

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica

**OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE MOLIENDA MEDIANTE
UNA FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DE UNA FAJA
TRANSPORTADORA EN LA PLANTA DE
BENEFICIO DE LA JOYA MINING**

TESIS

Presentada por:

Bach. Michael Jhon Ruiz Gordon

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO MECÁNICO

TACNA - PERU

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica

**OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE MOLIENDA MEDIANTE
UNA FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DE UNA FAJA
TRANSPORTADORA EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE LA
JOYA MINING**

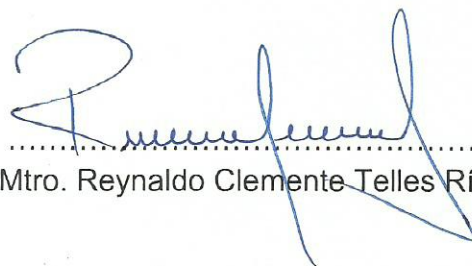
Tesis sustentada y aprobada el 05 de setiembre del 2025, estando el
Jurado Calificador integrado por:

PRESIDENTE



.....
Dr. Avelino Godofredo Pari Pinto

1er. MIEMBRO
(SECRETARIO)



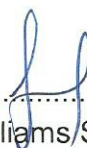
.....
Mtro. Reynaldo Clemente Telles Ríos

2do. MIEMBRO
(VOCAL)



.....
Dr. Williams Sergio Almanza Quispe

ASESOR



.....
Dr. Williams Sergio Almanza Quispe

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Williams Sergio Almanza Quispe, en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N°08089-2023-FAIN/UNJBG de la tesis titulada:

“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE MOLIENDA MEDIANTE UNA FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DE UNA FAJA TRANSPORTADORA EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE LA JOYA MINING”, presentada por el Bachiller RUIZ GORDON MICHAEL JHON con código N° (2013-39190), para optar título profesional de Ingeniero de Mecánico.

Que, habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del **software de similitud textual TURNITIN** cuenta con el **nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 6 %** Por lo que, **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis enunciada líneas arriba, la cual está expedita para continuar con los trámites para la obtención de título profesional, según corresponda .consiguientemente la publicación en el repositorio institucional.

Tacna, 09 octubre 2025



FIRMA ASESOR

Nombres y apellidos: WILLIAMS SERGIO ALMANZA QUISPE

ORCID: 0000-0003-0812-7834

DNI: 44369780



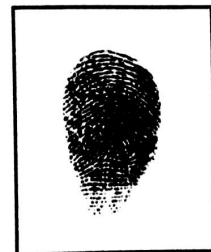
Huella digital



FIRMA TESISTA

Nombres y apellidos: Michael Jhon Ruiz Gordon

DNI: 61170048



Huella digital

DEDICATORIA

A Dios,

por darme la fortaleza para enfrentar situaciones adversas e iluminar ese largo sendero de la vida.

A mi padre,

quien me ha inculcado el valor de la perseverancia, valor que me ha ayudado para seguir bregando con optimismo y temple.

A mi madre,

quien me ha enseñado a valorar las cosas a partir del esfuerzo que ponemos en todo lo que hacemos.

AGRADECIMIENTO

A Rocío y a Carlos,

por el amor, la dedicación y los valores inculcados día a día.

A todos mis amigos y compañeros de estudio,

por su apoyo constante e incondicional durante este periodo de formación académica.

ÍNDICE TEMÁTICO

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE TEMÁTICO	4
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1. Antecedentes del problema a investigar	14
1.2. Descripción del problema	14
1.3. Formulación del problema	15
1.3.1 Problema General	15
1.3.2. Problemas Específicos	15
1.4. Objetivos de la investigación (general y específicos)	15
1.4.1. Objetivo General	15
1.4.2. Objetivos Específicos	16
1.5. Justificación e importancia de la investigación.	16
1.5.1. Justificación	16
1.5.2. Importancia	17
1.6. Limitaciones	17
1.7. Viabilidad del estudio	17
1.7.1. Viabilidad técnica	17
1.7.2. Viabilidad económica	17
1.8. Formulación de hipótesis	18
1.9. Variables (Independientes, dependientes y restrictivas)	18
1.9.1. Variable independiente: Fabricación de la Faja Transportadora	18
1.9.2. Variable dependiente: Mejoramiento de Indicadores de Producción y Mantenimiento.	18
1.10. Operacionalización de variables (Indicadores y dimensiones)	18
1.10.1. Definición Operacional de las Variables Independientes	18
1.10.1.1. <i>Indicadores:</i>	18
1.10.1.2. <i>Técnicas e Instrumentos para obtención de Datos</i>	18
1.10.2. Definición Operacional de las Variables Dependientes:	19
1.10.2.1. <i>Indicadores:</i>	19
1.10.2.2. <i>Técnicas e Instrumentos para Obtención de Datos:</i>	19
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	20
2.1 Antecedentes del trabajo de investigación	20
2.1.1 Antecedentes	20
2.2 Bases teóricas	25
2.2.1 Circuito de Molienda	25

2.2.2 Volumen en las Fajas.....	27
2.2.3 Elección de Fajas Transportadoras.....	28
2.2.4 Velocidad de Bandas Transportadoras.....	29
2.2.5 Tensión de Bandas Transportadoras.....	31
2.2.6 Distancias a Ejes de Tambores.....	32
2.2.7 Diámetros de Tambores.....	32
2.2.8 Motor eléctrico en fajas transportadoras.....	33
2.2.9 Flexibilidad en los Tambores.....	35
2.2.10 Motor de la Transmisión.....	36
2.2.11 Viscosidad.....	37
2.2.12 Importancia de la Viscosidad en la Molienda.....	37
2.2.13 Factores que Afectan la Viscosidad.....	38
2.2.14 Estrategias para Controlar la Viscosidad.....	38
2.2.15 Temperatura.....	38
2.2.16 Efectos de la Temperatura en la Molienda.....	39
2.2.17 Impacto en la Liberación de Minerales.....	39
2.2.18 Consideraciones para el Control de Temperatura.....	39
2.2.19 Acción Química.....	39
2.2.20 Interacción entre Minerales y Reactivos.....	40
2.2.21 Efectos en la Eficiencia de Molienda.....	40
2.2.22 Monitoreo y Control de la Acción Química.....	40
2.2.23 Materiales de Masas Grandes.....	41
2.2.24 Propiedades de los Materiales de Masas Grandes.....	41
2.2.25 Impacto en el Proceso de Molienda.....	41
2.2.26 Estrategias para el Manejo de Materiales de Masas Grandes.....	41
2.2.27 Ángulos de Inclinación.....	42
2.2.28 Perfiles Utilizados.....	44
2.2.29 Componentes expuestos a Tensión.....	44
2.2.29.1 Carga Axial.....	44
2.2.29.2 Análisis de Esfuerzos Flexionantes.....	45
2.2.29.3 Análisis de Fuerza Cortante.....	47
2.2.30 Método de la Sección Transformada.....	48
2.2.31 Centro de Cortante.....	49
2.2.32 Definición y Relevancia del Centro de Cortante.....	50
2.2.33 Aplicaciones en Procesos de Molienda.....	50
2.2.34 Implicaciones en el Diseño de Equipos.....	50
2.2.35 Conexiones Empernadas.....	51
2.2.36 Placa Base.....	52
2.2.37 Empalmes en las Bandas.....	53
2.2.38 Selección del Motor Eléctrico.....	56
2.2.39 Criterios para la Selección del Motor.....	56
2.2.40 Tipos de Motores Eléctricos.....	56

2.2.41 Eficiencia Energética	57
2.2.42 Mantenimiento y Fiabilidad	57
2.3 Definiciones conceptuales	57
CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO	61
3.1. Planteamiento metodológico	61
3.1.1. Tipo de investigación.....	61
3.1.2. Nivel de investigación	61
3.1.3. Diseño de investigación.....	62
3.2. Población y muestra.....	62
3.3. Equipos y Materiales	63
3.3.1.Equipos	63
3.3.2.Materiales	63
3.4. Justificación del uso de unidades imperiales (pulgadas).....	64
3.5. Procedimiento de las pruebas experimentales	65
3.5.1. Modelamiento Estructural	65
3.5.1.1. <i>Asignación de Cargas</i>	65
3.6. Técnicas de recolección de datos.....	123
Técnicas	123
Instrumentos	123
3.7. Técnicas para el procesamiento de datos	123
3.8. Dimensionamiento de la Faja Transportadora	123
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	137
4.1. Presentación y análisis de los resultados	137
4.1.1. Evaluación Técnica del Sistema de Faja Transportadora	137
4.1.5. Resultados del antes y después de la fabricación de la Faja	154
4.2. Costos en el sistema de instalación de toda la faja transportadora.....	157
4.2. Discusión	161
CONCLUSIONES.....	163
RECOMENDACIONES	165
Referencias	166
Anexos: Planos de la Faja Transportadora.....	169

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de las Variables	19
Tabla 2	Máximos Ángulos Conservativos	42
Tabla 3	Población.....	62
Tabla 4	Componentes de equipos	63
Tabla 5	Materiales utilizados	63
Tabla 6	Descripción de las cargas muertas	66
Tabla 7	Factor de suelo	69
Tabla 8	Clasificación de los perfiles de suelo según el EMS	71
Tabla 9	Categoría de las edificaciones.....	71
Tabla 10	Sistemas estructurales	72
Tabla 11	Cargas de Viento Transversal	79
Tabla 12	Cargas de Viento Longitudinal	79
Tabla 13	Factores de ajuste según el ángulo de sobrecarga y distribución de material.....	93
Tabla 14	Capacidades de las bandas	93
Tabla 15	Velocidades máximas de la banda según el material a transportar.....	94
Tabla 16	Peso estimado de la faja según ancho y material transportado	95
Tabla 17	Factor de ajuste del trozo K1	96
Tabla 18	Factores ambientales y de mantenimiento K2	97
Tabla 19	Factores de servicio K3.....	97
Tabla 20	Factor de corrección de la velocidad de la faja K4	97
Tabla 21	Valores de carga para rodillos CEMA C	98
Tabla 22	Valores WK ² promedio para rodillos de retorno de acero	99
Tabla 23	Espaciamiento normal recomendado para rodillos	99
Tabla 24	Tensión de la faja en rodamientos de poleas	102
Tabla 25	Clasificación de protección IP: Niveles contra sólidos y líquidos.....	108
Tabla 26	Porcentajes de flecha recomendados según ángulo del rodillo y tipo de material.	110
Tabla 27	Factor de arrollamiento para fajas con cubierta de caucho.....	111
Tabla 28	Selección de la calidad de la cubierta de la faja transportadora	114
Tabla 29	Valores de tensión para fajas de pliegue múltiple	115
Tabla 30	Número máximo de pliegues para fajas tipo Múltiple.....	116
Tabla 31	Número mínimo de pliegues para soporte de carga en fajas multiplegado con rodillos de 20.....	117

Tabla 32 Espesor mínimo recomendado de la cubierta para condiciones normales (RMA - Grado 2)	117
Tabla 33 Espesor mínimo recomendado de la cubierta para poleas	118
Tabla 34 Clasificación del rodillo	120
Tabla 35 Diámetros mínimos de poleas para fajas multiplegadas	121
Tabla 36 Anchos recomendados de polea y holguras de la faja	121
Tabla 37 Resumen de Datos Iniciales	126
Tabla 38 Resumen del Cálculo de la velocidad y el ancho de la Faja Transportadora.....	128
Tabla 39 Resumen de Tensiones y Potencias	132
Tabla 40 Resumen del Sistema de Accionamiento	136
Tabla 41 Comparativa del MTBF de Molienda: Años 2023 y 2024	149
Tabla 42 Comparativa del MTTR Mensual entre 2023 y 2024	150
Tabla 43 Comparativa de la disponibilidad Mecánica de Molienda Mensual entre 2023 y 2024.....	152
Tabla 44 Comparativa de la disponibilidad Física de Molienda Mensual entre 2023 y 2024	153
Tabla 45 Indicadores Antes y Después de la Implementación de la Faja Transportadora ...	155
Tabla 46 Cotización de Servicio de Suministro, Fabricación e Instalación de Faja Transportadora	158

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Transferencia de movimiento en la cabeza y transferencia separada.....	26
Figura 2	Transferencia de movimiento en la cabeza y transferencia separada.....	26
Figura 3	Material en Faja Transportadora	28
Figura 4	Selección de Bandas Transportadoras.....	29
Figura 5	Tensión de Bandas Transportadoras.....	31
Figura 6	Distancia a ejes de rodillos.....	32
Figura 7	Flexibilidad en las Poleas.....	36
Figura 8	Ángulo y Longitud de la Pendiente.....	43
Figura 9	Tipos de Perfiles para Columnas.....	44
Figura 10	Estudio de Curvatura de Vigas.....	45
Figura 11	Diagrama de Fabricación.....	46
Figura 12	Análisis de la Fuerza Cortante.....	47
Figura 13	Tipos de Vigas.....	48
Figura 14	Deformaciones de Esfuerzo Cortante.....	48
Figura 15	Perno con Hilo Exterior del Plano Cortante.....	51
Figura 16	Unión Sobrepuesta y de Tope	52
Figura 17	Planchas Base.....	52
Figura 18	Tendencia de Placa.....	53
Figura 19	Empalme Vulcanizado	54
Figura 20	Empalme Mecánico.....	55
Figura 21	Cargas vivas mínimas para techos (Artículo 7.1).....	66
Figura 22	Estados de viento.....	67
Figura 23	Factores de Zona sísmica	70
Figura 24	Espectro de aceleraciones en SAP.....	76
Figura 25	Diagrama de flujo para el diseño y cálculo estructural	77
Figura 26	Cargas muertas por peso de barandas (60 kg/m).....	78
Figura 27	Configuración de cargas sísmicas Response Spectrum en SAP2000.....	81
Figura 28	Configuración de códigos de diseño LRFD en SAP2000	82
Figura 29	Modelo 3D de elementos frame en SAP2000	84
Figura 30	Diagrama de Momentos Flectores.....	85
Figura 31	Diagrama de Fuerzas Cortantes.....	86
Figura 32	Diagrama de Fuerzas Axiales.....	87

Figura 33	Parámetros de diseño estructural bajo el código AISC LRFD en SAP2000.....	88
Figura 34	Diseño de Estructura soporte.....	89
Figura 35	Reporte de columna TS ¼"x4"x4".....	90
Figura 36	Reporte de arriostre L 3/16"x 21/2"x21/2".....	92
Figura 37	Diagrama de flujo para cálculo de potencia y selección del motor.....	105
Figura 38	Diagrama de flujo para el cálculo de tensiones en la faja transportadora.....	109
Figura 39	Diagrama de flujo para la selección de la faja transportadora.....	113
Figura 40	Diagrama de flujo para el cálculo y selección de poleas.....	119
Figura 41	Programación de actividades.....	140
Figura 42	Curva S.....	142
Figura 43	Disponibilidad Mecánica Anual.....	144
Figura 44	Disponibilidad Mecánica por áreas.....	145
Figura 45	Disponibilidad de la Planta por meses.....	146
Figura 46	Número de intervenciones por tipo de mantenimiento.....	147
Figura 47	Total de horas trabajadas y N° de intervenciones.....	148

RESUMEN

La presente investigación aborda la optimización del sistema de molienda en la planta de Beneficio Joya Mining SAC mediante la fabricación e instalación de una faja transportadora, con el propósito de mejorar los indicadores de producción y mantenimiento, garantizando una operación más eficiente, continua y sostenible en el procesamiento de minerales. El estudio comenzó con el análisis del proceso actual de molienda y transporte, identificando limitaciones operativas que generaban tiempos muertos y disminuían la disponibilidad mecánica. A partir de este diagnóstico, se diseñó e implementó una faja transportadora bajo las normas internacionales CEMA, asegurando la selección adecuada de perfiles estructurales y componentes mecánicos. Además, se inició un procedimiento de instalación secuencial respetando las capacidades y tolerancias permitidas, lo que contribuyó a un montaje seguro y eficiente. La implementación del nuevo sistema permitió mejoras significativas en los indicadores clave. El MTBF aumentó de 5,78 horas a 27,52 horas en junio, y la disponibilidad mecánica pasó de 57,78% a 91,74% en el mismo periodo. Asimismo, el MTTR se redujo de 4.22 horas a 2.48 horas, mientras que la disponibilidad física alcanzó el 100% en diciembre, consolidando la efectividad del sistema implementado. Estos resultados confirman que la instalación de una faja transportadora no solo incrementó la capacidad operativa, sino que también optimizó los procesos de mantenimiento, reduciendo costos y tiempos de inactividad. En conclusión, la presente investigación valida la importancia de aplicar soluciones tecnológicas y metodológicas adecuadas para incrementar la productividad y sostenibilidad en las operaciones mineras.

Palabras Claves: Disponibilidad mecánica, Faja transportadora, Indicadores de mantenimiento, Molienda, Optimización.

ABSTRACT

This research addresses the optimization of the milling system at the Joya Mining SAC mill through the manufacture and installation of a conveyor belt, with the purpose of improving production and maintenance indicators, ensuring a more efficient, continuous and sustainable operation in mineral processing. The study began with the analysis of the current milling and conveying process, identifying operational limitations that generated downtime and reduced mechanical availability. Based on this diagnosis, a conveyor belt was designed and implemented under CEMA international standards, ensuring the proper selection of structural profiles and mechanical components. In addition, a sequential installation procedure was initiated, respecting the permitted capacities and tolerances, which contributed to a safe and efficient assembly. The implementation of the new system led to significant improvements in key indicators. MTBF increased from 5.78 hours to 27.52 hours in June, and mechanical availability increased from 57.78% to 91.74% in the same period. Likewise, the MTTR was reduced from 4.22 hours to 2.48 hours, while physical availability reached 100% in December, consolidating the effectiveness of the implemented system. These results confirm that the installation of a conveyor belt not only increased operational capacity, but also optimized maintenance processes, reducing costs and downtime. In conclusion, this work validates the importance of applying appropriate technological and methodological solutions to increase productivity and sustainability in mining operations.

Keywords: Mechanical availability, Conveyor belt, Maintenance indicators, Milling, Optimization.

INTRODUCCIÓN

Toda empresa tiende a poner como prioridad expandirse a nuevos mercados o aumentar su productividad, siempre y cuando se cumplan los requerimientos establecidos por el estado y el cliente, en relación a la cantidad y calidad. La Empresa Joya Mining S.A.C. no es ajena a esta realidad.

La optimización del sistema de molienda abarca varios procesos, sin embargo, se personaliza acorde a las exigencias de cada empresa, garantizándose de esta manera todas las condiciones propicias para lograr un circuito de molienda de tamaño óptimo que permita en el proceso posterior un mayor rendimiento con mínimo de energía.

Dentro de las mejoras para un buen sistema de molienda se requiere contar con fajas transportadoras que permitan movilizar el material o carga dentro del proceso productivo siendo el transporte más continuo y fluido. Estas fajas pueden tener diferentes configuraciones, pero el funcionamiento esencial siempre es el mismo.

La implementación de fajas transportadoras en un sistema de molienda hace que el proceso de productividad mejore continuamente y de esta manera se logre contribuir con el principal objetivo de toda empresa que es el fin lucrativo y el máximo de beneficios.

CAPÍTULO 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes del problema

La Joya Mining S.A.C. es una empresa que empieza operaciones en el año 2015, con su planta de proceso ubicada en San José - La Joya, a 40 km de la provincia de Arequipa. La actividad de La Joya Mining S.A.C. es el acopio y procesamiento de mineral, que luego son transformados en lingotes de oro y plata para su venta. El suministro de mineral se obtiene de varias operaciones mineras de pequeña escala (pequeña minería y minería artesanal) ubicadas en el norte y sur del Perú.

El mineral que se procesa proviene de centros de acopio, el cual es transportado por camiones hasta ser depositados de stock pile. Siendo este un lugar de almacenamiento provisional que, posteriormente alimentará las plantas de moliendas. Gracias a la alta demanda que tiene la empresa surge la necesidad de instalar un molino SAG el cual albergará una mayor cantidad de mineral.

Como consecuencia a la creación del molino SAG es necesario contar con fajas transportadoras que contribuyan a mejorar el proceso de transportación ya que el sistema de molienda actual es antiguo y no cubren la cantidad de material que se encuentra acopiado en el almacén.

Por todo lo expuesto, la presente investigación pretende fabricar e instalar una faja transportadora en la planta de beneficio Joya Mining S.A.C. y de esta manera lograr optimizar el sistema de molienda obteniendo como beneficio el mejoramiento de Indicadores de Producción y Mantenimiento.

1.2. Descripción del problema

La presente tesis titulada: “Optimización del sistema de molienda mediante una fabricación e instalación de una faja transportadora en la planta de beneficio de la Joya Mining”

busca mejorar indicadores de producción y mantenimiento a través de la fabricación e implementación de una faja transportadora en planta de beneficio de la Joya Mining.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema General

- ¿Cómo la optimización del sistema de molienda mediante la fabricación e instalación de una faja transportadora ayudará a mejorar los indicadores de producción y mantenimiento en la planta de beneficio de la Joya Mining?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el proceso actual del sistema de molienda de la planta de beneficio Joya Mining S.A.C.?
- ¿Cómo es el actual proceso de transporte de la planta de beneficio Joya Mining S.A.C.?
- ¿Qué tipos de perfiles (estructuras) y elementos mecánicos se deben usar para la fabricación de la faja transportadora?
- ¿Cuál debe ser el procedimiento que se debe aplicar para la instalación de perfiles estructurales y componentes mecánicos de la faja transportadora?
- ¿Cómo evaluar el mejoramiento de indicadores de producción y mantenimiento del nuevo sistema de molienda?

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo General

- Determinar la optimización del sistema de molienda mediante la fabricación e instalación de una faja transportadora ayudará a mejorar los indicadores de producción y mantenimiento en la planta de Beneficio de la Joya Mining S.A.C.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Identificar el proceso actual del sistema de molienda de la planta de Beneficio Joya Mining S.A.C.
- Establecer el actual proceso de transporte de la planta de beneficio Joya Mining S.A.C.
- Determinar los perfiles (estructuras) y elementos mecánicos se deben usar para la fabricación de la faja transportadora.
- Establecer el procedimiento que se debe aplicar para la instalación de perfiles estructurales y componentes mecánicos de la faja transportadora.
- Determinar el mejoramiento de indicadores de producción y mantenimiento del nuevo sistema de molienda.

1.5. Justificación e importancia de la investigación

1.5.1. Justificación

La fabricación e instalación de una faja transportadora es esencial para optimizar sistema de molienda de la empresa en mención, con el cual se pretende el mejoramiento de indicadores de producción y mantenimiento. Con la instalación se logrará un desarrollo del mecanismo óptimo el cuál ayudara a incrementar la productividad de oro y plata que son los principales componentes productivos de la empresa, reduciendo costos de producción y generando mayor ganancia.

El criterio de ahorro y reinversión, son factores de vital importancia en los recursos para la obtención de resultados de la empresa. El mejoramiento de procesos garantiza el potencial de la producción. Algunos beneficios de acuerdo los cambios y mejoras que se proyectan serían, reducción de desgaste en maquinarias, aumento de producción y reducción de gastos por mantenimiento de equipos, máquinas, elementos de máquinas y piezas de repuestos.

1.5.2. Importancia

El desarrollo del presente estudio de investigación adquiere relevancia durante el proceso de producción, mediante la fabricación e instalación de una faja transportadora beneficiando directamente al proceso del área de molienda, disminución de mantenimiento de los equipos actuales, disminución de parada de planta por inoperatividad de equipos, costo horas hombre por intervención de equipos.

Nos enfocamos en mejorar e implementar a nivel de fabricación, evaluando la capacidad actual de tonelaje de mineral procesado por día. Nuestra investigación es importante porque permitirá aplicar los conocimientos adquiridos en pregrado y desarrollar criterios profesionales para la toma de decisiones y aplicar los conceptos de indicadores de producción, mantenimiento y optimización para la gestión de la planta.

1.6. Limitaciones

Este proyecto solo contempla el área de molienda, centrándose en las fajas transportadoras.

1.7. Viabilidad del estudio

1.7.1. Viabilidad técnica

Existe data técnica de fajas transportadoras e información técnica de parámetros de funcionamiento, permitiendo realizar un análisis para la fabricación y selección de los equipos.

1.7.2. Viabilidad económica

El desarrollo de la investigación es viable económicamente al ser actividades de licitaciones, para determinar mejoras en la producción de planta, así como la optimización de recurso.

1.8. Formulación de hipótesis

Es posible la optimización del sistema de molienda mediante la fabricación e instalación de una faja transportadora en el Área de Molienda de la CIA La Joya Mining, cumpliendo con las normas relacionadas al diseño y fabricación de los componentes de la faja transportadora.

1.9. Variables

1.9.1. Variable independiente: Fabricación de la Faja Transportadora

La fabricación de la faja transportadora permite trasladar el material entre diferentes puntos del proceso haciéndolo más continuo. De acuerdo con su aplicación, pueden tener diferentes características, sin embargo, el principio es el mismo.

1.9.2. Variable dependiente: Mejoramiento de Indicadores de Producción y Mantenimiento

El mejoramiento de indicadores de producción y mantenimiento son los que miden aspectos clave como el tiempo de actividad del equipo, el tiempo medio de reparación y los costes generales de mantenimiento, brindando valiosas percepciones sobre el rendimiento.

1.10. Operacionalización de variables

1.10.1. Definición Operacional de las Variables Independientes

1.10.1.1. Indicadores

- Diámetros de poleas.
- Velocidad de banda.
- Potencia de motores.

1.10.1.2. Técnicas e Instrumentos para obtención de Datos

- Norma CEMA.
- NTP.

1.10.2. Definición Operacional de las Variables Dependientes

1.10.2.1. Indicadores

- Indicador de Producción.
- Indicador de Mantenibilidad de equipos.
- Indicador de Disponibilidad.

1.10.2.2. Técnicas e Instrumentos para Obtención de Datos

- Equipos de medición de parámetros.
- Horómetros de equipos.

Tabla 1

Operacionalización de las Variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Escala
Variable Independiente:	Parámetros de Diseño de Componentes de la Faja Transportadora.	- Diámetros de poleas. - Velocidad de banda. - Potencia de motores.	Nominal
Variable Dependiente:	Parámetros de Productividad y Mantenibilidad	- Indicador de Producción. - Indicador de Mantenibilidad.	Nominal
Indicadores de Producción y Mantenimiento		- Indicador de Disponibilidad de Equipos.	Nominal

Nota. Elaboración propia.

CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del trabajo de investigación

2.1.1 Antecedentes

Según, *Bravo (2023)*, en su tesis: *“Montaje Estructural y Mecánico de una Faja Transportadora de 60” de ancho y 114.10 metros de Longitud en una Planta Concentradora Ubicada en Moquegua”*, en el año 2023, concluyó que el montaje realizado posibilita el traslado del material a las zarandas vibratorias, contribuyendo a la disminución dimensional del material y a la optimización y extracción de los minerales. Se logra dar seguimiento a las partes de la banda. Se realizaron los procedimientos de montaje de cada estructura del transportador, respetando las capacidades límites permitidas.

Según, *Estela (2022)*, en su tesis: *“Diseño de Faja Transportadora 13m-140 t/h para Ampliación de Circuito de Chancado de Planta Concentradora, Nazca-Ica”*, en el año 2022, comentó que se realizó el cálculo de componentes usando la norma CEMA, determinó las características de la banda, de la polea motriz y las cargas relacionadas, datos con los cuales se seleccionaron los componentes teniendo en cuenta las recomendaciones y fichas técnicas de los fabricantes. Se hicieron las memorias de cálculo, planos básicos y de detalle, para la posterior fabricación y montaje del transportador.

Según, *Dávila (2023)*, en su tesis: *“Implementación de un Plan de Mantenimiento en la Faja Transportadora CV003, para incrementar la Disponibilidad Mecánica en Minera Gold Fields”*, en el año 2023, comenta que la metodología aplicada en este trabajo solo contempla a la faja transportadora en mención, el cual es equipo crítico en la planta. Concluye que las mejoras implementadas resultaron beneficiosas para la producción. Un equipo evaluado en sus diferentes componentes permite detectar las mejoras, así incrementando los buenos resultados. Los resultados positivos se dieron desde el inicio del Proyecto en el tema

de disponibilidad. La norma fue: La implementación inicial de las actividades que requieran menor esfuerzo y costo en recursos.

Según, Tejada (2022), en su tesis: *“Diseño del Procedimiento de Montaje de Fajas Transportadoras de Relave Filtrado - Compañía Minera Chunfar - Animon”*, en el año 2022, concluyó que, al utilizar adecuadamente las normas en la instalación de estructuras metálicas mediante procedimiento secuencial, se puede evitar falas en la calidad y en los procesos repetitivos, se evita el desfase del cronograma del proyecto. Los registros de control de calidad deben ser elaborados con las tolerancias de acuerdo con normas o manuales de montaje e instalación. En la instalación de estructuras se debe usar la norma AISC 303, el Código para la construcción de naves de acero, así como para el torque de los pernos se hace uso de las fichas técnicas. En la instalación de los equipos, se debe utilizar los datos técnicos del Vendor, estas tolerancias están en el manual de operaciones.

Según, Terreros (2022), en su tesis: *“Evaluación de la Productividad en el Montaje de una Faja Transportadora en la Operación Minera Quellaveco - Moquegua”*, en el año 2022, comentó que al realizarse la evaluación de los trabajos producción, complementarios y no complementarios, se obtuvieron resultados de ineficiencia de la mano de obra, el mayor problema del no complementario fueron los tiempos muertos, si estos tiempos se ajustaran a la mitad se tendrían mejores resultados en el trabajo complementario.

Según, Santos (2023), en su tesis: *“Diseño del Sistema de Transferencia de Concentrado de Cobre desde una Recepción Férrea a un Almacén de un Terminal Portuario mediante Fajas Transportadoras”*, recomienda que se debe cambiar los chutes de descargas por nuevas tolvas de material, esto reduce el tiempo de descarga. Las bastidores y polines deben ser fabricados por vendor de la balanza. Se debe instalar puntos de izaje y tecles con el fin de reducir el tiempo de trabajo en mantenimiento y remoción de elementos y/o equipos.

Rupali et al. (2024), en su artículo: **“Material selection and parametric evaluation for medium duty belt conveyor: A review on current status and future directions”**, tuvo como objetivo mejorar la comprensión de la dinámica transitoria de los transportadores de banda de carga media en plantas de energía, identificando áreas de mejora y direcciones futuras en su eficiencia operativa. La metodología consistió en una revisión exhaustiva de la literatura, utilizando bases de datos académicas, publicaciones industriales y conferencias, centrándose en la evaluación paramétrica y la selección de materiales. Se analizaron estudios experimentales, simulaciones y modelos analíticos para evaluar el desempeño del sistema. Los resultados indican que la integración de tecnologías avanzadas puede optimizar la eficiencia de los transportadores de banda, reducir costos operativos y mejorar su fiabilidad, proporcionando información valiosa para el desarrollo de nuevas estrategias en el sector industrial.

Alharbi et al. (2023), en su artículo: **“A Brief Review of Acoustic and Vibration Signal-Based Fault Detection for Belt Conveyor Idlers Using Machine Learning Models”**, tuvieron como objetivo revisar el uso de señales acústicas y de vibración para la detección de fallas en rodillos de cinta transportadoras mediante modelos de aprendizaje automático. La metodología consistió en un análisis de literatura reciente sobre adquisición de datos, procesamiento de señales, extracción de características y construcción de modelos de aprendizaje automático. Los resultados evidencian que el uso de técnicas basadas en vibraciones y acústicas mejora significativamente la detección temprana de fallas en rodillos, permitiendo reducir costos de mantenimiento y prevenir fallos catastróficos. Se destacan desafíos en la implementación en entornos industriales y se sugieren futuras direcciones de investigación en modelos avanzados de aprendizaje profundo.

Bortnowski et al. (2022), en su artículo: **“Types and causes of damage to the conveyor belt - Review, classification and mutual relations”**, tuvieron como objetivo

analizar los tipos y causas de daños en las bandas transportadoras, clasificándolos y estableciendo relaciones entre ellas para mejorar su mantenimiento y durabilidad. La metodología utilizada consistió en una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica, apoyada en simulaciones computacionales para evaluar el impacto de distintos factores operativos. Los resultados revelan que la mayoría de los daños no se deben a defectos de fabricación, sino a condiciones operativas inadecuadas, mala selección de componentes y mantenimiento deficiente. Se propusieron diagramas de decisión para optimizar la gestión de las bandas transportadoras, minimizando fallas y reduciendo costos operacionales en industrias.

Mahmood y Shareef (2024), en su artículo: **“Applications of Artificial Intelligence for Smart Conveyor Belt Monitoring Systems: A Comprehensive Review”**, tuvieron como objetivo analizar la aplicación de inteligencia artificial en sistemas de monitoreo de bandas transportadoras inteligentes, con el fin de mejorar su rendimiento, seguridad y mantenimiento predictivo. La metodología consistió en una revisión exhaustiva de literatura, analizando más de 79 artículos recientes sobre técnicas de aprendizaje profundo, visión por computadora e Internet de las cosas (IoT). Los resultados indican que la integración de estas tecnologías permite una detección precisa de fallas, una reducción del tiempo de inactividad en un 30% y una optimización del mantenimiento con modelos de predicción de desgarros con más del 95% de precisión. Se recomiendan futuras investigaciones en aprendizaje reforzado y gemelos digitales.

Tupkar et al. (2024), en su artículo: **“Material selection and parametric evaluation for medium duty belt conveyor: A review on current status and future directions. Materials Today: Proceedings”**, tuvieron como objetivo analizar la selección de materiales y la evaluación paramétrica de transportadores de banda de carga media, enfocándose en su eficiencia operativa en plantas de energía. La metodología empleada consistió en una revisión

exhaustiva de literatura, abarcando estudios experimentales, simulaciones computacionales y modelos analíticos para evaluar el comportamiento dinámico transitorio de los transportadores de banda. Los resultados indican que la integración de tecnologías avanzadas puede optimizar la eficiencia de estos sistemas, reducir costos operativos y mejorar la fiabilidad. Además, se identificaron brechas en la investigación actual y se sugirieron direcciones futuras para mejorar la implementación de estas tecnologías en la industria.

Mehrabi et al. (2002), en su artículo: **“Journal of Intelligent Manufacturing”**, tuvieron como objetivo comprender mejor las necesidades futuras en el sector fabricante y las tecnologías que las habilitan. Para ello, se realizó una encuesta a expertos en la industria, evaluando su experiencia con sistemas de fabricación flexibles (FMS) y explorando el potencial de los sistemas de fabricación reconfigurables (RMS). Los resultados revelan que dos tercios de los encuestados consideran que los FMS no alcanzan su máximo potencial, señalando problemas en capacitación, reconfigurabilidad, confiabilidad y costos. No obstante, el 75% expresó interés en expandirlos. Además, se identificaron los RMS como una evolución deseable, destacando tecnologías clave como máquinas modulares, controles abiertos y mecanizado de alta velocidad.

Nurmetov Khurshidbek et al. (2024), en su artículo: **“Improvement of the Belt Conveyor Structural Elements Using Composite Materials”**, tuvieron como objetivo mejorar los elementos estructurales de los transportadores de banda mediante el uso de materiales compuestos, con el fin de reducir el peso, aumentar la durabilidad y optimizar la eficiencia energética. La metodología incluyó un análisis de parámetros operativos y la evaluación de materiales poliméricos y compuestos mediante modelado en SolidWorks y simulaciones por el método de elementos finitos. Los resultados mostraron que el uso de termoplásticos regenerados con aditivos mejora la resistencia al desgaste y reduce el consumo

de energía. Además, la implementación de rodillos metal-polímero disminuye la fricción y el costo de producción, favoreciendo un desempeño más eficiente en aplicaciones industriales.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Circuito de Molienda

La elección de las fajas transportadoras está influenciada de acuerdo con el mineral transportado como, por ejemplo, material con dimensiones superiores a 20 mm. Existen tipos de materiales que pueden caracterizar el funcionamiento de una faja transportadora, por eso es importante tener los datos del mineral que será transportado (ContiTech Conveyor Belt Group, 2001).

El circuito de molienda es una parte crítica del proceso de beneficiado en las plantas mineras, donde se busca reducir el tamaño de las partículas minerales para facilitar su posterior tratamiento. Según Harris (2014), el objetivo principal de un circuito de molienda es maximizar la eficiencia en la liberación de minerales valiosos, minimizando al mismo tiempo el consumo energético y el coste operacional.

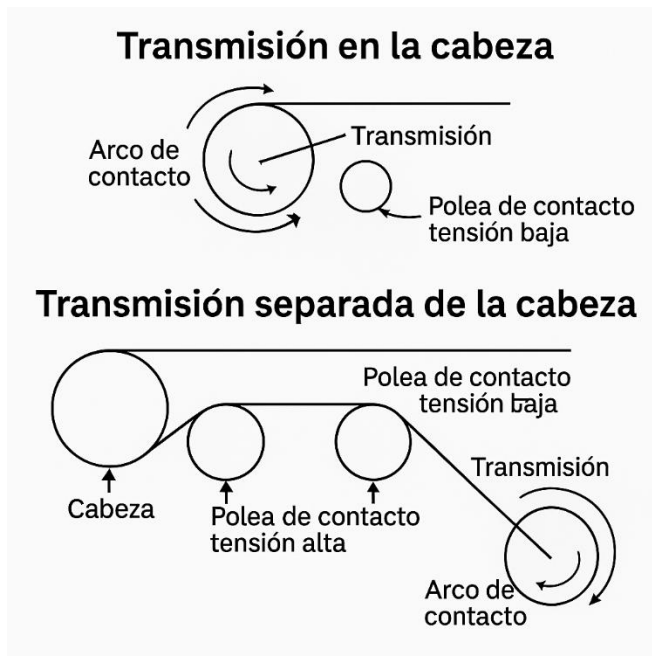
En un circuito de molienda típico, se utilizan diferentes equipos como molinos, clasificadores y, en ocasiones, fajas transportadoras que ayudan a optimizar el flujo de material. La interconexión de estos elementos es esencial para asegurar un proceso continuo y eficiente. La implementación de fajas transportadoras, como se sugiere en la optimización del sistema en Joya Mining, permite un manejo más controlado del material, reduce tiempos de espera y mejora los indicadores de producción y mantenimiento (Harris, 2014).

Además, una adecuada configuración del circuito de molienda puede contribuir significativamente a la reducción de costos operativos. De acuerdo con Mular et al. (2002), la elección de los equipos y la secuencia de operación influyen directamente en la eficiencia del proceso de molienda. Por lo tanto, es crucial realizar un análisis detallado para ajustar y

mejorar el diseño del circuito, teniendo en cuenta variables como la capacidad de procesamiento, la granulometría del material de entrada y las características del mineral.

Figura 1

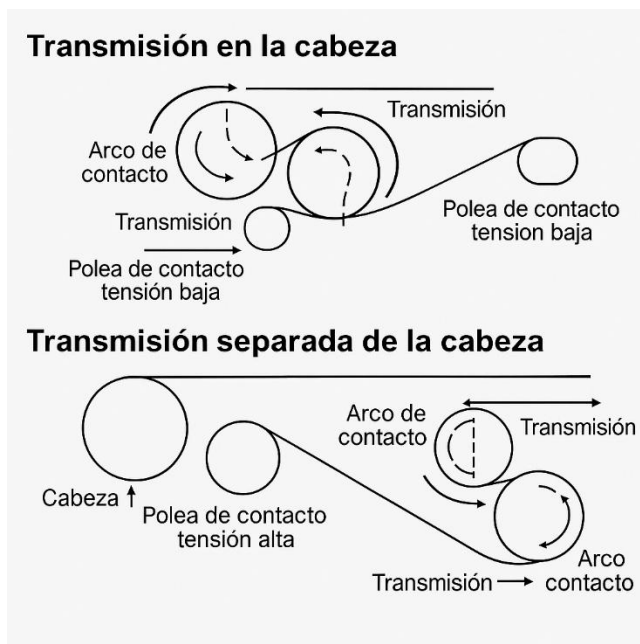
Transferencia de movimiento en la cabeza y transferencia separada



Nota. Tomado de (ContiTech Conveyor Belt Group, 2001).

Figura 2

Transferencia de movimiento en la cabeza y transferencia separada



Nota. Tomado de (ContiTech Conveyor Belt Group, 2001).

2.2.2 Volumen en las Fajas

El manejo eficiente del volumen en las fajas transportadoras es fundamental para optimizar el flujo de material en un circuito de molienda. Las fajas permiten el transporte continuo y controlado de mineral, lo que reduce los tiempos de espera y mejora la productividad de la planta. Según Mular et al. (2002), un diseño adecuado de las fajas transportadoras no solo contribuye a una operación más fluida, sino que también puede minimizar el desgaste de los equipos y los costos de mantenimiento.

El volumen que puede manejar una faja está influenciado por factores como la inclinación, la velocidad de operación y el tipo de material transportado. De acuerdo con Mavros et al. (2018), la capacidad de una faja se puede maximizar mediante un correcto dimensionamiento y la selección de materiales adecuados para la construcción de la banda, lo que también influye en la eficiencia energética del sistema.

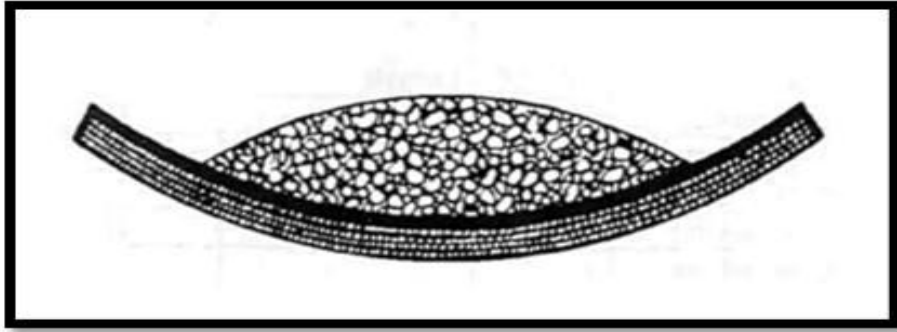
Además, un monitoreo continuo del volumen y del flujo del material transportado permite ubicar retrasos y mejorar la planificación de la producción. El mejoramiento de sistemas de control avanzados en las fajas puede proporcionar datos en tiempo real, facilitando ajustes que optimicen tanto la capacidad como la eficiencia del circuito de molienda (Davis, 2015).

El volumen de las bandas transportadoras es un punto fundamental para el correcto funcionamiento de las industrias. Es esencial determinar cuál es el peso de la carga, el nivel de exigencia y qué tanto puede variar la suficiencia en el transporte de mineral. El volumen de una faja transportadora se determina mediante la superficie de la zona oblicua de la carga que puede contener dicha faja sin rebose, así como de la dimensión longitudinal de la faja al trabajar sobre los polines. El mineral que es trasladado en la faja depende de la selección del mineral, de la mezcla y de la forma. Está representado toneladas por horas. La máxima

capacidad está reflejada en las fórmulas para la obtención de la tensión. (ContiTech Conveyor Belt Group, 2001).

Figura 3

Material en Faja Transportadora



Nota. Tomado de (ContiTech Conveyor Belt Group, 2001).

2.2.3 Elección de Fajas Transportadoras

La buena elección de una faja se verá reflejado en costos bajos de operación y mantenimiento, por tonelada de mineral transportado. La elección de la faja se hace teniendo en cuenta la estructura y el tipo de trabajo a realizar.

Una faja transportadora consiste en una estructura que realiza el trabajo de soportar el peso de las cargas y de cubiertas de elastómero de calidad y espesor especificado, y así prolongar su vida útil (ContiTech Conveyor Belt Group, 2001).

La elección adecuada de fajas transportadoras es un factor determinante en la eficiencia operativa de una planta de beneficio. Según Coyle et al. (2013), la selección de una faja debe basarse en varios criterios, incluido la carga que puede soportar, la distancia de transporte, la inclinación, y las características del material a transportar. Una faja bien diseñada no solo optimiza el flujo de mineral, sino que también reduce costos operativos y de mantenimiento.

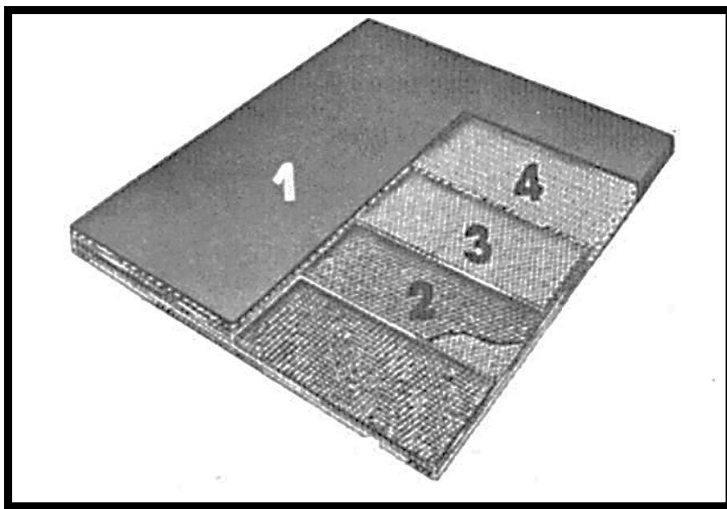
Los tipos de fajas y sus materiales de construcción deben ser elegidos en función de las condiciones específicas de operación. Por ejemplo, la resistencia al desgaste es crucial en entornos donde se manejan minerales abrasivos. Además, la elección del sistema de

accionamiento y los componentes auxiliares, como los rodillos y las poleas, influye en la durabilidad y el rendimiento del sistema (Hanes y Pomeroy, 2016).

La implementación de tecnologías modernas, como sensores de monitoreo y sistemas automatizados, también puede mejorar la elección y gestión de las fajas. Estas tecnologías permiten una supervisión constante de las condiciones operativas, facilitando ajustes en tiempo real para maximizar la eficiencia y minimizar los tiempos de inactividad (Wang et al., 2018).

Figura 4

Selección de Bandas Transportadoras



Nota. Tomado de (ContiTech Conveyor Belt Group, 2001).

- Área exterior (1)
- Hule entre lonas (2)
- Coberturas de Lona (3)
- Amortiguador de impacto (4)

2.2.4 Velocidad de Bandas Transportadoras

La velocidad de las bandas transportadoras es un parámetro crítico que afecta la eficiencia del transporte de material en un circuito de molienda. Según Kearney (2015), la selección de la velocidad adecuada no solo influye en la capacidad de carga de la banda, sino que también impacta en la estabilidad del flujo de material y en el desgaste del equipo. Una

velocidad demasiado alta puede provocar una mayor abrasión del material y un aumento en el riesgo de desbordes, mientras que una velocidad demasiado baja puede resultar en tiempos de espera innecesarios y una menor eficiencia de producción.

La optimización de la velocidad de las bandas también se caracteriza por el tipo de material transportado, por su granulometría y peso específico. De acuerdo con Mavros et al. (2018), es fundamental realizar un análisis exhaustivo para determinar la velocidad ideal que maximice la eficiencia del sistema sin comprometer la integridad de los materiales. Además, el uso de tecnologías de monitoreo y control puede ayudar a ajustar la velocidad en tiempo real, mejorando así la adaptabilidad del sistema a diferentes condiciones operativas (Bhandari, 2020).

Por lo tanto, la elección de la velocidad de las bandas transportadoras debe ser un proceso cuidadosamente considerado que balancee la capacidad de producción con la durabilidad del equipo y la calidad del material transportado (Bhandari, 2020).

El parámetro de celeridad de una faja está expresado en pies por minutos. Es utilizada para la obtención de la potencia y la presión por tensión. La extensión de la carga depende de la velocidad (ContiTech Conveyor Belt Group 2001).

Este parámetro depende del volumen, la inclinación, tensiones de la banda y tamaño del mineral; por la cantidad de variaciones de estos parámetros, se deben tener otras opciones de celeridad y de dimensiones, previo a la selección del diseño que se requerirá. La exigencia de transportar numerosos volúmenes a largas distancias ha hecho que se mejoren los sistemas de transportadores. Inicialmente los transportadores angostos y de alta velocidad cuentan con un bajo costo, por el contrario, las altas velocidades ocasionan dificultades en los puntos de impacto o en los tramos inclinados, los costos bajos en la operación son obtenidas cuando se trabajan con fajas anchas y con una velocidad baja (De los Garza, 1999).

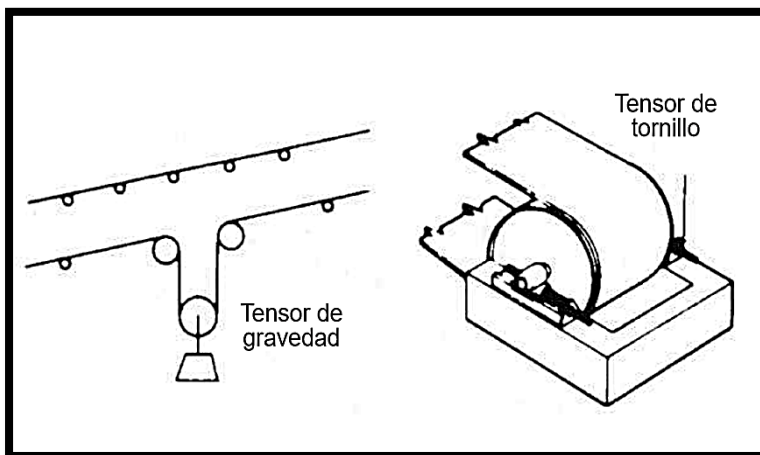
El transporte de materiales abrasivos crea la necesidad de seleccionar la faja con menores dimensiones, pero a una velocidad alta permitida, estos tienen un bajo costo. Por el contrario, algunos minerales y en ciertas exposiciones es recomendable los desplazamientos más bajos. Los detalles del mineral que influyen en la celeridad de la faja son: la humedad del mineral, minerales pesados, duros, burdos, de forma puntiaguda y abrasivos (De los Garza, 1999).

2.2.5 Tensión de Bandas Transportadoras

En un tensor que trabaja a través de la fuerza de la gravedad, la tensión real puede definirse cuando se tiene los datos de peso total de trabajo de la faja. El torque en el tensor de son realizados mecánicamente por lo que la tensión del lado de retorno se define fácilmente, puesto que no existe un control específico sobre ella, a excepción cuando es suficiente como para evitar el deslizamiento entre polea y faja (ContiTech Conveyor Belt Group, 2001).

Figura 5

Tensión de Bandas Transportadoras



Nota. Tomado de (ContiTech Conveyor Belt Group, 2001)

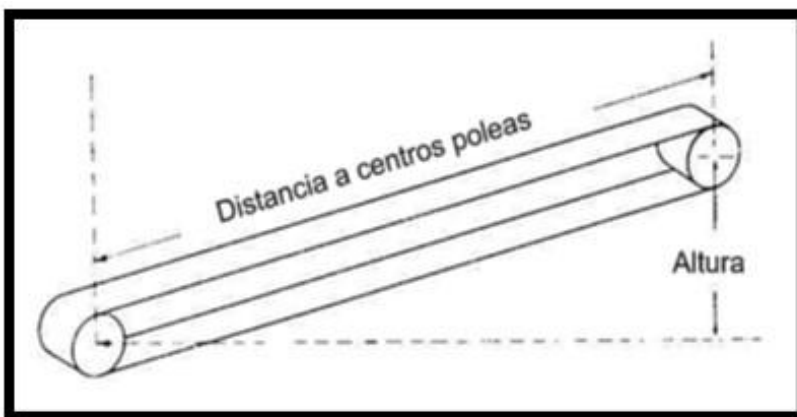
La fuerza requerida para contener el esfuerzo total de funcionamiento de la faja transportadora, son: la medición de los esfuerzos y la elección de la estructura.

2.2.6 Distancias a Ejes de Tambores

Es la longitud de la faja transportadora a los centros de rodillos de cabeza y cola. Esta es aplicada para los resultados de tensión de la banda, con el fin de superar el rozamiento con la carga y poleas. La diferencia de centros es convertida a un parámetro longitud corregida para aplicación de los cálculos de tensión (ContiTech Conveyor Belt Group, 2001).

Figura 6

Distancia a ejes de rodillos



Nota. Tomado de (ContiTech Conveyor Belt Group, 2001).

2.2.7 Diámetros de Tambores

Los diámetros de los tambores instalados limitan la elección de la faja en su siguiente cambio. La correcta selección de los diámetros ayudará a extender la vida del empalme y de la banda.

Las distancias a los ejes de tambores en un sistema de fajas transportadoras son un factor crucial que influye en el rendimiento y la eficiencia operativa del sistema. La correcta ubicación de estos ejes es fundamental para garantizar un funcionamiento suave y minimizar el desgaste de los componentes. Según Mavros et al. (2018), una distancia inadecuada puede llevar a problemas como el deslizamiento de la banda, la acumulación de material y un aumento en el consumo energético.

Además, la disposición de los ejes de tambores afecta la tensión de la banda y, por ende, su capacidad de carga. Una tensión inapropiada puede resultar en un desgaste prematuro de la banda y en un menor rendimiento del sistema. Kearney (2015) sugiere que el diseño debe considerar las especificaciones de la banda, la cantidad de material transportado y las características del sistema para optimizar la distancia entre los ejes de los tambores.

Por lo tanto, un diseño adecuado que contemple estas distancias no solo mejorará la eficiencia del transporte, sino que también contribuirá a un mantenimiento más efectivo, al reducir el riesgo de fallas mecánicas y extender la vida de los elementos del sistema de transporte (Kearney, 2015).

2.2.8 Motor eléctrico en fajas transportadoras

En los sistemas de transporte continuo como las fajas transportadoras, la selección del motor eléctrico es un aspecto fundamental para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro. El tipo de motor, así como sus características técnicas (potencia, voltaje, corriente y dimensiones), dependen directamente de la carga a transportar, la longitud del recorrido, la velocidad deseada y la inclinación del sistema (Kearney, 2015).

a) Determinación de la Potencia Requerida (HP o kW)

La potencia necesaria del motor se estima considerando la carga a transportar, la velocidad de la faja y la eficiencia del sistema. La fórmula general para calcular la potencia en kilovatios es:

$$P = F \cdot v / \eta$$

Donde:

- P: Potencia del motor (kW)
- F: Fuerza requerida para mover la carga (N)
- v: Velocidad de la faja (m/s)
- η : Eficiencia del sistema (típicamente entre 0,85 y 0,95)

También puede utilizarse una fórmula simplificada en HP:

$$HP = (W \cdot H \cdot Q) / (3960 \cdot \eta)$$

Donde:

- W: Peso específico del material (lb/ft³)
- H: Altura o recorrido vertical (ft)
- Q: Caudal o flujo volumétrico (ft³/min)

Selección del Voltaje y Tipo de Corriente

- AC (Corriente Alterna): Es la más común en instalaciones industriales por su eficiencia en largas distancias. Se utilizan motores trifásicos de 220 V, 380 V o 440 V.
- DC (Corriente Continua): Se emplea cuando se requiere control fino de velocidad, aunque es menos común en fajas transportadoras industriales.

Cálculo del Amperaje (I)

La corriente del motor se calcula según la potencia y el voltaje con la fórmula:

$$I = (P \cdot 1000) / (\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\phi)$$

Donde:

- I: Corriente (A)
- P: Potencia (kW)
- V: Voltaje (V)
- $\cos\phi$: Factor de potencia (usualmente entre 0,85 y 0,9)

Dimensiones del Motor

Las dimensiones físicas del motor se seleccionan en base a su potencia nominal y el tipo de carcasa (IEC o NEMA). Motores de mayor potencia requerirán bases más robustas y sistemas de enfriamiento adecuados. Las dimensiones también deben considerar la facilidad de mantenimiento y el espacio disponible en la planta (Kearney, 2015).

2.2.9 Flexibilidad en los Tambores

Se deberá contar con la tolerancia longitudinal correspondiente para una buena operación sobre las poleas de diámetros definidos o en las poleas existentes (Kearney, 2015).

La flexibilidad en los tambores de las fajas transportadoras es un aspecto crítico que impacta directamente en la eficiencia operativa y la durabilidad del sistema.

Según Coyle et al. (2013), la flexibilidad adecuada permite que los tambores se adapten a variaciones en la tensión de la banda y en la carga de material, lo que ayuda a prevenir fallas mecánicas y prolonga la vida útil del equipo.

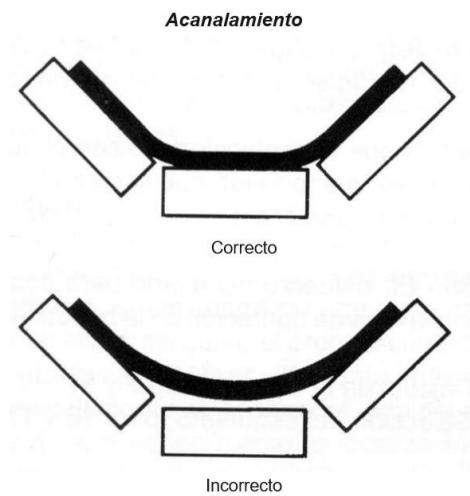
Un diseño flexible de los tambores permite una distribución más uniforme de la tensión a lo largo de la banda, minimizando así el riesgo de deslizamientos y desgastes irregulares. Kearney (2015) enfatiza que la incorporación de elementos flexibles en los tambores también facilita el manejo de diferentes tipos de materiales y configuraciones operativas, permitiendo que el sistema se ajuste a cambios en la producción sin comprometer su rendimiento.

Además, los sistemas con tambores flexibles tienden a requerir menos mantenimiento, ya que están diseñados para absorber las variaciones en las cargas operativas y minimizar el impacto de las vibraciones y otras fuerzas que pueden causar daños.

Por lo tanto, la flexibilidad en los tambores no solo mejora la eficiencia del transporte, sino que también contribuye a una operación más confiable y menos costosa a largo plazo (ContiTech Conveyor Belt Group, 2001).

Figura 7

Flexibilidad en las Poleas



Nota. Tomado de (ContiTech Conveyor Belt Group, 2001).

2.2.10 Motor de la Transmisión

Los parámetros arrojados por el funcionamiento del motor como por ejemplo la potencia nominal puede aplicarse en la definición las fuerzas de funcionamiento. En la placa del motor podemos encontrar la velocidad rotacional en r.p.m., de las cuales podemos definir la velocidad de la faja (ContiTech Conveyor Belt Group, 2001).

El motor de la transmisión es un componente esencial para la operatividad de las fajas transportadoras, ya que proporciona la energía necesaria para mover la banda y, por ende, el material que se transporta.

Según Mavros et al. (2018), la selección del motor adecuado debe considerar factores como la potencia requerida, la eficiencia energética y la capacidad de respuesta a variaciones en la carga, lo que impacta directamente en la productividad del sistema.

Un motor bien dimensionado asegura que la faja opere a la velocidad óptima, facilitando un flujo constante de material sin causar sobrecargas o interrupciones en el sistema. Kearney (2015) destaca que el uso de motores con tecnología de control variable de frecuencia

(VFD) puede mejorar aún más la eficiencia, permitiendo ajustar la velocidad del motor según las necesidades del proceso y optimizando el consumo de energía.

Además, el mantenimiento regular del motor es crucial para prevenir fallas que podrían resultar en tiempos de inactividad y costos adicionales. La implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real puede ayudar a identificar problemas (Bhandari, 2020). Así, el motor de transmisión no solo es clave para el rendimiento de las fajas, sino que también juega un papel crucial en la sostenibilidad operativa de la planta.

2.2.11 Viscosidad

La viscosidad que contiene el mineral transportado puede ser tan elevado tanto que los minerales pueden pegarse a la faja, tambores, poleas y tensores. Algunos minerales sumamente viscosos no pueden ser trasladados por una faja transportadora. En algunos casos los minerales viscosos, son manipulados eficientemente cuando los tambores, polines, faja, raspadores, la curvatura y la celeridad de la banda estén correctamente diseñados para asegurar un correcto funcionamiento (De los Garza, 1999).

En el contexto de la molienda, la viscosidad es crucial para el manejo de slurries, que son mezclas de sólidos y líquidos. La viscosidad afecta directamente la eficiencia del transporte de material, la velocidad de flujo y la capacidad de separación de partículas (De los Garza, 1999).

2.2.12 Importancia de la Viscosidad en la Molienda

En los procesos de molienda, una viscosidad adecuada facilita el movimiento de las partículas dentro del sistema. Según McCabe et al. (2005), una viscosidad alta puede dificultar el flujo del Slurry, lo que resulta en un aumento de la energía requerida para la operación y en una disminución de la eficiencia de separación.

Por lo tanto, mantener la viscosidad en un rango óptimo es esencial para aumentar la producción y reducir los costos operativos.

2.2.13 Factores que Afectan la Viscosidad

La viscosidad de un slurry puede verse afectada por diversos factores, incluidos la concentración de sólidos, la temperatura y la naturaleza de los materiales. Carrasco et al. (2019) destacan que un aumento en la concentración de sólidos generalmente incrementa la viscosidad, lo que puede provocar dificultades en el transporte y en el procesamiento. Por otro lado, la temperatura tiene un efecto inverso; un aumento de la temperatura tiende a disminuir la viscosidad, facilitando el flujo.

2.2.14 Estrategias para Controlar la Viscosidad

Para optimizar el rendimiento de los procesos de molienda, es crucial implementar estrategias de control de viscosidad. Según Gao et al. (2017), la adición de agentes dispersantes y el ajuste de las condiciones de operación, como la temperatura y la concentración, pueden ayudar a mantener la viscosidad dentro de un rango eficiente.

Estas estrategias no solo mejoran la eficiencia del proceso, sino que también contribuyen a la calidad del producto final.

2.2.15 Temperatura

En caso de que la temperatura del mineral transportado exceda los 66°C se deberán trabajar con fajas resistentes al calor. El desgaste de una faja es proporcional al calor en funcionamiento. Las fajas son utilizadas para el transporte de minerales con temperatura elevada o cuando hay mezclas de minerales con alto nivel térmico.

Cuando hay variación de temperaturas entre los 121°C y los 149°C, la resistencia de la faja tiene que ser evaluada con diferentes modelos de fajas (De los Garza, 1999).

La temperatura es un factor crítico en los procesos de molienda y transporte de minerales, ya que influye en las propiedades físicas y químicas de los materiales involucrados. Su control adecuado es esencial para optimizar la eficiencia del sistema y la calidad del producto final.

2.2.16 Efectos de la Temperatura en la Molienda

La temperatura afecta la viscosidad del Slurry, que es la mezcla de sólidos y líquidos. Según Carrasco et al. (2019), un aumento en la temperatura generalmente resulta en una disminución de la viscosidad, lo que facilita el flujo del material a través de los equipos de molienda y transporte. Esto puede llevar a una mayor eficiencia en el proceso, permitiendo un transporte más rápido y efectivo de los minerales.

2.2.17 Impacto en la Liberación de Minerales

La temperatura también influye en la liberación de minerales durante la molienda. Gao et al. (2017) destacan que condiciones térmicas adecuadas pueden mejorar la eficacia de las reacciones químicas que ocurren en el proceso, facilitando la separación de minerales valiosos. Un manejo inadecuado de la temperatura puede llevar a una menor recuperación de minerales, afectando así la rentabilidad del proceso.

2.2.18 Consideraciones para el Control de Temperatura

Para asegurar un control efectivo de la temperatura, es fundamental implementar sistemas de monitoreo y regulación.

Según Mavros et al. (2018), el uso de sistemas de refrigeración y calentamiento puede ayudar a mantener la temperatura en rangos óptimos, mejorando la estabilidad del proceso.

Además, el diseño de la planta debe considerar la variabilidad en las condiciones ambientales, que pueden afectar la temperatura de operación.

2.2.19 Acción Química

Los productos químicos son perjudiciales en las fajas, tambores y polines. Como solución se puede usar el neopreno u otros recubrimientos en las fajas, mientras que los tambores y polines pueden ser protegidos con recubrimientos que soporten la corrosión (De los Garza, 1999).

La acción química en el proceso de molienda se refiere a las interacciones entre los minerales y los reactivos químicos utilizados para mejorar la eficiencia de la separación y liberación de minerales valiosos.

Esta interacción es fundamental para optimizar el rendimiento de la planta de beneficio.

2.2.20 Interacción entre Minerales y Reactivos

Durante la molienda, los minerales pueden reaccionar con diversos reactivos, como colectores, espumantes y modificadores de pH. Según Gao et al. (2017), la selección adecuada de estos reactivos es crucial para maximizar la recuperación de minerales. La acción química puede alterar la superficie de las partículas, mejorando su capacidad de separación durante las etapas posteriores del procesamiento.

2.2.21 Efectos en la Eficiencia de Molienda

La acción química no solo influye en la separación de minerales, sino que también afecta la eficiencia del proceso de molienda en sí. Carrasco et al. (2019) señalan que una optimización de las condiciones químicas, como la concentración de reactivos y el pH, puede mejorar la disolución de minerales y, en consecuencia, aumentar la eficiencia del proceso de molienda. Un pH incorrecto puede llevar a una disminución en la eficacia de los reactivos y a una menor recuperación de minerales.

2.2.22 Monitoreo y Control de la Acción Química

Para garantizar la efectividad de la acción química, es importante implementar sistemas de monitoreo y control que permitan ajustar las condiciones operativas en tiempo real.

Mavros et al. (2018) sugieren que el uso de tecnologías de análisis químico en línea puede proporcionar datos valiosos para ajustar la dosificación de reactivos, asegurando así condiciones óptimas para el proceso de molienda.

2.2.23 Materiales de Masas Grandes

Las dimensiones de los materiales y el porcentaje de su volumen total son los dos puntos que definen el límite de ancho de la faja. Es beneficioso la trituración del mineral en caso se requiera trabajar con fajas anchas, el parámetro de las fuerzas está contemplado por las características físicas del mineral (De los Garza, 1999).

Los materiales de masas grandes se refieren a aquellas partículas o bloques de mineral que tienen un volumen y una densidad significativos, lo que plantea desafíos específicos en su manejo y procesamiento durante la molienda. Estos materiales requieren consideraciones especiales para asegurar un procesamiento eficiente.

2.2.24 Propiedades de los Materiales de Masas Grandes

Los materiales de masas grandes, como rocas y minerales duros, poseen características que afectan su comportamiento en los procesos de molienda. Wills y Napier-Munn (2016) destacan que su densidad y resistencia mecánica pueden influir en la cantidad de energía requerida para su fragmentación. Además, la geometría y el tamaño de las partículas pueden afectar la distribución del flujo en los equipos de molienda y transporte.

2.2.25 Impacto en el Proceso de Molienda

El manejo ineficiente de materiales de masas grandes puede llevar a problemas operativos, como bloqueos en las fajas transportadoras y en los molinos. Según Mavros et al. (2018), la acumulación de estos materiales en puntos críticos puede reducir la capacidad de producción y aumentar los costos de mantenimiento. Por lo tanto, es fundamental diseñar sistemas de procesamiento que consideren el comportamiento de estos materiales para minimizar estos riesgos.

2.2.26 Estrategias para el Manejo de Materiales de Masas Grandes

Para optimizar el manejo de materiales de masas grandes, se recomienda utilizar equipos adecuados que sean capaces de procesar este tipo de materiales sin comprometer la

eficiencia. Según Carrasco et al. (2019), el uso de tecnología avanzada, como trituradoras de alta capacidad y sistemas de transporte eficientes, puede mejorar la operatividad y reducir el desgaste de los equipos. Además, una correcta planificación en el diseño de la planta puede ayudar a mitigar los efectos negativos asociados con el manejo de estos materiales.

2.2.27 Ángulos de Inclinación

La inclinación requerida para el transporte de mineral que debe llevar una faja transportadora está vinculado al volumen, capacidad y humedad de este. Los parámetros de selección de la faja que influyen en las características de los minerales en una faja con pendiente son la velocidad, ya que el mineral se encuentra en ascenso o descenso; las formas de carguío continua o intermitentemente. En caso la diagonal de la faja es muy grande, el mineral puede resbalar, deslizarse o rodar hacia atrás, trayendo como consecuencia la disminución de mineral, así mismo cuando la faja tiene demasiada pendiente, los minerales son desalojados de la faja, sea cerca de la faja o en el chute de alimentación. En numerosas cantidades esta situación se complica cuando la faja tiene menos del 60% de su capacidad (De los Garza, 1999).

