



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TEMA:

"DISEÑO DE UN IRON HORSE FLEX PARA EL TRANSPORTE DE TUBOS DE PERFORACIÓN EN LA EMPRESA GOLDTECH DRILLING".

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial.

Autor

Villacís Altamirano Anthony Samuel.

Tutor

Ing. Saá Tapia David Fernando; Mg.

AMBATO – ECUADOR

2025

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA,
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Yo, Anthony Samuel Villacis Altamirano, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular con el "**DISEÑO DE UN IRON HORSE FLEX PARA EL TRANSPORTE DE TUBOS DE PERFORACIÓN EN LA EMPRESA GOLDTECH DRILLING**", como requisito para optar al grado de Ingeniero Industrial y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Ambato, a los 15 días del mes de Febrero de 2025, firmo conforme:

Autor: Villacis Altamirano Anthony Samuel

Firma:

Número de Cédula: 1805372420

Dirección: Tungurahua, Ambato, Av. Pasteur y Colombia.

Correo Electrónico: anthonyvillacis656@gmail.com

Teléfono: 0987721264

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Integración Curricular “DISEÑO DE UN IRON HORSE FLEX PARA EL TRANSPORTE DE TUBOS DE PERFORACIÓN EN LA EMPRESA GOLDTECH DRILLING.” presentado por Villacis Altamirano Anthony Samuel, para optar por el Título Ingeniero Industrial,

CERTIFICO

Que dicho Trabajo de Integración Curricular ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte los Lectores que se designe.

Ambato, 15 de Febrero del 2025

.....
Ing. Saá Tapia David Fernando; Mg.

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Integración Curricular, como requerimiento previo para la obtención del Título de Ingeniero Industrial, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor

Ambato, 15 de febrero del 2025

.....
Villacís Altamirano Anthony Samuel

1805372420

APROBACIÓN DE LECTORES

El Trabajo de Integración Curricular ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: DISEÑO DE UN IRON HORSE FLEX PARA EL TRANSPORTE DE TUBOS DE PERFORACIÓN EN LA EMPRESA GOLDTECH DRILLING., previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del Trabajo de Integración Curricular.

Ambato, 15 de febrero de 2025

.....

PhD. José Luis Varela Aldas
LECTOR

.....

PhD. Fernando Alfonso Chicaiza Claudio
LECTOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia y a mi perrito Loky, quien me acompañó incondicionalmente en cada desvelo y madrugada, demostrando que el amor y la amistad verdaderos existen.

A mi padre, por su sacrificio, apoyo incondicional y por motivarme siempre a perseguir mis sueños. A la distancia, su cariño y sus palabras han sido mi refugio. A mi madre, mi mayor inspiración, quien me enseñó a no rendirme y a ver la luz aun en los momentos más difíciles. Gracias por su amor infinito y por darme las herramientas para ser la persona que soy hoy.

A mis hermanos, por su compañía, consejos y por hacer mi vida más alegre. A mi hermana, por su apoyo constante, sus consejos y por ser como una segunda madre para mí.

A mis dos familias, la familia Gaibor, que me enseñó e inculcó valores desde mi niñez hasta la adolescencia, y la familia Casares, que me acompañó y respaldó durante mi etapa universitaria. Mil gracias por hacerme sentir siempre como uno más de la familia.

A mis amigos, que han estado a mi lado en cada etapa, brindándome su apoyo incondicional. Gracias por cada risa y por ser parte de este camino.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la oportunidad de cumplir este sueño, por brindarme la fuerza y sabiduría necesarias para seguir adelante en mi camino académico. A mis docentes, quienes compartieron conmigo sus conocimientos y experiencias, los cuales serán fundamentales en esta nueva etapa de mi vida.

A mi tutor de tesis, por su guía, su profesionalismo y su calidad humana, que fueron clave en este proceso. A la universidad, por ser el espacio donde no solo adquirí aprendizajes valiosos, sino también donde conocí a grandes amigos de clase, quienes se convertirán en colegas y compañeros de vida.

A todos ellos, mi más sincero agradecimiento.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR.....	ii
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iv
APROBACIÓN DE LECTORES.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	xv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xviii
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	xix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xx
RESUMEN.....	xxii
ABSTRACT.....	xxiii

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN.....	1
Antecedentes.....	3
Justificación.....	4
Objetivo general:.....	6
Objetivos Específicos:.....	6

CAPÍTULO II

INGENIERÍA DEL PROYECTO.....	6
Diagnóstico de la situación actual de la empresa:.....	6
Área de estudio:.....	15
Modelo operativo:.....	17

Desarrollo del modelo operativo	17
---------------------------------------	----

CAPÍTULO III

PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS	21
Presentación de la propuesta:	21
Cronograma de actividades	60
Análisis de costo y tiempo.	61

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
Conclusiones.....	62
Recomendaciones	63
Referencias Bibliográficas.....	65
Anexos	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Peso de tubería de perforación.....	8
Tabla 2. Cursograma analítico del proceso de transporte de tubería.....	10
Tabla 3. Toma 5 tiempos de transporte manual de tubería para cada operario.....	11
Tabla 4. Tiempos de transporte de tubería de forma manual hacia el proyecto.....	12
Tabla 5. Tiempos y costos de los operarios.....	13
Tabla 6. Ubicación de la empresa.....	14
Tabla 7. Área de estudio.....	15
Tabla 8. Comparación de materiales.....	21
Tabla 9. Datos y tiempo del iron horse.....	48
Tabla 10. Cursograma Del Proceso Con El Iron Horse Flex.....	53
Tabla 11 Tiempos y costos con la implementación del iron horse.....	55
Tabla 12. Cronograma de actividades.....	58
Tabla 13. Propuesta económica.....	60

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Costos anuales.	56
Gráfico 2. Cronograma Valorado	61
Gráfico 3. Análisis de costo y tiempo.....	62

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Camino hacia el proyecto	6
Imagen 2. Tubería minera.....	7
Imagen 3. Transporte manual de tubería.	7
Imagen 4. Casa de la Calidad (QFD).....	16
Imagen 5. Modelo Operativo	17
Imagen 6. Tensión de Von Mises.....	28
Imagen 7. Desplazamiento Resultante.....	29
Imagen 8. Deformación unitaria equivalente.....	30
Imagen 9. Factor de seguridad.....	31
Imagen 10. Diseño conceptual.....	32
Imagen 11. Diseño del chasis del Iron horse.	32
Imagen 12. Diseño del motor en SolidWorks del Iron horse.	33
Imagen 13. Diseño de la transmisión en SolidWorks del Iron horse.....	37
Imagen 14. Piñón y engranaje de la primera	38
Imagen 15. Piñón y engranaje en neutro.	39
Imagen 16. Piñón y engranaje en reversa.	40
Imagen 17. Orugas del Iron Horse.....	41
Imagen 18. Brazo de dirección	41
Imagen 19. Freno del Iron Horse.....	42
Imagen 20. Cajón para el transporte de tubería.	44
Imagen 21. Diseño del Iron Horse terminado.....	45
Imagen 22. Comparación de tiempos de transporte.....	54

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 15. Ficha técnica del motor.....	68
Anexo 16. Ficha técnica.....	69
Anexo 17. Certificado de conformidad de la empresa.....	70

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TEMA: DISEÑO DE UN IRON HORSE FLEX PARA EL TRANSPORTE DE TUBOS DE PERFORACIÓN EN LA EMPRESA GOLDTECH DRILLING.

AUTOR(A): Villacis Altamirano Anthony Samuel

TUTOR (A): Mg. David Fernando Saá Tapia

RESUMEN

El presente documento se enfoca en proponer una solución para mejorar las actividades de transporte de tubería NQ en GoldTech Drilling, donde actualmente el traslado se realiza de manera manual con la asistencia de 16 operarios, generando altos costos operativos y tiempos prolongados. La empresa enfrenta desafíos en terrenos accidentados, donde el traslado de los tubos de perforación es complejo y demanda un esfuerzo considerable del personal. Con el objetivo de mejorar este proceso, se ha desarrollado el diseño del Iron Horse Flex, un sistema de transporte mecanizado con orugas que permite optimizar la operación. Para su diseño, se seleccionó acero estructural ASTM A572 Grado 50, con un factor de seguridad de 5, asegurando su resistencia en condiciones extremas. Se realizó un análisis comparativo entre el transporte manual y mecanizado, evaluando tiempos de traslado, costos operativos y cantidad de operarios requeridos. Actualmente, el transporte de 20 tubos NQ de 11,7 kg cada uno a lo largo de 2500 metros requiere 16 operarios y un tiempo aproximado de 2 horas y 50 minutos, con un costo anual de \$9954,55 en mano de obra. Con la implementación del Iron Horse Flex, se espera reducir el personal a un solo operario, disminuyendo el tiempo de traslado a 2 horas y 28 minutos y los costos anuales a \$2244,32, lo que representa un ahorro del 77,45% en costos de mano de obra, la estructura diseñada con un factor de seguridad de 5 garantiza la resistencia y durabilidad del diseño.

DESCRIPTORES: automatización industrial, costos operativos, diseño mecánico, transporte de materiales.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

FACULTY OF ENGINEERING

Industrial Engineering

AUTHOR: VILLACIS ALTAMIRANO ANTHONY

TUTOR: MSc. SAA TAPIA FERNANDO DAVID

ABSTRACT

DESIGN OF AN IRON HORSE FLEX FOR THE TRANSPORTATION OF DRILLING PIPES AT THE GOLDTECH DRILLING COMPANY

This document proposes a solution to improve the transportation activities of NQ pipes at GoldTech Drilling, where the transfer is carried out manually with the assistance of 16 workers, resulting in high operational costs and extended timeframes. The company faces challenges in rough terrain, where transporting drilling pipes is complex and requires significant physical effort from the staff. To improve this process, the design of the Iron Horse Flex has been developed—a mechanized tracked transport system that optimizes operations. ASTM A572 Grade 50 structural steel was selected for its construction, with a safety factor of 5 to ensure durability under extreme conditions. A comparative analysis between manual and mechanized transport was conducted, evaluating transfer times, operational costs, and the number of workers required. Currently, transporting 20 NQ pipes weighing 11.7 kg each over a distance of 2,500 meters requires 16 workers and approximately 2 hours and 50 minutes, with an annual labor cost of \$9,954.55. With the implementation of the Iron Horse Flex, it is expected that only one operator will be needed, reducing transfer time to 2 hours and 28 minutes and annual labor costs to \$2,244.32, representing a 77.45% reduction in labor costs. The structure, designed with a safety factor of 5, ensures the strength and durability of the system.

KEYWORDS: industrial automation, material transport, mechanical design, operating costs.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Introducción

El transporte de maquinaria pesada y equipos especializados, como camiones y camionetas, es fundamental para las operaciones mineras y otras industrias a nivel mundial. Estos vehículos son indispensables para mover equipos voluminosos y pesados, así como para acceder a áreas remotas y difíciles. En particular, el transporte de tubos de perforación minera ha experimentado una evolución significativa en los últimos años (Martínez & Saá-Tapia, 2025).

Históricamente, se realizaba de manera rudimentaria, utilizando caballos para transportar los tubos a través de terrenos difíciles, lo cual era ineficiente, lento y peligroso tanto para los trabajadores como para los animales. Esta práctica, aunque común en su época, presentaba limitaciones importantes, como la baja capacidad de carga y la inestabilidad en terrenos difíciles, lo que afectaba la productividad y aumentaba los costos operativos (por Srta Claudia Aguilar Bardales Srta Ángela Andoa Llallico Srta Lorena Mendoza Solís Sra Ruby Olga Rojas Torres Asesor & Sandra María Corso Orams, 2022).

El transporte de maquinaria ha impulsado la adopción de tecnologías avanzadas en el sector, los helicópteros, camiones de alta capacidad y camionetas se han convertido en elementos esenciales para la logística minera global. Estos vehículos permiten trasladar equipos y materiales a zonas de difícil acceso de manera rápida y eficiente. Su uso no solo optimiza la eficiencia operativa, sino que también contribuye a la seguridad y sostenibilidad de las operaciones, adaptándose a las demandas y desafíos actuales del sector industrial minero (Jiménez Martínez, 2023).

En Ecuador, el transporte de maquinaria pesada y equipos especializados ha avanzado significativamente en los últimos años, siguiendo la tendencia global de modernización. El país ha incorporado camiones de alta capacidad y camionetas especializadas para mejorar el traslado de equipos y materiales en las industrias minera y de construcción, el uso de helicópteros para acceder a zonas remotas y difíciles ha facilitado la logística en terrenos complicados. Estos desarrollos han permitido superar muchas de las limitaciones del pasado, como la baja capacidad de carga y los riesgos asociados con el transporte rudimentario (Casapia Soto & Casapia Soto, 2021).

El transporte de maquinaria en Ecuador aún enfrenta desafíos significativos. Las infraestructuras viales en algunas regiones siguen siendo insuficientes puesto que en muchas zonas son limitado el ingreso de camionetas y esto dificulta el acceso a los proyectos lo que puede generar retrasos y aumentar los costos operativos, el mantenimiento de los vehículos especializados y la capacitación de los operadores son áreas que requieren atención continua para asegurar la eficiencia y la seguridad en las operaciones (Rojas Villacís et al., 2022).

En GoldTech Drilling, el transporte de tubos de perforación minera se realiza de manera tradicional, utilizando personal y caballos para trasladar los tubos a través de terrenos difíciles. Aunque estos métodos han sido efectivos en el pasado, presentan varios desafíos en la actualidad. La dependencia de métodos rudimentarios limita la capacidad de carga, la velocidad y la seguridad en las operaciones, lo que afecta la eficiencia general y aumenta los costos operativos. El traslado manual de los tubos, aunque necesario en algunas circunstancias, puede resultar lento y riesgoso para los trabajadores y los animales.

A medida que la industria minera avanza, existe una creciente necesidad de modernizar estos procesos para enfrentar los retos logísticos de manera más efectiva. Aunque GoldTech Drilling mantiene estos métodos tradicionales, la empresa reconoce la importancia de adoptar soluciones más avanzadas para mejorar la eficiencia y seguridad en el transporte de los tubos. Este enfoque demuestra un compromiso con la evolución continua y una preparación para integrar tecnologías que puedan transformar las operaciones en el futuro (Salinas Salinas & Delgado Ordoñez, 2023).

Antecedentes

En Ecuador, la minería es fundamental para el desarrollo económico, proporcionando materias primas esenciales para industrias como la metalmecánica, uno de los principales componentes del sector manufacturero. La eficiencia de esta industria depende en gran medida de un transporte minero adecuado, que mejora la logística y optimiza la eficiencia operativa en el movimiento de materiales, fortaleciendo así la cadena productiva y la competitividad del país (Nilo Tene-González et al., 2022).

GoldTech Drilling es una empresa ecuatoriana con sede en Quito, especializada en ofrecer servicios de perforación diamantina, direccional y geotecnia para el sector minero a nivel nacional. Con un enfoque en la innovación tecnológica, GoldTech Drilling destaca por su continuo avance en los equipos de perforación, lo que le permite proporcionar soluciones especializadas que optimizan los procesos de exploración y extracción de minerales. La empresa trabaja estrechamente con las operaciones mineras, integrando tecnología avanzada y servicios de alta calidad para garantizar tanto la eficiencia como la seguridad en cada proyecto (*Goldtech*, n.d.).

GoldTech Drilling enfrenta desafíos logísticos en el transporte de tubos de perforación minera. Actualmente, se utilizan métodos tradicionales que no están optimizados para su manejo en terrenos difíciles, estos problemas han impulsado la necesidad de desarrollar una solución más especializada.

El Iron Horse Flex es un vehículo todoterreno de pequeño tamaño, utilizado en países como Canadá, Suecia y Japón para el transporte de materiales en terrenos irregulares, rurales o de difícil acceso. Su funcionamiento se basa en un sistema de tracción que le permite movilizarse sobre superficies complicadas, generalmente mediante orugas o ruedas especiales, y es guiado por una persona que lo acompaña a pie o, en algunos casos, montado sobre el vehículo. Entre sus principales ventajas se encuentra su capacidad para acceder a lugares donde los vehículos convencionales no pueden operar, así como su maniobrabilidad en espacios reducidos y su facilidad de operación por una sola persona (*Máquina Forestal Iron Horse / SERRA*, n.d.).

Este tipo de vehículo también permite reducir el esfuerzo físico requerido en el transporte de cargas, al asumir tareas que normalmente demandarían mano de obra intensiva o el

uso de animales, su diseño compacto y su sistema de desplazamiento generan un impacto mínimo sobre el terreno, lo que lo hace ideal para operar en entornos naturales sin causar daños significativos al suelo o la vegetación. Estas características lo han convertido en una herramienta útil en distintas industrias que trabajan en condiciones de difícil acceso (*Tractor Mounted Forestry Winch - IronHorse Flex - Lennartsfors AB*, n.d.).

El diseño del Iron Horse Flex busca mejorar el transporte de tubos de perforación en terrenos complejos al optimizar la logística y garantizar mayor eficiencia y seguridad en las operaciones. Este sistema permite una gestión más efectiva de los tubos, enfrentando los retos logísticos actuales y modernizando el transporte minero. Con esta innovación, GoldTech Drilling no solo optimiza su operación, sino que también fortalece la industria minera en Ecuador. (Carolina & Guzman, 2024)

Justificación

La **importancia** de este proyecto radica en mejorar la eficiencia del transporte de tubos de perforación, un elemento significativo en la continuidad de las operaciones mineras, implementar un Iron Horse Flex especializado permite tener un transporte más eficiente, optimizando así la logística interna. Esto no solo beneficia a la empresa en términos de eficiencia operativa, sino también a los clientes externos y fortaleciendo la competitividad de la empresa en el mercado.

Los **beneficiarios** directos de esta propuesta son tanto el propietario de la empresa GoldTech Drilling como sus clientes externos. Al mejorar la eficiencia del transporte, lo que genera una ventaja competitiva para la empresa. Adicionalmente, se espera que los trabajadores de la planta también se vean beneficiados por un proceso más organizado y eficiente.

La **utilidad** de la propuesta se centra en su capacidad para resolver un problema operativo clave, permitiendo a GoldTech Drilling optimizar su proceso de transporte y distribución de tubos de perforación. El diseño de un Iron Horse Flex permite adaptarse mejor a las condiciones del terreno, mejorar el flujo de materiales. Esto resulta especialmente relevante en un contexto donde la eficiencia y la rapidez son determinantes para la competitividad de la empresa.

La **factibilidad** de propuesta se ve respaldada por la disponibilidad de recursos necesarios para su desarrollo. El estudiante cuenta con acceso a los datos de la empresa, tiempo suficiente para dedicar a la investigación y las habilidades técnicas necesarias para diseñar un Iron Horse Flex. Estos elementos aseguran que el proyecto sea viable en términos técnicos y de tiempo.

El **impacto** del diseño de un Iron Horse Flex para el transporte de tubos de perforación minera representa una solución innovadora y práctica para los desafíos logísticos que enfrenta GoldTech Drilling. Al mejorar la eficiencia en el transporte, su implementación no solo optimiza el proceso logístico y mejora la seguridad, sino que también refuerza la capacidad operativa de la empresa.

Objetivo general:

Diseñar un Iron Horse Flex para el transporte de tubos de perforación en la empresa GOLDTECH DRILLING.

Objetivos Específicos:

- Analizar las limitaciones de los métodos tradicionales de transporte de tubos de perforación en terrenos difíciles, para identificar necesidades de mejora.
- Determinar los componentes adecuados para el Iron Horse Flex, asegurando su durabilidad y rendimiento en condiciones exigentes.
- Elaborar en SolidWorks el Iron Horse Flex, incorporando detalles técnicos para que el transporte de tubos sea más seguro y eficiente.

CAPÍTULO II

INGENIERÍA DEL PROYECTO

Diagnóstico de la situación actual de la empresa:

GoldTech Drilling enfrenta un desafío crítico en el transporte de tubos de perforación, especialmente en proyectos que operan en terrenos accidentados y de difícil acceso. Estas condiciones dificultan el traslado de los materiales necesarios para los trabajos de perforación, lo que genera retrasos significativos en los cronogramas y afecta la productividad general de la empresa. La falta de una solución logística adecuada agrava este problema, ya que el transporte de las tuberías se realiza actualmente de manera manual, impactando tanto la eficiencia operativa como el rendimiento del personal.

En la Imagen 1, se ve el camino que conecta con el proyecto, este es utilizado por el personal y maquinaria ligera que ayuda en el acceso, es evidente que el espacio disponible es muy poco para permitir el movimiento de camionetas, lo que a su vez resulta en un retraso para la entrega esencial de los materiales y tuberías para la continuación fluida del proyecto.



Imagen 1. Camino hacia el proyecto
Elaborado por: GoldTech Drilling

El transporte manual se ha convertido en la única alternativa viable debido a las limitaciones geográficas de los caminos, que tienen un ancho promedio de 1,80 metros, impidiendo el uso de vehículos como camionetas para esta tarea (Imagen 1). Los trabajadores deben cargar tubos de 1,50 m de longitud, 10 cm de diámetro y un peso promedio de 11,7 kg (Imagen 2, Tabla 1) a lo largo de rutas complicadas. Este esfuerzo físico constante provoca un desgaste significativo en el personal, quienes llegan al sitio de trabajo fatigados, lo que compromete su capacidad para realizar sus labores con eficiencia y seguridad.



Imagen 2. Tubería minera
Elaborado por: GoldTech Drilling

En la Imagen 3, se puede observar a un operario de la empresa transportando de manera manual la tubería de perforación, los trabajadores deben cargar las tuberías NQ de 11,7 kg (Tabla 1) sobre sus hombros y trasladarlas a pie desde un punto a otro dentro del proyecto. Este método de transporte ha sido utilizado por años debido a la falta de una alternativa mecanizada, presenta diversas limitaciones que afectan la eficiencia y seguridad de las operaciones.



Imagen 3. Transporte manual de tubería.
Elaborado por: GoldTech Drilling

Tabla 1. Peso de tubería de perforación.

Descripción carga	Peso por unidad aproximado tubería /kg	Cantidad de tubería requerida	Peso aproximado tubería (kg)	Prioridad
Tubería PW	16,05	16	256,8	Alta
Tubería PQ	26,1	10	261	Alta
Tubería HQ	17,25	15	258,75	Alta
Tubería NQ	11,7	16	187,2	Alta

Elaborado por: Villacis, Anthony (2024).

Uno de los principales inconvenientes de este sistema es el esfuerzo físico elevado que requiere. Cada trabajador debe recorrer largas distancias cargando una tubería a la vez, lo que puede generar fatiga y aumentar el riesgo de lesiones musculoesqueléticas, el peso de la tubería y la postura en la que se transporta pueden ocasionar sobrecargas en la espalda y hombros, afectando la salud del personal.

La baja eficiencia es otro factor relevante. Al trasladar una tubería por viaje, el proceso se vuelve lento, impactando los tiempos de trabajo y reduciendo la productividad general del equipo. Este método también depende en gran medida del número de trabajadores disponibles, lo que puede incrementar los costos operativos y ralentizar las tareas cuando hay menos personal disponible.

La logística actual la cual depende del traslado manual desde el punto donde terminan los accesos de vehículos hasta el lugar del proyecto, se ha mostrado ineficiente. Los retrasos son frecuentes debido a la falta de un sistema especializado para el transporte de las tuberías, lo que obliga a redirigir al personal asignado a otras actividades para completar esta tarea. Esta situación no solo incrementa los tiempos de ejecución, sino que también interrumpe las operaciones generales de la perforación, afectando los objetivos del proyecto.

El enfoque manual aumenta los riesgos laborales, puesto que los empleados están expuestos a condiciones exigentes que pueden causar lesiones musculares, accidentes y agotamiento físico. Estos riesgos no solo impactan la salud y seguridad del personal, sino que también generan costos adicionales relacionados con la seguridad laboral, el tiempo dedicado al transporte de tuberías podría ser aprovechado en actividades clave de la

perforación, lo que resalta aún más la necesidad de implementar una solución logística eficiente que optimice los recursos disponibles.

En la Tabla 2, se observan las actividades realizadas para el transporte de tubería dentro y fuera de la empresa en donde el transporte se lo realiza de forma manual, esto consta en varias etapas como:

1. Diagnóstico de Mantenimiento de tubería
2. Limpieza de la tubería
3. Elaboración de la documentación y Logística de Tubería de Perforación
4. Inspección y Verificación de Condiciones de Tubería
5. Remisión de Tubería
6. Planificación del Transporte
7. Carga de Tubería por Encargados de Almacén
8. Recepción en el Punto de Descarga
9. Recepción de Tubería en el Proyecto por Personal del Almacén de Proyecto
10. Distribución Interna de Tubería para Requerimientos del Proyecto
11. Transporte Manual de Tubería hacia la Zona de Operación
12. Descarga de Tubería en la Zona de Proyecto
13. Organización y Almacenamiento en Racks Designados
14. Documentación de Inventario de Tubería Recibida

Tabla 2. Cursograma analítico del proceso de transporte de tubería.

