Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica-Eléctrica y Mecatrónica

Diseño de un sistema de transporte de recuperación de cemento en una planta cementera capacidad 25 ton/hr, según la metodología VDI 2221

Tesis presentada por:

Huallparimachi Guzman, Luis Cesar

ORCID: 0009-0002-3585-5482

para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico

Asesor (a):

Mg. Ramos Castro, Frank Cesar

ORCID: 0009-0001-5493-7494

Arequipa - Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA MECANICA, MECANICA-ELECTRICA Y MECATRONICA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 14 de Marzo del 2026

Dictamen: 012508-C-EPIMMEM-2026

Visto el borrador del expediente 012508, presentado por:

2015223341 - HUALLPARIMACHI GUZMAN LUIS CESAR

Titulado:

DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE RECUPERACIÓN DE CEMENTO EN UNA PLANTA CEMENTERA CAPACIDAD 25 TON/HR, SEGÚN LA METODOLOGÍA VDI 2221

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO MECÁNICO

29479140 - VALENCIA SALAS MARIO JOSE
DICTAMINADOR

29685318 - CASTRO VALDIVIA JORGE LUIS
DICTAMINADOR

29644724 - CARPIO RIVERA MARCO ANTONIO
DICTAMINADOR

DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE RECUPERACIÓN DE CEMENTO EN UNA PLANTA CEMENTERA CAPACIDAD 25 TON/HR, SEGÚN LA METODOLOGÍA VDI 2221

INFORME DE ORIGINALIDAD

7%	6%	0%	5%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	2%
2	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	1%
3	www.sedema.cdmx.gob.mx Fuente de Internet	1%
4	assets-us-01.kc-usercontent.com Fuente de Internet	1%
5	Submitted to uncedu Trabajo del estudiante	1%
6	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	1%
8	Submitted to Escuela Superior Politécnica del Litoral Trabajo del estudiante	1%
9	archive.org Fuente de Internet	1%

Excluir citas	Apagado	Excluir coincidencias	< 1%
Excluir bibliografía	Apagado		

DEDICATORIA

A mis padres, Giovanna y César, por su esfuerzo incansable, por los valores que me inculcaron desde temprana edad y por enseñarme que la perseverancia y la disciplina son pilares esenciales para el éxito. Este logro es también suyo, como reflejo de su dedicación y confianza depositada en mí.

A mi hermana y mi tía Karina, por su apoyo, comprensión y por brindarme siempre palabras de aliento en los momentos más exigentes, ayudándome a mantener firme mi propósito.

Asimismo, dedico este trabajo a mis docentes y mentores, quienes con su conocimiento, experiencia y guía han influido significativamente en mi desarrollo profesional, permitiéndome adquirir las competencias necesarias para enfrentar los retos del entorno laboral.

Finalmente, dedico este esfuerzo a todas aquellas personas que, de una u otra manera, formaron parte de este proceso, aportando con su apoyo, confianza y motivación, impulsándome a culminar satisfactoriamente esta importante etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios, por brindarme la fortaleza y salud para culminar esta importante etapa académica.

A mi familia, quienes han sido el soporte fundamental a lo largo de toda mi formación académica y personal. Su apoyo incondicional, sus consejos oportunos y su constante motivación han sido determinantes para alcanzar cada una de mis metas.

A mis docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica, por su orientación, conocimientos y acompañamiento durante el desarrollo de la presente investigación.

Asimismo, agradezco a la Universidad Católica de Santa María y a todas las personas que contribuyeron directa o indirectamente en la realización de este trabajo, por su apoyo y colaboración.

RESUMEN

Se diagnosticó que, en una planta cementera costera, el transporte interno de cemento generaba pérdidas entre 10 y 25 ton/hr por empaquetado defectuoso e incumplimientos de peso, con un costo de 450–500 soles/ton antes de la venta. Con mediciones de campo, se estableció una capacidad a recuperar de 25 ton/hr, una altura de 2400 mm y una distancia de 5450 mm entre la tolva de residual y el rompedor de bolsas. Se planteó optimizar la recirculación del cemento rechazado hacia silos verticales mediante un sistema de transporte acoplado al layout existente, bajo la metodología VDI 2221 y con evaluación técnica-económica (VDI 2225). El alcance abarcó componentes mecánicos, estructurales y neumáticos; se excluyeron control/automatización y eléctrica.

Se aplicó la metodología VDI 2221 para estructurar el problema, generar alternativas (transportadores mecánicos, neumáticos o híbridos) y seleccionar el concepto óptimo. Se recopiló información de la planta (planos y cotas) y se desarrolló un modelo CAD del sistema. La verificación se efectuó con simulación FEM en Autodesk Nastran y Simsolid, evaluando falla estática y fatiga en elementos móviles, y con cálculos manuales según el criterio ASME elíptico de vida infinita. Se dimensionaron y seleccionaron componentes de máquinas (ejes, chavetas, acoples, sellos, motorreductor) y uniones estructurales, priorizando un sistema cerrado para control de polvo y materiales resistentes a ambiente portuario.

Se seleccionó un tornillo helicoidal inclinado tubular como sistema óptimo de 25 ton/hr, cuyo diseño cerrado contribuyó a la mitigación de polvo. Se especificaron aceros inoxidables para artesa y helicoide por su resistencia a corrosión y abrasión. Las verificaciones arrojaron factores de seguridad a fatiga > 2 para los componentes críticos. Se entregaron planos de presentación, fabricación y montaje conforme a ISO y normas técnicas peruanas. El costo total estimado del sistema ascendió a S/ 90 451,50 antes de IGV. Se concluyó que el sistema propuesto permitió recuperar un porcentaje muy alto del cemento residual con ventajas técnicas y económicas.

Palabras Clave: cementos, diseño, transportador helicoidal

ABSTRACT

It was diagnosed that, at a coastal cement plant, internal cement transport was generating losses of between 10 and 25 tons/hour due to defective packaging and weight discrepancies, with a cost of 450–500 soles/ton before sale. Field measurements established a recovery capacity of 25 tons/hour, a height of 2400 mm, and a distance of 5450 mm between the waste hopper and the bag breaker. The proposal was to optimize the recirculation of rejected cement to vertical silos using a conveyor system integrated into the existing layout, following the VDI 2221 methodology and with a technical-economic evaluation (VDI 2225). The scope included mechanical, structural, and pneumatic components; control/automation and electrical components were excluded.

The VDI 2221 methodology was applied to structure the problem, generate alternatives (mechanical, pneumatic, or hybrid conveyors), and select the optimal concept. Plant information (plans and dimensions) was compiled, and a CAD model of the system was developed. Verification was performed using FEM simulation in Autodesk Nastran and Simsolid, evaluating static failure and fatigue in moving elements, and with manual calculations according to the ASME elliptical infinite-life criterion. Machine components (shafts, keys, couplings, seals, gearmotor) and structural connections were sized and selected, prioritizing a closed system for dust control and materials resistant to the port environment.

A tubular inclined screw conveyor was selected as the optimal system for 25 tons/hour, whose closed design contributed to dust mitigation. Stainless steels were specified for the trough and screw due to their resistance to corrosion and abrasion. Verifications yielded fatigue safety factors > 2 for critical components. Presentation, fabrication, and assembly drawings were delivered in accordance with ISO and Peruvian technical standards. The total estimated cost of the system amounted to S/ 90,451.50. It was concluded that the proposed system allowed for the recovery of a very high percentage of residual cement, offering both technical and economic advantages.

Keywords: Cement; Design; Helical Screw Conveyor.

ÍNDICE

DEDICATORIA
AGRADECIMIENTOS
RESUMEN
ABSTRACT
INTRODUCCIÓN 1
CAPÍTULO I 3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. 4
1.1. Descripción del Problema. 4
1.2. Objetivos. 6
1.2.1. Objetivo General. 6
1.2.2. Objetivos Específicos. 6
1.3. Alcances. 6
1.4. Limitaciones. 7
1.5. Normativas de Diseño. 7
1.5.1. Normas técnicas peruanas. 7
1.5.2. Normas Internacionales. 8
1.5.3. Guías Cema. 8
1.5.4. Software o programas. 9
CAPÍTULO II 10
2. MARCO TEÓRICO. 11
2.1. Sistemas de Transporte Mecánico de Cemento. 11
2.1.1. Ventajas de Fajas Transportadoras Tubulares 12
2.1.2. Desventajas de Fajas Transportadoras Tubulares 13
2.1.3. Transportador helicoidal. 13
2.1.3.1. Ventajas de tornillo transportador. 15
2.1.3.2. Desventajas de tornillo transportador. 16
2.1.4. Elevador de Cangilones. 16
2.1.4.1. Ventajas de Elevador de Cangilones 18
2.1.5. Transportador de cadenas o Redlers. 18
2.2. Sistemas de Transportadores Neumáticos. 19
2.2.1. Tipos de Sistemas neumáticos. 20

2.3. Cemento Portland. 23
CAPÍTULO III 26
3. Aplicación de la Metodología VDI 2221. 27
3.1. Lista de exigencias. 28
3.2. Estructura de Funciones. 29
3.2.1. Funciones del sistema. 30
3.2.2. Caja Blanca. 32
3.2.3. Matriz morfológica. 34
3.2.4. Descripción de soluciones. 35
3.2.5. Selección de Solución Óptima. 40
CAPÍTULO IV 44
4. Diseño del sistema transportador. 45
4.1. Cálculo del tornillo transportador: 45
4.1.1. Grupo de equipos y componentes sugeridos por Martin. 48
4.1.2. Determinación de potencia y torque requeridos 48
4.1.2.1. Potencia para mover el material: 50
4.1.2.2. Potencia para elevar el material: 50
4.1.2.3. Potencia Total. 51
4.1.2.4. Torque: 52
4.1.3. Selección de la artesa. 52
4.1.4. Dimensiones del helicoide seccional. 53
4.1.5. Cálculo de la Deflexión. 53
4.1.6. Selección de soporte intermedio. 54
4.2. Verificación de elementos de máquina del Transportador. 55
4.2.1. Creación del modelo de cálculo en Helicoide, Tubo y Eje Motriz. 55
4.2.1.1. Metrado de cargas y reacciones. 56
4.2.1.2. Diagramas de Fuerza Cortante y momento Flector. 57
4.2.2. Verificación del tubo a fatiga. 58
4.2.2.1. Verificación del tubo en la sección de pernos. 59
4.2.2.2. Factores que modifican la resistencia a fatiga. 62
4.2.2.3. Verificación del factor de seguridad según teoría de Energía de Distorsión y ASME-Elíptica, sección de pernos. 64
4.2.2.4. Verificación del factor de seguridad según teoría de Energía de Distorsión y ASME-Elíptica, sección media de tubo. 65

4.2.3. Verificación del Eje Motriz a Fatiga. 67
4.2.3.1. Verificación de eje motriz sección Chaveta de Transmisión A. 67
4.2.3.2. Verificación del eje motriz a fatiga sección Asiento del hombro B. 70
4.2.3.3. Verificación del eje motriz a fatiga sección Asiento del hombro C. 72
4.2.3.4. Verificación del eje motriz a fatiga sección Asiento del hombro D. 74
4.2.4. Calculo y dimensionamiento de Chaveta 76
4.2.5. Creación del Modelo CAD tubo, helicoide y ejes. 77
4.2.6. Análisis por FEM de tubo, Helicoide y Eje 77
4.2.6.1. Creación del modelo FEM. 77
4.2.6.2. Materiales de tubo eje y transportador. 78
4.2.6.3. Mallado 80
4.2.6.4. Condiciones de Frontera Apoyos. 80
4.2.6.5. Condiciones de Frontera Cargas. 82
4.2.6.6. Convergencia de malla. 83
4.2.6.7. Esfuerzos de Von mises Eje, tubo y helicoide. 84
4.2.6.8. Deformación en Eje, tubo y helicoide. 85
4.2.6.9. Factor de Seguridad en Eje, Tubo y Helicoide. 86
4.2.7. Cálculo de Pernos. 88
4.2.7.1. Unión Empernada Entre Tubo y Eje Estudio FEM. 90
4.3. Diseño de la artesa y soportes intermedios 97
4.3.1. Unión empernada tapa lateral y artesa tubular bridada. 100
4.4. Diseño Estructural. 103
4.4.1. Cargas y Combinación de carga en Estructura de Soporte. 105
4.4.1.1. Combinaciones de Carga. 105
4.4.2. Calculo Estructural Analítico. 110
4.4.3. Calculo Estructural 112
4.4.3.1. Diseño de Columna. 113
4.4.3.2. Diseño de Viga. 117
4.4.3.3. Deflexión en Viga 119
4.4.3.4. Diseño de Arriostre 121
4.4.3.5. Cálculo de Unión Placa Base. 125
4.4.3.6. Cálculo de Unión Columna, Viga y Arriostre. 126
4.4.3.7. Cálculo de Arriostre. 127
4.4.4. Matriz de Verificación Estructural. 128

CAPÍTULO V 130
5. Costos y Presupuestos. 131
5.1. Costos Mano de Obra Fabricación. 131
5.2. Costos Mano de Obra Montaje. 133
5.3. Análisis Precio Unitario. 134
5.3.1. Análisis precios unitarios Tornillo helicoidal y artesa. 134
5.3.2. Análisis precios unitarios Columnas y Vigas. 137
5.3.3. Análisis precios unitarios Arriostres. 140
5.4. Costo Total del Proyecto. 142
CONCLUSIONES 143
RECOMENDACIONES 144
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 145
ANEXOS 147
PLANOS 181

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Sistema de recuperación de cemento 5

Figura 2 Arreglo Estándar Faja Transportadora Tubular 12

Figura 3 Partes principales de tornillo transportador 15

Figura 4 Partes principales de elevador de cangilones. 17

Figura 5 Transportador a Cadena Inclinado con Tramo Horizontal, ... 19

Figura 6 Rango de Combinaciones de uso de Transportadores neumáticos 20

Figura 7 Configuración típica de sistema neumático de presión positiva. 21

Figura 8 Arreglo típico de sistema neumáticos abiertos de presión negativa 22

Figura 9 Transportador neumático cerrado. 23

Figura 10 Procedimiento de diseño en la Metodología VDI 2221 27

Figura 11 Caja Negra 30

Figura 12 Estructura de Funciones 32

Figura 13 Caja Blanca 33

Figura 14 Concepto de solución 1 35

Figura 15 Concepto de solución 2 36

Figura 16 Bosquejo Solución 2 37

Figura 17 Concepto de Solución 3 38

Figura 18 Concepto de Solución 4 39

Figura 19 Concepto de solución 5 40

Figura 20 Gráfica de Dispersión 43

Figura 21 Inclinación del transportador helicoidal 49

Figura 22 Factor de Sobrecarga Fo 51

Figura 23 Artesa tubular bipartida con ceja 53

Figura 24 Arreglo típico para transportadores helicoidales 55

Figura 25 DCL Tornillo primer tramo 56

Figura 26 DCL Tornillo primer tramo 57

Figura 27 Diagrama de Fuerza Cortante y Momento Flector. 58

Figura 28 Zonas críticas del tubo. 59

Figura 29 Factor “q” por sensibilidad de muesca. 60

Figura 30 Factor “q” por sensibilidad de muesca. 61

Figura 31 Propiedades del material AISI 304 62

Figura 32 Factor de resistencia a la fatiga 62

Figura 33 Factor de tamaño. 63

Figura 34 Factor de temperatura 63

Figura 35 Zonas Críticas del Eje Motriz 67

Figura 36 Esfuerzo a fatiga modificado 68

Figura 37 Factor de tamaño 69

Figura 38 Factor a Flexión de Eje redondo con filete en el hombro 70

Figura 39 Factor a Flexión de Eje redondo con filete en el hombro 71

Figura 40 Factor a Flexión de Eje redondo con filete en el hombro sección C 72

Figura 41 Factor a Flexión de Eje redondo con filete en el hombro sección C. 73

Figura 42 Factor a Flexión de Eje redondo con agujero transversal sección D 74

Figura 43 Factor a Torsión con agujero transversal D. 75

Figura 44 Modelo CAD Helicoide. 77

Figura 45 Idealización del tornillo transportador 78

Figura 46 Mallado del helicoide eje y tubo 80

Figura 47 Condiciones de Frontera par Rodamiento Fijo 81

Figura 48 Condiciones de Frontera par Rodamiento Móvil 82

Figura 49 Condiciones de Frontera cargas, ... 83

Figura 50 Convergencia de Malla. 84
Figura 51 Esfuerzo de Von Mises en Helicoide eje y Tubo 85
Figura 52 Deformación en Helicoide Eje y Tubo 86
Figura 53 Factor de seguridad en Eje tubo y helicoide 87
Figura 54 Factor de Seguridad zona critica amplificado 87
Figura 55 Diagrama de Pernos de Unión entre Eje y Tubo 89
Figura 56 Condiciones de Frontera 90
Figura 57 Mallado Unión Eje Motriz y tubo 91
Figura 58 Contacto entre Eje Motriz y tubo 91
Figura 59 Condiciones de frontera en acople eje motriz y tubo 92
Figura 60 Esfuerzo Von Mises Unión Eje Tubo 93
Figura 61 Factor de Seguridad en eje Motriz 94
Figura 62 Esfuerzo de Von Mises en Tubo Helicoidal 95
Figura 63 Factor de Seguridad en eje helicoidal 96
Figura 64 Desplazamiento en Unión de Eje motriz y tubo helicoidal 97
Figura 65 Artesa como viga doblemente empotrada 98
Figura 66 Cortante, Momento y deflexión de viga doblemente empotrada 98
Figura 67 Deformación en Artesa y Helicoide 99
Figura 68 DCL Unión empernada brida y tapa lateral. 100
Figura 69 Calculo de pernos. 102
Figura 70 Estructura soporte de Artesa. 104
Figura 71 DCL Estructura soporte de artesa. 104
Figura 72 DFC y DMF en Artesa 112
Figura 73 Calculo de Columna en software RSA 2024 118
Figura 74 Deflexión Bajo carga Viva y Muerta ELS. 120

Figura 75 Calculo de Viga mediante Software RSA 2025 121

Figura 76 Calculo de Arriostre en Software RSA 2024 125

Figura 77 Resultados de Placa Base 126

Figura 78 Unión Columna, Viga y Arriostre Resultados 127

Figura 79 Unión de arriostre y placa central 128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades del cemento Portland 24

Tabla 3 Propiedades de Material cemento portland CEMA 25

Tabla 4 Lista de Exigencias 28

Tabla 5 Matriz Morfológica 34

Tabla 6 Criterios de evaluación eje X 41

Tabla 7 Criterios de evaluación eje Y 41

Tabla 8 Factores de capacidad para transportador con paso especial CF1 46

Tabla 9 Factores de capacidad para transportador con helicoidal especial CF2 46

Tabla 10 Capacidad para transportar con paletas mezcladores CF3 47

Tabla 11 Factor por inclinación 47

Tabla 12 Tamaño de tubos de acero AISI 304 Inoxidable comerciales. 66

Tabla 13: Propiedades del acero AISI 304 79

Tabla 14: Propiedades del acero AISI 1020CD 79

Tabla 15 Factores de Seguridad Recomendaciones Generales. 88

Tabla 16 Factores y combinaciones de carga. 106

Tabla 17 Factor de Zona Z 106

Tabla 18 Factor de suelo S 107

Tabla 19 Factores Tp y TL 107

Tabla 20 Factor de uso U 108

Tabla 21 Factor por Sistema Estructural 109

Tabla 22 Combinaciones de Carga para el Proyecto 110

Tabla 23 Propiedades geométricas de la sección HSS 2”x2”x1/8”. 113

Tabla 25 Matriz de verificación 129

Tabla 26 Metrado de estructura de soporte 131

Tabla 27 Costos de Fabricación Mano de Obra. 132

Tabla 28 Costos de Montaje Mano de Obra. 133

Tabla 29 Análisis de precios unitarios de fabricación. 134

Tabla 30 Partida Montaje de tornillo helicoidal y artesa 135

Tabla 31 Partida de Fabricación de Vigas y Columnas 137

Tabla 32 Partida de montaje de vigas y columnas 138

Tabla 33 Costos de Fabricación de arriostre 140

Tabla 34 Costos de Componentes de Maquina 141

Tabla 35 Resumen de Costos 142

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Propiedades de solidos disgregados 148

Anexo 2: Selección de diámetro y velocidad de giro del helicoide. 149

Anexo 3: Tamaños máximos de partículas. 150

Anexo 4: Selección componentes artesa y cubierta 151

Anexo 5: Selección de bujes para colgantes 152

Anexo 6: Factor del Diámetro del transportador, Fd 153

Anexo 7: Factor del Buje para colgante. 154

Anexo 8: Factor de porcentaje de carga 155

Anexo 9: Factor de Paleta, Fp 156

Anexo 10: Factor de eficiencia (e) de las transmisiones 157

Anexo 11: Resistencia a la torsión en eje, tubo y pernos 158

Anexo 12: Selección de artesa tubular 159

Anexo 13: Medidas de helicoides seccionales 160

Anexo 14: Tabla de inercias Tubo Cedula 40 161

Anexo 15: Soporte colgante Estilo 220 162

Anexo 16: Factor Kt por concentración de esfuerzo a flexión en tubo redondo con agujero. 163

Anexo 17: Factor Kts por concentración de esfuerzo a torsión en tubo redondo con agujero. 164

Anexo 18: Factor de Superficie 165

Anexo 19: Efecto de la temperatura en la resistencia 166

Anexo 20: Factor de confiablidad 167

Anexo 21: Factores de concentración de esfuerzo Kt y Kts. 168

Anexo 22: Dimensiones de Chavetas DIN 6885 169

Anexo 23: Cargas en la placa base 171

Anexo 24: Ficha técnica buje de bronce 172

Anexo 25: Ficha técnica moto-reductor 173

Anexo 26: Factor de ajuste de imperfección 174

Anexo 25: Relación ancho - espesor 175

Anexo 26: Flecha máxima para elementos estructurales 176

Anexo 27: Tabla de selección 177

Anexo 30: Cálculo de unión de placa base 178

Anexo 31: Cálculo de unión columna, viga y arriostre 179

Anexo 32: Cálculo de unión de arriostre y placa central 180

INTRODUCCIÓN

En la industria cementera, la eficiencia en el manejo y transporte interno del producto es crucial para minimizar pérdidas y optimizar la rentabilidad. En plantas cementeras costeras, factores como la humedad y la salinidad incrementan los desafíos operativos, afectando la integridad de los equipos y la calidad del cemento. En particular, el transporte de cemento dentro de estas plantas presenta retos significativos en el diseño de sistemas que se integren adecuadamente y ofrezcan ventajas técnicas y económicas.

Actualmente, se registran pérdidas de entre 10 y 25 toneladas por hora debido a problemas relacionados con empaques defectuosos o incumplimiento en el peso estándar de las bolsas. Estas desviaciones representan un costo considerable, estimado entre 450 y 500 soles por tonelada antes de la venta al cliente. Además, la emisión de polvo durante el manejo del cemento plantea preocupaciones ambientales y de salud ocupacional, requiriendo la implementación de sistemas cerrados o encapsulados, o en su defecto, filtros de polvo como mangas electrostáticas u otras opciones para mitigar el problema.

La recuperación eficiente del cemento contenido en bolsas defectuosas es esencial para reducir pérdidas y mejorar la sostenibilidad del proceso productivo. Actualmente, se dispone de un sistema de rotura de bolsas que libera el cemento del empaque, permitiendo su reintroducción al proceso. Este cemento recuperado se transporta a una tolva colectora de cemento residual procedente del empaquetado, desde donde se agrupa y se dirige al silo principal de empaquetado.

El diseño de sistemas de transporte en ambientes costeros debe considerar la corrosión inducida por la humedad y la salinidad. Para mitigar este fenómeno, es fundamental incorporar revestimientos protectores, como pinturas especiales o galvanizados, y seleccionar materiales resistentes a la oxidación, como aceros inoxidables o aleaciones específicas.

La metodología de diseño VDI 2221 proporciona un marco estructurado para abordar estos desafíos, permitiendo identificar y analizar los problemas relacionados con la recuperación de cemento. A través de esta metodología, es posible desarrollar diseños conceptuales basados en alternativas para las diferentes funciones del sistema de recuperación. La propuesta seleccionada debe ser optimizada mediante simulaciones FEM (Método de Elementos Finitos), garantizando que las funcionalidades diseñadas cumplan con los requisitos operativos y de resistencia estructural.

Para tener claros los aspectos técnicos y económicos que determinen las soluciones optimas se aplicara la metodología VDI 2225, de esta forma la solución no solamente pasa por tener alternativas o funciones, sino que estas alternativas y funciones puedan ser construidas que existan las tecnologías y los materiales para realizar el proyecto.

Este trabajo tiene como objetivo diseñar un sistema de transporte de recuperación de cemento en una planta cementera con una capacidad de 25 toneladas por hora, aplicando la metodología VDI 2221 y VDI 2225. Se espera que la implementación de este sistema permita recuperar un porcentaje significativo del cemento residual, justificando la inversión en términos de fabricación y operación del sistema de recuperación.

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1. Descripción del Problema.

El transporte de cemento dentro de un planta cementera costera, presenta un reto en el diseño de sistemas que se acoplen correctamente a la planta y además tengan ventajas técnicas y económicas, en las condiciones actuales de operación se tienen pérdidas registradas entre 10 a 25 toneladas por hora debido a problemas relacionados con el empaquetado defectuoso o el incumplimiento del peso, esto representa un costo considerable por tonelada de aproximadamente 450 a 500 soles antes de la venta al cliente, otro factor importante es la reducción del polvo, se requieren sistemas cerrados o encapsulados, o en su defecto filtros de polvos como mangas electrostáticos u otras opciones para mitigar el problema.

Los principales problemas radican en encontrar el sistema óptimo que pueda recuperar la mayor cantidad de cemento de las bolsas defectuosas que no cumplan con los estándares de calidad, especialmente en peso y estado de las bolsas que son desechadas, para lo cual se tiene un sistema de rotura de bolsas donde el cemento quede libre del empaque. Este cemento desechado es almacenado en bolsas Big Bag para luego ser desplazado mediante un montacarga a un sistema de transporte que alimenta a los silos verticales para repetir el ciclo de empaquetado.

Por lo anteriormente mencionado, se busca optimizar la recirculación del cemento que es desechado por estándares de calidad. Esta optimización involucraría un sistema de transporte que traslade el cemento de paquetes defectuoso hacia la tolva colectora de cemento residual procedente del empaquetado para luego ser recirculado a través de una bomba impulsora a los silos verticales y así continuar con el ciclo de empaquetado.

Conocemos la capacidad del transportador debido a las mediciones realizadas en la planta cementera, el departamento de producción estima una capacidad máxima de 25 Ton/hr

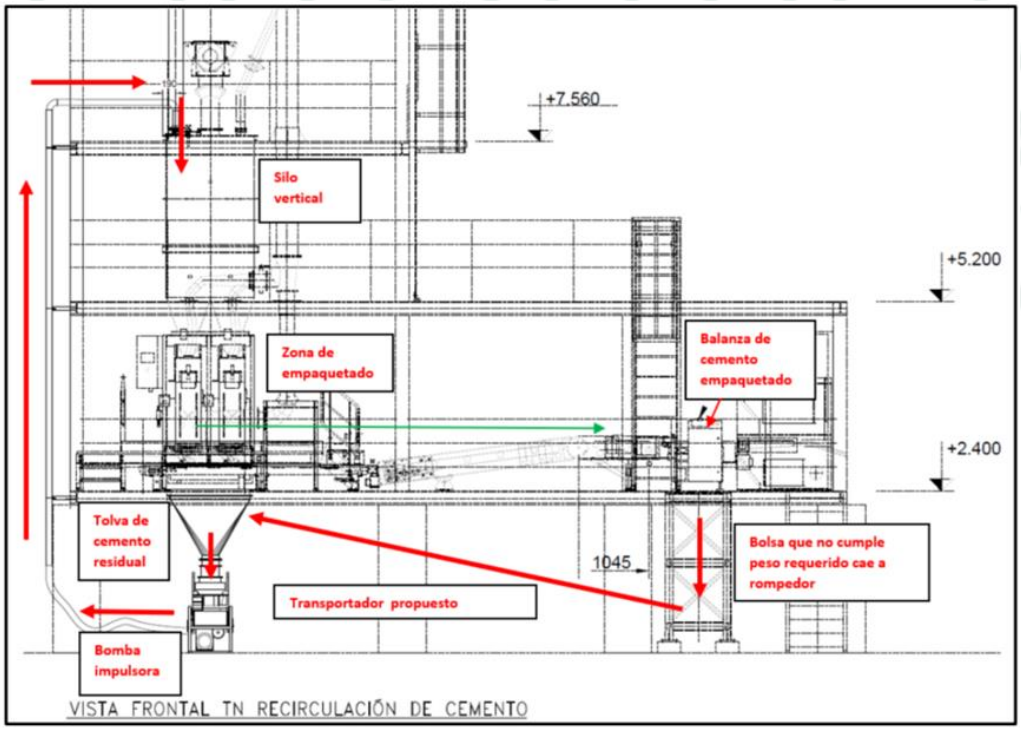
solo de bolsas defectuosas, además la altura es de 2400 mm y la distancia entre tolva de cemento residual y el rompedor de bolsa es de 5450 mm como se muestran en la Figura 1, De esta forma se puede recuperar un porcentaje muy alto del cemento residual, teniendo como inversión el costo de fabricación y operación del sistema de recuperación.

La metodología de diseño VDI 2221, ayudará a determinar soluciones a los principales problemas relacionados con la recuperación, además de determinar diseños conceptuales basados en alternativas para las diferentes funciones del sistema de recuperación, la propuesta seleccionada debe ser optimizada mediante simulaciones FEM (Método de Elementos Finitos), que garanticen las funcionalidades para las que fueron diseñadas.

De esta forma se puede recuperar un porcentaje muy alto del cemento residual, teniendo como inversión el costo de fabricación y operación del sistema de recuperación.

Figura 1

Sistema de recuperación de cemento



Nota. Elaboración Propia

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo General.

Diseñar un sistema de transporte de recuperación de cemento en una planta cementera capacidad 25 ton/hr, según la metodología VDI 2221.

1.2.2. Objetivos Específicos.

- Aplicación de la metodología VDI 2221, para el diseño de un sistema de transporte de recuperación de cemento con una capacidad de 25 ton/hr.
- Crear un prototipo virtual para validar el diseño propuesto utilizando herramientas de simulación FEM (Método de elementos finitos).
- Se diseñará los componentes estructurales y mecánicos del sistema óptimo de recuperación seleccionado según la metodología VDI 2221.
- Realizar un análisis económico por costos unitarios del sistema de transporte.
- Elaborar planos de presentación, fabricación, montaje de componentes estructúrales y mecánicos.

1.3. Alcances.

- El sistema de transporte comprende desde la salida del material sin los empaques con sus respectivas tolvas de carga, hasta la llegada del material con las tolvas de descarga, no se considera para el diseño el rompe bolsas vibratoria encargado de separar el empaque del cemento.
- Se seguirá la metodología VDI 2221 para el diseño del sistema de transporte de cemento.
- Se buscarán soluciones que serán analizadas técnica y económicamente según la metodología VDI 2225.
- Se recolectará la información de la planta cementera, planos de layaout, con la información de elevación e infraestructura existente, en la planta.
- El sistema empleado debe seguir normas de diseño estructurales, seguridad nacionales e internacionales.
- El sistema debe garantizar la reducción del polvo emitido.

- Se plantearán alternativas basadas en transportadores mecánicos y neumáticos o una combinación de ellos.

1.4. Limitaciones.

- El diseño se centra en los componentes mecánicos, estructurales y neumáticos, los elementos correspondientes a los sistemas de automatización y control, sistema eléctrico, no serán considerados.
- No se construirán prototipos físicos, solo prototipos virtuales enfocados en la simulación FEM.
- Las simulaciones efectuadas estarán condicionadas por los recursos computacionales correspondientes a GPUs y CPUs, de ellos depende el tiempo de simulación y la capacidad de efectuar varias simulaciones en tiempos más cortos que permitan crear nuevos sistemas.
- Los costos serán únicamente de los componentes mecánicos que conforman el sistema, la automatización y control, así como la parte eléctrica no serán consideradas.

1.5. Normativas de Diseño.

Las normativas son vitales para el diseño de estos proyectos porque presentan un marco normativo obligatorio a nivel nación e internacionales, en diseño, seguridad, calidad entre otros.

1.5.1. Normas técnicas peruanas.

No se tienen normas técnicas peruanas para el diseño especifico de transportadores, aunque para las estructuras que soportan maquinaria industrial, si existen las normas técnicas de diseño y construcción.

- NTP E.030 SISMORRESISTENTE.
- NTP E.020 CARGAS.
- NTP E.090 ESTRUCTURAS METALICAS.

1.5.2. Normas Internacionales.

Por nuestra región geográfica el país de referencia en cuanto a normatividad es EE. UU. por ello tomaremos a este país como guía en cuanto a la normatividad en los transportadores de materiales.

- ASME B20.1 - *Safety Standard for Conveyors and Related Equipment*: Esta norma establece requisitos de seguridad para transportadores y equipo relacionado, incluidos los transportadores de tornillo. Define pautas para la operación segura, dispositivos de seguridad y protección del operador.
- ASTM E29 - *Standard Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications*: Esta norma, aunque general, puede ser útil en sistemas neumáticos para determinar especificaciones precisas de presión, flujo y capacidad en el transporte de materiales.
- ASTM A36/A36M - Standard Specification for Carbon Structural Steel: Relevante para los componentes estructurales de los elevadores de cangilones que empleen acero estructural.
- AISC 360-16 American Institute of Steel Construction establece estándares de diseño, fabricación y construcción en acero estructural, con el objetivo de promover el desarrollo de estructuras seguras, eficientes y rentables.

1.5.3. Guías Cema.

Muchas de las normas que presentan cema son manuales y catálogos de productos al ser una empresa privada, no es un organismo capaz de emitir normas a nombre de países y/o entidades normativas internaciones, pero sus manuales son tomados como referencia en el diseño de transportadores de materiales a granel.

- CEMA 350 - *"Screw Conveyors"* (Transportadores de Tornillo): Proporciona detalles sobre, principios de diseño de tornillos transportadores, cálculos de potencia, selección de componentes y materiales y capacidad y dimensiones del transportador.
- ANSI/CEMA 300 - *Screw Conveyor Dimensional Standards*: Proporciona estándares dimensionales para los componentes del transportador de tornillo, como los diámetros

de tornillos, ejes y carcasas, para asegurar la interoperabilidad y el ajuste de piezas entre diferentes fabricantes.

1.5.4. Software o programas.

- ANSYS Static Structural
- Mathcad Prime.
- Robot Structural.
- Inventor Nastram.
- Simsolid.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.

2.1. Sistemas de Transporte Mecánico de Cemento.

Existen diversas formas de recuperar el cemento en una planta cementera, ya que simplemente se debe transportar este material hacia las tolvas de cemento residual, este transporte puede realizarse mediante sistemas mecánicos, como fajas transportadoras, tornillos helicoidales, elevadores de cangilones entre otros, o con transportadores neumáticos, como ciclones.

- Fajas Transportadoras.

Es un transportador de materiales granulares, solidos o algunos fluidos de forma eficiente, ideal para grandes distancias y aplicaciones en industrias mineras, o plantas de procesamiento de cemento o químicos, tienen diversas verificaciones, pero una aplicación útil para materiales polvorientos o peligrosos son las fajas tubulares.

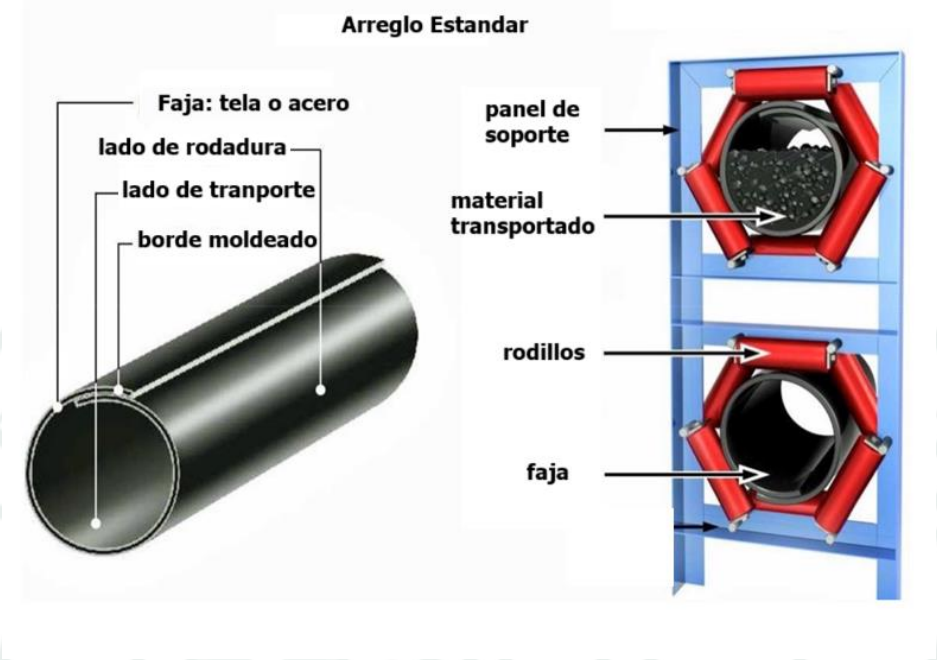
- Fajas Transportadoras Tubulares.

Están diseñadas para transportar material a granel en ambientes industriales como plantas cementeras donde se requiere un control estricto del polvo, como principal ventaja tiene que el cemento se mantiene confinado dentro de una carcasa cerrada, formando un tubo, durante todo el proceso de transporte, lo que evita la dispersión de polvo al ambiente, una de las principales preocupaciones en la industria del cemento según el Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA), este tipo de transportadores es crucial en aplicaciones donde se transportan materiales finos y abrasivos como el cemento, por su protección del equipo y del propio material, principalmente de agentes externos como la lluvia o el viento. (CEMA, 2020).

La Figura 2 muestra el arreglo general con las partes principales de un sistema de faja transportadora tubular, cuando la faja está totalmente cerrada, antes de ello se tienen polines de gran abarquillamiento que van cerrando la faja.

Figura 2

Arreglo Estándar Faja Transportadora Tubular



NOTA. Adaptado de Bulk Online 2020. Partes principales de una faja transportadora Tubular (Pipe Conveyors for Infrastructure Projects – Innovative Solution for Conveyor Systems | bulk-online)

2.1.1. Ventajas de Fajas Transportadoras Tubulares

- Control eficaz del polvo: Las fajas transportadoras cerradas ofrecen un excelente control de la emisión de polvo. Gracias a su diseño encapsulado, evitan la dispersión de polvo en el ambiente, lo que mejora la seguridad en el trabajo y reduce el impacto ambiental. Este es un factor crucial en industrias como la cementera, donde el polvo es altamente perjudicial tanto para los trabajadores como para los equipos (van Gaelen, 2008; TU Delft, 2008).
- Protección del material transportado: Las fajas cerradas protegen el material de factores externos, como la humedad y la contaminación, lo cual es esencial para mantener la calidad del cemento durante su transporte (van Gaelen, 2008).
- Mayor durabilidad y menos desgaste: Al estar cerradas, las fajas protegen los componentes del sistema (como rodillos y poleas) del desgaste causado por partículas

abrasivas, lo que reduce los costos de mantenimiento y prolonga la vida útil del sistema (TU Delft, 2008).

2.1.2. Desventajas de Fajas Transportadoras Tubulares

- Altos costos iniciales: Aunque estas fajas ofrecen ventajas a largo plazo, el costo de instalación es significativamente mayor que el de las fajas abiertas debido a los componentes adicionales, como las cubiertas y sistemas de sellado. Este alto costo de inversión puede ser un obstáculo para su implementación en algunas plantas (van Gaelen, 2008).
- Requiere más espacio: Las fajas cerradas pueden requerir más espacio para su instalación, especialmente si el sistema necesita trayectorias complejas o ajustes en la infraestructura existente.
- Complejidad en el mantenimiento: Aunque las fajas cerradas requieren menos mantenimiento que las abiertas, cuando es necesario realizarlo, el acceso a las partes internas puede ser complicado, lo que incrementa el tiempo y el costo de las reparaciones (van Gaelen, 2008).

2.1.3. Transportador helicoidal.

Los transportadores helicoidales, también conocidos como tornillos sinfín, son un tipo de sistema de transporte ampliamente utilizado en la industria para mover materiales en forma de solidos disgregados, especialmente en aplicaciones donde es necesario controlar el flujo del material de manera precisa. Su diseño simple pero eficiente ha hecho que sean una solución común para el transporte de materiales secos, como cemento, cereales y polvos, tanto en trayectorias horizontales como inclinadas, además presenta configuraciones herméticas donde podemos contralar el polvo.

Un transportador helicoidal se compone de una espiral helicoidal que gira dentro de una carcasa tubular o en forma de U o en forma tubular, impulsando el material a lo largo del eje del tornillo mediante la rotación de la hélice. (Carson, 2014).

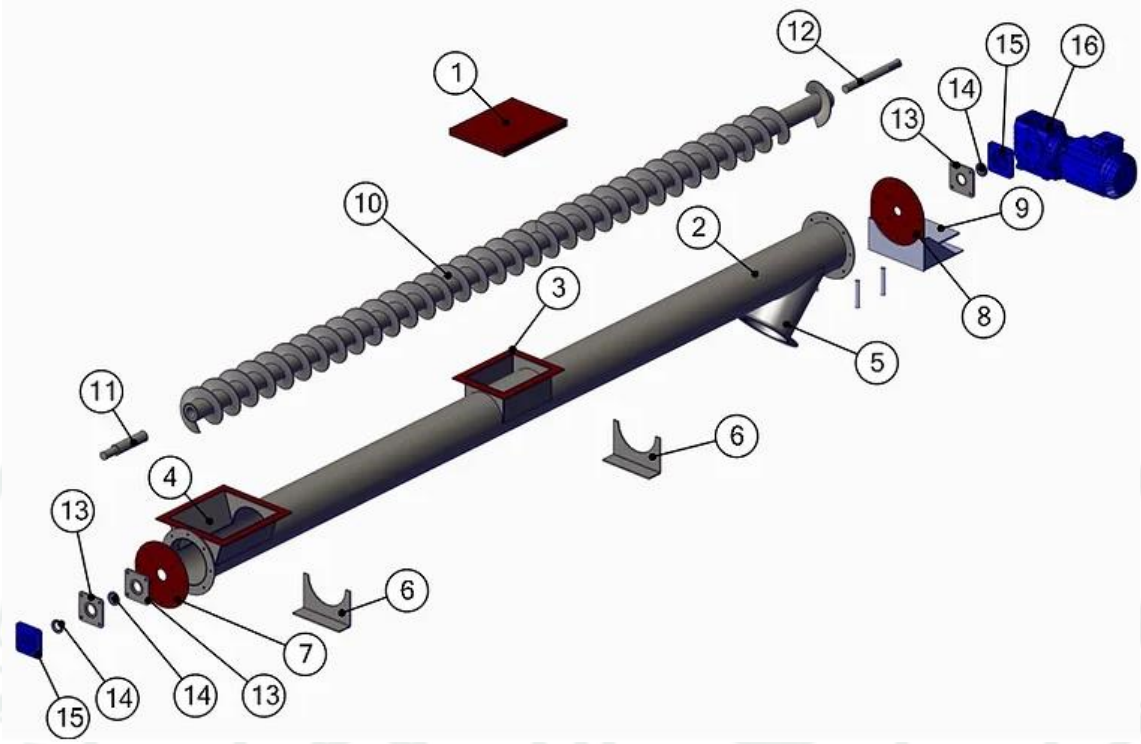
Los principales componentes se muestran en la Figura 3 y son:

- 1. Cubierta de acceso para mantenimiento central

- 2. Cuerpo del tornillo o artesa
- 3. Acceso central para mantenimiento
- 4. Zona de ingreso material
- 5. Descarga del material
- 6. Base soporte del transportador
- 7. Cubiertas laterales
- 8. Soportes de transmisión y tapas laterales
- 9. Base motorreductor ajustable
- 10. Helicoidal montado en eje tubular.
- 11. Eje final
- 12. Eje motriz
- 13. Sellos herméticos de labio
- 14. Rodamientos y soporte
- 15. Acople de motorreductor
- 16. Motorreductor

Figura 3

Partes principales de tornillo transportador



Nota. Adaptado de Bega Helicoidales. Partes de un transportador Helicoidal en artesa tubular (Partes de un Transportador de Tornillo Helicoidal | Bega Helicoidales | Información Técnica)

2.1.3.1. Ventajas de tornillo transportador.

- Versatilidad en trayectorias y aplicaciones: Los transportadores helicoidales son extremadamente versátiles y se pueden adaptar a una variedad de aplicaciones industriales, desde el transporte de polvos finos hasta granos o fragmentos sólidos más grandes (Daniyan et al., 2017). Además, son excelentes para operar en trayectorias horizontales, inclinadas e incluso verticales, con un diseño compacto que los hace adecuados para instalaciones industriales con restricciones de espacio.
- Control preciso del flujo de material: Los tornillos sinfín permiten un control muy preciso del flujo de material, lo que es esencial en aplicaciones donde se requiere un suministro constante o dosificado de material (Mills, 2015). Esto los hace ideales para procesos como el llenado de tolvas o alimentadores de procesos.
- Bajo costo de operación y mantenimiento: Los sistemas de tornillo sinfín tienen un diseño mecánico relativamente simple, lo que resulta en menores costos operativos y

de mantenimiento en comparación con otros sistemas de transporte de materiales a granel. Al tener pocas partes móviles, el desgaste y la necesidad de reparaciones son limitados (Roberts & Ooms, 2003).

2.1.3.2. Desventajas de tornillo transportador.

- Limitaciones en la distancia de transporte: Aunque son muy eficientes en trayectorias cortas e inclinadas, los transportadores helicoidales no son adecuados para largas distancias debido a la resistencia que genera el contacto continuo entre el material y la hélice. Esto puede ocasionar desgastes elevados en el sistema y limitar su capacidad a distancias cortas (Lindgren et al., 2016).
- Posible degradación del material: Debido a la fricción generada entre el material y la hélice, los transportadores helicoidales pueden ocasionar la degradación de materiales frágiles, lo que los hace menos adecuados para transportar productos delicados que deben conservar su forma original durante el proceso (Lindgren et al., 2016).
- Capacidad limitada para transportar materiales pegajosos: Los transportadores helicoidales no son adecuados para transportar materiales que tienden a adherirse a la hélice o a las paredes de la carcasa. Esto puede resultar en atascos y aumentar la necesidad de limpieza y mantenimiento frecuente (Mills, 2015).

2.1.4. Elevador de Cangilones.

El elevador de cangilones consiste en una serie de cangilones montados en una correa o cadena continua, que recoge el material en la base y lo transporta hacia la parte superior. Este sistema es eficaz para mover el cemento sin pérdidas significativas, asegurando su reintegración al proceso de producción. Dependiendo del tipo de elevador, la descarga se realiza por gravedad o por fuerza centrífuga, lo que hace que sean adecuados para una variedad de materiales, como el cemento, que se manipula en las plantas (BEUMER Group, 2020).

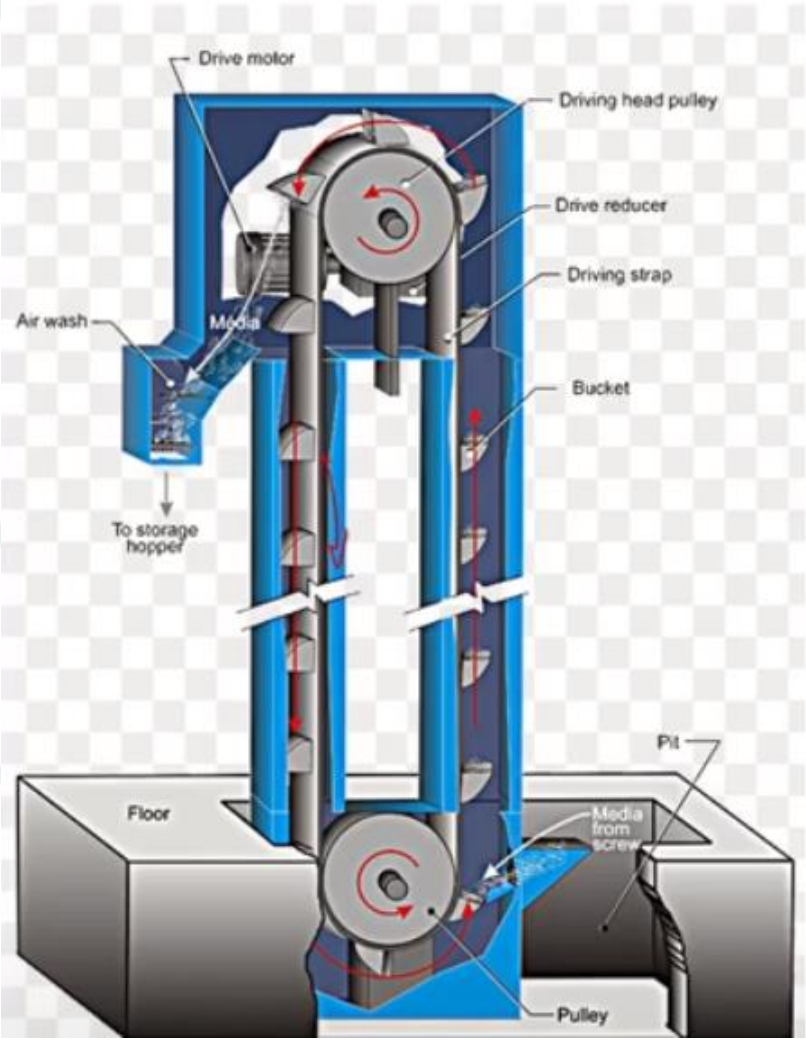
Los componentes principales del elevador de cangilones se muestran en la Figura 4 y son:

- Motor Eléctrico.

- Tambor motriz de cabeza.
- Reductor.
- Faja o cadena del elevador
- Cangilón
- Tambor conducido
- Tolva de entrada
- Tolva de salida

Figura 4

Partes principales de elevador de cangilones.



Nota. Adaptado. MIAL 2020. Partes del elevador de cangilones. (Elevador de cangilones | News MIAL ES)

2.1.4.1. Ventajas de Elevador de Cangilones

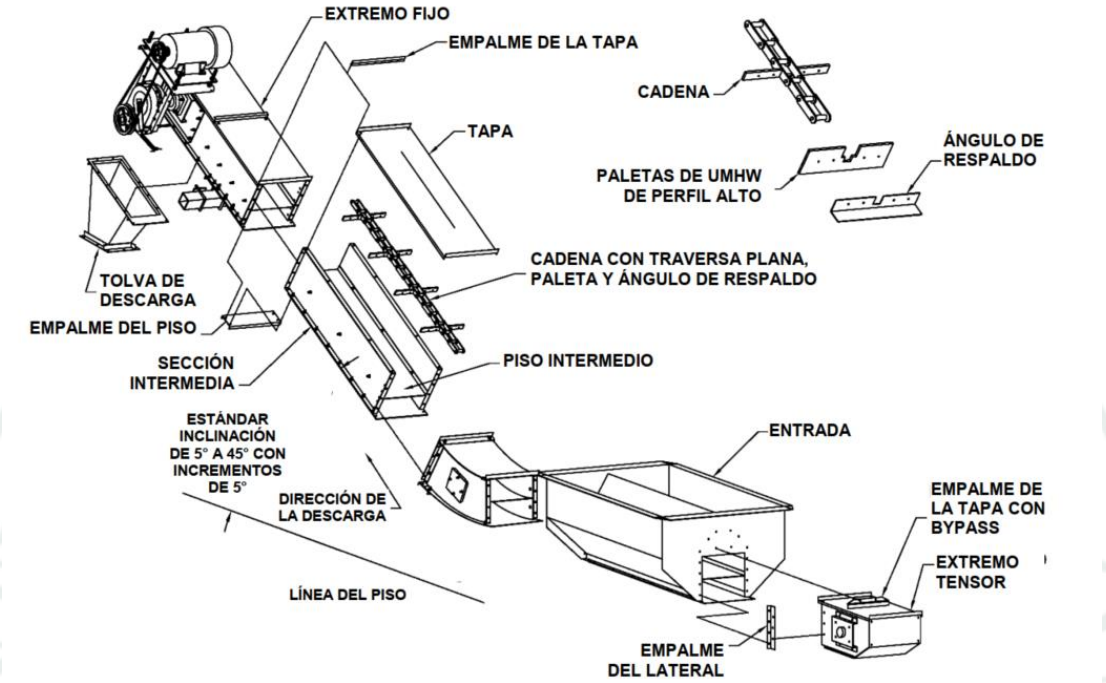
- Capacidad para transportar grandes volúmenes verticalmente: Los elevadores de cangilones permiten el transporte de material a alturas significativas (hasta más de 150 metros), lo que es ideal en plantas industriales con diferentes niveles de procesamiento (CEMA, 2020).
- Reducción de las emisiones de polvo: El diseño cerrado de los elevadores de cangilones minimiza la dispersión de polvo, lo que mejora la seguridad en las plantas cementeras y asegura que el material no se contamine (BEUMER Group, 2020).
- Versatilidad en materiales: Pueden transportar tanto material fino (cemento en polvo) como materiales más pesados y abrasivos (como el clinker) sin comprometer la eficiencia, debido a su diseño especializado (CEMA, 2020)

2.1.5. Transportador de cadenas o Redlers.

Los transportadores Redler consisten en una serie de cadenas con paletas que arrastran el material dentro de un conducto cerrado. Este tipo de transportador es adecuado para manejar materiales polvorientos y abrasivos como el cemento, ya que el diseño cerrado minimiza la dispersión de polvo, lo que ayuda a mantener un ambiente de trabajo más limpio y seguro, trabajan en inclinaciones de hasta 30 grados para evitar deslizamientos de material. Las partes principales del transportador de redlers se muestra en la Figura 5, tiene un tramo horizontal e inclinado.

Figura 5

Transportador a Cadena Inclinado con Tramo Horizontal,



Nota. Adaptado de Manual de Instalaciones N/P 473801 ES. Partes de Transportador a Cadena Inclinado con Tramo Horizontal 2021.

2.2. Sistemas de Transportadores Neumáticos.

Presenta una solución simple y flexible ampliamente usada en la industria cementera para sistemas de recuperación de cemento, debido al espacio que ocupan y al ser cemento residual, la carga de trabajo se adapta al sistema.

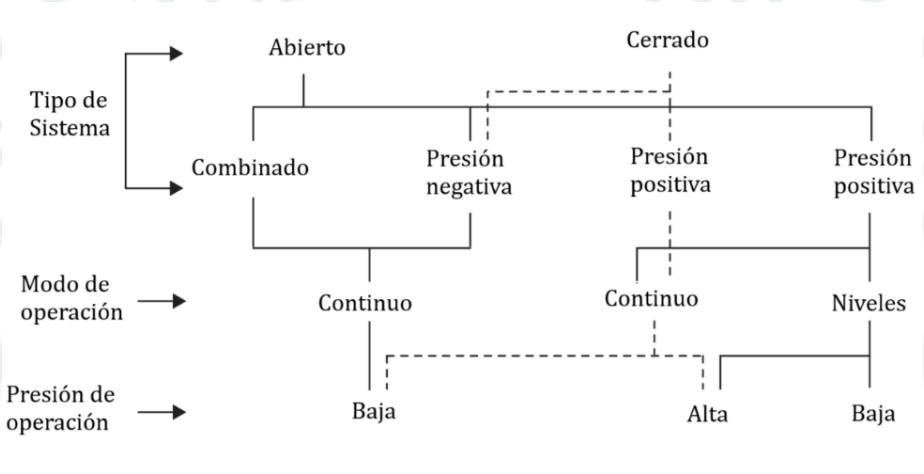
Los transportadores neumáticos funcionan en dos fases principales: fase diluida y fase densa. En la fase diluida, se utiliza una gran cantidad de aire a presiones bajas para mover materiales poco densos y menos abrasivos. En la fase densa, se usa menor cantidad de aire a mayor presión, ideal para transportar materiales más pesados y abrasivos, como el cemento, a través de trayectorias más largas y con menor desgaste de las tuberías (Macawber Engineering, 2021; Gericke Group, 2021).

2.2.1. Tipos de Sistemas neumáticos.

Tenemos una clasificación de tres principales sistemas neumáticos tal como se muestra en la Figura 6, en la industria cementera usualmente tenemos los sistemas abiertos de presión positiva, aunque para largas distancias se emplea los sistemas tipo Batch o de niveles.

Figura 6

Rango de Combinaciones de uso de Transportadores neumáticos



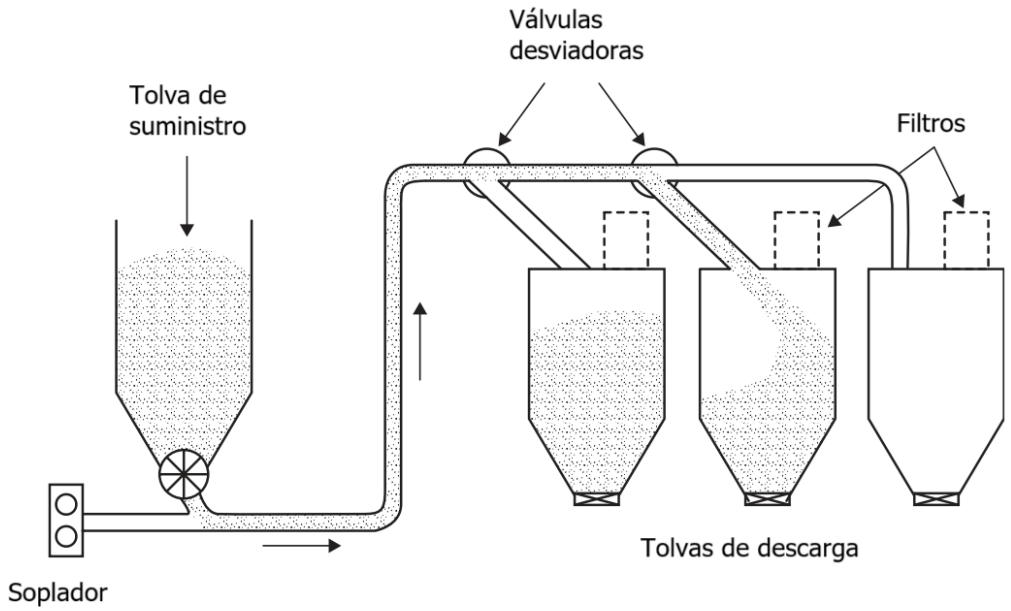
Nota. Diagrama para ilustrar la amplia gama de sistemas de transporte disponibles para sistemas convencionales que funcionan con una sola fuente de aire. Adaptado de Pneumatic Conveying Design Guide (2da ed., p. 29), por D. Mills, 2004, Elsevier.

- Sistemas neumáticos abiertos de presión positiva.

Este sistema es uno de los más utilizados en aplicación industriales, consiste en mantener la descarga de la tolva de suministro con presión superior a la atmosférica, de esta forma el material granular se desplaza mediante los ductos circulares o tuberías hacia un punto de descarga que se encuentra en a presión atmosférica, esto se ve detalladamente en la Figura 7, este sistema presenta dificultades en la alimentación, pero son resueltos por una serie de válvulas, tanques de soplado entre otros dispositivos que aseguran una correcta alimentación (D. Mills, 2004).

Figura 7

Configuración típica de sistema neumático de presión positiva.



Nota. Adaptado de Pneumatic Conveying Design Guide (2da ed., p. 30), por D. Mills, 2004, Elsevier.

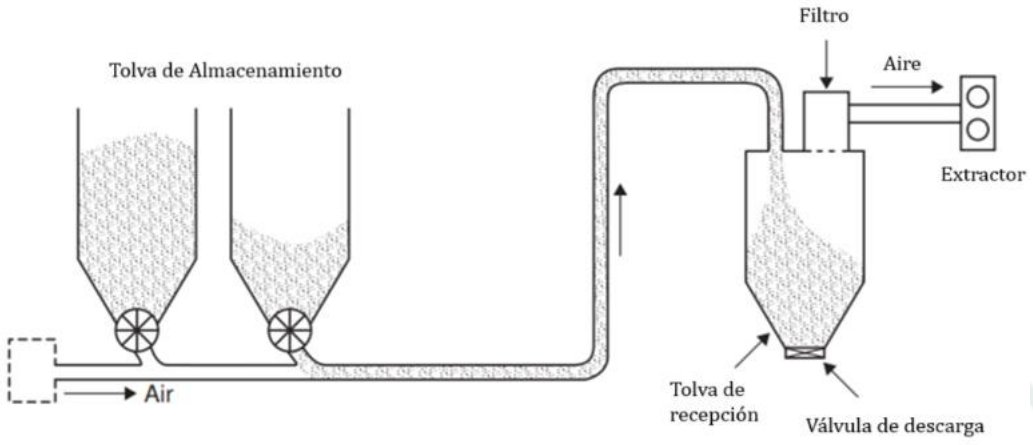
- Sistemas neumáticos abiertos de presión negativa.

Se emplean en aplicación que requieran la extracción de material granular de varios puntos hacia solamente uno, el funcionamiento no presenta diferencias significativas con los sistemas neumáticos abiertos de presión positiva, al no presentar presiones en la línea de alimentación, este sistema es considerablemente más económico que los sistemas de presión positiva, como puntos importantes, la tolva de recepción debe soportar las cargas por vacío, la planta de filtrado debe ser mayor por la gran cantidad de aire en estado de vacío (D. Mills, 2004).

La Figura 8 muestra un arreglo típicamente usado, adicionalmente estos sistemas son muy utilizados cuando los materiales almacenados tienen acceso por la parte superior o cubierta o empleando succión mediante boquillas en aplicaciones como el transporte de materiales a granel en buques.

Figura 8

Arreglo típico de sistema neumáticos abiertos de presión negativa



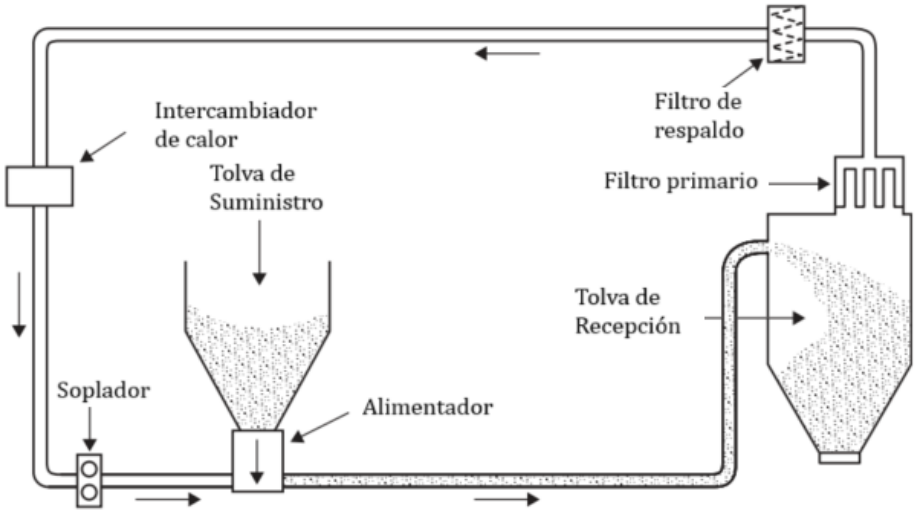
Nota. Adaptado de Pneumatic Conveying Design Guide (2da ed., p. 31), por D. Mills, 2004, Elsevier.

- Sistemas neumáticos cerrados.

Los sistemas neumáticos cerrados presentan un circuito en el cual el fluido de transporte se reutiliza, empleado para transporte de materiales peligrosos, explosivos o radioactivos, el fluido transportador puede cambiar a gases inertes como nitrógeno, Los sistemas de transporte continuos son ideales para ser cerrados por su facilidad en la instalación, al igual que los sistemas de presión positiva o negativa, estos dependerán de donde se encuentra la zona de suministro y la que presión a la que se encuentra. Estos sistemas presentan una gran hermeticidad, pero a su vez generan calor por rozamiento al ser cerrados requieren de sistemas como intercambiadores de calor para evitar elevar la temperatura, esto puede producir daños en el material o los equipos, la Figura 9 muestra un sistema cerrado típico.

Figura 9

Transportador neumático cerrado.



Nota. Adaptado de Pneumatic Conveying Design Guide (2da ed., p. 39), por D. Mills, 2004, Elsevier.

2.3. Cemento Portland.

El cemento portland es una mezcla química de varios componentes como arcillas, Clinker y óxidos metálicos, usualmente se venden en sacos o bolsas de hasta 50 kg ideal para la construcción civil, es el producto manufacturado más utilizado en el mundo, esto se debe a sus excelentes propiedades cuando se mezcla con el agua y otros materiales para crear concreto al momento del fraguado, y combinado con acero forma el concreto armado, una material ideal para la ingeniería estructural ya que ambos materiales se complementan perfectamente.

- Propiedades del cemento como material granular.

El cemento portland embolsado se comporta como un material a granel o solido disgregado, presenta propiedades como densidad, fluidez, abrasividad, ángulo de reposo entre otros, estas propiedades puede ser medidas y existen estándares como ASTM D6393/ASTMD6393M-21 que presentan métodos de medición de dichas propiedades.

Tabla 1

Propiedades del cemento Portland

Propiedad	Valor Típico	Fuente (Normativa)
Densidad	1,450 - 1,600 kg/m³	ASTM C188
Ángulo de reposo	30 - 35 grados	ASTM D6393 / CEMA
Fluidez	Moderada, depende del contenido de humedad	CEMA
Abrasividad	Alta, puede desgastar componentes de manejo	CEMA, estudios técnicos
Explosividad	No explosivo, pero el polvo en suspensión puede inflamarse en concentraciones altas	OSHA, NFPA 654

Nota. Elaboración propia.

La Tabla 1 muestra las propiedades del cemento portland como solido disgregado, otras normas, como las europeas, presentan las propiedades del cemento representadas en el Anexo 1.

Por otro lado, Martin Engineering un conocido fabricante de equipos de transporte de materiales perteneciente a CEMA tiene tablas de materiales tabulados con propiedades expuestas, esto se muestra en la Tabla 2; el código A100-26M significa un material muy fino, No 100 (0.0059”) y menor, tiene una fluidez libre y una agresividad moderada, como propiedad miscelánea al airearse tiene un compartimiento fluido.

Estas propiedades sirven para el dimensionamiento de tornillos transportadores y elevadores de canjilones según las indicaciones del propio manual.

Tabla 2

Propiedades de Material cemento portland CEMA

Propiedad	Valor Típico
Peso lb por pie cúbico	94
Código del material	A100-26M
Selección de Rodamiento Interno	H
Series de Componentes	2
Factor de material Fm	1.4
Carga de Artesa	30B

Nota. Adaptado Manejo de Materiales Manual Martin Sección H-español, (pág. H-10)

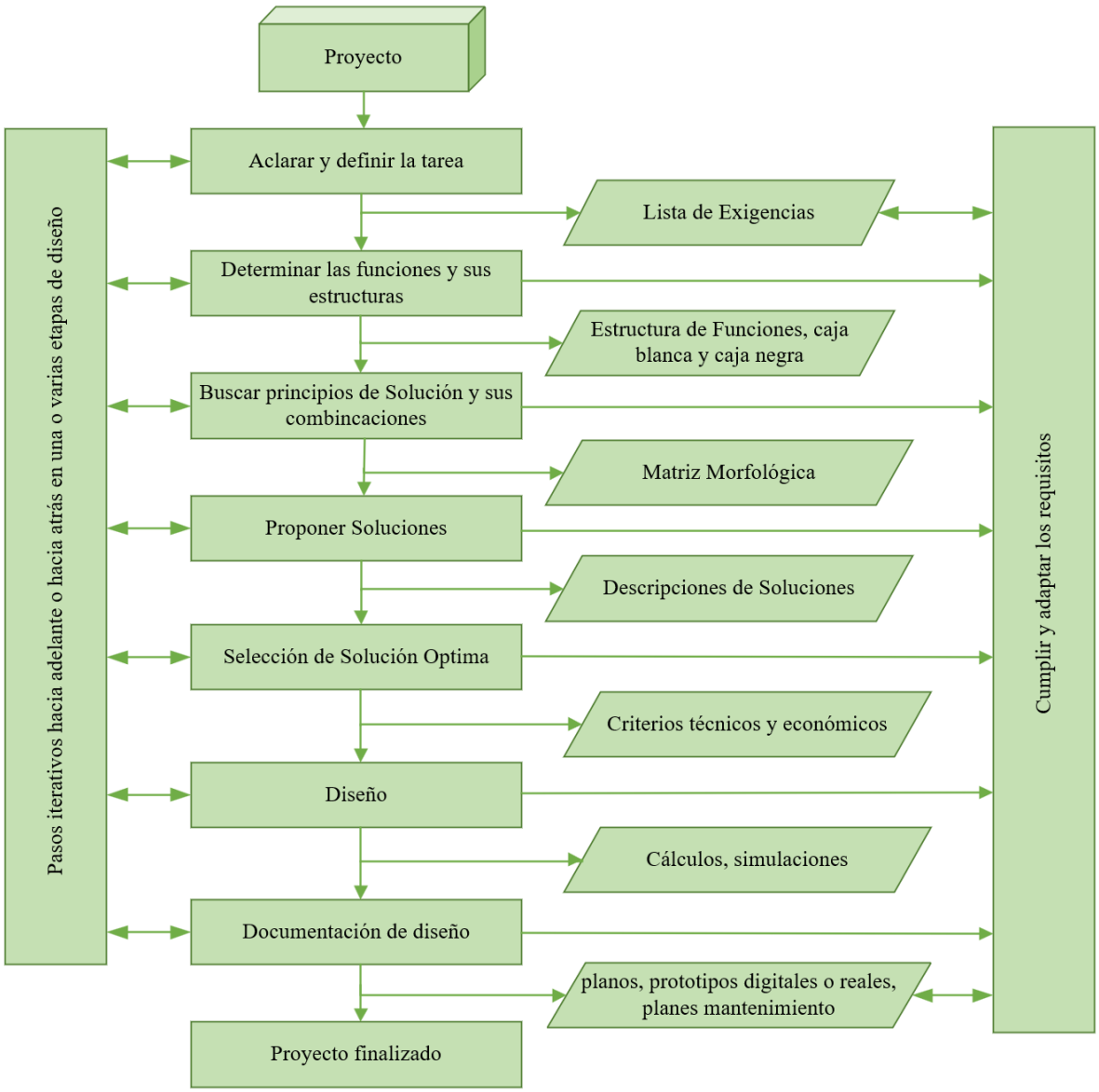
CAPÍTULO III

3. Aplicación de la Metodología VDI 2221.

Esta metodología es ampliamente usada en el diseño de productos en la ingeniería mecánica y manufactura de problemas complejos, presenta un enfoque sistémico permitiendo reducir errores, optimizar recursos y permitiendo analizar cada una de las fases de diseño de manera detallada. (Pahl & Beitz, 2007).

Figura 10

Procedimiento de diseño en la Metodología VDI 2221



Nota. Elaboración propia.

3.1. Lista de exigencias.

La lista de exigencias es uno de los pasos más importantes descritos según la metodología VDI 2221, consiste en elaborar los requerimientos del proyecto que son obligatorios, adicionalmente tenemos los deseos que no son obligatorios, pero permiten complementar el diseño.

Tabla 3

Lista de Exigencias

LISTA DE EXIGENCIAS "SISTEMA DE RECUPERACION DE CEMENTO 25 TON/HR"			
Fecha de modificación	Deseo (D) o Exigencia (E)	Descripción	Responsable
24 octubre, 2024	E	El sistema debe manejar cemento portland	Luis Huallparimachi
24 octubre, 2024	E	La capacidad de transporte del sistema debe ser de 25 ton/hr, de forma continua.	Luis Huallparimachi
24 octubre, 2024	E	El sistema debe ser capaz de elevar el material 2.4 metros y una distancia horizontal de 8 metros, con un Angulo de inclinación de 16.7°	Luis Huallparimachi
24 octubre, 2024	E	El sistema no debe tener dimensiones mayores a 8 metros de largo y 2.4 metros de altura.	Luis Huallparimachi
29 de agosto, 2025	E	Los materiales de construcción deben ser resistentes a la corrosión, considerar materiales inoxidables.	Luis Huallparimachi
24 octubre, 2024	E	Control de polvo, se debe minimizar el polvo las emisiones de polvo y cumplir las normas de ISO	Luis Huallparimachi
24 octubre, 2024	E	El sistema motriz debe ser accionado por un único equipo motorreductor y a velocidad constante.	Luis Huallparimachi
24 octubre, 2024	E	El sistema debe integrarse con los compones existentes en planta, como la tolva de cemento residual y la máquina rompedora de bolsas.	Luis Huallparimachi

LISTA DE EXIGENCIAS "SISTEMA DE RECUPERACION DE CEMENTO 25 TON/HR"			
24 octubre, 2024	E	Las piezas o componentes deben poder ser comerciales o fabricables en talleres mecánicos locales o nacionales	Luis Huallparimachi
01 noviembre, 2024	D	El sistema debe ser eficiente y minimizar los costos energéticos	Luis Huallparimachi
01 noviembre, 2024	E	El sistema debe poder ser montado en un espacio reducido de 8 metros de ancho, una altura de 2.4 metros, y una profundidad de 5 metros	Luis Huallparimachi
01 noviembre, 2024	E	El diseño debe permitir un acceso fácil a las partes críticas del sistema para realizar las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo.	Luis Huallparimachi
01 noviembre, 2024	E	El sistema debe contener guardas de seguridad, simbología y colores normalizado bajo OSHA para evitar accidentes.	Luis Huallparimachi
01 noviembre, 2024	E	El sistema debe integrarse con los compones existentes en planta, como la tolva de cemento residual y la máquina rompedora de bolsas.	Luis Huallparimachi
01 noviembre, 2024	D	Los costos del sistema no deben superar los 50000 dólares	Luis Huallparimachi
01 noviembre, 2024	D	Se espera que el sistema opere de forma silenciosa por debajo de los límites de ruidos para evitar daño auditivo en los trabajadores o operarios.	Luis Huallparimachi
01 noviembre, 2024	E	Los accesos para las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo deben estar sujetos con pernos de tal forma que el desmontaje y acceso a las componentes sean fáciles.	Luis Huallparimachi

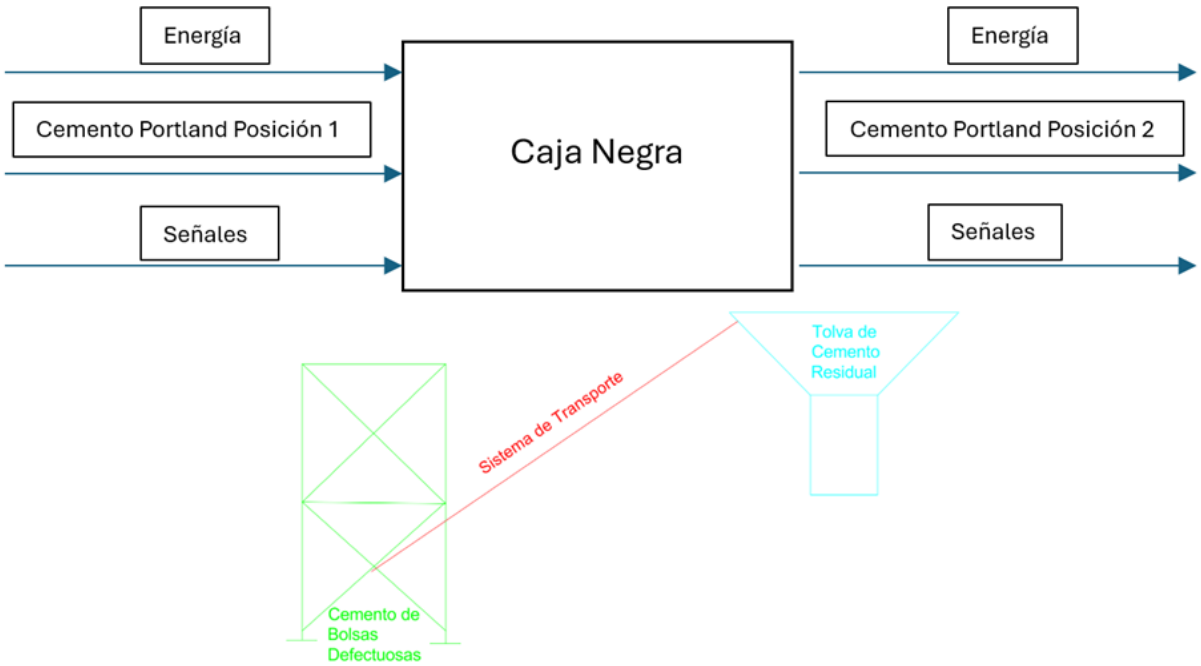
Nota. Elaboración propia.

3.2. Estructura de Funciones.

La función general del sistema debe ser el de transportar cemento residual propio de bolsas defectuosas hacia la tolva de cemento residual, este proceso se muestra en la Figura 11.

Figura 11

Caja Negra



Nota. Elaboración Propia.

3.2.1. Funciones del sistema.

- Recepcionar.

Esta función se encarga de recepcionar el material, para lo cual comúnmente se emplean tolvas diseñadas específicamente para facilitar la descarga y acumulación inicial del material. Dichas tolvas permiten una recepción controlada, evitando pérdidas, derrames o daños durante el proceso de ingreso.

- Transportar.

Esta función consiste en desplazar el material desde la zona de cemento proveniente de bolsas defectuosas hacia la tolva de cemento residual, asegurando un traslado continuo y ordenado. El transporte del material se realiza mediante sistemas adecuados que permiten minimizar pérdidas y dispersión de polvo durante el recorrido.

- Recolectar polvo.

Esta función se encarga de agrupar y capturar el polvo que puede ser liberado durante el proceso de transporte del material, evitando su dispersión en el ambiente. Para ello, se emplean sistemas de recolección diseñados para operar de manera eficiente y continua.

- Soportar.

Esta función constituye una de las partes principales del sistema, ya que define la forma en que todos los componentes serán soportados estructuralmente. El sistema puede apoyarse mediante estructuras tipo armadura o pórticos, diseñados para garantizar estabilidad y resistencia durante la operación.

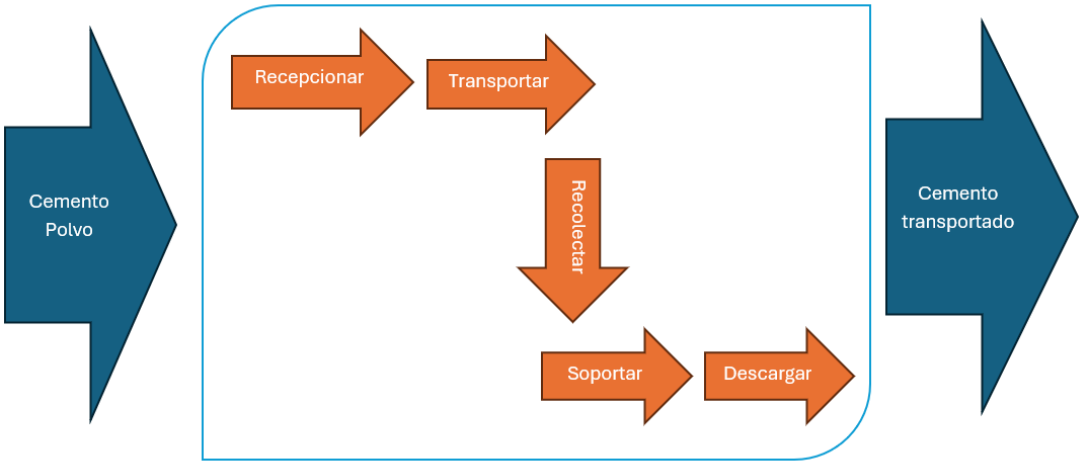
- Descargar.

Esta función se encarga de descargar el material una vez que ha sido transportado dentro de la planta, asegurando su correcta disposición en el punto final del proceso. Para este propósito, se dispone de una tolva de descarga, la cual permite recibir el material de manera controlada y continua.

Una vez descritas las funciones correspondientes al sistema, todo esto se agrupa para formar una estructura de funciones, esto se observa en la Figura 12.

Figura 12

Estructura de Funciones



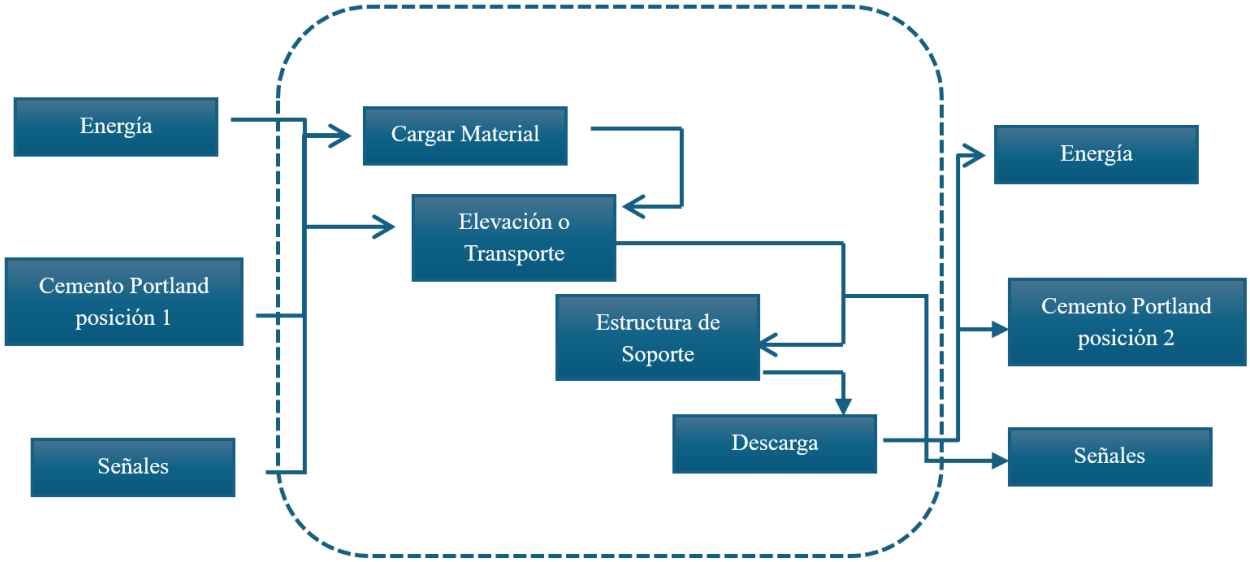
Nota. Elaboración Propia.