Tabla 2

Máximos Ángulos Conservativos

MATERIAL TRANSPORTADO		MATERIAL TRANSPORTADO	
Alumina, seca libre de flúor	18	Piedras	15 a 20
Grano entero	8	Paquetes	15 a 20
Carbón, antracita	16	Pallets dependiendo el tamaño, material y concentración	5 a 15
Carbón, Bituminoso de más de 4"	15	Rocas	15 a 20
Carbón Bituminoso de menos de 4"	16	Arena muy fina	15
Carbón bituminoso sin medida	18	Arena húmeda	20
Carbón bituminoso, fino, fácil de flúor	20	Arena para fundición	24
Carbón bituminoso, fino, lento	22	Piedras en una sola medida, 4" en adelante	15
Carbón coke, de una sola medida	17	Piedras en una sola medida, mayores de 4"	16
Tierra de flujo fácil	20	Piedra fina 3/8" para abajo	20
Grava de un solo tamaño lavado	12		
Grava de un solo tamaño sin lavar	15		
Grava de varios tamaños	18		
Tierra de flujo lento	22	Viruta o aserrín	27
Grano	15		

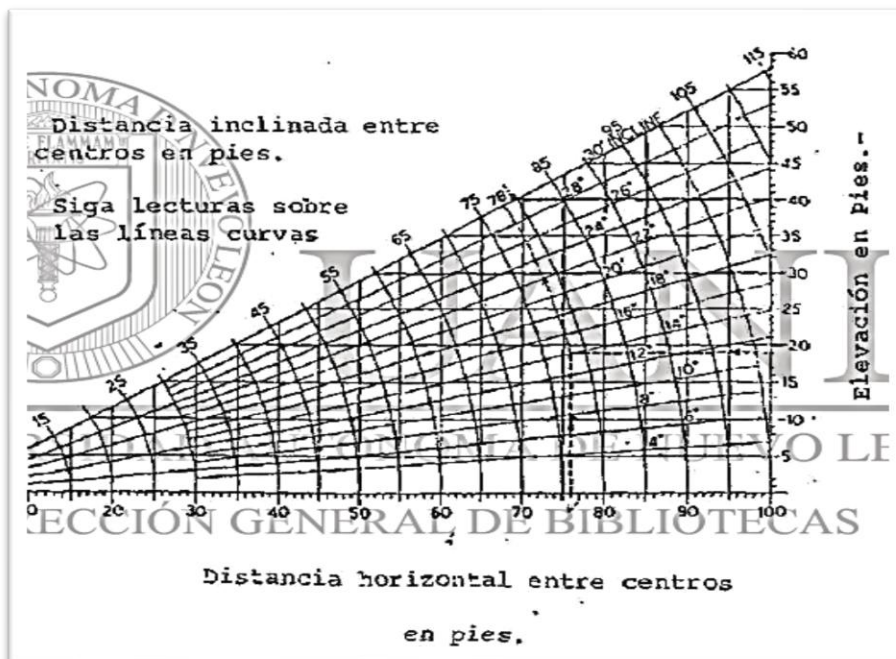
Nota. Tomado de (De los Garza, 1999).

- Ángulo máximo de la pendiente ($^{\circ}$).
- Humedad, con ángulo de descanso $<45^{\circ}$
- Ángulo de descanso $\geq 45^{\circ}$
- Ángulo de descanso de $30^{\circ} > x > 45^{\circ}$
- Minerales uniformes

La Tabla 2, representa una lista de ángulos independientes o conservativos, en donde las fajas transportadoras llevan minerales a una capacidad determinada, aun así, cuando se trabajan con volúmenes altos e intermitentes. Por el contrario, mejores y seguras condiciones de trabajo resultarán con pendientes. La pendiente y la celeridad de la faja, no suelen ser críticos, cuando una faja transportadora en caída descarga el mineral en un chute donde no exista problemas de higiene. En la siguiente gráfica se puede determinar las características de la pendiente de la faja teniendo en cuenta la horizontal entre ejes y la altura.

Figura 8

Ángulo y Longitud de la Pendiente



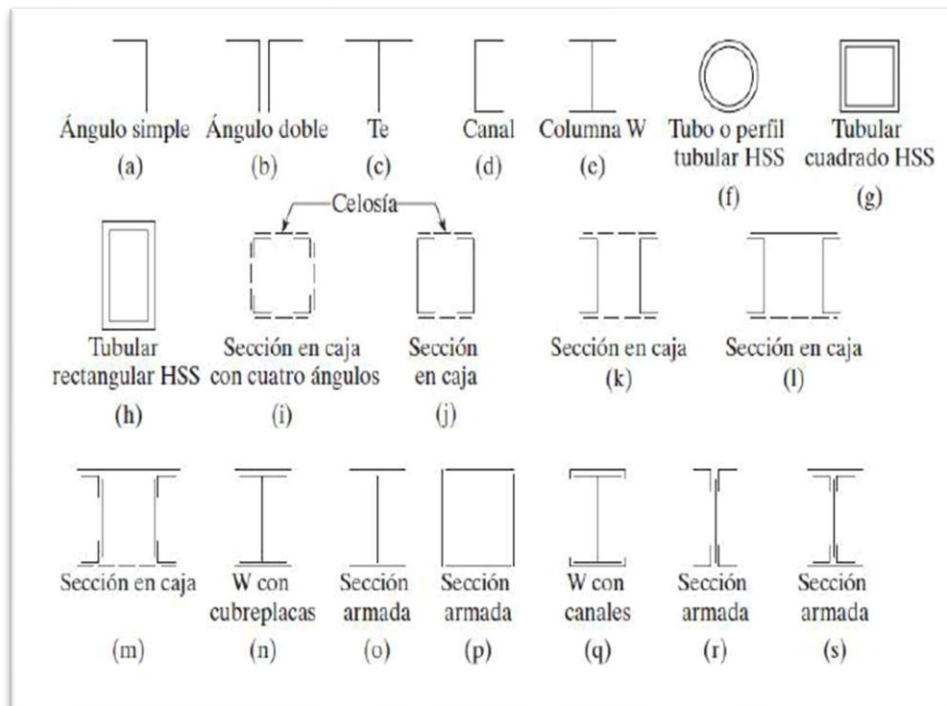
Nota. Tomado de (De los Garza, 1999) en su libro “Diseño de un transbordador de carga”

2.2.28 Perfiles Utilizados

Actualmente hay múltiples opciones de estructuras que pueden ser más convenientes que otras, pero lo más importante es encontrar rápido los perfiles, materiales, en el que se aprecia los perfiles que tengan más momento de inercia y perfiles simétricos.

Figura 9

Tipos de Perfiles para Columnas



Nota. Tomado de (Csernak y McCormac, 2013, p.134)

2.2.29 Componentes expuestos a Tensión

2.2.29.1 Carga Axial

Los cálculos de esfuerzos son utilizados en las extremidades de las vigas porque son los puntos donde se distingue la posible falla por fluencia, en el caso de soldadura y quebrantamiento cuando son agujeros para instalación de pernos (Csernak y McCormac, 2013). Un perfil acerado, completo y expuesto a esfuerzos tensionales puede soportar, sin fisurarse, un esfuerzo superior al resultado del producto del área de su sección transversal por

el esfuerzo de fluencia del acero. Para la aprobación del diseño debe respetarse la siguiente expresión:

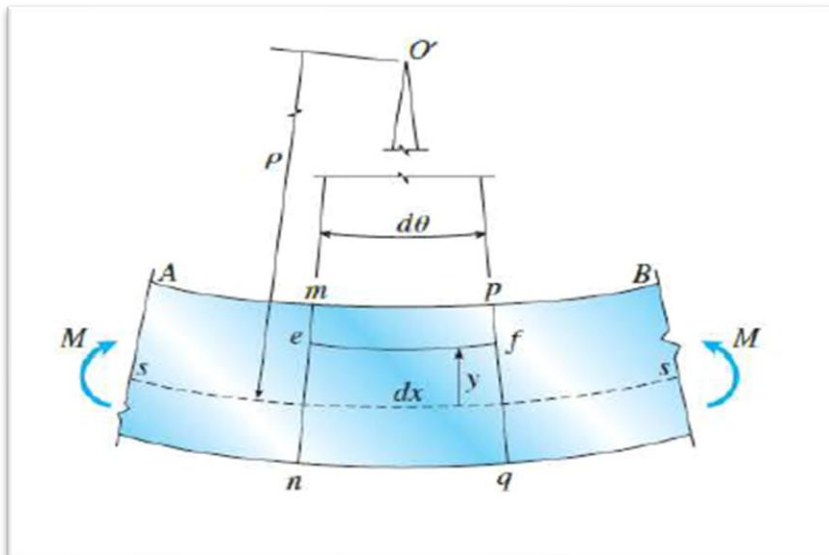
$$\phi P_n > P_u$$

2.2.29.2 *Análisis de Esfuerzos Flexionantes*

Las fuerzas por tensión albergan a los llamados esfuerzos por compresión, la diferencia es el cambio direccional.

Figura 10

Estudio de Curvatura de Vigas



Nota. Tomado de (Gere y Goodno, 2009).

En la imagen anterior se visualiza la importancia de los esfuerzos complementarios, la curvatura influye con las cargas de flexión aplicadas, la longitud al punto central de gravedad al punto más lejano y el momento ejercido.

$$M_p = (F_y)(Z)$$

Donde

F_y : Carga por flexión.

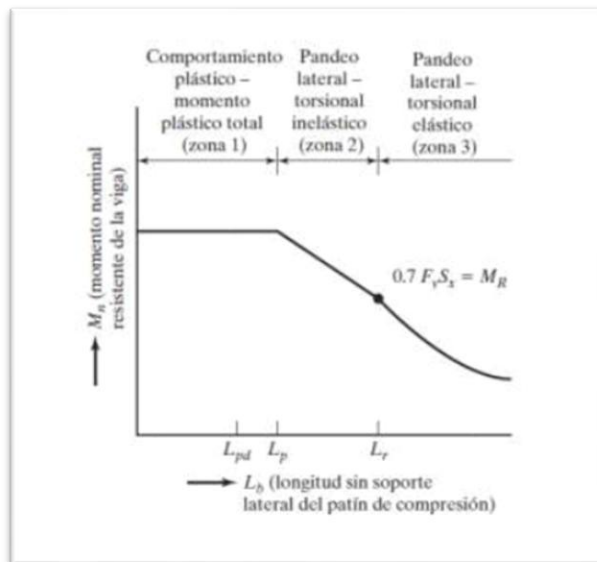
Z : Módulo plástico.

M_p : Momento plástico.

El máximo resultado de la fluencia es tomado por las fallas por curvatura. Los diseños en gráficos permiten analizar los perfiles estructurales.

Figura 11

Diagrama de Fabricación



Nota. Tomado de (Csernak y McCormac, 2013.p.264)

En la imagen anterior la distancia entre vigas y el momento aplicado que es generado por el diagrama de momento flector.

La forma adecuada sería la aplicación de las gráficas de diseño que se presenta en el libro McCormac en el capítulo 9, una de sus restricciones es el F_y que tiene un valor de 50ksi, en el caso del presente proyecto se usará el acero A36 ($F_y = 50$).

Para el cálculo del momento máximo se debe usar la fórmula de momentos para determinar las gráficas suficientes teniendo como resultado el momento máximo, este procedimiento es importante, ya que con este se puede calcular la flecha máxima y ordenar los resultados en cada punto de la estructura.

Se debe cumplir la desigualdad siguiente para la aprobación del diseño, según la Especificación AISC:

$$\phi M_p > M_{max}$$

2.2.29.3 Análisis de Fuerza Cortante

Es la resultante de las presiones exteriores verticales al centro del componente que ejercen a un lado del área (Mujica, 2011).

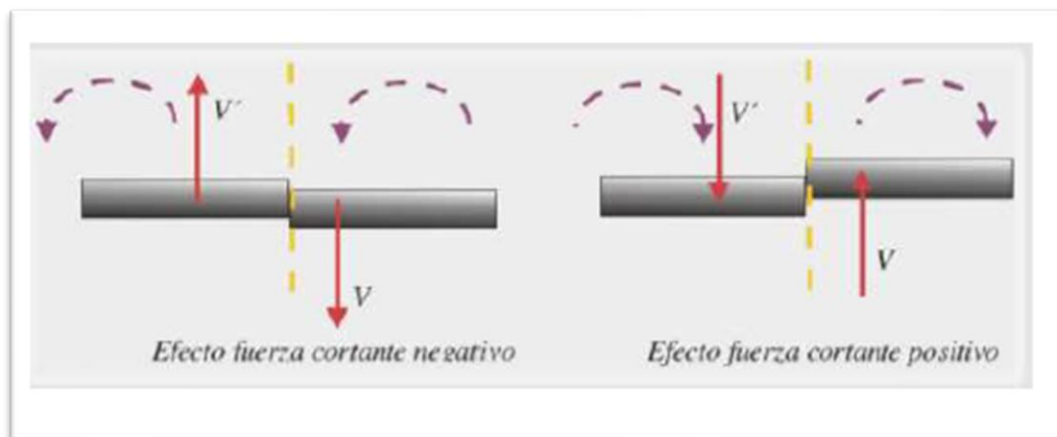
Se utiliza para ver posibles fallas, estas fallas son ocasionadas por las fuerzas verticales, por lo tanto, es importante el valor obtenido en la gráfica de fuerza cortante, el cual es la fuerza cortante factorizada, para el resultado es necesario conocer el factor de carga correspondiente, también el área de cortante y el esfuerzo del mineral si la desigualdad se cumple entonces el diseño es aceptable según la Especificación AISC:

$$\phi V_n > V_{max}$$

(Mujica, 2011).

Figura 12

Análisis de la Fuerza Cortante



Nota. Tomado de (UMNG, 2017).

Las vigas se diferencian por dos detalles: (1) cuando el espesor del ala es delgado respecto al alma, (2) el área transversal es libre, como por ejemplo en una viga H o un canal C, en vez de cerrada, como tubos cuadrados. En la siguiente figura se muestran sus tipos.

Figura 13

Tipos de Vigas

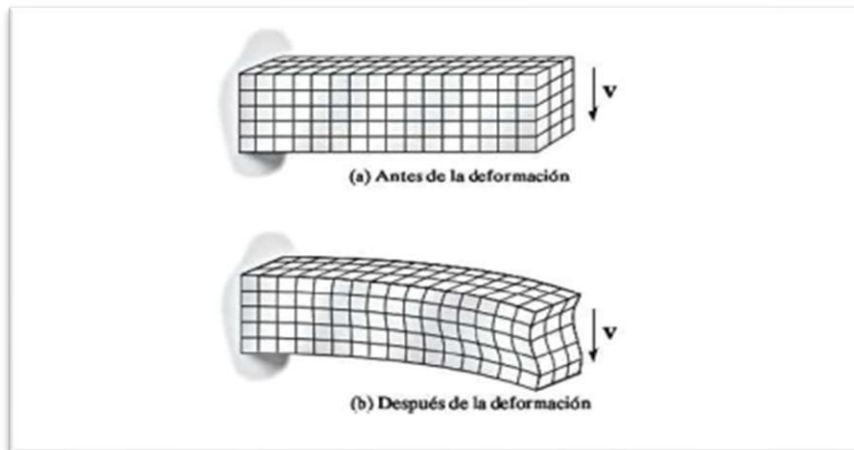


Nota. Tomado de (Gere y Goodno, 2009).

El comportamiento de las distorsiones ocasionadas por los esfuerzos se da de forma variable, todo por el tipo de material con el que se trabaja, la fuerza cortante tiene una dirección perpendicular al perfil estructural, en consecuencia, la torsión es el resultado complementario de las fuerzas cortantes que da la inestabilidad del perfil.

Figura 14

Deformaciones de Esfuerzo Cortante



Nota. Tomado de (Hibbeler, 2011).

2.2.30 Método de la Sección Transformada

Es un proceso que permite identificar esfuerzos de curvatura en una viga. Esta metodología no disminuye el trabajo paramétrico, pero es considerado una forma fácil de visualizar y organizar los resultados (Gere y Goodno, 2009).

El método de la sección transformada es una técnica utilizada en la ingeniería de procesos, particularmente en la optimización del diseño de circuitos de molienda y en el análisis de flujos de materiales. Este método permite evaluar el rendimiento del sistema a través de una representación matemática que facilita la identificación de áreas de mejora.

a) Principios del Método de la Sección Transformada

El método se basa en la transformación de las secciones del proceso para analizar el flujo y las interacciones entre diferentes componentes del sistema. Según Wills y Napier-Munn (2016), este enfoque permite descomponer un proceso complejo en secciones más manejables, facilitando el estudio de cada parte individualmente. Esta técnica es especialmente útil para optimizar la distribución de energía y los costos asociados al procesamiento de minerales.

b) Aplicaciones en la Molienda

En el contexto de la molienda, el método de la sección transformada se utiliza para modelar y predecir el comportamiento de las partículas dentro de los molinos y otros equipos. Carrasco et al. (2019) señalan que, al aplicar este método, los ingenieros pueden simular diferentes condiciones operativas y evaluar el impacto de variables como la velocidad de operación y la geometría del equipo, optimizando así el proceso de molienda.

c) Ventajas del Método

Las ventajas del método incluyen su capacidad para identificar cuellos de botella en el proceso y su uso en la evaluación de alternativas de diseño. Según Mavros et al. (2018), este enfoque proporciona una visión integral del proceso, permitiendo ajustes informados en la configuración del sistema. Esto puede conducir a una mayor eficiencia operativa y a una reducción de costos en la planta.

2.2.31 Centro de Cortante

Es el punto donde existe la simetría de las fuerzas de corte.

Según Gere y Goodn (2009), los esfuerzos que se aplican en la sección diagonal tienen como resultado el momento flexionante M y los esfuerzos cortantes tienen una resultante que es la fuerza cortante (igual a P).

El centro de cortante es un concepto fundamental en la ingeniería de materiales y en el diseño de estructuras, especialmente en el análisis de fuerzas y momentos en sistemas mecánicos. En el contexto de la molienda y el transporte de materiales, el centro de cortante se refiere al punto en el cual se aplican las fuerzas cortantes que afectan la estabilidad y el rendimiento de los equipos (Gere y Goodno, 2009).

2.2.32 Definición y Relevancia del Centro de Cortante

El centro de cortante se define como el punto donde es aplicado las fuerzas en una sección transversal de un material o componente. Según Hibbeler (2016), este punto es crucial para el análisis de estructuras, ya que la ubicación del centro de cortante influye en cómo se distribuyen las tensiones en el material. En sistemas de molienda, entender la ubicación del centro de cortante ayuda a optimizar el diseño de molinos y otros equipos, asegurando que se minimicen los riesgos de falla y desgaste.

2.2.33 Aplicaciones en Procesos de Molienda

En la molienda, el centro de cortante afecta cómo las fuerzas se transmiten a través del material en el molino y, por ende, cómo se realiza la fragmentación de los sólidos. Wills y Napier-Munn (2016) destacan que un correcto entendimiento del centro de cortante puede mejorar la eficiencia del proceso, permitiendo un diseño más efectivo de los equipos y una mejor distribución de las fuerzas aplicadas, lo que resulta en un mayor rendimiento y una reducción del desgaste de las herramientas.

2.2.34 Implicaciones en el Diseño de Equipos

El análisis del centro de cortante también tiene implicaciones en el diseño de las fajas transportadoras y otros sistemas asociados. Carrasco et al. (2019) mencionan que considerar

la ubicación del centro de cortante al diseñar estos sistemas puede contribuir a una mejor estabilidad y a una operación más eficiente, minimizando la vibración y el desgaste de los componentes.

2.2.35 Conexiones Empernadas

En la instalación y selección de estas piezas se usa el criterio de corte, este criterio es el que más falla, en otros casos los tornillos son de análisis porque la zona del vástago es la que se pone en análisis.

Figura 15

Perno con Hilo Exterior del Plano Cortante



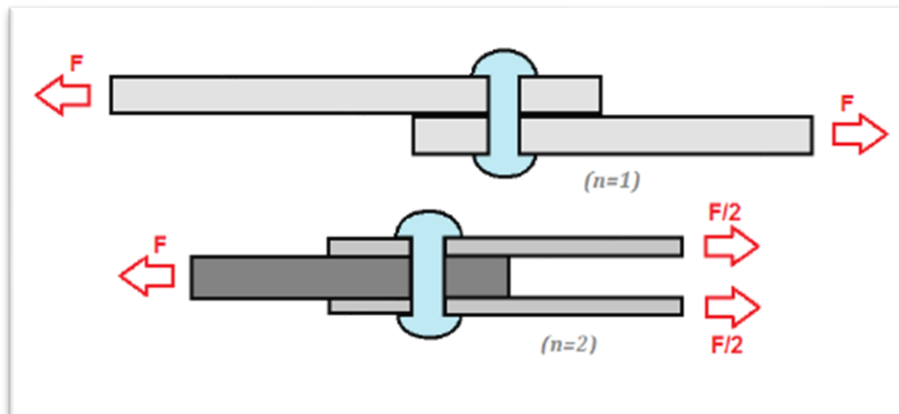
Nota. Extraído de Csernak y McCormac (2013, p.398).

En la selección de estas piezas de toma en consideración el tipo de rosca ya que estas concentran esfuerzos, la variación del área transversal reduce la capacidad de soporte del perno. Según Budynas y Nisbett (2008) todos los pernos llevan sobre su cabeza marcado el grado lo cual indica que el perno utilizado cumple o supera sus parámetros de trabajo.

Las conexiones empernadas son usadas mayormente en estructuras que tienen cargas repetidas.

Figura 16

Unión Sobrepuesta y de Tope



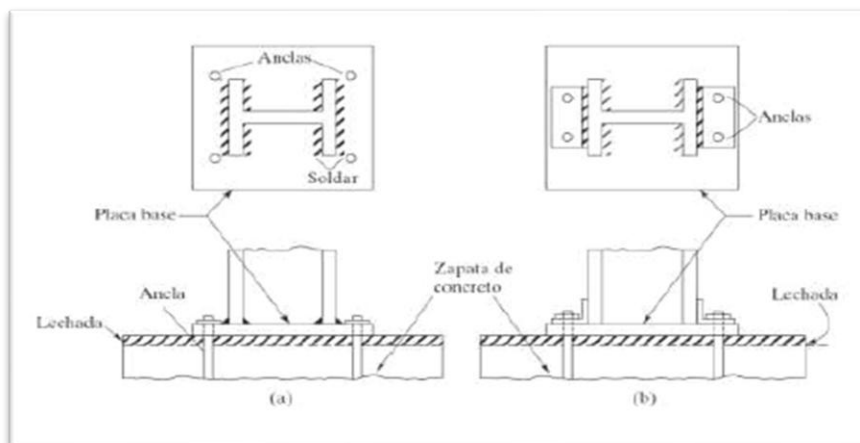
Nota. Tomado de (Wikipedia, 2016).

2.2.36 Placa Base

Según Csernak y McCormac (2013) el esfuerzo en dados de concreto es menor en comparación a bases de acero para columnas. Cuando una columna de acero es instalada en un dado de concreto, se debe distribuir el esfuerzo en toda la superficie de contacto para disminuir el esfuerzo que soporta la zapata en un solo punto. Las cargas aplicadas a las columnas son transferidas a la placa base a un área proporcional a la base del cimiento, que está ubicado abajo de dicha placa.

Figura 17

Planchas Base



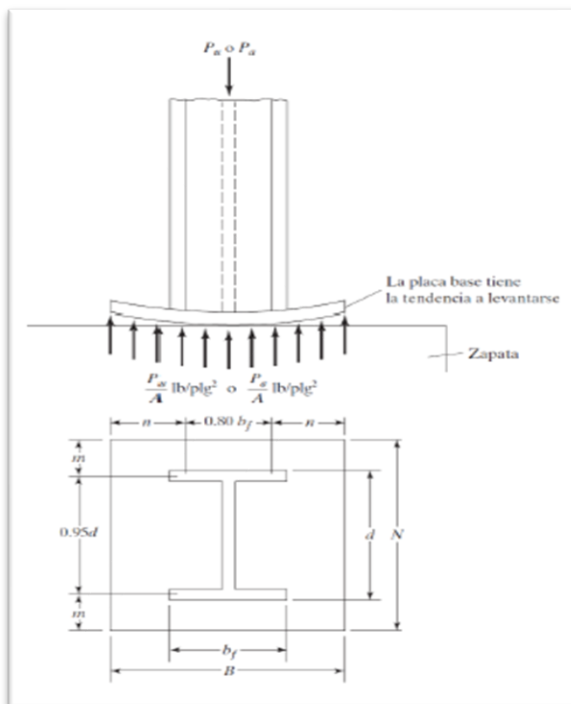
Nota: Tomado de Csernak y McCormac, 2013.

Para la fabricación de placas se cuenta con dos tipos:

- Con orejas, en el que se usan los perfiles L con el fin de mantener la unión empernada y desmontable.
- Con soldadura de entre la columna y la placa base.

Figura 18

Tendencia de Placa



Nota. Extraído de (Csernak y McCormac, 2013).

2.2.37 Empalmes en las Bandas

De acuerdo con CEMA (2007) las fajas transportadoras son fabricadas in situ, por medio de grapas mecánicas o uniones vulcanizadas. El proceso del vulcanizado en fajas otorga una unión más resistente y mayor prolongación de vida útil.

a) Ventajas de las uniones vulcanizadas

Según CEMA (2007) las ventajas son:

1. Mayor fuerza.

2. Prolongación de vida útil. Si la instalación es la correcta y tiene un buen mantenimiento el empalme vulcanizado puede durar años.

3. Limpieza. Una unión vulcanizada debe ser liso y continuo. Entonces, el mineral transportado no deberá filtrarse. La unión en caliente no hace variar el trabajo de los raspadores primarios o secundarios de la faja.

b) Desventajas de las uniones vulcanizadas

Según CEMA (2007) las desventajas son:

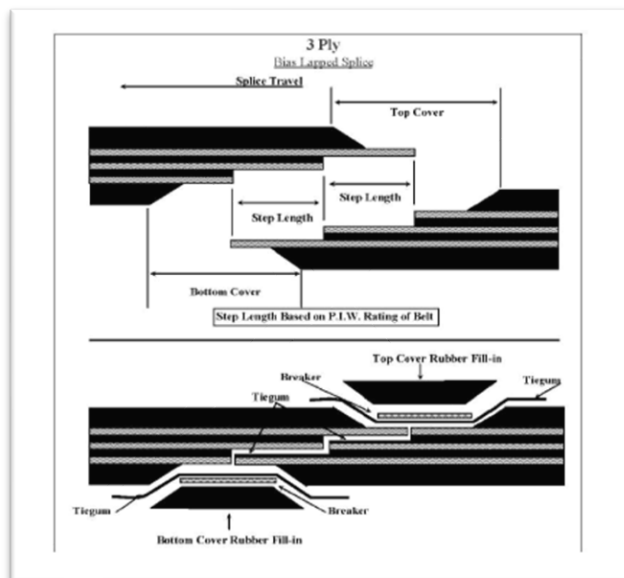
1. Mayor costo. El gasto económico de una unión vulcanizada es superior que el de un empalme con unión por grapas.

2. Realizar el cambio de faja y realizar nuevamente la unión vulcanizada conlleva mucho tiempo y costo, principalmente en reparaciones correctivas.

3. Dificultad de trabajo. En los trabajos de vulcanizado es muy importante la calidad de los materiales utilizados y sobre todo la experiencia del operador. En los empalmes vulcanizados, la vida útil de los materiales es limitada por lo que el cambio es más frecuente.

Figura 19

Empalme Vulcanizado



Nota. Tomado de (CEMA, 2007).

a) Ventajas de empalme fijadas mecánicamente

Según CEMA (2007) las ventajas son:

1. Menor tiempo. La unión mecánica debe ser realizada por personal experimentado en un muy poco tiempo.

2. Bajo costo. El costo de personal y materiales es un porcentaje del costo de la unión en caliente.

b) Desventajas de empalme fijadas mecánicamente

Para CEMA (2007) las desventajas son:

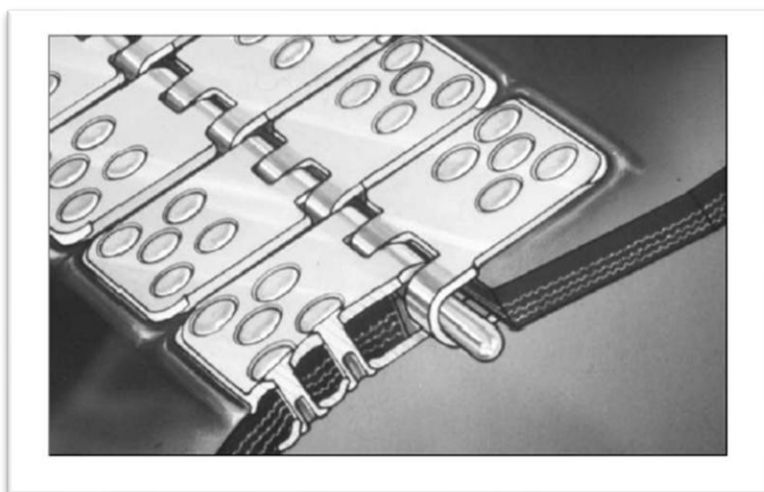
1. Al exponer la zona cortada y las uniones con humedad por los materiales puede ocasionar daños en la superficie de la banda.

2. Área con rugosidad. Las grapas provocan una rugosidad en la zona de unión. Los raspadores de faja y la misma faja se ven afectados por el contacto de estas dos partes produciendo un daño en el mismo limpiador y faja.

3. Temperatura. Las grapas almacenan temperatura y lo dirigen a la correa. Esto puede provocar desgaste en la carcasa.

Figura 20

Empalme Mecánico



Nota. Tomado de (CEMA, 2007).

2.2.38 Selección del Motor Eléctrico

Según CEMA (2007) el motor seleccionado debe tener la potencia requerida por la faja transportadora, relacionado con la eficiencia de todos los equipos del funcionamiento. Los motores eléctricos con ventilación hermética deben tener un factor de trabajo de 1.00 (NEMA).

Cuando se trabaja con un factor de servicio de 1.15, la capacidad no debe proporcionar carga y no debe aplicarse una mayor aceleración. Cuando la fuerza resultante en el eje está por encima de 1.00, y la faja transportadora es totalmente funcional; el comprador de la faja transportadora puede aprobar el uso de esta (CEMA, 2007).

La selección del motor eléctrico es un aspecto crítico en el diseño y operación de sistemas de molienda y transporte en plantas de beneficio. Un motor adecuado no solo asegura un funcionamiento eficiente, sino que también contribuye a la reducción de costos operativos y al mantenimiento adecuado de los equipos (CEMA, 2007).

2.2.39 Criterios para la Selección del Motor

La elección del motor eléctrico debe basarse en varios criterios, incluyendo la potencia requerida, el tipo de carga, la eficiencia y el costo. Según Hughes y Drury (2016), es fundamental calcular la potencia necesaria considerando la carga máxima que el motor deberá soportar durante su operación. Esto implica un análisis detallado de las características del proceso de molienda y el tipo de materiales a procesar.

2.2.40 Tipos de Motores Eléctricos

Existen diferentes tipos de motores eléctricos que pueden ser utilizados en sistemas de molienda, como los motores de inducción, los motores síncronos y los motores de corriente continua. Cada tipo tiene sus ventajas y desventajas. Por ejemplo, los motores de inducción son ampliamente utilizados por su robustez y eficiencia, mientras que los motores de corriente continua ofrecen un mejor control de velocidad (Higgins, 2018).

2.2.41 Eficiencia Energética

La eficiencia energética es un aspecto crucial para considerar en la selección del motor. Un motor con alta eficiencia puede reducir significativamente los costos operativos y el impacto ambiental de la planta. Según Mavros et al. (2018), el uso de motores de alta eficiencia no solo mejora el rendimiento del sistema, sino que también puede contribuir a obtener certificaciones ambientales y reducir las emisiones de carbono.

2.2.42 Mantenimiento y Fiabilidad

Además de la eficiencia y la potencia, la fiabilidad del motor es esencial para minimizar el tiempo de inactividad. Hughes y Drury (2016) destacan que seleccionar motores que requieran un mantenimiento mínimo y que tengan una larga vida útil es crucial para asegurar una operación continua y rentable en la planta de beneficio.

2.3 Definiciones conceptuales

Molienda

La molienda es el proceso mecánico de reducción de tamaño de partículas sólidas mediante la acción de fuerzas de compresión, impacto y abrasión. Este proceso es fundamental en la minería y en la industria de procesamiento de minerales, ya que permite liberar minerales valiosos de la matriz mineral (Wills y Napier-Munn, 2016).

Faja Transportadora

Es un sistema mecánico utilizado para mover materiales de un lugar a otro dentro de una planta. Consiste en una banda continua que se desplaza sobre rodillos y que se utiliza para transportar minerales, rocas, y otros materiales a lo largo de diferentes etapas del proceso de producción (Mavros et al., 2018).

Eficiencia Energética

La eficiencia energética se refiere a la capacidad de un sistema para utilizar la menor cantidad de energía posible para realizar un trabajo determinado. En el ámbito de la

molienda, una mayor eficiencia energética implica menores costos operativos y un menor impacto ambiental (Hughes y Drury, 2016).

Centro de Cortante

El centro de cortante es el punto en el que se aplican las fuerzas cortantes sobre una sección transversal de un material o componente. Este concepto es crucial para el análisis estructural y el diseño de equipos de procesamiento, ya que influye en cómo se distribuyen las tensiones y se transmiten las fuerzas (Hibbeler, 2016).

Acción Química

La acción química se refiere a las interacciones que ocurren entre los minerales y los reactivos utilizados en el proceso de molienda. Estas interacciones son esenciales para mejorar la eficiencia de separación y recuperación de minerales (Gao et al., 2017).

Selección del Motor Eléctrico

La selección del motor eléctrico implica elegir un motor adecuado para las necesidades específicas de un sistema, considerando factores como potencia, eficiencia, tipo de carga y requisitos de mantenimiento. Esta selección es crítica para asegurar un funcionamiento eficiente y rentable del sistema de molienda y transporte (Hughes y Drury, 2016).

Poleas

CEMA (2007) afirma: Los diámetros de los rodillos van desde las 8 pulgadas hasta las 60 pulgadas. En el caso de las medidas estandarizadas de los tambores de ala son desde las 8 pulgadas hasta las 36 pulgadas. Otros diámetros son considerados especiales. Las medidas de los tambores deben ser elegidos de acuerdo con los estándares de CEMA.

Polines

Los polines son elementos mecánicos de una faja transportadora el cual ayuda al transporte de mineral a distintos puntos.

Tamaño de Material

El tamaño del material es definido por la mayor dimensión del paralelepípedo en el cual puede inscribirse. Los materiales son clasificados por el tamaño en su desplazamiento en clasificados y no clasificados. Para el caso de los clasificados la relación entre el mayor y el menor es de 2.5 y para los no clasificados esa relación es mayor (Navarro, 2013).

Cohesión

La cohesión viene a ser proporcionalmente inverso a la fluidez; cuanto mayor es esta, menor es la cohesión. Es el ángulo formado por la horizontal y la pendiente del desplazamiento. (Navarro, 2013)

Fluidez

Es la propiedad de todo material, es la libertad del cuerpo de moverse libremente, cuando el material se pone en movimiento por la fuerza de la gravedad o una fuerza externa. (CEMA, 2007).

Abrasividad

Depende del tipo de material, provoca el desgaste de las chapas de contacto de los tolvinos de transferencia, en las fajas transportadoras, en los polines y rodillos (Navarro, 2013).

Temperatura

En caso la temperatura del mineral sea alto, se debe trabajar con recubrimientos especiales (Navarro, 2013).

Altura

También llamado variación de nivel, entre la carga y la descarga del mineral, es un parámetro importante para obtener la presión con la que debe bajar o levantar dicha

carga. Esta diferencia es la distancia vertical entre los ejes de rodillos y cola y cabeza (ContiTech Conveyor Belt Group, 2001).

Empalmes

El tipo de empalme ya sea vulcanizado en caliente, en frío o mecánico, define el máximo esfuerzo de la faja. Las uniones vulcanizadas son más eficaces que los mecánicos, aumenta el tiempo entre mantenimientos (ContiTech Conveyor Belt Group, 2001).

Transmisión

Para el funcionamiento correcto es necesario saber si el movimiento de la faja es ejercido por una polea motriz o por dos y si las áreas de los rodillos pueden ser lisos o en su defecto recubiertos. De estos datos se puede calcular el esfuerzo del retorno, de igual manera se deberá especificar la ubicación del punto de energía motriz (ContiTech Conveyor Belt Group, 2001).

Ancho de la banda

El ancho de la faja permite calcular el volumen de la faja y el peso de las piezas mecánicas de donde resultará la tensión efectiva (ContiTech Conveyor Belt Group, 2001).

Esqueleto

El esqueleto es la estructura encargada de soportar totalmente la resistencia de la faja. Debe resistir todas las cargas ejercidas en la faja en el transporte del mineral. (ContiTech Conveyor Belt Group, 2001).

SopORTE de carga

Está conformado por la resistencia del conjunto de cargas que se interactúa en los rodillos de cabeza, rodillo de cola y polines en todos sus tipos (ContiTech Conveyor Belt Group, 2001).

CAPÍTULO 3 MARCO METODOLÓGICO

3.1. Planteamiento metodológico

3.1.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, ya que busca solucionar un problema específico en la optimización del sistema de molienda mediante la implementación de una faja transportadora. Se utilizarán conocimientos de pregrado para evaluar parámetros operativos, diseñar y fabricar la estructura del transportador, y analizar los indicadores de producción y mantenimiento. Asimismo, el estudio adopta un enfoque cuantitativo, ya que se basa en la recopilación y análisis de datos medibles para evaluar el impacto de la optimización. Además, presenta un diseño experimental, dado que se implementará una solución tecnológica y se medirán sus efectos en los procesos de molienda y transporte dentro de la planta de beneficio.

3.1.2. Nivel de investigación

Se llevará a cabo un estudio descriptivo y explicativo, detallando el área de estudio y respondiendo preguntas clave sobre la necesidad de optimizar el sistema de molienda. Se analizará cómo y por qué es fundamental implementar un nuevo sistema de transporte, considerando factores como el aumento en la demanda de procesamiento de minerales y las limitaciones operativas actuales. Actualmente, el sistema de transporte no cubre los tiempos establecidos, lo que genera cuellos de botella, afecta la eficiencia del proceso y reduce la disponibilidad de los equipos. El exceso de trabajo en los equipos incrementa el desgaste y puede derivar en fallas prematuras, aumentando los costos de mantenimiento y afectando la producción. Este nivel de investigación permitirá identificar los impactos de la implementación de la faja transportadora en la mejora de la eficiencia, la reducción de tiempos muertos y el aumento de la disponibilidad operativa, proporcionando un sustento técnico para la optimización del sistema de molienda en la planta.

3.1.3. Diseño de investigación

El diseño orientará la investigación y servirá de guía para el desarrollo, dando pautas a seguir según los objetivos que se plantean a conseguir, la fabricación e instalación de la faja transportadora buscará responder la pregunta de la investigación y validar la Hipótesis. El diseño de la investigación será del tipo explicativo experimental.

Dado que se plantea instalar una faja transportadora con el fin de optimizar el proceso de molienda tanto en el área de producción como el de mantenimiento. Una vez instalado la faja, será conectado a un molino de bolas. Del seguimiento del trabajo realizado se extraerán datos para visualizar los indicadores, de esta manera se estaría probando y validando los objetivos trazados en esta Tesis.

3.2. Población y muestra

Para la fabricación, instalación y seguimiento de optimización de la faja transportadora se tomará en cuenta los equipos actualmente en funcionamiento en el área de molienda y el personal involucrado.

Población

Tabla 3

Población

Personal Involucrado	Cantidad (unds)
Supervisor de Planta	3
Supervisor de Mantenimiento	2
Técnicos Mecánicos	11
Técnicos Electricistas	3
Operadores	12

Nota. Elaboración propia.

Muestra

No aplica por la cantidad pequeña de personal involucrado.

3.3. Equipos y Materiales

3.3.1. Equipos

Tabla 4

Componentes de equipos

COMPONENTE	U.M.	CANT.
Máquina de soldar	und	4.00
Equipo Oxicorte	und	2.00
Amoladora 4 ½"	und	4.00
Amoladora 7"	und	4.00
Taladro Vertical	und	1.00
Cizalla industrial	und	1.00
Plegadora industrial	und	1.00
Arenadora	und	1.00
Compresor de aire	und	1.00
Tecle de cadena	und	4.00
Tecle de palanca	und	4.00
Camioneta	und	1.00
Camión grúa	und	1.00

Nota. Elaboración propia.

3.3.2. Materiales

Tabla 5

Materiales utilizados

COMPONENTE	DIMENSIÓN (mm)	U.M.	CANT.
FAJA TRANSPORTADORA			
Perfil W6x15x6.0m	10836.00	und	1.81
Perfil L2"x2"x1/4"x6.0m	12006.00	und	2.00
Perfil C6"x8.2lb/piesx6.0m	24509.00	und	4.08
Pl estruct. 3/8" x400mmx800mm		und	1.00
Polines		glb	1.00
Polea		glb	1.00
Estaciones		glb	1.00
Tensor		und	1.00

Guardas de seguridad		glb	1.00
Sist. De Limpieza		glb	2.00
Sist. Alineamiento		glb	2.00
Pull Cord		und	2.00
Faja		und	1.00
PLATAFORMA DE MOLINO			
Perfil L2 1/2"x2 1/2"x1/4"x6.0m	5784.00	und	0.964
Peril L2 1/2"x2 1/2"x3/16"x6.0m	13758.00	und	2.293
Perfil C4"x5.4lb/piesx6.0m	2715.00	und	0.4525
Tub. Cuad. 4"x1/4"x6.0m	20346.00	und	3.391
Tub. Circ. Ø1 1/4"x2.0mmx6.0m	15228.00	und	2.538
Pl estruct. 3/8" x420mmx420mm		und	1.00
ESCALERA			
Perfil C6"x8.2lb/piesx6.0m	9508.00	und	1.58
Tub. Circ. Ø1 1/4"x2.0mmx6.0m	29944.00	und	4.99
Pl estriada 1/4"x1.2mx2.4m		und	2.00
CHUTE			
Perfil L2"x2"x1/4"x6.0m	2905.00	und	0.48
Pl estruct. 3/8" x1.2mx2.4m		und	2.00
Tub. Circ. Ø4"x2.0mmx2.0m		und	1.00
Codo 60° Ø4"		und	2.00
PASARELA			
Tub. Circ. Ø1 1/4"x2.0mmx6.0m		und	20.00
Pl estruct. 3/8" x1.2mx2.4m		und	1.00
OBRAS ELÉCTRICAS			
Cable 3x8mm ²		rollo	1.00
Cable 7x16mm ²		rollo	1.00
Tub. Conduit Ø1/2"x3.0m		und	30.00
Botoneras		und	20.00

Nota. Elaboración propia.

3.4. Justificación del uso de unidades imperiales (pulgadas)

En la presente investigación se utilizarán unidades en pulgadas para las dimensiones relacionadas con el diseño de la faja transportadora, como el ancho de la faja, el diámetro de rodillos y espaciamentos, debido a que la normativa CEMA (5ª edición), empleada como base técnica principal para el cálculo y selección de componentes, presenta sus tablas y

especificaciones en el sistema de unidades imperiales (USCS). Esta decisión se toma con el objetivo de mantener la coherencia técnica con las fuentes normativas y evitar errores por conversión durante el diseño. No obstante, cuando corresponda, se acompañarán los valores principales con su conversión al Sistema Internacional de Unidades (SI) para facilitar la interpretación académica y técnica del contenido.

3.5. Procedimiento de las pruebas experimentales

Para mejorar la eficiencia del sistema de molienda en la planta de La Joya Mining, se está implementando una faja transportadora que agiliza el transporte del mineral, reduce los tiempos muertos y optimiza el mantenimiento. La faja fue diseñada bajo normas CEMA, asegurando resistencia y buen desempeño. Su instalación se realiza de manera ordenada para garantizar un montaje seguro y eficiente.

Se espera obtener mejoras significativas en los resultados, con un aumento del MTBF de 5 a 27 horas, una mejora en la disponibilidad mecánica del 56% al 92% y una reducción del MTTR de 4 a 2,5 horas. Esta solución optimiza la producción, reduce costos y mejora la continuidad operativa de la planta.

3.5.1. Modelamiento Estructural

Es la función del desempeño del componente en el software de análisis estructural. Con los datos obtenidos se aproxima lo más posible a todos y cada una de las características del modelo.

Es una de las especialidades de las ciencias físicas que determina las características de la fabricación. Las estructuras están diseñadas para soportar, y tienen la característica de deformarse, vibrar, pandearse o fluir dependiendo las aplicaciones.

3.5.1.1. Asignación de Cargas

a) Cargas muertas

La estructura soporta cargas impuestas por el Reglamento Nacional de Edificaciones:

Tabla 6

Descripción de las cargas muertas

DESCRIPCIÓN	CARGA
Escaleras, corredores y descansos.	400 kg/m ²
Peso propio del acero.	7850 kg/m ³
Carga sobre la faja, polines, correas y poleas.	150 kg/m ²
Cargas de viento.	100 km/h
Barandas para plataformas fijas, pasillos, escaleras y parapetos.	60 kg/m ²

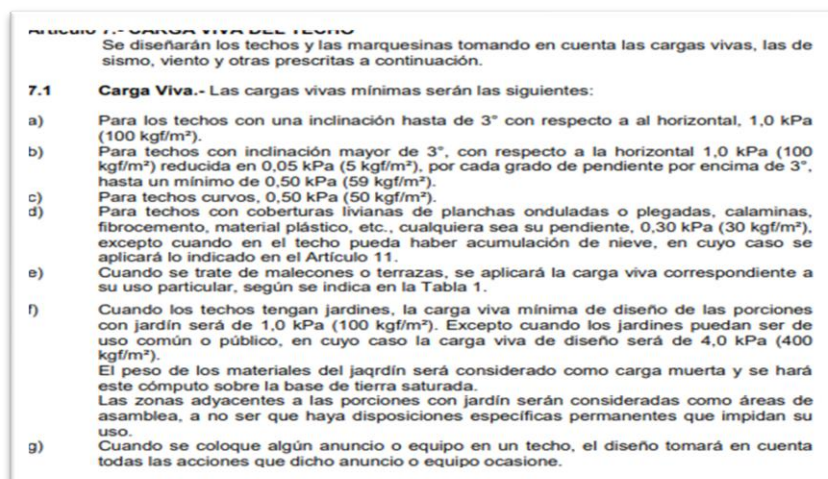
Nota. Elaboración propia.

b) Cargas vivas

La estructura soporta cargas impuestas por el Reglamento Nacional de Edificaciones según el Artículo 7 de la Norma E-020 de cargas.

Figura 21

Cargas vivas mínimas para techos (Artículo 7.1)



Nota. Extraído de la Norma E-020.

Se toma una carga de 30 kg/m², para un techo de cobertura liviana. Para nuestro proyecto no aplica esta carga viva.

c) Cargas de viento

La carga de Viento de acuerdo con la Norma E.020:

Velocidad de Viento: 100 km/h Zona de Arequipa según Mapa Eólico de Perú. Información tomada del Art.: 12 Capítulo 03, Norma E-020 Reglamento Nacional de Edificaciones.

Consideramos los siguientes estados de Viento:

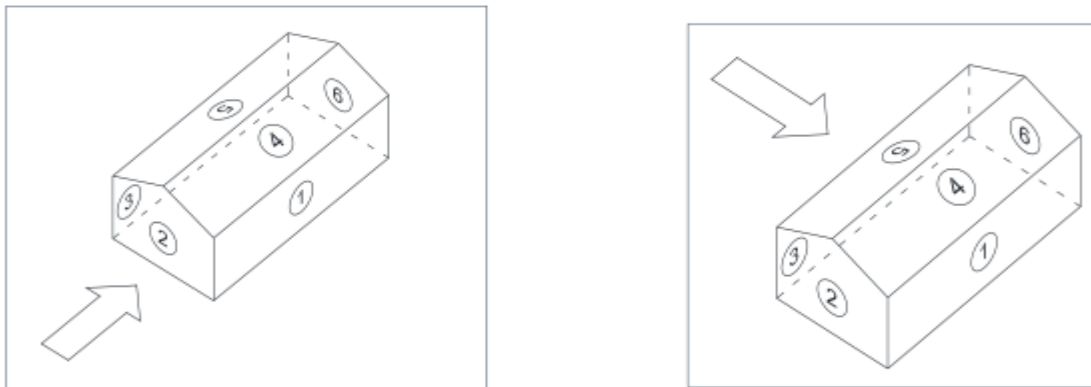
- W_{x1} : Viento en sentido longitudinal de la estructura, asumiendo que está totalmente cerrada.
- W_{x2} : Viento en sentido longitudinal de la estructura, asumiendo que está abierto a la cara de barlovento.
- W_{y1} : Viento en sentido transversal de la estructura, asumiendo que está totalmente cerrada.
- W_{y2} : Viento en sentido transversal de la estructura, asumiendo que está abierto a la cara de barlovento.

W_x

W_y

Figura 22

Estados de viento



Nota. Extraído de la Norma E-020.

Los coeficientes para la estructura son:

En el análisis estructural ante cargas de viento, se consideran los factores de forma “C”, que dependen del tipo de superficie expuesta y su orientación respecto al viento. Estos factores

permiten estimar si la acción del viento genera presión positiva o succión (presión negativa) sobre la superficie evaluada.

Los valores obtenidos son los siguientes:

- Superficies verticales de edificios: presentan un coeficiente de presión positiva de +0.8 y uno de succión de - 0.6, reflejando el comportamiento típico frente al impacto directo del viento.
- Superficies inclinadas a 15° o menos respecto a la horizontal muestran un coeficiente de presión de +0.3 y succión de - 0.6, indicando una menor exposición directa.
- Superficies verticales o inclinadas (planas o curvas) paralelas a la dirección del viento tienen un comportamiento completamente de succión, con valores de -0.7 tanto en presión como en succión.

Además, se considera el efecto de las aberturas en las estructuras. En el caso de aberturas principales ubicadas en el lado a barlovento, se asigna un coeficiente de presión de +0.8, mientras que en el lado opuesto (sotavento) el efecto se anula, asignándose un valor de 0.

El signo positivo indica presión interna y el negativo significa succión interna.

Se calculará la presión del viento en la estructura con su coeficiente en cada paño según su longitud tributaria.

d) Análisis sísmico

El análisis sísmico será aplicado en la fabricación de la Faja Transportadora debido a que se deberá fabricar una estructura metálica anclada a dados de concreto. La estructura por fabricar deberá soportar diferentes pesos, además es necesario comprender su comportamiento frente a diferentes fuerzas aplicadas.

La fuerza sísmica es de acuerdo con la Norma E-030 (Norma Técnica Sismo Resistente).

e) Parámetros sísmicos

Según la Norma E-030, 2018:

Tabla 7

Factor de suelo

Zona de Suelo	S₀	S₁	S₂	S₃
Z₄	0.8	1	1.05	1.1
Z₃	0.8	1	1.15	1.2
Z₂	0.8	1	1.2	1.4
Z₁	0.8	1	1.6	2

Nota. Tomado de la Norma E-030 2018.

Según estudio de suelos:

- Z : 0.45 (Zona 4 según E-030-18)
- U : 1.5 Factor de importancia de la Edificación.
- S : 1.05
- T_p : 0.6
- R_x : 6 (Coeficiente de reducción arriostrados).
- R_x : 6 (Coeficiente de reducción arriostrados).
- T_L : 2

a) Parámetros de sitio

Figura 23

Factores de Zona sísmica



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

Nota. Tomado de la Norma E-030 2018.

b) Condiciones Geotécnicas

Según la Norma E-030 de 2018, esta clasificación está basada en parámetros como la velocidad promedio de ondas de corte, el número de golpes del ensayo de penetración estándar y la resistencia no drenada.

Tabla 8*Clasificación de los perfiles de suelo según el EMS*

CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO			
Perfil	V_s	N_{60}	S_u
S0	>1500 m/s	-	-
S1	500 m/s a 1500 m/s	>50	>100 kPa
S2	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S3	<180 m/s	<15	25 kPa a 50 kPa
S4	Clasificación basada en el EMS		

Nota. Tomado de la Norma E-030 2018**c) Categorías de las Edificaciones****Tabla 9***Categoría de las edificaciones*

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
	A1: Establecimiento de salud 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	<p>A2: Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo severo tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1. - Puertos, aeropuertos, locales municipales, centrales de comunicación. Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía. - Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua. <p>Todas aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre, tales como instituciones educativas, institutos superiores y universidades.</p> <p>Se incluyen edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos.</p> <p>Edificios que almacenen archivos e información esencial del Estado.</p>	1.5

B Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines. Teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas. También se considerarán 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 1:	Las nuevas edificaciones de categoría A1 tendrán aislamiento sísmico en la base cuando se encuentren en las zonas sísmicas 5 y 3. En las sísmicas 1 y 2, la entidad responsable podrá decidir si se usa o no aislamiento sísmico 1 y 2, valor de U será como mínimo 1.5.	
Nota 2:	En estas edificaciones deberá proveerse resistencia y rigidez adecuadas para acciones laterales, a criterio del proyectista.	

Nota. Tomado de la Norma E-030 2018.

U: 1.50, consideramos un factor de importancia de 1.3, según estudios de suelos.

d) Sistemas Estructurales

Los sistemas estructurales son configuraciones diseñadas para soportar y distribuir las cargas que actúan sobre una edificación, garantizando su estabilidad y seguridad. Según el tipo de material y la disposición de los elementos estructurales, se definen coeficientes básicos de reducción (R_0) que representan la capacidad del sistema para disipar energía sísmica.

Tabla 10

Sistemas estructurales

Sistema Estructural	R_0
<u>Acero:</u>	
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. Tomado de la Norma E-030 2018.

$$R_x = 6.0$$

$$R_y = 6.0$$

ANÁLISIS DINÁMICO

Se realizará el análisis sísmico dinámico – Aceleración Espectral según la Norma E-030:

$$S_a = \frac{Z * U * C * S}{R} * g$$

Asignación de Masa

La masa será utilizada en el análisis dinámico, cuya aplicación servirá para calcular los esfuerzos de aceleración aplicadas.

$$\text{Masa: } D + 0.5 L$$

Donde:

D: Carga Muerta

L: Carga viva

Estimación del Peso (P)

El peso (P), se calculará adicionando a la carga permanente y total de la edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga que se determinará de la siguiente manera:

- En edificaciones de las categorías A y B, se tomará el 50 % de la carga viva.
- En edificaciones de la categoría C, se tomará el 25 % de la carga viva.
- En depósitos, el 80 % del peso total que es posible almacenar.
- En azoteas y techos en general se tomará el 25 % de la carga viva.
- En estructuras de tanques, silos y estructuras similares se considerará el 100 % de la carga que puede contener.

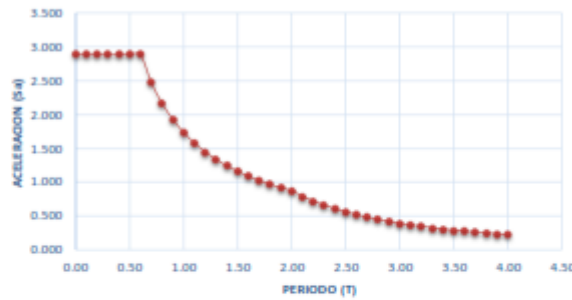
ESPECTRO DEL REGLAMENTO E-030 - 2018 - dir x

Z	U	S2	Rx	g	Tp	Tl
0.45	1.50	1.05	6.00	9.81	0.60	2.00

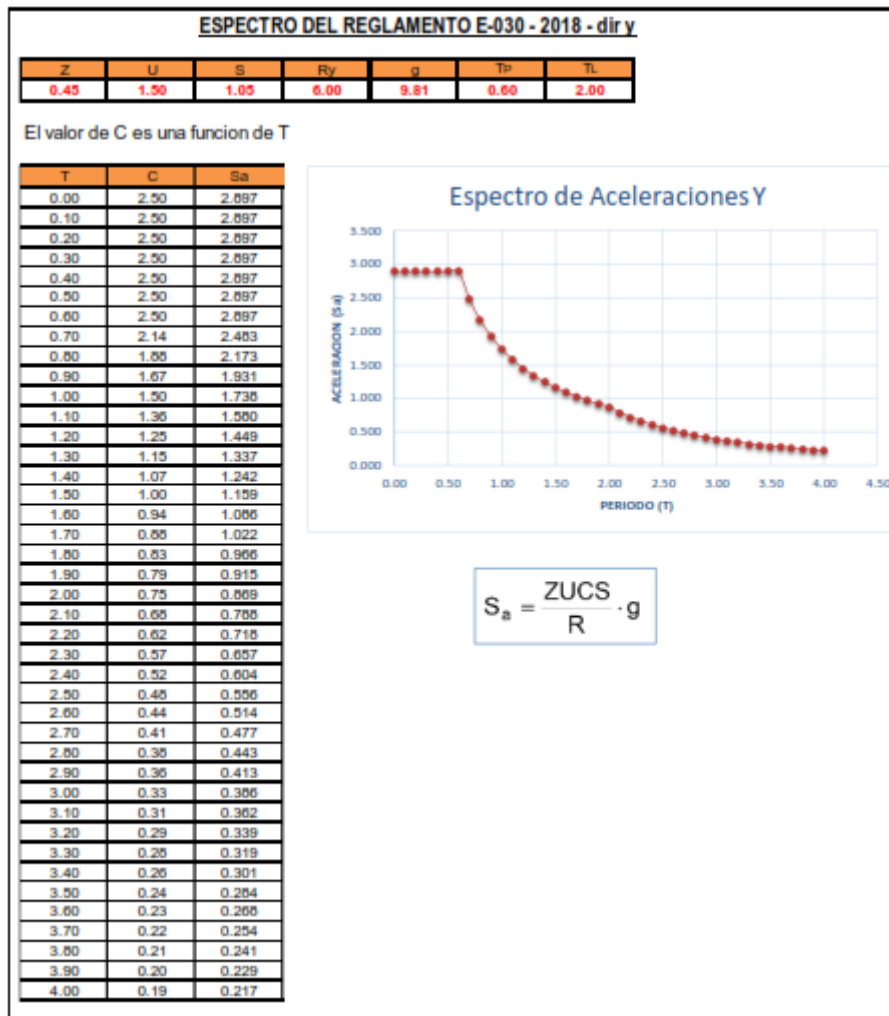
El valor de C es una función de T

T	C	Sa
0.00	2.50	2.697
0.10	2.50	2.697
0.20	2.50	2.697
0.30	2.50	2.697
0.40	2.50	2.697
0.50	2.50	2.697
0.60	2.50	2.697
0.70	2.14	2.483
0.80	1.88	2.173
0.90	1.67	1.931
1.00	1.50	1.736
1.10	1.36	1.580
1.20	1.25	1.449
1.30	1.15	1.337
1.40	1.07	1.242
1.50	1.00	1.159
1.60	0.94	1.086
1.70	0.88	1.022
1.80	0.83	0.966
1.90	0.79	0.915
2.00	0.75	0.869
2.10	0.68	0.788
2.20	0.62	0.718
2.30	0.57	0.657
2.40	0.52	0.604
2.50	0.48	0.556
2.60	0.44	0.514
2.70	0.41	0.477
2.80	0.38	0.443
2.90	0.36	0.413
3.00	0.33	0.386
3.10	0.31	0.362
3.20	0.29	0.339
3.30	0.28	0.319
3.40	0.26	0.301
3.50	0.24	0.284
3.60	0.23	0.268
3.70	0.22	0.254
3.80	0.21	0.241
3.90	0.20	0.229
4.00	0.19	0.217

Espectro de Aceleraciones X



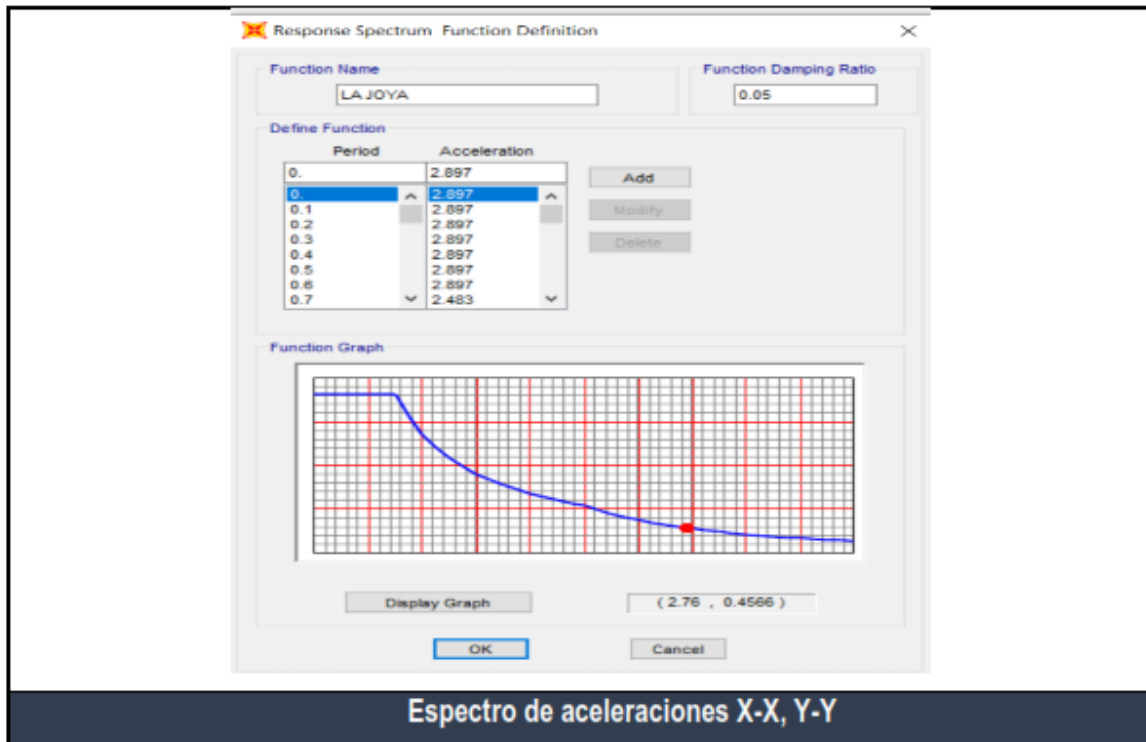
$$S_a = \frac{ZUCS}{R} \cdot g$$



El espectro de aceleraciones es una herramienta que se utiliza en el análisis dinámico de estructuras, para evaluar su respuesta frente a movimientos sísmicos. En la Figura 24 se presenta el espectro de aceleraciones generado en el software SAP2000, donde se define la función espectral mediante períodos y aceleraciones específicas. Este gráfico permite identificar los valores máximos de aceleración que una estructura puede experimentar en función de su periodo de vibración, siendo un recurso clave para el diseño sismorresistente y la evaluación del desempeño estructural bajo condiciones dinámicas.

Figura 24

Espectro de aceleraciones en SAP



Nota. Elaboración propia.

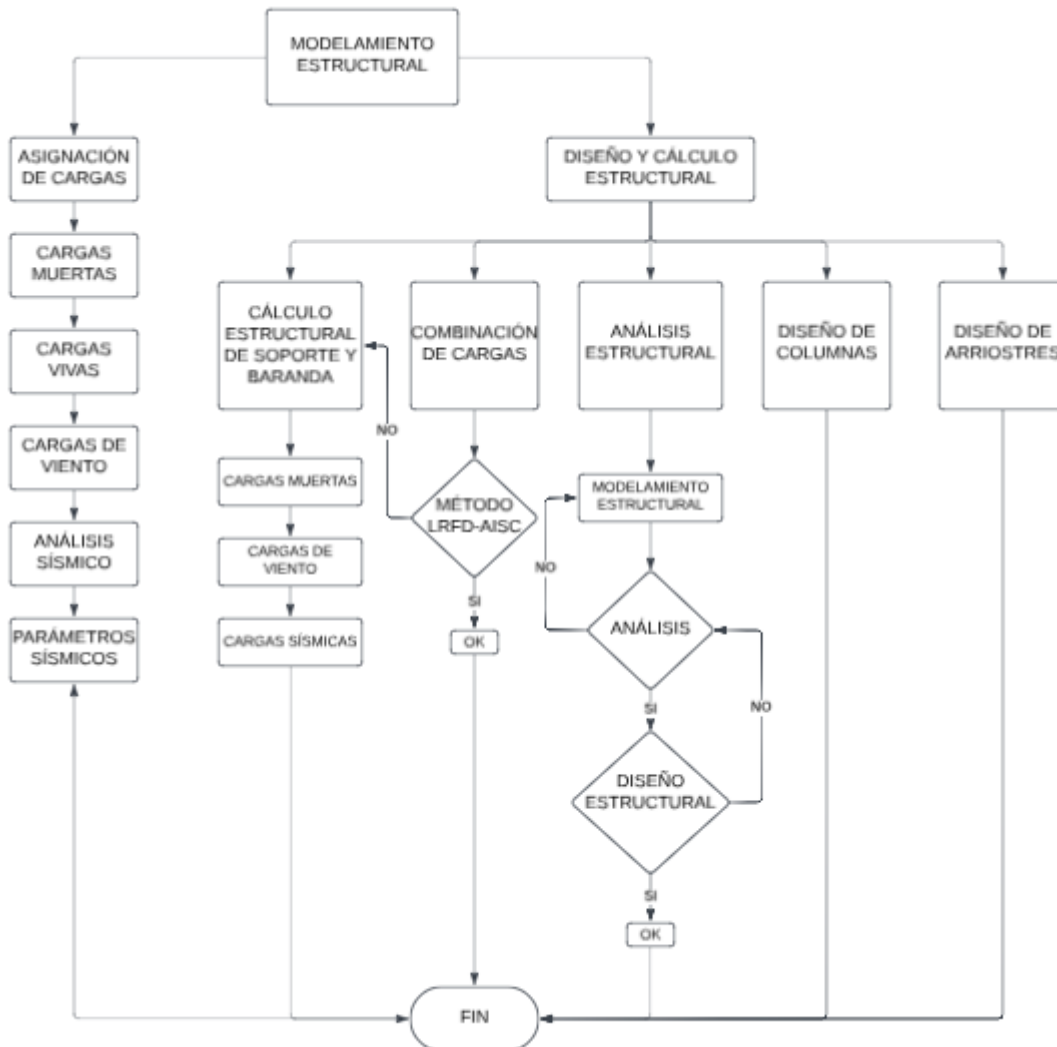
3.5.2. Diseño y cálculo estructural

El diagrama de flujo muestra los pasos básicos para el diseño y cálculo estructural en el proyecto. Primero, se asignan las cargas que soportarán la estructura, como las cargas muertas, vivas, de viento y sísmicas. Después, se realiza el cálculo estructural combinando estas cargas según normas establecidas para garantizar que la estructura sea resistente.

Luego, se lleva a cabo un análisis estructural para verificar que el diseño sea adecuado, utilizando herramientas de modelado. Finalmente, se diseña cada componente de la estructura, como columnas y arriostres, asegurando que todo esté preparado para soportar las cargas del sistema. Este proceso es parte del trabajo para instalar la faja transportadora en la planta.

Figura 25

Diagrama de flujo para el diseño y cálculo estructural



Nota. Elaboración propia.

3.5.2.1. Cálculo estructural de soporte de plataforma y barandas

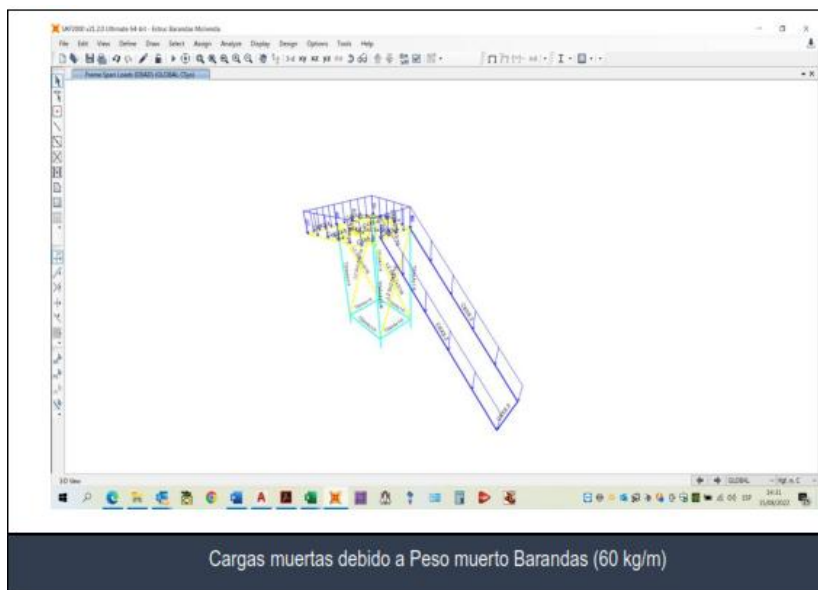
En esta sección se determinará el cálculo estructural de los elementos componentes de la estructura soporte de la plataforma y barandas de la sección Molienda con el apoyo del Software de Calculo SAP2000 V 21. Se pretende en esta sección determinar los esfuerzos máximos a la que estarán sometidos los perfiles de la estructura soporte.

a) Cargas muertas

- El peso de la estructura es tomado por el software de diseño.
- Se considera una carga distribuida de 60 kg/m sobre la estructura de soporte debido a cargas de barandas.