CURSOGRAMA ANALÍTICO DEL PROCESO										
Hoja N° _____ De: _____ Diagrama N°:1		Operar.	x	Mater.		Maqui.				
Proceso:		RESUMEN								
Fecha:28/10/2024		SÍMBOLO	ACTIVIDAD	Act.	Pro.	Econ.				
El estudio Inicia:28/10/2024		●	Operación	3		0%				
Método: Actual: x Propuesto:		→	Transporte	5		0%				
Producto:Transporte de tubería minera		■	Inspección	5		0%				
Elaborado por: Anthony Villacís		◐	Espera	0		100%				
		▼	Almacenaje	1		0%				
		Total de Actividades realizadas			14		0%			
		Distancia total en metros			2.577		0%			
		Tiempo hora/hombre			5,60		0%			
NUMERO	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	Cantidad	Distancia metros	Tiempo Minutos	SÍMBOLOS PROCESOS					
					●	→	■	◐	▼	
1	Diagnóstico de Mantenimiento de tubería	16	10,0	20	x					
2	Limpieza de la tubería	16	0,0	25	x					
3	Elaboración de la documentación y Logística de Tubería de Perforación	1	10,0	20				x		
4	Inspección y Verificación de Condiciones de Tubería	16	10,0	8				x		
5	Remisión de Tubería	1	0,0	8				x		
6	Planificación del Transporte	1	10,0	15				x		
7	Carga de Tubería por Encargados de Almacén	16	10,0	17		x				
8	Recepción en el Punto de Descarga	1	1,0	10		x				
9	Recepción de Tubería en el Proyecto por Personal del Almacén de Proyecto	1	1,0	10		x				
10	Distribución Interna de Tubería para Requerimientos del Proyecto	16	10,0	16		x				
11	Transporte manual de tubería hacia la zona del proyecto.	16	2500,0	150		x				
12	Descarga de Tubería en la Zona de Proyecto	16	5,0	16	x					
13	Organización y Almacenamiento en Racks Designados	16	5,0	16					x	
14	Documentación de Inventario de tubería recibida	1	5,0	5				x		
Tiempo horas: 5,60		<u>m</u>	2.577,0	336	<u>min</u>					

Elaborado por: Villacís, Anthony (2024).

En GoldTech Drilling, el transporte de tubería se realiza de forma manual. Según lo detallado en la Tabla 2, las actividades relacionadas con la tubería están bien estructuradas hasta el proceso número 10, que corresponde a la distribución interna de tubería para el proyecto. Hasta este punto, la tubería llega al proyecto sin inconvenientes ni retrasos significativos, lo que asegura una gestión eficiente en las etapas iniciales de la logística.

No obstante, el problema surge a partir del proceso número 11, denominado “Transporte manual de tubería hacia la zona de operación”. Este es el punto crítico que la propuesta busca abordar. En la actualidad, el transporte manual provoca retrasos en las operaciones de perforación, ya que estas no pueden iniciarse hasta que la tubería llegue a la zona de operación. Esta situación genera tiempos de espera considerables y afecta la eficiencia general del proyecto.

La Tabla 3, toma de 5 tiempos de transporte de tubería a cada operario presenta un análisis del desempeño de los operarios en el transporte de tuberías dentro de GoldTech Drilling. En ella, se registran cinco mediciones de tiempo para cada operario, con el propósito de evaluar la variabilidad en los desempeños individuales y calcular tanto el promedio de tiempo como la desviación estándar de cada uno.

Tabla 3. Toma 5 tiempos de transporte manual de tubería para cada operario.

TOMA DE 5 TIEMPOS DE TRANSPORTE DE TUBERIA A CADA OPERARIO							
Operario	Tiempo 1	Tiempo 2	Tiempo 3	Tiempo 4	Tiempo 5	Promedio Calculado	Desviación Estándar
OPERARIO 1	152,4	166,8	127,2	145,8	136,2	146	15,2
OPERARIO 2	127,2	111,6	144,6	102,6	129	123	16,3
OPERARIO 3	148,2	110,4	117,6	118,8	128,4	125	14,6
OPERARIO 4	133,8	176,4	129	168	142,2	150	21,1
OPERARIO 5	150	127,8	179,4	170,4	121,8	150	25,3
OPERARIO 6	136,8	126	114,6	109,8	142,8	126	14,1
OPERARIO 7	145,8	145,8	143,4	139,2	152,4	145	4,8
OPERARIO 8	133,8	141	119,4	143,4	146,4	137	10,8
OPERARIO 9	191,4	101,4	110,4	106,8	99	122	39,2
OPERARIO 10	157,2	164,4	124,2	114,6	150,6	142	21,6
OPERARIO 11	151,2	130,2	161,4	156,6	120	144	17,9
OPERARIO 12	90,6	150	143,4	132,6	143,4	132	24,0
OPERARIO 13	73,2	155,4	135	153	157,8	135	35,6
OPERARIO 14	67,8	166,8	159	178,8	178,2	150	46,8
OPERARIO 15	139,2	122,4	109,2	149,4	124,8	129	15,6
OPERARIO 16	180,6	110,4	113,4	116,4	148,2	134	30,3

Fuente: GoldTech Drilling.

Elaborado por: Villacis, Anthony (2024).

En la primera columna, se enumeran los 16 operarios evaluados. Las siguientes cinco columnas contienen los tiempos de transporte medidos en minutos para cada operario. Posteriormente, se muestra la columna "Promedio Calculado", que representa el tiempo medio obtenido a partir de las cinco mediciones individuales de cada trabajador. Finalmente, la última columna "Desviación Estándar" refleja la dispersión de los tiempos

de transporte respecto al promedio, permitiendo determinar el nivel de consistencia o variabilidad en el rendimiento de cada operario.

El análisis de los datos revela que algunos operarios presentan una desviación estándar baja, lo que indica tiempos de transporte consistentes y estables, mientras que otros muestran valores más elevados, reflejando una mayor variabilidad e inconsistencia en sus desempeños. Por ejemplo, el Operario 9 presenta una desviación estándar de 39,2, lo que sugiere fluctuaciones significativas en sus tiempos de transporte. En contraste, el Operario 8 muestra una desviación estándar de 10,8, lo que indica un desempeño más uniforme y predecible.

Con base en los datos proporcionados por la empresa sobre los tiempos de transporte manual de tuberías (Tabla 3 y Tabla 4), se evidencia que, para este proyecto, se requirió la participación de 16 operarios. Cada trabajador debe cargar una tubería individualmente y comenzar su traslado hacia el sitio de trabajo dentro de un rango horario de 9:00 a.m. El tiempo estimado para completar el trayecto oscilaba entre 2 horas y 2 horas con 50 minutos, ya que los operarios llegaban al lugar de destino entre las 11:03 a.m. y las 11:50 a.m.

Tabla 4. Tiempos de transporte de tubería de forma manual hacia el proyecto.

FORMATO DE TIEMPOS DEL PERSONAL						
ACTIVIDAD	NUMERO DE OPERARIOS	TIEMPO DE SALIDA	TIEMPO DE TRANSPORTE / OPERARIO (minutos)	TIEMPO DE LLEGADA		DISTANCIA TOTAL RECORRIDA (km)
TRANSPORTE DE TUBERIA DE FORMA MANUAL HACIA EL PROYECTO	OPERARIO 1	9:00 a. m.	146	11,43	a. m.	2,5
	OPERARIO 2	9:00 a. m.	123	11,05	a. m.	2,5
	OPERARIO 3	9:00 a. m.	125	11,08	a. m.	2,5
	OPERARIO 4	9:00 a. m.	150	11,50	a. m.	2,5
	OPERARIO 5	9:00 a. m.	150	11,50	a. m.	2,5
	OPERARIO 6	9:00 a. m.	126	11,10	a. m.	2,5
	OPERARIO 7	9:00 a. m.	145	11,42	a. m.	2,5
	OPERARIO 8	9:00 a. m.	137	11,28	a. m.	2,5
	OPERARIO 9	9:00 a. m.	122	11,03	a. m.	2,5
	OPERARIO 10	9:00 a. m.	142	11,37	a. m.	2,5
	OPERARIO 11	9:00 a. m.	144	11,40	a. m.	2,5
	OPERARIO 12	9:00 a. m.	132	11,20	a. m.	2,5
	OPERARIO 13	9:00 a. m.	135	11,25	a. m.	2,5
	OPERARIO 14	9:00 a. m.	150	11,50	a. m.	2,5
	OPERARIO 15	9:00 a. m.	129	11,15	a. m.	2,5
	OPERARIO 16	9:00 a. m.	134	11,23	a. m.	2,5
TIEMPO TOTAL			136,875	11,28	a. m.	

Fuente: GoldTech Drilling.

Elaborado por: Villacis, Anthony (2024).

Estos tiempos reflejan una considerable inversión de esfuerzo físico y horas laborales exclusivamente dedicadas al transporte, lo cual impacta directamente en la productividad del proyecto, las largas distancias recorridas en terrenos accidentados generan un desgaste significativo en los operarios, quienes llegan al sitio con altos niveles de fatiga, lo que compromete su rendimiento para llevar a cabo las actividades principales de perforación.

La situación descrita pone en evidencia la necesidad de implementar una solución logística más eficiente. Optimizar este proceso no solo reduciría los tiempos de traslado, sino que también permitiría redistribuir al personal en tareas operativas clave, mejorando así tanto la productividad del proyecto como el bienestar del equipo de trabajo.

En la Tabla 5, presenta un análisis de los tiempos y costos del transporte manual de tubería en GoldTech Drilling, considerando 16 operarios que recorren una distancia de 2,5 km cada uno. Los tiempos individuales de transporte oscilan entre 122 y 150 minutos, con una velocidad promedio inferior a 1 km/h. En total, el proceso acumula 36,50 horas de trabajo, con un costo por hora de operario que varía entre \$9,32 y \$11,36. Esto genera un gasto operativo diario de \$165,91, lo que a nivel anual representa un costo de \$9.954,55.





Tabla 5. Tiempos y costos de los operarios.

TIEMPOS Y COSTOS DE LOS OPERARIOS					
# DE OPERARIOS	TIEMPO DE TRANSPORTE / OPERARIO (minutos)	Distacia (Km)	TIEMPO DE TRANSPORTE/ OPERARIO (HORAS)	COSTO/H	VELOCIDAD
OPERARIO 1	146	2,5	2,43	\$ 11,06	0,973
OPERARIO 2	123	2,5	2,05	\$ 9,32	0,820
OPERARIO 3	125	2,5	2,08	\$ 9,47	0,833
OPERARIO 4	150	2,5	2,50	\$ 11,36	1,000
OPERARIO 5	150	2,5	2,50	\$ 11,36	1,000
OPERARIO 6	126	2,5	2,10	\$ 9,55	0,840
OPERARIO 7	145	2,5	2,42	\$ 10,98	0,967
OPERARIO 8	137	2,5	2,28	\$ 10,38	0,913
OPERARIO 9	122	2,5	2,03	\$ 9,24	0,813
OPERARIO 10	142	2,5	2,37	\$ 10,76	0,947
OPERARIO 11	144	2,5	2,40	\$ 10,91	0,960
OPERARIO 12	132	2,5	2,20	\$ 10,00	0,880
OPERARIO 13	135	2,5	2,25	\$ 10,23	0,900
OPERARIO 14	150	2,5	2,50	\$ 11,36	1,000
OPERARIO 15	129	2,5	2,15	\$ 9,77	0,860
OPERARIO 16	134	2,5	2,23	\$ 10,15	0,893
TOTAL			36,50	\$ 165,91	
COSTO ANUAL				\$ 9.954,55	

Elaborado por: Villacis, Anthony (2024).

En la Tabla 6, proporciona una visión general de la empresa GoldTech Drilling, destacando su especialización en servicios de perforación minera, se identifica su ubicación en la ciudad de Quito y su dirección: Juan González &, Quito 170135, se presentan dos áreas clave las cuales son la bodega, donde se almacenan y exhiben equipos de perforación, y la zona de proyectos, que muestra un entorno operativo en campo, con personal trabajando en instalaciones donde requieran el servicio de la empresa.

Tabla 6. Ubicación de la empresa.

Nivel	Descripción	Fotografía
Empresa	GOLDTECH DRILLING	
Ubicación	Juan González &, Quito 170135	
Áreas	Bodega	
	Proyectos	

Fuente: GoldTech Drilling

Elaborado por: Villacis, Anthony (2024).

Área de estudio:

En la Tabla 7, se desarrolla la investigación en el ámbito de la Ingeniería Industrial y la Gestión de Sistemas Productivos, centrándose en la mejora de procesos mediante el diseño de un Iron Horse Flex para el transporte de tubos de perforación. El periodo de análisis abarca de octubre de 2024 a febrero de 2025.

Tabla 7. Área de estudio

Dominio	Tecnología y Sociedad
Línea de investigación	Desarrollo del producto
Campo	Ingeniería Industrial
Área	Gestión De Sistemas Productivos
Aspecto	Mejora de proceso productivo
Objeto de estudio	Diseño de un Iron Horse Flex para el transporte de tubos de perforación.
Periodo de análisis	Octubre 2024 – Febrero 2025

Fuente: Universidad Indoamerica

Elaborado por: Villacis, Anthony (2024).

En la Imagen 4, muestra una matriz de calidad, conocida como Casa de la Calidad, que sirve para conectar las necesidades del cliente (QUÉ's) con las características técnicas del producto (CÓMO's), al lado izquierdo, se identifican cinco necesidades clave de los clientes: capacidad de carga adecuada, movilidad fluida, reducción del esfuerzo humano, fácil mantenimiento y portabilidad. Cada una tiene un nivel de importancia, con valores entre 4,0 y 4,3, que indican qué tan relevantes son para el diseño del producto.

Requisitos del cliente y del producto

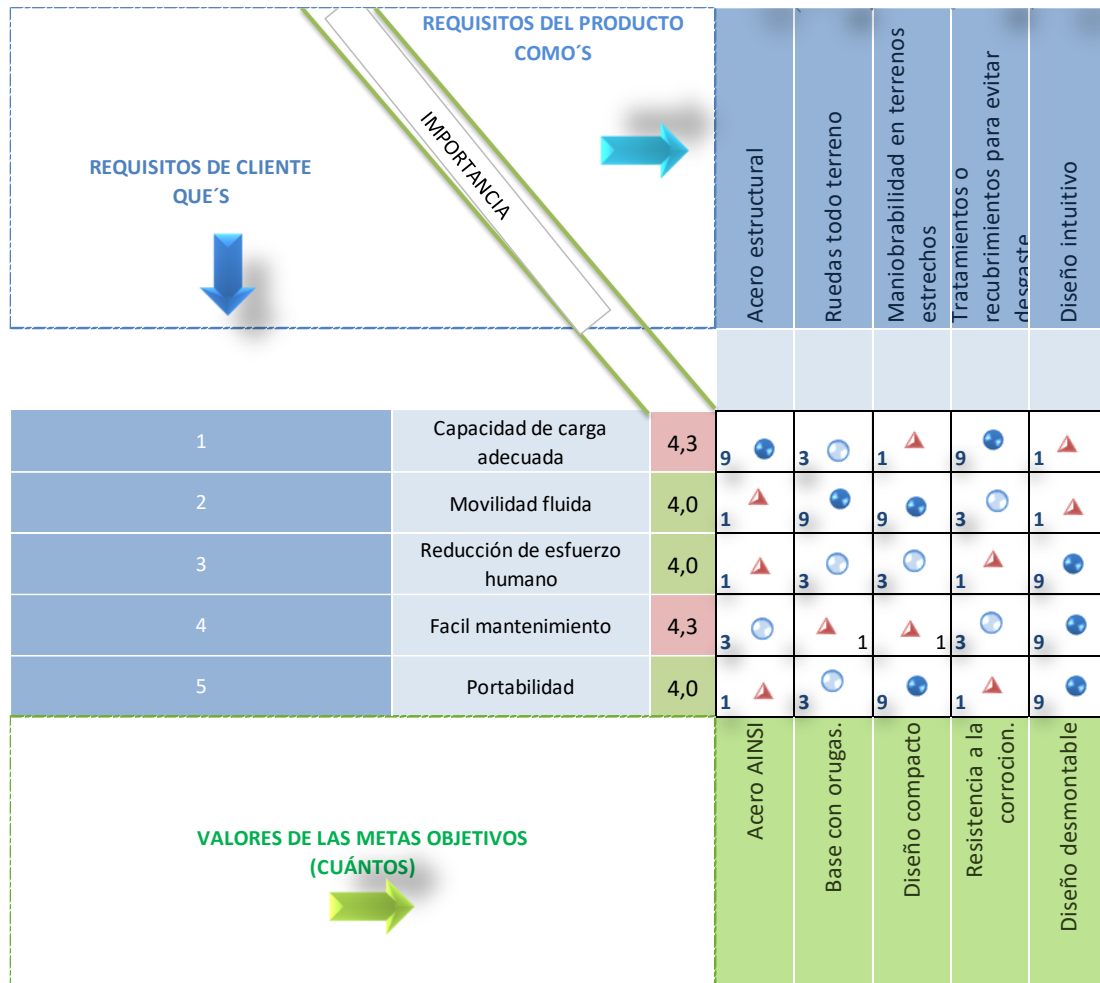


Imagen 4. Casa de la Calidad (QFD)
Elaborado por: Villacis, Anthony (2024).

En el centro de la matriz, se representan las relaciones entre estas necesidades y las características técnicas del producto, como el uso de acero estructural, ruedas todo terreno, resistencia a la corrosión, diseño compacto, entre otras. Estas relaciones se expresan mediante símbolos: círculos y triángulos, que muestran si la conexión es fuerte, moderada o débil, en la parte inferior, se incluyen objetivos específicos para las características técnicas. Este esquema ayudara a diseñar el iron horse, priorizar los aspectos técnicos que más impacto tienen en la satisfacción del cliente, asegurando que el producto cumpla con sus expectativas de forma eficiente y de esta manera continuar con el diseño en SolidWorks.

Modelo operativo:

En la imagen 5, se puede visualizar el modelo operativo.

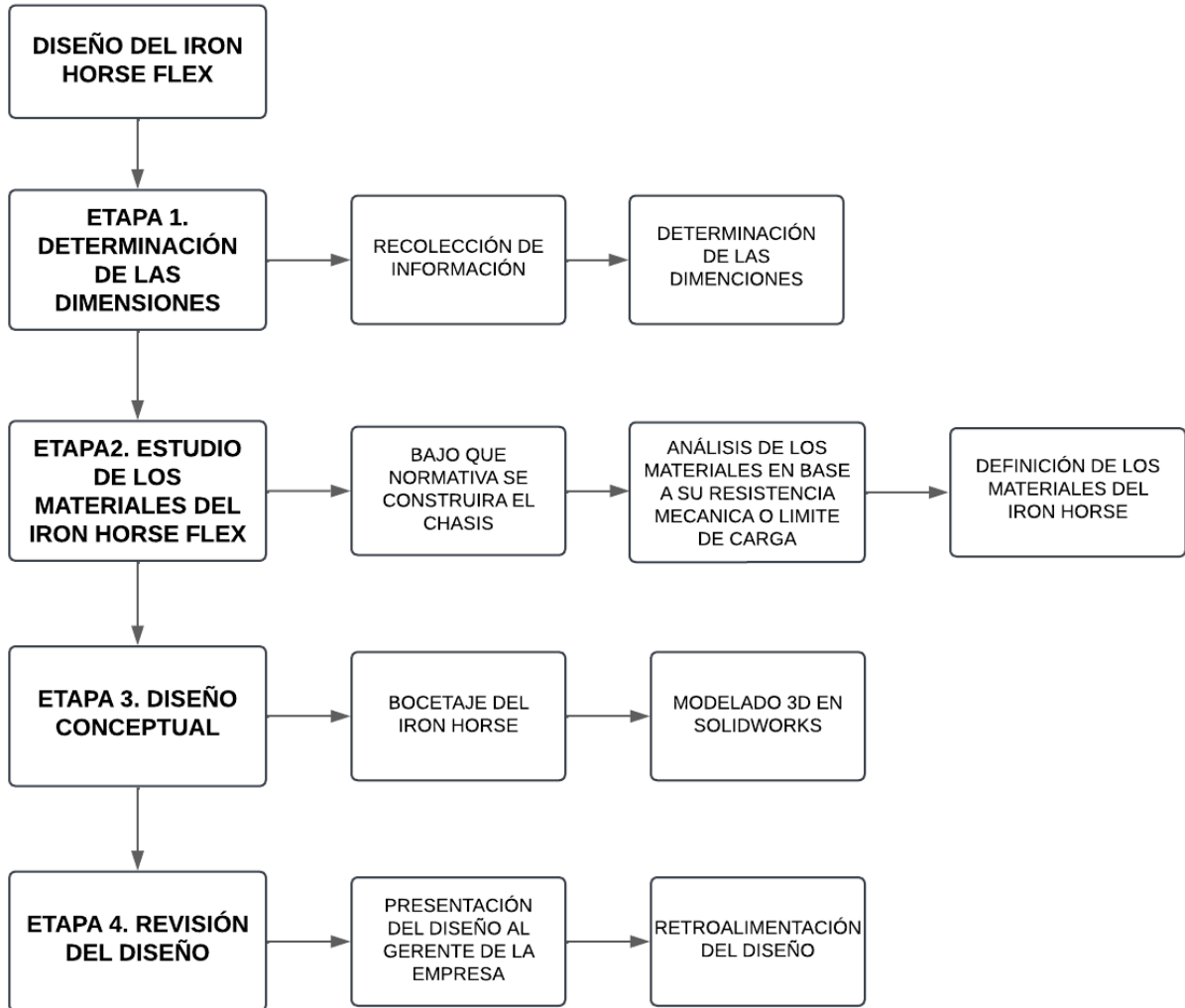


Imagen 5. Modelo Operativo

Elaborado por: Villacis, Anthony (2024).

Desarrollo del modelo operativo

Etapa 1: Determinación de las Dimensiones

Recolección de Información

- **Análisis de necesidades:** Investigar los requerimientos específicos del equipo, como el peso y dimensiones de los tubos, la distancia total a recorrer, y las

condiciones del terreno, incluyendo inclinaciones, obstáculos y características del suelo.

- **Evaluación de operaciones actuales:** Examinar cómo se realiza el transporte actualmente.
- **Referencias de diseños similares:** Estudiar otros equipos utilizados en la industria minera para el transporte de materiales pesados, evaluando sus ventajas, desventajas y posibles adaptaciones al contexto de GoldTech Drilling.

Determinación de las Dimensiones

- **Capacidad de carga:** Definir el tamaño y capacidad de carga del diseño, asegurando que pueda transportar el número requerido de tubos por viaje, considerando también el peso total.
- **Facilidad de transporte:** Diseñar dimensiones que permitan maniobrar el equipo en terrenos accidentados sin comprometer su estabilidad ni funcionalidad.
- **Espacio de almacenamiento:** Asegurarse de que las dimensiones sean compatibles con las áreas de almacenamiento de la empresa.

Etapa 2: Estudio de los Materiales

Bajo qué Normativa

- **Normas aplicables:** Identificar y estudiar normas técnicas y de seguridad relevantes, como estándares internacionales (ISO, ASTM) y locales que regulen el diseño de maquinaria para minería y transporte de materiales.
- **Cumplimiento normativo:** Asegurar que el diseño cumpla con requisitos como resistencia estructural, estabilidad en operación y seguridad para los operadores.

Investigación de los Materiales

- **Propiedades mecánicas:** Analizar materiales con alta resistencia a la corrosión, impactos y desgaste, como acero estructural, aluminio o polímeros reforzados.

- **Condiciones de operación:** Evaluar cómo los materiales seleccionados se comportan en el entorno operativo (clima, humedad, exposición a químicos) y en contacto con los tubos.

Definición de Materiales

- **Selección final:** Elegir los materiales que ofrezcan un balance óptimo entre peso, costo, durabilidad y capacidad de soportar las cargas durante el transporte.
- **Documentación:** Justificar técnicamente la elección de materiales y garantizar la trazabilidad de las especificaciones.

Etapa 3: Diseño Conceptual

Bocetaje del Iron Horse Flex

- **Esbozos preliminares:** Realizar dibujos iniciales que incluyan posibles configuraciones del equipo, considerando su tamaño, estructura y funcionalidad.

Modelado en SolidWorks

- **Modelo 3D inicial:** Diseñar un prototipo virtual en SolidWorks para visualizar la estructura y sus componentes en tres dimensiones.

Etapa 4: Revisión del Diseño

Presentación del Diseño

- **Documentación visual:** Preparar dibujos técnicos detallados y el modelo 3D del diseño, incluyendo vistas en perspectiva, cortes y especificaciones de los materiales utilizados.
- **Revisión técnica:** Presentar el diseño a los ingenieros y al dueño de la fábrica, explicando cómo este satisface las necesidades identificadas.

Retroalimentación

- **Recepción de comentarios:** Registrar las sugerencias o ajustes propuestos por los revisores, evaluando la viabilidad de cada recomendación.

- **Iteración del diseño:** Implementar los cambios necesarios para mejorar el diseño según las observaciones recibidas.

