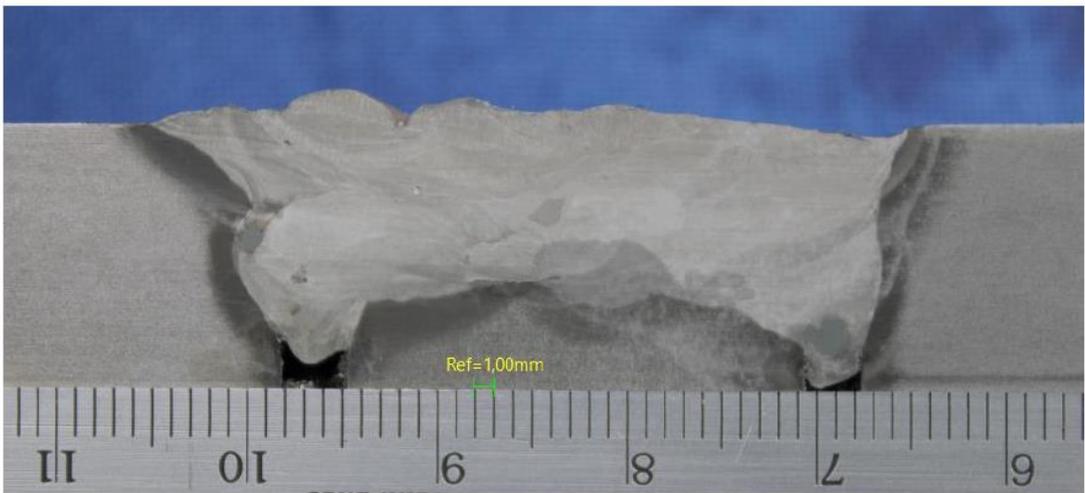
Bar Size Number	Macroetch Acceptance Criteria (see 8.2.6.2 and 8.3.7.3)			
	Sum of Maximum Dimensions of all Porosity or Fusion-Type Discontinuities		Maximum Dimension of Any Single Porosity or Fusion-Type Discontinuity	
	in	mm	in	mm
8 [25]	3/16	5	1/8	3
9 [29]	3/16	5	1/8	3
10 [32]	1/4	6	1/8	3
11 [36]	1/4	6	3/16	5
14 [43]	5/16	8	3/16	5
18 [57]	7/16	11	1/4	6

Note: Acceptance criteria for bar size numbers less than No. 8 [25] shall be established by the Engineer.

Uno de los parámetros obligatorio que debe cumplir con los rangos la norma AWS

D1.4 es el ensayo de macrografía como se detalla en la tabla.

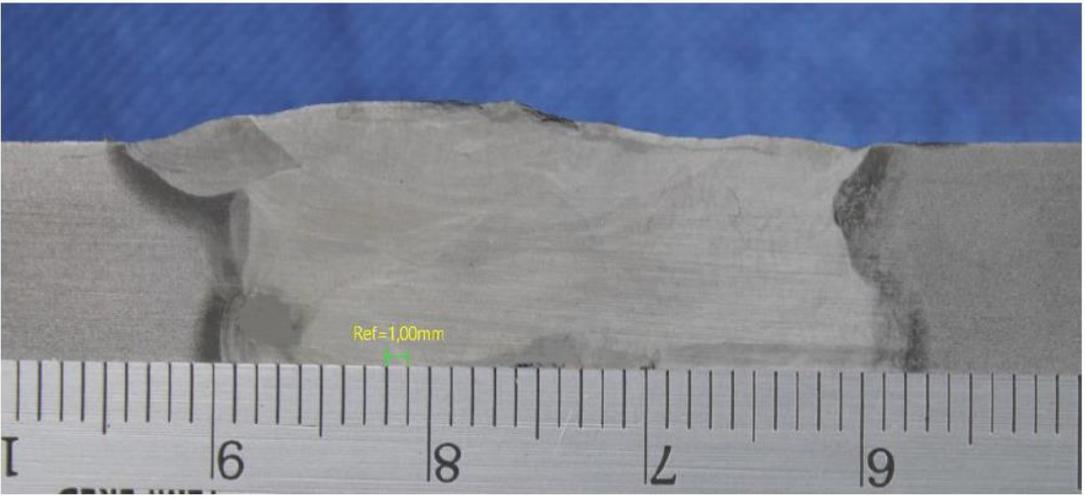
Tabla 38. Resultados del ensayo del ensayo de macrografía probeta FCAW MCR1

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRIA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN ESTRUCTURAS METÁLICAS			
<b>ID de ensayo</b>	FCAW MCR1	<b>Espécimen</b>		MCR1
<b>Material</b>	<b>Soldadura</b>	<b>WPS</b>	<b>Pernos</b>	<b>Mat. Aporte Soldadura</b>
	FCAW	AM-WPS-01-001	No aplica ya que todas las conexiones son soldadas.	E71T-1C
<b>Características de Ensayo</b>	Temp. Ambiente	<b>Técnica</b>	<b>Tipo de ensayo</b>	<b>Tiempo de procesamiento</b>
	22±4°C	Inspección Visual	Macrografía	20 minutos
<b>Software utilizado</b>	Proporcionado por el laboratorio de materiales			
<b>Realizado por:</b>	Ing. Alexandra Mayanza	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes	
		<b>Fecha:</b>	9/4/2024	
<b>Curva de esfuerzo Vs Deformación</b>				
<b>Denominación</b>	<b>Especificado</b>	<b>A</b>	<b>R</b>	
<b>Porosidad</b>	Ausencia de poros	<b>x</b>		
<b>Mordedura</b>	≤ 1 mm	<b>x</b>		
<b>Traslape</b>	Libre de traslapes	<b>x</b>		
<b>Fusión</b>	Fusión entre el material de aporte y base	<b>x</b>		
				
<b>Observaciones:</b> El análisis macrográfico es realizado bajo los criterios de aceptación establecidos en la norma AWS D1.4, En este caso la junta soldada FCAW MCR1 correspondiente a la varilla de anclaje y la placa base cumple con todos los criterios para ser aceptada.				

El análisis de macrografía expuesto en la tabla 38 concluye que el espécimen FCAW E71T-1C MCR1 cumple con los criterios de evaluación recomendados por el código

AWS D1.4, por lo tanto, el anclaje con este tipo de varilla y material de aporte E7018 es adecuado para fijar la placa base al anclaje de hormigón armado.

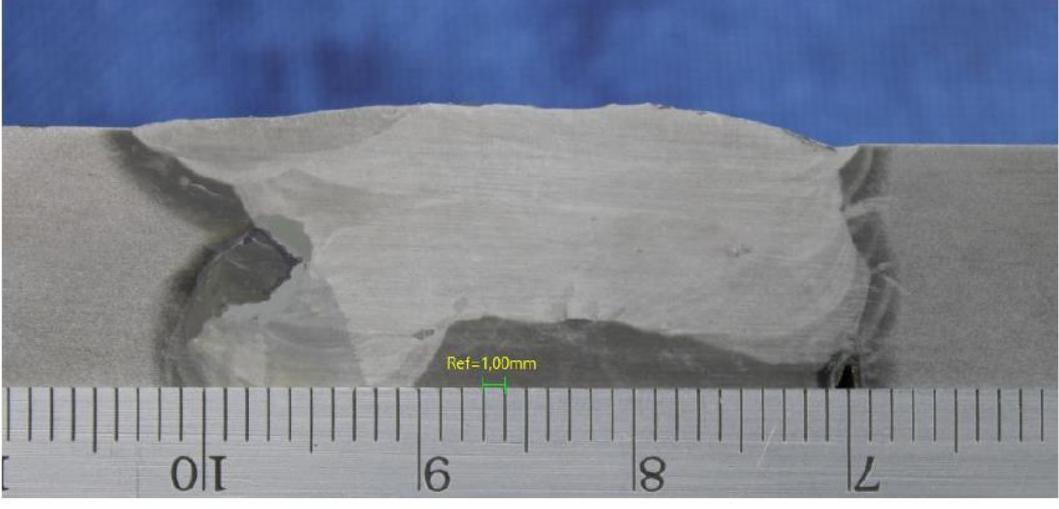
Tabla 39. Resultados del ensayo de macrografía probeta FCAW MCR2

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRIA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN ESTRUCTURAS METÁLICAS			
<b>ID de ensayo</b>	FCAW MCR2	<b>Espécimen</b>		MCR2
<b>Material</b>	<b>Soldadura</b>	<b>WPS</b>	<b>Pernos</b>	<b>Mat. Aporte Soldadura</b>
	FCAW	AM-WPS-01-001	No aplica ya que todas las conexiones son soldadas.	E71T-1C
<b>Características de Ensayo</b>	Temp. Ambiente	<b>Técnica</b>	<b>Tipo de ensayo</b>	<b>Tiempo de procesamiento</b>
	22±4°C	Inspección Visual	Macrografía	20 minutos
<b>Instrumento de medición</b>	BLK-42 Regla metálica			
<b>Realizado por:</b>	Ing. Alexandra Mayanza	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes	
		<b>Fecha:</b>	9/4/2024	
<b>Curva de esfuerzo Vs Deformación</b>				
<b>Denominación</b>	<b>Especificado</b>	<b>A</b>	<b>R</b>	
<b>Porosidad</b>	Ausencia de poros	<b>x</b>		
<b>Mordedura</b>	≤ 1 mm	<b>x</b>		
<b>Traslape</b>	Libre de traslapes	<b>x</b>		
<b>Fusión</b>	Fusión entre el material de aporte y base	<b>x</b>		
				
<p><b>Observaciones:</b> El análisis macrográfico es realizado bajo los criterios de aceptación establecidos en la norma AWS D1.4, En este caso la junta soldada FCAW MCR2 correspondiente a la varilla de anclaje y la placa base también cumple con todos los criterios para ser aceptada.</p>				

El segundo análisis de macrografía el espécimen FCAW E71T-1C MCR1 expuesto en

la tabla 39 también concluye que se cumple con los criterios de evaluación recomendados por el código AWS D1.4, para el anclaje diseñado.

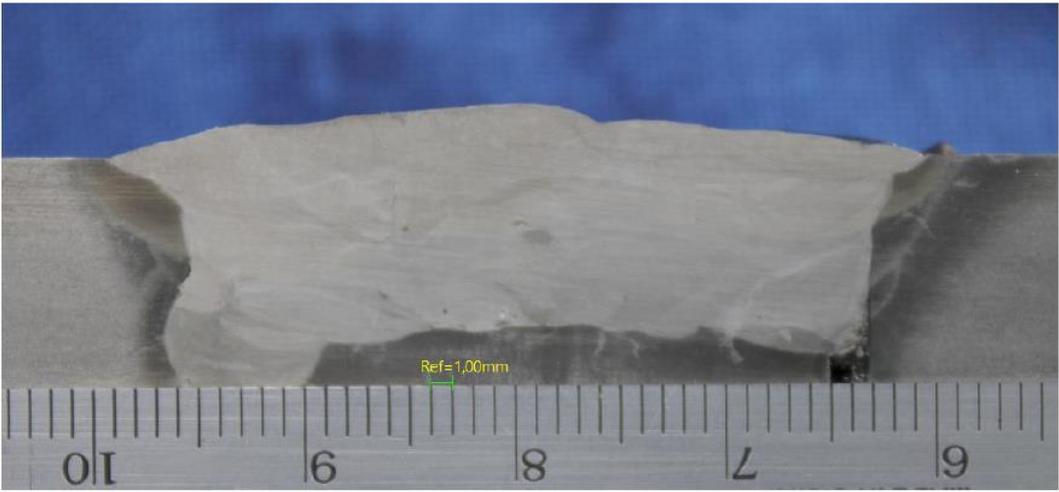
Tabla 40. Resultados del ensayo de macrografía probeta SMAW MCR1

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRIA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN ESTRUCTURAS METÁLICAS			
<b>ID de ensayo</b>	SMAW E7018 MCR1	<b>Espécimen</b>		MCR1
<b>Material</b>	<b>Soldadura</b>	<b>WPS</b>	<b>Pernos</b>	<b>Mat. Aporte Soldadura</b>
	SMAW	AM-WPS-01-002	No aplica ya que todas las conexiones son soldadas.	E7018
<b>Características de Ensayo</b>	Temp. Ambiente	<b>Técnica</b>	<b>Tipo de ensayo</b>	<b>Tiempo de procesamiento</b>
	22±4°C	Inspección Visual	Macrografía	20 minutos
<b>Instrumento de medición</b>	BLK-42 Regla metálica			
<b>Realizado por:</b>	Ing. Alexandra Mayanza	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes	
		<b>Fecha:</b>	9/4/2024	
<b>Curva de esfuerzo Vs Deformación</b>				
<b>Denominación</b>	<b>Especificado</b>	<b>A</b>	<b>R</b>	
<b>Porosidad</b>	Ausencia de poros	<b>x</b>		
<b>Mordedura</b>	≤ 1 mm	<b>x</b>		
<b>Traslape</b>	Libre de traslapes	<b>x</b>		
<b>Fusión</b>	Fusión entre el material de aporte y base	<b>x</b>		
				
<b>Observaciones:</b> El análisis macrográfico es realizado bajo los criterios de aceptación establecidos en la norma AWS D1.4, En este caso la junta soldada SMAW MCR1 correspondiente a la varilla de anclaje y la placa base también cumple con todos los criterios para ser aceptada.				

El análisis de macrografía expuesto en la tabla 40 concluye que el espécimen SMAW

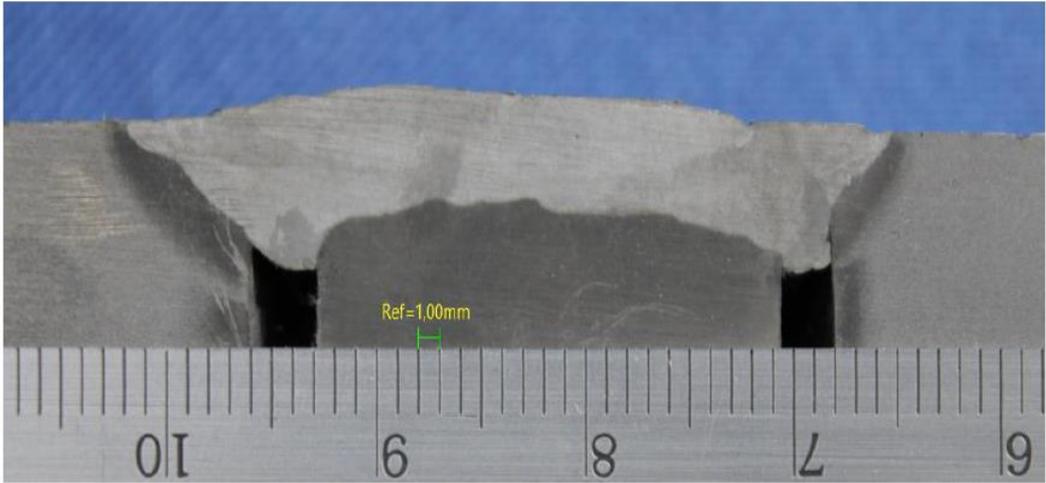
E7018 MCR1 cumple con los criterios de evaluación recomendados por el código AWS D1.4, por lo tanto, el anclaje con este tipo de varilla y material de aporte E7018 es adecuado para fijar la placa base al anclaje de hormigón armado.