3.2.2. Caja Blanca.

El sistema recibe energía eléctrica, señales de control y cemento Portland desde una posición inicial. Procesa estas entradas mediante una operación interna de transporte, descarga y soporte estructural, para finalmente entregar el cemento en una segunda posición, junto con señales de estado y posibles residuos energéticos.

Figura 13

Caja Blanca

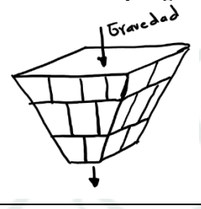
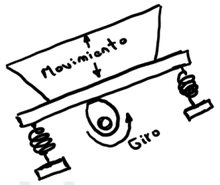
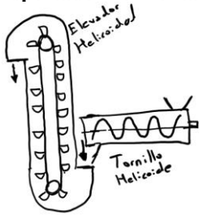
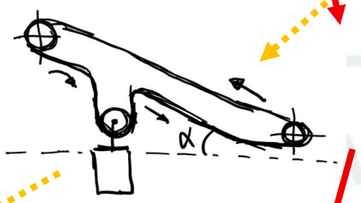
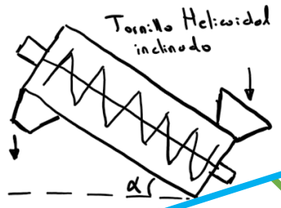
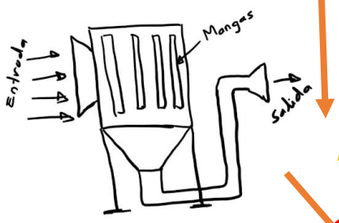
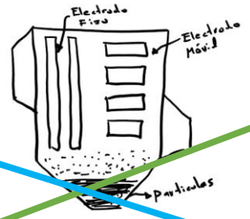
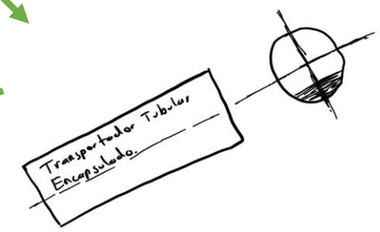
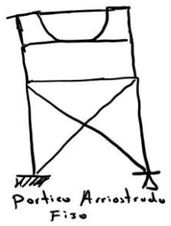
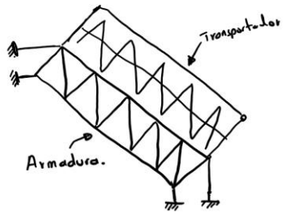
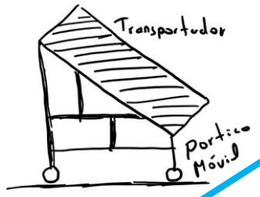
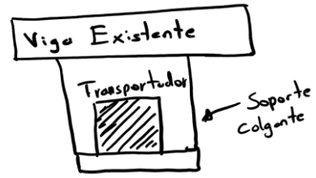
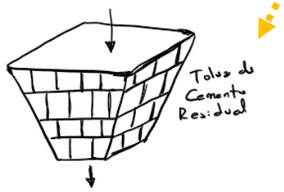


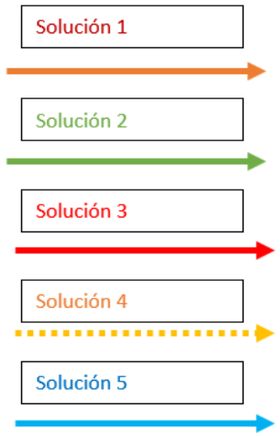
Nota. Elaboración Propia

3.2.3. Matriz morfológica.

Tabla 4

Matriz Morfológica

FUNCION	1	2	3	4
Carga material		**Tolva de suministro por gravedad** 	**Tolva de suministro vibratoria** 	
Elevación o Transporte	**Elevador de cangilones vertical y tornillo transportador horizontal** 	**Faja Transportadora inclinada** 	**Tornillo Transportador Inclinado** 	**Transportador Neumático**
Recolección de Polvo	**Filtros de Mangas** 	**Ciclón Colector**	**Filtros Electrostáticos** 	**Transportadores encapsulados** 
Estructura de Soporte.	**Pórtico Arriostrado Fijo** 	**Sistema de Pórtico con armaduras** 	**Pórtico Arriostrado Móvil** 	**Anclaje a niveles superiores de estructura Existente** 
Descarga		**Tolva de descarga existente en Planta** 		



Nota. Elaboración Propia.

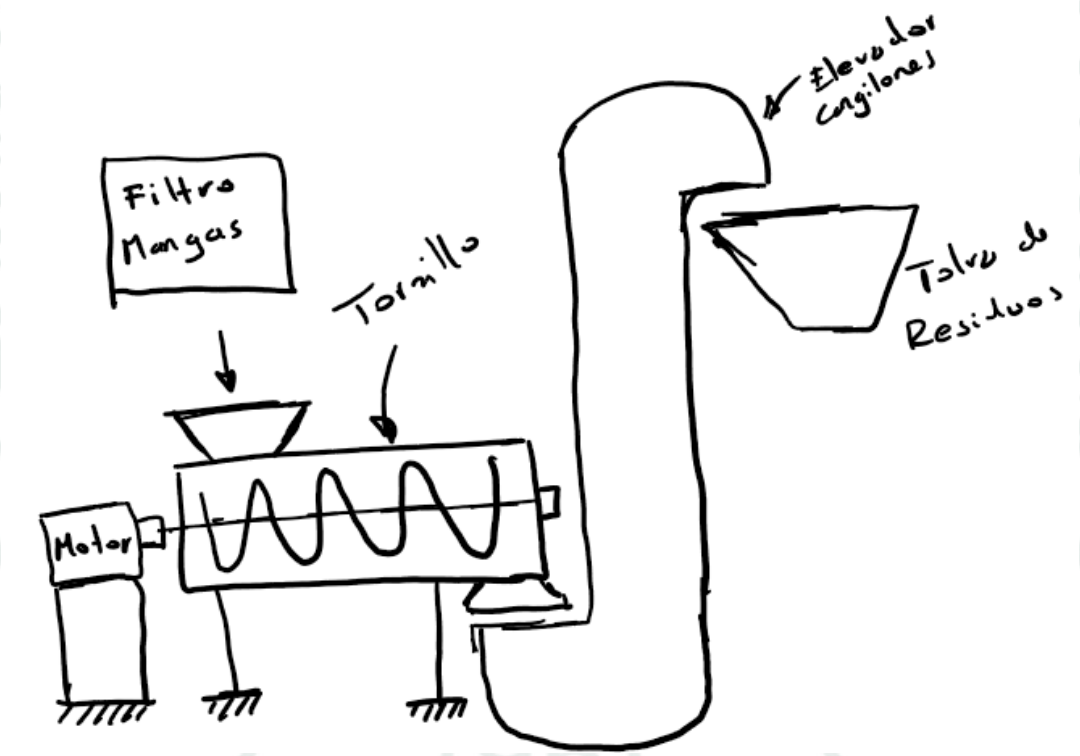
3.2.4. Descripción de soluciones.

- Concepto de Solución 1.

El material será recepcionado por una tolva, esta tolva alimentara un tornillo transportador helicoidal horizontal para cubrir este tramo y un elevador de cangilones para cubrir el tramo vertical, para la recolección de polvo se usarán filtros de mangas en las zonas críticas como tolvas de carga y descarga, para la estructura de soporte se emplearán armaduras ya que permites grandes claros sin soportes intermedios finalmente el cemento será transportado a la tolva de recuperación.

Figura 14

Concepto de solución 1



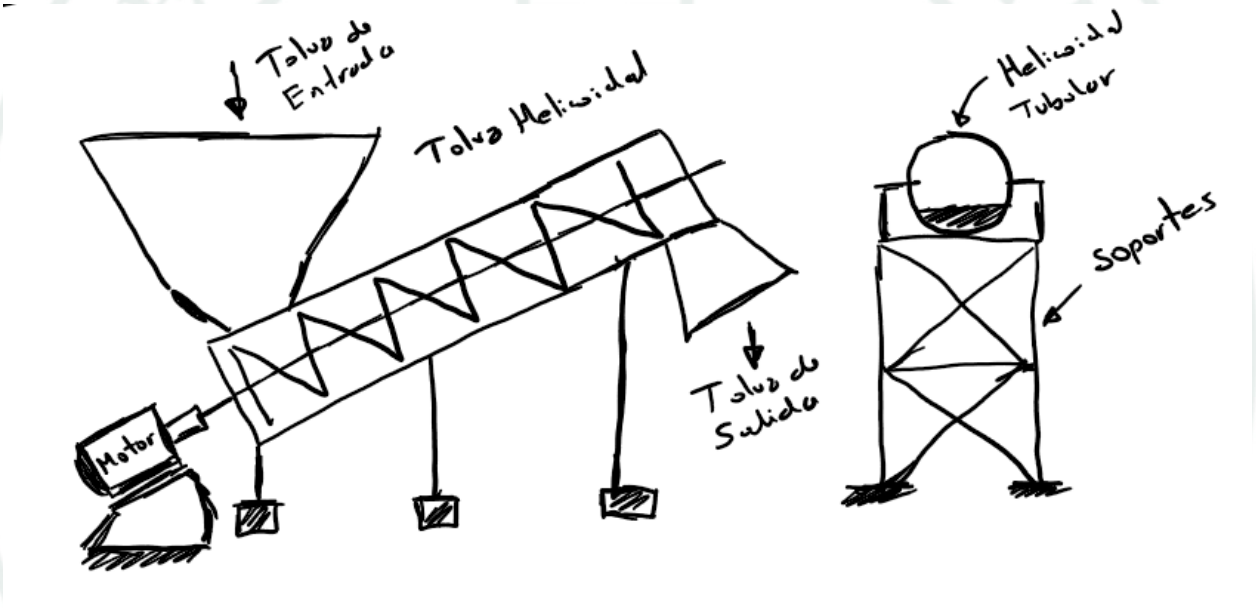
Nota. Elaboración Propia.

- Concepto de Solución 2.

El material será recepcionado por una tolva, esta tolva alimentara un tornillo transportador inclinado, para la recolección de polvo se usarán filtros de mangas en las zonas críticas como tolvas de carga y descarga, para la estructura de soporte se emplearán armaduras ya que permiten grandes claros sin soportes intermedios, finalmente el cemento será transportado a la tolva de recuperación.

Figura 15

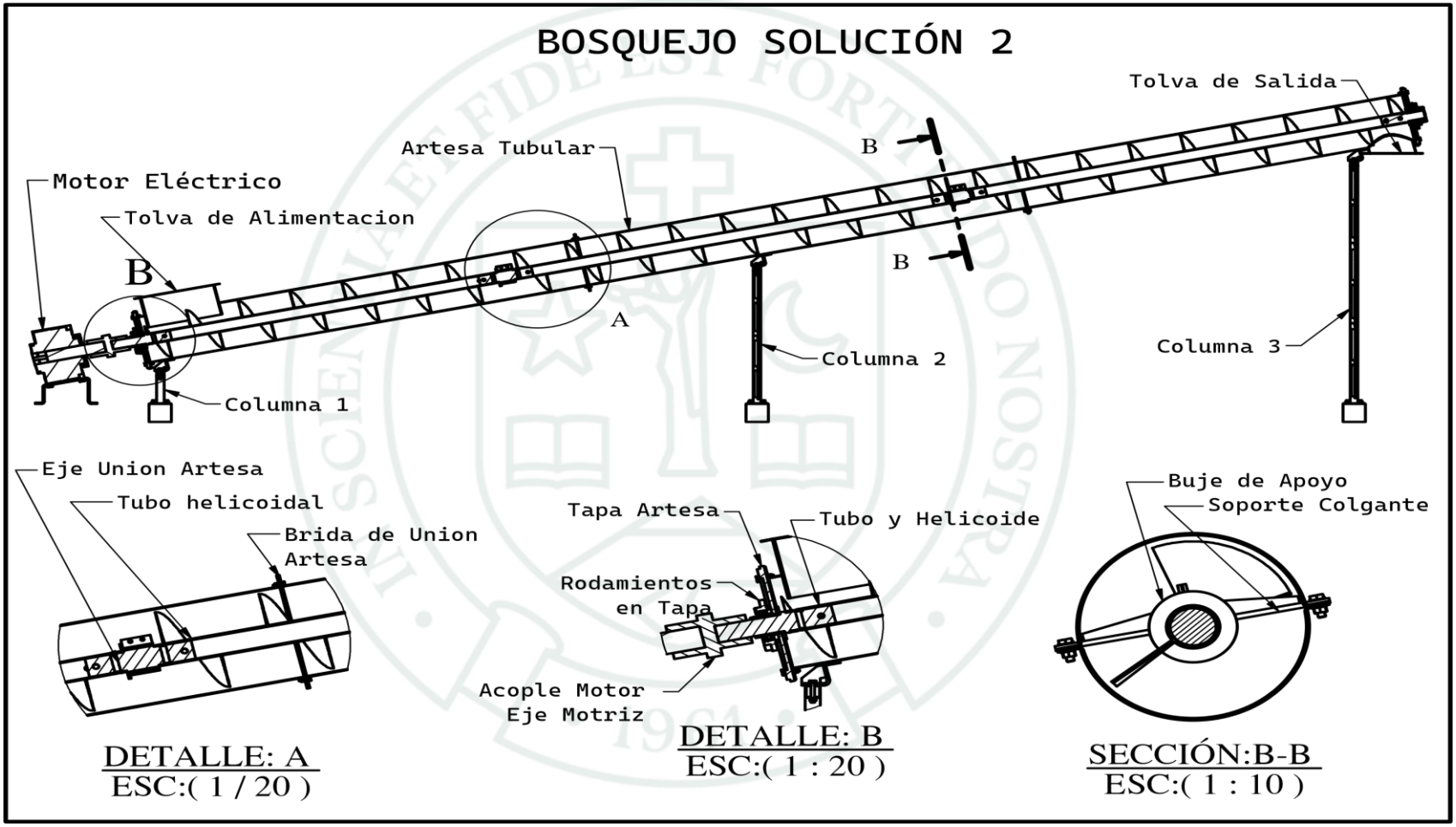
Concepto de solución 2



Nota. Elaboración Propia.

Figura 16

Bosquejo Solución 2



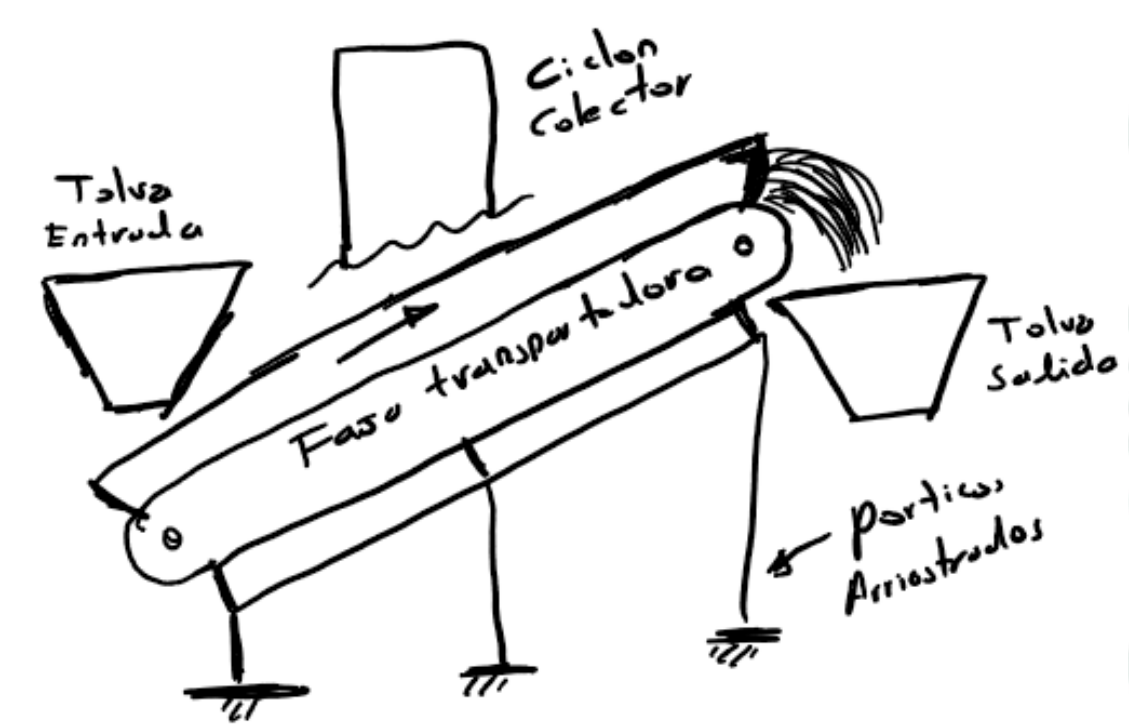
Nota. Elaboración Propia.

- Concepto de Solución 3.

El material será recepcionado por la tolva, el transporte del material será mediante una faja tubular inclinada, para la recolección de polvo se usará un ciclón colector en la zona de tolva de carga, para la estructura de soporte se emplearán pórticos arriostrados fijos finalmente el cemento será transportado a la tolva de recuperación.

Figura 17

Concepto de Solución 3



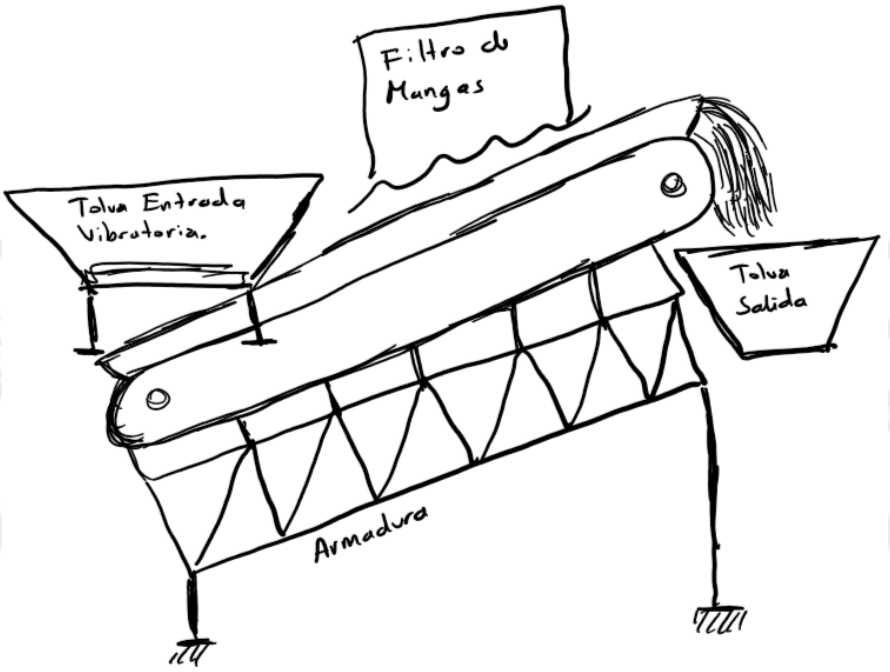
Nota. Elaboración Propia.

- Concepto de Solución 4.

El material será recepcionado por la tolva vibratoria que ayudará con la fluides y la alimentación hacia una faja transportadora tubular inclinada que se encargará de llevar el material, la recolección de polvo será mediante filtros de mangas, la faja será soportada por una estructura de armaduras con soportes al inicio y al final, finalmente el cemento será transportado a la tolva de recuperación.

Figura 18

Concepto de Solución 4



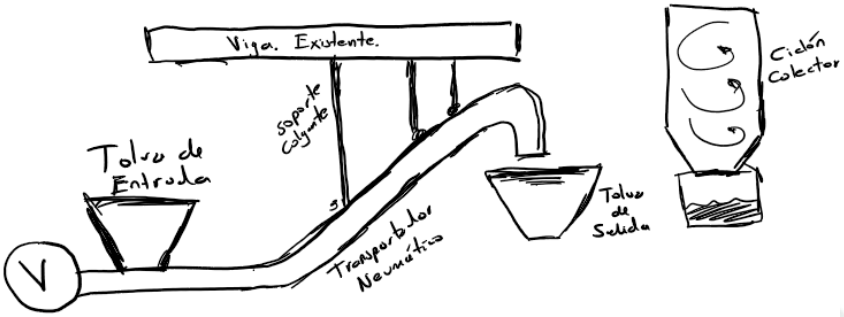
Nota. Elaboración Propia.

- Concepto de Solución 5.

El material será recepcionado por la tolva vibratoria que ayudará con la fluidez y la alimentación hacia un transportador neumático que bajo presión del aire transportará el cemento Portland, la recolección de polvo se hará con ciclones colectores ubicados en la tolva de recepción, la estructura de soporte será mediante elementos anclados hacia las vigas superior de la zona de empaquetado de cemento finalmente el cemento será transportado a la tolva de recuperación.

Figura 19

Concepto de solución 5



Nota. Elaboración Propia.

3.2.5. Selección de Solución Óptima.

Evaluación de las soluciones en base a los conceptos de solución y a criterios técnico y económicos de diseño, a continuación, se establece una puntuación:

- No satisfactorio = 0
- Deficiente = 1
- Adecuado = 2
- Bueno = 3
- Excelente = 4

Tabla 5

Criterios de evaluación eje X

Criterios de evaluación en base a funciones														
Variantes de proyectos		Peso	Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución 4		Solución 5		Solución ideal	
Nr.	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Eficiencia de Funcionamiento	3	3	9	4	12	3	9	3	9	3	9	4	12
2	Peso	2	2	4	3	6	2	4	2	4	1	2	4	8
3	Recolección	3	3	9	3	9	3	9	4	12	2	6	4	12
4	Facilidad de operación	1	3	3	2	2	3	3	2	2	2	2	4	4
5	Facilidad de montaje	3	1	3	2	6	3	9	2	6	2	6	4	12
6	Fabricación	2	2	4	3	6	2	4	1	2	2	4	4	8
7	Tamaño	1	1	1	3	3	1	1	1	1	2	2	4	4
Puntaje máximo Σp ó Σgp				33		44		39		36		31		60
Valor técnico Eje xi				0.55		0.73		0.65		0.60		0.52		1,00

Nota. Elaboración Propia bajo la norma VDI 2225.

Tabla 6

Criterios de evaluación eje Y

Criterios de evaluación en base a funciones														
Variantes de proyectos		Peso	Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución 4		Solución 5		Solución ideal	
Nr.	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Simplicidad de diseño	3	2	6	3	9	2	6	3	9	3	9	4	12
2	Fácil adquisición de materiales	1	3	3	3	3	3	3	2	2	1	1	4	8

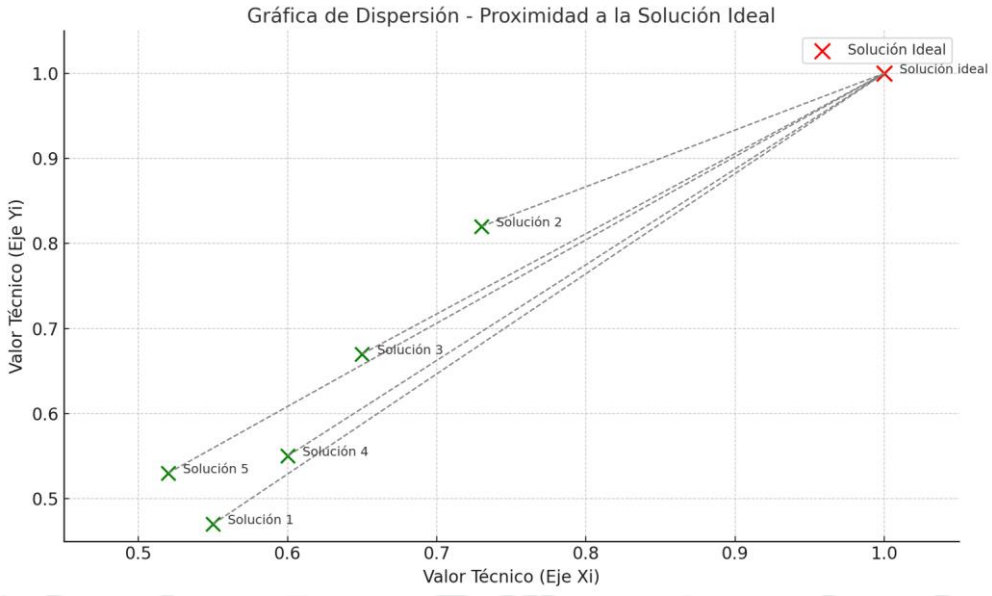
Criterios de evaluación en base a funciones														
Variantes de proyectos		Peso	Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución 4		Solución 5		Solución ideal	
Nr.	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
3	Costo de materiales	2	2	4	4	8	2	4	4	8	2	4	4	12
4	Montaje	2	2	4	3	6	3	6	2	4	2	4	4	4
5	Facilidad de fabricación	3	2	6	3	9	3	9	2	6	2	6	4	12
6	Costo de fabricación	3	1	3	4	12	3	9	1	3	2	6	4	8
7	Mantenimiento	1	2	2	2	2	3	3	1	1	2	2	4	4
Puntaje máximo Σp ó Σgp				28		49		40		33		32		60
Valor técnico Eje yi				0.47		0.82		0.67		0.55		0.53		1,00

Nota. Elaboración Propia bajo la norma VDI 2225.

La opción óptima por criterios tanto técnicos como económicos, obteniendo puntajes de 0.73 y 0.82 respectivamente cercanos a los ideales que es 1, la solución 2 es la que se acerca a estos criterios.

Figura 20

Gráfica de Dispersión



Nota. Elaboración Propia.

CAPÍTULO IV

4. Diseño del sistema transportador.

4.1. Cálculo del tornillo transportador:

Para el cálculo del tornillo transportador compuesto principalmente por la artesa y helicoide se tiene un procedimiento detallado en el catálogo técnico Martin perteneciente al grupo Cema, este procedimiento solo abarca al tamaño de artesa y dimensionamiento del helicoide, el resto de las componentes serán seleccionados y/o diseñados bajo los conceptos del diseño de elementos de máquinas.

- Condiciones básicas de diseño, densidades, capacidades, velocidades, diámetro de espira

Peso del material en todo el tramo:

$$\gamma = 94\ \frac{lb}{pie^3}$$

Para una capacidad de 25 ton/hr o 55115.57 lb/hr

$$CAP_{req} = \frac{Q}{\gamma}$$

$$CAP_{req} = \frac{55115.57 * lb/hr}{94\ lb/pie^3} = 586.64\frac{pie^3}{hr}$$

- Factores que Modifican la Capacidad Equivalente.

Según el catálogo técnico Martin para selección y diseño de componentes en tornillos helicoidales se tiene

- Factores por paso de helicoide.

Este factor tiene que ver con la geometría del helicoide, específicamente con la relación paso/diámetro, para el proyecto se tendrá un paso estándar, con lo cual el factor por paso es CF1=1

Tabla 7

Factores de capacidad para transportador con paso especial CF1

Tipo	Descripción	CF1
Estándar	Paso = Diámetro del Helicoidal	1.00
Corto	Paso = 2/3 Diámetro del Helicoidal	1.50
Medio	Paso = 1/2 Diámetro del Helicoidal*	2.00
Largo	Paso = $1\frac{1}{2}$ Diámetro del Helicoidal	6.67

Nota. Adaptado Manejo de Materiales Manual Martin Sección H-español, (pág. H-10)

- Factor por tipo de helicoide.

Este factor tiene que ver con el tipo de helicoide y el proceso de fabricación, los helicoidales más empleados son de corte por su sencillez de fabricación, son secciones de helicoide correspondientes al paso soldadas hacia el eje tubular, no se emplearan helicoidales con cortes, dobleces o de listones. CF2=1

Tabla 8

Factores de capacidad para transportador con helicoidal especial CF2

Tipo de Helicoidal	*Carga* 15%	Carga 30%	Carga 45%
Helicoidal con Corte	1.95	1.57	1.43
Helicoidal con Corte y Doblez	N.R.*	3.75	2.54
Helicoidal de Listón	1.04	1.37	1.62

*No se recomienda

Si no se utiliza ninguno de los tipos anteriores de helicoidal CF2=1

Nota. Adaptado Manejo de Materiales Manual Martin Sección H-español, (pág. H-10)

Factor por paletas mezcladoras.

Nuestro proyecto no contempla equipos que requieran paletas mezcladoras ya que el único objetivo es transportar el material. CF3=1

Tabla 9

Capacidad para transportar con paletas mezcladores CF3

Paletas por Paso Invertido a 45°	*Paletas* por Paso				
	Ninguna	1	2	3	4
Factor CF_3	1.00	1.08	1.16	1.24	1.32

Nota. Adaptado Manejo de Materiales Manual Martin Sección H-español, (pág. H-10)

- Factor de eficiencia por inclinación de transportador.

Se sabe que los tornillos transportadores helicoidales presentan perdidas volumétricas cuando están inclinados, esto depende exclusivamente del ángulo de inclinación ver Tabla 10, para el proyecto tenemos un ángulo de 16.7° interpolando tenemos un valor de 65.5%.

Tabla 10

Factor por inclinación

Inclinación (°)	*10*	15	20	25	30	35
Eficiencia Volumétrica (%)	90	74	55	42	30	22

Nota. Manual CEMA 350-2015.

$$n_{vol} = 0.655$$

Luego:

$$CAP_{EQ} = CF_1 \cdot CF_2 \cdot CF_3 \cdot \frac{CAP_{req}}{n_{vol}}$$

$$CAP_{EQ} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{586.64}{0.655} = 895.63 \frac{pie^3}{hr}$$

- Velocidad y diámetro del helicoide:

Con carga de artesa 30%B recomendada en el Anexo 1, tenemos una velocidad máxima de 50 rpm y una carga de 1040 pie3/hr como muestra el Anexo 2.

$$CAP_{EQ} = 895.63 \frac{pie^3}{hr}$$

Verificando:

$$N = \frac{895.63}{50} = 17.91\ RPM < N_{max}$$

Selección: D = 14” (Diámetro de espira)

N = 17.91 RPM

Verificamos el diámetro:

- Al no presentar restricción por tamaño de partícula, podemos ver en el Anexo 3, apreciamos un diámetro de 14”, un diámetro de tubo de 4”.

4.1.1. Grupo de equipos y componentes sugeridos por Martin.

- Selección de componentes artesa y cubierta:

Tramo total: mostrado en el Anexo 4, D = 14”, Deje = 2 7/16”, Helicoidal seccional 14S509 Artesa 12 Cal. Cubierta = calibre 14.

- Selección de bujes para colgantes (Rodamiento):

Según el Anexo 5 sugiere una clase de componentes H, del mismo anexo también tenemos:

Buje de Hierro endurecido Cema T = 500°F, Fb = 3.4

4.1.2. Determinación de potencia y torque requeridos

- Factor del diámetro del Transportador Fd.

El factor Fd correspondiente al diámetro del transportador según el Anexo 6, es Fd=78.

- Factor del Buje para colgante Fb.

El factor Fb correspondiente al factor de buje para colgante según el Anexo 7

Anexo 7, es Fb=3.4

- Factor de Potencia por carga de Artesa Ff.

  Para una carga de artesa del 30% según el Anexo 8. Ff=1

- Factor de Potencia por Paleta Fp.

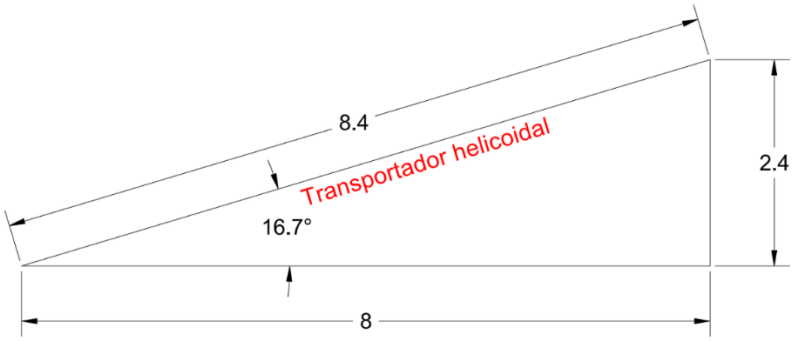
  El proyecto no presenta paletas por lo tanto según el Anexo 9, Fp=1

- Potencia para mover el transportador en vacío:

  Tenemos un tramo total de 8.4 m o 27.6 pies

Figura 21

Inclinación del transportador helicoidal



Nota. Elaboración propia

$$H_{bf} = \frac{L \cdot N \cdot F_b \cdot F_d}{1000000}$$

Donde:

L = Longitud total del transportador, en pies.

N = Velocidad de Operación, RPM (revoluciones por minuto).

Fd = Factor del diámetro del transportador

Fb = Factor del buje para colgante

$$H_{bf} = \frac{27.6\, pies \cdot 18\, RPM \cdot 3.4 \cdot 78}{1000000}$$

$$H_{bf} = 0.132\, HP$$

4.1.2.1. Potencia para mover el material:

La potencia para mover el material Hbm en hp se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$H_{bm} = \frac{C \cdot L \cdot W \cdot F_f \cdot F_m \cdot F_p}{1000000}$$

Donde:

C = Capacidad en pies cúbico por hora.

W = Densidad del material en libras por pie cúbico.

Ff = Factor de helicoidal

F m = Factor de material

F p = Factor de las paletas (cuando se requieran)

$$H_{bm} = \frac{895.63 \cdot 27.6 \cdot 94 \cdot 1 \cdot 1.4 \cdot 1}{1000000}$$

$$H_{bm} = 3.25\ HP$$

4.1.2.2. Potencia para elevar el material:

La potencia para mover elevar el material Hpe en hp se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$H_{pe} = \frac{T \cdot H}{1000000}$$

Donde:

T = Capacidad de transporte en lb/hr.

H = Altura en pies.

$$H_{pe} = \frac{55115.57\ lb/hr * 7.87 ft}{1000000}$$

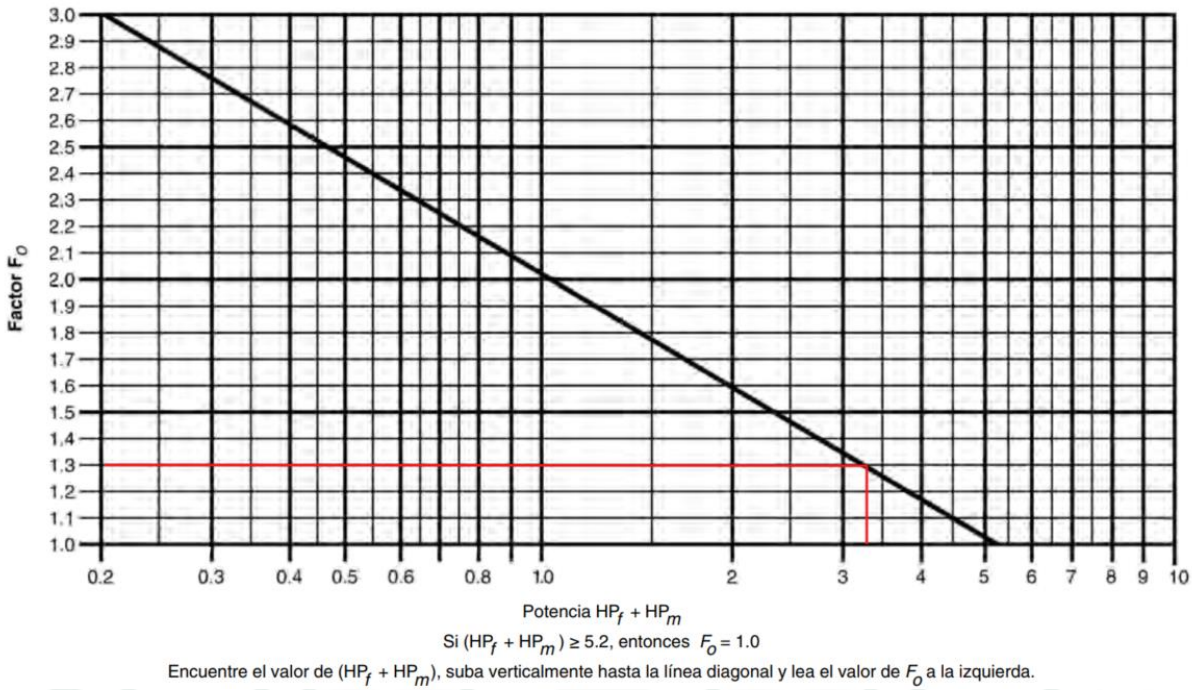
$$H_{pe} = 0.43\ HP$$

- Factor de Sobrecarga:

Este factor implica la potencia del transportador en vacío, y la potencia para mover el material, se aprecia en el Figura 22, $H_{bf} + H_{bm} = 3.38\ HP$ entonces Fo=1.3

Figura 22

Factor de Sobrecarga Fo



Nota. Adaptado Manejo de Materiales Manual Martin Sección H-español, (pág. H-24)

- Factor de Eficiencia de transmisión.

Por último, se tiene el factor por transmisión, para el proyecto se empleará un motorreductor con Acople 0.95.

4.1.2.3. Potencia Total.

La potencia total se calcula mediante la siguiente expresión.

$$H_b = \frac{F_o \cdot \left(H_{bf} + H_{bm} + H_{pe} \right)}{e}$$

$$H_b = \frac{1.3 \cdot (0.132 + 3.25 + 0.43)}{0.95}$$

$$H_{pe} = 5.21\ HP = motor\ de\ 4\ kW$$

El motor se ubicará en la parte inicial, ya que la tolva de cemento residual no presenta espacio, el factor de 0.95 fue extraído del Anexo 10 y corresponde a un Motorreductor con Acople.

4.1.2.4. Torque:

El torque se calculó con la siguiente expresión.

$$T = \frac{\text{Pmotor}}{\text{N}}$$

Donde:

Pmotor = Potencia del motor en hp.

N = Revoluciones del helicoide.

$$T = \frac{5.36 \cdot hp}{18\ RPM} = 18767.55\ Lbf * in$$

Verificamos el torque: con los valores obtenidos en el Anexo 11, (Cedula 40)

Deje = 2 7/16”: Teje = 18247 lb-pulg (¡NO CUMPLE!)

Dtubo = 3”: Ttubo = 23100 lb-pulg (¡OK CUMPLE!)

El torque en el eje está por debajo del valor calculado, estos valores son referenciales ya que estos elementos de máquinas se seleccionarán o diseñarán posteriormente.

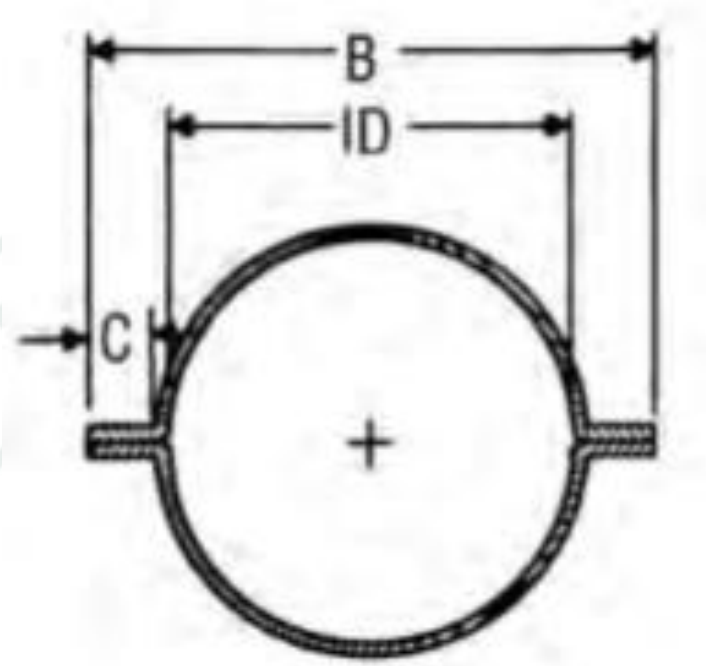
4.1.3. Selección de la artesa.

Para mitigar el polvo emplearemos artesas tubulares, son más eficientes en secciones circulares ya que mitigan el efecto de retorno, para facilitar el mantenimiento seleccionaremos artesa tubular bipartida con ceja, su desmontabilidad es excelente para tareas de mantenimiento y pueden aplicarse sellos en la unión para reducir el polvo, se seleccionará una artesa calibre 10 o 3.42mm, numero de parte 14CHT10, el peso por cada 10 pies es de 308 lb según el Anexo 12 la forma y medidas se muestran en Figura 23.

El peso total es de 30.8lb/pie*27.6pie es de 850.08 lb

Figura 23

Artesa tubular bipartida con ceja



Nota. Adaptado Manejo de Materiales Manual Martin Sección H-español, (pág. H-54)

4.1.4. Dimensiones del helicoide seccional.

Por la facilidad de fabricación se emplearán helicoides seccionales código 14SF512 la información y geometría se muestra en el Anexo 13. Tiene un peso de 18 lb/pie para una longitud total de 27.6 pies es de 496.8lb.

4.1.5. Cálculo de la Deflexión.

La deflexión se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$D = \frac{5 \cdot W \cdot L^3}{384 \cdot 29000000 \cdot I}$$

Donde:

D= Deflexión al Centro del Claro en pulgadas

W= Peso Total del Helicoidal en libras

L= Longitud del Helicoidal en pulgadas

I= Momento de Inercia del Tubo o los Ejes

El momento de inercia se obtiene del Anexo 14, para un tubo SCH 40 de 3” de diámetro es de 3.02, la deflexión se calcula de la siguiente manera:

$$D = \frac{5 \cdot 496.8 \cdot 331.2}{384 \cdot 29000000 \cdot 3.02} = 2.68\, pul$$

$$D = 2.68 > 0.25 \;\; La\ deflexion\ es\ demasiado\ grande$$

Para tener una deflexión menor a 0.25 pulgadas, calculamos la longitud de soporte.

$$0.25 = \frac{5 \cdot 1475.4 \cdot L^3}{384 \cdot 29000000 \cdot 7.23}$$

$$Lmin = 150.14\," \;=\; 12.51\, pies$$

Entonces el número de soportes es de

$$Nsoportes = \frac{Ltotal}{Lmin}$$

$$Nsoportes = \frac{27.6ft}{12.51ft} = 2.2$$

Se tendrán 2 apoyos separados 9.2 pies

4.1.6. Selección de soporte intermedio.

Los soportes intermedios en artesas tubulares requieren una tapa de casquillo, para poder sujetar los soportes colgantes, además los soportes deben tener una forma de semicircunferencia de esta manera la instalación es sencilla, en el Anexo 15 se muestra un soporte colgante recto, este soporte debe modificarse y tener una curvatura igual al diámetro de la artesa tubular.

Estos cálculos y/o seleccione son preliminares posteriormente se calcularán mediate la mecánica de materiales y estudios por elementos finitos, de esta forma garantizar un diseño seguro confiable y eficiente, esto se verá en la sección 4.2.6.

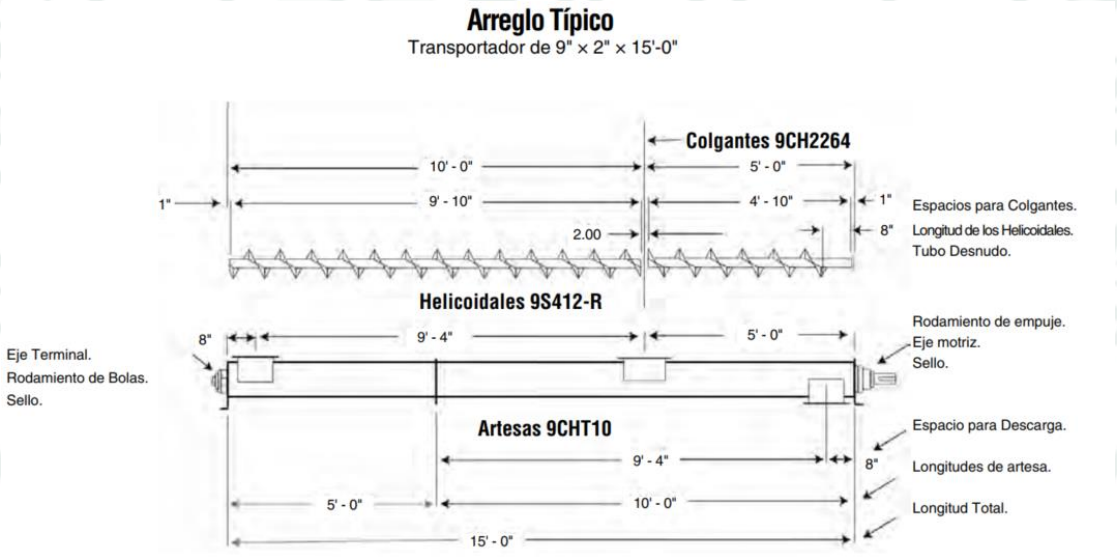
4.2. Verificación de elementos de máquina del Transportador.

4.2.1. Creación del modelo de cálculo en Helicoide, Tubo y Eje Motriz.

Tenemos un tornillo transportador de 8.4 metros, lo cual es una distancia considerable especialmente por la deflexión que se produce, el manual de (Martin Sprocket & Gear, Inc., 2013, p. H41) para artesas tubulares recomienda que la distancia máxima del helicoide sin soportes intermedios es de 9'-10'' o 3m como se muestra en la Figura 24, siguiendo esta recomendación dividiremos el helicoide en tres secciones, con dos apoyos intermedios, esta sección simplificada como un diagrama de cuerpo libre se muestra en la Figura 25, para ello se procederá a resumir las cargas que actúan sobre el modelo.

Figura 24

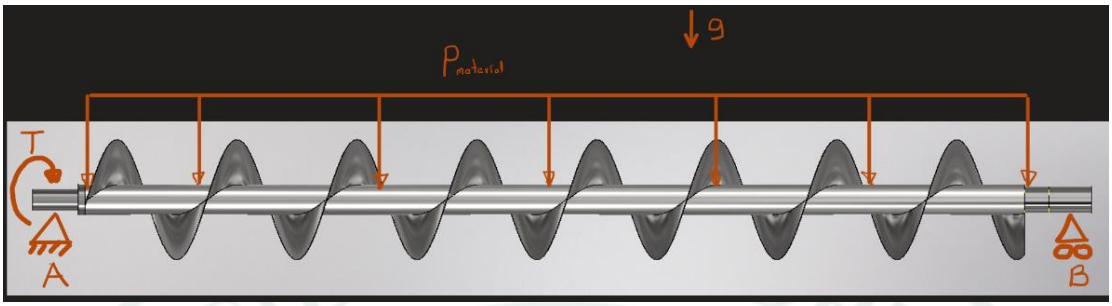
Arreglo típico para transportadores helicoidales



Nota. Arreglos Típicos para artesas tubulares en transportadores helicoidales, Adaptado Manejo de Materiales Manual Martin Sección H-español, (pág. H-41)

Figura 25

DCL Tornillo primer tramo



Nota. Diagrama de cuerpo libre, con un apoyo fijo y el otro móvil, comportamiento como una viga simplemente apoyada, Fuente Elaboración propia.

4.2.1.1. Metrado de cargas y reacciones.

- Carga Muerta. Se produce por las acciones del peso propio, corresponde a el peso del helicoide, el tubo y los ejes, esta información la podemos obtener del modelado, se tiene 67 kgf o 660.97N
- Carga Viva. Se produce por la acción del material, es decir el peso del cemento, para ello se calculará el peso que depende del peso del material, la longitud, el volumen de carga y:

$$\rho := 94\,\frac{lbf}{ft^3} = 14.77\,\frac{kN}{m^3}$$ Densidad del cemento Pórtland

$$D_{artesa} := 14\,in = 0.36\,m$$ Diámetro de la Artesa

$$L_{tramo} := 9.2\,ft = 2.8\,m$$ Longitud del primer tramo

$$V := 30$$ Volumen del material en el primer tramo, cargado al 30%

$$V = 0.08\,m^3$$ Volumen del material

$$P_{material} := \rho \cdot V = 1233.69\,N$$ Peso del material

Tenemos un peso de 1233.69 N,

- Torque del motor, El torque se calculó en la sección 4.1.2.4 tiene un valor de T=18767.55lbf*in o 2120.45 N*m
- Reacción Punto A y B,

$$R_A = \frac{P_{material} + CM}{2}$$

$$R_A = \frac{1233.69N + 670.77N}{2}$$

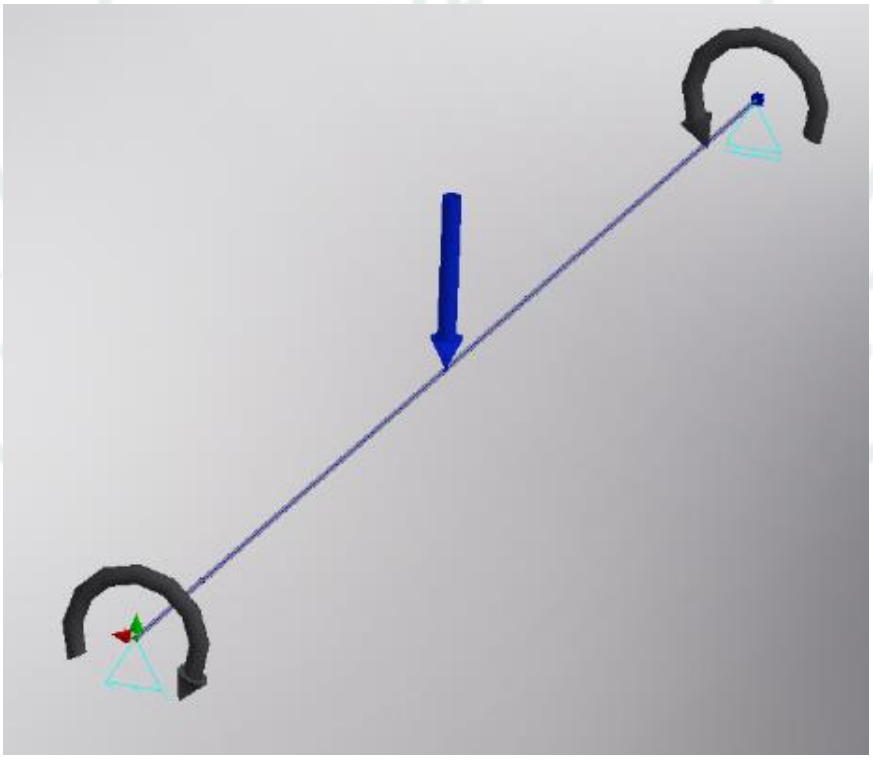
$$R_A = 952.23N$$

4.2.1.2. Diagramas de Fuerza Cortante y momento Flector.

Este procedimiento se realizará en el software Inventor 2025, cuenta con un módulo para el diseño de ejes en el cual podemos ver los diagramas de fuerza cortante y momento flector, se ingresan las cargas verticales y los momentos torsores, esto se muestran en la Figura 26, luego de dar en el botón calcular obtendremos las reacciones los diagramas de fuerza cortante y momento flector, los cálculos de las reacciones son exactamente iguales a mano como en el software, de esta forma nos aseguramos de no cometer errores.

Figura 26

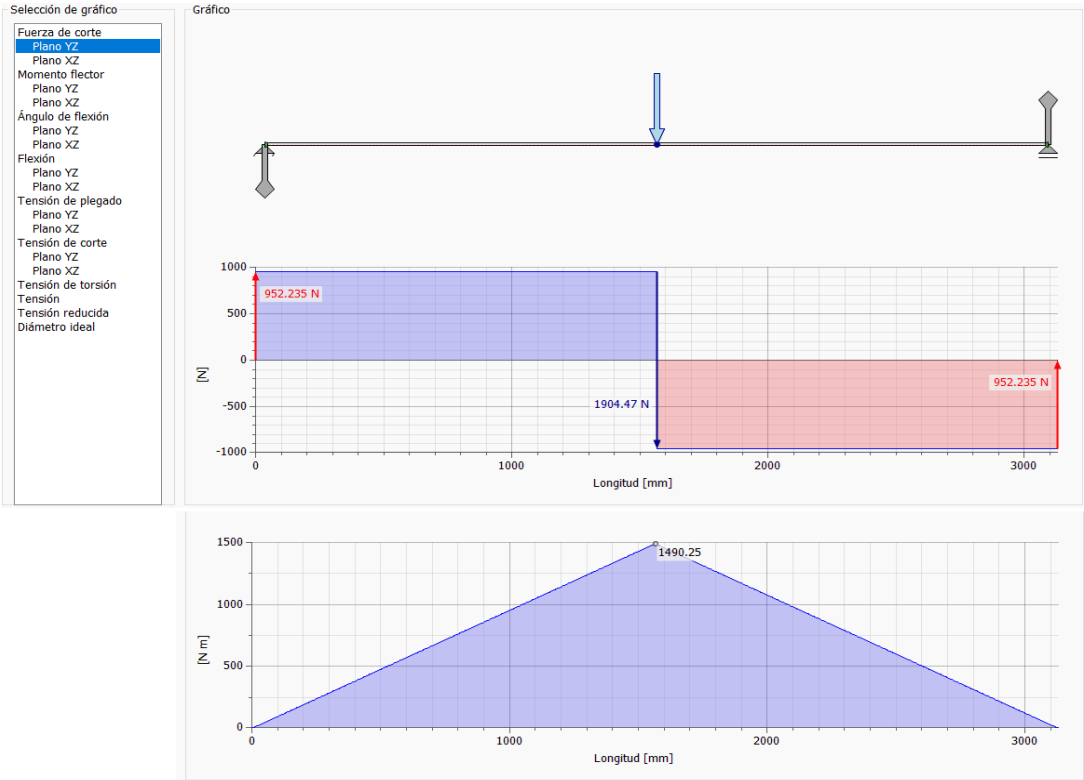
DCL Tornillo primer tramo



Nota. Elaboración propia.

Figura 27

Diagrama de Fuerza Cortante y Momento Flector.



Nota. Parte Superior del grafico Diagrama de Fuerza Cortante, fuerza en Newtons y Distancia en mm, en la parte inferior del grafico tenemos el Diagrama de Momento Flector. Fuente: Elaboración propia.

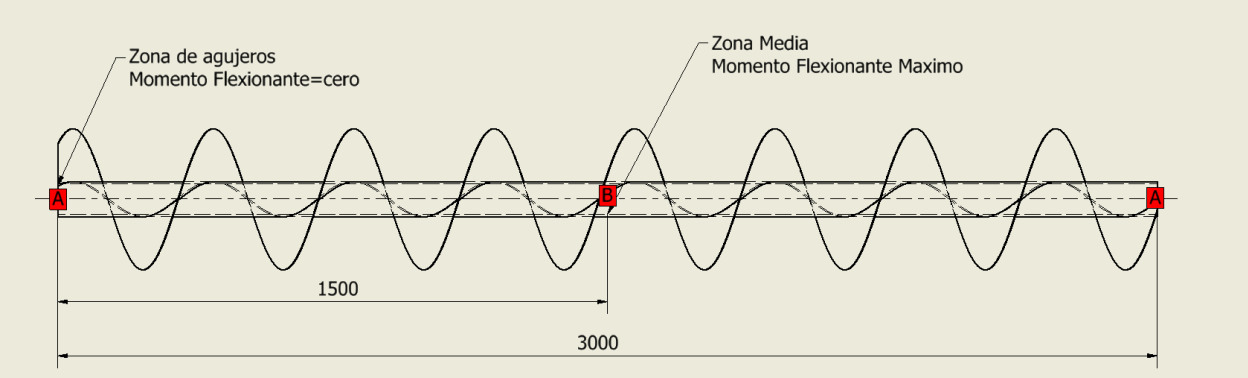
4.2.2. Verificación del tubo a fatiga.

Se procede a verificar el tubo seleccionado por el catálogo Martin, para saber realmente si el soporta las condiciones de carga, especialmente el torque y el momento como cargas internas, para ello se realiza un análisis de fatiga descrito en el libro de Shigley "Diseño en ingeniería Mecánica" (Budynas & Nisbett, 2011, p. 351), previamente se realizó un cálculo para el eje de 3" SH40 y para el eje de 2" 3/16" pero los resultados no fueron los esperados ya que el factor de seguridad a fatiga tenía un valor de 1.09 lo cual es inaceptable ya que se requiere un factor superior a 2.

La evaluación del diámetro se tiene que dar en los puntos más críticos la Figura 28 muestran estos puntos, la sección A se encuentran los barrenos en esta el momento flector es cero, y la zona central donde no hay concentradores de esfuerzo donde el momento flexionante alternante es máximo, se evaluaran estas dos secciones criticas para verificar los diámetros y el material de tubo seleccionados.

Figura 28

Zonas críticas del tubo.



Nota. Elaboración propia

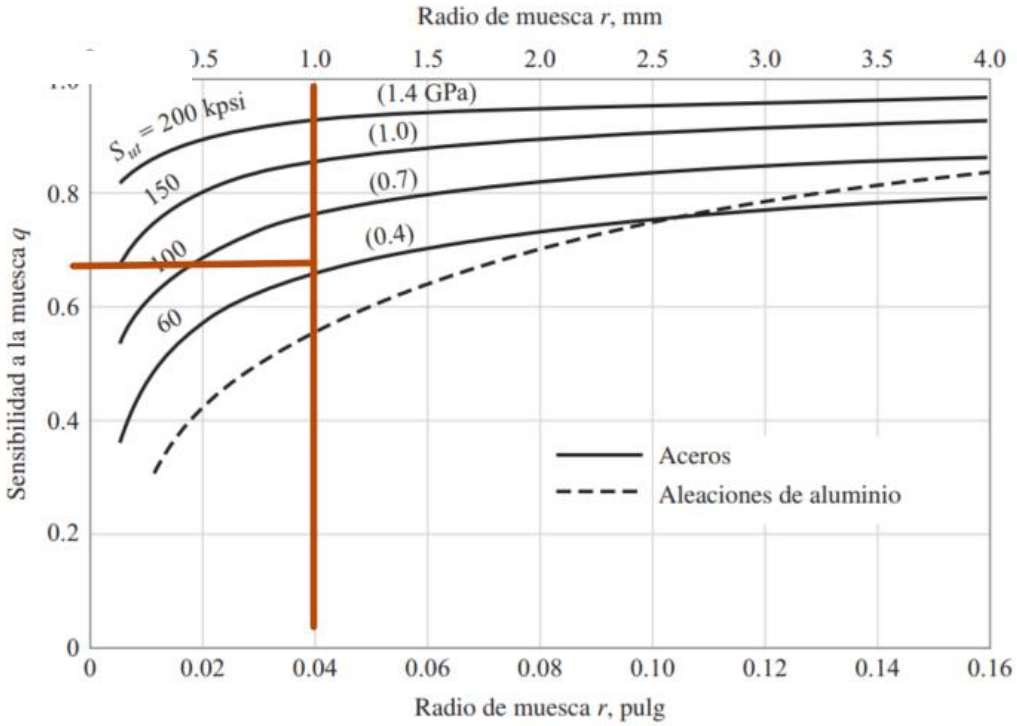
4.2.2.1. Verificación del tubo en la sección de pernos.

Esta sección se caracteriza por la concentración de esfuerzo debido a los pernos o barrenos que sujetan el tubo al eje, soportan el torque medio de 2120.45 N*m, no se presentan momentos flectores por estar en la zona de apoyos.

- Factor "q" por sensibilidad de muesca a flexión inversa de cargas axiales inversas, este factor de se determina mediante la Figura 29, para un acero con esfuerzo ultimo entre 60 a 100 ksi, y un radio de muesca en el tubo de 1mm, el factor "q" es de 0.66

Figura 29

Factor "q" por sensibilidad de muesca.



Nota. Adaptado de Sensibilidad de muesca en el caso de aceros y aleaciones de aluminio, sometidos a flexión inversa de cargas axiales inversas Reimpreso de Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (p. 282), por R. G. Budynas y J. K. Nisbett, 2011, McGraw-Hill.

- Factor "qcortante" por sensibilidad de muesca sometido a torsión inversa, este factor de se determina mediante la Figura 30. para un acero con esfuerzo ultimo entre 60 a 100 ksi, y un radio de muesca en el tubo de 1mm, tenemos un valor de qcortante=0.66

Figura 30

Factor "q" por sensibilidad de muesca.

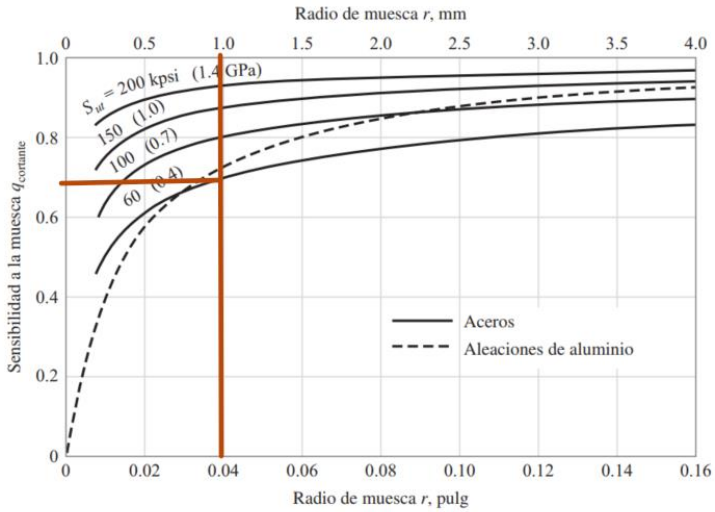


Figura 6-21

Sensibilidad a la muesca de materiales sometidos a torsión inversa. En el caso de radios de muesca más grandes, use los valores de $q_{cortante}$ correspondientes a la ordenada $r = 0.16$ pulg (4 mm).

Nota. Adaptado de Sensibilidad de muesca en el caso de aceros y aleaciones de aluminio, sometidos a torsión inversa. Reimpreso de Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (p. 282), por R. G. Budynas y J. K. Nisbett, 2011, McGraw-Hill

- Factor Kt, concentración de esfuerzo de flexión de un tubo redondo con un agujero sometido a flexión, para un diámetro exterior del tubo SCH40S de 3" es 88.9mm y espesor de 5.49 mm, los agujeros sugeridos par los pernos de acople son de 5/8in, dando una relación a/D=0.625" / 88.9mm=0.18 y un factor d/D = 78/88.9=0.88, con estos valores vamos al Anexo 16, obteniendo un valor de 2.38 aproximadamente.
- Factor Kts, concentración de esfuerzo en un tubo con un agujero redondo, sometido a torsión, las relaciones a/d=0.18 y d/D=0.9 son las mismas ya que se trata del mismo tubo, del Anexo 17, obtenemos un valor de 1.81 aproximadamente.
- Se calculan los factores de concentración de esfuerzo a flexión y a torsión Kf y Kfs respectivamente.

$$K_f \coloneqq 1 + q \cdot (K_t - 1) = 1.91$$

$$K_{fs} \coloneqq 1 + q_{cortante} \cdot (K_{ts} - 1) = 1.53$$

- Selección del material.

Por las condiciones del ambiente portuario de corrosión y cierto grado de abrasividad del cemento se asignará un acero ASTM A304 inoxidable las propiedades de este acero se muestran a continuación.

Figura 31

Propiedades del material AISI 304

$S :=$ Material: AISI 304

$S_{ut} = 73.25\ \boldsymbol{ksi}$	$S_{ut} = 505.04\ \boldsymbol{MPa}$	Esfuerzo ultimo
$S_y = 31.2\ \boldsymbol{ksi}$	$S_y = 215.12\ \boldsymbol{MPa}$	Esfuerzo de fluencia

Nota. Adaptado de, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, por R. G. Budynas y J. K.

- *Límite de resistencia a la fatiga.* Para el material AISI 304, sus propiedades se muestran en la Figura 31.

Figura 32

Factor de resistencia a la fatiga

$$S'_e = \begin{cases} 0.5 S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi } (1\,400 \text{ MPa}) \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ MPa} & S_{ut} > 1\,400 \text{ MPa} \end{cases} \qquad (6\text{-}8)$$

$$S'_e := \left\| \begin{array}{l} \text{if } S_{ut} \leq 200\ \boldsymbol{ksi} \\ \quad \left\| S'_e \leftarrow 0.5 \cdot S_{ut} \right. \\ \text{else} \\ \quad \left\| S'_e \leftarrow 100\ \boldsymbol{ksi} \right. \end{array} \right. = 100.000\ \boldsymbol{ksi}$$

$S'_e = 100.000\ \boldsymbol{ksi}$

Nota. Adaptado de, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, por R. G. Budynas y J. K.

4.2.2.2. Factores que modifican la resistencia a fatiga.

- Factor de modificación por superficie Ka, para este factor consideraremos una superficie esmerilada y maquinada, por lo tanto, emplearemos el factor más desfavorable, esto se muestra en el Anexo 18 y tiene un valor de 0.838.

- Factor de Tamaño Kb, este factor depende del diámetro que es de 88.9mm

Figura 33

Factor de tamaño.

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \le d \le 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \le 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \le d \le 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \le 254 \text{ mm} \end{cases} \quad (6\text{-}20)$$

$d := 88.9\ \boldsymbol{mm} = 3.5\ \boldsymbol{in}$ Diámetro Asumido

$$d := \frac{d}{\boldsymbol{in}} = 3.5$$

$$k_b := \left\| \begin{array}{l} \text{if } 0.11 \le d \le 2 \\ \quad \| \; k_b \leftarrow 0.879 \cdot d^{-0.107} \\ \text{else} \\ \quad \| \; k_b \leftarrow 0.91 \cdot d^{-0.157} \end{array} \right\| = 0.75$$

$$k_b = 0.75$$

Nota. calculo adaptado de, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, por R. G. Budynas y J. K.

- Factor de temperatura Kc, para los casos de flexión alternante se considera 1, para los casos de torque alternante se considera 0.59, y para los casos de fuerza axial alternante un valor de 0.85.

Figura 34

Factor de temperatura

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión}^{17} \end{cases} \quad (6\text{-}26)$$

$k_c :=$ Factor Temperatura: Flexión

$k_c = 1$

Nota. calculo adaptado de, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, por R. G. Budynas y J. K.

- Factor de Temperatura Kd, por las condiciones climáticas se ha registrado temperaturas de 30 a 35 grados en el lugar de trabajo por lo cual se tomará una temperatura de 50 grados, Según el Anexo 19, el valor es de kd=1.01
- Factor de Confiabilidad Ke, Según el Anexo 20, es de 0.75 para una confiablidad del 99%
- Factor por Efectos Varios. Kf. Este factor contempla aspectos como la corrosión tratamientos superficiales térmicos que pudieran reducir o amplificar fallas por fatiga tensional. Se asumirá un valor de 1.

$$\boldsymbol{k_a = 0.93 \quad k_b = 0.75 \quad k_c = 1 \quad k_d = 1.01 \quad k_e = 0.75 \quad k_f = 1}$$
$$\boldsymbol{S_e = S_{,e} * k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f = 19.37\ ksi}$$

- Momentos y Torques medios y alternantes. Para los casos donde el ede asfuerzo a flexión y la torsión sean constantes el esfuerzo flexionante es completamente reversible podemos igual Mm y Ta a cero (Budynas & Nisbett, 2012)

$M_a \coloneqq 1490.25$ N·m	Momento flexionante alternante
$M_m \coloneqq 0$ N·m	Momento flexionante medio, es cero
$T_m \coloneqq 2120.45$ N·m	Torque medio, el eje gira a velocidad constante
$T_a \coloneqq 0$ (N·m)	Torque alternante, no existe torque alternante

4.2.2.3. Verificación del factor de seguridad según teoría de Energía de Distorsión y ASME-Elíptica, sección de pernos.

Procedemos a calcular los esfuerzos alternantes y flexionantes.

$d_1 \coloneqq 88.9$ mm	Diámetro exterior del tubo
$d_2 \coloneqq 77.92$ mm	Diámetro interior del tubo
$I \coloneqq \frac{\pi}{64}(d_1^4 - d_2^4) = 125.65\ \text{cm}^4$	Inercia del tubo
$J \coloneqq 2 \cdot I = 251.3\ \text{cm}^4$	Inercia polar del tubo
$\sigma_a \coloneqq K_f \cdot \frac{M_a \cdot d_1}{2 \cdot I} = 0$ MPa	Esfuerzo por flexión alternante
$\sigma_m \coloneqq K_f \cdot \frac{M_m \cdot d_1}{2 \cdot I} = 0$ MPa	Esfuerzo por flexión media

$$\tau_a := K_{fs} \cdot \frac{T_a \cdot d_1}{2 \cdot J} = 0 \text{ MPa}$$ Esfuerzo por torque alternante

$$\tau_m := K_{fs} \cdot \frac{T_m \cdot d_1}{2 \cdot J} = 57.56 \text{ MPa}$$ Esfuerzo por torque medio

$$\sigma'_a := (\sigma_a^2 + 3 \cdot \tau_a^2)^{1/2} = 0 \text{ MPa}$$ Esfuerzo alternante de Von Mises

$$\sigma'_m := (\sigma_m^2 + 3 \cdot \tau_m^2)^{1/2} = 99.69 \text{ MPa}$$ Esfuerzo medio de Von Mises

$$n_1 := \frac{\sqrt{S_e^4 \cdot S_y^2 \cdot \sigma_m'^2 + S_e^2 \cdot S_y^4 \cdot \sigma_a'^2}}{S_e^2 \cdot \sigma_m'^2 + S_y^2 \cdot \sigma_a'^2}$$ Factor de seguridad bajo criterio ASME ELIPTICA

$$n_1 = 2.2$$ Resultado del factor de seguridad

Este análisis fue solo considerando el tubo como elemento único, el helicoide aumenta la rigidez y por lo tanto se disminuyen los esfuerzos, un cálculo analítico para el eje y el tubo es complicado debido a su geometría por ello se procederá a realizar un estudio bajo cargas estáticas para determinar deformaciones, esfuerzos y factores de seguridad y un estudio por fatiga, ambos usando el método de elementos finitos.

4.2.2.4. Verificación del factor de seguridad según teoría de Energía de Distorsión y ASME-Elíptica, sección media de tubo.

En la Figura 28 la sección B, no presenta factores de concentración de esfuerzo, no hay agujeros para barrenos, chaflane y hombros de asiento, es tubo liso sometido a una torsión de 2120.45 N*m y un momento flector alternante de 1490.25 N*m, los factores que modifican el esfuerzo son los mismo salvo los factores Kf=1 y Kfs=1 ya que no tenemos concentradores de esfuerzo.

$$\sigma_a := K_f \cdot \frac{M_a \cdot d_1}{2 \cdot I} = 52.72 \text{ MPa}$$ Esfuerzo por flexión alternante

$$\sigma_m := K_f \cdot \frac{M_m \cdot d_1}{2 \cdot I} = 0 \text{ MPa}$$ Esfuerzo por flexión media

$$\tau_a := K_{fs} \cdot \frac{T_a \cdot d_1}{2 \cdot J} = 0 \text{ MPa}$$ Esfuerzo por torque alternante

$$\tau_m := K_{fs} \cdot \frac{T_m \cdot d_1}{2 \cdot J} = 37.51 \text{ MPa}$$ Esfuerzo por torque medio

$$\sigma'_a := (\sigma_a^2 + 3 \cdot \tau_a^2)^{1/2} = 52.72 \text{ MPa}$$ Esfuerzo alternante de Von Mises

$$\sigma'_m := (\sigma_m^2 + 3 \cdot \tau_m^2)^{1/2} = 64.96 \text{ MPa}$$ Esfuerzo medio de Von Mises

$$n_2 := \frac{\sqrt{S_e^4 \cdot S_y^2 \cdot \sigma_m'^2 + S_e^2 \cdot S_y^4 \cdot \sigma_a'^2}}{S_e^2 \cdot \sigma_m'^2 + S_y^2 \cdot \sigma_a'^2}$$ Factor de seguridad combinado (Von Mises)

$$n_2 = 2$$ Resultado del factor de seguridad

El tubo cumple con los requerimientos a fatiga en las secciones más críticas, em ambos cálculos el factor de seguridad es mayor o igual a 2, con lo cual se concluye que el tubo de 3" SCH40S.

Tabla 11

Tamaño de tubos de acero AISI 304 Inoxidable comerciales.

Diámetro Nominal	***Diámetro* Externo**	**SCH 10S**			**SCH 40S**			**SCH 80S**		
(pulg)	**(mm)**	**Espesor (mm)**	**kg/m**	**kg (6m)**	**Espesor (mm)**	**kg/m**	**kg (6m)**	**Espesor (mm)**	**kg/m**	**kg (6m)**
1/4	13.7	1.65	0.4	2.4	2.24	0.63	3.78	3.02	0.8	4.8
3/8	17.1	1.65	0.63	3.78	2.31	0.85	5.1	3.2	1.09	6.54
1/2	21.3	1.65	0.85	5.1	2.77	1.27	7.62	3.73	1.62	9.72
3/4	26.7	2.11	1.28	7.68	2.87	1.69	10.14	3.91	2.2	13.2
1	33.4	2.77	2.09	12.54	3.38	2.5	15	4.55	3.24	19.44
1 1/4	42.2	2.77	2.69	16.14	3.56	3.42	20.52	4.85	4.47	26.82
1 1/2	48.3	2.77	3.11	18.66	3.68	4.05	24.3	5.08	5.41	32.46
2	60.3	2.77	4.27	25.62	3.91	5.54	33.24	5.54	7.48	44.94
2 1/2	73	3.05	5.27	31.62	5.16	8.64	51.84	7.01	11.42	68.52
3	88.9	3.05	6.46	38.76	5.49	11.3	67.8	7.62	15.28	91.68
4	114.3	3.05	8.37	50.22	6.02	16.09	96.54	8.56	22.34	134.04
5	141.3	3.4	11.6	69.6	6.55	21.8	130.8	9.53	31.00	186.00

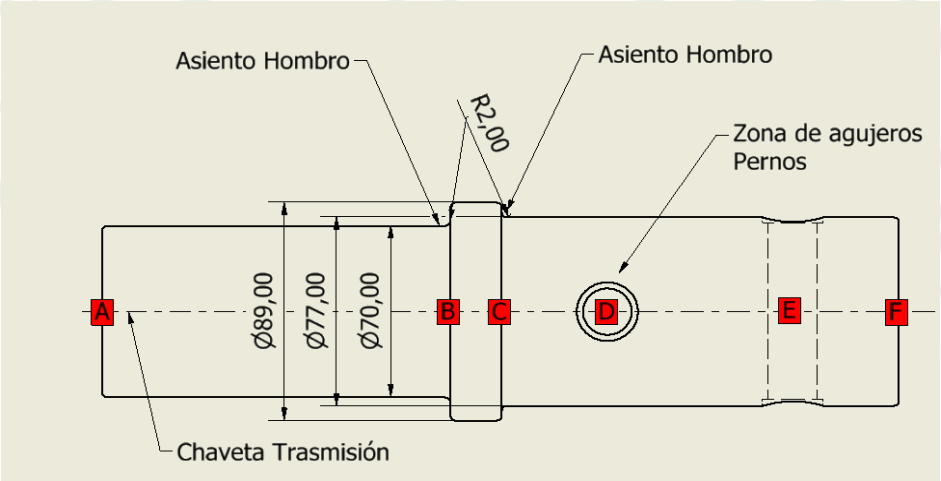
Nota. Adaptado de Fiorella Representación SAC. (Fiorella Representaciones S.A.C.)

4.2.3. Verificación del Eje Motriz a Fatiga.

El eje motriz tiene varias secciones de interés, especialmente en la zona de la chaveta, el asiento del hombro y los barrenos de unión, ya que todos estos provocan concentración de esfuerzo, esto se ve en la Figura 35, para ello se analizará la zona A, B y D con esta información se procederá a verificar los factores de seguridad por ASME Elíptica.

Figura 35

Zonas Críticas del Eje Motriz



Nota. Elaboración propia.

4.2.3.1. Verificación de eje motriz sección Chaveta de Transmisión A.

La sección A mostrada en la Figura 35 corresponde a la chaveta de transmisión, los factores de concentración de esfuerzo por muestra pueden asumirse como los hallados en las figuras Figura 29 y Figura 30, q=qcortane=0.66, para los factores de concentración de esfuerzo por Kt y Kts por concentradores de esfuerzo en el canal chavetero, estos factores se pueden estimar en el Anexo 21.

$K_t := 2.14$ Factor de cuñero fresado a flexión

$K_{ts} := 3$ Factor de cuñero fresado a torsión

$K_f := 1 + q \cdot (K_t - 1) = 1.74$ Factor de concentración de esfuerzo a flexión

$K_{fs} := 1 + q_{cortante} \cdot (K_{ts} - 1) = 2.3$ Factor de concentración de esfuerzo a torsión

- **Material del Eje.**

$S :=$ Material: AISI 1020-CD	Material seleccionado
$S_{ut} = 68$ ksi $\quad S_{ut} = 468.84$ MPa	Esfuerzo último
$S_y = 57$ ksi $\quad S_y = 393$ MPa	Esfuerzo de fluencia

- **Límite de Resistencia a la fatiga.**

Figura 36

Esfuerzo a fatiga modificado

$$S'_e = \begin{cases} 0.5S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1 400 MPa)} \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ MPa} & S_{ut} > 1\,400 \text{ MPa} \end{cases} \qquad (6\text{-}8)$$

$$S'_e := \left\| \begin{array}{l} \text{if } S_{ut} \leq 200\ \textbf{ksi} \\ \quad \left\| S'_e \leftarrow 0.5 \cdot S_{ut} \right. \\ \text{else} \\ \quad \left\| S'_e \leftarrow 100\ \textbf{ksi} \right. \end{array} \right\| = 34\ \textbf{ksi}$$

$$S'_e = 34\ \textbf{ksi}$$

Nota. Elaboración propia basado en, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, por R. G. Budynas y J. K. Nisbett, 2011, McGraw-Hill

- Los factores que modifican el esfuerzo fueron hallados en la sección 0, son los mismo para el eje salvo el factor de tamaño ya que este factor está en función del tamaño de diámetro.
- Factor por tamaño Kb

Figura 37

Factor de tamaño

$d := 70\ \boldsymbol{mm} = 2.76\ \boldsymbol{in}$ Diámetro Asumido

$$d := \frac{d}{\boldsymbol{in}} = 2.76$$

$$k_b := \left\| \begin{array}{l} \text{if } 0.11 \le d \le 2 \\ \quad \| \; k_b \leftarrow 0.879 \cdot d^{-0.107} \\ \text{else} \\ \quad \| \; k_b \leftarrow 0.91 \cdot d^{-0.157} \end{array} \right\| = 0.78$$

$$k_b = 0.78$$

Nota. Elaboración propia basado en, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, por R. G. Budynas y J. K. Nisbett, 2011, McGraw-Hill

- Esfuerzo modificado "Se".

$$\boldsymbol{k_a = 0.94 \quad k_b = 0.78 \quad k_c = 1 \quad k_d = 1.01 \quad k_e = 0.75 \quad k_f = 1}$$

- Momentos Flexionantes y Torque.

$M_a := 0\ N{\cdot}m$	Momento flexionante alternante
$M_m := 0\ lbf{\cdot}in$	Momento flexionante medio, es cero
$T_m := 2120.45\ N{\cdot}m$	Torque medio, el eje gira a velocidad constante
$T_a := 0\ lbf{\cdot}in$	Torque alternante, no existe torque alternante

- Factor de seguridad según teoría de Energía de Distorsión y ASME-Elíptica, sección de chaveta.

$d_{eje} := 70$ mm Diámetro del eje

$$n_a := \frac{1}{n_a} = \frac{16}{\pi \cdot d_{eje}^3} \cdot \left[4\left(\frac{K_f \cdot M_a}{S_e}\right)^2 + 3\left(\frac{K_{fs} \cdot T_a}{S_e}\right)^2 + 4\left(\frac{K_f \cdot M_m}{S_y}\right)^2 + 3\left(\frac{K_{fs} \cdot T_m}{S_y}\right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$n_a = 3.13$ Resultado del factor de seguridad

Se procederá a verificar el resto de las secciones para asegurarse que ninguna sección del eje tenga un factor a fatiga menor a 2.

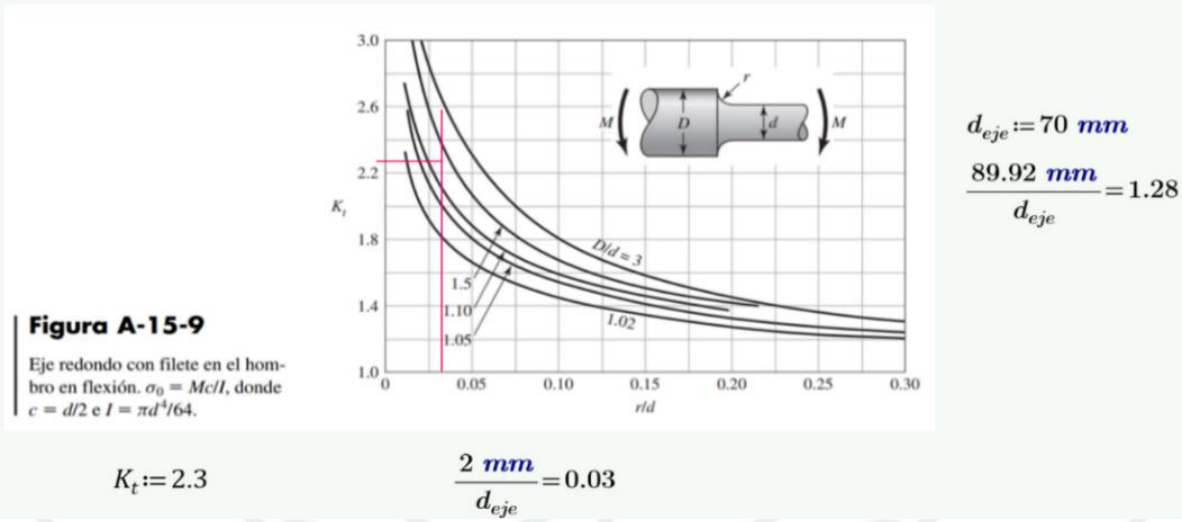
4.2.3.2. Verificación del eje motriz a fatiga sección Asiento del hombro B.

La sección B mostrada en la Figura 35 corresponde al asiento de hombro, los factores de concentración de esfuerzo por muesca se calculan de las figuras Figura 29 y Figura 30, para valores de radio de muesca de 2mm, q=qcortante=0.7, para los factores de concentración de esfuerzo por Kt y Kts por concentradores de esfuerzo en el asiento del hombro B.

- Factor de concentración de Esfuerzo en eje con asiento de hombro a flexión. Kt.