Entrega Final

- **Documentación completa:** Preparar un paquete final que incluya el modelo 3D, planos detallados, lista de materiales, especificaciones técnicas y recomendaciones para su construcción.
- **Validación:** Obtener la aprobación final de los revisores para proceder con las siguientes fases de implementación.

CAPÍTULO III

PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS

Presentación de la propuesta:

Estudio del material del cual se va a realizar el Iron Horse Flex

En la Tabla 8 se presenta la selección de materiales para el chasis del Iron Horse Flex, un sistema de transporte diseñado para movilizar tubos de perforación en terrenos accidentados. En esta etapa del diseño, se consideran diversos materiales estructurales y se realiza un análisis de esfuerzos con el objetivo de garantizar la resistencia y seguridad del sistema. Para la construcción del chasis, se evalúan distintas alternativas en función de criterios como la resistencia mecánica, la soldabilidad y el peso de cada material.

Tabla 8. Comparación de materiales.

Comparación de Materiales				
Material	Resistencia a la Tracción (MPa)	Límite de Fluencia (MPa)	Densidad (g/cm³)	Observaciones
ASTM A572 Grado 50	450 - 620	345	7.85	Alta resistencia estructural y buena soldabilidad
ASTM A36	400 - 550	250	7.85	Menor resistencia que el A572
Aluminio 6061-T6	310	276	2.7	Ligero, pero menor resistencia que el acero
Acero Inoxidable 304	515	205	8.0	Alta resistencia a la corrosión, pero mayor peso

Elaborado por: Villacis, Anthony (2024).

Primer cálculo del estudio de materiales.

Se elige el ASTM A572 Grado 50, debido a su alta resistencia estructural, soldabilidad y durabilidad en condiciones adversas al cual se someterá el iron horse.

Análisis de cargas y esfuerzos

El chasis debe soportar 20 tubos de perforación, cada uno con un peso de 11.7 kg.

Carga total aplicada:

$$F = 20 \times 11,7kg \times 9,81m/s^2 = 2295,54 N = 2,3 kN \quad [Ec. 1]$$

Esfuerzos en el Chasis

Se asume una distribución uniforme de carga sobre un chasis de 2.0 m de largo y 1.0 m de ancho.

Carga distribuida:

$$w = \frac{F}{L} \quad [Ec. 2]$$
$$w = \frac{2295,54 N}{2 m} = 1147,77 \frac{N}{m}$$

Momento flector máximo (viga simplemente apoyada):

Para una viga simplemente apoyada con carga distribuida, el momento máximo se obtiene con la ecuación:

$$M_{max} = \frac{wL^2}{8} = \frac{1147,77 \frac{N}{m} \times (2m)^2}{8} = 573,89 Nm \quad [Ec. 3]$$

Esfuerzo máximo en la fibra extrema:

El esfuerzo máximo se obtiene mediante la ecuación:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} \times C}{I} \quad [Ec. 4]$$

Donde:

C es la distancia desde el eje neutro hasta la fibra más alejada $C = \frac{h}{2} = \frac{50 \text{ mm}}{2} = 25 \text{ mm} = 0,025 \text{ m}$

I es el momento de inercia de la sección transversal, calculado como: $I = \frac{bh^3}{12}$ Para una sección de $b = 0,1 \text{ m}$ y $h = 0,05 \text{ m} = I = \frac{(0,1)(0,05)^3}{12} = 1,04 \times 10^{-6} \text{ m}^4$

Sustituyendo los valores:

$$\sigma_{max} = \frac{573,89 \text{ Nm} \times 0,025 \text{ m}}{1,04 \times 10^{-6} \text{ m}^4} = 13,77 \text{ MPa} \quad [\text{Ec. 5}]$$

Cálculo del factor de seguridad

El factor de seguridad (FS) se define como la relación entre el límite de fluencia del material y el esfuerzo máximo calculado:

$$FS = \frac{\sigma_y}{\sigma_{max}} \quad [\text{Ec. 6}]$$

Donde:

- σ_y es el límite de fluencia del material ASTM A572 Grado 50 es **345 MPa**
- σ_{max} es el esfuerzo máximo en la fibra extrema: **13.77 MPa**

Sustituyendo los valores:

Este alto factor de seguridad indica que el diseño es estructuralmente sólido y podría optimizarse para reducir material sin comprometer la seguridad.

$$FS = \frac{345 \text{ MPa}}{13,77 \text{ MPa}} = 25,05 \quad [\text{Ec. 6}]$$

El material ASTM A572 Grado 50 proporciona una resistencia adecuada para el chasis del Iron Horse Flex, asegurando un diseño seguro con un factor de seguridad de 25,05 lo que sugiere la posibilidad de optimización para reducir peso y costos.

Segundo Calculo del estudio de materiales.

Se elige el ASTM A572 Grado 50, debido a su alta resistencia estructural, soldabilidad y durabilidad en condiciones adversas al cual se someterá el iron horse.

Análisis de cargas y esfuerzos

El chasis debe soportar 20 tubos de perforación, cada uno con un peso de 11.7 kg.

Carga total aplicada:

Se aplica la ecuación 1:

$$F = 20 \times 11,7kg \times 9,81m/s^2 = 2295,54 N = 2,3 kN$$

Esfuerzos en el Chasis

Se asume una distribución uniforme de carga sobre un chasis de 2.0 m de largo y 1.0 m de ancho.

Carga distribuida:

Se aplica la ecuación 2:

$$w = \frac{F}{L}$$
$$w = \frac{2295,54 N}{2 m} = 1147,77 \frac{N}{m}$$

Momento flector máximo:

Para una viga simplemente apoyada con carga distribuida, el momento máximo se obtiene con la ecuación:

Se aplica la ecuación 3:

$$M_{max} = \frac{wL^2}{8} = \frac{1147,77 \frac{N}{m} \times (2m)^2}{8} = 573,89 Nm$$

Esfuerzo máximo en la fibra extrema:

El esfuerzo máximo se obtiene mediante la ecuación 4:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} \times C}{I}$$

Donde:

C es la distancia desde el eje neutro hasta la fibra más alejada $C = \frac{h}{2} = \frac{22.2 \text{ mm}}{2} = 11.1 \text{ mm} = 0,0111 \text{ m}$

I es el momento de inercia de la sección rectangular, calculado como: $I = \frac{bh^3}{12}$ Para una sección de $b = 0,1 \text{ m}$ y $h = 0,0222 \text{ m} = I = \frac{(0,1)(0,0222)^3}{12} = 9,16 \times 10^{-9} \text{ m}^4$

Sustituyendo los valores:

Se aplica la ecuación 5:

$$\sigma_{max} = \frac{573,89 \text{ Nm} \times 0,0111 \text{ m}}{9,16 \times 10^{-9} \text{ m}^4} = 69,87 \text{ MPa}$$

Cálculo del factor de seguridad para cada material

El factor de seguridad (FS) se define como la relación entre el límite de fluencia del material y el esfuerzo máximo calculado:

Se aplica la ecuación 6:

$$FS = \frac{\sigma_y}{\sigma_{max}}$$

Donde:

- σ_y es el límite de fluencia de cada material del cual se va a realizar los cálculos (observar tabla7)
- σ_{max} es el esfuerzo máximo en la fibra extrema: **69.87 Mpa**

Sustituyendo los valores para cada material:

Se aplica la ecuación 6 en cada uno de los materiales:

ASTM A572 Grado 50

$$FS = \frac{345MPa}{69,87 MPa} = 4,94 \quad [Ec. 6]$$

ASTM A36

$$FS = \frac{250MPa}{69,87 MPa} = 3,58$$

Aluminio 6061-T6

$$FS = \frac{276MPa}{69,87 MPa} = 3,95$$

Acero Inoxidable 304:

$$FS = \frac{205MPa}{69,87 MPa} = 2,93$$

En la Tabla 9, se observa la comparación de ambos diseños del chasis del Iron Horse Flex, se observa que el primero, con un espesor de 50 mm, presenta un factor de seguridad (FS) de 25.05, lo que indica un uso excesivo de material sin ser estrictamente necesario, ya que el esfuerzo máximo en la fibra extrema es de 13.77 MPa, muy inferior al límite de fluencia del ASTM A572 Grado 50. En cambio, el segundo diseño, con un espesor reducido a 22.2 mm, presenta un FS de 4.94, que sigue siendo adecuado para estructuras sometidas a cargas estáticas, permitiendo una mejor eficiencia en cuanto a peso y costos sin comprometer la resistencia estructural. La reducción de espesor genera un mayor esfuerzo interno, con 69.87 MPa en la fibra extrema, pero se mantiene dentro de los valores aceptables para el material. La optimización lograda con el segundo diseño representa un equilibrio entre resistencia y eficiencia, evitando el sobredimensionamiento y manteniendo la seguridad estructural.

Tabla 9. Comparación de Resultados.

Parámetro	Primer Cálculo (h = 50 mm)	Segundo Cálculo (h = 22.2 mm)
Carga Total Aplicada (F)	2.3 Km	2.3 Km
Carga Distribuida (w)	1147.77 N/m	1147.77 N/m
Momento Flector Máximo (Max)	573.89 Nm	573.89 Nm
Altura del Perfil (h)	50 mm (0.05 m)	22.2 mm (0.0222 m)
Distancia al eje neutro (C)	25 mm (0.025 m)	11.1 mm (0.0111 m)
Momento de Inercia (I)	$1.04 \times 10^{-6} m^4$	$9.16 \times 10^{-9} m^4$
Esfuerzo Máximo	13.77 Mpa	69.87 Mpa
Factor de Seguridad (FS)	25.05	4.94

Elaborado por: Villacis, Anthony (2025).

Al comparar ambos diseños del chasis del Iron Horse Flex, se observa que el primero, con un espesor de 50 mm, presenta un factor de seguridad (FS) de 25.05, lo que indica un uso excesivo de material sin ser estrictamente necesario, ya que el esfuerzo máximo en la fibra extrema es de 13.77 MPa, muy inferior al límite de fluencia del ASTM A572 Grado 50. En cambio, el segundo diseño, con un espesor reducido a 22.2 mm, presenta un FS de 4.94, que sigue siendo adecuado para estructuras sometidas a cargas estáticas, permitiendo una mejor eficiencia en cuanto a peso y costos sin comprometer la resistencia estructural. La reducción de espesor genera un mayor esfuerzo interno, con 69.87 MPa en la fibra extrema, pero se mantiene dentro de los valores aceptables para el material. La optimización lograda con el segundo diseño representa un equilibrio entre resistencia y eficiencia, evitando el sobredimensionamiento y manteniendo la seguridad estructural.

Material seleccionado.

El material ASTM A572 Grado 50 se seleccionó debido a su alta resistencia estructural, su excelente soldabilidad y su capacidad de soportar cargas elevadas sin generar deformaciones excesivas. Durante el análisis comparativo de materiales, se analizaron distintas opciones como el ASTM A36, Aluminio 6061-T6 y Acero Inoxidable 304, pero se determinó que estos materiales presentaban limitaciones en términos de resistencia o densidad.

Uno de los principales factores que se vio reflejado en la selección del ASTM A572 Grado 50 fue su límite de fluencia de 345 MPa, lo que permitió garantizar un factor de seguridad

cercano a 5 sin necesidad de incrementar excesivamente el espesor del material. En comparación, el ASTM A36 mostró un FS de 3.58, el Aluminio 6061-T6 un FS de 3.95, y el Acero Inoxidable 304 un FS de 2.93, lo que los hacía opciones menos seguras para la aplicación en un chasis sometido a condiciones exigentes.

El material ofrece una buena relación resistencia-peso, asegurando que la estructura del chasis no se vuelva innecesariamente pesada, lo cual es fundamental para el desempeño eficiente del Iron Horse Flex en terrenos accidentados, englobando todo lo dicho el ASTM A572 Grado 50 es la mejor elección porque cumple con los requerimientos mecánicos, garantiza la seguridad del chasis con un FS adecuado y mantiene un diseño eficiente.

Resultados de estudio en SolidWorks

VON: Tensión de Von Mises:

La Imagen 6, se muestra un análisis de elementos finitos realizado sobre una estructura del Iron Horse, evaluando la distribución de tensiones de von Mises bajo condiciones de carga estática. Los resultados indican que la estructura se encuentra dentro de un rango seguro, ya que las tensiones máximas obtenidas son considerablemente inferiores al límite elástico del material. El chasis presenta una adecuada distribución de esfuerzos, sin concentraciones críticas que pudieran comprometer su integridad. Las restricciones y cargas aplicadas reflejan una simulación representativa de las condiciones operativas, confirmando que el diseño es estructuralmente sólido y funcional para su propósito.

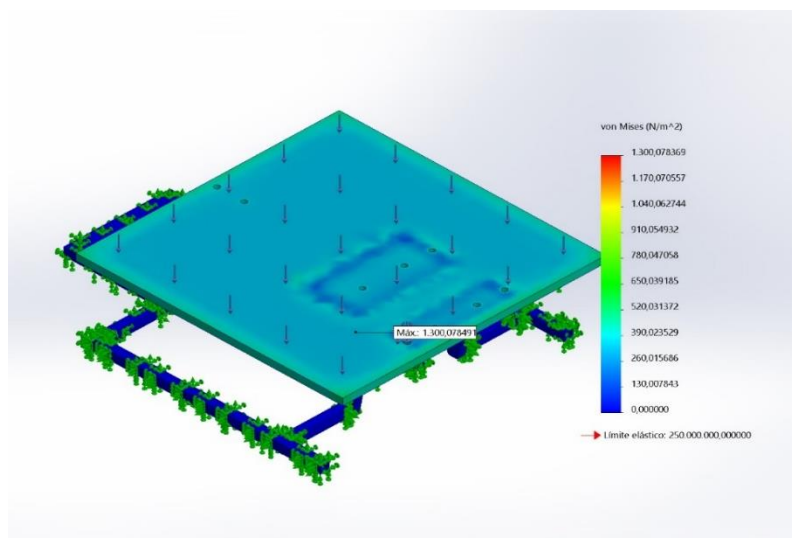


Imagen 6. Tensión de Von Mises.
Elaborado por: Villacis, Anthony (2025).

URES: Desplazamientos resultantes

La Imagen 7, se muestra un análisis de elementos finitos aplicado a la estructura del Iron Horse Flex, específicamente evaluando el desplazamiento estático de la plataforma bajo condiciones de carga. En el estudio, se observa un mapa de desplazamientos representado mediante una escala de colores, donde las zonas con mayor deformación se encuentran en tonos rojizos y las de menor desplazamiento en azul.

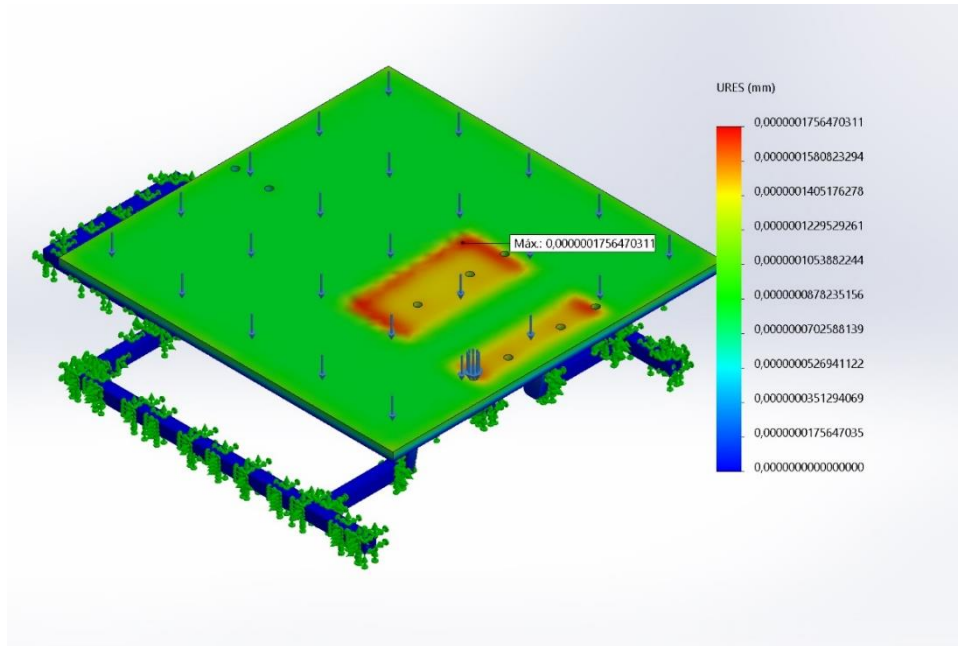


Imagen 7. Desplazamiento Resultante.

Elaborado por: Villacis, Anthony (2025).

Los resultados indican que los desplazamientos máximos alcanzan un valor en el orden de 0.0000001617, lo que es prácticamente insignificante en términos estructurales. La distribución de deformaciones muestra que la estructura mantiene una alta rigidez, ya que los valores de desplazamiento son extremadamente bajos y se concentran en áreas específicas de la plataforma, sin comprometer su estabilidad general.

Se identifican puntos de aplicación de carga distribuidos de manera uniforme sobre la superficie superior, mientras que las restricciones en la base aseguran la fijación del sistema, evitando movimientos no deseados. La escala de deformación utilizada es de 1:1, lo que indica que la representación gráfica no ha sido exagerada, reflejando con precisión el comportamiento real de la estructura.

ESTRN: Deformación unitaria equivalente.

La Imagen 8, representa un análisis de elementos finitos aplicado a la estructura del Iron Horse, evaluando la deformación unitaria equivalente bajo carga estática. Los resultados muestran que la máxima deformación unitaria alcanza un valor de 0.0000000121294, lo que indica una respuesta estructural óptima con una rigidez elevada. La distribución de deformaciones es uniforme y no presenta concentraciones críticas, lo que sugiere que el diseño es estable y resistente ante las cargas aplicadas. Las restricciones en los bordes aseguran la fijación de la estructura, mientras que las fuerzas distribuidas sobre la superficie superior no generan deformaciones significativas.

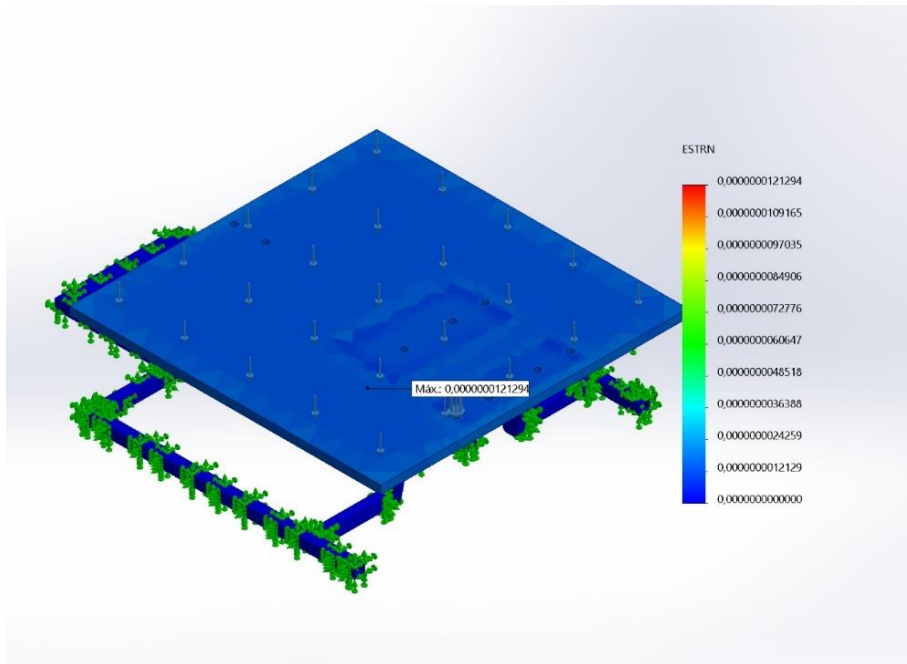


Imagen 8. Deformación unitaria equivalente.
Elaborado por: Villacis, Anthony (2025).

Factor de seguridad

La Imagen 9, se muestra un análisis de elementos finitos aplicado a la estructura del Iron Horse, evaluando el factor de seguridad bajo condiciones de carga estática. La escala de colores indica la distribución del factor de seguridad en la estructura, donde los tonos rojos representan valores elevados. En este caso, el análisis muestra un factor de seguridad mínimo de 5, lo que significa que la estructura es cinco veces más resistente de lo necesario para soportar las cargas aplicadas.

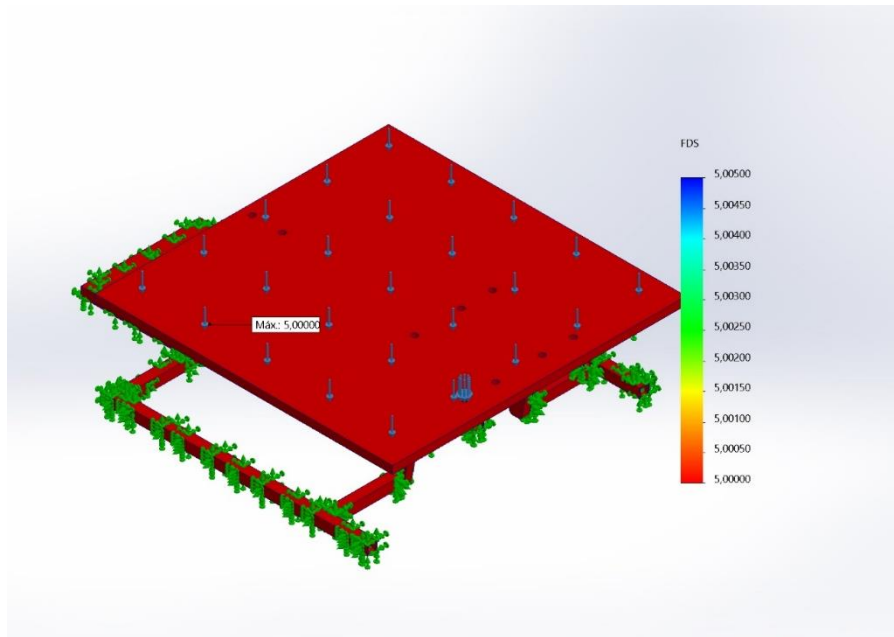


Imagen 9. Factor de seguridad.
Elaborado por: Villacis, Anthony (2025).

La uniformidad en la distribución del color rojo indica que toda la estructura mantiene un alto margen de seguridad, sin zonas críticas que puedan comprometer su integridad. Las restricciones en la base aseguran la estabilidad del sistema, mientras que las cargas aplicadas en la superficie superior se distribuyen sin generar concentraciones de esfuerzos preocupantes.

Diseño conceptual

En la Imagen 10, se presenta un diseño preliminar del Iron Horse, un sistema mecánico para optimizar el transporte de tubería de perforación minera en terrenos accidentados. Este boceto inicial brinda una representación visual de la primera etapa del desarrollo, siendo una propuesta sujeta a cambios y mejoras en función de las necesidades específicas de la operación. El diseño busca resolver desafíos como el transporte manual o con caballos, priorizando la eficiencia y la reducción del esfuerzo físico en las actividades de GoldTech Drilling.

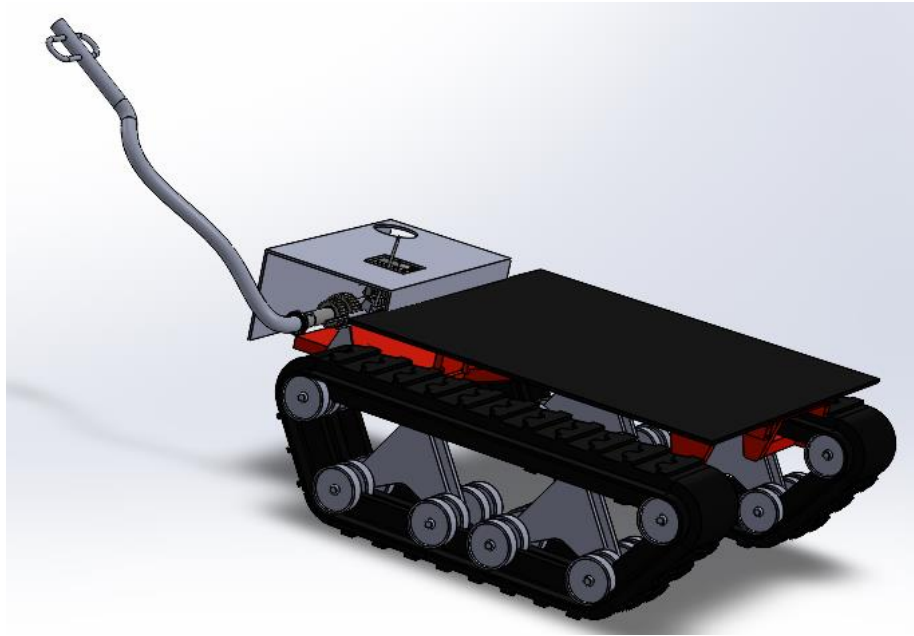


Imagen 10. Diseño conceptual
Elaborado por: Villacis, Anthony (2025)

En la Imagen 11, se modela en 3D del chasis del Iron Horse Flex y sus planos se los puede observar en el (Anexo 1), tiene una estructura robusta y modular, que requiere un material capaz de soportar cargas significativas y proporcionar estabilidad en terrenos difíciles. El acero ASTM A572 (Grado 50) es la elección ideal para este tipo de diseño debido a su alta resistencia mecánica, con un límite de fluencia de 345 MPa, lo que le permite soportar las tensiones generadas por las cargas dinámicas y estáticas durante el transporte de los tubos de perforación.