Tabla 41. Resultados del ensayo del ensayo de macrografía probeta SMAW MCR2

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRIA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN ESTRUCTURAS METÁLICAS			
<b>ID de ensayo</b>	SMAW E7018 MCR2	<b>Espécimen</b>		MCR2
<b>Material</b>	<b>Soldadura</b>	<b>WPS</b>		<b>Mat. Aporte Soldadura</b>
	SMAW	AM-WPS-01-002		No aplica ya que todas las conexiones son soldadas. E7018
<b>Características de Ensayo</b>	Temp. Ambiente	<b>Técnica</b>		<b>Tipo de ensayo</b>
	22±4°C	Inspección Visual		Macrografía 20 minutos
<b>Instrumento de medición</b>	BLK-42 Regla metálica			
<b>Realizado por:</b>	Ing. Alexandra Mayanza	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes	
		<b>Fecha:</b>	9/4/2024	
<b>Curva de esfuerzo Vs Deformación</b>				
<b>Denominación</b>	<b>Especificado</b>		<b>A</b>	<b>R</b>
<b>Porosidad</b>	Ausencia de poros		<b>x</b>	
<b>Mordedura</b>	≤ 1 mm		<b>x</b>	
<b>Traslape</b>	Libre de traslapes		<b>x</b>	
<b>Fusión</b>	Fusión entre el material de aporte y base		<b>x</b>	
				
<b>Observaciones:</b> El análisis macrográfico es realizado bajo los criterios de aceptación establecidos en la norma AWS D1.4, En este caso la junta soldada SMAW MCR2 correspondiente a la varilla de anclaje y la placa base también cumple con todos los criterios para ser aceptada.				

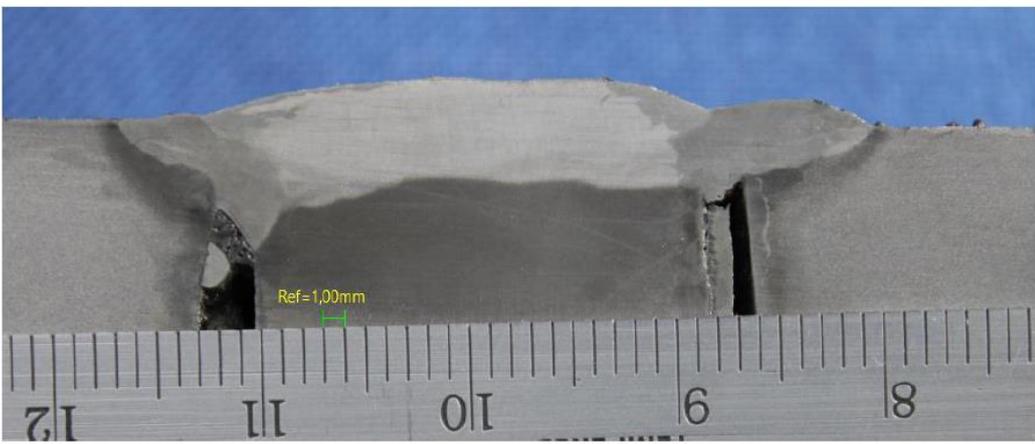
El segundo análisis de macrografía el espécimen SMAW E7018 MCR2 expuesto en la tabla 41 también concluye que se cumple con los criterios de evaluación recomendados por el código AWS D1.4, para el anclaje diseñado.

Tabla 42. Resultados del ensayo de macrografía probeta SMAW MCR3

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRIA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN ESTRUCTURAS METÁLICAS			
<b>ID de ensayo</b>	SMAW E8018 MCR1	<b>Espécimen</b>		MCR1
<b>Material</b>	<b>Soldadura</b>	<b>WPS</b>	<b>Pernos</b>	<b>Mat. Aporte Soldadura</b>
	SMAW	AM-WPS-01-003	No aplica ya que todas las conexiones son soldadas.	E8018
<b>Características de Ensayo</b>	Temp. Ambiente	<b>Técnica</b>	<b>Tipo de ensayo</b>	<b>Tiempo de procesamiento</b>
	22±4°C	Inspección Visual	Macrografía	20 minutos
<b>Instrumento de medición</b>	BLK-42 Regla metálica			
<b>Realizado por:</b>	Ing. Alexandra Mayanza	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes	
		<b>Fecha:</b>	9/4/2024	
<b>Curva de esfuerzo Vs Deformación</b>				
<b>Denominación</b>	<b>Especificado</b>	<b>A</b>	<b>R</b>	
<b>Porosidad</b>	Ausencia de poros	<b>x</b>		
<b>Mordedura</b>	≤ 1 mm	<b>x</b>		
<b>Traslape</b>	Libre de traslapes	<b>x</b>		
<b>Fusión</b>	Fusión entre el material de aporte y base	<b>x</b>		
				
<b>Observaciones:</b> El análisis macrográfico es realizado bajo los criterios de aceptación establecidos en la norma AWS D1.4, En este caso la junta soldada SMAW MCR3 correspondiente a la varilla de anclaje y la placa base también cumple con todos los criterios para ser aceptada.				

El análisis de macrografía expuesto en la tabla 42 concluye que el espécimen SMAW E8018 MCR1 cumple con los criterios de evaluación recomendados por el código AWS D1.4, por lo tanto, el anclaje con este tipo de varilla y material de aporte E8018 es adecuado para fijar la placa base al anclaje de hormigón armado.

Tabla 43. Resultados del ensayo del ensayo de macrografía probeta SMAW MCR4

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRIA EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN ESTRUCTURAS METÁLICAS			
<b>ID de ensayo</b>	SMAW E8018 MCR2	<b>Espécimen</b>		MCR2
<b>Material</b>	<b>Soldadura</b>	<b>WPS</b>	<b>Pernos</b>	<b>Mat. Aporte Soldadura</b>
	SMAW	AM-WPS-01-003	No aplica ya que todas las conexiones son soldadas.	E8018
<b>Características de Ensayo</b>	Temp. Ambiente	<b>Técnica</b>	<b>Tipo de ensayo</b>	<b>Tiempo de procesamiento</b>
	22±4°C	Inspección Visual	Macrografía	20 minutos
<b>Instrumento de medición</b>	BLK-42 Regla metálica			
<b>Realizado por:</b>	Ing. Alexandra Mayanza	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes	
		<b>Fecha:</b>	9/4/2024	
<b>Curva de esfuerzo Vs Deformación</b>				
<b>Denominación</b>	<b>Especificado</b>	<b>A</b>	<b>R</b>	
<b>Porosidad</b>	Ausencia de poros	<b>x</b>		
<b>Mordedura</b>	≤ 1 mm	<b>x</b>		
<b>Traslape</b>	Libre de traslapes	<b>x</b>		
<b>Fusión</b>	Fusión entre el material de aporte y base	<b>x</b>		
				

**Observaciones:** El análisis macrográfico es realizado bajo los criterios de aceptación establecidos en la norma AWS D1.4, En este caso la junta soldada SMAW MCR3 correspondiente a la varilla de anclaje y la placa base también cumple con todos los criterios para ser aceptada.

El segundo análisis de macrografía el espécimen SMAW E8018 MCR2 expuesto en la tabla 44 también concluye que se cumple con los criterios de evaluación recomendados por el código AWS D1.4, para el anclaje diseñado.

Tabla 44. Aceptación o Rechazo - Ensayos de macrografía

<b>Ensayo de Macrografía</b>		
<b>Criterio de Aceptación o Rechazo</b>		
<b>Proceso de soldadura</b>	<b>Material de aporte</b>	<b>Criterio</b>
<b>FCAW</b>	E71T-1C	Aceptado
		Aceptado
<b>SMAW</b>	E7018	Aceptado
		Aceptado
<b>SMAW</b>	E8018	Aceptado
		Aceptado

El criterio de aceptación para los ensayos de macrografía se ejecutó mediante el apartado 8.3.7.3 de la AWS D1.4, que indica que una vez realizado los ensayos se debe obtener una fusión completa además de cumplir con los requerimientos de la norma.

#### **4.3. Análisis de resultados**

Como se observó en los puntos anteriores luego de realizar ensayos destructivos como la macrografía y el ensayo de tracción la junta soldada que une la varilla y la placa de anclaje resultó aceptada en los procesos FCAW y SMAW por lo que es adecuada para transmitir las cargas de las columnas del edificio al pedestal de hormigón.

#### **4.4. Comparación entre metales de aporte**

Los valores de  $F_y$  y  $F_u$  obtenidos en los ensayos de tracción indican que todos los materiales de aporte usados tanto en el proceso SMAW como FCAW tienen un comportamiento similar y un buen desempeño en el rango plástico, de igual manera al revisar la integridad de la junta soldada, en ninguna probeta se evidenciaron discontinuidades que puedan actuar como concentradores de esfuerzos durante la vida

útil del edificio.

#### **4.5.El proceso de soldadura y su incidencia en las propiedades mecánicas de la junta soldada**

En lo que respecta a la influencia del proceso de soldadura en la resistencia y las características mecánicas de la junta soldada, se observa que los mejores resultados en términos de ductilidad y comportamiento plástico se logran con el proceso de soldadura FCAW utilizando un electrodo E71T-1C. Por lo tanto, es recomendable utilizar este proceso para soldar la varilla de anclaje a la placa, ya que proporciona una mejor penetración, lo que se traduce en un rendimiento superior frente a las cargas estructurales del edificio.

El proceso de soldadura FCAW (Soldadura por Arco con Alambre Tubular) con un electrodo E71T-1C ofrece ventajas significativas en términos de rendimiento mecánico y resistencia. Este tipo de soldadura proporciona una mayor ductilidad, lo que significa que la junta soldada puede deformarse considerablemente antes de romperse, lo que es crucial en aplicaciones estructurales donde se pueden esperar cargas variables.

Además, el comportamiento plástico mejorado del material soldado garantiza una mayor capacidad de absorción de energía antes de la fractura, lo que es esencial para la resistencia ante impactos o cargas sísmicas. Esta capacidad de deformación plástica también contribuye a la capacidad de la junta soldada para redistribuir las cargas y reducir los puntos de concentración de tensiones, lo que mejora la resistencia global de la estructura.

Por otro lado, la penetración mejorada del proceso FCAW con electrodo E71T-1C asegura una unión más sólida entre la varilla de anclaje y la placa, lo que minimiza el riesgo de fallo por desprendimiento o separación en condiciones de carga. Esta mayor penetración también ayuda a mejorar la integridad estructural al garantizar una fusión completa entre los materiales base y el material de aporte, lo que resulta en una junta soldada más homogénea y resistente.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- Se logró efectuar con los objetivos trazados en este trabajo de titulación, que se enfocaban en: diseñar la estructura de cuatro plantas con el software de análisis estructural, determinar los parámetros de fabricación del sistema de anclaje placa de base–varilla y establecer las propiedades mecánicas de la junta que forma el sistema de anclaje placa de base–varilla.
- Mediante la aplicación de ensayos destructivos y no destructivos realizados en las probetas se logró determinar que la probeta M01 Y M02 obtuvieron el mejor comportamiento mecánico en lo que concierne a tracción, en la que se empleó el procedimiento FCAW con alambre E71T1-1C, la misma que calificó todos los ensayos según la norma AWS D1.1.
- Según los resultados obtenidos en las pruebas de macrografía se puede concluir que el sistema de placa base-varilla compuesta de acero estructural ASTM A572 Gr 50 y ASTM A 706 Gr 60 puede soldar en condiciones óptimas para su uso en la industria de la construcción mediante el proceso de FCAW según el código de soldadura AWS D1.1 sin que se afecten sus propiedades mecánicas de manera significativa.
- Para obtener las solicitaciones a las que está sometido el sistema de anclaje que se conforma de placa base y varillas se realizó el diseño de un edificio de 4 plantas el cual cumple con los criterios de estabilidad estipulados por la Norma ecuatoriana de la construcción (NEC 15) , como derivas de piso, cortante basal, participación de masa modal, desplazamientos y periodos, con esto se obtuvo la carga axial, el momento máximo y la fuerza cortante que se transmiten a la placa base con el fin de determinar su dimensionamiento.
- Respecto a las propiedades mecánicas de la junta soldada entre la varilla de anclaje

y la placa base se determinó que tanto con el proceso de soldadura FCAW como SMAW la junta presenta un comportamiento elástico adecuado y cumple con el criterio establecido en la Norma AWS D1.4 siendo en todos los casos la relación  $F_y/F_u$  mayor a 1.25 lo que indica que la junta soldada tiene un buen comportamiento en el rango plástico y es capaz de disipar la energía que se produce por las cargas a las que está sometida la estructura incluida la carga sísmica.

- Respecto a la ductilidad de las juntas soldadas analizadas se observó que con el proceso de soldadura FCAW se alcanza un  $F_y$  ligeramente mayor que con el proceso SMAW por lo que es adecuado optar por este proceso para garantizar un mejor comportamiento estructural en la base de la estructura.