Figura 26

Cargas muertas por peso de barandas (60 kg/m)



Nota. Elaboración propia.

b) Cargas de viento

Según norma E-030 se consideran las siguientes cargas de Viento a Barlovento y

Sotavento, según capítulo 10.3:

- Altura de la Edificación : 2.8 m.
- Velocidad de Viento : 100 km/h.
- Ancho tributario : 0.2 m.

Tabla 11*Cargas de Viento Transversal*

CARGA DE VIENTO TRANSVERSAL A LA CONSTRUCCIÓN						
Factor de forma "C" adicional según aberturas:						
Principales el lado a Barlovento 0.8						
C	Presión	Succión	Factor adicional C "+"		Factor adicional C "-"	
C1=	0.80	0.00	<u>C1</u> -(+C)=	0.00	<u>C1</u> -(-C)=	1.6
C2=	0.00	-0.70	<u>C2</u> -(+C)=	-1.50	<u>C2</u> -(-C)=	0.1
C3=	0.00	-0.60	<u>C3</u> -(+C)=	-1.40	<u>C3</u> -(-C)=	0.2
C4=	0.00	0.70	<u>C4</u> -(+C)=	-0.50	<u>C4</u> -(-C)=	1.1
C5=	0.00	0.60	<u>C5</u> -(+C)=	-1.40	<u>C5</u> -(-C)=	0.2
C6=	0.00	0.70	<u>C6</u> -(+C)=	1.50	<u>C6</u> -(-C)=	0.1

Presión	Cálculo de cargas Kg/m ²			Área Trib. (m)	Presión Max. Kg/m ²	Succión Max. Kg/m ²	Carga de diseño kg/m (presión)
Ph1=	46.95	0.00	0.00	0.20	93.91	0.00	18.78
Ph2=	0.00	-41.08	-88.04	0.20	5.87	-88.04	1.17
Ph3=	0.00	-35.22	-82.17	0.20	11.74	-82.17	2.35
Ph4=	17.61	-41.08	-29.35	0.20	64.56	-29.35	12.91
Ph5=	0.00	-35.22	-82.17	0.20	11.74	-82.17	2.35
Ph6=	0.00	41.08	88.04	0.20	5.87	88.04	1.17

Nota. Tomado de la Norma E-030.

Tabla 12*Cargas de Viento Longitudinal*

CARGA DE VIENTO LONGITUDINAL A LA CONSTRUCCIÓN						
C	Presión	Succión	Factor adicional C "+"		Factor adicional C "-"	
C1=	0.00	-0.70	<u>C1</u> -(+C)=	-1.50	<u>C1</u> -(+C)=	-1.50
C2=	0.00	-0.60	<u>C2</u> -(+C)=	-1.40	<u>C2</u> -(+C)=	-1.40

Ph = 0.005*C*Vh2	Cálculo de cargas Kg/m ²			Área Tributaria (m)	Presión max. Kg/m ²	Succión max. Kg/m ²	Carga de diseño kg/m (Presión)	
Ph1=	0.00	-41.08	-88.04	0.20	5.87	5.87	-88.04	1.17
Ph2=	0.00	-35.22	-82.17	0.20	11.74	11.74	-82.17	2.35
Ph3=	0.00	-41.08	-88.04	0.20	5.87	5.87	-88.04	1.17
Ph4=	17.61	-41.08	-88.04	0.20	5.87	5.87	-88.04	1.17
Ph5=	0.00	-41.08	88.04	0.20	5.87	5.87	88.04	1.17
Ph6=	46.95	0.00	0.00	0.20	93.91	93.91	0.00	18.78

Nota. Tomado de la Norma E-030.

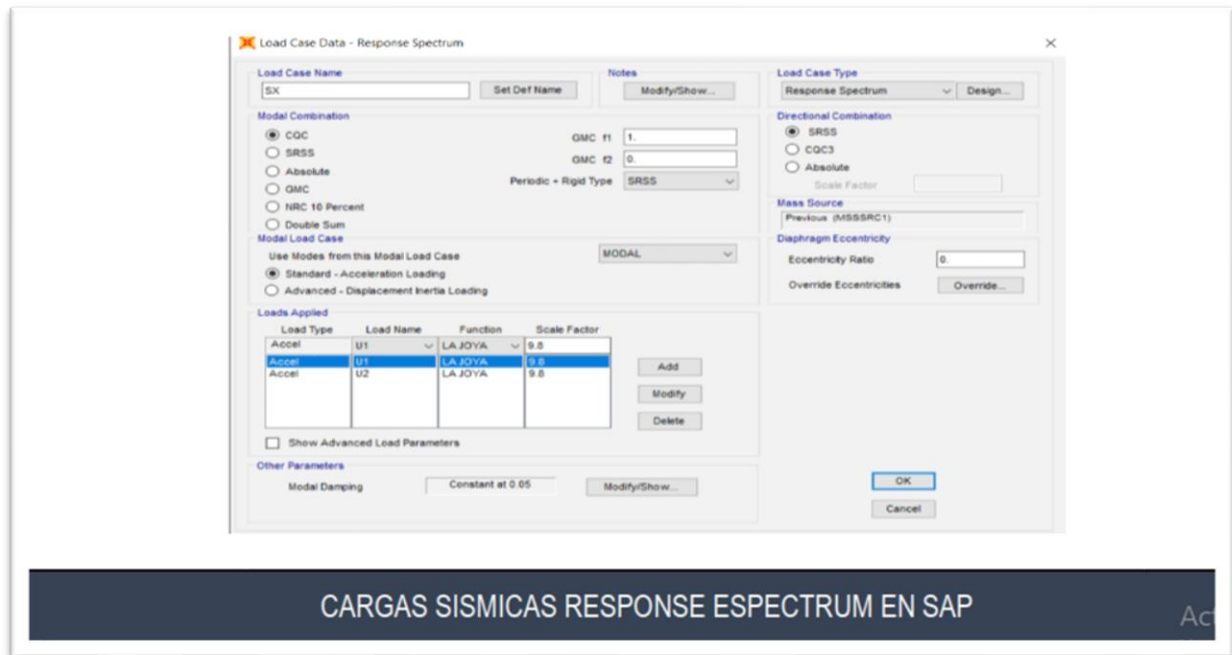
c) Cargas sísmicas

La Figura 27 muestra la configuración de las cargas sísmicas utilizando el método Response Spectrum en el software SAP2000. Este proceso es esencial para evaluar cómo responderá una estructura ante un evento sísmico, tomando como referencia un espectro de aceleraciones predefinido.

En esta configuración, se definen las direcciones de análisis (U1 y U2) y se asigna una función específica, en este caso denominada LA JOYA, que incluye las aceleraciones correspondientes. Además, se aplica un factor de escalada adecuado para representar correctamente las fuerzas sísmicas. El método de combinación modal utilizado es SRSS (Square Root of Sum of Squares), que permite combinar las respuestas modales de manera estadística para obtener los efectos totales en la estructura. Asimismo, se especifica un valor de amortiguamiento del 5%, típico en el análisis de estructuras de concreto y acero.

Figura 27

Configuración de cargas sísmicas Response Spectrum en SAP2000



Nota. Elaboración propia.

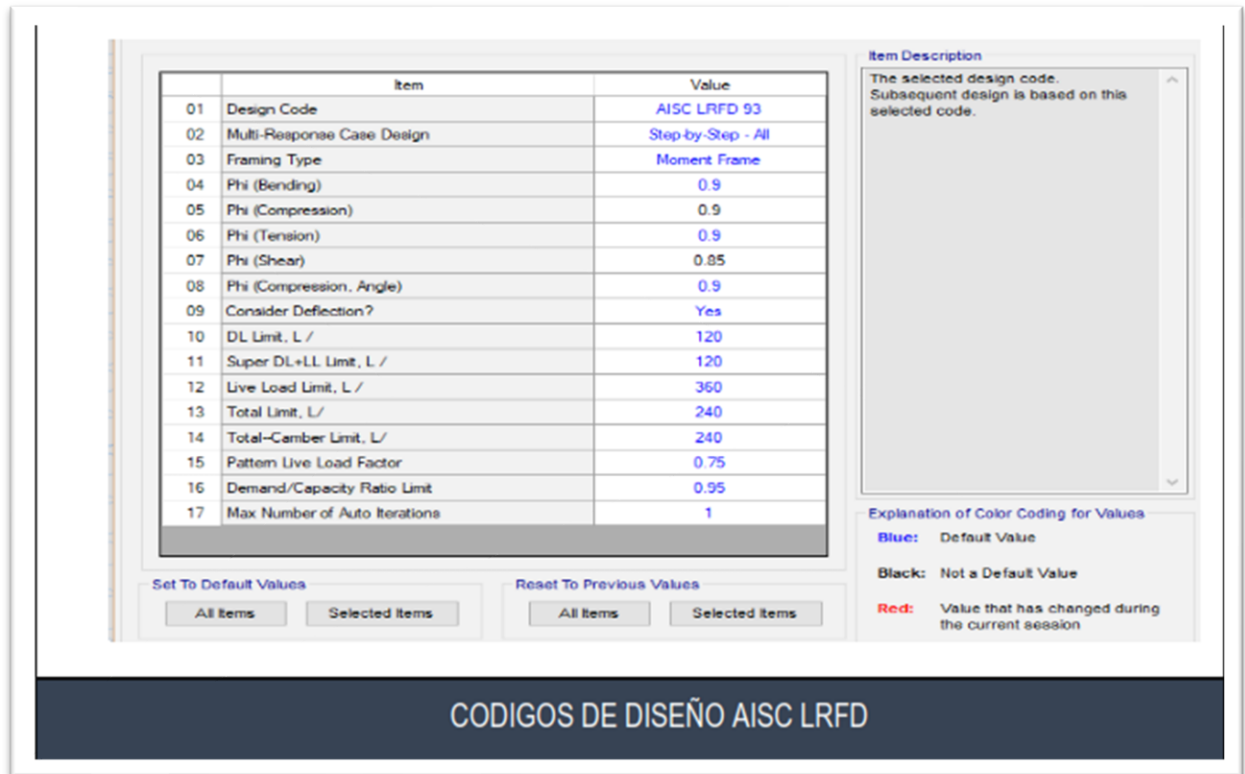
La Figura 28 muestra la configuración de los parámetros de diseño estructural en el software SAP2000, utilizando el código AISC LRFD 93 . Este código establece las normas para diseño de estructuras de acero bajo el método de diseño por factores de carga y resistencia (LRFD), asegurando que sean seguros y cumplan con los estándares internacionales.

En esta configuración, se define el tipo de marco estructural como Moment Frame, lo que indica que la estructura está diseñada para resistir principalmente momentos flectores. Además, se establecen los factores de reducción (ϕ) para diferentes tipos de esfuerzo, como flexión, compresión, tensión y corte, que son valores clave para garantizar la resistencia de la estructura. También se consideran límites específicos, como las deflexiones permitidas y las relaciones entre demanda y capacidad, asegurando que los desplazamientos y esfuerzos estén dentro de los valores aceptables. Se activa la evaluación de deflexiones para verificar que la

estructura pueda soportar las cargas sin deformaciones excesivas. Finalmente, se permite un número limitado de iteraciones automáticas, lo que simplifica el proceso de diseño y análisis.

Figura 28

Configuración de códigos de diseño LRFD en SAP2000



Nota. Elaboración propia.

3.5.2.2. Combinación de cargas

De acuerdo con el método de rotura - LRFD del AISC, se tiene:

- U1: 1.4D
- U2: 1.2D + 1.6L
- U3: 1.2D + L
- U4: 1.2D + 0.8W_x
- U5: 1.2D + 0.8W_y
- U6: 1.2D + L + 1.6W_x
- U7: 1.2D + L + 1.6W_y

- U8: $1.2D + L + 1.0Ex$
- Envolvente: $U1+U2+U3+U4+U5+U6+U7+U8$

Donde:

D = Carga muerta

L = Carga Viva

W = Carga de Viento

E = Carga de sismo

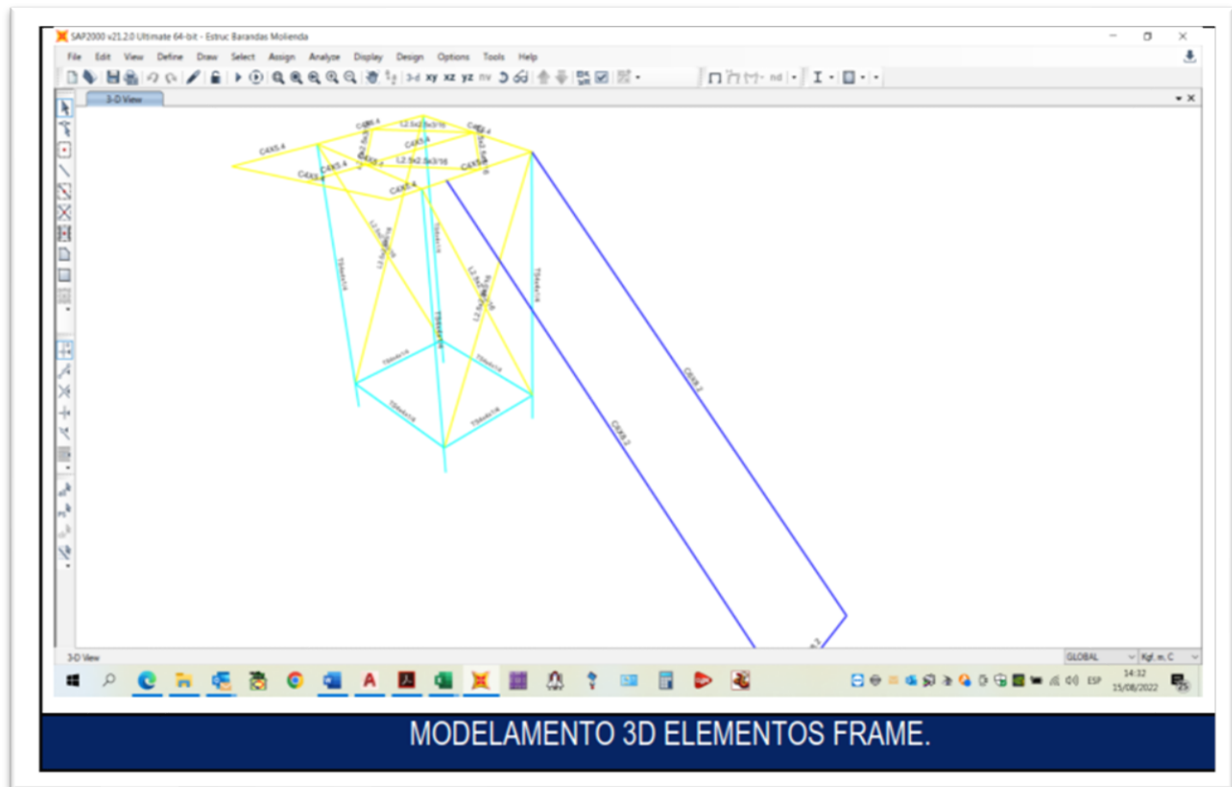
3.5.2.3. Análisis estructural

a) MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

Se realizó el modelamiento de la estructura en el software SAP2000 V21, utilizando elementos frame para representar los componentes estructurales principales. Este tipo de modelamiento permite simular el comportamiento de la estructura bajo diversas condiciones de carga.

Figura 29

Modelo 3D de elementos frame en SAP2000



Nota. Elaboración propia.

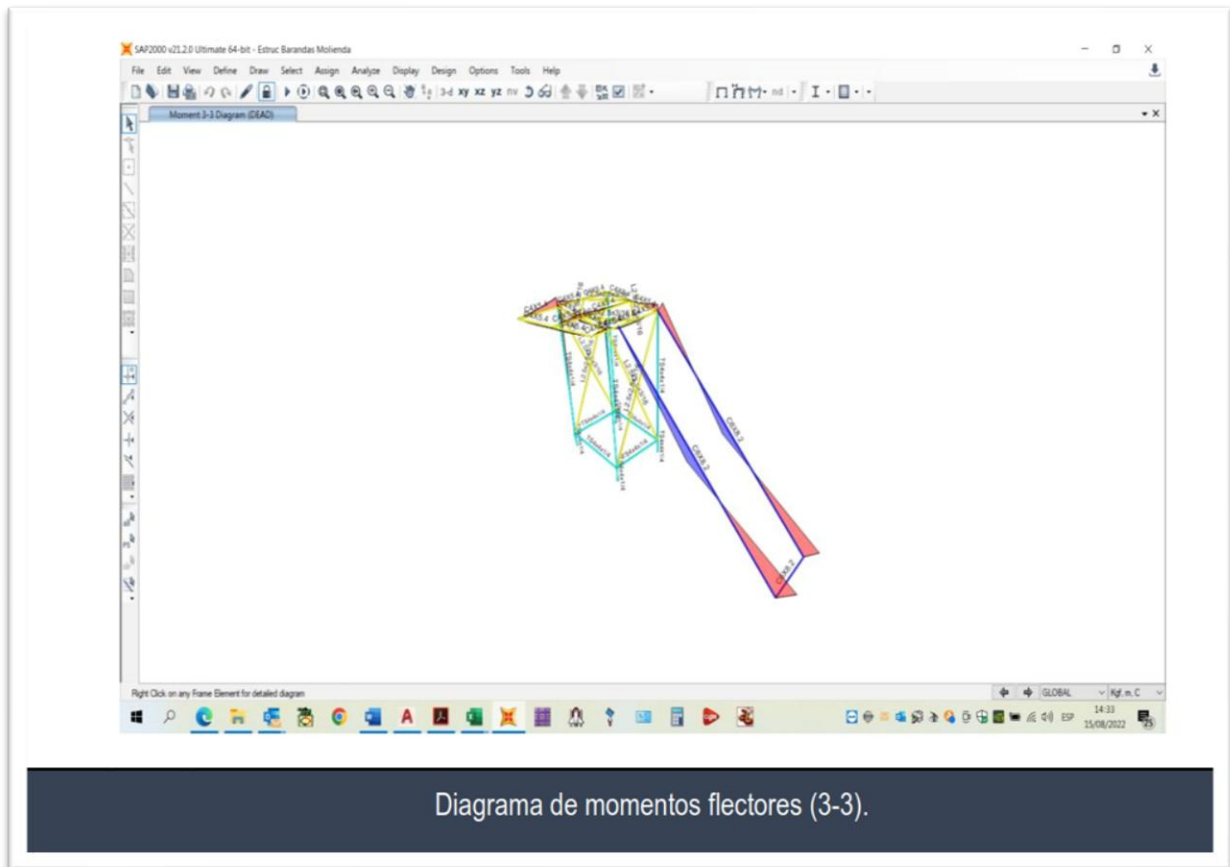
d) ANÁLISIS

Se mostrará las gráficas de fuerzas axiales, momentos y cortantes de la combinación de la estructura soporte de la Tolva ampliada.

La Figura 30 muestra el diagrama de momentos reflectores (3-3) obtenido en el software SAP2000. Este diagrama refleja cómo se distribuyen los momentos en los elementos de la estructura debido a las cargas aplicadas. Los colores permiten identificar las zonas donde los momentos son mayores, ayudando a verificar si los elementos estructurales cumplen con los requisitos de diseño. Este análisis es útil para asegurar que la estructura que soportará la faja transportadora tenga la resistencia necesaria y funcione de manera segura bajo las cargas de operación.

Figura 30

Diagrama de Momentos Flectores

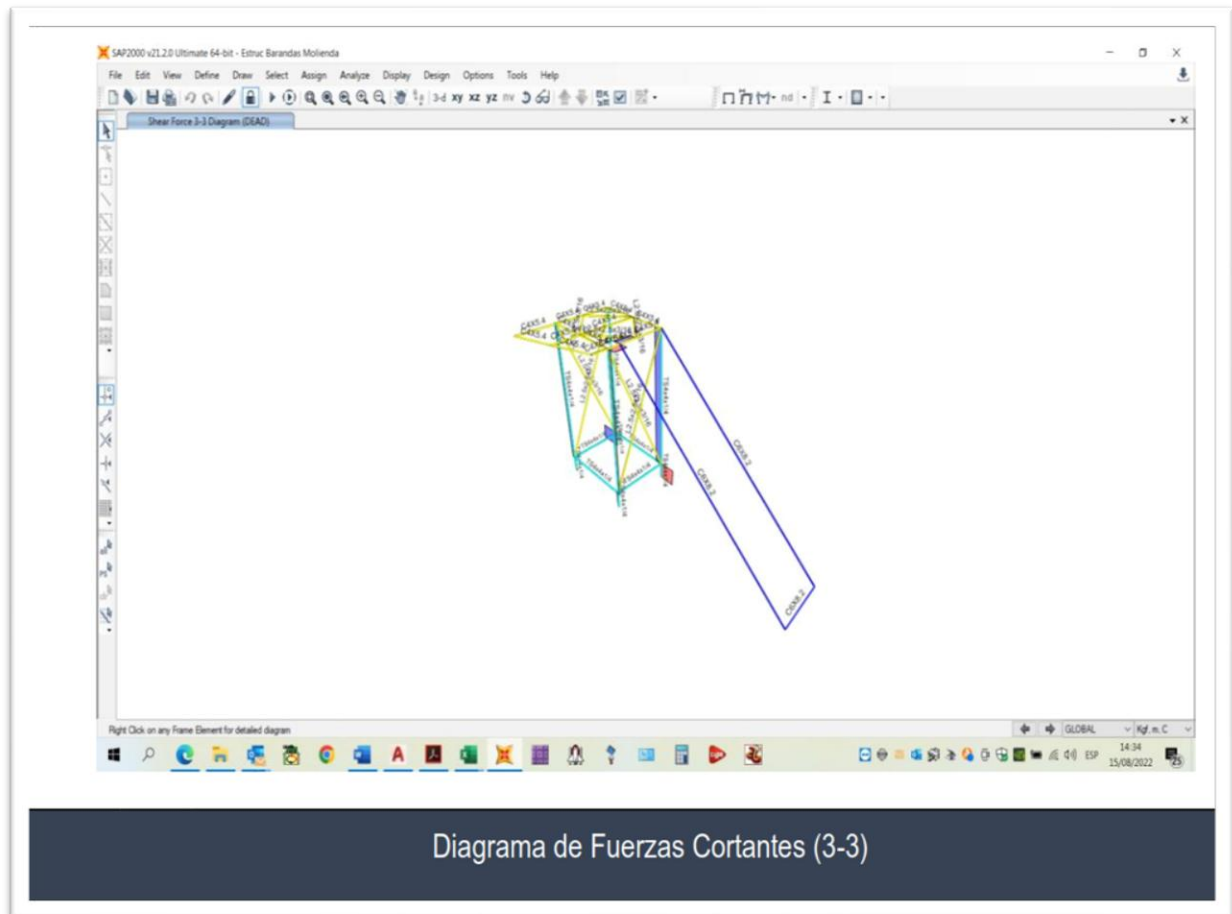


Nota. Elaboración propia.

La Figura 31 muestra el diagrama de fuerzas cortantes (3-3) obtenido en el software SAP2000. Este diagrama permite visualizar cómo se distribuyen las fuerzas cortantes a lo largo de los elementos de la estructura debido a las cargas aplicadas. El análisis de las fuerzas cortantes es importante para verificar que los elementos estructurales, como las barandas y soportes, puedan resistir las cargas sin fallar por corte. Esta información sirve para evaluar si el diseño cumple con los requisitos y realizar ajustes en caso de ser necesario, asegurando la estabilidad y seguridad de la estructura que soportará la faja transportadora.

Figura 31

Diagrama de Fuerzas Cortantes

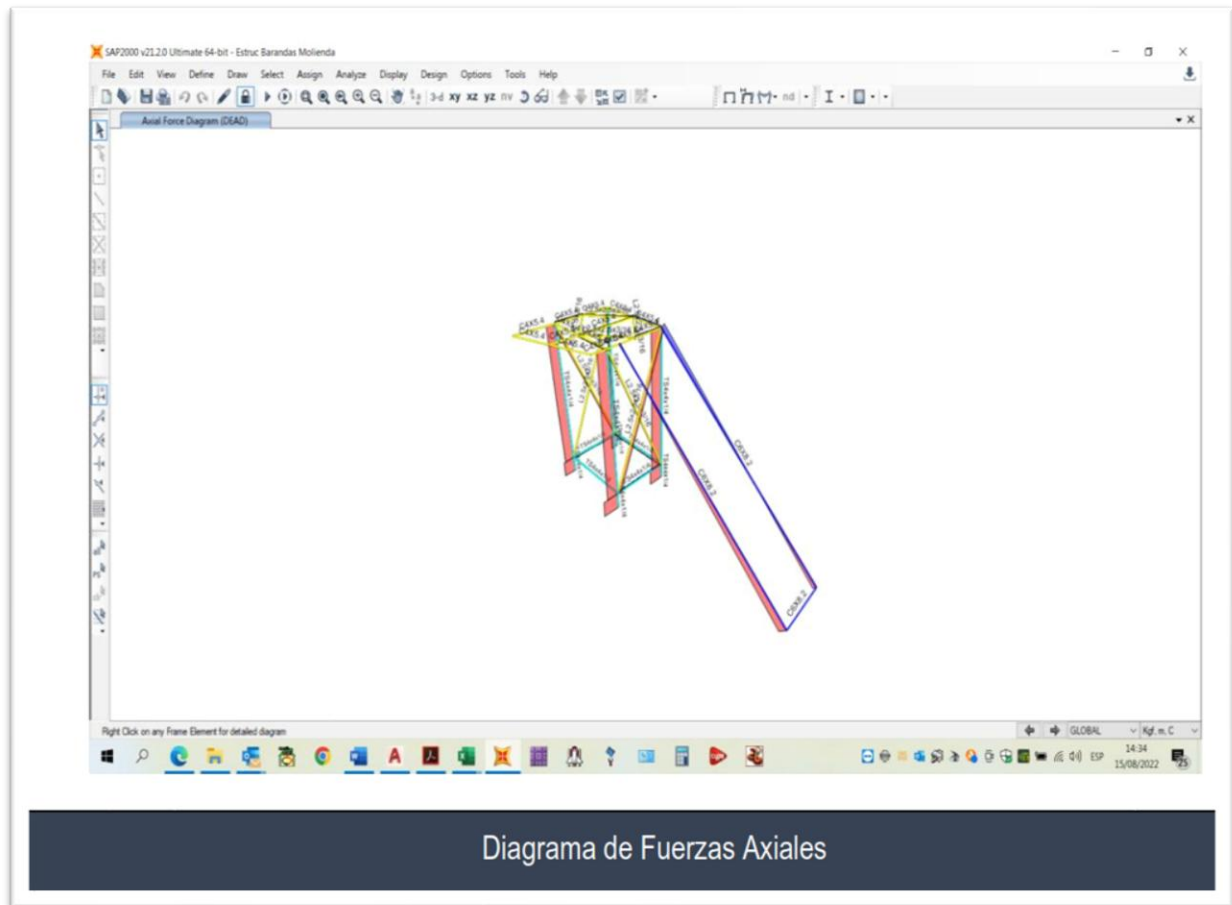


Nota. Elaboración propia.

La Figura 32 muestra el diagrama de fuerzas axiales obtenido en el software SAP2000. Este diagrama representa las fuerzas que actúan a lo largo del eje de cada elemento estructural debido a las cargas aplicadas. Las fuerzas axiales pueden ser de compresión (elementos empujados) o tracción (elementos estirados), según la dirección y magnitud de la carga. Este análisis es clave para verificar que los elementos estructurales, como las columnas y arriostres, puedan soportar las cargas sin fallar. Identificar las fuerzas axiales permite confirmar si el diseño cumple con los requisitos de resistencia y estabilidad necesarios para la estructura que soportará la faja transportadora, ajustando los elementos que presentan esfuerzos críticos.

Figura 32

Diagrama de Fuerzas Axiales



Nota. Elaboración propia.

e) **DISEÑO ESTRUCTURAL**

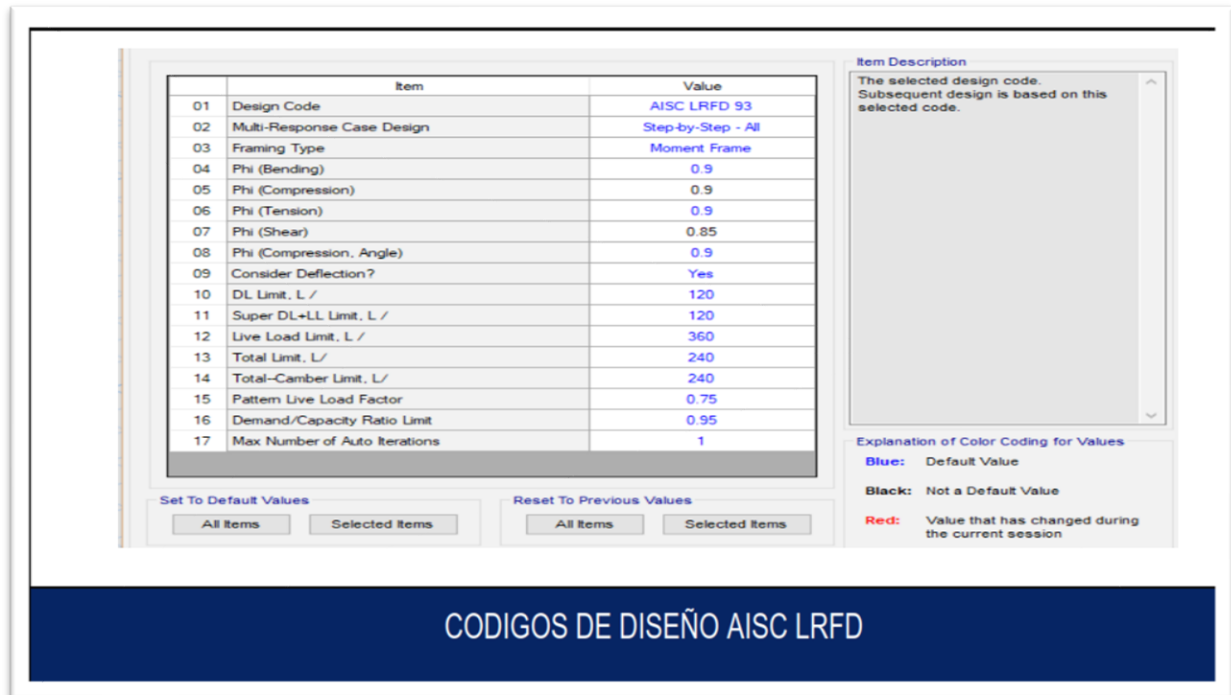
Se considera que los elementos son aceptables cuando satisfacen la relación entre Capacidad y Demanda, tal como lo establece el código AISC LRFD, donde la condición es “Ratio < 1”. Esta relación asegura que los elementos estructurales tienen la resistencia suficiente para soportar las cargas aplicadas sin fallar.

La Figura 33 muestra los parámetros de diseño configurados en SAP2000 bajo el código AISC LRFD, los cuales incluyen factores de reducción (ϕ) para flexión, compresión, tensión y corte, así como límites de desplazamientos y relaciones de demanda-capacidad. Estos

parámetros permiten verificar que cada componente estructural cumpla con las normas de diseño, garantizando la seguridad y estabilidad de la estructura.

Figura 33

Parámetros de diseño estructural bajo el código AISC LRFD en SAP2000



Item	Value
01 Design Code	AISC LRFD 93
02 Multi-Response Case Design	Step-by-Step - All
03 Framing Type	Moment Frame
04 Phi (Bending)	0.9
05 Phi (Compression)	0.9
06 Phi (Tension)	0.9
07 Phi (Shear)	0.85
08 Phi (Compression, Angle)	0.9
09 Consider Deflection?	Yes
10 DL Limit, L /	120
11 Super DL+LL Limit, L /	120
12 Live Load Limit, L /	360
13 Total Limit, L /	240
14 Total-Camber Limit, L /	240
15 Pattern Live Load Factor	0.75
16 Demand/Capacity Ratio Limit	0.95
17 Max Number of Auto Iterations	1

Item Description
The selected design code. Subsequent design is based on this selected code.

Explanation of Color Coding for Values
Blue: Default Value
Black: Not a Default Value
Red: Value that has changed during the current session

CODIGOS DE DISEÑO AISC LRFD

Nota. Elaboración propia.

La Figura 34 muestra el diseño de la estructura soporte verificado en el software SAP2000, donde se observan las relaciones de interacción de los miembros estructurales. Estos valores, calculados según el código AISC LRFD, permiten verificar la relación entre la demanda (carga aplicada) y la capacidad (resistencia del elemento). En este caso, todos los valores presentados en la figura son menores que 1, lo que indica que los elementos cumplen con los criterios de diseño estructural establecidos. Esto significa que la estructura de soporte tiene la resistencia necesaria para soportar las cargas accionantes sin exceder sus límites de capacidad.

Además, se comprueban las fuerzas cortantes en los ejes principales, y todos los resultados se encuentran dentro de los límites permitidos.

El reporte también muestra la relación demanda/capacidad, donde el valor obtenido es 0.454, lo cual es menor a 1, cumpliendo con el criterio establecido por el AISC LRFD. Esto indica que la columna tiene la resistencia necesaria para soportar las cargas sin riesgo de falla.

Figura 35

Reporte de columna TS 1/4"x4"x4"

```

AISC-LRFD93 STEEL SECTION CHECK
Combo : COMB8
Units : Kgf, m, C

Frame : 4          Design Sect: L4x4x1/4
X Mid : 4.5       Design Type: Column
Y Mid : 2.413    Frame Type : Moment Resisting Frame
Z Mid : 2.05     Sect Class : Slender
Length : 2.8     Major Axis : 0. degrees counterclockwise from local 3
Loc : 0.3       RLLF : 1.

Area : 0.001     SMajor : 1.721E-05   zMajor : 0.032   AVMajor: 6.452E-04
IMajor : 1.265E-06  SMinor : 1.721E-05   zMinor : 0.032   AVMMinor: 6.452E-04
IMMinor : 1.265E-06 ZMajor : 3.081E-05   zMax : 0.04     E : 20389019158.
Ixy : 0.         ZMinor : 3.081E-05   zMin : 0.02     Fy : 35153481.307
Theta : 45.

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS
Location      Pu      Mx33      Mx22      Vu2      Vu3      Tu
0.3          -462.926  75.551   -141.426  -55.77   105.243  -0.006

PMR DEMAND/CAPACITY RATIO
Governing    Total      P      M%Major    M%Minor    Ratio    Status
Equation     Ratio      Ratio  Ratio      Ratio      Limit    Check
(SAM 6-1b)   0.454 =   0.02 + 0.063 + 0.372  0.95    OK

AXIAL FORCE DESIGN
          Pu      phi*Pnc    phi*Pnt
          Force Capacity Capacity
Axial    -462.926  11795.051  39599.618

MOMENT DESIGN
          Mu      phi*Mn     Cm      B1      B2      K      L      Cb
          Moment Capacity Factor Factor Factor Factor Factor Factor
Major Moment -46.594  742.501  1.  1.007  1.  1.056  0.875  1.
Minor Moment -153.481  412.559  1.  1.028  1.  1.07  0.875

SHEAR DESIGN
          Vu      phi*Vn     Stress      Status      Tu
          Force Capacity Ratio      Check      Torsion
Major Shear  55.77  12246.995  0.005      OK      0.
Minor Shear  111.802  12246.995  0.009      OK      0.
    
```

Nota. Elaboración propia.

3.5.2.5. Diseño de arriostres

La Figura 36 muestra el reporte de diseño del arriostre L 3/16"x2 1/2"x2 1/2" generado en SAP2000 bajo el código AISC LRFD. Este informe evalúa la capacidad del arriostre para resistir las fuerzas aplicadas, cumpliendo con los criterios de resistencia axial, momentos y

esfuerzos cortantes. El informe presenta los esfuerzos que actúan sobre el arriostre, donde la fuerza axial es de -396.449 kgf, indicando que el elemento está sometido principalmente a compresión. Además, se analizan los momentos menores y mayores, así como las fuerzas de corte, verificando que todos los valores se encuentren dentro de los límites permitidos. En la sección de PMM (Demanda/Capacidad), se observa que la relación total es de 0.377, lo cual es menor a 1, cumpliendo con los requisitos del AISC. Asimismo, el diseño para fuerza axial, momentos y corte confirman que el arriostre tiene suficiente capacidad para resistir las cargas aplicadas sin fallas estructurales. Finalmente, el reporte muestra una advertencia sobre la relación $kl/r > 200$, que es un criterio de esbeltez según el AISC. A pesar de esto, el elemento cumple con las verificaciones de diseño y se considera aceptable para su función en la estructura.

Figura 36

Reporte de arriostre L 3/16"x 21/2"x21/2"

```
AISC-LRFD93 STEEL SECTION CHECK
Combo : COMB8
Units : Kgf, m, C

Frame : 10          Design Sect: L2.5x2.5x3/16
X Mid : 3.9        Design Type: Brace
Y Mid : 2.413      Frame Type : Moment Resisting Frame
Z Mid : 2.2        Sect Class : Slender
Length : 2.773     Major Axis : 0. degrees counterclockwise from local 3
Loc : 0.          RLLF : 1.

Area : 5.819E-04   SMajor : 4.965E-06   rMajor : 0.02   AVMajor: 3.024E-04
IMajor : 0.        SMinor : 4.965E-06   rMinor : 0.02   AVMinor: 3.024E-04
IMinor : 0.        ZMajor : 8.931E-06   rMax : 0.025   E : 20389019159.
Ixy : 0.           ZMinor : 8.931E-06   rMin : 0.013   Fy : 35153481.307
Theta : 45.

DESIGN MESSAGES
Warning: kl/r > 200 (AISC-LRFD B7, AISC-LRFD SAM 4)

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS
Location      Pu      Mx33      Mx22      Vu2      Vu3      Tu
0.            -396.449 -11.238   19.218    3.066    -12.792  -0.003

PMI DEMAND/CAPACITY RATIO
Governing    Total      P      MMajor    MMinor    Ratio     Status
Equation     Ratio      Ratio  Ratio     Ratio     Limit     Check
(SAM 6-1a)   0.377    = 0.208 + 0.025 + 0.144    0.95     OK

AXIAL FORCE DESIGN
          Pu      phi*Pnc    phi*Pnt
          Force Capacity Capacity
Axial    -396.449  1903.829  18411.316

MOMENT DESIGN
          Mu      phi*Mn     Cm      B1      B2      K      L      Cb
          Moment Capacity Factor Factor Factor Factor Factor Factor
Major Moment  5.607    200.686   1.    1.044   1.    1.    1.    1.
Minor Moment  21.796   134.304   1.    1.197   1.    1.    1.    1.

SHEAR DESIGN
          Vu      phi*Vn     Stress    Status    Tu
          Force Capacity Ratio     Check     Torsion
Major Shear  9.67     5740.779  0.002    OK        0.
Minor Shear  13.561   5740.779  0.002    OK        0.
```

Nota. Elaboración propia.

3.5.3. Cálculo de banda

DATOS:

- TAMAÑO MÁXIMO: 38.1 mm
- LONGITUD: 9.10 m = 29.86 ft
- INCLINACIÓN: 20°
- CAPACIDAD: 350 TN/H
- COEFICIENTE DE REDUCCIÓN DE CAPACIDAD (k): 0.81
- ÁNGULO DE TERNA: 35°

3.5.3.1. Cálculo de la velocidad (v) y el ancho de la faja (B)

Tabla 13

Factores de ajuste según el ángulo de sobrecarga y distribución de material

Ángulo de sobrecarga β	10% gruesos, 90% finos	100% gruesos
$\beta \leq 20^\circ$	3	5
$20^\circ \leq \beta < 30^\circ$	6	10

Nota. Tomado de la Norma E-030.

B= 3. Tamaño Máximo = $3 \times 38.1 \text{ mm} = 114.3 \text{ mm} = 4.5 \text{ pulgadas}$

Tabla 14

Capacidades de las bandas

ÁNGULO DE SOBRECARGA $\beta = 15^\circ$							
B	ÁNGULOS DE TERNA = λ						
	0°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
500	38	74	80	87	91	95	98
	0.0105	0.0205	0.0222	0.0241	0.0252	0.0263	0.0272
650	69	133	144	156	164	172	176
	0.0191	0.0369	0.0400	0.0433	0.0455	0.0477	0.0488
800	108	208	227	244	258	269	276
	0.0300	0.0577	0.6300	0.0677	0.0716	0.0747	0.0766
1000	173	336	365	394	415	434	445
	0.0480	0.0933	0.1013	0.1094	0.1152	0.1250	0.1236
1200	255	494	537	580	610	638	654
	0.0710	0.137	0.1491	0.1612	0.1705	0.1777	0.1828
1400	351	680	738	798	840	878	900
	0.0980	0.1903	0.2071	0.224	0.2368	0.2467	0.2536
1600	464	898	976	1055	1110	1160	1190
	0.1294	0.2519	0.2746	0.2965	0.3134	0.3264	0.3355
1800	594	1159	1260	1364	1442	1502	1543
	0.1651	0.322	0.3505	0.3791	0.4007	0.4174	0.4287
2000	783	1439	1566	1694	1790	1815	1916
	0.2051	0.3998	0.4352	0.4706	0.4974	0.5181	0.5323

Nota. Tomado de la Norma E-030.

De acuerdo con la Tabla 14. se elige: B = 500mm y con $\alpha = 35^\circ$ y $\beta = 15^\circ$, la capacidad para $v = 1\text{m/s}$.

$$Q_{v1} = 91 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Capacidad volumétrica } Q_v = \frac{\text{Capacidad}}{\text{Peso Específico}} = \frac{350 \text{ Tn/h}}{1.4 \text{ Tn/m}^3} = 250 \text{ m}^3/\text{h}$$

Teniendo en cuenta el Coeficiente de Reducción por Inclinación k:

$$v = \frac{Q_v}{k \cdot Q_{v1}} = \frac{250}{0.81 \times 91} = 3.39 \text{ m/s}$$

De acuerdo con la Tabla 15, se elige una velocidad $v = 3.35 \text{ m/s}$ como valor normalizado, lo que corresponde a un ancho de banda B = 800 mm (aproximadamente 31.5 pulgadas). Este valor se selecciona considerando materiales que fluyen bien y no son abrasivos, así como otros materiales que cumplan con las condiciones del proyecto.

Tabla 15

Velocidades máximas de la banda según el material a transportar

Material por transportar	Ancho de faja B (mm)	Velocidad v (m/s)
Granos y otros materiales que fluyen bien y no son abrasivos	500	2,62
	650 y 800	3,35
	1.000 y 1.200	4,19
	1.400 a 2.400	5,24
Carbón, arcilla compactada, minerales blandos y tierras, piedras trituradas de pequeño tamaño	500	2,09
	650 a 1.000	3,35
	1.200 a 1.600	4,19
Minerales con aristas vivas, duros y pesados, piedras trituradas de pequeño tamaño	500	1,68
	650 y 800	2,09
	1.000 a 2.400	3,35
Arena de fundición preparada o apelmazada	Cualquier ancho	1,05 – 1,68
Materiales no abrasivos (productos de origen vegetal, fertilizantes)	Cualquier ancho	1,31 – 2,09
Bandas extractoras, planas o en artesa, con materiales finos no abrasivos o medianamente abrasivos (de silos o tolvas)	Cualquier ancho	0,30 – 0,60

Nota. Tomado de la Norma E-030.

3.5.4. Selección de rodillos

De acuerdo con CEMA, se debe determinar primero la carga ajustada, entonces:

$$\text{Carga Ideal} = IL = (W_b + W_m) \cdot Si$$

$$\text{Carga Real} = AL$$

Donde:

- $AL = (IL \times K1 \times K2 \times K3 \times K4) + IML$
- $W_b =$ Carga de la faja (lb/ft)
- $W_m =$ Carga del mineral (lb/ft)
- $Si =$ Separación de polines (ft)
- $K1 =$ Factor de ajuste.
- $K2 =$ Factor de medio ambiente y mantenimiento
- $K3 =$ Factor de Servicio.
- $K4 =$ Factor de corrección de la velocidad.
- $IML =$ Fuerza debido a la desviación.

Para nuestro caso $IML = 0$

Tabla 16

Peso estimado de la faja según ancho y material transportado

Ancho de la faja (pulgadas)	Material transportado (lbs/ft ³)
	30–74
18	3.5
24	4.5
30	6
36	9
42	11
48	14
54	16
60	21
72	25
84	30
96	30

Nota. Tomado de CEMA 5ta edición. Fuente (CEMA, 2007).

$$W_b = 6 \text{ lb/ft}$$

Luego tenemos que de acuerdo con CEMA:

$$W_m = \frac{Q \times 2000}{60 \times V}$$

$$W_m = \frac{350 \times 2000}{60 \times 659.45}$$

$$W_m = 17.69 \text{ lb/ft}$$

Con lo cual el peso del tambor es:

$$IL = (W_b + W_m) \cdot Si$$

$$IL = (6 \text{ lb/ft} + 17.69 \text{ lb/ft}) \times 4 \text{ ft}$$

$$IL = 94.76 \text{ lb}$$

Para la carga ajustada se tiene:

$$K1 = 1.00$$

Tabla 17

Factor de ajuste del trozo K1

Tamaño máx. del trozo (pulg.)	50	75	100	125	150	175	200
4	1	1	1	1	1,1	1,1	1,1
6	1	1	1	1,1	1,1	1,1	1,1
8	1	1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2
10	1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3
12	1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3
14	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3
16	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4
18	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4

Nota. Tomado de CEMA 5ta edición. Fuente (CEMA, 2007).

$$K2 = 1.10$$

Tabla 18*Factores ambientales y de mantenimiento K2*

Condiciones Ambientales	Mantenimiento Bueno	Mantenimiento Promedio	Mantenimiento Escaso
Limpio	1	1,08	1,11
Moderado	1,06	1,1	1,13
Sucio	1,09	1,12	1,15

Nota. Tomado de CEMA 5ta edición. Fuente (CEMA, 2007).

K3 = 1.20

Tabla 19*Factores de servicio K3*

Operación	Factor
Menos de 6 horas al día	0,8
Entre 6 y 9 horas al día	1
Entre 10 y 16 horas al día	1,1
Más de 16 horas al día	1,2

Nota. Tomado de CEMA 5ta edición. Fuente (CEMA, 2007).

K4 = 1.05

Tabla 20*Factor de corrección de la velocidad de la faja K4*

Velocidad de la faja (fpm)	Ø Rodillo 4"	Ø Rodillo 5"	Ø Rodillo 6"	Ø Rodillo 7"
100	0,8	0,8	0,8	0,8
200	0,83	0,8	0,8	0,8
300	0,9	0,85	0,83	0,81
400	0,95	0,91	0,88	0,85
500	0,99	0,95	0,92	0,88
600	1,03	0,98	0,95	0,92
700	1,05	1,01	0,98	0,95
800	–	1,04	1	0,97
900	–	1,06	1,03	1
1000	–	–	1,05	1,02

Nota. Tomado de CEMA 5ta edición. Fuente (CEMA, 2007).

Finalmente.

$$\text{Carga Ajustada} = AL$$

$$AL = (IL \times K1 \times K2 \times K3 \times K4) + IML$$

$$AL = (94.76 \times 1 \times 1.1 \times 1.2 \times 1.05) + 0$$

$$AL = 131.34 \text{ lb}$$

Entonces:

$$AL > IL$$

$$131.34 \text{ lb} > 94.76 \text{ lb}$$

Corroborando los datos de CEMA, la capacidad es superior a la calculada de los polines:

Tabla 21

Valores de carga para rodillos CEMA C

Ancho de la faja (pulgadas)	Ángulo de abarquillamiento			Retorno
	20°	35°	45°	
18	900	900	900	475
24	900	900	900	352
30	900	900	900	250
36	900	837	810	200
42	850	791	765	150
48	800	744	720	125
54	750	698	675	*
60	700	650	630	*

Nota. Tomado de CEMA 5ta edición. Fuente (CEMA, 2007).

La inclinación de los polines de 20° de pando y 30" de banda es superior que la que estará soportada:

$$900 \text{ lb} > 131.34 \text{ lb}$$

Tabla 22*Valores WK² promedio para rodillos de retorno de acero*

Belt Width (inches)	CEMA Idler Class										
	A4	A5	B4	B5	C4	C5	C6	D5	D6	E6	E7
18	39	84	41	85	42	85	165				
24	49	105	50	106	51	106	210	106	210		
30	60	127	61	128	61	128	254	128	254		
36	70	151	72	152	72	152	312	152	312	419	750
42			83	174	83	174	348	174	348	479	857
48			94	196	94	196	385	196	385	539	963
54								218	429	597	1070
60								234	473	659	1177
72								256	513	779	1391
84										933	1581
96										1074	1737

Nota. Tomado de CEMA 5ta edición. Fuente (CEMA, 2007).

De acuerdo con esta comparación, utilizaremos polines C5, con $\varnothing = 5''$.

3.5.4.1. Espaciamiento entre rodillos

El espaciado entre rodillos es importante para el diseño de bandas transportadoras porque ayuda a soportar correctamente el peso del material que se transporta. La Tabla 23 muestra el espaciado recomendado para rodillos abarquillados y de retorno según el ancho de la banda y el peso del material en libras por pie cúbico.

Tabla 23*Espaciamiento normal recomendado para rodillos*

Ancho de la faja (pulgadas)	30 lb/ft ³	50 lb/ft ³	75 lb/ft ³	100 lb/ft ³	150 lb/ft ³	200 lb/ft ³	Rodillos de retorno
18	5,5 ft	5,0 ft	5,0 ft	5,0 ft	4,5 ft	4,5 ft	10,0 ft
24	5,0 ft	4,5 ft	4,5 ft	4,0 ft	4,0 ft	4,0 ft	10,0 ft
30	5,0 ft	4,5 ft	4,5 ft	4,0 ft	4,0 ft	4,0 ft	10,0 ft
36	5,0 ft	4,5 ft	4,0 ft	4,0 ft	3,5 ft	3,5 ft	10,0 ft
42	4,5 ft	4,5 ft	4,0 ft	3,5 ft	3,0 ft	3,0 ft	10,0 ft
48	4,5 ft	5,5 ft	4,0 ft	3,5 ft	3,0 ft	3,0 ft	10,0 ft
54	4,5 ft	4,0 ft	3,5 ft	3,0 ft	3,0 ft	3,0 ft	10,0 ft
60	4,0 ft	4,0 ft	3,5 ft	3,0 ft	3,0 ft	3,0 ft	10,0 ft
72	4,0 ft	3,5 ft	3,5 ft	3,0 ft	2,5 ft	2,5 ft	10,0 ft

84	3,5 ft	3,5 ft	3,0 ft	2,5 ft	2,5 ft	2,0 ft	8,0 ft
96	3,5 ft	3,5 ft	3,0 ft	2,5 ft	2,0 ft	2,0 ft	8,0 ft

Nota. Tomado de CEMA 5ta edición. Fuente (CEMA, 2007).

De acuerdo con la Tabla 23, para una Faja de 30”:

Si = Separación del Rodillo (pies) = 4 pies

- La distancia entre polines será 4 ft, que es aproximadamente 1.20m.
- La distancia entre polines de retorno será 10 ft, que es aproximadamente 3.00m.

3.5.5. Cálculo de tensión efectiva

La potencia (HP) necesaria para el funcionamiento de la faja transportadora, es producida por la tensión efectiva, T_e , que se requieren en la polea de accionamiento para propulsar ó contener a la faja transportadora cargado a la velocidad de diseño de la cinta, V (en fpm).

$$HP = \frac{T_e V}{33\ 000}$$

$$T_e = T_x + T_{yb} + T_{ym} + T_m + T_p + T_{am} + T_{ac}$$

T_x

De acuerdo a CEMA: $T_x = L \times K_x \times K_t$

Donde:

- T_x = Resistencia de la fricción de los polines de carga.
- L = Dimensión de la faja.
- K_t = Factor de corrección de la temperatura.
- K_x = Factor de fricción del polín

$$K_x = 0.00068(W_b + W_m) + \frac{A_i}{S_i}; A_i = 1.8 \text{ Para rodillos de } \varnothing \text{ 5pulg, CEMA C5}$$

Reemplazando datos obtenidos:

$$K_x = 0.466 \text{ lb/ft}$$

Reemplazando:

$$T_x = L \times K_x \times K_t$$

$$T_x = 29.86 \text{ ft} \times 0.466 \text{ lb/ft} \times 1$$

$$T_x = 13.91 \text{ lb}$$

T_{yb}

De acuerdo a CEMA: $T_{yb} = T_{yc} + T_{yr}$

Donde:

- T_{yb} = Resistencia de la faja a flexión cuando se mueve sobre los polines
- T_{yc} = Tensión de los polines de transporte

$$T_{yc} = L \times K_y \times W_b \times K_t$$

$K_y = 0.032$ estimando de la Tabla 6.2 CEMA

Reemplazando: $T_{yc} = L \times K_y \times W_b \times K_t$

$$T_{yc} = 29.86 \text{ ft} \times 0.032 \times 6 \text{ lb/ft} \times 1$$

$$T_{yc} = 5.73 \text{ lb}$$

$$- T_{yr} = L \times W_b \times K_t (0.015 + K_y)$$

Reemplazando: $T_{yr} = L \times W_b \times K_t (0.015 + K_y)$

$$T_{yr} = 29.86 \text{ ft} \times 6 \text{ lb/ft} \times 1 (0.015 + 0.032)$$

$$T_{yr} = 8.42 \text{ lb}$$

Reemplazando: $T_{yb} = T_{yc} + T_{yr}$

$$T_{yb} = 5.73 \text{ lb} + 8.42 \text{ lb}$$

$$T_{yb} = 14.15 \text{ lb}$$

T_{ym}

T_{ym} = Fricción del material a la flexión.

$$T_{ym} = L \times K_y \times W_m$$

$$T_{ym} = 29.86 \text{ ft} \times 0.032 \times 17.69 \text{ lb/ft}$$

$$T_{ym} = 16.90 \text{ lb}$$

T_m

T_m = Fuerza para movilizar el mineral.

$$T_m = H \times W_m$$

$$T_m = 11.48 \text{ ft} \times 17.69 \text{ lb/ft}$$

$$T_m = 203.08 \text{ lb}$$

T_p

T_p = Tensión de la faja a la flexión sobre los polines.

Tabla 24

Tensión de la faja en rodamientos de poleas

Ubicación de la polea	Ángulo de arrollamiento	Libras de tensión en la línea de la faja
Lado tenso	150° a 240°	200 lbs por polea
Lado flojo	150° a 240°	200 lbs por polea
Cualquier otra polea	Menor de 150°	200 lbs por polea

$$T_p = 200 \text{ lb (polea de cabeza)} + 200 \text{ lb (polea de cola)}$$

$$T_p = 400 \text{ lb}$$

T_{am}

T_{am} = Tensión de aceleración del material

$$T_{am} = \frac{Q \times 200}{3600 \times 32.2} \times \frac{(V - V_0)}{60}$$

$$T_{am} = 3.55 \text{ lb}$$

T_{ac}

T_{ac} = Tensión generada por accesorios

$$T_{ac} = T_{tr} + T_{pl} + T_{bc} + T_{sb}$$

Donde:

- T_{tr} = Resistencia generada por los raspadores.

- T_{pl} = Resistencia generada por los alineadores.
- T_{bc} = Resistencia generada por los dispositivos de limpieza de la faja.
- T_{sb} = Resistencia resultante por la fricción de los faldones.

Para nuestra faja se tiene:

$$T_{tr} = 0$$

$$T_{pl} = 0$$

T_{bc}

Resistencia del limpiador de banda = 1.1 N/mm = 6.28 lb/pulg.

Resistencia del limpiador de retorno de banda = 0.9 N/mm = 5.14 lb/pulg.

$$T_{bc} = (6.28 + 5.14) \text{ lb/pulg} \times 24 \text{ pulg}$$

$$T_{bc} = 274.08 \text{ lb}$$

T_{sb}

T_{sb} = Tensión generada por la fricción de los faldones.

$$T_{sb} = L_b (C_s h_s^2 + 6)$$

Donde:

- C_s = Factor de fricción por los laterales.

$$C_s = \frac{2dm}{288} \times \frac{1 - \sin \alpha}{1 + \sin \alpha}$$

$$C_s = \frac{2 \times 112.37}{288} \times \frac{1 - 0.34}{1 + 0.34}$$

$$C_s = 0.38$$

- L_b = Longitud de faldón

$$L_b = 22.2 \text{ ft}$$

- h_s = profundidad del material en contacto

$$h_s = 0.1 \times 24 \text{ pulg} = 2.4 \text{ pulg}$$

Reemplazando datos:

$$T_{sb} = L_b (C_s h_s^2 + 6)$$

$$T_{sb} = 22.2 \text{ ft} [0.38 \times (2.4 \text{ pulg})^2 + 6]$$

$$T_{sb} = 181.79 \text{ lb}$$

Reemplazando datos:

$$T_{ac} = T_{tr} + T_{pl} + T_{bc} + T_{sb}$$

$$T_{ac} = 0 + 0 + 274.08 \text{ lb} + 181.79 \text{ lb}$$

$$T_{ac} = 455.87 \text{ lb}$$

Con los valores obtenidos:

$$T_e = T_x + T_{yb} + T_{ym} + T_m + T_p + T_{am} + T_{ac}$$

$$T_e = 13.91 + 14.15 + 16.90 + 203.08 + 400 + 3.55 + 455.87$$

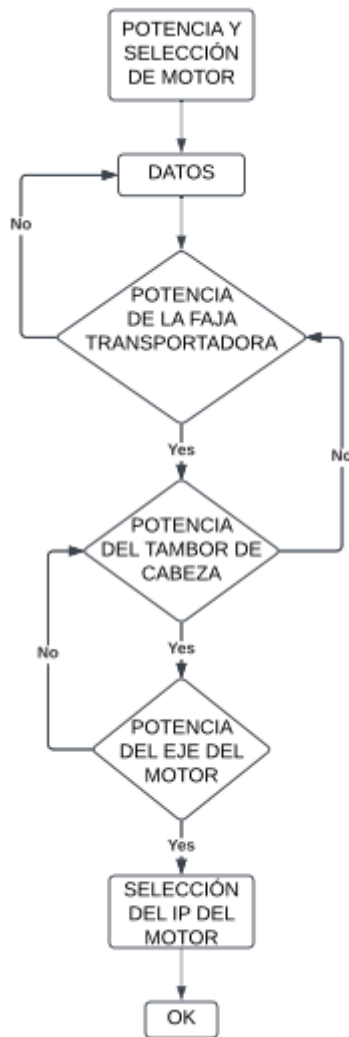
$$T_e = 1\ 107.46 \text{ lb}$$

3.5.6. Potencia y selección de motor

El diagrama de flujo muestra el proceso para el cálculo de potencia y selección del motor de una faja transportadora.

Figura 37

Diagrama de flujo para cálculo de potencia y selección del motor



Nota. Elaboración propia.

Este procedimiento asegura que el motor seleccionado cumpla con los requisitos de funcionamiento.

- 1. Datos:** Se inicia recopilando los datos necesarios, como características de la faja, material transportado y condiciones de operación.
- 2. Potencia de la faja transportadora:** Se calcula la potencia requerida para mover la faja. Si los datos no son suficientes o hay inconsistencias, se regresa al paso inicial.

3. **Potencia del tambor de cabeza:** Una vez validada la potencia de la faja, se calcula la potencia del tambor principal que impulsa el sistema. Si los resultados no son adecuados, se realiza una corrección regresando al cálculo anterior.
4. **Potencia del eje del motor:** Posteriormente, se calcula la potencia del eje del motor para verificar que pueda soportar las condiciones de operación. Si no cumple, se vuelve a ajustar en los pasos anteriores.
5. **Selección del IP del motor:** Finalmente, se selecciona el motor con el índice de protección (IP) adecuado, considerando las condiciones del ambiente donde operará.
6. **Resultado final:** Si todos los cálculos y verificaciones son correctos, se valida la selección del motor, concluyendo el proceso.

3.5.6.1. Potencia de la faja transportadora

La potencia de la faja transportadora se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia de faja (hp)} = \frac{TexV}{33\,000}$$

Donde:

- **T** es la tensión en la faja (en libras).
- **V** es la velocidad de la faja (en pies por minuto).
- El valor 33.000 es una constante para convertir el trabajo en unidades de caballos de fuerza (hp).

$$\text{Potencia de faja (hp)} = \frac{1\,107.46 \times 659.4}{33\,000}$$

$$\text{Potencia de faja (hp)} = 22.13 \text{ hp}$$

Esto significa que la potencia requerida para mover la faja transportadora bajo las condiciones dadas es 22.13 hp.

3.5.6.2. Potencia del tambor de cabeza

La potencia del tambor de cabeza se calcula utilizando la fórmula:

$$\text{Potencia del tambor de cabeza (hp)} = \frac{200 \times V}{33\,000}$$

$$\text{Potencia del tambor de cabeza (hp)} = \frac{200 \times 659.4}{33\,000}$$

$$\text{Potencia del tambor de cabeza (hp)} = 4 \text{ hp}$$

Esto indica que la potencia necesaria para mover el tambor de cabeza bajo las condiciones establecidas es 4 hp.

3.5.6.3. Potencia en el eje del motor

La potencia en el eje del motor se calcula sumando la potencia requerida por la faja transportadora y la potencia del tambor de cabeza, aplicando un factor adicional del 5% para compensar pérdidas en el sistema. La fórmula utilizada es

$$P(\text{hp}) = (\text{Potencia de la faja} + \text{Potencia de la polea motriz}) \times 1.05$$

$$P(\text{hp}) = (22.13 \text{ hp} + 4 \text{ hp}) \times 1.05$$

$$P(\text{hp}) = 27.44 \text{ hp}$$

Esto significa que la potencia requerida en el eje del motor es 27.44 hp, considerando las pérdidas adicionales del sistema.

3.5.6.4. Selección de la protección ip del motor

La Tabla 25 presenta la clasificación IP (Ingress Protection), la cual indica el nivel de protección de un equipo contra el ingreso de sólidos y líquidos. El código IP está compuesto por dos números: el primer número se refiere a la protección contra sólidos, como polvo o partículas, mientras que el segundo número indica la protección contra líquidos, como agua.

Tabla 25*Clasificación de protección IP: Niveles contra sólidos y líquidos*

	Primer Número - Protección contra sólidos	Segundo Número - Protección contra líquidos
0	Sin protección	Sin protección
1	Protegido contra objetos sólidos de más de 50mm	Protegido contra gotas de agua que caigan verticalmente
2	Protegido contra objetos sólidos de más de 12mm	Protegido contra rocíos directos a hasta 15° de la vertical
3	Protegido contra objetos sólidos de más de 2.5mm	Protegido contra rocíos directos a hasta 60° de la vertical
4	Protegido contra objetos sólidos de más de 1mm	Protegido contra rocíos directos de todas las direcciones - entrada limitada permitida
5	Protegido contra polvo - entrada limitada permitida	Protegido contra chorros de agua a baja presión de todas las direcciones - entrada limitada permitida
6	Totalmente protegido contra polvo	Protegido contra chorros de agua de todas las direcciones - entrada limitada permitida
7		Protegido contra los efectos de la inmersión de 15cm - 1m
8		Protegido contra largos periodos de inmersión bajo presión

Nota. Tomado del código protección IP.

Para el motor de la faja transportadora, se selecciona una protección IP55, ya que:

- El primer número 5 garantiza protección contra el polvo, permitiendo solo una entrada limitada que no afecta el funcionamiento del equipo.
- El segundo número 5 asegura protección contra chorros de agua a baja presión desde cualquier dirección.

3.5.7. Cálculo de tensiones de la faja transportadora

La Figura 38 muestra el diagrama de flujo para el cálculo de tensiones en la faja transportadora. Este proceso permite determinar las tensiones en diferentes puntos críticos de la faja para garantizar su correcto funcionamiento y evitar fallas en el sistema. Cuando todas las tensiones cumplen con los criterios de diseño, el proceso finaliza con éxito (OK).

Figura 38

Diagrama de flujo para el cálculo de tensiones en la faja transportadora



Nota. Elaboración propia.

3.5.7.1. Tensión en el punto mínimo (t_0)

La Tabla 26 presenta los porcentajes de flecha recomendados para diferentes ángulos de abarquillamiento de los rodillos y tipos de material transportado. La flecha se refiere a la deformación vertical de la banda bajo carga total, y su control es importante para un buen funcionamiento del sistema transportador.

Tabla 26

Porcentajes de flecha recomendados según ángulo del rodillo y tipo de material

Ángulo del rodillo abarquillado	Todos los finos	Mitad del tamaño máximo de grumo	Tamaño máximo de grumo
20°	3%	3%	3%
35°	3%	2%	2%
45°	3%	2%	1½%

Nota. Tomado de CEMA 5ta edición. Fuente (CEMA, 2007).

En este caso, se selecciona un ángulo de abarquillamiento de 20° con un porcentaje de flecha de 3%. A partir de esta información, se calcula la tensión en el punto mínimo (T_0) utilizando la fórmula:

$$T_0 = 4.2 \times S_i \times (W_b + W_m)$$

$$T_0 = 4.2 \times 4\text{ft} \times (6 \text{ lb/ft} + 17.69 \text{ lb/ft})$$

$$T_0 = 99.50 \text{ lb}$$

Por lo tanto, la tensión mínima en el punto es 99,50 libras. Esta tensión asegura que la banda tenga un soporte y alineamiento adecuados, evitando deformaciones excesivas o fallas durante su operación.

3.5.7.2. Tensión en el lado suelto del polín (t_2)

La tensión en el lado suelto del polín se calcula utilizando dos métodos. El primer método considera el factor de arrollamiento, que depende del tipo de polea motriz, el ángulo de arrollamiento y si la polea tiene cubierta de caucho o no. Este factor se obtiene de la Tabla 26. El segundo método suma las tensiones individuales, como la tensión mínima en el punto de trabajo, la tensión por el peso de la banda y la tensión generada por los rodillos.

De ambos resultados, se selecciona el valor más alto porque garantiza que la banda transportadora opere de manera segura, evitando desplazamientos y asegurando la estabilidad

del sistema. Esta metodología es esencial para determinar con precisión la tensión requerida en el lado suelto de la faja.

$$T_2 = C_w \times T_e \text{ \& } T_2 = T_0 + T_b + T_{yr}$$

Donde:

- C_w = Factor de arrollamiento

Tabla 27

Factor de arrollamiento para fajas con cubierta de caucho

Tipo de Polea Motriz	Arrollamiento (°)	Tensor automático – Polea desnuda	Tensor automático – Polea recubierta	Tensor manual – Polea desnuda	Tensor manual – Polea recubierta
Simple sin polea de reenvío	180°	0,84	0,5	1,2	0,8
Simple con polea de reenvío	200°	0,72	0,42	1	0,7
	210°	0,66	0,38	1	0,7
	220°	0,62	0,35	0,9	0,6
	240°	0,54	0,3	0,8	0,6
Dual	380°	0,23	0,11	0,5	0,3
	420°	0,18	0,08	–	–

Nota. Tomado de CEMA 5ta edición. Fuente (CEMA, 2007).