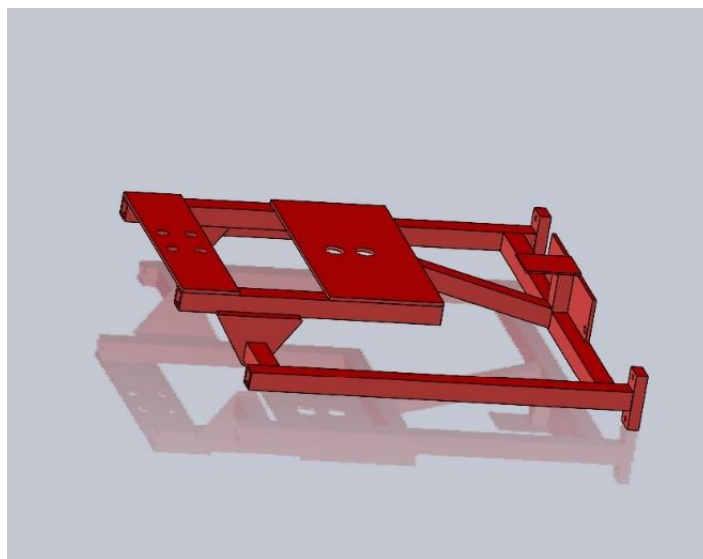


Imagen 11. Diseño del chasis del Iron horse.
Elaborado por: Villacis, Anthony (2025).

La plataforma central del chasis, que incluye perforaciones para montar componentes adicionales, y la base formada por vigas y perfiles rectangulares, requieren un material con excelente resistencia a la deformación, algo que el ASTM A572 ofrece, al ser especialmente adecuado para aplicaciones estructurales que demandan tanto rigidez como resistencia, este acero es fácil de trabajar y soldar, lo que facilita la fabricación del chasis modular y asegura que las uniones sean seguras y duraderas.

Dado que el diseño modular permite adaptaciones para diferentes configuraciones y condiciones de terreno, el acero ASTM A572 proporciona la combinación perfecta de resistencia, durabilidad y facilidad de fabricación, lo que garantiza que el chasis mantendrá su integridad estructural a lo largo del tiempo, incluso en ambientes exigentes.

En la Imagen 12, se puede observar el diseño en SolidWorks del motor, los planos en (Anexo 2) y en el (Anexo 15) se visualiza la ficha técnica del motor seleccionado para el Iron Horse Flex es un motor de combustión interna, diseñado para proporcionar la potencia necesaria en aplicaciones de alto esfuerzo y operación continua. Se caracteriza por su eficiencia en consumo de combustible, alto torque a bajas revoluciones y durabilidad en entornos exigentes cuenta con un sistema de refrigeración por aire que evita el sobrecalentamiento y asegura un rendimiento estable durante largas jornadas de trabajo.

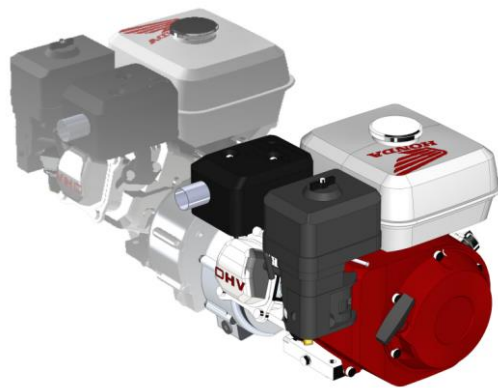


Imagen 12. Diseño del motor en SolidWorks del Iron horse.
Elaborado por: Villacis, Anthony (2025).

Este motor está equipado con un sistema de encendido confiable, que facilita su arranque en diversas condiciones ambientales. Su estructura compacta y liviana permite una integración eficiente en equipos de movilidad, mientras que sus componentes internos

están diseñados para soportar vibraciones y esfuerzos mecánicos sin comprometer su funcionamiento, cumple con normativas de emisiones y seguridad, garantizando un desempeño óptimo con bajo impacto ambiental lo que busca la empresa.

Cálculo de consumo del consumo de combustible del motor del Iron Horse Flex.

Datos:

Tiempo Total del recorrido	137 min $\longrightarrow \frac{137 \text{ min}}{60} = 2,2833 \text{ horas}$
Consumo del combustible a potencia nominal	3,5 L/h
Capacidad del tanque	6.1 Litros

Cálculo del consumo total de combustible:

$$\text{Consumo total} = \text{Tiempo total} \times \text{Consumo por hora} \quad [\text{Ec. 7}]$$

$$\text{Consumo total} = 2,2833 \text{ h} \times 3,5 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

$$\text{Consumo total} = 7,99 \text{ Litros}$$

El Iron Horse Flex consumirá 7.99 litros para recorrer los 2.5 km en 137 minutos.

Cálculo de la distancia máxima con un tanque lleno:

$$\text{Tiempo máximo} = \frac{\text{Capacidad del tanque}}{\text{Consumo por hora}} \quad [\text{Ec. 8}]$$

$$\text{Tiempo máximo} = \frac{6,1 \text{ L}}{3,5 \frac{\text{L}}{\text{h}}}$$

$$\text{Tiempo máximo} = 1,74 \text{ h} = 104,57 \text{ min}$$

En 104.57 minutos, el tanque se vaciará.

Para calcular qué distancia se recorrerá en ese tiempo:

$$Distancia\ recorrida = \left(\frac{2,5\ km}{137\ min} \right) \times 104,57\ min \quad [Ec. 9]$$

$$Distancia\ recorrida = 1,91\ km$$

Entonces, con un tanque lleno solo se podrá recorrer aproximadamente 1.91 km antes de necesitar reabastecimiento.

Reabastecimiento necesario:

Para completar los 2.5 km, falta recorrer:

$$2,5\ km - 1,91\ km = 0,59\ km \quad [Ec. 10]$$

Dado que el consumo de combustible es lineal con el tiempo, necesitamos:

$$Combustible\ adicional = \frac{0,59\ km}{2,5\ km} \times 7,99\ L \quad [Ec. 11]$$

$$Combustible\ adicional = 1,89\ L$$

Por lo tanto, se necesitará al menos 1.89 litros adicionales para completar los 2.5 km.

Cálculo de conversión de litros a galones

Sabemos que 1 galón equivale a 3.785 litros, por lo que usamos la siguiente fórmula para convertir 7.99 litros a galones:

$$Galones = \frac{Litros}{Litros\ por\ galón} \quad [Ec. 12]$$

$$Galones = \frac{7,99\ L}{3,785\ L}$$

$$Galones = 2,11$$

Cálculo del consumo y costo anual de combustible para el iron horse flex

Datos:

Consumo de combustible por traslado	2,11 galones
Número de traslados por mes	5 traslados/mes
Número de meses por año	12 meses/año
Precio del galón de gasolina en Ecuador	2,77 USD/galón

Calcular consumo anual de combustible

Se sabe que en un mes se realizan 5 traslados, y en cada traslado se consumen 2.11 galones.

$$\text{Consumo mensual} = \text{Consumo por traslado} \times \text{Número de traslados por mes.} \quad [\text{Ec. 13}]$$

$$\text{Consumo mensual} = 2,11 \frac{\text{gal}}{\text{traslado}} \times 5 \frac{\text{traslados}}{\text{mes}}$$

$$\text{Consumo mensual} = 10,55 \frac{\text{gal}}{\text{mes}}$$

Se multiplica este consumo mensual por los 12 meses del año para obtener el consumo anual:

$$\text{Consumo anual} = \text{Consumo mensual} \times \text{Número de meses por año} \quad [\text{Ec. 14}]$$

$$\text{Consumo anual} = 10,55 \frac{\text{gal}}{\text{mes}} \times 12 \frac{\text{meses}}{\text{año}}$$

$$\text{Consumo anual} = 126,6 \frac{\text{gal}}{\text{año}}$$

Costo anual de combustible:

$$\text{Costo anual} = \text{Consumo anual} \times \text{Precio por galón} \quad [\text{Ec. 15}]$$

$$\text{Costo anual} = 126,6 \frac{\text{gal}}{\text{año}} \times 2,77 \frac{\text{USD}}{\text{gal}}$$

$$\text{Costo anual} = 350,68 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

En la Imagen 13, se puede ver la transmisión del iron horse y sus planos se los puede observar en el (Anexo 3), corresponde a una caja de cambios de 900 kp que ofrece tres posiciones operativas: primera marcha, neutro y reversa. Su diseño se basa en un sistema de engranajes distribuidos en tres ejes principales: el de entrada (rojo), el intermedio (plata) y el de salida (verde). La disposición de estos engranajes permite convertir y transmitir el torque según la configuración elegida.

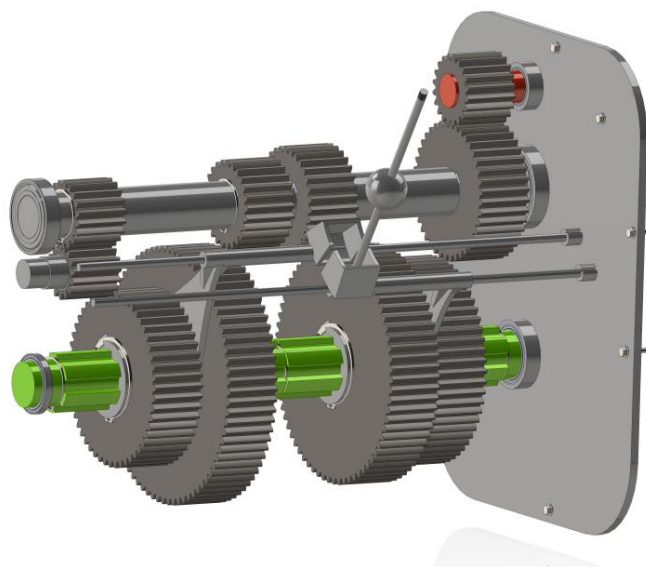


Imagen 13. Diseño de la transmisión en SolidWorks del Iron horse.
Elaborado por: Villacis, Anthony (2025).

El eje de entrada (rojo) recibe la potencia del motor y la transfiere al eje intermedio (plata). En este eje se alojan los engranajes que realizan los cambios de marcha. La posición de neutro se obtiene mediante un mecanismo que desacopla la potencia hacia el eje de salida, impidiendo que el movimiento llegue a las ruedas.

En la primera marcha, los engranajes de mayor tamaño del eje intermedio se acoplan con los del eje de salida (verde), logrando una relación de transmisión que maximiza el torque y facilita un arranque eficiente bajo carga. Por otro lado, la reversa se obtiene a través de

un engranaje específico en el eje de salida, encargado de invertir el sentido de rotación para permitir el desplazamiento hacia atrás.

La Imagen 14, indica el conjunto de piñón y engrane de la primera marcha y sus planos se los puede observar en el (Anexo 3), conformado por un piñón de menor diámetro en el eje intermedio que engrana con un engrane de mayor tamaño en el eje de salida, esta disposición genera la mayor multiplicación de torque en la caja de cambios, por tanto el movimiento transmitido desde el eje intermedio atraviesa el piñón pequeño y acciona el engrane grande, produciendo la primera velocidad con un notable incremento de potencia para arrancar el vehículo incluso bajo condiciones de carga elevada.

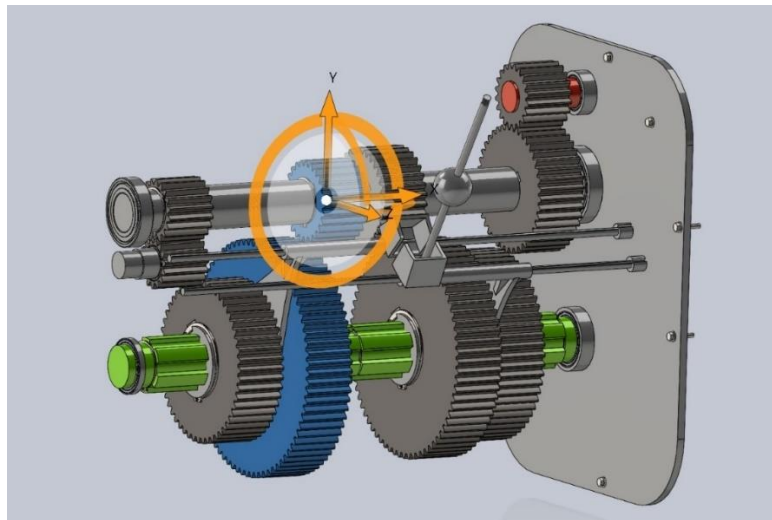


Imagen 14. Piñón y engranaje de la primera
Elaborado por: Anthony Villacis

En la Imagen 15, se muestra el sistema de transmisión en neutro y sus planos se los puede observar en el (Anexo 3), donde el mecanismo de engranajes desacopla el eje intermedio del eje de salida, impidiendo que la potencia del motor se transmita a las ruedas. Esto se logra a través de un ajuste que evita la conexión entre los engranajes de la primera marcha, permitiendo que el motor siga funcionando sin afectar el movimiento del vehículo. Este estado asegura que no haya transferencia de torque, lo que resulta en la inactividad del sistema de propulsión mientras el vehículo permanece detenido.

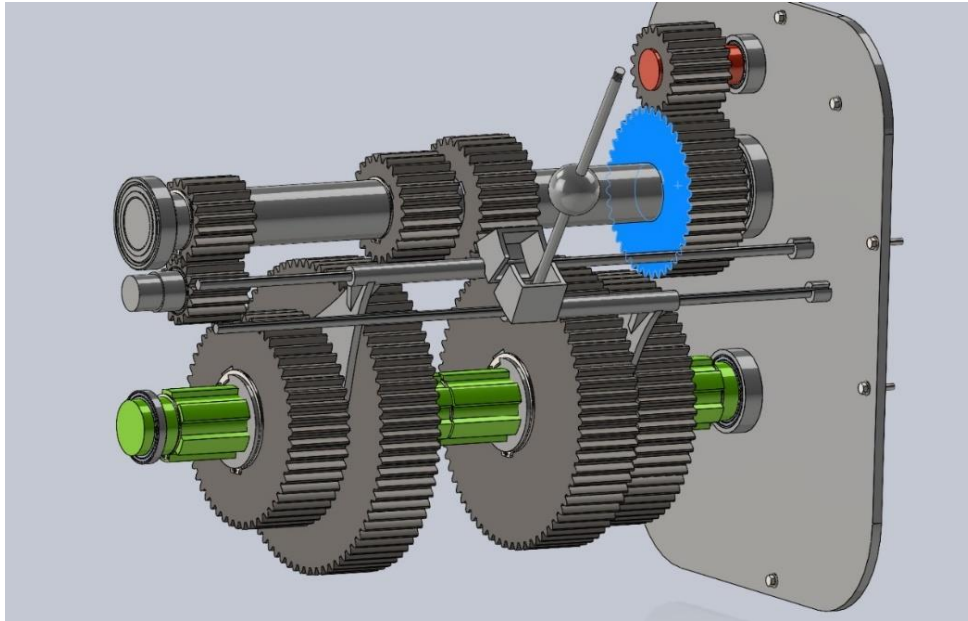


Imagen 15. Piñón y engranaje en neutro.
Elaborado por: Villacis, Anthony (2025)

La imagen 15, de igual manera nos indica la caja de cambios en posición de neutro, donde el engranaje (resaltado en azul) no acopla el eje intermedio con el eje de salida, de modo que, aunque el eje de entrada gire, no se transmite torque al eje de salida y las ruedas permanecen sin movimiento.

La Imagen 16, muestra el sistema de transmisión en la posición de reversa y sus planos se los puede observar en el (Anexo 3), donde se emplea un engranaje inversor que acopla el eje intermedio al eje de salida, invirtiendo el sentido de rotación para que la potencia del motor se transmita de manera que el vehículo retroceda. Este ajuste en la configuración del engranaje permite generar el torque necesario en dirección opuesta, asegurando el movimiento hacia atrás, a diferencia de la posición de neutro, en la que no se transmite ningún torque a las ruedas.

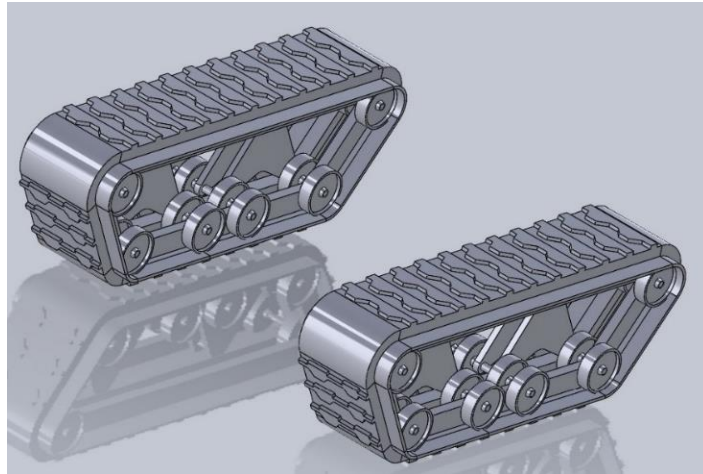


Imagen 17. Orugas y tren de rodaje del Iron Horse.

Elaborado por: Villacis, Anthony (2025)

La Imagen 18, se indica que el Iron Horse Flex cuenta con un sistema de dirección basado en una palanca mecánica y sus planos se los puede observar en el (Anexo 12), la cual permite al operario modificar la trayectoria del equipo de forma intuitiva. A diferencia de los vehículos con ruedas direccionales, este sistema actúa sobre la tracción de las orugas, regulando la velocidad de cada una para lograr el giro. La palanca cumple la función de un manillar, donde el operario la desplaza hacia la derecha o la izquierda para cambiar de rumbo.

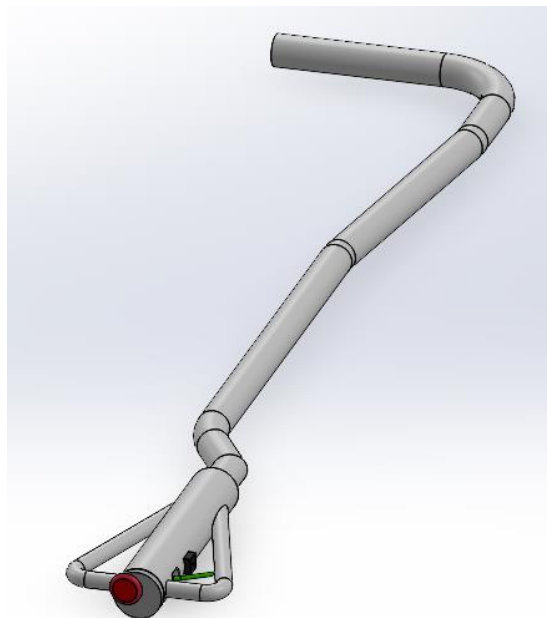


Imagen 18. Brazo de dirección

Elaborado por: Villacis, Anthony (2025)

Cuando el brazo de dirección este operado por el personal, la dirección del brazo hará que vaya en línea recta. Si el brazo de dirección se mueve hacia la derecha, la oruga derecha reduce su velocidad o se frena, mientras que la izquierda sigue avanzando. Como resultado, el equipo gira hacia la derecha. De manera similar, si el brazo direccional se mueve hacia la izquierda, la oruga izquierda desacelera, permitiendo que el vehículo gire hacia la izquierda.

El sistema de transmisión de la dirección puede estar compuesto por varillas, cables o mecanismos hidráulicos, que conectan el brazo de dirección con los frenos o con el sistema de tracción de cada oruga. Este mecanismo permite que el giro sea progresivo y estable, evitando movimientos bruscos que puedan comprometer la seguridad del operario.

El sistema de dirección con brazo direccional ofrece varias ventajas operativas. Su uso es sencillo y ergonómico, ya que el operario solo necesita guiarlo sin realizar esfuerzos excesivos, permite girar en espacios reducidos, lo que mejora la movilidad en terrenos accidentados.

La Imagen 19, se observa un sistema de frenado del Iron Horse Flex está diseñado para garantizar un control eficiente en terrenos difíciles y sus planos se los puede observar en el (Anexo 14), se muestra un freno de tambor, el cual será utilizado en el Iron Horse Flex para frenar el eje motriz del sistema de transporte de tubos de perforación minera.



Imagen 19. Freno del Iron Horse.
Elaborado por: Villacis, Anthony (2025)

Este freno de tambor opera mediante la activación de un cable de accionamiento que, al ser tensionado, acciona una leva o un mecanismo de expansión interna, provocando el desplazamiento de las zapatas de freno hacia la superficie interna del tambor. Estas zapatas, fabricadas con un material de alto coeficiente de fricción, generan una resistencia significativa al giro del tambor, disipando la energía cinética del eje motriz en forma de calor y reduciendo progresivamente su velocidad hasta detenerlo completamente si es necesario.

El sistema de frenado cuenta con resortes de retorno que garantizan la retracción de las zapatas una vez que se libera la tensión en el cable, evitando el contacto continuo con el tambor y reduciendo el desgaste innecesario. Este mecanismo permite un control preciso del movimiento del Iron Horse Flex, mejorando la seguridad y estabilidad del equipo en pendientes o superficies irregulares.

El freno de tambor está directamente relacionado con el brazo de dirección, ya que el cable de accionamiento discurre a través del tubo de dirección y emerge en la manija de control. En esta manija se encuentra una palanca manual que permite accionar el freno de manera gradual, similar a un acelerador, incorpora un sistema de parada de emergencia que se activa al presionar un seguro, lo que interrumpe automáticamente la tracción y detiene el equipo de manera inmediata.

El uso de este freno de tambor en el diseño del Iron Horse Flex responde a la necesidad de contar con un sistema de frenado confiable y de fácil mantenimiento, capaz de soportar las condiciones operativas exigentes del entorno minero, su diseño permite una integración eficiente con el sistema de tracción del equipo, asegurando un desempeño óptimo en el transporte de tubos de perforación.

La Imagen 20, se muestra un modelo tridimensional de una estructura metálica diseñada para el almacenamiento y transporte de tubos de perforación y sus planos se los puede observar en el (Anexo 11). La estructura tiene una forma rectangular y cuenta con una base perforada que permite organizar los tubos de manera segura y eficiente. Sus dimensiones generales son de 1.50 m de largo, 1.60 m de ancho y 0.81 metros de altura.

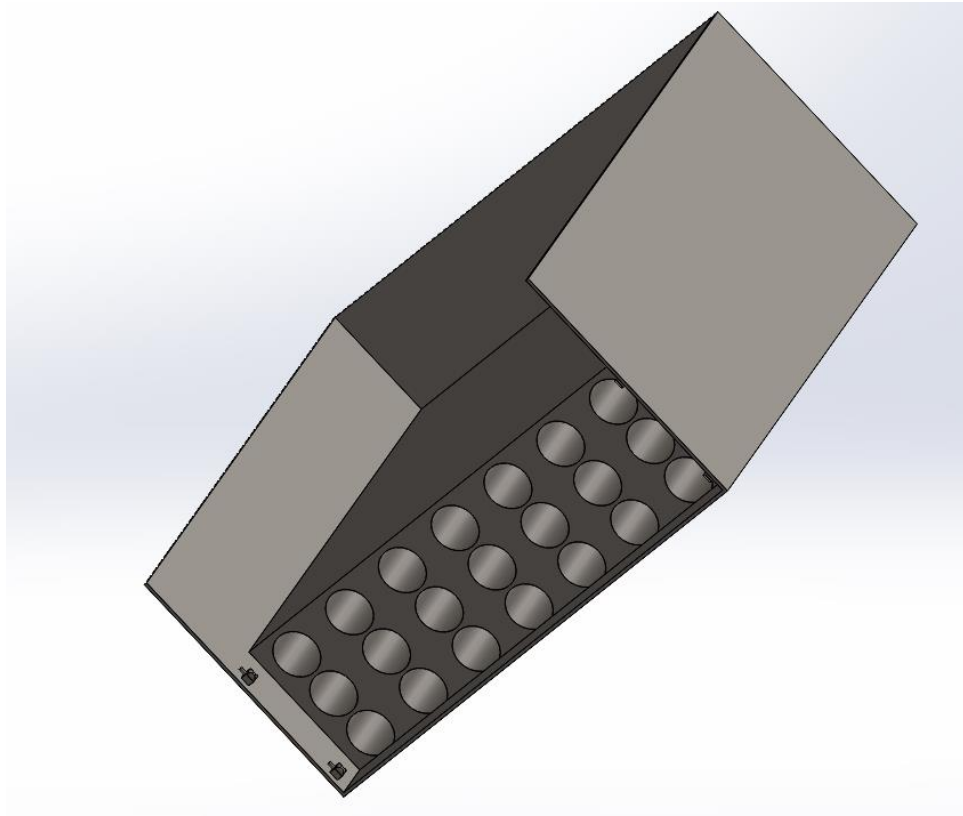


Imagen 20. Cajón para el transporte de tubería.
Elaborado por: Villacis, Anthony (2025)

En la base se encuentran múltiples orificios circulares, cada uno con un diámetro de 14 centímetros, lo que permite alojar tubos de perforación de 10 centímetros de diámetro. Esta disposición facilita la estabilidad de los tubos durante su transporte y almacenamiento, evitando movimientos innecesarios que podrían comprometer su integridad, la estructura presenta tres paredes sólidas y un lado para la puerta la cual asegurara la tubería.

En la Imagen 21, se refleja el Iron Horse Flex es un equipo de transporte diseñado para mejorar la logística en operaciones de perforación minera y sus planos se los puede visualizar en el (Anexo 13). Su estructura compacta y robusta le permite desplazarse con eficiencia en terrenos accidentados, facilitando el traslado de tubos de perforación sin la necesidad de métodos tradicionales como el transporte manual, su sistema de orugas de alto rendimiento, el equipo ofrece mayor tracción, estabilidad y capacidad de adaptación a superficies irregulares, asegurando un desplazamiento seguro en condiciones adversas.

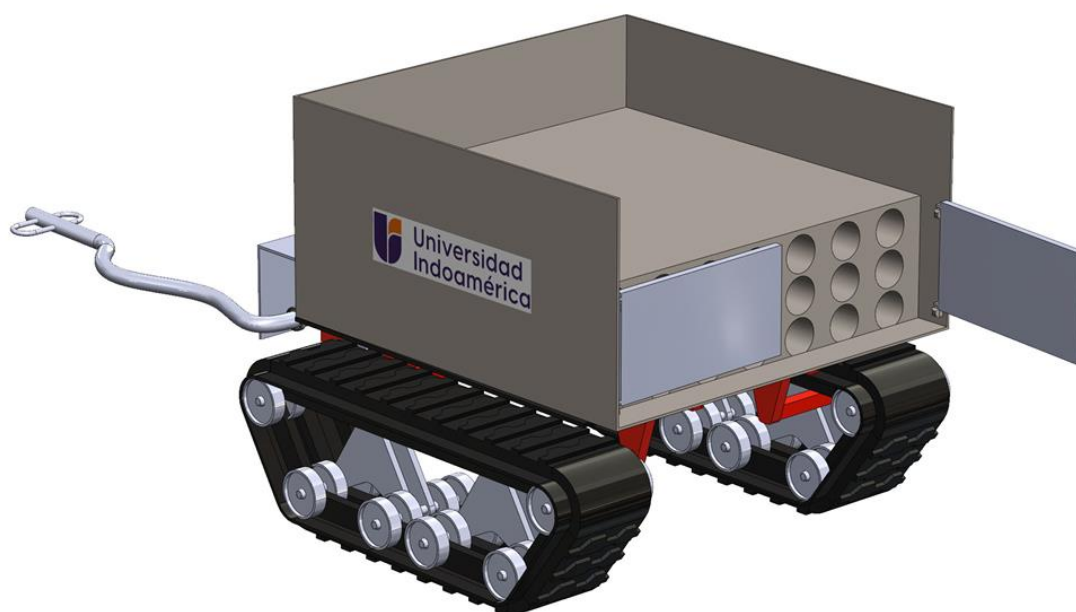


Imagen 21. Diseño del Iron Horse terminado.
Elaborado por: Villacis, Anthony (2025)

El diseño del Iron Horse Flex ha sido desarrollado en SolidWorks, su estructura principal está fabricada en acero estructural ASTM A572 Grado 50, lo que garantiza una alta resistencia mecánica y durabilidad frente a las exigencias del entorno de GoldTech Drilling. La zona de carga está diseñada para alojar múltiples tubos de perforación y cuenta con compuertas flexibles, lo que facilita la carga y descarga de tubería, optimizando los tiempos de operación y reduciendo el esfuerzo físico del personal.

El equipo incorpora un mecanismo de dirección manual, que permite un control preciso en espacios reducidos y en terrenos de difícil acceso, el diseño ergonómico y funcional, el Iron Horse Flex se convierte en una solución clave para mejorar la logística interna de la empresa, reduciendo los tiempos de traslado y optimizando los recursos humanos. Su implementación minimiza la necesidad de personal exclusivamente dedicado al transporte de tubos, permitiendo que estos recursos sean reasignados a otras tareas dentro del proceso de perforación.

La integración del Iron Horse Flex en las operaciones de GoldTech Drilling representara un avance significativo en eficiencia, seguridad y reducción de costos. Al mejorar el transporte de tubos en zonas de difícil acceso, se logra un aumento en la productividad, una reducción en los tiempos muertos y una mejor gestión de los materiales. Mediante

este equipo, la empresa incrementa su capacidad operativa, disminuye el desgaste físico del personal y fortalece la seguridad en cada traslado, asegurando un flujo de trabajo más ágil y eficiente en sus proyectos de perforación.

Cálculo de la transmisión del Iron Horse Flex

1. Cálculo del torque en la oruga

La fuerza de tracción (F) Torque en la oruga (ψ_{Oruga})

$$F = \frac{T}{r} \quad [Ec. 16]$$

Dónde:

- $F=8,829N$ (**fuerza de tracción**),
- $r=0,15m$ (**radio del piñón**)

despejamos (ψ_{Oruga}):

$$T_{oruga} = F \times r \quad [Ec. 17]$$

$$\psi_{Oruga} = 8,829 N \times 0,15m = 1,324,35 Nm$$

El par requerido en la oruga es 1.324,35 Nm.

2. Relación de reducción necesaria

La transmisión debe aumentar el par del motor (27 Nm) hasta el par.1.324,35 Nm.

reducción total necesario:

$$R_{total} = \frac{T_{oruga}}{T_{motor}} \quad [Ec. 18]$$
$$R_{total} = \frac{1,324.35Nm}{27Nm} = 49$$

La transmisión necesita una reducción total de aproximadamente 49:1.

3. Cálculo de la velocidad final

La velocidad angular de la oruga (ω_{oruga}) está relacionada con la velocidad líneas por:

$$V = (\omega_{oruga}) \times \alpha \quad [Ec. 19]$$

Dónde:

- V es la velocidad lineal de la oruga (en m/s),
- Radio del piñón motor: $\alpha = 0,15$ metro.
- (ω_{oruga}) es la velocidad angular de la oruga en rad/s:

La velocidad angular de la oruga se obtiene a partir de la velocidad en RPM:

$$RPM_{oruga} = \frac{RPM_{motor}}{R_{total}} \quad [Ec. 20]$$

Sustituyendo:

$$RPM_{oruga} = \frac{3,600 \text{ rpm}}{49} = 73.5 \text{ RPM} \quad [Ec. 20]$$

Convertimos esta velocidad angular a *rad/seg* (ω):

$$\omega_{oruga} = \frac{RPM_{oruga} \times 2\pi}{60 \text{ seg}} \quad [Ec. 21]$$

$$\omega_{oruga} = \frac{73.5 \text{ RPM} \times 2\pi}{60 \text{ seg}}$$

$$\omega_{oruga} = 7.69 \text{ rad/seg}$$

Finalmente, calculamos la velocidad lineal de la oruga:

$$V = 7.69 \text{ rad/seg} \times 0.15 \text{ m} \quad [Ec. 22]$$

$$V = 1.15 \text{ m/s}$$

Convertimos esta velocidad a km/h:

$$V = 1.15 \text{ m/s} \times \frac{3600 \text{ seg}}{1000 \text{ m}} \quad [Ec. 22]$$

$$V = 4.14 \text{ km/h}$$

El Iron Horse tendrá una velocidad final de aproximadamente 4.14 km/h.

4. Cálculo del torque en la caja reductora

El torque en la salida de la caja reductora se obtiene multiplicando el torque del motor por la reducción de la caja:

$$T_{caja} = T_{motor} \times R_{caja} \quad [Ec. 23]$$

$$T_{caja} = 27 Nm \times 7$$

$$T_{caja} = 189 Nm$$

El torque en la oruga después de la reducción por cadena se calcula como:

$$T_{oruga} = T_{caja} \times R_{cadena} \quad [Ec. 24]$$

$$T_{oruga} = 189 Nm \times 7$$

$$T_{oruga} = 1,323 Nm$$

El torque en la oruga es 1,324 Nm, lo que cumple con los requerimientos de tracción.

Cálculo y análisis del tiempo de recorrido del Iron Horse Flex

En la Tabla 10, presenta los datos y tiempos asociados al Iron Horse Flex, incluyendo su peso, capacidad de carga y velocidad máxima, considera factores como la distancia a recorrer, fundamentales para evaluar su desempeño en el transporte de tubos de perforación.

Tabla 10. Datos y tiempo del Iron Horse.

Datos Iniciales:	
Peso del Iron Horse Flex	909.9063 kg
Caja de cambios	900 Kp (~8826 N)
Velocidad máxima	4 km/h (1.111 m/s)
Carga transportada	20 tubos de perforación de 11.7 kg cada uno
Distancia para recorrer	2500 m
Gravedad terrestre	: 9.81 m/s ²
Coefficiente de fricción estimado para terreno accidentado	0.15

Elaborado por: Villacis, Anthony (2025).

2. Cálculo del peso total transportado:

Peso de la carga (tubería de perforación):

Se multiplica el número de tubos por el peso de cada uno.

$$Carga\ total = 20 \times 11,7Kg = 234\ Kg \quad [Ec. 25]$$

Y como carga total tenemos 234 kg

Peso total del sistema:

Se suma el peso del Iron Horse Flex a la carga total.

$$M_{total} = \text{Peso del iron horse} + \text{Carga total} \quad [Ec. 26]$$
$$M_{total} = 909,9063\ kg + 234\ kg = 1143,9063kg$$

Fuerza total ejercida por el peso:

Se utiliza la fórmula de la segunda ley de Newton, donde la fuerza es el producto de la masa y la aceleración de la gravedad.

$$F_{total} = M_{total} \times g \quad [Ec. 27]$$
$$F_{total} = 1143,9063kg \times 9,81 \frac{m}{s^2} = 11214,70\ N$$

3. Cálculo del tiempo de recorrido a velocidad máxima:

La velocidad máxima del Iron Horse Flex es 4 km/h, lo que equivale a:

$$V = \frac{4Km}{h} = \frac{4 \times 1000}{60 \times 60} = 1,111\ m/s \quad [Ec. 28]$$

La distancia total para recorrer es:

$$d = 2500m \quad [Ec. 29]$$

El tiempo de recorrido a velocidad máxima se calcula con la ecuación del movimiento uniforme:

Fórmula del tiempo:

$$t = \frac{d}{v} \quad [Ec. 30]$$

Sustituyendo valores:

$$t = \frac{2500 \text{ m}}{1,111 \text{ m/s}} = 2250,23 \text{ seg} \quad [Ec. 30]$$

Convertir a minutos:

$$t = \frac{2250,23 \text{ seg}}{60 \text{ min}} = 37,5 \text{ min} \quad [Ec. 30]$$

Tiempo ideal:

En condiciones ideales y con velocidad constante, el Iron Horse Flex recorrerá 2500 m en aproximadamente 37,5 min.

Tiempo real:

Tomando en cuenta que el iron horse flex debe ser operado por una persona esto hace que el tiempo de transporte sea de 137 minutos puesto que ese es el tiempo promedio que se demoran los operarios de llegar del punto de partida hasta el final del proceso.

4. Cálculo de la fuerza necesaria para el movimiento:

Fuerza de fricción:

$$F_{fricción} = \mu d \times F_{total} \quad [Ec. 31]$$

Donde:

$\mu = 0,15$ (coeficiente de fricción para terreno accidentado)

$F_{total} = 11214,70 \text{ N}$ (fuerza total ejercida por el peso)

$$F_{fricción} = 0,15 \times 11214,70 \text{ N} = 1682,21 \text{ N} \quad [Ec. 31]$$

La caja de cambios puede proporcionar hasta **8826 N**, lo que indica que el sistema tiene suficiente capacidad para moverse sin problemas.

Resultados esperados:

En la Tabla 4, análisis de tiempos, se observa que actualmente el transporte de los tubos de perforación en GoldTech Drilling requiere aproximadamente 137 minutos, involucrando a 16 operarios que realizan la tarea de forma manual en un terreno accidentado. Este proceso genera una alta demanda de mano de obra, largos tiempos de traslado y un esfuerzo físico considerable por parte del personal que traslada la tubería, lo que a corto, mediano o largo plazo incrementa el riesgo de lesiones y fatiga laboral.

Con el diseño del Iron Horse Flex, se espera lograr una reducción significativa en el tiempo de transporte, optimizando el flujo de trabajo y mejorando la eficiencia operativa. Se estima que el traslado de la tubería será mucho más rápido, lo que permitirá una mejor disponibilidad de los materiales en el sitio de perforación y disminuirá los retrasos en la ejecución de las actividades.

La reducción de la carga física sobre los operarios, puesto que el uso de un sistema mecanizado minimizará la necesidad de manipulación manual. Esto contribuirá a mejorar las condiciones laborales, disminuir el riesgo de lesiones musculoesqueléticas y permitir la reasignación del personal a tareas de mayor valor agregado dentro del proceso productivo de la empresa.

El diseño del Iron Horse Flex aumentará la seguridad en el proceso de transporte, eliminando riesgos asociados a la manipulación de tubos pesados en terrenos irregulares y posibles interrupciones en las operaciones.

Desde el punto de vista de la optimización de recursos, la automatización de esta actividad reducirá la cantidad de operarios dedicados exclusivamente al transporte de tuberías, permitiendo un uso más eficiente del recurso humano, se generarán ahorros en costos operativos, al reducir la necesidad de contratación de personal adicional para estas tareas y disminuir los tiempos improductivos dentro del proceso logístico.

La mecanización del transporte contribuirá a la sostenibilidad de las operaciones, pues se reducirá la dependencia del uso de personal para el traslado de materiales, lo que no solo mejorará la eficiencia del proceso. En general, el diseño del Iron Horse Flex para el transporte de tubería representará una mejora significativa en la gestión logística de los

tubos de perforación, alineándose con los principios de eficiencia, seguridad y optimización de recursos dentro de GoldTech Drilling.

En la Tabla 11, se observa la reducción del tiempo total de transporte de tubería tras la implementación del Iron Horse Flex. En el proceso anterior, donde el transporte se realizaba manualmente, cada uno de los 16 operarios tardaba un promedio de 144 minutos, acumulando un total de 36,50 horas de trabajo en esta actividad. Con la implementación del Iron Horse Flex, el tiempo estándar se ajustó considerando que la máquina es operada por una sola persona, lo que reduce el tiempo de transporte a 137 minutos en total, lo que equivale a 5,38 horas en comparación con las 36,50 horas previas que se demoraban en total los 16 operarios.

Tabla 11. Cursograma Del Proceso Con El Iron Horse Flex

CURSOGRAMA ANALÍTICO DEL PROCESO									
Hoja N° _____ De: _____ Diagrama N°:1		Operar.		x		Mater.		Maqui.	
Proceso:		RESUMEN							
Fecha:28/10/2024		SÍMBOLO		ACTIVIDAD		Act.		Pro. Econ.	
El estudio Inicia:28/10/2024		●		Operación		3		0%	
Método: Actual: x Propuesto:		→		Transporte		5		0%	
Producto:Transporte de tubería minera		■		Inspección		5		0%	
Elaborado por: Anthony Villacis		D		Espera		0		100%	
		▼		Almacenaje		1		0%	
		Total de Actividades realizadas				14		0%	
		Distancia total en metros				2.577		0%	
		Tiempo hora/hombre		5,38		0%			
NUMERO	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	Cantidad	Distancia metros	Tiempo Minutos	SÍMBOLOS PROCESOS				
					●	→	■	D	▼
1	Diagnóstico de Mantenimiento de tubería	16	10,0	20	x				
2	Limpieza de la tubería	16	0,0	25	x				
3	Elaboración de la documentación y Logística de Tubería de Perforación	1	10,0	20			x		
4	Inspección y Verificación de Condiciones de Tubería	16	10,0	8			x		
5	Remisión de Tubería	1	0,0	8			x		
6	Planificación del Transporte	1	10,0	15			x		
7	Carga de Tubería por Encargados de Almacén	16	10,0	17		x			
8	Recepción en el Punto de Descarga	1	1,0	10		x			
9	Recepción de Tubería en el Proyecto por Personal del Almacén de Proyecto	1	1,0	10		x			
10	Distribución Interna de Tubería para Requerimientos del Proyecto	16	10,0	16		x			
11	Transporte de tubería con el Iron Horse	16	2500,0	137		x			
12	Descarga de Tubería en la Zona de Proyecto	16	5,0	16	x				
13	Organización y Almacenamiento en Racks Designados	16	5,0	16					x
14	Documentación de Inventario de tubería recibida	1	5,0	5			x		
Tiempo horas:		5,38		m 2.577,0		323 min			

Elaborado por: Villacis, Anthony (2025).

La optimización del proceso con el Iron Horse Flex no solo reduce el tiempo de ejecución, sino que también permite una mayor organización y eficiencia operativa. En el método manual, cada operario transportaba la tubería individualmente, lo que generaba que los tubos llegaran a la zona de operación en distintos momentos, afectando la continuidad del trabajo y generando tiempos muertos. Con el nuevo sistema, toda la tubería es

transportada simultáneamente y llega en un solo viaje, lo que mejora la sincronización del proceso y evita demoras en las siguientes etapas.

La reducción de tiempos, este cambio disminuye la fatiga del personal y el costo operativo asociado a la cantidad de operarios requeridos. La implementación del Iron Horse Flex representa un avance significativo en la logística de GoldTech Drilling, permitiendo un proceso más rápido, seguro y coordinado, optimizando así los recursos de la empresa.

La Imagen 22, muestra la comparación entre los tiempos de transporte manual y la estimación del transporte con el Iron Horse. Se observa que el método manual tiene tiempos elevados, oscilando entre 122 y 150 minutos por operario. Con el Iron Horse, el Operario 1, encargado de manipular el equipo, mantiene un tiempo estimado de 137 minutos, ya que es el tiempo requerido para que él mismo llegue al punto de entrega con la tubería. Sin embargo, los demás operarios, cuya función es únicamente cargar la tubería en el Iron Horse, presentan tiempos significativamente reducidos, entre 1.63 y 2.22 minutos, lo que implica una mejora operativa superior al 98% en su actividad. La gráfica resalta esta diferencia con una línea continua para el transporte manual y una línea discontinua para el Iron Horse, evidenciando la optimización en el proceso de transporte de tuberías.

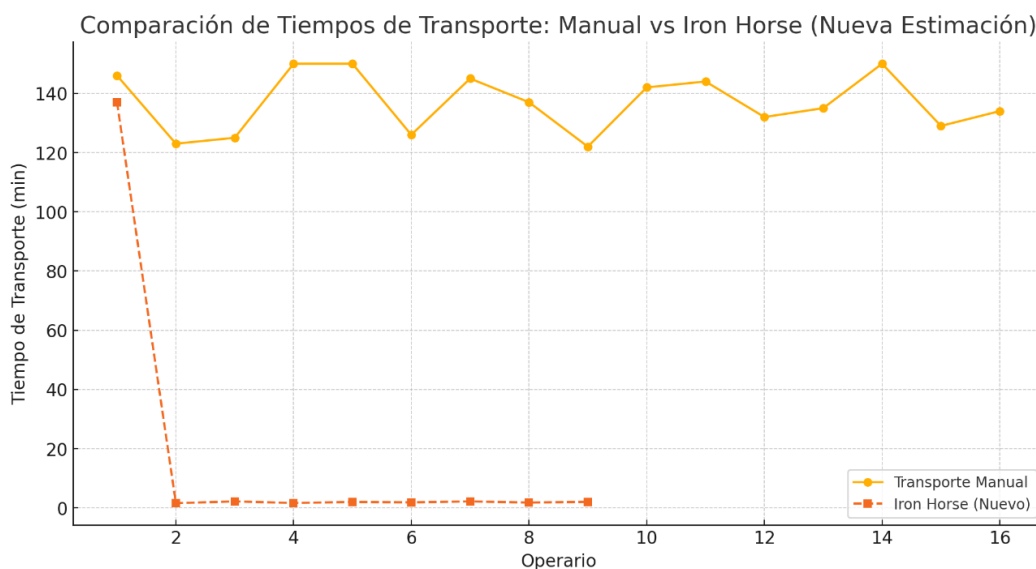


Imagen 22. Comparación de tiempos de transporte.
Elaborado por: Villacis, Anthony (2025)

La Tabla 12, presenta una estimación de los tiempos y costos con la implementación del Iron Horse en GoldTech Drilling para el transporte de tubos de perforación. En ella, se observa una disminución significativa en el tiempo de traslado, lo que permite optimizar la distribución del trabajo entre los operarios. Antes de la incorporación de este sistema, el transporte requería un mayor esfuerzo físico y una inversión considerable de tiempo, lo que generaba costos laborales elevados. Con la implementación del Iron Horse Flex, el tiempo de transporte se reduce considerablemente, lo que se traduce en una menor cantidad de horas trabajadas y un costo operativo anual estimado en \$2,244.32.

Tabla 12 Tiempos y costos con la implementación del iron horse.

TIEMPOS Y COSTOS CON LA IMPLEMENTACIÓN DEL IRON HORSE					
# DE OPERARIOS	TIEMPO ESTIMADO DE TRANSPORTE DEL IRON HORSE (minutos)	Distacia (Km)	TIEMPO DE TRANSPORT E/ OPERARIO (HORAS)	COSTO/ HORAS	VELOCIDAD
OPERARIO 1	137	2,5	2,28	\$ 10,38	0,913
OPERARIO 2	1,63	0	0,03	\$ 0,12	0,000
OPERARIO 3	2,22	0	0,04	\$ 0,17	0,000
OPERARIO 4	1,69	0	0,03	\$ 0,13	0,000
OPERARIO 5	2,04	0	0,03	\$ 0,15	0,000
OPERARIO 6	1,9	0	0,03	\$ 0,14	0,000
OPERARIO 7	2,21	0	0,04	\$ 0,17	0,000
OPERARIO 8	1,84	0	0,03	\$ 0,14	0,000
OPERARIO 9	2,07	0	0,03	\$ 0,16	0,000
TOTAL			2,54	\$ 11,56	
COSTO ANUAL				\$ 2.244,32	

Elaborado por: Villacis, Anthony (2025).

La tabla refleja una mejora en la eficiencia del proceso al disminuir la carga laboral individual, permitiendo que los operarios dediquen menos tiempo a esta actividad. La reducción en costos y tiempos operativos evidencia el impacto positivo de esta solución en la productividad de la empresa. Estos resultados respaldan la viabilidad del proyecto, destacando su contribución a la optimización del proceso de transporte y a la reducción del esfuerzo requerido en las operaciones de perforación minera.

El Gráfico 1, presentado muestra una comparación de los costos anuales asociados al transporte de tubería en GoldTech Drilling, contrastando el método tradicional con la implementación del Iron Horse Flex. En la barra azul, se observa un costo anual de \$9,954.55, correspondiente al transporte realizado de manera convencional, el cual requiere un uso intensivo de operarios y un mayor tiempo de ejecución. En cambio, la barra naranja representa el costo anual tras la implementación del Iron Horse Flex, reduciéndolo significativamente a \$2,244.32.

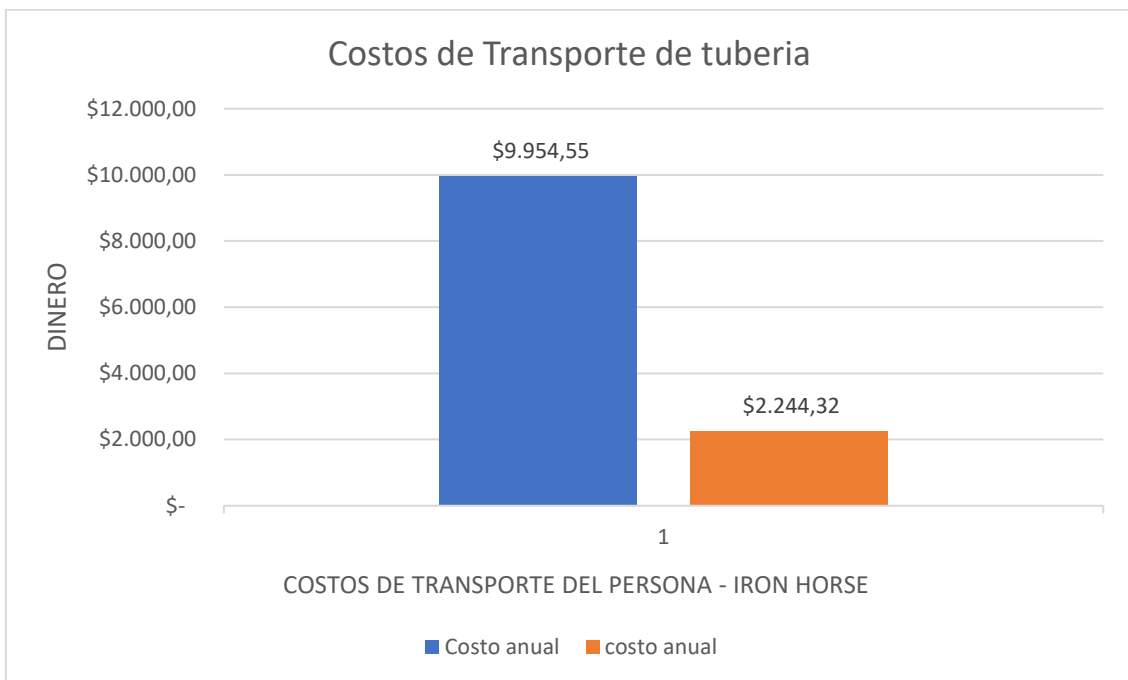


Gráfico 1. Costos anuales.

Elaborado por: Villacis, Anthony (2025).

Esta reducción de costos evidencia la eficiencia del nuevo sistema de transporte, demostrando que su implementación permite optimizar recursos, minimizar el esfuerzo físico de los operarios y mejorar la productividad en el proceso de traslado de tubería, la disminución del costo en aproximadamente un 75% justifica la viabilidad económica del proyecto, validando la importancia de adoptar soluciones tecnológicas innovadoras para mejorar la logística y eficiencia operativa en el entorno de la empresa y sus proyectos.

Tiempo de recuperación de la inversión

Datos:

Costo actual del transporte manual (anual)	\$9,954.55
Costo con el Iron Horse Flex (anual)	\$2,493.64
Inversión inicial en el Iron Horse Flex	\$7,160

Calcular el ahorro anual

Para saber cuánto dinero se ahorra al implementar el Iron Horse Flex, se resta el costo nuevo al costo actual:

$$\text{Ahorro Anual} = \text{Costo Actual} - \text{Costo con Iron Horse Flex} \quad [\text{Ec. 32}]$$

Sustituyendo los valores:

$$\text{Ahorro Anual} = \$9,954.55 - \$2,493.64 \quad [\text{Ec. 33}]$$

$$\text{Ahorro Anual} = \$7,460.91$$

Cada año se ahorrarán \$7,460.91 al cambiarse al Iron Horse Flex.

Calcular el tiempo de recuperación de la inversión (payback period)

- La fórmula del Payback Period es:

$$\text{Tiempo de recuperación} = \frac{\text{Inversión Inicial}}{\text{Ahorro Anual}} \quad [\text{Ec. 34}]$$

$$\text{Tiempo de recuperación} = \frac{\$7,160}{\$7,460.91}$$

$$\text{Tiempo de recuperación} = 0,96 \text{ años}$$

Convertir el resultado a meses

$$0,96 \text{ años} \times 12 \text{ meses} = 11,5 \text{ meses} \quad [\text{Ec. 35}]$$

El Iron Horse Flex recuperará su inversión en aproximadamente 11.5 meses, permitiendo que GoldTech Drilling reduzca significativamente los costos asociados al transporte manual de tuberías. Una vez alcanzado este período, la empresa comenzará a generar ahorros netos, optimizando sus operaciones y mejorando su rentabilidad. Esta inversión representa una solución eficiente y económicamente viable para la reducción de costos operativos en el sector minero.

En la Tabla 13, se describe el cronograma de actividades muestra la planificación detallada de tu proyecto de tesis sobre el diseño del Iron Horse Flex para el transporte de tuberías en GoldTech Drilling. Se distribuye en un periodo de seis meses, organizando las actividades clave en diferentes fases del trabajo.

Tabla 13. Cronograma de actividades

TIEMPO	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Revisión Bibliográfica	■	■																						
Selección de la empresa en el cual se realizará el tema propuesto			■	■																				
Diagnóstico empresarial de GOLDTECH DRILLING					■	■																		
Elaboración del Diseño de un iron horse flex para el transporte de tubería							■	■	■															
Diseño del iron horse									■	■	■	■	■											
Resultados y conclusiones													■	■	■									
Finalización de informe																			■	■				
Entrega del Diseño al gerente de la empresa GoldTech Drilling																					■	■		
Sustentación y Defensa del trabajo realizado																								■

Elaborado por: Villacis, Anthony (2024).

En el primer mes, se realizó la revisión bibliográfica para recopilar información relevante sobre la problemática y las posibles soluciones. Al mismo tiempo, se llevó a cabo la selección de la empresa, definiendo GoldTech Drilling como el entorno donde se desarrollaría la investigación.

Durante el segundo mes, se ejecutó el diagnóstico empresarial de la compañía, evaluando su situación en términos de transporte y mantenimiento de tuberías. Posteriormente, en la segunda mitad de este mes, comenzó la elaboración del diseño del Iron Horse Flex, avanzando con el diseño conceptual y estableciendo los primeros parámetros técnicos.

En el tercer y cuarto mes, se continuó con la definición del diseño, ajustando detalles estructurales y operativos. En este punto, se validaron las especificaciones del sistema mecánico y se consolidaron las decisiones sobre materiales, como la elección del acero estructural ASTM A572 Grado 50.

Para el quinto mes, el enfoque se trasladó a la documentación de resultados y conclusiones, recopilando datos del diseño y evaluando su viabilidad. Paralelamente, se inició la finalización del informe con los análisis obtenidos durante el proceso de desarrollo.

Por último, en el sexto mes, se realizó la entrega oficial del diseño al gerente de GoldTech Drilling. La última fase consistió en la sustentación y defensa del trabajo, en la cual se expusieron los resultados ante la comisión evaluadora.

En la Tabla 14, los componentes y costos involucrados en la construcción del Iron Horse, un sistema mecánico diseñado para transportar tuberías de perforación en terrenos difíciles, se muestran en una imagen detallada. La tabla 12 está dispuesta en cuatro columnas: artículo, componentes, cantidad requerida, costo unitario y costo total, lo que permite ver la inversión que debe hacerse para cada parte y el costo total del proyecto.

Costos y administración

Tabla 14. Propuesta económica.

ÍTEM	ELEMENTOS	CANT.	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Motor honda 13hp	1	\$ 550,00	\$ 550,00
2	Caja de Cambios	1	\$ 1.500,00	\$ 1.500,00
3	Chasis Terminado	1	\$ 1.200,00	\$ 1.200,00
4	Orugas	2	\$ 600,00	\$ 1.200,00
5	Eje de tracción	2	\$ 250,00	\$ 500,00
6	Parada de emergencia	1	\$ 200,00	\$ 200,00
7	Palanca de dirección, aceleración, freno y parada de emergencia	1	\$ 200,00	\$ 200,00
8	Banda variadora	1	\$ 150,00	\$ 150,00
9	Ruedas de tracción	2	\$ 200,00	\$ 400,00
10	Ruedas de teflon del tren de rodaje	10	\$ 40,00	\$ 400,00
11	Chumaseras	2	\$ 30,00	\$ 60,00
12	Matrimonio de dirección	4	\$ 150,00	\$ 600,00
13	Arquetas de guía	2	\$ 100,00	\$ 200,00
TOTAL			\$ 7.160,00	

Elaborado por: Villacis, Anthony (2025).

Entre los elementos más costosos, el chasis terminado cuesta \$1,200, mientras que las orugas cuestan \$1,500. Las ruedas de Teflón para el sistema de tracción suman un total de \$1,600 por dos unidades. También se incluyen componentes clave como el motor Honda de 13 hp, que es crítico para el esfuerzo de tracción del sistema, la transmisión, el eje de tracción y la banda que varía para transmitir movimiento, piezas de soporte y control como la palanca de dirección, el pedal de aceleración, el pedal de freno y el botón de parada de emergencia, así como los tornillos, cajas guía y caja direccional que son clave para mantener y controlar la estabilidad y maniobrabilidad del equipo.

Cronograma de actividades

Cronograma valorado de componentes y actividades.

El Grafico 2, presenta un cronograma de actividades relacionadas con la adquisición de materiales y las fases iniciales del proyecto Iron Horse, incluyendo la presentación de la propuesta y la aprobación del diseño. La estructura está organizada en columnas que posiblemente representan semanas o fases de trabajo y en filas que detallan tanto las actividades como los componentes a adquirir.

ACTIVIDADES	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
PRESENTACIÓN DE LA PROPUESTA	X																			
APROBACIÓN DEL DISEÑO	X																			
ADQUISICIÓN DE MATERIALES:																				
Motor honda 13hp		X																		
Caja de Cambios			x																	
Chasis Terminado			X																	
Orugas			X																	
Eje de tracción						X														
Parada de emergencia						X														
Palanca de dirección, aceleración, freno y parada de emergencia											X									
Banda variadora											X									
Ruedas de tracción												X								
Ruedas de teflon del tren de rodaje																X				

Gráfico 2. Cronograma Valorado
Elaborado por: Villacis, Anthony (2025).

En la parte superior, se encuentran dos actividades clave: la presentación de la propuesta, que se marca con una "X" en una de las primeras columnas, indicando que se realizó en una etapa inicial, y la aprobación del diseño, que aparece en una columna posterior, reflejando que esta fase se completó después de la propuesta.

Este cronograma permite visualizar la gestión del tiempo y del presupuesto en la fabricación del Iron Horse, asegurando que los materiales se adquieran en el momento adecuado y evitando costos innecesarios, la estructura muestra que la propuesta y la aprobación del diseño se completaron antes de realizar las compras, lo que garantiza que el proyecto avance con una planificación clara y eficiente.

Análisis de costo y tiempo.

En el Gráfico 3, se muestra la curva S que representa la distribución acumulada de los costos en el desarrollo del Iron Horse Flex, considerando los parámetros establecidos en el presupuesto del proyecto. Esta curva muestra la evolución del gasto a lo largo del tiempo, incorporando los distintos elementos que conforman la estructuración del sistema mecánico destinado al transporte de tubos de perforación en terrenos difíciles en GoldTech Drilling.



Gráfico 3. Análisis de costo y tiempo.
Elaborado por: Villacis, Anthony (2025)

El comportamiento de la curva refleja una inversión inicial baja, seguida de un crecimiento acelerado conforme avanza la fabricación y el ensamblaje de la máquina. Posteriormente, se observa una fase de estabilización en la etapa final del proyecto, donde los costos se consolidan con la optimización y los ajustes finales del diseño. Este análisis permite evaluar la eficiencia en la asignación de recursos y facilita la toma de decisiones estratégicas para optimizar el proceso de implementación del Iron Horse Flex.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- El estudio identificó que GoldTech Drilling transporta manualmente la tubería de perforación en terrenos irregulares, lo que demanda un uso intensivo de personal y un esfuerzo físico significativo. Para trasladar 16 tubos, se requiere la participación de 16 operarios, quienes invierten entre 2 horas y 2 horas con 50 minutos en completar la tarea. Este proceso genera un costo anual de \$9,954.55 exclusivamente en mano de obra, sin considerar el desgaste físico del personal ni las pausas necesarias para su recuperación. La tubería utilizada corresponde al estándar NQ, con un peso de 11.7 kg por unidad, un diámetro de 10 cm y una longitud de 1.5 metros, lo que significa que el equipo debe desplazar manualmente un peso total de 187,2 kg a través de terrenos accidentados. Esta carga, sumada a las condiciones del camino, incrementa el esfuerzo requerido y aumenta el riesgo de lesiones, y limitando la disponibilidad de los operarios para otras actividades dentro del proceso de perforación.
- Se determinó que el acero ASTM A572 Grado 50 fue la mejor opción entre ASTM A36, Aluminio 6061-T6 y Acero Inoxidable 304, debido a su resistencia y costo eficiente. Inicialmente, se realizaron cálculos con un espesor de 50 mm, obteniendo un factor de seguridad de 25.05, lo que indicaba un sobredimensionamiento. Para optimizar peso y costos sin comprometer la resistencia estructural, se redujo el espesor a 22.2 mm, logrando un factor de seguridad de 4.94, adecuado para cargas dinámicas. El Iron Horse Flex soportará aproximadamente 234 kg, correspondientes a 20 tubos de perforación NQ de 11.7 kg cada uno, considerando además el peso de la estructura y las condiciones del terreno accidentado. Con un límite de fluencia de 345 MPa y una resistencia

última de 450 MPa, este material garantiza integridad estructural ante esfuerzos de flexión y cargas dinámicas, evitando fallas por fatiga o deformación plástica. La optimización del espesor equilibra resistencia y eficiencia, reduciendo el uso excesivo de material, minimizando el peso total del sistema y optimizando los costos de fabricación sin afectar la seguridad ni la durabilidad del equipo.

- El diseño del Iron Horse Flex se desarrolló utilizando SolidWorks, Con la implementación del Iron Horse Flex, se proyecta que un solo operario pueda realizar el mismo traslado en 2 horas con 28 minutos, permitiendo la reasignación del resto del personal a otras actividades y optimizando la eficiencia operativa. Desde el punto de vista económico, el costo anual de operación del Iron Horse Flex se estima en \$2,244.32, lo que representa un ahorro significativo frente al método manual, además de que el análisis de retorno de inversión indica que la empresa recuperaría la inversión en aproximadamente 11.5 meses. Esta mejora no solo reduce costos y tiempos de operación, sino que también incrementa la productividad y la seguridad laboral al disminuir la carga física sobre los trabajadores.

Recomendaciones

- Se recomienda que GoldTech Drilling adopte el Iron Horse Flex como solución para el transporte de tuberías en terrenos accidentados, lo que permitirá reducir la cantidad de operarios de 16 a 1, minimizando la carga física y el riesgo de lesiones. Con esta implementación, los trabajadores actualmente asignados a esta tarea podrán ser redistribuidos a otras actividades dentro del proceso de perforación, mejorando la productividad general y reduciendo los costos operativos en \$7,710.23 anuales, en comparación con el método manual.
- Se recomienda utilizar acero ASTM A572 Grado 50 con un espesor de 22.2 mm, ya que ofrece una combinación adecuada de resistencia estructural y eficiencia en el uso del material. La elección de este acero garantiza que el equipo soporte cargas dinámicas de hasta 234 kg sin comprometer su integridad estructural, al tiempo que reduce el sobredimensionamiento del diseño inicial y disminuye los costos de fabricación. Esta optimización no solo mejora la resistencia del equipo,

sino que también minimiza su peso total, facilitando su operación en terrenos difíciles.

- Se recomienda que la empresa realice un seguimiento de los ahorros generados por la implementación del Iron Horse Flex, comparando los costos de operación con los proyectados en el análisis de inversión, se sugiere evaluar la viabilidad de replicar esta solución en otras áreas de trabajo que requieran el transporte de materiales pesados, permitiendo que la inversión tenga un mayor impacto en la reducción de costos y en la mejora de la distribución del personal.

Referencias Bibliográficas

- Carolina, Y. & Guzman, T. (2024). *Apoyo en la Optimización de la Logística Vial y Mejora del Entorno Laboral en la Refinería de Barrancabermeja: Un Enfoque Integral en HSE y Obras Civiles*. Universidad de Santander. <https://repositorio.udes.edu.co/handle/001/10568>
- Casapia Soto, H. G. & Casapia Soto, H. G. (2021). Análisis comparativo del transporte de carga minera en la Región Central. *Industrial Data*, 24(2), 79–98. <https://doi.org/10.15381/IDATA.V24I2.19215>
- Del Proceso Fabricación De Balones De Fútbol En La Empresa, O. DE, Parra, B., Ciudad De Ambato, D. LA & Calero Vinicio Sebastián Tutor Ing Saá Tapia Fernando David, P. (n.d.). *UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y PRODUCCIÓN*.
- Dspace Universidad Indoamerica: Optimización del proceso de extracción de pulpa de mora para la obtención de vino en el cantón Tisaleo*. (n.d.). Retrieved February 24, 2025, from <https://repositorio.uti.edu.ec/handle/123456789/3781>
- Flex - Lennartsfors AB*. (n.d.). Retrieved April 1, 2025, from <https://lennartsfors.com/en/jarnhasten/flex/>
- Goldtech*. (n.d.). Retrieved September 10, 2024, from <https://goldtechdrilling.com/>
- GX390 - Honda engines*. (n.d.). Retrieved February 24, 2025, from <https://www.honda-engines-eu.com/es/productos/motores/gx390>
- Ing Frías Paredes Diego Miguel Tutor Ing Ayala Chauvin Manuel Ignacio, A. (n.d.). *UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y PRODUCCIÓN*.
- Jiménez Martínez, L. X. (2023). Análisis y propuesta de mejora de la calidad de perforación a diamantina utilizando el proceso seis sigma aplicando las etapas DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar), Zamora-Ecuador 2022. *Escuela de Posgrado Newman - EPN*.

<https://repositorio.epnewman.edu.pe/handle/20.500.12892/747>

Latorre Buitrón Edison Fernando Tutor Ing Saá Tapia Fernando David, A. (n.d.). *UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN Trabajo de Titulación bajo la Modalidad Propuesta Metodológica, Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Industrial.*

Máquina forestal Iron Horse / SERRA. (n.d.). Retrieved April 1, 2025, from <https://www.serra-sawmills.com/es/productos/programa-de-productos/máquina-forestal-iron-horse>

Martínez, C. P. L. & Saá-Tapia, F. (2025). Implementación de un sistema automatizado para el despliegue de neumáticos de emergencia en autobuses. *Conocimiento Global*, 10(1), 85–95. <https://doi.org/10.70165/CGLOBAL.V10I1.540>

Nilo Tene-González, R. I., Edmundo Alvarez-Gavilanes, J. I. & Henry Sarmiento-Espinoza III, W. (2022). El impacto del proyecto minero Fruta del Norte de la empresa Lundin Gold: Una visión sociolaboral de la zona de influencia. Periodo 2020-2021. *Polo Del Conocimiento: Revista Científico - Profesional*, ISSN-e 2550-682X, Vol. 7, N°. 5 (MAYO 2022), 2022, Pág. 53, 7(5), 53. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i5.4003>

por Srta Claudia Aguilar Bardales Srta Ángela Andoa Llallico Srta Lorena Mendoza Solís Sra Ruby Olga Rojas Torres Asesor, P. & Sandra María Corso Orams, P. (2022). *Relación entre los estilos de liderazgo y engagement de los supervisores de operaciones mina, y la relación entre los estilos de liderazgo de los supervisores y productividad de los operadores de maquinaria pesada de operaciones mina de dos empresas mineras peruanas.* <http://repositorio.up.edu.pe/handle/11354/3556>

Rodríguez Vidal, C. (2015). *Diseño mecánico con SolidWorks 2015.* 414. <https://elibro.net/es/lc/uta/titulos/106488>

Rojas Villacís, C. A., Zúñiga Arrobo, C. A., Rojas Villacís, C. A. & Zúñiga Arrobo, C. A. (2022). Análisis de la actividad de carguío y transporte en minería artesanal en El

Guayabo, Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 14(2), 1–12.
<https://doi.org/10.29166/REVFIG.V14I2.3854>

Saá Tapia Fernando David, I. (n.d.). *UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN*.

Salinas Salinas, P. L. & Delgado Ordoñez, M. A. (2023). Estudio del impacto socioeconómico de la empresa minera Ecuacorriente S.A. en la parroquia Tundayme, cantón el Pangui, provincia de Zamora Chinchipe, Ecuador. *Escuela de Posgrado Newman - EPN*.
<https://repositorio.epnewman.edu.pe/handle/20.500.12892/815>

Torkayesh, A. E., Yazdani, M. & Ribeiro-Soriano, D. (2022). Analysis of industry 4.0 implementation in mobility sector: An integrated approach based on QFD, BWM, and stratified combined compromise solution under fuzzy environment. *Journal of Industrial Information Integration*, 30, 100406.
<https://doi.org/10.1016/J.JII.2022.100406>





Tractor mounted forestry winch - IronHorse Flex - Lennartsfors AB. (n.d.). Retrieved April 1, 2025, from <https://www.agriexpo.online/prod/lennartsfors-ab/product-182112-59785.html>

Anexos

Anexo 15. Ficha técnica del motor.

FICHA TÉCNICA		
UNIDAD DE EQUIPO		
Nombre:	Motor GX390	
Tipo		
Descripción:	El Honda GX390 es un motor de gasolina de 13 HP ampliamente utilizado en aplicaciones industriales, agrícolas y de construcción debido a su confiabilidad, eficiencia y durabilidad.	
Identificación		
Año de ficha:	2025	
Dimensiones:	Largo: 405 mm (15.9 in)	
	Ancho: 450 mm (17.7 in)	
	Alto: 443 mm (17.4 in)	
	Peso: 31 kg	
Procedencia:	Minato, Tokio, Japón.	
Especificaciones Técnicas	Tipo de motor: 4 tiempos, OHV	
	Cilindrada: 389 cm ³	
	Potencia máxima: 13 HP (9.7 kW) a 3,600 RPM	
	Torque máximo: 26.5 Nm (19.5 lb-ft) a 2,500 RPM	
	Diámetro x Carrera: 88 mm × 64 mm	
	Sistema de encendido: CDI con avance automático	
	Sistema de arranque: Manual (cuerda retráctil) o eléctrico (según versión)	
	Refrigeración: Aire forzado	
		

Anexo 16. Ficha técnica

		FICHA TÉCNICA DEL IRON HORSE FLEX		Nº 2	
DATOS GENERALES					
Nombre del Equipo	IRON HORSE FLEX				
Función Principal:	Transporte de tubos de perforación en terrenos accidentados				
Industria de Aplicación:	Minería / Perforación Geotécnica				
Ubicación de Uso:	GoldTech Drilling, Ecuador				
ESPECIFICACIONES		ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL QUE SE DEBE USAR			
Motor:	Gasolina, 13 HP				
Torque:	26.5 Nm / 2500 rpm				
Aceite motor:	15W 40				
Aceite transmisión:	80W 140				
Tanque de combustible:	6.1 L		TAPÓN DE OÍDOS	GAFAS DE SEGURIDAD	OVEROL
Consumo:	350 g/kW/h				
Velocidad máxima:	4 km/h				
Capacidad de carga:	680.3886 Kg				
Dimensiones:	Largo con brazo de dirección: 425,69 cm x Altura 154,83 cm x Ancho 160 cm				
Material Principal	Acero estructural ASTM A572 (Grado 50)		GUANTES DE SEGURIDAD	BOTAS PUNTAS DE ACERO	CASCO DE SEGURIDAD

Anexo 17. Certificado de conformidad de la empresa



CERTIFICADO

Quito, 11 de marzo del 2025

Yo, Ing. Roberto Illescas Astudillo, en mi calidad de Presidente Ejecutivo de la empresa GoldTech Drilling, con RUC N° 1990927479001, certifico que el Sr. Villacis Altamirano Anthony Samuel, con cédula de identidad 1805372420, estudiante de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica Indoamérica, realizó su trabajo de titulación con el tema:

“DISEÑO DE UN IRON HORSE FLEX PARA EL TRANSPORTE DE TUBOS DE PERFORACIÓN EN LA EMPRESA GOLDTECH DRILLING.”

Habiendo revisado el trabajo desarrollado, puedo afirmar que el diseño del Iron Horse Flex incrementará significativamente la eficiencia en el transporte de tubos de perforación minera para GoldTech Drilling, reduciendo los tiempos operativos de transporte y sus costos.

Por lo tanto, puedo certificar que el Sr. Villacis Altamirano Anthony Samuel ha demostrado responsabilidad, compromiso y un alto nivel de competencia en el cumplimiento de este proyecto, cumpliendo con los objetivos planteados desde un inicio.