## **5.2.Recomendaciones**

- Se recomienda para procesos de soldadura utilizar los requisitos como: WPS, PQR y WPQ determinados por el código AWS D1.1, donde se podrán instaurar los parámetros de calidad de la soldadura y las habilidades del soldador.
- Al proceso de soldadura que se aplicará, es recomendable que el soldador tenga experiencia y habilidad, la misma que serán calificados bajo el código AWS D1.1 para obtener una buena calidad en la soldadura.
- Realizar la limpieza correcta de las partes de la junta soldada que conforma el sistema de placa base-varilla para minimizar la generación de discontinuidades debido a la humedad del óxido ferroso.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. Quiroga, “El acero en la Ingeniería Civil, usos, ventajas y limitaciones: Revisión literaria,” *Fac. Ing.*, 2021.
- [2] C. Enríquez, “El crecimiento depende de cuatro factores,” *Revista Líderes*, Apr. 19, 2021.
- [3] J. C. Reyes *et al.*, “Seismic retrofitting of existing earthen structures using steel plates,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 230, p. 117039, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117039>.
- [4] E. Harirchian, V. Kumari, K. Jadhav, R. R. Das, S. Rasolzade, and T. Lahmer, “A Machine Learning Framework for Assessing Seismic Hazard Safety of Reinforced Concrete Buildings,” *Appl. Sci. 2020, Vol. 10, Page 7153*, vol. 10, no. 20, p. 7153, Oct. 2020, doi: 10.3390/APP10207153.
- [5] R. G. Borges, M. S. de Assumpção, M. C. F. de Almeida, and M. de S. S. de Almeida, “Seismicity and seismic hazard in the continental margin of southeastern Brazil,” *J. Seismol.*, vol. 24, no. 6, pp. 1205–1224, 2020, doi: 10.1007/s10950-020-09941-4.
- [6] W. Gao and F. Yang, “Effects of welding methods on corrosion resistance of welding joint of X65 pipeline steel,” *ICPTT*, pp. 1987–1993, 2009.
- [7] J.-G. Nie, R. Ding, J.-S. Fan, and M.-X. Tao, “Seismic Performance of Joints between Steel K-Style Outrigger Trusses and Concrete Cores in Tall Buildings,” *J. Struct. Eng.*, vol. 140, no. 12, pp. 1–19, 2014, doi: 10.1061/(asce)st.1943-541x.0001028.
- [8] S. Collantes and Mauricio Sánchez, “Estudio del comportamiento de las juntas soldadas utilizando acero HSLA con el proceso Gas Metal Arc Welding (GMAW) en la fabricación de vehículos de transporte de pasajeros,” 2019.
- [9] M. V. F. de Moura, L. S. Marques, B. H. G. Barbosa, and R. R. Magalhães, “Multiobjective Genetic Algorithm applied to inverse finite element analysis: T-joint welding case study,” *Weld. Int.*, vol. 35, no. 7–9, pp. 269–280, Sep. 2021, doi: 10.1080/09507116.2021.1990738.
- [10] D. Panov *et al.*, “Effect of pre-heating and post-weld heat treatment on structure and mechanical properties of laser beam-welded Ti2AlNb-based joints,” *Intermetallics*, vol. 143, p. 107466, 2022, doi:

<https://doi.org/10.1016/j.intermet.2022.107466>.

- [11] B. Mvola and P. Kah, “Effects of shielding gas control: welded joint properties in GMAW process optimization,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 88, no. 9, pp. 2369–2387, 2017, doi: 10.1007/s00170-016-8936-2.
- [12] S. P. Arunkumar *et al.*, “Taguchi optimization of metal inert gas (MIG) welding parameters to withstand high impact load for dissimilar weld joints,” *Mater. Today Proc.*, vol. 56, pp. 1411–1417, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.619>.
- [13] C. Steimbregger, N. Gubeljak, T. Vuherer, N. Enzinger, W. Ernst, and M. Chapetti, “Effect of welding processes on the fatigue behaviour of ultra-high strength steel butt-welded joints,” *Eng. Fract. Mech.*, vol. 275, p. 108845, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2022.108845>.
- [14] U. Kuhlmann and M. Rybinski, “Design of anchor plates based on the component method,” *Compos. Constr. Steel Concr. VI - Proc. 2008 Compos. Constr. Steel Concr. Conf.*, pp. 338–350, 2011, doi: 10.1061/41142(396)28.
- [15] M. Seniwongse, “Specifying Fixed-Base Columns or Pinned-Base Columns in Computer Analysis and Design of Steel Frames,” *Pract. Period. Struct. Des. Constr.*, vol. 26, no. 1, pp. 1–11, 2021, doi: 10.1061/(asce)sc.1943-5576.0000541.
- [16] Y. C. You and D. Lee, “Development of improved exposed column-base plate strong-axis joints of low-rise steel buildings,” *J. Constr. Steel Res.*, vol. 169, p. 106062, 2020, doi: 10.1016/j.jcsr.2020.106062.
- [17] S. Gbagba, L. Maccioni, and F. Concli, “Advances in Machine Learning Techniques Used in Fatigue Life Prediction of Welded Structures,” *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 1, p. 398, 2023, doi: 10.3390/app14010398.
- [18] X. Liu, “Experimental investigation and fracture simulation of welded steel connections,” 2023.
- [19] O. Brätz *et al.*, “Load-carrying capacity of MAG butt and fillet welded joints on high-strength structural steels of grade S960QL and S960MC,” *Ce/Papers*, vol. 6, no. 3–4, pp. 587–594, 2023, doi: 10.1002/cepa.2478.
- [20] D. Hoisington and S. Hamel, “Evaluating the Behavior of Anchor Rod Foundations for High-Mast Light Poles Using Nonlinear Finite-Element

- Analysis,” *J. Struct. Eng.*, vol. 142, no. 9, pp. 1–8, 2016, doi: 10.1061/(asce)st.1943-541x.0001495.
- [21] Z. Barsoum and M. Khurshid, “Ultimate Strength Capacity of Welded Joints in High Strength Steels,” *Procedia Struct. Integr.*, vol. 5, pp. 1401–1408, 2017, doi: 10.1016/j.prostr.2017.07.204.
- [22] J. Merrill and W. J. Oliphant, “Welding challenges in typical connections used in steel pole transmission structures,” *Electr. Transm. Substation Struct. 2018 Dedic. to Strength. our Crit. Infrastruct. - Proc. 2018 Electr. Transm. Substation Struct. Conf.*, pp. 435–444, 2018, doi: 10.1061/9780784481837.039.
- [23] J. Dong, T. Zhang, Y. Fu, B. Zheng, and Y. Chai, “Study on connection and properties of green assembled building steel structures,” *Results Phys.*, vol. 12, no. December 2018, pp. 1126–1132, 2019, doi: 10.1016/j.rinp.2018.12.088.
- [24] A. Ahola, K. Lipiäinen, J. Lindroos, M. Koskimäki, K. Laukia, and T. Björk, “On the Fatigue Strength of Welded High-Strength Steel Joints in the As-Welded, Post-Weld-Treated and Repaired Conditions in a Typical Ship Structural Detail,” *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 11, no. 3, 2023, doi: 10.3390/jmse11030644.
- [25] C. Chazarro, “Diseño de Conexiones,” *Gerdau Corsa*, 2019, [Online]. Available: [https://www.gerdaucorsa.com.mx/sites/mx\\_gerdau/files/PDF/DISENO DE CONEXIONES\\_2019-min-min.pdf](https://www.gerdaucorsa.com.mx/sites/mx_gerdau/files/PDF/DISENO%20DE%20CONEXIONES_2019-min-min.pdf).
- [26] C. Aguilera and L. Silva, “Manual de conexiones de acero para sistemas de pórticos especiales e intermedios con base en las especificaciones de la ANSI/AISC 341-10, 358-10 y 360-10,” *Esc. Ing. Civ.*, 2016, [Online]. Available: <http://catalogo-gy.ucab.edu.ve/documentos/tesis/32764.pdf>.
- [27] J. Marulanda, *Soldadura y su inspección*. Universidad Tecnológica de Pereira, 2018.
- [28] J. Baral, J. Swaminathan, D. Chakrabarti, and R. N. Ghosh, “Creep behavior of P91B steel in the presence of a weld joint,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 631, pp. 220–229, 2015, doi: 10.1016/j.msea.2015.02.039.
- [29] I. L. de Sousa Brandão *et al.*, “Conjunctive use of in situ gas sampling and chromatography with geospatial analysis to estimate greenhouse gas emissions

- of a large Amazonian hydroelectric reservoir,” *Sci. Total Environ.*, vol. 650, pp. 394–407, 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.403.
- [30] C. Xu, N. Guo, X. Zhang, H. Jiang, Y. Tan, and L. Zhou, “Influence of welding speed on weld pool dynamics and welding quality in underwater wet FCAW,” *J. Manuf. Process.*, vol. 55, pp. 381–388, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.03.046>.
- [31] J. Ramírez, “La construcción con estructura de acero,” *Dyna Ing. e Ind.*, pp. 17–22, 2002.
- [32] F. J. Crisafulli, “Diseño sismorresistente de construcciones de acero,” *Marzo*, p. 214, 2018, [Online]. Available: <http://www.alacero.org/es/page/publicaciones/disenio-sismorresistente-de-construcciones-de-acero>.
- [33] J. Sanz, “Control de calidad de soldaduras en estructuras metálicas,” 2021.
- [34] N. A. Putri, H. Muzakki, and M. K. Umami, “The numerical method to determine true and engineering stress–strain curves of tensile test using ferrous specimen,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 2927, no. 1, p. 20018, Mar. 2024, doi: 10.1063/5.0192725.
- [35] Y. Zhang, X. Liu, Y. Zhou, and Y. Shi, “Influence of welding method on residual stress and metallography of a mild steel welded butt-joint plate,” *J. Constr. Steel Res.*, vol. 199, p. 107640, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2022.107640>.
- [36] Heni Hendaryati, M. Mamungkas, Iis Siti Aisyah, and Muhammad Hasbi Rusmana, “The effect of variations in thickness of 2024 T42 aluminum plate on tensile strength and macrography in the process of resistance spot welding,” *JTTM J. Terap. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 2, pp. 96–107, 2022, doi: 10.37373/jttm.v3i2.299.
- [37] MIDUVI and SGR, “Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras, de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015,” *Norma Ecuatoriana la Construcción*, vol. 5, pp. 1–185, 2016.
- [38] AISC 360-16, “Specification for Structural Steel Buildings, an American National Standard,” *Am. Inst. Steel Constr. Chicago*, p. 612, 2016.
- [39] R. Force, “E71T1-C H8,” *Tubul. para soldar FCAW*, pp. 1–3.

[40] N. E. de la Construcción, *NEC-SE-CS-Cargas (No Sísmicas)*. 2015.

## **5.3 ANEXOS**

Ensayos de tracción		<p align="center"><b>ILPM Engineering Cía. Ltda.</b>  <b>Emilio Estrada N54-139 Y Oruña</b>  <b>Sector La Kennedy</b>  <b>Quito-Ecuador</b>  <b>Teléfono: 02 2812094</b>  <b>Fax: 02 2411714</b>  <b>http://www.ilpm-ec.com</b>  <b>Email: <a href="mailto:ilpm@ilpm-ec.com">ilpm@ilpm-ec.com</a></b></p>
Informe # ILPM 2024-221		
<p align="center"><b>DATOS DEL SOLICITANTE<sup>1</sup></b>  <b>ILPM TRABAJO INTERNO</b>  <b>Dirección: Emilio Estrada N54-139 y Oruña</b>  <b>Teléfono: 2812094</b></p>		
<p align="center"><b>PARA CLIENTE FINAL:</b>  <b>ING. ALEXANDRA MAYANZA</b></p>		
Solicitado por: Ing. Alexandra Mayanza		
Fecha de Recepción:	22/3/2024	
Fecha de Entrega:	25/3/2024	

ELABORADO	REVISADO Y/O APROBADO	CLIENTE
<p><b>MOISES JOSIAS CADENA ESPIN</b>                      Firmado digitalmente por MOISES JOSIAS CADENA ESPIN                      Fecha: 2024.03.25 12:40:44 -05'00'</p>	<p><b>HERNAN PATRICIO ESTUPINAN MELO IVAN PATRICIO ESTUPINAN PAZOS</b>                      Firmado digitalmente por HERNAN PATRICIO ESTUPINAN MELO                      Fecha: 2024.03.25 12:45:02 -05'00'                      Firmado digitalmente por IVAN PATRICIO ESTUPINAN PAZOS                      Fecha: 2024.03.25 15:36:03 -05'00'</p>	

\*ILPM se hace responsable por toda la información proporcionada en el presente informe, excepto aquella que es suministrada por el cliente.  
 \*Toda la información entregada a ILPM ENGINEERING por parte del cliente, su representante o cualquier parte interesada será considerada como CONFIDENCIAL antes, durante y después de la ejecución de las actividades.  
 \*Las muestras o probetas que no sean requeridas por el cliente serán desechadas de acuerdo al procedimiento interno ILPM-PC-14 "Recepción, manipulación, protección, almacenamiento, retención y disposición de muestras".  
 \*Los resultados presentados en el presente informe son válidos y aplicables únicamente para las muestras o probetas ensayadas o inspeccionadas y no deben ser utilizados para tomar conclusiones acerca de otras muestras, probetas, lotes, etc.  
 \*ILPM no es responsable del muestreo de la probeta o la muestra entregada por el cliente, por lo que los resultados entregados en el presente informe corresponden a la muestra o la probeta tal como se recibió.  
 \* Cuando el cliente ha solicitado una declaración de conformidad con una especificación o norma para el ensayo (por ejemplo, pasa/no pasa, dentro de tolerancia/ fuera de tolerancia), se ha tomado en cuenta la incertidumbre de medición y la regla de decisión acordada con el cliente.  
 \*Se informa al cliente que puede comunicar a ILPM ENGINEERING, las quejas y apelaciones que estime oportunas de acuerdo al procedimiento ILPM-PC-05 "Servicio al Cliente", para la recepción, tratamiento e informe de quejas y apelaciones, disponible a través de nuestro correo electrónico [ilpm@ilpm-ec.com](mailto:ilpm@ilpm-ec.com) o DESCARGÁNDOLO a través de la red Social LinkedIn. Buscar: ILPM Engineering. <https://www.linkedin.com/company/2575804/admin/>  
 \*Los alcances de acreditación de ILPM, los productos o materiales a ensayar o inspeccionar, la técnica y rangos de ensayo, el método de ensayo e inspección, así como la norma técnica, pueden ser consultados a detalle en la página web del SAE <https://www.acreditacion.gob.ec/>.

2024. ILPM Engineering Cía. Ltda.  
 Todos Los derechos reservados. Este informe o partes del mismo no deben ser reproducidos o transmitidos de forma parcial, salvo por autorización de ILPM, o en caso que haya sido comunicado durante la Orden de Compra.  
<sup>1</sup> Solicitante es la empresa/persona "cliente" de ILPM la cual realizó la requisición del servicio y se compromete al pago por los servicios.