Reemplazando datos:

$$T_2 = C_w \times T_e \text{ \& } T_2 = T_0 + T_b + T_{yr}$$

$$T_2 = 0.80 \times 1\ 107.46 \text{ lb \& } T_2 = 99.05 \text{ lb} + (11.48 \text{ ft} \times 6 \text{ lb/ft}) + 8.42 \text{ lb}$$

$$T_2 = 885.97 \text{ lb \& } T_2 = 176.35 \text{ lb}$$

Se toma el valor más alto: $T_2 = 885.97 \text{ lb}$

3.5.7.3. Tensión en el lado de agarre del polín (t_1)

Esta tensión es importante porque representa la fuerza total que debe soportar la faja en el lado donde se transmite el movimiento de la polea. El cálculo permite garantizar que la banda

tenga la resistencia suficiente para soportar la carga y evitar deslizamientos en el polín. De esta manera, al sumar ambas tensiones, se obtiene la tensión en el lado de agarre , que es un parámetro crítico para el correcto funcionamiento de la faja transportadora, asegurando la transmisión eficiente de la potencia y la estabilidad del sistema.

$$T_1 = T_e + T_2$$

$$T_1 = 1\,107.46 \text{ lb} + 885.97 \text{ lb}$$

$$T_1 = 1\,993.43 \text{ lb}$$

3.5.7.4. Tensión de arranque (T_{arranque})

El cálculo utiliza una fórmula que multiplica por dos la diferencia entre la tensión efectiva y la tensión mínima, sumando después la tensión mínima y la tensión en el lado suelto del polín. Este proceso asegura que la faja tenga suficiente fuerza para superar la resistencia inicial al arranque. La tensión de arranque es crítica en el diseño porque representa la carga máxima que debe soportar la faja y el sistema motriz en el momento de inicio, asegurando que el motor seleccionado y la estructura sean capaces de manejar estas condiciones sin fallas.

$$T_{\text{ARRANQUE}} = 2(T_e - T_m) + T_m + T_2$$

$$T_{\text{ARRANQUE}} = 2(1\,107.46 \text{ lb} - 203.08 \text{ lb}) + 203.08 \text{ lb} + 885.97 \text{ lb}$$

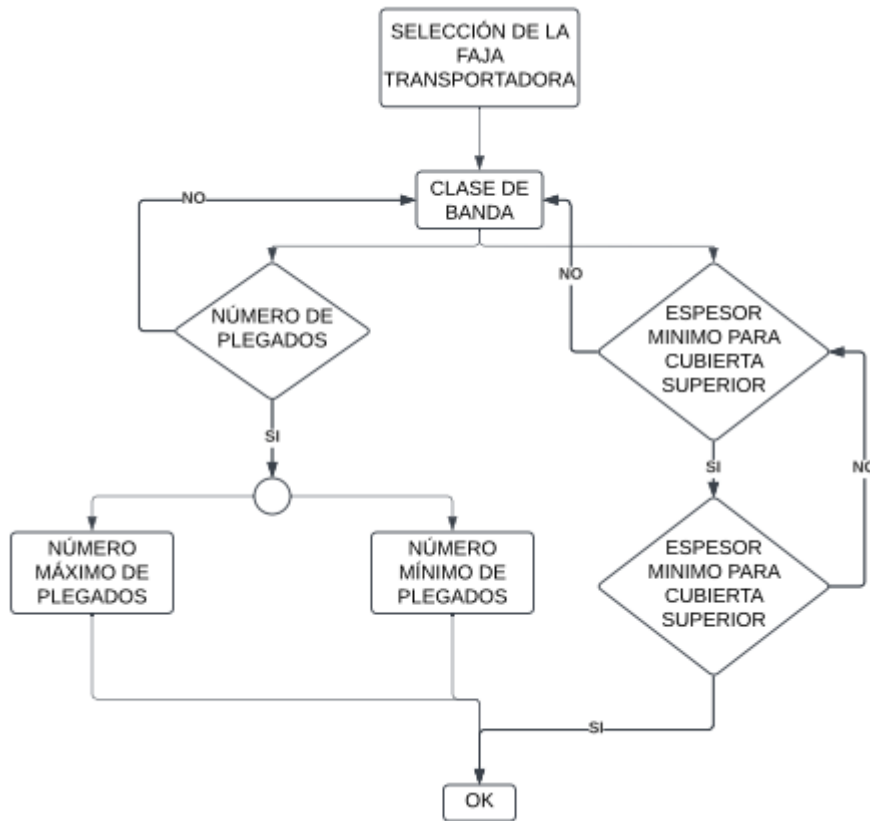
$$T_{\text{ARRANQUE}} = 2\,897.81 \text{ lb}$$

3.5.8. Selección de la faja

El diagrama de flujo representa el proceso para la selección de una faja transportadora de manera ordenada y lógica. El procedimiento inicia identificando la clase de banda que se utilizará, según las necesidades y condiciones de operación del sistema.

Figura 39

Diagrama de flujo para la selección de la faja transportadora



Nota. Elaboración propia.

Una vez definida la clase, se verifica si cumple con el número de plegados requerido. Si no se cumple, se realizan los ajustes necesarios. Si el número de plegados es correcto, se determina tanto el número mínimo como el número máximo de plegados para garantizar que la banda tenga la resistencia adecuada. Luego, se procede a verificar el espesor mínimo de la cubierta superior. Si el espesor no cumple con los parámetros necesarios, se regresa al paso inicial para ajustar la clase de banda. En caso de cumplir con el espesor mínimo, se realiza una segunda validación de este, asegurando que todas las especificaciones técnicas se cumplen correctamente.

Finalmente, cuando el número de plegados y el espesor de la cubierta son adecuados, la selección de la faja transportadora queda aprobada y se da por terminado el proceso. Este

flujo asegura que la banda seleccionada sea eficiente, segura y adecuada para las condiciones de trabajo esperadas.

La selección de la calidad de la cubierta de la faja transportadora es un proceso clave para garantizar su durabilidad y rendimiento, dependiendo del tipo de material a transportar y las condiciones de operación.

Tabla 28

Selección de la calidad de la cubierta de la faja transportadora

Grado de la cubierta	Resistencia al corte y al impacto	Resistencia a la abrasión	Resistencia al aceite	Aplicaciones generales
Grado 1	Excelente	Excelente	No recomendado	Grandes trozos de mineral, materiales de bordes cortantes. Servicio extremadamente fuerte.
Grado 2	Bueno	Excelente	No recomendado	Materiales con acción cortante limitada, principalmente abrasión. Para operaciones de servicio pesado.

Nota. Tomado de CEMA 5ta edición. Fuente (CEMA, 2007).

La Tabla 27 presenta dos grados de cubierta:

1. **Grado 1:** Ofrece una excelente resistencia al corte, impacto y abrasión, lo que lo hace ideal para transportar grandes trozos de mineral o materiales con bordes cortantes, donde se requiere un servicio extremadamente fuerte.
2. **Grado 2:** Brinda buena resistencia al corte y excelente resistencia a la abrasión, pero no es recomendado para materiales con aceite. Es adecuado para materiales con acción cortante limitada y enfocado principalmente en operaciones donde la abrasión es predominante, como el servicio pesado.

En este caso, se selecciona el Grado 2 debido a que cumple con las condiciones requeridas para el transporte de materiales con abrasión predominante, asegurando un buen desempeño y mayor vida útil de la faja.

3.5.8.1. Clase de banda

La clase de banda se determina en función de los valores de tensión que puede soportar la faja transportadora según su tipo de empalme. La Tabla 29 presenta dos opciones de empalme:

Tabla 29

Valores de tensión para fajas de pliegue múltiple

Identificación de Tejido	Empalme de Fijamiento Mecánico Normal (lb/pulg/pliegue)	Empalme Vulcanizado Normal (lb/pulg/pliegue)
Pliegue Múltiple 35	27	35

Nota. Tomado de CEMA 5ta edición. Fuente (CEMA, 2007).

En este caso, se selecciona Pliegue Múltiple 35, que proporciona mayor resistencia y mejor desempeño bajo condiciones de trabajo más exigentes. Esta elección garantiza que la banda sea adecuada para soportar las tensiones requeridas durante la operación, asegurando un funcionamiento seguro y eficiente del sistema transportador.

3.5.8.2. Número de plegados

$$\# \text{ pliegues} = \frac{Tf}{35 \text{ pulg/pliegue}}$$

$$\# \text{ pliegues} = 1.90 \text{ pliegues}$$

$$\# \text{ pliegues} = 2 \text{ pliegues}$$

3.5.8.3. Número máximo de plegados

El número máximo de pliegues para la faja transportadora se realiza con base en el ancho de la banda y el ángulo de inclinación de los rodillos abarquillados. Según la tabla 30, se eligió un valor de 6 pliegues, ya que se ajusta a las condiciones específicas de trabajo y diseño. Esta elección garantiza que la faja tenga la capacidad adecuada para soportar la carga y las características del material transportado, cumpliendo con los parámetros recomendados para una operación eficiente y segura.

Tabla 30*Número máximo de pliegues para fajas tipo Múltiple*

Ancho (in)	Ángulo del rodillo	MP 35 / MP 43	MP 50 / MP 60 / MP 70	MP 90 / MP 120	MP 155	MP 195 / MP 240
18	20°	5	—	—	—	—
18	35°	4	—	—	—	—
18	45°	—	—	—	—	—
24	20°	6	5	4	—	—
24	35°	5	4	4	—	—
24	45°	4	—	—	—	—
30	20°	7	6	5	5	4
30	35°	6	5	5	4	4
30	45°	5	4	4	—	—
36	20°	8	7	6	6	5
36	35°	7	6	6	5	5
36	45°	6	5	5	4	4
42	20°	8	8	7	6	6
42	35°	8	7	7	6	5
42	45°	7	6	6	5	5
48	20°	8	8	8	6	6
48	35°	8	8	7	6	6
48	45°	8	7	6	6	6
54	20°	8	8	8	8	7
54	35°	8	8	8	8	6
54	45°	8	7	7	6	6
60	20°	8	8	8	8	8
60	35°	8	8	8	8	7
60	45°	8	8	8	8	6
72–84–96	20°	8	8	8	8	8
72–84–96	35°	8	8	8	8	8
72–84–96	45°	8	8	8	8	7

Nota. Tomado de CEMA 5ta edición. Fuente (CEMA, 2007).

3.5.8.4. Número mínimo de plegados

El número mínimo de plegados se determina a partir de la Tabla 31 la cual indica los valores necesarios según el peso del material (PCF) y el ancho de la banda. En este caso, considerando el tipo de material a transportar y las especificaciones de la faja, se selecciona un

mínimo de 4 pliegues como valor adecuado para garantizar el soporte de carga en las fajas multiplegado con rodillos de 20°.

Tabla 31

Número mínimo de pliegues para soporte de carga en fajas multiplegado con rodillos de 20

Belt width (inches)	25-49 PCF Material						50-74 PCF Material						75-99 PCF Material						100-150 PCF Material																	
	MP fabric I.D.						MP fabric I.D.						MP fabric I.D.						MP fabric I.D.																	
	35	60	90	43	50	70	120	155	195	240	35	60	90	43	50	70	120	155	195	240	35	60	90	43	50	70	120	155	195	240						
18	3	3	3				3	3	3	3	3		4	3	3	3	3		4	4	3	3	3		4	4	3	3	3		4	4	3	3	3	
24	3	3	3				4	3	3	3	3		5	4	3	3	3		5	4	4	4	4		5	4	4	4	4		5	4	4	4	4	
30	4	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	5	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	6	5	4	4	4	4	6	5	4	4	4	4
36	4	4	3	3	3	3	5	4	4	4	4	4	6	5	4	4	4	4	6	5	4	4	4	4	6	6	5	5	5	5	6	6	5	5	5	5
42	4	4	4	4	4	3	5	5	4	4	4	4	6	5	5	5	5	4	6	5	5	5	5	4	7	6	6	6	6	5	7	6	6	6	6	5
48	5	4	4	4	4	3	6	5	5	5	5	4	7	6	6	6	5	5	7	6	6	6	5	5	7	7	6	6	6	5	7	7	6	6	6	5
54	5	5	4	4	4	4	6	6	5	5	5	4	7	7	6	6	6	5	7	7	6	6	6	5	8	8	7	7	7	6	8	8	7	7	7	6
60	6	5	5	5	5	4	7	6	6	6	5	4	8	7	7	7	6	6	8	7	7	7	6	6	8	7	7	7	6	6	8	7	7	7	6	6
72	6	6	5	5	5	4	8	7	6	6	6	5	8	7	7	7	7	6	8	7	7	7	7	6	8	7	7	7	6	6	8	7	7	7	6	6
84	7	7	6	6	6	5	8	7	7	6	6	6	8	7	7	7	7	6	8	7	7	7	7	6	8	7	7	7	6	6	8	7	7	7	6	6
96	8	8	7	7	7	6	8	8	7	7	6	8	7	7	7	7	6	8	7	7	7	7	6	8	7	7	7	6	6	8	7	7	7	6	6	

Nota. Tomado de CEMA 5ta edición. Fuente (CEMA, 2007).

3.5.8.5. Espesor mínimo para cubierta superior

La selección del espesor mínimo para la cubierta superior se realiza considerando el tipo de material que se va a transportar.

Tabla 32

Espesor mínimo recomendado de la cubierta para condiciones normales (RMA - Grado 2)

Clase de material	Ejemplos	Espesor (pulgadas)
Manejo de paquetes	Cartones, productos alimenticios	Fric. hasta 1/32
Ligeros o finos, no abrasivos	Virutas de madera, pulpa, grano, carbón bituminoso, potasa	1/16 a 1/8
Finos y abrasivos	Arena afilada, clínker	1/8 a 3/16
Pesados, triturados hasta 3"	Arena y grava, piedra triturada	1/8 a 3/16
Pesados, triturados hasta 8"	Carbón R.O.M., rocas, minerales	3/16 a 1/4
Pesados, grumos grandes	Minerales duros, escoria	1/4 a 5/16

Nota. Tomado de CEMA 5ta edición. Fuente (CEMA, 2007).

Según la Tabla 32, que sugiere espesores recomendados bajo condiciones normales (RMA - Grado 2), para materiales finos y abrasivos como arena fina y clínker, el rango

adecuado de espesor es 1/8" a 3/16". Este espesor garantiza la resistencia necesaria frente al desgaste generado por el tipo de material manejado, asegurando la durabilidad y eficiencia de la faja transportadora.

3.5.8.6. Espesor mínimo para cubierta inferior

De acuerdo con la Tabla 32, que presenta el espesor mínimo recomendado de la cubierta para poleas según las condiciones de operación, seleccionamos un espesor de 1/16" considerando que el material a transportar es abrasivo.

Tabla 33

Espesor mínimo recomendado de la cubierta para poleas

Condiciones de operación	Espesor (pulgadas)
Materiales no abrasivos	1/32
Materiales abrasivos	1/16
Carga por impacto	3/32

Nota. Tomado de CEMA 5ta edición. Fuente (CEMA, 2007).

Seleccionamos teniendo en cuenta el tipo de material (abrasivos), entonces el espesor mínimo para cubierta inferior es de 1/16".

Entonces tenemos los datos de la banda:

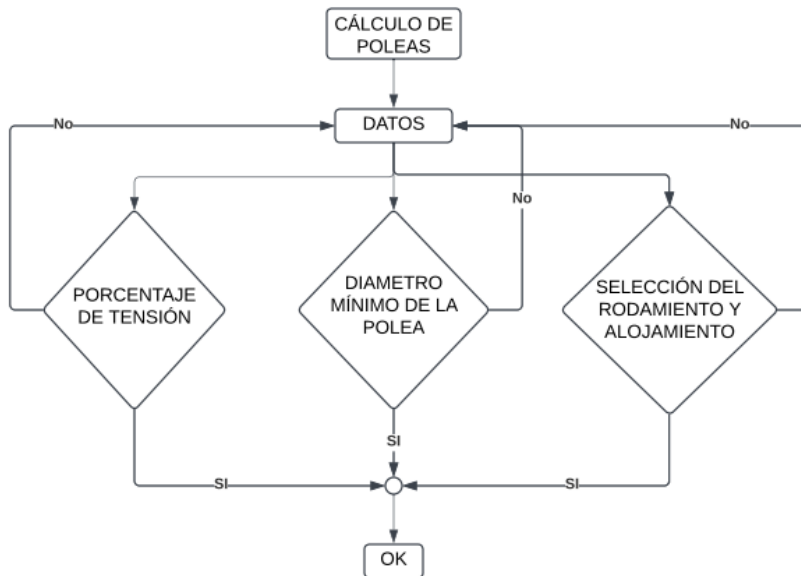
- Ancho de la banda: 30"
- Tipo de revestimiento: Grado 2-RMA

3.5.9. Cálculo de poleas

El proceso de cálculo y selección de poleas inicia recopilando los datos necesarios del sistema, como las dimensiones de la faja, tensiones y condiciones operativas. Una vez obtenidos estos datos, se verifica el porcentaje de tensión en la polea. Si no cumple con los valores adecuados, se deben ajustar los parámetros y repetir el análisis.

Figura 40

Diagrama de flujo para el cálculo y selección de poleas



Nota. Elaboración propia.

Posteriormente, se calcula el diámetro mínimo de la polea para asegurar su funcionamiento correcto según la tensión y características de la faja. Si este valor no cumple con las especificaciones, se regresa a los datos iniciales para hacer los ajustes necesarios. Luego, se procede a la selección del rodamiento y el alojamiento adecuado, garantizando que estos soporten las cargas y condiciones de operación del sistema. Si la selección no es la correcta, también se regresa a los datos para corregir. Finalmente, cuando el porcentaje de tensión, el diámetro mínimo de la polea y los rodamientos son validados, el proceso se da por concluido. Esto asegura que las poleas cumplan con los requisitos y funcionarán correctamente dentro del sistema transportador.

La Tabla 34 muestra la clasificación de rodillos según su diámetro y el tipo de servicio que brindan. La clasificación va desde A4 hasta E7, con diámetros de rodillos que varían entre 4 y 7 pulgadas, dependiendo del nivel de servicio: liviano, medio o pesado.

Tabla 34*Clasificación del rodillo*

Clasificación	N° de serie de la matriz	Diámetro del rodillo (mm)	Descripción
A4	I	102	Servicio liviano
A5	I	127	“ ”
B4	II	102	“ ”
B5	II	127	“ ”
C4	III	102	Servicio medio
C5	III	127	“ ”
C6	IV	152	“ ”
D5	NA	127	“ ”
D6	NA	152	“ ”
E6	V	152	Servicio pesado
E7	VI	178	“ ”

Nota. Tomado de CEMA 5ta edición. Fuente (CEMA, 2007).

En este proyecto, se seleccionarán los rodillos Tipo C5. Esta elección se debe a que el tipo de servicio sea medio y los rodillos cuenten con un diámetro de 5 pulgadas, lo cual se ajusta a las necesidades del sistema transportador y garantiza un funcionamiento adecuado bajo las condiciones de operación.

3.5.9.1. Porcentaje de tensión

$$\% \text{Tensión} = \frac{Tf}{Mp \times \text{Número de pliegues}}$$

$$\% \text{Tensión} = \frac{66.45 \text{ lb/pulg}}{35 \times 4}$$

$$\% \text{Tensión} = 0.443 = 44.3 \%$$

Por lo tanto, el porcentaje de tensión obtenido es 44.3%, lo cual indica que la faja opera dentro de los límites permitidos para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente.

3.5.9.2. Diámetro mínimo de la polea, longitud de polea

El diámetro mínimo de la polea se determina tomando en cuenta el número de pliegues de la faja y el porcentaje de tensión aplicable, según lo recomendado por la tabla. De acuerdo

con la Tabla 35, para una banda multiplegada con 4 pliegues y un porcentaje de tensión del 40 al 60%, el diámetro mínimo recomendado para la polea es de 16 pulgadas. Esta garantiza que la faja operará adecuadamente, minimizando el riesgo de selección por flexión excesiva y asegurando una mayor vida útil del sistema transportador.

Tabla 35

Diámetros mínimos de poleas para fajas multiplegadas

N° de Pliegues	MP 35 (40–60%)	MP 43, 50 (40–60%)	MP 60, 70, 90, 120 (40–60%)	MP 155 (40–60%)	MP 195, 240 (40–60%)
3	18 – 12	14 – 12	24 – 16	30 – 24	36 – 30
4	20 – 16	18 – 16	30 – 24	36 – 30	42 – 36
5	24 – 20	20 – 18	36 – 30	42 – 36	48 – 42
6	30 – 24	24 – 20	42 – 36	48 – 42	54 – 48
7	36 – 30	30 – 24	48 – 42	54 – 48	60 – 54
8	42 – 36	36 – 30	54 – 48	60 – 54	66 – 60

Nota. Tomado de CEMA 5ta edición. Fuente (CEMA, 2007).

La Tabla 36 proporciona los anchos recomendados de la polea y las holguras de la faja en función del ancho de la banda transportadora. Para bandas de 42 pulgadas o menos, la longitud de la polea se calcula sumando 2 pulgadas al ancho de la banda.

Tabla 36

Anchos recomendados de polea y holguras de la faja

Ancho de faja (b) (pulgadas)	Ancho de cara de polea (Pf) (pulgadas)	Distancia entre placas de descarga (pulgadas)	Despeje mínimo de retorno (cada lado) (pulgadas)
42 o menos	b + 2	pf + 3	2½
Más de 42	b + 3	pf + 4	3

Nota. Tomado de CEMA 5ta edición. Fuente (CEMA, 2007).

En este caso, dado que el ancho de la banda es de 30 pulgadas, la longitud de la polea será:

$$30 \text{ pulgadas} + 2 \text{ pulgadas} = 32 \text{ pulgadas}$$

Este cálculo asegura un ajuste adecuado y suficiente holgura para el retorno de la banda, evitando interferencias durante la operación del sistema transportador.

3.5.9.3. Selección de rodamiento y alojamientos

$$T_1 = 1\,993.43 \text{ lb} = 8\,867.22 \text{ N}$$

$$T_2 = 885.97 \text{ lb} = 3\,941 \text{ N}$$

Diámetro de polea motriz: 16 pulg

Diámetro de polea de cola: 16 pulg

Determinamos la componente vertical (F_v)

$$F_v = T_1 \times \text{sen}\alpha + T_2 \times \text{sen}\alpha$$

$$F_v = 8\,867.22 \times 0.34 + 3\,941 \times 0.34$$

$$F_v = 4\,354.79 \text{ N}$$

Determinamos la componente horizontal (F_h)

$$F_h = T_1 \times \text{cos}\alpha + T_2 \times \text{cos}\alpha$$

$$F_h = 8\,867.22 \times 0.94 + 3\,941 \times 0.94$$

$$F_h = 12\,039.73 \text{ N}$$

Determinamos la resultante:

$$R_1 = \sqrt{(4\,354.79)^2 + (12\,039.73)^2}$$

$$R_1 = 12\,803.10 \text{ N} = 12.8 \text{ kN}$$

Seleccionamos el rodamiento 6308-2Z

Capacidad de Carga Dinámica: 42.3 kN

Capacidad de Carga Estática: 24 kN

3.6. Técnicas de recolección de datos

Técnicas

- Parámetros de funcionamiento.
- Análisis de causa raíz.

Instrumentos

- NORMA CEMA

3.7. Técnicas para el procesamiento de datos

- Indicadores de Producción
- Indicadores de Mantenibilidad
- Medición de parámetros (Vibración y Temperatura)

3.8. Dimensionamiento de la Faja Transportadora

1. Datos Iniciales del Dimensionamiento de la Faja Transportadora

El dimensionamiento de una faja transportadora parte de parámetros físicos, geométricos y operacionales fundamentales que permiten definir correctamente su capacidad de transporte, selección estructural y cálculo mecánico. A continuación, se describen los principales datos iniciales de entrada para el dimensionamiento de la faja transportadora diseñada para la planta de beneficio de La Joya Mining S.A.C.:

a) Tamaño máximo del material

- Valor: 38.1 mm (1.5 pulgadas)
- Importancia: Este valor define el tipo de material a transportar (tamaño grueso) y condiciona la selección del ancho mínimo de banda. Según normas CEMA, se suele aplicar un factor multiplicador de seguridad para evitar derrames o bloqueos. La relación típica empleada es:

$$B_{\text{mínimo}} = 3 \cdot \text{Tamaño máximo} = 3 \cdot 38.1 = 114.3\text{mm} \approx 4.5 \text{ pulgadas}$$

b) Longitud de la faja (L)

- **Valor:** 9.10 metros = 29.86 pies

- **Importancia:** La longitud total de la faja es la distancia efectiva entre la polea de cabeza y la polea de cola, medida en línea recta a lo largo del recorrido de la faja. Este dato influye directamente en:
 - ✓ El cálculo de la tensión total (resistencia al movimiento)

 - ✓ La estimación de la potencia requerida del motor

 - ✓ El tiempo de transporte del material

c) Inclinación (α)

- **Valor:** 20°

- **Importancia:** El ángulo de inclinación afecta significativamente la capacidad efectiva de transporte. A mayor inclinación:
 - ✓ Se reduce la capacidad por unidad de volumen debido al deslizamiento potencial del material.

 - ✓ Se aplica un coeficiente de reducción por inclinación (k), que penaliza la capacidad teórica.

d) Capacidad de transporte (Q)

- **Valor:** 350 toneladas por hora (Tn/h)

- **Importancia:** Este es el requerimiento operativo de la planta, es decir, la cantidad de mineral que se debe transportar por hora mediante la faja. Este valor es esencial para:

- ✓ Calcular la capacidad volumétrica requerida (Q)
- ✓ Determinar la velocidad de banda necesaria (v)

e) Coeficiente de reducción por inclinación (k)

- **Valor:** 0.81
- **Importancia:** Este coeficiente se utiliza para ajustar la capacidad real de la faja debido a su inclinación. A medida que la pendiente aumenta, disminuye la eficiencia del llenado de la artesa, y por tanto la capacidad se reduce.

$$Capacidad\ Real = k \cdot Q_{v1}$$

f) Ángulo de terna (λ)

- **Valor:** 35°
- **Importancia:** Este ángulo define la inclinación lateral de los polines en forma de artesa. Cuanto mayor sea el ángulo, mayor será el volumen de carga que la banda podrá soportar. El ángulo de 35° es común en sistemas de transporte de material grueso o a granel.

g) Peso específico del mineral (γ)

- **Valor:** 1.4 toneladas por metro cúbico (Tn/m³)

Importancia: Permite convertir la capacidad de transporte en toneladas (Q) a una capacidad volumétrica Q_v que es utilizada para:

$$Q_v = \frac{Q}{\gamma} = \frac{350\ Tn/h}{1.4\ Tn/m^3} = 250\ m^3/h$$

Tabla 37*Resumen de Datos Iniciales*

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Observaciones
Tamaño máximo del material	D	38.1	mm	Mineral grueso
Longitud de la faja	L	9.10 / 29.86	m / ft	Longitud horizontal
Inclinación	α	20	grados	Ángulo de subida
Capacidad de transporte	Q	350	Tn/h	Requisito operativo
Coef. reducción por inclinación	k	0.81	-	Por norma CEMA
Ángulo de terna	λ	35	grados	Configuración de artesa
Peso específico del mineral	γ	1.4	Tn/m ³	Para convertir a volumen

Nota. Elaboración propia.

2. Cálculo de la velocidad y el ancho de la Faja Transportadora

Una vez definidos los parámetros iniciales, el siguiente paso es calcular la velocidad lineal de la banda (v) y el ancho de la faja (B), que son fundamentales para asegurar que el sistema transporte la cantidad de mineral requerida, de manera eficiente y segura.

a) Conversión de Capacidad Másica a Capacidad Volumétrica

Para realizar el dimensionamiento correcto, se requiere convertir la capacidad másica (en toneladas por hora) a capacidad volumétrica (en metros cúbicos por hora), utilizando el peso específico del material (γ):

$$Q_v = \frac{Q}{\gamma}$$

$$Q_v = \frac{350 \text{ Tn/h}}{1.4 \text{ Tn/m}^3} = 250 \text{ m}^3/\text{h}$$

La banda debe transportar 250 metros cúbicos de mineral por hora.

b) Selección de una Banda Base (500 mm) para Estimación Inicial

Según tablas técnicas de CEMA y manuales de transportadores, una banda transportadora de 500 mm de ancho (20") y un ángulo de terna de 35°, con material de tipo grueso y velocidad dentro de rango normal, tiene una capacidad de aproximadamente:

$$Q_{v1} = 91 \text{ m}^3/h$$

Este valor será usado como referencia para el cálculo de velocidad con ajuste por inclinación.

c) Cálculo de la Velocidad Requerida (v)

Se utiliza la siguiente fórmula para calcular la velocidad de la banda (v):

$$v = \frac{Q_v}{k \cdot Q_{v1}}$$

Donde:

- $Q_v = 250 \text{ m}^3/h \rightarrow$ Capacidad requerida en volumen
- $k = 0.81 \rightarrow$ Reducción por inclinación
- $Q_{v1} = 91 \text{ m}^3/h \rightarrow$ Capacidad de banda base (500 mm)

Sustituyendo:

$$v = \frac{250}{0.81 \cdot 91} = \frac{250}{73.71} \approx 3.39 \text{ m/s}$$

d) Ajuste a Velocidad Normalizada

Las velocidades de bandas transportadoras suelen normalizarse en escalas estándar. Se selecciona el valor más próximo inferior al calculado para evitar sobrecarga o desgaste excesivo:

$$v_{adoptada} = 3.35 \text{ m/s}$$

e) Determinación del Ancho de Banda (B)

Dado que la velocidad necesaria supera la capacidad de una banda de 500 mm, se requiere seleccionar una banda con mayor ancho. Consultando las tablas de capacidad volumétrica normalizadas, se elige un ancho que satisfaga:

$$Q'_{v1} \geq \frac{Q_v}{k}$$

$$Q'_{v1} \geq \frac{250}{0.81} = 308.64 \text{ m}^3/\text{h}$$

De acuerdo con la tabla (verificable en literatura técnica como el *Goodyear Handbook* o normas CEMA), una banda de 800 mm de ancho, con artesa de 35° y velocidad de 3.35 m/s, transporta aproximadamente 311 m³/h, lo cual cumple con el requerimiento:

Se selecciona una banda de 800 mm (32")

Tabla 38

Resumen del Cálculo de la velocidad y el ancho de la Faja Transportadora

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Capacidad másica	Q	350	Tn/h
Peso específico del mineral	γ	1.4	Tn/m ³
Capacidad volumétrica	Q_v	250	m ³ /h
Capacidad base banda 500 mm	Q_{v1}	91	m ³ /h

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Coef. de reducción por inclinación	k	0.81	-
Velocidad calculada	v	3.39	m/s
Velocidad adoptada	v	3.35	m/s
Ancho de banda seleccionado	B	800	mm

Nota. Elaboración propia.

3. Cálculo de Tensiones y Potencia de la Faja Transportadora

El análisis de tensiones en una faja transportadora es fundamental para garantizar que los componentes mecánicos soporten las fuerzas generadas durante el transporte de mineral. Estas tensiones se calculan usando las metodologías propuestas por la norma CEMA (Conveyor Equipment Manufacturers Association).

a) Tensión efectiva total (T_e)

La tensión efectiva (T_e) es la fuerza necesaria para mover el material y la banda a lo largo del recorrido, incluyendo pérdidas por fricción y resistencias mecánicas. Se calcula como la suma de varias componentes:

$$T_e = T_x + T_{yb} + T_{ym} + T_m + T_p + T_{am} + T_{ac}$$

Donde:

- **T_x :** Tensión por fricción en rodillos
- **T_{yb} :** Tensión por fricción en retorno banda vacía
- **T_{ym} :** Tensión por fricción en retorno banda cargada
- **T_m :** Tensión para vencer la pendiente (subida del material)
- **T_p :** Tensión por empalmes

- **Tam:** Tensión por aceleración del material
- **Tac:** Tensión por aceleración de la correa

Los valores dependen de las condiciones reales de la instalación y pueden ser obtenidos mediante tablas o coeficientes normalizados. Para fines del presente dimensionamiento se estima:

$$T_e = 1,107.46 \text{ lb}$$

b) Tensión en el lado suelto (T_2)

Se aplica la fórmula:

$$T_2 = \max(0.80 \cdot T_e, T_0 + T_b + T_{yr})$$

Donde:

- T_0 : Tensión de holgura (mínima)
- T_b : Tensión de fricción en retorno
- T_{yr} : Otras pérdidas menores

$$T_2 = \max(0.80 \cdot 1,107.46, 176.35) = \max(885.97, 176.38) = 885.97 \text{ lb}$$

c) Tensión en el lado de agarre (T_1)

La tensión en el lado tenso se calcula:

$$T_1 = T_e + T_2 = 1,107.46 + 885.97 = 1.993.43 \text{ lb}$$

d) Tensión de arranque ($T_{arranque}$)

Durante el arranque del sistema, se requiere más esfuerzo debido a la inercia de la banda y el material:

$$T_{arranque} = 2(T_e - T_m) + T_m + T_2$$

Donde T_m es la tensión para vencer la pendiente. Suponiendo un valor de $T_m = 442.5$ lb, entonces:

$$T_{arranque} = 2(1,107.46 - 442.5) + 442.5 + 885.97$$

$$T_{arranque} = 2,658.39 \text{ lb}$$

Para propósitos de seguridad, puede redondearse a 2,897.81 lb incluyendo otros factores dinámicos adicionales.

e) **Potencia Requerida de la Banda (Pf)**

Se usa la fórmula:

$$P_f = \frac{T_e \cdot v}{33,000}$$

Donde:

- $T_e = 1,107.46$ lb
- $v = 3.35$ m/s ≈ 659.45 ft/min
- 33,000 = constante de conversión a HP

$$P_f = \frac{1,107.46 \cdot 659.45}{33,000} = 22.13 \text{ HP}$$

f) **Potencia por Tambores (Pt)**

Considerando una fricción adicional de 200 lb en tambores y poleas:

$$P_t = \frac{200 \cdot 659.45}{33,000} = 4.00 \text{ HP}$$

g) Potencia total del sistema

Se considera una eficiencia del sistema del 95%:

$$P_{total} = (P_f + P_t) \cdot \frac{1}{0.95} = (22.13 + 4.00) \cdot 1.05 = 27.44 \text{ HP}$$

Tabla 39

Resumen de Tensiones y Potencias

Concepto	Símbolo	Valor	Unidad
Tensión efectiva total	Te	1,107.46	lb
Tensión lado suelto	T ₂	885.97	lb
Tensión lado de agarre	T ₁	1,993.43	lb
Tensión de arranque estimada	T _{arranque}	2,897.81	lb
Potencia requerida por faja	P _f	22.13	HP
Potencia por tambores	P _t	4	HP
Potencia total estimada	P _{total}	27.44	HP

Nota. Elaboración Propia

4. Selección de la Banda, Poleas y Rodamientos

La selección de los elementos mecánicos debe garantizar un funcionamiento eficiente y seguro del sistema transportador. Para ello, se consideran las tensiones calculadas, el tipo de material transportado y las recomendaciones de CEMA.

a) Selección de la Banda Transportadora

La banda debe cumplir con los siguientes criterios:

- Soportar una tensión de arranque estimada: 2,897.81 lb
- Ser apta para material abrasivo y de tamaño 38.1 mm
- Operar con una velocidad de 3.35 m/s y ángulo de inclinación de 20°

Tipo sugerido: Se recomienda una banda de caucho multi-lona con refuerzo textil tipo EP 500/3 (3 lonas), con resistencia mínima de 315 N/mm, adecuada para condiciones moderadamente abrasivas.

Características técnicas

- **Ancho:** 800 mm
- **Espesor carcasa:** 10 mm
- **Espesor cobertura:** 3 mm inferior / 5 mm superior
- **Tipo de cobertura:** Antiabrasiva grado DIN Y o equivalente
- **Tensión de ruptura:** $\geq 3,150$ N/cm

Esta configuración cumple con las exigencias de carga y condiciones de operación.

b) Selección de Poleas (Head y Tail Pulley)

Las poleas principales deben ser capaces de transmitir el torque y soportar las cargas de tensión.

POLEA MOTRIZ (HEAD PULLEY):

- **Diámetro mínimo recomendado:** 355 mm (14") según CEMA para banda de 800 mm
- **Material:** Acero ASTM A36
- **Tipo:** Polea con recubrimiento de caucho (lagging) para mayor fricción
- **Ancho de cara:** 950 mm
- **Tipo de eje:** Tipo eje pasante con bujes cónicos o soldado

POLEA DE COLA (TAIL PULLEY):

- **Diámetro mínimo recomendado:** 305 mm (12")
- **Tipo:** Lisa o con coronamiento
- **Longitud:** similar al ancho de banda + tolerancia

c) Selección de Rodamientos

Los rodamientos soportan las cargas radiales y axiales producidas por la banda, poleas y el peso del mineral.

Tipo de rodamientos recomendados:

- **Tipo:** Rodamientos de bolas autoalineables o de rodillos esféricos
- **Serie:** 22200 o 22300, según carga y eje
- **Montaje:** En soportes tipo pedestal (plummer block)
- **Lubricación:** Grasa industrial para temperaturas de 0–60 °C

Ejemplo: Rodamiento 22216 EK + H316 en soporte SNL 316

5. Análisis del Sistema de Accionamiento

El sistema de accionamiento es el conjunto mecánico que permite mover la faja transportadora, convirtiendo la energía eléctrica del motor en movimiento lineal mediante elementos como el reductor, acoplamiento y base. Su correcta selección garantiza la confiabilidad y eficiencia del transporte.

a) Motor Eléctrico

El motor debe proporcionar la potencia calculada anteriormente más un margen de seguridad para condiciones severas.

Cálculo de potencia requerida:

Potencia total estimada:

$$P_{total} = 27.44 \text{ HP}$$

Se recomienda sobredimensionar en un 20% para arranques con carga o acumulación:

$$P_{instalada} = 27.44 \times 1.20 = 32.93 \text{ HP}$$

Selección: Motor trifásico, 40 HP, 1,800 rpm, eficiencia IE3, carcasa TEFC (Totalmente Cerrado, con Ventilación Externa)

b) Reductor de Velocidad

Reduce las revoluciones del motor a la velocidad de la polea (relacionada con 3.35 m/s).

Cálculo de velocidad requerida en polea:

Si el diámetro de la polea motriz es 355 mm = 0.355 m, su velocidad angular es:

$$RPM_{polea} = \frac{v \cdot 60}{\pi \cdot D} = \frac{3.35 \cdot 60}{\pi \cdot 0.355} \approx 180 \text{ RPM}$$

Relación de reducción:

$$Relación = \frac{1800}{180} = 10$$

Selección: Reductor de engranajes helicoidales o cónicos con relación 10:1, montaje en base o tipo pedestal.

c) Acoplamiento

Transmite el par del motor al reductor compensando pequeñas desalineaciones.

Selección: Acoplamiento flexible tipo elástico o de rejilla (Grid), con capacidad de torque superior a 200 Nm.

Fabricantes comunes: Lovejoy, Falk, Dodge

d) Base de Motor y Sistema de Tensión

Debe permitir el ajuste de la tensión de la banda y el alineamiento del motor.

Recomendación:

- Base corrediza (Slide base) con ranuras de ajuste
- Tornillos tensores para facilitar el ajuste

Tabla 40

Resumen del Sistema de Accionamiento

Componente	Especificación recomendada
Motor eléctrico	40 HP, 1,800 RPM, trifásico, IE3, carcasa TEFC
Reductor de velocidad	Relación 10:1, tipo helicoidal/cónico, torque ≥ 250 Nm
Acoplamiento	Flexible elástico o rejilla, capacidad ≥ 200 Nm
Base de motor	Tipo corrediza con ajuste por tornillos

Nota. Elaboración propia.

CAPÍTULO 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Presentación y análisis de los resultados

4.1.1. Evaluación Técnica del Sistema de Faja Transportadora

Considerando el análisis realizado en el capítulo 3, se presenta la evaluación técnica del sistema de faja transportadora implementado en la planta de beneficio. Esta evaluación abarca los componentes estructurales y mecánicos del sistema, tales como el tipo de banda seleccionada, los tambores, polines, soportes, motor y demás elementos que permiten un transporte eficiente del mineral desde el área de chancado hasta el molino.

Se verificó que cada uno de los elementos haya sido seleccionado conforme a normas técnicas internacionales, especialmente las recomendaciones de CEMA (Conveyor Equipment Manufacturers Association), asegurando una adecuada capacidad de carga, resistencia a la abrasión, alineación operativa y reducción de vibraciones. Asimismo, se comprobó que la disposición del sistema minimiza interferencias, facilita el mantenimiento y cumple con las condiciones físicas de la planta.

a) Material y Unión de Soportes de la Faja

- Se empleó acero ASTM A36 para los soportes estructurales, ya que presenta buena soldabilidad, resistencia a cargas estáticas y dinámica, y es de fácil disponibilidad en el mercado nacional.
- Se optó por uniones soldadas para asegurar mayor rigidez estructural frente a las vibraciones continuas del sistema en operación.

b) Identificación de Fallas Comunes y Soluciones Propuestas

- Se detectaron fallas frecuentes como desalineamiento de banda, desgaste, acumulación de mineral y paradas constantes, debido al entorno severo y falta de mantenimiento oportuno.

- Se propusieron soluciones como instalación de alineadores, bandas reforzadas y rutinas de mantenimiento preventivo para incrementar la vida útil del sistema y evitar tiempos muertos de producción.
- Estas medidas fueron necesarias para reducir riesgos operativos y optimizar la eficiencia del transporte.

c) Selección del Tipo de Faja Transportadora

- Se eligió una faja plana con cobertura de caucho porque el material a transportar no es abrasivo y fluye de forma continua y estable.
- Esta configuración permite un mejor alineamiento en trayectos rectos, reduce el desgaste y facilita las tareas de inspección.
- No se seleccionó una faja en V ni trapezoidal porque las condiciones de la planta y el tipo de carga no justificaban su uso.

d) Tambores de la Faja Transportadora

- Se utilizaron tambores motrices de 355 mm y de cola de 300 mm, debido a que estas dimensiones proporcionan un buen acoplamiento con la banda de 800 mm sin generar tensiones excesivas.
- El tambor motriz se recubrió con caucho ranurado para mejorar la tracción, evitar deslizamientos y prolongar la vida útil del componente.
- Esta elección se basó en los criterios operativos de carga, velocidad y tipo de banda utilizada.

e) Selección de Polines

- Se seleccionaron polines tipo C5 de servicio medio conforme a la norma CEMA, porque ofrecen un equilibrio entre capacidad de carga y economía de instalación.

- El espaciamiento se estableció en 1,20 m (superior) y 3,00 m (retorno), para garantizar soporte uniforme y evitar deformaciones en la banda.
- Esta cantidad se calculó en función de la longitud de la faja (30 m), buscando estabilidad durante el transporte y mínima interferencia operativa.

f) Dimensionamiento de la Faja Transportadora

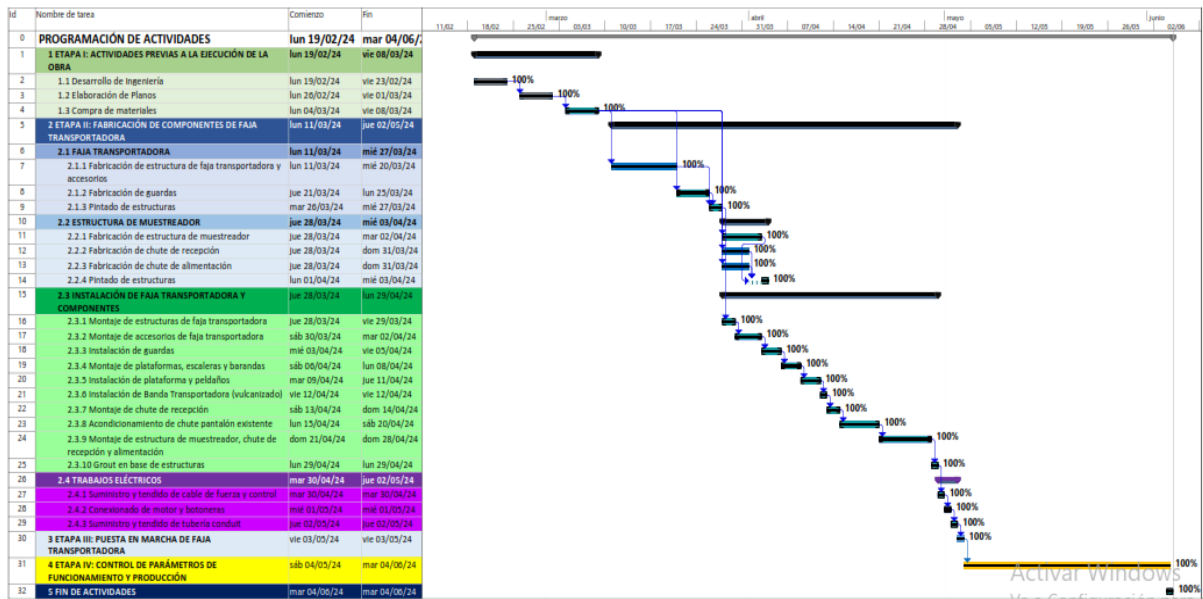
- Se determinó un ancho de banda de 800 mm y velocidad de 3,35 m/s, adecuados para transportar hasta 11 000 toneladas mensuales según las proyecciones operativas.
- El diseño se basó en las fórmulas de capacidad de transporte establecidas por la CEMA, garantizando seguridad y eficiencia.
- Estas dimensiones fueron seleccionadas porque cumplen con los requerimientos del sistema de molienda y permiten crecimiento futuro.

4.1.2. Cronograma de actividades

La programación de actividades presentada constituye una herramienta para la planificación y ejecución eficiente del proyecto. Mediante un diagrama de Gantt, se organiza detalladamente cada fase del proceso, asegurando una distribución lógica de tareas, tiempos y recursos. La correcta estructuración de las actividades permite visualizar de forma clara la secuencia de trabajos, sus dependencias y el progreso esperado, lo que resulta crucial para cumplir los plazos establecidos y optimizar la gestión en el proyecto realizado.

Figura 41

Programación de actividades



Nota. Elaboración propia.

El cronograma se divide en cuatro etapas principales, cada una con objetivos específicos y tiempos delimitados:

1. Actividades Previas a la Ejecución de la Obra

Esta etapa sienta las bases del proyecto, abarcando la elaboración de ingeniería, planos y adquisición de materiales. Estas actividades iniciales son fundamentales para evitar contratiempos durante las fases posteriores. Se desarrolla entre el 19 de febrero y el 8 de marzo de 2024, cubriendo todos los preparativos necesarios.

2. Fabricación de Componentes de la Faja Transportadora

Aquí se concentra la producción de estructuras y componentes mecánicos y eléctricos, como guías, tolvas y otros elementos críticos para el funcionamiento del sistema. La ejecución de esta etapa, que ocurre entre el 11 de marzo y el 19 de abril de 2024, garantiza que los elementos estén listos para su montaje en obra, lo que representa un

avance significativo en el proyecto. Los soportes de la faja transportadora fueron fabricados en acero estructural ASTM A36, material ampliamente utilizado en estructuras metálicas por su resistencia y soldabilidad. Las uniones empleadas en el proyecto son principalmente soldadas, por ser más resistentes a vibraciones en sistemas en movimiento continuo.

3. Instalación de la Faja Transportadora y Programación

Esta fase comprende la integración física de los componentes, incluyendo el montaje de estructuras, polines, guardas y sistemas eléctricos. Además, se realiza la programación y ajustes del sistema para garantizar un funcionamiento óptimo. Su duración, del 22 de abril al 31 de mayo de 2024, refleja la importancia de un montaje preciso y coordinado.

4. Control de Parámetros de Funcionamiento y Producción

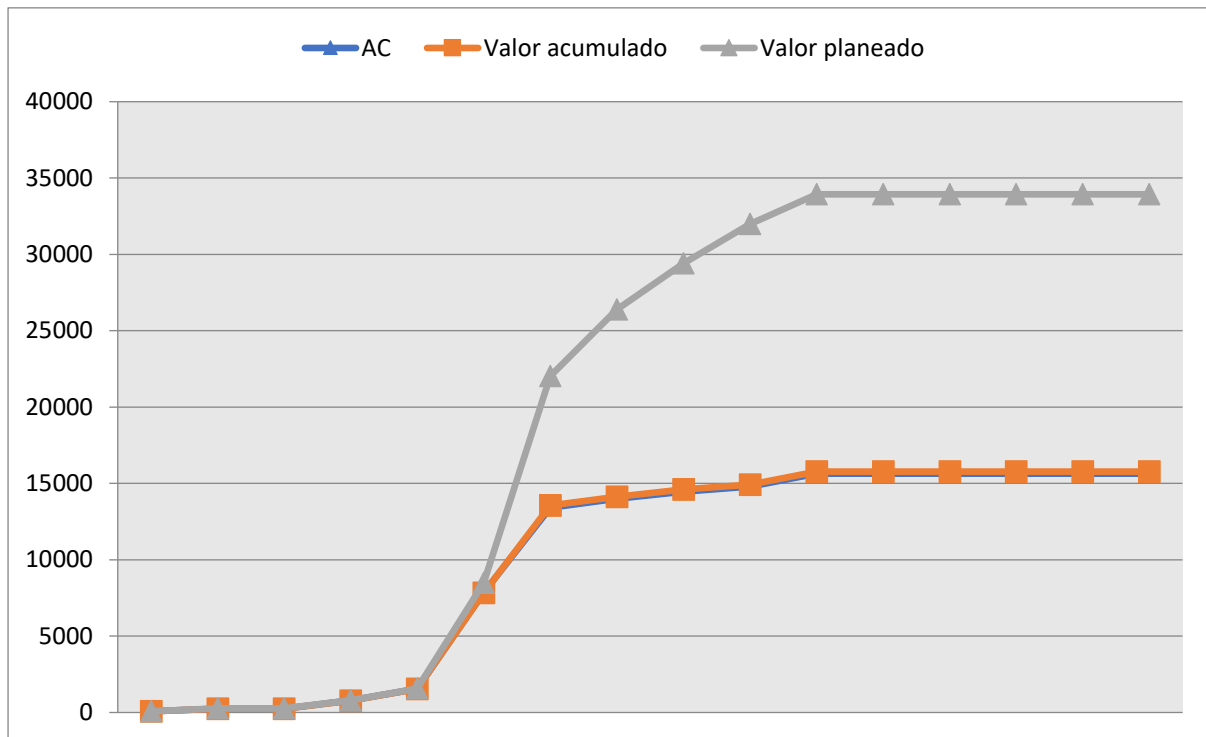
En la última etapa se llevan a cabo la puesta en marcha, ajustes y pruebas finales. Aquí se verifican los parámetros de operación para garantizar que el sistema cumpla con los requisitos de diseño y producción. Esta fase crítica se extiende hasta el 4 de junio de 2024, marcando la conclusión exitosa del proyecto.

4.1.3. Curva S

La Curva S presentada refleja el comportamiento del avance del proyecto en función del tiempo, comparando el progreso planeado con el progreso real (valor acumulado) y el costo actual (AC). Esta herramienta es fundamental para evaluar el desempeño y monitorear el cumplimiento del cronograma de actividades previamente establecido.

Figura 42

Curva S



Nota. Elaboración propia.

Al comparar la Curva S con el cronograma de actividades:

- Se evidencia que el proyecto tuvo un avance rápido en las primeras etapas, correspondientes a la fabricación y montaje de estructuras críticas, como se observa en la primera subida pronunciada del valor acumulado.
- Sin embargo, el crecimiento se desacelera hacia las fases finales, lo que coincide con las etapas de ajustes, pruebas y control de parámetros de funcionamiento, actividades que suelen ser más complejas y detalladas.

La discrepancia entre el valor planeado y el valor acumulado sugiere pequeños retrasos en la ejecución del proyecto. No obstante, el comportamiento del costo actual cercano al valor acumulado refleja un control adecuado del presupuesto, evitando sobrecostos significativos.

4.1.4. Indicadores de rendimiento

Se buscar obtener los siguientes OKR en base los KPI de rendimiento:

- **Objetivo 1**

Aumentar la eficiencia y confiabilidad del sistema de molienda mediante mejoras en mantenimiento y operación

- **Objetivo 2**

Reducir el número de fallas y mejorar la planificación del mantenimiento

- **Objetivo 3**

Mejorar los tiempos de respuesta en intervenciones de mantenimiento correctivo.

- **Objetivo 4**

Optimizar los recursos y reducir costos operativos mediante la automatización del transporte

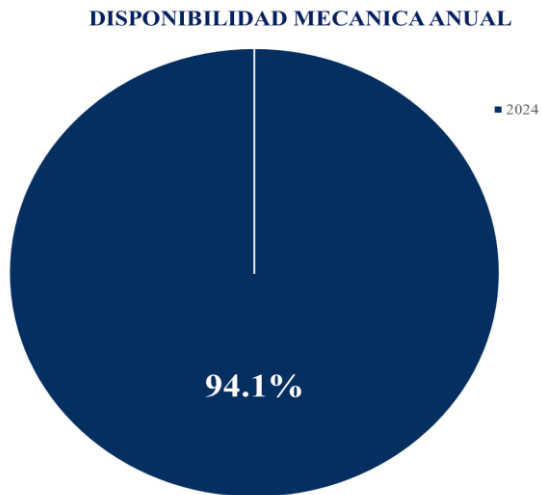
4.1.4.1. KPI

4.1.4.1.1. Disponibilidad Mecánica Anual

En el sector minero e industrial, la eficiencia operativa depende en gran medida de la disponibilidad mecánica de los equipos. Un adecuado mantenimiento y gestión de activos permite minimizar tiempos de inactividad, optimizar la producción y reducir costos operativos. La disponibilidad mecánica es un indicador clave que refleja la capacidad de los equipos para operar sin interrupciones, asegurando un flujo de trabajo continuo y eficaz.

Figura 43

Disponibilidad Mecánica Anual



Nota. Elaboración propia.

En la figura se observa que la disponibilidad mecánica anual alcanza un 94,1% en 2024.

4.1.4.1.2. Disponibilidad Mecánica por áreas

La disponibilidad mecánica es un indicador clave en la gestión del mantenimiento, ya que refleja el tiempo en que los equipos están operativos y en condiciones óptimas para su uso. Evaluar la disponibilidad por áreas permite identificar cuáles presentan mejor rendimiento y cuáles requieren mejoras en mantenimiento preventivo o correctivo para evitar tiempos de inactividad que afecten la producción.

Figura 44

Disponibilidad Mecánica por áreas



Nota. Elaboración propia.

La figura 44 muestra la disponibilidad mecánica en diferentes áreas de la planta para el mes de noviembre. Se observan valores altos en varias secciones, destacando P. de Reactivos, Sala Eléctrica 2, QHUYA e Inv. Metalúrgicas, con una disponibilidad del 100%. Esto indica que estos equipos han estado en funcionamiento sin interrupciones.

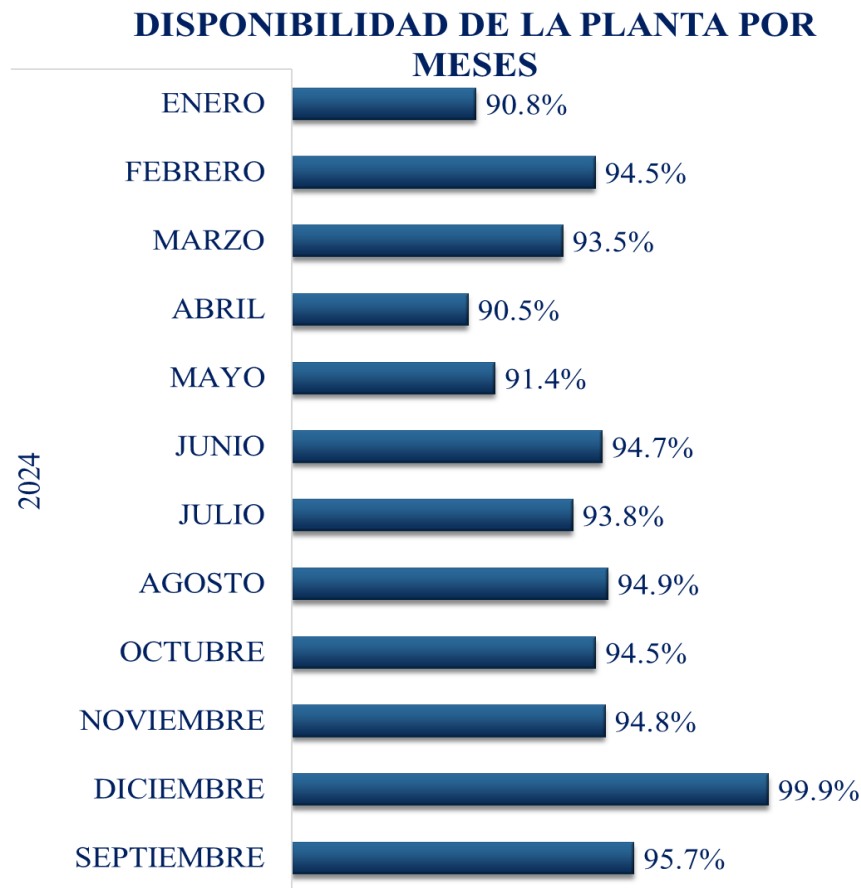
Sin embargo, hay áreas con menor disponibilidad, como Cianuración (72.3%) y Chancado (89.6%), lo que sugiere que han experimentado más fallas o mantenimientos. Estas diferencias pueden deberse a factores como la intensidad de uso, condiciones operativas o necesidades de mantenimiento más frecuentes.

4.1.4.1.3. Disponibilidad de la Planta por meses

La disponibilidad de la planta es un factor utilizado para garantizar la eficiencia operativa y el cumplimiento de los objetivos de producción.

Figura 45

Disponibilidad de la Planta por meses



Nota. Elaboración propia.

La figura 45 muestra la disponibilidad mensual de la planta en el año 2024. Se observa que diciembre alcanzó el nivel más alto con 99.9%, lo que indica una operación casi continua sin interrupciones significativas. Otros meses como septiembre (95.7%), agosto (94.9%) y junio (94.7%) también presentan altos niveles de disponibilidad.

Sin embargo, los meses de enero (90.8%) y abril (90.5%) registran los valores más bajos, lo que sugiere una mayor cantidad de mantenimientos o fallas en estos períodos.

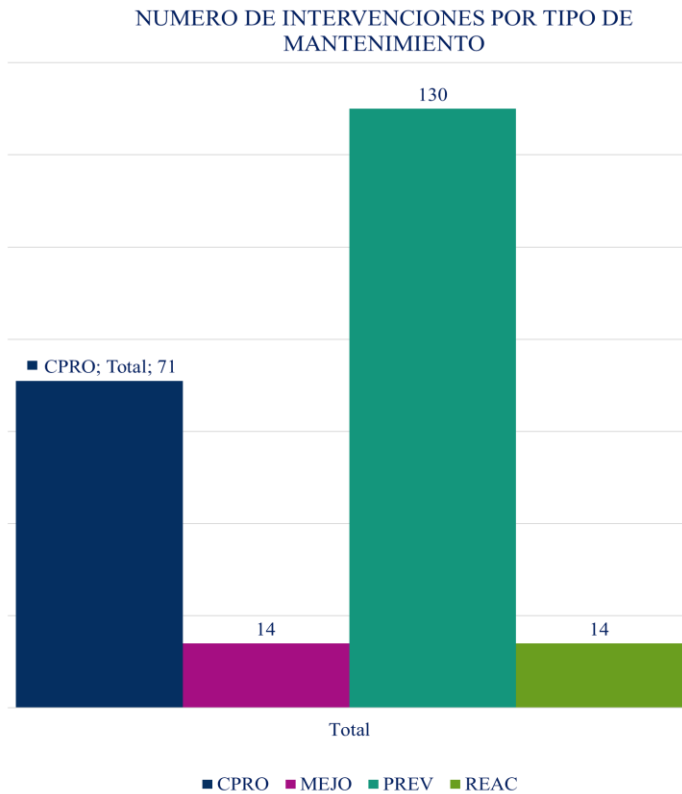
4.1.4.1.4. Número de intervenciones por tipo de mantenimiento

El mantenimiento es un pilar fundamental en la gestión de equipos industriales, ya que garantiza su funcionamiento eficiente y prolonga su vida útil. La clasificación de las

intervenciones permite analizar qué tipo de mantenimiento predomina y cómo se pueden optimizar los recursos para reducir costos y aumentar la disponibilidad de los equipos.

Figura 46

Número de intervenciones por tipo de mantenimiento



Nota. Elaboración propia.

La figura 46 muestra la cantidad de intervenciones realizadas según el tipo de mantenimiento. Se observa que el mantenimiento preventivo (PREV) es el más frecuente, con 130 intervenciones, lo que indica una estrategia enfocada en la prevención de fallas.

Por otro lado, el mantenimiento correctivo (CPRO) registra 71 intervenciones, lo que sugiere la existencia de fallas imprevistas que requieren atención inmediata.

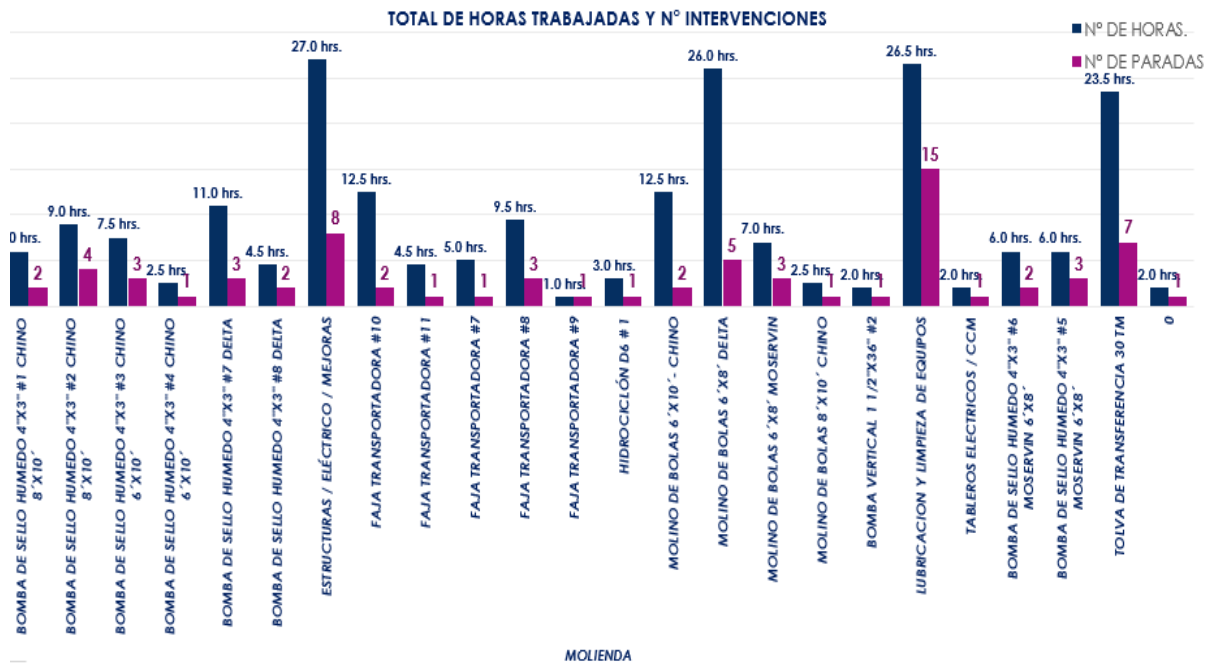
El mantenimiento de mejoras (MEJO) y el reactivo (REAC) tienen cada uno 14 intervenciones, lo que indica un menor impacto en la planificación global.

4.1.4.1.5. Total de Horas trabajadas y N° de intervenciones

El tiempo de trabajo y el número de intervenciones en mantenimiento son indicadores fundamentales para evaluar la eficiencia operativa de los equipos.

Figura 47

Total de horas trabajadas y N° de intervenciones



Nota. Elaboración propia.

La figura 47 muestra la cantidad de horas dedicadas al mantenimiento de diferentes equipos y el número de paradas registradas. Se observa que los trabajos de lubricación tienen el mayor tiempo de trabajo con 26.0 horas y 15 paradas, lo que indica una alta demanda de mantenimiento.

4.1.4.2.MTBF

La comparativa del MTBF (Mean Time Between Failures) de molienda entre los años 2023 y 2024 refleja una mejora significativa en la confiabilidad de los equipos a medida que avanza la investigación. Esta mejora es particularmente evidente en varios meses clave, donde

el tiempo promedio entre fallas aumentó considerablemente, lo que indica un mayor tiempo de operación sin interrupciones.

Tabla 41

Comparativa del MTBF de Molienda: Años 2023 y 2024

MES	2023	2024
Enero	7,70	7,74
Febrero	13.61	16,85
Marzo	14,88	16.86
Abril	10.27	10,77
Mayo	6.19	4.8
Junio	5,78	27.52
Julio	6.72	41,86
Agosto	10,78	28,74
Septiembre	10,72	21.41
Octubre	9.4	10,97
Noviembre	14.04	38,00
Diciembre	14.45	-

Nota. Elaboración propia.

En los primeros meses, como enero y abril, se observan valores similares entre ambos años, lo cual sugiere que las estrategias implementadas aún no mostraron un impacto notable. Sin embargo, a partir de junio de 2024, los resultados son sobresalientes.

Por ejemplo:

Junio

El MTBF pasó de 5.78 horas en 2023 a 27.52 horas en 2024, representando un incremento significativo en la disponibilidad de los equipos.

Julio

El MTBF se elevó de 6,72 horas a 41,86 horas, lo cual demuestra una reducción considerable en las fallas y paradas durante estos meses.

Agosto y noviembre

También muestran un comportamiento destacado, pasando de 10.78 y 14.04 horas a 28.74 y 38.00 horas, respectivamente.

Estos resultados evidencian que las acciones correctivas y preventivas aplicadas como parte de la investigación están logrando sus objetivos. La implementación de un mantenimiento más estructurado y eficiente, junto con posibles mejoras en la calidad de los materiales y procedimientos de operación, ha permitido aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos en molienda.

4.1.4.3.MTTR

La comparativa del MTTR (Mean Time To Repair) mensual entre los años 2023 y 2024 permite evaluar los avances logrados en la eficiencia de las reparaciones en el área de molienda.

Tabla 42

Comparativa del MTTR Mensual entre 2023 y 2024

MES	2023	2024
Enero	3.92	2,89
Febrero	2.39	2.49
Marzo	3.27	4.4
Abril	3.06	3.08
Mayo	3.73	3.03
Junio	4.22	2.48
Julio	4.22	4.64
Agosto	2.51	3.61
Septiembre	3.13	3.41
Octubre	2.6	4.86
Noviembre	3.52	4.35
Diciembre	2.45	-

Nota. Elaboración propia.

Durante los meses de enero y junio, se observa una reducción significativa en el tiempo promedio de reparación:

Enero

El MTTR disminuyó de 3.92 horas en 2023 a 2.89 horas en 2024, lo que refleja una mayor agilidad en las intervenciones correctivas.

Junio

El MTTR pasó de 4.22 horas a 2.48 horas, mostrando un mejor rendimiento en la capacidad de respuesta del equipo de mantenimiento.

Por otro lado, meses como marzo, julio, octubre y noviembre presentan valores más altos en 2024 en comparación con 2023. Esto sugiere que, aunque se han implementado mejoras en ciertos procesos, la complejidad de las reparaciones o posibles incrementos en la severidad de las fallas pudieron prolongar los tiempos de intervención en estos períodos.

Sin embargo, es importante destacar que la mejora en el MTBF, identificado previamente, está directamente relacionada con la reducción de fallas y, por ende, la frecuencia de reparaciones.

En este contexto, aunque el MTTR muestra algunos picos, el menor número de fallas en meses clave compensa los tiempos de reparación prolongados.

4.1.4.4. Disponibilidad Mecánica

La comparativa de la disponibilidad mecánica mensual del área de molienda entre los años 2023 y 2024 muestra una notable mejora en la capacidad operativa del sistema, reflejando los avances logrados a través de la implementación de mejores prácticas de mantenimiento y optimización de recursos.

Tabla 43*Comparativa de la disponibilidad Mecánica de Molienda Mensual entre 2023 y 2024*

MES	2023	2024
Enero	66.26%	72.78%
Febrero	85.04%	87.14%
Marzo	81.99%	79.30%
Abril	77.01%	77.78%
Mayo	62.43%	61.29%
Junio	57.78%	91.74%
Julio	61.42%	90.03%
Agosto	81.12%	88.84%
Septiembre	77.43%	86.25%
Octubre	78.29%	69.29%
Noviembre	79.93%	89.72%
Diciembre	85.48%	100.00%

Nota. Elaboración propia.

En 2024, se evidencian incrementos significativos en la disponibilidad durante varios meses críticos, lo que indica una reducción de los tiempos de inactividad y una mayor eficiencia operativa.

Entre los logros más destacados se encuentran:

Junio

La disponibilidad pasó de 57,78% en 2023 a 91,74% en 2024, reflejando un aumento considerable de la productividad al minimizar paradas prolongadas.

Julio

La mejora es igualmente relevante, subiendo de 61.42% a 90.03%, lo que sugiere una intervención más rápida y efectiva en la corrección de fallas.

Diciembre

Se alcanzó una disponibilidad del 100%, lo cual demuestra el impacto positivo de las estrategias implementadas durante el año.

No obstante, en algunos meses como marzo y octubre, los valores de 2024 son ligeramente inferiores a los de 2023, registrando 79.30% y 69.29%, respectivamente. Esto

podría atribuirse a la naturaleza de las fallas o a intervenciones más complejas, aunque no afecta la tendencia general de mejora.