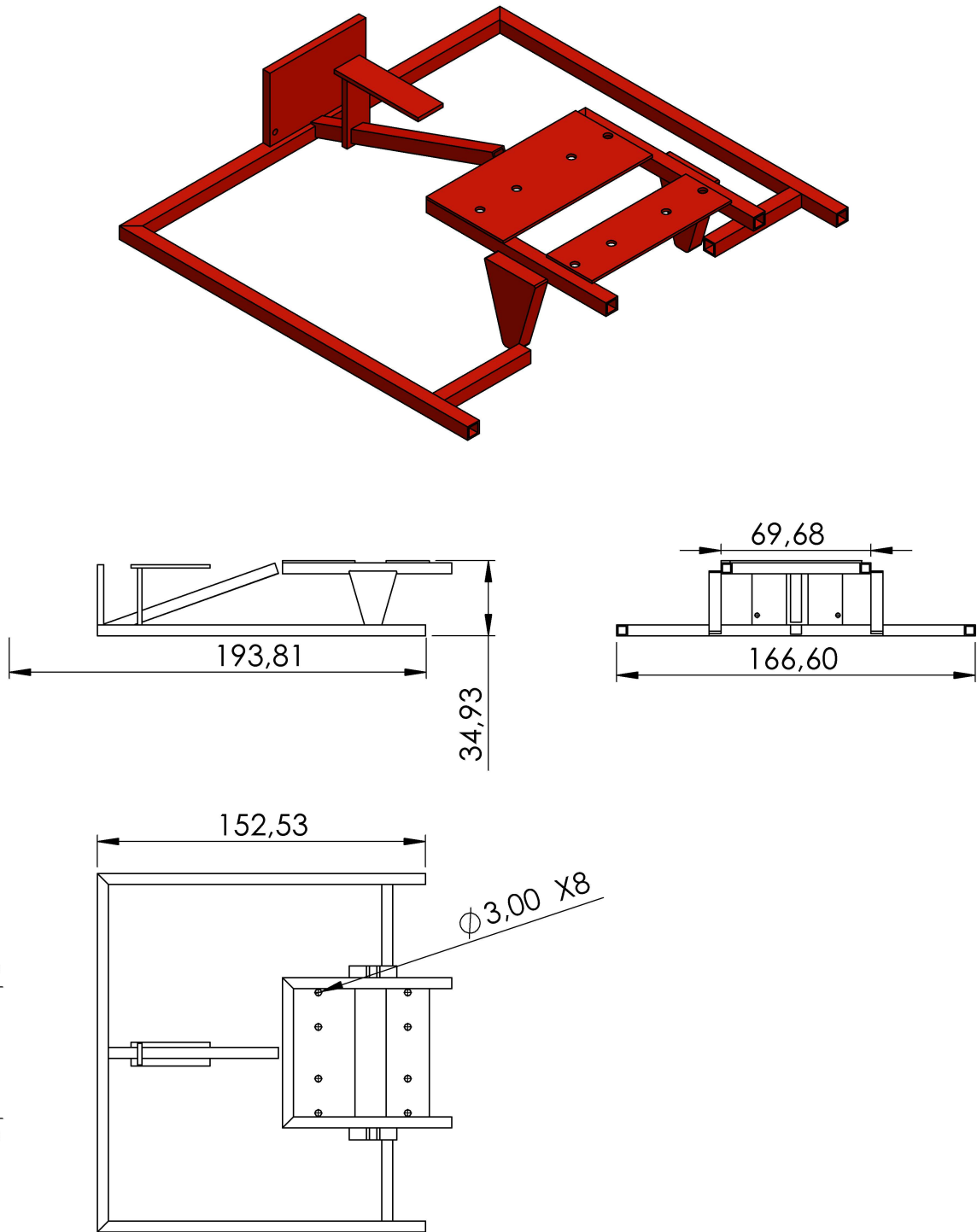


JULIO ROBERTO
ILLESCAS ASTUDILLO

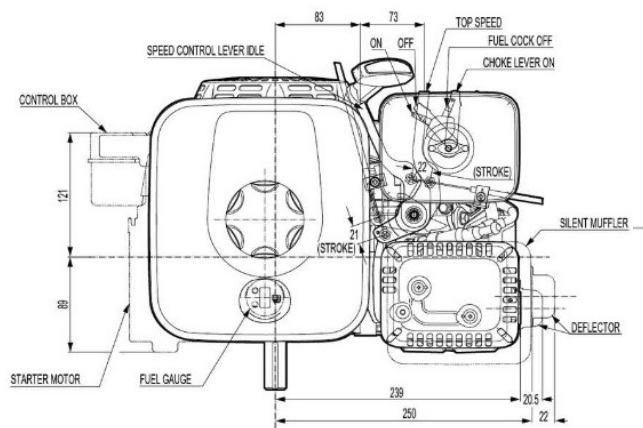
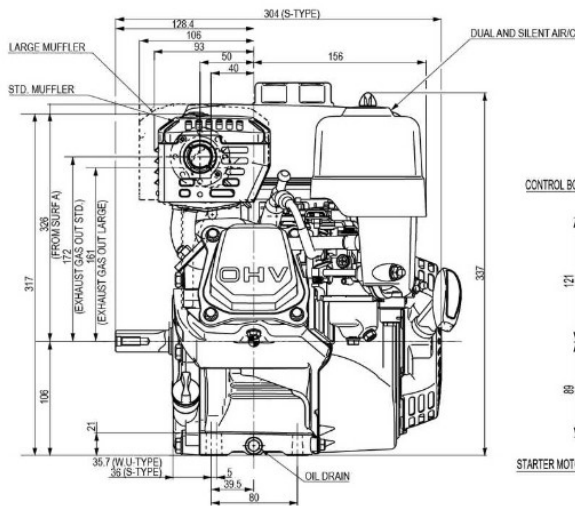
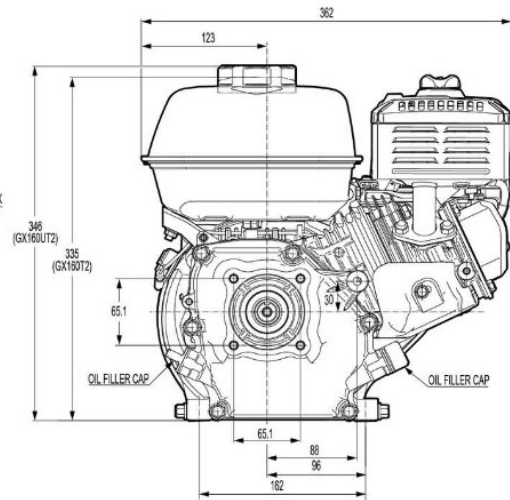
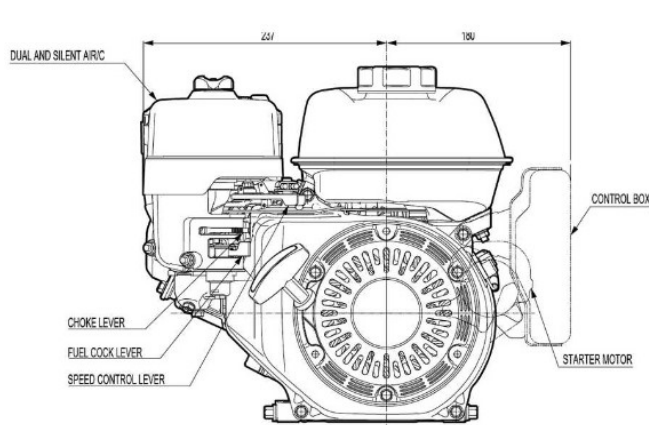
Atentamente,

Ing. Roberto Illescas Astudillo

C.I.: 1990927479001



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO: <h1>Chasis</h1>			
DIBUJ.		Villacis, A				Anexo: <h1>1</h1>			
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CALID.				MATERIAL: ASTM A36		ESCALA:1:50			
				PESO:		HOJA 1 DE 1		A4	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Villacis, A		
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

MATERIAL:

ASTM A36

TÍTULO:

MOTOR HONDA

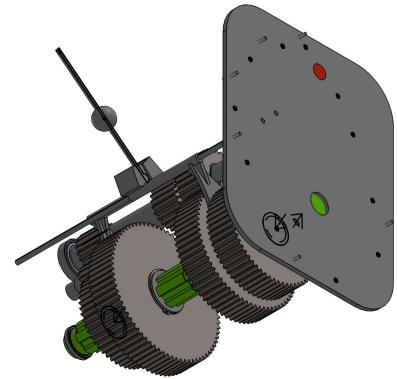
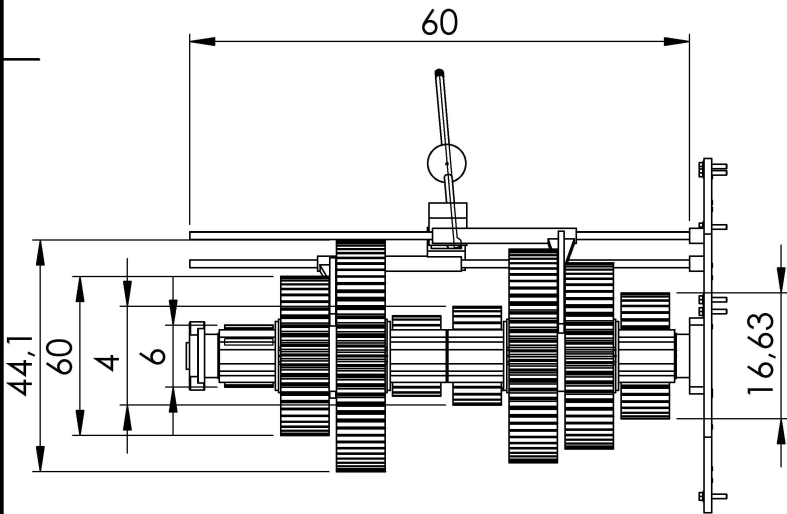
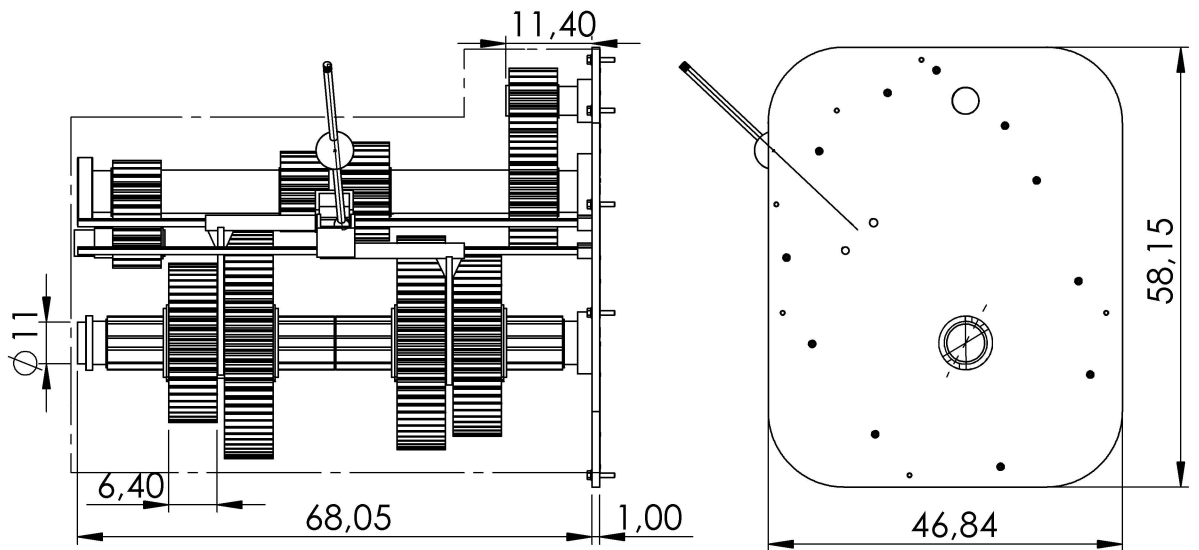
Anexo:

2

A4

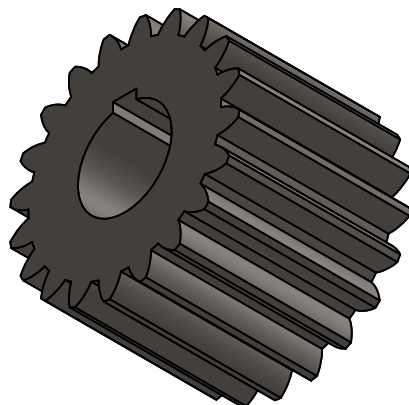
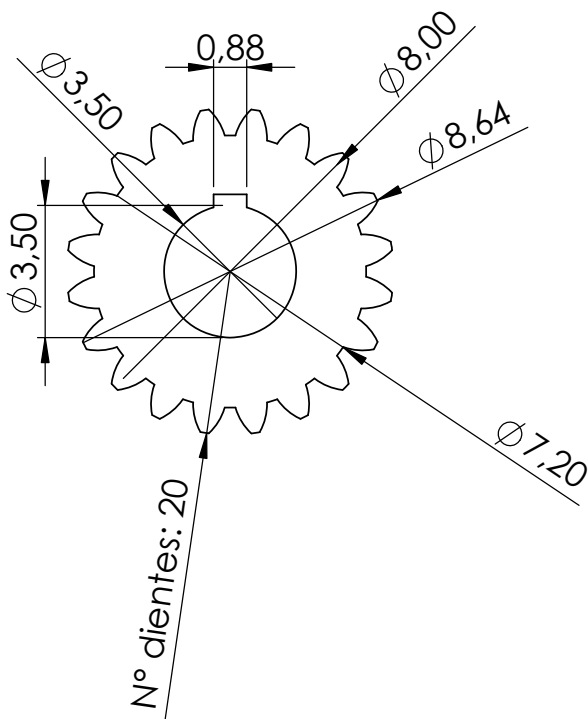
ESCALA:1:10

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE		FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ. Villacis, A				Caja de Cambios	
VERIF.					
APROB.				Anexo:	
FABR.					
CALID.			MATERIAL:	3	
			PESO:	ESCALA:1:20	HOJA 1 DE 1

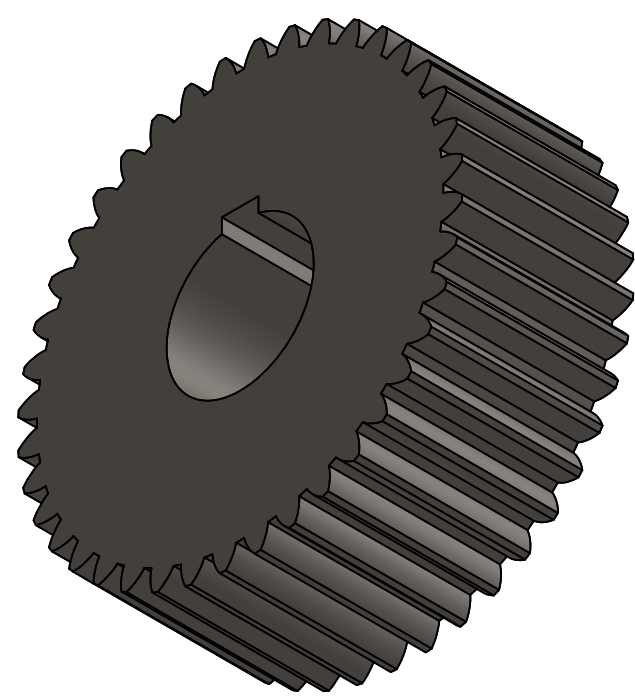
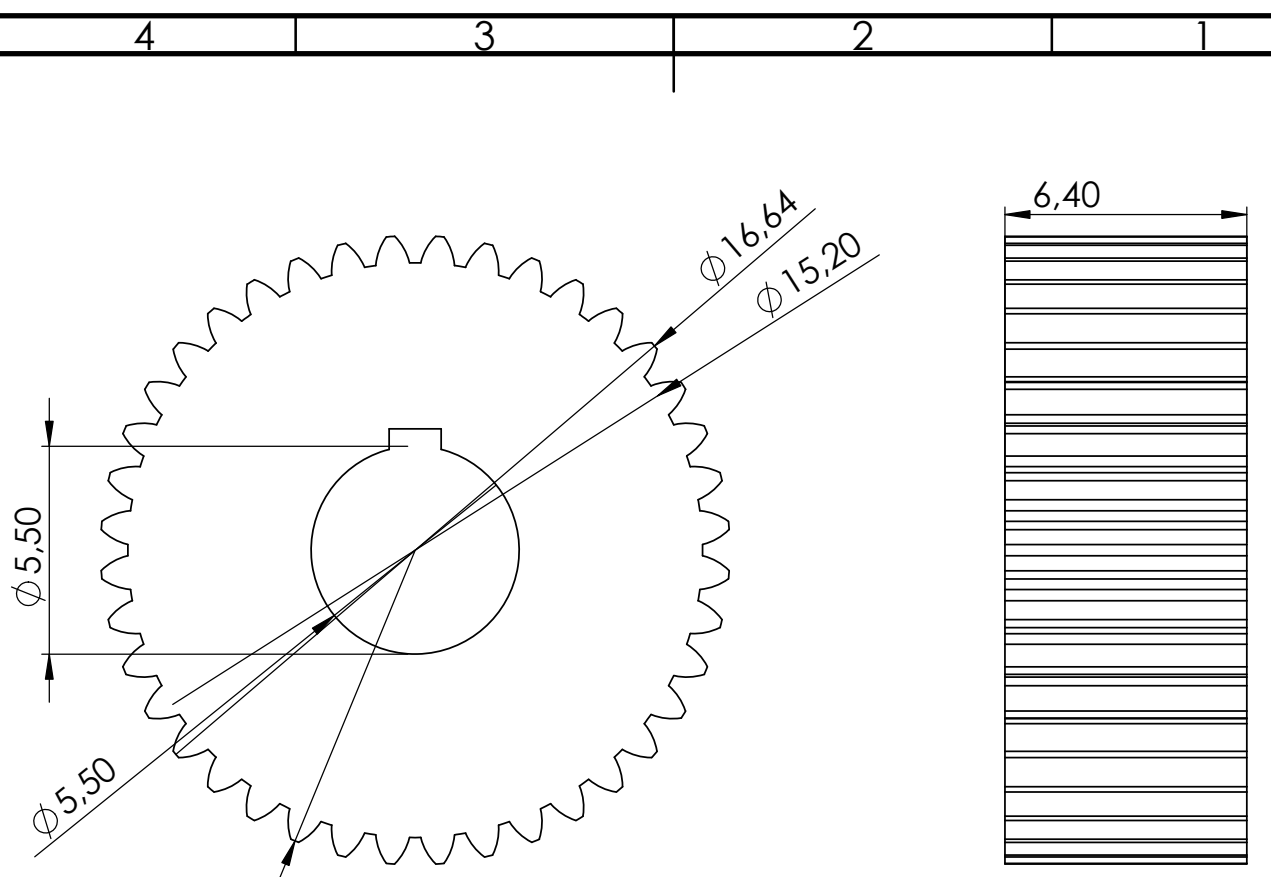
A4



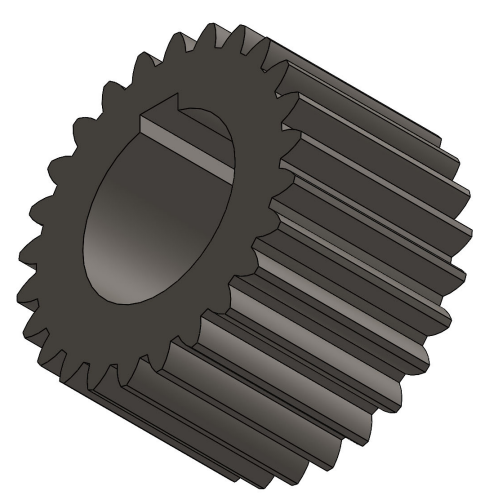
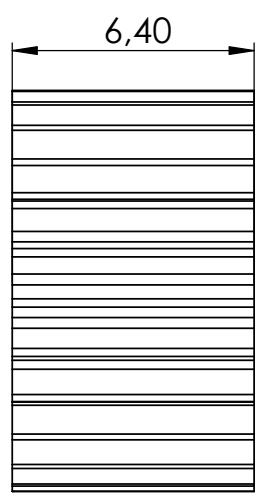
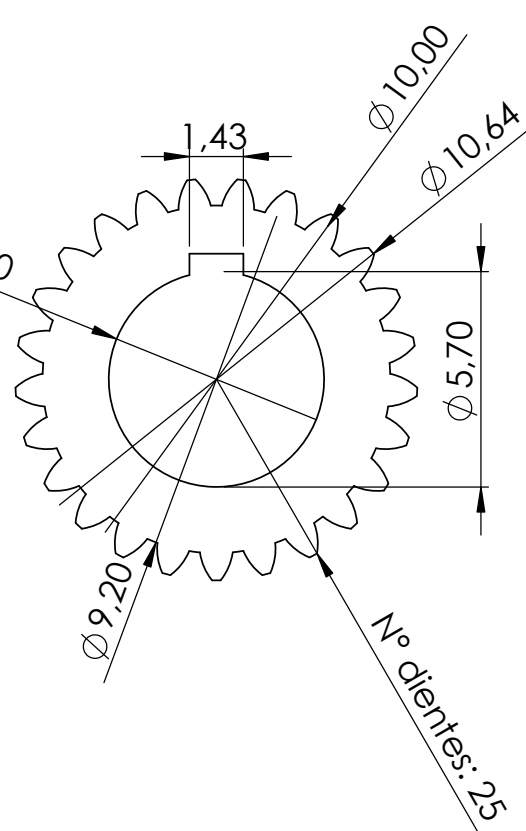
				ACABADO:		REVISIÓN	
				TÍTULO:			
				Piñon de entrada			
				MATERIAL:		ANEXO:	
				ASTM A36		4	
				PESO:		ESCALA:1:2	
						HOJA 1 DE 1	

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Villacis, A		
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

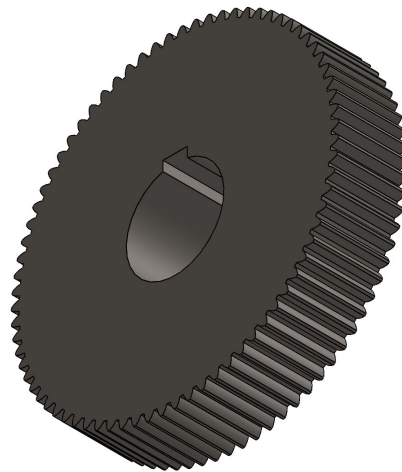
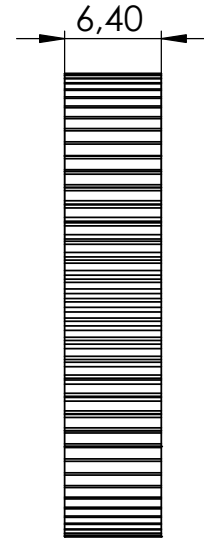
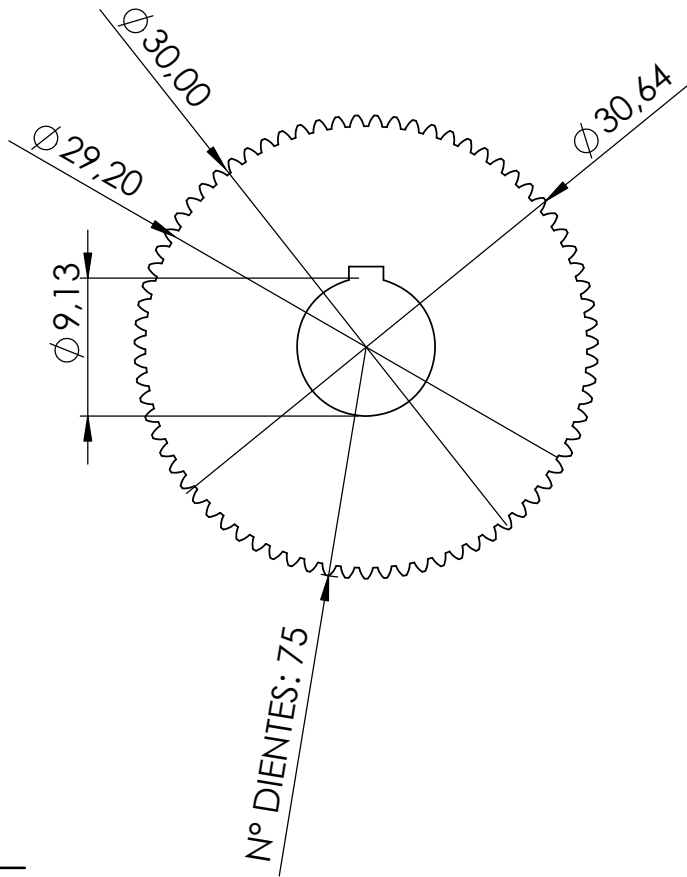
Technical drawing area with grid lines labeled 1, 2, 3, 4 and A, B, C, D, E, F.



		ACABADO:		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		TÍTULO:	
DIBUJ. Villacis, A				Piñon Neutro	
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.				Anexo: 5	
		MATERIAL: ASTM A36		A4	
		PESO:		ESCALA: 1:2	
				HOJA 1 DE 1	



ACABADO:				REVISIÓN	
NOMBRE				TÍTULO:	
FIRMA				1 Marcha	
FECHA					
DIBUJ. Villacis, A					
VERIF.					
APROB.				Anexo:	
FABR.				6	
CALID.				A4	
MATERIAL:				ESCALA: 1:2	
ASTM A36				HOJA 1 DE 1	
PESO:					



F
E
D
C
B
A

F
E
D
C
B
A

4 3 2 1

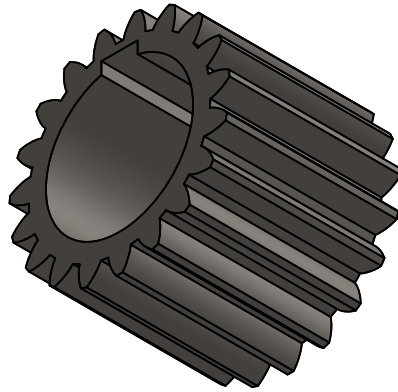
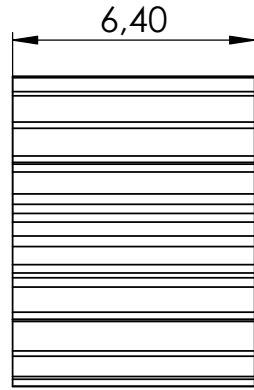
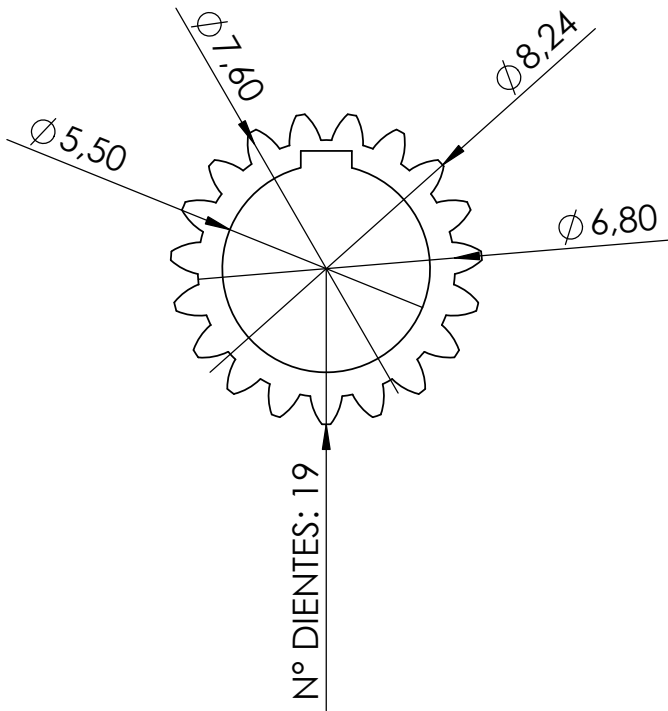
4 3 2 1

		ACABADO:		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
				TÍTULO:			
				Piñon 1 marcha			
				Anexo:		A4	
				7			
				ESCALA:1:5		HOJA 1 DE 1	

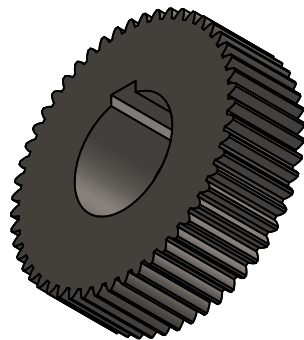
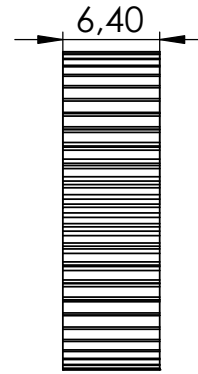
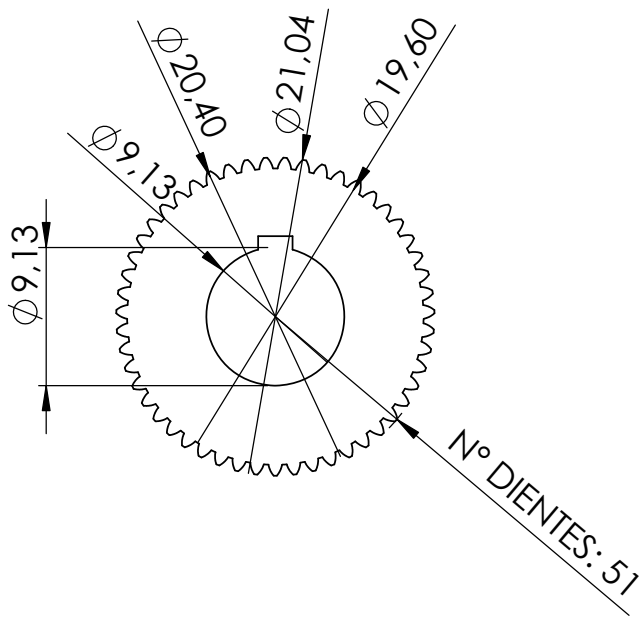
	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.					

MATERIAL:

PESO:



				ACABADO:				REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Villacis, A						<h1>Reversa Piñon</h1>			
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CALID.				MATERIAL:		ANEXO:		A4	
				ASTM A36		8			
				PESO:		ESCALA:1:2		HOJA 1 DE 1	



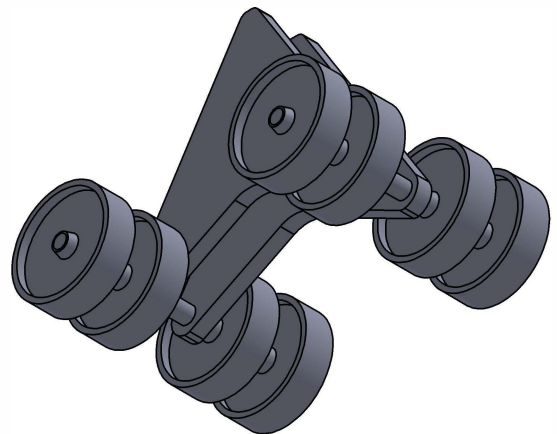
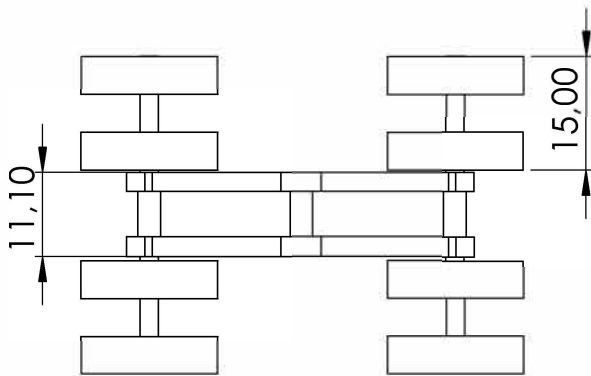
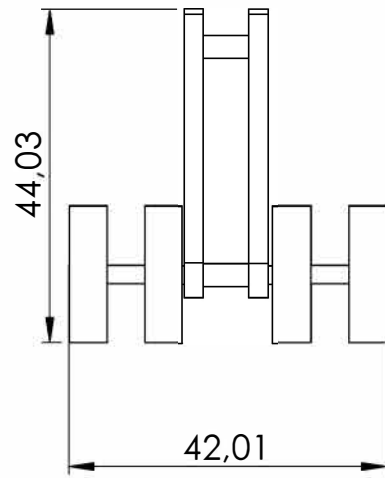
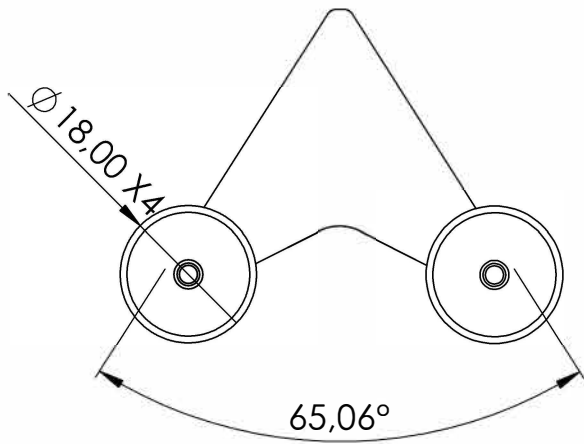
				ACABADO:				REVISIÓN	
								TÍTULO:	
								PiñonReversaConducido	
								ANEXO:	
								9	
								A4	
				MATERIAL:					
				ASTM A36					
				PESO:				ESCALA:1:5	
								HOJA 1 DE 1	

F
E
D
C
B
A

F
E
D
C
B
A

4 3 2 1

4 3 2 1



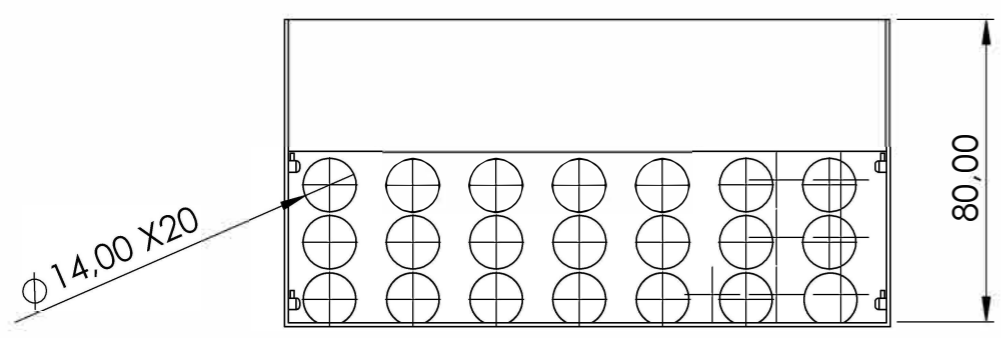
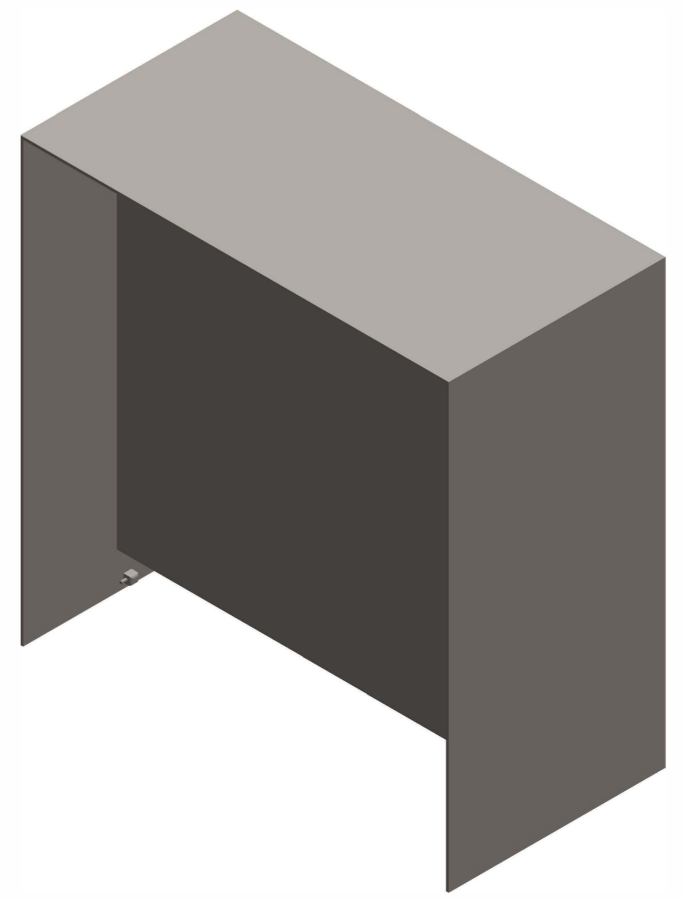
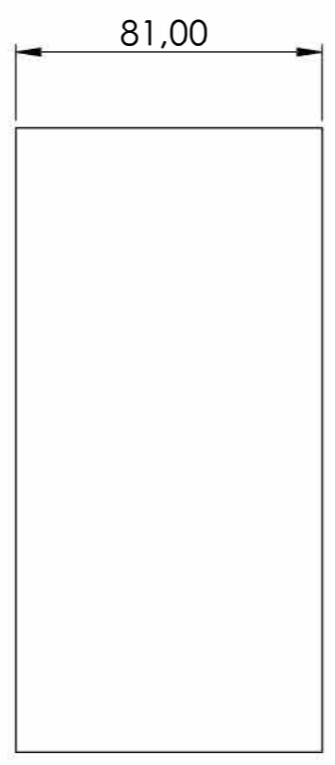
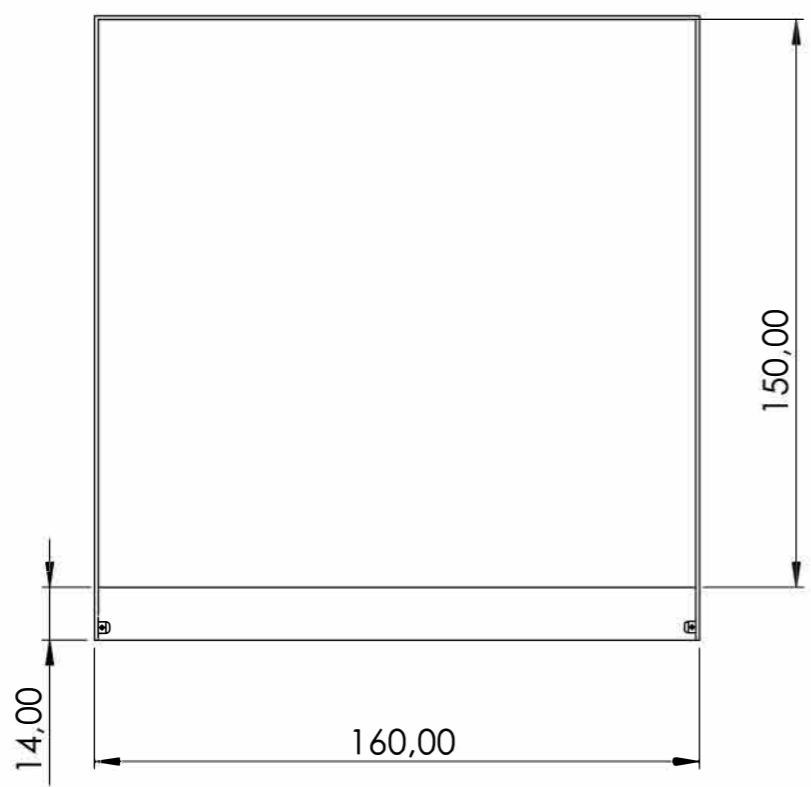
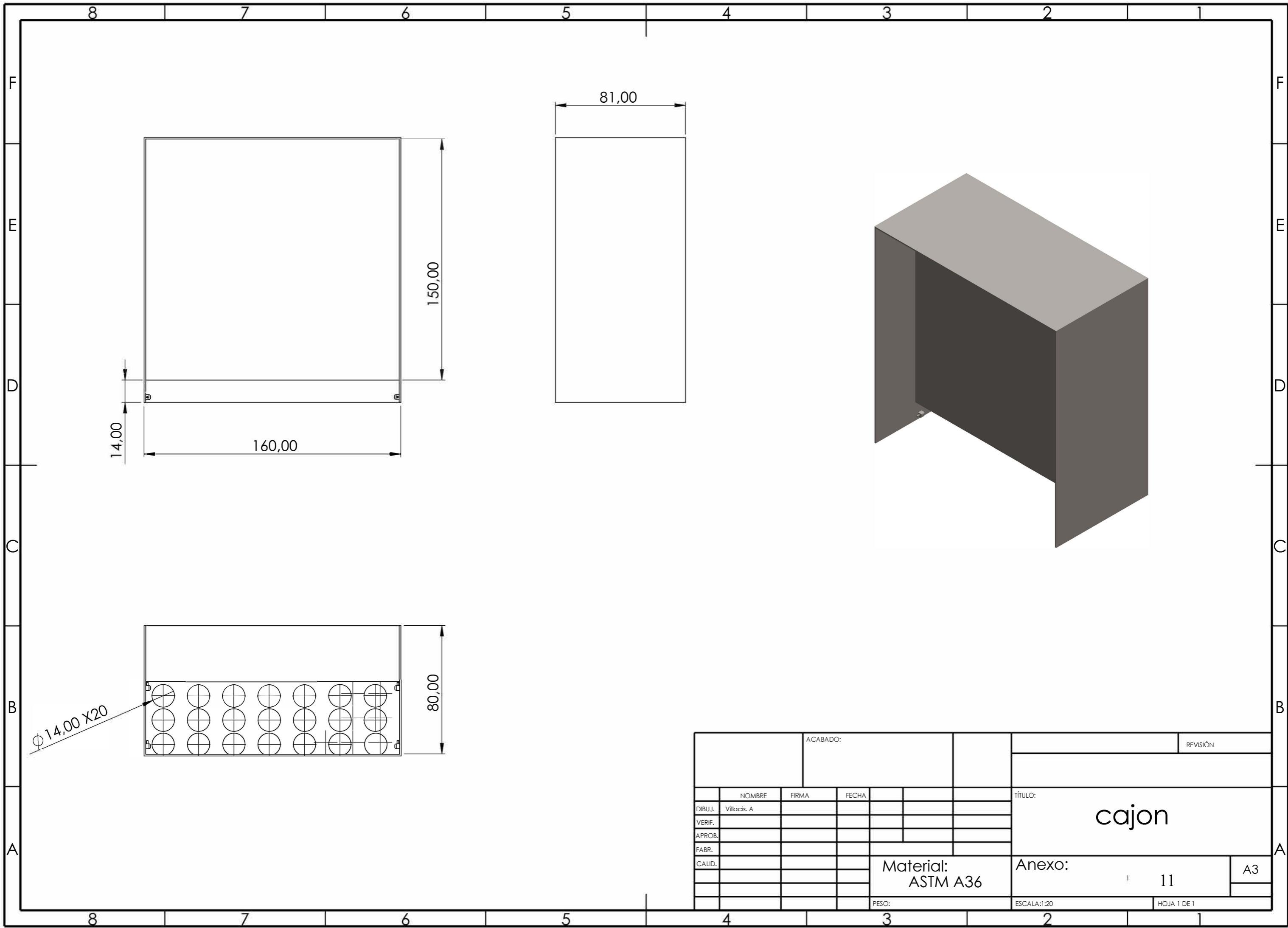
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE		FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ. Villacis, A				Eje y ruedas Oruga	
VERIF.					
APROB.				Anexo:	
FABR.					
CALID.			MATERIAL:	10	
			PESO:	ESCALA: 1:10	HOJA 1 DE 1

F
E
D
C
B
A

F
E
D
C
B
A

4 3 2 1

4 3 2 1

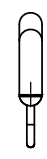
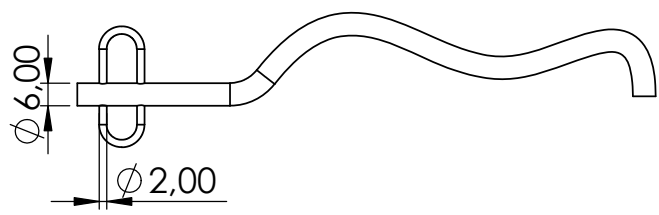


				ACABADO:				REVISIÓN	
								TÍTULO:	
								cajon	
								Anexo:	
								11	
								A3	
								Material:	
								ASTM A36	
								PESO:	
								ESCALA:1:20	
								HOJA 1 DE 1	

4 3 2 1

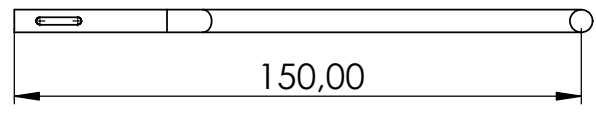
F

F



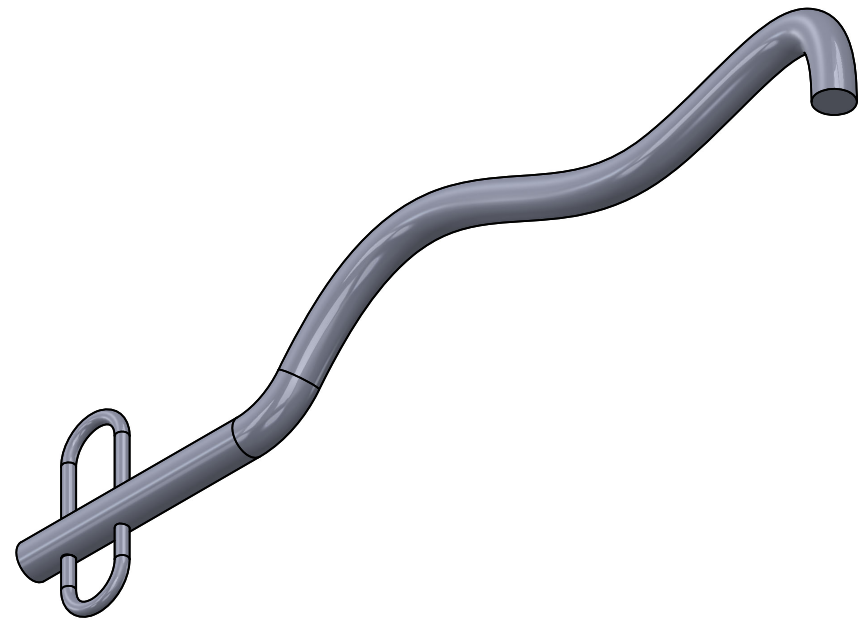
E

E



D

D



C

C

B

B

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN

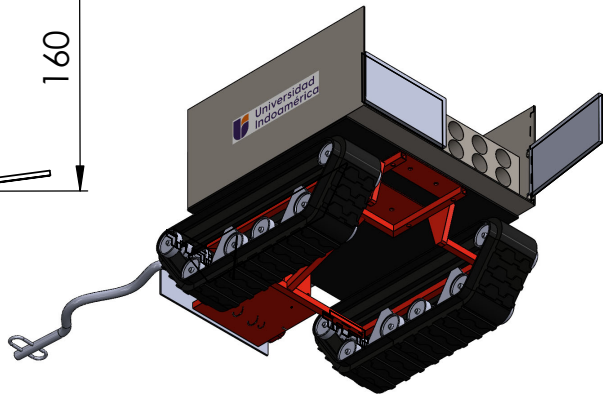
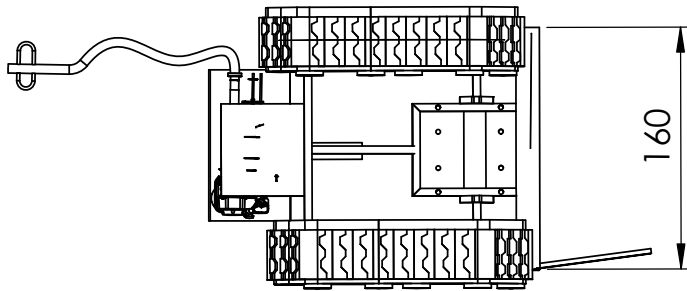
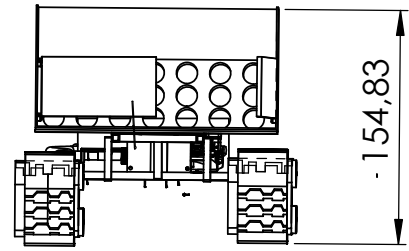
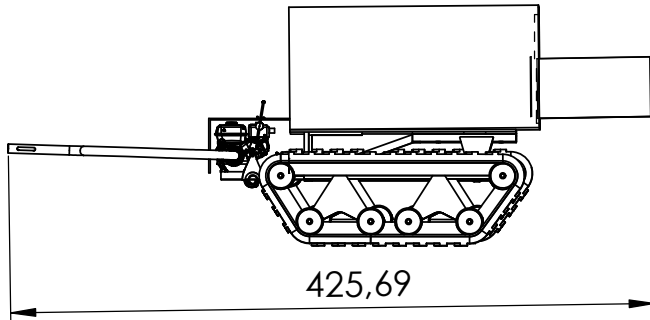
	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.	Villacis, A				
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.				MATERIAL:	
				ASTM A36	
				PESO:	

TÍTULO:	Palanca de Direccion		
Anexo:	12	A4	
ESCALA:1:20	HOJA 1 DE 1		

A

A

4 3 2 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. Villacis, A						Iron Horse Flex			
VERIF.									
APROB.						Anexo: 13 A4			
FABR.									
CALID.				MATERIAL:		ESCALA:1:100 HOJA 1 DE 1			
				ASTM A36					
				PESO:					

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

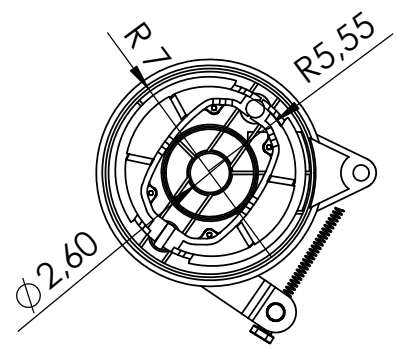
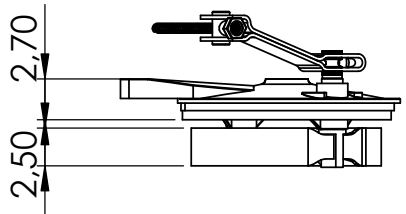
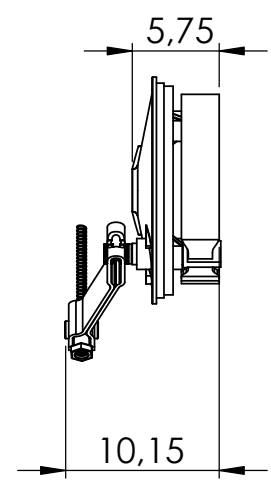
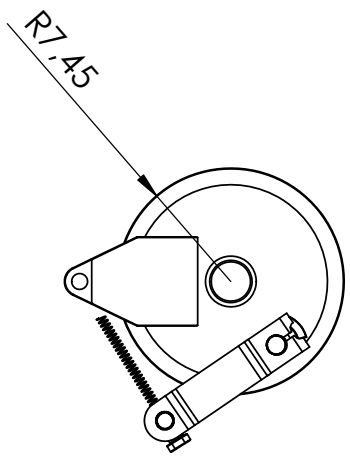
C

B

B

A

A



ACABADO:

REVISIÓN

NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Villacis, A	
VERIF.		
APROB.		
FABR.		
CALID.		

TÍTULO:

Freno

MATERIAL:
ASTM A 36

ANEXO:

14

A4

PESO:

ESCALA:1:5

HOJA 1 DE 1

4 3 2 1