ID DOCUMENTO  
ILPM-RT-16-I  
Revisión Nro. 10  
Fecha de Rev.: 02/10/2023

**ILPM ENGINEERING CIA LTDA**  
Ingeniería Líder en Proyectos y Materiales



Informe No.

ILPM 2024-221

WPS: AM-WPS-01-001

**REPORTE DE ENSAYO DE TRACCIÓN**

**NORMAS: ASTM A370 / ASTM E8**

<b>Cliete final:</b>	ING. ALEXANDRA MAYANZA	<b>Fecha de ensayo:</b>	lunes, 25 de marzo de 2024
<b>Solicitado por:</b>	ING. ALEXANDRA MAYANZA	<b>Testificado por:</b>	
<b>Material:</b>	ASTM 572 Gr 50	<b>Probeta elaborada por:</b>	CLIENTE
<b>Equipo:</b>	ENS-23 Máquina de ensayo de Tensión	<b>Calibración:</b>	11/1/2024
<b>Temperatura:</b>	22±4°C	<b>Verificación:</b>	19/2/2024
		<b>Humedad relativa:</b>	48±22%

Control de Calidad de Material

Control de Soldadura

X

ID Probeta	Diámetro Menor	Longitud Inicial	Longitud Final	OBSERVACIONES
	mm.	mm.	mm.	
M01	25,00	50,00	NA	Mayanza Balla Janneth Alexandra
M02	25,00	50,00	NA	Mayanza Balla Janneth Alexandra

ID Probeta	Area	Carga de Fluencia	Limite de Fluencia Sy		Carga Máxima	Resistencia a Tracción SUT		Elongación 50 mm	Localización de Rotura <sup>1</sup>
	mm <sup>2</sup> .	kN	KSI	MPa	kN	KSI	MPa	%	
M01	490,88	224,9	66,45	458	322,6	95,32	657	NA	FMB
M02	490,88	210,0	62,05	428	324,6	95,91	661	NA	FMB

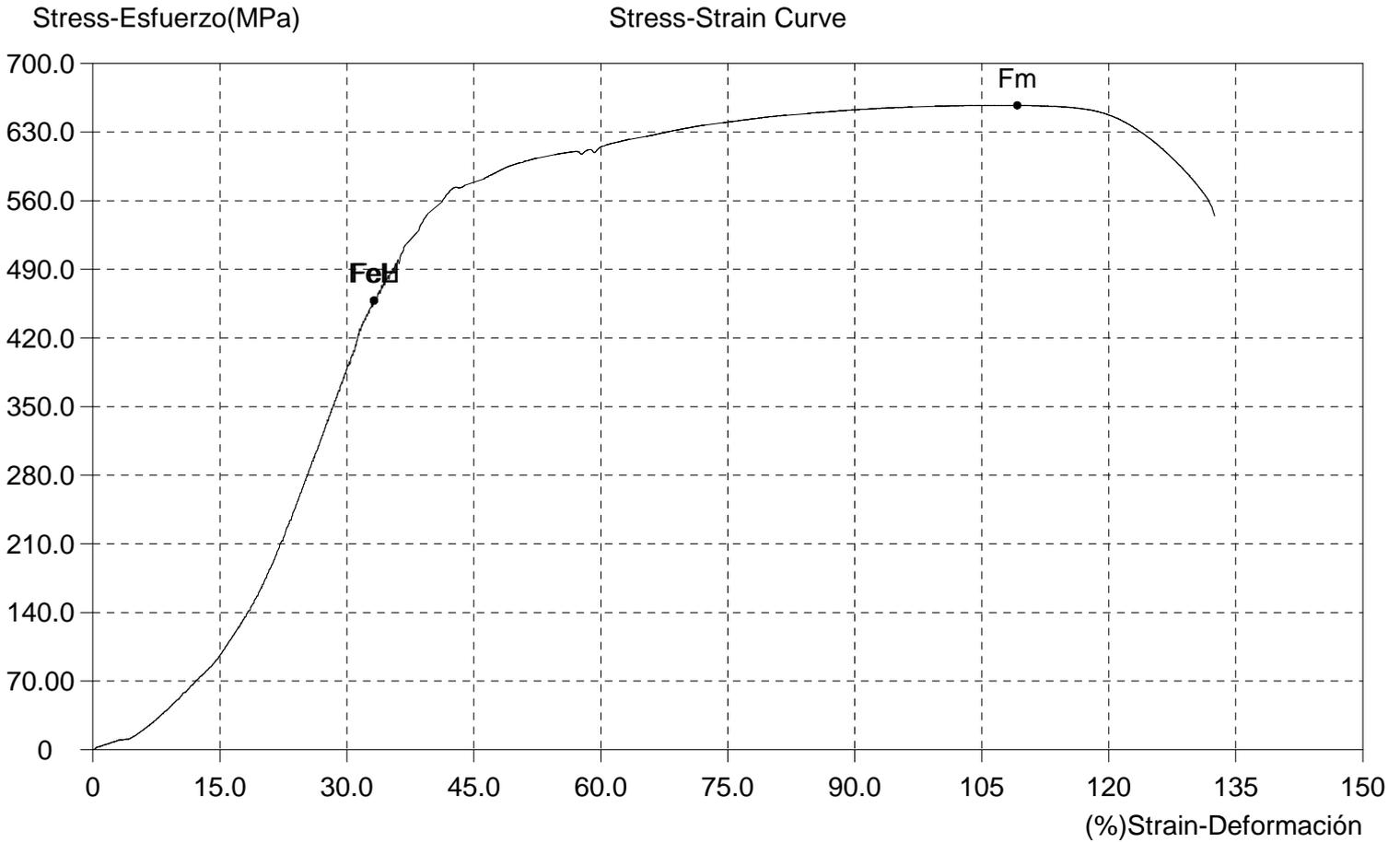
**Notas:**

- <sup>1</sup>Para juntas soldadas, la localización de rotura será designada por : FJS Falla Junta Soldada, FMB Falla en Material Base.
- ±U Representa la incertidumbre de medición de cada método de ensayo cubierto por el Sistema de gestión de ILPM y la norma ISO/IEC 17025.
- Como Anexo se adjuntan las curvas de ensayo.
- El presente informe NO debe ser reproducido parcialmente.
- Los ensayos han sido realizados bajo las indicaciones de ASTM E8 / A370 y Procedimiento técnico ILPM-PT-06 "Ensayo de Tensión" (incluye las normas ASME IX, API1104, AWS D1.1, versiones actuales).
- LPM ENGINEERING se encuentra acreditado por el SAE como Laboratorio de Ensayos bajo la norma INEN ISO/IEC 17025: 2018 con acreditación N° SAE LEN 19-011 para el alcance de Ensayo de Tensión. Alcance detallado disponible en página web del SAE <https://www.acreditacion.gob.ec/>.
- ILPM no se hace responsable por la información suministrada por el cliente: "Solicitado por", "Cliente final", "Material", "Testificado por ", "ID probeta"

<b>REALIZADO POR:</b> Moises Cadena ILPM Engineering	<b>APROBADO POR:</b> MSc. Patricio Estupiñán Director técnico	<b>CLIENTE:</b> ING. ALEXANDRA MAYANZA
--	---	---

ILPM CIA LTDA  
**REGISTRO DE ENSAYO DE TRACCION**

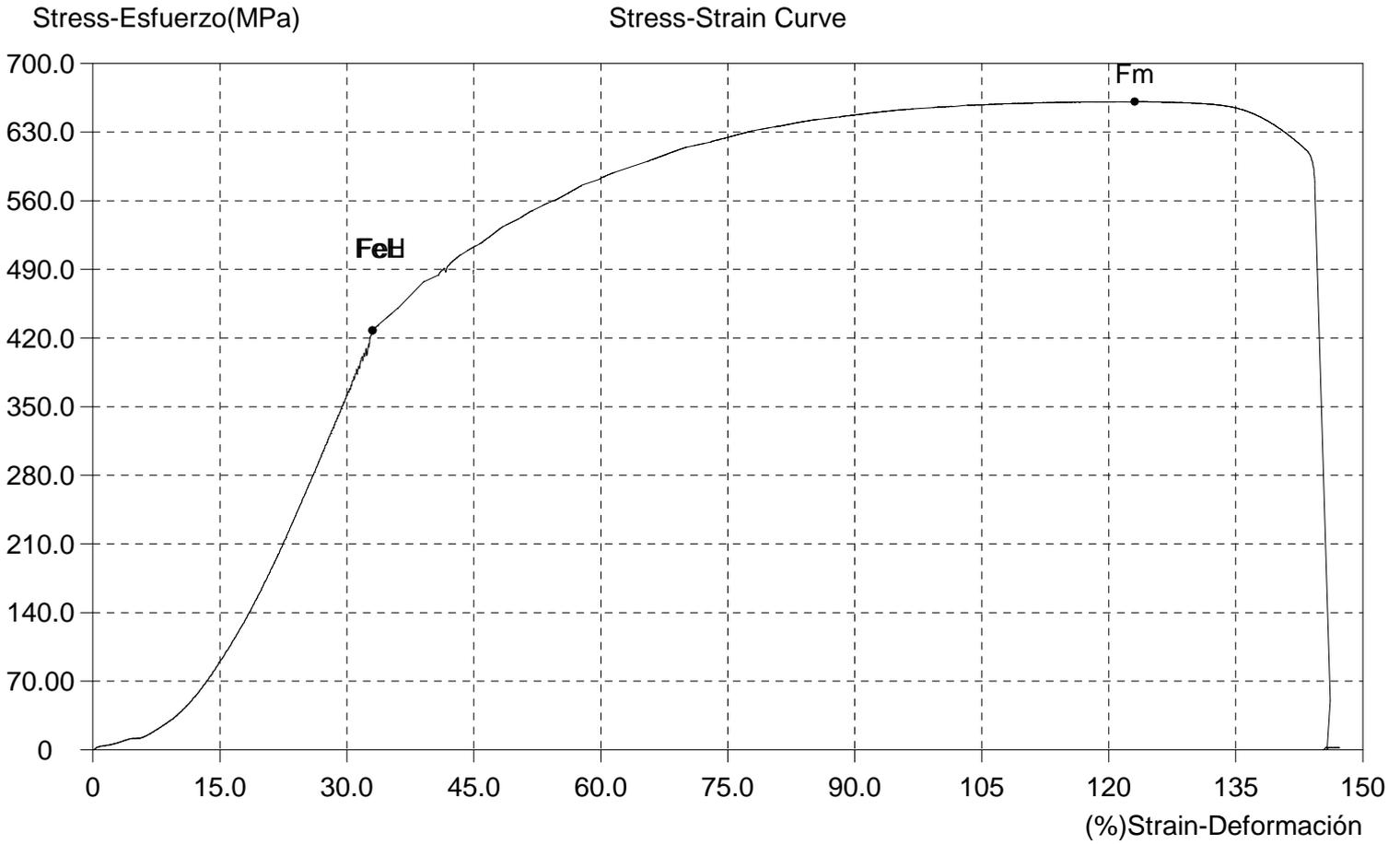
Informe	ILPM 2024-221		
Probeta No.	M01		
TestDate	2024-03-25	Type	Circle
Size(mm)	25	So(mm <sup>2</sup> )	490.88
Lo(mm)	50	Lu(mm)	
Fm(kN)	322.6	SUT(MPa)	657
FeL(kN)	224.9	SY(MPa)	458



# ILPM CIA LTDA

## REGISTRO DE ENSAYO DE TRACCION

Informe	ILPM 2024-221		
Probeta No.	M02		
TestDate	2024-03-25	Type	Circle
Size(mm)	25	So(mm <sup>2</sup> )	490.88
Lo(mm)	50	Lu(mm)	
Fm(kN)	324.6	SUT(MPa)	661
FeL(kN)	210.0	SY(MPa)	428





ID DOCUMENTO  
ILPM-RT-16-I  
Revisión Nro. 10  
Fecha de Rev.: 02/10/2023

**ILPM ENGINEERING CIA LTDA**  
Ingeniería Líder en Proyectos y Materiales



Informe No.

ILPM 2024-221

WPS: AM-WPS-01-002

**REPORTE DE ENSAYO DE TRACCIÓN**

**NORMAS: ASTM A370 / ASTM E8**

<b>Ciente final:</b>	ING. ALEXANDRA MAYANZA	<b>Fecha de ensayo:</b>	lunes, 25 de marzo de 2024
<b>Solicitado por:</b>	ING. ALEXANDRA MAYANZA	<b>Testificado por:</b>	
<b>Material:</b>	ASTM 572 Gr 50	<b>Probeta elaborada por:</b>	CLIENTE
<b>Equipo:</b>	ENS-23 Máquina de ensayo de Tensión	<b>Calibración:</b>	11/1/2024
<b>Temperatura:</b>	22±4°C	<b>Verificación:</b>	19/2/2024
		<b>Humedad relativa:</b>	48±22%

Control de Calidad de Material

Control de Soldadura X

ID Probeta	Diámetro Menor	Longitud Inicial	Longitud Final	OBSERVACIONES
	mm.	mm.	mm.	
M03	25,00	50,00	NA	Mayanza Balla Janneth Alexandra
M04	25,00	50,00	NA	Mayanza Balla Janneth Alexandra

ID Probeta	Area	Carga de Fluencia	Limite de Fluencia Sy		Carga Máxima	Resistencia a Tracción SUT		Elongación 50 mm	Localización de Rotura <sup>1</sup>
	mm <sup>2</sup> .	kN	KSI	MPa	kN	KSI	MPa	%	
M03	490,88	212,4	62,76	433	323,7	95,64	659	NA	FMB
M04	490,88	209,7	61,96	427	323,5	95,58	659	NA	FMB