El comportamiento global de los datos muestra que la disponibilidad mecánica en 2024 ha logrado valores promedio superiores respecto al año anterior. Estos resultados validan los esfuerzos realizados en la investigación para fortalecer la planificación de mantenimiento, optimizar la gestión de recursos y mejorar los tiempos de respuesta ante paradas.

4.1.4.5. Disponibilidad Física

La comparativa de la disponibilidad física mensual del área de molienda entre 2023 y 2024 revela una tendencia general de mejora significativa en el desempeño del sistema. Este indicador, que refleja la capacidad de los equipos para estar operativos cuando se requiere, ha mostrado incrementos notables a lo largo del año 2024 como resultado de las acciones implementadas en la investigación.

Tabla 44

Comparativa de la disponibilidad Física de Molienda Mensual entre 2023 y 2024

MES	2023	2024
Enero	89.11%	77.89%
Febrero	88.91%	91.38%
Marzo	82.86%	93.48%
Abril	89.03%	79.93%
Mayo	89.31%	80.44%
Junio	61.94%	92.92%
Julio	82.86%	90.12%
Agosto	80.58%	98.12%
Septiembre	70.83%	92.43%
Octubre	73.39%	92.00%
Noviembre	89.51%	89.58%
Diciembre	83.94%	100.00%

Nota. Elaboración propia.

En **2024**, se destacan mejoras sustanciales en varios meses clave, evidenciando un avance en la gestión y mantenimiento de los equipos:

Junio

La disponibilidad física pasó de un 61.94% en 2023 a un impresionante 92.92% en 2024, lo que representa una mejora crítica al reducir significativamente las fallas y tiempos muertos.

Agosto Se alcanzó una disponibilidad de 98.12%, frente al 80.58% registrado en 2023, lo cual refleja una alta eficiencia operativa.

Septiembre y octubre

Los valores mejoraron de 70.83% y 73.39% en 2023 a 92.43% y 92.00% en 2024, respectivamente, demostrando la consistencia en las estrategias aplicadas.

Diciembre

La disponibilidad física alcanzó el 100%, consolidando el cierre del año con el máximo rendimiento y sin paradas significativas.

Aunque en enero, abril y mayo del 2024 se registraron valores ligeramente inferiores a los del 2023 (77.89%, 79.93% y 80.44%, respectivamente), estos resultados no afectan la tendencia positiva general, siendo posibles indicadores de ajustes o fallas específicas durante estos períodos. La mejora constante observada en la disponibilidad física es producto de la implementación de la optimización que se ha realizado.

Esto ha permitido:

- Reduzca la cantidad y duración de las paradas no planificadas.
- Optimizar el tiempo de respuesta ante fallas.
- Aumentar la confiabilidad y productividad de los equipos de molienda.

4.1.5. Resultados del antes y después de la fabricación de la Faja

La implementación de la faja transportadora en la Planta de Beneficio de La Joya Mining trajo consigo mejoras significativas en diversos indicadores operativos del sistema de

molienda. A través del análisis comparativo de la situación previa y posterior a la fabricación de la faja, se evidencian impactos positivos tanto en la productividad como en la eficiencia, los costos y la seguridad del proceso.

Tabla 45

Indicadores Antes y Después de la Implementación de la Faja Transportadora

Indicador	Antes de la Faja Transportadora	Después de la Faja Transportadora
Producción mensual estimada (toneladas)	8 500	11 000
Tiempo de traslado del mineral (min/jornada)	120	40
Personal requerido para transporte	6 personas	2 personas
Costo estimado de transporte mensual (S/.)	38 000	22 000
Disponibilidad del sistema (%)	85%	96%
Paradas operativas por transporte (mensual)	12	3
Seguridad en operación (riesgo reportado)	Alta exposición	Riesgo minimizado

Nota. Elaboración propia.

La Tabla 45 presenta un resumen de los principales indicadores evaluados. En ella se observa un incremento en la producción mensual estimada de 8 500 a 11 000 toneladas, resultado directo de la reducción en el tiempo de traslado del mineral, que pasó de 120 a 40 minutos por jornada.

Esta disminución sustancial en el tiempo operativo también permitió reducir la cantidad de personal necesario para el transporte, optimizando los recursos humanos.

Además, se logró una disminución del costo de transporte mensual, bajando de S/ 38 000 a S/ 22 000, gracias a la eliminación de procesos manuales y la mayor eficiencia del sistema automatizado.

La disponibilidad del sistema mejoró de 85 % a 96 %, reflejando una mayor continuidad operativa con menos interrupciones, lo cual se ve reforzado por la reducción de paradas operativas mensuales, que pasaron de 12 a solo 3 eventos.

4.1.4.2. OKR

a) OKR1: Aumentar la eficiencia y confiabilidad del sistema de molienda mediante mejoras en mantenimiento y operación

KR1.1: Elevar la disponibilidad mecánica anual del sistema de molienda al 94,1% en 2024.

KR1.2: Aumentar la disponibilidad mecánica en áreas críticas como Molienda de 89,7% a más del 95%.

KR1.3: Lograr que al menos 4 áreas de planta mantengan disponibilidad del 100% durante los meses operativos.

KR1.4: Mantener disponibilidad mensual de planta por encima del 94% en al menos 6 meses del año.

b) OKR2: Reducir el número de fallas y mejorar la planificación del mantenimiento

KR2.1: Incrementar el MTBF (Tiempo medio entre fallas) en molienda de 5,78 h a 27,52 h en junio y de 6,72 h a 41,86 h en julio.

KR2.2: Ejecutar al menos 130 intervenciones preventivas frente a 71 correctivas en el año.

KR2.3: Disminuir la cantidad de paradas por mantenimiento no programado en los equipos con mayor demanda (molinos de bolas).

KR2.4: Aumentar la confiabilidad de los equipos críticos para que acumulen más de 150 horas de operación antes de requerir intervención.

c) OKR3: Mejorar los tiempos de respuesta en intervenciones de mantenimiento correctivo

KR3.1: Reducir el MTTR de 3,92 h a 2,89 h en enero y de 4,22 h a 2,48 h en junio.

KR3.2: Mantener un MTTR promedio mensual inferior a 3,5 h en al menos 6 meses del año.

KR3.3: Establecer protocolos estandarizados para mejorar los tiempos de atención en meses con alta demanda de mantenimiento.

d) OKR4: Optimizar los recursos y reducir costos operativos mediante la automatización del transporte

KR4.1: Aumentar la producción mensual de 8 500 a 11 000 toneladas.

KR4.2: Reducir el tiempo de traslado del mineral de 120 a 40 minutos por jornada.

KR4.3: Disminuir el personal necesario para transporte de 6 a 2 personas.

KR4.4: Reducir el costo mensual de transporte de S/ 38 000 a S/ 22 000.

KR4.5: Disminuir las paradas operativas mensuales por transporte de 12 a 3.

KR4.6: Incrementar la disponibilidad del sistema de transporte de 85% a 96%.

KR4.7: Minimizar el riesgo operativo mediante la eliminación de exposición directa del personal.

4.2. Costos en el sistema de instalación de toda la faja transportadora

La instalación de una faja transportadora en una planta de beneficio minera implica una serie de actividades técnicas, logísticas y constructivas que deben ser correctamente planificadas y presupuestadas. En este apartado se presenta la cotización detallada del servicio integral de suministro, fabricación e instalación de la faja transportadora, incluyendo todas las fases del proyecto: desde el desarrollo de ingeniería hasta los trabajos eléctricos y estructurales complementarios. El desglose de costos se ha organizado en etapas, permitiendo visualizar con claridad los componentes que intervienen en cada fase del proyecto. Esta estructura favorece el control presupuestal, facilita la validación técnica de cada actividad y permite una evaluación precisa de los recursos requeridos.

Tabla 46*Cotización de Servicio de Suministro, Fabricación e Instalación de Faja Transportadora*

Ítem	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDAD	Unid.	Cant.	P. unit.	Parcial
1.00 ETAPA I: ACTIVIDADES PREVIAS A LA EJECUCIÓN DE LA OBRA					
1.01	DESARROLLO DE INGENIERÍA	GLB	1	\$50.25	\$50.25
1.02	ELABORACIÓN DE PLANOS	GLB	1	\$50.25	\$50.25
1.03	TRAZO Y REPLANTEO	GLB	1	\$50.25	\$50.25
2.00 ETAPA II: SISTEMA DE FAJA TRANSPORTADORA					
2.01.00 FAJA TRANSPORTADORA					
2.01.01	SUMINISTRO Y FABRICACIÓN DE ESTRUCTURA DE FAJA TRANSPORTADORA Y ACCESORIOS.	GLB	1	\$2,007.65	\$2,007.65
2.01.02	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE FAJA DE 36" (INCLUYE PEGA EN CALIENTE)	GLB	1	\$1,633.28	\$1,633.28
2.01.03	MONTAJE DE ESTRUCTURAS DE FAJA TRANSPORTADORA	GLB	1	\$6,908.15	\$6,908.15
2.01.04	FABRICACIÓN Y MONTAJE DE CHUTE DE RECEPCIÓN	GLB	1	\$1,385.16	\$1,385.16
2.01.05	ACONDICIONAMIENTO DE CHUTE PANTALÓN EXISTENTE	GLB	1	\$619.70	\$619.70
2.01.06	FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DE GUARDAS.	GLB	1	\$1,832.77	\$1,832.77
2.01.07	MONTAJE DE ACCESORIOS DE FAJA TRANSPORTADORA	GLB	1	\$5,437.36	\$5,437.36
2.01.08	PINTADO DE ESTRUCTURAS	GLB	1	\$695.08	\$695.08
2.01.09	GROUT EN BASE DE ESTRUCTURAS	GLB	1	\$95.99	\$95.99
2.02.00 PLATAFORMA DE MÓLINO 8x10					
2.02.01	SUMINISTRO Y FABRICACIÓN DE PLATAFORMA, ESCALERA Y BARANDAS	GLB	1	\$1,940.82	\$1,940.82

Ítem	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDAD	Unid.	Cant.	P. unit.	Parcial
COSTO DIRECTO					
2.02.02	MONTAJE DE PLATAFORMAS, ESCALERAS Y BARANDAS.	GLB	1	\$883.02	\$883.02
2.02.03	FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DE PLATAFORMA Y PELDAÑOS (GRATING)	GLB	1	\$1,313.17	\$1,313.17
2.02.04	PINTADO DE ESTRUCTURAS	GLB	1	\$739.05	\$739.05
2.02.05	GROUT EN BASE DE ESTRUCTURAS	GLB	1	\$95.99	\$95.99
2.03.00 ESTRUCTURA DE MUESTREADOR					
2.03.01	SUMINISTRO Y FABRICACIÓN DE ESTRUCTURA DE MUESTREADOR	GLB	1	\$3,199.10	\$3,199.10
2.03.02	SUMINISTRO Y FABRICACIÓN DE CHUTE DE RECEPCIÓN	GLB	1	\$3,073.47	\$3,073.47
2.03.03	SUMINISTRO Y FABRICACIÓN DE CHUTE DE ALIMENTACIÓN	GLB	1	\$2,696.59	\$2,696.59
2.03.04	MONTAJE DE ESTRUCTURA DE MUESTREADOR, CHUTE DE RECEPCIÓN Y ALIMENTACIÓN	GLB	1	\$800.60	\$800.60
2.03.05	REUBICACIÓN DE MUESTREADOR	GLB	1	\$466.93	\$466.93
2.03.06	PINTADO DE ESTRUCTURAS	GLB	1	\$693.06	\$693.06
2.03.07	GROUT EN BASE DE ESTRUCTURAS	GLB	1	\$95.99	\$95.99
2.04.00 PASARELA DE MOLINOS					
2.04.01	DESARROLLO DE PLANOS DE PASARELA	GLB	1	\$50.25	\$50.25
2.04.02	CONSTRUCCIÓN DE PEDESTALES PARA PASARELA	GLB	1	\$1,758.39	\$1,758.39
2.04.03	SUMINISTRO Y FABRICACIÓN DE PASARELA ENTRE MOLINOS	GLB	1	\$1,532.26	\$1,532.26
2.04.04	MONTAJE DE PASARELA ENTRE MOLINOS	GLB	1	\$857.64	\$857.64
2.05.00 TRABAJOS ELÉCTRICOS					
2.05.01	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE DE FUERZA Y CONTROL	GLB	1	\$608.64	\$608.64
2.05.02	CONEXIONADO DE MOTOR Y BOTONERAS	GLB	1	\$533.26	\$533.26

Ítem	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDAD	Unid.	Cant.	P. unit.	Parcial
COSTO DIRECTO					
2.05.03	SUMINISTRO Y TENDIDO DE TUBERÍA CONDUIT	GLB	1	\$524.22	\$524.22
TOTAL					\$42,628.37
SON: CUARENTA Y UN MIL NOVECIENTOS DIECINUEVE CON 11/100 DÓLARES AMERICANOS.					

4.2. Discusión

La implementación de una faja transportadora en el sistema de molienda de la planta La Joya Mining ha generado mejoras sustanciales en indicadores clave como la disponibilidad mecánica, la eficiencia del transporte de mineral y la productividad operativa general. Estos resultados están en consonancia con investigaciones previas que destacan el impacto positivo de estas tecnologías en la industria minera.

Bravo (2023) resalta que la incorporación de fajas transportadoras mejora significativamente el proceso de traslado de material, facilitando su procesamiento continuo en los circuitos de chancado y molienda. En este estudio, se comprobó que la incorporación de la faja redujo el tiempo de traslado de 120 a 40 minutos por jornada, lo cual impactó directamente en el aumento de la producción mensual de 8 500 a 11 000 toneladas. Esta optimización del flujo de material ha reducido tiempos muertos y ha permitido un funcionamiento más constante y eficiente.

Asimismo, Estela (2022) enfatiza la importancia de una adecuada selección de componentes siguiendo la normativa CEMA para garantizar confiabilidad operativa. En el caso de La Joya Mining, la elección técnica de componentes como tambores motrices recubiertos, polines tipo C5 ha permitido una operación robusta y segura. El diseño estructural y mecánico estuvo alineado con estándares internacionales, minimizando riesgos operativos y favoreciendo el mantenimiento a largo plazo.

Dávila (2023) sostiene que un plan estructurado de mantenimiento, especialmente preventivo y predictivo, incrementa la disponibilidad mecánica en equipos críticos. En este proyecto, la aplicación de estas estrategias ha reducido las paradas no programadas mensuales de 12 a 3, y ha contribuido a alcanzar una disponibilidad del sistema de hasta 96 %, reflejando una gestión eficiente de fallas y una mayor continuidad operativa.

Por otro lado, Tejada (2022) argumenta que la aplicación de procedimientos secuenciales y estandarizados durante la instalación de fajas transportadoras es esencial para evitar errores y asegurar plazos adecuados. En este estudio, el cumplimiento riguroso del cronograma permitió una instalación eficiente sin interrupciones significativas en la producción, validando la importancia de una planificación técnica detallada.

En el ámbito de la productividad, Terreros (2022) identificó los tiempos muertos como uno de los factores más críticos en la instalación de fajas. La presente investigación mostró cómo la reducción de estos tiempos, junto con una mejor gestión de recursos humanos (reducción de 6 a 2 personas en transporte), permitió mejorar la eficiencia general y reducir costos mensuales de transporte de S/ 38 000 a S/ 22 000.

Finalmente, Santos (2023) destaca la necesidad de optimizar los puntos de carga y descarga para garantizar un flujo continuo. En la planta La Joya Mining, la mejora de los sistemas de transferencia y la disposición eficiente de los chutes y elementos mecánicos permitió reducir los tiempos de espera y mantener una operación fluida.

En conjunto, los resultados obtenidos en este estudio validan y refuerzan la evidencia previa, demostrando que la fabricación e instalación de una faja transportadora, diseñada bajo criterios técnicos y gestionada con una estrategia de mantenimiento estructurada, es una solución efectiva para incrementar la eficiencia, seguridad y productividad en plantas mineras. La experiencia de La Joya Mining evidencia que una intervención bien planificada puede tener un impacto transformador en la operación minera, consolidando la necesidad de promover continuamente la innovación y optimización en este sector estratégico.

CONCLUSIONES

1. Se determinó que la implementación de una faja transportadora en el sistema de molienda de la Planta de Beneficio Joya Mining S.A.C. generó mejoras sustanciales en los indicadores operativos. La producción mensual aumentó de 8 500 a 11 000 toneladas, se redujo el tiempo de traslado del mineral de 120 a 40 minutos, disminuyeron los costos de transporte y se mejoró significativamente la disponibilidad mecánica del sistema, pasando del 85 % al 96 %. Estos resultados confirman que la optimización planteada fue efectiva para mejorar tanto la producción como la eficiencia del mantenimiento.
2. Se identificó que el proceso actual del sistema de molienda antes de la intervención presentaba limitaciones relacionadas con el transporte manual del mineral, tiempos prolongados de traslado, alta demanda de personal y frecuentes paradas operativas. Estos aspectos limitaban la eficiencia del sistema productivo y afectaban los indicadores de mantenimiento.
3. El proceso de transporte previo a la fabricación de la faja dependía del traslado manual y mecánico mediante volquetes, lo cual generaba una alta exposición a riesgos, sobrecarga operativa y mayor consumo de recursos humanos y económicos. La evaluación comparativa permitió evidenciar las desventajas de este sistema frente a la solución automatizada propuesta.
4. Mediante un análisis técnico y la aplicación de normas internacionales como la CEMA, se seleccionaron los perfiles estructurales y componentes mecánicos más adecuados para la fabricación de la faja transportadora. La correcta elección de estos elementos garantizó la funcionalidad, durabilidad y seguridad del sistema, asegurando su óptimo desempeño en las condiciones operativas específicas de la planta.

5. La implementación de un procedimiento de instalación basado en normativas internacionales y buenas prácticas permitió una ejecución eficiente del montaje, minimizando errores y asegurando la calidad del trabajo. El cumplimiento de los plazos establecidos permitió que la faja transportadora estuviera operativa en el tiempo previsto, sin afectar la producción de la planta.
6. La instalación de la faja transportadora ha generado mejoras cuantificables en los indicadores de producción y mantenimiento. Se evidenció un aumento del MTBF de 5,78 horas en junio de 2023 a 27,52 horas en junio de 2024, reflejando una mayor confiabilidad operativa. Asimismo, el MTTR disminuyó de 4,22 horas a 2,48 horas, optimizando la eficiencia en las reparaciones. La disponibilidad mecánica se incrementó del 57,78% en junio de 2023 al 91,74% en junio de 2024, mientras que la disponibilidad física alcanzó el 100% en diciembre de 2024, consolidando el éxito del nuevo sistema de molienda. Además, se registraron menos paradas operativas (de 12 a 3 por mes), menor cantidad de personal requerido (de 6 a 2), reducción de costos (de S/ 38 000 a S/ 22 000 mensuales), y un aumento en la seguridad operativa.

RECOMENDACIONES

1. Instalar sensores y herramientas de diagnóstico en tiempo real en la faja transportadora para identificar posibles fallas antes de que ocurran, asegurando una intervención temprana y reduciendo las paradas imprevistas.
2. Diseñar y aplicar un programa de mantenimiento preventivo detallado que incluya inspecciones periódicas, lubricación adecuada y ajustes en los componentes mecánicos, como poleas, polines y bastidores.
3. Realizar entrenamientos regulares al equipo de mantenimiento para garantizar que estén actualizados en técnicas de reparación, uso de normas internacionales como CEMA y manejo eficiente de los componentes del sistema.
4. Mantener un stock adecuado de repuestos críticos, como bandas, rodillos y motores, para evitar retrasos en las reparaciones y garantizar la continuidad operativa del sistema.
5. Monitorear constantemente el MTBF, MTTR y la disponibilidad mecánica para evaluar la efectividad de las mejoras implementadas y ajustar las estrategias de mantenimiento según los resultados obtenidos.

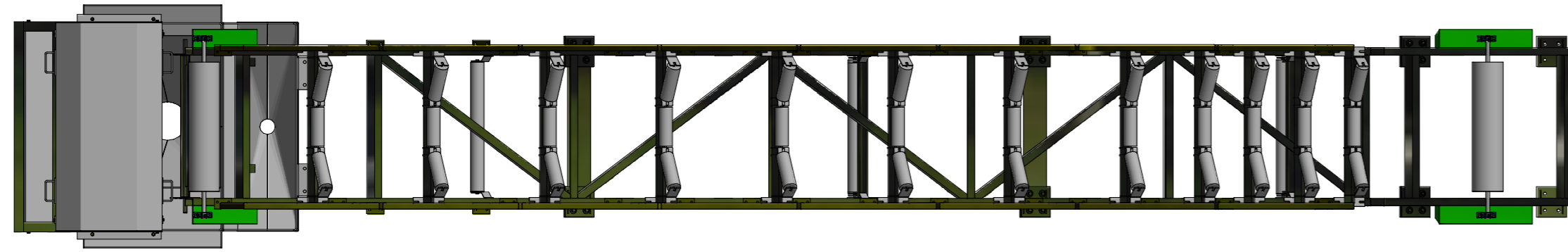
Referencias

- Alharbi, F., Luo, S., Zhang, H., Shaukat, K., Yang, G., Wheeler, C. A., y Chen, Z. (2023). A Brief Review of Acoustic and Vibration Signal-Based Fault Detection for Belt Conveyor Idlers Using Machine Learning Models. *Sensors*, 23(4), 1902. <https://doi.org/10.3390/s23041902>
- Bhandari, V. (2020). *Conveyor System Design and Control*. New Delhi: Oxford University Press.
- Bortnowski, P., Kawalec, W., Król, R., y Ozdoba, M. (2022). Types and causes of damage to the conveyor belt – Review, classification and mutual relations. *Engineering Failure Analysis*, 140, 106520. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106520>
- Carrasco, A., Oliva, R., & López, M. (2019). *Thermal Effects in Mineral Processing*. *Journal of Materials Processing Technology*, 263, 231-238.
- Castro, José. Diseño de una banda transportadora semiautomática para la fabricación de tanques de combustible de vehículos de carga. 2021. <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/10563/1/100.pdf>
- Chuagua, Ireño; QUISPE, Marco; ORTEGA, Olger. Diseño y construcción de prototipo de máquina clasificadora de quinua por color usando sensores IR. 2021. <http://www.scielo.org.pe/pdf/ria/v24n1/2313-2957-ria-24-01-45.pdf>
- Coyle, J. J., Langley, C. J., & Gibson, B. (2013). *Supply Chain Management: A Logistics Perspective*. Boston: Cengage Learning.
- Davis, J. E., & Ginsberg, A. (2015). *Bulk Material Handling by Conveyor Belt 7*. New York: SME.
- Gao, Y., Zhang, J., & Zhang, H. (2017). *Chemical Reactions in Mineral Processing*. *Minerals Engineering*, 112, 110-117.
- Hanes, R. A., & Pomeroy, R. H. (2016). *Conveyor Handbook*. Melbourne: Conveyor Products Pty Ltd.

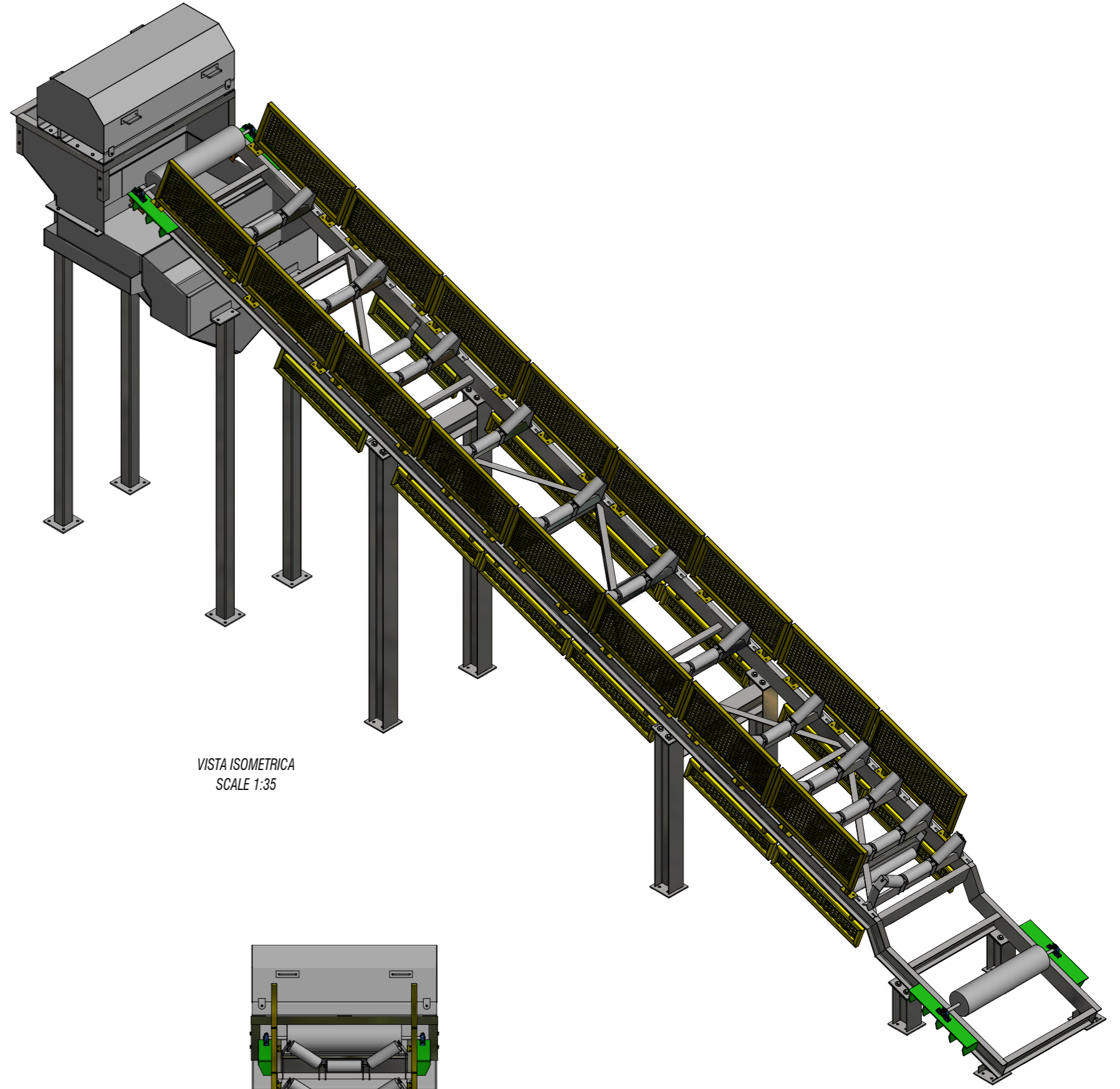
- Harris, P. (2014). *Mineral Processing: A Practical Handbook*. New York: McGraw-Hill.
- Hibbeler, R. C. (2016). *Mechanics of Materials* (10th ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson.
- Higgins, A. (2018). *Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications* (4th ed.). Oxford: Newnes.
- Hughes, A., & Drury, B. (2016). *Electrical and Electronic Technology* (10th ed.). Harlow: Pearson Education Limited.
- Kearney, J. (2015). *Conveyor Belt Technology for the Mining Industry*. New York: Wiley.
- Mahmood, M. S., y Shareef, I. R. (2024). Applications of Artificial Intelligence for Smart Conveyor Belt Monitoring Systems: A Comprehensive Review. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, 57(4), 1195.
- Mavros, P., Papanikolaou, P., & Vasilakos, N. (2018). *Conveyor Systems: Principles of Design and Operation*. London: Springer.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (2005). *Unit Operations of Chemical Engineering* (7th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Mehrabi, M. G., Ulsoy, A. G., Koren, Y., y Heytler, P. (2002). *Journal of Intelligent Manufacturing*, 13(2), 135–146. <https://doi.org/10.1023/a:1014536330551>
- Mular, A. L., Kellerhals, P., & Bouchard, A. (2002). *Mineral Processing Design and Operations: An Introduction*. San Diego: Academic Press.
- Mular, A. L., Kellerhals, P., & Bouchard, A. (2002). *Mineral Processing Design and Operations: An Introduction*. San Diego: Academic Press.
- Nurmetov Khurshidbek, Khujakhmedova Kholida, Valieva Dilmira, y Erkinov Sul-tonbek. (2024). IMPROVEMENT OF THE BELT CONVEYOR STRUCTURAL ELEMENTS USING COMPOSITE MATERIALS. *Universum: технические науки*, 8(5 (122)). <https://cyberleninka.ru/article/n/improvement-of-the-belt-conveyor-structural-elements-using-composite-materials>

- Ortiz, Manuel. Implementación de un sistema automatizado para máquinas industriales: una revisión sistemática. 2021.
<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/4721526>
- Paez, Carolina; PAREJ, Diana. Implementación de un modelo de planeación de los procesos de fabricación de bandas transportadoras metálicas y programación de la fabricación de espirales para mejorar el desempeño de ingeniería industrial y comercial de Colombia Ltda. 2021.
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7396/tesis553.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Tupkar, R., Kumar, D., y Sakhale, C. (2024). Material selection and parametric evaluation for medium duty belt conveyor: A review on current status and future directions. *Materials Today: Proceedings*.
- Wang, X., Huang, G., & Zhang, Y. (2018). *Intelligent Monitoring and Control of Conveyor Systems*. London: IET.
- Wills, B. A., & Napier-Munn, T. J. (2016). *Mineral Processing Technology* (8th ed.). Oxford: Elsevier.

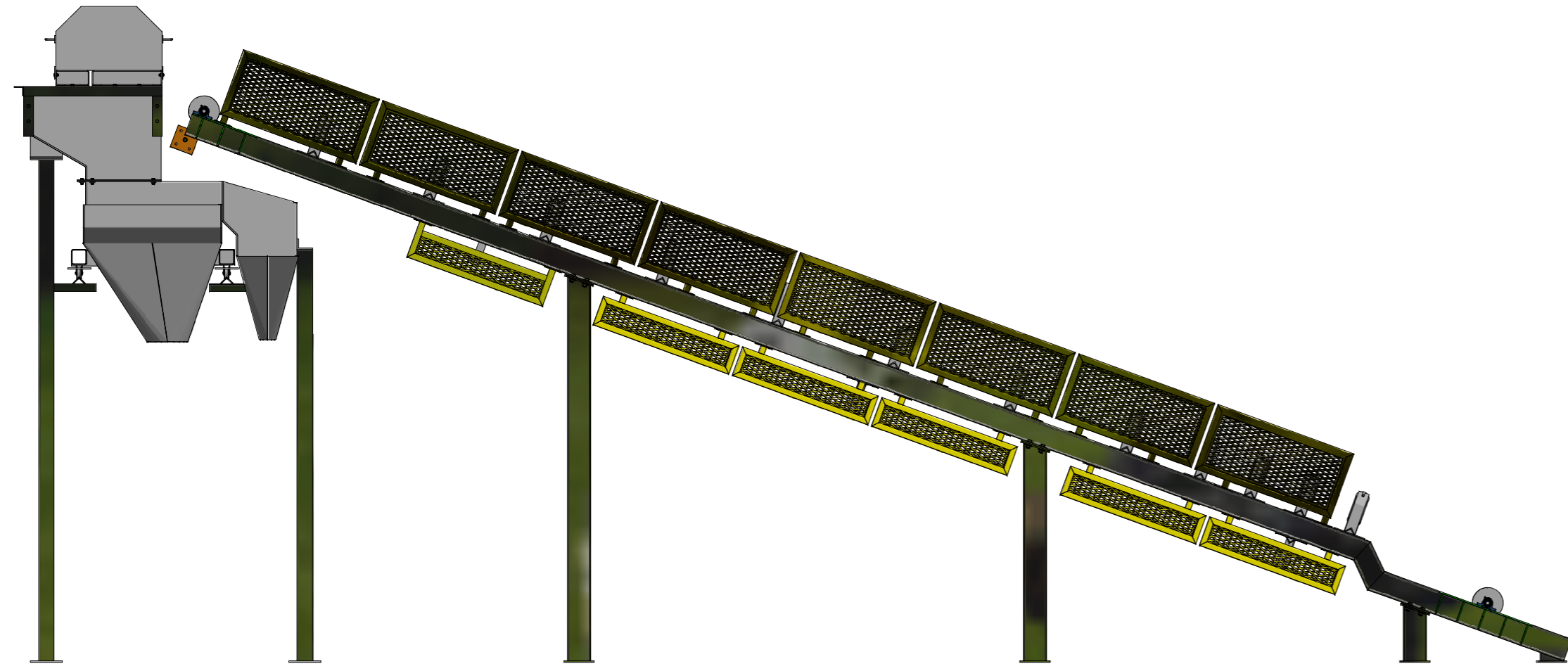
Anexos: Planos de la Faja Transportadora



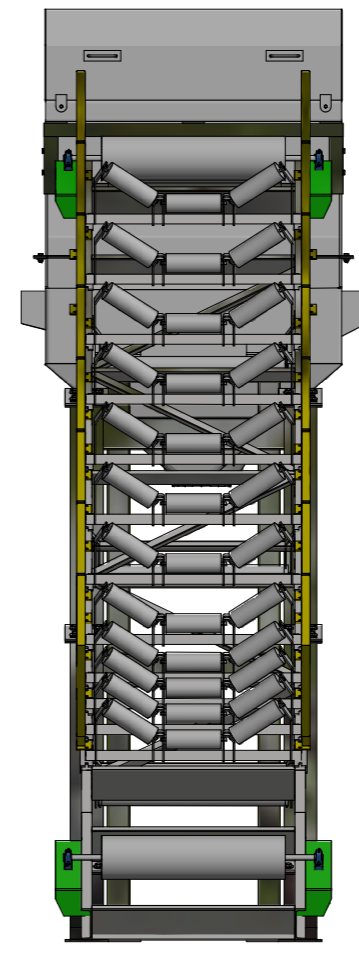
VISTA SUPERIOR
SCALE 1:35



VISTA ISOMETRICA
SCALE 1:35



VISTA FRONTAL
SCALE 1:35

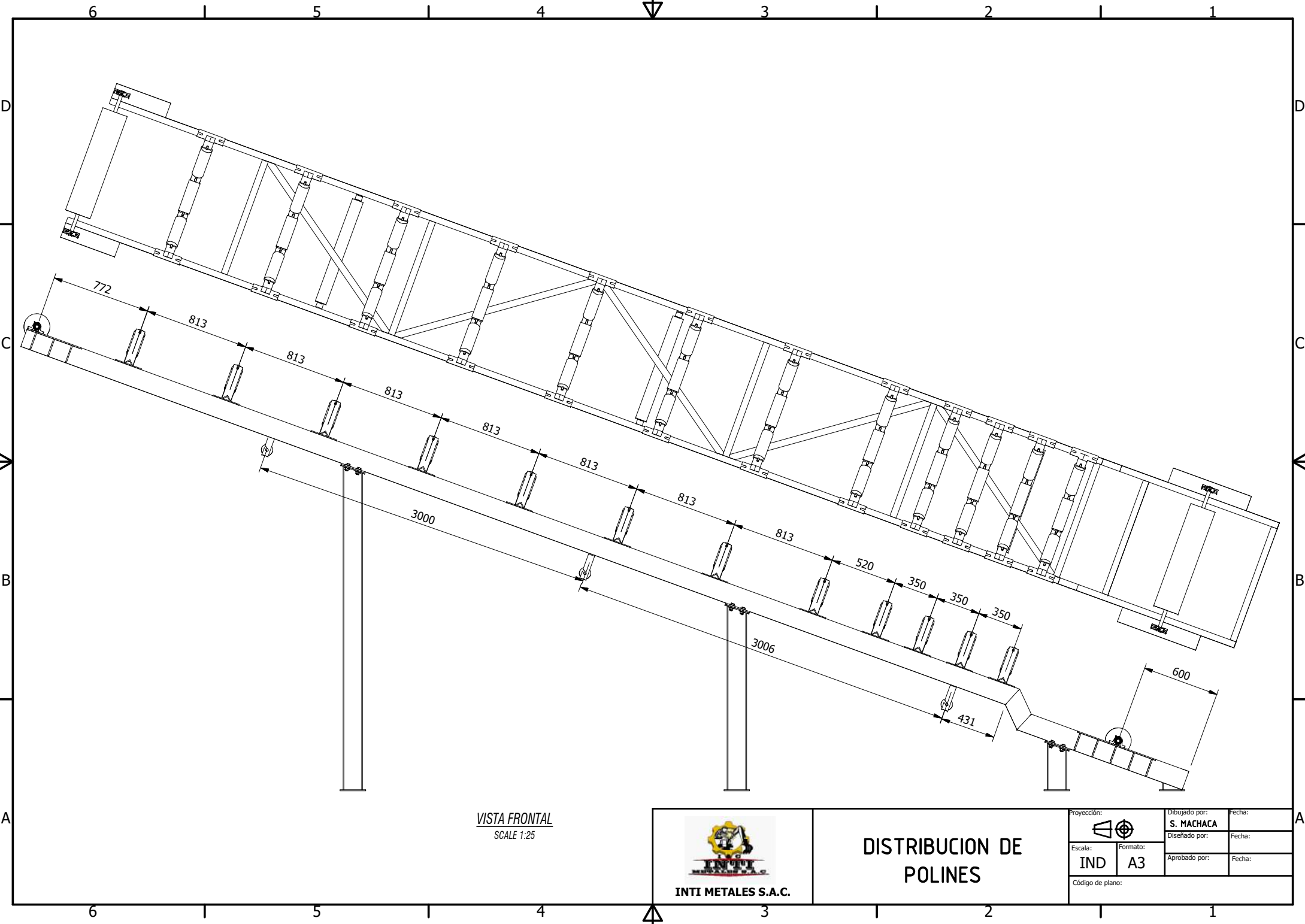


VISTA LATERAL
SCALE 1:35



PLANO GENERAL

Proyección: 	Dibujado por: S. MACHACA	Fecha:
Escala: IND	Diseñado por:	Fecha:
Fórmula: A2	Aprobado por:	Fecha:
Código de plano:		




VISTA FRONTAL
SCALE 1:25



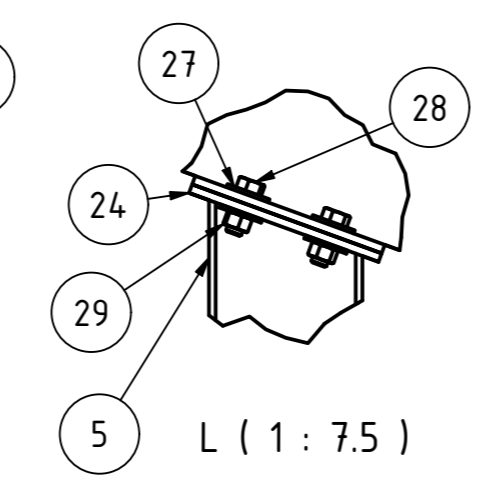
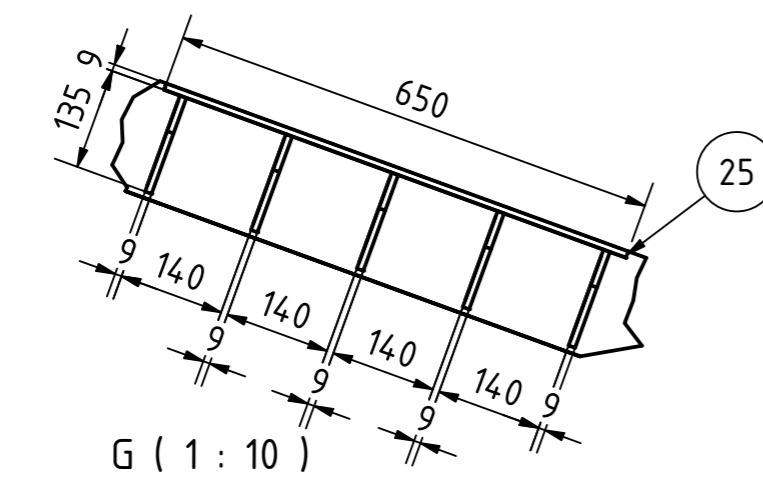
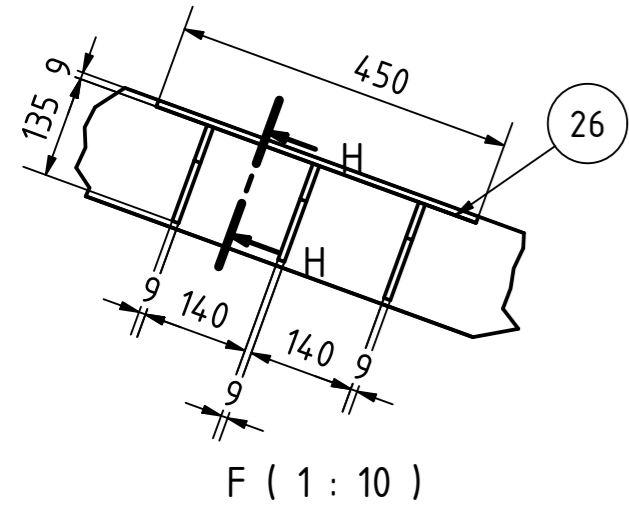
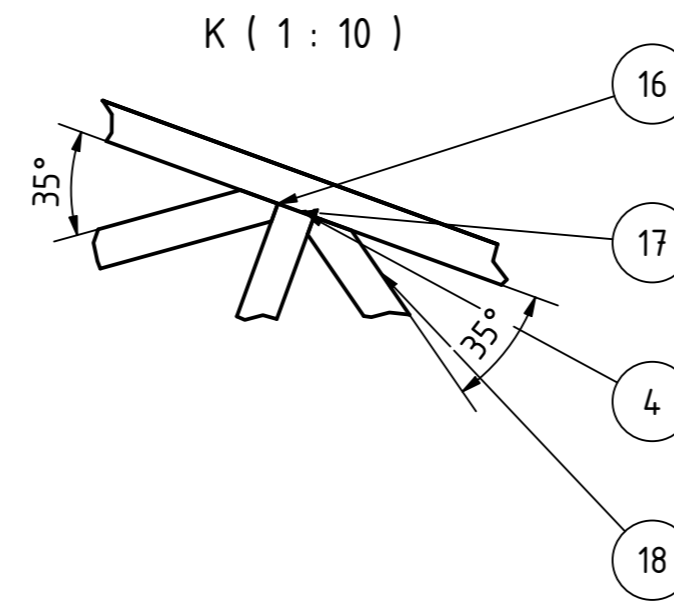
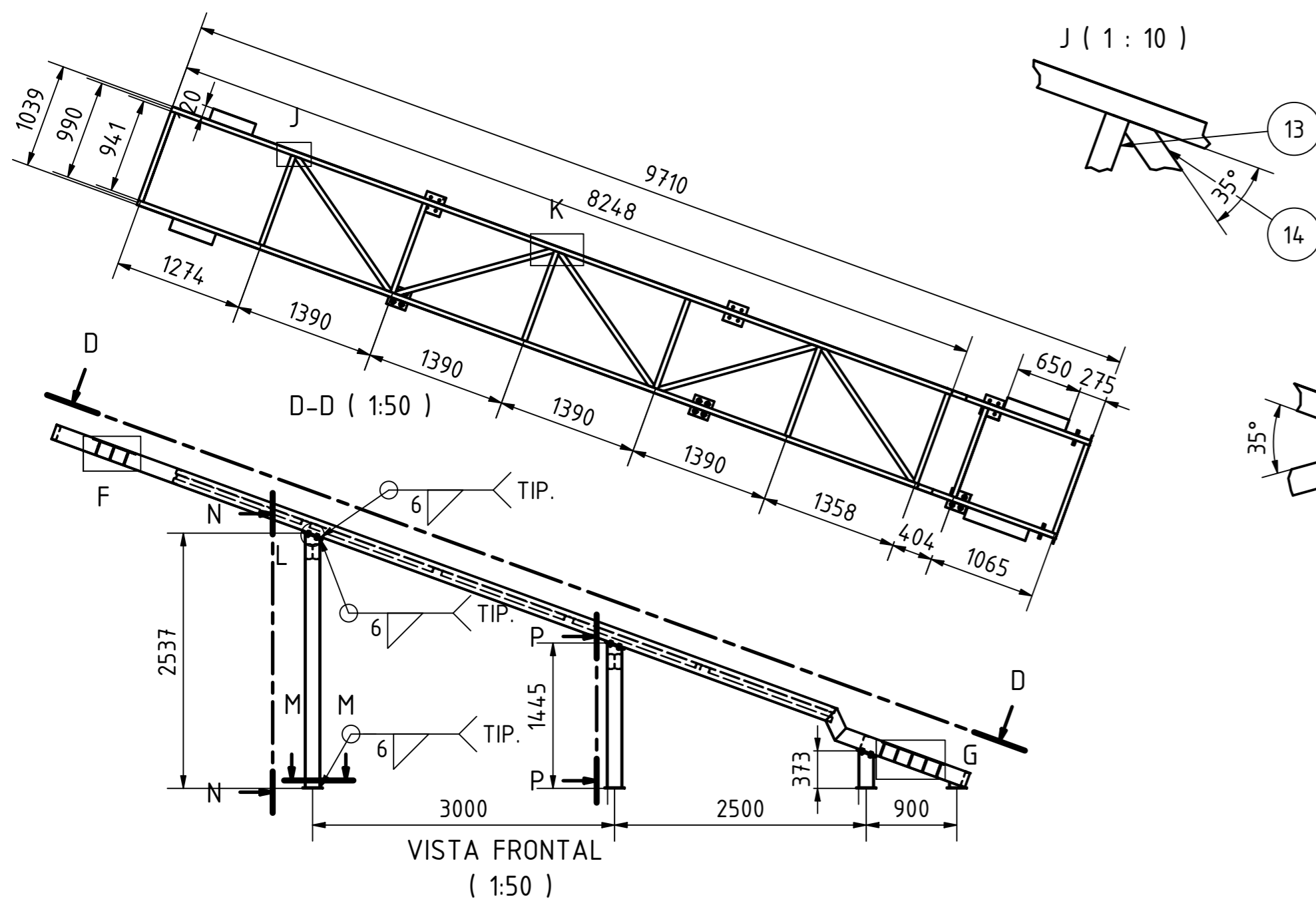
INTI METALES S.A.C.

DISTRIBUCION DE POLINES

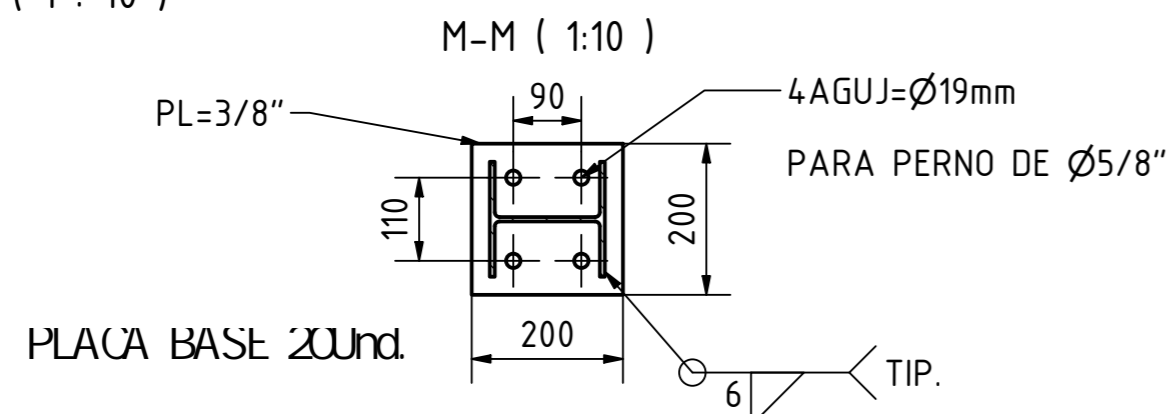
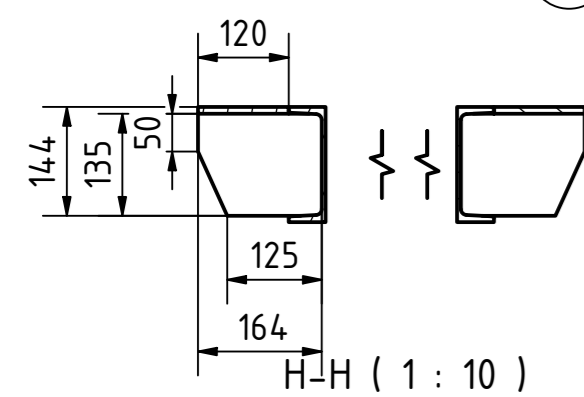
Proyección: 	Dibujado por: S. MACHACA	Fecha:
Escala: IND	Formato: A3	Diseñado por: Fecha:
Código de plano:		Aprobado por: Fecha:

LISTA DE PIEZAS

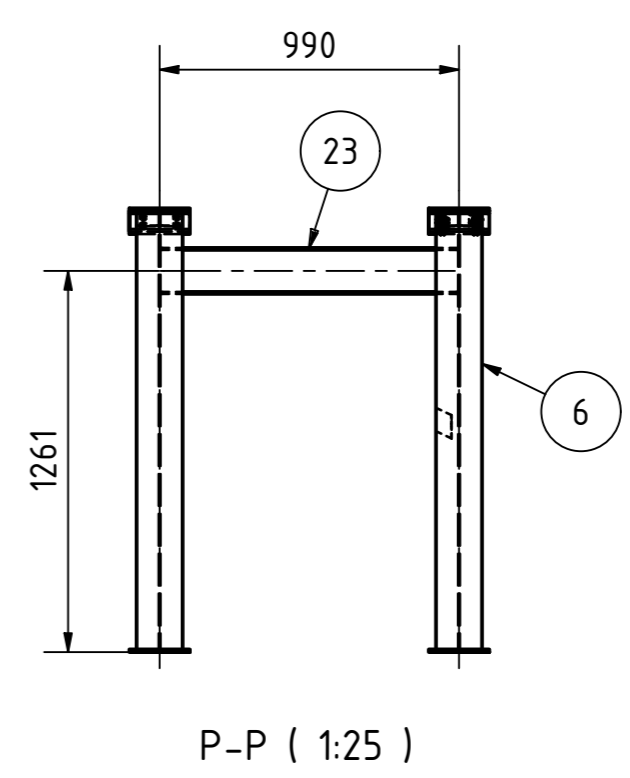
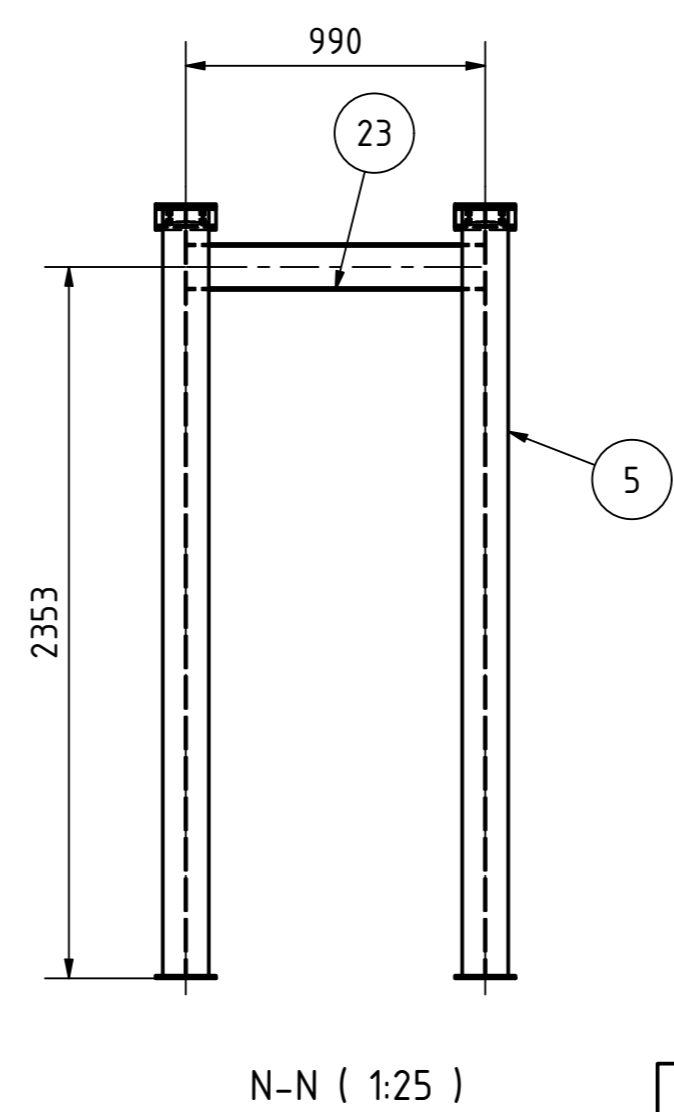
ITEM	BASE QTY	DESCRIPCIÓN
1	1 mm	
2	1373 mm	C 6 x 8.2
3	279 mm	C 6 x 8.2
4	8248 mm	C 6 x 8.2
5	2528 mm	W 6x15
6	1436 mm	W 6x15
7	364 mm	W 6x15
8	55 mm	W 6x15
9	940 mm	C 6 x 8.2
10	941 mm	C 6 x 8.2
11	941 mm	C 6 x 8.2
12	941 mm	C 6 x 8.2
13	941 mm	C 6 x 8.2
14	1665 mm	L 2 x 2 x 1/4
15	941 mm	L 2 x 2 x 1/4
16	1637 mm	L 2 x 2 x 1/4
17	941 mm	L 2 x 2 x 1/4
18	1637 mm	L 2 x 2 x 1/4
19	941 mm	L 2 x 2 x 1/4
20	1637 mm	L 2 x 2 x 1/4
21	1638 mm	L 2 x 2 x 1/4
22	941 mm	L 2 x 2 x 1/4
23	984 mm	W 6x15
24	1 mm	
25	1 mm	
26	1 mm	
27	25 mm	Arandela para 5/8"
28	25 mm	Perno 5/8"
29	25 mm	Tuerca 5/8"



UNION EMPERNADA ENTRE LAS COLUMNAS Y LA ESTRUCTURA SUPERIOR

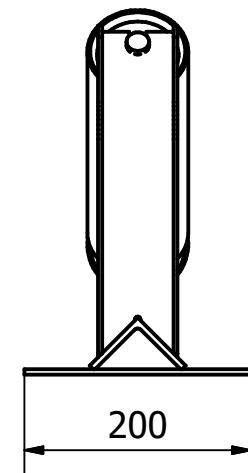
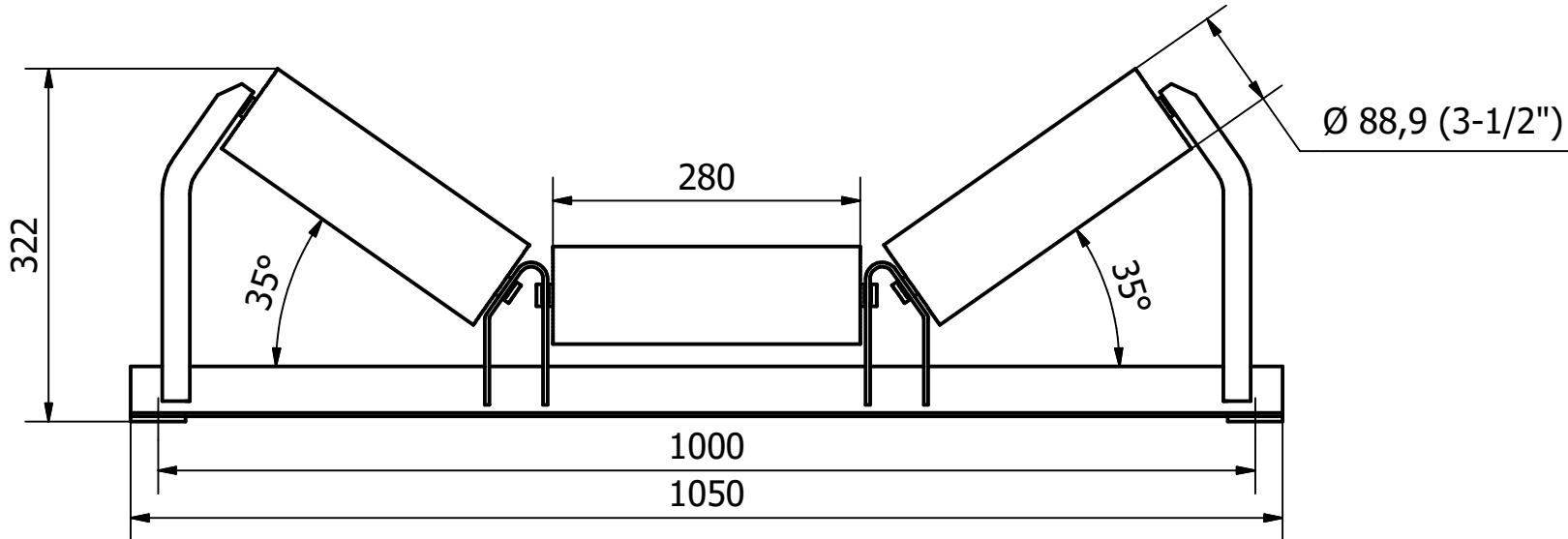
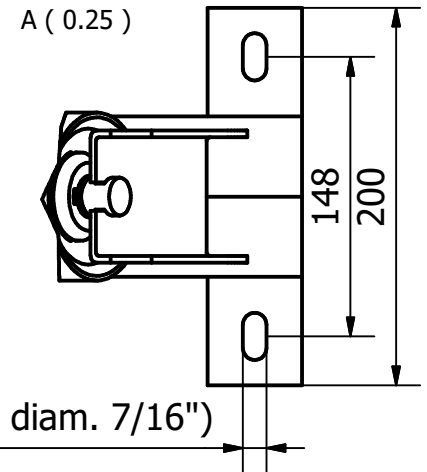
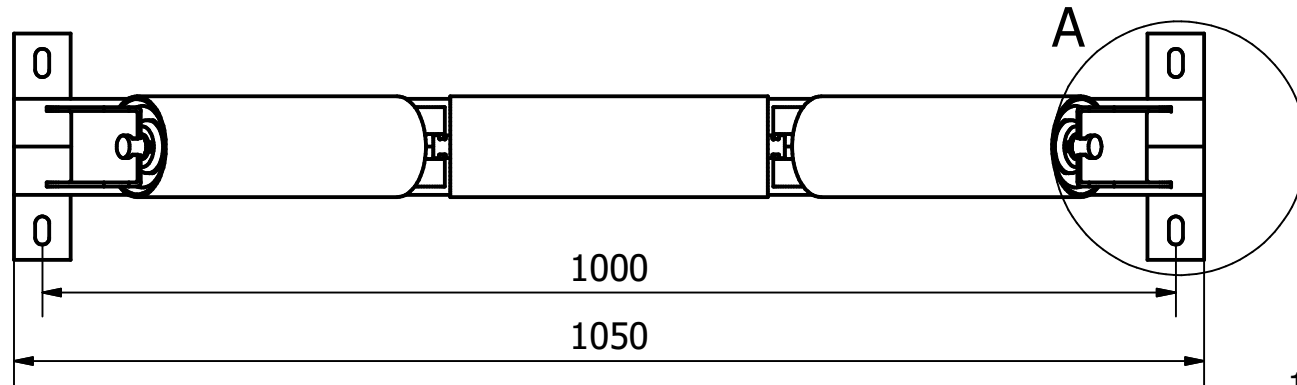


PLACA BASE 200x200



ESTRUCTURA DE FAJA TRANSPORTADORA

Proyección:	Dibujado por:	Fecha:
IND	S. MACHACA	02/11/2022
Formato:	Diseñado por:	Fecha:
A2		02/11/2022
Código de plano:	Aprobado por:	Fecha:
		02/11/2022

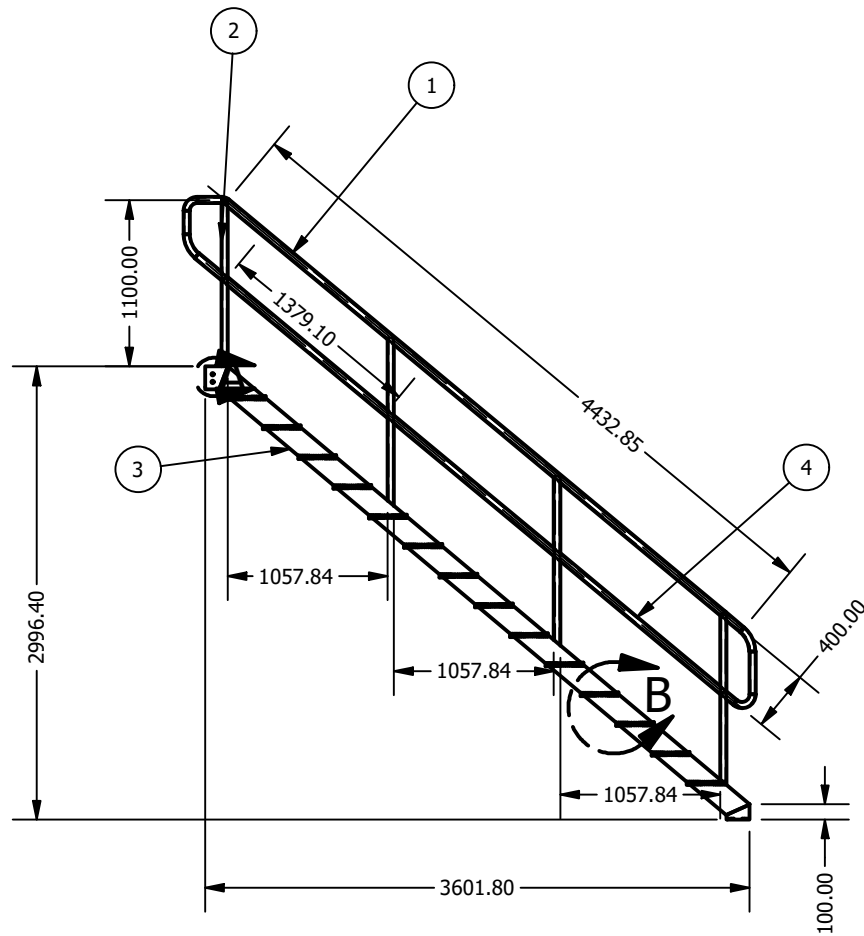


INTI METALES S.A.C.

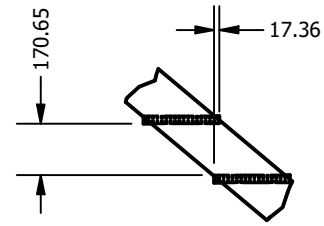
**Estación de carga triple
para faja de 30in a 35
grados**

Proyección: 		Dibujado por:	Fecha:
Escala: IND	Formato: A4	Diseñado por:	Fecha:
Código de plano:		Aprobado por:	Fecha:

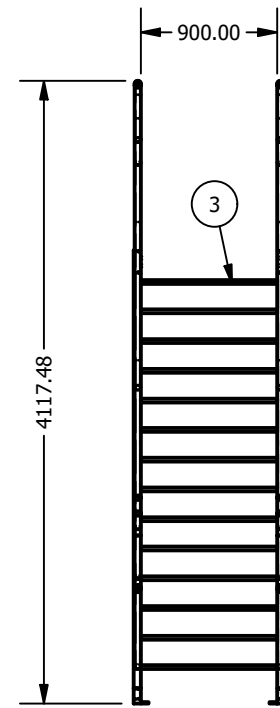
LISTA DE MATERIALES			
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	DIMENSIÓN
1	TUB. CIRC. 1 1/4"x2mm ASTM A53	02	4432.85 mm
2	TUB. CIRC. 1 1/4"x2mm ASTM A53	08	1100.00 mm
3	C 6"x 8.2 lb/pie ASTM A36	02	4506.00 mm
4	TUB. CIRC. 1 1/4"x2mm ASTM A53	06	1379.10 mm
5	GRATING 1 1/4" x 3/16"	14	



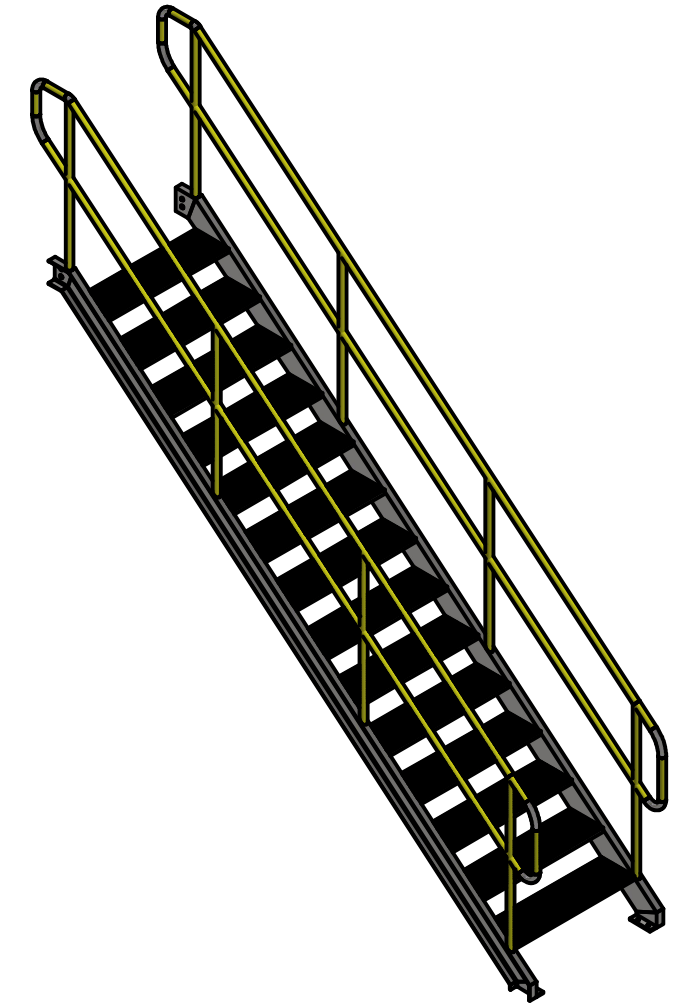
VISTA LATERAL
CANT. 01 UND
ESCALA 1:50



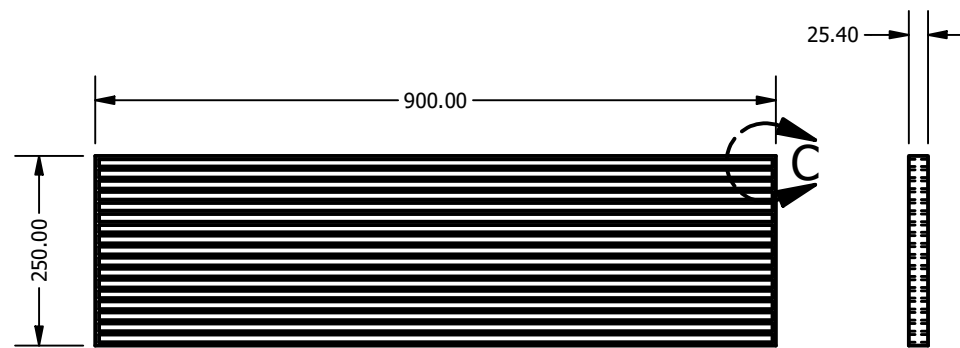
DETALLE B
ESCALA 1 / 25



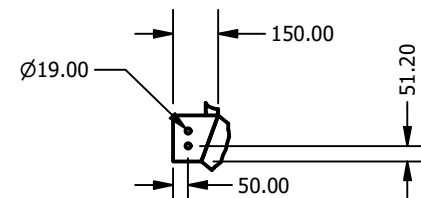
VISTA FRONTAL
CANT. 01 UND
ESCALA 1:50



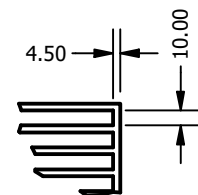
VISTA ISOMÉTRICA
CANT. 01 UND
ESCALA 1:40



PELDAÑO
CANT. 14 UND
ESCALA 1:10



DETALLE A
ESCALA 1 / 25



DETALLE C
ESCALA 1 / 5



Plano:
**ESCALERA PARA PLATAFORMA DE
MOLINO 8x10**

Proyección:

Escala:
IND.