Figura 38

Factor a Flexión de Eje redondo con filete en el hombro

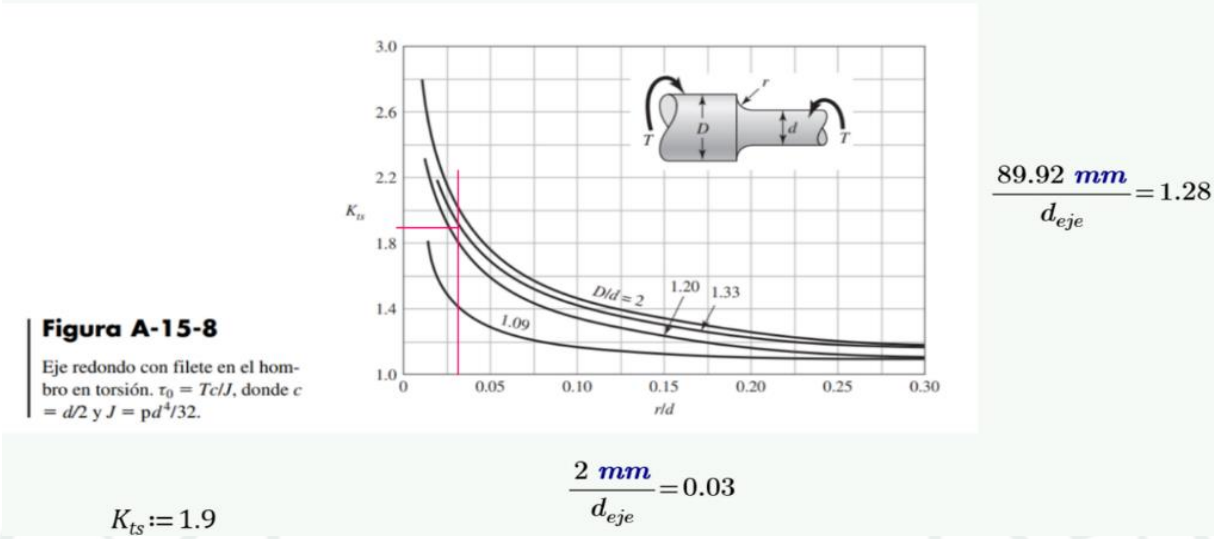


Nota. Eje redondo con filete en el hombro en flexión. Reimpreso de Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (p. 992), por R. G. Budynas y J. K. Nisbett, 2011, McGraw-Hill

- Factor de concentración de Esfuerzo en eje con asiento de hombro a Torsión. Kts.

Figura 39

Factor a Flexión de Eje redondo con filete en el hombro



Nota. Eje redondo con filete en el hombro a torsión. Reimpreso de Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (p. 992), por R. G. Budynas y J. K. Nisbett, 2011, McGraw-Hill.

$K_t = 2.3$	Factor de cuñero fresado a flexión
$K_{ts} = 1.9$	Factor de cuñero fresado a torsión
$K_f := 1 + q \cdot (K_t - 1) = 1.91$	Factor de concentración de esfuerzo a flexión
$K_{fs} := 1 + q_{cortante} \cdot (K_{ts} - 1) = 1.63$	Factor de concentración de esfuerzo a torsión

- Esfuerzo modificado "Se".

$k_a = 0.94 \quad k_b = 0.78 \quad k_c = 1 \quad k_d = 1.01 \quad k_e = 0.75 \quad k_f = 1$

Momentos Flexionantes y Torque.

$M_a := 0$ N·m	Momento flexionante alternante
$M_m := 0$ lbf·in	Momento flexionante medio, es cero
$T_m := 2120.45$ N·m	Torque medio, el eje gira a velocidad constante
$T_a := 0$ lbf·in	Torque alternante, no existe torque alternante

- Factor de seguridad según teoría de Energía de Distorsión y ASME-Elíptica, sección asiento del hombro B.

$$n_B := \frac{1}{n_1} = \frac{16}{\pi \cdot d_{eje}^3} \cdot \left[4\left(\frac{K_f \cdot M_a}{S_e}\right)^2 + 3\left(\frac{K_{fs} \cdot T_a}{S_e}\right)^2 + 4\left(\frac{K_f \cdot M_m}{S_y}\right)^2 + 3\left(\frac{K_{fs} \cdot T_m}{S_y}\right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$n_B = 4.42$ Resultado del nuevo factor de seguridad

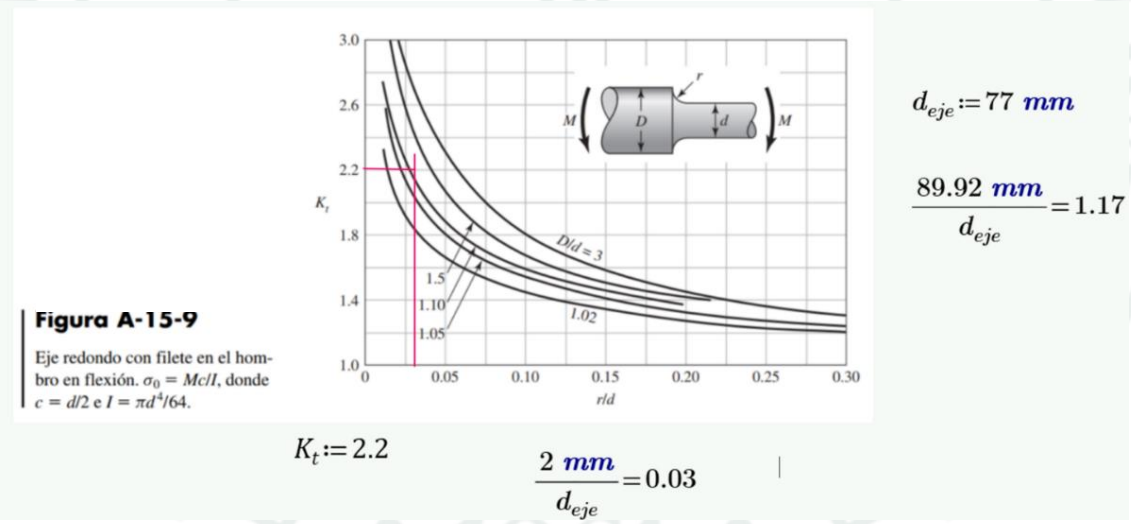
4.2.3.3. Verificación del eje motriz a fatiga sección Asiento del hombro C.

La sección C mostrada en la Figura 35 corresponde al asiento de hombro, los factores de concentración de esfuerzo por muesca se calcular de las figuras Figura 40 y, para valores de radio de muesca de 2mm, q=qcortane=0.7, para los factores de concentración de esfuerzo por Kt y Kts por concentradores de esfuerzo en el asiento del hombro C.

Factor de concentración de Esfuerzo en eje con asiento de hombro a flexión. Kt.

Figura 40

Factor a Flexión de Eje redondo con filete en el hombro sección C



Nota. Eje redondo con filete en el hombro en flexión. Reimpreso de Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (p. 992), por R. G. Budynas y J. K. Nisbett, 2011, McGraw-Hill

- Factor de concentración de Esfuerzo en eje con asiento de hombro a Torsión. Kts.

Figura 41

Factor a Flexión de Eje redondo con filete en el hombro sección C.

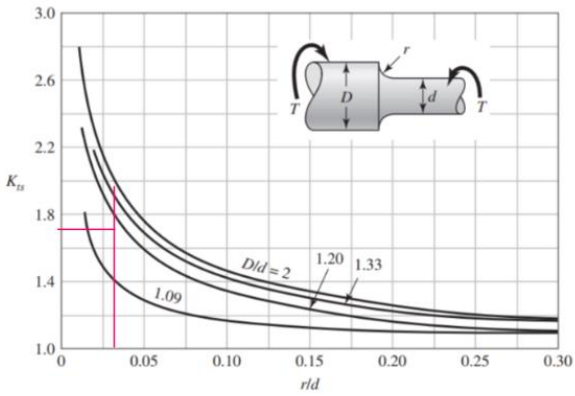


Figura A-15-8

Eje redondo con filete en el hombro en torsión. $\tau_0 = Tc/J$, donde $c = d/2$ y $J = \pi d^4/32$.

$$d_{eje} = 77\ mm$$

$$\frac{89.92\ mm}{d_{eje}} = 1.17$$

$$K_{ts} := 1.7$$

$$\frac{2\ mm}{d_{eje}} = 0.03$$

Nota. Eje redondo con filete en el hombro a torsión. Reimpreso de Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (p. 992), por R. G. Budynas y J. K. Nisbett, 2011, McGraw-Hill.

$K_t = 2.2$	Factor de cuñero fresado a flexión
$K_{ts} = 1.7$	Factor de cuñero fresado a torsión
$K_f := 1 + q \cdot (K_t - 1) = 1.84$	Factor de concentración de esfuerzo a flexión
$K_{fs} := 1 + q_{cortante} \cdot (K_{ts} - 1) = 1.49$	Factor de concentración de esfuerzo a torsión

- Esfuerzo modificado "Se".

$$k_a = 0.94 \quad k_b = 0.78 \quad k_c = 1 \quad k_d = 1.01 \quad k_e = 0.75 \quad k_f = 1$$

- Momentos Flexionantes y Torque.

$M_a := 0\ N{\cdot}m$	Momento flexionante alternante
$M_m := 0\ lbf{\cdot}in$	Momento flexionante medio, es cero
$T_m := 2120.45\ N{\cdot}m$	Torque medio, el eje gira a velocidad constante
$T_a := 0$ lbf·in	Torque alternante, no existe torque alternante

- Factor de seguridad según teoría de Energía de Distorsión y ASME-Elíptica, sección asiento del hombro C.

$$n_c := \frac{1}{n_c} = \frac{16}{\pi \cdot d_{eje}^3} \cdot \left[4\left(\frac{K_f \cdot M_a}{S_e}\right)^2 + 3\left(\frac{K_{fs} \cdot T_a}{S_e}\right)^2 + 4\left(\frac{K_f \cdot M_m}{S_y}\right)^2 + 3\left(\frac{K_{fs} \cdot T_m}{S_y}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

$n_c = 6.44$ Resultado del nuevo factor de seguridad

4.2.3.4. Verificación del eje motriz a fatiga sección Asiento del hombro D.

La sección D mostrada en la Figura 35 corresponde al asiento de hombro, los factores de concentración de esfuerzo por muesca se calculan de las figuras Figura 40 y Figura 41, para valores de radio de muesca de 2mm, q=qcortane=0.7, para los factores de concentración de esfuerzo por Kt y Kts se producen por la concentración de esfuerzo en los agujeros.

- Factor de concentración de Esfuerzo en eje con asiento de hombro a flexión. Kt.

Figura 42

Factor a Flexión de Eje redondo con agujero transversal sección D

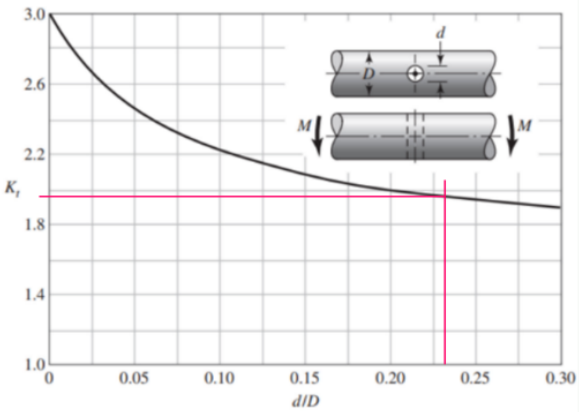


Figura A-15-11

Eje redondo en flexión con un agujero transversal. $\sigma_0 = M/[(\pi D^3/32)-(dD^2/6)]$, aproximadamente.

$D := 89\ mm$

$d := 20.6\ mm$

$K_t := 1.95$ $\frac{d}{D} = 0.23$

Nota. Eje redondo con agujero transversal a flexión. Reimpreso de Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (p. 993), por R. G. Budynas y J. K. Nisbett, 2011, McGraw-Hill

- Factor de concentración de Esfuerzo en eje con asiento de hombro a Torsión. Kts.

Figura 43

Factor a Torsión con agujero transversal D.

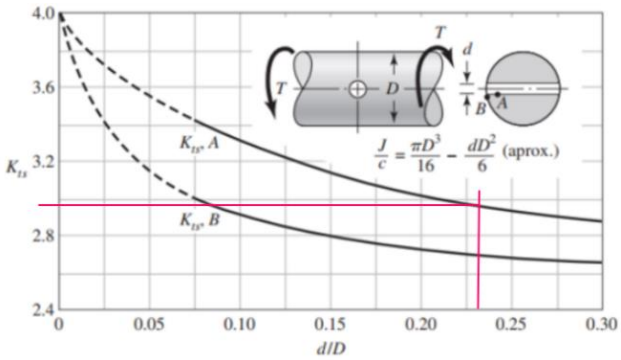


Figura A-15-10

Eje redondo en torsión con agujero transversal.

$D := 89\ mm$

$d := 20.6\ mm$

$K_{ts} := 2.95$ $\qquad \frac{d}{D} = 0.23$

Nota. Eje redondo con agujero transversal a torsión. Reimpreso de Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (p. 993), por R. G. Budynas y J. K. Nisbett, 2011, McGraw-Hill.

$K_t = 1.95$	Factor de cuñero fresado a flexión
$K_{ts} = 2.95$	Factor de cuñero fresado a torsión
$K_f := 1 + q \cdot (K_t - 1) = 1.67$	Factor de concentración de esfuerzo a flexión
$K_{fs} := 1 + q_{cortante} \cdot (K_{ts} - 1) = 2.37$	Factor de concentración de esfuerzo a torsión

- Esfuerzo modificado "Se".

$k_a = 0.94 \quad k_b = 0.78 \quad k_c = 1 \quad k_d = 1.01 \quad k_e = 0.75 \quad k_f = 1$

- Momentos Flexionantes y Torque.

$M_a := 0$ N·m	Momento flexionante alternante
$M_m := 0$ lbf·in	Momento flexionante medio, es cero
$T_m := 2120.45$ N·m	Torque medio, el eje gira a velocidad constante
$T_a := 0$ lbf·in	Torque alternante, no existe torque alternante

- Factor de seguridad según teoría de Energía de Distorsión y ASME-Elíptica, sección agujeros transversales D.

$$n_c := \frac{1}{n_c} = \frac{16}{\pi \cdot d_{eje}^3} \cdot \left[4\left(\frac{K_f \cdot M_a}{S_e}\right)^2 + 3\left(\frac{K_{fs} \cdot T_a}{S_e}\right)^2 + 4\left(\frac{K_f \cdot M_m}{S_y}\right)^2 + 3\left(\frac{K_{fs} \cdot T_m}{S_y}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$n_c := 4.02$$

Se ha verificado las diferentes secciones del eje de transmisión, la zona más crítica se encuentra en la sección A con un factor de seguridad a la fatiga de 3.13 lo cual es superior a 2, de esta forma se garantiza que el eje soporte las cargas a fatiga.

4.2.4. Calculo y dimensionamiento de Chaveta

Para el cálculo de la chaveta se empleará la norma DIN 6885, según el diámetro del eje que es de 70mm tenemos una sugerencia para los tamaños de chavetas. De ancho b=20 y h=12, estos parámetros se muestran en el Anexo 22.

$D_{eje} := 70.00$ mm	Diámetro del eje
$b := 20.00$ mm	Ancho de chaveta
$h := 12.00$ mm	Altura de chaveta
$T := 2148.59$ N·m	Torque del motor
$F := \frac{T}{D_{eje}/2} = 61388.286$ N	Fuerza en la cara de chaveta
$n := 4$	Factor de seguridad por aplastamiento
$S_y := 393.00$ MPa	Esfuerzo de fluencia de chaveta AISI 1020CD
$\sigma_{aplas} := \frac{S_y}{n} = 98.25$ MPa	Esfuerzo admisible por aplastamiento
$\tau_{corte} := \frac{S_y \cdot 0.577}{n} = 56.69$ MPa	Esfuerzo admisible por corte
$L_{aplas} := \frac{2 \cdot F}{\sigma_{aplas} \cdot h} = 104.14$ mm	Longitud mínima para evitar fallo por aplastamiento
$L_{corte} := \frac{F}{\tau_{corte} \cdot b} = 54.14$ mm	Longitud mínima para evitar fallo por corte
$L_{min} := max(L_{aplas}, L_{corte}) = 104.14$ mm	Longitud mínima de chaveta según norma

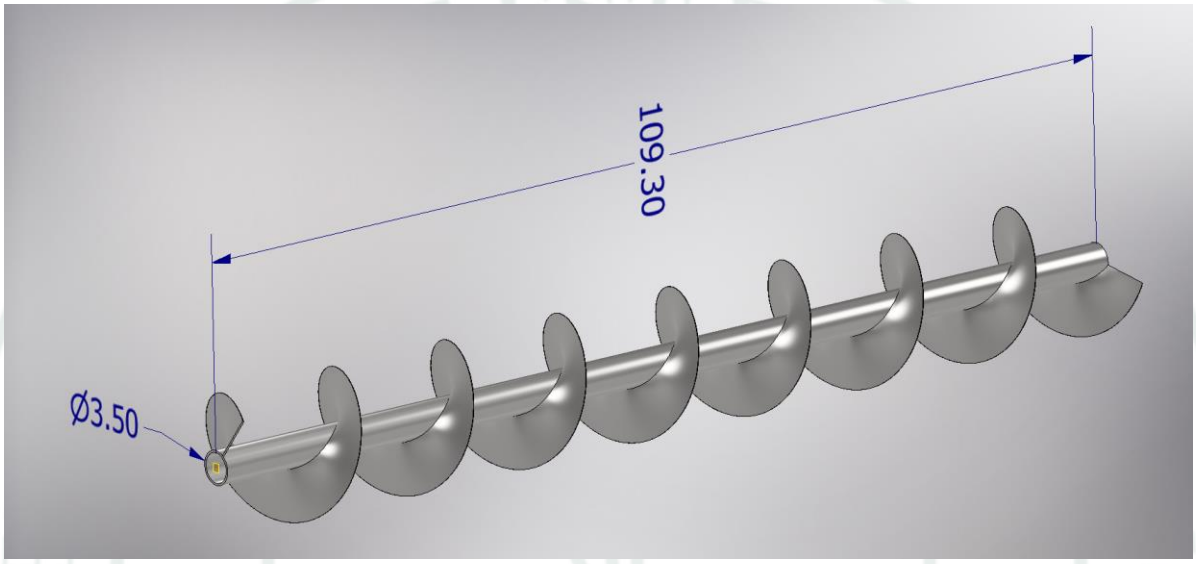
Se verifico la resistencia de la chaveta y canal chavetero al esfuerzo cortante y al aplastamiento, se usará chaveta DIN6885A 20x12x110

4.2.5. Creación del Modelo CAD tubo, helicoide y ejes.

Se procede a crear la geometría en el software CAD Autodesk Inventor 2025 con la información obtenida previamente, esto se muestra en la Figura 44.

Figura 44

Modelo CAD Helicoide.



Nota. Elaboración propia.

4.2.6. Análisis por FEM de tubo, Helicoide y Eje

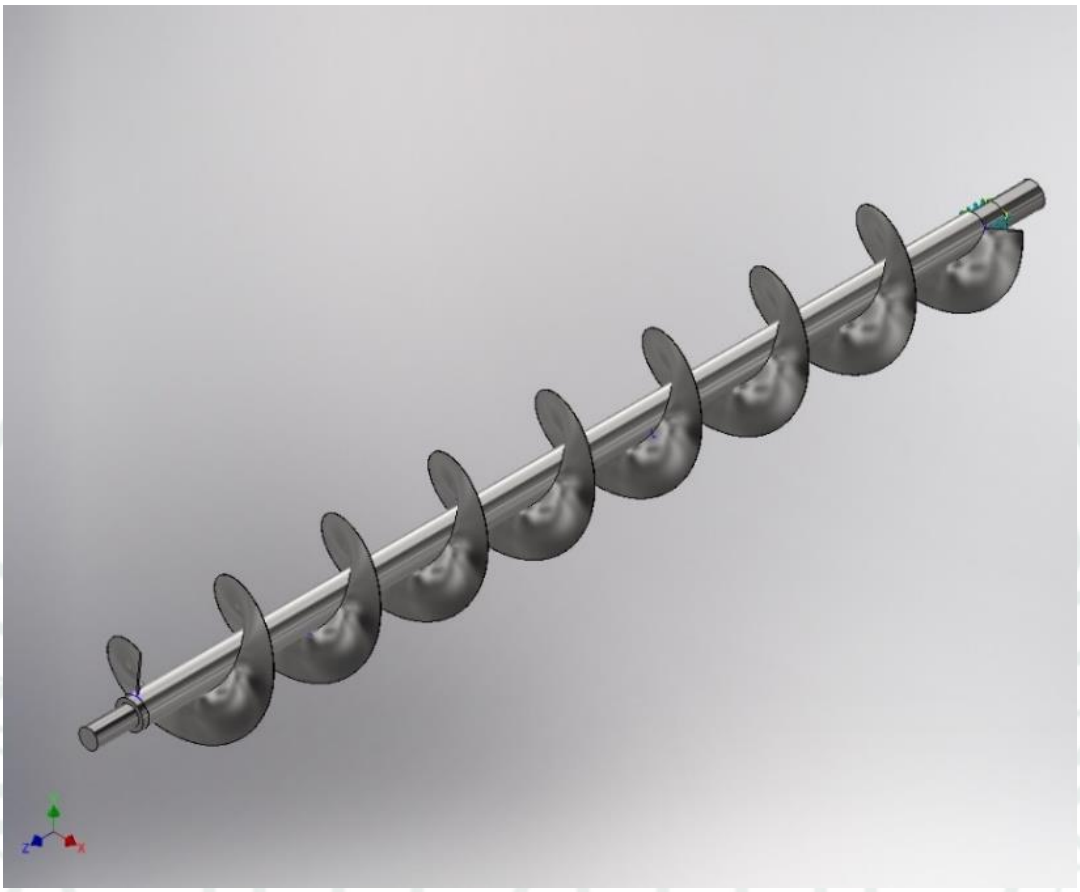
4.2.6.1. Creación del modelo FEM.

El modelo CAD generado será llevado al software Autodesk Nastram 2025 una extensión de Autodesk Inventor, para ello se creará un estudio Lineal Estático para evaluar esfuerzos y deformaciones.

- Idealización de los componentes. Para el análisis FEM, requerimos diferenciar las piezas en elementos tipo barra, elementos tipo Shell o concha y elementos sólidos, para nuestro proyecto, el helicoide será idealizado como un elemento tipo Shell, debido a su espesor constantes, el tubo será modelado como un sólido al igual que el eje, esto se ve reflejado en la Figura 45, porque requerimos los resultados en los bordes por la concentración de esfuerzos.

Figura 45

Idealización del tornillo transportador



Nota. Elaboración propia.

4.2.6.2. Materiales de tubo eje y transportador.

Los materiales son acero ASTM A304 inoxidable en el helicoide y el tubo, sus propiedades se muestran en la Tabla 12, este acero es ideal para soportar la abrasividad y las condiciones climáticas del ambiente portuario marítimo, para los ejes emplearemos un acero AISI 1020 CD estirado en frio ideal para esas aplicaciones, las propiedades de este acero se muestran en la Tabla 13.Nota. Adaptado de Biblioteca de Materiales de Autodesk Inventor 2025 Basado en la plataforma Matweb (Online Materials Information Resource - MatWeb)

Tabla 12:

Propiedades del acero AISI 304

Propiedad	*Valor*	Unidad
Módulo de Young	195	Gpa
Coeficiente de Poisson	0.29	adimensional
Modulo Cortante	86000	Mpa
Densidad	8000	kg/m3
Limite Elástico	215	MPa
Resistencia maxima a Traccion	505	MPa

Nota. Adaptado de Biblioteca de Materiales de Autodesk Inventor 2025 Basado en la plataforma Matweb (Online Materials Information Resource - MatWeb)

Tabla 13:

Propiedades del acero AISI 1020CD

Propiedad	*Valor*	Unidad
Módulo de Young	207	Gpa
Coeficiente de Poisson	0.29	adimensional
Modulo Cortante	778200	Mpa
Densidad	7870	kg/m3
Limite Elastico	260	MPa
Resistencia maxima a Traccion	441	MPa

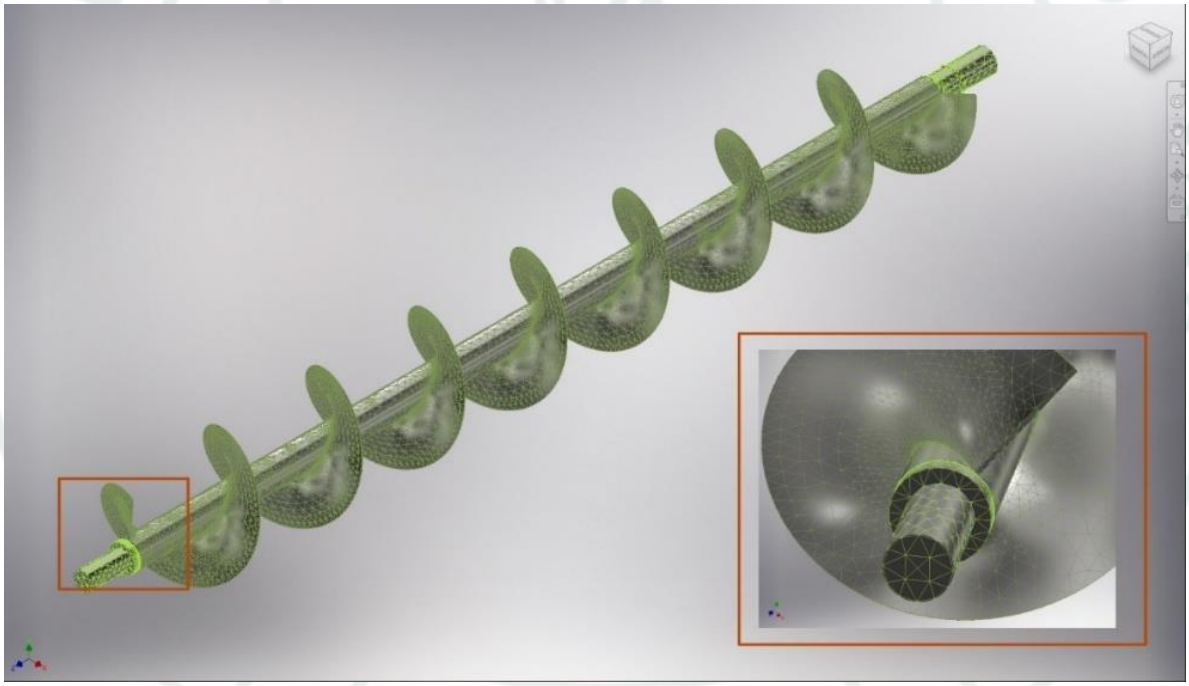
Nota. Adaptado de Biblioteca de Materiales de Autodesk Inventor 2025 Basado en la plataforma Matweb (Online Materials Information Resource - MatWeb)

4.2.6.3. Mallado.

Este paso es fundamental en el estudio de los elementos finitos debido a su gran importancia, ya que un mallado deficiente o incorrecto genera resultados erróneos, para ello se empleará el criterio de convergencia que consiste en evaluar distintos tamaño de malla y verificar los resultados no tengan variaciones mayores a 5% como criterio del método, en la Figura 46 seleccionamos un mallado parabólico, que es preciso pero requiere de un mayor costo computacional, y un tamaño de malla bastante fino de 11 mm y un afinado de malla de 2 mm en la unión de tubo y helicoide.

Figura 46

Mallado del helicoide eje y tubo



Nota. Elaboración Propia.

tamaño de malla bastante fino de 11 mm y un afinado de malla de 2 mm en la unión de tubo y helicoide.

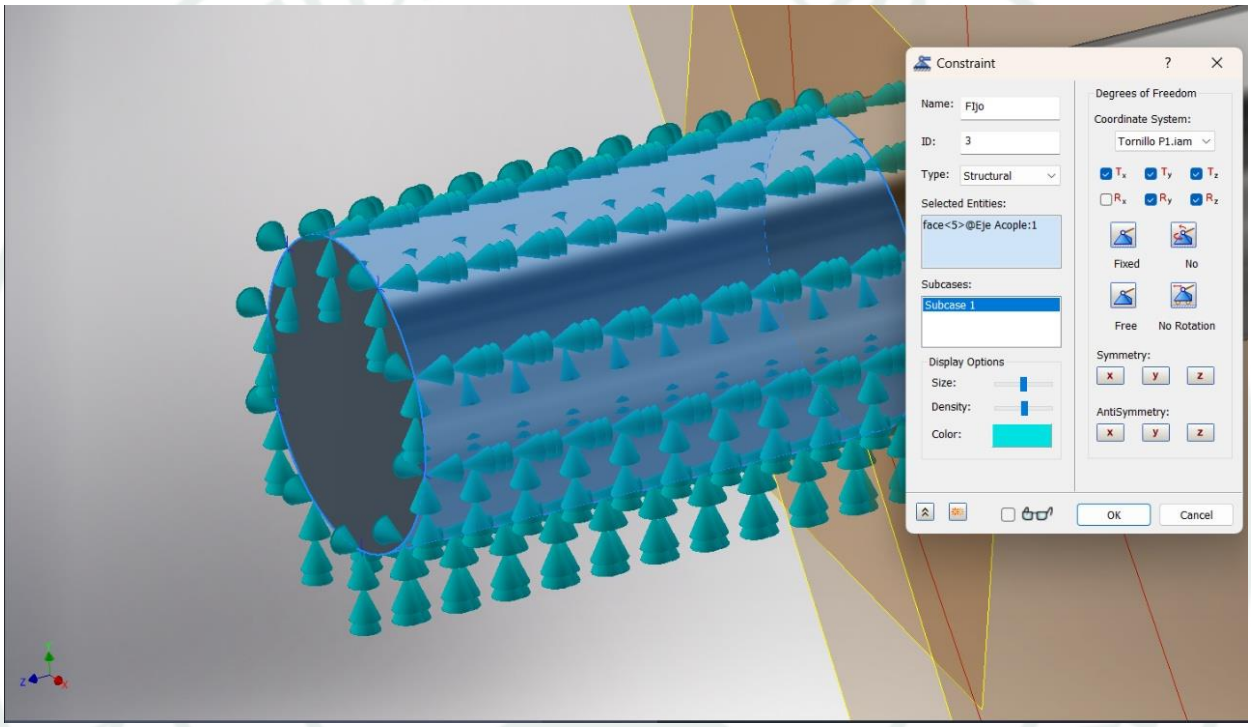
4.2.6.4. Condiciones de Frontera Apoyos.

Las condiciones de frontera son vitales, juntos con los él mallado constituyen la columna vertebral del análisis por elementos finitos, la Figura 25 tiene esta información que

debe ser traducida al software, las restricciones que generan los rodamientos se muestran en las siguientes figuras, debemos restringir todas las traslaciones, dejar libre la rotación axial, esto para el rodamiento fijo ver y para el rodamiento móvil debemos liberar la rotación axial y la traslación en eje axial ver Figura 48.

Figura 47

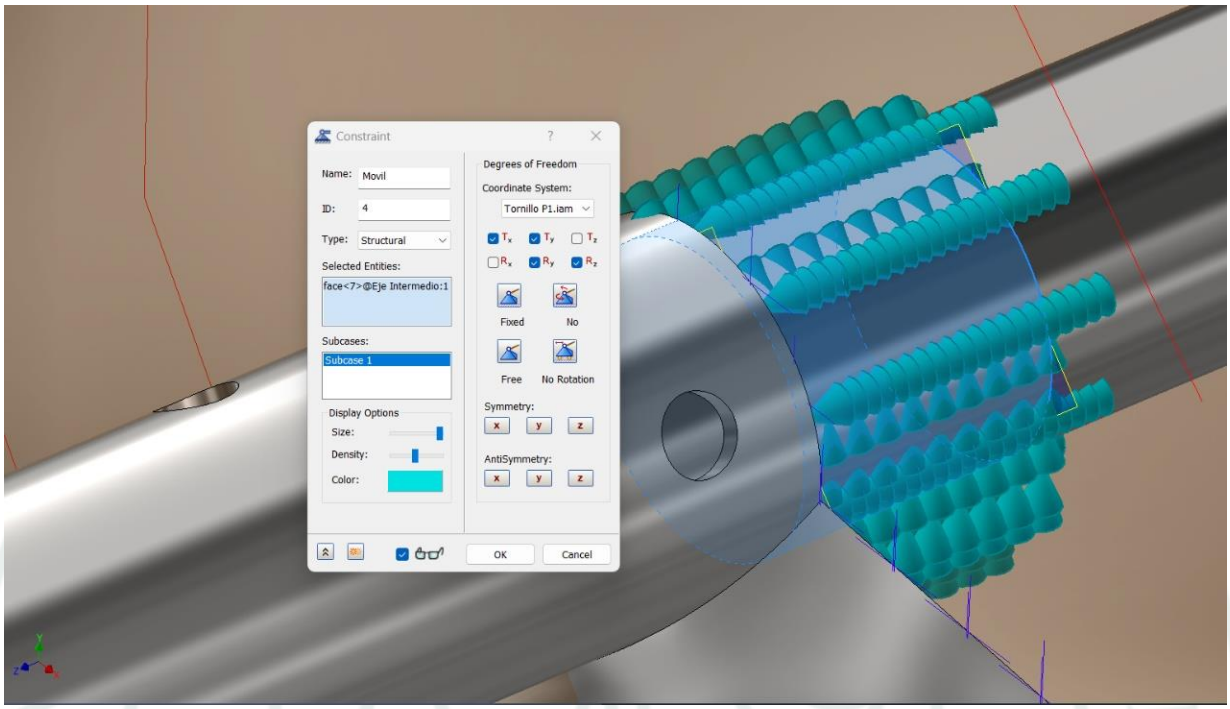
Condiciones de Frontera par Rodamiento Fijo



Nota. Elaboración Propia. El rodamiento Fijo solo permite el giro en el eje X

Figura 48

Condiciones de Frontera par Rodamiento Móvil



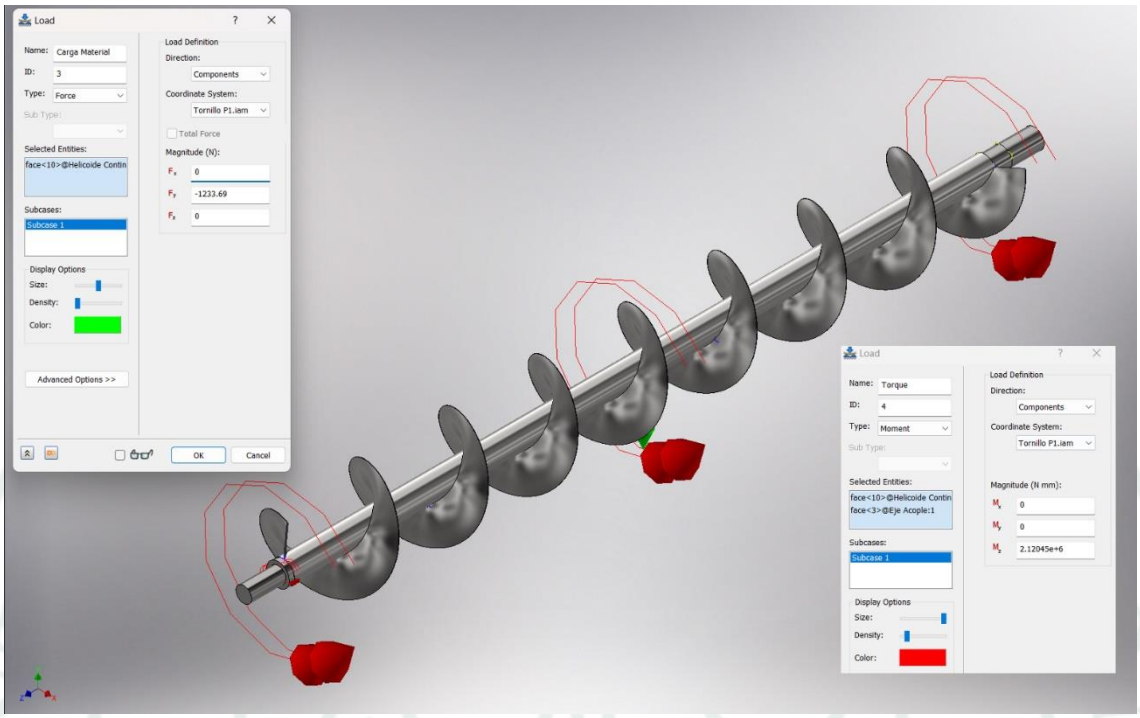
Nota. Elaboración Propia.

4.2.6.5. Condiciones de Frontera Cargas.

En el tubo se colocará una carga de 1233.69N como se determinó anteriormente, y el torque del motor correspondiente a 2120.45 N*m en el eje motriz de entrada estas cargas se muestran en la Figura 49

Figura 49

Condiciones de Frontera cargas,



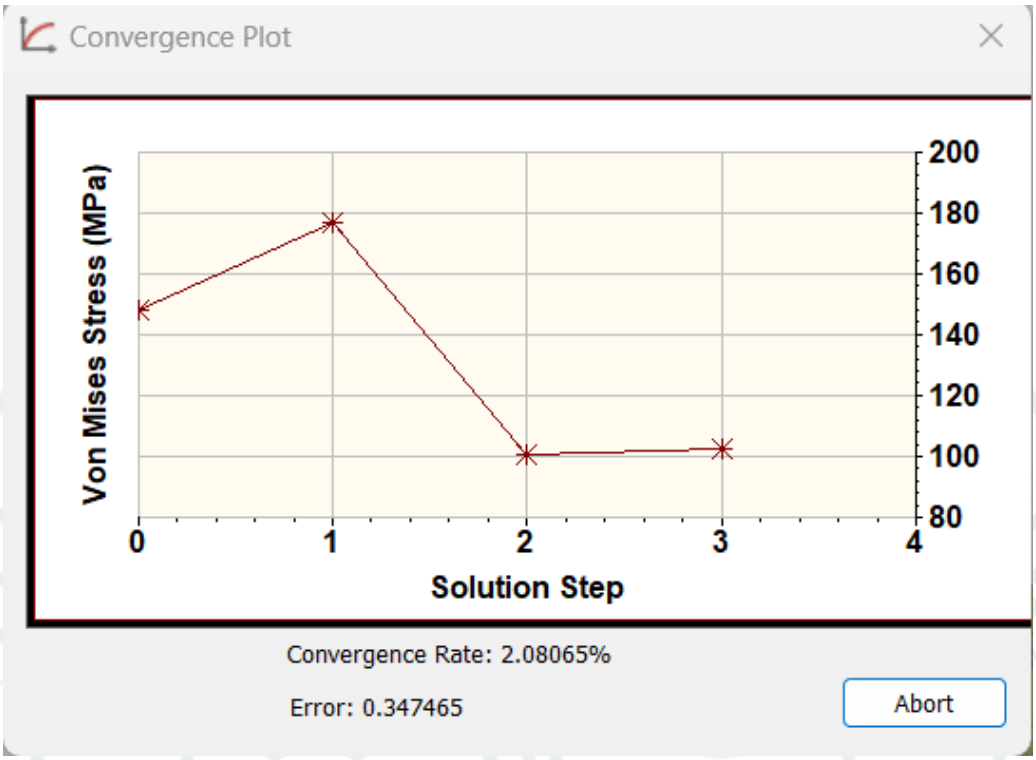
Nota. Elaboración Propia. Datos de entrada; Torque: 2120 Nm, Fuerza: 1233.69 N

4.2.6.6. Convergencia de malla.

La convergencia de malla asegura una correcta configuración de la malla variando el tamaño de esta, se asegura que no importa si se varía el tamaño de malla, el resultado es el mismo y tenemos una convergencia que asegura resultados fiables, en este caso al tener un refinamiento de la malla entre la unión de tubo y helicoide, se obtiene una convergencia en un solo paso como se muestra en la Figura 50, y una convergencia del 2.08% debajo del 5% establecido como criterio, teniendo un valor de convergencia de 102 MPa.

Figura 50

Convergencia de Malla.



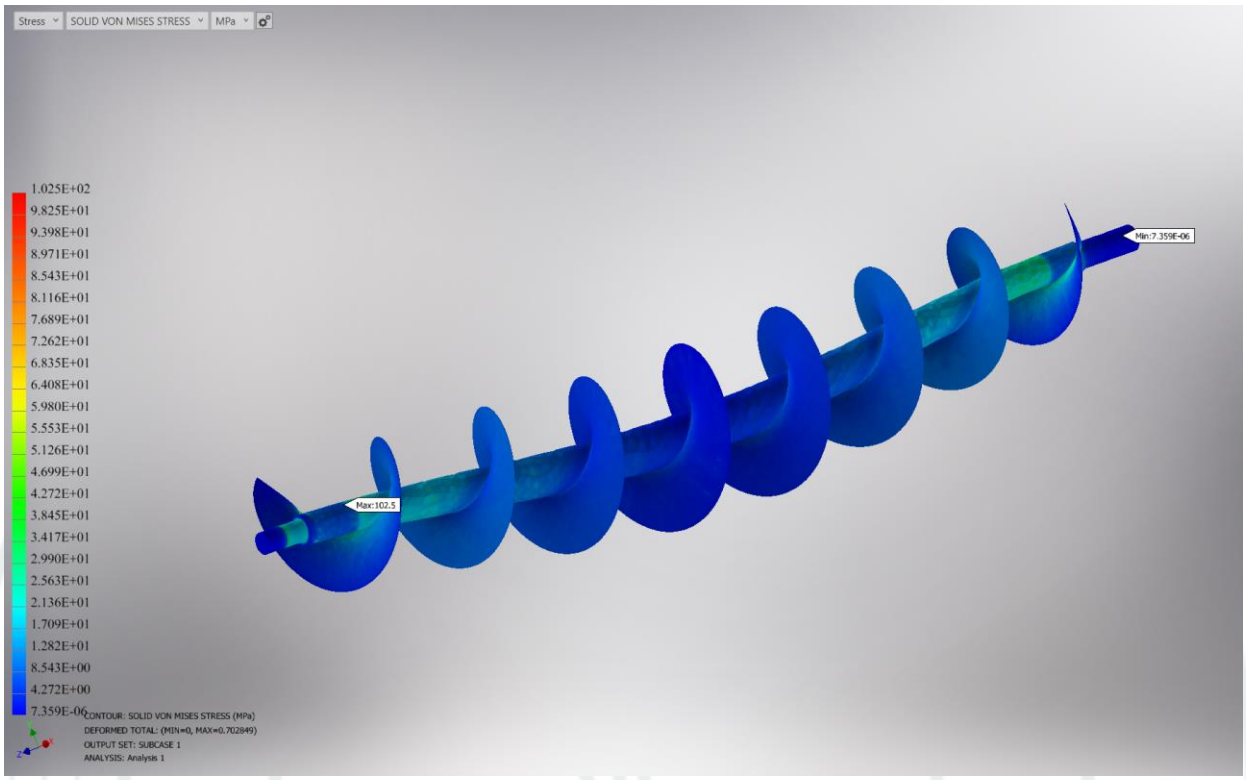
Nota. Elaboración Propia. Convergencia de malla: 2.08%

4.2.6.7. Esfuerzos de Von mises Eje, tubo y helicoide.

EL esfuerzo de Von Mises máximo se muestra en la Figura 51, se encuentra entre la unión del tubo y el eje, esta sección presenta un esfuerzo de Von Mises de 102.5 MPa, esta unión se verificará en otro estudio ya que sabemos que la sección critica se encuentra en la unión del tubo y eje y la concentración de esfuerzo producida por los agujeros.

Figura 51

Esfuerzo de Von Mises en Helicoide eje y Tubo



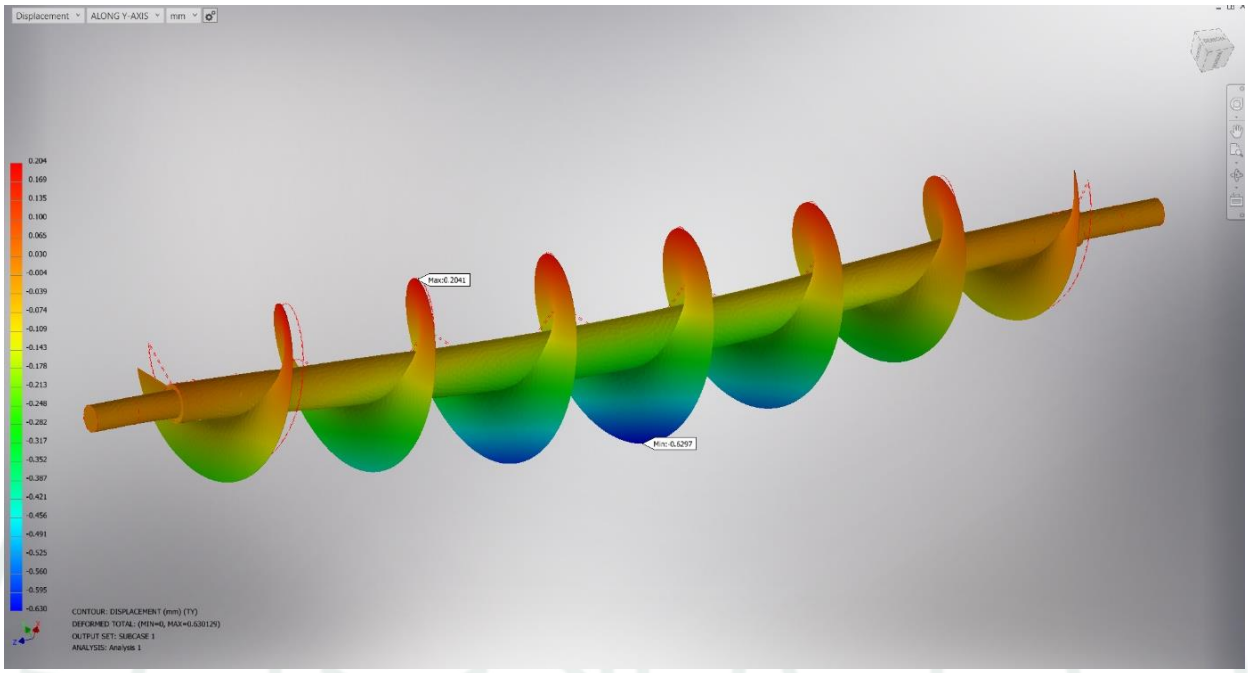
Nota. Elaboración Propia, se tiene un esfuerzo de Von Mises máximo de 102.5MPa ubicado en la zona de unión entre helicoide y eje de acople

4.2.6.8. Deformación en Eje, tubo y helicoide.

La deformación máxima se produce en la zona central, esto es consecuente con el modelo idealizado, tiene un valor de 0.7 mm según la Figura 52, esta deflexión según recomendaciones de Martin debe ser menor a 0.25 in o 6.35mm, con lo cual cumplimos con la deflexión máxima permitida, las deflexiones en los rodamientos son de 0.001 mm, estas deflexiones son muy bajas con lo cual no se producirá desalineamiento en los rodamientos.

Figura 52

Deformación en Helicoide Eje y Tubo



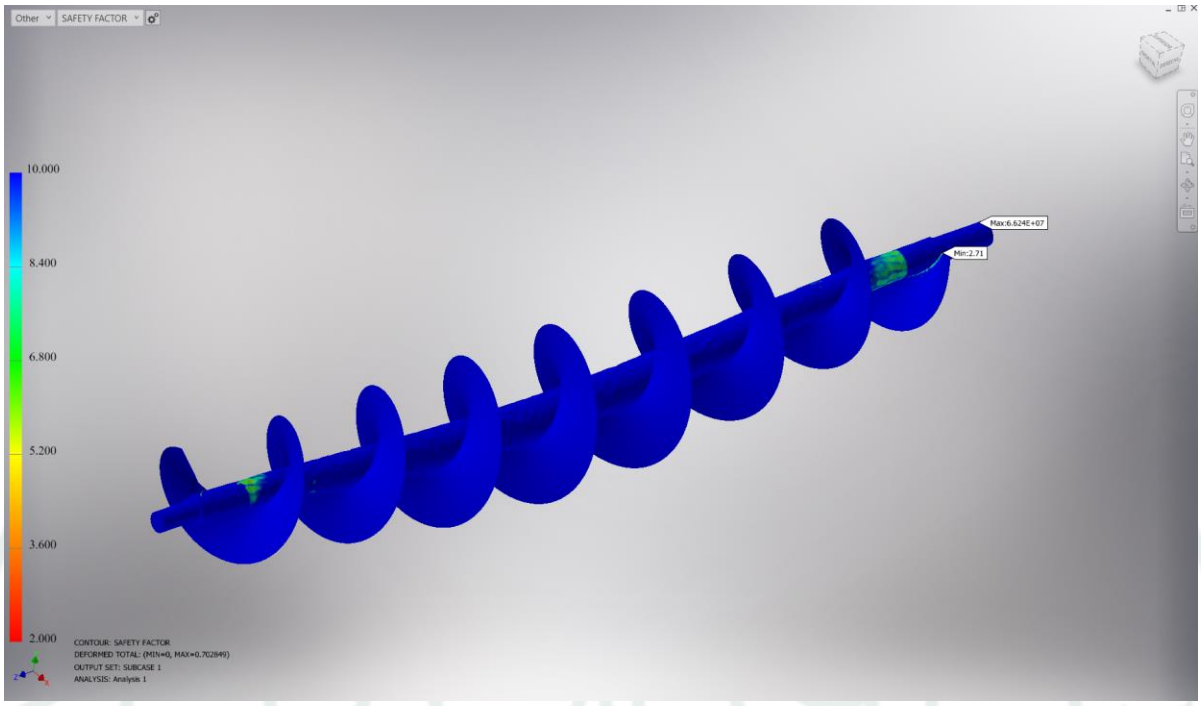
Nota. Elaboración Propia, se tiene una deflexión mínima de 0.2041 mm y una deflexión máxima de -0.6297mm

4.2.6.9. Factor de Seguridad en Eje, Tubo y Helicoide.

El factor de seguridad debe ser mayor a 1 según las teorías de mecánica de materiales dúctiles, pero por motivos de seguridad asumiremos un factor de seguridad de 2.5 para cargas estáticas según la Figura 53, esto significa que el eje soportara en teoría 2.5 veces las cargas de trabajo, el factor de seguridad hallado es de 2.7 se produce entre la unión del tubo y el eje como se ve en la Figura 53, para verlo de mejor manera se ampliado la zona de mayor factor de seguridad como se ve en la Figura 54.

Figura 53

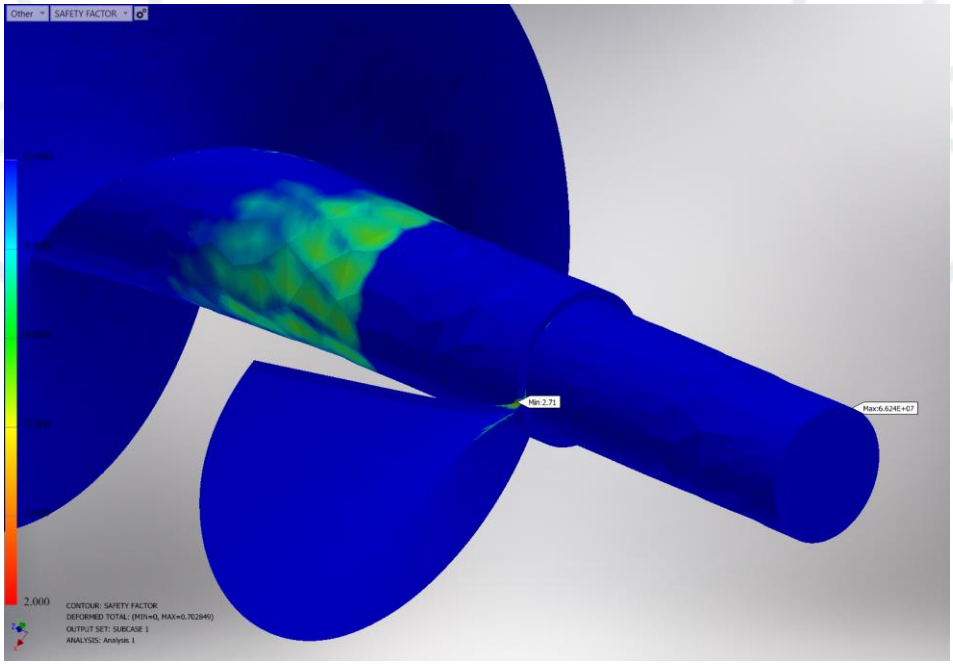
Factor de seguridad en Eje tubo y helicoide



Nota. Elaboración Propia, el factor de seguridad mínima es de 2.71

Figura 54

Factor de Seguridad zona critica amplificado



Nota. Elaboración Propia. Vista de acercamiento del factor de seguridad mínimo de 2.71

Tabla 14

Factores de Seguridad Recomendaciones Generales.

Aplicaciones	*Factor* de seguridad FOS
Para uso con materiales altamente confiables donde la carga y las condiciones ambientales no son severas y donde el peso es una consideración importante	1,3 – 1,5
Para uso con materiales confiables donde la carga y las condiciones ambientales no son severas	1.5 – 2
Para uso con materiales comunes donde la carga y las condiciones ambientales no son severas	2 – 2,5
Para uso con materiales menos probados y frágiles donde la carga y las condiciones ambientales no son severas	2.5 – 3
Para uso con materiales donde las propiedades no son confiables y donde las condiciones ambientales y de carga no son severas, o donde se usan materiales confiables en condiciones ambientales difíciles	3 – 4

Nota. Definición del factor de seguridad para el diseño y el uso Adaptado (Definición del factor de seguridad para el diseño y uso)

4.2.7. Cálculo de Pernos.

Los pernos se calculan bajo corte, ya el torque se convierte en fuerza cortante cuando se transmite hacia los pernos, esto se ve en la Figura 55, el material del perno es de acero AISI 1020 CD las propiedades de este material se muestran en la Tabla 15

$r_{tubo} := 87.98$ mm — Radio del tubo

$L := 2 \cdot r_{tubo} = 175.96$ mm — Longitud del perno

$T := 2120.45$ N·m — Torque por perno

$$S_y := 393 \text{ MPa}$$ Esfuerzo de fluencia del perno

$$V := \frac{T}{2 \cdot r_{tubo}} = 12.051 \text{ kN}$$ Fuerza por perno

$$D_p := 20.6 \text{ mm}$$ Diámetro del perno

$$A_p := \frac{\pi \cdot D_p^2}{4} = 3.33 \text{ cm}^2$$ Área del perno

$$\tau_p := \frac{4V}{3 \cdot A_p} = 48.21 \text{ MPa}$$ Fuerza cortante del perno

$$n := \frac{0.66 \cdot S_y}{\tau_p} = 5.38$$ Factor de seguridad a corte del perno

$$A_{apl} := 2 \cdot r_{tubo} \cdot L = 30961.92 \text{ mm}^2$$ Área de aplastamiento

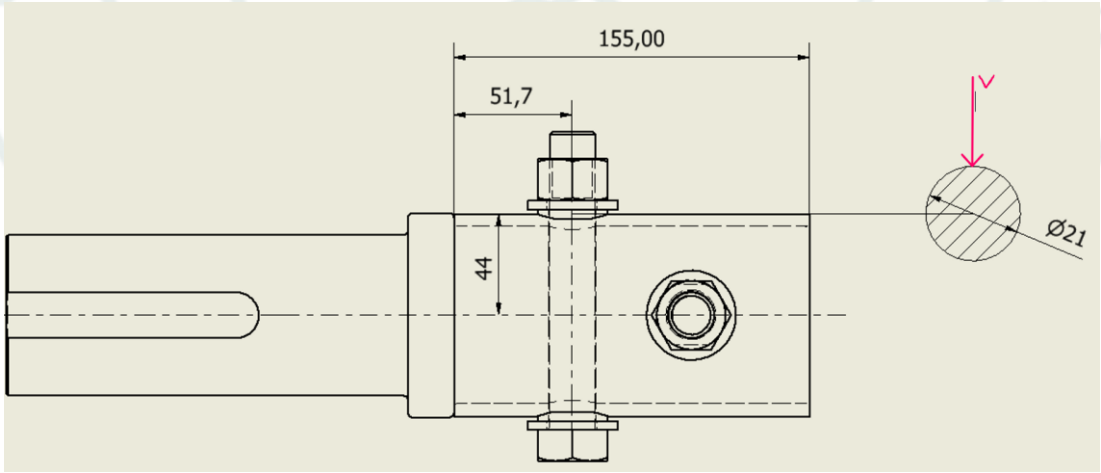
$$\sigma_{apl} := \frac{V}{A_{apl}} = 0.39 \text{ MPa}$$ Esfuerzo por aplastamiento

$$\sigma' := \sqrt{\sigma_{apl}^2 + 3 \cdot \tau_p^2} = 83.5 \text{ MPa}$$ Esfuerzo de Von Mises

$$n := \frac{S_y}{\sigma'} = 4.71$$ Factor de seguridad bajo Von Mises

Figura 55

Diagrama de Pernos de Unión entre Eje y Tubo



Nota. Elaboración Propia.

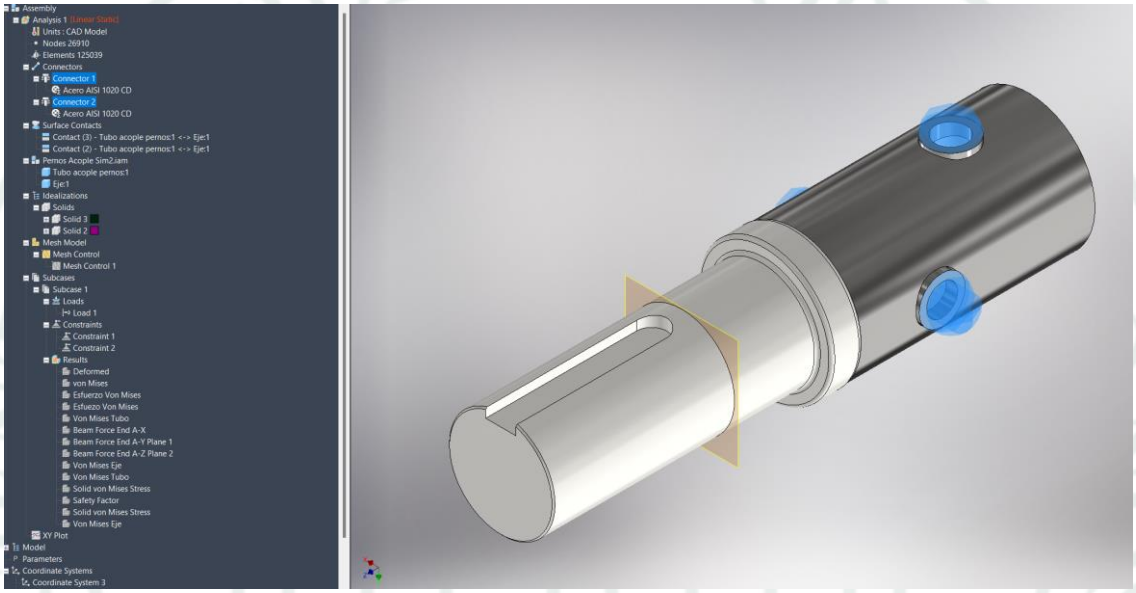
Se tiene un factor de seguridad de 4.71 bajo el criterio de Von Mises, esto se comprobará con un estudió por elementos finitos de la unión.

4.2.7.1. Unión Empernada Entre Tubo y Eje Estudio FEM.

El procedimiento de configuración por elementos finitos no se repetirá de forma detallada, pero si como un resumen con resultados detallados, se tomara una sección del tubo, el eje motriz los pernos de unión se mostrarán de forma completa.

Figura 56

Condiciones de Frontera

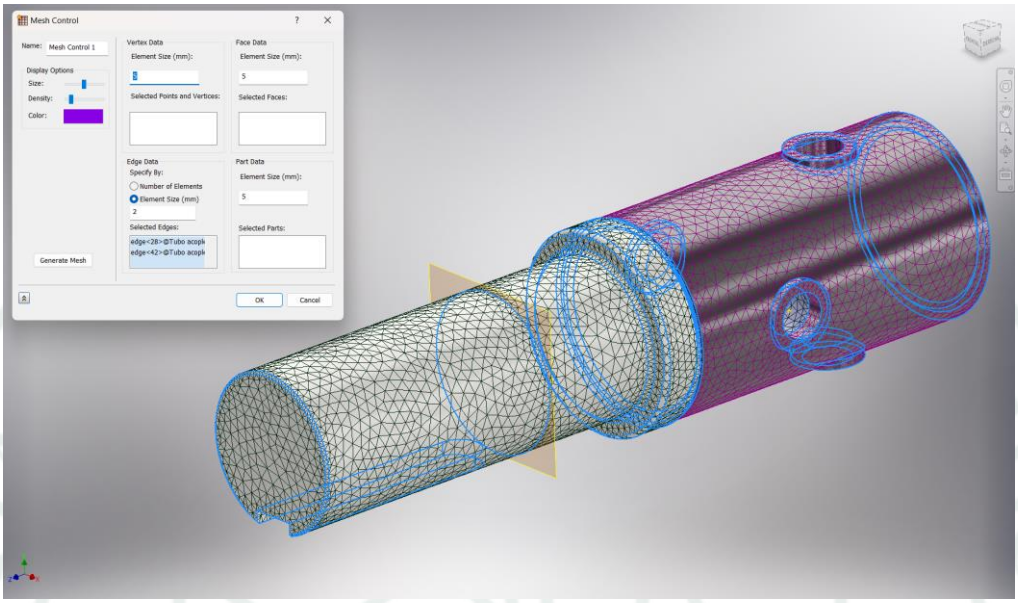


Nota. Elaboración Propia. Los barrenos están idealizados como pernos, se muestran en color azul transparente.

- Mallado

Figura 57

Mallado Unión Eje Motriz y tubo

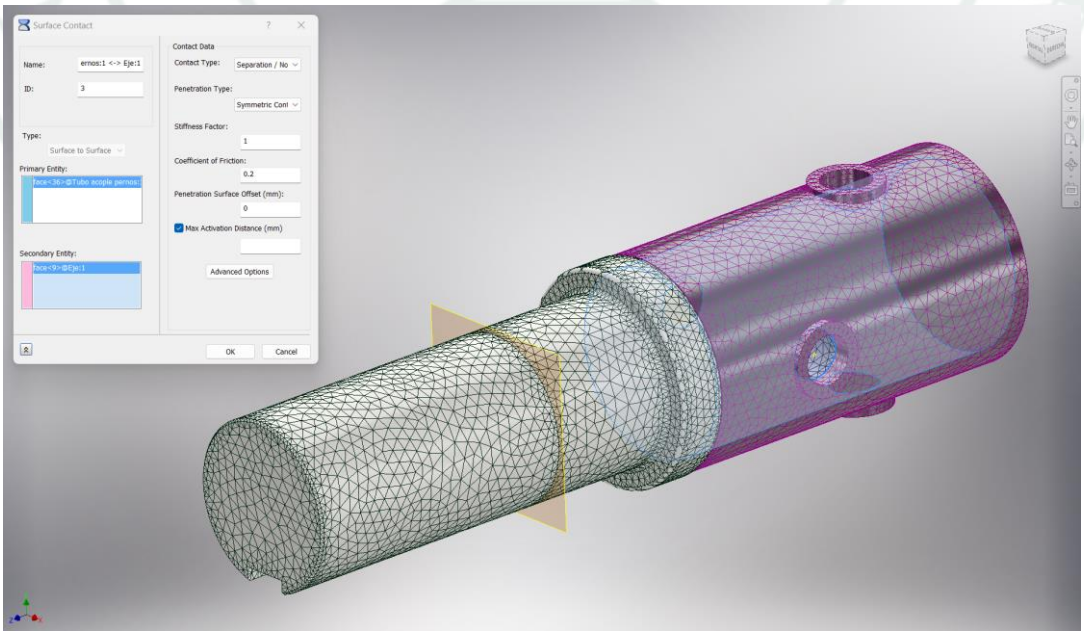


Nota. Elaboración Propia. Tamaño de malla: 5 mm

- Contactos

Figura 58

Contacto entre Eje Motriz y tubo

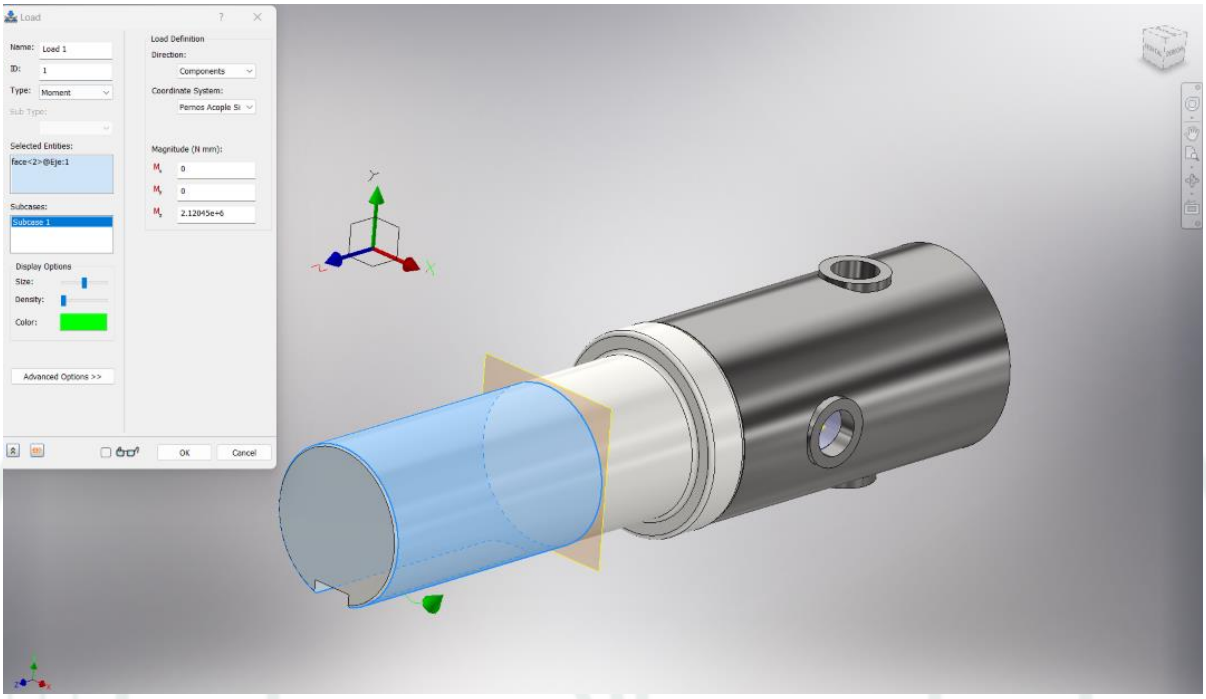


Nota. Elaboración Propia. Contacto de separación con fricción.

- Condiciones de Frontera.

Figura 59

Condiciones de frontera en acople eje motriz y tubo

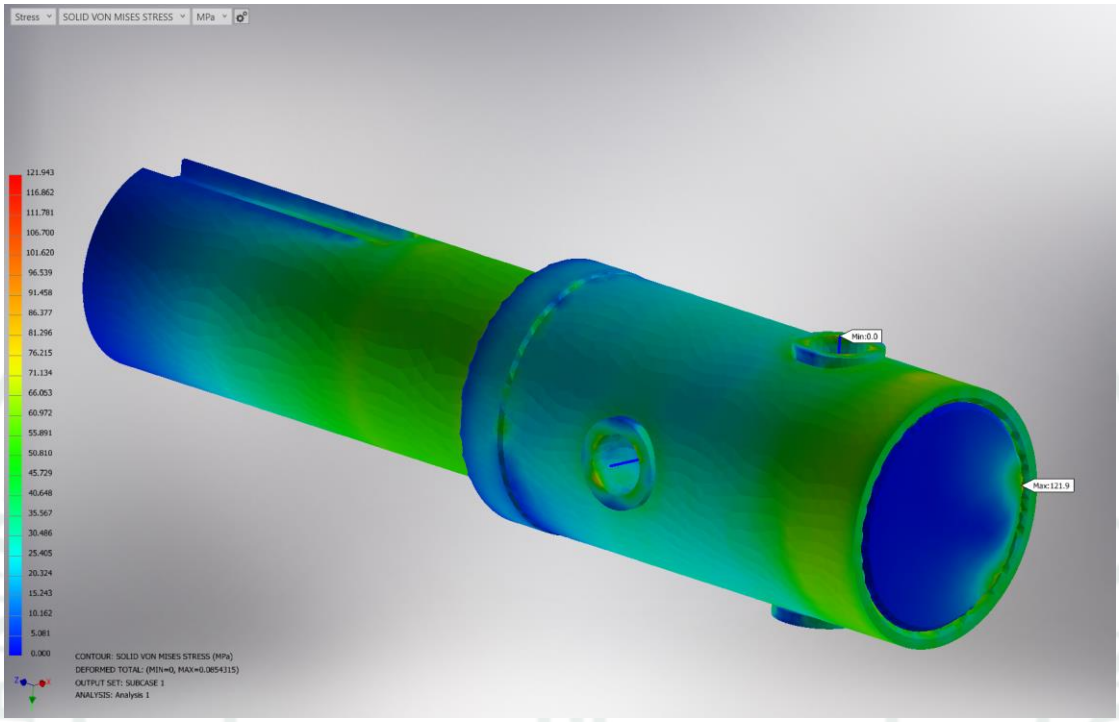


Nota. Elaboración propia. Se aplicó un momento torsor de 2120 Nm

- Esfuerzo de Von Mises en ensamble acople y eje motriz.

Figura 60

Esfuerzo Von Mises Unión Eje Tubo

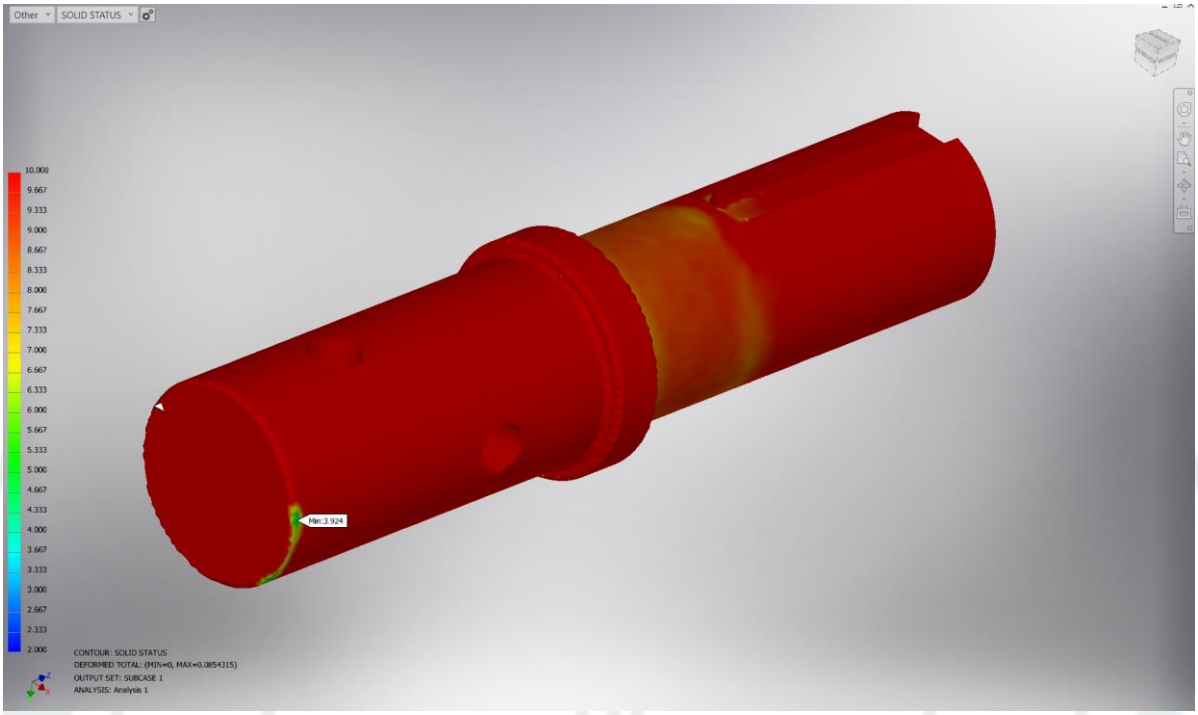


Nota. Elaboración Propia. Esfuerzo de Von Mises máximo ubicado en la zona de unión 121.9 MPa.

- Factor de seguridad en el eje motriz

Figura 61

Factor de Seguridad en eje Motriz

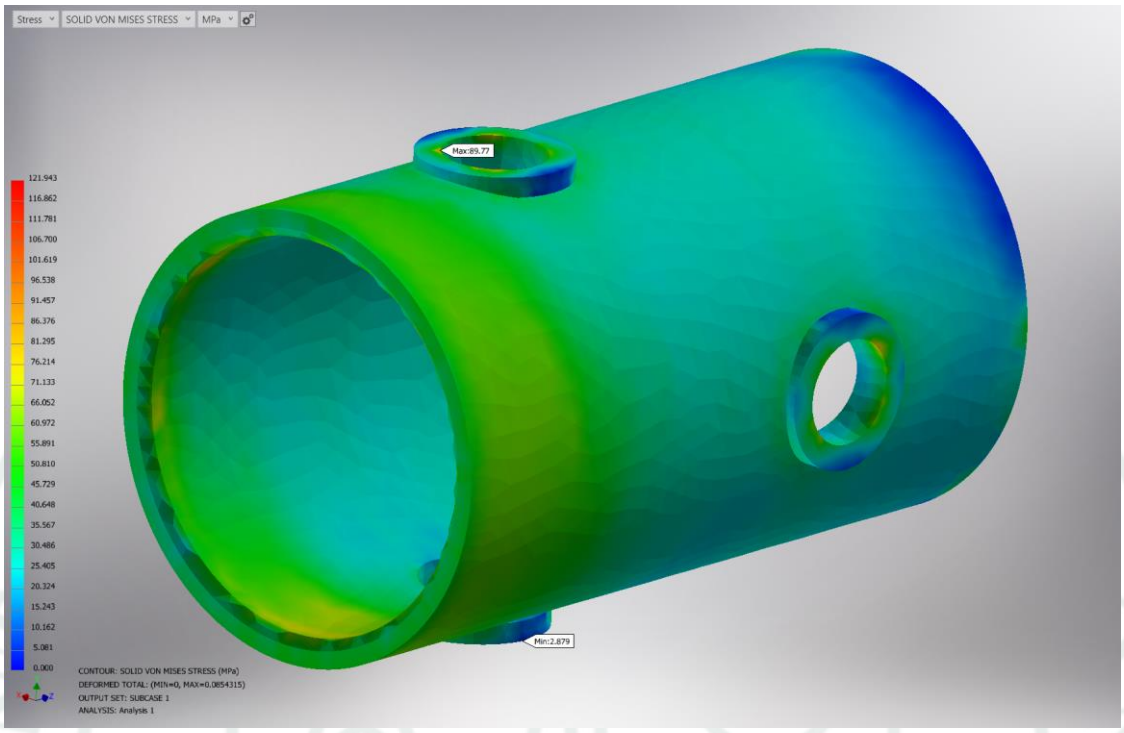


Nota. Factor de seguridad: 3.92, Elaboración propia.

- Esfuerzo de Von Mises en Tubo de helicoide sección de concentración de esfuerzo por agujeros.

Figura 62

Esfuerzo de Von Mises en Tubo Helicoidal

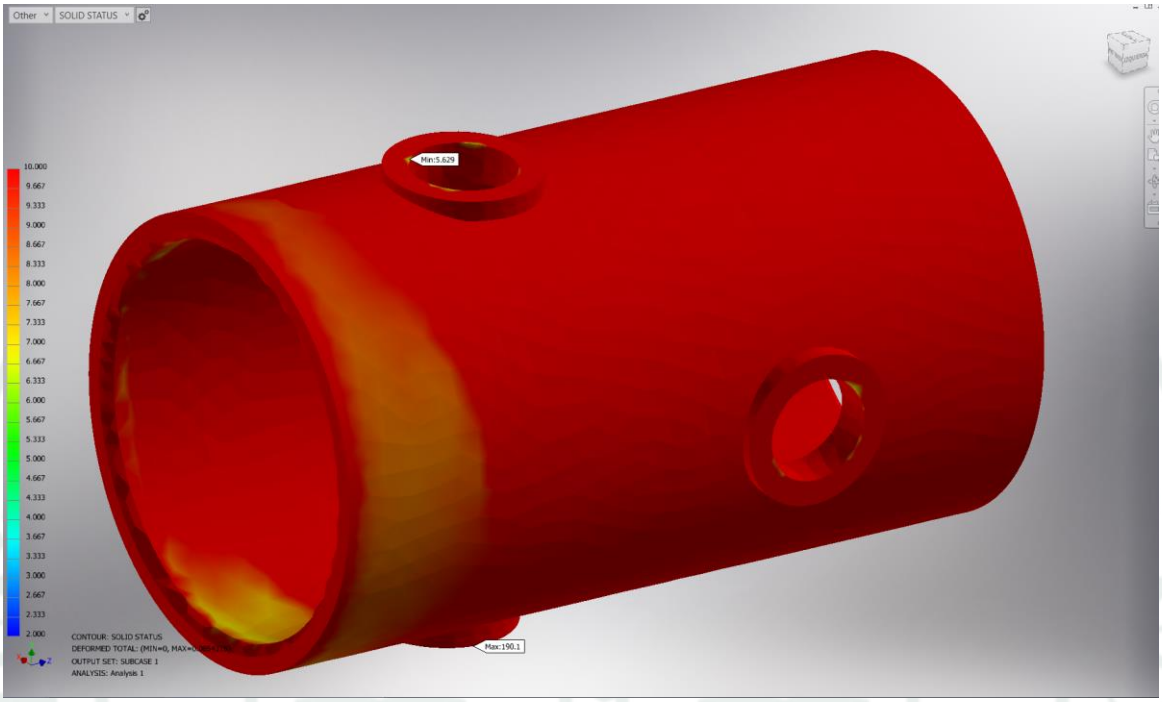


Nota. Elaboración propia. Esfuerzo de Von Misses: 89.77 MPa ubicado en la zona roja

- Factor de Seguridad en Tubo de helicoide sección de concentración de esfuerzo por agujeros.

Figura 63

Factor de Seguridad en eje helicoidal

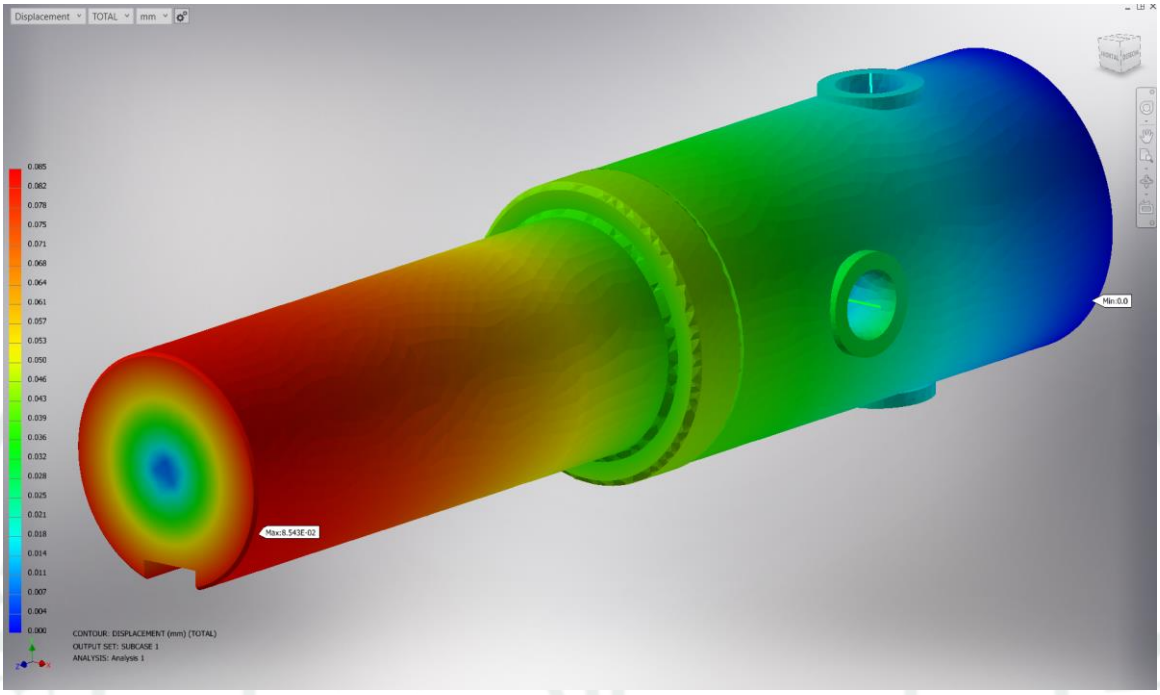


Nota. Elaboración propia. Factor de seguridad: 5.63

- Desplazamientos en ensamble de eje motriz y tubo de helicoide.

Figura 64

Desplazamiento en Unión de Eje motriz y tubo helicoidal



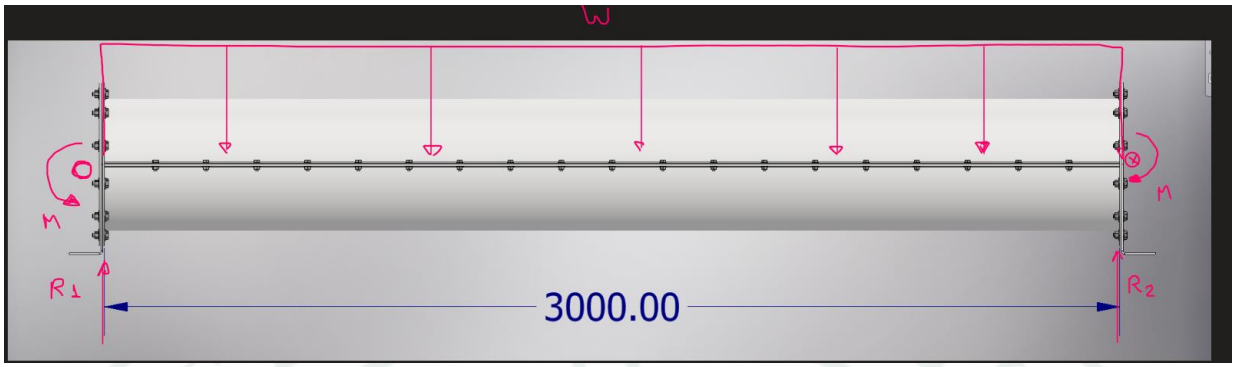
Nota. Elaboración propia. Desplazamiento: 0.085 mm

4.3. Diseño de la artesa y soportes intermedios

Para los cálculos de la artesa, se idealizarán como una viga doblemente empotrada, al ser una artesa tubular podemos idealizarla como un tubo, para las propiedades geométricas como áreas e inercia, la carga es distribuida, tenemos una carga total de 2150 N. considerando pesos de los componentes, carga del material, además de pernos acoples y ejes, teniendo una carga distribuida en los 3 metros. w=416.67N/m

Figura 65

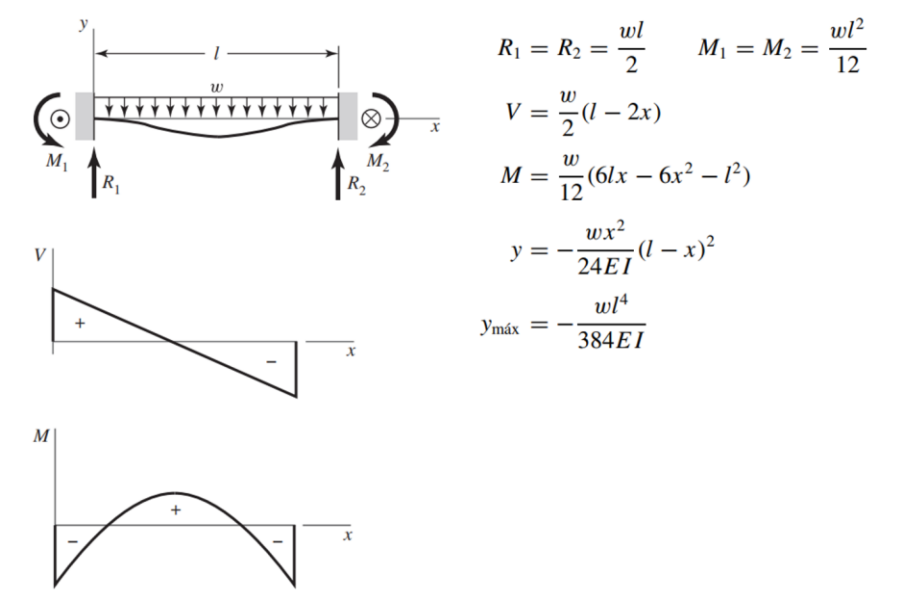
Artesa como viga doblemente empotrada



Nota. Elaboración Propia

Figura 66

Cortante, Momento y deflexión de viga doblemente empotrada



$$R_1 = R_2 = \frac{wl}{2} \qquad M_1 = M_2 = \frac{wl^2}{12}$$

$$V = \frac{w}{2}(l - 2x)$$

$$M = \frac{w}{12}(6lx - 6x^2 - l^2)$$

$$y = -\frac{wx^2}{24EI}(l - x)^2$$

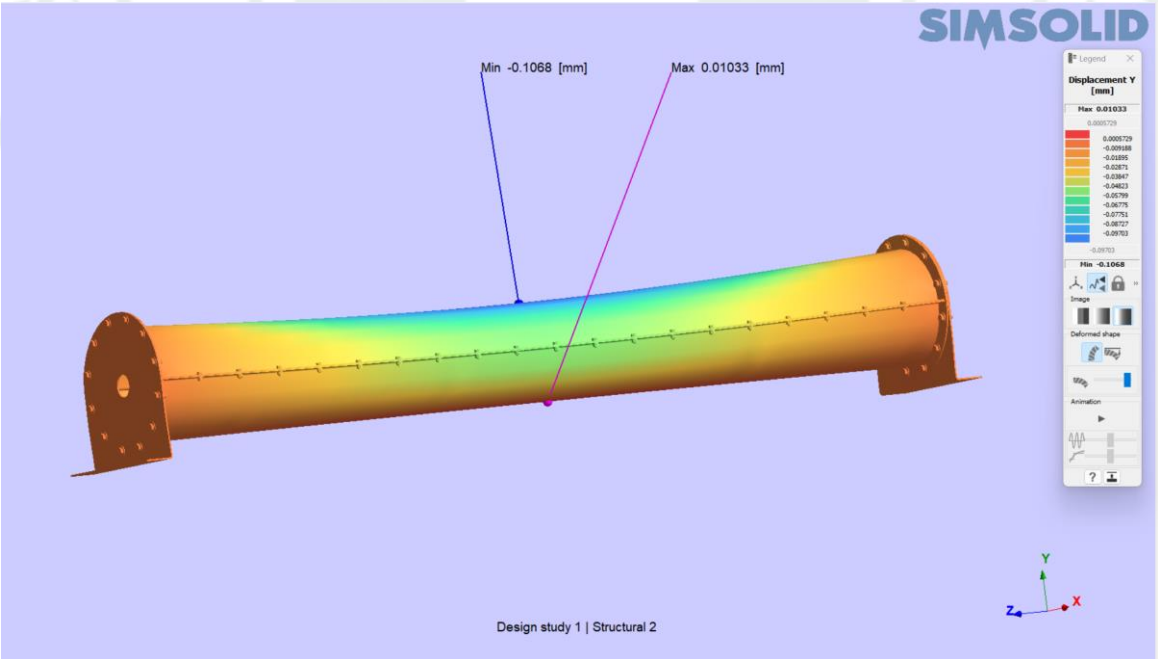
$$y_{\text{máx}} = -\frac{wl^4}{384EI}$$

Nota. La fuerza y las reacciones de momento son positivas en las direcciones que se muestran. Reimpreso de Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (p. 984), por R. G. Budynas y J. K. Nisbett, 2011, McGraw-Hill

$w := \frac{2150 \cdot N}{3 \cdot m} = 716.67 \frac{kg}{s^2}$	Carga distribuida
$l := 3{\sim}m$	Longitud artesa
$E := 201GPa$	Módulo de elasticidad del material
$R_1 := \frac{w \cdot l}{2} = 1075N$	Reacción 1
$R_2 := R_1 = 1075N$	Reacción 2
$M_1 := \frac{w \cdot l^2}{12} = 537.5N \cdot m$	Momento flector máximo
$V := \frac{w}{2}(l) = 1075N$	Fuerza cortante máxima
$D := 389mm$	Diámetro exterior del tubo
$d := 381mm$	Diámetro interior del tubo
$I := \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4) = 8964.97cm^4$	Momento de inercia en eje X
$y_{\max} := \frac{w \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} = 8.39 \cdot 10^{-6}m$	Deflexión máxima analítica
$y_{FEM} := 0.01033{\sim}mm = (10.33 \cdot 10^{-6})m$	Deflexión máxima obtenida por FEM
$\left\lvert \frac{y_{FEM} - y_{\max}}{y_{FEM}} \right\rvert = 18.79$	Error porcentual entre cálculo analítico y FEM

Figura 67

Deformación en Artesa y Helicoide



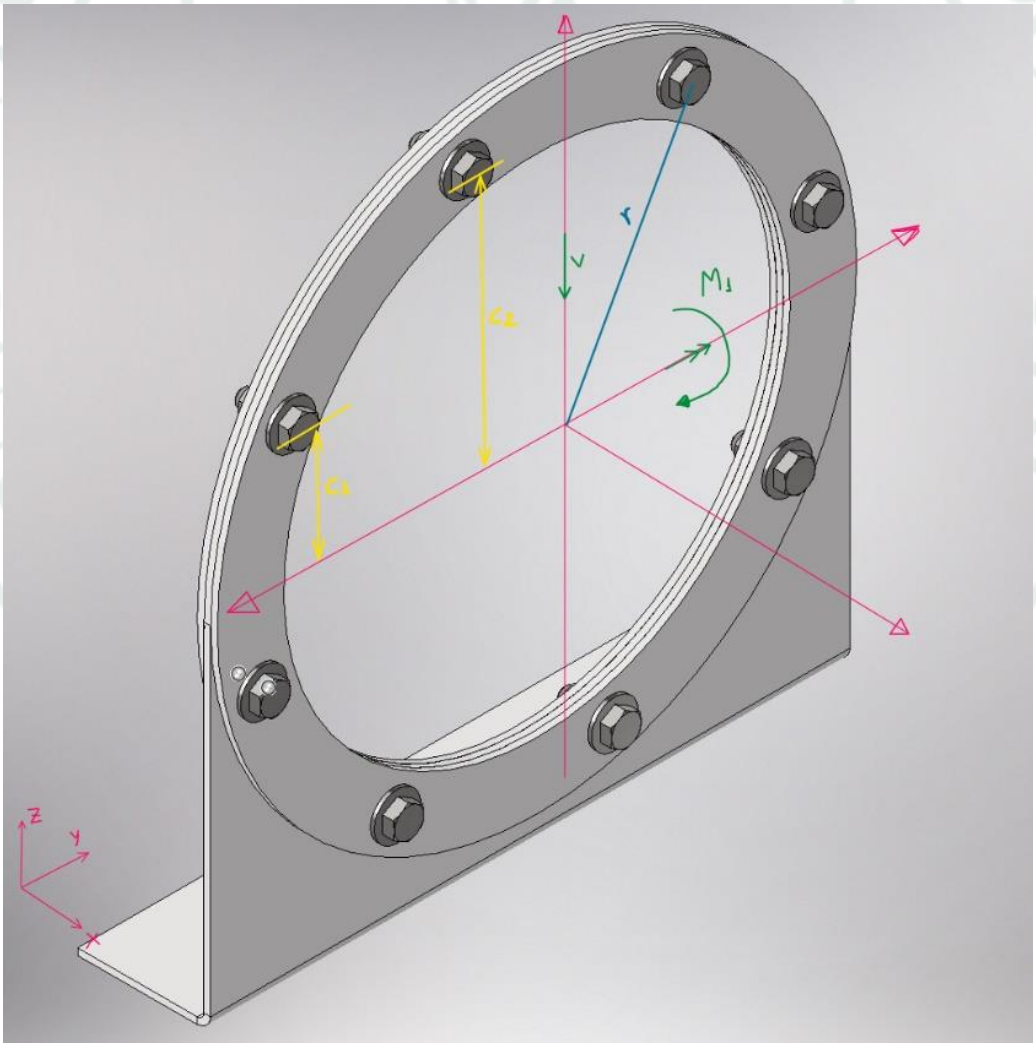
Nota. La longitud considerada es de 3000 mm, se tiene una deflexión máxima de 0.01033mm

4.3.1. Unión empernada tapa lateral y artesa tubular bridada.

Para la unión se propusieron 8 pernos distribuidos en un sector circular según Martin 2012, estos pernos unirán la brida con la tapa lateral, los pernos tendrán un diámetro de ½", estarán sometidos a una carga cortante "V" y un momento flecto "M1", estas cargas fueron halladas anteriormente y se muestran en la Figura 68, las medidas c1, c2 en el eje "Z", serán medidas en el software Inventor y son: 82mm, 199m, respectivamente, el resto de distancia "c" son simétricas en los ejes "Z" y "Y" tomando como referencia la Figura 68, los pernos serán del mismo material que el cuerpo y la artesa AISI 304.

Figura 68

DCL Unión empernada brida y tapa lateral.



Nota. Elaboración Propia.

$F_u := 505\text{MPa}$	Esfuerzo Último AISI 304
$F_y := 215\text{MPa}$	Esfuerzo de Fluencia AISI 304
$D_p := \frac{1}{2}\text{in} = 12.7\text{mm}$	Diámetro del perno
$A_b := \frac{\pi \cdot D_p^2}{4} = 126.68\text{mm}^2$	Área bruta del perno
$D_a := D_p + \frac{1}{16}\text{in} = 14.29\text{mm}$	Diámetro del agujero estándar
$V := \frac{1075\sim\text{N}}{8} = 134.38\text{N}$	Fuerza a corte en cada perno
$\tau := \frac{4 \cdot V}{3 \cdot A_b} = 1.41\text{MPa}$	Esfuerzo cortante

Figura 69

Calculo de pernos.

Fuerzas de tracción por momento flector producido por la fuerza cortante al momento de ser llevado al centro geométrico de pernos

$$c_{perno} := \begin{bmatrix} 82 \\ 199 \\ 199 \\ 82 \\ -82 \\ -199 \\ -82 \\ -199 \end{bmatrix} mm$$

Distancias "c" del eje del momento a los diferentes pernos

$$M := 537.5\ N \cdot m$$

Momento en el Eje Central

$$sum_c := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in \text{rows}\left(c_{perno}\right) \\ \quad \left\| sum_c \leftarrow \sum c_{perno}{}^2 \right. \end{array} \right.$$

Suma de distancias "c" del eje del momento a los diferentes pernos

$$sum_c = 1853\ cm^2$$

$$F_{AS} := \frac{|M| \cdot c_{perno}}{sum_c} = \begin{bmatrix} 237.86 \\ 577.24 \\ 577.24 \\ 237.86 \\ -237.86 \\ -577.24 \\ -237.86 \\ -577.24 \end{bmatrix} N$$

Cargas axiales por momento flector distribuidos en los 8 pernos

$$\sigma := \frac{577.24\ N}{A_b} = 4.56\ MPa$$

Esfuerzos en tracción

Nota. Elaboración Propia.

$$n_{\text{perno}} := \frac{F_y}{\sigma'} = 41.56$$ Factor de Seguridad

$$t := 4 \text{ mm}$$ Espesor de plancha de unión

$$D_p = 12.7 \text{ mm}$$ Diámetro del perno

$$\sigma_{\text{apl}} := \frac{V}{D_p \cdot t} = 2.65 \text{ MPa}$$ Esfuerzo de Aplastamiento

$$n_{\text{apl}} := \frac{F_y}{\sigma_{\text{apl}}} = 81.28$$ Factor de seguridad por aplastamiento

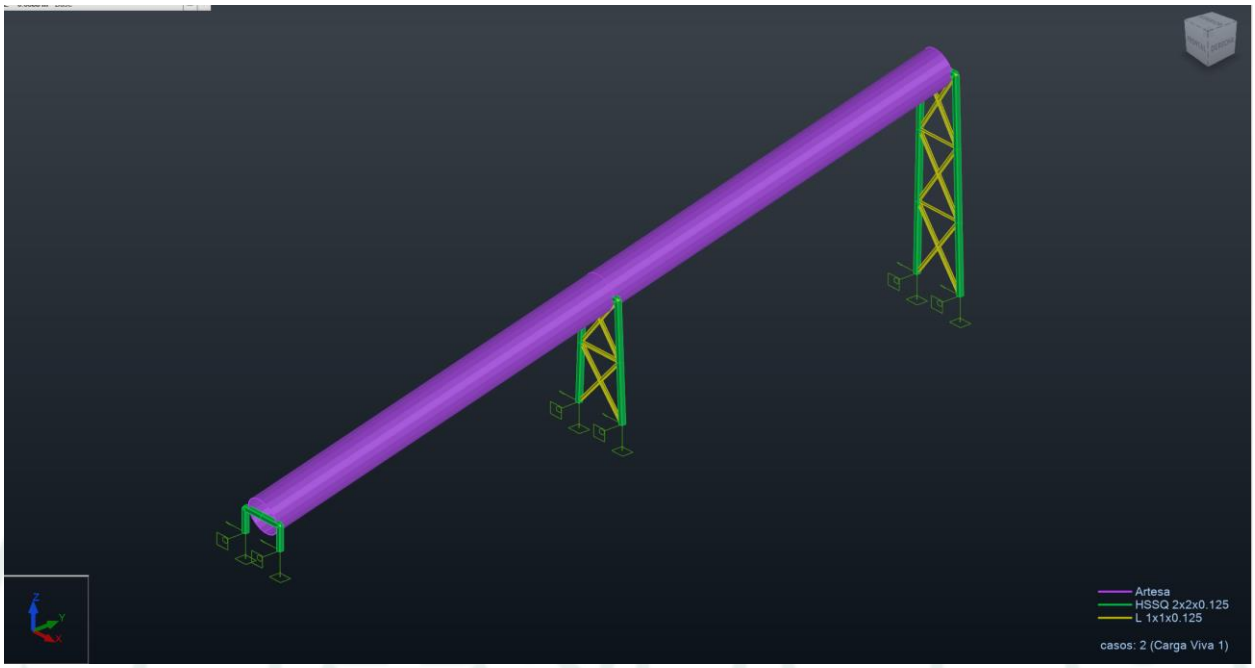
Los pernos no presentaran fallas, tampoco las planchas de conexión, porque superamos factores de seguridad de 2.5.

4.4. Diseño Estructural.

Luego de haber diseñado y/o seleccionado los elementos del tornillo transportador tenemos que diseñar la estructura de soporte, para ello se idealizara a la artesa como un tubo solido de 389 mm de diámetro exterior y un espesor de 4mm, tendremos 3 soportes colocados a 4.11 metros, estos elementos se muestran en la Figura 70, el diagrama de cuerpo libre se muestra en la Figura 71, este arreglo analíticamente puede resolverse mediante una viga continua con tres apoyos, esta configuración tiene una análisis hiperestático, las ecuaciones son conocidas, los diagramas de fuerza cortante, y momento flector también son conocidos, los encontramos en el Manual de Estructuras Metálicas de AISC LRFD 14ava edición página (4-189).

Figura 70

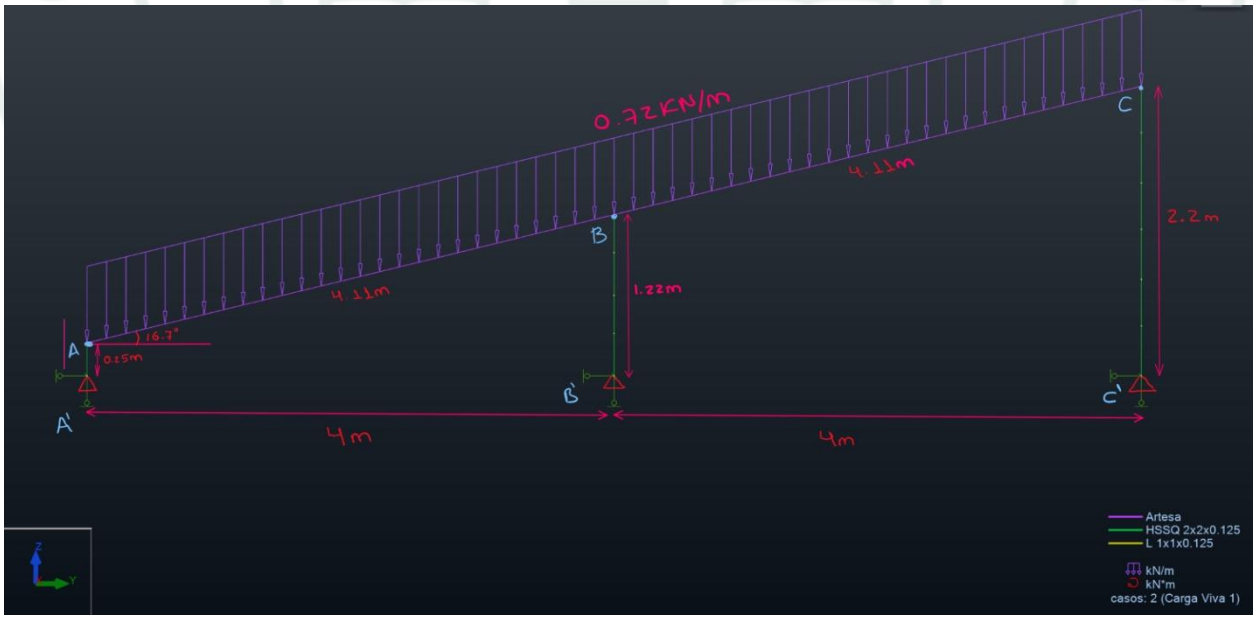
Estructura soporte de Artesa.



Nota. Elaboración Propia.

Figura 71

DCL Estructura soporte de artesa.



Nota. Elaboración Propia.

4.4.1. Cargas y Combinación de carga en Estructura de Soporte.

La estructura que soportara la artesa debe ser diseñada bajo las normativas peruanas, para ello se empleara la normas Técnicas Peruanas E.020, E.030 y E.090, la carga muerta y viva ya fueron determinadas en las secciones anteriores, los pesos exactos de los componentes fueron determinado por el Software Autodesk gracias al modelado de todo el equipo.

- **Carga Muerta (D).** Esta carga corresponde al peso de la estructura, se planteó unos pórticos arriostrados compuestos por columnas tubulares, y los arriostres serán de ángulos, esto se muestran en la Figura 70.
- **Carga Viva (L)** La carga viva corresponde a equipos y/o personas que están sobre la estructura usualmente es variable en el tiempo, para el proyecto se considera el peso del equipo (helicoide, artesa, ejes, motor, etc.) y el cemento transportado, tenemos una carga distribuida total de 0.72 kN/m como se muestra en la Figura 71.

4.4.1.1. Combinaciones de Carga.

La NTP. E.090 indica que se debe aplicar las combinaciones de carga LRFD que son las siguientes.

- *D:* Carga muerta
- *L*: Carga viva debida al mobiliario y ocupantes.
- *Lr:* Carga viva en las azoteas.
- *W:* Carga de viento
- *S*: Carga de nieve.
- *E*: Carga de sismo de acuerdo con la Norma E.030 Diseño Sismorresistente.
- *R*: Carga por lluvia o granizo.

Tabla 15

Factores y combinaciones de carga.

Combinación de Carga	
COMB1	1,4D
COMB2	1,2D +1,6L + 0,5(Ló S ó R)
COMB3	1,2D +1,6(L ó S ó R) + (0,5L ó 0,8W)
COMB4	1,2D +1,3W + 0,5L + 0,5(Lr ó S ó R)
COMB5	1,2D ± 1,0E + 0,5L + 0,2S
COMB6	0,9D ± (1,3W ó 1,0E)

Nota. Adaptado de Norma Técnica Peruana E.090 Estructuras Metálicas (pág. 14).

Para la carga de sismo se empleará la norma NTP E.030, las consideraciones que se tienen son para la región de Arequipa, un tipo de suelo S2, la estructura constara de pórticos ordinarios resistentes a momentos.

Tabla 16

Factor de Zona Z

ZONA	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

Nota. Adaptado N.T.P. E.030 Sismorresistente

- Tenemos un factor Z=0.45
- Factores de suelo S.

  Correspondiente a un suelo tipo S2 y una zona sísmica Z4 se tiene un factor S=1.05

Tabla 17

Factor de suelo S

ZONA\SUELO	S0	S1	S2	S3
Z4	0,80	1,00	1,05	1,10
Z3	0,80	1,00	1,15	1,20
Z2	0,80	1,00	1,20	1,40
Z1	0,80	1,00	1,60	2,00

Nota. Adaptado N.T.P. E.030 Sismorresistente

Periodo TP y TL de acuerdo con la norma NTP E.030

Tabla 18

Factores Tp y TL

	Períodos Tp Y TL			
	Perfil de suelo			
	S0	S1	S2	S3
Tp (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
TL (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

*Norma: Adaptado N.*T.P. E.030 Sismorresistente

$$T_p = 0.6$$

$$T_L = 2$$

- Factor de uso de estructura amplificado (U).

Tabla 19

Factor de uso U

Categoría	Subcategoría	Descripción	Factor U
A – Edificaciones Esenciales	A1	Establecimientos del sector salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud.	Ver nota 1
A – Edificaciones Esenciales	A2	Edificaciones esenciales para el manejo de las emergencias, el funcionamiento del gobierno y en general aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre. Se incluyen las siguientes edificaciones:• Establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1.• Puertos, aeropuertos, estaciones ferroviarias de pasajeros, sistemas masivos de transporte, locales municipales, centrales de comunicaciones.• Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía.• Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua.• Instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades.• Edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos.• Edificios que almacenen archivos e información esencial del Estado.	1,5
B – Edificaciones Importantes	—	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de buses de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas. También se consideran depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.	1,3
C – Edificaciones Comunes	—	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.	1,0
D – Edificaciones Temporales	—	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.	Ver nota 2

Nota. Adaptado N.T.P. E.030 Sismorresistente

Tabla 20

Factor por Sistema Estructural

Sistema Estructural	Coeficiente Básico de Reducción R0 (*)
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	7
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	6
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	8
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	6
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería Armada o Confinada.	3
Madera (Por esfuerzos admisibles)	7

Nota. Adaptado N.T.P. E.030 Sismorresistente

Los pórticos serán elementos estructurales importante para la estructura base del silo, por ello tomamos un coeficiente de 4 correspondiente a un sistema OMF

$$R_x = 6$$
$$R_y = 6$$

- Factor de amplificación sísmica C.

Para el factor de amplificación según la Norma NTP E.030, con periodos de TP=0.6 y TL=2 tenemos un factor C para “x” y para “y” de 2.5 ya que el periodo de la estructura es de 0.55.

- Finalmente tenemos que calcular la aceleración de la estructura debido a la carga sísmica.

$$a := \frac{Z \cdot U \cdot C_x \cdot S}{R_X}$$

$$a := \frac{0.45 \cdot 4 \cdot 2.5 \cdot 1.05}{6}$$

$$a := 0.295$$

Este factor de aceleración, por tratarse de una estructura simple, se aplicará como carga viva una carga horizontal equivalente al 0.295 del peso total, esta carga será ubicada en centro de gravedad de la estructura.

- Combinaciones de Carga

Tabla 21

Combinaciones de Carga para el Proyecto

Combinación de Carga		
COMB1	1,4D	ELU
COMB2	1,2D +1,6L	ELU
COMB3	1,2D ±Sx	ELU
COMB4	1,2D ±Sy	ELU
COMB5	D+L	ELS

Nota. Elaboración Propia

Las combinaciones de carga se reducen a 5, las 4 primera sirven para el diseño de los miembros estructurales y la quinta para comprobar las deflexiones, para la artesa no debemos sobrepasar un valor de 0.25in o 6mm, este será nuestro valor límite.

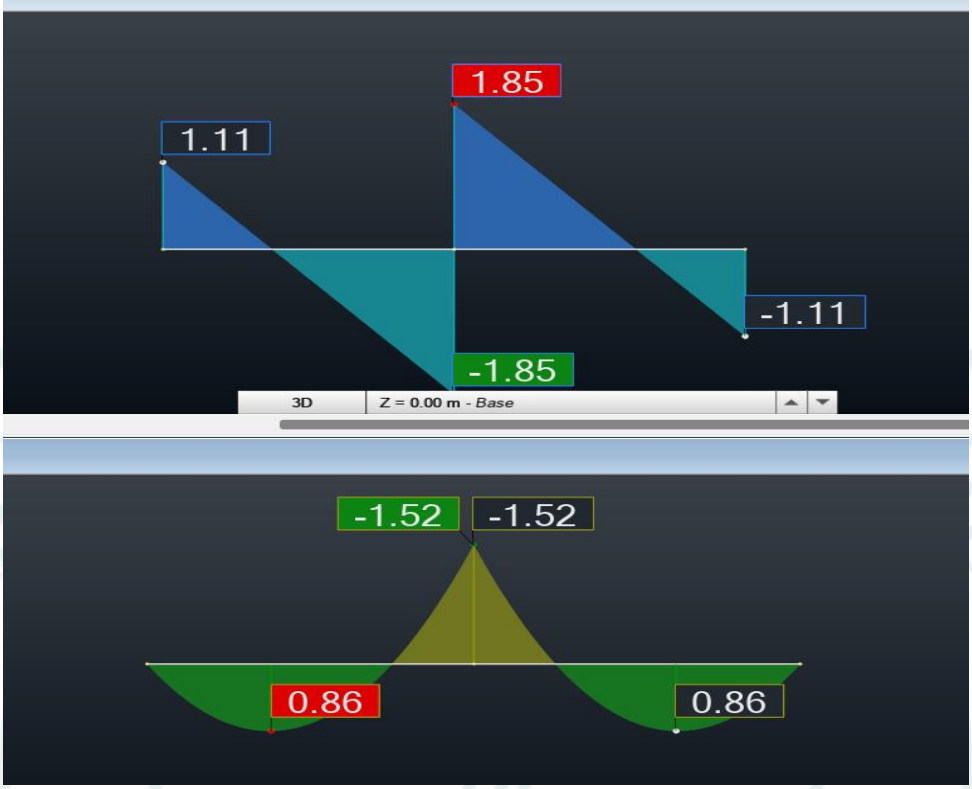
4.4.2. Calculo Estructural Analítico.

Las ecuaciones para calcular las reacciones y momentos en los puntos de interés, ya se conocen.

$L \coloneqq 4.11m$	Longitud entre soportes
$w \coloneqq 0.72\frac{kN}{m}$	Carga distribuida
$2 \cdot w \cdot L = 5.918kN$	Carga total
$R_A \coloneqq \frac{3 \cdot w \cdot L}{8} = 1.11kN$	Reacción en A
$R_B \coloneqq \frac{5 \cdot w \cdot L}{8} = 1.85kN$	Reacción en B
$R_C \coloneqq \frac{3 \cdot w \cdot L}{8} = 1.11kN$	Reacción en C
$M_B \coloneqq \frac{w \cdot (L)^2}{8} = 1.52kN \cdot m$	Momento en B
$M_{AB_{max}} \coloneqq \frac{9}{128} \cdot w \cdot (L)^2 = 0.86kN \cdot m$	Momento en A máximo
$R_A + 2 \cdot R_B + R_C = 2 \cdot w \cdot L$	Equilibrio en cargas verticales
$R_A + 2 \cdot R_B + R_C = 5.918kN$	$2 \cdot w \cdot L = 5.918kN$

Figura 72

DFC y DMF en Artesa



Nota. El diagrama fue elaborado en el Software Autodesk RSA 2024, los valores calculados analíticamente y los resultados por Software son consecuentes, en la imagen superior está el diagrama de fuerza cortante en kN con un valor máximo en el centro de 1.85kN y un momento flector inferior de 1.52kN en la parte inferior.

4.4.3. Calculo Estructural.

Teniendo la certeza de que los cálculos analíticos y por software son idénticos, procederemos a diseñar los elementos estructurales, como son las Vigas, sometidas a momento y compresión, y los arriostres sometidos a fuerzas axiales sean de tracción o compresión.

4.4.3.1. Diseño de Columna.

Para el cálculo de la columna se seguirá el proceso de diseño establecido por la norma AISC 360-16, se seleccionará una columna de tubo cuadrado HSS 2”x2”x1/8”, es la menor de las secciones de tubos cuadrados, no se optó por ángulos, ya que estos no soportan momentos flectores, las propiedades geométricas de la sección se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22

Propiedades geométricas de la sección HSS 2”x2”x1/8”.

Perfil (Forma)	t	Peso Nominal	A	b/t	h/t	I	S	r	Z	Plano de Trabajo	Factores de Torsión J	Factores de Torsión C	Área de Superficie
Unidades	in	lb/ft	in²	—	—	in⁴	in³	in	in³	in	in⁴	in³	ft²/ft
HSS2×2×1/4	233	5.41	1.51	5.58	5.58	747	747	704	964	—	1.31	1.41	600
HSS2×2×3/16	174	4.32	1.19	8.49	8.49	641	641	733	797	—	1.09	1.14	617
HSS2×2×1/8	116	3.05	840	14.2	14.2	486	486	761	584	—	796	817	633

Adaptado de Manual LRFD AISC 14ava Edicion. Donde t: Espesor de Pared de Diseño; A: Area; I: Momento de Inercia; S: Módulo de Sección; r: Radio de Giro, Z: Modulo Plástico de Sección; J: Factor J de Torsión; C: Factor C de Torsión

Se tiene que determinar la resistencia del miembro, con una longitud de 0.25 metros de longitud arriostrada, las propiedades del acero ASTM A36 son las siguientes.

$E \coloneqq 29000\text{ksi}$ Módulo de Elasticidad Acero A36

$u \coloneqq 0.3$ Coeficiente de poisson

$G \coloneqq \dfrac{E}{2 \cdot (1+u)} = 11153.846\text{ksi}$ Módulo de corte

$F_y \coloneqq 36\text{ksi}$ Esfuerzo de Fluencia.

Propiedades de la sección.

$d \coloneqq 2\text{in}$ Ala del tubo

$b_f := 2$ in	Alma del tubo
$t_f := 0.125$ in	Espesor del Ala
$t_w := 0.125$ in	Espesor del Alma
$b := b_f - 3t_w = 1.63$ in	Ancho de ala para verificar compacticidad
$h_c := d - 3 \cdot t_f = 1.63$ in	Altura de ala para verificar compacticidad
$\phi := 0.9$	Coeficiente a compresión
$A_g := 0.84\text{in}^2 = 5.42\ \text{cm}^2$	Área de sección transversal
$I_x := 0.486\text{in}^4 = 20.23\ \text{cm}^4$	Momento de Inercia eje X
$I_y := 0.486\text{in}^4 = 20.23\ \text{cm}^4$	Momento de Inercia eje X
$r_x := \sqrt{\frac{I_x}{A_g}} = 1.93\ cm$	Radio de giro Eje X
$r_y := r_x = 1.93$ cm	Radio de giro Eje Y
$J := 0.796\text{in}^4 = 33.13\ \text{cm}^4$	Momento Polar de Inercia.
$C := 0.796\text{in}^3 = 13.04\ \text{cm}^3$	Constante de Torsión
$S_x := 0.486\text{in}^3 = 7.96\ \text{cm}^3$	Módulo de sección elástico
$Z_x := 0.584\text{in}^3 = 9.57\ \text{cm}^3$	Módulo de sección plástico
$L_b := 0.25$ m	Longitud del miembro

$k_x := 1$ Constante K para miembros arriostrados eje X

$k_y := 1$ Constante K para miembros arriostrados eje Y

$k_z := 1$ Constante K para miembros arriostrados eje Z

Resistencia del Miembro a Compresión.

$\lambda_f := \frac{b}{t_f} = \frac{1.625 \cdot \text{in}}{0.125 \text{ in}} = 13$ Relación ala

$\lambda_w := \frac{h_c}{t_f} = \frac{1.625 \cdot \text{in}}{0.125 \text{ in}} = 13$ Relación de alma

$c_1 := 0.20$ Factor de Ajuste de imperfección case b) Tabla E7.1 ver anexo

$c_2 := 1.38$ Factor de Ajuste de imperfección case b Tabla E7.1 ver anexo

$\lambda_{rf} := 1.40 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 39.74$ Relación Ala Limite según Tabla B4.1.a ver Anexos

$\lambda_{rw} := 1.40 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 39.74$ Relación Alma Limite según Tabla B4.1.a ver Anexos

$si: \lambda_f > \lambda_{rf} \quad 13 < 39.47$ Ala no esbelto

$si: \lambda_f > \lambda_{rf} \quad 13 < 39.47$ Alma no esbelto

$$\frac{L_b}{r_x} < 200 \quad \frac{25\text{cm}}{1.93cm} \; 12.94 =< 200$$ Límite de Esbeltez

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{k_y \cdot L_b}{r_y}\right)^2} = \frac{\pi^2 (199947.96 \cdot MPa)}{\left(\frac{25 \cdot cm}{1.93 \cdot cm}\right)^2}$$ Esfuerzo de Pandeo Elástico.

$$F_e = 11785.86\, MPa$$ Esfuerzo de Pandeo Elástico.

$$F_{cr} = 0.658^{\frac{F_y}{F_e}} \cdot F_y$$ Esfuerzo Critico.

$$F_{cr} = 658^{\frac{248.21MPa}{11785.85MPa}} \cdot 248.21 \cdot MPa$$ Esfuerzo Critico.

$$F_{cr} = 246.03\, MPa$$ Esfuerzo Critico.

$$\phi Pn_1 \coloneqq \phi \cdot F_{cr} \cdot A_g$$ Resistencia a la compresión

$$\phi Pn_1 = 0.9 \cdot 246.03 \cdot MPa \cdot 5.42 \cdot \text{cm}^2 = 120kN$$ Resistencia a la compresión

Resistencia del Miembro a Flexión, para ello se debe evaluar la resistencia a momento bajo distintos criterios, como fluencia (Y), pandeo local del ala (FLB), pandeo local del alma (WLB), al tratarse de tubos cuadrados de bajo espesor y el material un acero ASTM A36 solo se verificará la fluencia, ya que el resto de los criterios son iguales, para otras secciones se debe verificar cada una de ella y tomar la menor de ellas.

$$M_p = F_y \cdot Z_x = 248.21 \cdot MPa \cdot 9.57 \cdot \text{cm}^3$$ Momento Plástico

$$M_p = 2.38kN$$ Momento Plástico

$$\phi = 0.9$$ Coeficiente a Flexión

$$\phi M_p = 0.9 \cdot 2.38 \cdot kN - m = 2.14\, kN - m$$ Resistencia a Momento Flector

Cálculo de ratio a flexo compresión, para ello requerimos las cargas máximas, del software se obtiene que el máximo momento en la columna es de 0.24kN*m y una carga de compresión de 6.24kN, estas cargas se producen bajo la combinación 1,2D +1,6L.

$$\frac{P_{\text{comp}}}{\phi Pn} < 0.2 \quad \frac{0.24\text{kN}}{120kN} = 0.05 < 0.2 \qquad \text{Se debe cumplir}$$

$$Ratio = \frac{P_{\text{comp}}}{2 \cdot \phi Pn} + \left(\left|\frac{M_y}{\phi Mn_y}\right|\right) < 1 \qquad \text{Ratio a Flexocompresion.}$$

$$Ratio = \frac{0.24\text{kN}}{2 * 120kN} + \left(\left|\frac{0.24\ \text{kN} \cdot \text{m}}{2.14\ kN - m}\right|\right) < 1 \qquad \text{Ratio a Flexocompresion.}$$

$$Ratio = 0.14 < 1 \qquad \text{Ratio a Flexocompresion.}$$

El ratio de diseño debe ser menor a 1 según la norma AISC 360-16, el ratio puede parecer excesivo, pero es la sección más pequeña que resista momento, los ángulos serian ideales, pero al tener cargas de momento, el ratio sería mayor a 1 seguro, es por ello por lo que las vigas y columnas tendrán esta sección, para ver los resultados obtenidos por el software ver la Figura 73.

4.4.3.2. Diseño de Viga.

Para la viga tenemos una condición de carga similar, compresión y momento flector, las cargas se producen bajo la combinación 1.2D+1.6L, con una carga a compresión de 0.67kN y un momento Flector 1.25 kN-m, la sección es la misma que la viga un Tubo HSS 2”x2”x1/8”, por lo tanto, las propiedades de la sección ya se conocen, la longitud del miembro es de 0.24m, con esta información calculamos la resistencia del miembro a compresión.

$$si: \lambda_f > \lambda_{rf} \quad 13 < 39.47 \qquad \text{Ala no esbelto}$$

$$si: \lambda_f > \lambda_{rf} \quad 13 < 39.47 \qquad \text{Alma no esbelto}$$

$$\frac{L_b}{r_x} < 200 \ \frac{24cm}{1.93cm} \ 12.44 =< 200 \qquad \text{Límite de Esbeltez}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{k_y \cdot L_b}{r_y}\right)^2} = \frac{\pi^2 (199947.96 \cdot MPa)}{\left(\frac{24 \cdot cm}{1.93 \cdot cm}\right)^2}$$ Esfuerzo de Pandeo Elástico.

$$F_e = 12788.47\ MPa$$ Esfuerzo de Pandeo Elástico.

$$F_{cr} = 0.658^{\frac{F_y}{F_e}} \cdot F_y$$ Esfuerzo Critico.

$$F_{cr} = 658^{\frac{248.21 MPa}{12788.47 MPa}} \cdot 246.2 \cdot MPa$$ Esfuerzo Critico.

$$F_{cr} = 246.20\ MPa$$ Esfuerzo Critico.

$$\phi Pn_1 := \phi \cdot F_{cr} \cdot A_g$$ Resistencia a la compresión

$$\phi Pn_1 = 0.9 \cdot 246.2 \cdot MPa \cdot 5.42 \cdot cm^2 = 120.08 kN$$ Resistencia a la compresión

Figura 73

Calculo de Columna en software RSA 2024

NORMA: *ANSI/AISC 360-16 An American National Standard, July 7, 2016*
TIPO DE ANÁLISIS: Verificación de las barras

GRUPO:
BARRA: 40 Barra_40 **PUNTOS:** 3 **COORDENADA:** x = 1.00 L = 0.2500 m

CARGAS:
Caso de carga más desfavorable: 6 1.2D+1.6L 1*1.20+2*1.60

MATERIAL:
STEEL A36 Fy = 248.21 MPa Fu = 399.90 MPa E = 199947.96 MPa

PARAMETROS DE LA SECCION: HSSQ 2x2x0.125

d=5.1 cm	Ay=2.30 cm2	Az=2.30 cm2	Ax=5.42 cm2
bf=5.1 cm	Iy=20.23 cm4	Iz=20.23 cm4	J=33.13 cm4
tw=0.3 cm	Sy=7.96 cm3	Sz=7.96 cm3	
tf=0.3 cm	Zy=9.57 cm3	Zz=9.57 cm3	

PARAMETROS DE LA BARRA:

Ly = 0.2500 m	Lz = 0.2500 m
Lcy = 0.2500 m	Lcz = 0.2500 m
Lcy/ry = 12.94	Lcz/rz = 12.94

ESFUERZOS INTERNOS:
Tr = -0.02 kN*m
Pr = 6.24 kN
Mry = 0.24 kN*m Vry = -0.10 kN
Mrz = 0.03 kN*m Vrz = 0.67 kN

RESISTENCIAS DE DIMENSIONAMIENTO
FiT*Tn = 1.80 kN*m
Fic*Pn = 120.00 kN
Fib*Mny = 2.14 kN*m Fiv*Vny = 30.81 kN
Fib*Mnz = 2.14 kN*m Fiv*Vnz = 30.81 kN

PARÁMETRO DE SEGURIDAD
Fib = 0.90 Fic = 0.90 Fiv = 0.90

ELEMENTOS DE LA SECCION:
ala = compacto alma = compacto

FORMULAS DE VERIFICACION:
Pr/(2*Fic*Pn) + Mry/(Fib*Mny) + Mrz/(Fib*Mnz) = 0.15 < 1.00 LRFD (H1-1b) Verificado
Vry/(Fiv*Vny) = 0.00 < 1.00 LRFD (G) Verificado
Vrz/(Fiv*Vnz) = 0.02 < 1.00 LRFD (G) Verificado
Lcy/ry = 12.94 < (Lc/r),max = 200.00 Lcz/rz = 12.94 < (Lc/r),max = 200.00 ESTABLE

Nota. Elaboración Propia. El ratio de diseño es de 0.15

Resistencia del miembro a flexión.

$$M_p = F_y \cdot Z_x = 248.21 \cdot MPa \cdot 9.57 \cdot \text{cm}^3$$ Momento Plástico

$$M_p = 2.38kN$$ Momento Plástico

$$\phi = 0.9$$ Coeficiente a Flexión

$$\phi M_p = 0.9 \cdot 2.38 \cdot kN - m = 2.14\ kN - m$$ Resistencia a Momento Flector

Ratio a flexocompresion.

$$\frac{P_{\text{comp}}}{\phi Pn} < 0.2 \quad \frac{0.67\text{kN}}{120.08kN} = 0.01 < 0.2$$ Se debe cumplir

$$Ratio = \frac{P_{\text{comp}}}{2 \cdot \phi Pn} + \left(\left|\frac{M_y}{\phi Mn_y}\right|\right) < 1$$ Ratio a Flexocompresion.

$$Ratio = \frac{0.24\text{kN}}{2 * 120.08kN} + \left(\left|\frac{1.25\ \text{kN} \cdot \text{m}}{2.14\ kN - m}\right|\right) < 1$$ Ratio a Flexocompresion.

$$Ratio = 0.60 < 1$$ Ratio a Flexocompresion.

4.4.3.3. Deflexión en Viga.

Para la deflexión aplicaremos lo establecido en la norma NTP E.020, de la tabla mostrada en los anexos, tenemos un valor L/360=0.48m/360= 1.33mm.

Figura 74

Deflexión Bajo carga Viva y Muerta ELS.

Nota. Elaboración Propia, se tiene una deformación máxima de 0.2mm en la viga de los pórticos.

En la Figura 74 tenemos una deflexión máxima de 0.2mm, que es menor a 1.33mm por lo tanto tenemos un diseño correcto.

Figura 75

Calculo de Viga mediante Software RSA 2025

NORMA: *ANSI/AISC 360-16 An American National Standard, July 7, 2016*
TIPO DE ANÁLISIS: Verificación de las barras

GRUPO:
BARRA: 30 **PUNTOS:** 1 **COORDENADA:** x = 0.00 L = 0.0000 m

CARGAS:
Caso de carga más desfavorable: 6 1.2D+1.6L 1*1.20+2*1.60

MATERIAL:
STEEL A36 Fy = 248.21 MPa Fu = 399.90 MPa E = 199947.96 MPa

PARAMETROS DE LA SECCION: HSSQ 2x2x0.125

d=5.1 cm	Ay=2.30 cm2	Az=2.30 cm2	Ax=5.42 cm2
bf=5.1 cm	Iy=20.23 cm4	Iz=20.23 cm4	J=33.13 cm4
tw=0.3 cm	Sy=7.96 cm3	Sz=7.96 cm3	
tf=0.3 cm	Zy=9.57 cm3	Zz=9.57 cm3	

PARAMETROS DE LA BARRA:

Ly = 0.2400 m	Lz = 0.2400 m
Lcy = 0.2400 m	Lcz = 0.2400 m
Lcy/ry = 12.42	Lcz/rz = 12.42

ESFUERZOS INTERNOS:		**RESISTENCIAS DE DIMENSIONAMIENTO**	
Tr = 0.03 kN*m		FiT*Tn = 1.80 kN*m	
Pr = 0.67 kN		Fic*Pn = 120.08 kN	
Mry = 1.25 kN*m	Vry = 0.10 kN	Fib*Mny = 2.14 kN*m	Fiv*Vny = 30.81 kN
Mrz = 0.05 kN*m	Vrz = -6.22 kN	Fib*Mnz = 2.14 kN*m	Fiv*Vnz = 30.81 kN

PARÁMETRO DE SEGURIDAD
Fib = 0.90 Fic = 0.90 Fiv = 0.90

ELEMENTOS DE LA SECCION:
ala = compacto alma = compacto

FORMULAS DE VERIFICACION:
Pr/(2*Fic*Pn) + Mry/(Fib*Mny) + Mrz/(Fib*Mnz) = 0.61 < 1.00 LRFD (H1-1b) Verificado
Vry/(Fiv*Vny) = 0.00 < 1.00 LRFD (G) Verificado
Vrz/(Fiv*Vnz) = 0.20 < 1.00 LRFD (G) Verificado
Lcy/ry = 12.42 < (Lc/r),max = 200.00 Lcz/rz = 12.42 < (Lc/r),max = 200.00 ESTABLE

Perfil correcto !!!

Nota. Elaboración Propia. El ratio de diseño es 0.61.

4.4.3.4. Diseño de Arriostre.

Para los arriostres se emplearán ángulos L1”x1”x1/8”, las cargas son netamente axiales, aunque existen momentos muy bajos que son considerables al tratarse de secciones que no soportan momentos, las propiedades del material ASTM A36 ya fueron definidas, las propiedades del ángulo son las siguientes.

$d \coloneqq 1\text{in}$	Ala del ángulo
$b_f \coloneqq 2\ \text{in}$	Segunda ala del ángulo
$t_f \coloneqq 0.125\ \text{in}$	Espesor de primera ala
$t_w \coloneqq 0.125\ \text{in}$	Espesor de la segunda ala
$b \coloneqq \text{d} = 2.54\text{cm in}$	Ancho de primera ala para verificar compacticidad
$\text{h} \coloneqq b_f = 2.54\text{cm}$	Altura de segunda ala para verificar compacticidad
$\phi \coloneqq 0.9$	Coeficiente a compresión
$A_g \coloneqq 0.24\text{in}^2 = 1.52\ \text{cm}^2$	Área de sección transversal
$I_x \coloneqq 0.02\ \text{in}^4 = 0.92\ \text{cm}^4$	Momento de Inercia eje X
$I_y \coloneqq 0.02\ \text{in}^4 = 0.92\ \text{cm}^4$	Momento de Inercia eje X
$r_x \coloneqq \sqrt{\frac{I_x}{A_g}} = 0.78\ cm$	Radio de giro Eje X
$r_y \coloneqq r_x = 0.78\ \text{cm}$	Radio de giro Eje Y
$S_x \coloneqq 0.03\ \text{in}^3 = 0.51\ \text{cm}^3$	Módulo de sección elástico
$Z_x \coloneqq 0.03\ \text{in}^3 = 0.51\ \text{cm}^3$	Módulo de sección plástico
$L_b \coloneqq 0.375\ \text{m}$	Longitud del miembro
$k_x \coloneqq 1$	Constante K para miembros arriostrados eje X
$k_y \coloneqq 1$	Constante K para miembros arriostrados eje Y
$k_z \coloneqq 1$	Constante K para miembros arriostrados eje Z

Resistencia del Angulo L1x1x1/8, con una longitud de una arriostre 0.375m

$$\lambda_f := \frac{b}{t_f} = \frac{2 \cdot \text{in}}{0.125\ \text{in}} = 8$$ Relación ala

$$\lambda_w := \frac{h_c}{t_f} = \frac{2 \cdot \text{in}}{0.125\ \text{in}} = 8$$ Relación de alma

$$c_1 := 0.22$$ Factor de Ajuste de imperfección case b) Tabla E7.1 ver anexo

$$c_2 := 1.49$$ Factor de Ajuste de imperfección case b Tabla E7.1 ver anexo

$$\lambda_{rf} := 0.45 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 12.77$$ Relación Ala Limite según Tabla B4.1.a ver Anexos

$$\lambda_{rw} := 0.45 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 12.77$$ Relación Alma Limite según Tabla B4.1.a ver Anexos

$$si: \lambda_f > \lambda_{rf} \quad 8 < 12.77$$ Ala no esbelto

$$si: \lambda_f > \lambda_{rf} \quad 8 < 12.77$$ Alma no esbelto

$$\frac{L_b}{r_x} < 200\ \frac{37.5\text{cm}}{0.78cm}\ 48.21 =< 200$$ Límite de Esbeltez

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{k_y \cdot L_b}{r_y}\right)^2} = \frac{\pi^2 (199947.96 \cdot MPa)}{\left(\frac{37.5 \cdot cm}{0.78 \cdot cm}\right)^2}$$ Esfuerzo de Pandeo Elástico.

$$F_e = 848.92\ MPa$$ Esfuerzo de Pandeo Elástico.

$$F_{cr} = 0.658^{\frac{F_y}{F_e}} \cdot F_y$$ Esfuerzo Critico.

$$F_{cr} = 658^{\frac{248.21MPa}{848.92MPa}} \cdot 248.21 \cdot MPa$$ Esfuerzo Critico.

$$F_{cr} = 219.62\ MPa$$ Esfuerzo Critico.

$$f_a \coloneqq \phi \cdot F_{cr}$$ Resistencia a la compresión

$$f_a = 0.9 \cdot 219.62 \cdot MPa \cdot= 190.57\ MPa$$ Resistencia a la compresión

Resistencia del ángulo L1”x1”x1/8” a momento flector.

$$M_p = 1.5 \cdot 0.8 \cdot F_y \cdot S_x$$ Momento Plástico para ángulos L

$$M_p = 1.5 \cdot 0.8 \cdot 248.21 \cdot MPa \cdot 0.51\ \text{cm}^3$$ Momento Plástico para ángulos L

$$M_p = 0.15\text{kN} - \text{m}$$ Momento Plástico para ángulos L

$$\phi = 0.9$$ Coeficiente a Flexión

$$f_b \coloneqq \frac{\phi \cdot M_p}{S_x} = \frac{0.9 \cdot 0.15kN - m}{0.51\ \text{cm}^3} = 268.07\ MPa$$ Resistencia a Momento Flector

Ratio del ángulo L1”x1”x1/8”, del diagrama de cuerpo libre tenemos una carga axial a compresión de 0.53kN y un momento flector de 0.02kN*m, bajo la combinación 1.2D+.1.6L.

$$\text{F}_\text{a} = \frac{\text{F}_\text{a}}{\text{A}_\text{g}} = \frac{0.53\ \text{kN}}{1.52\ \text{cm}^2} = 3.49\text{MPa}$$ Esfuerzo sometido a carga axial

$$F_b = \frac{\text{M}}{S_x} = \frac{0.02kN * m}{0.51\ \text{cm}^3} = 39.22MPa$$ Esfuerzo sometido a Flexión.

$$\phi = 0.9$$ Coeficiente a Flexión

$$\text{Ratio} := \frac{F_a}{f_a} + \frac{F_b}{f_b}$$

$$= \frac{3.49\text{MPa}}{190.57\ MPa} + \frac{39.22 MPa}{268.07\ MPa}$$

Ratio a Flexocompresión.

$$\text{Ratio} := 0.18$$

Ratio a Flexocompresión.

Figura 76

Calculo de Arriostre en Software RSA 2024

NORMA: *ANSI/AISC 360-16 An American National Standard, July 7, 2016*
TIPO DE ANÁLISIS: Verificación de las barras

GRUPO:
BARRA: 38 **PUNTOS:** 3 **COORDENADA:** x = 1.00 L = 0.3751 m

CARGAS:
Caso de carga más desfavorable: 6 1.2D+1.6L 1*1.20+2*1.60

MATERIAL:
STEEL A36 Fy = 248.21 MPa Fu = 399.90 MPa E = 199947.96 MPa

PARAMETROS DE LA SECCION: L 1x1x0.125

d=2.5 cm	Ay=0.81 cm2	Az=0.81 cm2	Ax=1.51 cm2
bf=2.5 cm	Iy=0.92 cm4	Iz=0.92 cm4	J=0.04 cm4
tw=0.3 cm	Sy=0.51 cm3	Sz=0.51 cm3	
tf=0.3 cm	Zy=0.54 cm3	Zz=1.01 cm3	

PARAMETROS DE LA BARRA:

Ly = 0.3751 m	Lz = 0.3751 m	
Lcy = 0.3751 m	Lcz = 0.3751 m	Lb = 0.3751 m
Lcy/ry = 48.16	Lcz/rz = 48.16	Cb = 1.00

FUERZAS INTERNAS Y RESISTENCIAS ULTIMAS **TENSIONES DE DIMENSIONAMIENTO**

fa = 3.52 MPa		Fa = 188.07 MPa	
fby = 43.95 MPa		Fby = 268.07 MPa	
	Vrz = 0.09 kN		Fiv*Vnz = 10.81 kN

PARÁMETRO DE SEGURIDAD
Fib = 0.90 Fic = 0.90 Fiv = 0.90

ELEMENTOS DE LA SECCION:
ala = compacto alma = compacto

FORMULAS DE VERIFICACION:
| fa/Fa + fby/Fby | = 0.18 < 1.00 LRFD (H2-1) Verificado
Vrz/(Fiv*Vnz) = 0.01 < 1.00 LRFD (G) Verificado
Lcy/ry = 48.16 < (Lc/r),max = 200.00 Lcz/rz = 48.16 < (Lc/r),max = 200.00 ESTABLE

Nota. Elaboración Propia

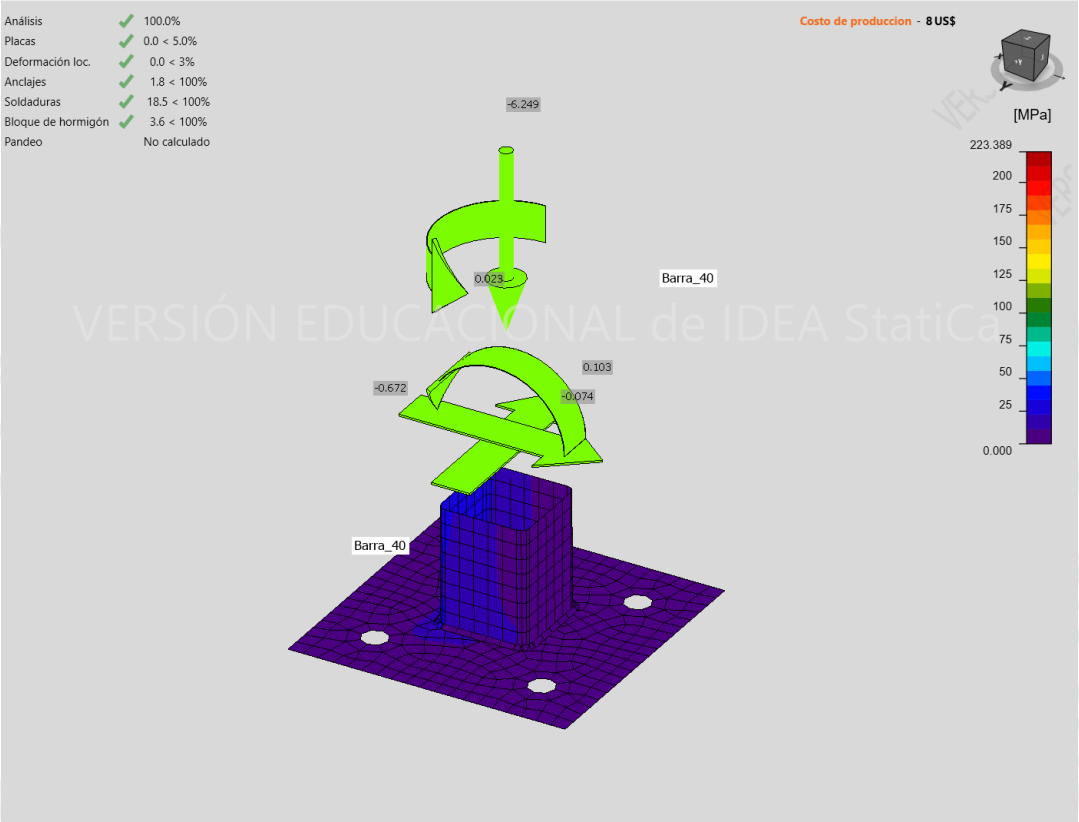
4.4.3.5. Cálculo de Unión Placa Base.

Para estos cálculos tendremos en consideración el cálculo de placa base, cálculo de Anclajes y finalmente cálculo de soldadura, las cargas se muestran en el Anexo 23, en la

Figura 77 podemos ver los esfuerzos en la placa base y en el tubo, no superan los 250MPa que es el esfuerzo de fluencia del acero usado.

Figura 77

Resultados de Placa Base



Nota. Elaboración propia

- Verificación de anclaje más cargado.
- Verificación de la soldadura más cargada.
- Verificación del bloque.

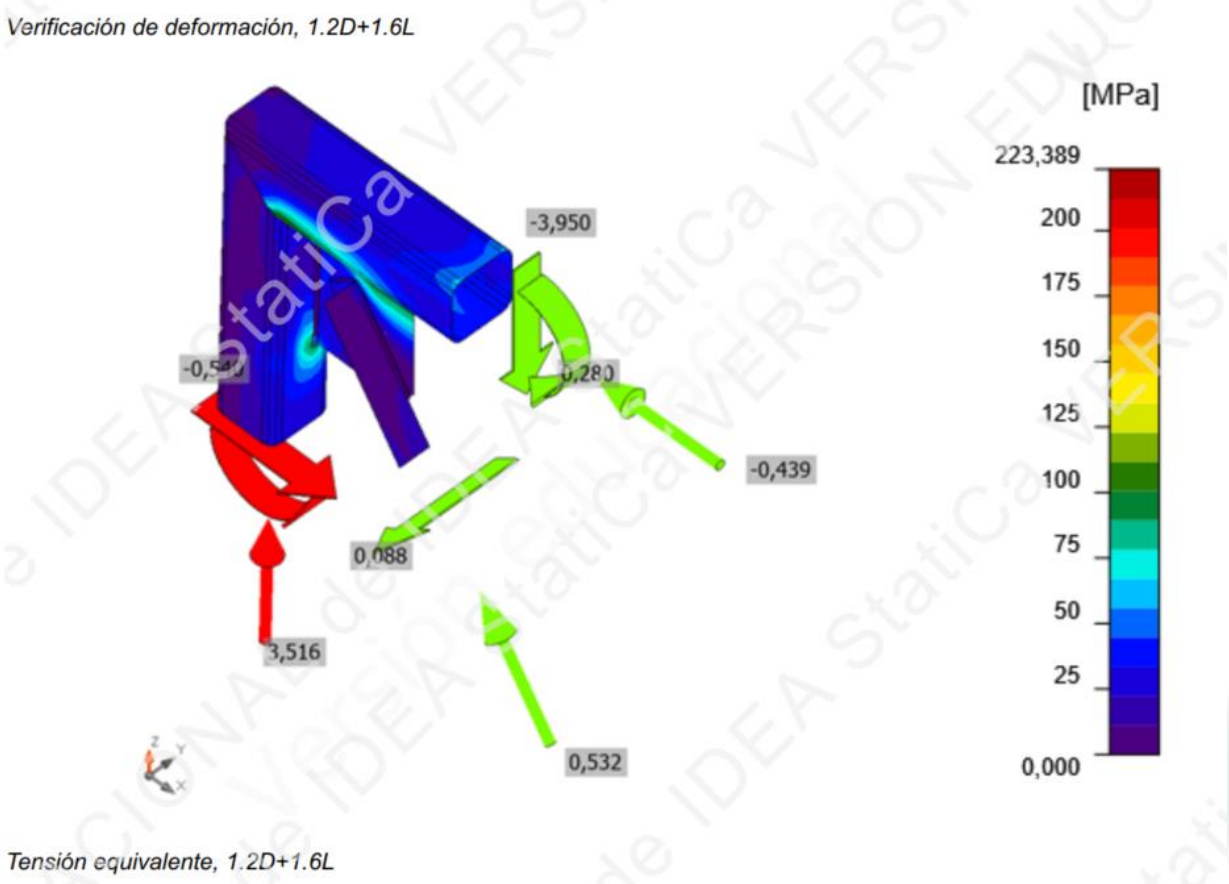
Para revisar la verificación del cálculo de la unión de placa base, ver Anexo 30

4.4.3.6. Cálculo de Unión Columna, Viga y Arriostre.

Los cálculos de la unión columna, viga y arriostre se muestran en la Figura 78 , donde los esfuerzos máximos no superan el esfuerzo de fluencia del material, esto se debe evitar para tener el rango de diseño a fluencia

Figura 78

Unión Columna, Viga y Arriostre Resultados



Nota. Elaboración Propia.

- Cálculo de soldadura.

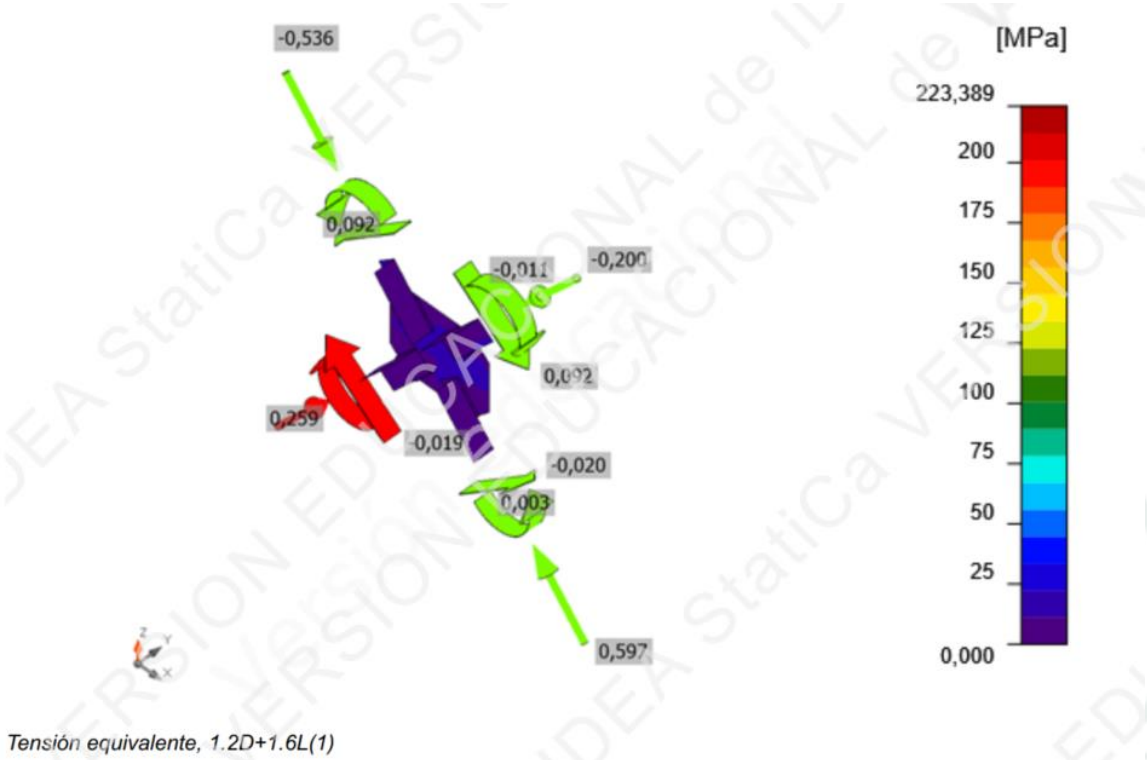
- Para revisar la verificación del cálculo de la unión de columna, viga y arriostre, ver Anexo 31

4.4.3.7. Cálculo de Arriostre.

Para estos cálculos se empleará una cartela de unión central con los 4 miembros soldados tal como se muestra en la Figura 79, se observa que ninguna de las planchas ni ángulos supera el esfuerzo de fluencia del acero ASTM A36.

Figura 79

Unión de arriostre y placa central



Nota. Elaboración Propia.

- Cálculo de cordón de soldadura más cargado.

- Para revisar la verificación del cálculo de la unión de arriostre y placa central, ver Anexo 32.

4.4.4. Matriz de Verificación Estructural.

En la Tabla 23 se verifica que los elementos principales del transportador helicoidal cumplen con los criterios de diseño establecidos.

Tabla 23

Matriz de verificación

Elemento / Sección	Tipo de Esfuerzo / Deformación	Valor Calculado	Valor Permisible	Cumple	Observaciones Técnicas
Tubo helicoidal – Zona pernos	Esfuerzo Von Mises	99.69 MPa	133.6 MPa	Sí	Factor de seguridad n = 2.2
Tubo helicoidal – Zona media	Esfuerzo Von Mises	64.96 MPa	133.6 MPa	Sí	Factor de seguridad n = 2.0
Tubo + Helicoide + Eje (FEM)	Esfuerzo Von Mises	102.5 MPa	276 MPa	Sí	Esfuerzo máximo en la unión tubo–eje
Tubo + Helicoide + Eje (FEM)	Deflexión máxima	0.701 mm	6.35 mm	Sí	Deflexión muy por debajo del límite recomendado

Nota. Elaboración Propia.

CAPÍTULO V

5. Costos y Presupuestos.

- Metrado de Tornillo Helicoidal y Artesa.

El tornillo con el helicoide y artesa tiene un de 416.67 N/m, considerando todos los elementos, y una longitud total de 8.4m, con esta información tenemos un peso total de 356.9kgf

- Metrado de Estructura de Soporte.

Tabla 24

Metrado de estructura de soporte

Material	Longitud (m)	Peso kg/m	Peso total (kg)	Area (m2)
Viga y Columna HSS 2"x2"x1/8"	8.86	4.25	38	1.71
Arriostre L 1"x1"x1/8"	10.46	1.18	12	1.06
			50	2.77

Nota. elaboración propia.

5.1. Costos Mano de Obra Fabricación.

Para ello se va a determinar los costos de mano de obra de cada uno de los recursos humanos necesarios para fabricar la maquinaria.

Tabla 25

Costos de Fabricación Mano de Obra.

MANO DE OBRA FABRICACION										
ITEM	MANO DE OBRA	%	Supervisor de Campo	Ingeniero de Seguridad	Líder mecánico	Soldador Homologado	mecánico Tornero-Fresador	Operario mecánico	Oficial mecánico	Ayudante
1	Remuneraciones (Mes)	101.50%	5582.50	4567.50	4212.25	3806.25	4466.00	3501.75	3298.75	2537.50
1.1	Remuneración Básica	100.00%	5500.00	4500.00	4150.00	3750.00	4400.00	3450.00	3250.00	2500.00
1.2	Asignación Familiar	1.50%	82.50	67.50	62.25	56.25	66.00	51.75	48.75	37.50
2	Provisiones (Mes)	28.33%	1558.15	1274.85	1175.70	1062.38	1246.52	977.39	920.73	708.25
2.1	Vacaciones	8.33%	458.15	374.85	345.70	312.38	366.52	287.39	270.73	208.25
2.2	Gratificación	12.00%	660.00	540.00	498.00	450.00	528.00	414.00	390.00	300.00
2.3	CTS	8.00%	440.00	360.00	332.00	300.00	352.00	276.00	260.00	200.00
3	Contribuciones Sociales (Mes)	20.95%	1152.25	942.75	869.43	785.63	921.80	722.78	680.88	523.75
3.1	ESSALUD	9.00%	495.00	405.00	373.50	337.50	396.00	310.50	292.50	225.00
3.2	Seguro Complementario de Trabajo de Riesgo-Salud (%)	0.90%	49.50	40.50	37.35	33.75	39.60	31.05	29.25	22.50
3.3	Seguro Complementario de Trabajo de Riesgo-Pensiones (%)	0.50%	27.50	22.50	20.75	18.75	22.00	17.25	16.25	12.50
3.4	Seguro Vida Ley	0.55%	30.25	24.75	22.83	20.63	24.20	18.98	17.88	13.75
3.5	AFP	10.00%	550.00	450.00	415.00	375.00	440.00	345.00	325.00	250.00

MANO DE OBRA FABRICACION										
ITEM	MANO DE OBRA	%	Supervisor de Campo	Ingeniero de Seguridad	Líder mecánico	Soldador Homologado	Tornero-Fresador mecánico	Operario mecánico	Oficial mecánico	Ayudante
	Sub-Total Mano de Obra (USD/HH)	30 días 8hr/día	9.31	7.62	7.03	6.35	7.45	5.84	5.50	4.23
	TOTAL, GENERAL	150.78%	8292.90	6785.10	6257.37	5654.25	6250.00	5201.91	4900.35	3769.50

Nota. Elaboración propia.

5.2. Costos Mano de Obra Montaje.

Tabla 26

Costos de Montaje Mano de Obra.

MANO DE OBRA MONTAJE										
ITEM	MANO DE OBRA	%	Supervisor de Campo	Ingeniero de Seguridad	Líder Mecánico	Soldador Homologado	Operario mecánico	Oficial Mecánico	Ayudante	Topógrafo
1	Remuneraciones (Mes)	101.50 %	5582.50	5500.00	4200.00	3552.50	3298.75	3045.00	2283.75	4060.00
1.1	Remuneración Básica	100.00 %	5500.00	4500.00	3900.00	3500.00	3250.00	3000.00	2250.00	4000.00
1.2	Asignación Familiar	1.50%	82.50	67.50	58.50	52.50	48.75	45.00	33.75	60.00
2	Provisiones (Mes)	28.33%	1581.52	1558.15	1189.86	1006.42	934.54	862.65	646.99	1150.20
2.1	Vacaciones	8.33%	465.02	458.15	349.86	295.92	274.79	253.65	190.24	338.20
2.2	Gratificación	12.00%	669.90	660.00	504.00	426.30	395.85	365.40	274.05	487.20
2.3	CTS	8.00%	446.60	440.00	336.00	284.20	263.90	243.60	182.70	324.80
3	Contribuciones Sociales (Mes)	20.95%	1169.53	1152.25	879.90	744.25	691.09	637.93	478.45	850.57
3.1	ESSALUD	9.00%	502.43	495.00	378.00	319.73	296.89	274.05	205.54	365.40

MANO DE OBRA MONTAJE										
ITEM	MANO DE OBRA	%	Supervisor de Campo	Ingeniero de Seguridad	Líder Mecánico	Soldador Homologado	Operario mecánico	Oficial Mecánico	Ayudante	Topógrafo
3.2	Seguro Complementario de Trabajo de Riesgo-Salud (%)	0.90%	50.24	49.50	37.80	31.97	29.69	27.41	20.55	36.54
3.3	Seguro Complementario de Trabajo de Riesgo-Pensiones (%)	0.50%	27.91	27.50	21.00	17.76	16.49	15.23	11.42	20.30
3.4	Seguro Vida Ley	0.55%	30.70	30.25	23.10	19.54	18.14	16.75	12.56	22.33
3.5	AFP	10.00%	558.25	550.00	420.00	355.25	329.88	304.50	228.38	406.00
	Sub-Total Mano de Obra (Unitaria por Hora)	30 días 8hr/día	9.28	9.15	6.99	5.91	5.49	5.06	3.80	6.75
	TOTAL, GENERAL	150.78 %	8333.56	8210.40	6269.76	5303.17	4924.37	4545.58	3409.18	6060.77

Nota. Elaboración propia.

5.3. Análisis Precio Unitario.

5.3.1. Análisis precios unitarios Tornillo helicoidal y artesa.

Tabla 27

Análisis de precios unitarios de fabricación.

PARTIDA 5.00		FABRICACIÓN DE TORNILLO HELICOIDAL Y ARTESA					
RENDIMIENTO	168 kg/día	Costo Unitario Directo/kg		**35.3430**	**USD/kg**	Estructura ligera	4 kg/hh
Código	Descripción de Recursos	Hr/día	Cuadrilla	Cantidad (hh/kg)	Unidad	Precio USD.	Parcial USD.
5.1.0	**Mano de Obra**					USD/hh	USD
5.1.1	Capataz	8 hh	1	0.0476	hh/kg	7.03	0.3346
5.1.2	Soldador	8 hh	1	0.0476	hh/kg	6.35	0.3024
5.1.3	mecánico Tornero-Fresador	8 hh	2	0.0952	hh/kg	5.50	0.5241
5.1.4	Ayudante mecánico	8 hh	1	0.0476	hh/kg	4.23	0.2016
			5.00	**0.2500**	4	Sub Total	**1.4535**
5.2.0	**Materiales**					USD/kg	USD

PARTIDA 5.00	FABRICACIÓN DE TORNILLO HELICOIDAL Y ARTESA						
RENDIMIENTO	168 kg/día	Costo Unitario Directo/kg		**35.3430**	**USD/kg**	Estructura ligera	4 kg/hh
Código	Descripción de Recursos	Hr/día	Cuadrilla	Cantidad (hh/kg)	Unidad	Precio USD.	Parcial USD.
5.2.1	Acero AISI 1045	1 kg	100.0%	…	%	3.2000	3.2000
5.2.2	Acero ASTM A304	1 kg	100.0%	…	%	3.3500	3.3500
5.2.3	Soldadura Eléctrica AWS 7018	1 kg	2.0%	…	%	2.6700	0.0534
5.2.4	Oxigeno Industrial 10m3	1 m3	0.1%	1 und/1500kg	und/kg	133.6900	0.0836
5.2.5	Acetileno Industrial 10kg	1 kg	0.0%	1 und/4500kg	und/kg	80.2100	0.0178
5.2.6	Disco de Corte 7"x1/8"	1 und	0.3%	1 und/300kg	und/kg	1.7400	0.0058
5.2.7	Disco de Desbaste 7"x1/4"	1 und	0.3%	1 und/300kg	und/kg	1.8400	0.0061
						Sub Total	**6.7787**
5.3.0	**Equipos**					USD/hm	USD
5.3.1	Fresa	8 hm	1	0.047619	hm/kg	7.500	7.5000
5.3.2	Torno	8 hm	1	0.047619	hm/kg	6.650	6.6500
5.3.3	Herramientas manuales	8 hm	5.0%	….	%	0.350	0.0175
5.3.4	Máquina de Soldar	8 hm	1.00	0.047619	hm/kg	0.940	0.0448
5.3.5	Equipo de Oxicorte	8 hm	1.00	0.047619	hm/kg	0.530	0.0252
5.3.6	Taladro y Broca	8 hm	0.50	0.023810	hm/kg	1.740	0.0414
5.3.7	Esmeril Manual de 7"	8 hm	1.00	0.047619	hm/kg	0.670	0.0319
5.3.8	Grúa camión de 1 TON	8 hm	0.25	0.011905	hm/kg	10.0	0.3000
						Sub Total	**14.6108**

Nota. Elaboración propia.

Tabla 28

Partida Montaje de tornillo helicoidal y artesa

PARTIDA 6.00	MONTAJE DE TORNILLO HELICOIDAL Y ARTESA						
RENDIMIENTO	330 kg/día	Costo Unitario Directo/kg		**1.590530**	**USD/kg**	Estructura extrapesada	5 kg/hh
Código	Descripción de Recursos	Hr/día	Cuadrilla	Cantidad (hh/kg)	Unidad	Precio USD.	Parcial USD.
6.1.0	**Mano de Obra**					USD/hh	USD
6.1.1	Capataz-Montaje	8 hh	1	0.024242	hh/kg	6.99	0.169334
6.1.2	Oficial Mecánico-Montaje	8 hh	3	0.072727	hh/kg	5.06	0.368301

PARTIDA 6.00	MONTAJE DE TORNILLO HELICOIDAL Y ARTESA						
RENDIMIENTO	330 kg/día	Costo Unitario Directo/kg		**1.590530**	**USD/kg**	Estructura extrapesada	5 kg/hh
Código	Descripción de Recursos	Hr/día	Cuadrilla	Cantidad (hh/kg)	Unidad	Precio USD.	Parcial USD.
6.1.3	Ayudante Mecánico - Montaje	8 hh	4	0.096970	hh/kg	3.80	0.368301
			8.00	**0.200000**	5	Sub Total	**0.961374**
6.2.0	**Materiales**					USD/kg	USD
6.2.1	Transporte de Materiales a Obra	1 kg	105.0%	…	%	0.059	0.061950
6.2.2	Disco de Corte 7"x1/8"	1 und	0.3%	1 und/300kg	und/kg	1.74	0.005800
6.2.3	Disco de Desbaste 7"x1/4"	1 und	0.3%	1 und/300kg	und/kg	1.84	0.006133
6.2.4	pernería, Tuercas y Arandelas ASTM A325 galvanizado Z650	1 kg	2%		%	10.3	0.154500
						Sub Total	**0.228383**
6.3.0	**Equipos**					USD/hm	USD
6.3.1	Herramientas manuales	8 hm	5.0%	….	%	0.35	0.017500
6.3.2	Taladro y Broca	8 hm	1.00	0.024242	hm/kg	1.74	0.042182
6.3.3	Esmeril Manual de 7"	8 hm	1.00	0.024242	hm/kg	0.67	0.016242
6.3.4	grúa camión de 5 TON	8 hm	0.35	0.008485	hm/kg	25.2	0.213818
6.3.5	torquímetro 30 a 140 kgf*m	8 hm	4.00	0.096970	hm/kg	1.05	0.101818
6.3.6	Grupo Electrógeno	8 hm	1.00	0.024242	hm/kg	0.38	0.009212
						Sub Total	**0.400773**

Nota. Elaboración propia.

5.3.2. Análisis precios unitarios Columnas y Vigas.

Tabla 29

Partida de Fabricación de Vigas y Columnas

PARTIDA 7.00		FABRICACIÓN DE VIGAS Y COLUMNAS					
RENDIMIENTO	370 kg/día	Costo Unitario Directo/kg		**3.09157**	**USD/kg**	Estructura mediana	5 kg/hh
Código	Descripción de Recursos	Hr/día	Cuadrilla	Cantidad (hh/kg)	Unidad	Precio USD.	Parcial USD.
7.1.0	**Mano de Obra**					USD/hh	USD
7.1.1	Capataz	8 hh	1	0.0216	hh/kg	7.03	0.151948
7.1.2	Soldador	8 hh	3	0.0649	hh/kg	6.35	0.411907
7.1.3	Armando	8 hh	2	0.0432	hh/kg	5.50	0.237991
7.1.4	Ayudante mecánico	8 hh	3	0.0649	hh/kg	4.23	0.274605
			9.25	**0.2000**	5	Sub Total	**1.117642**
7.2.0	**Materiales**					USD/kg	USD
7.2.1	Transporte de Materiales al Taller	kg	105.0%	…	%	0.059	0.061950
7.2.2	Acero ASTM A36	kg	100.0%	…	%	1.25	1.250000
7.2.3	Soldadura Eléctrica AWS 6018	kg	1.5%	…	%	1.8	0.027000
7.2.4	Oxigeno Industrial 10m3	m3	0.1%	1 und/1500kg	und/kg	133.69	0.083556
7.2.5	Acetileno Industrial 10kg	kg	0.0%	1 und/4500kg	und/kg	80.21	0.017824
7.2.6	Disco de Corte 7"x1/8"	und	0.3%	1 und/300kg	und/kg	1.74	0.005800
7.2.7	Disco de Desbaste 7"x1/4"	und	0.3%	1 und/300kg	und/kg	1.84	0.006133
						Sub Total	**1.452264**
7.3.0	**Equipos**					USD/hm	USD
7.3.1	Herramientas manuales	8 hm	5.0%	….	%	0.35	0.017500
7.3.2	Máquina de Soldar	8 hm	300.0%	0.064864865	hm/kg	0.94	0.060973
7.3.3	Equipo de Oxicorte	8 hm	100.0%	0.021621622	hm/kg	0.53	0.011459
7.3.4	Taladro y Broca	8 hm	50.0%	0.010810811	hm/kg	1.74	0.018811
7.3.5	Esmeril Manual de 7"	8 hm	300.0%	0.064864865	hm/kg	0.67	0.043459
7.3.6	Grúa camión de 15 TON	8 hm	25.0%	0.005405405	hm/kg	50.5	0.272973
						Sub Total	**0.425176**
7.3.0	**Granallado**					USD/m2	USD
3.3.1	Granallado SSPC6	1 m2	1.00	0.028546	m2/kg	3.38	0.096486

PARTIDA 7.00		FABRICACIÓN DE VIGAS Y COLUMNAS					
RENDIMIENTO	370 kg/día	Costo Unitario Directo/kg		**3.09157**	**USD/kg**	Estructura mediana	5 kg/hh
Código	Descripción de Recursos	Hr/día	Cuadrilla	Cantidad (hh/kg)	Unidad	Precio USD.	Parcial USD.
						Sub Total	**0.096486**

Nota. Elaboración propia.

Tabla 30

Partida de montaje de vigas y columnas

PARTIDA 8.00		MONTAJE DE VIGAS Y COLUMNAS					
RENDIMIENTO	330 kg/día	Costo Unitario Directo/kg		**1.80520**	**USD/kg**	Estructura mediana	5 kg/hh
Código	Descripción de Recursos	Hr/día	Cuadrilla	Cantidad (hh/kg)	Unidad	Precio USD.	Parcial USD.
8.1.0	**Mano de Obra**					USD/hh	USD
8.1.1	Ingeniero de seguridad	8 hh	0.25	0.0061	hh/kg	9.15	0.055437
8.1.2	Capataz-Montaje	8 hh	1	0.0242	hh/kg	6.99	0.169334
8.1.3	Oficial Mecánico-Montaje	8 hh	3	0.0727	hh/kg	5.06	0.368301
8.1.4	Ayudante Mecánico - Montaje	8 hh	4	0.0970	hh/kg	3.80	0.368301
			8.25	**0.2000**	5	Sub Total	**0.961374**
8.2.0	**Materiales**					USD/kg	USD
8.2.1	Transporte de Materiales a Obra	1 kg	105.0%	…	%	0.059	0.061950
8.2.2	Disco de Corte 7"x1/8"	1 und	0.3%	1 und/300kg	und/kg	1.74	0.005800
8.2.3	Disco de Desbaste 7"x1/4"	1 und	0.3%	1 und/300kg	und/kg	1.84	0.006133
8.2.4	Pernería, Tuercas y Arandelas ASTM A325 galvanizado Z650	1 kg	2%		%	10.3	0.154500
						Sub Total	**0.228383**
8.3.0	**Equipos**					USD/hm	USD
8.3.1	Herramientas manuales	8 hm	5.0%	….	%	0.35	0.017500
8.3.2	Taladro y Broca	8 hm	1.00	0.0242	hm/kg	1.74	0.042182
8.3.3	Esmeril Manual de 7"	8 hm	1.00	0.0242	hm/kg	0.67	0.016242

PARTIDA 8.00		MONTAJE DE VIGAS Y COLUMNAS					
RENDIMIENTO	330 kg/día	Costo Unitario Directo/kg		**1.80520**	**USD/kg**	Estructura mediana	5 kg/hh
Código	Descripción de Recursos	Hr/día	Cuadrilla	Cantidad (hh/kg)	Unidad	Precio USD.	Parcial USD.
8.3.4	grúa camión de 1 TON	8 hm	0.35	0.0085	hm/kg	10.5	0.428485
8.3.5	Torquímetro	8 hm	4.00	0.0970	hm/kg	1.05	0.101818
8.3.6	Grupo Electrógeno	8 hm	1.00	0.0242	hm/kg	0.38	0.009212
						Sub Total	**0.615439**

Nota. Elaboración propia.

5.3.3. Análisis precios unitarios Arriostres.

Tabla 31

Costos de Fabricación de arriostre

PARTIDA 9.00				FABRICACIÓN DE ARRIOSTRE			
RENDIMIENTO	370 kg/día	Costo Unitario Directo/kg		**3.21709**	**USD/kg**	Estructura mediana	5kg/hh
Código	Descripción de Recursos	Hr/día	Cuadrilla	Cantidad (hh/kg)	Unidad	Precio USD.	Parcial USD.
9.1.0	**Mano de Obra**					USD/hh	USD
9.1.1	Capataz	8 hh	1	0.0216	hh/kg	7.03	0.151948
9.1.2	Soldador	8 hh	3	0.0649	hh/kg	6.35	0.411907
9.1.3	Armando	8 hh	2	0.0432	hh/kg	5.50	0.237991
9.1.4	Ayudante Mecánico	8 hh	3	0.0649	hh/kg	4.23	0.274605
			9.00	**0.2000**	5	Sub Total	**1.117642**
9.2.0	**Materiales**					USD/kg	USD
9.2.1	Transporte de Materiales al Taller	kg	105.0%	…	%	0.059	0.061950
9.2.2	Acero ASTM A36	kg	100.0%	…	%	1.25	1.250000
9.2.3	Soldadura Eléctrica AWS 6018	kg	1.5%	…	%	1.8	0.027000
9.2.4	Oxigeno Industrial 10m3	m3	0.1%	1 und/1500kg	und/kg	133.69	0.083556
9.2.5	Acetileno Industrial 10kg	kg	0.0%	1 und/4500kg	und/kg	80.21	0.017824
9.2.6	Disco de Corte 7"x1/8"	und	0.3%	1 und/300kg	und/kg	1.74	0.005800
9.2.7	Disco de Desbaste 7"x1/4"	und	0.3%	1 und/300kg	und/kg	1.84	0.006133
						Sub Total	**1.452264**
9.3.0	Equipos					USD/hm	USD
9.3.1	Herramientas manuales	8 hm	5.0%	….	%	0.35	0.017500
9.3.2	Máquina de Soldar	8 hm	300.0%	0.064864865	hm/kg	0.94	0.060973
9.3.3	Equipo de Oxicorte	8 hm	100.0%	0.021621622	hm/kg	0.53	0.011459
9.3.4	Taladro y Broca	8 hm	50.0%	0.010810811	hm/kg	1.74	0.018811
9.3.5	Esmeril Manual de 7"	8 hm	300.0%	0.064864865	hm/kg	0.67	0.043459
9.3.6	Grúa camión de 1 TON	8 hm	25.0%	0.005405405	hm/kg	10.5	0.272973
						Sub Total	**0.425176**
9.3.0	**Granallado**					USD/hm	USD
9.3.1	Granallado SSPC6	1 m2	1.00	0.025142	m2/kg	3.38	0.084980
						Sub Total	**0.084980**

PARTIDA 9.00				FABRICACIÓN DE ARRIOSTRE			
RENDIMIENTO	370 kg/día	Costo Unitario Directo/kg		**3.21709**	**USD/kg**	Estructura mediana	5kg/hh
Código	Descripción de Recursos	Hr/día	Cuadrilla	Cantidad (hh/kg)	Unidad	Precio USD.	Parcial USD.
9.4.0	**Galvanizado**					USD/hm	USD
9.4.1	Galvanizado Z650	1 m2	1.00	0.025142	m2/kg	5.45	0.137025
						Sub Total	**0.137025**

Nota. Elaboración Propia

Tabla 32

Costos de Componentes de Maquina

PARTIDA 4.00				COMPONENTES DE MAQUINA			
RENDIMIENTO	--	Unidad	Costo Unitario Directo glb	**2035.70000**			
Código	Descripción de Recursos			Cantidad (Unidad)	Unidad	Precio USD.	Parcial USD.
4.1.0	**Equipos**					USD/Unidad	USD
4.1.1	Motorreductor 4kW			1	und	855	855.000000
4.1.2	Rodamiento y Chumacera			2	und	75.8	151.600000
4.1.3	Bujes			2	und	10.3	20.600000
4.1.4	Pernos Ø1/2			95	und	3.75	356.250000
4.1.5	Tapa Lateral			2	und	267.5	535.000000
4.1.6	Base de Motorreductor			1	und	85.5	85.500000
4.1.7	Sello tipo Labio			2	und	12.5	25.000000
4.1.8	Acople Motorreductor			1	und	6.75	6.750000
						Sub Total	**2035.700**

Nota. Elaboración Propia

5.4. Costo Total del Proyecto.

Tabla 33

Resumen de Costos

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD BRUTA	PRECIO UNITARIO	TOTAL		TOTAL	
	FABRICACIÓN Y MONTAJE DE SILO, TOLVA Y ESTRUCTURA BASE							
1	**TRABAJOS PRELIMINARES Y TEMPORALES**						**6,259.61**	**USD**
1.0.0	Movilización Y Desmovilización De Equipos Herramientas Y Personal	glb	1.00	1,476.59	1,476.59	USD		
2.0.0	Seguridad	glb	1.00	2,269.25	2,269.25	USD		
3.0.0	Trazado Y Replanteo	glb	1.00	478.07	478.07	USD		
4.0.0	Componentes de Maquinas	glb	1.00	2,035.70	2,035.70	USD		
2	**ESTRUCTURA Y FABRICACION DE TORNILLO HELICOIDAL y ARTESA**							
1.2.1.0	Fabricación Y Montaje De Tornillo Helicoidal y Artesa					USD	**13,074.60**	**USD**
5.0.0	Fabricación De Tornillo Helicoidal y Artesa	kg	356.90	35.17	12,551.46	USD		
6.0.0	Montaje De Tornillo Helicoidal y Artesa	kg	356.90	1.47	523.14	USD		
3	**Fabricación Y Montaje De Vigas Y Columnas**					USD	**177.86**	**USD**
7.0.0	Fabricación De Vigas y Columnas	kg	38.00	2.88	109.26	USD		
8.0.0	Montaje De Vigas y Columnas	kg	38.00	1.81	68.60	USD		
4	**Fabricación Y Montaje De Arriostre**					USD	**45.01**	**USD**
9.0.0	Fabricación De Arriostres	kg	15.00	3.00	45.01	USD		
10.0.0	Montaje De Arriostres	kg	15.00	0.00	0.00	USD		
					COSTO DIRECTO TOTAL		**19,557.08**	**USD**
			COSTOS INDIRECTOS					
	GASTOS GENERALES				10%		1,955.71	USD
	GASTOS DE SUPERVICION				5%		977.85	USD
	FINANCIAMIENTO				0%		0.00	USD
	UTILIDAD				10%		1,955.71	USD
				SUB TOTAL COSTO INDIRECTO	25%		**4,889.27**	**USD**
				TOTAL, DEL PROYECTO USD SIN IGV			**24,446.35**	**USD**
				TOTAL, DEL PROYECTO S/. SIN IGV			**90,451.50**	**S/.**

Nota. Elaboración propia.

CONCLUSIONES

- Se ha aplicado la metodología VDI 2221 para el diseño de un transportador de recuperación de cemento de una capacidad de 25 ton/hr. El transportador consiste en un tornillo helicoidal inclinado tubular, siendo según la metodología, el sistema óptimo, los materiales propuestos tanto para artesa como helicoide son aceros inoxidables resistentes a la corrosión y la abrasión del ambiente portuario.
- Con la información obtenida se ha creado un modelo CAD apto para poder aplicar el método de elementos finitos sobre este, se ha empleado software comercial Autodesk Nastran y Simsolid para verificar cada uno de estos componentes a falla estática y mediante cálculos manuales las cargas a fatiga de los elementos móviles principales, teniendo factores de seguridad a la fatiga superiores a dos, bajo el criterio de vida infinita ASME elíptica.
- Se seleccionaron los componentes de máquinas, uniones estructurales soldadas y/o empernadas tanto para la estructura de soporte base y para los elementos de máquinas, tales como chavetas, ejes, acoples, sellos, selección del motorreductor. La selección de materiales se realizó con base en criterios como resistencia mecánica, comportamiento ante la abrasión del cemento y exposición a ambientes corrosivos. Por ello, se utilizó acero inoxidable AISI 304 en los elementos expuestos, validando esta elección con datos técnicos y normativas ISO y ASTM.
- Se ha realizado un estudio de precios unitarios para determinar el coste total del proyecto, teniendo un precio final antes del impuesto IGV de 90,451.5 nuevos soles, los precios fueron hallados para un valor cambio soles a dólar de 3.71. El costo de materiales como el acero, presenta un margen del 10% menor en comparación con los costos de materiales de otros fabricantes del mercado. Al comparar este costo con proyectos similares realizados en años anteriores, se observa que el valor es competitivo, manteniéndose dentro del rango esperado para este tipo de proyectos.
- El proyecto cuenta con plano de presentación, ensamble y fabricación de elementos estructurales y mecánicos debidamente elaborados respetado las normas ISO y las normas técnicas peruanas de construcción, lo que asegura su viabilidad técnica y constructiva.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda verificar la desclasificación por inclinación y asegurar un margen del 10–15% sobre 25 t/h ajustando paso, velocidad y factor de llenado. Una buena forma de hacerlo es la simulación por elementos discretos, para ver temas de atascos, retorno de material y eficiencias de transporte inclinados.
- Se recomienda ampliar casos de carga (arranques, atascos parciales, transitorios térmicos), garantizar la convergencia del mallado, si se emplean el método de elementos finitos tradicionales, en cambio en Simsolid verificar el número de iteraciones para garantizar soluciones confiables.
- Se debe realizar un estudio profundo de mercado para determinar el tipo de piezas comerciales y repuestos accesibles, así como la disponibilidad de estos de forma que se encuentren en el mercado local.
- Considerar abaratar los costos mediante la producción en escala es decir buscar empresas especializadas en los transportadores industriales, ya que estas por economía de escala pueden ofrecer mejores precios, considerar también los tiempos de fabricación y sobrecostos debido a la inestabilidad del país y la poca tecnificación industrial.
- Puede integrarse los planos de fabricación, pero especialmente los de presentación a una gestión BIM de plantas, para tener la información precisa de los componentes, especialmente cuando se requieren el cambio de piezas, tareas de mantenimiento o reparación en piezas mecanizadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Van Gaelen, P. A. (2008). Advantages of closed belt conveyor systems. TU Delft Research Repository. Recuperado de TU Delft.

CEMA. (2021). Belt Conveyors for Bulk Materials. Conveyor Equipment Manufacturers Association. https://www.cemanet.org/publications/technical-reports/belt-conveyors-for-bulk-materials

Fuente: Daniyan, I. A., Adeodu, A. O., & Adeyemi, M. B. (2017). Design and construction of an industrial sand-sieving machine. International Journal of Scientific & Engineering Research, 8(6), 1281-1285.

Mills, D. (2015). Pneumatic Conveying Design Guide. Elsevier.

Roberts, A. W., & Ooms, M. (2003). Design and performance of screw conveyors. Bulk Solids Handling, 23(1), 57-67.

Lindgren, S., Forsman, J., & Häggblad, H. A. (2016). Wear and failure analysis of screw conveyors for biomass handling. Wear, 368, 275-282.

Lindgren, S., Forsman, J., & Häggblad, H. A. (2016). Wear and failure analysis of screw conveyors for biomass handling. Wear, 368, 275-282.

Mills, D. (2015). Pneumatic Conveying Design Guide. Elsevier.

BEUMER Group. (2020). Powerful vertical conveying: Belt Bucket Elevators. https://www.beumergroup.com

CEMA. (2020). Bucket Elevator Book, Best Practices in Design. Conveyor Equipmwaent Manufacturers Association.

AUMUND Group. (2021). Conveying and Storing in the Cement Industry. Recuperado de AUMUND.

Giese, R., & Schaller, D. (2010). Chain Conveyors in Bulk Material Handling. Material Handling Journal, 28(4), 45-49.

Fike, D., & Giese, R. (2014). Bulk Material Handling: Chain and Drag Conveyors. Journal of Powder Handling, 32(2), 12-18.

Mills, D. (2004). Pneumatic conveying design guide (2nd ed.). Elsevier.

Johansen, J. R., & Jackson, P. L. (1998). The flowability of fine powders: The role of moisture and surface forces. Powder Technology, 94(3), 155-163.

Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). Concrete: Microstructure, properties, and materials (4th ed.). McGraw-Hill Education.

Mills, D. (2004). Pneumatic conveying design guide (2nd ed.). Elsevier.

Neville, A. M. (2011). Properties of concrete (5th ed.). Prentice Hall.

Taylor, H. F. W. (1997). Cement chemistry (2nd ed.). Thomas Telford Publishing.

Pahl, G., & Beitz, W. (2007). Engineering Design: A Systematic Approach (3rd ed.). Springer.

ANEXOS

Anexo 1: Propiedades de solidos disgregados

Tipo de sólido disgregado[d,e]	Peso específico[b] γ		Ángulo de talud natural ϕ_r	Ángulo de rozamiento interno ϕ_i		Coeficiente de presiones laterales K		Coeficiente de rozamiento con la pared[c] μ ($\mu = tan\phi_w$)				Coeficiente de referencia del sólido para cargas concentradas C_{op}
	γ_ℓ	γ_u	ϕ_r	ϕ_{im}	a_ϕ	K_m	a_K	Tipo de pared D1	Tipo de pared D2	Tipo de pared D3	a_μ	
	Inferior	Superior		Medio	Coefi-ciente	Medio	Coefi-ciente	Medio	Medio	Medio	Coefi-ciente	
	kN/m³	kN/m³	grados	grados								
Material por defecto[a]	6,0	22,0	40	35	1,3	0,50	1,5	0,32	0,39	0,50	1,40	1,0
Áridos	17,0	18,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,39	0,49	0,59	1,12	0,4
Aluminio	10,0	12,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,46	0,51	1,07	0,5
Mezcla de piensos	5,0	6,0	39	36	1,08	0,45	1,10	0,22	0,30	0,43	1,28	1,0
Piensos en pellets	6,5	8,0	37	35	1,06	0,47	1,07	0,23	0,28	0,37	1,20	0,7
Cebada ✪	7,0	8,0	31	28	1,14	0,59	1,11	0,24	0,33	0,48	1,16	0,5
Cemento	13,0	16,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,46	0,51	1,07	0,5
Clinker de cemento ♮	15,0	18,0	47	40	1,20	0,38	1,31	0,46	0,56	0,62	1,07	0,7
Carbón ✪	7,0	10,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,44	0,49	0,59	1,12	0,6
Carbón en polvo ✪	6,0	8,0	34	27	1,26	0,58	1,20	0,41	0,51	0,56	1,07	0,5
Coque	6,5	8,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,49	0,54	0,59	1,12	0,6
Cenizas volantes	8,0	15,0	41	35	1,16	0,46	1,20	0,51	0,62	0,72	1,07	0,5
Harina ✪	6,5	7,0	45	42	1,06	0,36	1,11	0,24	0,33	0,48	1,16	0,6
Pellets de mineral de hierro	19,0	22,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,49	0,54	0,59	1,12	0,5
Cal hidratada	6,0	8,0	34	27	1,26	0,58	1,20	0,36	0,41	0,51	1,07	0,6
Caliza en polvo	11,0	13,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,51	0,56	1,07	0,5
Maíz ✪	7,0	8,0	35	31	1,14	0,53	1,14	0,22	0,36	0,53	1,24	0,9
Fosfato	16,0	22,0	34	29	1,18	0,56	1,15	0,39	0,49	0,54	1,12	0,5
Patatas	6,0	8,0	34	30	1,12	0,54	1,11	0,33	0,38	0,48	1,16	0,5
Arena	14,0	16,0	39	36	1,09	0,45	1,11	0,38	0,48	0,57	1,16	0,4
Escoria de clínker	10,5	12,0	39	36	1,09	0,45	1,11	0,48	0,57	0,67	1,16	0,6
Semillas de soja	7,0	8,0	29	25	1,16	0,63	1,11	0,24	0,38	0,48	1,16	0,5
Azúcar ✪	8,0	9,5	38	32	1,19	0,50	1,20	0,46	0,51	0,56	1,07	0,4
Remolacha azucarera en pellets	6,5	7,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,35	0,44	0,54	1,12	0,5
Trigo ✪	7,5	9,0	34	30	1,12	0,54	1,11	0,24	0,38	0,57	1,16	0,5

NOTA Se deberían realizar ensayos cuando esta tabla no contenga el material a almacenar.

[a] Para situaciones en las que es difícil justificar el coste del ensayo porque las implicaciones de usar un rango más amplio de propiedades son menores, se pueden usar los valores del "material por defecto". Estas propiedades pueden ser adecuadas para instalaciones pequeñas. Sin embargo para grandes silos producirán proyectos muy antieconómicos y siempre se debería preferir realizar ensayos.

[b] El peso específico del sólido γ_u es el valor característico superior a usar en todos los cálculos de las acciones. El valor característico inferior γ_ℓ se proporciona en la tabla E.1 para ayudar en la estimación del volumen necesario de silo que tendrá una capacidad definida.

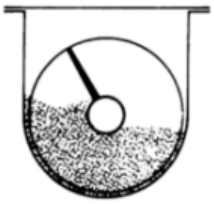
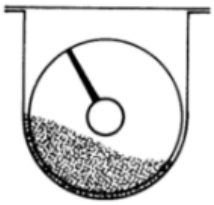
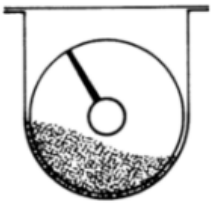
[c] El rozamiento efectivo con la pared para el tipo de pared D4 (pared ondulada) puede hallarse usando el método definido en el capítulo D.2.

[d] Los sólidos de esta tabla que se sabe que son susceptibles de explosión de polvo están marcados con el símbolo ✪.

[e] Los sólidos que son susceptibles de bloqueo mecánico están marcados con el símbolo ♮.

Nota. Tomado de Eurocodigo 1: Acciones en estructuras, Parte 4 Silos y Depósitos UNE-EN 1991-4 (pág. 104), 2011

Anexo 2: Selección de diámetro y velocidad de giro del helicoide.

Carga de Artesa		Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)	Capacidad Pies Cúbicos por Hora (Paso Completo)		Máx. RPM
			A 1 RPM	A Máx. RPM	
45%		4	0.62	114	184
		6	2.23	368	165
		9	8.20	1270	155
		10	11.40	1710	150
		12	19.40	2820	145
		14	31.20	4370	140
		16	46.70	6060	130
		18	67.60	8120	120
		20	93.70	10300	110
		24	164.00	16400	100
		30	323.00	29070	90
30% A		4	0.41	53	130
		6	1.49	180	120
		9	5.45	545	100
		10	7.57	720	95
		12	12.90	1160	90
		14	20.80	1770	85
		16	31.20	2500	80
		18	45.00	3380	75
		20	62.80	4370	70
		24	109.00	7100	65
		30	216.00	12960	60
30% B		4	0.41	29	72
		6	1.49	90	60
		9	5.45	300	55
		10	7.60	418	55
		12	12.90	645	50
		14	20.80	1040	50
		16	31.20	1400	45
		18	45.00	2025	45
		20	62.80	2500	40
		24	109.00	4360	40
		30	216.00	7560	35

Nota. Adaptado Manejo de Materiales Manual Martin Sección H-español, (pág. H-10)

Verificando:

Anexo 3: Tamaños máximos de partículas.

Tabla de Tamaños Máximos de Partículas					
Diametro de Helicoidal (Pulgadas)	Tubo D.E.* (Pulgadas)	Separación RadialΔ (Pulgadas)	Clase 1 10% de Partículas Partícula Máxima (Pulgadas)	Clase 2 25% Partículas Partícula Máxima (Pulgadas)	Clase 3 95% Partículas Partícula Máxima (Pulgadas)
6	2⅜	2 5/16	1¼	¾	½
9	2⅜	3 3/16	2¼	1½	¾
9	2⅞	3 3/16	2¼	1½	¾
12	2⅞	5 1/16	2¾	2	1
12	3½	4¾	2¾	2	1
12	4	4½	2¾	2	1
14	3½	5¾	3¼	2½	1¼
14	4	5½	2½	1¼	1¼
16	4	6½	3¾	2¾	1½
16	4½	6¼	3¾	2¾	1½
18	4	7½	4¼	3	1¾
18	4½	7½	4¼	3	1¾
20	4	8½	4¾	3½	2
20	4½	8¼	4¾	3½	2
24	4½	10¼	6	3¾	2½
30	4½	13¼	8	5	3

*Para tamaños especiales de tubos, consulte a Martin.
Δ El claro radial es la distancia entre el fondo de la artesa y el fondo del tubo del transportador.

Nota. Adaptado Manejo de Materiales Manual Martin Sección H-español, (pág. H-10)

Anexo 4: Selección componentes artesa y cubierta

Grupo de Componentes 1					
Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)	Diámetro del Eje (Pulgadas)	Número de Helicoidal		Espesor, Calibre Americano Estándar (Pulgadas)	
		Helicoidales Continuos	Helicoidales Seccionales	Artesa	Cubierta
6	1½	6H304	6S307	Calibre 16	Calibre 16
9	1½	9H306	9S307	Calibre 14	Calibre 14
9	2	9H406	9S409	Calibre 14	Calibre 14
12	2	12H408	12S409	Calibre 12	Calibre 14
12	2 7/16	12H508	12S509	Calibre 12	Calibre 14
14	2 7/16	14H508	14S509	Calibre 12	Calibre 14
16	3	16H610	16S612	Calibre 12	Calibre 14
18	3	—	18S612	Calibre 10	Calibre 12
20	3	—	20S612	Calibre 10	Calibre 12
24	3 7/16	—	24S712	Calibre 10	Calibre 12
30	3 7/16	—	30S712	Calibre 10	Calibre 12

Nota. Adaptado Manejo de Materiales Manual Martin Sección H-español, (pág. H-21)

Anexo 5: Selección de bujes para colgantes

Selección de Bujes para Colgantes				
Grupos de Componentes de Bujes	Tipos de Bujes	Material Recomendado para Ejes de Acoplamiento Δ	Temperatura de Operación Máxima Recomendada	F_b
B	Bolas (Rodamientos)	Estándar	180°F	1.0
L	Bronce	Estándar	300°F	1.7
S	Bronce Martin *	Estándar	450°F	2.0
	Bronce Grafitado	Estándar	500°F	
	Bronce Impregnado de Aceite	Estándar	200°F	
	Madera Impregnado de Aceite	Estándar	160°F	
	Nylatron	Estándar	250°F	
	Nylon	Estándar	160°F	
	Teflon	Estándar	250°F	
	UHMW	Estándar	225°F	
	Uretano	Estándar	200ºF	
	Hierro Endurecido Martin *	Endurecido	500°F	3.4
H	Hierro Endurecido	Endurecido	500°F	4.4
	Sup. Endurecida	Endurecido o Especial	500°F	
	Stellite	Especial	500°F	
	Cerámica	Especial	1000ºF	

*Metal Sinterizado. Auto Lubricado.

Δ OTROS TIPOS DE MATERIALES PARA EJES
Otros tipos de ejes pueden ser suministrados en varias aleaciones y acero inoxidable.

Nota. Adaptado Manejo de Materiales Manual Martin Sección H-español, (pág. H-22)

Anexo 6: Factor del Diámetro del transportador, Fd

Factor del Diámetro del Transportador, F_d			
Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)	Factor F_d	Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)	Factor F_d
4	12.0	14	78.0
6	18.0	16	106.0
9	31.0	18	135.0
10	37.0	20	165.0
12	55.0	24	235.0
		30	300.0

Nota. Adaptado Manejo de Materiales Manual Martin Sección H-español, (pág. H-23)

Anexo 7: Factor del Buje para colgante.

Tipo de Buje		Factor del Buje para Colgante F_b
B	Rodamiento de Bolas	1.0
L	Bronce Martin	2.0
S	* Bronce Grafitado * Bronce, Impregnado en Aceite * Madera, Impregnado en Aceite * Nylatron * * Nylon * Teflón * UHMH * Uretano	2.0
	* Hierro Endurecido Martin	3.4
H	* Superficie Endurecida * Stellite * Cerámica	4.4

* Bujes no lubricados o bujes sin lubricación adicional.

Nota. Adaptado Manejo de Materiales Manual Martin Sección H-español, (pág. H-23)

Anexo 8: Factor de porcentaje de carga

	15%	30%	45%	95%
Estándar	1.0	1.0	1.0	1.0
Helicoidal con Corte	1.10	1.15	1.20	1.3
Con Corte y Doblez	N.R.*	1.50	1.70	2.20
Helicoidal de Listón	1.05	1.14	1.20	—
	*No recomendada			

Nota. Adaptado Manejo de Materiales Manual Martin Sección H-español, (pág. H-24)

Anexo 9: Factor de Paleta, Fp

Paletas Estándar por Paso. Paletas Ajustadas a 45° Paso Invertido					
Número de Paletas por Paso	0	1	2	3	4
Factor de Paleta — F_p	1.0	1.29	1.58	1.87	2.16

Nota. Adaptado Manejo de Materiales Manual Martin Sección H-español, (pág. H-24)

Anexo 10: Factor de eficiencia (e) de las transmisiones

Transmisión para Transportador Helicoidal o Montado en Eje con Transmisión de Bandas en "V"	Reductor de Engranes Helicoidales con Transmisión de Bandas en V y Cople	Motorreductor con Cople	Motorreductor con Transmisión de Cadena	Corona Sinfín
.88	.87	.95	.87	Consulte a Martin

Nota. Adaptado Manejo de Materiales Manual Martin Sección H-español, (pág. H-24)

Anexo 11: Resistencia a la torsión en eje, tubo y pernos

Acoplamiento	Tubo		Ejes		Pernos				
Diámetro del Eje (Pulgadas)	Ced. 40		Torque (lb-Pulgadas)*		Diámetro del Perno (Pulgadas)	Pernos al Corte (lb-Pulgadas)▼		Resistencia de los Barrenos (lb-Pulgadas)	
	Tamaño (Pulgadas)	Torque (lb-Pulgadas)	Estándar CEMA (C-1018)	Estándar Martin (C-1045)		No. de Pernos		No. de Pernos	
						2	3	2	3
1	1½	3,140	820	999	⅜	1,380	2,070	1,970	2,955
1½	2	7,500	3,070	3,727	½	3,660	5,490	5,000	7,500
2	2½	14,250	7,600	9,233	⅝	7,600	11,400	7,860	11,790
2 7/16	3	23,100	15,090	18,247	⅝	9,270	13,900	11,640	17,460
3	3½	32,100	28,370	34,427	¾	16,400	24,600	15,540	23,310
3	4	43,000	28,370	34,427	¾	16,400	24,600	25,000	37,500
3 7/16	4	43,300	42,550	51,568	⅞	25,600	38,400	21,800	32,700

▼ Los valores indicados corresponden a pernos grado 2, A307-64. Para pernos grado 5 multiplique ese valor por 2.5.
* Los valores son para ejes no endurecidos.
Valores subrayados son factores limitantes.

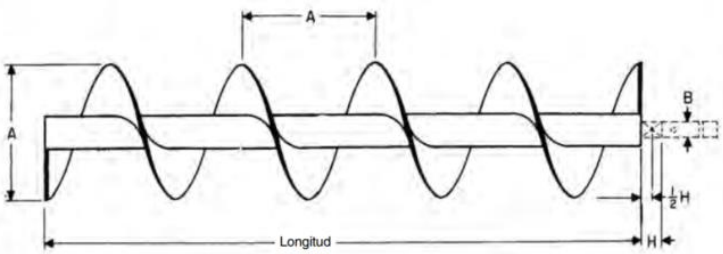
Nota. Adaptado Manejo de Materiales Manual Martin Sección H-español, (pág. H-24)

Anexo 12: Selección de artesa tubular

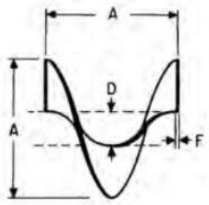
Diámetro del Trans-portador	Espesor de la Artesa	Artesa Tubular			Ceja Formada		Ceja de Ángulo		A	B	C
		No. de Parte	Peso lb Largo 10'	Peso lb Largo 5'	No. de Parte	Peso 10' lb	No. de Parte	Peso 10' lb			
4	▯ 16 Cal.	4CHT16			4CHT16-F	43	4CHT16-A	81		7⅛	
4	14	4CHT14	60	31	4CHT14-F	53	4CHT14-A	89	5	7 3/16	1
4	12	4CHT12			4CHT12-F	74	4CHT12-A	106		7¼	
6	▯ 16 Cal.	6CHT16	50	27	6CHT16-F	60	6CHT16-A	110		9⅝	
6	14	6CHT14	62	33	6CHT14-F	75	6CHT14-A	122		9 11/16	
6	12	6CHT12	85	44	6CHT12-F	103	6CHT12-A	145	7	9¾	1¼
6	10	6CHT10	109	56	6CHT10-F	133	6CHT10-A	187		9 15/16	
6	3/16	6CHT7	145	74	6CHT7-F	168	6CHT7-A	205		9⅞	
9	16 Cal.	9CHT16	72	39	9CHT16-F	84	9CHT16-A	131		12⅝	
9	▯ 14	9CHT14	89	47	9CHT14-F	104	9CHT14-A	148		12 11/16	
9	12	9CHT12	122	64	9CHT12-F	143	9CHT12-A	181		12¾	
9	10	9CHT10	155	80	9CHT10-F	182	9CHT10-A	214	10	12 15/16	1¼
9	3/16	9CHT7	208	107	9CHT7-F	245	9CHT7-A	267		12⅞	
9	¼	9CHT3	275	140	9CHT3-F	324	9CHT3-A	334		13	
10	16 Cal.	10CHT16	79	42	10CHT16-F	91	10CHT16-A	138		13⅝	
10	▯ 14	10CHT14	97	52	10CHT14-F	112	10CHT14-A	156		13 11/16	
10	12	10CHT12	133	70	10CHT12-F	154	10CHT12-A	192		13¾	
10	10	10CHT10	169	88	10CHT10-F	196	10CHT10-A	228	11	13 15/16	1¼
10	3/16	10CHT7	227	117	10CHT7-F	264	10CHT7-A	286		13⅞	
10	¼	10CHT3	301	154	10CHT3-F	350	10CHT3-A	360		14	
12	▯ 12 Cal.	12CHT12	163	88	12CHT12-F	193	12CHT12-A	235		16¼	
12	10	12CHT10	208	111	12CHT10-F	247	12CHT10-A	280		16 5/16	
12	3/16	12CHT7	275	144	12CHT7-F	328	12CHT7-A	347	13	16⅜	1½
12	¼	12CHT3	362	188	12CHT3-F	432	12CHT3-A	434		16½	
14	▯ 12 Cal.	14CHT12	187	101	14CHT12-F	217	14CHT12-A	259		18¼	
14	10	14CHT10	236	126	14CHT10-F	275	14CHT10-A	308		18 5/16	
14	3/16	14CHT7	316	166	14CHT7-F	369	14CHT7-A	388	15	18⅜	1½
14	¼	14CHT3	416	216	14CHT3-F	486	14CHT3-A	488		18½	

Nota. Adaptado Manejo de Materiales Manual Martin Sección H-español, (pág. H-54)

Anexo 13: Medidas de helicoides seccionales



Helicoidal Seccional



Espiral c/u

A	B	Número de Parte, Helicoidal Completo	Número de Parte, Sólo Espiral	Tamaño de Tubo		F	H	Longitud Estándar Pies-Pulg.	Peso Promedio lb			Espirales Aprox. Por Pie
Diámetro del Helicoidal	Diámetro del Eje			Interior	D Exterior	Espesor del Helicoidal	Ancho del Buje del Colgante		Longitud Estándar	Por Pie	Espiral c/u	
14	2 7/16	14S512–*	14SF512–*	3	3½	3/16	3	11-9	214	18.0	9.9	.86
	2 7/16	14S516–*	14SF516–*	3	3½	¼	3	11-9	240	20.0	13.2	.86
	2 7/16	14S524–*	14SF524–*	3	3½	⅜	3	11-9	330	27.5	19.8	.86
	3	14S612–*	14SF612–*	3½	4	3/16	3	11-9	222	19.0	9.9	.86
	3	14S616–*	14SF616–*	3½	4	¼	3	11-9	246	21.0	13.2	.86
	3	14S624–*	14SF624–*	3½	4	⅜	3	11-9	342	29.0	19.8	.86

Nota. Adaptado Manejo de Materiales Manual Martin Sección H-español, (pág. H-81)

Anexo 14: Tabla de inercias Tubo Cedula 40

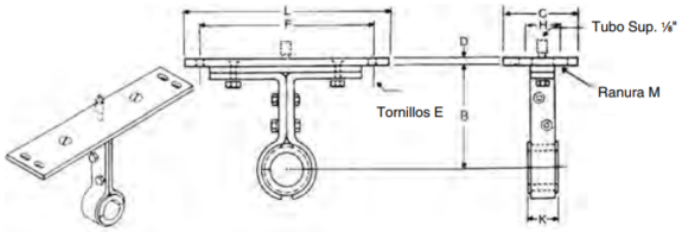
Tamaño de Tubo	2"	2½"	3"	3½"	4"	5"	6"	8"	10"
I	.666	1.53	3.02	4.79	7.23	15.2	28.1	72.5	161

Nota. Adaptado Manejo de Materiales Manual Martin Sección H-español, (pág. H-29)

Anexo 15: Soporte colgante Estilo 220

Estilo 220

Los colgantes estilo 220 han sido diseñados para instalarse sobre los ángulos superiores de la artesa en aplicaciones donde no se requiera una operación a prueba de polvo o de la intemperie. Este colgante presenta una obstrucción mínima al flujo del material en transportadores de alta capacidad. Están disponibles con bujes.



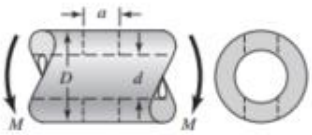
Diámetro del Transportador	Tamaño del Eje	Número de Parte*	B	C	D	E	F	H	K	L	M Ojal	Peso c/u lb
4	1	4CH2202	3 13/16	3½	3/16	¼	6½	2	1½	7¼	5/16 × ¾	5
6	1½	6CH2203	4½	4½	3/16	⅜	8¾	2½	2	9¾	7/16 × 1 1/16	7
9	1½	9CH2203	6⅛	4½	¼	⅜	12¼	2½	2	13½	7/16 × 1 1/16	9
	2	9CH2204	6⅛	4½	¼	⅜	12¼	2½	2	13½		11
10	1½	10CH2203	6⅜	4½	¼	⅜	13¼	2½	2	14½	7/16 × 1 1/16	10
	2	10CH2204	6⅜	4½	¼	⅜	13¼	2½	2	14½		12
12	2	12CH2204	7¾	5	⅜	½	15¾	2½	2	17½	9/16 × 1 5/16	16
	2 7/16	12CH2205	7¾	5	⅜	½	15¾	2½	3	17½		21
	3	12CH2206	7¾	5	⅜	½	15¾	2½	3	17½		28
14	2 7/16	14CH2205	9¼	5	½	½	17¾	2½	3	19½	9/16 × 1 5/16	26

Nota. Adaptado Manejo de Materiales Manual Martin Sección H-español, (pág. H-93)

Anexo 16: Factor Kt por concentración de esfuerzo a flexión en tubo redondo con agujero.

Tabla A-16

Factores aproximados de concentración del esfuerzo, K_t, de flexión de una barra redonda o un tubo con un agujero redondo transversal.
Fuente: R.E. Peterson, *Stress Concentration Factors*, Wiley, Nueva York, 1974, pp. 146, 235.



El esfuerzo flexionante nominal es $\sigma_0 = M/Z_{neto}$, donde Z_{neto} es un valor reducido del módulo de sección y se define por

$$Z_{neto} = \frac{\pi A}{32D}(D^4 - d^4)$$

Los valores de A se listan en la tabla. En el caso de una barra sólida use $d = 0$.

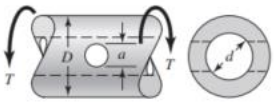
	d/D					
	0.9		0.6		0	
a/D	A	K_t	A	K_t	A	K_t
0.050	0.92	2.63	0.91	2.55	0.88	2.42
0.075	0.89	2.55	0.88	2.43	0.86	2.35
0.10	0.86	2.49	0.85	2.36	0.83	2.27
0.125	0.82	2.41	0.82	2.32	0.80	2.20
0.15	0.79	2.39	0.79	2.29	0.76	2.15
0.175	0.76	2.38	0.75	2.26	0.72	2.10
0.20	0.73	2.39	0.72	2.23	0.68	2.07
0.225	0.69	2.40	0.68	2.21	0.65	2.04
0.25	0.67	2.42	0.64	2.18	0.61	2.00
0.275	0.66	2.48	0.61	2.16	0.58	1.97
0.30	0.64	2.52	0.58	2.14	0.54	1.94

Nota. Adaptado de Factores de Aproximación de concentración de esfuerzo en tubo con agujero sometido a flexión. Reimpreso de Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (p. 997), por R. G. Budynas y J. K. Nisbett, 2011, McGraw-Hill

Anexo 17: Factor Kts por concentración de esfuerzo a torsión en tubo redondo con agujero.

Tabla A-16 (*continuación*)

Factores aproximados de concentración del esfuerzo, K_{ts}, de una barra redonda o un tubo con un agujero redondo transversal, carga en torsión. *Fuente:* R.E. Peterson, *Stress Concentration Factors*, Wiley, Nueva York, 1974, pp. 148, 244.



El esfuerzo máximo ocurre en el interior del agujero, un poco debajo de la superficie del eje. El esfuerzo cortante nominal es $\tau_0 = TD/2J_{neto}$, donde J_{neto} es un valor reducido del segundo momento polar del área y se define por

$$J_{neto} = \frac{\pi A(D^4 - d^4)}{32}$$

Los valores de A se listan en la tabla. En el caso de una barra sólida use $d = 0$.

	d/D									
	0.9		0.8		0.6		0.4		0	
a/D	A	K_{ts}	A	K_{ts}	A	K_{ts}	A	K_{ts}	A	K_{ts}
0.05	0.96	1.78							0.95	1.77
0.075	0.95	1.82							0.93	1.71
0.10	0.94	1.76	0.93	1.74	0.92	1.72	0.92	1.70	0.92	1.68
0.125	0.91	1.76	0.91	1.74	0.90	1.70	0.90	1.67	0.89	1.64
0.15	0.90	1.77	0.89	1.75	0.87	1.69	0.87	1.65	0.87	1.62
0.175	0.89	1.81	0.88	1.76	0.87	1.69	0.86	1.64	0.85	1.60
0.20	0.88	1.96	0.86	1.79	0.85	1.70	0.84	1.63	0.83	1.58
0.25	0.87	2.00	0.82	1.86	0.81	1.72	0.80	1.63	0.79	1.54
0.30	0.80	2.18	0.78	1.97	0.77	1.76	0.75	1.63	0.74	1.51
0.35	0.77	2.41	0.75	2.09	0.72	1.81	0.69	1.63	0.68	1.47
0.40	0.72	2.67	0.71	2.25	0.68	1.89	0.64	1.63	0.63	1.44

Nota. Adaptado de Factores de Aproximación de concentración de esfuerzo en tubo con agujero sometido a Torsion. Reimpreso de Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (p. 998), por R. G. Budynas y J. K. Nisbett, 2011, McGraw-Hill

Anexo 18: Factor de Superficie

Acabado superficial	Factor a S_{ut}, kpsi	Factor a S_{ut}, MPa	Exponente b
Esmerilado	1.34	1.58	−0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	−0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	−0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	−0.995

$xx :=$ Acabado Superficial: Esmerilado

$a = 1.340 \qquad b = -0.085$

$$k_a := a \cdot \left(\frac{S_{ut}}{ksi}\right)^b = 0.838$$

Nota. Adaptado de, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, por R. G. Budynas y J. K.

Anexo 19: Efecto de la temperatura en la resistencia

Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

$k_d :=$ Temperatura: 50 °C

$k_d = 1.01$

Nota. calculo adaptado de, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, por R. G. Budynas y J. K.

Anexo 20: Factor de confiablidad

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_a	Factor de confiabilidadr k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

$k_e :=$ Confiabilidad: 99.9 %

$k_e = 0.75$

Nota. calculo adaptado de, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, por R. G. Budynas y J. K.

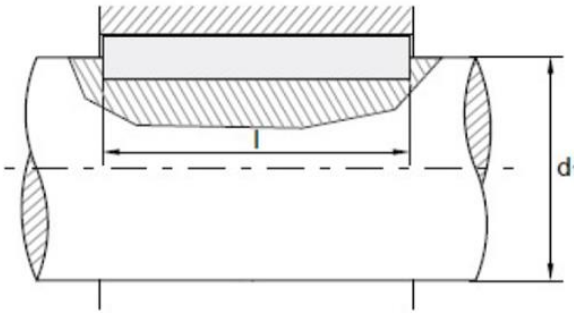
Anexo 21: Factores de concentración de esfuerzo Kt y Kts.

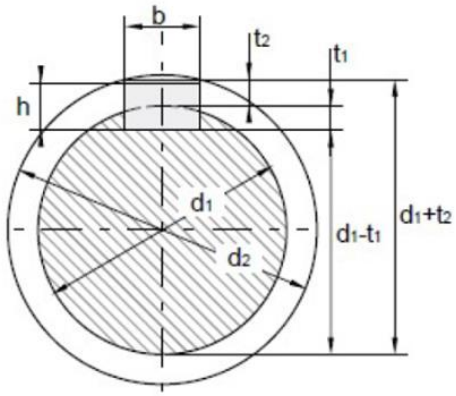
	Flexión	Torsión	Axial
Filete de hombro: agudo ($r/d = 0.02$)	2.7	2.2	3.0
Filete de hombro: bien redondeado ($r/d = 0.1$)	1.7	1.5	1.9
Cuñero fresado ($r/d = 0.02$)	2.14	3.0	—
Cuñero de patín o trapezoidal	1.7	—	—
Ranura para anillo de retención	5.0	3.0	5.0

Los valores faltantes en la tabla no pueden obtenerse con facilidad.

Nota. Estimaciones de primera iteración de los factores de concentración del esfuerzo Kt y Kts. Reimpreso de Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (p. 356), por R. G. Budynas y J. K. Nisbett, 2011, McGraw-Hill

Anexo 22: Dimensiones de Chavetas DIN 6885





b			2	3	4	5		6		8		10		12		14		16		18		20		22	
h			2	3	4	3	5	4	6	5	7	6	8	6	8	6	9	7	10	7	11	8	12	9	1
d1		>	6	8	10	12	12	17	17	22	22	30	30	38	38	44	44	50	50	58	58	65	65	75	7
		≤	8	10	12	17	17	22	22	30	30	38	38	44	44	50	50	58	58	65	65	75	75	85	8
Chavetero del eje	b*	asiento fijo P9	2	3	4	5	5	6	6	8	8	10	10	12	12	14	14	16	16	18	18	20	20	22	2
		asiento ligero N9	2	3	4	5	5	6	6	8	8	10	10	12	12	14	14	16	16	18	18	20	20	22	2
	t1	con juego en el lomo o aprieto	1,2	1,8	2,5	1,9	3	2,5	3,5	3,1	4	3,7	5	3,9	5	4	5,5	4,7	6	4,8	7	5,4	7,5	6	
		dif. adm.	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0
Chavetero del cubo	b*	asiento fijo P9	2	3	4	5	5	6	6	8	8	10	10	12	12	14	14	16	16	18	18	20	20	22	2
		asiento ligero JS9	2	3	4	5	5	6	6	8	8	10	10	12	12	14	14	16	16	18	18	20	20	22	2
	t2	con juego en el lomo	1	1,4	1,8	1,2	2,3	1,6	2,8	2	3,3	2,4	3,3	2,2	3,3	2,1	3,8	2,4	4,3	2,3	4,4	2,7	4,9	3,1	5
		dif. adm.	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,2	+0,1	+0,2	+0,1	+0,2	+0,1	+0,2	+0,1	+0,2	+0,1	+0,2	+0,1	+0,2	+0,2	+0
		con aprieto	0,5	0,9	1,2	0,8	1,7	1,1	2,2	1,4	2,4	1,8	2,4	1,6	2,4	1,4	2,9	1,7	3,4	1,6	3,4	2	3,9	2,4	4
		dif. adm.	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,2	+0,1	+0,2	+0,1	+0,2	+0,1	+0,2	+0,1	+0,2	+0,1	+0,2	+0,1	+0,2	+0,1	+0
a			-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	3	-	3	-	3,5	-	4	-	4,5	-	5	-	5
d2 min.		d1 +	2,5	3,5	4	3	5	4	6	5	8	6	8	6	8	6	9	7	11	7	11	8	12	9	1
r1		min.	0,16	0,16	0,16	0,20	0,25	0,40	0,25	0,40	0,25	0,40	0,40	0,50	0,40	0,50	0,40	0,50	0,40	0,50	0,40	0,60	0,60	0,60	0,
		max.	0,25	0,25	0,25	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,40	0,50	0,60	0,70	0,60	0,70	0,60	0,70	0,60	0,70	0,60	0,80	0,80	0,80	0,
r2		max.	0,16	0,16	0,16	0,20	0,25	0,40	0,25	0,40	0,25	0,40	0,40	0,50	0,40	0,50	0,40	0,50	0,40	0,50	0,40	0,60	0,60	0,60	0,
		min.	0,08	0,08	0,08	0,10	0,16	0,20	0,16	0,20	0,16	0,20	0,25	0,30	0,25	0,30	0,25	0,30	0,25	0,30	0,25	0,40	0,40	0,40	0,

b	2	3	4	5		6		8		10		12		14		16		18		20	
h	2	3	4	3	5	4	6	5	7	6	8	6	8	6	9	7	10	7	11	8	12
	06	06	08	12	10	14	•10	18	•12	22	•14	28	•20	36	•25	45	•30	50	•45	56	•55
	08	08	10	14	12	16	•12	20	•14	25	•15	32	•22	40	•28	50	•32	56	50	63	56
	10	10	12	16	14	18	14	22	•15	28	•16	36	•25	45	•30	56	•35	63	•55	70	•60
	12	12	14	18	•15	20	•15	25	•16	32	•18	40	28	50	•32	63	•36	70	56	80	63
	14	14	•15	20	16	22	16	28	18	36	•20	45	•30	56	•35	70	•40	80	•60	90	•65
	•15	•15	16	22	18	25	18	32	20	40	22	50	32	63	36	80	45	90	63	100	70
	16	16	18	25	20	28	20	36	22	45	25	56	•35	70	40	90	50	100	•65	110	•75
	18	18	20	28	22	32	22	40	25	50	28	63	36	80	45	100	•55	110	70	125	80
	20	20	22	32	25	36	25	45	28	56	•30	70	40	90	50	110	56	125	•75	140	•85
	•22	22	25	36	28	40	28	50	•30	63	32	80	45	100	•55	125	•60	140	80	160	90
	•25	25	28	40	•30	45	•30	56	32	70	•35	90	50	110	56	140	63	160	•85	180	•95
	•28	28	•30	45	32	50	32	63	•35	80	36	100	•55	125	•60	160	•65	180	90	200	100
	•30	•30	32	50	•35	56	•35	70	36	90	40	110	56	140	63	180	70	200	•95	220	110
	•32	32	•35	56	36	63	36	80	40	100	45	125	•60	160	•65		•75		100		•120
	•35	•35	36		40	70	40	90	45	110	50	140	63		70		80		110		125
	•36	36	40		45		45		50		•55		•65		•75		•85		•120		•130
			45		50		50		•55		56		70		80		90		125		140
l			•50		•55		•55		56		•60		•75		•85		•95		•130		•150
					56		56		•60		63		80		90		100		140		160
					•60		•60		63		•65		•85		•95		110		•150		•170
					•63		63		•65		70		90		100		•120		160		180
					•65		•65		70		•75		•95		110		125		•170		200
							70		•75		80		100		•120		•130		180		220

Nota. Opac. (s.f.). DIN 6885 A: Technical Standard. Recuperado de https://www.opac.net/pdf/DIN%206885%20A.pdf

Anexo 23: Cargas en la placa base

Cargas (Fuerzas en equilibrio)

Nombre	Elemento	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
1.2D+1.6L(1)	Barra_40 / Finalizar	-6,249	0,103	-0,672	0,023	-0,074	0,000
1.4D(2)	Barra_40 / Finalizar	-0,459	-0,001	-0,244	0,000	0,020	0,000
1.2D+Sy+0.5L(3)	Barra_40 / Finalizar	-2,157	0,245	-0,317	-0,002	-0,014	0,000

Nota. Elaboración Propia.

Anexo 24: Ficha técnica buje de bronce

Image may differ from product. See technical specification for details.

PBMF 9011050 M1G1

Casquillo con pestaña de bronce sólido

Anexo 25: Ficha técnica moto-reductor

Información técnica del producto

Tipo de reductor :	**Moto-reductor ejes paralelos**	
Tipo :	**FH103-11P-112M-02E-TH-TF**	

Datos operación :

Temperatura ambiente :	+20	°C
Régimen de servicio :	S1	

Características reductor :

Potencia térmica máx.permanente a +20 °C y servicio S1 :	38	[kW]
Velocidad de salida :	18	[r.p.m.]
Par de salida :	2151	[Nm]
Factor de servicio :	3.75	
Gear stages :	3	
Relación de reducción :	163.33	
Juego circunferencial (min-máx) :	3' - 6'	
Par de entrada admisible fB1 :	49	[Nm]
Velocidad entrada máx.perm. :	4300	[r.p.m.]
Forma montaje :	M1	
Eje hueco :	Ø 90 H7	[mm]
Chavetero :	DIN6885.1	
Material del eje de salida :	C45E (1.1191)	
Tapón ventilación :	0,2 bar (estándar)	
Pintura :	LC1 - Instalación interior, atmósfera neutra NDFT 60 µm (C1 - DIN EN ISO 12944-5)	
Color :	RAL 7011 (Gris hierro)	

Lado entrada :

Tipo :	montaje directo
Eje entrada :	Ø 34 k6
Brida entrada :	FC160

Otras ejecuciones del reductor :

Lubrificante :	Aceite mineral - CLP ISO VG220

Características motor :

Serie :	Motor Modular WEG (EUSAS)	
Housing material :	Aluminio	
Rendimiento η :	IE3-88.3%	
Serie motores :	11P	
Potencia motor :	4	[kW]
Velocidad nominal :	2900	[r.p.m.]
Par nominal :	13	[Nm]
Tensión :	400/690	[V]
Frecuencia :	50	[Hz]
Conexionado :	D/Y	

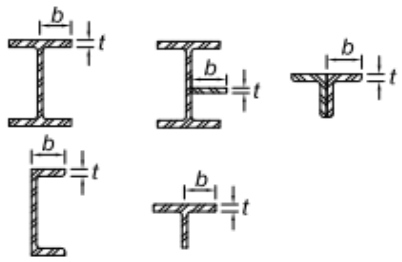
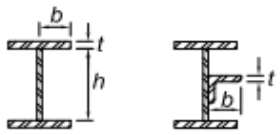
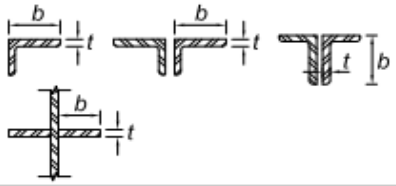
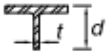
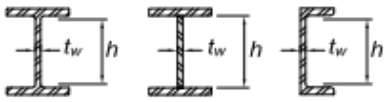
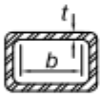
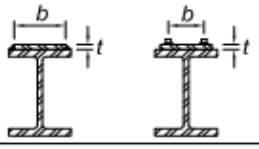
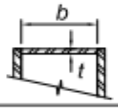
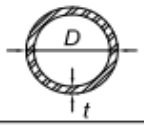
Creado en 22.12.2024 Creado por cat4CAD 6.0.2747.481 Sujeto a cambios. 1 / 3

Anexo 26: Factor de ajuste de imperfección

TABLE E7.1 Effective Width Imperfection Adjustment Factors, c_1 and c_2			
Case	**Slender Element**	c_1	c_2
(a)	Stiffened elements except walls of square and rectangular HSS	0.18	1.31
(b)	Walls of square and rectangular HSS	0.20	1.38
(c)	All other elements	0.22	1.49

Anexo 27: Relación ancho - espesor

TABLE B4.1a
Width-to-Thickness Ratios: Compression Elements Members Subject to Axial Compression

	Case	Description of Element	Width-to-Thickness Ratio	Limiting Width-to-Thickness Ratio λ_r (nonslender/slender)	Examples
Unstiffened Elements	1	Flanges of rolled I-shaped sections, plates projecting from rolled I-shaped sections, outstanding legs of pairs of angles connected with continuous contact, flanges of channels, and flanges of tees	b/t	$0.56\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	2	Flanges of built-up I-shaped sections and plates or angle legs projecting from built-up I-shaped sections	b/t	$0.64\sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$ [a]	
	3	Legs of single angles, legs of double angles with separators, and all other unstiffened elements	b/t	$0.45\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	4	Stems of tees	d/t	$0.75\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Stiffened Elements	5	Webs of doubly symmetric rolled and built-up I-shaped sections and channels	h/t_w	$1.49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	6	Walls of rectangular HSS	b/t	$1.40\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	7	Flange cover plates and diaphragm plates between lines of fasteners or welds	b/t	$1.40\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	8	All other stiffened elements	b/t	$1.49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	9	Round HSS	D/t	$0.11\frac{E}{F_y}$	

[a] $k_c = 4/\sqrt{h/t_w}$, but shall not be taken less than 0.35 nor greater than 0.76 for calculation purposes.

Anexo 28: Flecha máxima para elementos estructurales

Artículo 25.- FLECHAS

25.1 Excepto en los casos expresamente cubiertos en las Normas propias de los diversos materiales estructurales, la flecha de cualquier elemento estructural no excederá los valores indicados en la Tabla 6, excepto cuando soporte paneles de vidrio en cuyo caso se aplicará lo indicado en el Artículo 25 (25.2).

TABLA 6
FLECHAS MAXIMAS PARA ELEMENTOS ESTRUCTURALES

TIPO DE ELEMENTO	FLECHA PRODUCIDA POR LA CARGA VIVA	FLECHA PRODUCIDA POR LA CARGA VIVA MÁS LAS FLECHAS DIFERIDAS
Pisos	L/360	L/240*
Techos	L/180	-

L : Luz del elemento. Para volados se tomará como L, el doble de la longitud del elemento.

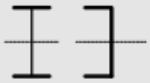
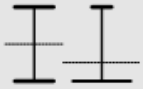
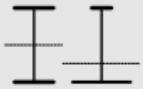
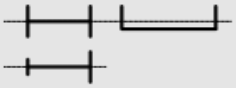
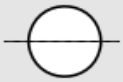
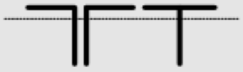
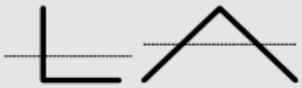
Flecha diferida: Se establece en función de cada material de acuerdo a su Norma respectiva. La flecha diferida se calculará para las cargas permanentes más la fracción de sobrecarga que actúa permanentemente.

* No aplicable a estructuras metálicas.

25.2 Excepto en los casos expresamente cubiertos en las Normas propias de los diversos materiales estructurales, la flecha para carga viva más la parte correspondiente a las flechas diferidas, de elementos estructurales que soportan paneles de vidrio no excederá en ningún caso 20 mm.

Anexo 29: Tabla de selección

TABLE USER NOTE F1.1
Selection Table for the Application of Chapter F Sections

Section in Chapter F	Cross Section	Flange Slenderness	Web Slenderness	Limit States
F2		C	C	Y, LTB
F3		NC, S	C	LTB, FLB
F4		C, NC, S	C, NC	CFY, LTB, FLB, TFY
F5		C, NC, S	S	CFY, LTB, FLB, TFY
F6		C, NC, S	N/A	Y, FLB
F7		C, NC, S	C, NC, S	Y, FLB, WLB, LTB
F8		N/A	N/A	Y, LB
F9		C, NC, S	N/A	Y, LTB, FLB, WLB
F10		N/A	N/A	Y, LTB, LLB
F11		N/A	N/A	Y, LTB
F12	Unsymmetrical shapes, other than single angles	N/A	N/A	All limit states

Y = yielding, CFY = compression flange yielding, LTB = lateral-torsional buckling, FLB = flange local buckling, WLB = web local buckling, TFY = tension flange yielding, LLB = leg local buckling, LB = local buckling, C = compact, NC = noncompact, S = slender, N/A = not applicable

Anexo 30: Cálculo de unión de placa base

Proyecto nº:
Autor:

Datos del proyecto

Nombre del proyecto	
Número del Proyecto	
Autor	
Descripción	
Fecha	13/12/2024
Código	AISC/ACI

Material

Acero	A36
Hormigón	3000 psi

VERSION EDUCACIONAL de IDEA StatiCa

Ítem del proyecto N33

Diseño

Nombre	N33
Descripción	
Análisis	Tensión, deformación/ Cargas en equilibrio
Normativa de cálculo	AISC - LRFD (2016)

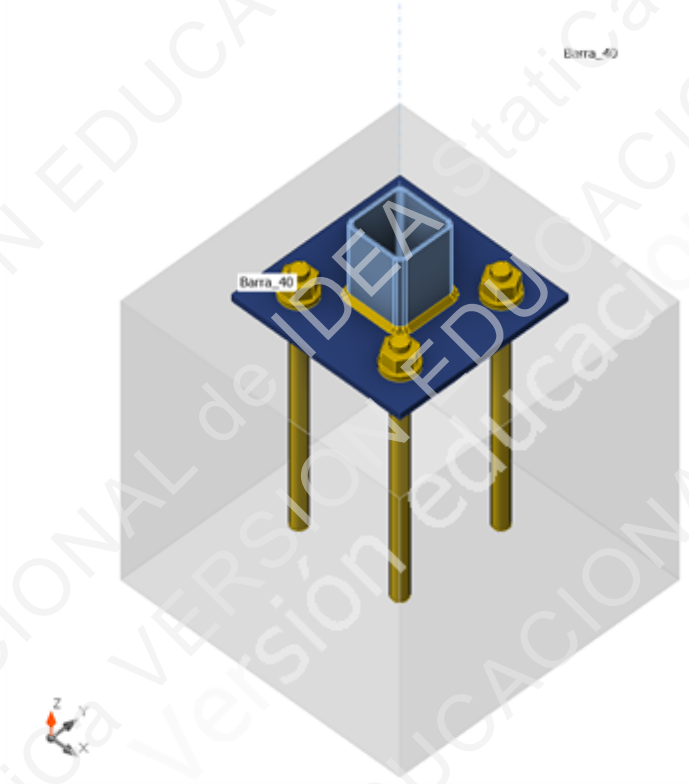
Elementos

Geometría

Nombre	Sección transversal	β – Dirección [°]	γ - Inclinación [°]	α - Rotación [°]	Desplazamiento ex [mm]	Desplazamiento ey [mm]	Desplazamiento ez [mm]
Barra_40	6 - HSSQ 2x2x0.125	0,0	90,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Apoyos y fuerzas

Nombre	Apoyo	Fuerzas en	X [mm]
Barra_40 / final		Posición	0,0



Secciones

Nombre	Material
6 - HSSQ 2x2x0.125	A36

Anclajes

Nombre	Diámetro [mm]	f_y [MPa]	f_u [MPa]	Área bruta [mm^2]
1/2 F1554 Gr.36	12,7	248,211	400,000	126,7

Cargas (Fuerzas en equilibrio)

Nombre	Elemento	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
1.2D+1.6L(1)	Barra_40 / Finalizar	-6,249	0,103	-0,672	0,023	-0,074	0,000
1.4D(2)	Barra_40 / Finalizar	-0,459	-0,001	-0,244	0,000	0,020	0,000
1.2D+Sy+0.5L(3)	Barra_40 / Finalizar	-2,157	0,245	-0,317	-0,002	-0,014	0,000

Fuerzas Desbalanceadas

Nombre	X [kN]	Y [kN]	Z [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
1.2D+1.6L(1)	0,672	0,103	-6,249	0,000	-0,074	0,023
1.4D(2)	0,244	-0,001	-0,459	0,000	0,020	0,000
1.2D+Sy+0.5L(3)	0,317	0,245	-2,157	0,000	-0,014	-0,002

Bloque de la cimentación

Ítem	Valor	Unidad
CB 1		
Dimensiones	250,8 x 250,8	mm
Profundidad	250,0	mm
Anclaje	1/2 F1554 Gr.36	
Longitud del anclaje	200,0	mm
Transferencia de la fuerza cortante	Anclajes	

Verificación

Resumen

Nombre	Valor	Estado de la verificación
Análisis	100,0%	OK
Placas	0,0 < 5,0%	OK
Deformación loc.	0,0 < 3%	OK
Anclajes	1,8 < 100%	OK
Soldaduras	18,5 < 100%	OK
Bloque de hormigón	3,6 < 100%	OK
Pandeo	166,02	

Placas

Nombre	t_p [mm]	Cargas	σ_{Ed} [MPa]	ε_{Pl} [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]	Estado
Barra_40	2,9	1.2D+1.6L(1)	36,132	0,0	0,000	OK
BP1	6,0	1.2D+1.6L(1)	23,768	0,0	0,000	OK

Datos de diseño

Material	F_y [MPa]	ε_{lim} [%]
A36	248,210	5,0

Resultado detallado para Barra_40

Design values used in the analysis

$\phi F_y =$ 223,389 MPa

Donde:

$F_y =$ 248,210 MPa – characteristic yield strength

$\phi =$ 0,90 – resistance factor for steel material AISC 360-16 – B3.1

Resultado detallado para BP1

Design values used in the analysis

$\phi F_y =$ 223,389 MPa

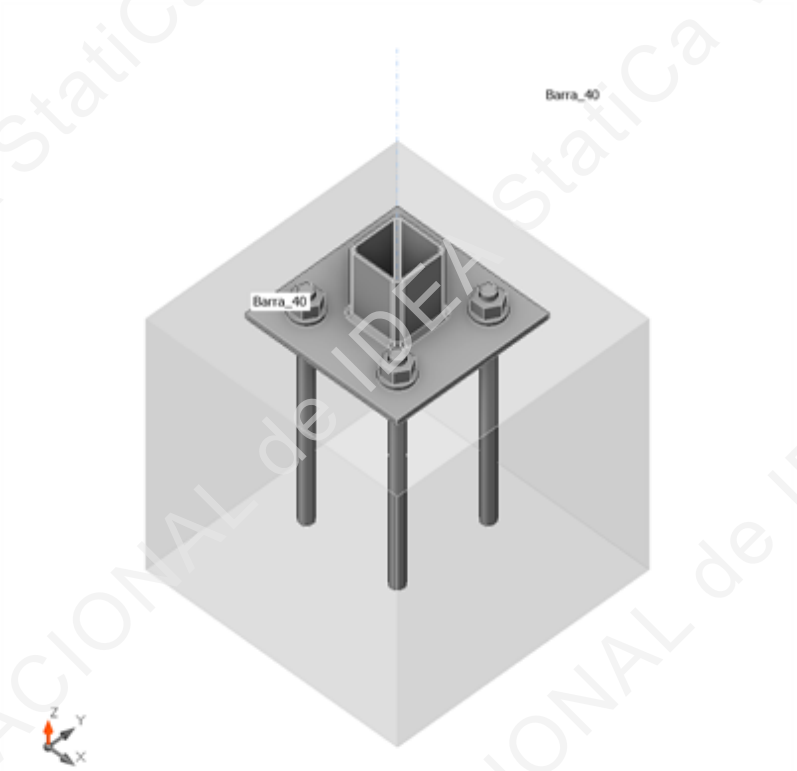
Donde:

$F_y =$ 248,210 MPa – characteristic yield strength

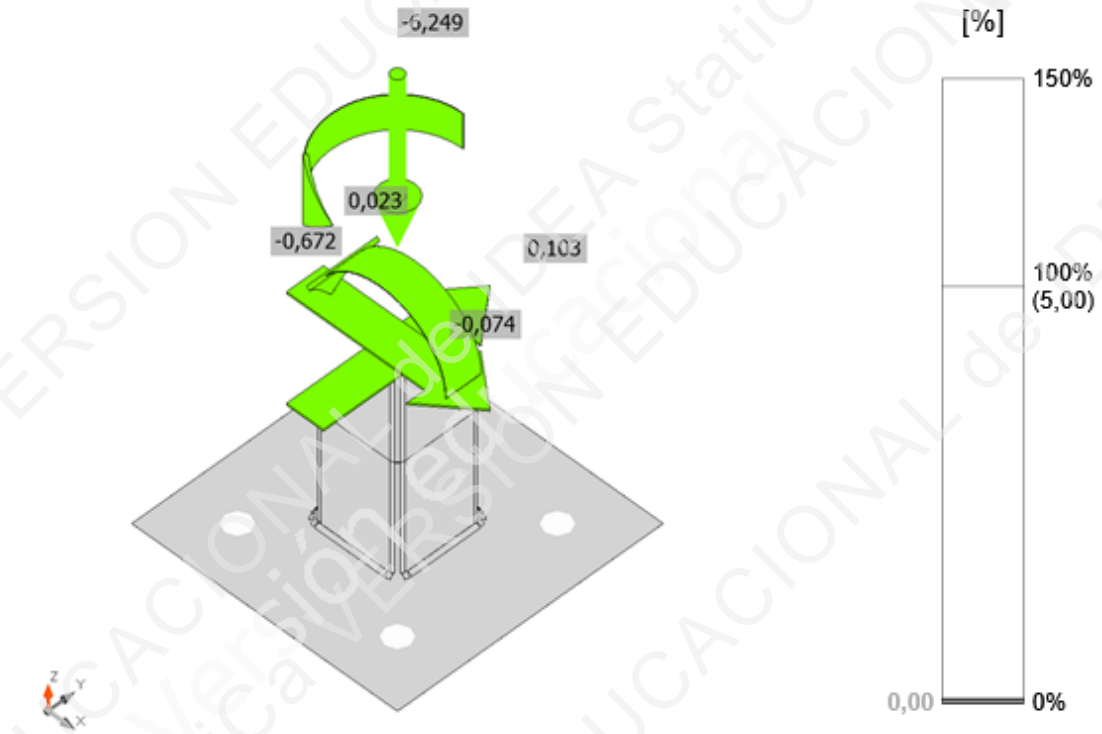
$\phi =$ 0,90 – resistance factor for steel material AISC 360-16 – B3.1

Deformación loc.

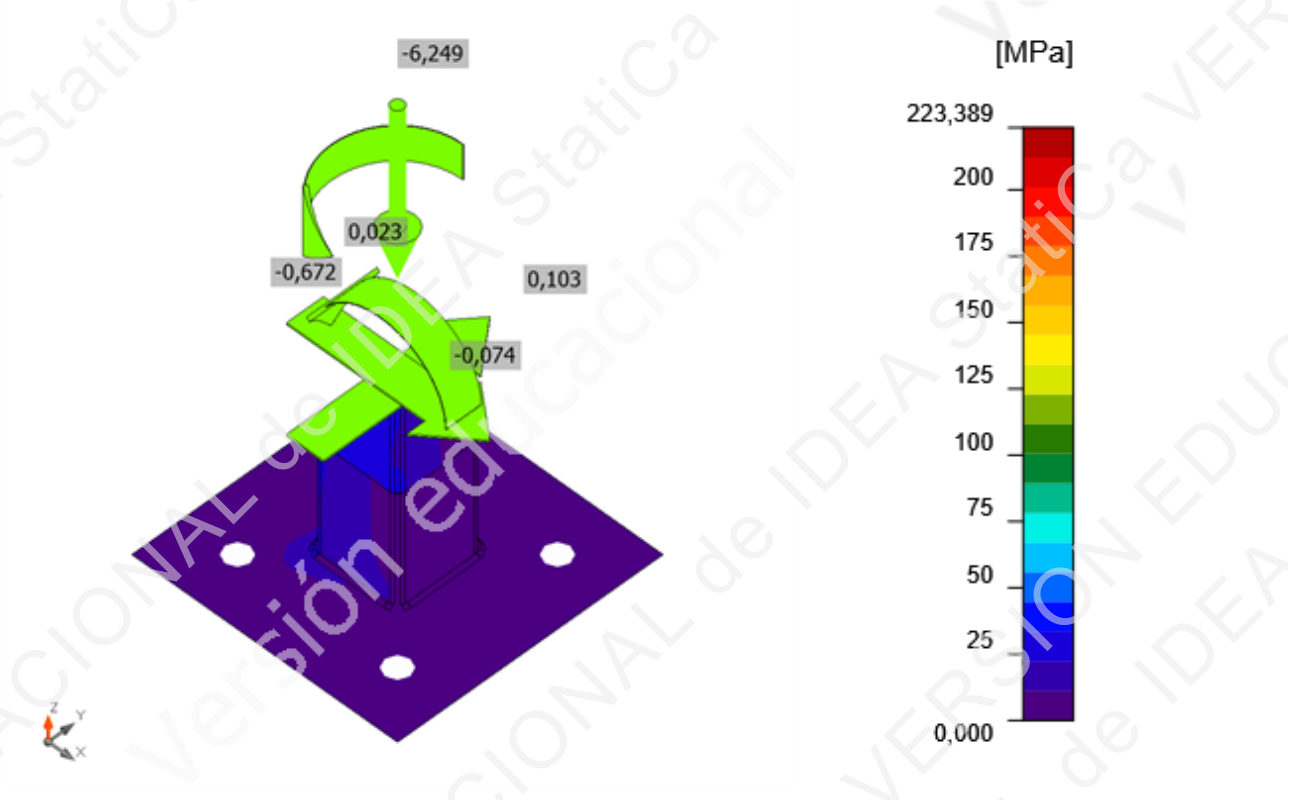
Nombre	d_0 [mm]	Cargas	δ [mm]	δ_{lim} [mm]	δ/d_0 [%]	Estado de la verificación
Barra_40	50,8	1.2D+Sy+0.5L(3)	0,0	1,5	0,0	OK



Verificación general, 1.2D+1.6L(1)

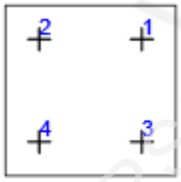


Verificación de deformación, 1.2D+1.6L(1)



Tensión equivalente, 1.2D+1.6L(1)

Anclajes

Forma	Ítem	Cargas	N_f [kN]	V [kN]	Ut_t [%]	Ut_s [%]	Ut_{ts} [%]	Detallado	Estado
	A1	1.2D+Sy+0.5L(3)	0,000	0,109	0,0	0,8	0,0	Aceptar	OK
	A2	1.2D+1.6L(1)	0,100	0,233	0,4	1,6	0,1	Aceptar	OK
	A3	1.2D+1.6L(1)	0,100	0,140	0,4	1,0	0,1	Aceptar	OK
	A4	1.2D+1.6L(1)	0,100	0,250	0,4	1,8	0,1	Aceptar	OK

Datos de diseño

Calidad	ϕN_{sa} [kN]	ϕV_{sa} [kN]
1/2 F1554 Gr.36 - 1	25,651	14,291

Resultado detallado para A1

Resistencia a tracción del anclaje (ACI 318-14 – 17.4.1)

$\phi N_{sa} = \phi \cdot A_{se,N} \cdot f_{uta} =$ 25,651 kN ≥ $N_f =$ 0,000 kN

Donde:

$\phi =$ 0,70 – factor de resistencia

$A_{se,N} =$ 91,6 mm^2 – Área a tracción

$f_{uta} =$ 400,000 MPa – resistencia última espeficifica para el acero del tornillo

- $f_{uta} = \min(860\ \text{MPa}, 1.9 \cdot f_{ya},\ f_u)$, donde:
  - $f_{ya} =$ 248,211 MPa – límite elástico esfecificado del acero del anclaje
  - $f_u =$ 400,000 MPa – resistencia última espeficifica para el acero del anclaje

Resistencia a cortante (ACI 318-14 – 17.5.1)

$\phi V_{sa} = \phi \cdot 0.6 \cdot A_{se,V} \cdot f_{uta} =$ 14,291 kN ≥ $V =$ 0,109 kN

Donde:

$\phi =$ 0,65 – factor de resistencia

$A_{se,V} =$ 91,6 mm^2 – Área a tracción

$f_{uta} =$ 400,000 MPa – resistencia última espeficifica para el acero del tornillo

- $f_{uta} = \min(860\ \text{MPa}, 1.9 \cdot f_{ya},\ f_u)$, donde:
  - $f_{ya} =$ 248,211 MPa – límite elástico esfecificado del acero del anclaje
  - $f_u =$ 400,000 MPa – resistencia última espeficifica para el acero del anclaje

Interacción tracción-cortante (ACI 318-14 – R17.6)

${U_{tt}}^{5/3} + {U_{ts}}^{5/3} =$ 0,00 ≤ 1.0

Donde:

$U_{tt} =$ 0,00 – máxima ratio entre fuerza de tracción factorizada y resistencia a tracción determinada a partir de todos los modos de fallo relevantes

$U_{ts} =$ 0,01 – máxima ratio entre esfuerzo cortante factorizado y resistencia a cortante determinada a partir de todos los modos de fallo relevantes

Armado suplementario (ACI 318-14 – 17.4.2.9; ACI 318-14 – 17.5.2.9)

El refuerzo suplementario debe resistit la fuerza de: 0,095 kN en tracción y 0,401 kN a cortante

Resultado detallado para A2

Following checks of anchors loaded in tension are not provided and should be checked using information in relevant Technical Product Specification (based on the 5 percent fractile of tests performed and evaluated according to ACI 355.2):

- *Pull-out failure of fastener (for post-installed mechanical anchors) - ACI 318-19 – 17.6.3*
- *Bond strength of adhesive anchor (for post-installed bonded anchors) - ACI 318-19 – 17.6.5*
- *Concrete splitting failure during installation should be evaluated by ACI 355.2 requirements*

Concrete blow-out failure is provided only for anchors with washer plates.

Resistencia a tracción del anclaje (ACI 318-14 – 17.4.1)

$\phi N_{sa} = \phi \cdot A_{se,N} \cdot f_{uta} =$ 25,651 kN ≥ $N_f =$ 0,100 kN

Donde:

$\phi =$ 0,70 – factor de resistencia

$A_{se,N} =$ 91,6 mm^2 – Área a tracción

$f_{uta} =$ 400,000 MPa – resistencia última espeficifica para el acero del tornillo

- $f_{uta} = \min(860\ \text{MPa}, 1.9 \cdot f_{ya},\ f_u)$, donde:
  - $f_{ya} =$ 248,211 MPa – límite elástico esfecificado del acero del anclaje
  - $f_u =$ 400,000 MPa – resistencia última espeficifica para el acero del anclaje

Resistencia a cortante (ACI 318-14 – 17.5.1)

$\phi V_{sa} = \phi \cdot 0.6 \cdot A_{se,V} \cdot f_{uta} =$ 14,291 kN ≥ $V =$ 0,233 kN

Donde:

$\phi =$ 0,65 – factor de resistencia

$A_{se,V} =$ 91,6 mm^2 – Área a tracción

$f_{uta} =$ 400,000 MPa – resistencia última espeficifica para el acero del tornillo

- $f_{uta} = \min(860\ \text{MPa}, 1.9 \cdot f_{ya},\ f_u)$, donde:
  - $f_{ya} =$ 248,211 MPa – límite elástico esfecificado del acero del anclaje
  - $f_u =$ 400,000 MPa – resistencia última espeficifica para el acero del anclaje

Interacción tracción-cortante (ACI 318-14 – R17.6)

${U_{tt}}^{5/3} + {U_{ts}}^{5/3} =$ 0,00 ≤ 1.0

Donde:

$U_{tt} =$ 0,00 – máxima ratio entre fuerza de tracción factorizada y resistencia a tracción determinada a partir de todos los modos de fallo relevantes

$U_{ts} =$ 0,02 – máxima ratio entre esfuerzo cortante factorizado y resistencia a cortante determinada a partir de todos los modos de fallo relevantes

Armado suplementario (ACI 318-14 – 17.4.2.9; ACI 318-14 – 17.5.2.9)

El refuerzo suplementario debe resistit la fuerza de: 0,278 kN en tracción y 0,680 kN a cortante

Resultado detallado para A3

Following checks of anchors loaded in tension are not provided and should be checked using information in relevant Technical Product Specification (based on the 5 percent fractile of tests performed and evaluated according to ACI 355.2):

- *Pull-out failure of fastener (for post-installed mechanical anchors) - ACI 318-19 – 17.6.3*
- *Bond strength of adhesive anchor (for post-installed bonded anchors) - ACI 318-19 – 17.6.5*
- *Concrete splitting failure during installation should be evaluated by ACI 355.2 requirements*

Concrete blow-out failure is provided only for anchors with washer plates.

Resistencia a tracción del anclaje (ACI 318-14 – 17.4.1)

$\phi N_{sa} = \phi \cdot A_{se,N} \cdot f_{uta} =$ 25,651 kN ≥ $N_f =$ 0,100 kN

Donde:

$\phi =$ 0,70 – factor de resistencia

$A_{se,N} =$ 91,6 mm^2 – Área a tracción

$f_{uta} =$ 400,000 MPa – resistencia última espeficifica para el acero del tornillo

- $f_{uta} = \min(860\ \text{MPa}, 1.9 \cdot f_{ya},\ f_u)$, donde:
  - $f_{ya} =$ 248,211 MPa – límite elástico esfecificado del acero del anclaje
  - $f_u =$ 400,000 MPa – resistencia última espeficifica para el acero del anclaje

Resistencia a cortante (ACI 318-14 – 17.5.1)

$\phi V_{sa} = \phi \cdot 0.6 \cdot A_{se,V} \cdot f_{uta} =$ 14,291 kN ≥ $V =$ 0,140 kN

Donde:

$\phi =$ 0,65 – factor de resistencia

$A_{se,V} =$ 91,6 mm^2 – Área a tracción

$f_{uta} =$ 400,000 MPa – resistencia última espeficifica para el acero del tornillo

- $f_{uta} = \min(860\ \text{MPa}, 1.9 \cdot f_{ya},\ f_u)$, donde:
  - $f_{ya} =$ 248,211 MPa – límite elástico esfecificado del acero del anclaje
  - $f_u =$ 400,000 MPa – resistencia última espeficifica para el acero del anclaje

Interacción tracción-cortante (ACI 318-14 – R17.6)

${U_{tt}}^{5/3} + {U_{ts}}^{5/3} =$ 0,00 ≤ 1.0

Donde:

$U_{tt} =$ 0,00 – máxima ratio entre fuerza de tracción factorizada y resistencia a tracción determinada a partir de todos los modos de fallo relevantes

$U_{ts} =$ 0,01 – máxima ratio entre esfuerzo cortante factorizado y resistencia a cortante determinada a partir de todos los modos de fallo relevantes

Armado suplementario (ACI 318-14 – 17.4.2.9; ACI 318-14 – 17.5.2.9)

El refuerzo suplementario debe resistit la fuerza de: 0,278 kN en tracción y 0,680 kN a cortante

Resultado detallado para A4

Following checks of anchors loaded in tension are not provided and should be checked using information in relevant Technical Product Specification (based on the 5 percent fractile of tests performed and evaluated according to ACI 355.2):

- *Pull-out failure of fastener (for post-installed mechanical anchors) - ACI 318-19 – 17.6.3*
- *Bond strength of adhesive anchor (for post-installed bonded anchors) - ACI 318-19 – 17.6.5*
- *Concrete splitting failure during installation should be evaluated by ACI 355.2 requirements*

Concrete blow-out failure is provided only for anchors with washer plates.

Resistencia a tracción del anclaje (ACI 318-14 – 17.4.1)

$\phi N_{sa} = \phi \cdot A_{se,N} \cdot f_{uta} =$ 25,651 kN ≥ $N_f =$ 0,100 kN

Donde:

$\phi =$ 0,70 – factor de resistencia

$A_{se,N} =$ 91,6 mm^2 – Área a tracción

$f_{uta} =$ 400,000 MPa – resistencia última espeficifica para el acero del tornillo

- $f_{uta} = \min(860\ \text{MPa}, 1.9 \cdot f_{ya},\ f_u)$, donde:
  - $f_{ya} =$ 248,211 MPa – límite elástico esfecificado del acero del anclaje
  - $f_u =$ 400,000 MPa – resistencia última espeficifica para el acero del anclaje

Resistencia a cortante (ACI 318-14 – 17.5.1)

$\phi V_{sa} = \phi \cdot 0.6 \cdot A_{se,V} \cdot f_{uta} =$ 14,291 kN ≥ $V =$ 0,250 kN

Donde:

$\phi =$ 0,65 – factor de resistencia

$A_{se,V} =$ 91,6 mm^2 – Área a tracción

$f_{uta} =$ 400,000 MPa – resistencia última espeficifica para el acero del tornillo

- $f_{uta} = \min(860\ \text{MPa}, 1.9 \cdot f_{ya},\ f_u)$, donde:
  - $f_{ya} =$ 248,211 MPa – límite elástico esfecificado del acero del anclaje
  - $f_u =$ 400,000 MPa – resistencia última espeficifica para el acero del anclaje

Interacción tracción-cortante (ACI 318-14 – R17.6)

${U_{tt}}^{5/3} + {U_{ts}}^{5/3} =$ 0,00 ≤ 1.0

Donde:

$U_{tt} =$ 0,00 – máxima ratio entre fuerza de tracción factorizada y resistencia a tracción determinada a partir de todos los modos de fallo relevantes

$U_{ts} =$ 0,02 – máxima ratio entre esfuerzo cortante factorizado y resistencia a cortante determinada a partir de todos los modos de fallo relevantes

Armado suplementario (ACI 318-14 – 17.4.2.9; ACI 318-14 – 17.5.2.9)

El refuerzo suplementario debe resistit la fuerza de: 0,278 kN en tracción y 0,680 kN a cortante

Soldaduras

Ítem	Borde	Xu	t_w [mm]	w [mm]	L [mm]	L_c [mm]	Cargas	F_n [kN]	ϕR_n [kN]	Ut [%]	Detallado	Estado
BP1	Barra_40	E60xx	◢ 2,8	◢ 4,0	182,0	2,3	1.2D+1.6L(1)	0,334	1,806	18,5	Aceptar	OK

Datos de diseño

Material	F_{exx} [MPa]
E60xx	413,685

Resultado detallado para BP1 / Barra_40

Comprobación de la resistencia de la soldadura (AISC 360-16 – J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 1,806 kN ≥ $F_n =$ 0,334 kN

Donde:

$F_{nw} =$ 372,176 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$, donde:
  - $F_{EXX} =$ 413,685 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 87,8° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 6,5 mm^2 – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

Bloque de hormigón

Ítem	Cargas	A_1 [mm^2]	A_2 [mm^2]	σ [MPa]	$\phi f_{p,max}$ [MPa]	Ut [%]	Estado
CB 1	1.2D+1.6L(1)	8103,2	47150,9	0,813	22,856	3,6	OK

Resultado detallado para CB 1

Comprobación de la resistencia a compresión del bloque de hormigón (AISC 360-16 – J8)

$\phi_c f_{p,max} =$ 22,856 MPa ≥ $\sigma =$ 0,813 MPa

Donde:

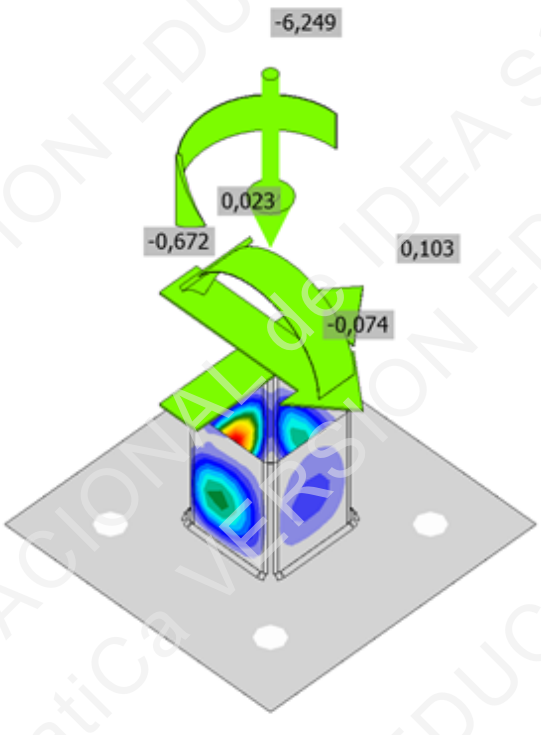
$f_{p,max} =$ 35,163 MPa – resistencia de cálculo a aplastamiento del bloque de hormigón:

- $f_{p,max} = 0.85 \cdot f'_c \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1.7 \cdot f'_c$, donde:
  - $f'_c =$ 20,684 MPa – resistencia a compresión del hormigón
  - $A_1 =$ 8103,2 mm^2 – Área de la placa base en contacto con la superficie de hormigón
  - $A_2 =$ 47150,9 mm^2 – Superfície de apoyo del hormigón

$\phi_c =$ 0,65 – factor de resistencia para el hormigón

Pandeo

Cargas	Forma	Factor [-]
1.2D+1.6L(1)	1	166,02
	2	199,47
	3	287,11
	4	318,86
	5	361,84
	6	396,24
1.4D(2)	1	1525,74
	2	2294,43
	3	3227,73
	4	3468,13
	5	3871,63
	6	4062,18
1.2D+Sy+0.5L(3)	1	535,58
	2	628,53
	3	864,54
	4	915,69
	5	1007,89
	6	1149,04



Forma del primer modo de pandeo, 1.2D+1.6L(1)

Estimación de coste

Acero

Calidad del acero	Peso total [kg]	Coste Unitario [US$/kg]	Coste [US$]
A36	1,07	2,50	2,68

Tornillos

Conjunto de tornillo	Peso total [kg]	Coste Unitario [US$/kg]	Coste [US$]
1/2 F1554 Gr.36	0,53	6,00	3,16

Soldaduras

Tipo de soldadura	Espesor de garganta [mm]	Tamaño de pierna [mm]	Peso total [kg]	Coste Unitario [US$/kg]	Coste [US$]
Cordón trasero	2,8	4,0	0,01	45,00	0,52

Perforación de agujeros

Coste del montaje de los tornillos [US$]	Porcentaje del costo de montaje del perno [%]	Coste [US$]
3,16	30,0	0,95

Resumen de coste

Resumen de la estimación de coste	Coste [US$]
Coste total estimado	7,31

Listado de material

Operaciones

Nombre	Placas [mm]	Forma	Nº	Soldaduras Tamaño de pierna [mm]	Longitud [mm]	Tornillos	Nº
BP1	P6,0x150,8-150,8 (A36)		1	tendón de soldadura simple: 4,0	183,5	1/2 F1554 Gr.36	4

Soldaduras

Tipo	Material	Espesor de garganta [mm]	Tamaño de pierna [mm]	Longitud [mm]
tendón de soldadura simple	E60xx	2,8	4,0	183,5

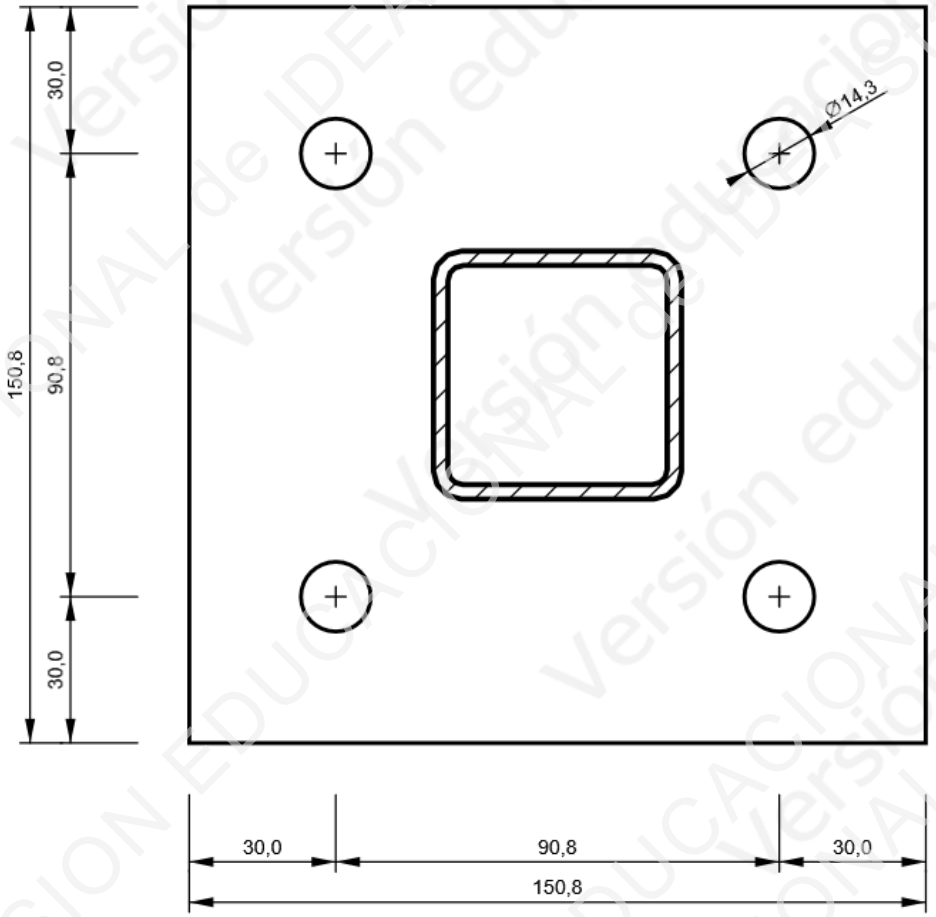
Anclajes

Nombre	Longitud [mm]	Longitud del taladro [mm]	Cuenta
1/2 F1554 Gr.36	206,0	200,0	4

Dibujo

BP1

P6,0x150,8-150,8 (A36)



Explicación del símbolo

Símbolo	Explicación
t_p	Espesor de placa
σ_{Ed}	Tensión equivalente
ε_{Pl}	Deformación plástica
$\sigma_{c,Ed}$	Tensiones de Contacto
F_y	Límite elástico
ε_{lim}	Límite de la deformación plástica
N_f	Fuerza de tracción
V	Resultante de fuerzas cortantes en pernos Vy y Vz en planos de cortantes
Ut_t	Utilización a tracción
Ut_s	Utilización a cortante
Ut_{ts}	Utilización a tensión y cortante
ϕN_{sa}	Resistencia del anclaje en tracción - ACI 318-14 – 17.4.1
ϕV_{sa}	Resistencia del anclaje a cortante - ACI 318-14 – 17.5.1
t_w	Espesor de garganta de soldadura
w	Tamaño de la soldadura
L	Longitud de la soldadura
L_c	Longitud del elemento crítico de la soldadura
F_n	Fuerza en el elemento crítico de la soldadura
ϕR_n	Resistencia de la soldadura - AISC 360-16 – J2-4
Ut	Utilización
◢	Cordón de soldadura
F_{exx}	Ultimate strength as rated by electrode classification number
A_1	Área cargada
A_2	Área de soporte
σ	Tensión media en el hormigón
$\phi f_{p,max}$	Resistencia del apoyo de hormigón
d_0	Tamaño de la sección
δ	Deformación local de la sección
δ_{lim}	Deformación permitida

IDEA StatiCa VERSION EDUCACIONAL de IDEA StatiCa

Configuración de la norma

Ítem	Valor	Unidad	Referencia
Coeficiente de fricción - hormigón	0,40	-	ACI 349-01 – B.6.1.4
Coeficiente de fricción en la resistencia a deslizamiento	0,30	-	AISC 360-16 – J3.8
Deformación plástica límite	0,05	-	
Detallado	Sí		
Distancia entre tornillos [d]	2,66	-	AISC 360-16 – J3.3
Distancia entre tornillos y el borde [d]	1,25	-	AISC 360-16 – J.3.4
Resistencia al arrancamiento del cono de hormigón	Ninguno		
Resistencia del metal base en la cara de fusión de la soldadura	No		AISC 360-16 – J2-2
La deformación en el orificio del perno con la carga de servicio es una consideración de diseño	Sí		AISC 360-16 – J3.10
Hormigón fisurado	Sí		ACI 318-14 – 17
Comprobación de la deformación local	Sí		
Deformación límite local	0,03	-	CIDECT DG 1, 3 - 1.1
No linealidad geométrica (GMNA)	Sí		Grandes deformaciones para secciones huecas

Anexo 31: Cálculo de unión columna, viga y arriostre

Proyecto: C 26
Proyecto nº:
Autor:

Datos del proyecto

Nombre del proyecto	C 26
Número del Proyecto	
Autor	
Descripción	
Fecha	14/12/2024
Código	AISC/ACI

Material

Acero	A36, A36

VERSION EDUCACIONAL de IDEA StatiCa

Ítem del proyecto M1E7 - M219 - M21F

Diseño

Nombre	M1E7 - M219 - M21F
Descripción	
Análisis	Tensión, deformación/ Cargas en equilibrio
Normativa de cálculo	AISC - LRFD (2016)

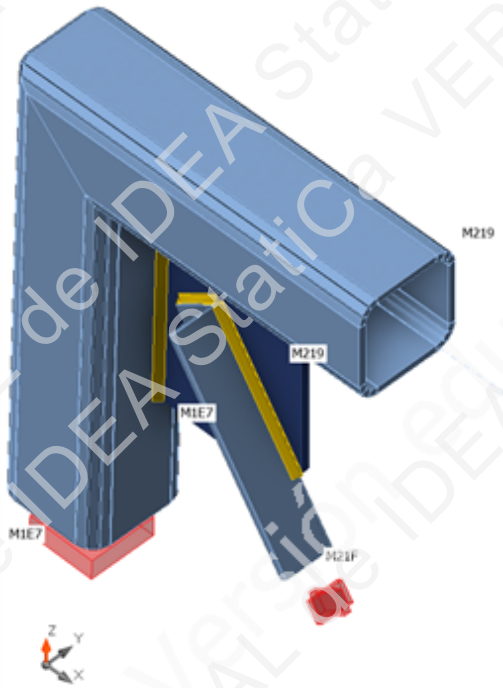
Elementos

Geometría

Nombre	Sección transversal	β – Dirección [°]	γ - Inclinación [°]	α - Rotación [°]	Desplazamiento ex [mm]	Desplazamiento ey [mm]	Desplazamiento ez [mm]
M1E7	6 - HSS2X2X1/8	0,0	88,4	0,0	0,0	0,0	0,0
M219	6 - HSS2X2X1/8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
M21F	17 - L1X1X1/8	-180,0	55,7	-90,0	0,0	0,0	0,0

Apoyos y fuerzas

Nombre	Apoyo	Fuerzas en	X [mm]
M1E7 / inicial	N-Vy-Vz-Mx-My-Mz	Posición	0,0
M219 / final		Posición	0,0
M21F / inicial	Mx-My-Mz	Posición	0,0



Secciones

Nombre	Material
6 - HSS2X2X1/8	A36
17 - L1X1X1/8	A36

Cargas (Fuerzas en equilibrio)

Nombre	Elemento	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
1.2D+1.6L	M1E7 / Inicial	3,516	0,000	-0,540	0,000	-0,258	0,000
	M219 / Finalizar	-0,439	0,000	-3,950	0,000	0,280	0,000
	M21F / Inicial	0,532	0,000	0,088	0,000	0,022	0,000
1.4D	M1E7 / Inicial	1,203	0,000	-0,179	0,000	-0,085	0,000
	M219 / Finalizar	-0,185	0,000	-1,301	0,000	0,092	0,000
	M21F / Inicial	0,117	0,000	0,028	0,000	0,007	0,000
1.2D+Sx+0.5L	M1E7 / Inicial	1,585	0,000	-0,268	0,000	-0,128	0,000
	M219 / Finalizar	-0,053	0,000	-1,989	0,000	0,139	0,000
	M21F / Inicial	0,508	0,000	0,043	0,000	0,011	0,000

Fuerzas Desbalanceadas

Nombre	X [kN]	Y [kN]	Z [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
1.2D+1.6L	-0,103	-0,088	-0,011	-0,018	0,022	-0,013
1.4D	-0,038	-0,028	-0,006	-0,006	0,007	-0,004
1.2D+Sx+0.5L	-0,028	-0,043	0,009	-0,009	0,011	-0,006

Verificación

Resumen

Nombre	Valor	Estado de la verificación
Análisis	100,0%	OK
Placas	0,2 < 5,0%	OK
Deformación loc.	0,2 < 3%	OK
Soldaduras	Detallado	**No OK!**
Pandeo	116,03	
GMNA	Calculado	

Placas

Nombre	t_p [mm]	Cargas	σ_{Ed} [MPa]	ε_{Pl} [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]	Estado
M1E7	3,2	1.2D+1.6L	150,664	0,0	0,000	OK
M219	3,2	1.2D+1.6L	223,507	0,1	0,000	OK
M21F-bfl 1	3,2	1.2D+1.6L	35,555	0,0	0,000	OK
M21F-w 1	3,2	1.2D+1.6L	19,484	0,0	0,000	OK
Pletina 1 No definido	4,0	1.2D+1.6L	223,724	0,2	0,000	OK

Datos de diseño

Material	F_y [MPa]	ε_{lim} [%]
A36	248,210	5,0

Resultado detallado para M1E7

Design values used in the analysis

$\phi F_y =$ 223,389 MPa

Donde:

$F_y =$ 248,210 MPa – characteristic yield strength

$\phi =$ 0,90 – resistance factor for steel material AISC 360-16 – B3.1

Resultado detallado para M219

Design values used in the analysis

$\phi F_y =$ 223,389 MPa

Donde:

$F_y =$ 248,210 MPa – characteristic yield strength

$\phi =$ 0,90 – resistance factor for steel material AISC 360-16 – B3.1

Resultado detallado para M21F-bfl 1

Design values used in the analysis

$\phi F_y =$ 223,389 MPa

Donde:

$F_y =$ 248,210 MPa – characteristic yield strength

$\phi =$ 0,90 – resistance factor for steel material AISC 360-16 – B3.1

Resultado detallado para M21F-w 1

Design values used in the analysis

$\phi F_y =$ 223,389 MPa

Donde:

$F_y =$ 248,210 MPa – characteristic yield strength

$\phi =$ 0,90 – resistance factor for steel material AISC 360-16 – B3.1

Resultado detallado para Pletina 1 No definido

Design values used in the analysis

$\phi F_y =$ 223,389 MPa

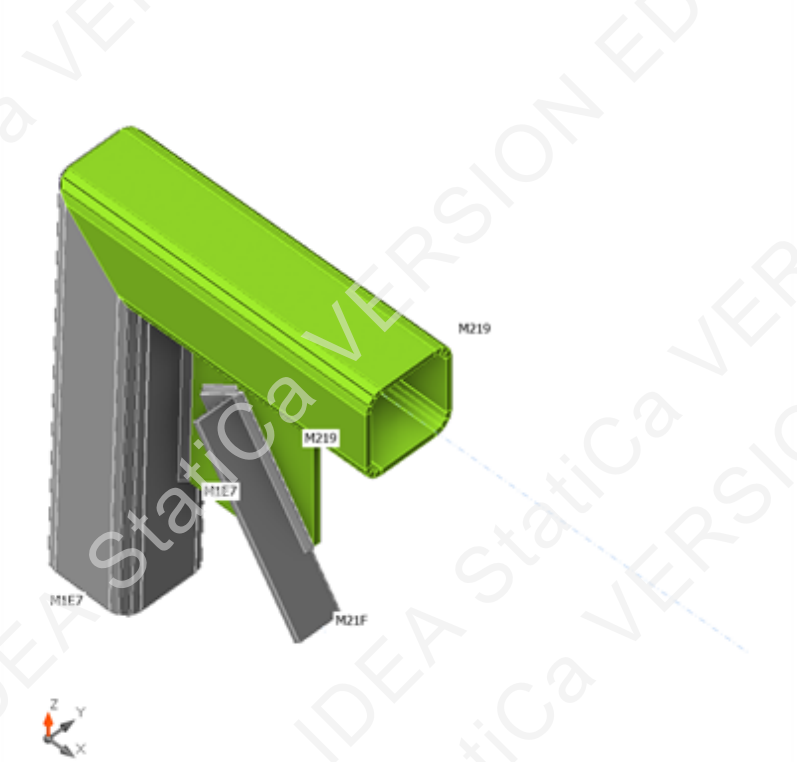
Donde:

$F_y =$ 248,210 MPa – characteristic yield strength

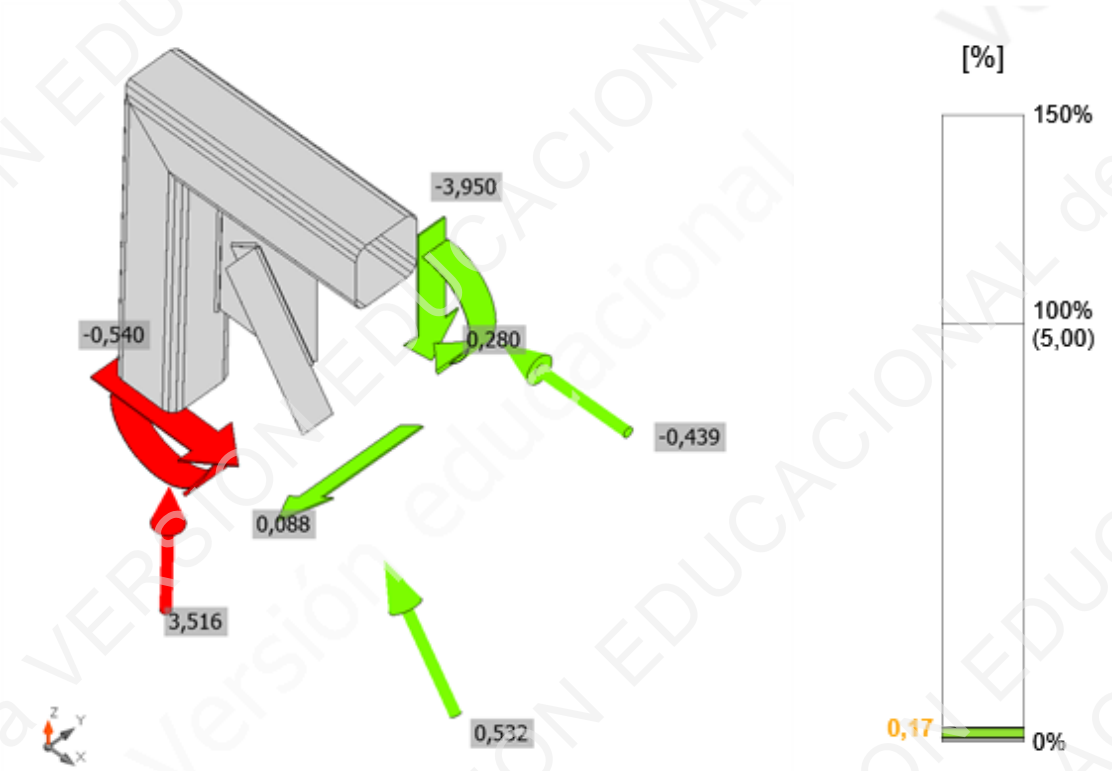
$\phi =$ 0,90 – resistance factor for steel material AISC 360-16 – B3.1

Deformación loc.

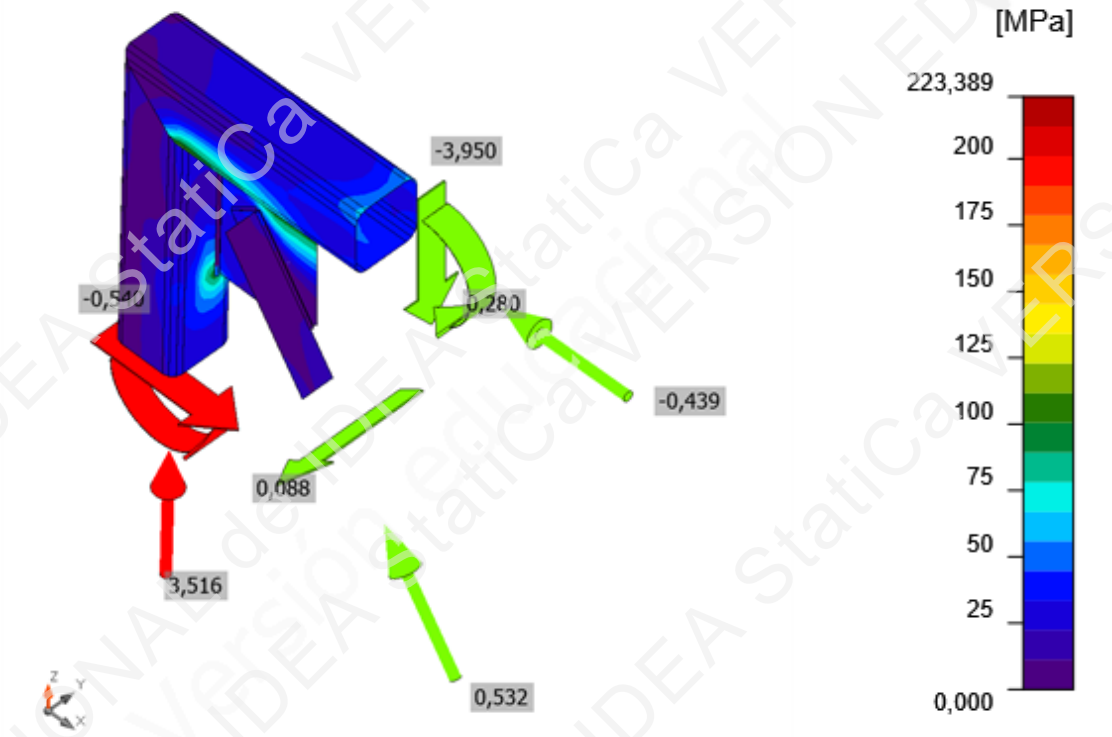
Nombre	d_0 [mm]	Cargas	δ [mm]	$δ_{lim}$ [mm]	$δ/d_0$ [%]	Estado de la verificación
M1E7	50,8	1.2D+Sx+0.5L	0,0	1,5	0,0	OK
M219	50,8	1.2D+1.6L	0,1	1,5	0,2	OK



Verificación general, 1.2D+1.6L



Verificación de deformación, 1.2D+1.6L



Tensión equivalente, 1.2D+1.6L

Soldaduras

Ítem	Borde	Xu	t_w [mm]	w [mm]	L [mm]	L_c [mm]	Cargas	F_n [kN]	ϕR_n [kN]	Ut [%]	Detallado	Estado
M1E7-w 1	Pletina 1 No definido	E70xx	◢ 2,3 ◣	◢ 3,2 ◣	116,5	7,8	1.2D+1.6L	2,415	5,282	45,7	Aceptar	OK
		E70xx	◢ 2,3 ◣	◢ 3,2 ◣	116,5	7,8	1.2D+1.6L	2,135	4,774	44,7	Aceptar	OK
M219-w 1	Pletina 1 No definido	E70xx	◢ 2,3 ◣	◢ 3,2 ◣	72,4	8,0	1.2D+1.6L	3,107	5,808	53,5	Aceptar	OK
		E70xx	◢ 2,3 ◣	◢ 3,2 ◣	72,4	8,0	1.2D+1.6L	3,490	5,887	59,3	Aceptar	OK
Pletina 1 No definido	M21F-bfl 1	E60xx	◢ 2,1	◢ 3,0	74,6	8,3	1.2D+1.6L	0,568	4,841	11,7	**No OK!**	OK
Pletina 1 No definido	M21F-bfl 1	E60xx	◢ 2,1	◢ 3,0	23,7	7,9	1.2D+1.6L	0,465	3,444	13,5	**No OK!**	OK
Pletina 1 No definido	M21F-bfl 1	E60xx	◢ 2,1	◢ 3,0	74,5	8,3	1.2D+1.6L	0,348	4,362	8,0	**No OK!**	OK
Pletina 1 No definido	M21F-w 1	E60xx	◢ 2,1	◢ 3,0	74,6	8,3	1.2D+1.6L	1,115	4,881	22,8	**No OK!**	OK

Datos de diseño

Material	F_{exx} [MPa]
E70xx	482,633
E60xx	413,685

Resultado detallado para M1E7-w 1 / Pletina 1 No definido - 1

Comprobación de la resistencia de la soldadura (AISC 360-16 – J2-4)

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} = \quad 5{,}282 \quad \text{kN} \quad \geq \quad F_n = \quad 2{,}415 \quad \text{kN}$$

Donde:

$F_{nw} =$ 400,698 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$, donde:
  - $F_{EXX} =$ 482,633 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 57,0° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 17,6 mm^2 – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

Resultado detallado para M1E7-w 1 / Pletina 1 No definido - 2

Comprobación de la resistencia de la soldadura (AISC 360-16 – J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 4,774 kN ≥ $F_n =$ 2,135 kN

Donde:

$F_{nw} =$ 362,181 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$, donde:
  - $F_{EXX} =$ 482,633 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 39,1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 17,6 mm^2 – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

Resultado detallado para M219-w 1 / Pletina 1 No definido - 1

Comprobación de la resistencia de la soldadura (AISC 360-16 – J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 5,808 kN ≥ $F_n =$ 3,107 kN

Donde:

$F_{nw} =$ 425,352 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$, donde:
  - $F_{EXX} =$ 482,633 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 73,3° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 18,2 mm^2 – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

Resultado detallado para M219-w 1 / Pletina 1 No definido - 2

Comprobación de la resistencia de la soldadura (AISC 360-16 – J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 5,887 kN ≥ $F_n =$ 3,490 kN

Donde:

$F_{nw} =$ 431,127 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$, donde:
  - $F_{EXX} =$ 482,633 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 80,1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 18,2 mm^2 – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

Resultado detallado para Pletina 1 No definido / M21F-bfl 1 - 1
Comprobación de la resistencia de la soldadura (AISC 360-16 – J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 4,841 kN ≥ $F_n =$ 0,568 kN

Donde:

$F_{nw} =$ 367,297 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$, donde:
  - $F_{EXX} =$ 413,685 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 76,6° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 17,6 mm^2 – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

Comprobación del detallado

- *Soldadura is too small. Leg size should be greater or equal to 3,2 mm. (AISC 360-16 – J2.2b, Tabla J2.4)*

Resultado detallado para Pletina 1 No definido / M21F-bfl 1 - 1
Comprobación de la resistencia de la soldadura (AISC 360-16 – J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 3,444 kN ≥ $F_n =$ 0,465 kN

Donde:

$F_{nw} =$ 274,421 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$, donde:
  - $F_{EXX} =$ 413,685 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 20,8° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 16,7 mm^2 – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

Comprobación del detallado

- *Soldadura is too small. Leg size should be greater or equal to 3,2 mm. (AISC 360-16 – J2.2b, Tabla J2.4)*

Resultado detallado para Pletina 1 No definido / M21F-bfl 1 - 1
Comprobación de la resistencia de la soldadura (AISC 360-16 – J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 4,362 kN ≥ $F_n =$ 0,348 kN

Donde:

$F_{nw} =$ 331,239 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$, donde:
  - $F_{EXX} =$ 413,685 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 49,9° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 17,6 mm^2 – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

Comprobación del detallado

- *Soldadura is too small. Leg size should be greater or equal to 3,2 mm. (AISC 360-16 – J2.2b, Tabla J2.4)*

Resultado detallado para Pletina 1 No definido / M21F-w 1 - 1
Comprobación de la resistencia de la soldadura (AISC 360-16 – J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 4,881 kN ≥ $F_n =$ 1,115 kN

Donde:

$F_{nw} =$ 370,392 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$, donde:
  - $F_{EXX} =$ 413,685 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 81,7° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 17,6 mm^2 – área eficaz del elemento de soldadura crítico

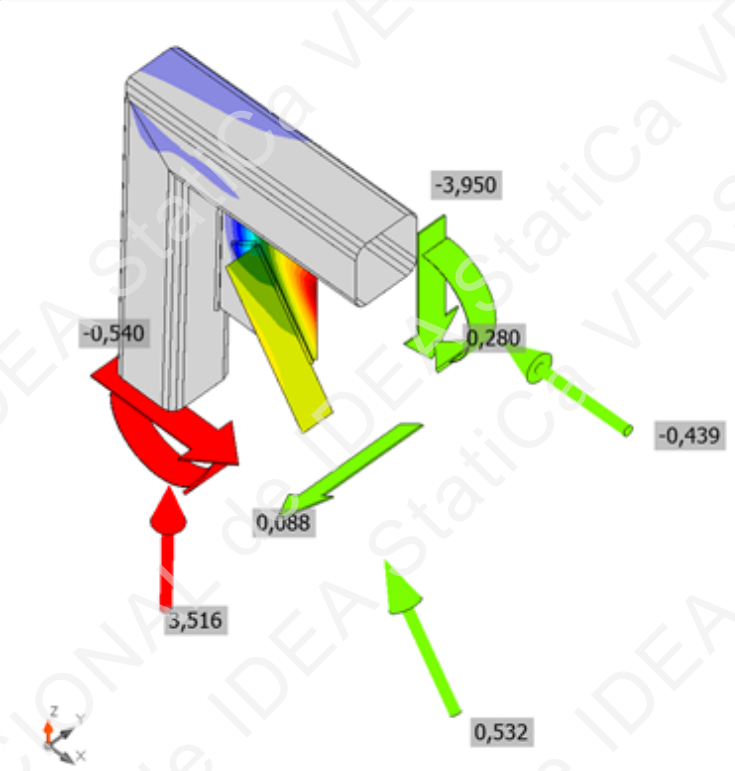
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

Comprobación del detallado

- *Soldadura is too small. Leg size should be greater or equal to 3,2 mm. (AISC 360-16 – J2.2b, Tabla J2.4)*

Pandeo

Cargas	Forma	Factor [-]
1.2D+1.6L	1	116,03
	2	195,74
	3	196,20
	4	218,92
	5	229,41
	6	242,65
1.4D	1	367,47
	2	592,63
	3	622,23
	4	661,30
	5	700,57
	6	739,03
1.2D+Sx+0.5L	1	208,98
	2	347,75
	3	391,98
	4	437,76
	5	453,62
	6	482,68



Forma del primer modo de pandeo, 1.2D+1.6L

Estimación de coste

Acero

Calidad del acero	Peso total [kg]	Coste Unitario [US$/kg]	Coste [US$]
A36	0,27	2,50	0,68

Tornillos

Conjunto de tornillo	Peso total [kg]	Coste Unitario [US$/kg]	Coste [US$]

Soldaduras

Tipo de soldadura	Espesor de garganta [mm]	Tamaño de pierna [mm]	Peso total [kg]	Coste Unitario [US$/kg]	Coste [US$]
Doble cordón	2,3	3,2	0,02	45,00	0,69
Cordón	2,1	3,0	0,01	45,00	0,40

Perforación de agujeros

Coste del montaje de los tornillos [US$]	Porcentaje del costo de montaje del perno [%]	Coste [US$]

Resumen de coste

Resumen de la estimación de coste	Coste [US$]
Coste total estimado	1,76

Listado de material

Operaciones

Nombre	Placas [mm]	Forma	Nº	Soldaduras Tamaño de pierna [mm]	Longitud [mm]	Tornillos	Nº
Cut 1							
Cut 2							
Cut 3							
Pletina 1 No definido	P4,0x75,7-119,2 (A36)		1				

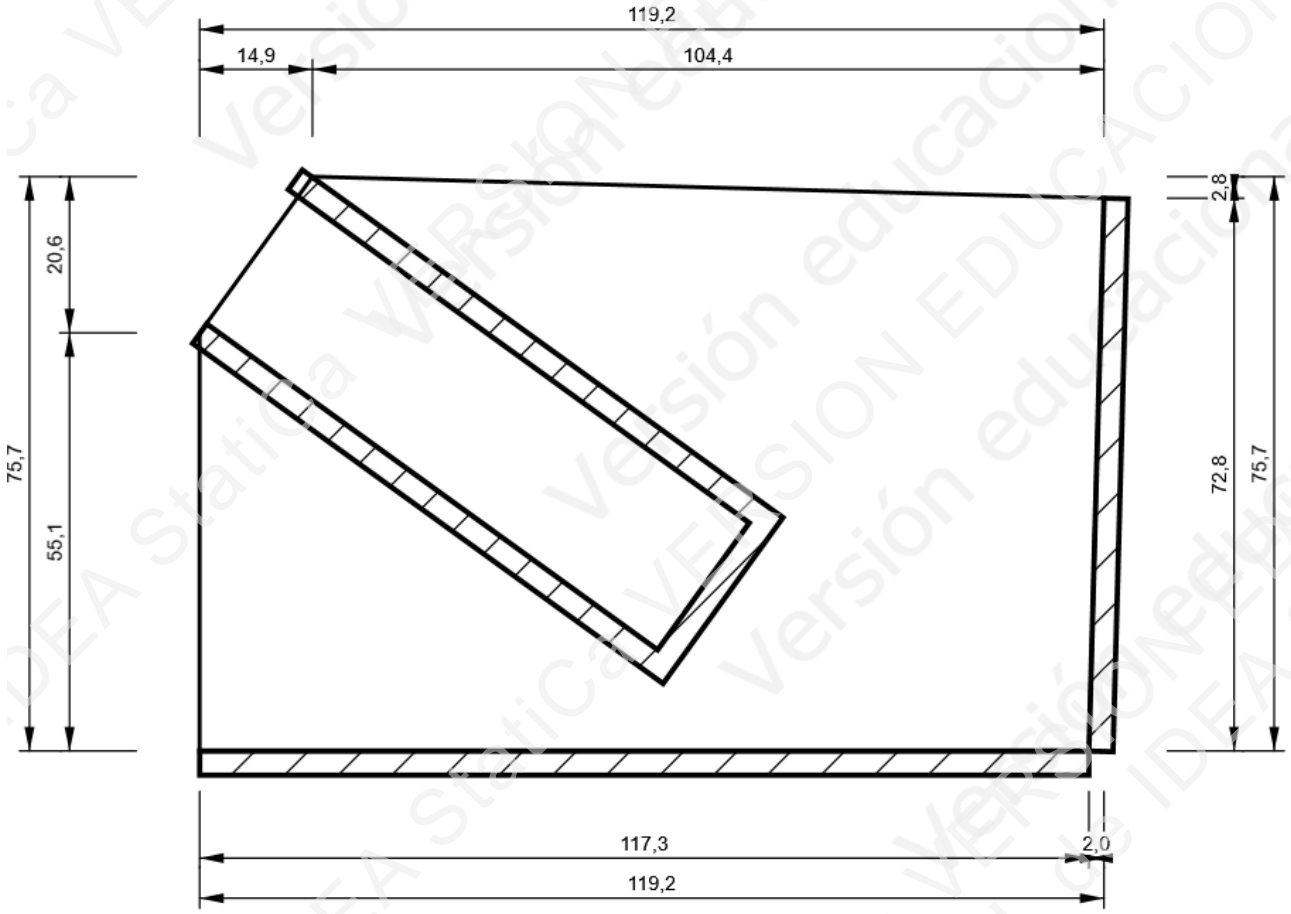
Soldaduras

Tipo	Material	Espesor de garganta [mm]	Tamaño de pierna [mm]	Longitud [mm]
Doble tendón de soldadura	E70xx	2,3	3,2	190,1
tendón de soldadura simple	E60xx	2,1	3,0	248,8

Dibujo

Pletina 1 No definido

P4,0x119,2-75,7 (A36)



Explicación del símbolo

Símbolo	Explicación
t_p	Espesor de placa
σ_{Ed}	Tensión equivalente
ε_{Pl}	Deformación plástica
$\sigma_{c,Ed}$	Tensiones de Contacto
F_y	Límite elástico
ε_{lim}	Límite de la deformación plástica
t_w	Espesor de garganta de soldadura
w	Tamaño de la soldadura
L	Longitud de la soldadura
L_c	Longitud del elemento crítico de la soldadura
F_n	Fuerza en el elemento crítico de la soldadura
ϕR_n	Resistencia de la soldadura - AISC 360-16 – J2-4
Ut	Utilización
◢	Cordón de soldadura
F_{exx}	Ultimate strength as rated by electrode classification number
d_0	Tamaño de la sección
δ	Deformación local de la sección
δ_{lim}	Deformación permitida

Configuración de la norma

Ítem	Valor	Unidad	Referencia
Coeficiente de fricción - hormigón	0,40	-	ACI 349-01 – B.6.1.4
Coeficiente de fricción en la resistencia a deslizamiento	0,30	-	AISC 360-16 – J3.8
Deformación plástica límite	0,05	-	
Detallado	Sí		
Distancia entre tornillos [d]	2,66	-	AISC 360-16 – J3.3
Distancia entre tornillos y el borde [d]	1,25	-	AISC 360-16 – J.3.4
Resistencia al arrancamiento del cono de hormigón	Ambos		
Resistencia del metal base en la cara de fusión de la soldadura	No		AISC 360-16 – J2-2
La deformación en el orificio del perno con la carga de servicio es una consideración de diseño	Sí		AISC 360-16 – J3.10
Hormigón fisurado	Sí		ACI 318-14 – 17
Comprobación de la deformación local	Sí		
Deformación límite local	0,03	-	CIDECT DG 1, 3 - 1.1
No linealidad geométrica (GMNA)	Sí		Grandes deformaciones para secciones huecas

Anexo 32: Cálculo de unión de arriostre y placa central

Proyecto:
Proyecto nº:
Autor:

Datos del proyecto

Nombre del proyecto	
Número del Proyecto	
Autor	
Descripción	
Fecha	13/12/2024
Código	AISC/ACI

Material

Acero	A36
Hormigón	3000 psi

VERSION EDUCACIONAL de IDEA StatiCa

Ítem del proyecto N8

Diseño

Nombre	N8
Descripción	
Análisis	Tensión, deformación/ Cargas en equilibrio
Normativa de cálculo	AISC - LRFD (2016)

Elementos

Geometría

Nombre	Sección transversal	β – Dirección [°]	γ - Inclinación [°]	α - Rotación [°]	Desplazamiento ex [mm]	Desplazamiento ey [mm]	Desplazamiento ez [mm]
B38	36 - L 1x1x0.125	-180,0	50,2	-90,0	0,0	0,0	0,0
B21	36 - L 1x1x0.125	0,0	50,2	-180,0	0,0	0,0	0,0
B22	36 - L 1x1x0.125	0,0	50,2	-180,0	0,0	0,0	0,0
B35	36 - L 1x1x0.125	-180,0	50,2	-90,0	0,0	0,0	0,0

Apoyos y fuerzas

Nombre	Apoyo	Fuerzas en	X [mm]
B38 / final		Posición	0,0
B21 / inicial	N-Vy-Vz-Mx-My-Mz	Posición	0,0
B22 / final		Posición	0,0
B35 / inicial		Posición	0,0

VERSION EDUCACIONAL de IDEA StatiCa

Proyecto:
Proyecto nº:
Autor:

Secciones

Nombre	Material
36 - L 1x1x0.125	A36

Cargas (Fuerzas en equilibrio)

Nombre	Elemento	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
1.2D+1.6L(1)	B38 / Finalizar	-0,536	0,092	0,000	0,000	0,000	0,011
	B21 / Inicial	0,259	0,000	-0,019	0,000	-0,003	0,000
	B22 / Finalizar	-0,200	0,000	0,092	0,000	-0,011	0,000
	B35 / Inicial	0,597	-0,020	0,000	0,000	0,000	0,003
1.4D(2)	B38 / Finalizar	-0,122	0,032	0,000	0,000	0,000	0,004
	B21 / Inicial	0,144	0,000	-0,005	0,000	-0,001	0,000
	B22 / Finalizar	-0,122	0,000	0,032	0,000	-0,004	0,000
	B35 / Inicial	0,144	-0,005	0,000	0,000	0,000	0,001
1.2D+Sx+0.5L(3)	B38 / Finalizar	-0,512	0,047	0,000	0,000	0,000	0,006
	B21 / Inicial	-0,109	0,000	-0,008	0,000	-0,001	0,000
	B22 / Finalizar	0,139	0,000	0,048	0,000	-0,006	0,000
	B35 / Inicial	0,546	-0,010	0,000	0,000	0,000	0,002

Fuerzas Desbalanceadas

Nombre	X [kN]	Y [kN]	Z [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
1.2D+1.6L(1)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1.4D(2)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1.2D+Sx+0.5L(3)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Verificación

Resumen

Nombre	Valor	Estado de la verificación
Análisis	100,0%	OK
Placas	0,0 < 5,0%	OK
Soldaduras	Detallado	**No OK!**
Pandeo	535,60	

Placas

Nombre	t_p [mm]	Cargas	σ_{Ed} [MPa]	ε_{Pl} [%]	$\sigma_{c,Ed}$ [MPa]	Estado
B38-bfl 1	3,2	1.2D+1.6L(1)	18,061	0,0	0,000	OK
B38-w 1	3,2	1.2D+Sx+0.5L(3)	9,105	0,0	0,000	OK
B21-bfl 1	3,2	1.2D+1.6L(1)	4,632	0,0	0,000	OK
B21-w 1	3,2	1.2D+Sx+0.5L(3)	8,586	0,0	0,000	OK
B22-bfl 1	3,2	1.2D+1.6L(1)	9,174	0,0	0,000	OK
B22-w 1	3,2	1.2D+1.6L(1)	15,276	0,0	0,000	OK
B35-bfl 1	3,2	1.2D+Sx+0.5L(3)	10,308	0,0	0,000	OK
B35-w 1	3,2	1.2D+Sx+0.5L(3)	10,254	0,0	0,000	OK
SP 1	5,0	1.2D+1.6L(1)	20,382	0,0	0,000	OK

Datos de diseño

Material	F_y [MPa]	ε_{lim} [%]
A36	248,210	5,0

Resultado detallado para B38-bfl 1

Design values used in the analysis

$\phi F_y =$ 223,389 MPa

Donde:

$F_y =$ 248,210 MPa – characteristic yield strength

$\phi =$ 0,90 – resistance factor for steel material AISC 360-16 – B3.1

Resultado detallado para B38-w 1

Design values used in the analysis

$\phi F_y =$ 223,389 MPa

Donde:

$F_y =$ 248,210 MPa – characteristic yield strength

$\phi =$ 0,90 – resistance factor for steel material AISC 360-16 – B3.1

Resultado detallado para B21-bfl 1

Design values used in the analysis

$\phi F_y =$ 223,389 MPa

Donde:

$F_y =$ 248,210 MPa – characteristic yield strength

$\phi =$ 0,90 – resistance factor for steel material AISC 360-16 – B3.1

Resultado detallado para B21-w 1

Design values used in the analysis

$\phi F_y =$ 223,389 MPa

Donde:

$F_y =$ 248,210 MPa – characteristic yield strength

$\phi =$ 0,90 – resistance factor for steel material AISC 360-16 – B3.1

Resultado detallado para B22-bfl 1

Design values used in the analysis

$\phi F_y =$ 223,389 MPa

Donde:

$F_y =$ 248,210 MPa – characteristic yield strength

$\phi =$ 0,90 – resistance factor for steel material AISC 360-16 – B3.1

Resultado detallado para B22-w 1

Design values used in the analysis

$\phi F_y =$ 223,389 MPa

Donde:

$F_y =$ 248,210 MPa – characteristic yield strength

$\phi =$ 0,90 – resistance factor for steel material AISC 360-16 – B3.1

Resultado detallado para B35-bfl 1

Design values used in the analysis

$\phi F_y =$ 223,389 MPa

Donde:

$F_y =$ 248,210 MPa – characteristic yield strength

$\phi =$ 0,90 – resistance factor for steel material AISC 360-16 – B3.1

Resultado detallado para B35-w 1

Design values used in the analysis

$\phi F_y =$ 223,389 MPa

Donde:

$F_y =$ 248,210 MPa – characteristic yield strength

$\phi =$ 0,90 – resistance factor for steel material AISC 360-16 – B3.1

Resultado detallado para SP 1

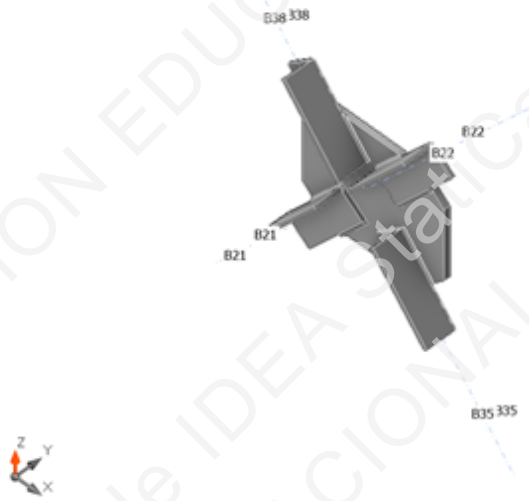
Design values used in the analysis

$\phi F_y =$ 223,389 MPa

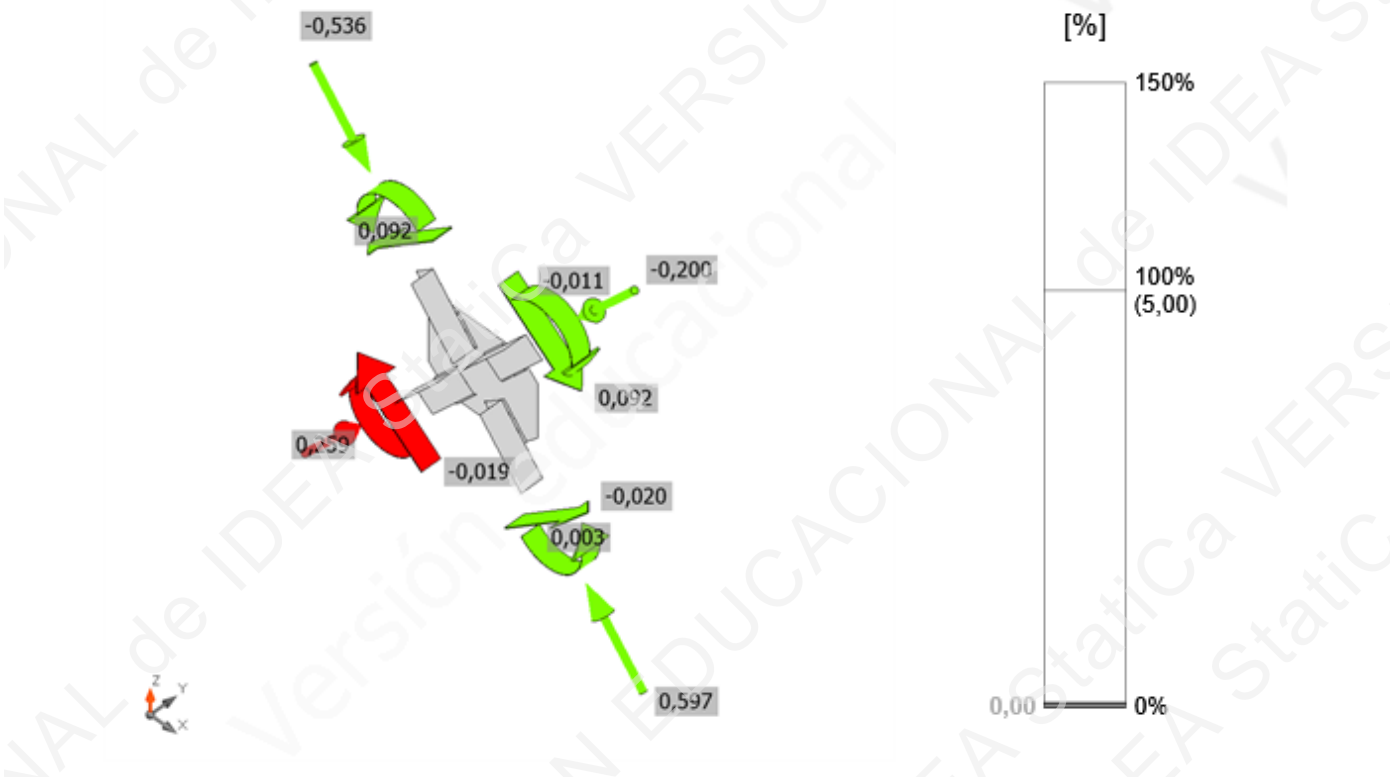
Donde:

$F_y =$ 248,210 MPa – characteristic yield strength

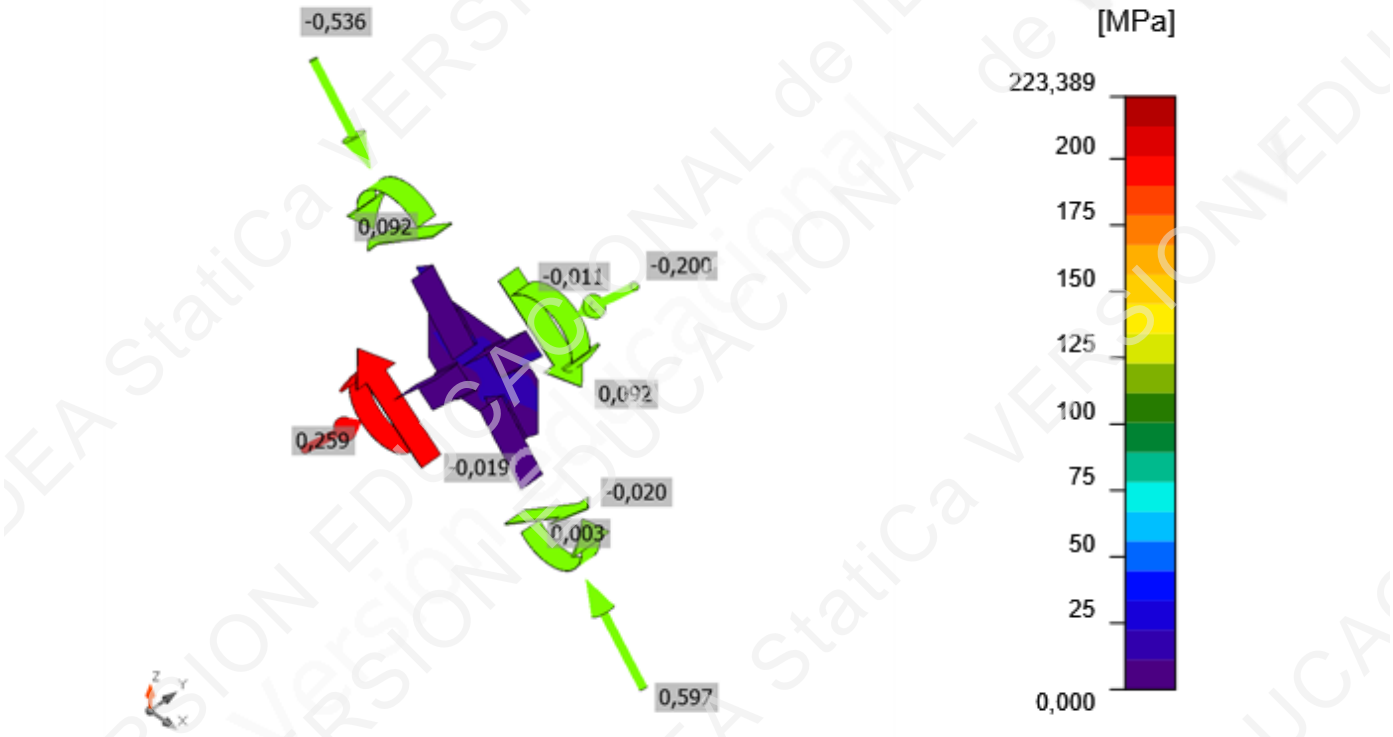
$\phi =$ 0,90 – resistance factor for steel material AISC 360-16 – B3.1



Verificación general, 1.2D+1.6L(1)



Verificación de deformación, 1.2D+1.6L(1)



Tensión equivalente, 1.2D+1.6L(1)

Soldaduras

Ítem	Borde	Xu	t_w [mm]	w [mm]	L [mm]	L_c [mm]	Cargas	F_n [kN]	ϕR_n [kN]	Ut [%]	Detallado	Estado
SP 1	B38-bfl 1	E60xx	◢ 2,1	◢ 3,0	32,0	8,0	1.2D+Sx+0.5L(3)	0,298	4,032	7,4	No OK!	OK
SP 1	B38-bfl 1	E60xx	◢ 2,1	◢ 3,0	40,0	8,0	1.2D+1.6L(1)	0,276	3,888	7,1	No OK!	OK
SP 1	B22-w 1	E60xx	◢ 2,1	◢ 3,0	32,0	8,0	1.2D+Sx+0.5L(3)	0,171	4,235	4,0	No OK!	OK
SP 1	B22-w 1	E60xx	◢ 2,1	◢ 3,0	40,0	8,0	1.2D+1.6L(1)	0,181	3,581	5,1	No OK!	OK
SP 1	B21-w 1	E60xx	◢ 2,1	◢ 3,0	39,3	7,9	1.2D+1.6L(1)	0,220	4,045	5,4	No OK!	OK
SP 1	B21-w 1	E60xx	◢ 2,1	◢ 3,0	32,0	8,0	1.2D+1.6L(1)	0,107	4,666	2,3	No OK!	OK
SP 1	B35-bfl 1	E60xx	◢ 2,1	◢ 3,0	39,3	7,9	1.2D+1.6L(1)	0,365	3,927	9,3	No OK!	OK
SP 1	B35-bfl 1	E60xx	◢ 2,1	◢ 3,0	32,0	8,0	1.2D+Sx+0.5L(3)	0,182	3,555	5,1	No OK!	OK

Datos de diseño

Material	F_{exx} [MPa]
E60xx	413,685

Resultado detallado para SP 1 / B38-bfl 1 - 1

Comprobación de la resistencia de la soldadura (AISC 360-16 – J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 4,032 kN ≥ $F_n =$ 0,298 kN

Donde:

$F_{nw} =$ 316,440 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$, donde:
  - $F_{EXX} =$ 413,685 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 42,2° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 17,0 mm^2 – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

Comprobación del detallado

- *Soldadura is too small. Leg size should be greater or equal to 3,2 mm. (AISC 360-16 – J2.2b, Tabla J2.4)*

Resultado detallado para SP 1 / B38-bfl 1 - 1

Comprobación de la resistencia de la soldadura (AISC 360-16 – J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 3,888 kN ≥ $F_n =$ 0,276 kN

Donde:

$F_{nw} =$ 305,237 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$, donde:
  - $F_{EXX} =$ 413,685 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 36,5° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 17,0 mm^2 – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

Comprobación del detallado

- *Soldadura is too small. Leg size should be greater or equal to 3,2 mm. (AISC 360-16 – J2.2b, Tabla J2.4)*

Resultado detallado para SP 1 / B22-w 1 - 1

Comprobación de la resistencia de la soldadura (AISC 360-16 – J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 4,235 kN ≥ $F_n =$ 0,171 kN

Donde:

$F_{nw} =$ 332,366 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$, donde:
  - $F_{EXX} =$ 413,685 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 50,5° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 17,0 mm^2 – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

Comprobación del detallado

- *Soldadura is too small. Leg size should be greater or equal to 3,2 mm. (AISC 360-16 – J2.2b, Tabla J2.4)*

Resultado detallado para SP 1 / B22-w 1 - 1

Comprobación de la resistencia de la soldadura (AISC 360-16 – J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 3,581 kN ≥ $F_n =$ 0,181 kN

Donde:

$F_{nw} =$ 281,171 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$, donde:
  - $F_{EXX} =$ 413,685 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 24,4° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 17,0 mm^2 – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

Comprobación del detallado

- *Soldadura is too small. Leg size should be greater or equal to 3,2 mm. (AISC 360-16 – J2.2b, Tabla J2.4)*

Resultado detallado para SP 1 / B21-w 1 - 1

Comprobación de la resistencia de la soldadura (AISC 360-16 – J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 4,045 kN ≥ $F_n =$ 0,220 kN

Donde:

$F_{nw} =$ 323,806 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$, donde:
  - $F_{EXX} =$ 413,685 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 45,9° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 16,7 mm^2 – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

Comprobación del detallado

- *Soldadura is too small. Leg size should be greater or equal to 3,2 mm. (AISC 360-16 – J2.2b, Tabla J2.4)*

Resultado detallado para SP 1 / B21-w 1 - 1

Comprobación de la resistencia de la soldadura (AISC 360-16 – J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 4,666 kN ≥ $F_n =$ 0,107 kN

Donde:

$F_{nw} =$ 366,301 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$, donde:
  - $F_{EXX} =$ 413,685 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 75,3° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 17,0 mm^2 – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

Comprobación del detallado

- *Soldadura is too small. Leg size should be greater or equal to 3,2 mm. (AISC 360-16 – J2.2b, Tabla J2.4)*

Resultado detallado para SP 1 / B35-bfl 1 - 1

Comprobación de la resistencia de la soldadura (AISC 360-16 – J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 3,927 kN ≥ $F_n =$ 0,365 kN

Donde:

$F_{nw} =$ 314,292 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$, donde:
  - $F_{EXX} =$ 413,685 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 41,1° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 16,7 mm^2 – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

Comprobación del detallado

- *Soldadura is too small. Leg size should be greater or equal to 3,2 mm. (AISC 360-16 – J2.2b, Tabla J2.4)*

Resultado detallado para SP 1 / B35-bfl 1 - 1

Comprobación de la resistencia de la soldadura (AISC 360-16 – J2-4)

$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} =$ 3,555 kN ≥ $F_n =$ 0,182 kN

Donde:

$F_{nw} =$ 279,103 MPa – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot sin^{1.5}\theta)$, donde:
  - $F_{EXX} =$ 413,685 MPa – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada
  - $\theta =$ 23,3° – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} =$ 17,0 mm^2 – área eficaz del elemento de soldadura crítico

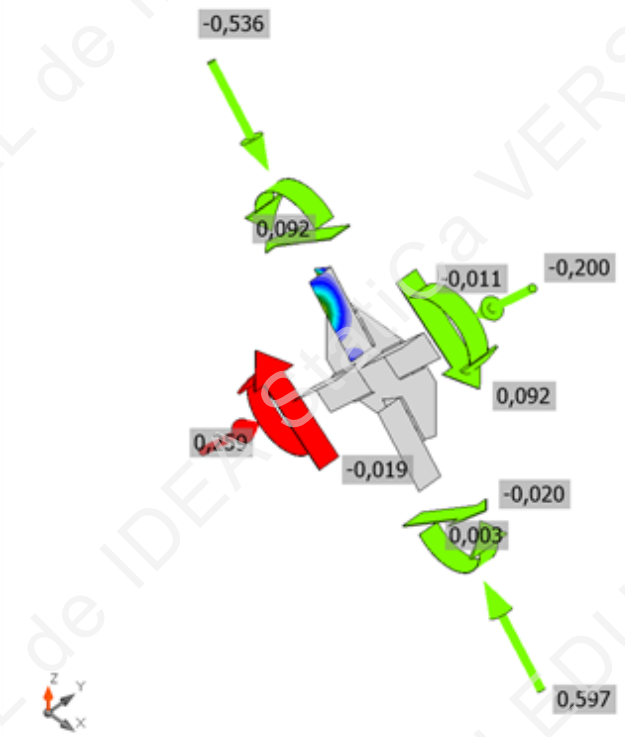
$\phi =$ 0.75 – factor de resistencia para conexiones soldadas

Comprobación del detallado

- *Soldadura is too small. Leg size should be greater or equal to 3,2 mm. (AISC 360-16 – J2.2b, Tabla J2.4)*

Pandeo

Cargas	Forma	Factor [-]
1.2D+1.6L(1)	1	535,60
	2	590,05
	3	668,06
	4	726,91
	5	806,82
	6	908,99
1.4D(2)	1	1823,55
	2	1824,03
	3	1956,30
	4	2035,92
	5	3083,24
	6	3086,42
1.2D+Sx+0.5L(3)	1	786,52
	2	873,17
	3	963,39
	4	1024,89
	5	1125,50
	6	1153,81



Forma del primer modo de pandeo, 1.2D+1.6L(1)

Estimación de coste

Acero

Calidad del acero	Peso total [kg]	Coste Unitario [US$/kg]	Coste [US$]
A36	0,44	2,50	1,10

Tornillos

Conjunto de tornillo	Peso total [kg]	Coste Unitario [US$/kg]	Coste [US$]

Soldaduras

Tipo de soldadura	Espesor de garganta [mm]	Tamaño de pierna [mm]	Peso total [kg]	Coste Unitario [US$/kg]	Coste [US$]
Cordón	2,1	3,0	0,01	45,00	0,46

Perforación de agujeros

Coste del montaje de los tornillos [US$]	Porcentaje del costo de montaje del perno [%]	Coste [US$]

Resumen de coste

Resumen de la estimación de coste	Coste [US$]
Coste total estimado	1,56

Listado de material

Operaciones

Nombre	Placas [mm]	Forma	Nº	Soldaduras Tamaño de pierna [mm]	Longitud [mm]	Tornillos	Nº
SP 1	P5,0x120,0-100,0 (A36)		1				
CAR1							
CAR2							
CAR3							
CAR4							

Soldaduras

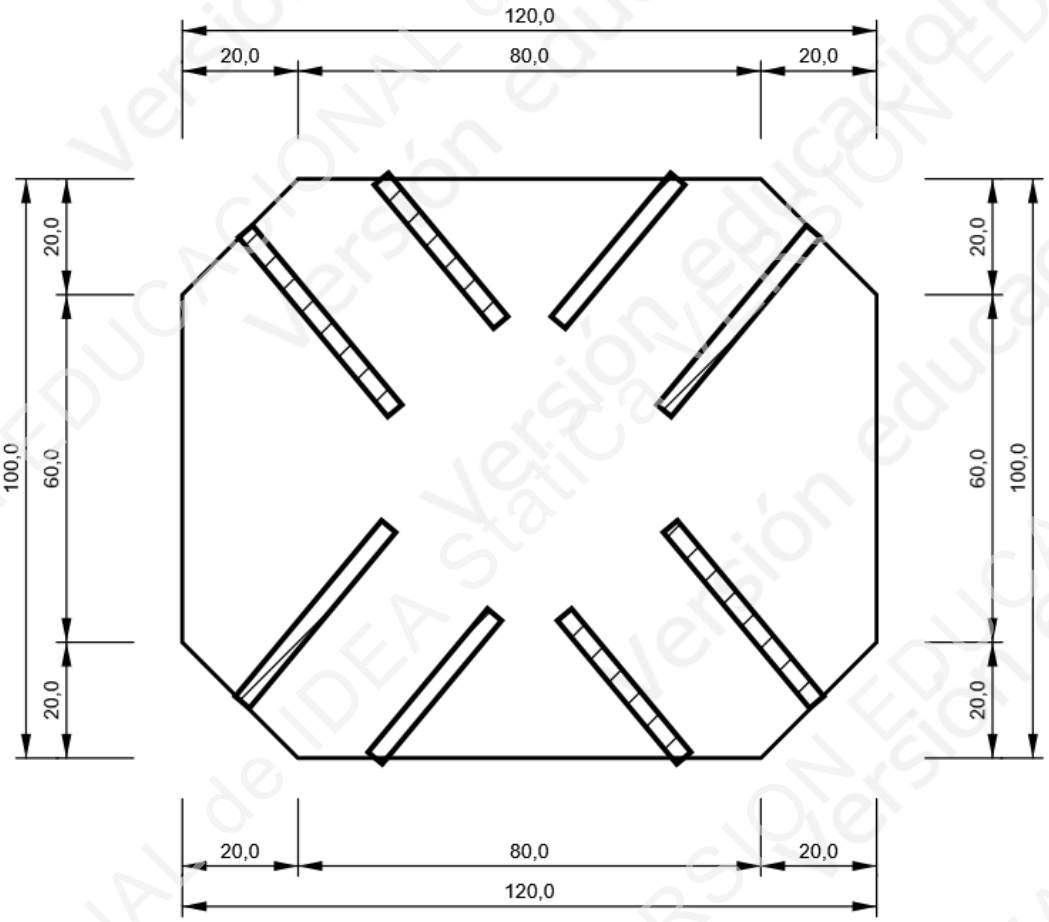
Tipo	Material	Espesor de garganta [mm]	Tamaño de pierna [mm]	Longitud [mm]
tendón de soldadura simple	E60xx	2,1	3,0	288,5

Dibujo

SP 1

VERSION EDUCACIONAL de IDEA StatiCa

P5,0x100,0-120,0 (A36)



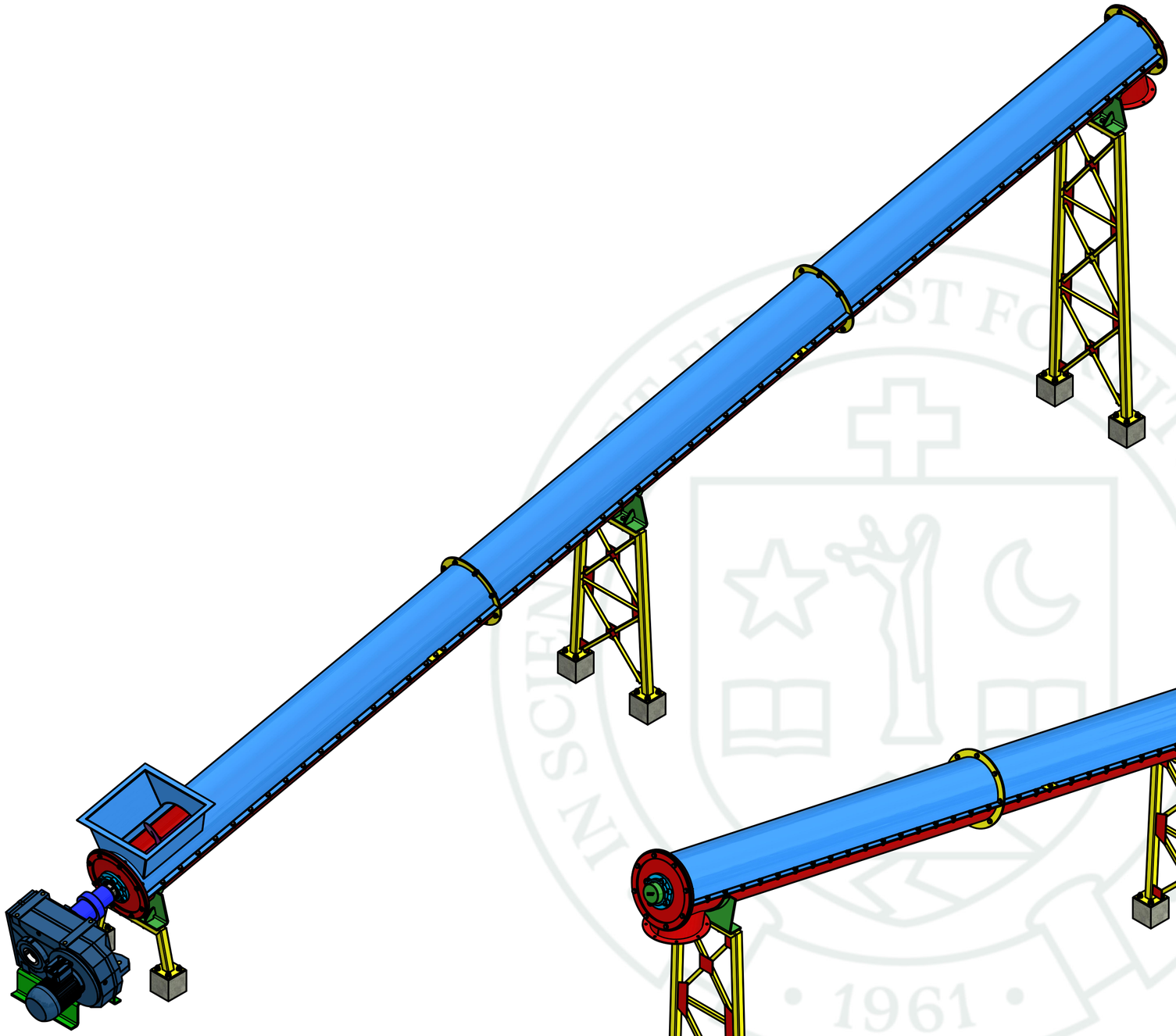
Explicación del símbolo

Símbolo	Explicación
t_p	Espesor de placa
σ_{Ed}	Tensión equivalente
ε_{Pl}	Deformación plástica
$\sigma_{c,Ed}$	Tensiones de Contacto
F_y	Límite elástico
ε_{lim}	Límite de la deformación plástica
t_w	Espesor de garganta de soldadura
w	Tamaño de la soldadura
L	Longitud de la soldadura
L_c	Longitud del elemento crítico de la soldadura
F_n	Fuerza en el elemento crítico de la soldadura
ϕR_n	Resistencia de la soldadura - AISC 360-16 – J2-4
Ut	Utilización
◢	Cordón de soldadura
F_{exx}	Ultimate strength as rated by electrode classification number

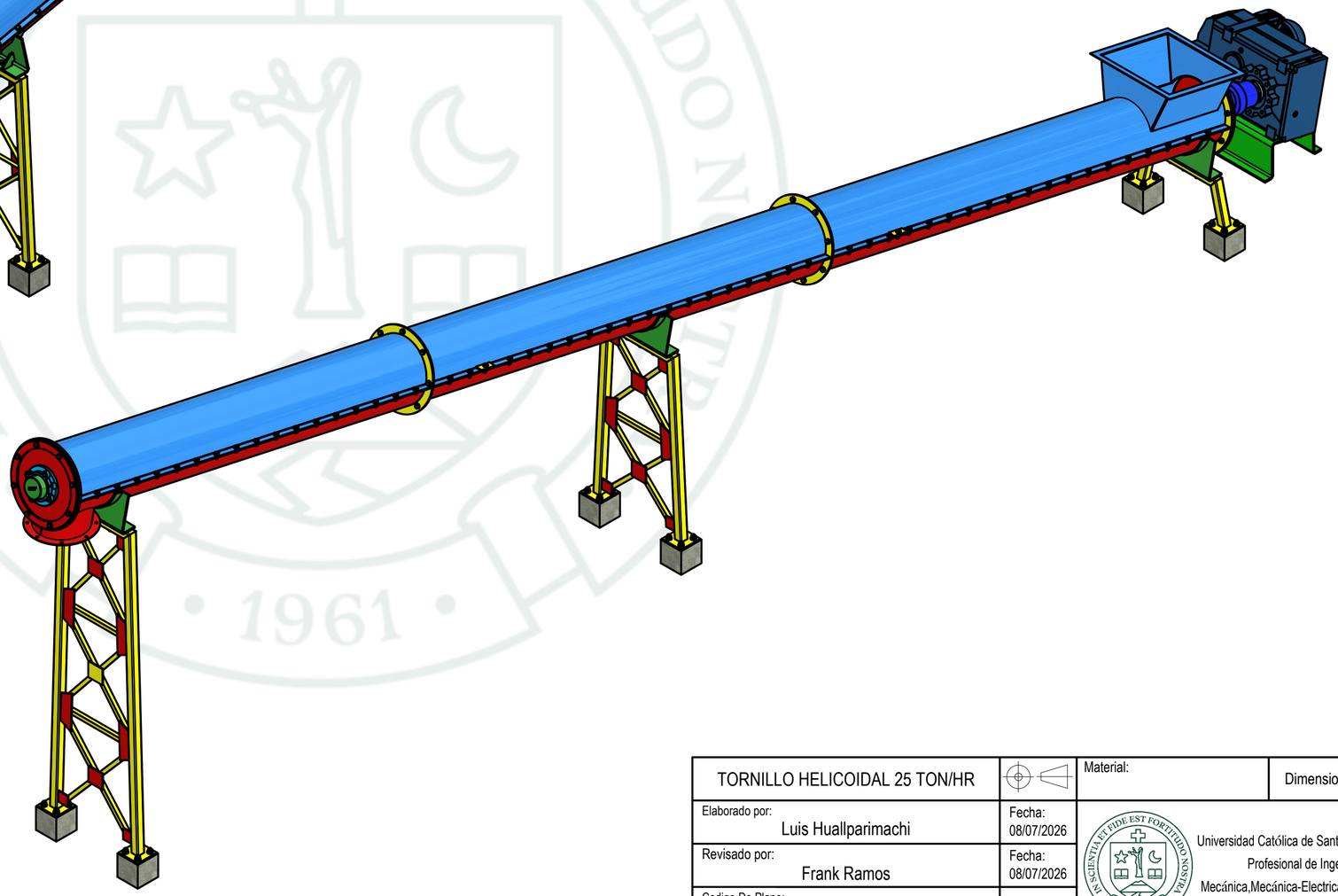
Configuración de la norma

Ítem	Valor	Unidad	Referencia
Coeficiente de fricción - hormigón	0,40	-	ACI 349-01 – B.6.1.4
Coeficiente de fricción en la resistencia a deslizamiento	0,30	-	AISC 360-16 – J3.8
Deformación plástica límite	0,05	-	
Detallado	Sí		
Distancia entre tornillos [d]	2,66	-	AISC 360-16 – J3.3
Distancia entre tornillos y el borde [d]	1,25	-	AISC 360-16 – J.3.4
Resistencia al arrancamiento del cono de hormigón	Ambos		
Resistencia del metal base en la cara de fusión de la soldadura	No		AISC 360-16 – J2-2
La deformación en el orificio del perno con la carga de servicio es una consideración de diseño	Sí		AISC 360-16 – J3.10
Hormigón fisurado	Sí		ACI 318-14 – 17
Comprobación de la deformación local	Sí		
Deformación límite local	0,03	-	CIDECT DG 1, 3 - 1.1
No linealidad geométrica (GMNA)	Sí		Grandes deformaciones para secciones huecas

PLANOS

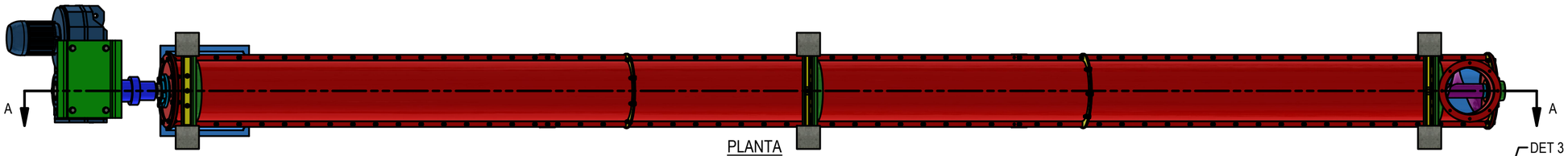


ISOMETRICO 1
ESC: (1 : 20)

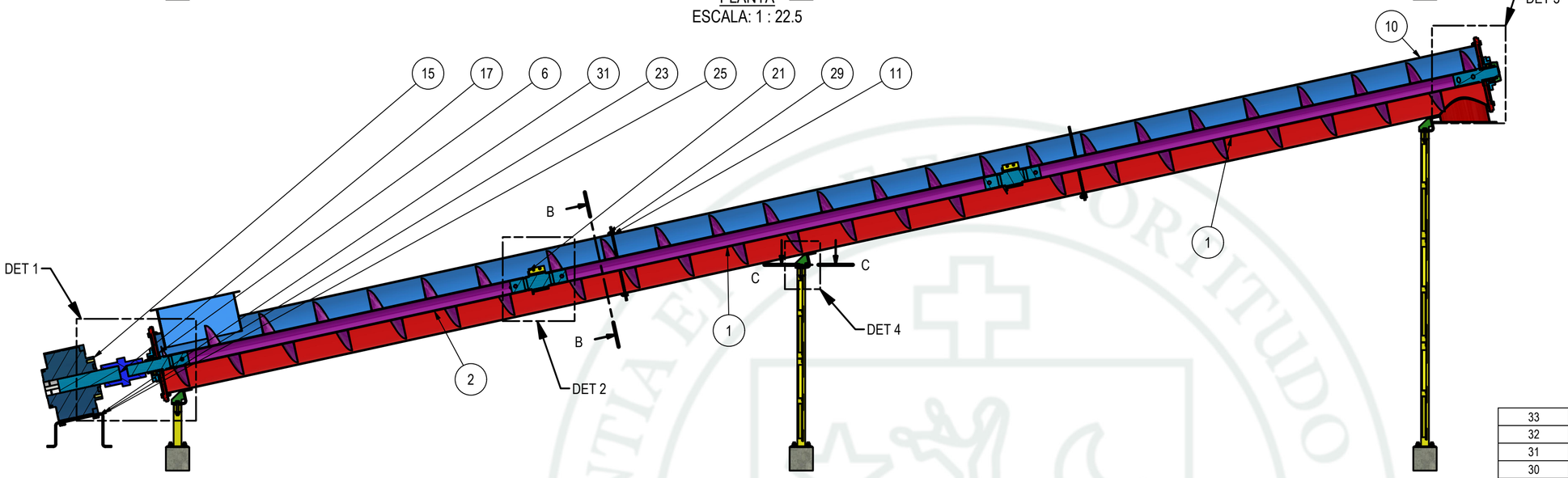


ISOMETRICO 2
ESC: (1 : 20)

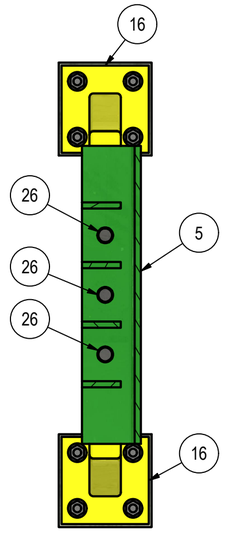
TORNILLO HELICOIDAL 25 TON/HR		Material:	Dimensiones en mm.
Elaborado por: Luis Huallparimachi	Fecha: 08/07/2026	Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingenieria Mecánica,Mecánica-Electrica y Mecatrónica	
Revisado por: Frank Ramos	Fecha: 08/07/2026		
Codigo De Plano: UCSM-2026-TOR_HEL-DWG-MEC-001			
Escala: Indicada	VISTA ISOMETRICA TORNILLO HELECOIDAL 25TPH		Pagina: 1 Rev. 0



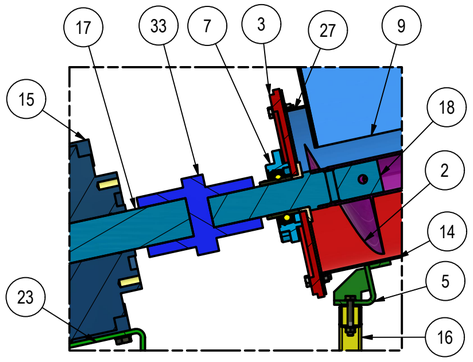
PLANTA
ESCALA: 1 : 22.5



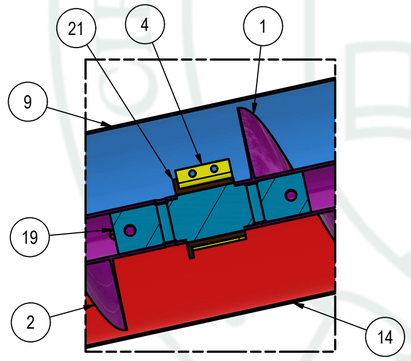
SECCIÓN A-A
ESCALA: 1 : 22.5



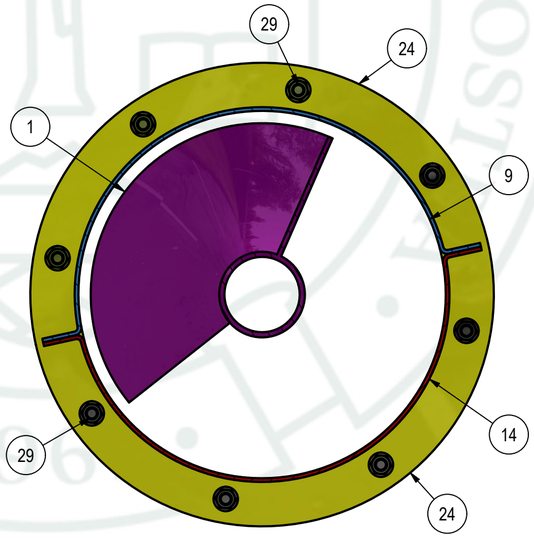
SECCIÓN:C-C
ESC:(1 : 7)



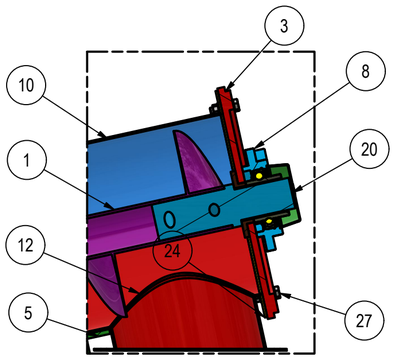
DETALLE: DET 1
ESCALA: 1 : 10



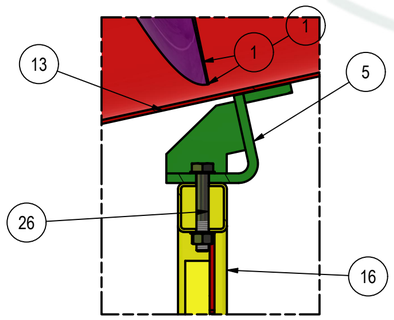
DETALLE DET 2
ESCALA: 1 : 8



SECCIÓN:B-B
ESC:(1 : 4.5)



DETALLE DET 3
ESCALA: 1 : 9

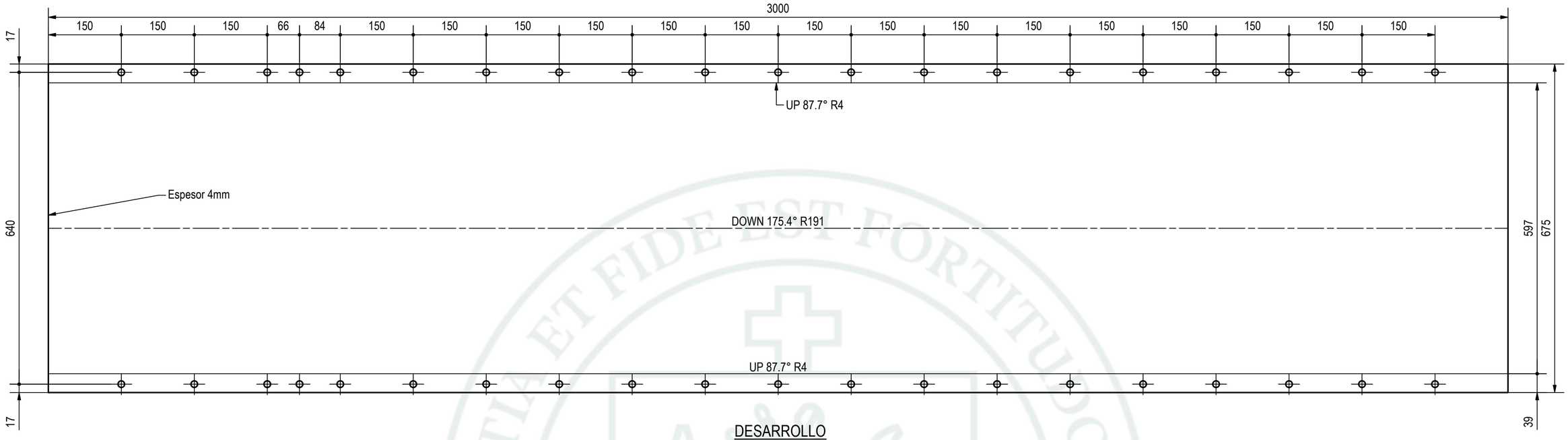


DETALLE DET 4
ESCALA: 1 : 4.5

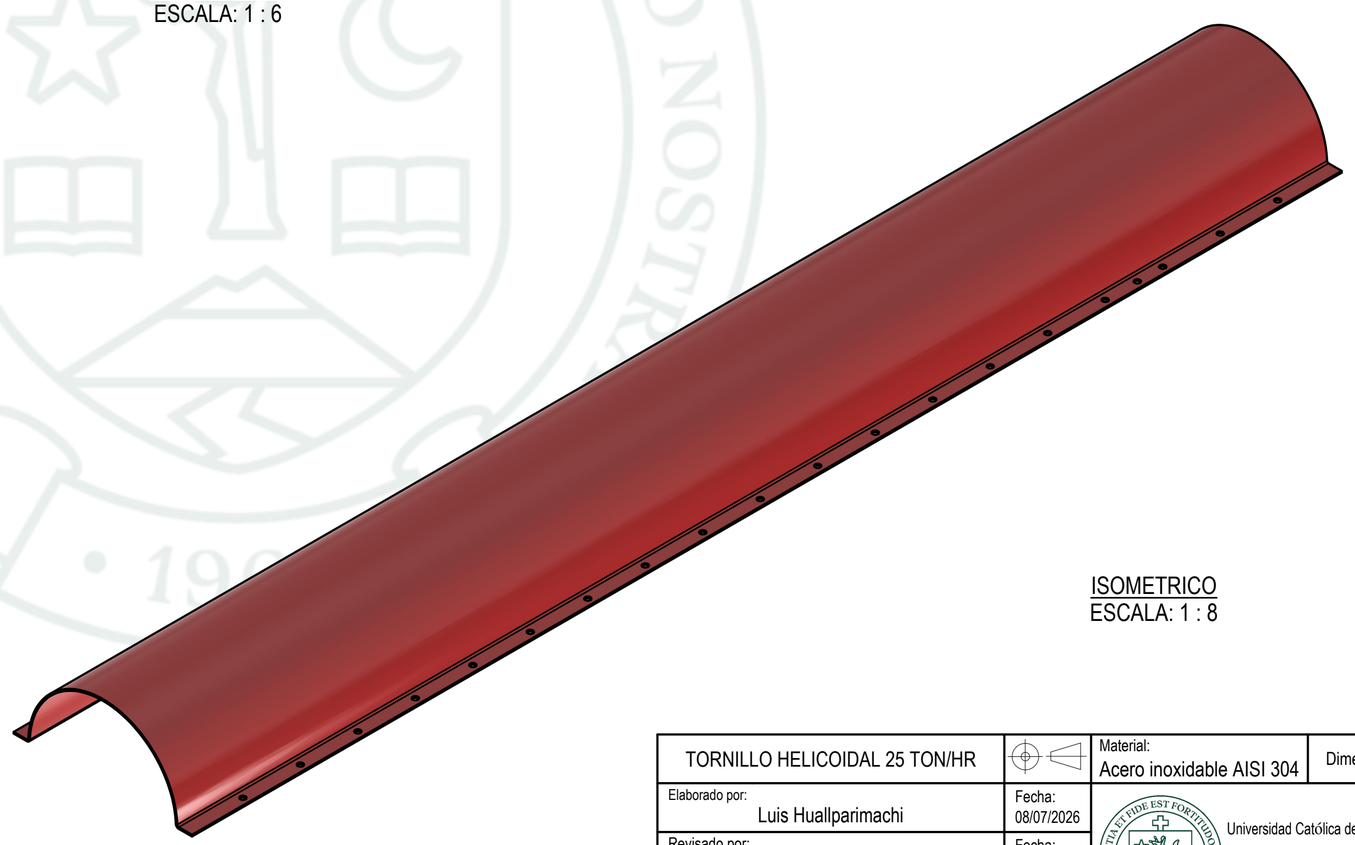
ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.
33	ACP-001	ACOPLE / EJE	1
32	BAR-001	ARANDELA PLANA 1/2"	306
31	BAR-002	ARANDELA PLANA 3/4"	4
30	BPE-001	PERNO HEX. 1/2" x 1"	52
29	BPE-002	PERNO HEX. 1/2" x 1 1/4"	73
28	BPE-003	PERNO HEX. 1/2" x 1 1/2"	3
27	BPE-004	PERNO HEX. 1/2" x 2"	16
26	BPE-005	PERNO HEX. 1/2" x 3 1/4"	9
25	BPE-006	PERNO HEX. 1/2" x 2 1/4"	4
24	BRD-001	Ver Plano TOR-HEL-25THP-010	6
23	BSM-001	Ver Plano TOR-HEL-25THP-017	1
22	BTU-001	TUERCA HEX. 1/2"	153
21	BUG-001	Ver Ficha Tecnica	2
20	EJE-001	Ver Plano TOR-HEL-25THP-04	1
19	EJE-002	Ver Plano TOR-HEL-25THP-011	2
18	EJE-003	Ver Plano TOR-HEL-25THP-012	1
17	EJE-004	Torque=2500 N-m d=90mm	1
16	Estrcutura de Soporte	Ver Plano TOR-HEL-25THP-020	1
15	Motorreductor 4kW	Potencia 4kW Torque=2500n-m, 18rpm	1
14	PLB-001	Ver Plano TOR-HEL-25THP-06	1
13	PLB-002	Ver Plano TOR-HEL-25THP-07	1
12	PLB-003	Ver Plano TOR-HEL-25THP-013	1
11	PLT-001	Ver Plano TOR-HEL-25THP-019	1
10	PLT-002	Ver Plano TOR-HEL-25THP-05	1
9	PLT-003	Ver Plano TOR-HEL-25THP-03	1
8	Rodamiento Montado con tapa	Rodamiento SKF	1
7	Rodamiento Montado sin tapa	Rodamiento SKF	1
6	Sello Antipolvo	Ver Plano TOR-HEL-25THP-018	2
5	Silleta Base	Ver Plano TOR-HEL-25THP-08	3
4	Soporte Colgante	Ver Plano TOR-HEL-25THP-014	2
3	Tapa Lateral	Ver Plano TOR-HEL-25THP-09	2
2	Tornillo Helicoidal 1	Ver Plano TOR-HEL-25THP-015	1
1	Tornillo Helicoidal 2	Ver Plano TOR-HEL-25THP-016	2

PARTS LIST

TORNILLO HELICOIDAL 25 TON/HR		Material:	Dimensiones en mm.
Elaborado por: Luis Huallparimachi	Fecha: 08/07/2026	Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,Mecánica-Electrica y Mecatrónica	
Revisado por: Frank Ramos	Fecha: 08/07/2026		
Codigo De Plano: UCSM-2026-TOR_HEL-DWG-MEC-002			
Escala: Indicada	VISTA GENERAL - DETALLES - CORTES		Pagina: 2 Rev. 0

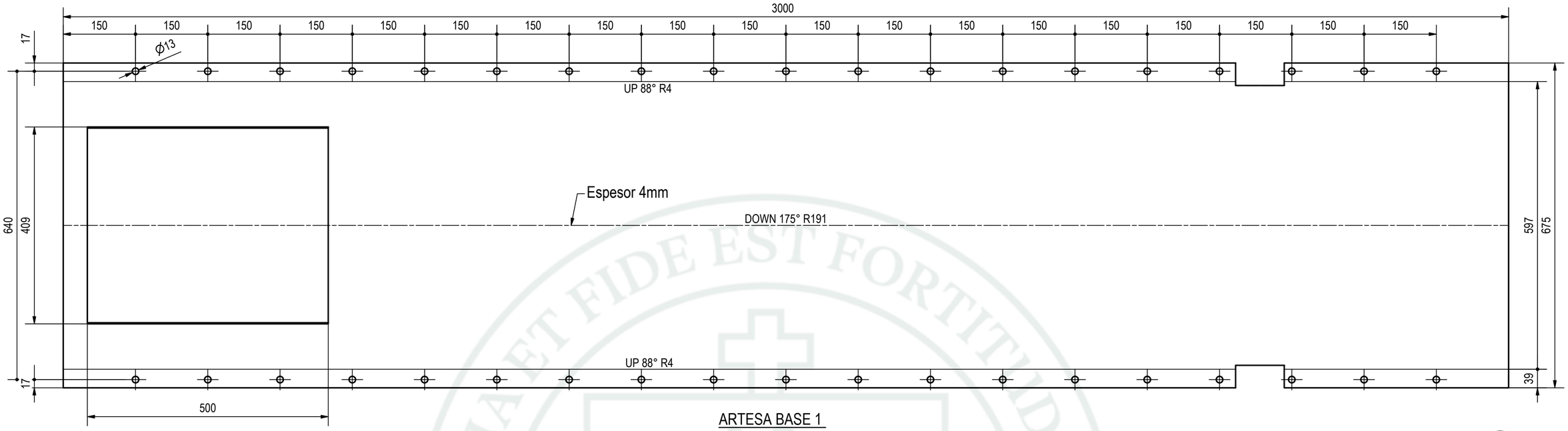


DESARROLLO
ESCALA: 1 : 6

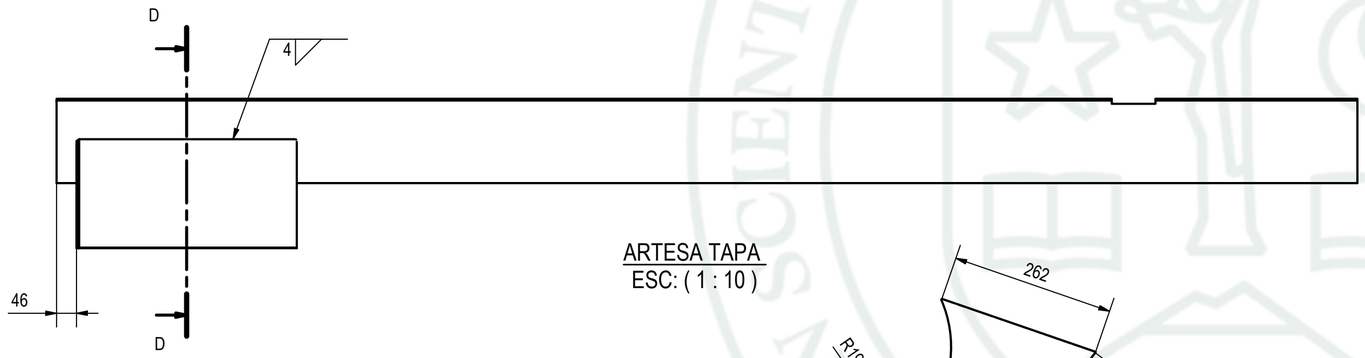


ISOMETRICO
ESCALA: 1 : 8

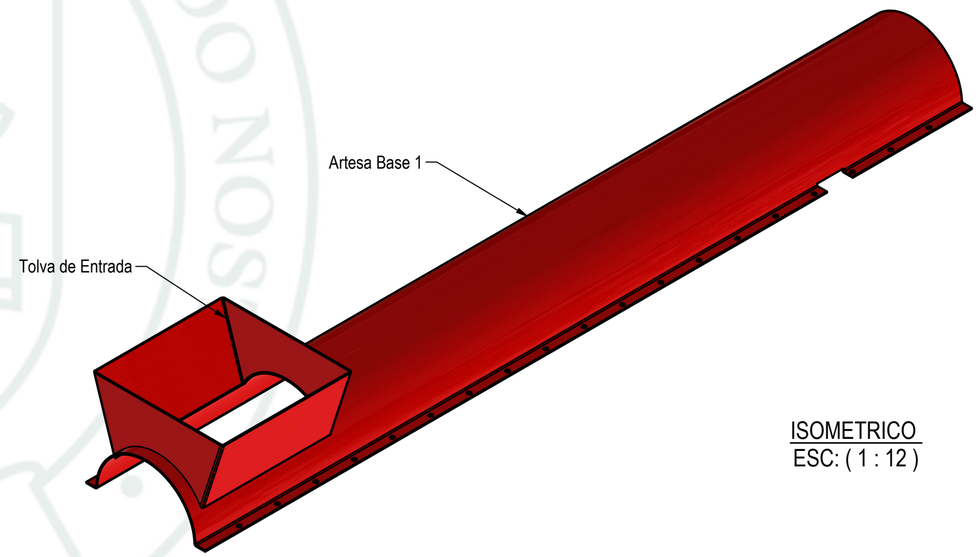
TORNILLO HELICOIDAL 25 TON/HR		Material: Acero inoxidable AISI 304	Dimensiones en mm.
Elaborado por: Luis Huallparimachi	Fecha: 08/07/2026	Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,Mecánica-Electrica y Mecatrónica	
Revisado por: Frank Ramos	Fecha: 08/07/2026		
Codigo De Plano: UCSM-2026-TOR_HEL-DWG-MEC-003			
Escala: Indicada	ARTESA BASE 01		Pagina: 3 Rev. 0



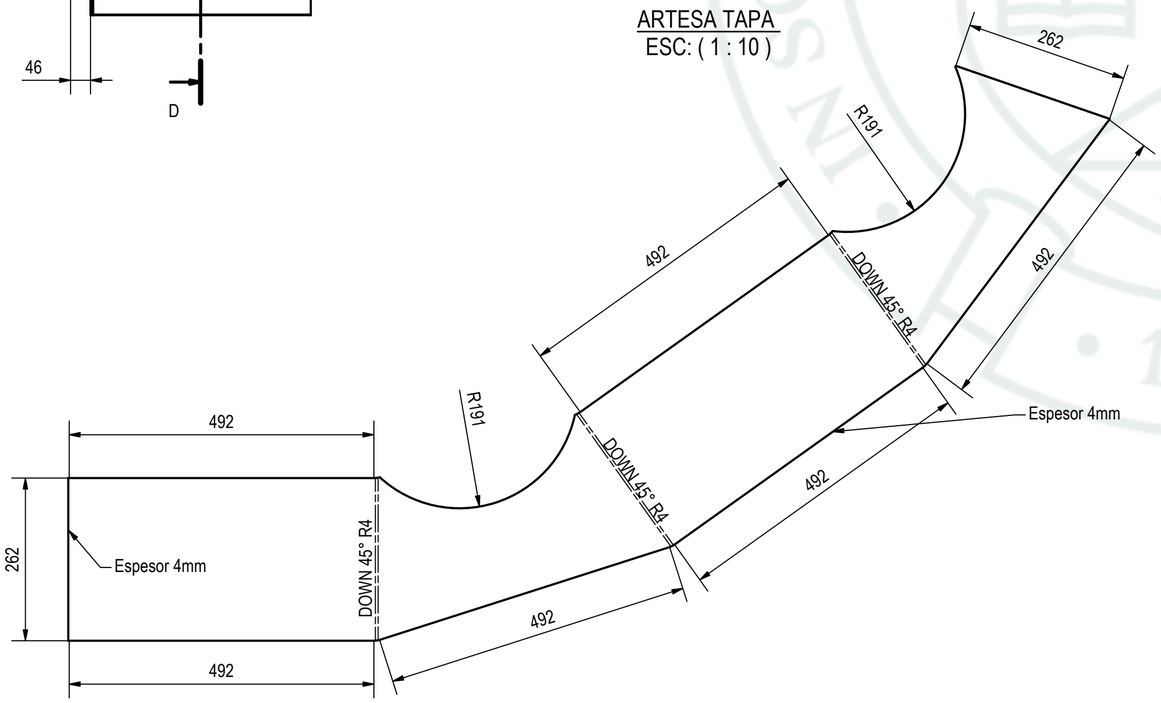
ARTESA BASE 1
ESC: (1 : 6)



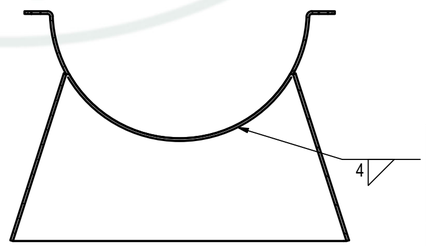
ARTESA TAPA
ESC: (1 : 10)



ISOMETRICO
ESC: (1 : 12)

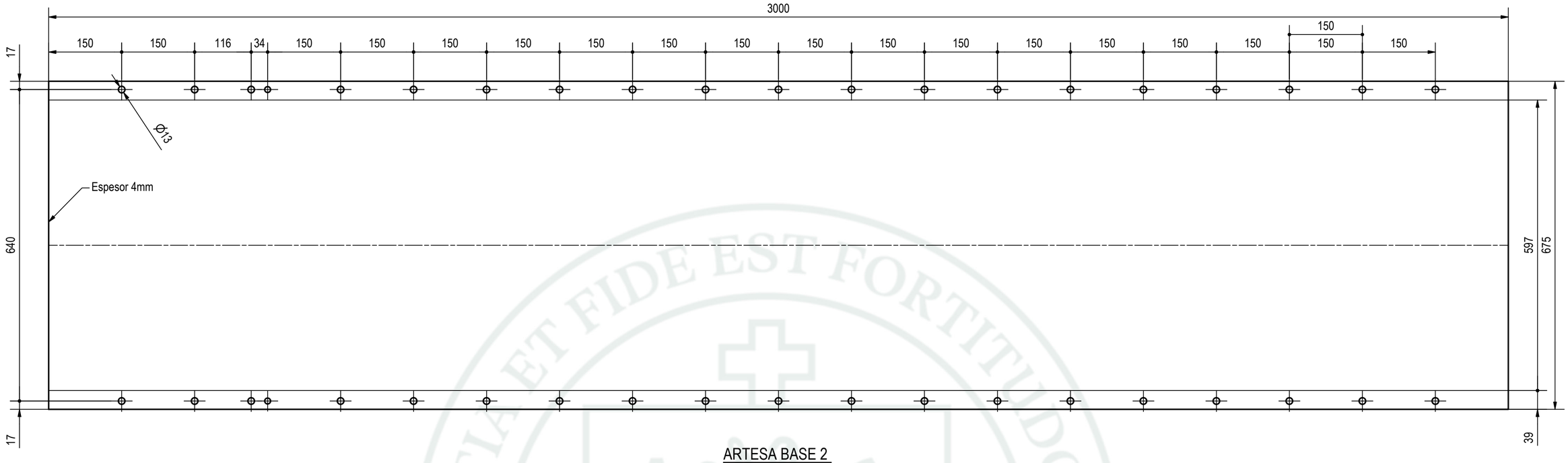


TOLVA ENTRADA
ESC: (1 : 7)

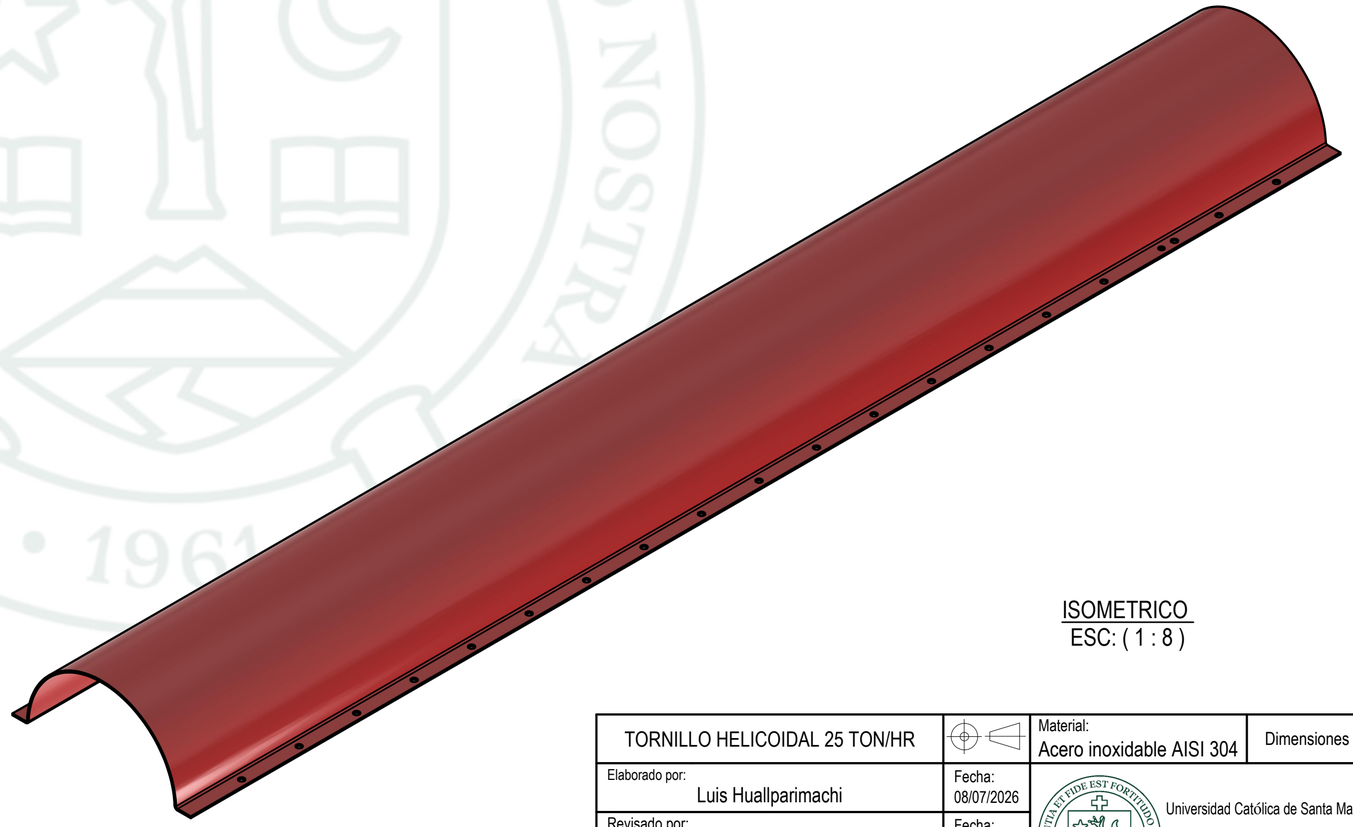


SECCIÓN:D-D
ESC:(1 : 6.5)

TORNILLO HELICOIDAL 25 TON/HR		Material: Genérico	Dimensiones en mm.
Elaborado por: Luis Huallparimachi	Fecha: 08/07/2026	Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,Mecánica-Electrica y Mecatrónica	
Revisado por: Frank Ramos	Fecha: 08/07/2026		
Codigo De Plano: UCSM-2026-TOR_HEL-DWG-MEC-004			
Escala: Indicada	ARTESA Y TOLVA DE ENTRADA		Pagina: 4 Rev. 0

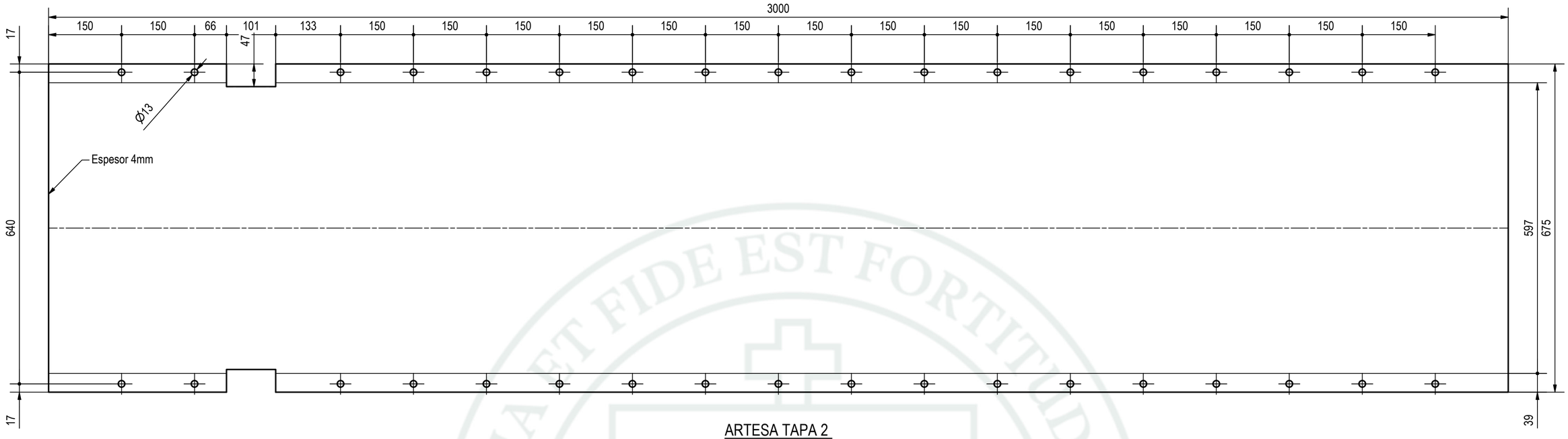


ARTESA BASE 2
ESC: (1 : 6)

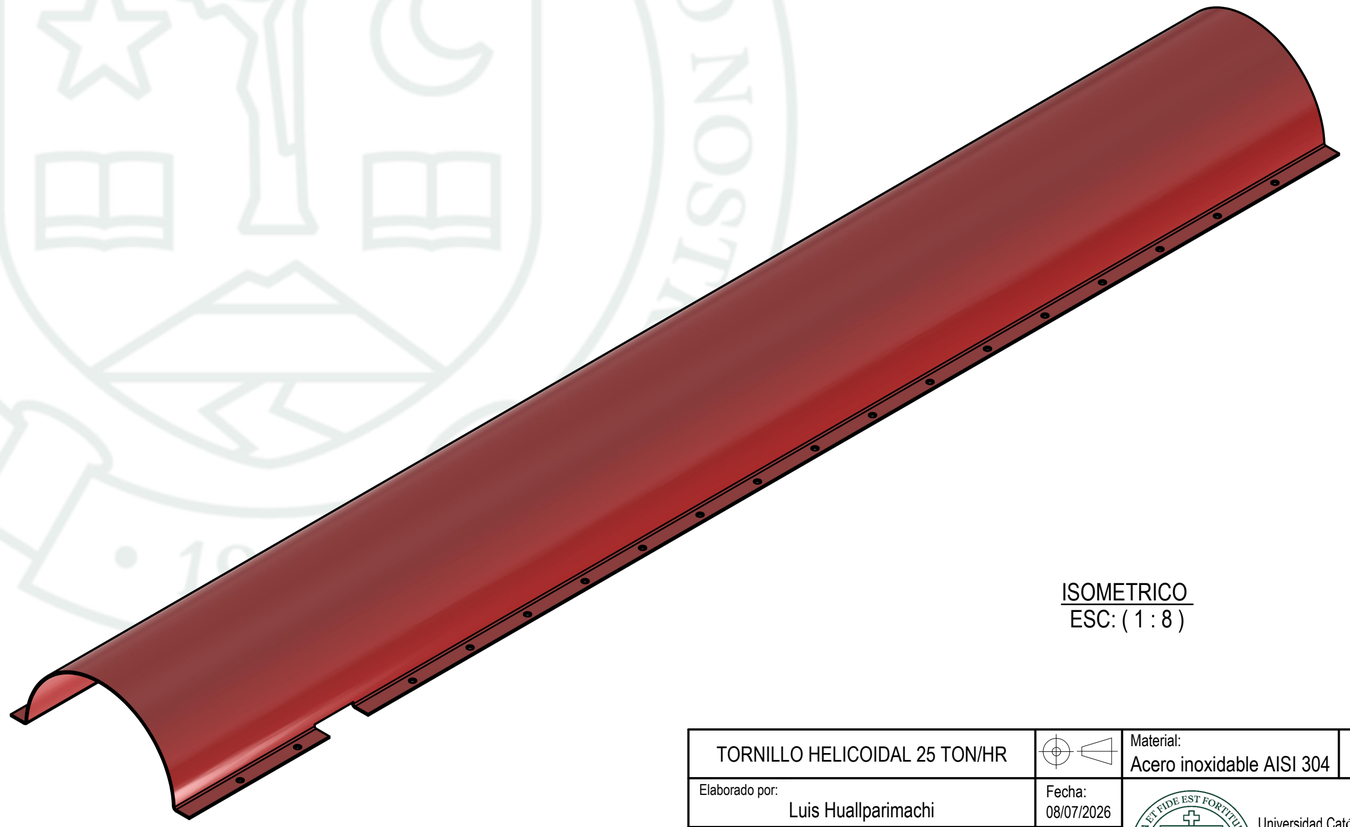


ISOMETRICO
ESC: (1 : 8)

TORNILLO HELICOIDAL 25 TON/HR		Material: Acero inoxidable AISI 304	Dimensiones en mm.
Elaborado por: Luis Huallparimachi	Fecha: 08/07/2026	Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,Mecánica-Electrica y Mecatrónica	
Revisado por: Frank Ramos	Fecha: 08/07/2026		
Codigo De Plano: UCSM-2026-TOR_HEL-DWG-MEC-005			
Escala: Indicada	ARTESA BASE 02		Pagina: 5 / Rev. 0

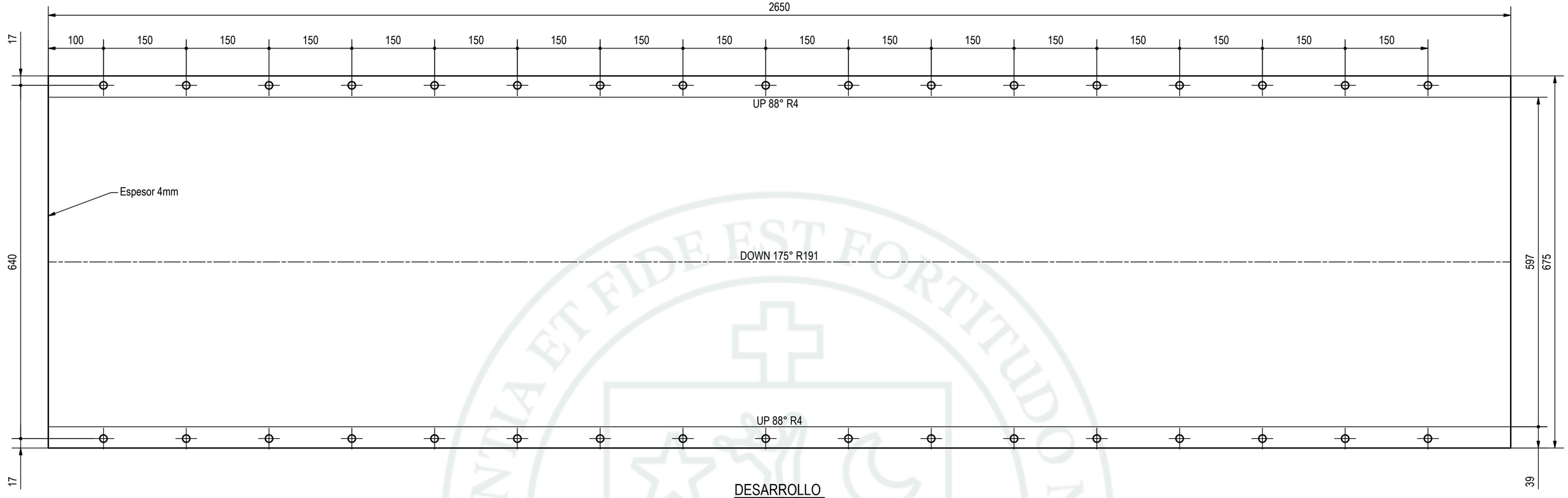


ARTESA TAPA 2
ESC: (1 : 6)

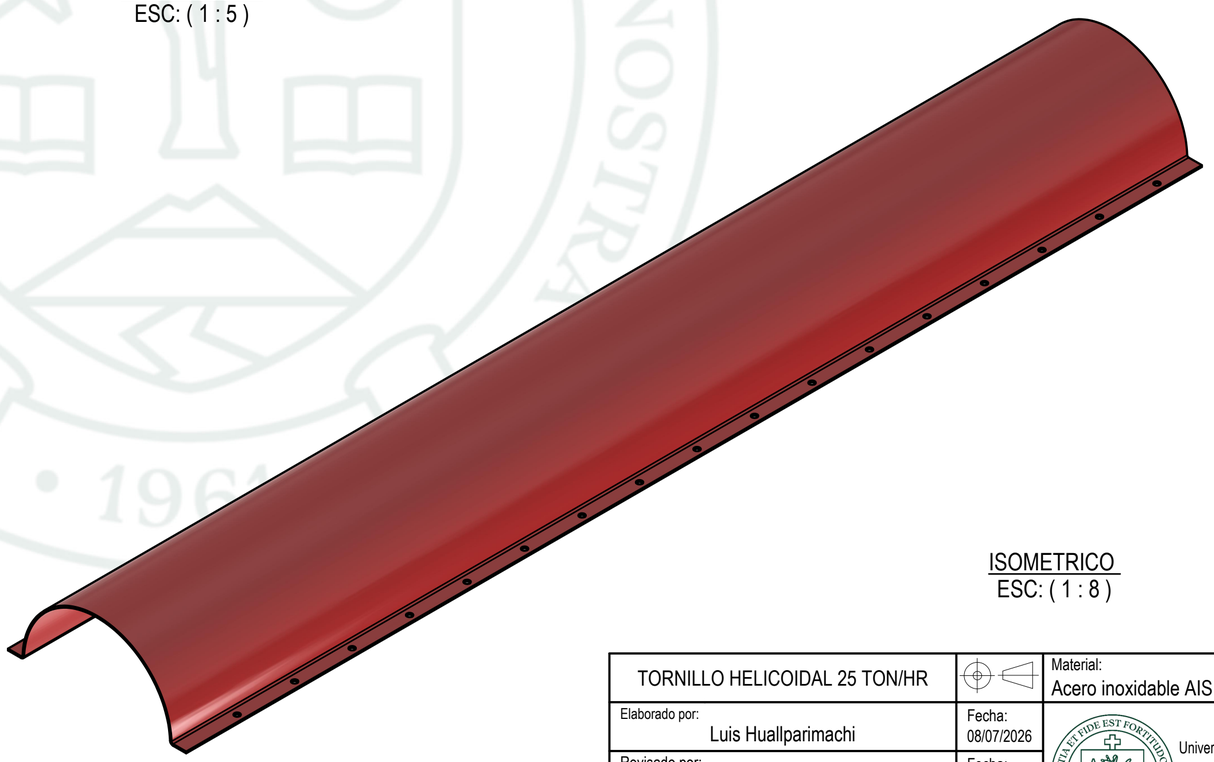


ISOMETRICO
ESC: (1 : 8)

TORNILLO HELICOIDAL 25 TON/HR		Material: Acero inoxidable AISI 304	Dimensiones en mm.
Elaborado por: Luis Huallparimachi	Fecha: 08/07/2026	Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,Mecánica-Electrica y Mecatrónica	
Revisado por: Frank Ramos	Fecha: 08/07/2026		
Codigo De Plano: UCSM-2026-TOR_HEL-DWG-MEC-006			
Escala: Indicada	ARTESA TAPA 02		Pagina: 6 / Rev. 0

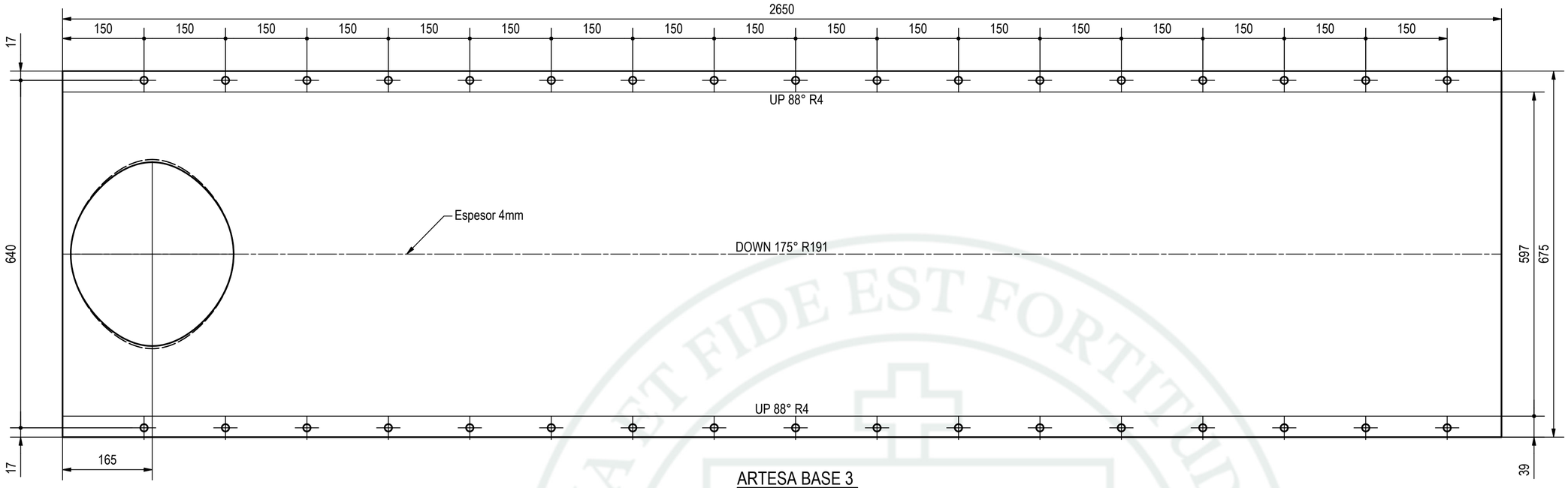


DESARROLLO
ESC: (1 : 5)

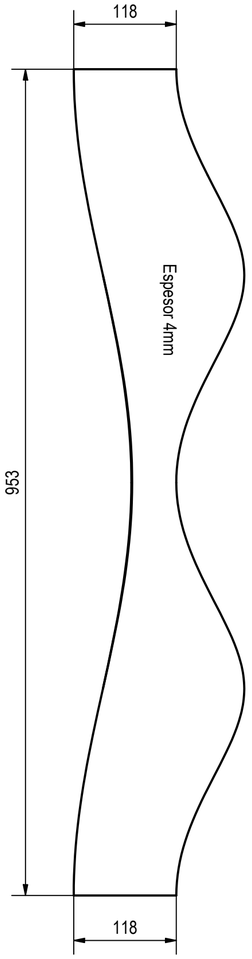


ISOMETRICO
ESC: (1 : 8)

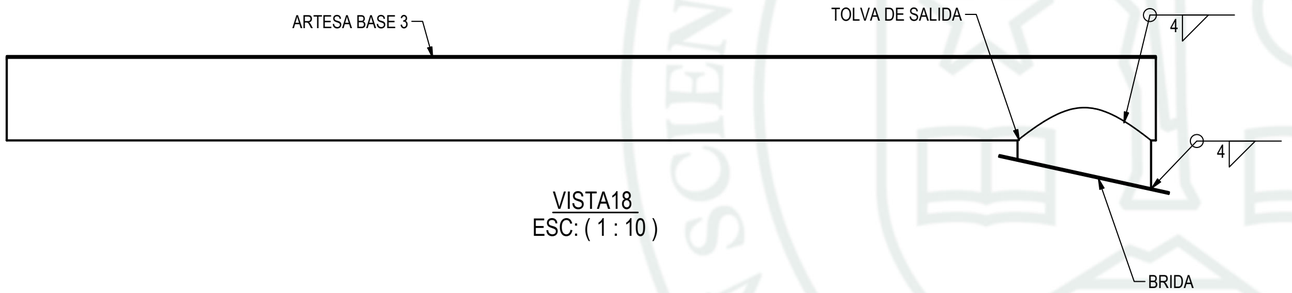
TORNILLO HELICOIDAL 25 TON/HR		Material: Acero inoxidable AISI 304	Dimensiones en mm.
Elaborado por: Luis Huallparimachi	Fecha: 08/07/2026	Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,Mecánica-Electrica y Mecatrónica	
Revisado por: Frank Ramos	Fecha: 08/07/2026		
Codigo De Plano: UCSM-2026-TOR_HEL-DWG-MEC-007			
Escala: Indicada	ARTESA TAPA 03		Pagina: 7 Rev. 0



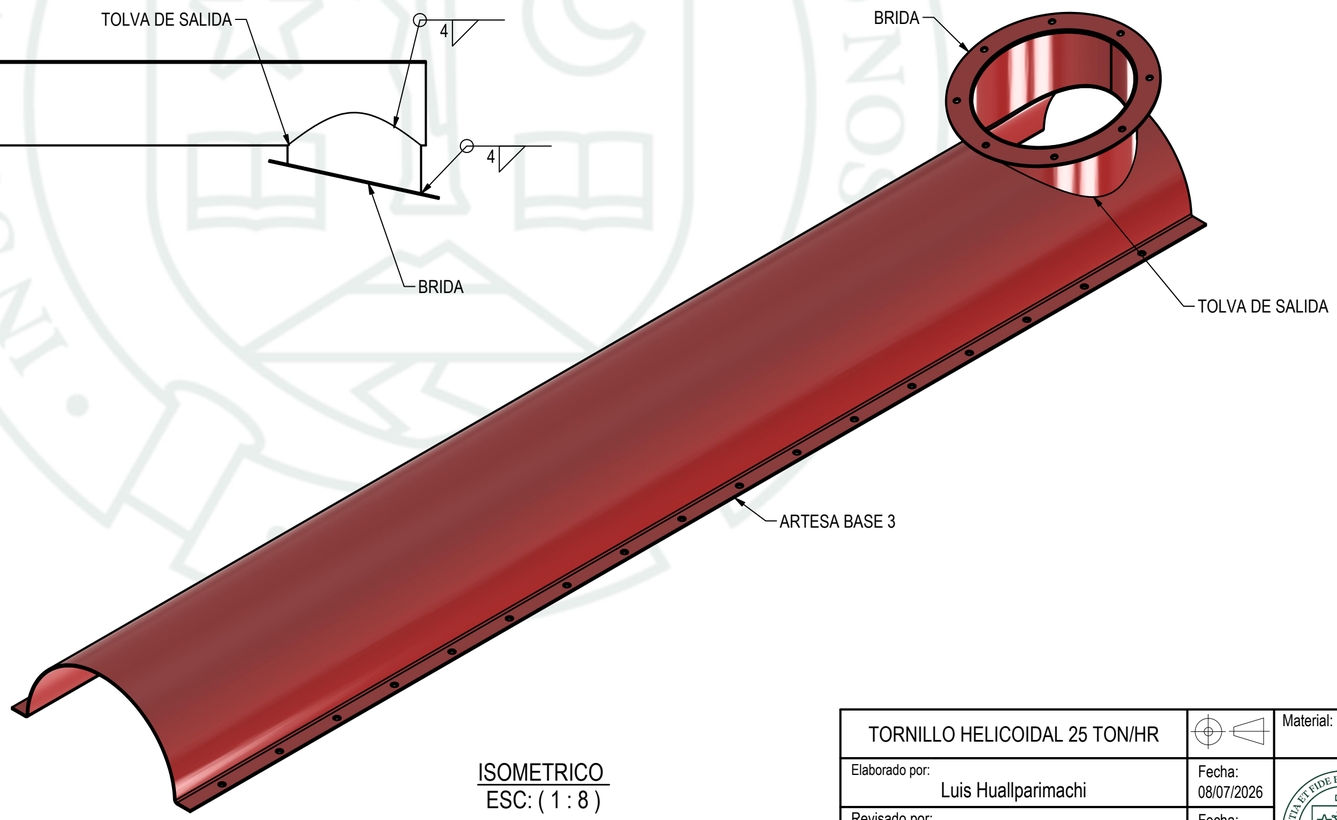
ARTESA BASE 3
ESC: (1 : 6)



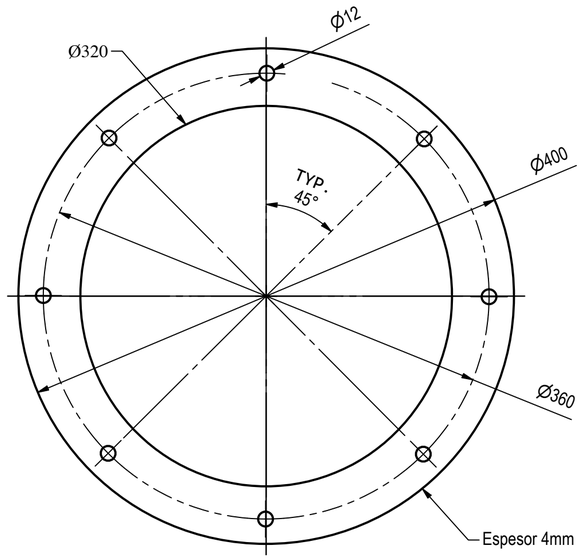
TOLVA DE SALIDA
ESC: (1 : 5)



VISTA18
ESC: (1 : 10)

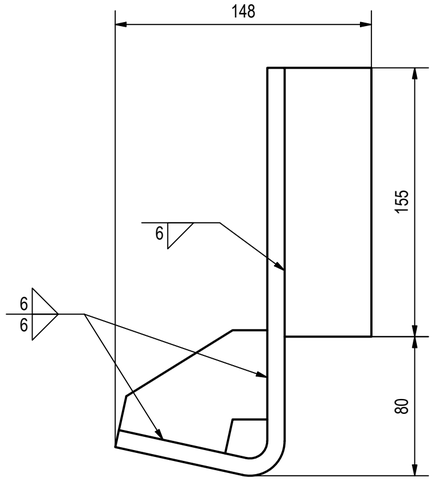


ISOMETRICO
ESC: (1 : 8)

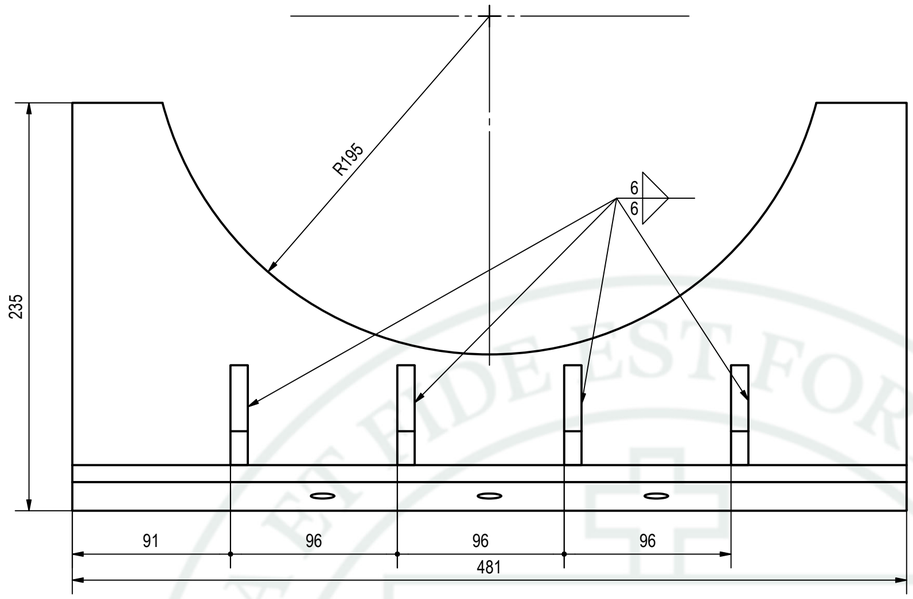


BRIDA
ESC: (1 : 3.5)

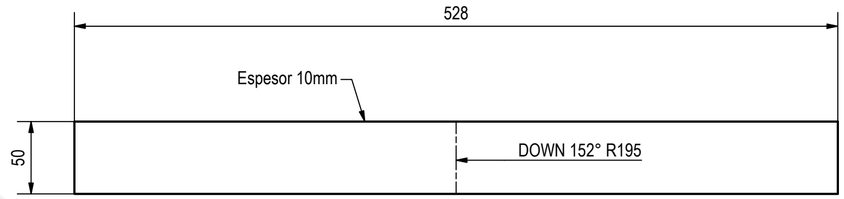
TORNILLO HELICOIDAL 25 TON/HR		Material: Genérico	Dimensiones en mm.
Elaborado por: Luis Huallparimachi	Fecha: 08/07/2026	Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,Mecánica-Electrica y Mecatrónica	
Revisado por: Frank Ramos	Fecha: 08/07/2026		
Codigo De Plano: UCSM-2026-TOR_HEL-DWG-MEC-008			
Escala: Indicada	ARTESA BASE Y TOLVA DE SALIDA		Pagina: 8 Rev. 0



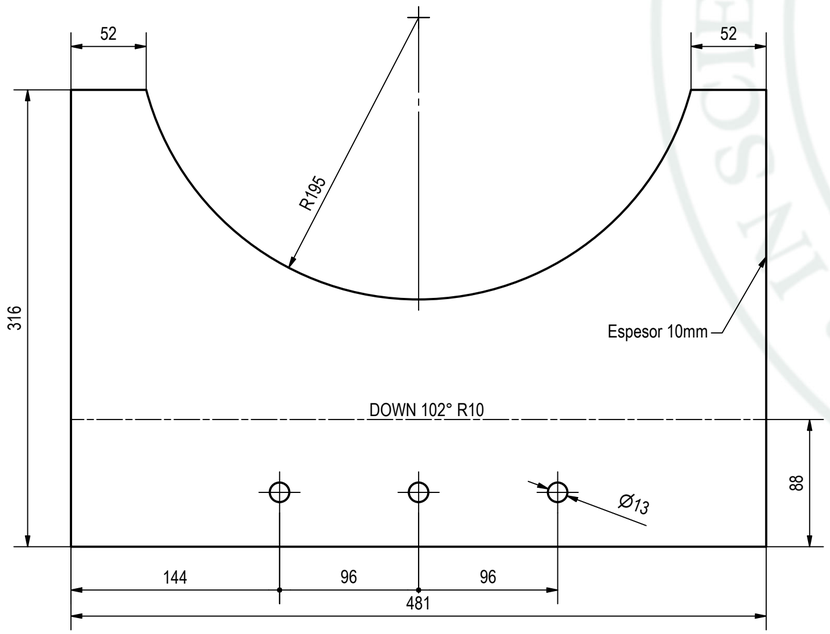
PERFIL
ESC: (1 : 2.5)



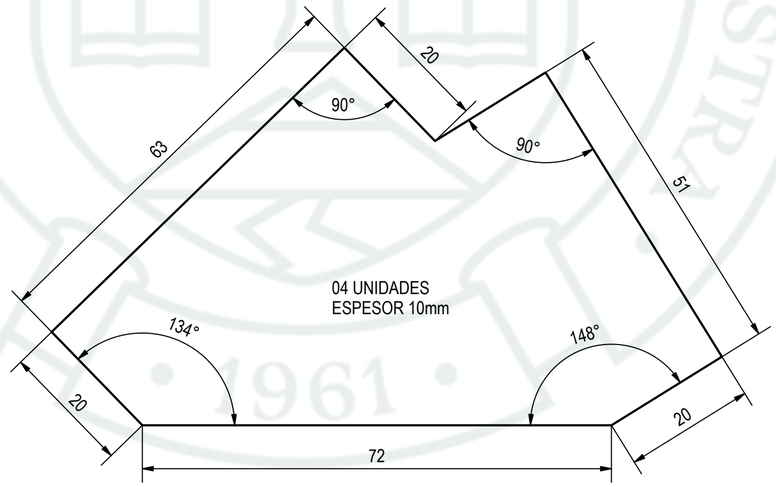
FRONTAL
ESC: (1 : 2.5)



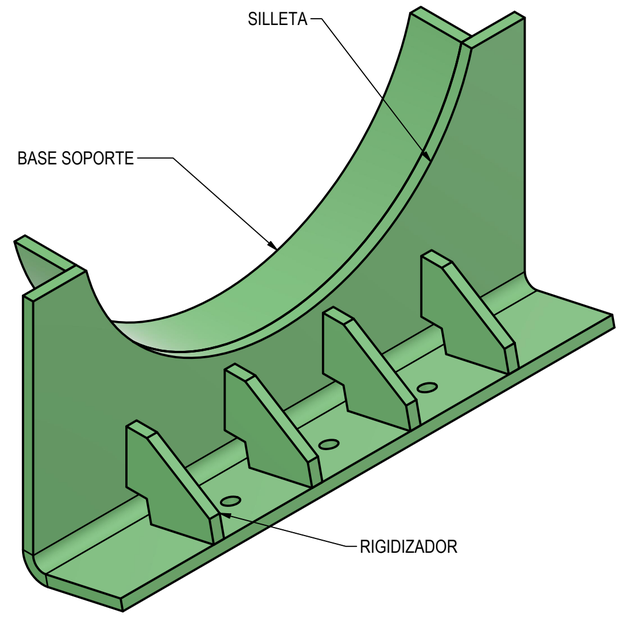
BASE SOPORTE
ESC: (1 : 3)



SILLETA
ESC: (1 : 3)

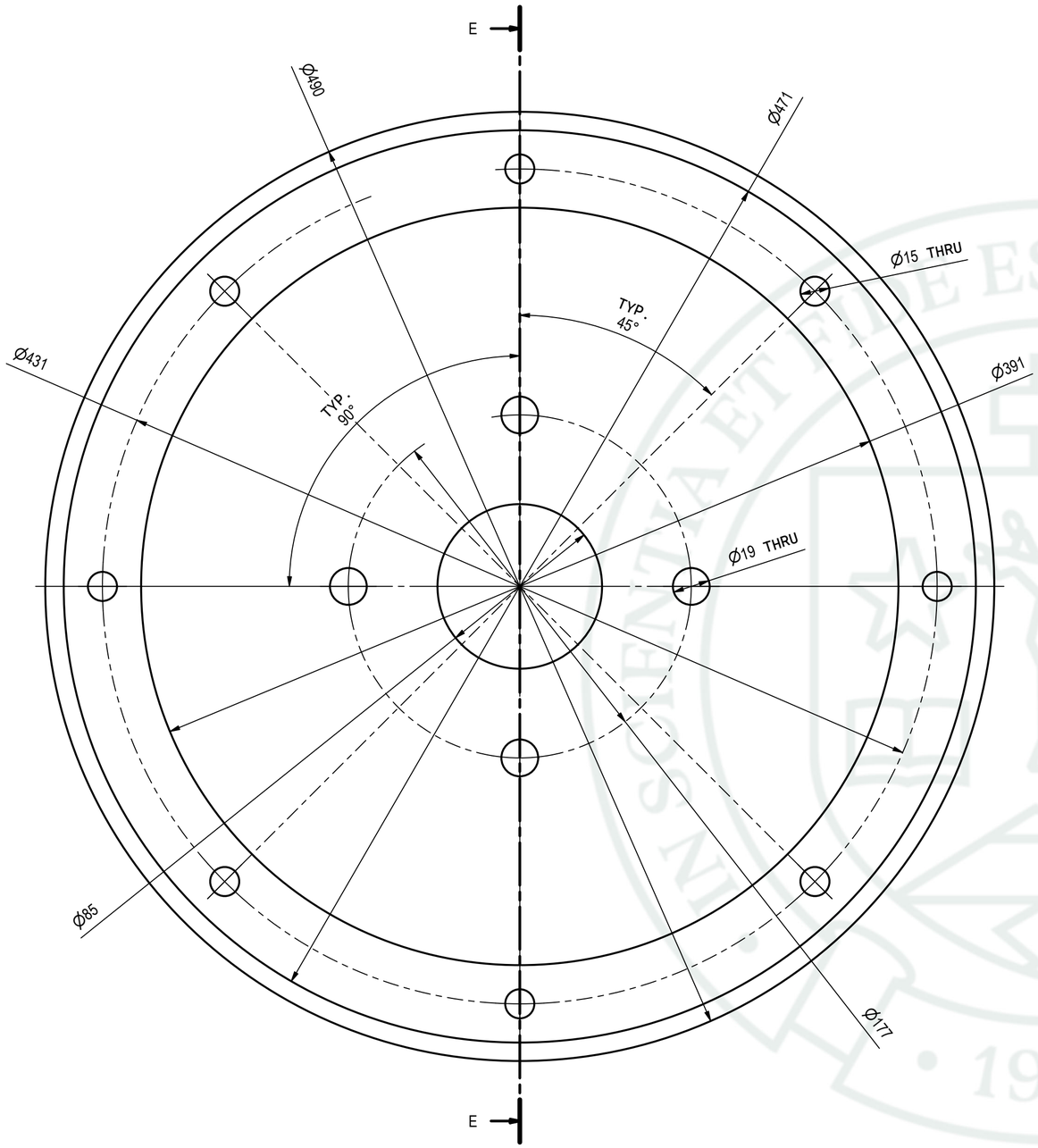


RIGIDIZADOR
ESC: (1.5 : 1)

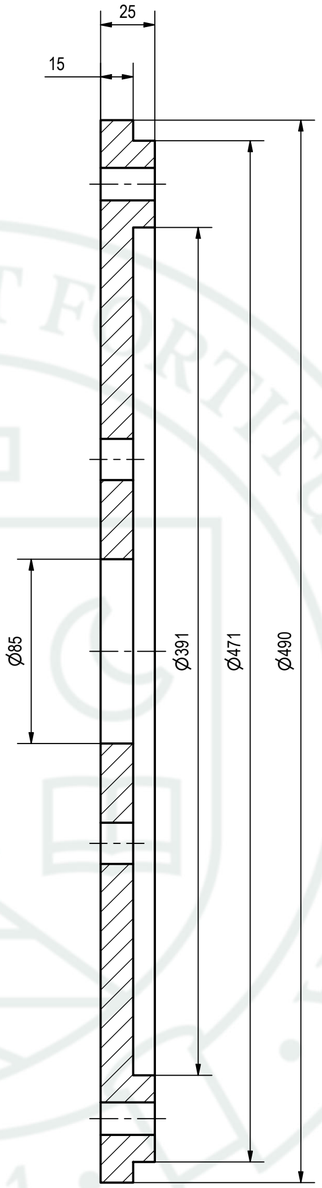


ISOMETRICO
ESC: (1 : 3)

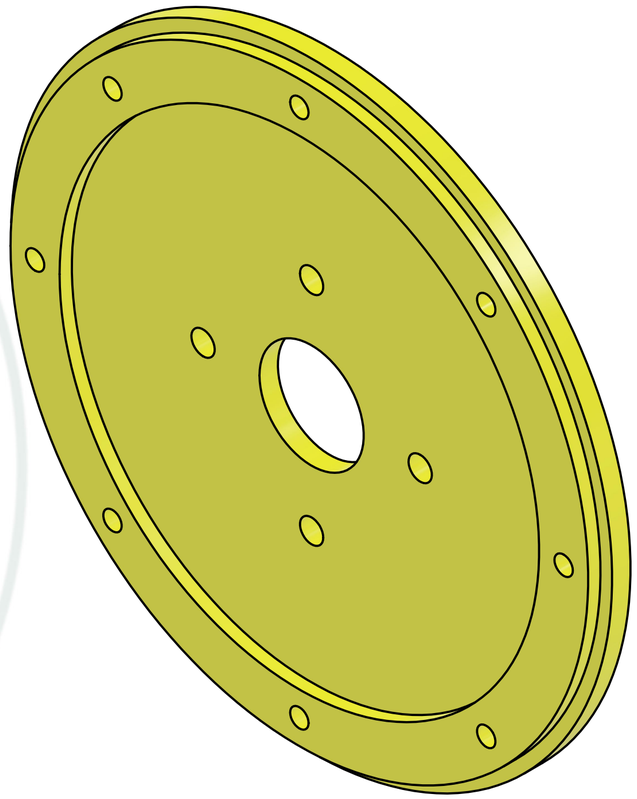
TORNILLO HELICOIDAL 25 TON/HR		Material: Acero ASTM A36	Dimensiones en mm.
Elaborado por: Luis Huallparimachi	Fecha: 08/07/2026	Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingenieria Mecánica,Mecánica-Electrica y Mecatrónica	
Revisado por: Frank Ramos	Fecha: 08/07/2026		
Codigo De Plano: UCSM-2026-TOR_HEL-DWG-MEC-009			
Escala: Indicada	SILLETA BASE ESTRUCTURA		Pagina: 9 Rev. 0



FRONTAL
ESC: (1 : 2)

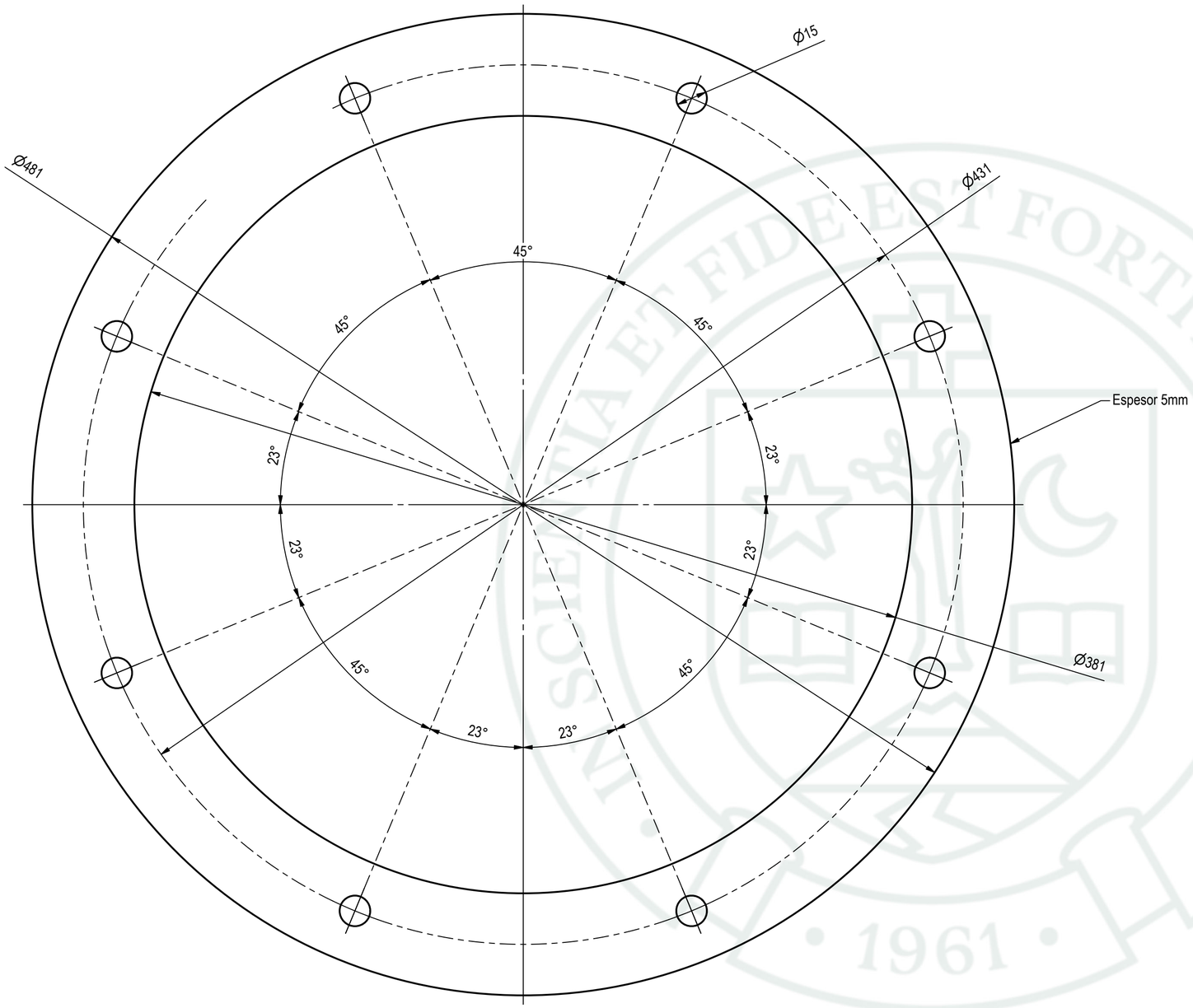


SECCIÓN:E-E
ESC:(1 : 2)

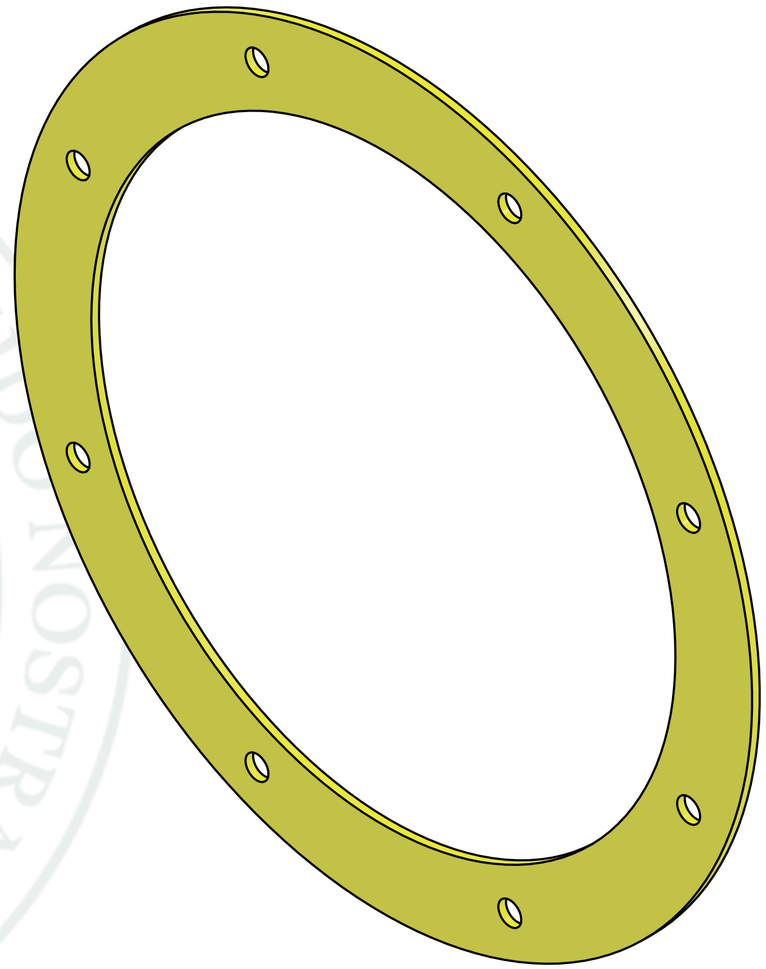


ISOMETRICO
ESC: (1 : 2.5)

TORNILLO HELICOIDAL 25 TON/HR		Material: Acero inoxidable AISI 304	Dimensiones en mm.
Elaborado por: Luis Huallparimachi	Fecha: 08/07/2026	Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,Mecánica-Electrica y Mecatrónica	
Revisado por: Frank Ramos	Fecha: 08/07/2026		
Codigo De Plano: UCSM-2026-TOR_HEL-DWG-MEC-0010			
Escala: Indicada	TAPA LATERAL		Pagina: 10 / Rev. 0

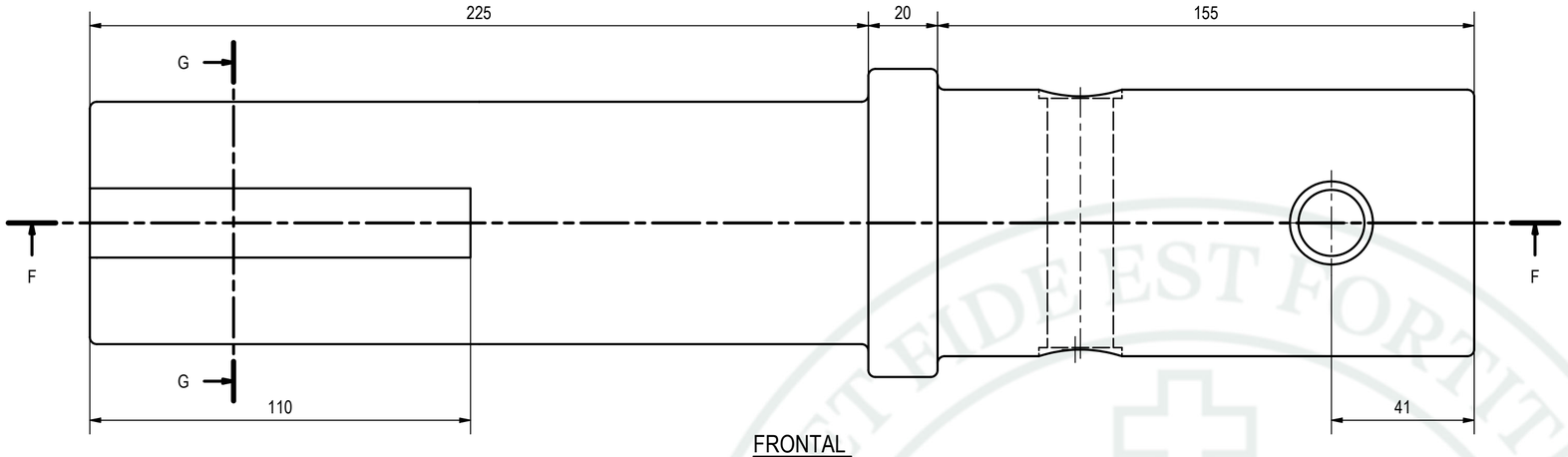


FRONTAL
ESC: (1 : 1.75)

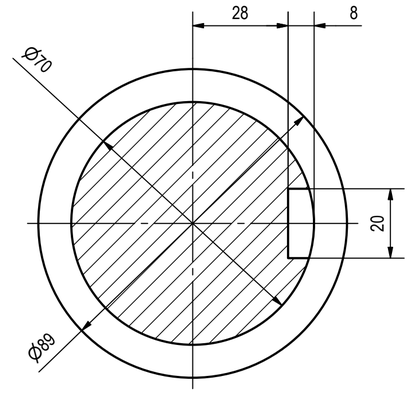


ISOMETRICO
ESC: (1 : 2)

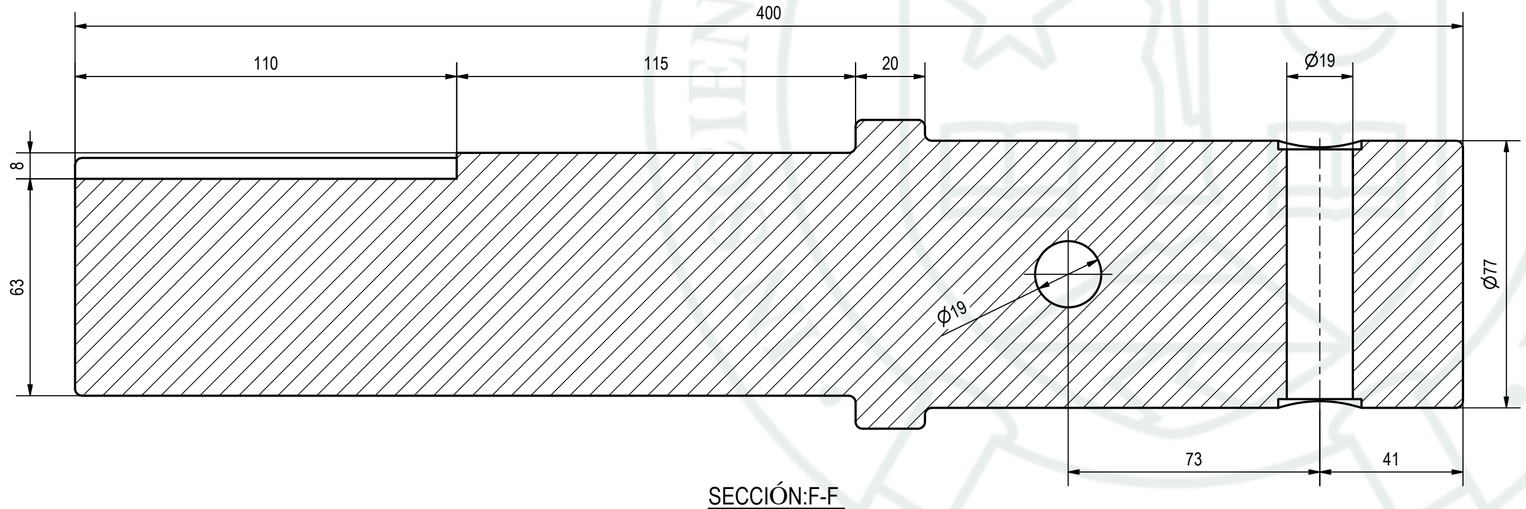
TORNILLO HELICOIDAL 25 TON/HR		Material: Acero inoxidable AISI 304	Dimensiones en mm.
Elaborado por: Luis Huallparimachi	Fecha: 08/07/2026	Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,Mecánica-Electrica y Mecatrónica	
Revisado por: Frank Ramos	Fecha: 08/07/2026		
Codigo De Plano: UCSM-2026-TOR_HEL-DWG-MEC-0011			
Escala: Indicada	BRIDA ARTESA		Pagina: 11 Rev. 0



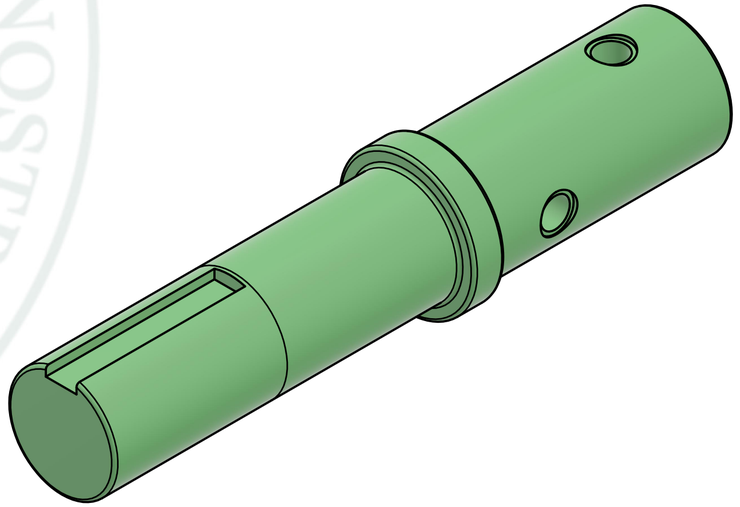
FRONTAL
ESC: (1 : 1.25)



SECCIÓN:G-G
ESC:(1 : 1.25)

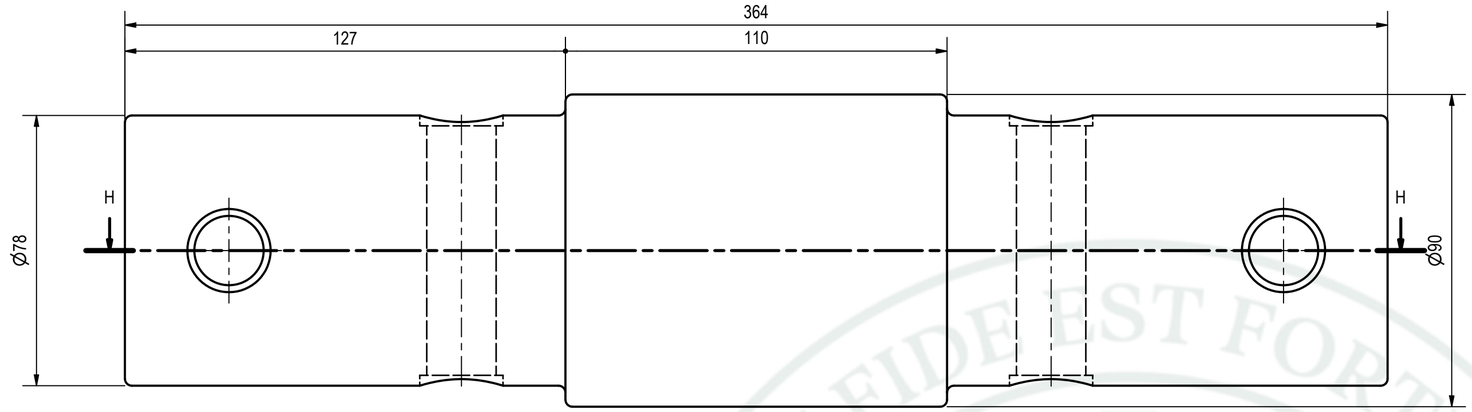


SECCIÓN:F-F
ESC:(1 : 1.25)

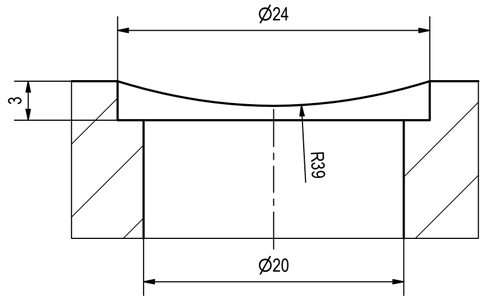


ISOMETRICO
ESC: (1 : 2)

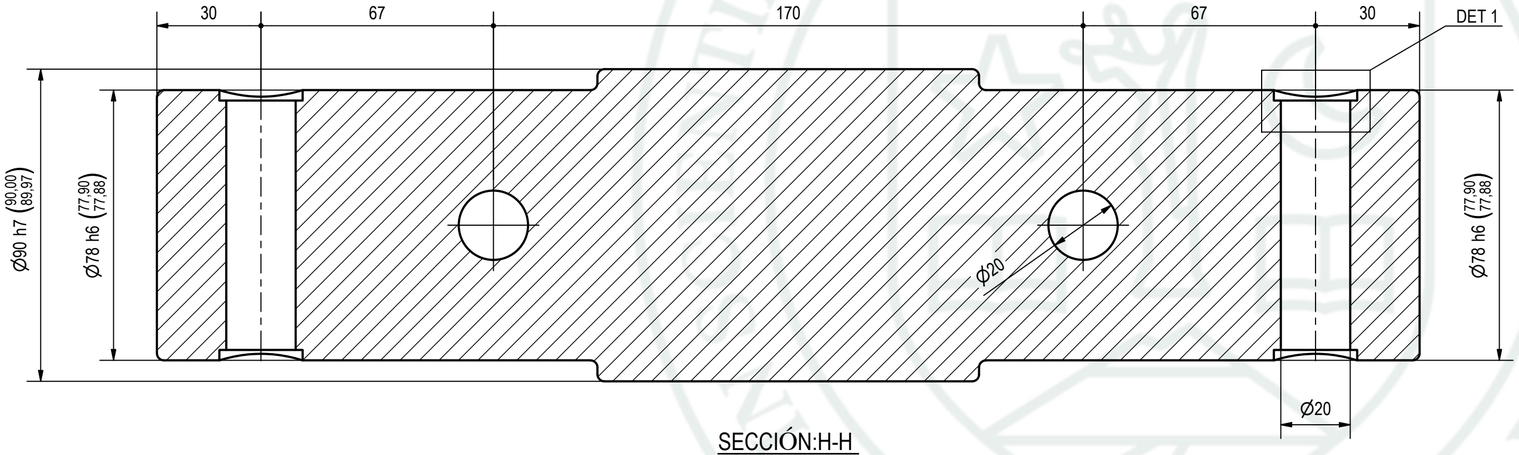
TORNILLO HELICOIDAL 25 TON/HR		Material: Acero AISI 1020 107 LC	Dimensiones en mm.
Elaborado por: Luis Huallparimachi	Fecha: 08/07/2026	Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,Mecánica-Electrica y Mecatrónica	
Revisado por: Frank Ramos	Fecha: 08/07/2026		
Codigo De Plano: UCSM-2026-TOR_HEL-DWG-MEC-0012			
Escala: Indicada	EJE ACOPLE MOTRIZ		Pagina: 12 / Rev. 0



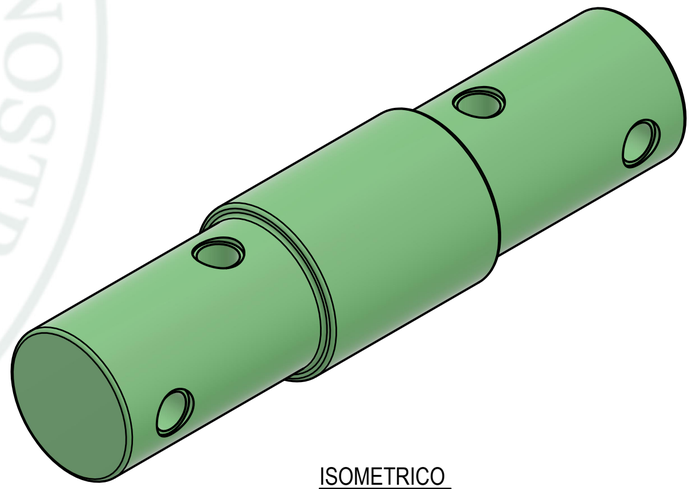
FRONTAL
ESC: (1 : 1.25)



DETALLE: DET 1
ESC:(3 : 1)

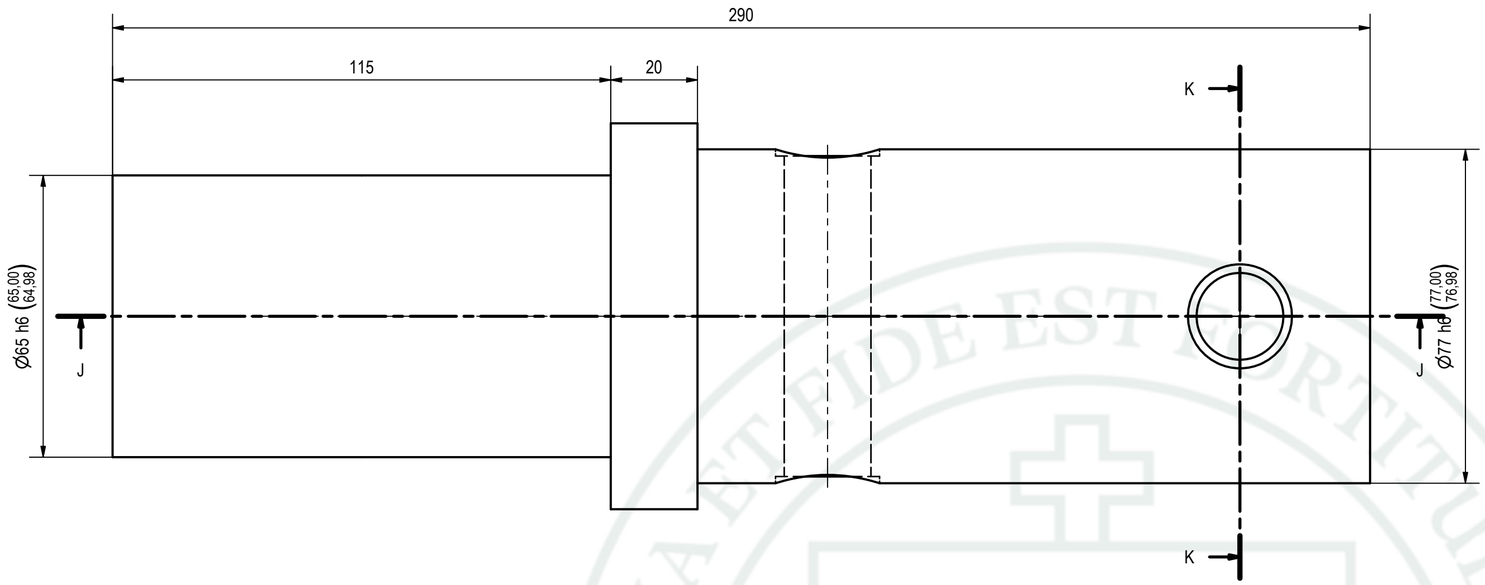


SECCIÓN:H-H
ESC:(1 : 1.25)

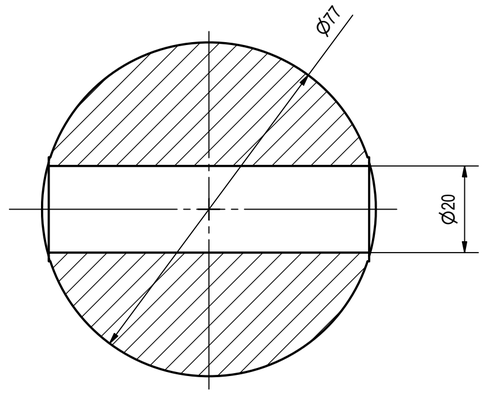


ISOMETRICO
ESC: (1 : 2)

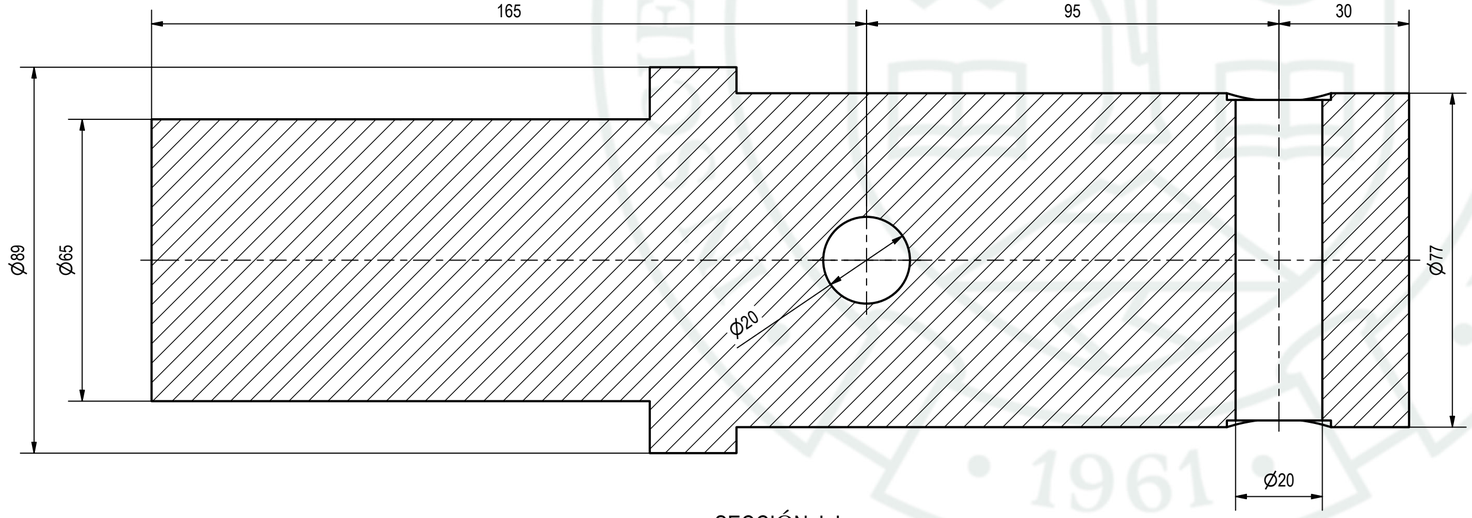
TORNILLO HELICOIDAL 25 TON/HR		Material: Acero AISI 1020 107 LC	Dimensiones en mm.
Elaborado por: Luis Huallparimachi	Fecha: 08/07/2026	Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,Mecánica-Electrica y Mecatrónica	
Revisado por: Frank Ramos	Fecha: 08/07/2026		
Codigo De Plano: UCSM-2026-TOR_HEL-DWG-MEC-0013			
Escala: Indicada	EJE DE ACOPLE INTERMEDIO		Pagina: 13 Rev. 0



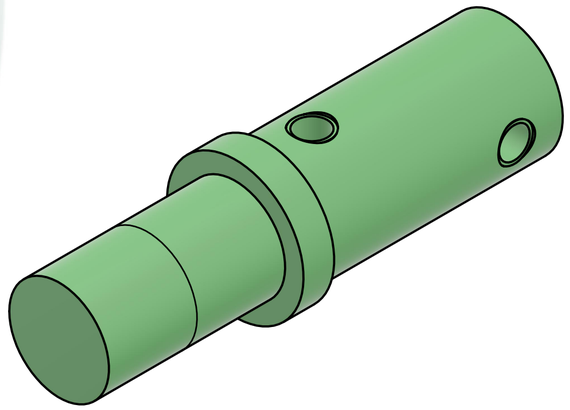
EJE DE ACOPLE FINAL
ESC: (1 : 1)



SECCIÓN:K-K
ESC:(1 : 1)

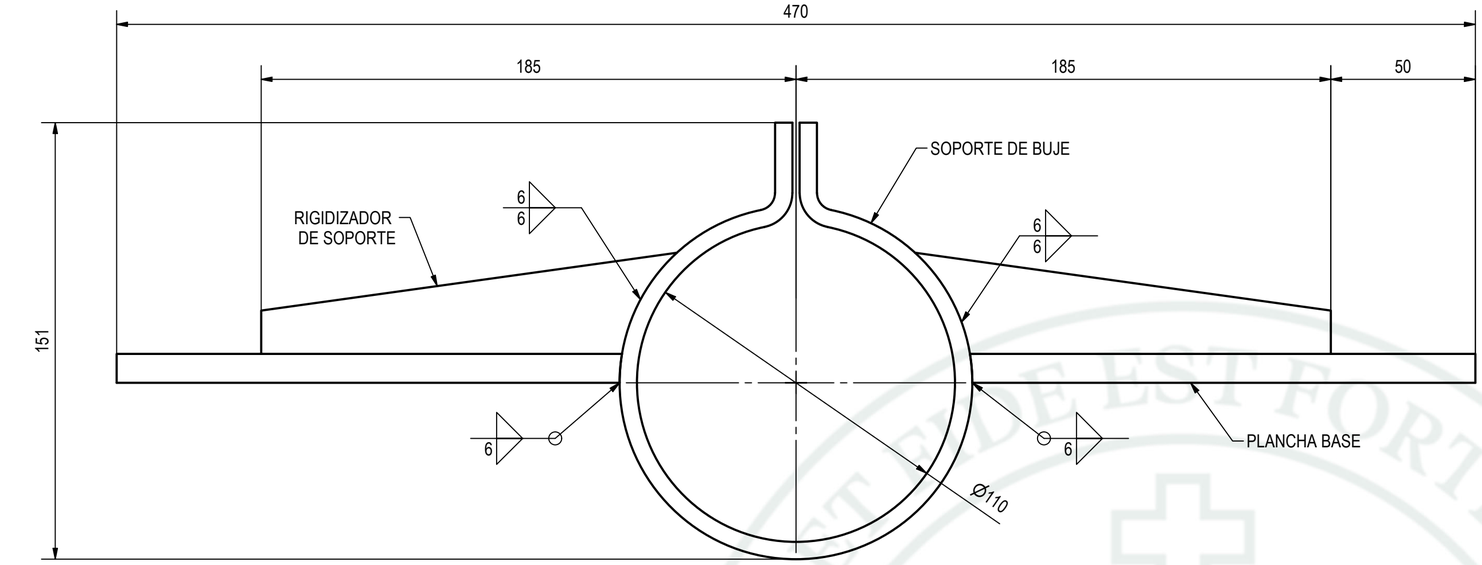


SECCIÓN:J-J
ESC:(1 : 1)

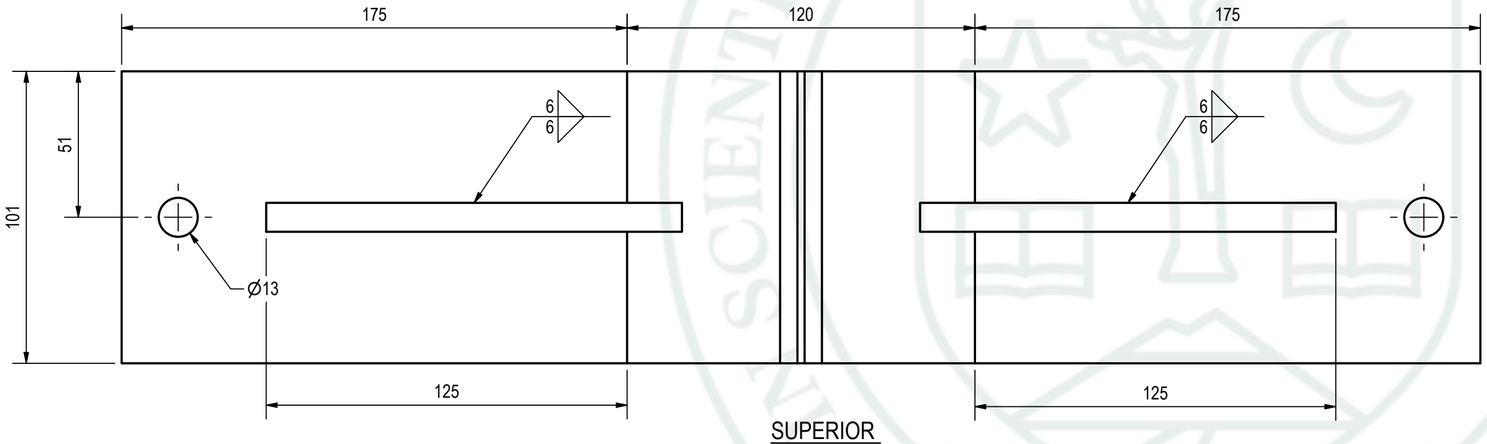


EJE DE ACOPLE FINAL
ESC: (1 : 2)

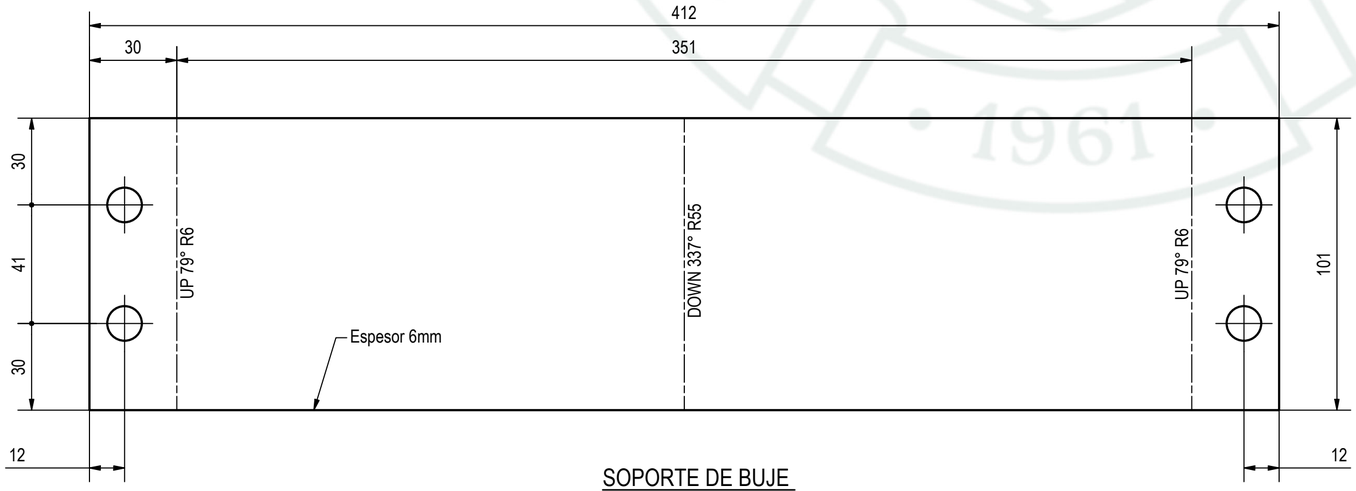
TORNILLO HELICOIDAL 25 TON/HR		Material: Acero AISI 1020 107 LC	Dimensiones en mm.
Elaborado por: Luis Huallparimachi	Fecha: 08/07/2026	Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingenieria Mecánica,Mecánica-Electrica y Mecatrónica	
Revisado por: Frank Ramos	Fecha: 08/07/2026		
Codigo De Plano: UCSM-2026-TOR_HEL-DWG-MEC-0014			
Escala: Indicada	EJE ACOPLE FINAL		Pagina: 14 / Rev. 0



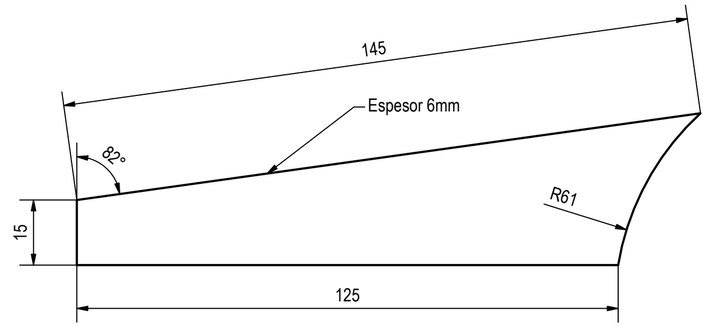
FRONTAL
ESC: (1 : 1.5)



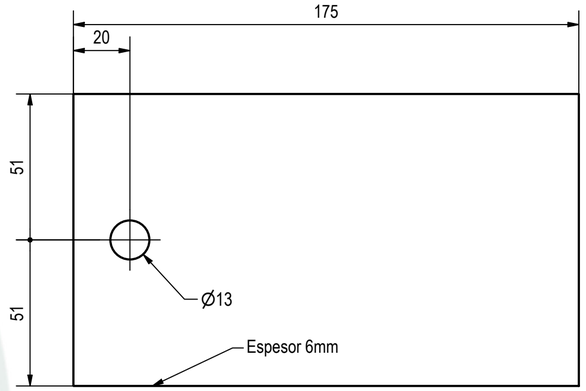
SUPERIOR
ESC: (1 : 1.5)



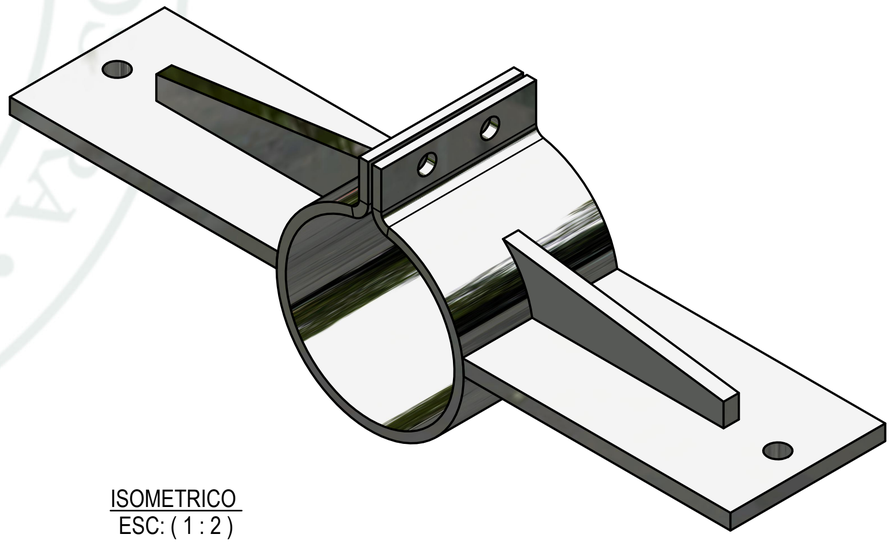
SOPORTE DE BUJE
ESC: (1 : 1.5)



RIGIDIZADOR DE SOPORTE
ESC: (1 : 1)

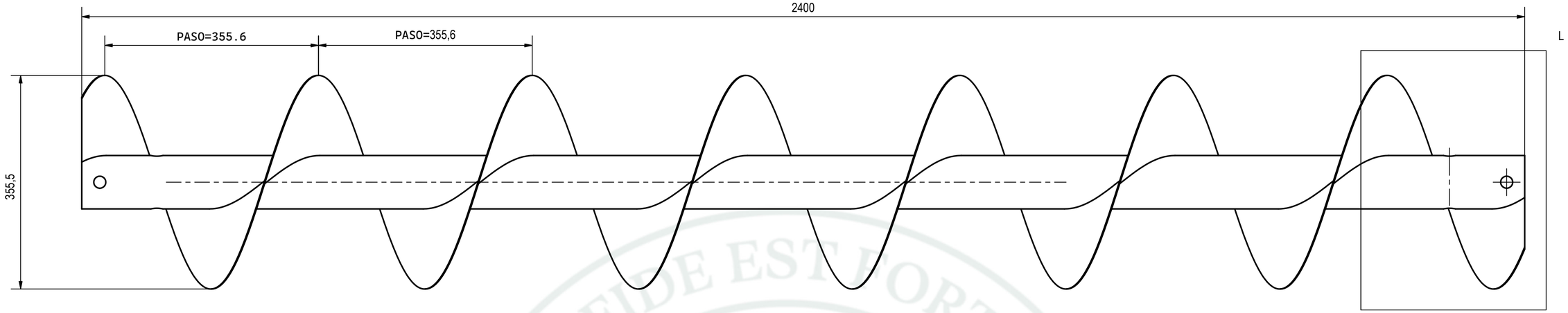


PLANCHA DE BUJE
ESC: (1 : 1.5)

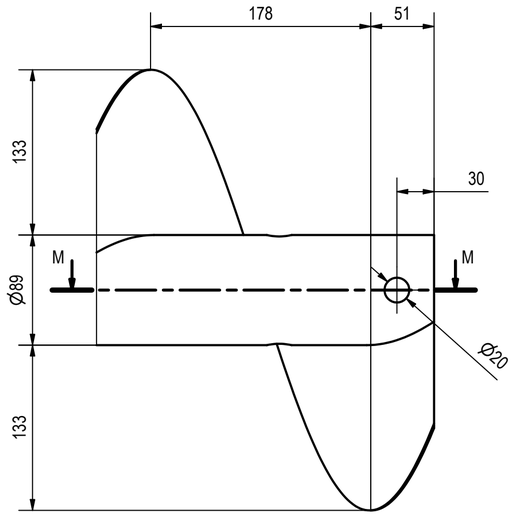


ISOMETRICO
ESC: (1 : 2)

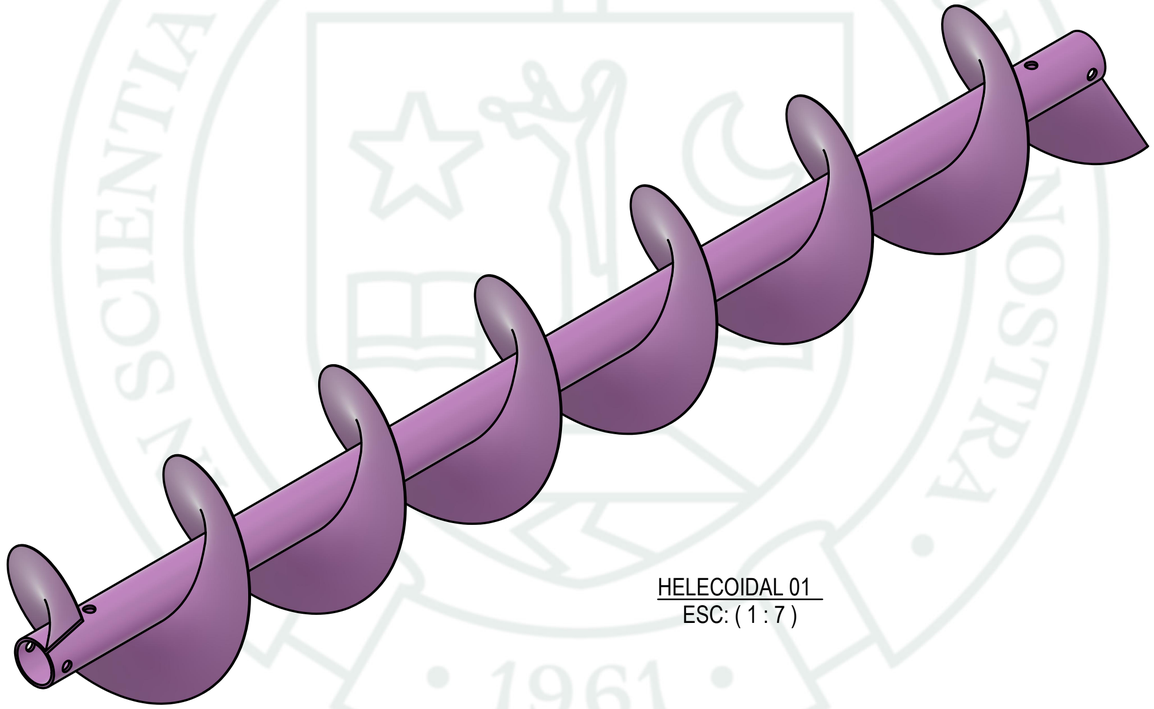
TORNILLO HELICOIDAL 25 TON/HR		Material:	Dimensiones en mm.
Elaborado por: Luis Huallparimachi	Fecha: 08/07/2026	Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,Mecánica-Electrica y Mecatrónica	
Revisado por: Frank Ramos	Fecha: 08/07/2026		
Codigo De Plano: UCSM-2026-TOR_HEL-DWG-MEC-0015			
Escala: Indicada	SOPORTE COLGANTE DE EJE		Pagina: 15 Rev. 0



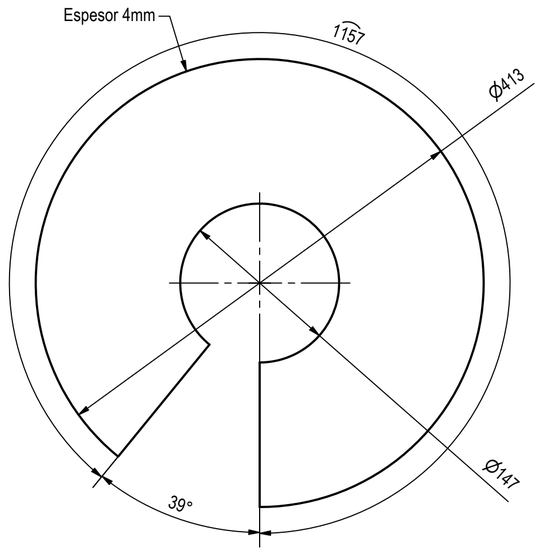
FRONTAL
ESC: (1 : 5)



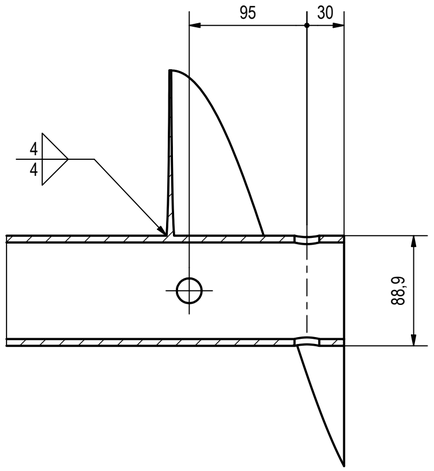
DETALLE: L
ESC:(1 : 3.5)



HELECOIDAL 01
ESC: (1 : 7)

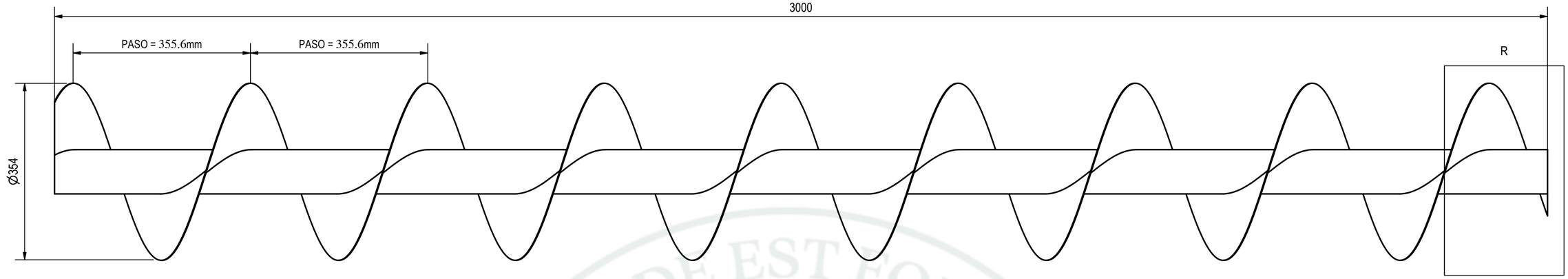


HELICOIDAL SECCIONAL
ESC: (1 : 4)

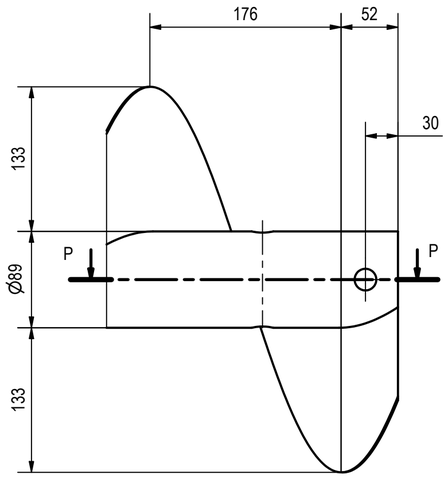


SECCIÓN:M-M
ESC:(1 : 3.5)

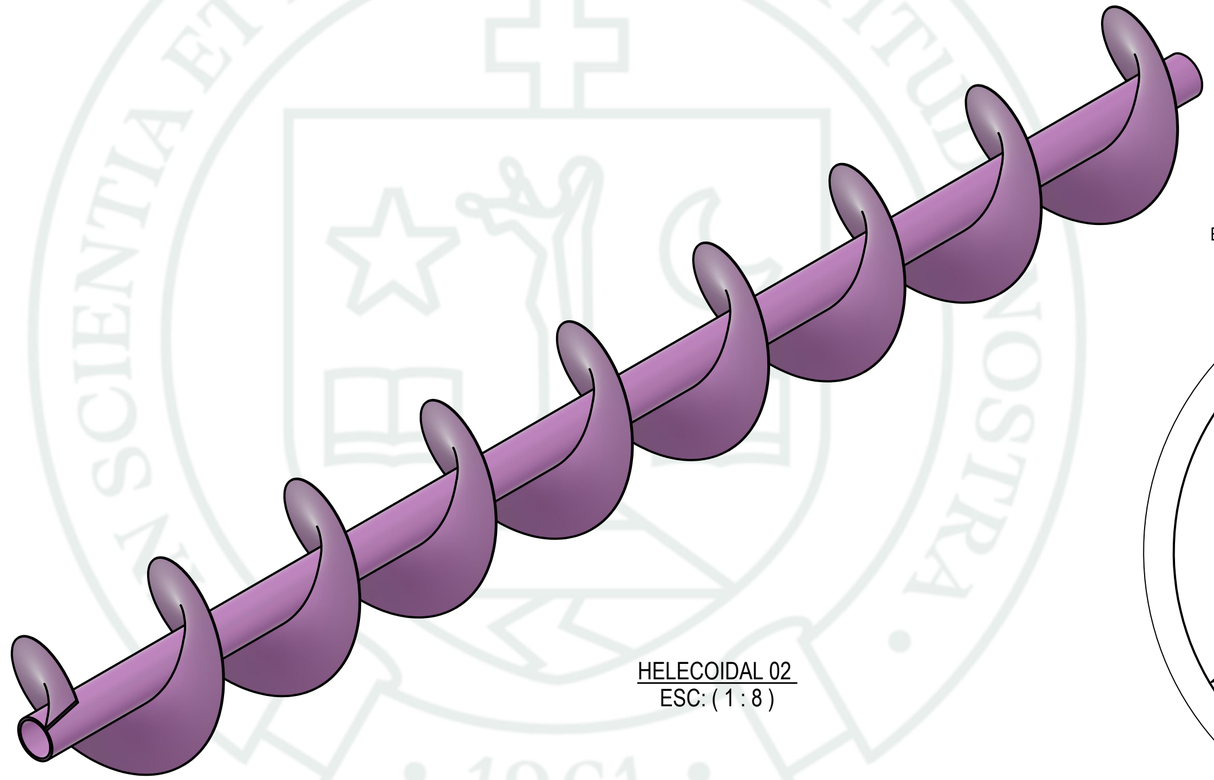
TORNILLO HELICOIDAL 25 TON/HR		Material: Acero inoxidable AISI 304	Dimensiones en mm.
Elaborado por: Luis Huallparimachi	Fecha: 08/07/2026	Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,Mecánica-Electrica y Mecatrónica	
Revisado por: Frank Ramos	Fecha: 08/07/2026		
Codigo De Plano: UCSM-2026-TOR_HEL-DWG-MEC-0016			
Escala: Indicada	TORNILLO HELECOIDAL TIPO 01		Pagina: 16 Rev. 0



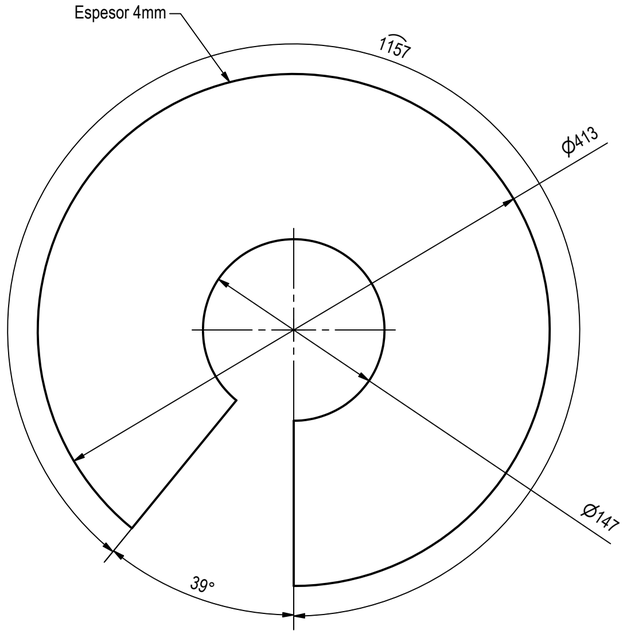
FRONTAL
ESC: (1 : 6)



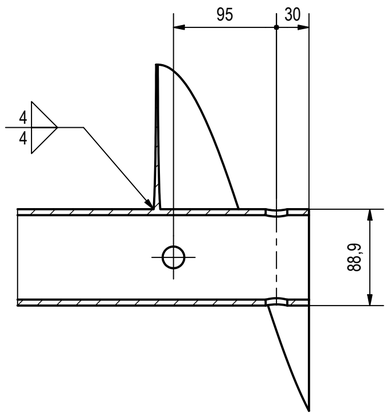
DETALLE: N
ESC:(1 : 4)



HELECOIDAL 02
ESC: (1 : 8)

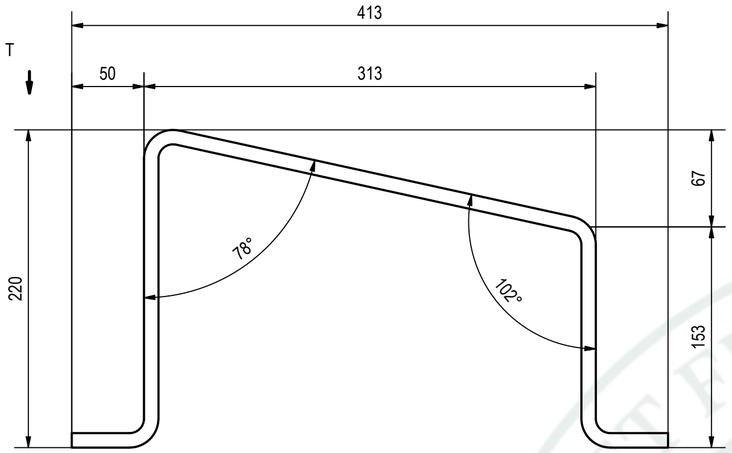


HELICOIDAL SECCIONAL
ESC: (1 : 3.5)

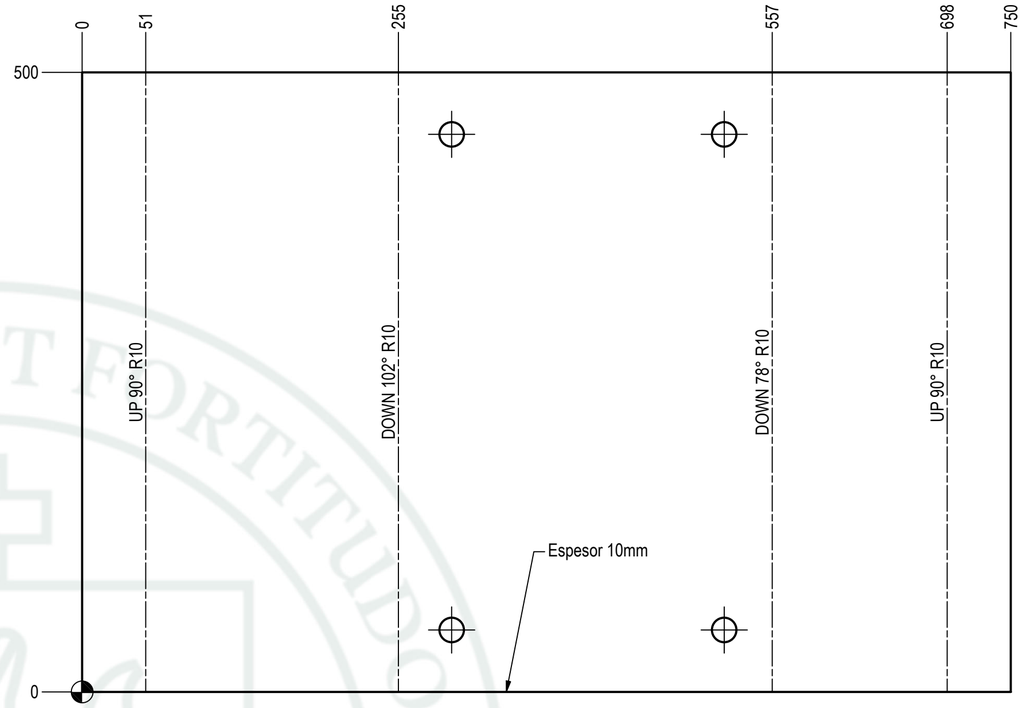


SECCIÓN:P-P
ESC:(1 : 4)

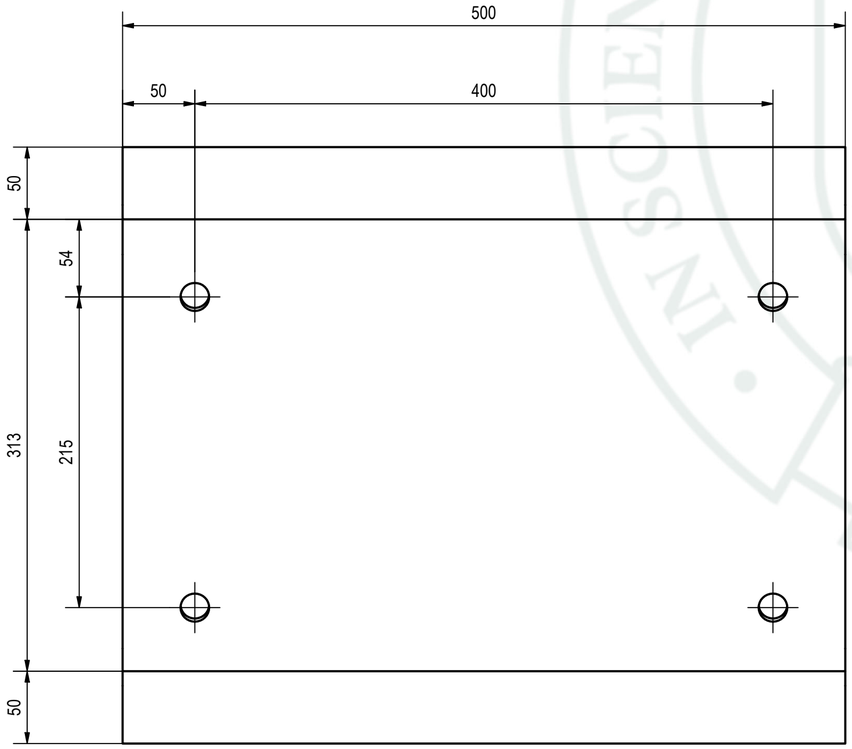
TORNILLO HELICOIDAL 25 TON/HR		Material: Acero ASTM A36	Dimensiones en mm.
Elaborado por: Luis Huallparimachi	Fecha: 08/07/2026	Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,Mecánica-Electrica y Mecatrónica	
Revisado por: Frank Ramos	Fecha: 08/07/2026		
Codigo De Plano: UCSM-2026-TOR_HEL-DWG-MEC-0017			
Escala: Indicada	TORNILLO HELECOIDAL TIPO 02		Pagina: 17 Rev. 0



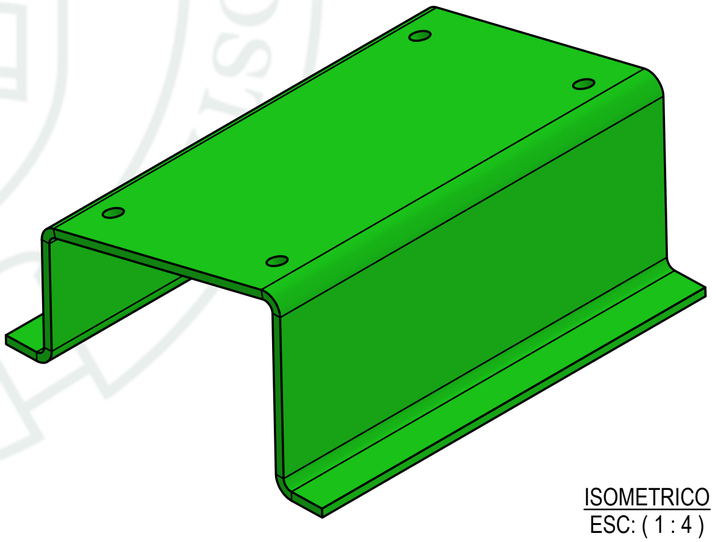
VIEW4
ESC: (1 : 3)



DESARROLLO
ESC: (1 : 3.5)

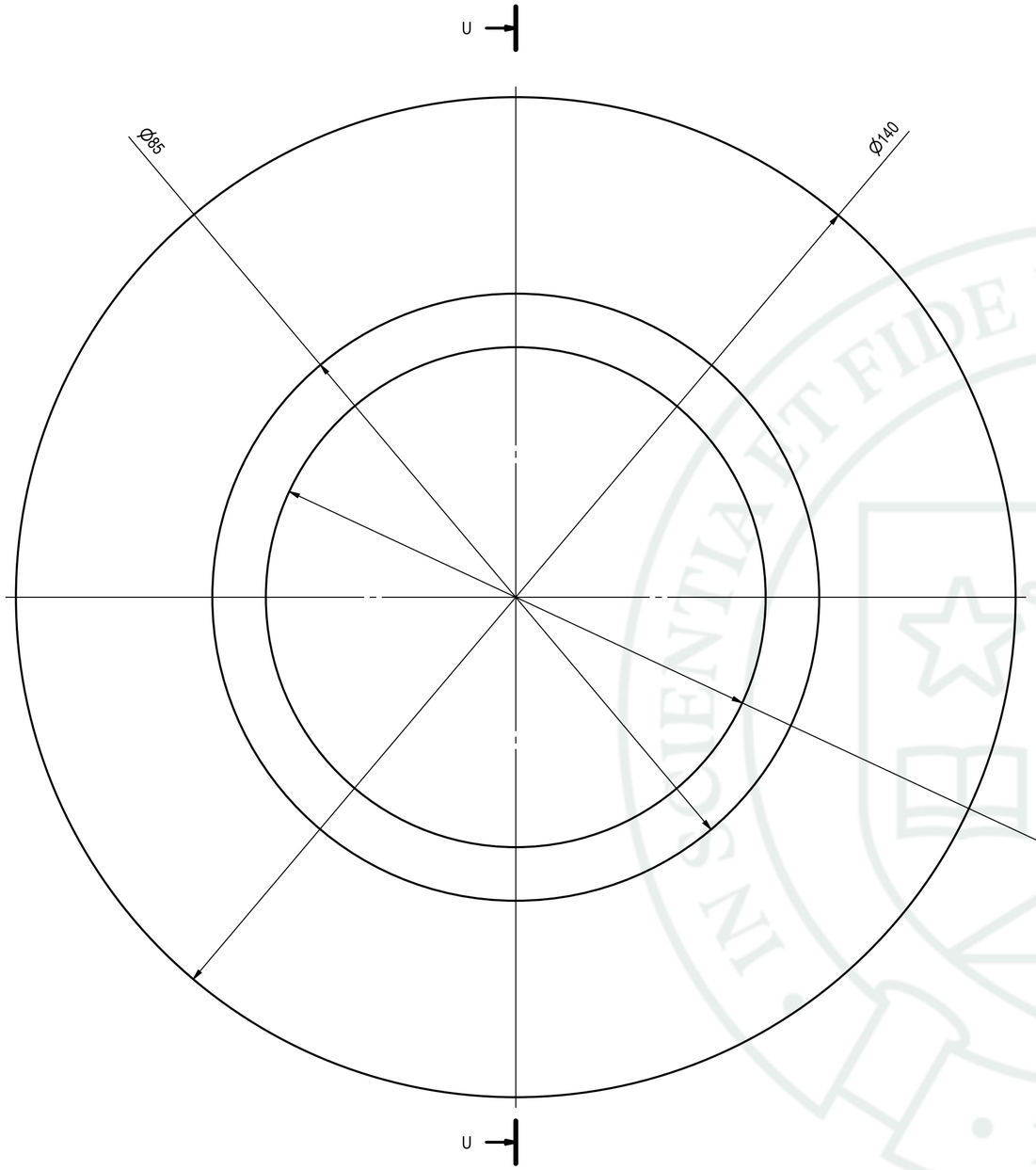


T
ESC: (1 : 3)

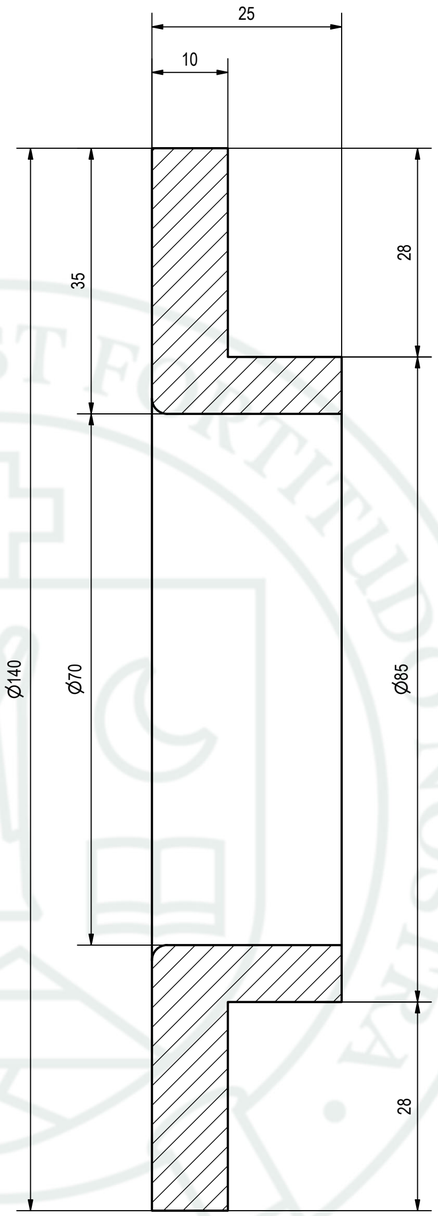


ISOMETRICO
ESC: (1 : 4)

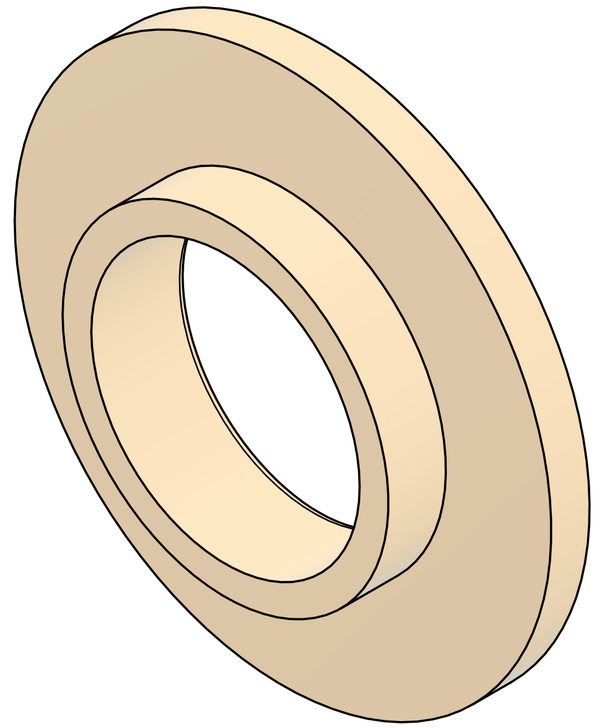
TORNILLO HELICOIDAL 25 TON/HR		Material: Acero ASTM A36	Dimensiones en mm.
Elaborado por: Luis Huallparimachi	Fecha: 08/07/2026	Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,Mecánica-Electrica y Mecatrónica	
Revisado por: Frank Ramos	Fecha: 08/07/2026		
Codigo De Plano: UCSM-2026-TOR_HEL-DWG-MEC-0018			
Escala: Indicada	SOPORTE BASE MOTOR		Pagina: 18 Rev. 0



FRONTAL
ESC: (1.75 : 1)



SECCIÓN:U-U
ESC:(1.75 : 1)

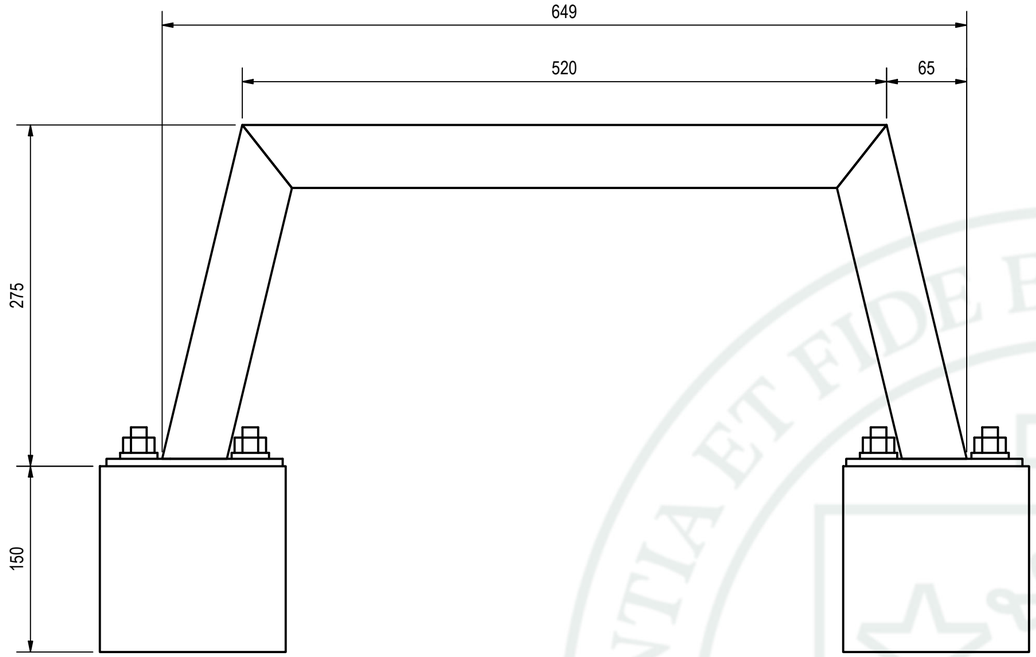


ISOMETRICO
ESCALA: 1.25 : 1

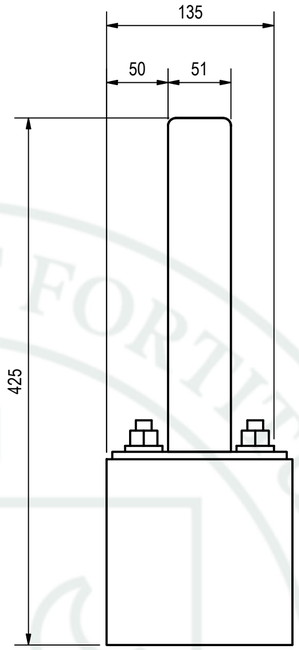
TORNILLO HELICOIDAL 25 TON/HR		Material: PTFE	Dimensiones en mm.
Elaborado por: Luis Huallparimachi	Fecha: 08/07/2026	Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingenieria Mecánica,Mecánica-Electrica y Mecatrónica	
Revisado por: Frank Ramos	Fecha: 08/07/2026		
Codigo De Plano: UCSM-2026-TOR_HEL-DWG-MEC-0019			
Escala: Indicada	SELLO ANTI POLVO		Pagina: 19 Rev. 0

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.
5	HIL-001	PERNO HILTING	8
4	ET1-TB2	TUBO 2"x2"x1/8"	1
3	ET1-TB1	TUBO 2"x2"x1/8"	2
2	ET1-PL1	PLANCHA BASE	2
1	CON-001	DADO CONCRETO	2

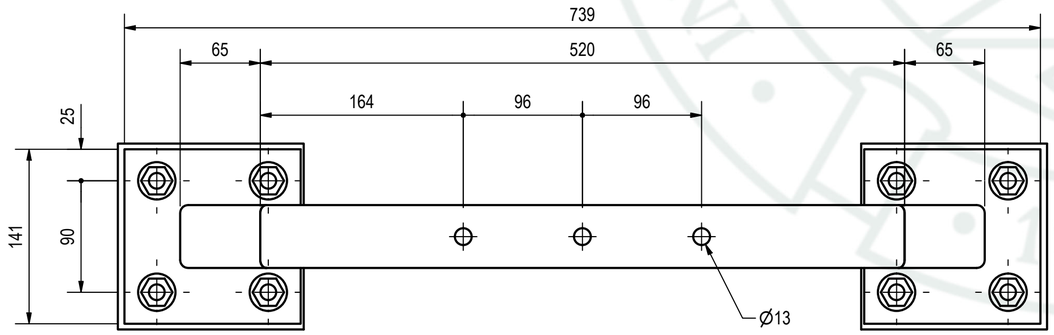
PARTS LIST

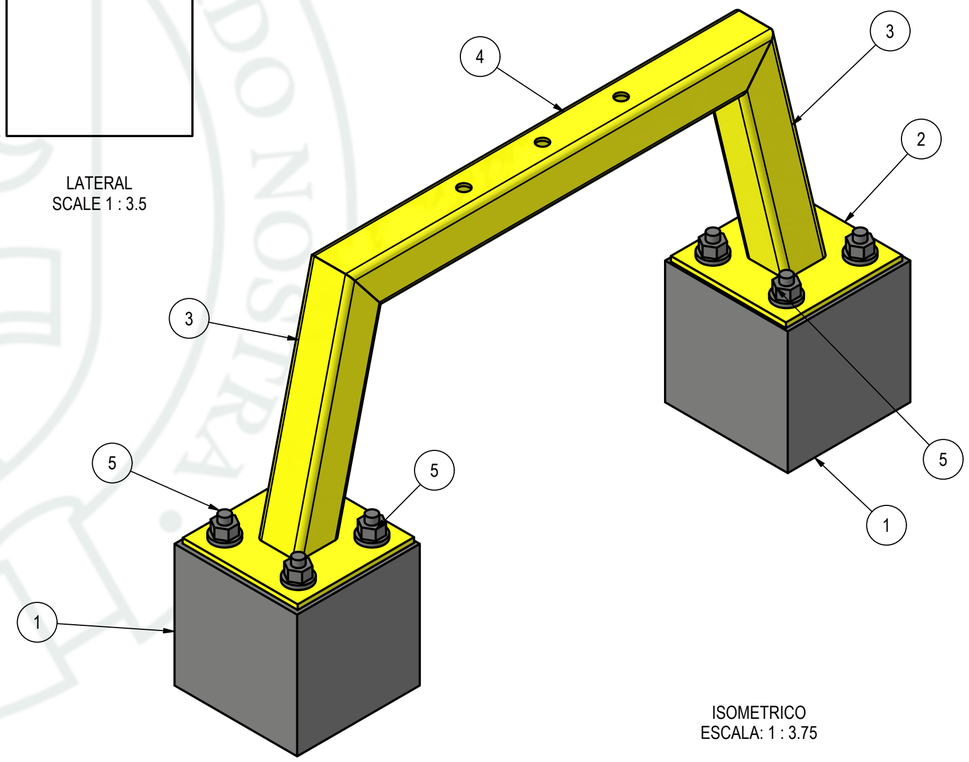


SOPORTE 01
ESCALA: 1 : 3.5



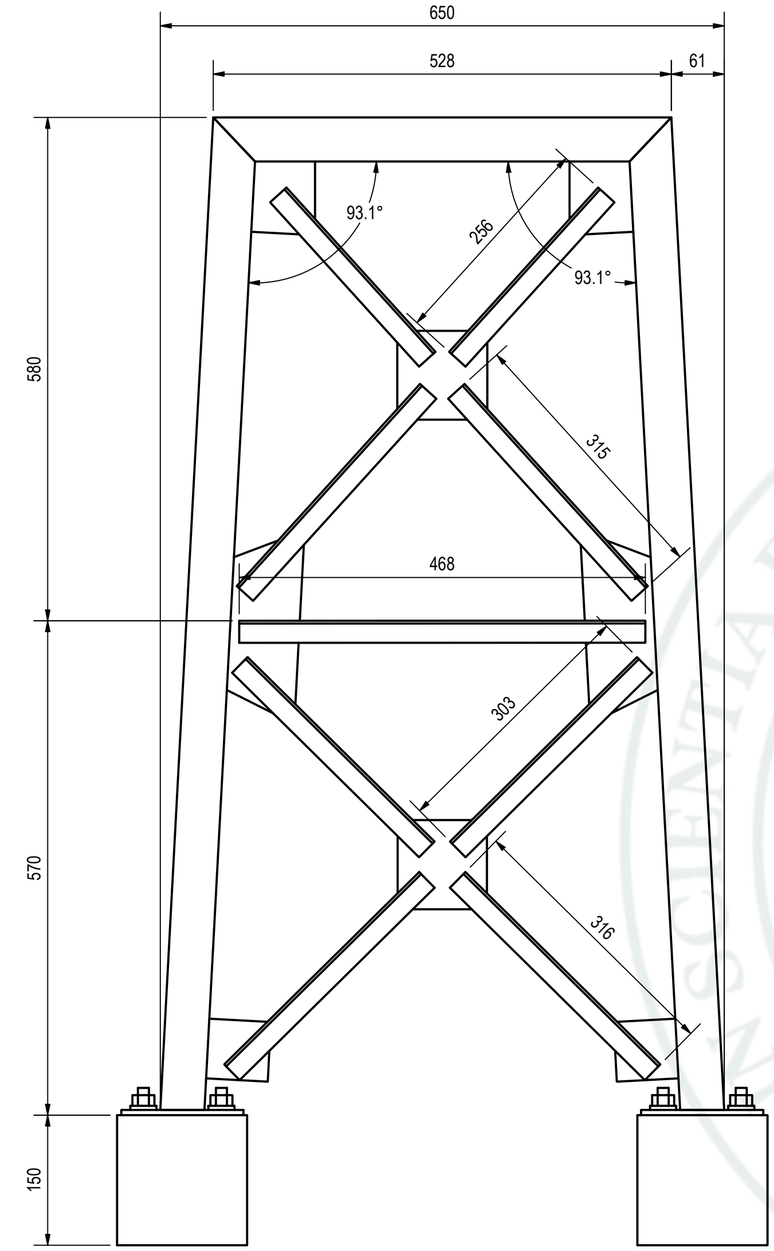
LATERAL
SCALE 1 : 3.5



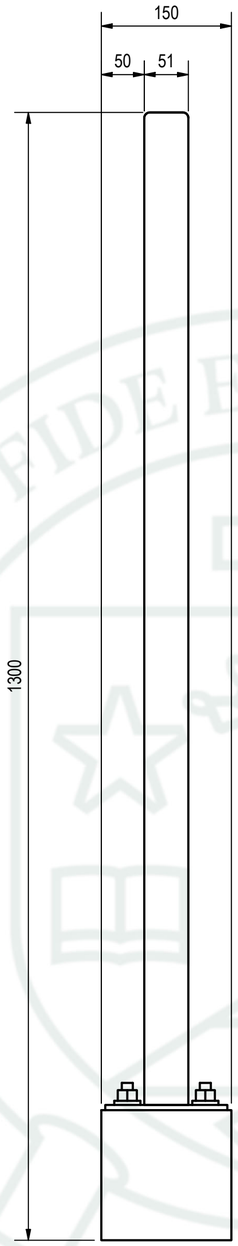


ISOMETRICO
ESCALA: 1 : 3.75

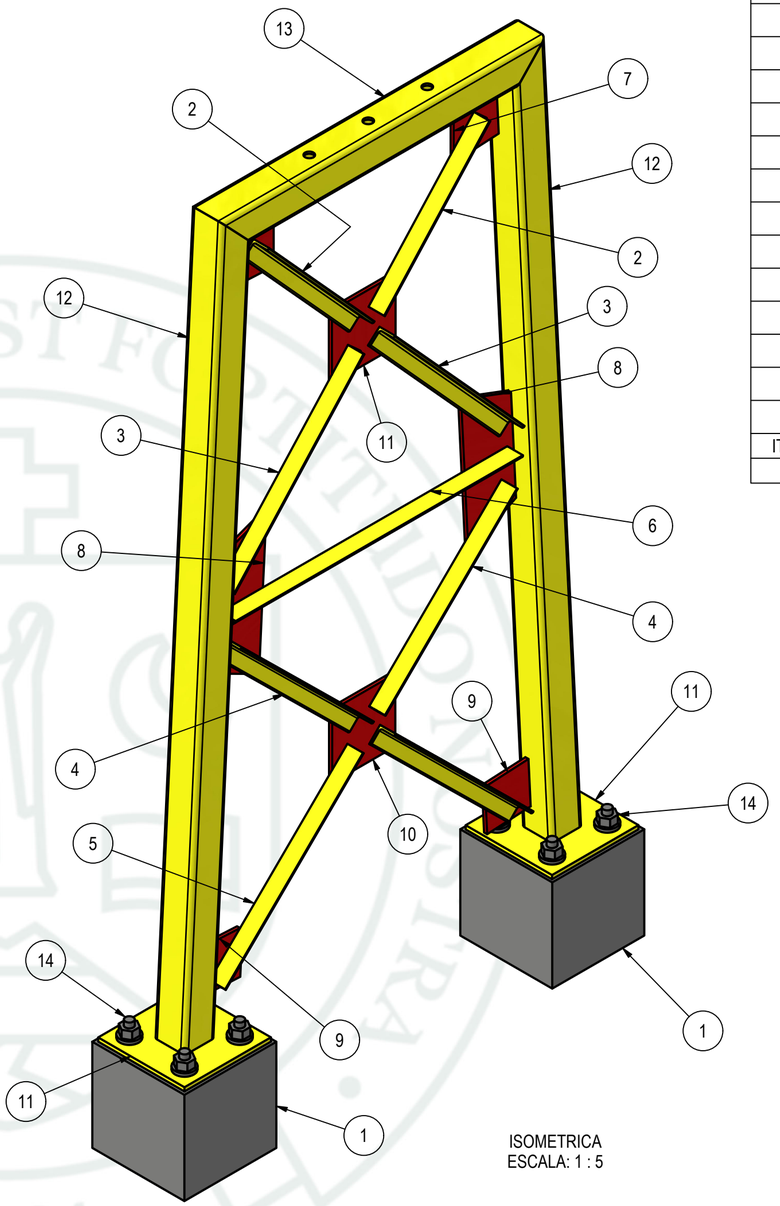
TORNILLO HELICOIDAL 25 TON/HR		Material:	Dimensiones en mm.
Elaborado por: Luis Huallparimachi	Fecha: 08/07/2026	Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,Mecánica-Electrica y Mecatrónica	
Revisado por: Frank Ramos	Fecha: 08/07/2026		
Codigo De Plano: UCSM-2026-TOR_HEL-DWG-MEC-0020			
Escala: Indicada	ESTRUCTURA SOPORTE 01		Pagina: 20 Rev. 0



FRONTAL
ESCALA: 1 : 5



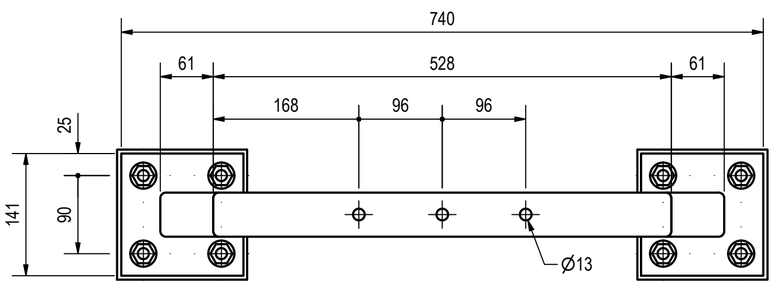
LATERAL
SCALE 1 : 5



ISOMETRICA
ESCALA: 1 : 5

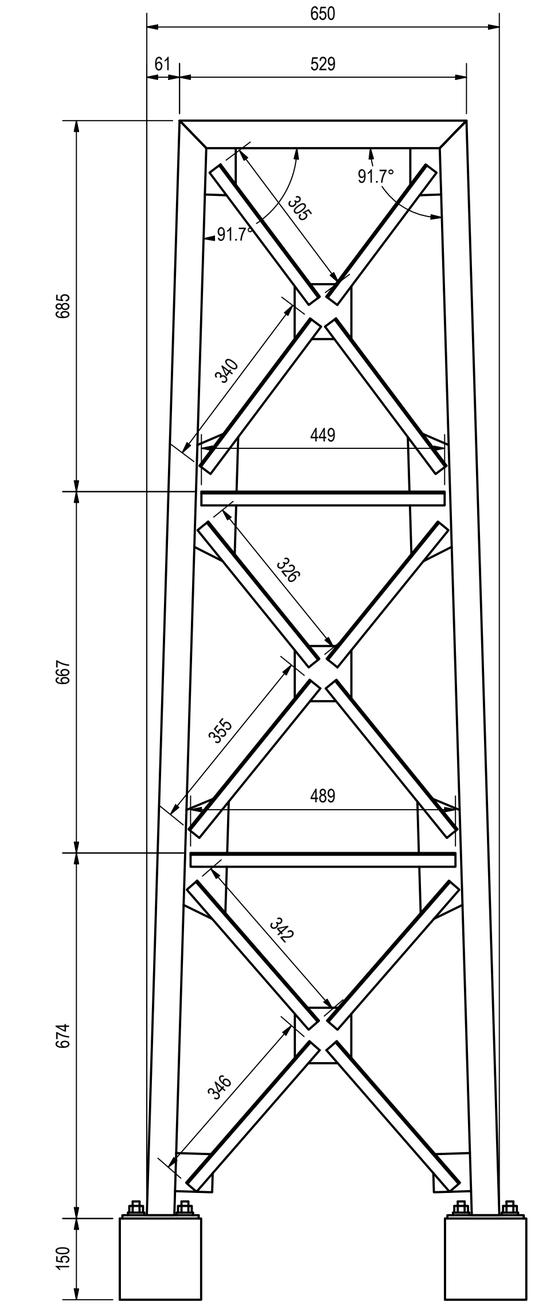
ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.
14	HIL-002	PERNO HILTING	8
13	ET2-TB2	TUBO 2"x2"x1/8"	1
12	ET2-TB1	TUBO 2"x2"x1/8"	2
11	ET2-PL5	CARTELA 05	3
10	ET2-PL4	CARTELA 04	1
9	ET2-PL3	CARTELA 03	2
8	ET2-PL2	CARTELA 02	2
7	ET2-PL1	CARTELA 01	2
6	ET2-AN5	ANG. 1"x1"x1/8"	1
5	ET2-AN4	ANG. 1"x1"x1/8"	2
4	ET2-AN3	ANG. 1"x1"x1/8"	2
3	ET2-AN2	ANG. 1"x1"x1/8"	2
2	ET2-AN1	ANG. 1"x1"x1/8"	2
1	CON-001	DADO CONCRETO	2

PARTS LIST



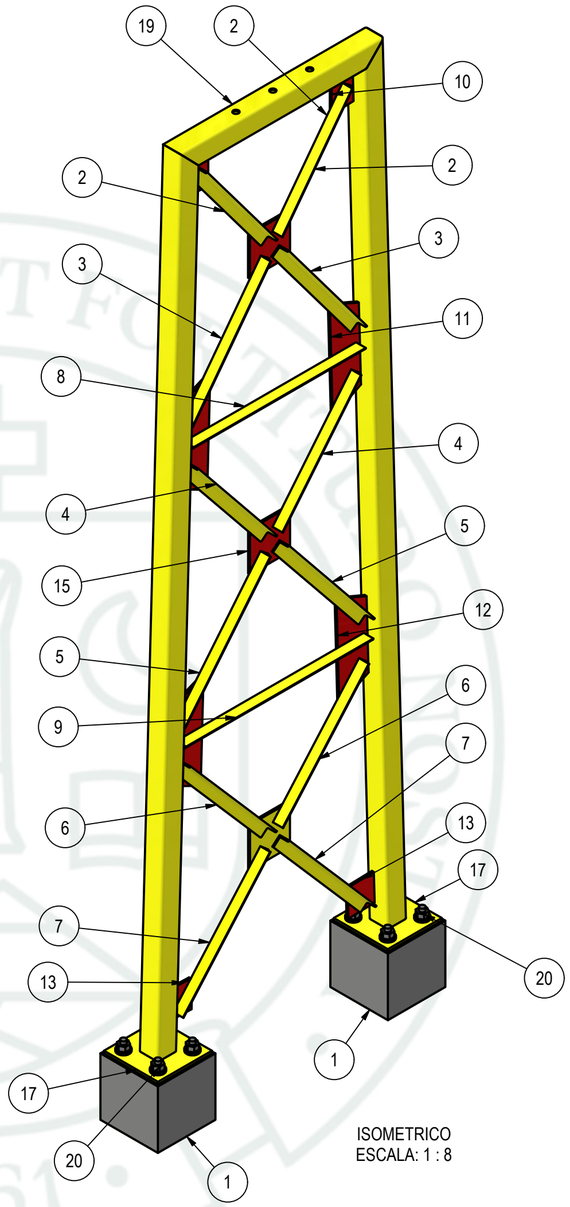
ALZADA
SCALE 1 : 5

TORNILLO HELICOIDAL 25 TON/HR		Material:	Dimensiones en mm.
Elaborado por: Luis Huallparimachi	Fecha: 08/07/2026	Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,Mecánica-Electrica y Mecatrónica	
Revisado por: Frank Ramos	Fecha: 08/07/2026		
Codigo De Plano: UCSM-2026-TOR_HEL-DWG-MEC-0021			
Escala: Indicada	ESTRUCTURA SOPORTE 02		Pagina: 21 Rev. 0



FRONTAL
ESCALA: 1 : 8

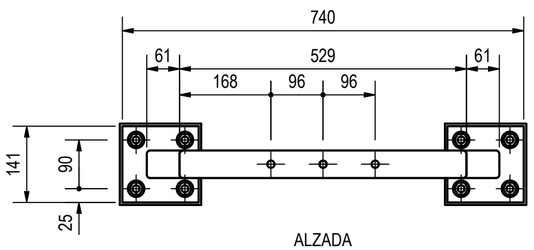
LATERAL
SCALE 1 : 8



ISOMETRICO
ESCALA: 1 : 8

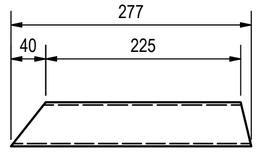
ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.
20	HIL-003	PERNO HILTING	8
19	ET3-TB2	TUBO 2"x2"x1/8"	1
18	ET3-TB1	TUBO 2"x2"x1/8"	2
17	ET3-PL8	PLANCHA BASE	2
16	ET3-PL7	CARTELA	1
15	ET3-PL6	CARTELA	1
14	ET3-PL5	CARTELA	1
13	ET3-PL4	CARTELA	2
12	ET3-PL3	CARTELA	2
11	ET3-PL2	CARTELA	2
10	ET3-PL1	CARTELA	2
9	ET3-AN8	ANG. 1"x1"x1/8"	1
8	ET3-AN7	ANG. 1"x1"x1/8"	1
7	ET3-AN6	ANG. 1"x1"x1/8"	2
6	ET3-AN5	ANG. 1"x1"x1/8"	2
5	ET3-AN4	ANG. 1"x1"x1/8"	2
4	ET3-AN3	ANG. 1"x1"x1/8"	2
3	ET3-AN2	ANG. 1"x1"x1/8"	2
2	ET3-AN1	ANG. 1"x1"x1/8"	2
1	CON-003	DADO CONCRETO	2

PARTS LIST

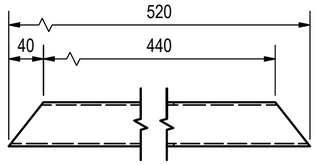


ALZADA
SCALE 1 : 8

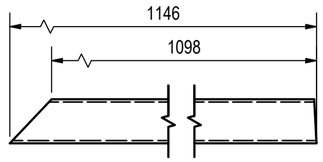
TORNILLO HELICOIDAL 25 TON/HR		Material:	Dimensiones en mm.
Elaborado por: Luis Huallparimachi	Fecha: 08/07/2026	Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,Mecánica-Electrica y Mecatrónica	
Revisado por: Frank Ramos	Fecha: 08/07/2026		
Codigo De Plano: UCSM-2026-TOR_HEL-DWG-MEC-0022			
Escala: Indicada	ESTRUCTURA SOPORTE 03		Pagina: 22 / Rev. 0



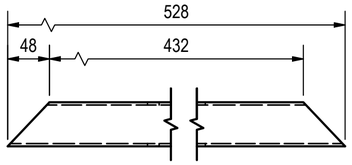
V. FRONTAL: **ET1-TB1**
CANTIDAD: 02 UNDS.
MATERIAL: TUBO 2"x2"x1/8"
ESC.: 1 / 5



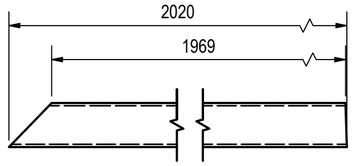
V. FRONTAL: **ET1-TB2**
CANTIDAD: 01 UNDS.
MATERIAL: TUBO 2"x2"x1/8"
ESC.: 1 / 5



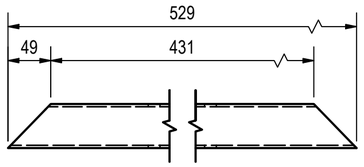
V. FRONTAL: **ET2-TB1**
CANTIDAD: 02 UNDS.
MATERIAL: TUBO 2"x2"x1/8"
ESC.: 1 / 5



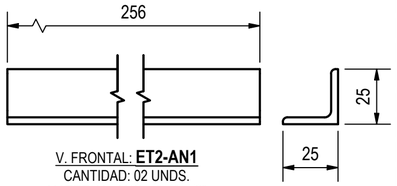
V. FRONTAL: **ET2-TB2**
CANTIDAD: 01 UNDS.
MATERIAL: TUBO 2"x2"x1/8"
ESC.: 1 / 5



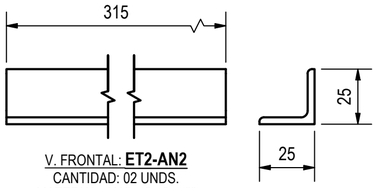
V. FRONTAL: **ET3-TB1**
CANTIDAD: 02 UNDS.
MATERIAL: TUBO 2"x2"x1/8"
ESC.: 1 / 5



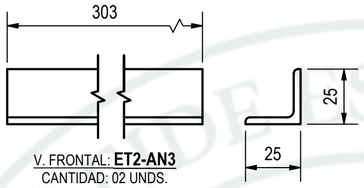
V. FRONTAL: **ET3-TB2**
CANTIDAD: 01 UNDS.
MATERIAL: TUBO 2"x2"x1/8"
ESC.: 1 / 5



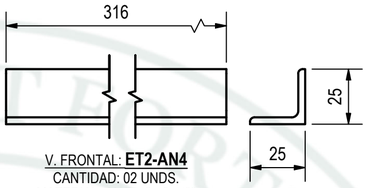
V. FRONTAL: **ET2-AN1**
CANTIDAD: 02 UNDS.
MATERIAL: ANG. 1"x1"x1/8"
ESC.: 1 / 2



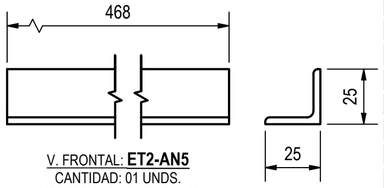
V. FRONTAL: **ET2-AN2**
CANTIDAD: 02 UNDS.
MATERIAL: ANG. 1"x1"x1/8"
ESC.: 1 / 2



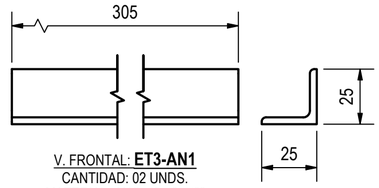
V. FRONTAL: **ET2-AN3**
CANTIDAD: 02 UNDS.
MATERIAL: ANG. 1"x1"x1/8"
ESC.: 1 / 2



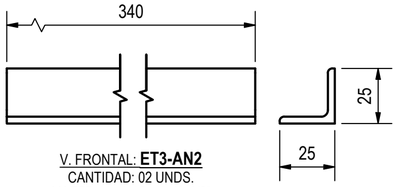
V. FRONTAL: **ET2-AN4**
CANTIDAD: 02 UNDS.
MATERIAL: ANG. 1"x1"x1/8"
ESC.: 1 / 2



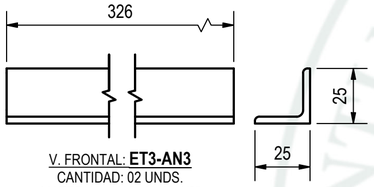
V. FRONTAL: **ET2-AN5**
CANTIDAD: 01 UNDS.
MATERIAL: ANG. 1"x1"x1/8"
ESC.: 1 / 2



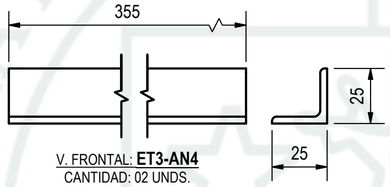
V. FRONTAL: **ET3-AN1**
CANTIDAD: 02 UNDS.
MATERIAL: ANG. 1"x1"x1/8"
ESC.: 1 / 2



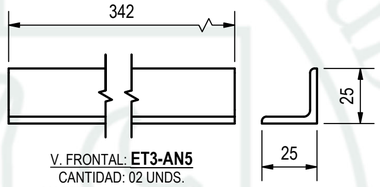
V. FRONTAL: **ET3-AN2**
CANTIDAD: 02 UNDS.
MATERIAL: ANG. 1"x1"x1/8"
ESC.: 1 / 2



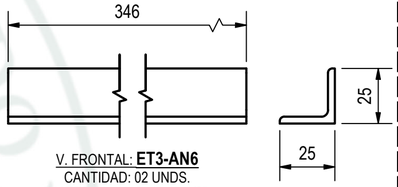
V. FRONTAL: **ET3-AN3**
CANTIDAD: 02 UNDS.
MATERIAL: ANG. 1"x1"x1/8"
ESC.: 1 / 2



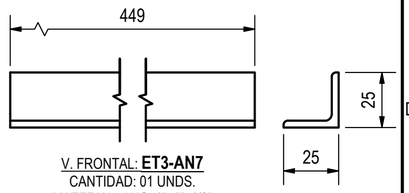
V. FRONTAL: **ET3-AN4**
CANTIDAD: 02 UNDS.
MATERIAL: ANG. 1"x1"x1/8"
ESC.: 1 / 2



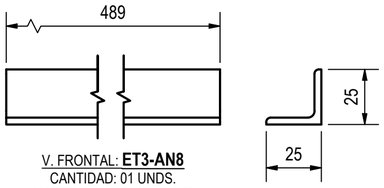
V. FRONTAL: **ET3-AN5**
CANTIDAD: 02 UNDS.
MATERIAL: ANG. 1"x1"x1/8"
ESC.: 1 / 2



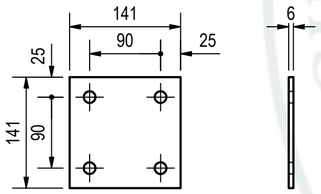
V. FRONTAL: **ET3-AN6**
CANTIDAD: 02 UNDS.
MATERIAL: ANG. 1"x1"x1/8"
ESC.: 1 / 2



V. FRONTAL: **ET3-AN7**
CANTIDAD: 01 UNDS.
MATERIAL: ANG. 1"x1"x1/8"
ESC.: 1 / 2



V. FRONTAL: **ET3-AN8**
CANTIDAD: 01 UNDS.
MATERIAL: ANG. 1"x1"x1/8"
ESC.: 1 / 2



V. FRONTAL: **ET3-PL8**
CANTIDAD: 06 UNDS.
MATERIAL: PLANCHA BASE
ESC.: 1 / 5.5

TORNILLO HELICOIDAL 25 TON/HR		Material: Genérico	Dimensiones en mm.
Elaborado por: Luis Huallparimachi	Fecha: 08/07/2026	Universidad Católica de Santa María Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,Mecánica-Electrica y Mecatrónica	
Revisado por: Frank Ramos	Fecha: 08/07/2026		
Codigo De Plano: UCSM-2026-TOR_HEL-DWG-MEC-0023			
Escala: Indicada	HABILITADO PARA ESTRUCTURAS SOPORTE		Pagina: 23 Rev. 0