**Notas:**

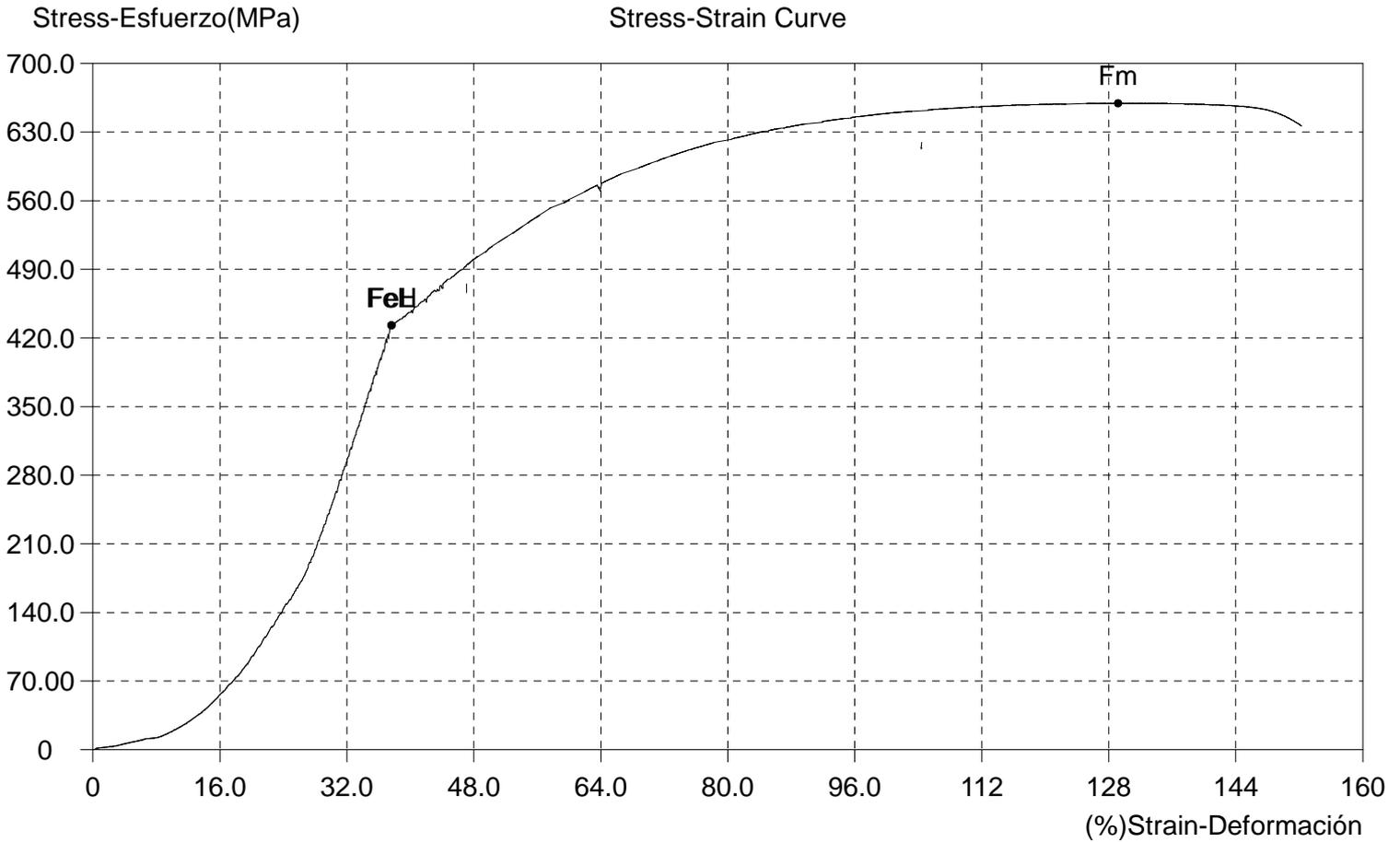
- <sup>1</sup>Para juntas soldadas, la localización de rotura será designada por : FJS Falla Junta Soldada, FMB Falla en Material Base.
- ±U Representa la incertidumbre de medición de cada método de ensayo cubierto por el Sistema de gestión de ILPM y la norma ISO/IEC 17025.
- Como Anexo se adjuntan las curvas de ensayo.
- El presente informe NO debe ser reproducido parcialmente.
- Los ensayos han sido realizados bajo las indicaciones de ASTM E8 / A370 y Procedimiento técnico ILPM-PT-06 "Ensayo de Tensión" (incluye las normas ASME IX, API1104, AWS D1.1, versiones actuales).
- LPM ENGINEERING se encuentra acreditado por el SAE como Laboratorio de Ensayos bajo la norma INEN ISO/IEC 17025: 2018 con acreditación N° SAE LEN 19-011 para el alcance de Ensayo de Tensión. Alcance detallado disponible en página web del SAE <https://www.acreditacion.gob.ec/>.
- ILPM no se hace responsable por la información suministrada por el cliente: "Solicitado por", "Cliente final", "Material", "Testificado por ", "ID probeta"

<b>REALIZADO POR:</b> Moises Cadena ILPM Engineering	<b>APROBADO POR:</b> MSc. Patricio Estupiñán Director técnico	<b>CLIENTE:</b> ING. ALEXANDRA MAYANZA
--	---	---

# ILPM CIA LTDA

## REGISTRO DE ENSAYO DE TRACCION

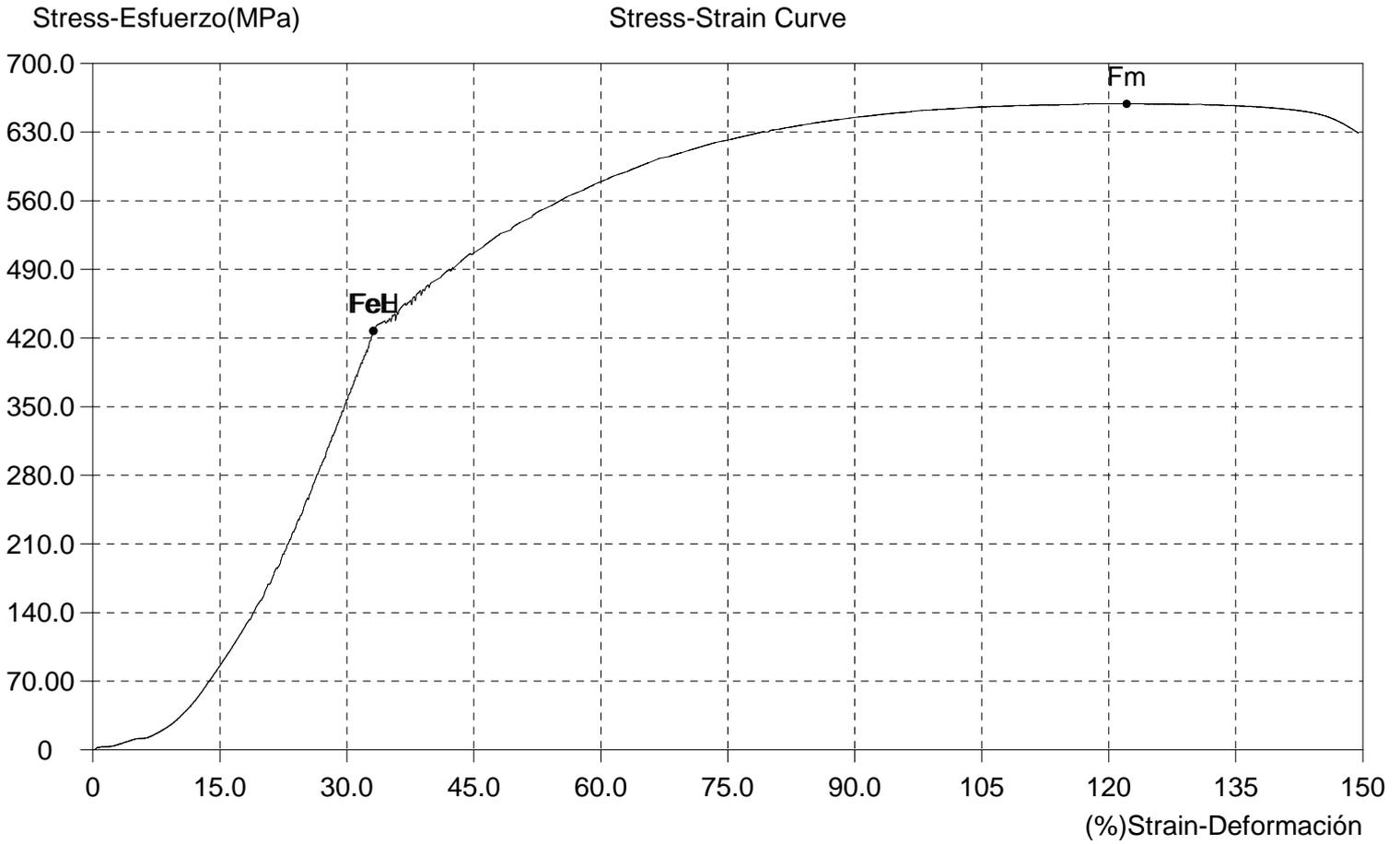
Informe	ILPM 2024-221		
Probeta No.	M03		
TestDate	2024-03-25	Type	Circle
Size(mm)	25	So(mm <sup>2</sup> )	490.88
Lo(mm)	50	Lu(mm)	
Fm(kN)	323.7	SUT(MPa)	659
FeL(kN)	212.4	SY(MPa)	433



# ILPM CIA LTDA

## REGISTRO DE ENSAYO DE TRACCION

Informe	ILPM 2024-221		
Probeta No.	M04		
TestDate	2024-03-25	Type	Circle
Size(mm)	25	So(mm <sup>2</sup> )	490.88
Lo(mm)	50	Lu(mm)	
Fm(kN)	323.5	SUT(MPa)	659
FeL(kN)	209.7	SY(MPa)	427





ID DOCUMENTO  
ILPM-RT-16-I  
Revisión Nro. 10  
Fecha de Rev.: 02/10/2023

**ILPM ENGINEERING CIA LTDA**  
Ingeniería Líder en Proyectos y Materiales



**Informe No.**

**ILPM 2024-221**

**WPS: AM-WPS-01-003**

**REPORTE DE ENSAYO DE TRACCIÓN**

**NORMAS: ASTM A370 / ASTM E8**

<b>Cliente final:</b>	ING. ALEXANDRA MAYANZA	<b>Fecha de ensayo:</b>	lunes, 25 de marzo de 2024
<b>Solicitado por:</b>	ING. ALEXANDRA MAYANZA	<b>Testificado por:</b>	
<b>Material:</b>	ASTM 572 Gr 50	<b>Probeta elaborada por:</b>	CLIENTE
<b>Equipo:</b>	ENS-23 Máquina de ensayo de Tensión	<b>Calibración:</b>	11/1/2024
<b>Temperatura:</b>	22±4°C	<b>Verificación:</b>	19/2/2024
		<b>Humedad relativa:</b>	48±22%

Control de Calidad de Material

Control de Soldadura

X

ID Probeta	Diámetro Menor	Longitud Inicial	Longitud Final	OBSERVACIONES
	mm.	mm.	mm.	
M05	25,00	50,00	NA	Mayanza Balla Janneth Alexandra

ID Probeta	Area	Carga de Fluencia	Limite de Fluencia Sy		Carga Máxima	Resistencia a Tracción SUT		Elongación 50 mm	Localización de Rotura <sup>1</sup>
	mm <sup>2</sup> .	kN	KSI	MPa	kN	KSI	MPa	%	
M05	490,88	211,5	62,49	431	322,20	95,20	656	NA	FMB

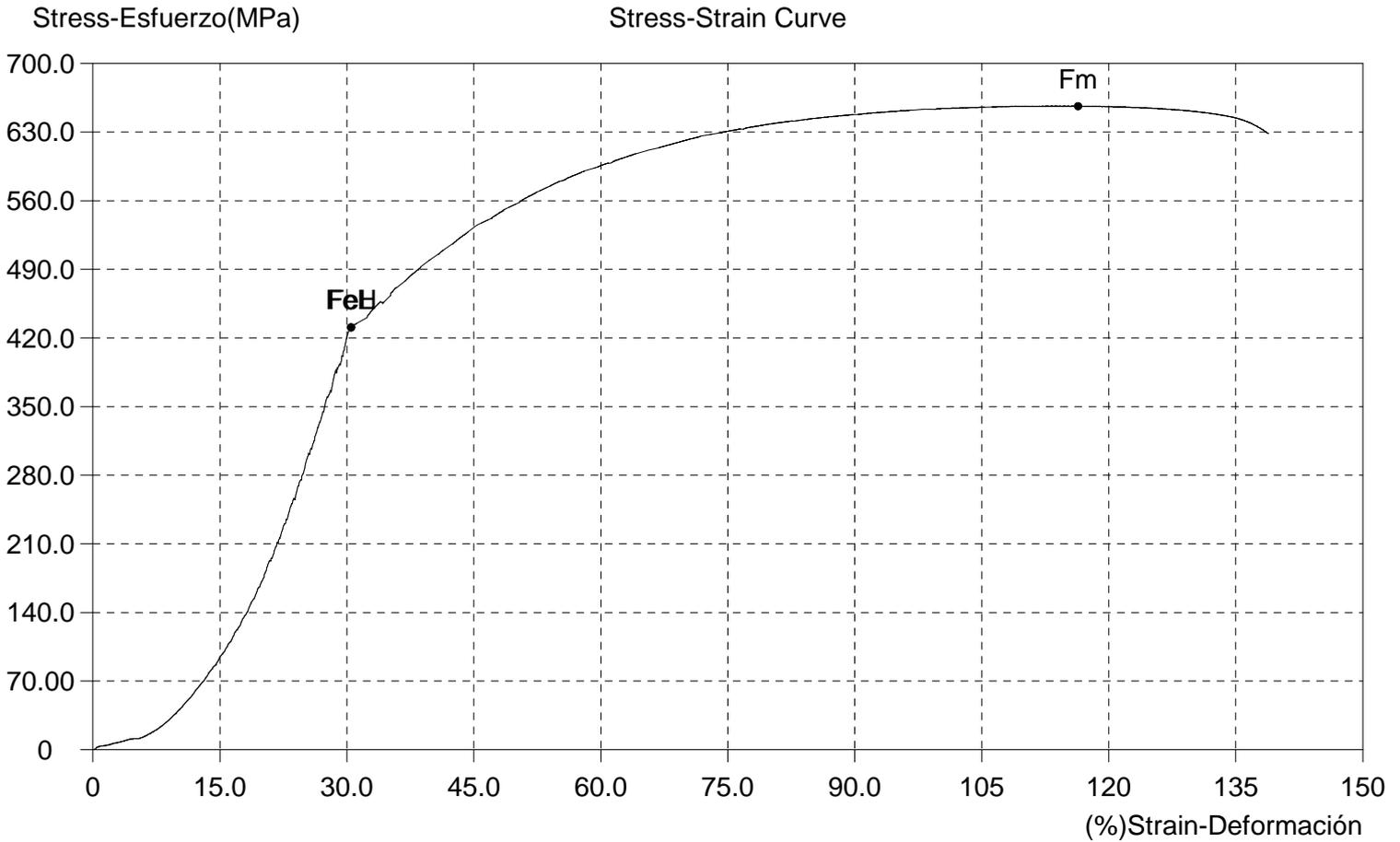
**Notas:**

- <sup>1</sup>Para juntas soldadas, la localización de rotura será designada por : FJS Falla Junta Soldada, FMB Falla en Material Base.
- ±U Representa la incertidumbre de medición de cada método de ensayo cubierto por el Sistema de gestión de ILPM y la norma ISO/IEC 17025.
- Como Anexo se adjuntan las curvas de ensayo.
- El presente informe NO debe ser reproducido parcialmente.
- Los ensayos han sido realizados bajo las indicaciones de ASTM E8 / A370 y Procedimiento técnico ILPM-PT-06 "Ensayo de Tensión" (incluye las normas ASME IX, API1104, AWS D1.1, versiones actuales).
- LPM ENGINEERING se encuentra acreditado por el SAE como Laboratorio de Ensayos bajo la norma INEN ISO/IEC 17025: 2018 con acreditación N° SAE LEN 19-011 para el alcance de Ensayo de Tensión. Alcance detallado disponible en página web del SAE <https://www.acreditacion.gob.ec/>.
- ILPM no se hace responsable por la información suministrada por el cliente: "Solicitado por", "Cliente final", "Material", "Testificado por ", "ID probeta"

<b>REALIZADO POR:</b> Moises Cadena ILPM Engineering	<b>APROBADO POR:</b> MSc. Patricio Estupiñán Director técnico	<b>CLIENTE:</b> ING. ALEXANDRA MAYANZA
--	---	---

ILPM CIA LTDA  
**REGISTRO DE ENSAYO DE TRACCION**

Informe	ILPM 2024-221		
Probeta No.	M05		
TestDate	2024-03-25	Type	Circle
Size(mm)	25	So(mm <sup>2</sup> )	490.88
Lo(mm)	50	Lu(mm)	
Fm(kN)	322.2	SUT(MPa)	656
FeL(kN)	211.5	SY(MPa)	431



\*\*\* Fin de Documento \*\*\*

<b>Cliete final:</b>	ING. ALEXANDRA MAYANZA	<b>Fecha de Ensayo:</b>	viernes, 8 de marzo de 2024
<b>Solicitado por:</b>	Ing. Alexandra Mayanza	<b>Número de macros:</b>	6
<b>Temperatura:</b>	22±4°C	<b>Humedad:</b>	48±22%
<b>Testificado por:</b>		<b>Instrumento de medición:</b>	BLK-42 Regla metálica
<b>Motivo:</b>	CALIFICACIÓN DE SOLDADORES		

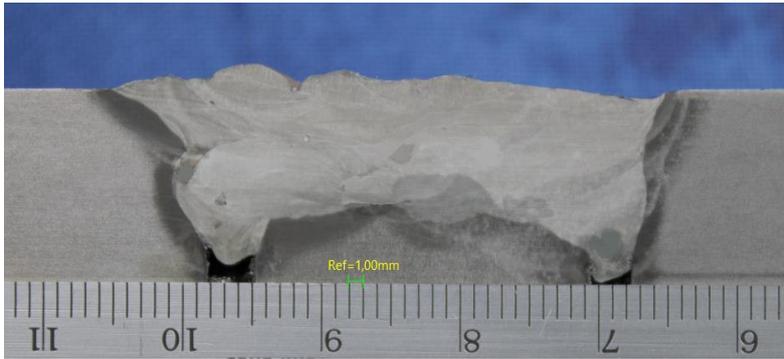
<b>Norma de evaluación</b>	<b>CONFORME NORMA AWS D1.4 (Structural Welding Code—Reinforcing Steel)</b>		
<b>MACRO Nº</b>	<b>ESTAMPA SOLDADOR</b>	<b>ID PROBETA</b>	<b>WPS</b>
1	W01	FCAW MCR1	AM-WPS-01-001

<b>RESULTADOS DE EVALUACIÓN (U=±0,9mm)</b>				
DENOMINACIÓN	ESPECIFICADO	ENCONTRADO	A	R
Porosidad	Ausencia de Poros	No se Observa	X	
Mordedura	≤ 1 mm	No se Observa	X	
Traslape	Debe estar libre de Traslapes	No se Observa	X	
Fusión	Debe mostrar fusión entre el material de aporte y base, los pases entre capas deben de igual manera mostrar fusión.	Se Observa	X	

\*NOTA 1: Los resultados presentados corresponden únicamente a las probetas extraídas y analizadas. ±U Representa la incertidumbre de medición del método de ensayo. Para la Aceptación (A)/Rechazo (R) se toma en cuenta la incertidumbre de medición (±U) del método de ensayo y la regla de decisión.

\*NOTA 2: Los resultados contenidos en este registro son correctos, y las probetas fueron ensayadas de acuerdo a los requerimientos del procedimiento ILPM-PT-03 y de la AWS D1.4.

\*NOTA 3: "ILPM no se hace responsable por la información suministrada por el cliente: "Solicitado por", "Cliete final", "Testificado por", "Motivo", "Norma de evaluación", "Estampa Soldador", "ID probeta"



RESULTADO:  
**APROBADO**

COMENTARIO:  
El análisis macrográfico es realizado bajo los criterios de aceptación establecidos en la norma AWS D1.4

<b>Realizado Por:</b>	<b>Aprobado Por:</b>	<b>Cliete:</b>	
 Firmado electrónicamente por: <b>MOISES JOSIAS CADENA ESPIN</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>IVAN PATRICIO ESTUPIÑAN PAZOS</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>JANNETH ALEXANDRA MAYANZA BALLA</b>	
Moisés Cadena Laboratorio ILPM Cía. Ltda.	Ing. Iván Estupiñán CWI 09111401	ING. ALEXANDRA MAYANZA	



ID DOCUMENTO  
ILPM-RT-33  
Revisión Nro. 08  
Fecha de Rev.: 29/09/2023

# ILPM ENGINEERING CIA TDA

Ingeniería Líder en Proyectos y Materiales

## REPORTE DE ENSAYO DE MACROGRAFIA DE SOLDADURA



Informe No.  
ILPM 2024-174

<b>Cliete final:</b>	ING. ALEXANDRA MAYANZA	<b>Fecha de Ensayo:</b>	viernes, 8 de marzo de 2024
<b>Solicitado por:</b>	Ing. Alexandra Mayanza	<b>Número de macros:</b>	6
<b>Temperatura:</b>	22±4°C	<b>Humedad:</b>	48±22%
<b>Testificado por:</b>		<b>Instrumento de medición:</b>	BLK-42 Regla metálica
<b>Motivo:</b>	CALIFICACIÓN DE SOLDADORES		

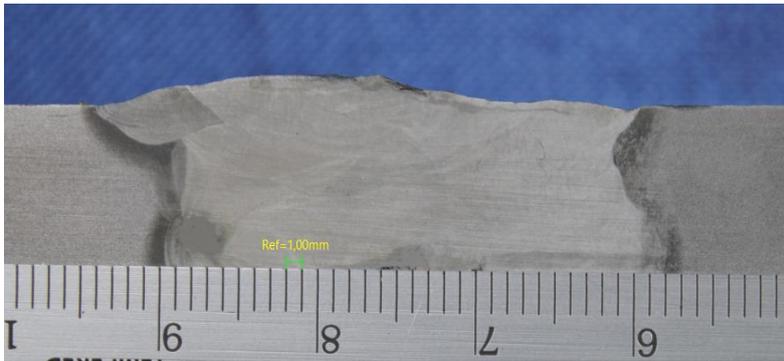
<b>Norma de evaluación</b>	<b>CONFORME NORMA AWS D1.4 (Structural Welding Code—Reinforcing Steel)</b>		
<b>MACRO Nº</b>	<b>ESTAMPA SOLDADOR</b>	<b>ID PROBETA</b>	<b>WPS</b>
2	W01	FCAW MCR2	AM-WPS-01-001

<b>RESULTADOS DE EVALUACIÓN (U=±0,9mm)</b>				
DENOMINACIÓN	ESPECIFICADO	ENCONTRADO	A	R
Porosidad	Ausencia de Poros	No se Observa	X	
Mordedura	≤ 1 mm	No se Observa	X	
Traslape	Debe estar libre de Traslapes	No se Observa	X	
Fusión	Debe mostrar fusión entre el material de aporte y base, los pases entre capas deben de igual manera mostrar fusión.	Se Observa	X	

\*NOTA 1: Los resultados presentados corresponden únicamente a las probetas extraídas y analizadas. ±U Representa la incertidumbre de medición del método de ensayo. Para la Aceptación (A)/Rechazo (R) se toma en cuenta la incertidumbre de medición (±U) del método de ensayo y la regla de decisión.

\*NOTA 2: Los resultados contenidos en este registro son correctos, y las probetas fueron ensayadas de acuerdo a los requerimientos del procedimiento ILPM-PT-03 y de la AWS D1.4.

\*NOTA 3: "ILPM no se hace responsable por la información suministrada por el cliente: "Solicitado por", "Cliente final", "Testificado por", "Motivo", "Norma de evaluación", "Estampa Soldador", "ID probeta"



RESULTADO:  
**APROBADO**

COMENTARIO:  
El análisis macrográfico es realizado bajo los criterios de aceptación establecidos en la norma AWS D1.4

<b>Realizado Por:</b>	<b>Aprobado Por:</b>	<b>Cliente:</b>	
Firmado electrónicamente por: MOISES JOSIAS CADENA ESPIN	Firmado electrónicamente por: IVAN PATRICIO ESTUPIÑAN PAZOS	Firmado electrónicamente por: JANNETH ALEXANDRA MAYANZA BALLA	
Moisés Cadena Laboratorio ILPM Cía. Ltda.	Ing. Iván Estupiñán CWI 09111401	ING. ALEXANDRA MAYANZA	



ID DOCUMENTO  
ILPM-RT-33  
Revisión Nro. 08  
Fecha de Rev.: 29/09/2023

**ILPM ENGINEERING CIA TDA**  
Ingeniería Líder en Proyectos y Materiales

**REPORTE DE ENSAYO DE MACROGRAFIA DE SOLDADURA**



Informe No.  
**ILPM 2024-174**

<b>Cliete final:</b>	ING. ALEXANDRA MAYANZA	<b>Fecha de Ensayo:</b>	viernes, 8 de marzo de 2024
<b>Solicitado por:</b>	Ing. Alexandra Mayanza	<b>Número de macros:</b>	6
<b>Temperatura:</b>	22±4°C	<b>Humedad:</b>	48±22%
<b>Testificado por:</b>		<b>Instrumento de medición:</b>	BLK-42 Regla metálica
<b>Motivo:</b>	CALIFICACIÓN DE SOLDADORES		

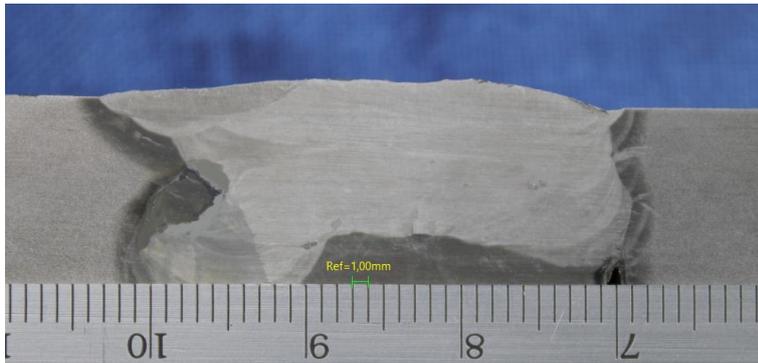
<b>Norma de evaluación</b>	<b>CONFORME NORMA AWS D1.4 (Structural Welding Code—Reinforcing Steel)</b>		
<b>MACRO Nº</b>	<b>ESTAMPA SOLDADOR</b>	<b>ID PROBETA</b>	<b>WPS</b>
3	W01	SMAW E7018 MCR1	AM-WPS-01-002

<b>RESULTADOS DE EVALUACIÓN (U=±0,9mm)</b>				
DENOMINACIÓN	ESPECIFICADO	ENCONTRADO	A	R
Porosidad	Ausencia de Poros	No se Observa	X	
Mordedura	≤ 1 mm	No se Observa	X	
Traslape	Debe estar libre de Traslapes	No se Observa	X	
Fusión	Debe mostrar fusión entre el material de aporte y base, los pases entre capas deben de igual manera mostrar fusión.	Se Observa	X	

\*NOTA 1: Los resultados presentados corresponden únicamente a las probetas extraídas y analizadas. ±U Representa la incertidumbre de medición del método de ensayo. Para la Aceptación (A)/Rechazo (R) se toma en cuenta la incertidumbre de medición (±U) del método de ensayo y la regla de decisión.

\*NOTA 2: Los resultados contenidos en este registro son correctos, y las probetas fueron ensayadas de acuerdo a los requerimientos del procedimiento ILPM-PT-03 y de la AWS D1.4.

\*NOTA 3: "ILPM no se hace responsable por la información suministrada por el cliente: "Solicitado por", "Cliente final", "Testificado por", "Motivo", "Norma de evaluación", "Estampa Soldador", "ID probeta"



RESULTADO:  
**APROBADO**

COMENTARIO:  
El análisis macrográfico es realizado bajo los criterios de aceptación establecidos en la norma AWS D1.4

<b>Realizado Por:</b>	<b>Aprobado Por:</b>	<b>Cliente:</b>	
Firmado electrónicamente por: <b>MOISES JOSIAS CADENA ESPIN</b>	Firmado electrónicamente por: <b>IVAN PATRICIO ESTUPIÑAN PAZOS</b>	Firmado electrónicamente por: <b>JANNETH ALEXANDRA MAYANZA BALLA</b>	
Moisés Cadena Laboratorio ILPM Cía. Ltda.	Ing. Iván Estupiñán CWI 09111401	ING. ALEXANDRA MAYANZA	

<b>Cliente final:</b>	ING. ALEXANDRA MAYANZA	<b>Fecha de Ensayo:</b>	viernes, 8 de marzo de 2024
<b>Solicitado por:</b>	Ing. Alexandra Mayanza	<b>Número de macros:</b>	6
<b>Temperatura:</b>	22±4°C	<b>Humedad:</b>	48±22%
<b>Testificado por:</b>		<b>Instrumento de medición:</b>	BLK-42 Regla metálica
<b>Motivo:</b>	CALIFICACIÓN DE SOLDADORES		

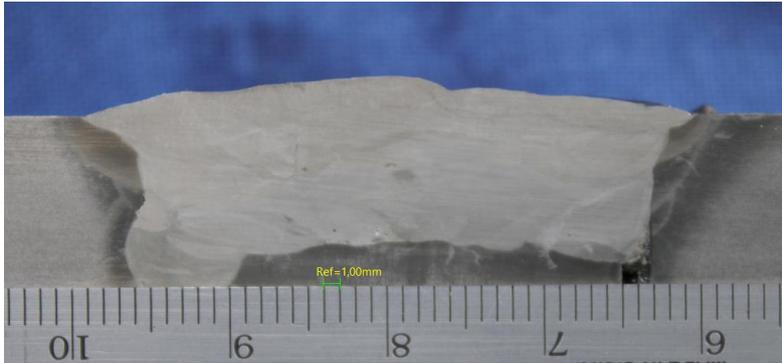
<b>Norma de evaluación</b>	<b>CONFORME NORMA AWS D1.4 (Structural Welding Code—Reinforcing Steel)</b>		
<b>MACRO Nº</b>	<b>ESTAMPA SOLDADOR</b>	<b>ID PROBETA</b>	<b>WPS</b>
4	W01	SMAW E7018 MCR2	AM-WPS-01-002

<b>RESULTADOS DE EVALUACIÓN (U=±0,9mm)</b>				
DENOMINACIÓN	ESPECIFICADO	ENCONTRADO	A	R
Porosidad	Ausencia de Poros	No se Observa	X	
Mordedura	≤ 1 mm	No se Observa	X	
Traslape	Debe estar libre de Traslapes	No se Observa	X	
Fusión	Debe mostrar fusión entre el material de aporte y base, los pases entre capas deben de igual manera mostrar fusión.	Se Observa	X	

\*NOTA 1: Los resultados presentados corresponden únicamente a las probetas extraídas y analizadas. ±U Representa la incertidumbre de medición del método de ensayo. Para la Aceptación (A)/Rechazo (R) se toma en cuenta la incertidumbre de medición (±U) del método de ensayo y la regla de decisión.

\*NOTA 2: Los resultados contenidos en este registro son correctos, y las probetas fueron ensayadas de acuerdo a los requerimientos del procedimiento ILPM-PT-03 y de la AWS D1.4.

\*NOTA 3: "ILPM no se hace responsable por la información suministrada por el cliente: "Solicitado por", "Cliente final", "Testificado por", "Motivo", "Norma de evaluación", "Estampa Soldador", "ID probeta"



RESULTADO:  
**APROBADO**

COMENTARIO:  
El análisis macrográfico es realizado bajo los criterios de aceptación establecidos en la norma AWS D1.4

<b>Realizado Por:</b>	<b>Aprobado Por:</b>	<b>Cliente:</b>	
 <small>Firmado electrónicamente por:</small> <b>MOISES JOSIAS CADENA ESPIN</b>	 <small>Firmado electrónicamente por:</small> <b>IVAN PATRICIO ESTUPINAN PAZOS</b>	 <small>Firmado electrónicamente por:</small> <b>JANNETH ALEXANDRA MAYANZA BALLA</b>	
Moisés Cadena Laboratorio ILPM Cía. Ltda.	Ing. Iván Estupiñán CWI 09111401	ING. ALEXANDRA MAYANZA	



ID DOCUMENTO  
ILPM-RT-33  
Revisión Nro. 08  
Fecha de Rev.: 29/09/2023

# ILPM ENGINEERING CIA TDA

Ingeniería Líder en Proyectos y Materiales

## REPORTE DE ENSAYO DE MACROGRAFIA DE SOLDADURA



Informe No.

ILPM 2024-174

<b>Cliete final:</b>	ING. ALEXANDRA MAYANZA	<b>Fecha de Ensayo:</b>	viernes, 8 de marzo de 2024
<b>Solicitado por:</b>	Ing. Alexandra Mayanza	<b>Número de macros:</b>	6
<b>Temperatura:</b>	22±4°C	<b>Humedad:</b>	48±22%
<b>Testificado por:</b>		<b>Instrumento de medición:</b>	BLK-42 Regla metálica
<b>Motivo:</b>	CALIFICACIÓN DE SOLDADORES		

<b>Norma de evaluación</b>	<b>CONFORME NORMA AWS D1.4 (Structural Welding Code—Reinforcing Steel)</b>		
<b>MACRO Nº</b>	<b>ESTAMPA SOLDADOR</b>	<b>ID PROBETA</b>	<b>WPS</b>
5	W01	SMAW E8018 MCR1	AM-WPS-01-003

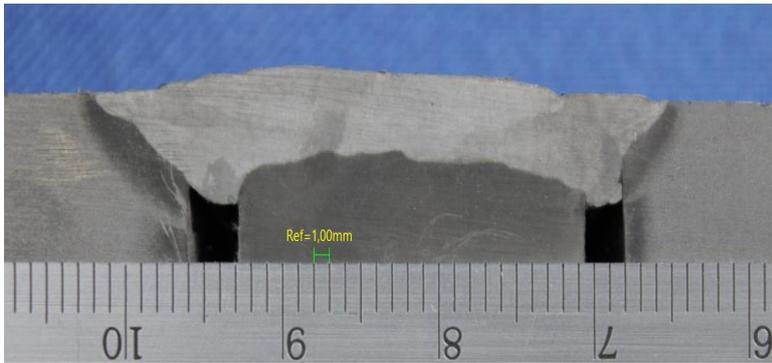
### RESULTADOS DE EVALUACIÓN (U=±0,9mm)

DENOMINACIÓN	ESPECIFICADO	ENCONTRADO	A	R
Porosidad	Ausencia de Poros	No se Observa	X	
Mordedura	≤ 1 mm	No se Observa	X	
Traslape	Debe estar libre de Traslapes	No se Observa	X	
Fusión	Debe mostrar fusión entre el material de aporte y base, los pases entre capas deben de igual manera mostrar fusión.	Se Observa	X	

\*NOTA 1: Los resultados presentados corresponden únicamente a las probetas extraídas y analizadas. ±U Representa la incertidumbre de medición del método de ensayo. Para la Aceptación (A)/Rechazo (R) se toma en cuenta la incertidumbre de medición (±U) del método de ensayo y la regla de decisión.

\*NOTA 2: Los resultados contenidos en este registro son correctos, y las probetas fueron ensayadas de acuerdo a los requerimientos del procedimiento ILPM-PT-03 y de la AWS D1.4.

\*NOTA 3: "ILPM no se hace responsable por la información suministrada por el cliente: "Solicitado por", "Cliente final", "Testificado por", "Motivo", "Norma de evaluación", "Estampa Soldador", "ID probeta"



RESULTADO:

**APROBADO**

COMENTARIO:

El análisis macrográfico es realizado bajo los criterios de aceptación establecidos en la norma AWS D1.4

<b>Realizado Por:</b>	<b>Aprobado Por:</b>	<b>Cliente:</b>	
Firmado electrónicamente por: MOISES JOSIAS CADENA ESPIN	Firmado electrónicamente por: IVAN PATRICIO ESTUPIÑAN PAZOS	Firmado electrónicamente por: JANNETH ALEXANDRA MAYANZA BALLA	
Moisés Cadena	Ing. Iván Estupiñán	ING. ALEXANDRA MAYANZA	
Laboratorio ILPM Cía. Ltda.	CWI 09111401		

<b>Cliete final:</b>	ING. ALEXANDRA MAYANZA	<b>Fecha de Ensayo:</b>	viernes, 8 de marzo de 2024
<b>Solicitado por:</b>	Ing. Alexandra Mayanza	<b>Número de macros:</b>	6
<b>Temperatura:</b>	22±4°C	<b>Humedad:</b>	48±22%
<b>Testificado por:</b>		<b>Instrumento de medición:</b>	BLK-42 Regla metálica
<b>Motivo:</b>	CALIFICACIÓN DE SOLDADORES		

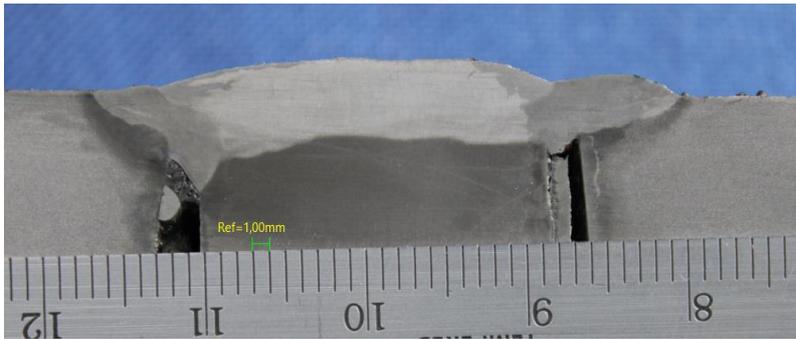
<b>Norma de evaluación</b>	<b>CONFORME NORMA AWS D1.4 (Structural Welding Code—Reinforcing Steel)</b>		
<b>MACRO Nº</b>	<b>ESTAMPA SOLDADOR</b>	<b>ID PROBETA</b>	<b>WPS</b>
6	W01	SMAW E8018 MCR2	AM-WPS-01-003

<b>RESULTADOS DE EVALUACIÓN (U=±0,9mm)</b>				
DENOMINACIÓN	ESPECIFICADO	ENCONTRADO	A	R
Porosidad	Ausencia de Poros	No se Observa	X	
Mordedura	≤ 1 mm	No se Observa	X	
Traslape	Debe estar libre de Traslapes	No se Observa	X	
Fusión	Debe mostrar fusión entre el material de aporte y base, los pases entre capas deben de igual manera mostrar fusión.	Se Observa	X	

\*NOTA 1: Los resultados presentados corresponden únicamente a las probetas extraídas y analizadas. ±U Representa la incertidumbre de medición del método de ensayo. Para la Aceptación (A)/Rechazo (R) se toma en cuenta la incertidumbre de medición (±U) del método de ensayo y la regla de decisión.

\*NOTA 2: Los resultados contenidos en este registro son correctos, y las probetas fueron ensayadas de acuerdo a los requerimientos del procedimiento ILPM-PT-03 y de la AWS D1.4.

\*NOTA 3: "ILPM no se hace responsable por la información suministrada por el cliente: "Solicitado por", "Cliente final", "Testificado por", "Motivo", "Norma de evaluación", "Estampa Soldador", "ID probeta"



**RESULTADO:**  
**APROBADO**

**COMENTARIO:**  
El análisis macrográfico es realizado bajo los criterios de aceptación establecidos en la norma AWS D1.4

<b>Realizado Por:</b>	<b>Aprobado Por:</b>	<b>Cliente:</b>	
 Firmado electrónicamente por: <b>MOISES JOSIAS CADENA ESPIN</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>IVAN PATRICIO ESTUPIÑAN PAZOS</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>JANNETH ALEXANDRA MAYANZA BALLA</b>	
Moisés Cadena Laboratorio ILPM Cía. Ltda.	Ing. Iván Estupiñán CWI 09111401	ING. ALEXANDRA MAYANZA	



INSPECCIÓN VISUAL

REVISIÓN: 001  
CÓDIGO:GPS.102.FR.01  
REVISIÓN: 001



DATOS GENERALES

<b>Tema:</b> Proyecto de Investigación	<b>Fecha:</b> 5/3/2024	<b>Diametro varilla:</b> 25 mm	N.- Informe 01
<b>Proceso de soldadura:</b> FCAW	<b>Estado superficial:</b> Grateado	<b>Espesor placa:</b> 25mm	
<b>Material de aporte:</b> E71T1-1C	<b>Norma:</b> AWS D1.4	<b>Material Base:</b> ATM 572 Gr 50- ASTM A 706	

Item	Imagen	Tipo	Criterio de aceptación	Calificación		Observaciones
				A	RZ	
M01		P	Porosidad aislada	x		Aceptado
M02		Mo	La mordedura no excede el 1/6 de la longitud del cordón de soldadura	x		Aceptado
		SC	Socavadura	x		Aceptado

Tipo

<b>RE</b> Relleno excesivo	<b>CI</b> Cordon irregular	<b>SC</b> Socavadura	Calificacion: <b>A</b> Aceptable <b>Rz</b> Rechazado
<b>MO</b> Mordeduras	<b>CA</b> Cordon ancho	<b>S</b> Inclusiones de escoria	
<b>OV</b> Solape	<b>P</b> Posoridad aislad	<b>FP</b> Falta de Penetracion	
<b>PA</b> Porosidad alineada			

Equipo: Kit de inspección visual de Gal Gage

Realizado por:



Firmado electrónicamente por:  
JANNETH ALEXANDRA  
MAYANZA BALLA

Ing. Alexandra Mayanza



INSPECCIÓN VISUAL

REVISIÓN: 001  
CÓDIGO:GPS.102.FR.01  
REVISIÓN: 001



DATOS GENERALES

<b>Tema:</b> Proyecto de Investigación <b>Proceso de soldadura:</b> FCAW	<b>Fecha:</b> 5/3/2024 <b>Estado superficial:</b> Grateado	<b>Diametro varilla:</b> 25 mm <b>Espesor placa:</b> 25mm	N.- Informe 02
<b>Material de aporte:</b> E71T1-1C	<b>Norma:</b> AWS D1.4	<b>Material Base:</b> ATM 572 Gr 50-- ASTM A 706	

Item	Imagen	Tipo	Criterio de aceptación	Calificación		Observaciones
				A	RZ	
M03		S	salpicadura	x		Aceptado
M04		P	Porosidad aislada	x		Aceptado
		CI	Cordón irregular	x		Aceptado

Tipo

RE Relleno excesivo	CI Cordón irregular	SC Socavadura	Calificación:
MO Mordeduras	CA Cordon ancho	S Salpicadura	A Aceptable
OV Solape	P Posoridad aislada	FP Falta de Penetracion	Rz Rechazado
PA Porosidad alineada			

Equipo: Kit de inspección visual de Gal Gage

Realizado por:



Firmado electrónicamente por:  
JANNETH ALEXANDRA  
MAYANZA BALLA

Ing. Alexandra Mayanza

		<b>INSPECCIÓN VISUAL</b>			<b>REVISIÓN: 001</b> <b>CÓDIGO:GPS.102.FR.01</b> <b>REVISIÓN: 001</b>		
<b>DATOS GENERALES</b>							
<b>Tema:</b> Proyecto de Investigación <b>Proceso de soldadura:</b> SMAW <b>Material de aporte:</b> E7018			<b>Fecha:</b> 5/3/2024 <b>Estado superficial:</b> Grateado <b>Norma:</b> AWS D1.4		<b>Diametro varilla:</b> 25 mm <b>Espesor placa:</b> 25mm <b>Material Base:</b> ATM 572 Gr 50-- ASTM A 706		<b>N.- Informe</b> 03
Item	Imagen	Tipo	Criterio de aceptación	Calificación		Observaciones	
				A	RZ		
M05		S	salpicadura	x		Acceptado	
M06		S	salpicadura	x		Acceptado	
		SC	Socavadura	x		Acceptado	
<b>Tipo</b>							
RE Relleno excesivo	CI Cordon irregular	SC Socavadura					<b>Calificacion:</b> <b>A</b> Aceptable <b>Rz</b> Rechazado
MO Mordeduras	CA Cordon ancho	S Salpicadura					
OV Solape	P Posoridad aislada	FP Falta de Penetracion					
PA Porosidad alineada							
<b>Equipo:</b> Kit de inspección visual de Gal Gage							
Realizado por:							
 Firmado electrónicamente por: <b>JANNETH ALEXANDRA MAYANZA BALLA</b>							
Ing. Alexandra Mayanza							



INSPECCIÓN VISUAL

REVISIÓN: 001  
CÓDIGO:GPS.102.FR.01  
REVISIÓN: 001



DATOS GENERALES

<b>Tema:</b> Proyecto de Investigación	<b>Fecha:</b> 5/3/2024	<b>Diametro varilla:</b> 25 mm	N.- Informe 04
<b>Proceso de soldadura:</b> SMAW	<b>Estado superficial:</b> Grateado	<b>Espesor placa:</b> 25mm	
<b>Material de aporte:</b> E7018	<b>Norma:</b> AWS D1.4	<b>Material Base:</b> ATM 572 Gr 50-- ASTM A 706	

Item	Imagen	Tipo	Criterio de aceptación	Calificación		Observaciones
				A	RZ	
M07		S	salpicadura	x		Aceptado
M8		s	salpicadura	x		Aceptado
		Mo	Mordeduras	x		Aceptado

Tipo

RE Relleno excesivo	CI Cordon irregular	SC Socavadura	Calificación: A Aceptable Rz Rechazado
MO Mordeduras	CA Cordon ancho	S Salpicadura	
OV Solape	P Posoridad aislada	FP Falta de Penetracion	
PA Porosidad alineada			

Equipo: Kit de inspección visual de Gal Gage

Realizado por:



Firmado electrónicamente por:  
JANNETH ALEXANDRA  
MAYANZA BALLA

Ing. Alexandra Mayanza

		<b>INSPECCIÓN VISUAL</b>			<b>REVISIÓN: 001</b> <b>CÓDIGO:GPS.102.FR.01</b> <b>REVISIÓN: 001</b>		
<b>DATOS GENERALES</b>							
<b>Tema:</b> Proyecto de Investigación <b>Proceso de soldadura:</b> SMAW <b>Material de aporte:</b> E8018			<b>Fecha:</b> 5/3/2024 <b>Estado superficial:</b> Grateado <b>Norma:</b> AWS D1.4		<b>Diametro varilla:</b> 25 mm <b>Espesor placa:</b> 25mm <b>Material Base:</b> ATM 572 Gr 50-- ASTM A 706		N.- Informe 05
Item	Imagen	Tipo	Criterio de aceptación	Calificación		Observaciones	
				A	RZ		
M09		RE	Relleno excesivo	X		Aceptado	
M10		Mo	Mordedura	X		Aceptado	
		S	Salpicadura	X		Aceptado	
<b>Tipo</b>							
RE Relleno excesivo	CI Cordon irregular	SC Socavadura					Calificacion:
MO Mordeduras	CA Cordon ancho	S Salpicadura					<b>A</b> Aceptable
OV Solape	P Porosidad aislada	FP Falta de Penetración					<b>Rz</b> Rechazado
PA Porosidad alineada							
<b>Equipo:</b> Kit de inspección visual de Gal Gage							
Realizado por:							
 Firmado electrónicamente por: <b>JANNETH ALEXANDRA</b> <b>MAYANZA BALLA</b>							
Ing. Alexandra Mayanza							



### INSPECCIÓN VISUAL

REVISIÓN: 001  
CÓDIGO:GPS.102.FR.01  
REVISIÓN: 001



#### DATOS GENERALES

<b>Tema:</b> Proyecto de Investigación	<b>Fecha:</b> 5/3/2024	<b>Diametro varilla:</b> 25 mm	N.- Informe 06
<b>Proceso de soldadura:</b> SMAW	<b>Estado superficial:</b> Grateado	<b>Espesor placa:</b> 25mm	
<b>Material de aporte:</b> E8018	<b>Norma:</b> AWS D1.4	<b>Material Base:</b> ATM 572 Gr 50-- ASTM A 706	

Item	Imagen	Tipo	Criterio de aceptación	Calificación		Observaciones
				A	RZ	
M11		MO	Mordedura	x		Aceptado
M12		Po	Porosidad aislada	x		Aceptado
		CA	Cordón ancho	x		Aceptado

#### Tipo

RE Relleno excesivo	CI Cordon irregular	SC Socavadura	Calificacion: A Aceptable Rz Rechazado
MO Mordeduras	CA Cordon ancho	S Salpicadura	
OV Solape	P Posorisidad aislada	FP Falta de Penetración	
PA Porosidada alineada			

**Equipo:** Kit de inspección visual de Gal Gage

Realizado por:



Firmado electrónicamente por:  
JANNETH ALEXANDRA  
MAYANZA BALLA

Ing. Alexandra Mayanza

# E 8018-C1

Baja Aleación, Bajo Hidrógeno · AWS E8018-C1

## CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

- Revestimiento básico con polvo de hierro que produce depósitos de bajo contenido de hidrógeno, aleados al níquel.
- Resenta arco muy estable con alto rendimiento de deposición y penetración media.
- Buena presentación y escoria de fácil desprendimiento.

## APLICACIONES TÍPICAS

- Apto para la soldadura de aceros aleados al níquel 2%.
- Para trabajos con temperaturas desde -60 °C hasta 350 °C.
- Soldadura de aceros utilizados en recipientes de presión y tuberías para gases licuados de petróleo.

## POSICIONES DE SOLDADURA

Todas, excepto vertical descendente

## NORMAS

AWS A5.5:	E8018-C1
ASME SFA 5.5:	E8018-C1

## DIÁMETROS / EMPAQUE

Diámetro		Longitud (mm)	Bolsa 5 kg. Caja Lincoln 10 kg.	Bolsa Larga 5 kg. Caja Lincoln Larga 20 kg	Bolsa Larga 5 kg. Caja Lincoln Larga 10 kg
(mm)	(pulg)				
2,50	3/32	350	E8018C1-33210		
3,25	1/8	350	E8018C1-18010		
4,00	5/32	350	E8018C1-53210		
5,00	3/16	350	E8018C1-31610		
6,00	1/4	450		E8018C1L-14020	E8018C1L-14010

## PROPIEDADES MECÁNICAS. [VALORES TÍPICOS]

	Esfuerzo de Fluencia	Resistencia a la Tracción	Alargamiento	Impacto
Requerimientos AWS E8018-C1	520 N/mm2 [76 ksi]	600 N/mm2 [87 ksi]	24%	85 J a -60°C

## COMPOSICIÓN QUÍMICA. [VALORES TÍPICOS]

	%C	%Mn	%Si	%S	%Ni
Requerimientos AWS E8018-C1	0,09%	0,86%	0,28%	0,01%	2,72%

## PROCEDIMIENTOS TÍPICOS DE OPERACIÓN

Polaridad	Corriente (Amps)				
	2,50 mm	3,25 mm	4,00 mm	5,00 mm	6,00 mm
C.A / C.C (+)	50-95	70-140	110-190	170-250	

Hojas de Datos de Seguridad de Materiales (MSDS) y Certificados de Conformidad están disponibles en nuestro sitio web en, [www.lincolnelectric.com.co](http://www.lincolnelectric.com.co)

#### RESULTADOS DE PRUEBAS

Los resultados de las pruebas de Propiedades Mecánicas, de Depósito o la Composición Química del Electrodo y los Niveles de Hidrógeno Difusible se obtuvieron de una soldadura producida y probada de acuerdo a las normas establecidas, y no se deben asumir como los resultados esperados en una aplicación o conjunto de aplicaciones particulares. Los resultados reales pueden variar dependiendo de muchos factores, incluyendo, pero no limitado a: el procedimiento de soldadura, la química y la temperatura de la placa, diseño de la soldadura y los métodos de fabricación. Se advierte a los usuarios que deben confirmar, mediante pruebas de calificación, o cualquier otro medio apropiado, la conveniencia de cualquier consumible de soldadura y el procedimiento antes de su uso en la aplicación prevista.

#### POLÍTICA DE ASISTENCIA AL CLIENTE

The Lincoln Electric Company es fabricante y vendedor de equipo de soldadura, consumibles y equipo de corte de alta calidad. Nuestro reto es satisfacer las necesidades de nuestros clientes y exceder sus expectativas. En ocasiones, los compradores pueden contactar a Lincoln Electric para obtener información o asesoramiento sobre el uso de nuestros productos. Nuestros empleados responden a las consultas en la medida de sus posibilidades, basándose en la información proporcionada por los clientes y con base en el conocimiento relacionado con la aplicación. Nuestros empleados, sin embargo, no están en condiciones de verificar la información recibida, o de evaluar los requerimientos de ingeniería para una aplicación de soldadura particular. En consecuencia, Lincoln Electric no garantiza ni asume ninguna responsabilidad con respecto a dicha información o consejos. Por otra parte, el suministro de dicha información o asesoramiento no crea, ni amplía o modifica ninguna garantía en nuestros productos. Cualquier expresa o implícita garantía que pudiera derivarse de la información o consejo, incluyendo cualquier garantía implícita de comerciabilidad o cualquier garantía de idoneidad para un fin particular, de cualquier cliente queda específicamente excluida.

Lincoln Electric es un fabricante responsable, pero la selección y uso de productos específicos vendidos por el mismo está únicamente dentro del control de, y sigue siendo la única responsabilidad del cliente. Varias variables más allá del control de Lincoln Electric afectan los resultados obtenidos al aplicar estos tipos de métodos de fabricación y requerimientos de servicio. Sujeto a Cambio - Esta información es precisa a lo mejor de nuestro conocimiento en el momento de la impresión. Consulte [www.lincolnelectric.com](http://www.lincolnelectric.com) para obtener información actualizada.

**THE LINCOLN ELECTRIC COMPANY**  
22801 St. Clair Avenue Cleveland, OH · 44117-1199  
U.S.A. Phone: +1.216.481.8100 · [www.lincolnelectric.com](http://www.lincolnelectric.com)



**LINCOLN SOLDADURAS DE COLOMBIA**  
Planta: Calle 6A N° 33-23. Bogotá D.C., Colombia  
Centro Tecnológico de Soldadura: Carrera 85D # 46 a 65 / Bod. 25 PBX: (+571) 364 88 00  
[www.lincolnelectric.com](http://www.lincolnelectric.com)

# FICHA TÉCNICA

## Nombre de producto:

Varilla Microaleada

## Sello de calidad del producto:

INEN 2167

## Normas que cumple:

INEN 2167, ASTM A706

## Proceso de fabricación:

Laminado en caliente

## TABLA DE EQUIVALENCIAS DE VARILLA MICROALEADA

		PROPIEDADES		UNIDADES	VALOR
		PROPIEDADES MECÁNICAS	TRACCIÓN	Límite de Fluencia (Fy)	Min
	Max			MPa (kgf/cm2)	540 (5400)
Resistencia a la Tracción (Fu)	Min			MPa (kgf/cm2)	550 (5500)
Alargamiento mínimo en L <sub>o</sub> =200 mm	d ≤ 20			%	14
	22 ≤ d ≤ 36				12
	d > 40	10			
	(F <sub>u</sub> * / F <sub>v</sub> * ≥ 1.25)	La resistencia a la tracción real debe ser igual o mayor a 1,25 veces el límite de fluencia real registrado en el ensayo de la probeta.			
SOLDABILIDAD	De acuerdo a AWS D1.4. (mediante restricciones de composición química): <b>C.E. ≤ 0,55%</b> <b>CARBONO EQUIVALENTE:</b> <b>C.E. = C + %Mn/6 + %Cu/40 + %Ni/20 + %Cr/10 - %Mo/50 - %V/10</b>				
ETIQUETADO	ETIQUETADO	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fabricante</li> <li>Grado del acero (42)</li> <li>Varilla Microaleada laminada en caliente</li> <li>Identificación del lote</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Diámetro nominal de varilla</li> <li>Longitud nominal de varilla</li> <li>Cantidad o masa (kilogramos)</li> <li>Norma NTE INEN 2167</li> </ul>	
	MARCADO	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fabricante</li> <li>Diámetro nominal</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Letras AS (Acero soldable)</li> <li>Letras MA (Microaleada)</li> </ul>	

Diámetro nominal	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32	mm
Área = $\pi r^2$	0.503	0.786	1.131	1.539	2.011	2.545	3.142	3.801	4.909	6.158	8.043	cm <sup>2</sup>
Perímetro = $2 \pi r$	2.513	3.142	3.770	4.398	5.027	5.655	6.283	6.912	7.854	8.797	10.053	cm
Masa	0.395	0.617	0.888	1.208	1.578	1.998	2.466	2.984	3.853	4.843	6.313	kg/m
Masa de 1 varilla												
de 6 m	2.370	3.702	5.328	7.248	9.468	11.988	14.796	17.904	23.118	29.004	37.878	kg
de 9 m	3.555	5.553	7.992	10.872	14.202	17.982	22.194	26.856	34.677	43.506	56.817	kg
de 12 m	4.740	7.404	10.656	14.496	18.936	23.976	29.592	35.808	46.236	58.008	75.756	kg
Número de varillas en 45.36 kg (1 quintal)	19.139	12.253	8.513	6.258	4.791	3.784	3.006	2.533	1.962	1.564	1.198	de 6 m
	12.759	8.169	5.676	4.172	3.194	2.523	2.004	1.689	1.308	1.043	0.798	de 9 m
	9.570	6.126	4.257	3.129	2.395	1.892	1.533	1.267	0.981	0.782	0.599	de 12 m