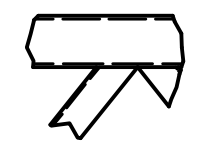
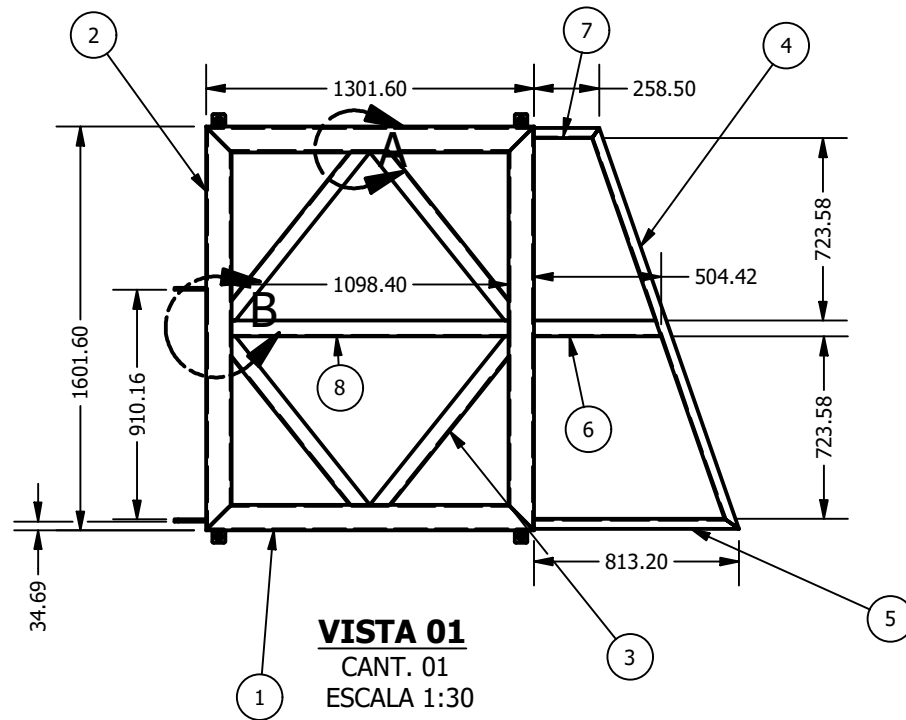
Formato:
A3

Apro:

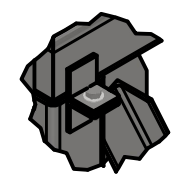
Dib: M. Ruíz

Rev: 00

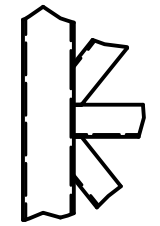
Fecha: 01/10/2022



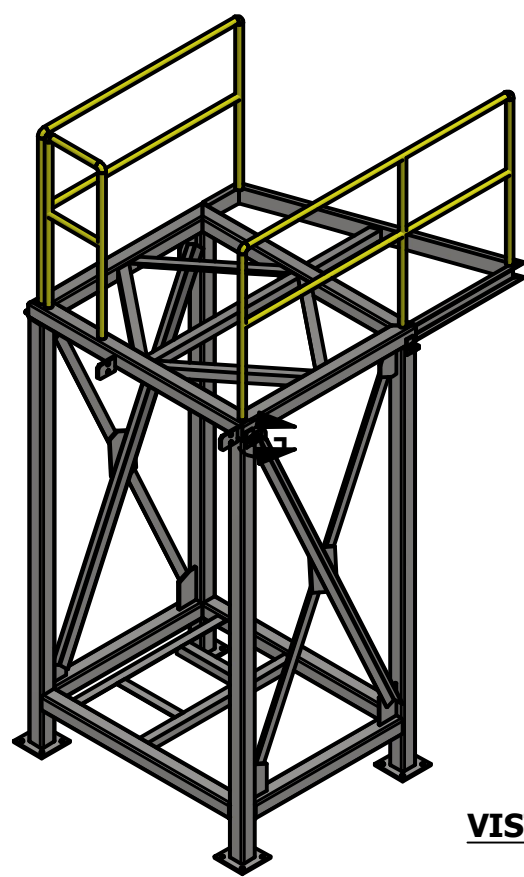
DETALLE A
ESCALA 1:15



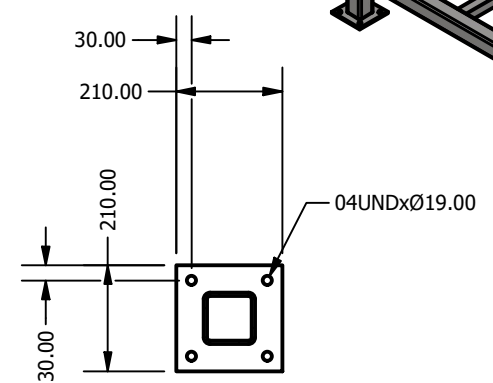
DETALLE G
ESCALA 1 / 10



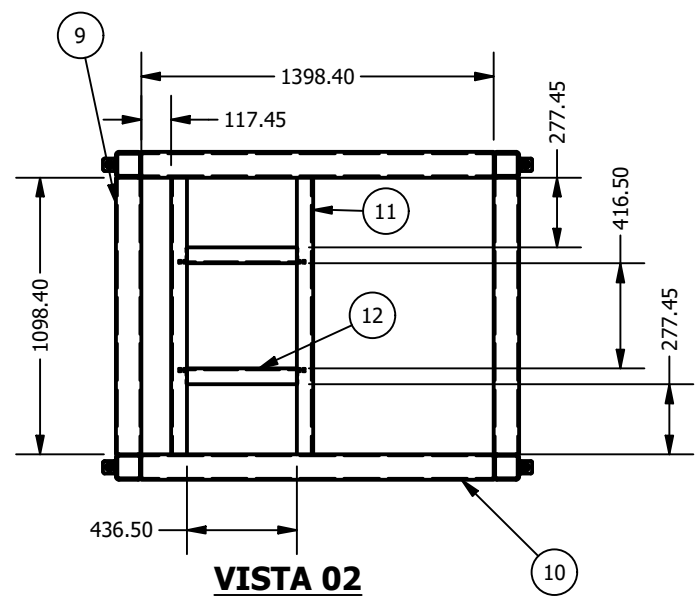
DETALLE B
ESCALA 1:15



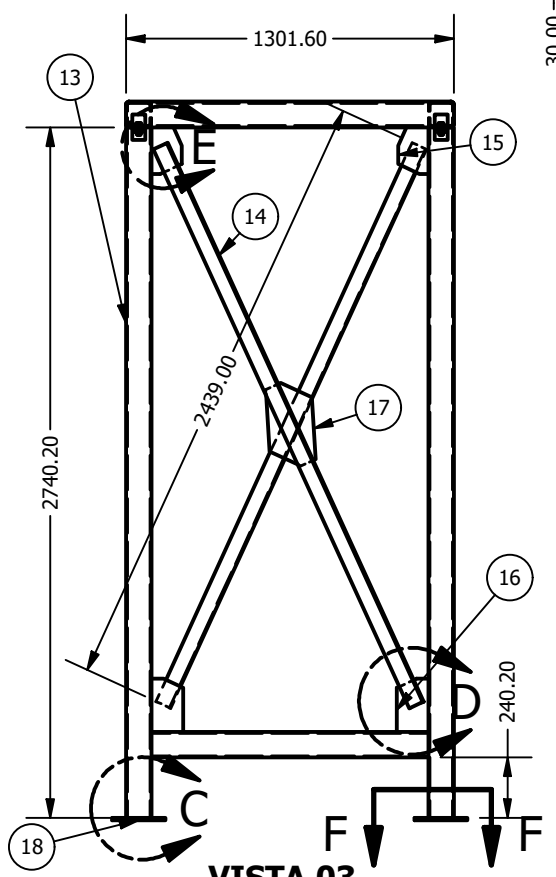
LISTA DE MATERIALES			
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	DIMENSIÓN
1	TUB - 4" x 4" x 1/4" - ASTM A500	02	1301.60 mm
2	TUB - 4" x 4" x 1/4" - ASTM A500	02	1601.60 mm
3	L - 2.5" x 2.5" x 3/16" - ASTM A36	04	854.74 mm
4	C - 4" x 5.4 lb/pie - ASTM A36	01	1684.86 mm
5	C - 4" x 5.4 lb/pie - ASTM A36	01	813.21 mm
6	L - 2.5" x 2.5" x 3/16" - ASTM A36	01	504.42 mm
7	C - 4" x 5.4 lb/pie - ASTM A36	01	258.50 mm
8	L - 2.5" x 2.5" x 3/16" - ASTM A36	01	1098.40 mm
9	TUB - 4" x 4" x 1/4" - ASTM A500	02	1098.40 mm
10	TUB - 4" x 4" x 1/4" - ASTM A500	02	1398.40 mm
11	L - 2.5" x 2.5" x 1/4" - ASTM A36	02	1098.40 mm
12	L - 2.5" x 2.5" x 1/4" - ASTM A36	02	500.00 mm
13	TUB - 4" x 4" x 1/4" - ASTM A36	04	2740.20 mm
14	L - 2.5" x 2.5" x 3/16" - ASTM A36	04	2439.00 mm
15	PL 9.0 mm ASTM A36	04	
16	PL 9.0 mm ASTM A36	04	
17	PL 9.0 mm ASTM A36	02	
18	PL 9.0 mm ASTM A36	04	
	Volanda 1/2"	08	
	Tuerca Hex. 1/2"	04	
	Perno Hex. - 1/2 x 1 1/2 UNC	04	



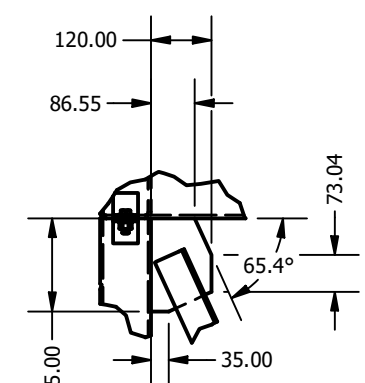
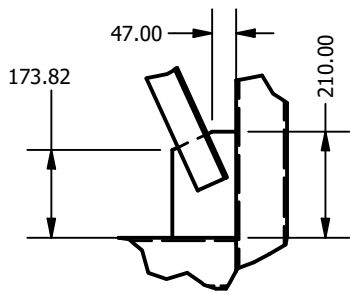
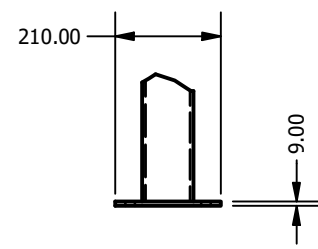
SECCIÓN F-F
ESCALA 1:15



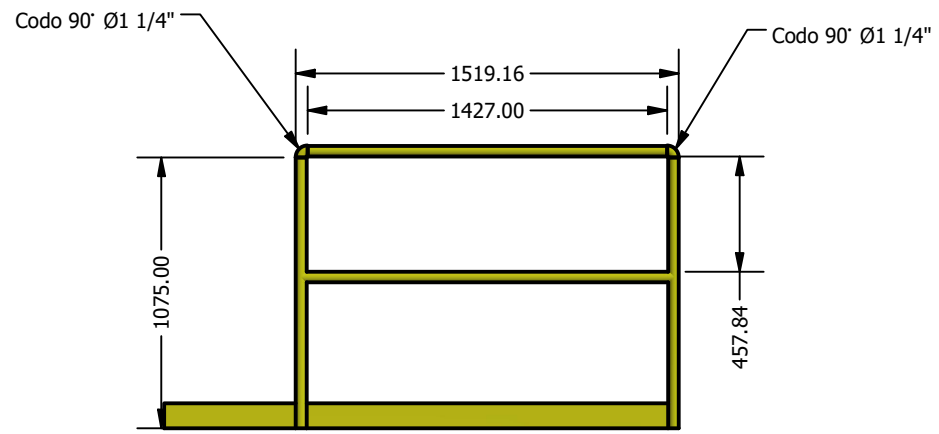
VISTA 02
CANT. 01
ESCALA 1:30



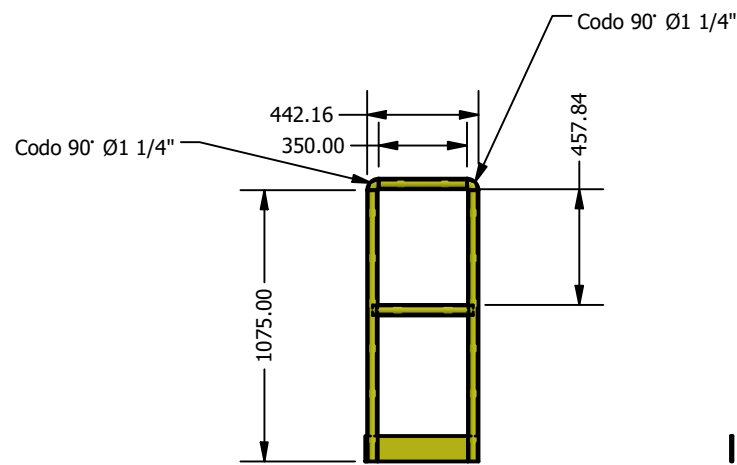
VISTA 03
CANT. 01
ESCALA 1:30



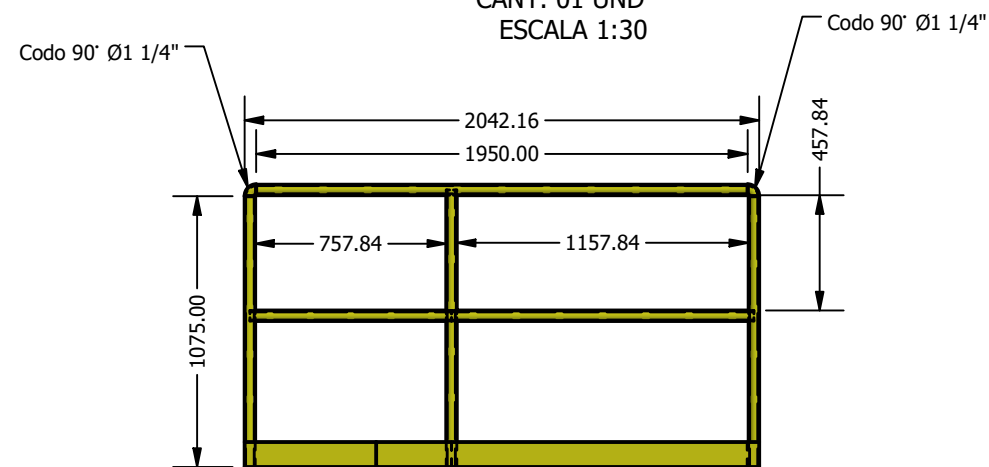
	Plano:	PLATAFORMA DE MOLINO 8x10		Apro:		
	Proyección:		Escala:	IND.	Formato:	A3
					Rev:	00
					Fecha:	31/10/2022



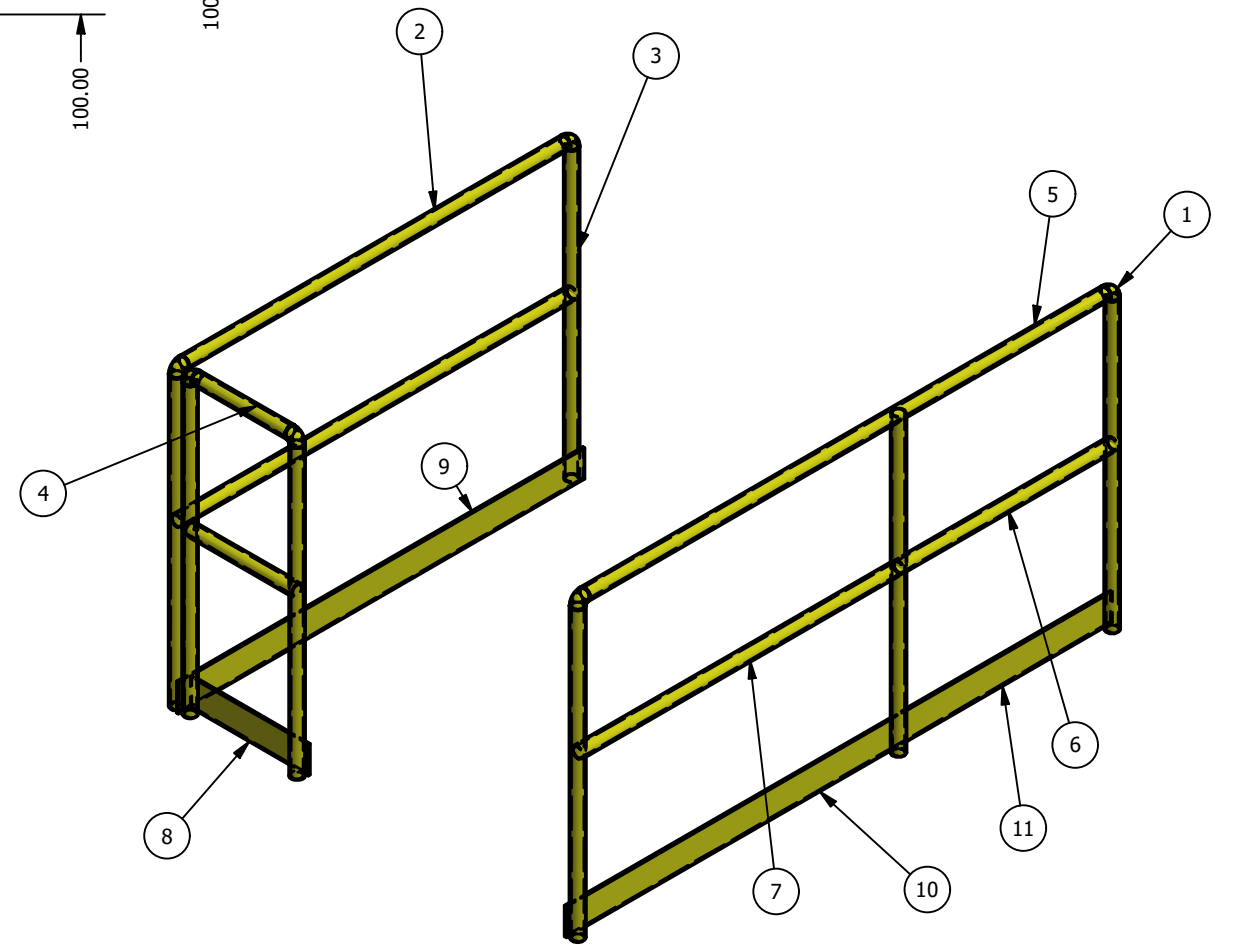
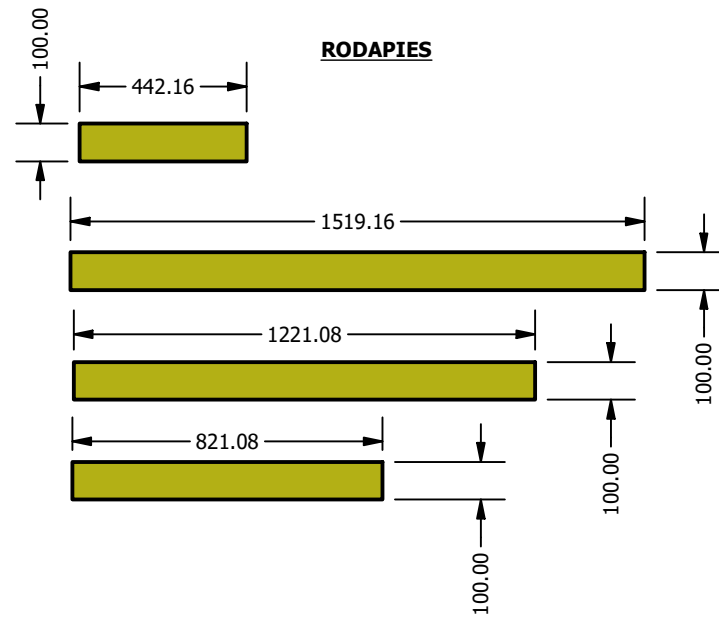
P-01
CANT. 01 UND
ESCALA 1:30



P-02
CANT. 01 UND
ESCALA 1:30



P-03
CANT. 01 UND
ESCALA 1:30



VISTA ISOMÉTRICA
CANT. 01 UND
ESCALA 1:20

LISTA DE MATERIALES			
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	DIMENSIÓN
1	CODO. CIRC. 90°- 1 1/4" x 2.0mm ASTM A53	06	
2	TUB. CIRC. - 1 1/4" x 2.0mm ASTM A53	02	1427.00 mm
3	TUB. CIRC. - 1 1/4" x 2.0mm ASTM A53	07	1075.00 mm
4	TUB. CIRC. - 1 1/4" x 2.0mm ASTM A53	02	350.01 mm
5	TUB. CIRC. - 1 1/4" x 2.0mm ASTM A53	01	1950.01 mm
6	TUB. CIRC. - 1 1/4" x 2.0mm ASTM A53	01	757.84 mm
7	TUB. CIRC. - 1 1/4" x 2.0mm ASTM A53	01	1157.84 mm
8	Platina 4"x1/4" ASTM A36	01	442.16 mm
9	Platina 4"x1/4" ASTM A36	01	1519.16 mm
10	Platina 4"x1/4" ASTM A36	01	1221.08 mm
11	Platina 4"x1/4" ASTM A36	01	821.08 mm



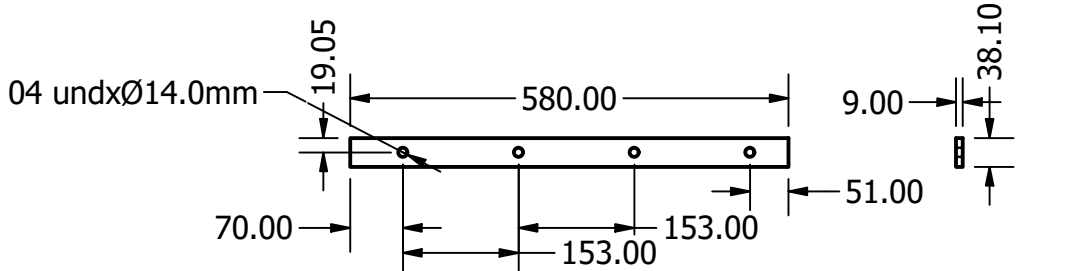
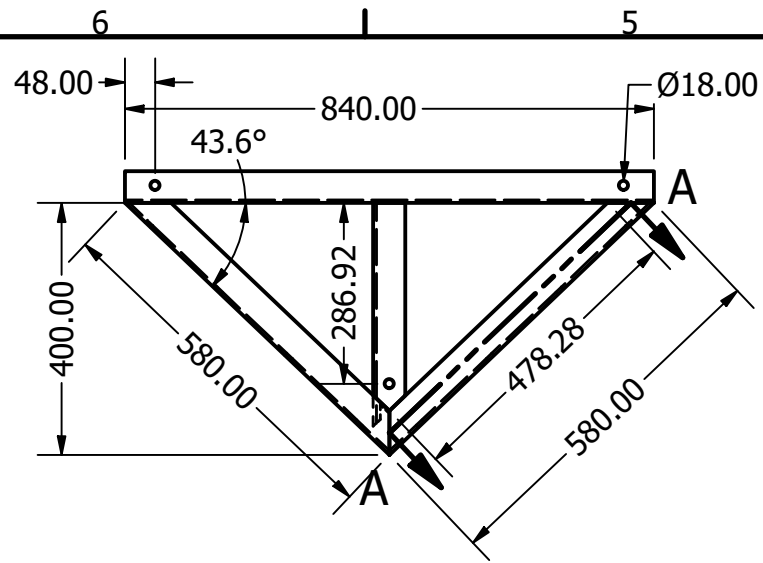
Plano:
**BARANDA PARA PLATAFORMA DE
MOLINO 8x10**

Proyección:

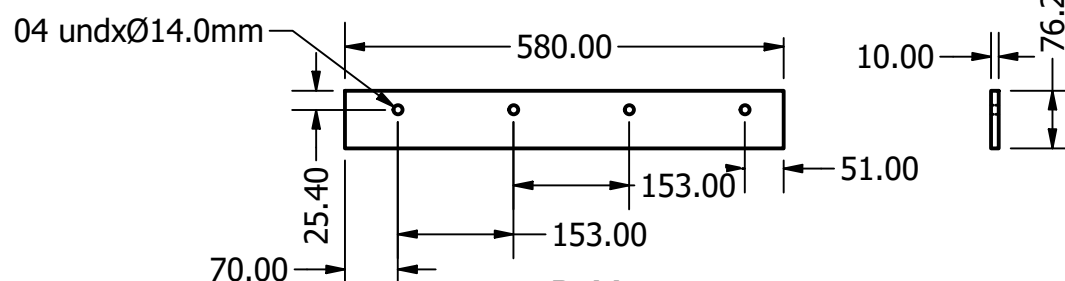
Escala:
IND.

Formato:
A3

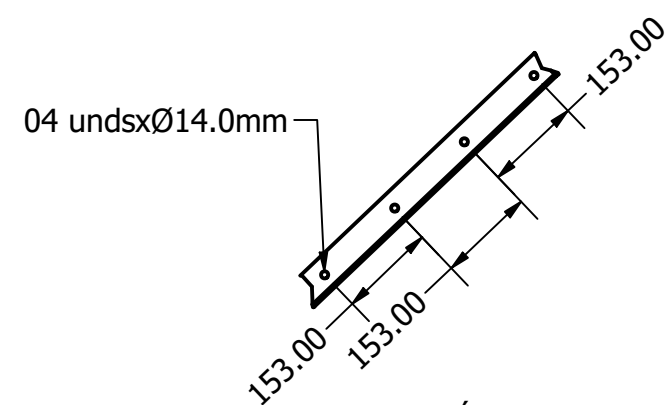
Apro:
Dib: **M. Ruíz**
Rev:
Fecha: **02/11/2022**



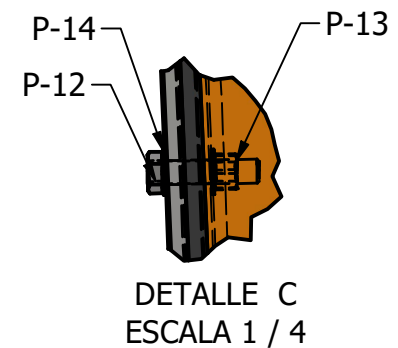
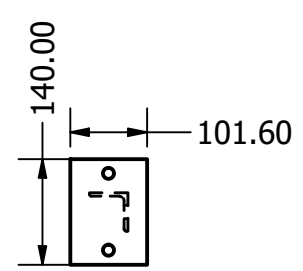
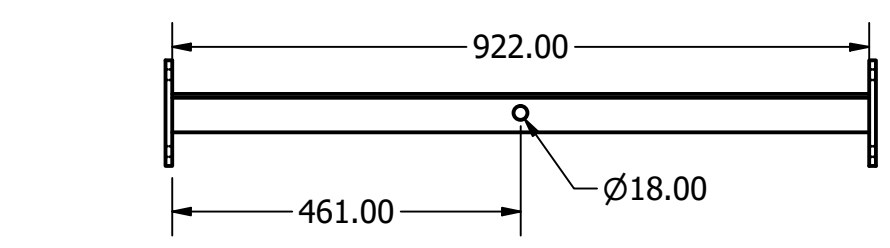
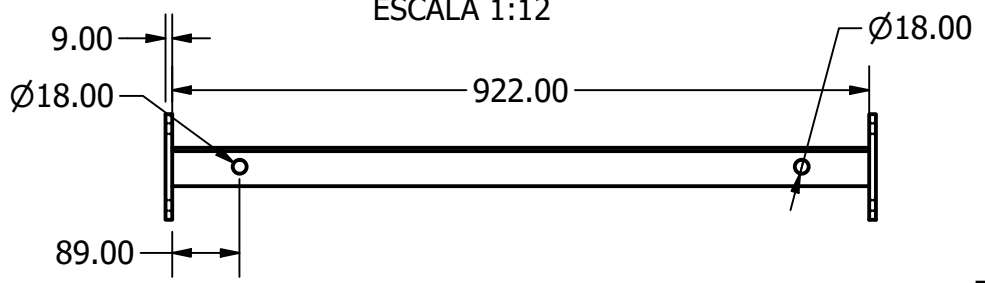
P-06
CANT. 02 UND
ESCALA 1:10



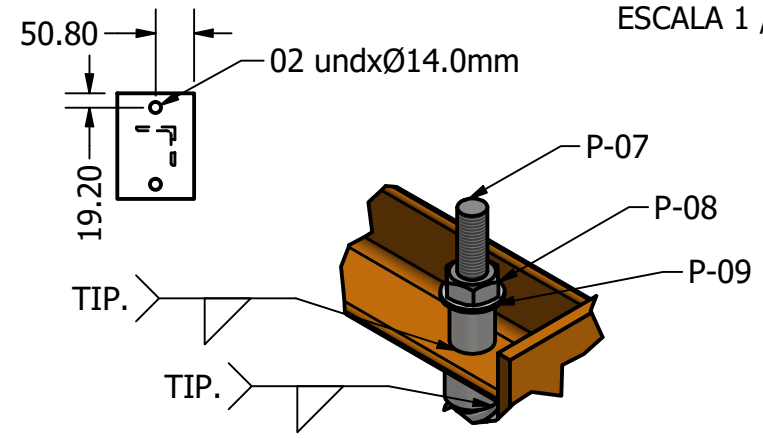
P-11
CANT. 02 UND
ESCALA 1:10



SECCIÓN A-A
ESCALA 1:12

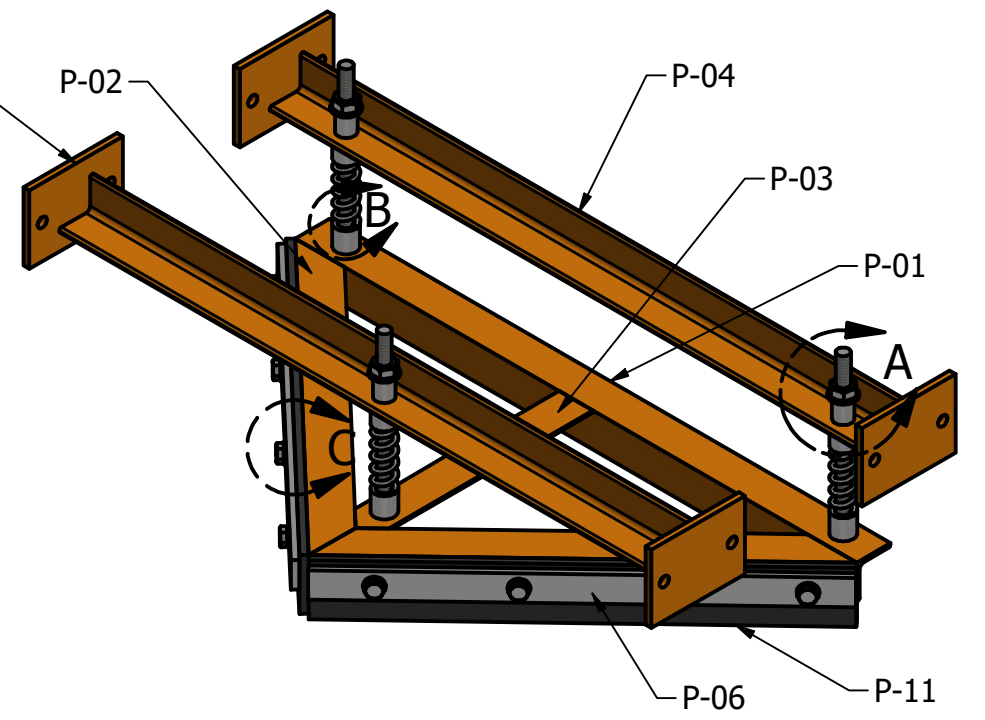


DETALLE C
ESCALA 1 / 4



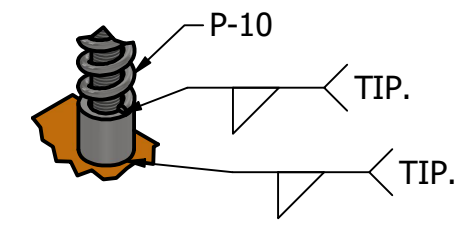
DETALLE A
ESCALA 1 / 4

LISTA DE MATERIALES			
ITEM	CANT.	DESCRIPCIÓN	DIMENSIÓN
P-01	01	Perfil L 2"x3/16" ASTM A36	840.00mm
P-02	02	Perfil L 2"x3/16" ASTM A36	580.00mm
P-03	03	Perfil L 2"x3/16" ASTM A36	400.00mm
P-04	02	Perfil L 2"x3/16" ASTM A36	922.00mm
P-05	04	P. Estruct. 9.0mm ASTM A36	140.00mmx101.60mm
P-06	02	Platina 1 1/2"x3/8" ASTM A36	580.00mm
P-07	03	Barra Roscada 5/8" ASTM A36	300.00mm
P-08	06	Tuerca Hex. 5/8" ASTM A192 2H	
P-09	06	Volanda 5/8" ASTM F436	
P-10	03	Resorte 1/4"	
P-11	02	Caucho 10.0 mm	580.00mm
P-12	08	Perno Hex. 1/2"x2" ASTM A325	
P-13	08	Tuerca Hex. 1/2" ASTM A192 2H	
P-14	16	Volanda 1/2" ASTM F436	



VISTA ISOMÉTRICA

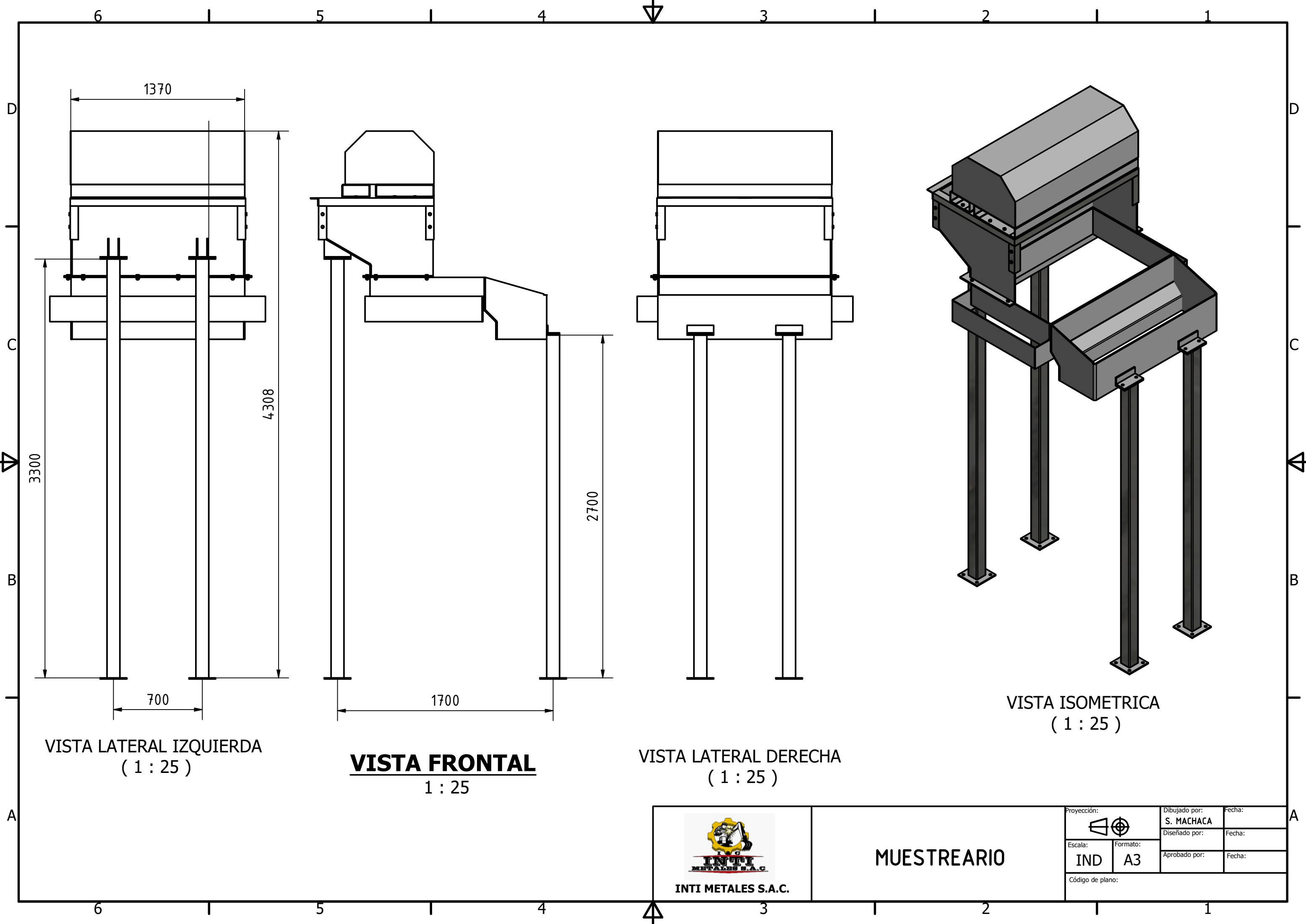
CANT. 01 UND
ESCALA 1:8



DETALLE B
ESCALA 1 / 4



Plano:	RASPADOR TIPO V		Apro:
Proyección:		Escala: IND.	Dib: M. Ruíz
		Formato: A3	Rev:
			Fecha: 09/11/2022



VISTA LATERAL IZQUIERDA
(1 : 25)

VISTA FRONTAL
1 : 25

VISTA LATERAL DERECHA
(1 : 25)

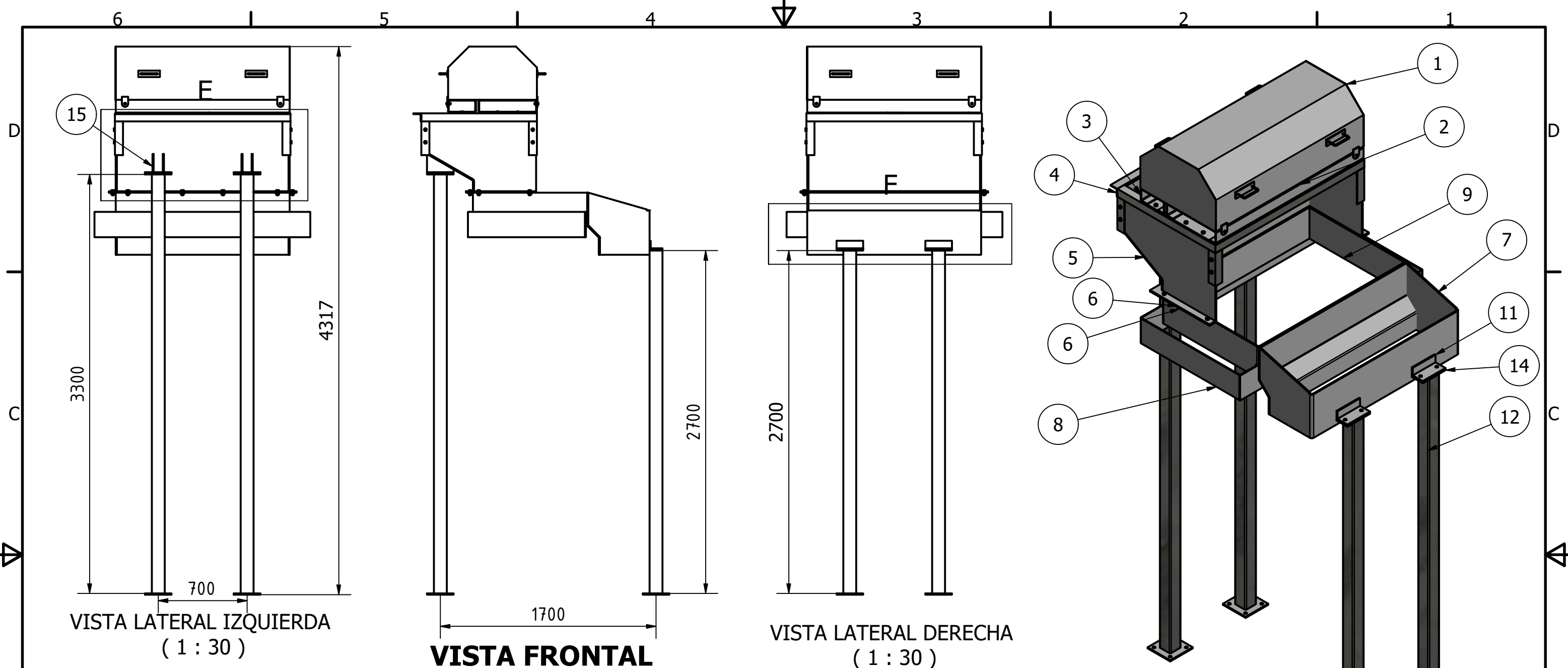
VISTA ISOMETRICA
(1 : 25)



INTI METALES S.A.C.

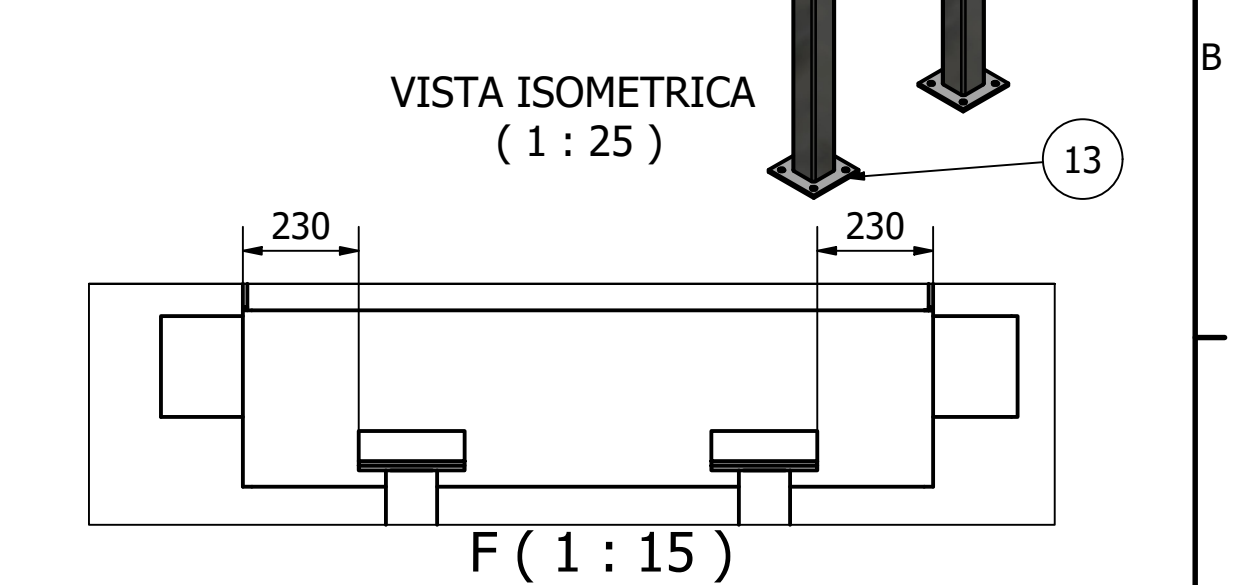
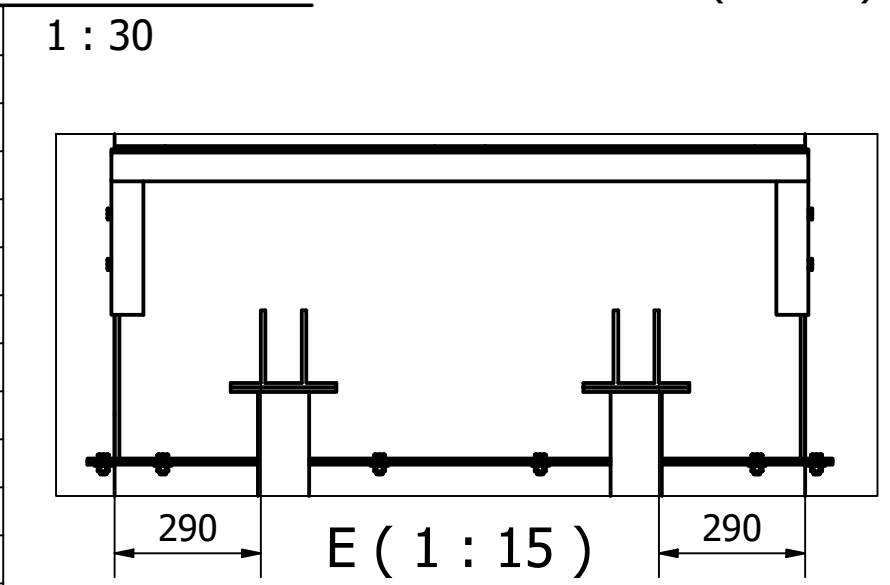
MUESTREARIO

Proyección: 		Dibujado por: S. MACHACA	Fecha:
Escala: IND	Formato: A3	Diseñado por:	Fecha:
Código de plano:		Aprobado por:	Fecha:



PARTS LIST

ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	P01
2	1	P02
3	1	P03
4	1	P04
6	1	P05
5	1	P06
7	1	P07
8	1	P08
9	1	P09
10	1	P10
11	1	P11
12	1	ESTRUCTURA DEL MUESTRADOR
13	6	PL BASE
14	2	PL SUPERIOR
15	1	P12



INTI METALES S.A.C.

MUESTRADOR

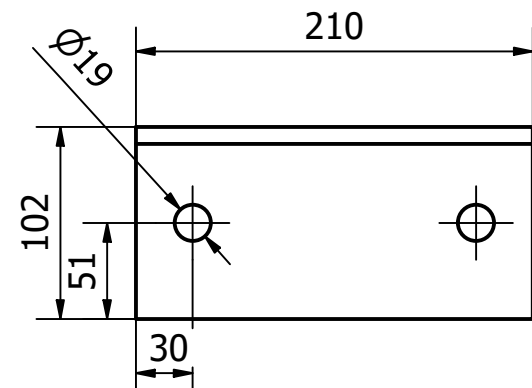
Proyección:

Dibujado por: S. MACHACA Fecha:

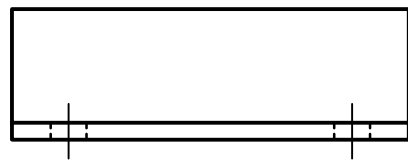
Diseñado por: Fecha:

Aprobado por: Fecha:

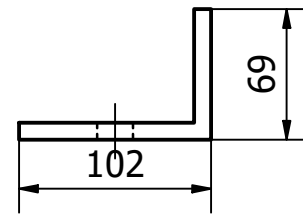
Código de plano:



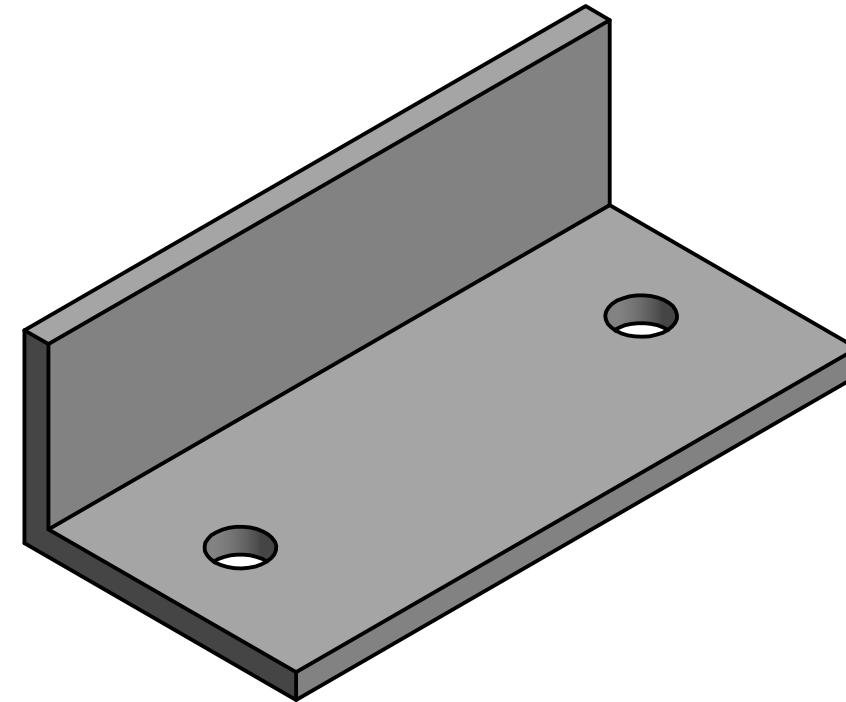
VISTA SUPERIOR
(1 : 4)



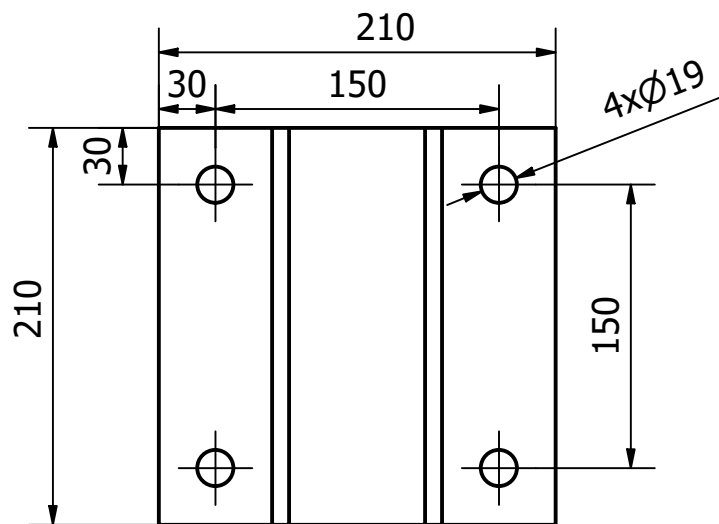
VISTA FRONTAL
1 : 4



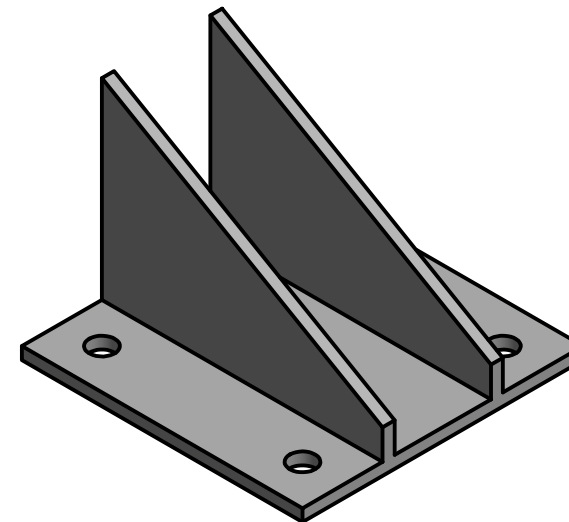
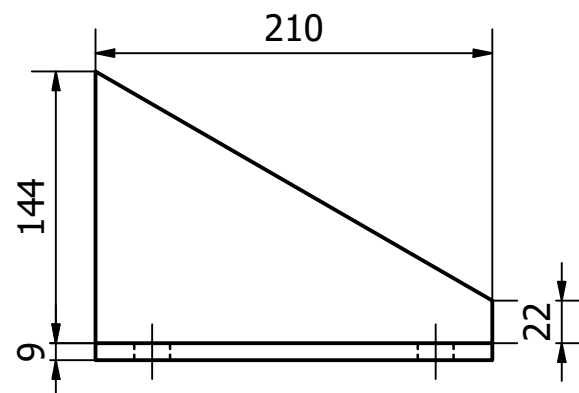
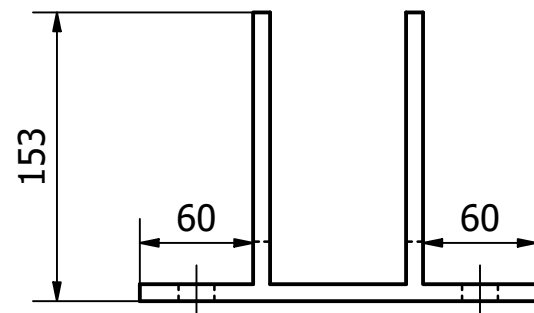
VISTA LATERAL
(1 : 4)



VISTA ISOMETRICA (1 : 2)



P04
1 : 4



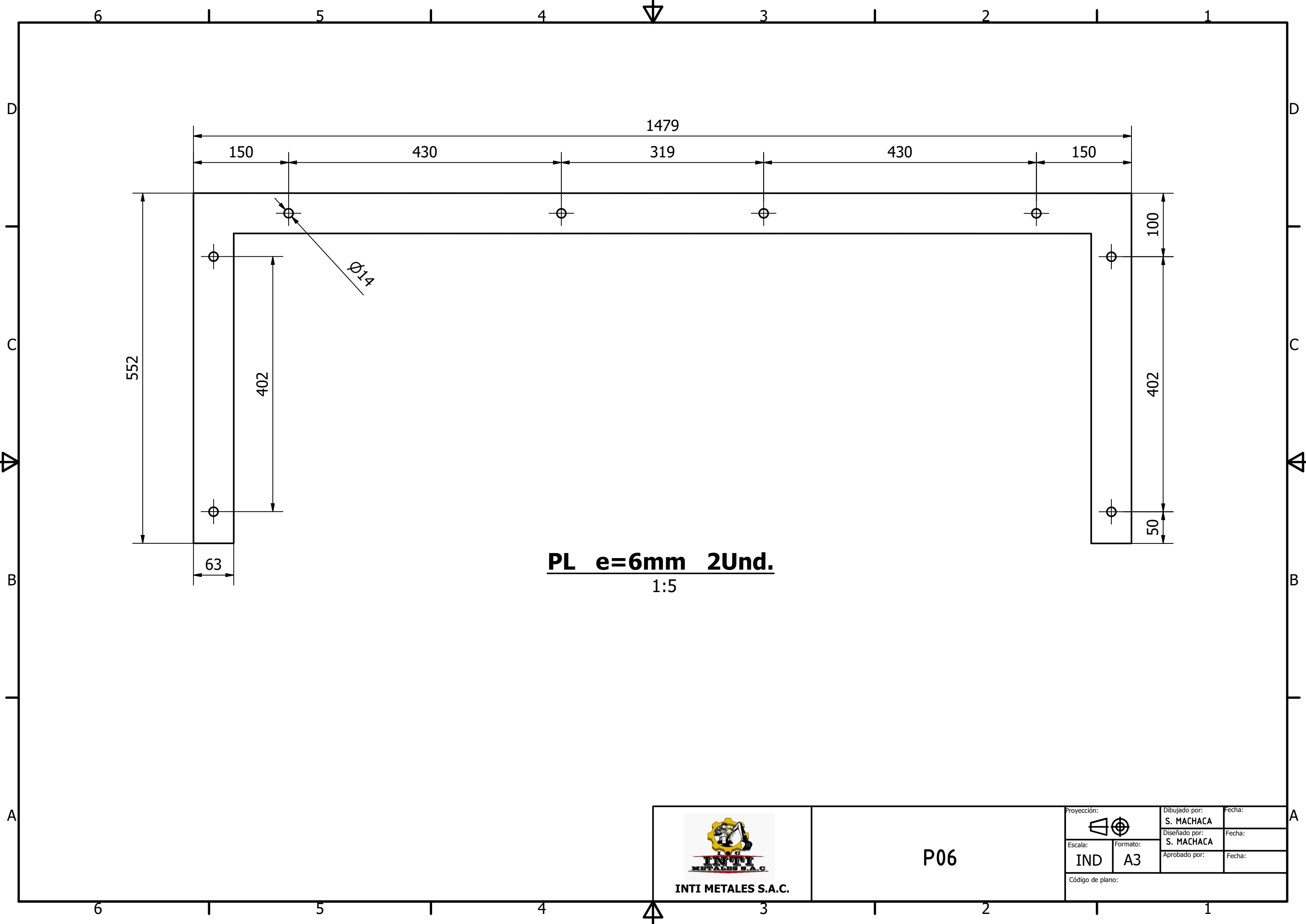
VISTA ISOMETRICA (1 : 4)



INTI METALES S.A.C.

P11 - P12

Proyección:		Dibujado por:	S. MACHACA	Fecha:
Escala:	IND	Diseñado por:	S. MACHACA	Fecha:
Formato:	A3	Aprobado por:		Fecha:
Código de plano:				



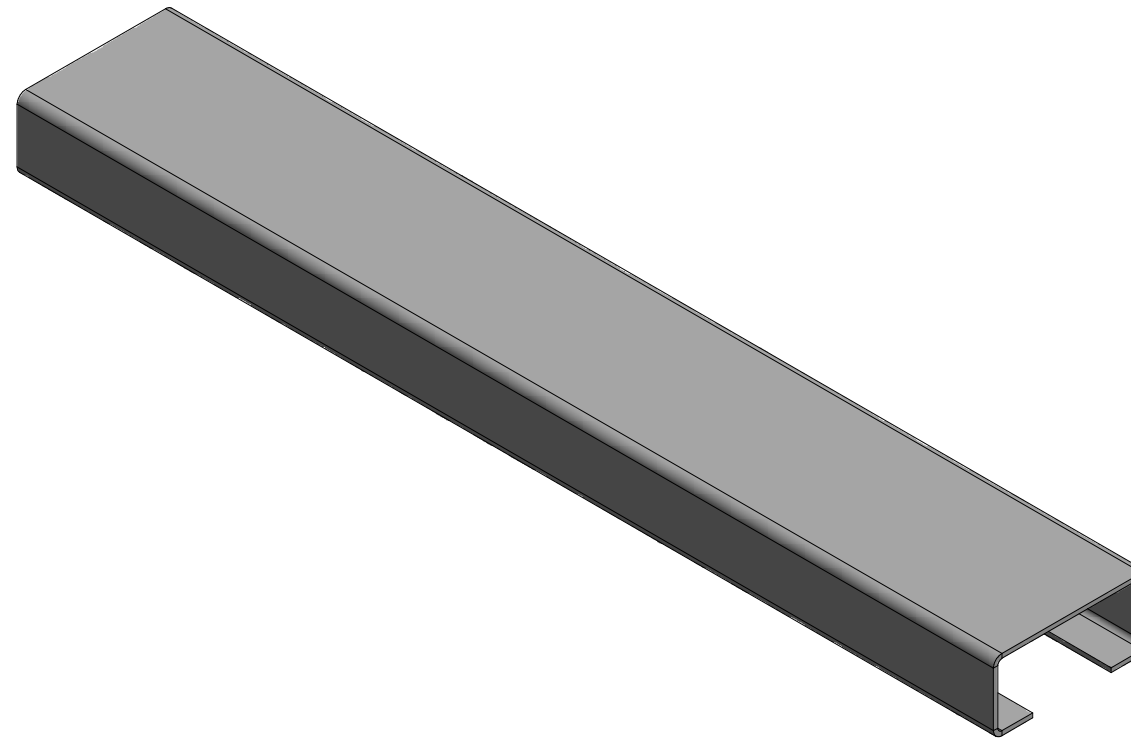
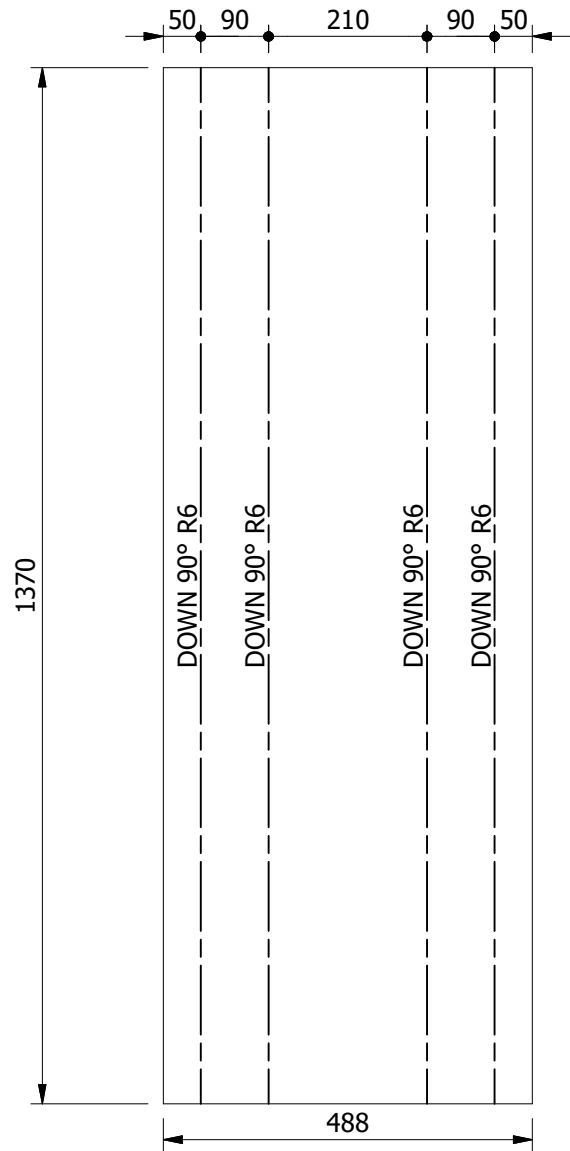
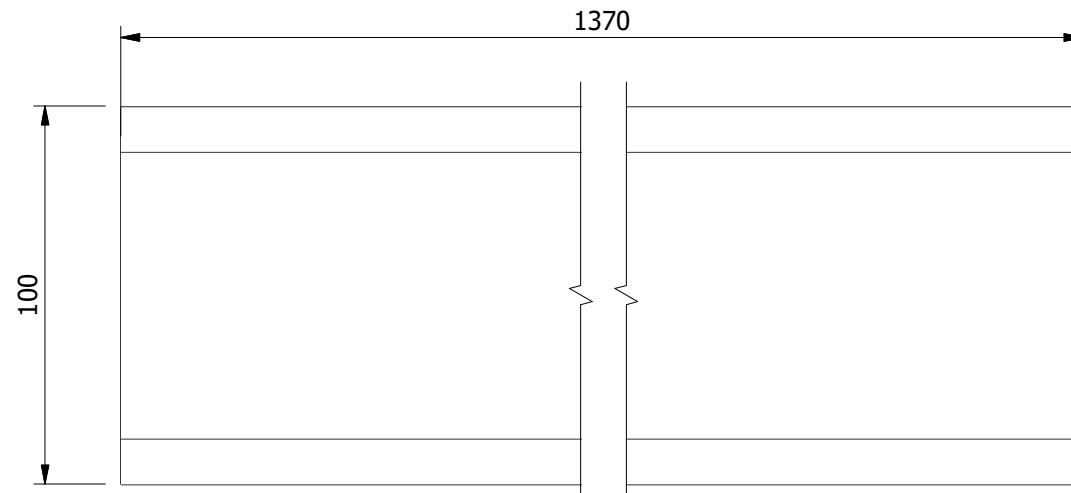
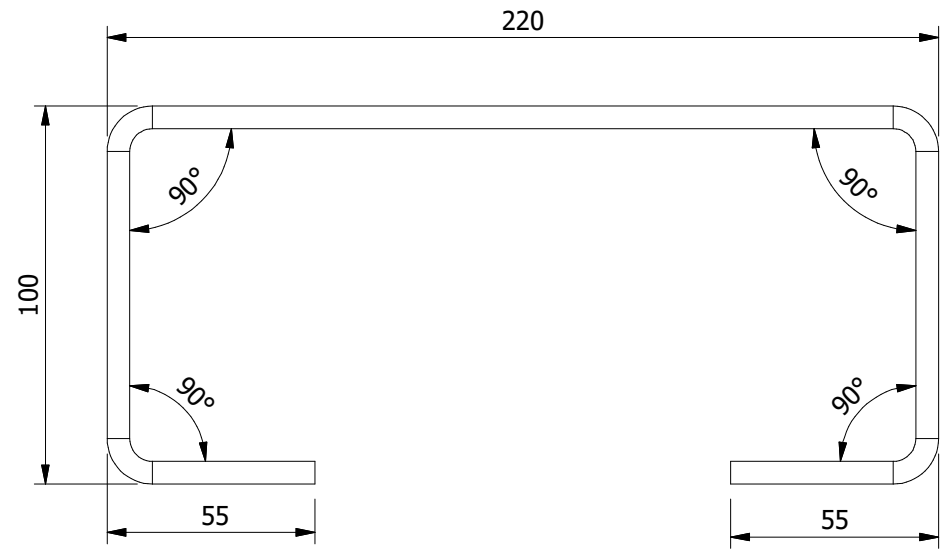
PL e=6mm 2Und.
1:5



INTI METALES S.A.C.

P06

Proyección:		Dibujado por:	Fecha:
		S. MACHACA	
Escala:	Formato:	Diseñado por:	Fecha:
IND	A3	S. MACHACA	
Código de plano:		Aprobado por:	Fecha:



INTI METALES S.A.C.

P02 LD

Proyección:



Escala:

IND

Formato:

A3

Código de plano:

Dibujado por:

S. MACHACA

Fecha:

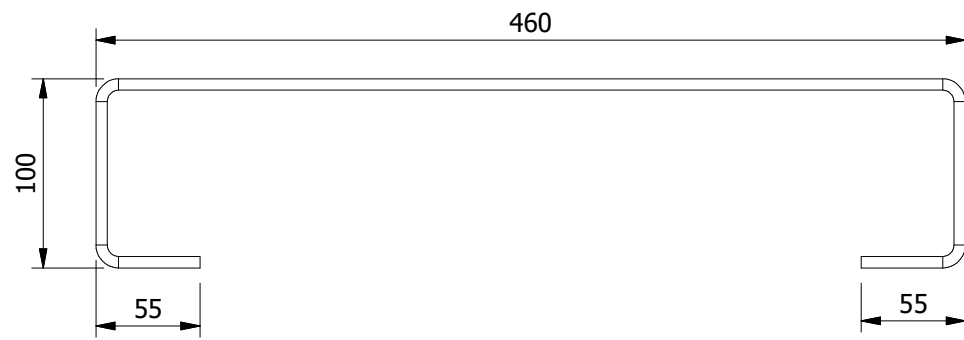
Diseñado por:

S. MACHACA

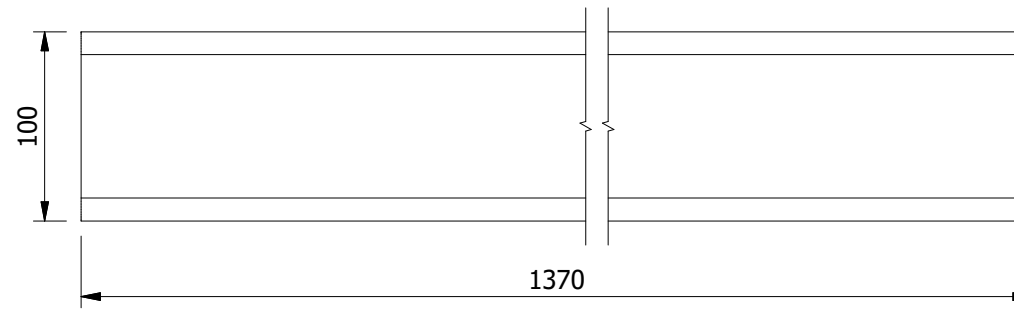
Fecha:

Aprobado por:

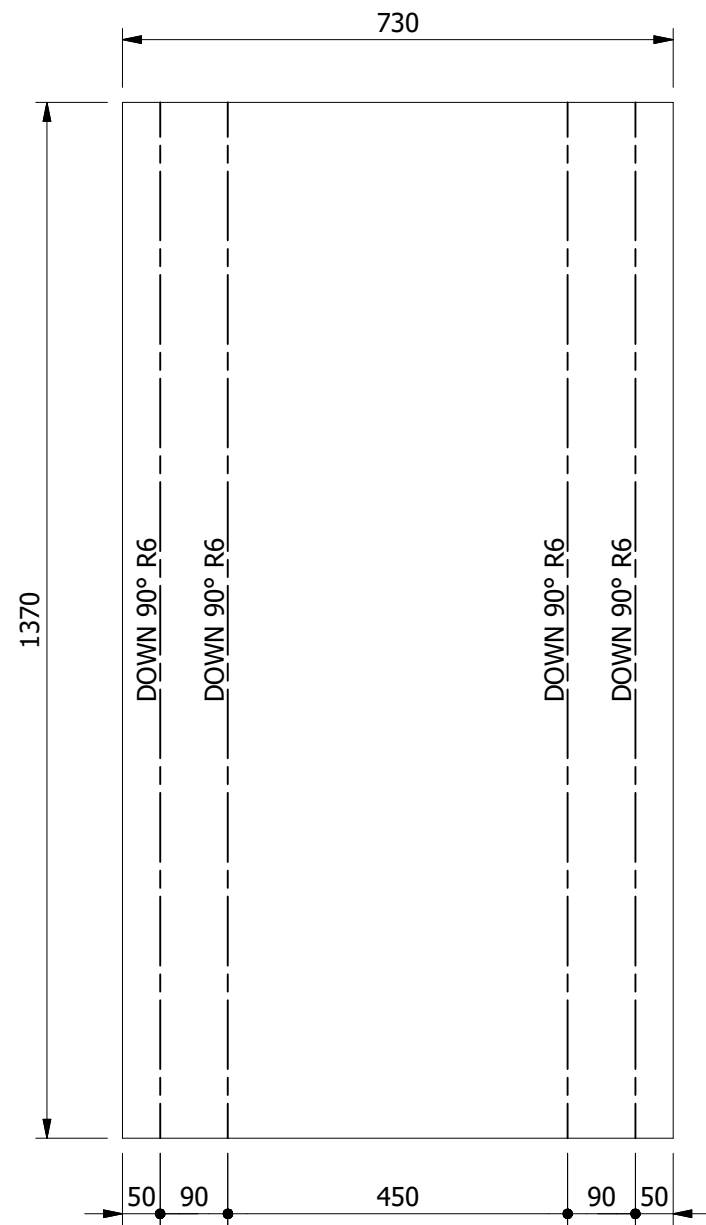
Fecha:



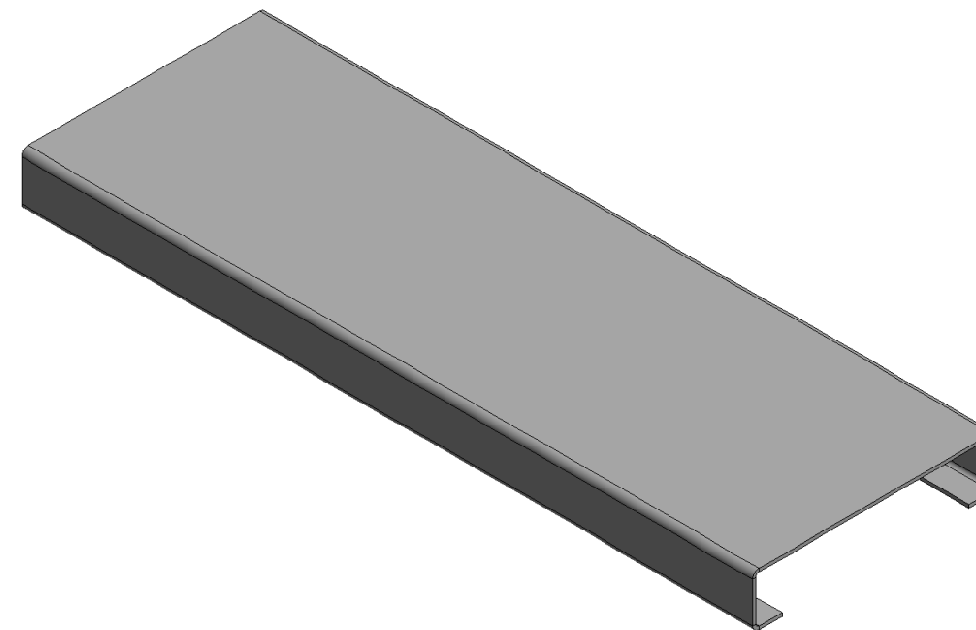
VISTA FRONTAL
SCALE 1:4



VISTA LATERAL
SCALE 1:4



DESARROLLO
PL Espesor = 6mm
SCALE 1:10



VISTA ISOMETRICA
SCALE 1:10



INTI METALES S.A.C.

P02 BI

Proyección:



Dibujado por:

S. MACHACA

Fecha:

Diseñado por:

S. MACHACA

Fecha:

Escala:

IND

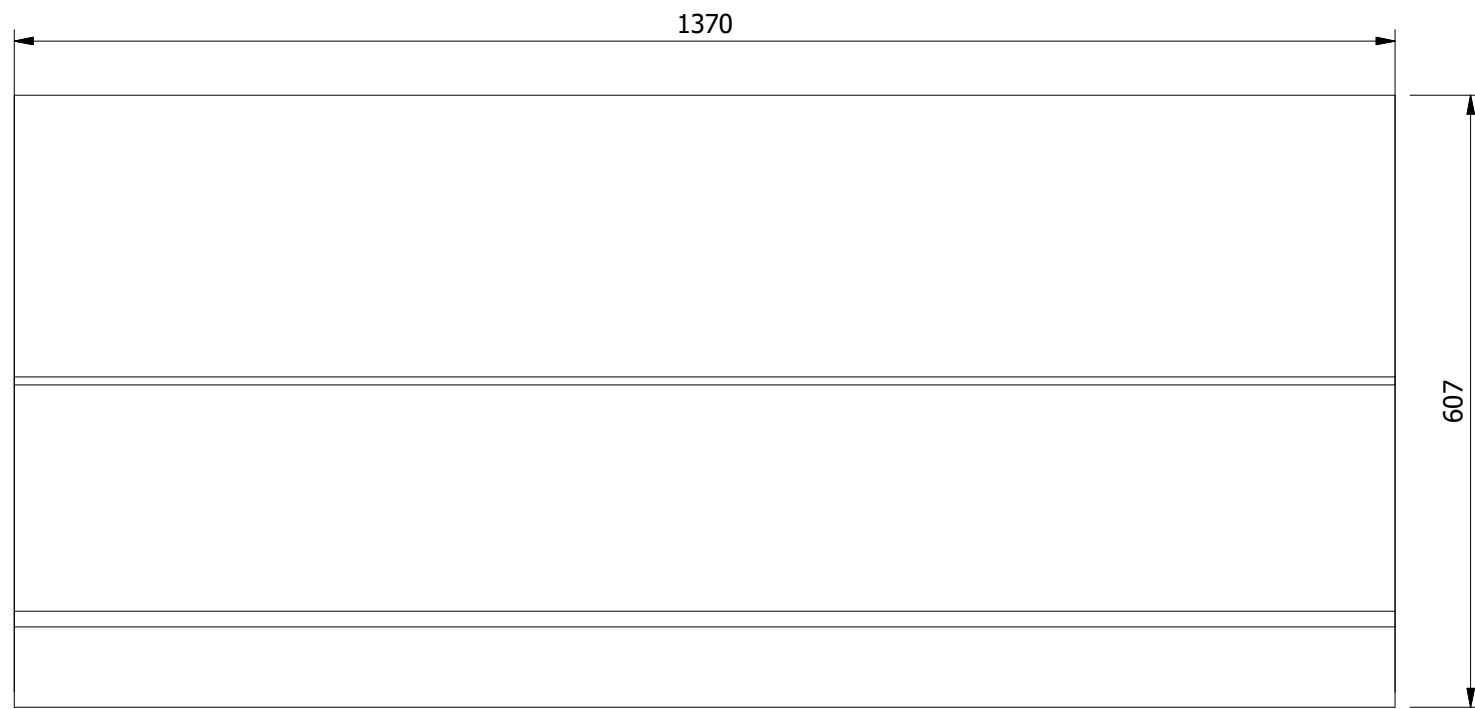
Formato:

A3

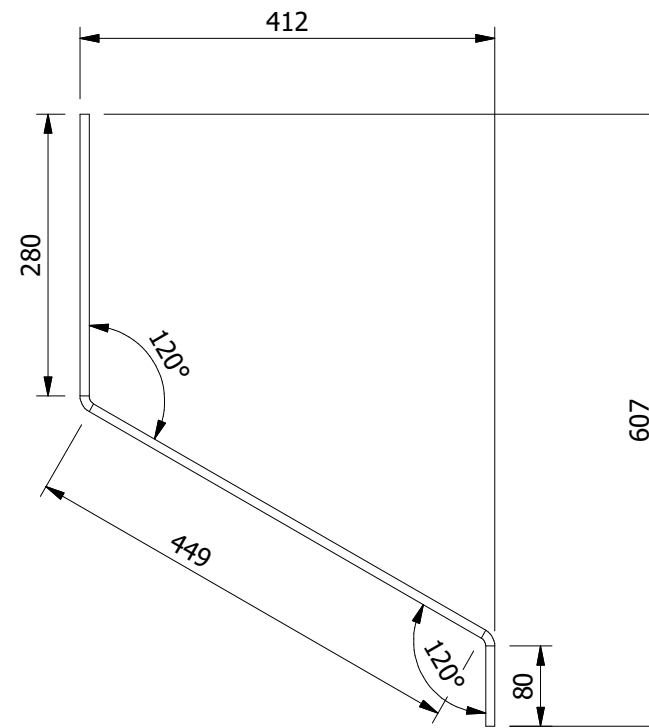
Aprobado por:

Fecha:

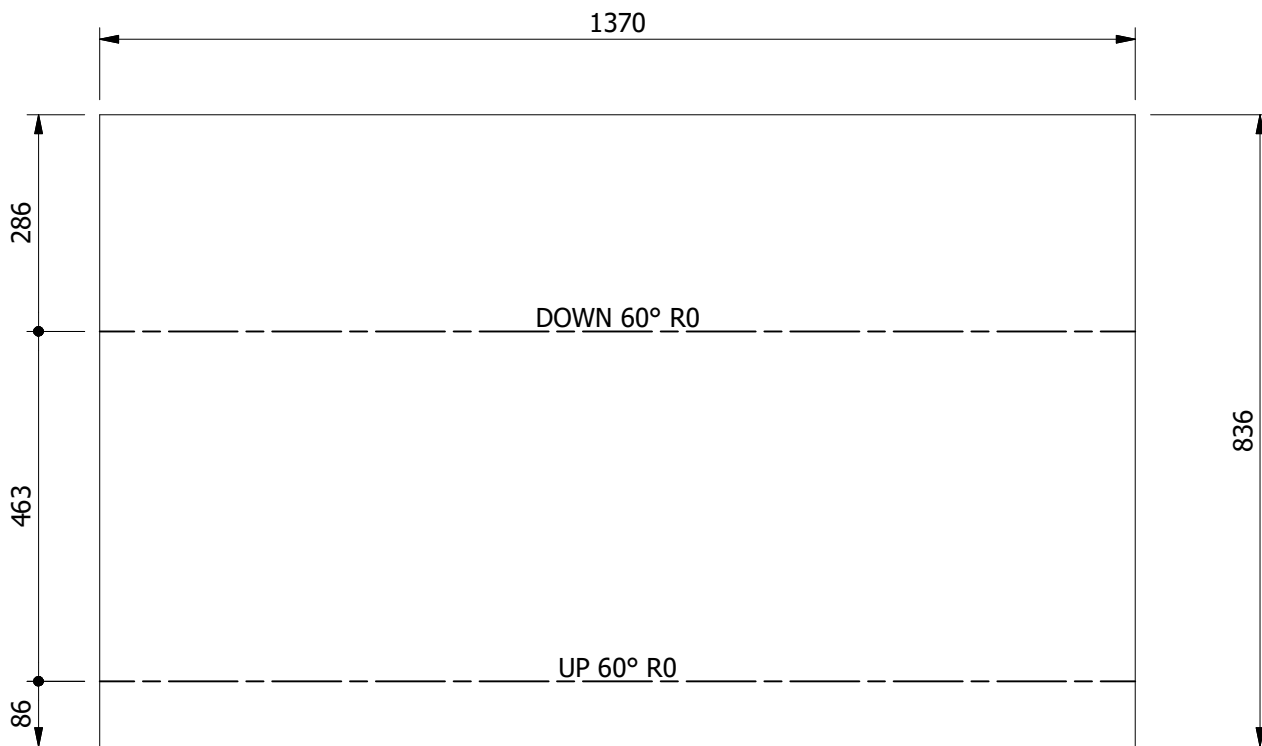
Código de plano:



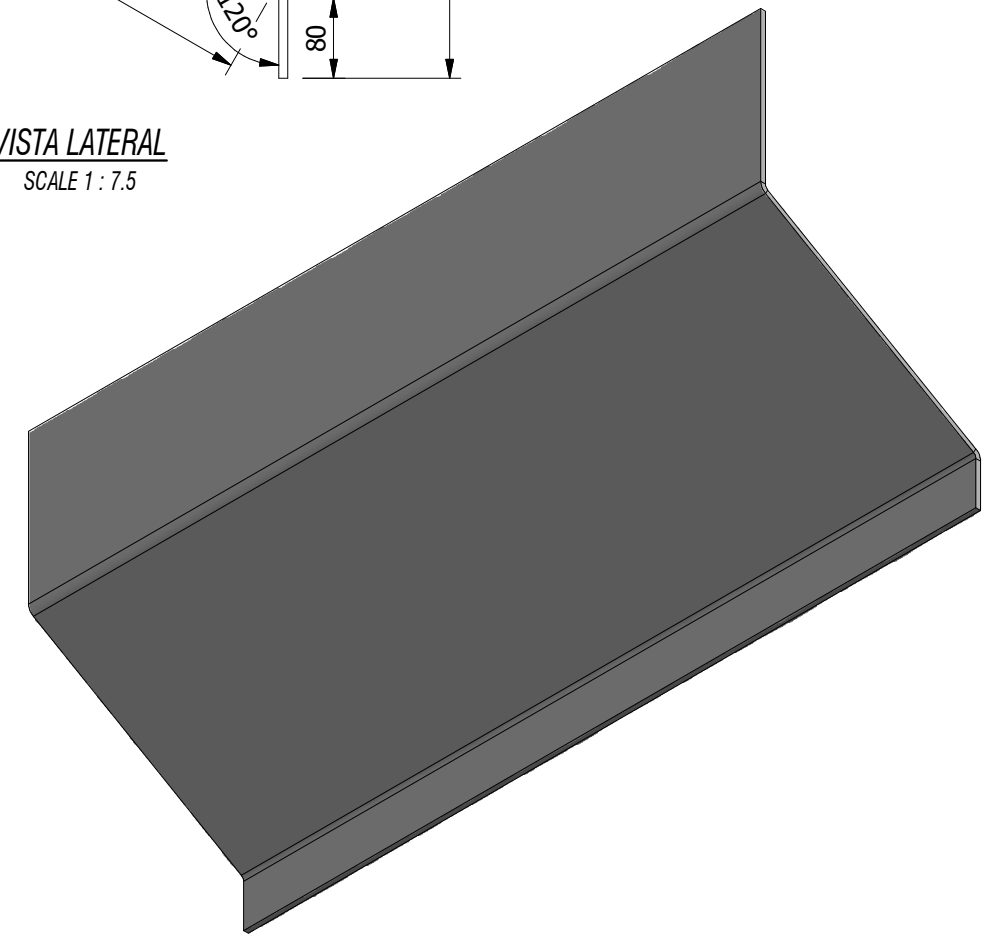
VISTA FRONTAL
SCALE 1 : 7.5



VISTA LATERAL
SCALE 1 : 7.5



DESARROLLO
PL Espesor=6mm
SCALE 1 : 10



VISTA ISOMETRICA
SCALE 1 : 10



INTI METALES S.A.C.

P05

Proyección:



Escala:

IND

Formato:

A3

Código de plano:

Dibujado por:

S. MACHACA

Diseñado por:

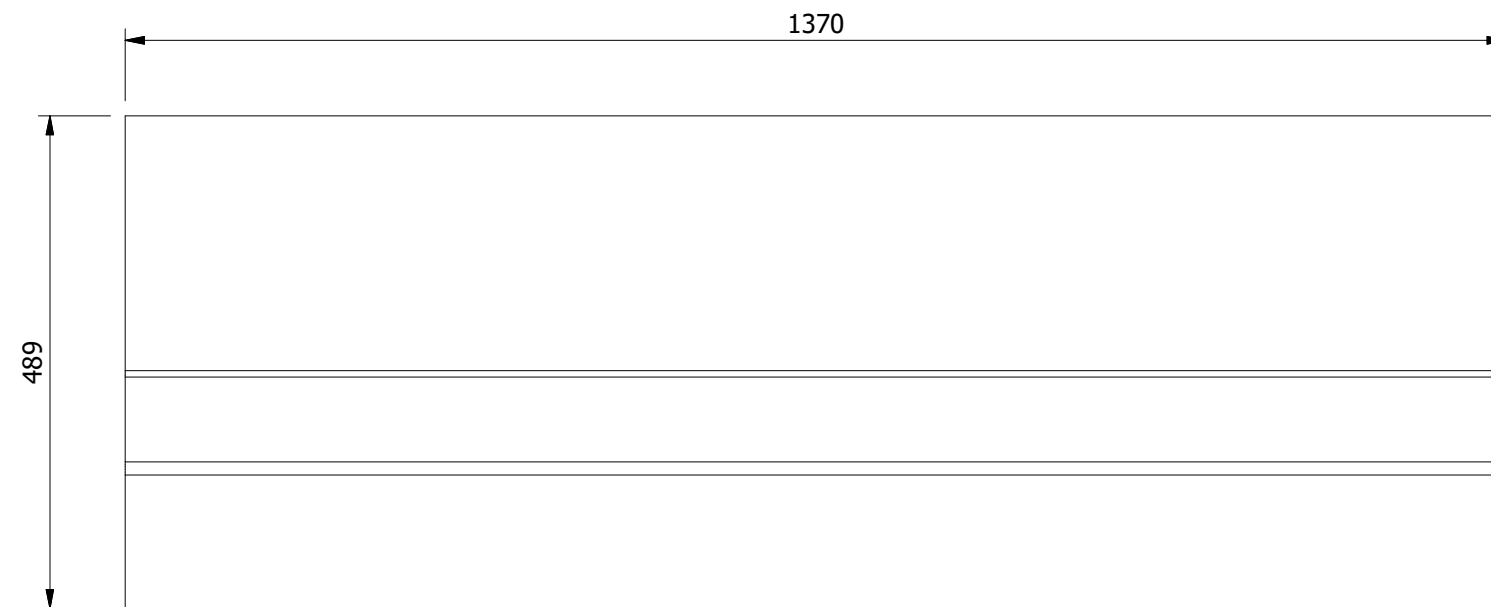
S. MACHACA

Aprobado por:

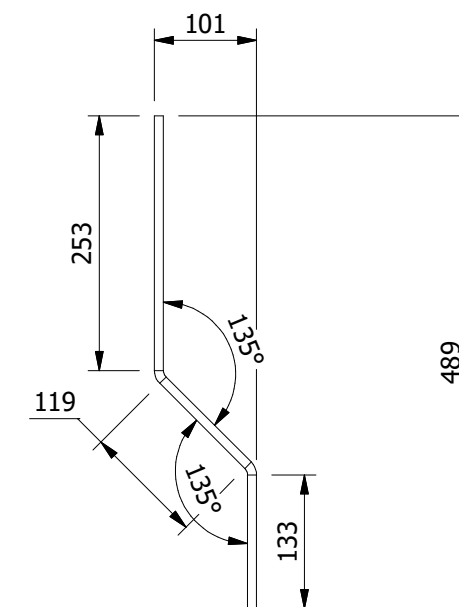
Fecha:

Fecha:

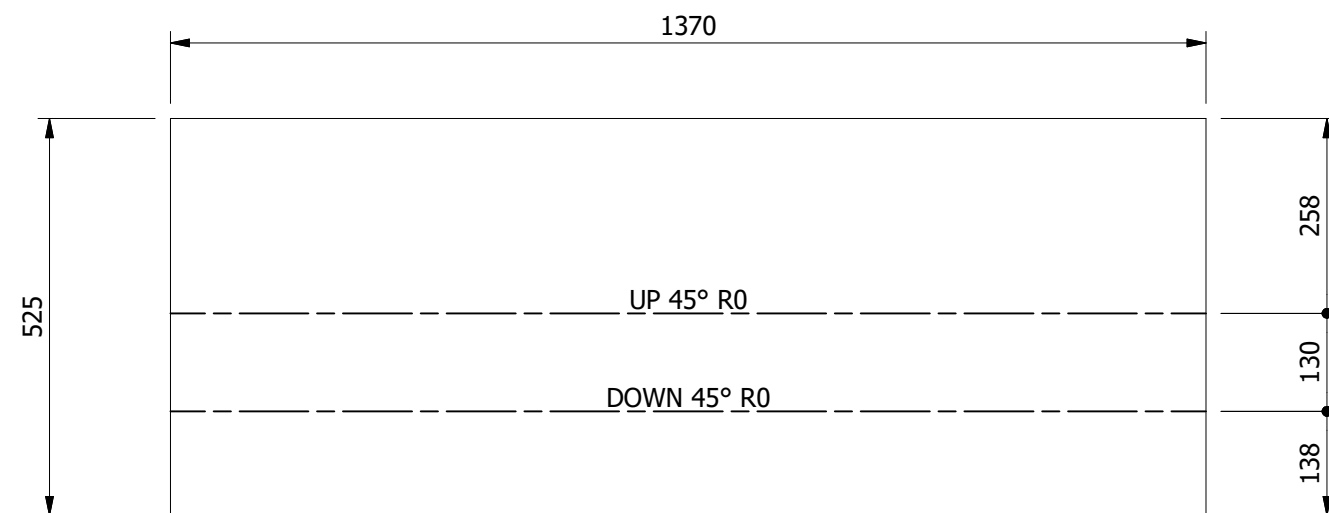
Fecha:



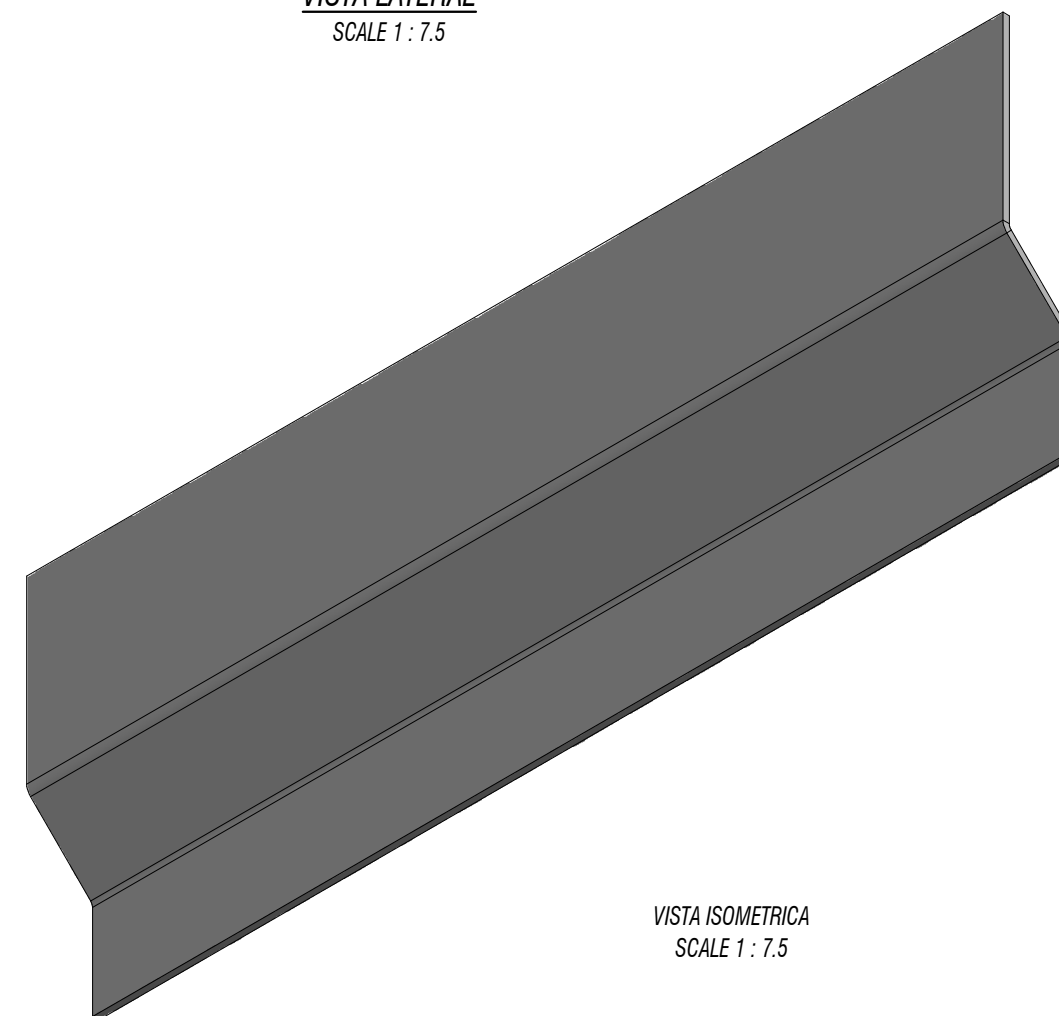
VISTA FRONTAL
SCALE 1 : 7.5



VISTA LATERAL
SCALE 1 : 7.5



DESARROLLO
PL Espesor=6mm
SCALE 1 : 10



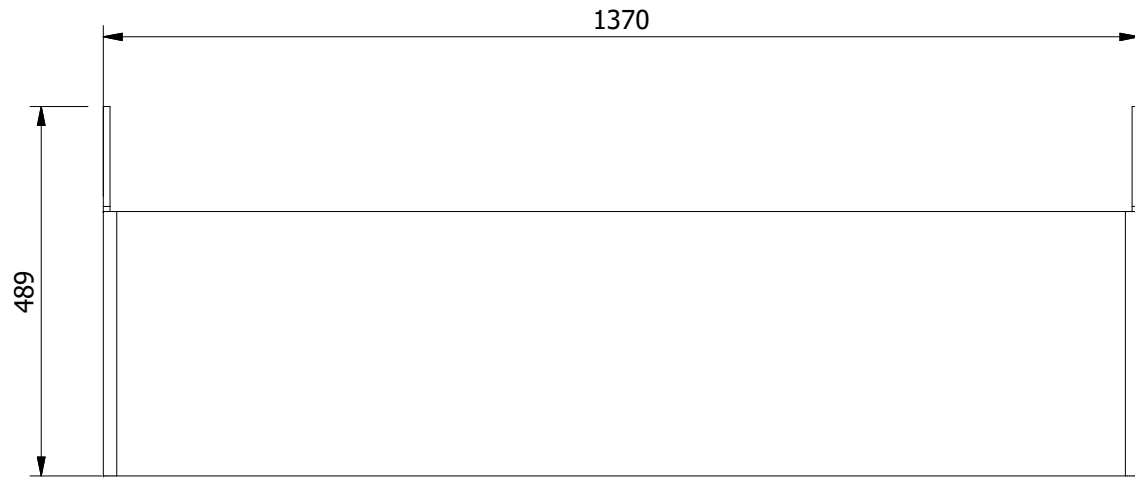
VISTA ISOMETRICA
SCALE 1 : 7.5



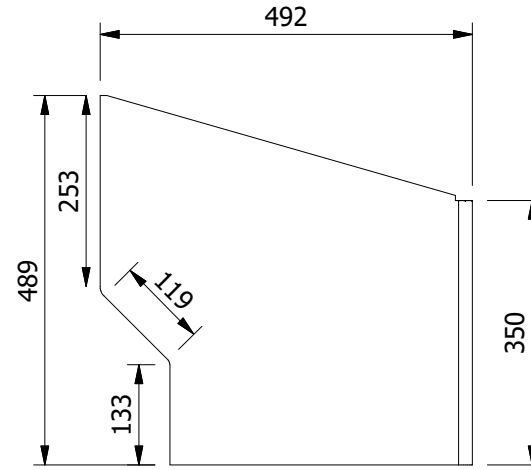
INTI METALES S.A.C.

P07-A

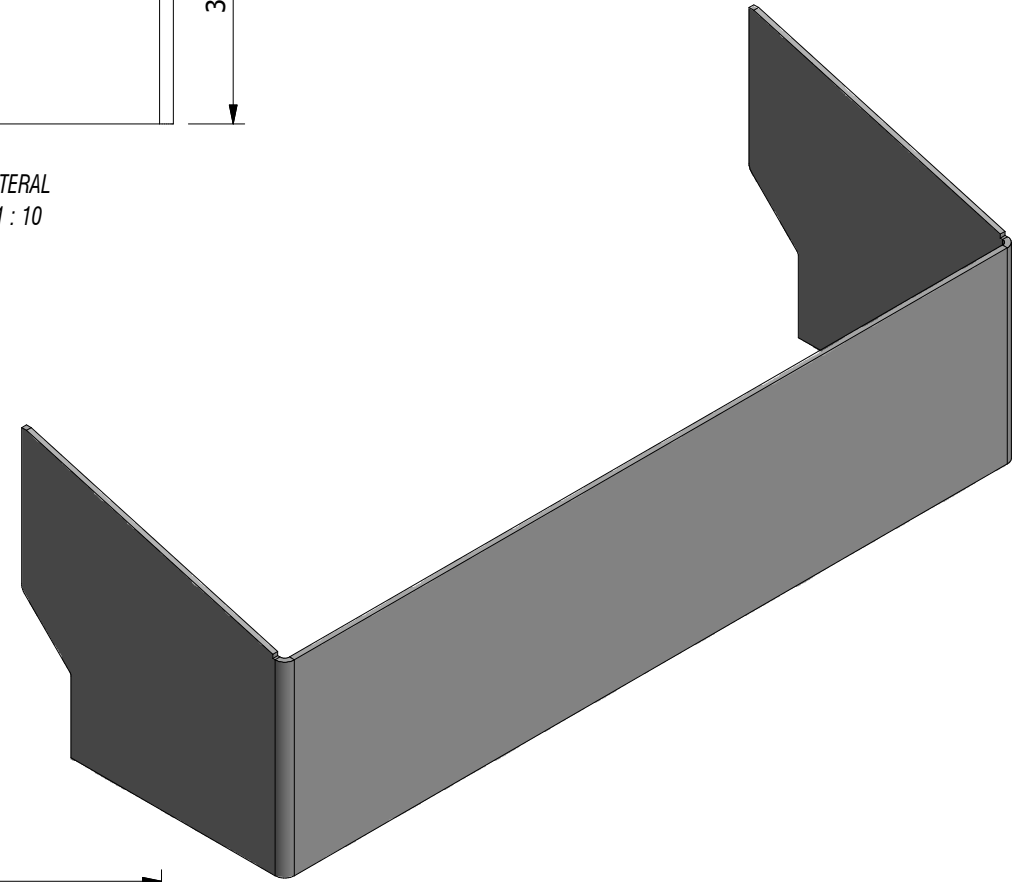
Proyección: 	Dibujado por: S. MACHACA	Fecha:
Escala: IND	Diseñado por: S. MACHACA	Fecha:
Formato: A3	Aprobado por:	Fecha:
Código de plano:		



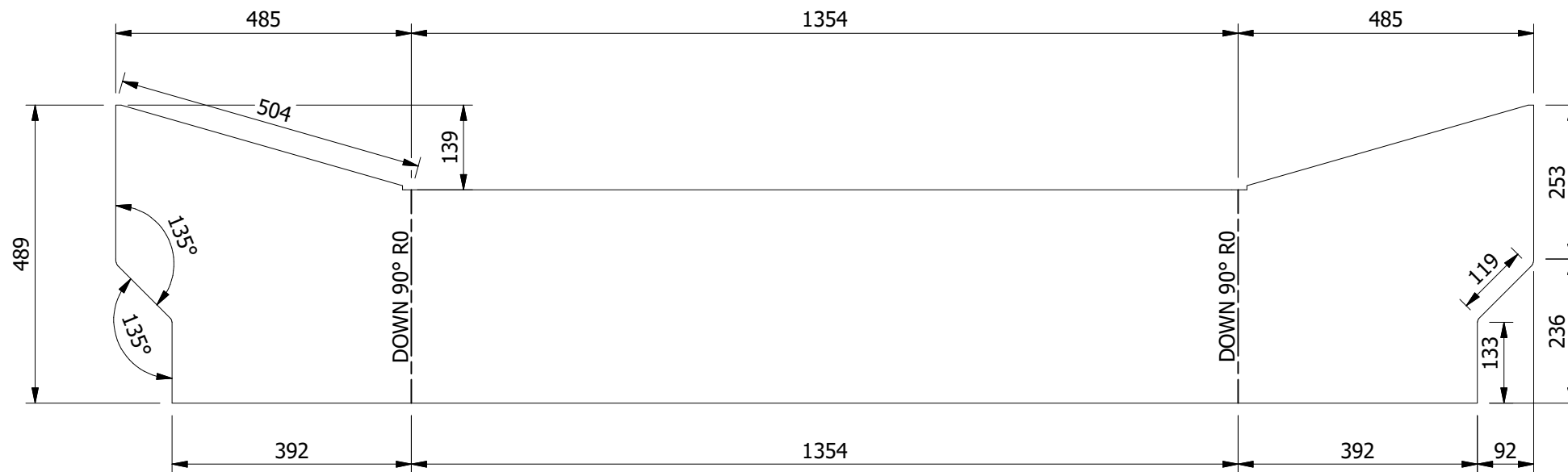
VISTA FRONTAL
SCALE 1 : 10



VISTA LATERAL
SCALE 1 : 10



VISTA ISOMETRICA
SCALE 1 : 10



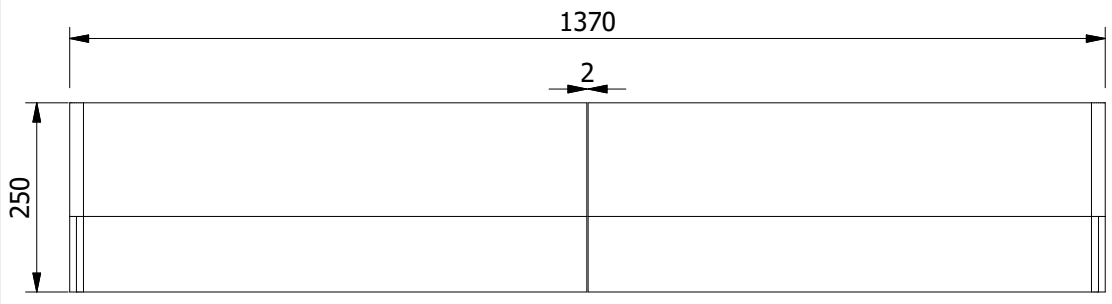
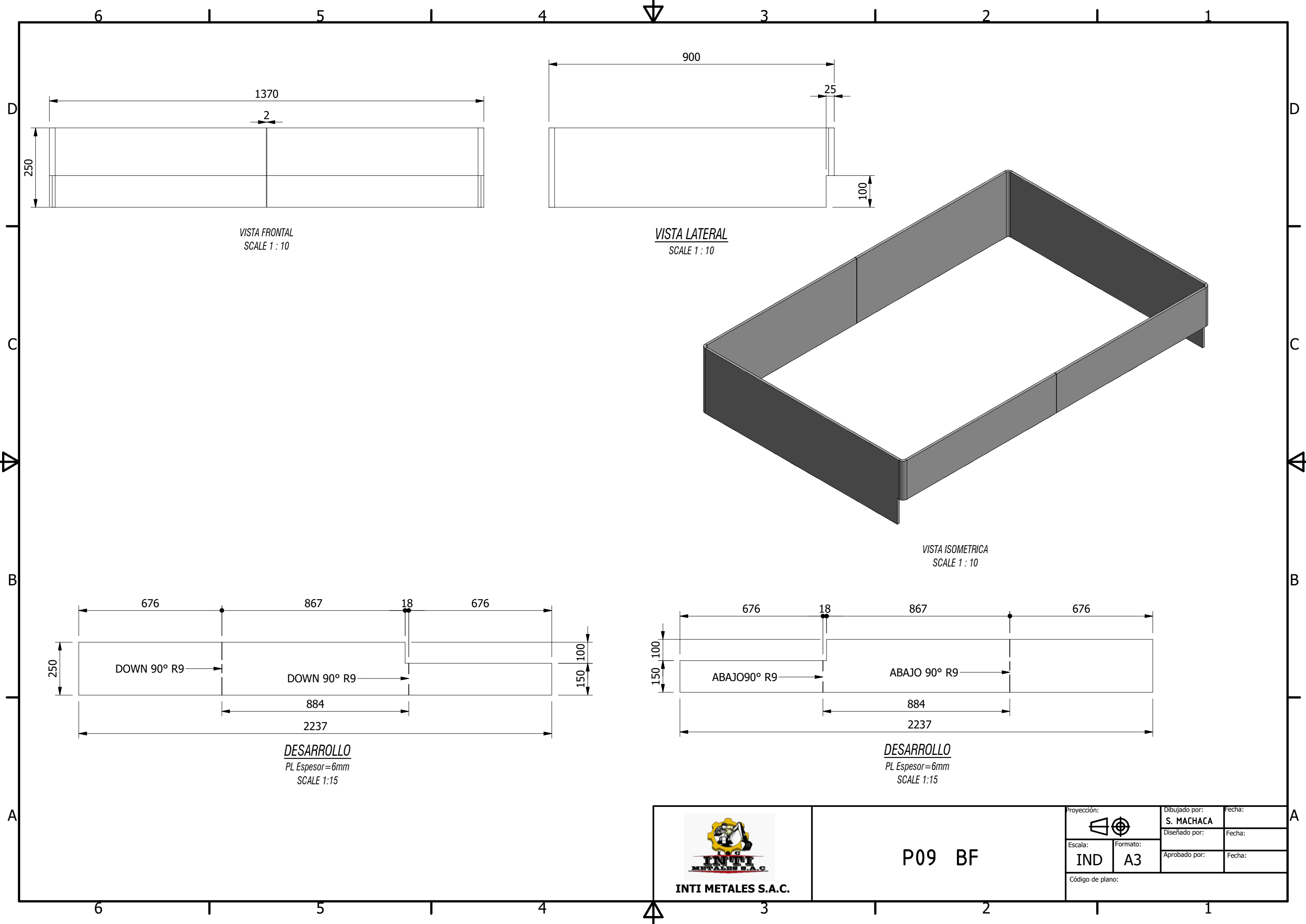
DESARROLLO
PL Espesor = 6mm
SCALE 1 : 10



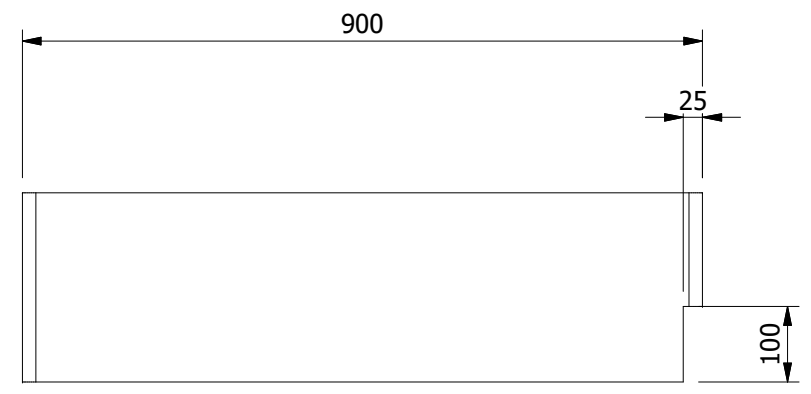
INTI METALES S.A.C.

P07-B

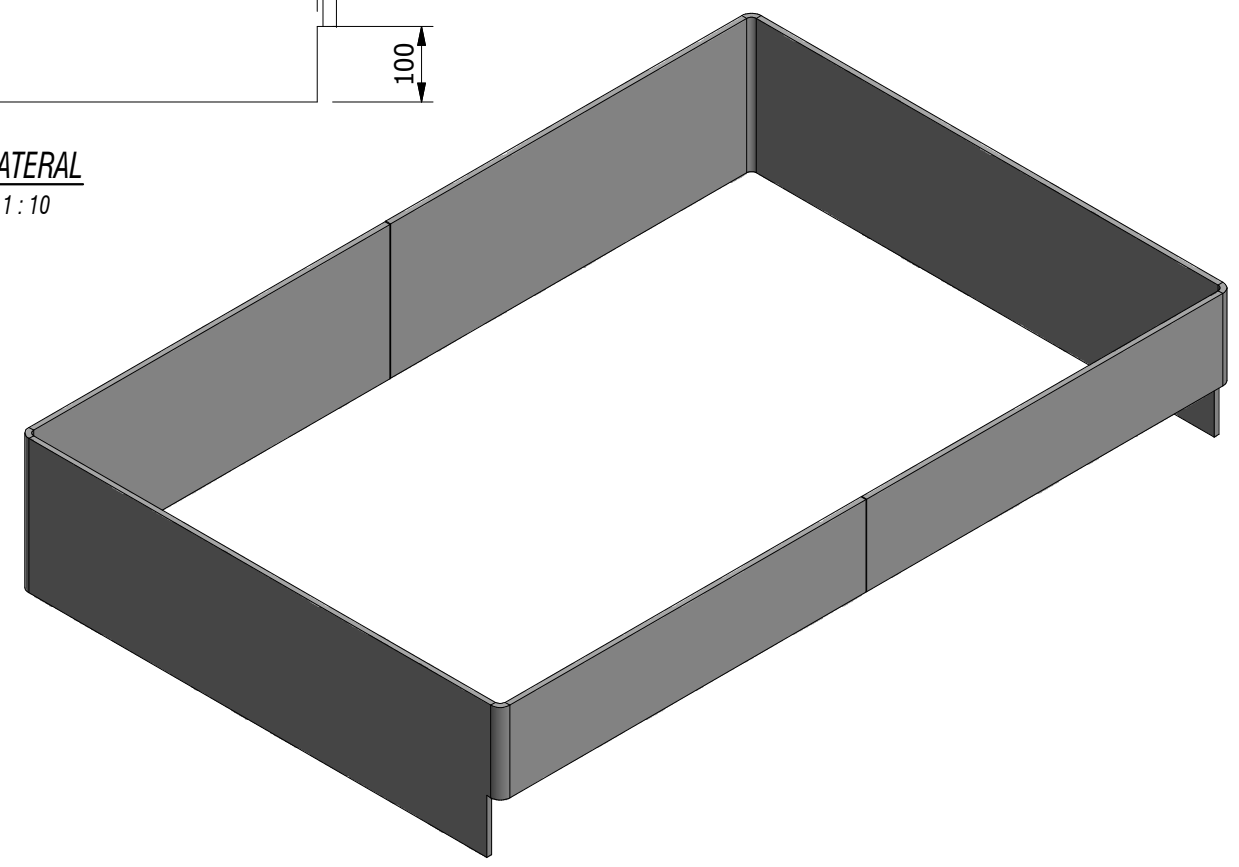
Proyección:		Dibujado por:	S. MACHACA	Fecha:
Escala:	IND	Diseñado por:	S. MACHACA	Fecha:
Formato:	A3	Aprobado por:		Fecha:
Código de plano:				



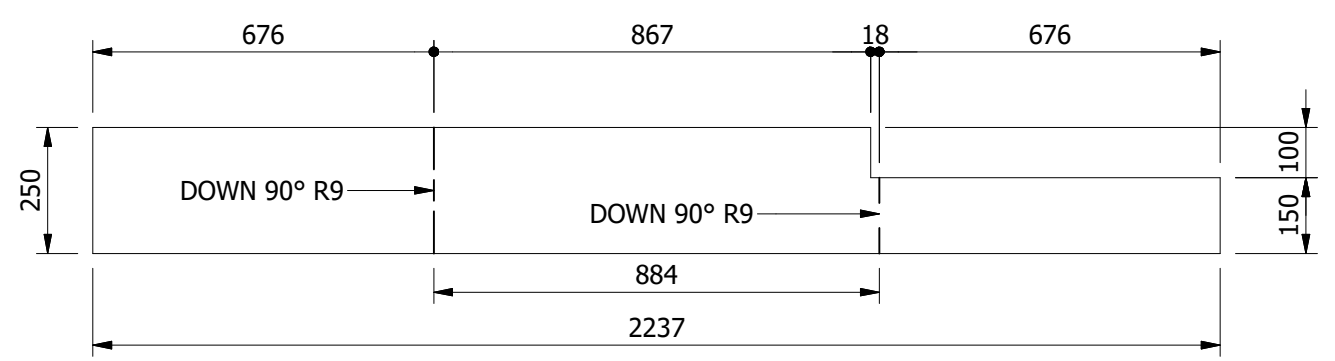
VISTA FRONTAL
SCALE 1 : 10



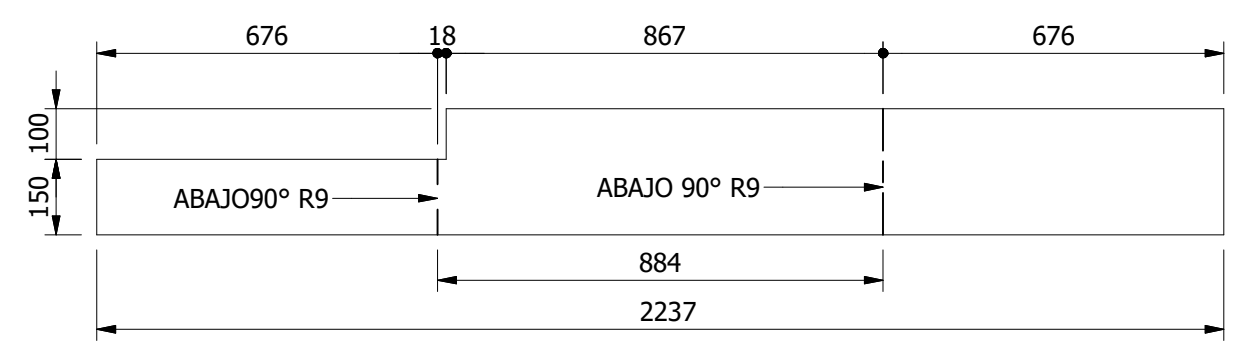
VISTA LATERAL
SCALE 1 : 10



VISTA ISOMETRICA
SCALE 1 : 10



DESARROLLO
PL Espesor=6mm
SCALE 1:15



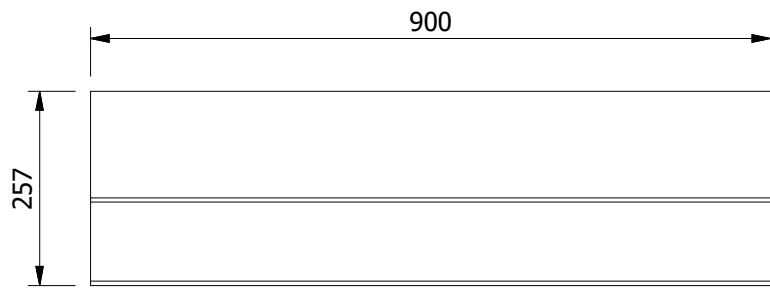
DESARROLLO
PL Espesor=6mm
SCALE 1:15



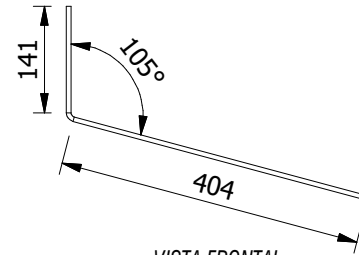
INTI METALES S.A.C.

P09 BF

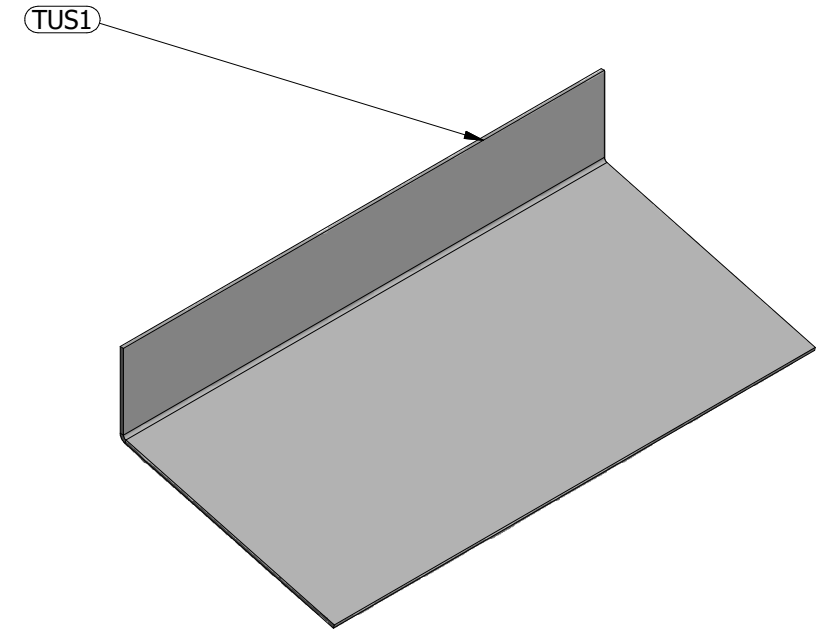
Proyección: 		Dibujado por: S. MACHACA	Fecha:
Escala: IND	Formato: A3	Diseñado por:	Fecha:
Código de plano:		Aprobado por:	Fecha:



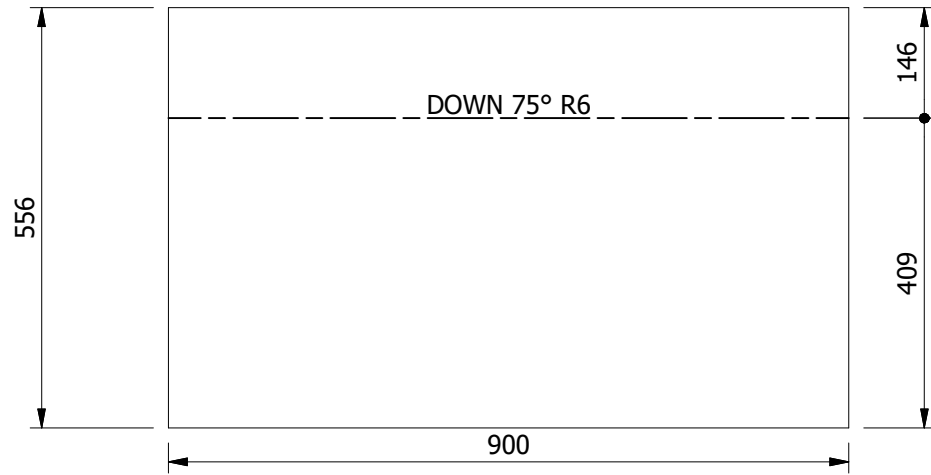
VISTA FRONTAL
SCALE 1:10



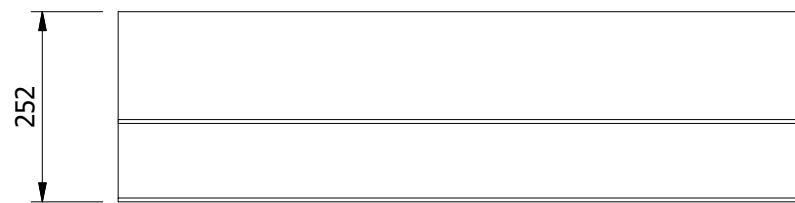
VISTA FRONTAL
SCALE 1:10



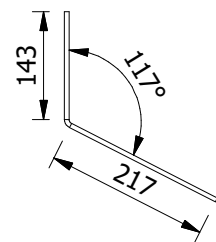
VISTA ISOMETRICA
SCALE 1:10



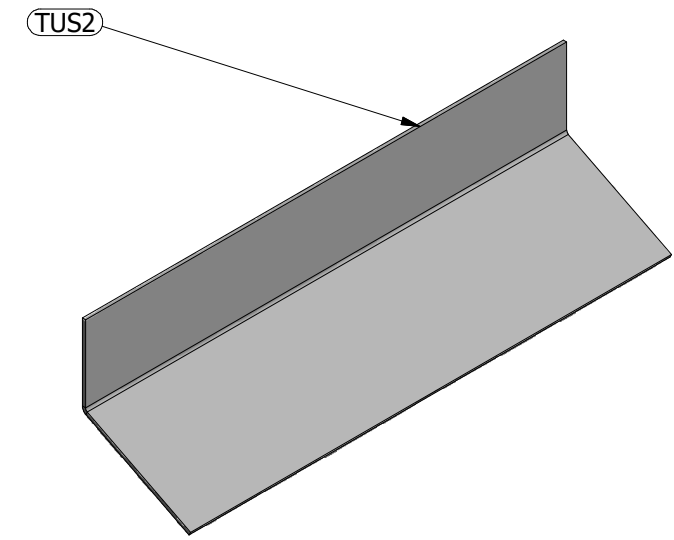
DESARROLLO
PL Escala=6mm
SCALE 1:10



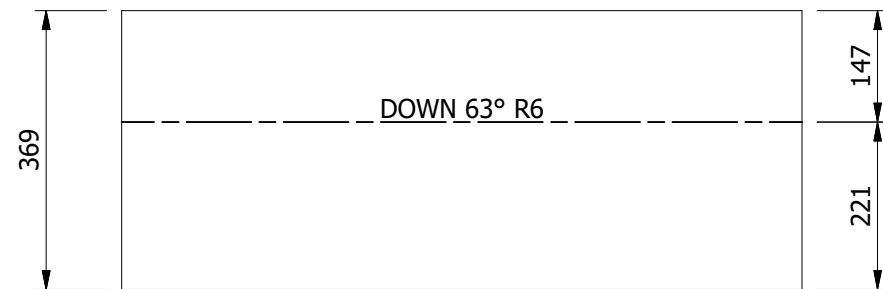
VISTA FRONTAL
SCALE 1:10



VISTA LATERAL
SCALE 1:10



VISTA ISOMETRICA
SCALE 1:10



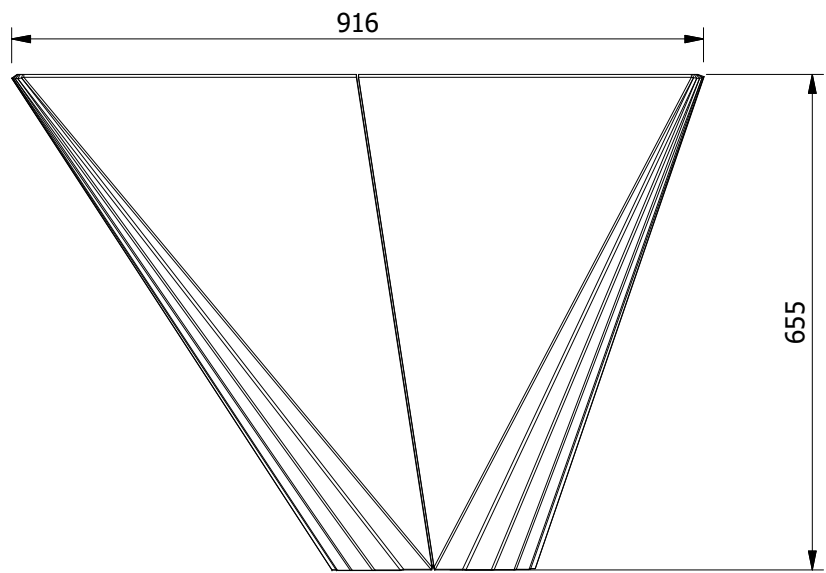
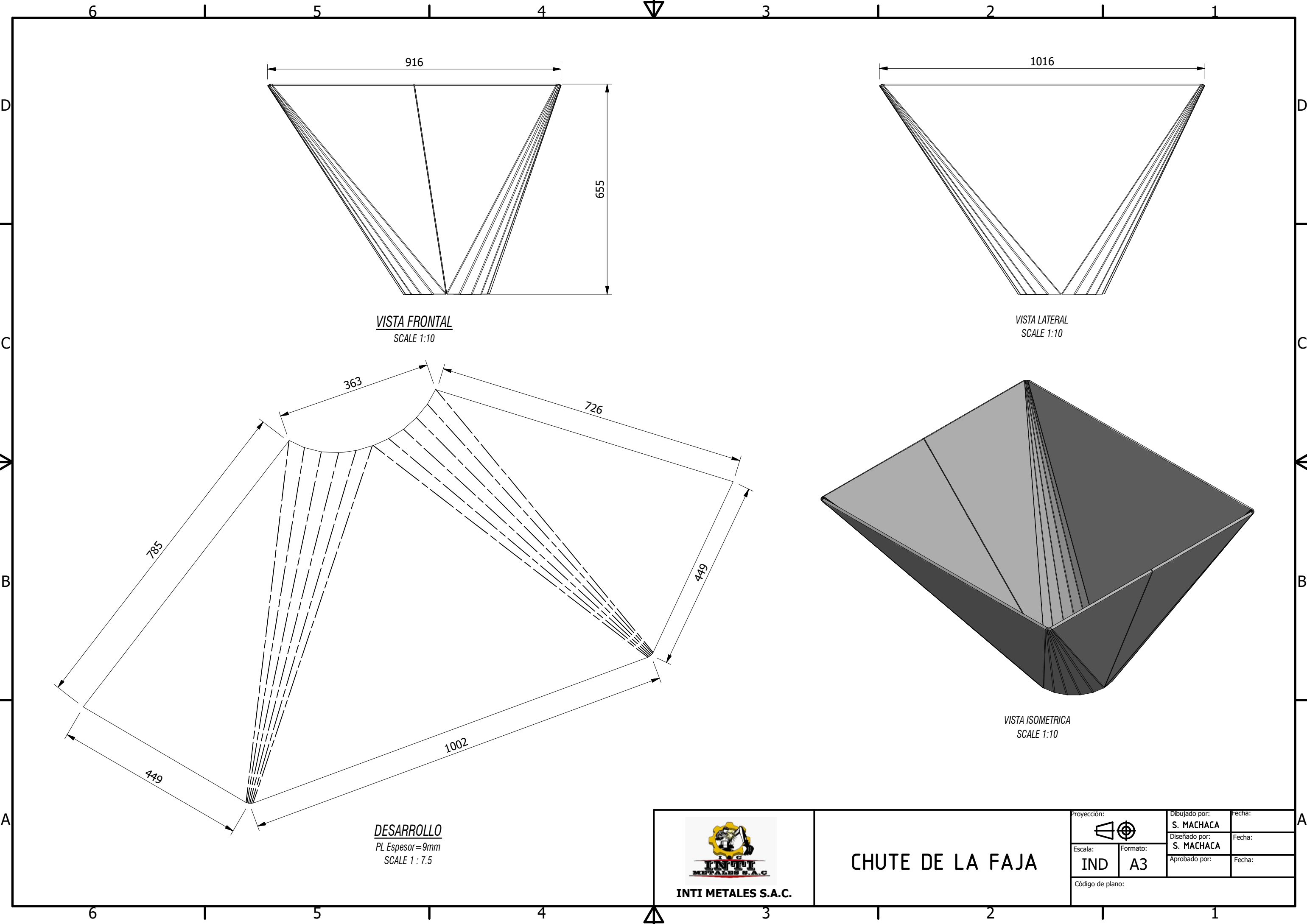
DESARROLLO
PL Espesor=6mm
SCALE 1:10



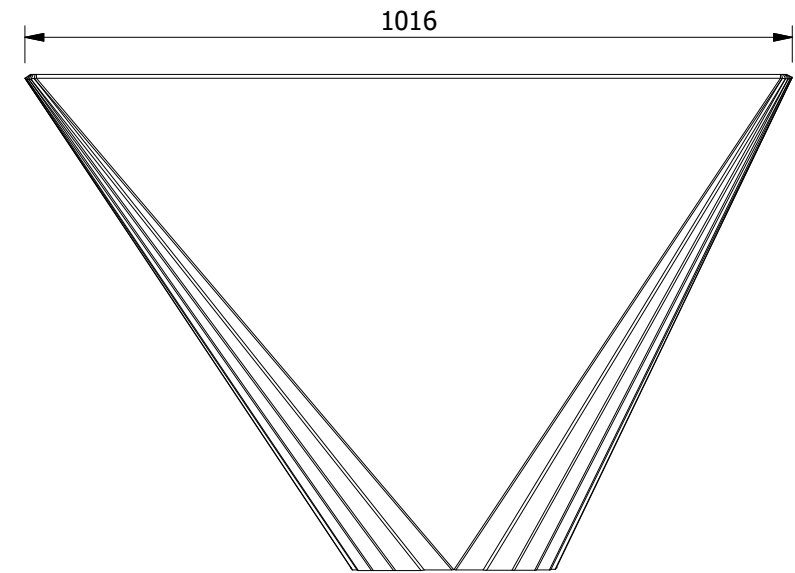
INTI METALES S.A.C.

TUS1-TSU2

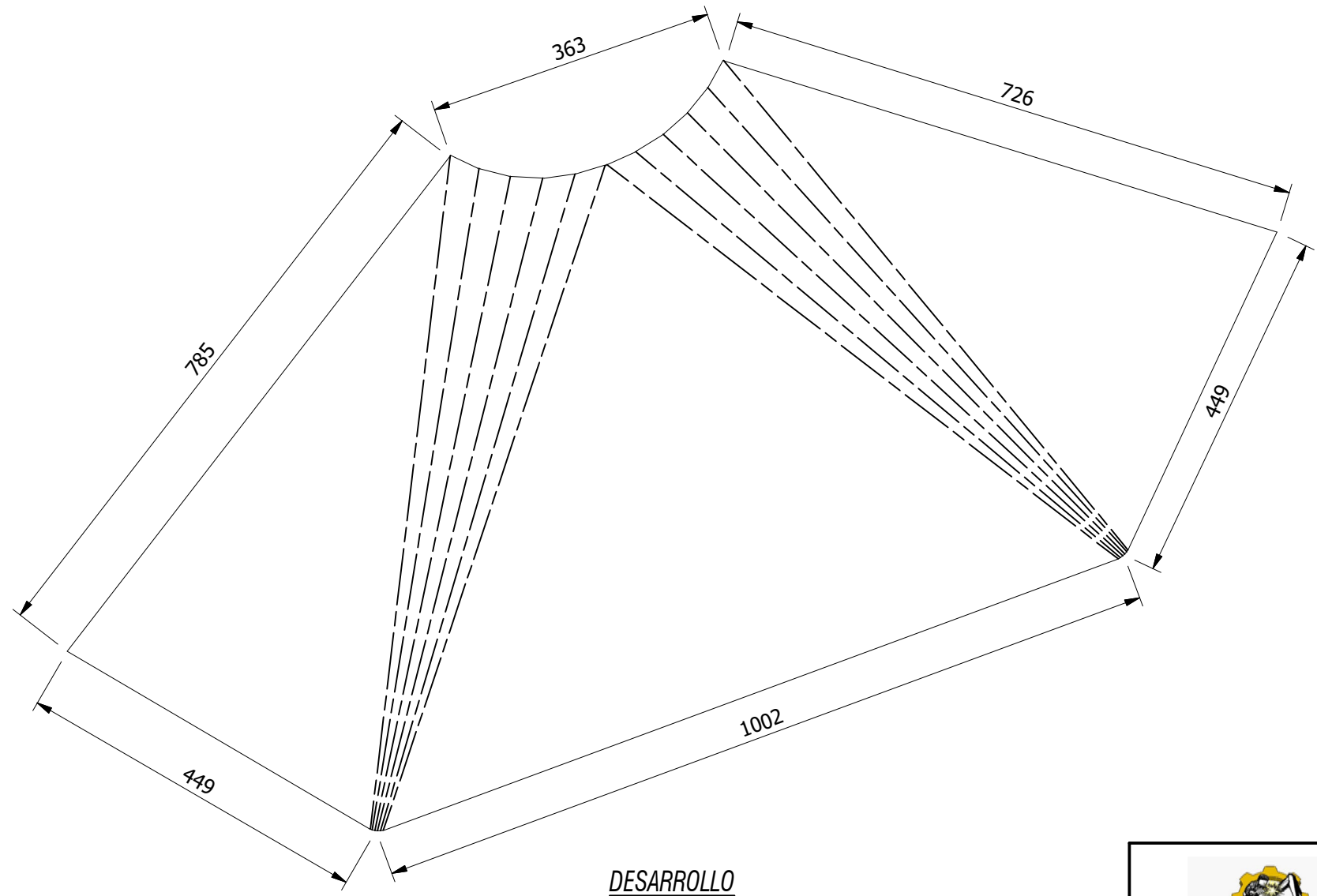
Proyección: 		Dibujado por: S. MACHACA	Fecha:
Escala: IND	Formato: A3	Diseñado por: S. MACHACA	Fecha:
Código de plano:		Aprobado por:	Fecha:



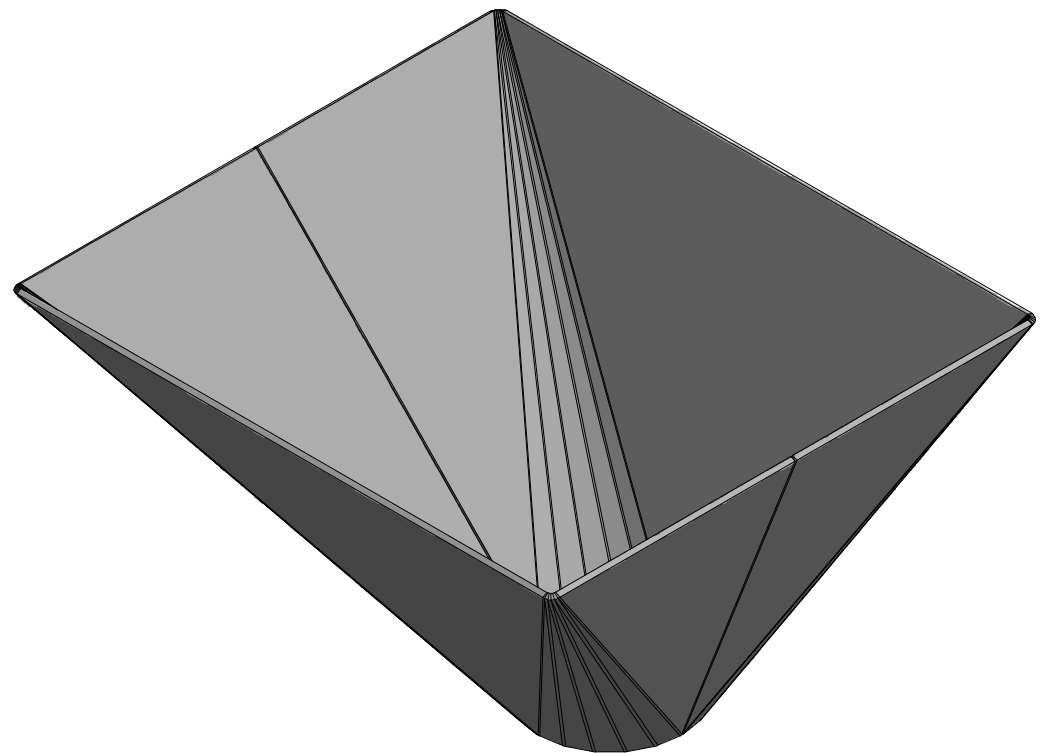
VISTA FRONTAL
SCALE 1:10



VISTA LATERAL
SCALE 1:10



DESARROLLO
PL Espesor=9mm
SCALE 1: 7.5



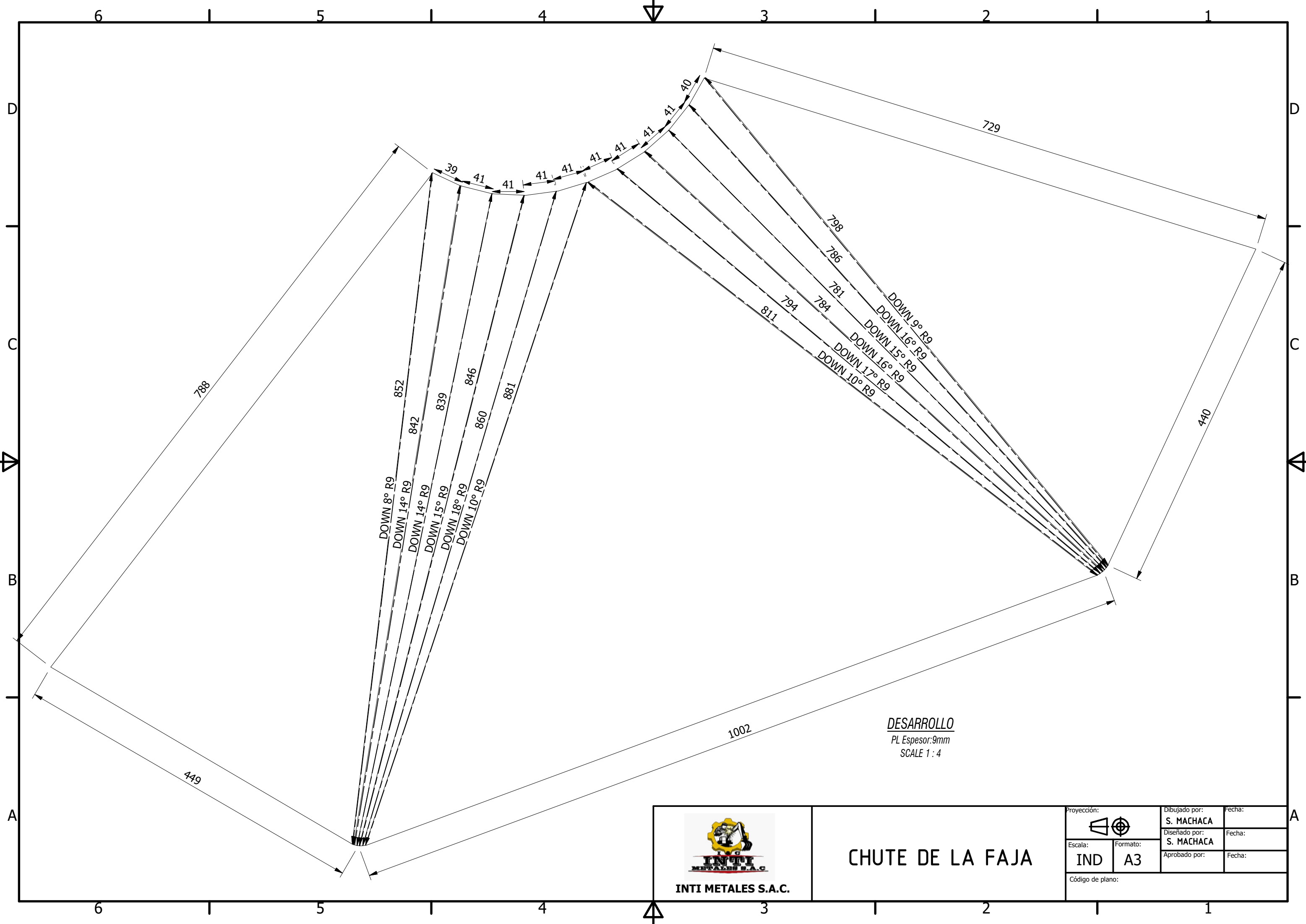
VISTA ISOMETRICA
SCALE 1:10



INTI METALES S.A.C.

CHUTE DE LA FAJA

Proyección: 		Dibujado por: S. MACHACA	Fecha:
Escala: IND	Formato: A3	Diseñado por: S. MACHACA	Fecha:
Código de plano:		Aprobado por:	Fecha:



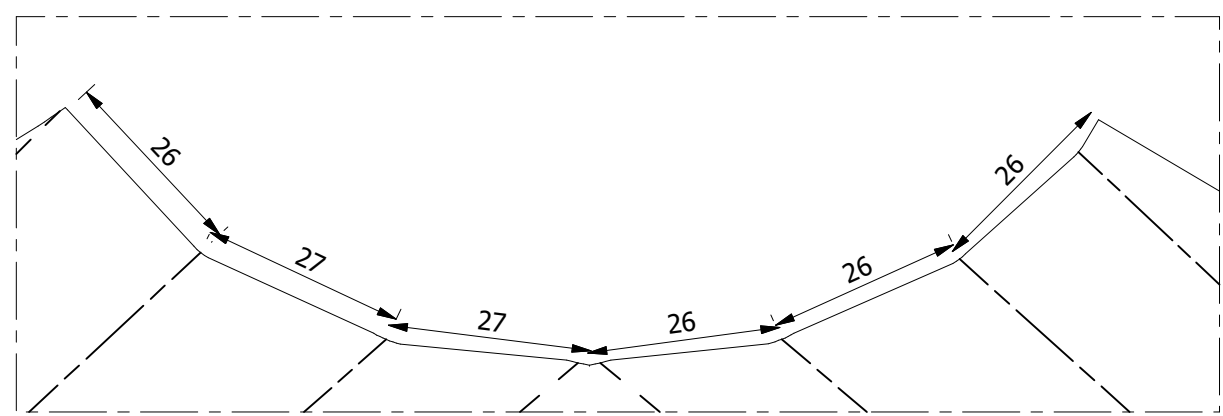
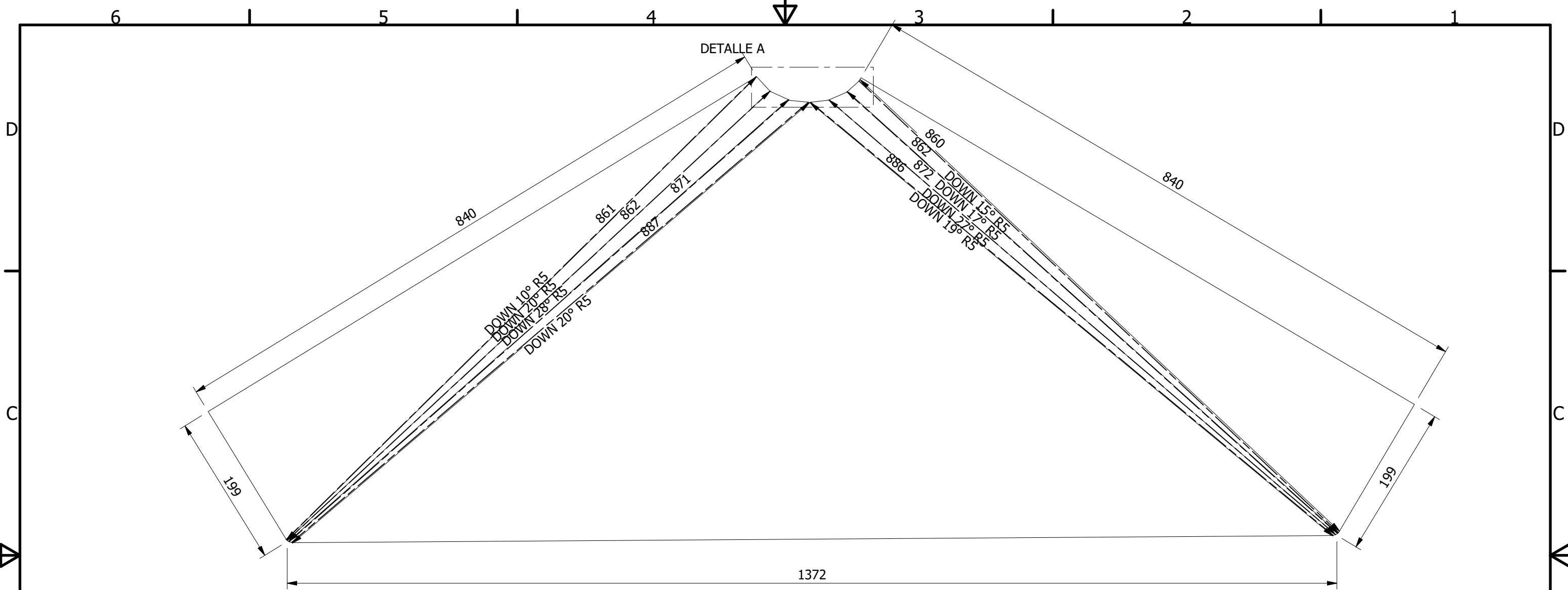
DESARROLLO
 PL Espesor: 9mm
 SCALE 1 : 4



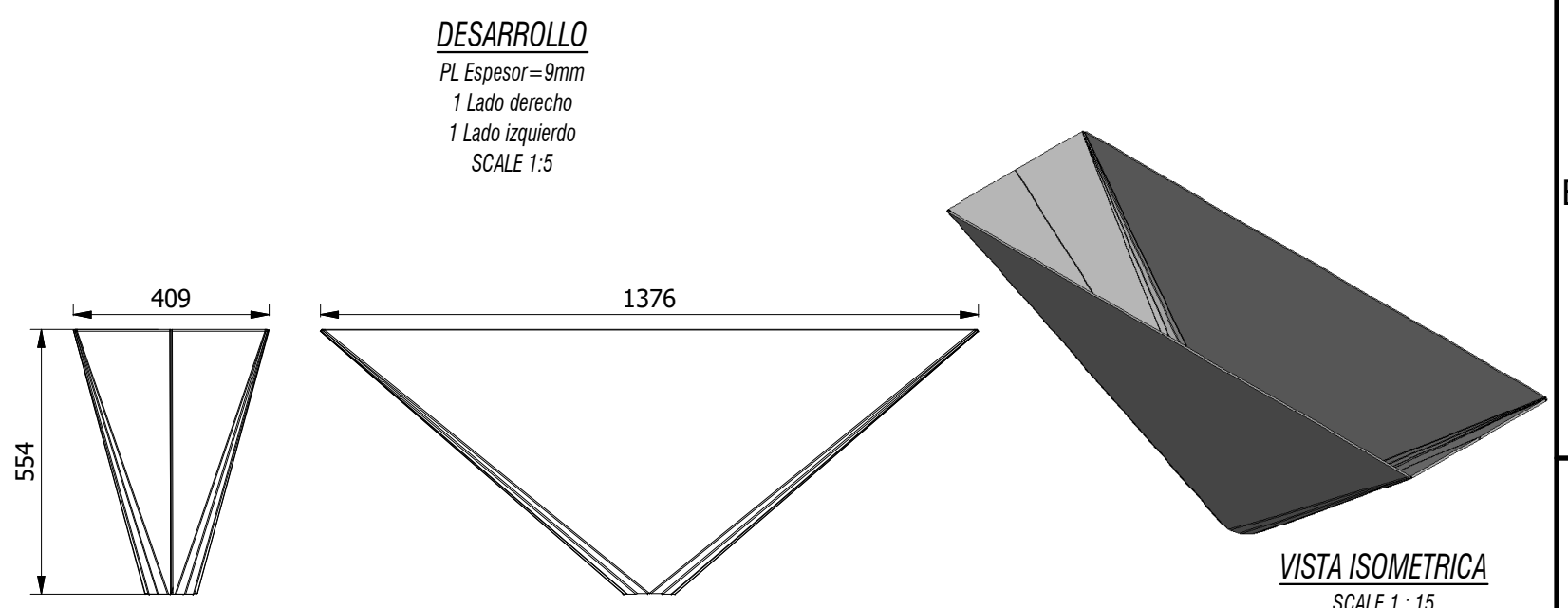
INTI METALES S.A.C.

CHUTE DE LA FAJA

Proyección: 		Dibujado por: S. MACHACA	Fecha:
Escala: IND	Formato: A3	Diseñado por: S. MACHACA	Fecha:
Código de plano:		Aprobado por:	Fecha:



DETAIL DETALLE A
 SCALE 1:1



VISTA FRONTAL
 SCALE 1:15

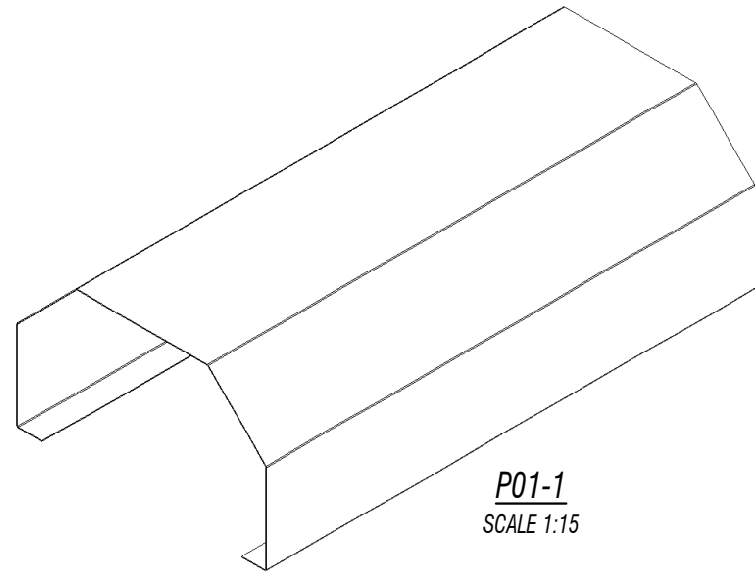
VISTA LATERAL
 SCALE 1:15



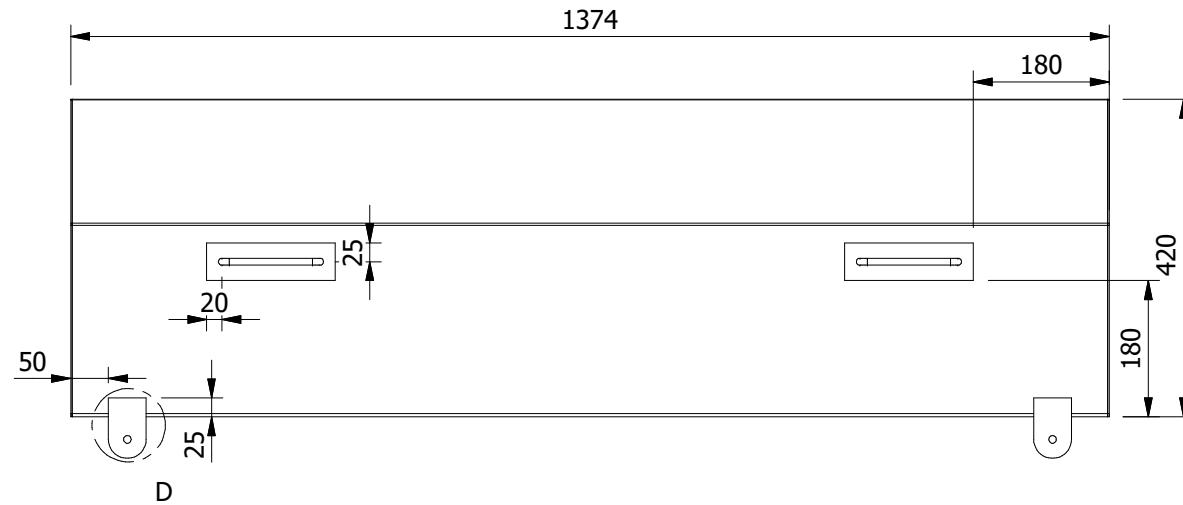
INTI METALES S.A.C.

CHUTE DEL MUESTREADOR

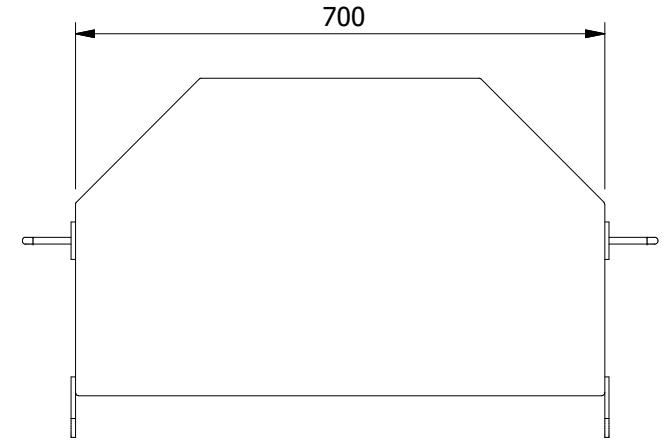
Proyección:		Dibujado por:	Fecha:
		S. MACHACA	
Escala:	Formato:	Diseñado por:	Fecha:
IND	A3		
Código de plano:		Aprobado por:	Fecha:



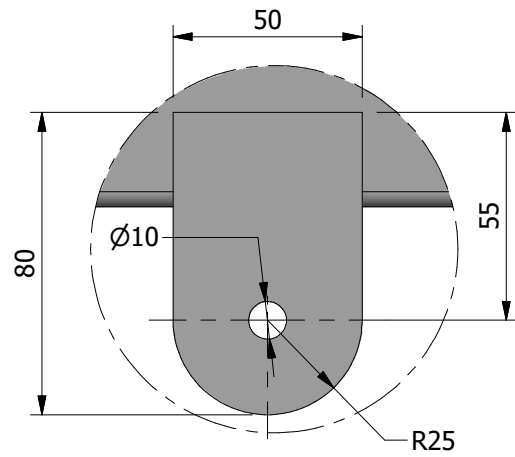
P01-1
SCALE 1:15



VISTA FRONTAL
SCALE 1:10

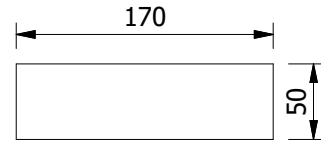


VISTA LATERAL
SCALE 1:10

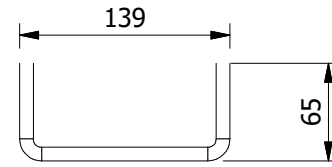


P01-2

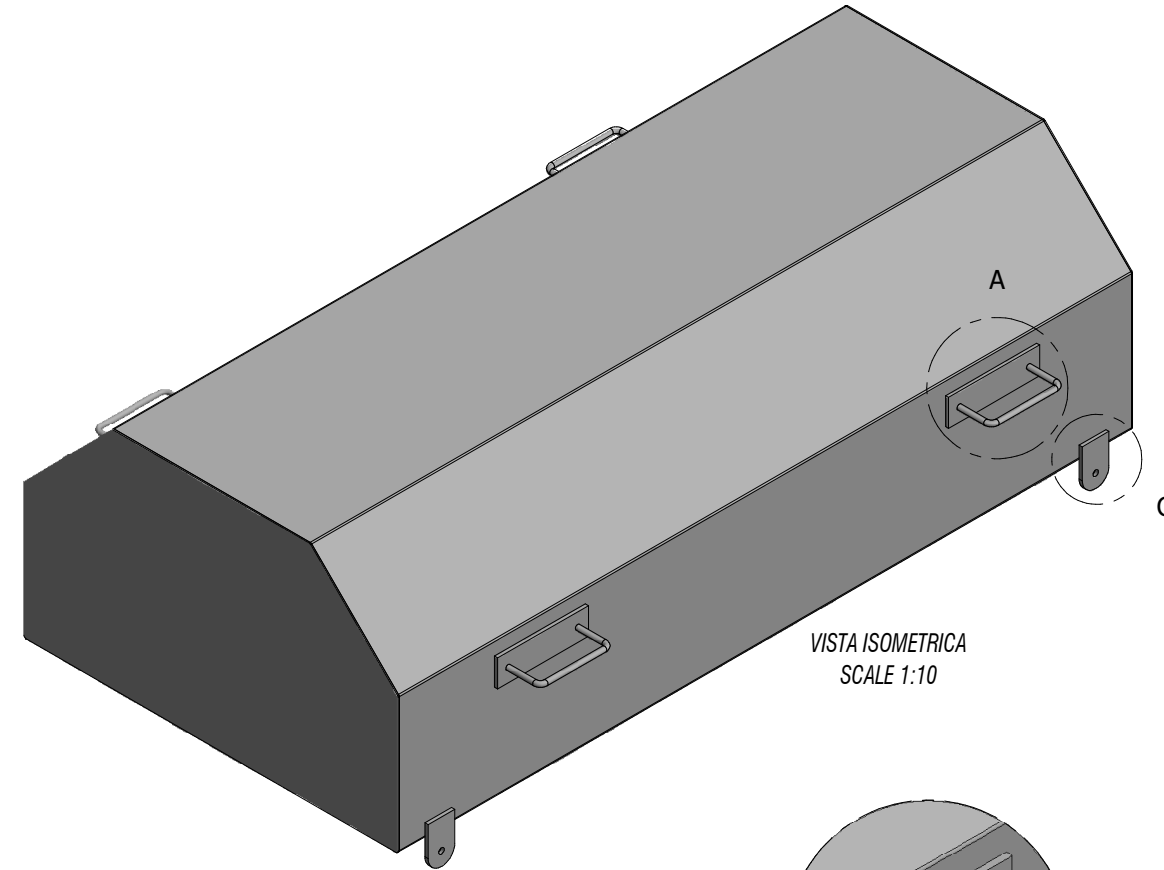
DETAIL D
SCALE 1:2
CANTIDAD: 4Und.
ESPESOR=6mm



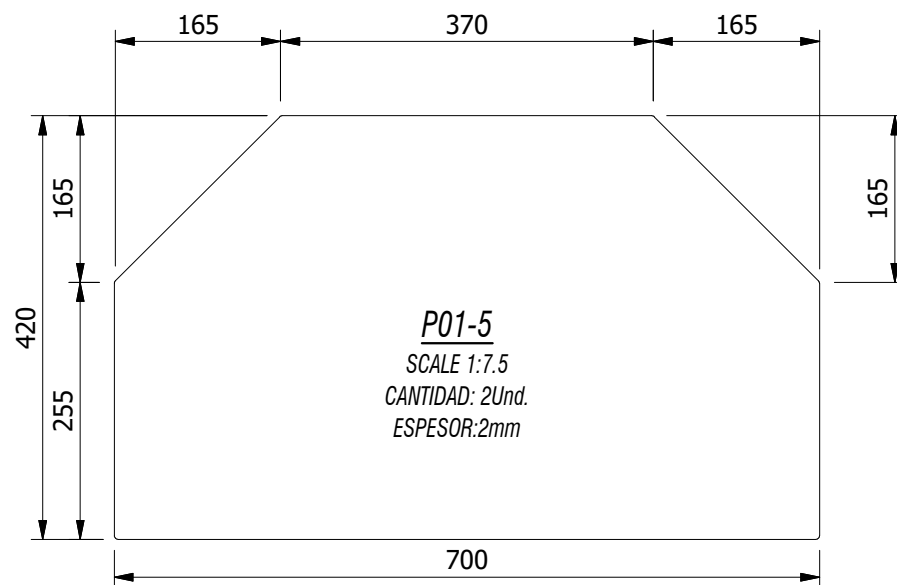
P01-3
SCALE 1:5
CANTIDAD: 4Und.
ESPESOR=6mm



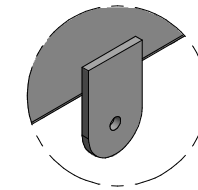
P01-4
SCALE 1:5
CANTIDAD: 4Und.
BARRA LISA \varnothing 9mm



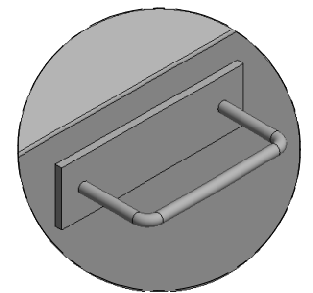
VISTA ISOMETRICA
SCALE 1:10



P01-5
SCALE 1:7.5
CANTIDAD: 2Und.
ESPESOR:2mm



DETAIL C
SCALE 1 / 5



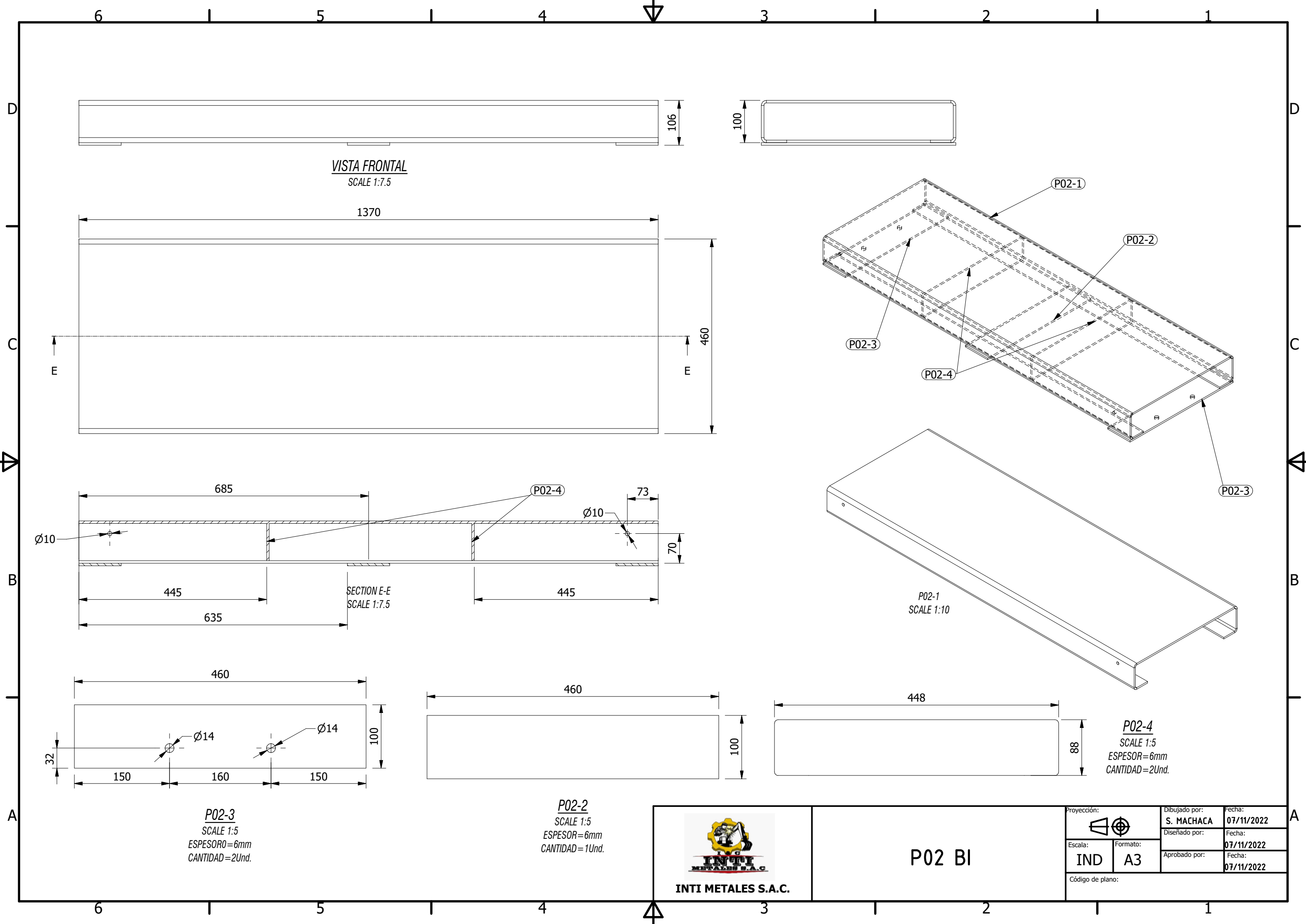
DETAIL A
SCALE 1:5



INTI METALES S.A.C.

TAPA DE MOTOR

Proyección:		Dibujado por:	Fecha:
		S. MACHACA	
Escala:	Formato:	Diseñado por:	Fecha:
IND	A3	S. MACHACA	
Código de plano:		Aprobado por:	Fecha:



P02-3
SCALE 1:5
ESPESOR=6mm
CANTIDAD=2Und.

P02-2
SCALE 1:5
ESPESOR=6mm
CANTIDAD=1Und.

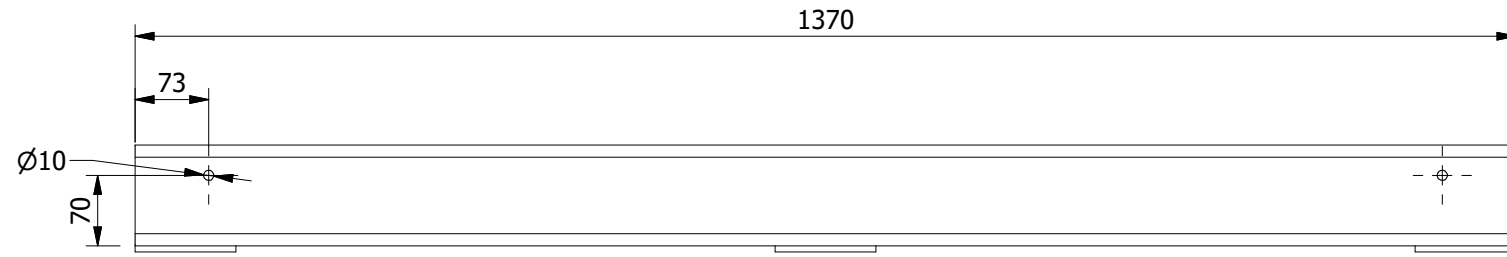
P02-4
SCALE 1:5
ESPESOR=6mm
CANTIDAD=2Und.



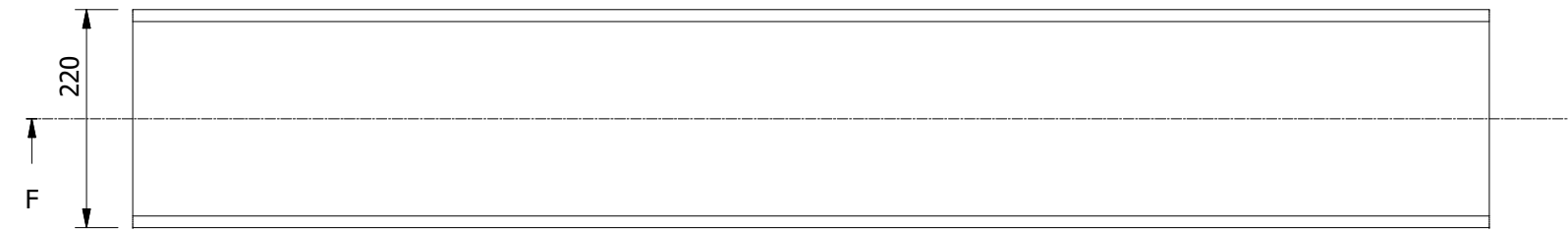
INTI METALES S.A.C.

P02 BI

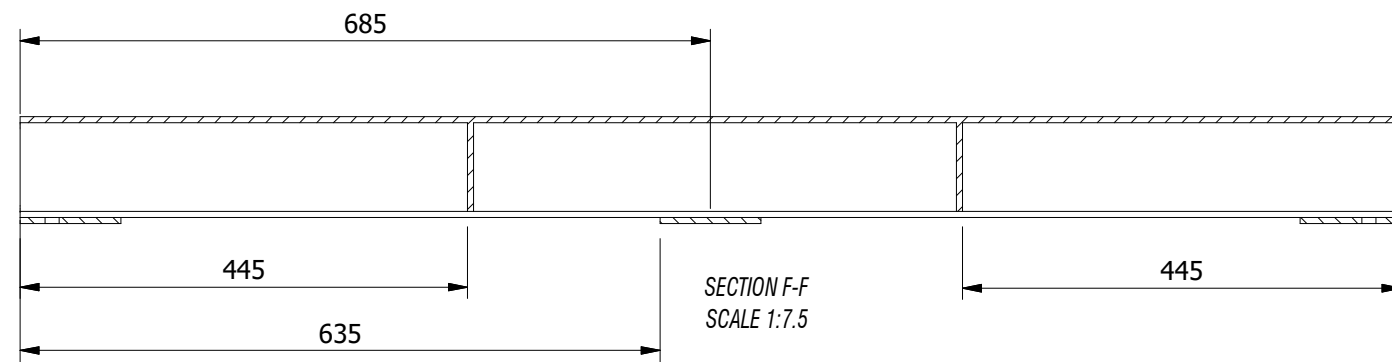
Proyección:		Dibujado por:	Fecha:
		S. MACHACA	07/11/2022
Escala:	Formato:	Diseñado por:	Fecha:
IND	A3		07/11/2022
Código de plano:		Aprobado por:	Fecha:
			07/11/2022



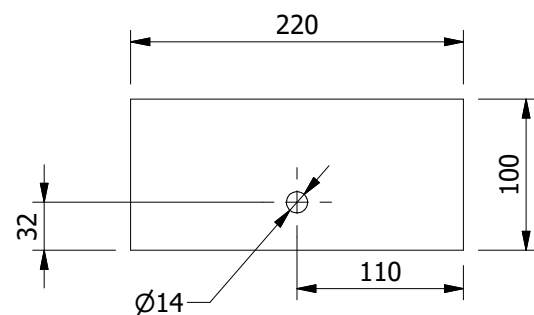
VISTA FRONTAL
SCALE 1:7.5



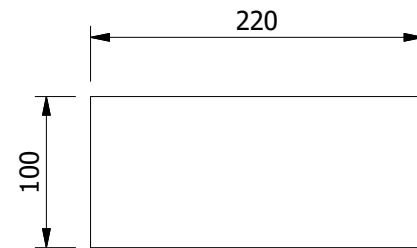
VISTA SUPERIOR
SCALE 1:7.5



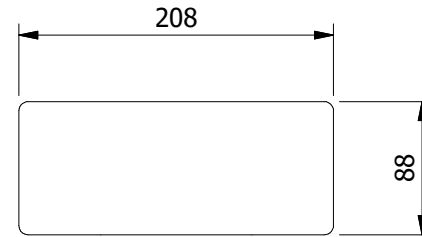
SECTION F-F
SCALE 1:7.5



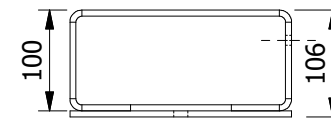
P03-3
SCALE 1:5
ESPESOR=6mm
CANTIDAD=2Und.



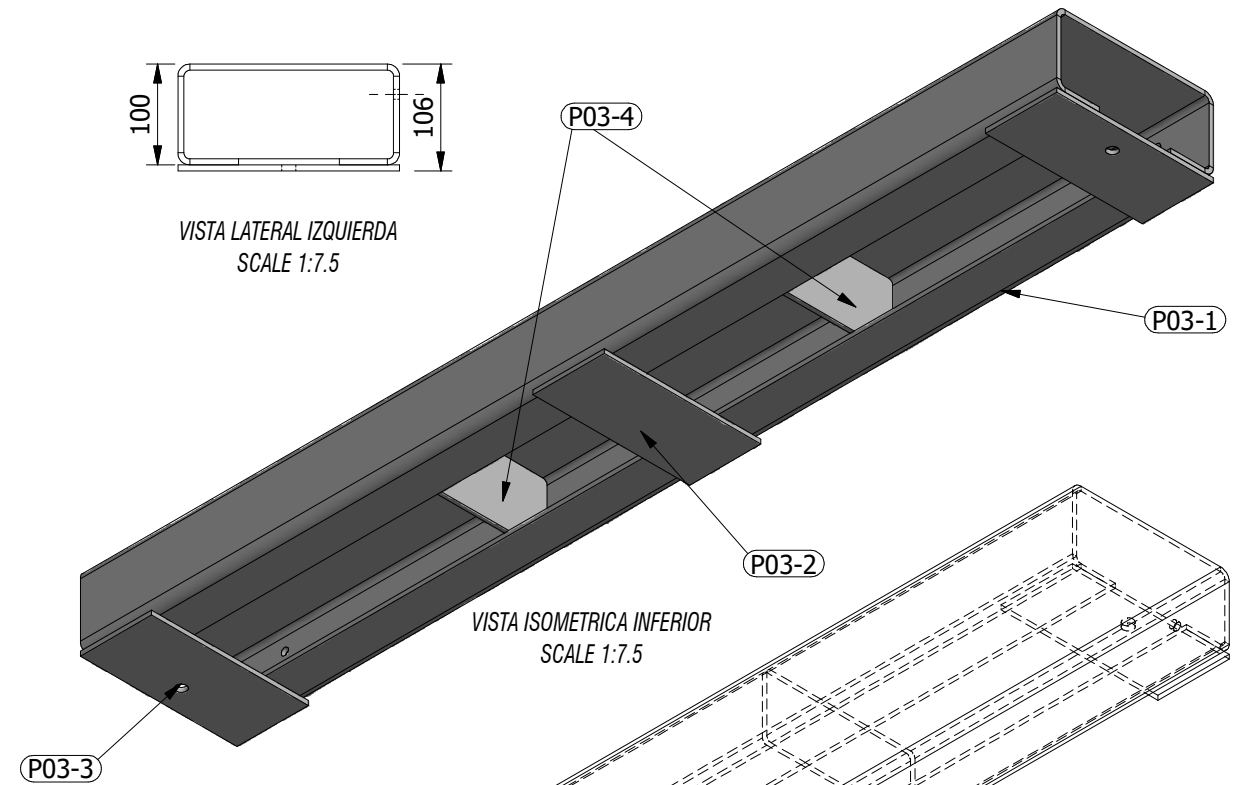
P03-2
SCALE 1:5
ESPESOR=6mm
CANTIDAD=1Und.



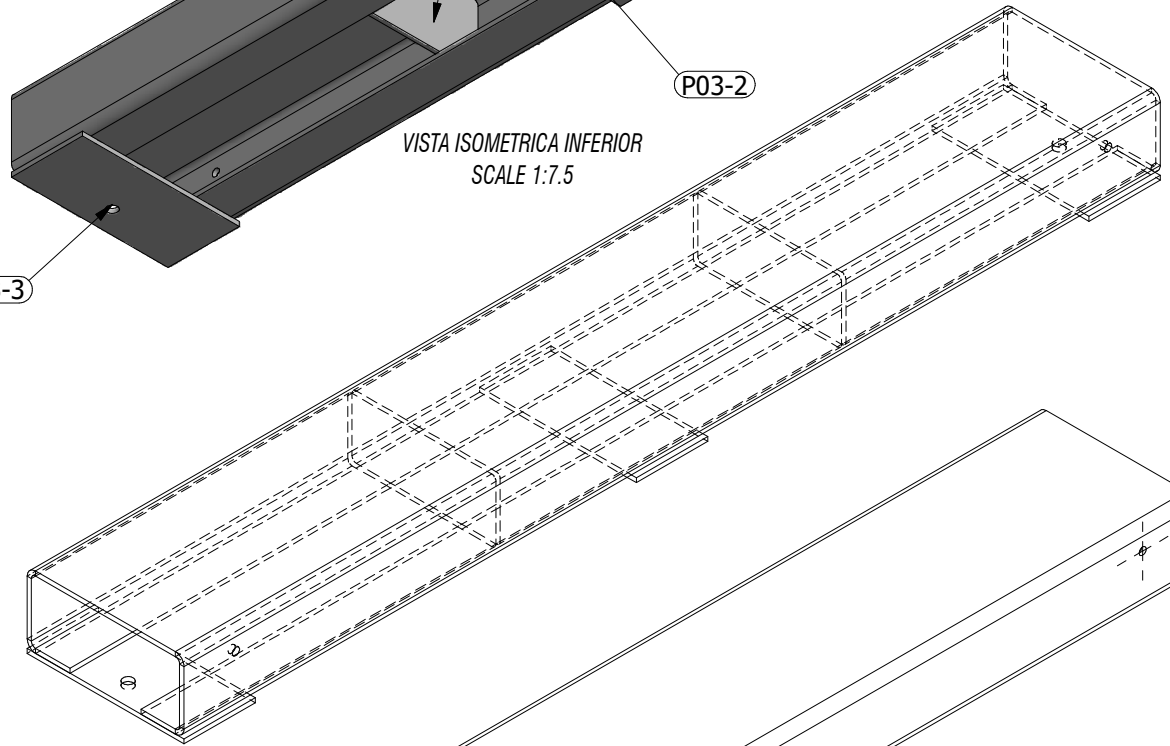
P03-4
SCALE 1:5
ESPESOR=6mm
CANTIDAD=2Und.



VISTA LATERAL IZQUIERDA
SCALE 1:7.5



VISTA ISOMETRICA INFERIOR
SCALE 1:7.5



P03-1
SCALE 1:7.5



INTI METALES S.A.C.

P03 BD

Proyección: 		Dibujado por: S. MACHACA	Fecha:
Escala: IND	Formato: A3	Diseñado por:	Fecha:
Código de plano:		Aprobado por:	Fecha:

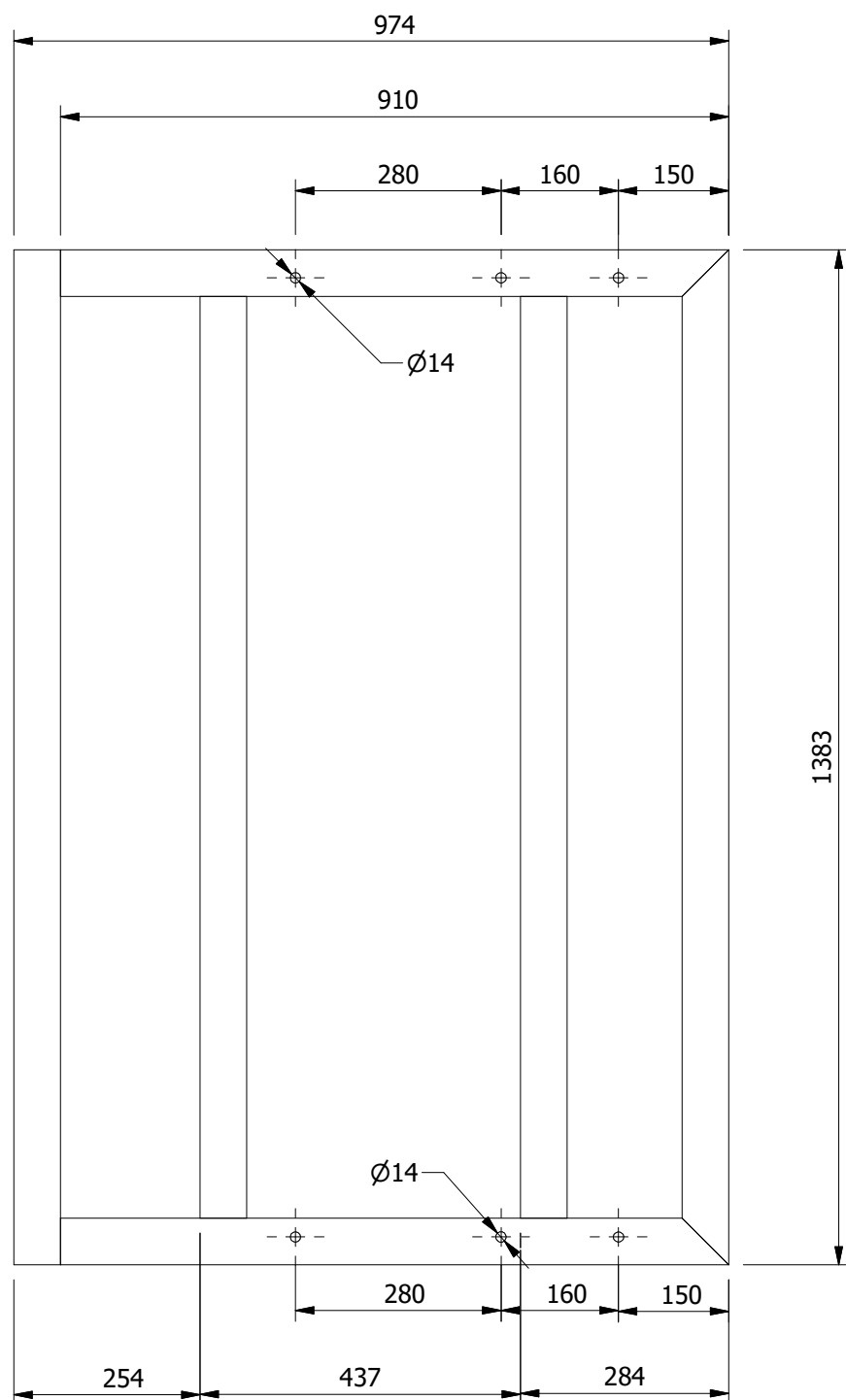
LISTA DE PARTES - PARA 1 UND.			
	Cantidad	LONGITUD	MATERIAL
1	1	1 mm	Genérico
2	4	265 mm	L 2.5x2.5x1/4
3	2	1383 mm	L 2.5x2.5x1/4
4	2	910 mm	L 2.5x2.5x1/4
5	1	1376 mm	L 2.5x2.5x1/4
6	1	1376 mm	L 2.5x2.5x1/4



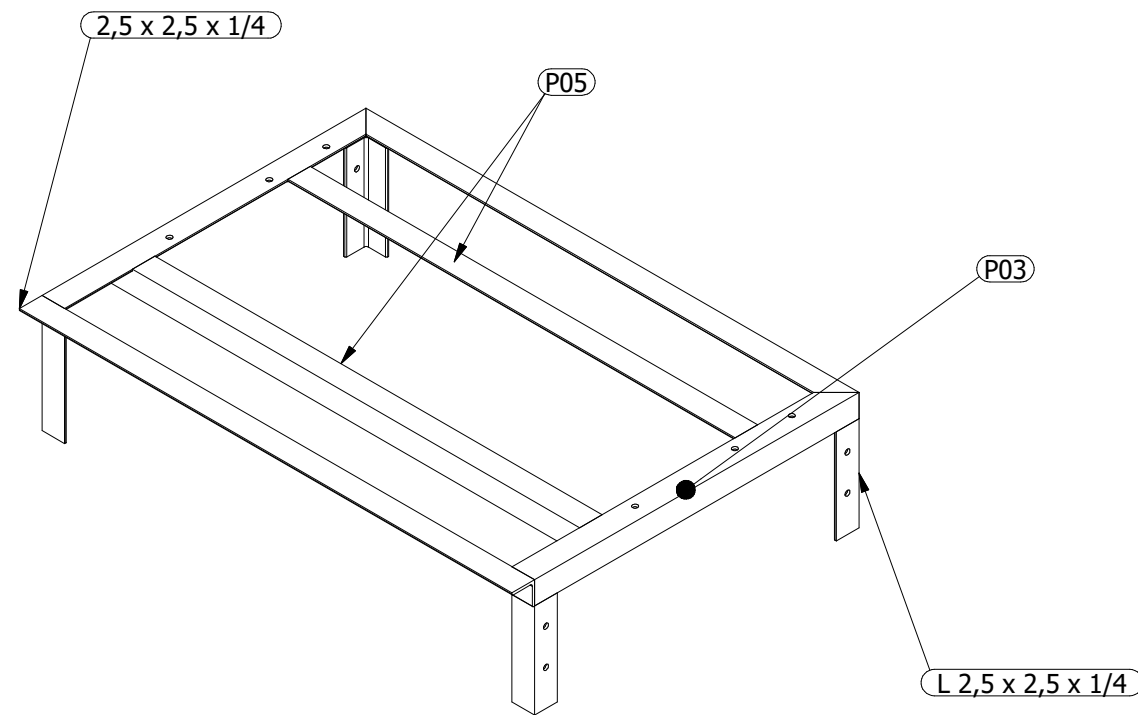
VISTA FRONTAL
SCALE 1:10



VISTA LATERAL
SCALE 1:10

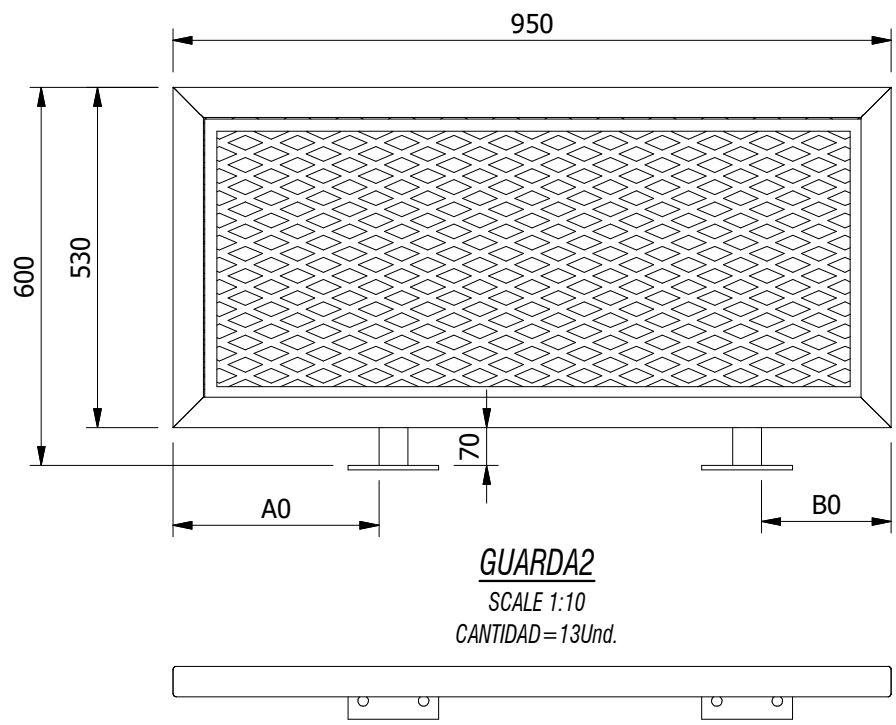


VISTA ISOMETRICA
SCALE 1:15

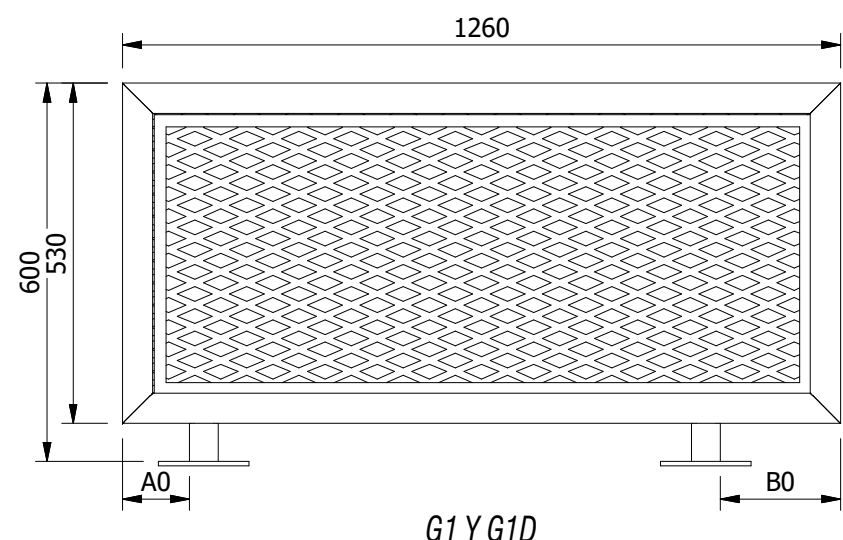


P04 ESTRUCTURA DE APOYO

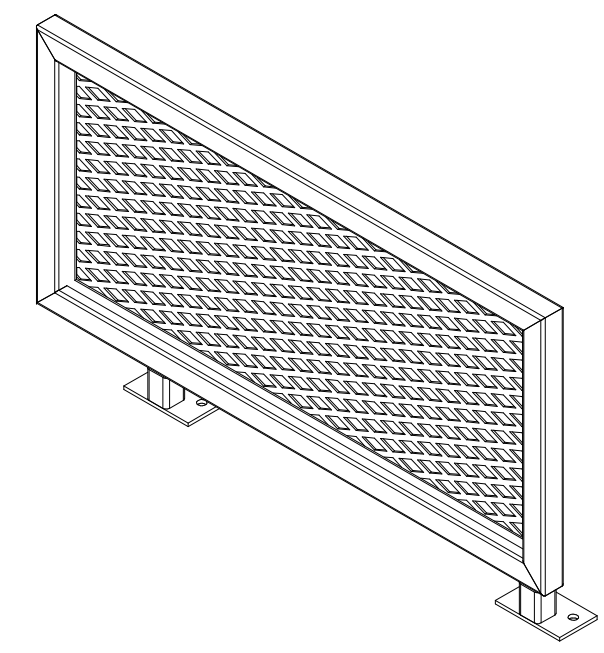
Proyección:		Dibujado por:	S. MACHACA	Fecha:
Escala:	IND	Diseñado por:		Fecha:
Formato:	A3	Aprobado por:		Fecha:
Código de plano:				



GUARDA2
SCALE 1:10
CANTIDAD=13Und.

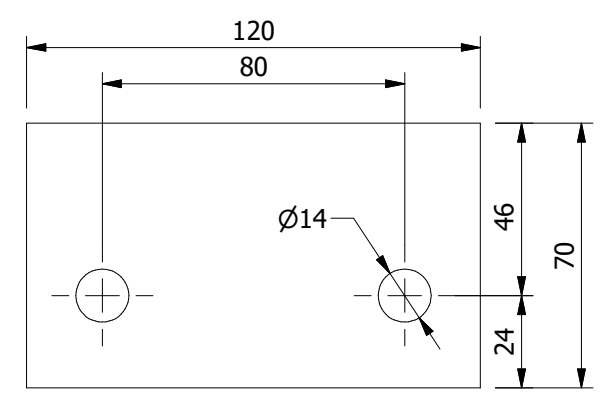


G1 Y G1D
SCALE 1:10
CANTIDAD=2Und.

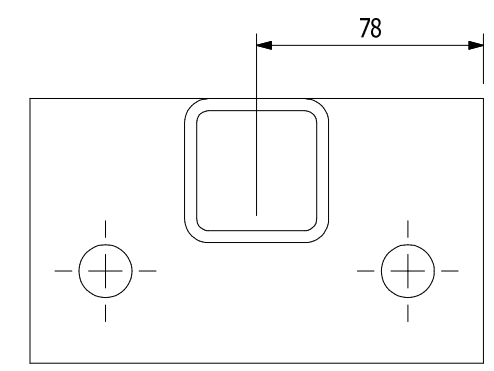


VISTA ISOMETRICA
SCALE 1:10

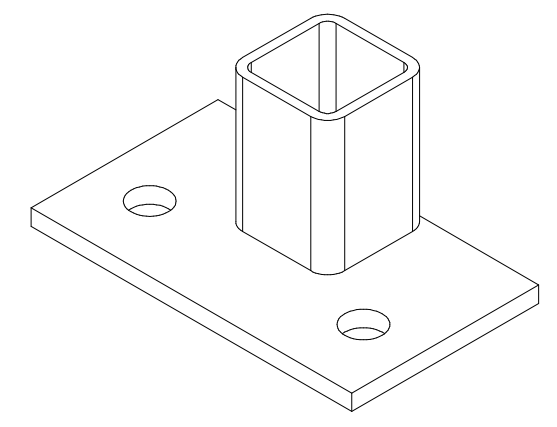
MEDIDAS		
ITEM	A0	B0
G1	207	320
G2	156	250
G3	159	89
G4	172	273
G5	334	116
G6	67	111
G7	111	60
G8	19	90
G1D	320	207
G2D	250	156
G3D	89	159
G4D	273	172
G5D	116	334
G6D	111	67
G7D	60	111



PLANCHA BASE
SCALE 1 : 2
ESPESOR = 6mm



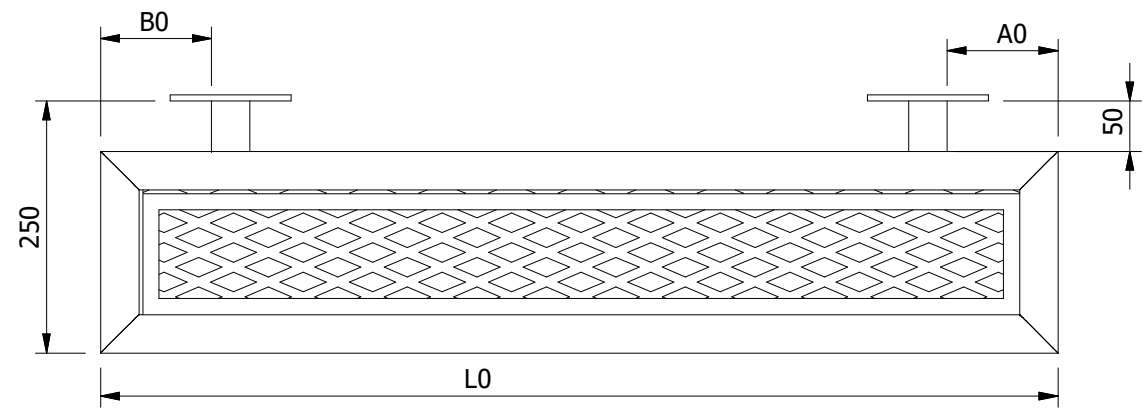
PATA
SCALE 1:2



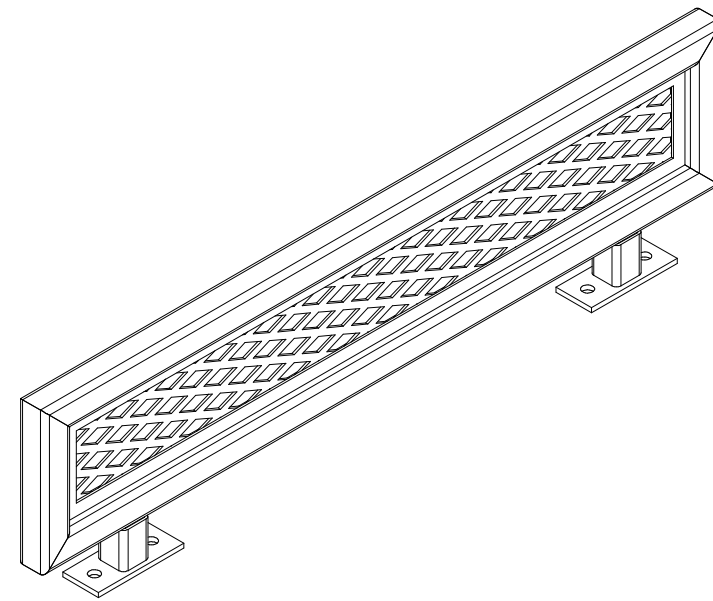
INTI METALES S.A.C.

GUARDAS SUPERIORES

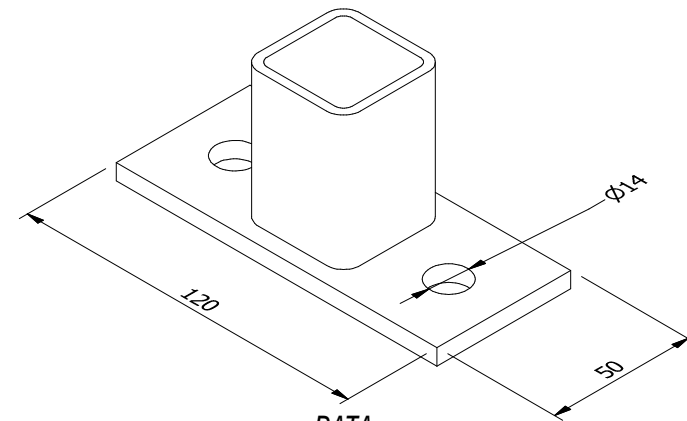
Proyección: 		Dibujado por: S. MACHACA	Fecha:
Escala: IND	Formato: A3	Diseñado por: S. MACHACA	Fecha:
Código de plano:		Aprobado por:	Fecha:



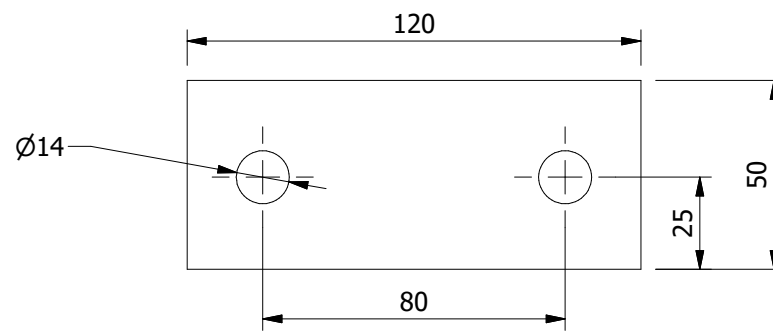
GUARDA INFERIOR
SCALE 1:7.5



MEDIDAS DE DISTRIBUCION			
ITEM	A0	B0	L0
G11	110	110	950
G12	110	110	950
G13	110	110	950
G14	240	110	950
G15	110	110	850
G16	110	110	1400
G1D1	110	110	950
G1D2	110	110	950
G1D3	110	110	950
G1D4	110	240	950
G1D5	110	110	850
G1D6	110	110	1400



PATA
SCALE 1:2

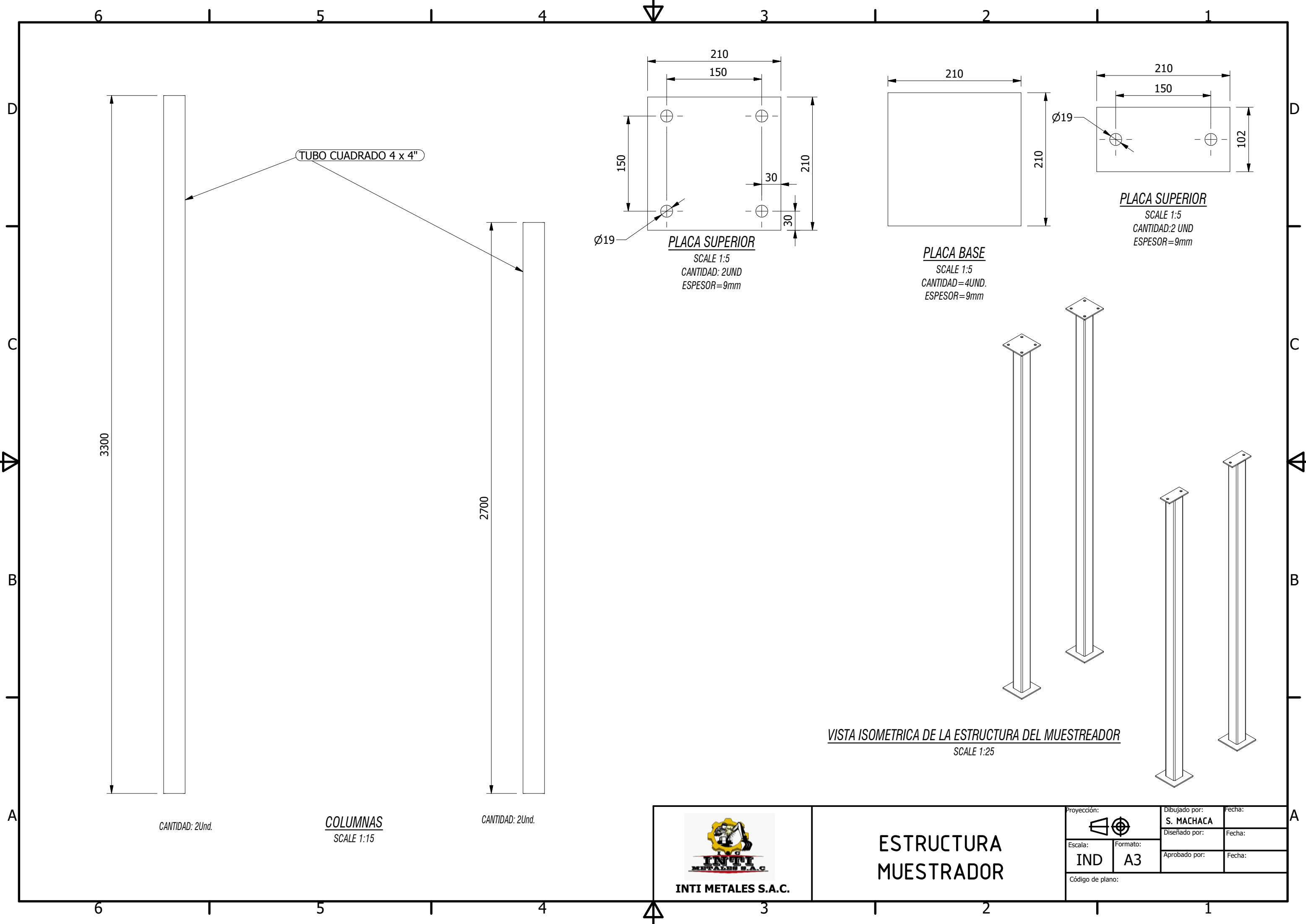


PLANCHA BASE INFERIOR
SCALE 1:2




INTI METALES S.A.C.

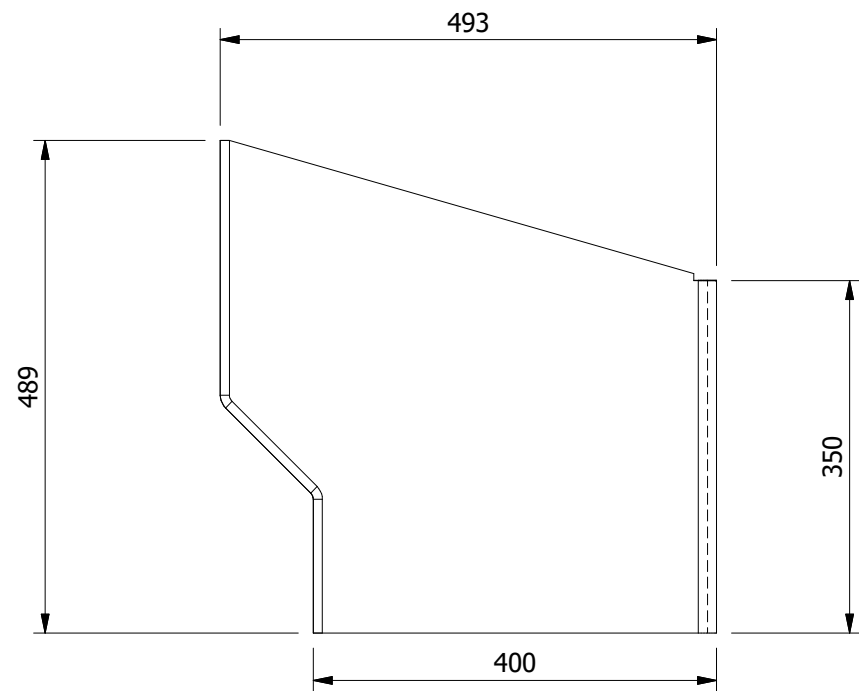
Proyección:		Dibujado por:	USER	Fecha:
Escala:	IND	Diseñado por:	USER	Fecha:
Formato:	A3	Aprobado por:		Fecha:
Código de plano:				



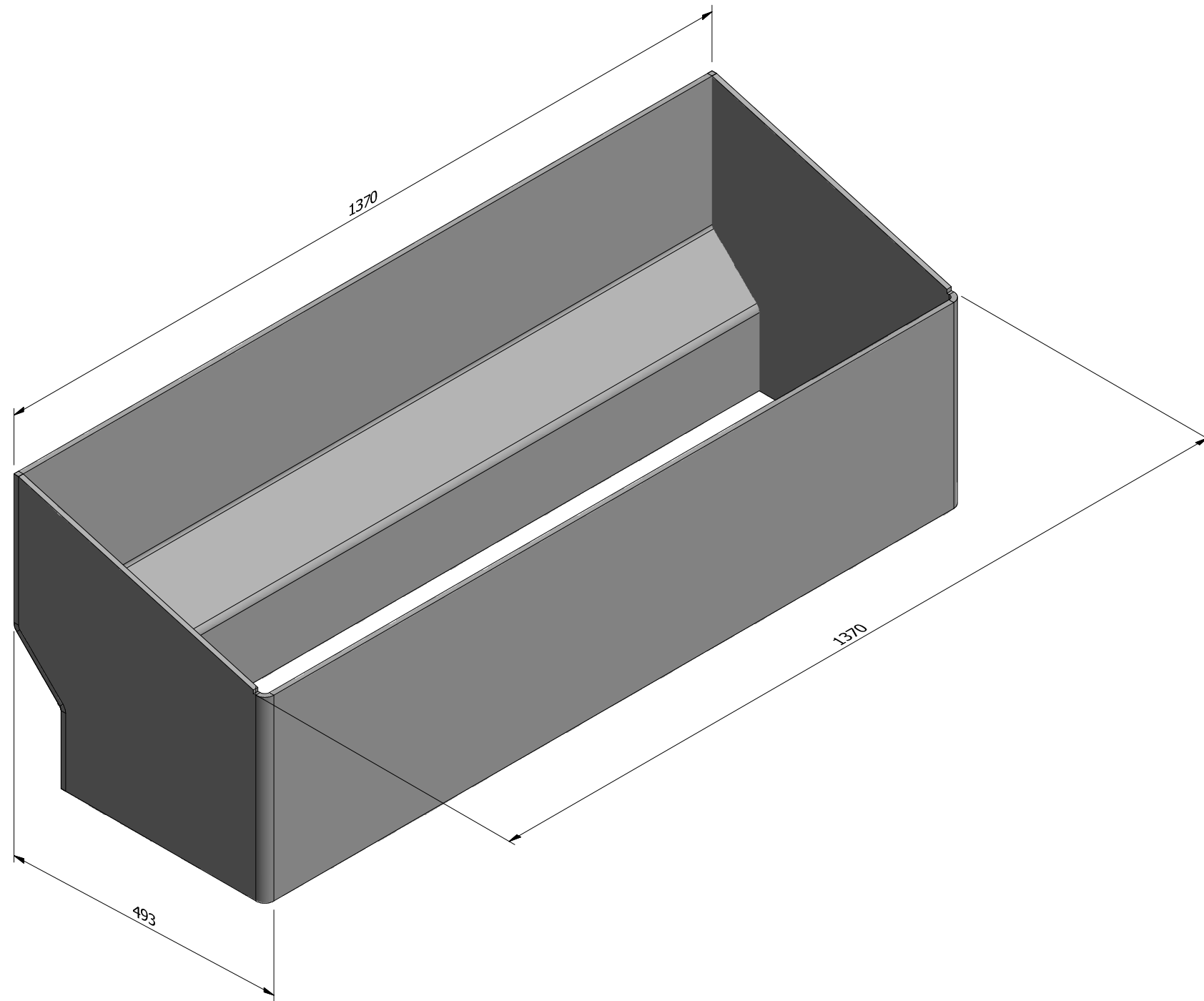
INTI METALES S.A.C.

ESTRUCTURA MUESTRADOR

Proyección:		Dibujado por:	Fecha:
		S. MACHACA	
		Diseñado por:	Fecha:
Escala:	Formato:	Aprobado por:	Fecha:
IND	A3		
Código de plano:			



VISTA LATERAL
SCALE 1:7.5



INTI METALES S.A.C.

P07 BFF

Proyección:



Dibujado por:

S. MACHACA

Fecha:

Escala:

IND

Formato:

A3

Diseñado por:

Fecha:

Aprobado por:

Fecha:

Código de plano: