



OPTIMIZACIÓN

LÍNEA DE PRODUCCIÓN

DE TUBOS

2023

 "UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
NACIONAL" UTN- FRSR

INTEGRANTES

- CODUTI JOSÉ
- RAMOS CRISTIAN
- RODRÍGUEZ TOMÁS
- ROSEMBLAT MAXIMILIANO
- SALAZAR FLORENCIA

Contenido

Resumen.....	3
FORMULACIÓN DE PROYECTO FINAL.....	4
1. Estudios preliminares	4
1.1. Descripción del proceso productivo de laminación de tubos.....	4
1.2. Descripción del proceso Prueba Hidráulica	10
2. Prefactibilidad.....	25
2.1. Analisis F.O.D.A.....	25
3. Estudio de ciclo primario o preparación	27
3. 1. Factibilidad del proyecto	27
3.1.1. Descripción de necesidades	27
3.1.2. Definición del problema.....	27
3.1.3. Generación de soluciones técnicas.....	28
3.1.4. Evaluación tecnológica de cada una de las propuestas.....	29
3.1.5. Planteo de la solución viable	29
3.2. Proyecto preliminar	30
3.2.1. Formulación del modelo	30
4. Desarrollo del modelo	30
4.1. Descripción de modelo	30
4.1.1. Comparación sistema actual y sistema a implementar	32
4.2. Cálculo y selección de componentes.....	41
4.2.1. Cálculo de potencia a transmitir	41
4.2.2. Selección de motor eléctrico	42
4.2.3. Cálculo piñón y cremallera	43
4.2.4. Cálculo de verificación del eje	65
4.2.5. Selección de rodamientos	67
4.3. Materiales	70
4.4. Mantenimiento del sistema a implementar.....	70
4.5. Análisis económico	73
4.5.1. Matriz de riesgos	73

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

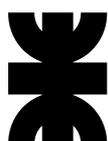
17/04/2023

Página 1 de 82

4.5.2. Flujo de fondos.....	73
4.6. Diseño planteado.....	74
4.2.7. Análisis de estructura por elementos finitos	77
5. Tipificación de los proyectos	78
5.1 Clasificación de los proyectos.....	78
5.1.1 De acuerdo con el tiempo	78
5.1.2 De acuerdo con el sector productivo	78
5.1.3 De acuerdo con el tipo de bien.....	78
5.1.4 De acuerdo con el destino.....	78
5.1.5 De acuerdo con el grado de dependencia.....	78
5.1.6. De acuerdo con el tipo de inversión	78
6. Conclusión.....	79
Anexo 1	81
Planos.....	81

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 2 de 82

Resumen

La producción de tubos de acero sin costura es crucial en la industria manufacturera, pero los tiempos muertos y la desincronización del proceso pueden afectar negativamente la productividad. En este proyecto, se busca maximizar la producción de tubos de acero sin costura mediante la reducción de los tiempos muertos y la sincronización del proceso.

Se identifica que uno de los principales desafíos es el reajuste de las longitudes de los cabezales en la prueba hidráulica, lo cual puede tomar hasta 2.5 minutos por tubo. Este proceso de reajuste causa desbalance en la línea de producción, lo que resulta en paradas y afecta considerablemente la producción.

Para abordar este desafío, se propone un enfoque centrándonos en los tiempos muertos, minimizando la cantidad de ocasiones en las que se necesita reajustar las longitudes de los cabezales para probar diferentes tubos. Además, se busca mejorar la sincronización del proceso para evitar interrupciones y desbalances en la línea de producción.

El proyecto se llevará a cabo mediante la implementación de técnicas de mejora continua, como el uso de herramientas de gestión de la calidad, análisis de tiempos y movimientos, entre otras. Se realizarán mediciones y análisis de datos para identificar los principales cuellos de botella y oportunidades de mejora en el proceso de producción.

Se espera que la optimización de los tiempos muertos y la sincronización del proceso resulten en una mayor eficiencia en la producción de tubos de acero sin costura, minimizando las paradas y mejorando la productividad en general. Además, se espera reducir los costos asociados con el reajuste de las longitudes de los cabezales en la prueba hidráulica, lo cual impactará positivamente en la rentabilidad del proyecto.

En conclusión, este proyecto tiene como objetivo maximizar la producción de tubos de acero sin costura a través de la reducción de tiempos muertos y la sincronización del proceso, con el fin de mejorar la eficiencia y la rentabilidad de la línea de producción. La implementación de técnicas de mejora continua y el análisis de datos serán clave para el éxito del proyecto.

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 3 de 82

FORMULACIÓN DE PROYECTO FINAL

1. Estudios preliminares

1.1. Descripción del proceso productivo de laminación de tubos



1. Materia prima:

Nuestro proceso se alimenta de dos materiales: hierro de reducción directa y chatarra metálica.

Hierro de reducción directa: en la naturaleza el mineral de hierro se encuentra en forma de óxido de hierro, para ser aprovechado por las industrias es necesario convertirlo en hierro esponja o pellets, el cual se logra mediante el proceso de reducción directa. Los sobrantes de este proceso, como el hierro fino y el polvo de hierro, se convierten en briquetas.

Chatarra metalúrgica: esta se obtiene de dos maneras, comprándola en el mercado o reciclándola de la producción interna. Para poder ser cargada en el horno debe ser triturada y clasificada.



Chatarra no procesada

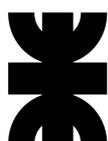


Chatarra empaquetada



Chatarra triturada

UTN
FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 4 de 82

2. Aceración

El proceso de aceración consta de 6 pasos:

1° Paso: carga de materia prima al horno eléctrico.

Primero se carga con chatarra, se pone a funcionar y una vez caliente se le va incorporando el hierro de reducción directa hasta completar con la carga prevista.

2° Paso: proceso del horno eléctrico.

Dentro del horno se funde la materia prima debido al calor generado por los electrodos, además se inyecta oxígeno y carbono para aumentar la energía de calentamiento químico de la mezcla. En esta parte del proceso es importante controlar la composición química de la mezcla, la temperatura y el contenido de oxígeno para asegurar que las propiedades metalúrgicas del producto final sean las deseadas.

3° Paso: Sangrado

Hace referencia a transferir el acero fundido del horno eléctrico al horno cuchara. El mismo es un recipiente con ladrillos refractarios que deben precalentarse antes de su uso a fin de mantener la temperatura del acero.

Durante esta etapa se le agregan al acero fundido ferroaleaciones.

4° Paso: Afino

En esta etapa se le agrega un gas burbujeante que agita el acero líquido y homogeniza su temperatura y composición, como también se le agregan algunos aditivos. Las funciones de este proceso son: obtener la composición según los requerimientos, alcanzar la temperatura del tratamiento final y limpiar el acero separando las impurezas.

5° Paso: Desgasificación bajo vacío

Este proceso reduce la presión de gas en la atmósfera sobre el acero, teniendo como objetivo: obtener un acero ultra limpio con pocas inclusiones no metálicas; reducir el hidrógeno, nitrógeno, azufre y oxígeno; y descarburización bajo vacío.

6° Paso: Colada

Este puede llevarse a cabo de dos maneras: colada en lingotes o colada continua.

El objetivo principal de colada en continua es transformar el acero líquido en barras sólidas para así obtener productos que puedan ir directamente al proceso de laminación. Cuando se desean laminar piezas de grandes diámetros (generalmente mayores a 400mm) la colada debe realizarse mediante lingotes (tecnología anterior a la colada continua).

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 5 de 82



Barras de CC



Lingotes de acero

3. Laminación

Nuestro producto mediante el proceso de laminación en caliente consta de 5 pasos:

1° Paso: Calentamiento

El material inicial se calienta en hornos a una temperatura adecuada para una deformación posterior.

2° Paso: Perforación

El material inicial una vez caliente se perfora para formar el “forado”.

3° Paso: Laminación

Se lamina el forado para formar el tubo esbozado y así definir su espesor de pared y diámetro externo. El proceso de laminación utilizado es conocido como Mannesmman o a mandril flotante.

4° Paso: Recalentamiento

Se recalienta el tubo esbozado a fin de obtener una temperatura homogénea.

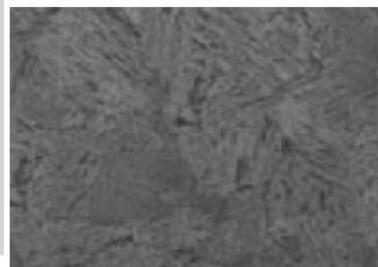
5° Paso: Calibración

Se vuelve a laminar el esbozado para obtener las dimensiones finales.

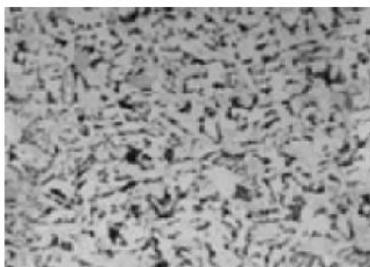


4. Tratamiento térmico

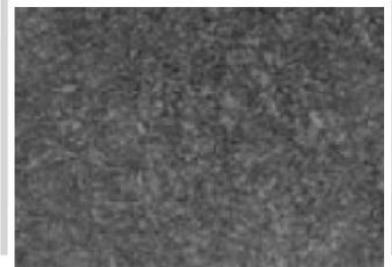
Los tratamientos térmicos alteran las propiedades del acero sometiendo a los tubos a una serie de cambios de temperatura, luego se enfrían según sean necesarios para generar modificaciones en la forma estructural. El tratamiento consiste en un ciclo por el cual se modifica la microestructura y las propiedades del producto.



Barra de CC antes de laminación

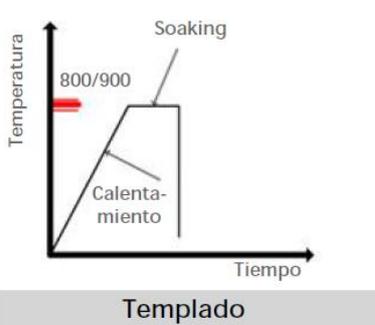


Tubo después de laminación



Tubo después de templado

Evolución tiempo-temperatura correspondiente a los distintos procesos de tratamientos térmicos que se llevan a cabo en la planta.



El tratamiento térmico consta de 6 pasos:

1° paso: Austenizado

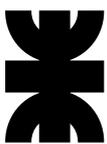
Calienta los tubos a una temperatura homogénea a modo de garantizar una transformación de estructura austenita a estructura martensita, para luego realizar el templado.

2° Paso: Normalizado

La función principal de este tratamiento térmico es aumentar la ductilidad del acero, se emplea para homogeneizar la estructura del tubo.

3° Paso: Templado

Este convierte la austenita en martensita, la cual es muy dura y frágil, por lo que es necesario complementar este proceso con el revenido.

<p>UTN FACULTAD REGIONAL SAN RAFAEL</p> 	<p>PROYECTO FINAL</p>	<p>PTH YAMASUI</p>
<p>Optimización línea de producción de tubos</p>	<p>17/04/2023</p>	<p>Página 7 de 82</p>

4° Paso: Revenido

El objetivo de este es reducir la fragilidad del acero, consiste en calentar el tubo a una temperatura inferior a la de transformación y dejarlo enfriar lentamente.

5° Paso: Calibración

En este paso el producto tubular revenido se lleva a las tolerancias dimensionales necesarias.

6° Paso: Enderezado

El objetivo de este equipo es eliminar los defectos de rectitud que pudieran originarse en el tratamiento térmico. Reduce la ovalidad y flexión.

5. Controles no destructivos.

Los productos pasan por controles no destructivos con el fin de garantizar la mejor calidad y productividad.

Algunos de los controles no destructivos empleados son:

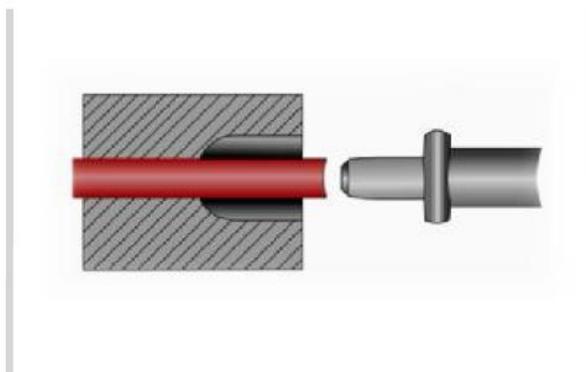
- a) Método de inspección electromagnética
- b) Controles por ultrasonido
- c) Métodos de corrientes inducidas
- d) Inspección por partículas magnéticas

6. Terminación

La terminación consta de 10 pasos:

1° Paso: Recalque

El objetivo principal de este proceso es aumentar la pared de los extremos del tubo para permitir las operaciones de roscado siguientes:



Operación de recalque



Tubo recalado



2° Paso: Tratamiento térmico

Este proceso se lleva a cabo solo cuando se lo requiere.

3° Paso: Frentado y biselado

Antes del roscado los tubos se deben frentear y biselar a fin de permitir el inicio de la operación de roscado.

4° Paso: Roscado

Es el proceso en el cual a los tubos de casing y tubing API se roscan sus extremos con la rosca requerida en máquinas automáticas.

5° Paso: Apretado de cuplas

Esta función monta la cupla y la aprieta con el torque adecuado sobre la rosca anteriormente fabricada en uno de los extremos del tubo

6° Paso: Calibración

Para controlar el diámetro interno del tubo después del montaje de la cupla, debe pasarse un mandril por la longitud completa del tubo sin que este se trabe.

7° Paso: Prueba hidráulica

Los tubos se prueban en una máquina de prueba hidrostático, donde se llenan previamente y luego se controlan a la presión especificada durante 5 segundos.

Este proceso consiste en llenar el tubo con un fluido, por lo general una emulsión de agua y aceite. Se incrementa la presión de fluido hasta alcanzar un valor específico de ensayo el cual depende de: grado del acero, diámetro externo del tubo y espesor del mismo, tipo de producto (casing, tubing, etc.) y normas aplicables.

Este proceso se explicará a continuación en detalle, ya que sobre esta prueba se desarrollará el proyecto.

8° Paso: Balanza, medidora, esparcidora

Después de la prueba hidráulica los tubos se envían a un puesto donde se miden, pesan, pintan bandas, estarcen y punzonan. La medición, el pesado y el punzonado de los tubos se hace de acuerdo a la norma API correspondiente; y el pintado de bandas se utiliza para identificar los grados de aceros y se coloca en el extremo hembra o box.

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 9 de 82

9° Paso: Laqueado y barnizado

El tubo se envía a la máquina de laqueado, barnizado y aceitado. Este revestimiento se aplica para evitar la corrosión durante el almacenamiento o transporte.

10° Paso: Empaquetado

El empaquetado generalmente se realiza para diámetros de hasta 4,5 pulgadas y se lleva a cabo de forma manual o automática, a fin de evitar daños durante la maniobra o transporte. Luego de esto se realiza el despacho a la playa de almacenamiento para su posterior distribución a los clientes.

1.2. Descripción del proceso Prueba Hidráulica

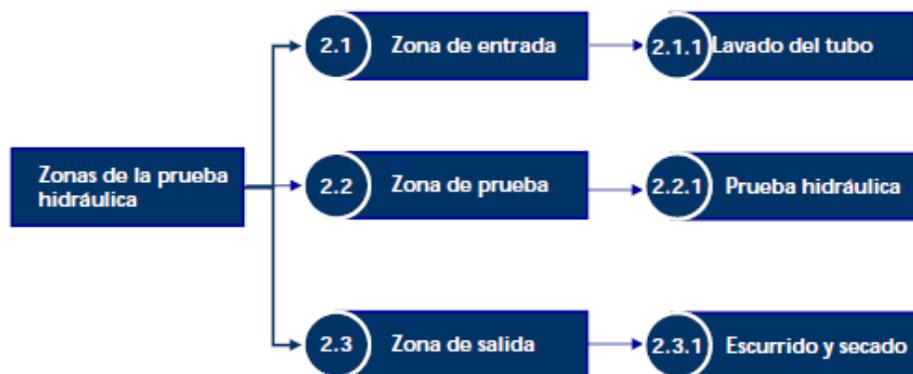
Memoria descriptiva del proceso en el cual nos enfocaremos a realizar la mejora.

Dentro del proceso productivo de tubos sin costura se lleva a cabo un ensayo no destructivo denominado “prueba hidráulica” mencionado anteriormente, la misma consiste en llenar un tubo con una emulsión (preparación líquida conformada por una determinada proporción de aceite y agua) elevando la presión interna hasta alcanzar un determinado valor durante cierto tiempo, indicados en la norma API o solicitado por el cliente. Las variables a tener en cuenta son el diámetro y el largo del tubo a ensayar.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ACTUAL

El proceso inicia cuando el tubo comienza a transitar un camino que parte desde un bancal de entrada, luego pasa a una zona de lavado interno, siguiendo por la prueba hidráulica, secadores y finalmente termina en el bancal de salida. El tubo se desplaza rodando por bancales inclinados, moviéndose de una posición a otra mediante levas y volcadores que poseen movimiento mediante una acción mecánica o actuadores hidráulicos vinculados a estos.

La prueba consta de tres zonas definidas, explicadas a continuación.



UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 10 de 82

1. Zona de entrada

En la zona de entrada se alinean los tubos en el bancal de entrada mediante enrase, donde los tubos son detectados por un sensor que envía una señal al PLC poniendo en funcionamiento un sistema de líneas de volcadores que mueven al tubo desde el bancal hacia la vía de rodillos, encargada de llevarlo hasta el punto de enrase. Luego mediante medios mecánicos acoplados al volcador, se logra el movimiento hacia arriba y hacia abajo de los mismos, permitiendo el desplazamiento del tubo, el cual se deposita en rodillos y lo llevan hasta el tope de enrase. Una vez enrasado, una línea de volcadores transfiere el tubo a la zona de lavado.

Lavado del tubo

En esta etapa se elimina todo tipo de suciedad y rebabas que hayan quedado del proceso de fabricación, evitando el daño que pudieran generar. Este proceso puede llevarse a cabo sin rotación o con rotación, en este sector se realiza con rotación, donde el tubo luego del enrase, se transfiere sobre un bancal fijo y llega rondando a una línea de topes retirables, los cuales permiten la correcta alineación del tubo con la boquilla de inyección del chorro de emulsión. Cuando llega a una posición determinada es detectado por un sensor, produciéndose la apertura de una válvula hidráulica que permite el paso de la emulsión a la boquilla.

La boquilla se encuentra montada con un sistema de brazos que permite un movimiento longitudinal en dos sentidos, hacia adelante y hacia atrás. Esta se regula en una posición inferior permitiendo que no haya ajustes frecuentes, aunque cambie el diámetro interno del tubo.

El suministro de la emulsión a presión para el lavado del tubo, se realiza por medio de bombas que toman el fluido de la fosa de emulsión, denominada fosa de trabajo. Antes de llegar a la fosa de emulsión el soluble pasa por un sistema de decantación y de filtrado. Esto es muy importante para eliminar todas las impurezas que se arrastran durante el trabajo de prueba, evitando daños a todos los sistemas que trabajan con el soluble.

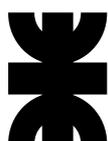
2. Zona de prueba

En esta sección se verá en detalle cómo se realiza la prueba hidráulica que se lleva a cabo en la zona de prueba.

Luego del lavado del tubo, intervienen los volcadores, transfiriéndolo a la vía de rodillos encargada de llevarlo contra el tope de alineado, donde se realiza la medición y el posicionado del tubo previo a pasar a la zona de prueba.

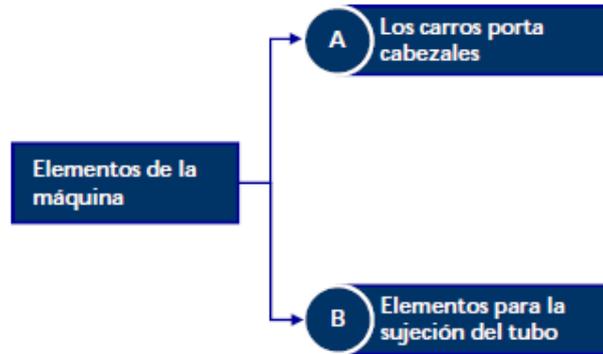
Esta operación es importante, ya que determina cuánta distancia deberán avanzar los cabezales cuando el tubo se encuentre en el centro de la máquina.

Una vez alineado el tubo mediante otra línea de volcadores, es descargado a la cama de prueba. Llega rodando y el botador de salida lo detiene y lo hace descender suavemente sobre los asientos quedando exactamente alineado con el centro de la máquina.



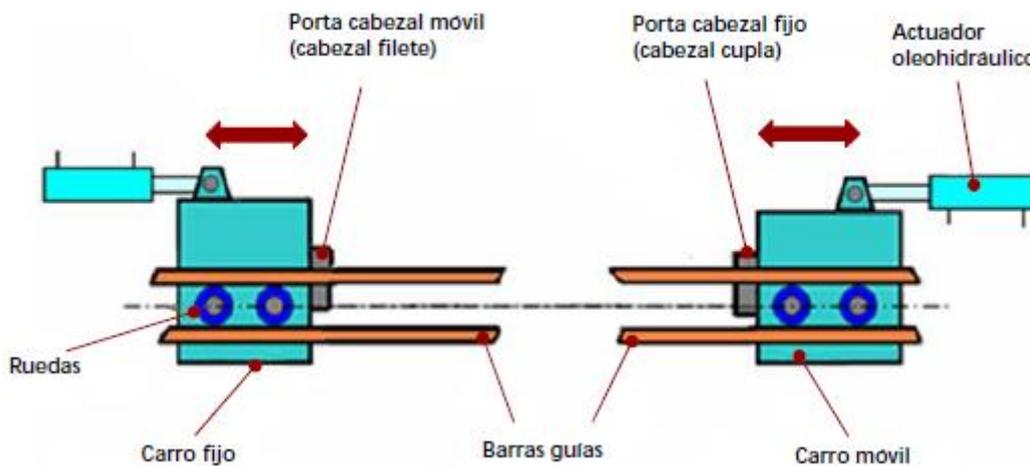
Prueba hidráulica

En el centro de la máquina de pruebas hidráulicas se encuentran distintos elementos que permiten llevar a cabo dicha prueba. Algunos son fijos y otros móviles, donde los más importantes son:



A. Carros porta cabezales

El sistema para la prueba hidráulica consta de dos carros porta cabezales, denominados carro fijo y carro móvil. El carro fijo contiene el porta-cabezal móvil (denominado cabezal filete), mientras que en el carro móvil el porta-cabezal (denominado cabezal cupla) se encuentra fijo al carro.



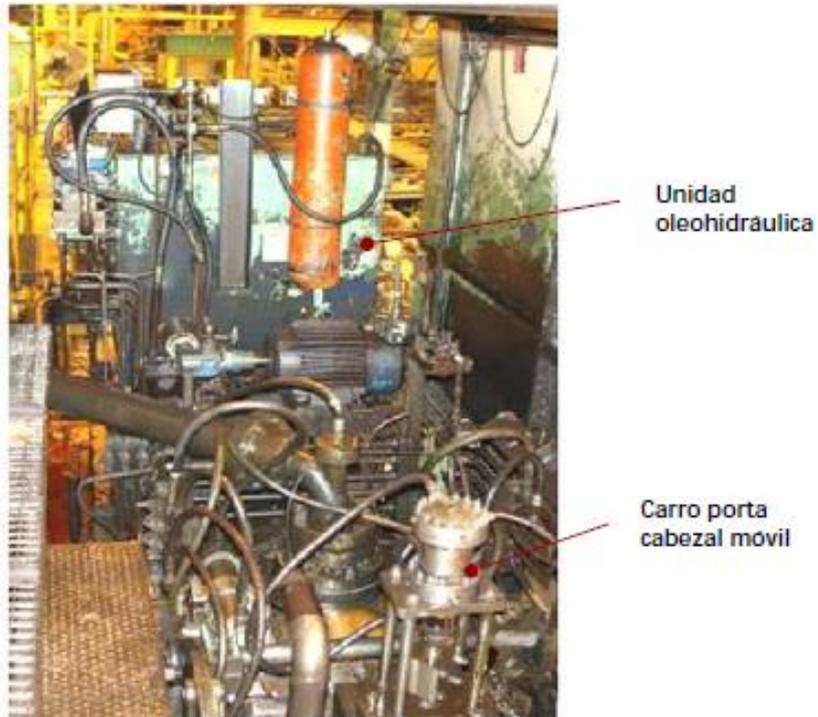
Los carros porta cabezales tienen la libertad de ser desplazados en forma longitudinal sobre barras guías ancladas al bastidor. El desplazamiento de estos se realiza, por medio de actuadores oleohidráulicos acoplados a cada carro porta cadenas.

El carro móvil puede desplazarse 6m y el carro fijo 2,4m aproximadamente. El carro fijo dispone de un alojamiento donde el cabezal filete tiene la libertad de desplazarse en forma longitudinal hacia delante y hacia atrás (posee una carrera fija) de forma idéntica que el carro porta cabezal. Este carro posee un sistema de trabas accionadas en forma oleohidráulica para evitar que el carro no se desplace en el momento de realizar la prueba.

Ejemplo de enclavamiento:

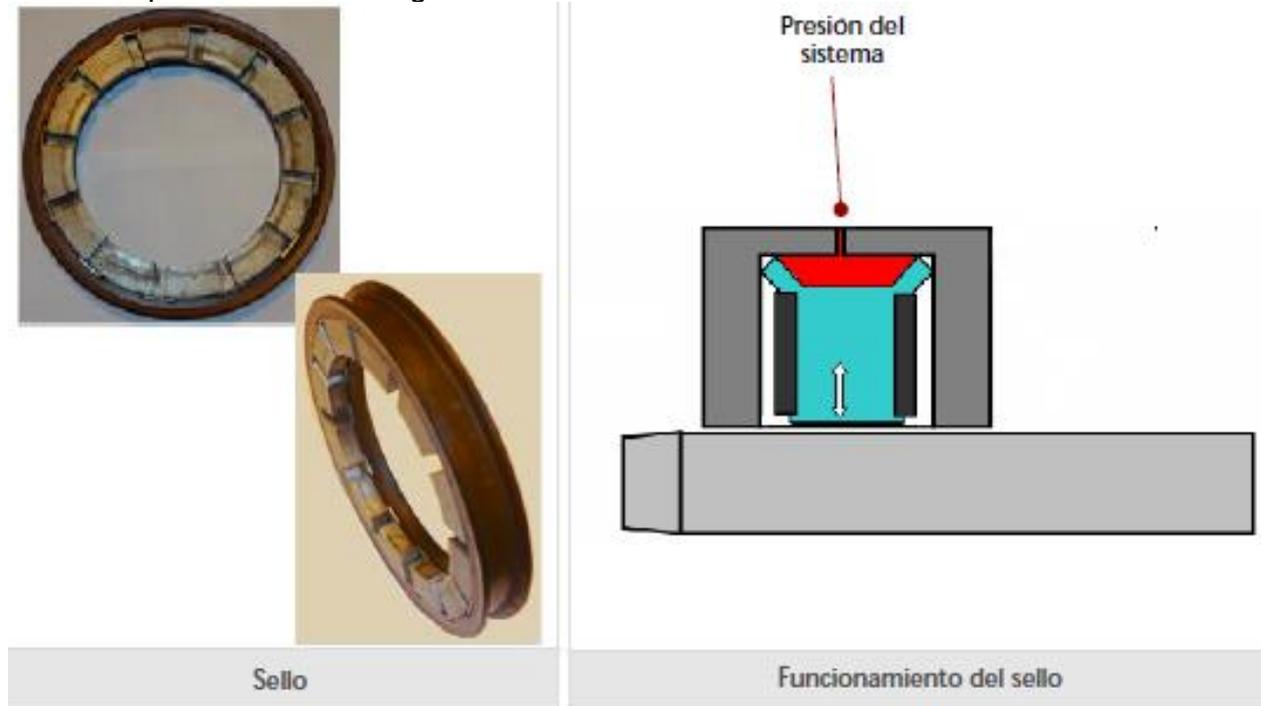


El abastecimiento de caudal y presión necesaria para realizar todos los movimientos deseados del carro porta cabezal móvil es abastecida mediante una unidad oleo hidráulica que se encuentra montada en la parte superior del carro.



En la línea de producción se trabaja con distintos diámetros, donde los que predominan son de 9 5/8", 5", 5 1/2" y 6 5/8". Los cabezales poseen sellos o empaques que evitan fugas de fluido al exterior cuando se realiza la prueba hidráulica.

El sello empleado realiza el sellado luego de que el tubo se encuentre en la posición definida dentro de los cabezales, evitando el rozamiento entre las superficies del sello y el tubo o la cupla. Actúan al ser sometidos a una presión hidráulica. Cuando deja de actuar la presión recuperan su forma original.



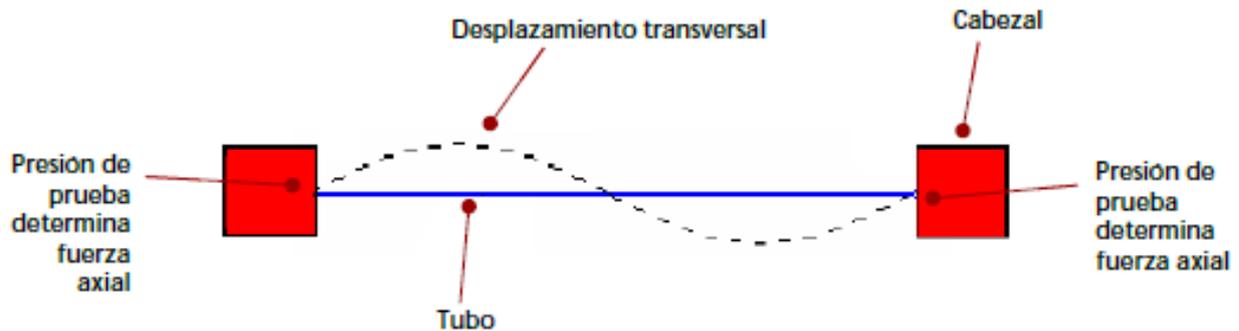
B. Elementos para la sujeción del tubo

Es muy importante sujetar el tubo durante el proceso de la prueba, debido a que evitará que el tubo se mueva cuando se realiza la prueba hidráulica, centrándolo y evitando que se doble o se deforme.

El efecto más importante que se produce en el tubo durante la prueba hidráulica se considera como un efecto de pandeo. Este efecto se manifiesta por la aparición de desplazamientos importantes transversales a la dirección principal de compresión cuando se halla sometido a la acción de esfuerzos axiales de cierta importancia.

El pandeo es un fenómeno de inestabilidad elástica que puede darse en elementos comprimidos esbeltos y que se manifiesta por la aparición de desplazamientos importantes transversales a la dirección principal de compresión.

<p>UTN FACULTAD REGIONAL SAN RAFAEL</p> 	<p>PROYECTO FINAL</p>	<p>PTH YAMASUI</p>
<p>Optimización línea de producción de tubos</p>	<p>17/04/2023</p>	<p>Página 14 de 82</p>



Los elementos de sujeción del tubo anulan el efecto de pandeo, esta sujeción se realiza mediante clamps, que se encuentran montados en carros con ruedas.

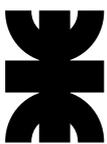
El tubo se deposita en carros distribuidos en una cantidad determinada en el centro de la máquina. Los carros pueden ser desplazados en forma longitudinal mediante ruedas que se apoyan sobre placas guías tomadas al bastidor. Esto determina la posibilidad de ubicarlos a diferentes distancias, según el largo del tubo a trabajar.

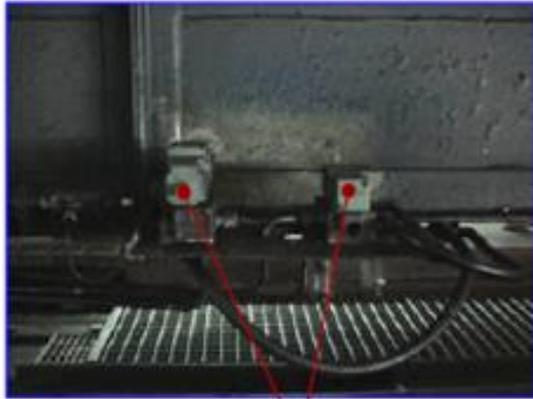
Los clamps son un conjunto de pinzas (mordazas) que sujetan el tubo durante la prueba hidráulica, las mismas se encuentran montadas sobre los carros, realizando los movimientos de apertura y clampeo del tubo mediante actuadores hidráulicos con presión controlada.



Los cilindros de las mordazas son accionados por una electroválvula que es posible operar tanto manualmente como a partir de una señal eléctrica.

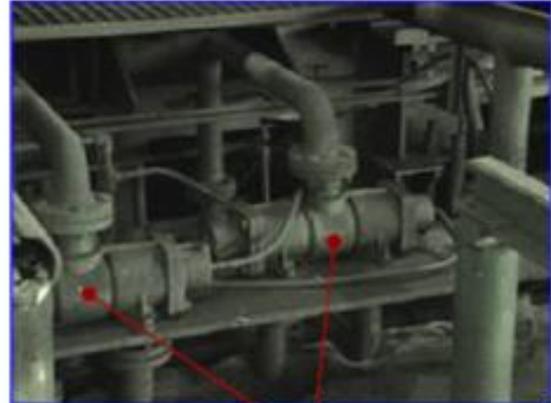
Se implementan válvulas independientes que permiten regular la presión del soluble que acciona los cilindros de cada uno de los carros clamps, permitiendo así controlar la fuerza del agarre de las mordazas del tubo.

<p>UTN FACULTAD REGIONAL SAN RAFAEL</p> 	<p>PROYECTO FINAL</p>	<p>PTH YAMASUI</p>
<p>Optimización línea de producción de tubos</p>	<p>17/04/2023</p>	<p>Página 15 de 82</p>



Electroválvulas

Electroválvulas que accionan los clamps



Válvulas

Válvulas de regulación de la presión de las mordazas

Los carros clamps son un conjunto de carros con ruedas en donde van alojados los clamps, estos están distribuidos de forma equidistante de acuerdo a la longitud del tubo.

Calibración y puesta en marcha

Antes de someter al tubo a la prueba hidráulica, es necesario realizar la calibración.

Para el proceso de calibración y puesta en marcha de las diferentes pruebas hidráulicas se utiliza el modo manual y automático.

El accionamiento en modo manual y automático, y los servicios de las estaciones de la prueba hidráulica se controlan generalmente desde una PC de interfaz de operaciones Hombre-Máquina y una PC de producción.

Actualmente, ingresando en la pantalla de Presets (Pre-ajustes), desde cualquier PC que tenga acceso al sistema, actuando sobre esta, pueden ajustarse y observar la evolución de los diferentes parámetros para el producto. Entre otros, se puede observar el tiempo de prueba, la presión de prueba, el tiempo de llenado, el tiempo de lavado, la descompresión, etc.

En la pantalla de tipo operativa se pueden ajustar los Presets más importantes de la máquina y visualizar el gráfico de la prueba.

Prueba hidráulica al tubo

Las pruebas hidráulicas deben trabajar con diferentes longitudes de tubo, por lo tanto, el cabezal móvil (denominado cabezal filete), que se encuentra montado en el carro fijo, y el carro móvil, en el cual se encuentra el cabezal fijo (denominado cabezal cupla), deberán

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 16 de 82

“saber” qué distancia deberá recorrer cada uno para lograr ubicar dentro de ellos los extremos del tubo en tiempo y forma.

En esta situación se realizará el sellado correspondiente sobre los diámetros, pasando luego a realizar la prueba hidráulica.

Esto se logra por medio de sensores montados en lugares estratégicos los cuales describen dónde y cuándo se ha movido el elemento desde su posición en el cuadro de referencia.

En algunas ocasiones se hace necesario hacer una corrección en la referencia. Esta corrección la realiza el personal de operación mediante un ajuste a través de una pantalla de la PC de operaciones.

Proceso de la prueba:

1. Una vez que el tubo está alineado y ubicado en la zona de prueba y los carros en posición “atrás” o “cero”, un sensor detecta la presencia del tubo y genera el avance del carro fijo (cabezal filete).

2. Con el carro en la posición determinada por sensor, entran las trabas para fijarlo.

3. El cabezal móvil avanza introduciendo en este el extremo del tubo (el cabezal filete tiene una carrera fija).

4. Luego, se produce el avance del carro móvil. Un sensor montado a bordo del carro detecta al tubo, bajando la velocidad del carro.

5. El tubo se introduce en el cabezal cupla (fijo), el carro continúa avanzando y empujando al tubo contra el cabezal filete (móvil) obligándolo a retrotraerse hasta que un sensor determina la posición del cabezal filete (móvil) y determinando la parada del cabezal cupla.

6. Se cierran las mordazas para sujetar al tubo.

7. El tubo es llenado con emulsión a baja presión (entre 6 a 8 bar) y a la vez se realiza una purga con el fin de eliminar todo el aire del interior del tubo.

Eliminar el aire que se encuentra dentro del tubo es un proceso muy importante. Como la alta presión se consigue por medio de los intensificadores puede llegar a suceder que estos lleguen al fin de su carrera y no se logre la alta presión necesaria por la existencia de aire ya que este es un fluido compresible.

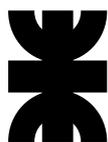
8. El fluido es tomado de la fosa de emulsión mediante bombas ya purificado. Es decir, el fluido pasa por un sistema de decantación y filtrado para eliminar todas las impurezas que se arrastran durante el trabajo de lavado interno y prueba, evitando daños a todos los sistemas de la máquina que trabajan con emulsión.

9. Las bombas y, en ciertos casos con un hidroclave (acumulador hidroneumático) envían la emulsión por una cañería a una válvula denominada válvula de llenado. Esta se encuentra montada en el carro móvil (cabezal lado cupla) y es comandada para su apertura y cierre por un actuador oleohidráulico.

El acumulador hidroneumático es un recipiente cerrado de paredes gruesas que almacena la emulsión en sus dos terceras partes de su altura y una tercera parte de aire a presión determinada.

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 17 de 82

La función del aire es mantener constante la presión de alimentación al consumo de la emulsión.

La bomba alimentadora de la emulsión a la boquilla o al acumulador tiene un dispositivo que no permite que la presión supere la estipulada.

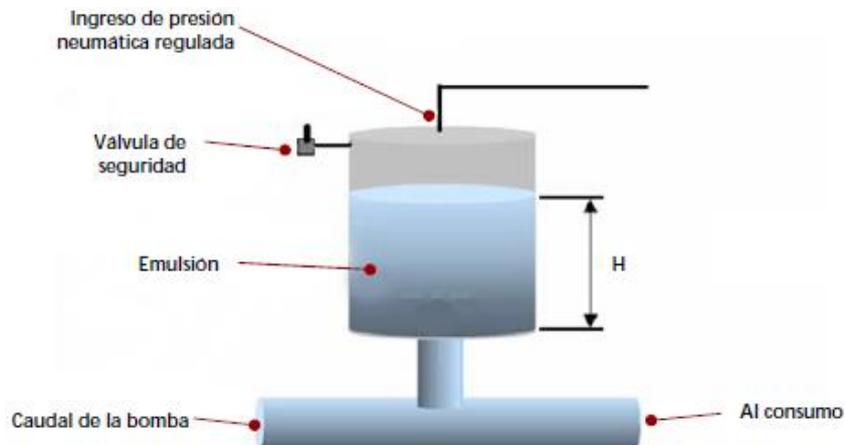


Gráfico que representa el funcionamiento de un de un acumulador hidroneumático

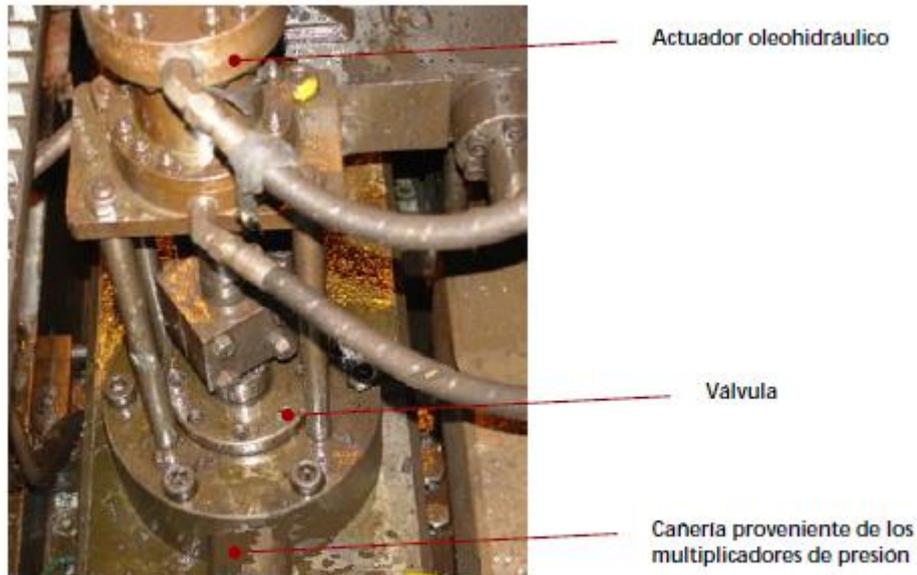
El tiempo de llenado y purga es establecido de acuerdo al diámetro y largo del tubo. Cumplido este tiempo la válvula se cierra.

La acción de la válvula se realiza mediante un actuador oleohidráulico.



Válvula

Hay otra válvula que se encuentra montada en el carro móvil. Una de sus funciones es la de permanecer cerrada cuando se realiza el llenado de emulsión al tubo y la correspondiente purga de aire.

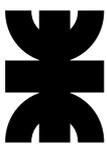


La acción de la válvula se realiza mediante un actuador oleohidráulico

10. Inmediatamente después de que se cumple el tiempo de llenado del tubo y purga, esta válvula se abre, entrando en funcionamiento el o los intensificadores de presión que proporcionarán la presión requerida para la prueba.

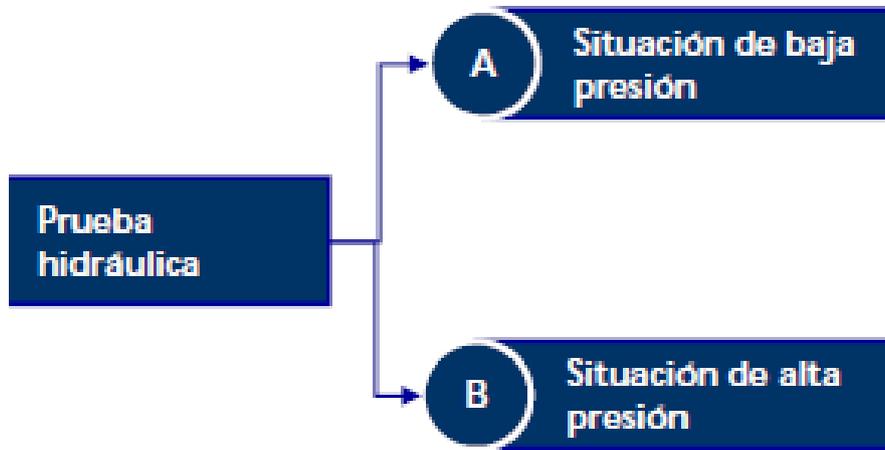


Intensificadores

<p>UTN FACULTAD REGIONAL SAN RAFAEL</p> 	<p>PROYECTO FINAL</p>	<p>PTH YAMASUI</p>
<p>Optimización línea de producción de tubos</p>	<p>17/04/2023</p>	<p>Página 19 de 82</p>

Los intensificadores son elementos hidráulicos que se utilizan para generar una alta presión de salida ante una pequeña presión de entrada. La ganancia de presión es proporcional a la relación de áreas.

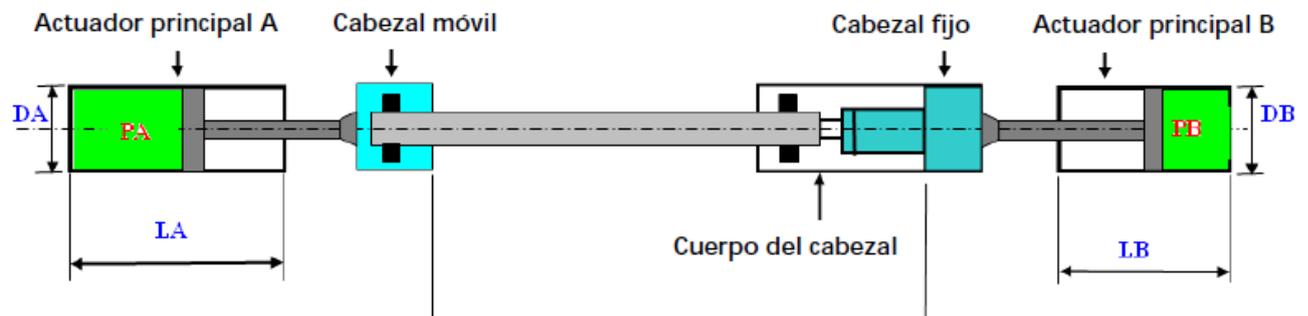
Situaciones de baja y alta presión durante la prueba hidráulica



A. Momento de presión hidráulica baja

El carro fijo, el cabezal móvil (cabezal filete) y el carro móvil (cabezal cupla) toman la posición necesaria por medio de sus correspondientes actuadores oleohidráulicos a las distancias que están determinadas, según el largo del tubo a probar.

En este momento se produce el llenado del tubo a baja presión y purga de aire:



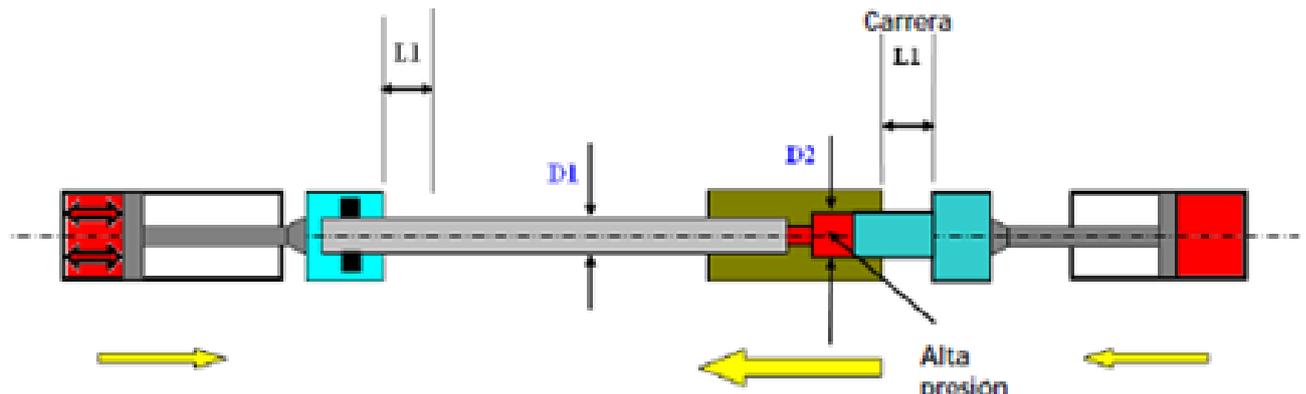
En el esquema mostrado se observa que:

- LA es mayor que LB.
- El diámetro DA es igual a DB.
- El valor de la presión oleohidráulica en PA es igual que en PB.

B. Momento de alta presión hidráulica.

En este momento el diámetro D1 es menor que el diámetro D2. Entran los intensificadores ingresando caudal por el cuerpo del cabezal fijo (cabezal cupla) generando la alta presión.

Al existir una diferencia entre el diámetro del tubo D1 y el diámetro D2 del orificio del cuerpo del cabezal, la alta presión actúa generando un desplazamiento L1 del cuerpo del cabezal. De esta forma, se realiza un sistema de empotramiento entre tubo y cabezales, dando la seguridad necesaria a los valores exigidos en la prueba.



Cumplido el tiempo de prueba, se abre una válvula denominada válvula de rompimiento y, casi al mismo instante, la válvula de purga también se abre permitiendo entre ambas eliminar la presión interna y el soluble del tubo. Se retiran los cabezales, se abren los clamps dejando libre al tubo. Por medio de botadores el tubo es expulsado del centro de la máquina al bancal de salida.

Para llevar un registro de los tubos probados, en la pantalla de la PC de producción se genera un gráfico de la prueba realizada a cada tubo.

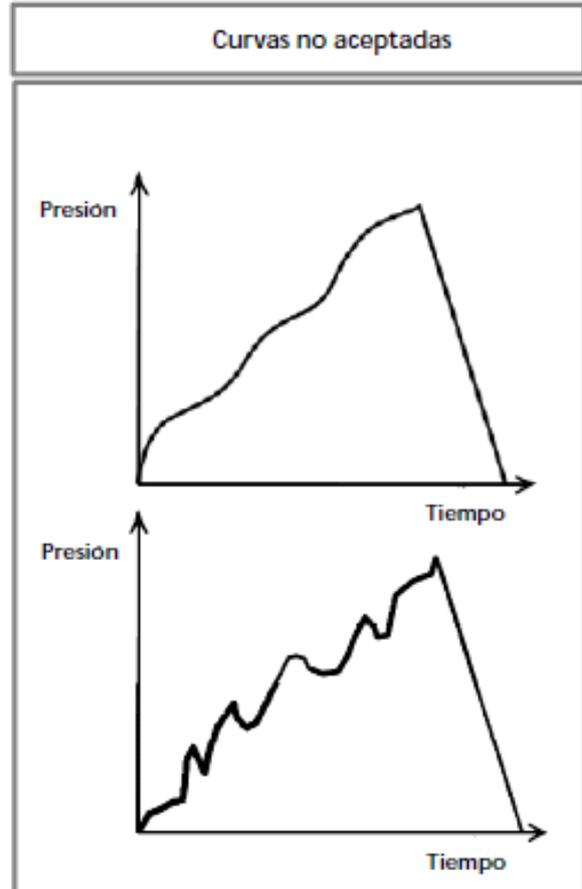
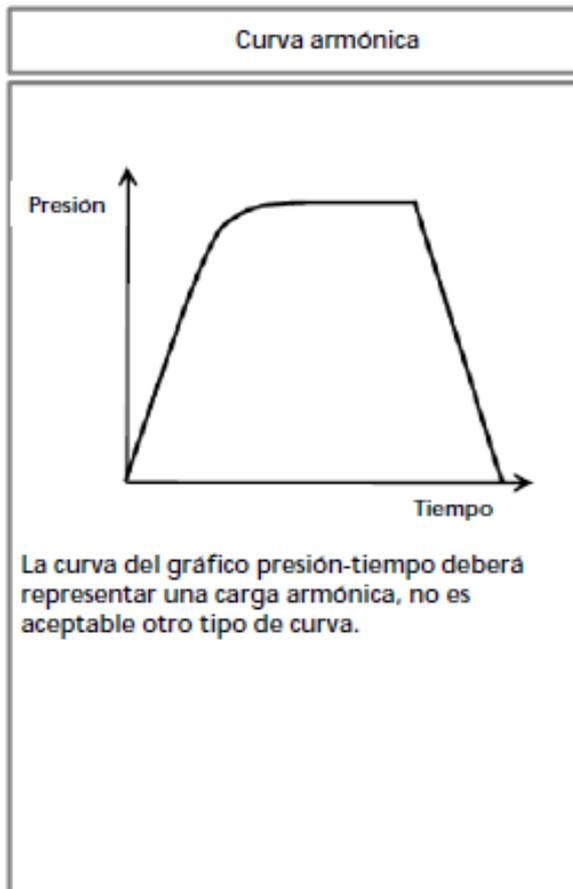
En dicho gráfico se puede observar mediante una curva cómo varía la presión en función del tiempo. También, las características del tubo, la colada, la presión a que fue sometido el tubo, tiempo de prueba, si el resultado de la prueba está aprobado, etc.

Criterios de aceptación y rechazo de curvas

Una vez ingresados los datos de la prueba, se analiza la curva que aparece en la pantalla para ver el nivel de aceptación. Hay tres criterios para aceptar o rechazar la curva.

1. La curva del gráfico presión-tiempo deberá representar una carga armónica, no es aceptable otro tipo de curva.

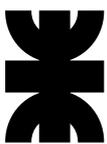


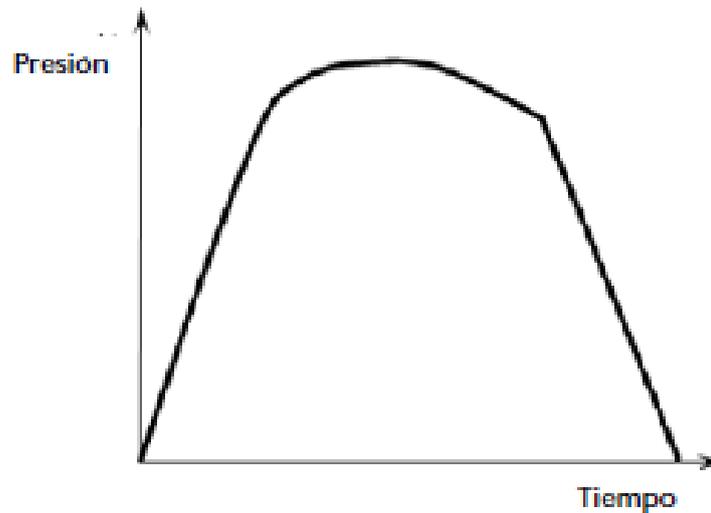


2. Permanencia de la presión durante el tiempo de la prueba sin alteraciones.

En el gráfico indicado en la figura que aparece a continuación se observa un caso particular, en el que existen fugas de fluido por los sellos, en el que se observa una variación tolerable de la presión en el momento crítico.

Las pérdidas hidráulicas admitidas durante la prueba deben encontrarse dentro de lo especificado en los procedimientos.

<p>UTN FACULTAD REGIONAL SAN RAFAEL</p> 	<p>PROYECTO FINAL</p>	<p>PTH YAMASUI</p>
<p>Optimización línea de producción de tubos</p>		<p>17/04/2023</p>
		<p>Página 22 de 82</p>



3. El tiempo de prueba del tubo a la presión determinada no deberá ser menor al requerido.

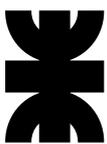


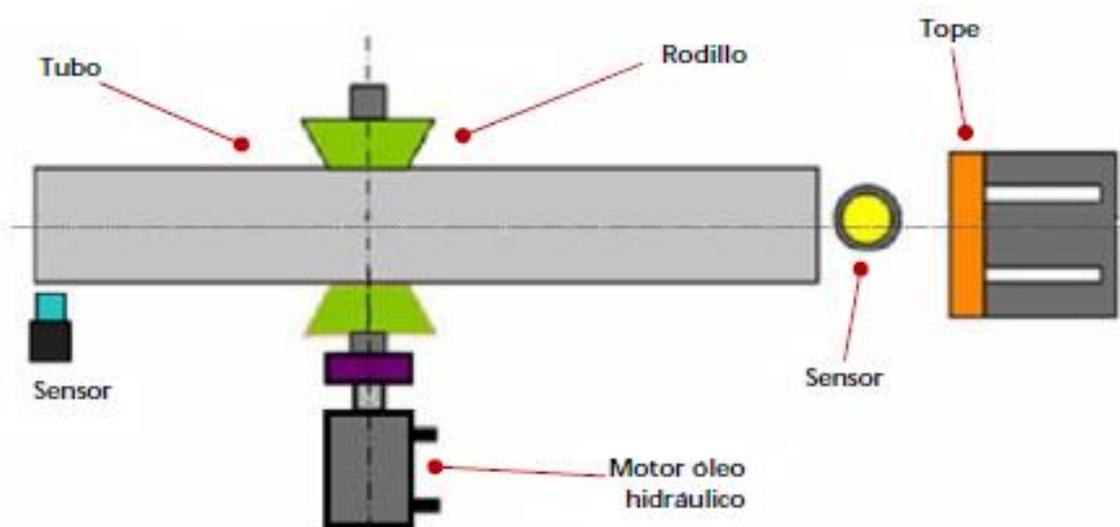
3. Zona de salida

Luego de haber pasado por el centro de la prueba, el tubo es trasladado a la zona de salida para ser enrasado, escurrido y luego secado.

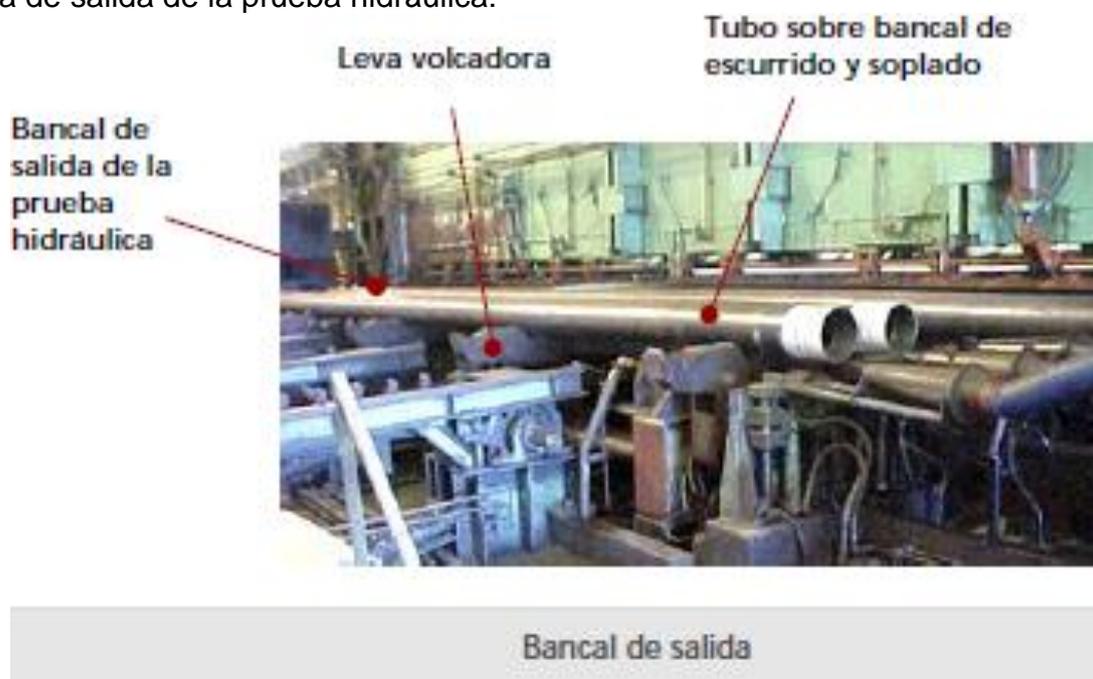
Secado y escurrido

El tubo llega rodando por el bancal de salida de la prueba hidráulica a las levas o botadores los cuales se encargan en su movimiento de depositar el tubo en la vía a rodillos de enrase. Mediante la puesta en marcha de esta vía se lleva al tubo hasta el tope de enrase para luego ser transferido al bancal del escurrido y soplado.

<p>UTN FACULTAD REGIONAL SAN RAFAEL</p> 	<p>PROYECTO FINAL</p>	<p>PTH YAMASUI</p>
<p>Optimización línea de producción de tubos</p>	<p>17/04/2023</p>	<p>Página 23 de 82</p>



Zona de salida de la prueba hidráulica:



En el bancal, los tubos son elevados de un extremo por medio de una travesa tomada mecánicamente a los vástagos de actuadores oleohidráulicos a la altura donde se encuentran las boquillas sopladoras de secado.



Foto que muestra los tubos elevados para ser secados

Debido a que los tubos se encuentran inclinados, se logra escurrir por gravedad el resto de emulsión que quedó dentro del tubo.

Hay dos etapas de secado, cada una con su boquilla correspondiente. Todos los tubos atraviesan ambas etapas, donde se inyecta aire para secarlos internamente.

El secado se realiza por medio de aire a presión que sale por la boquilla del soplador.

Este proceso se realiza para evitar la corrosión posterior.

El escurrido y secado se puede realizar a varios tubos a la vez. Esto depende directamente de la cantidad de boquillas sopladoras montadas.

Terminado el tiempo de secado el tubo es transferido al bancal de salida a la espera de un destino determinado.

2. Prefactibilidad

2.1. Analisis F.O.D.A

En una de las plantas productivas de Tenaris (fábrica de tubos), miembro del grupo Techint Engineering y lugar de trabajo de uno de los integrantes del grupo, se plantea un problema en un sector del proceso de producción de los tubos sin costura, donde se pierden horas de producción debido a una ineficiente medición de los mismos, esto significa una gran pérdida de dinero para la empresa en cuanto a que aumenta su costo de oportunidad, en este proyecto planteamos una solución no solo técnica al problema, sino un análisis económico y de factibilidad para resolver la problemática de la manera más eficiente y redituable posible.

 <p>UTN FACULTAD REGIONAL SAN RAFAEL</p>	<p>PROYECTO FINAL</p>	<p>PTH YAMASUI</p>
<p>Optimización línea de producción de tubos</p>		<p>17/04/2023</p> <p>Página 25 de 82</p>

FORTALEZAS:

- Disminución de tiempos muertos.
- Alta rentabilidad de la inversión.
- Aumento del grado de utilización (eficiencia de la línea).
- Aumento en la producción de tubos.
- Posibilidad de concretar el proyecto.
- Aporta valor agregado al producto final.
- Aplicable a otros sistemas, como el fraccionamiento de tubos y barras.
- Disminución de costo en el producto final.
- Rápida implementación a la línea actual.

OPORTUNIDADES:

- Amplios procesos en el mercado y dentro de la empresa, requieren la medición exacta de longitudes.
- Necesidad inmediata de solucionar el problema por parte de la empresa.
- Posible ingreso a la industria, brindando soluciones a una empresa líder en el mercado.
- Predisposición de la empresa a implementar innovaciones tecnológicas al proceso productivo.

DEBILIDADES:

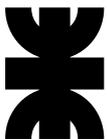
- Sistema más complejo que el original.
- Necesidad de calibración esporádica.
- Necesidad de mayor cantidad de repuestos a pie de máquina.
- Debido a que la electrónica es sofisticada, es más propenso a ser interferido por ruidos eléctricos

AMENAZAS:

- Que la empresa no se disponga a realizar el proyecto.
- Imposibilidad de adaptar la línea.

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 26 de 82

3. Estudio de ciclo primario o preparación

3. 1. Factibilidad del proyecto

3.1.1. Descripción de necesidades

Se necesita maximizar la producción de tubos de acero sin costura. Para lograr este objetivo, se debe hilar fino en la reducción de tiempos muertos y en la sincronización del proceso. Esto, hace referencia a que, si yo tengo un tiempo de ciclo de 25 segundos en las máquinas, y más adelante tengo que reacomodar las longitudes de los cabezales en la prueba hidráulica, proceso que puede llegar a demorar hasta 2.5 minutos, se produce un desbalanceo en la línea, como consecuencia se para la producción, lo que impacta de manera muy considerable a la misma. Por lo tanto, lo que se busca con este proyecto es minimizar la cantidad de ocasiones en las cuales debemos reacomodar la longitud para probar diferentes tubos.

3.1.2. Definición del problema

En el sector del proceso productivo de tubos sin costura donde se realiza el ensayo no destructivo llamado “prueba hidráulica”, se tiene una máquina en la cual, la medición del tubo se hace de manera indirecta. Esto quiere decir que, no podemos obtener una medida fehaciente de la longitud real del tubo, sino que se obtiene, mediante sensores inductivos, una longitud aproximada del mismo.

El sistema de medición es el siguiente, se tienen sensores ubicados desde una distancia fija de 6m hasta los 17m distribuidos cada 60cm, es decir, tenemos un sensor a los 6m, el siguiente a los 6.60m, el otro a los 7.20m y así sucesivamente hasta los 17m. El principal problema de este sistema es que, debido a la distribución física que tienen los bancales, no se logra respetar del todo la distribución de los sensores, entonces tenemos la siguiente distribución real:

- 1) 6.25 m
- 2) 7.28 m
- 3) 8.09 m
- 4) 8.65 m
- 5) 9.6 m
- 6) 10.47 m
- 7) 11.07 m
- 8) 11.88 m
- 9) 12.53 m
- 10) 12.85 m
- 11) 13.40 m
- 12) 14.20 m
- 13) 14.94 m

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 27 de 82

14) 15.83 m

Esta errónea distribución de los sensores provoca que repetidas veces la máquina se repositone, cuando en realidad podría probar el tubo en la posición original sin inconvenientes. Recordemos que, la máquina tiene la capacidad de probar tubos con una diferencia de hasta dos posiciones, es decir, hasta una variación de 1,2m. De todas maneras, se pierde una gran cantidad de tiempo en el desplazamiento de cabezales a la hora de repositonarse.

Se plantea un ejemplo para mejor comprensión:

Si tenemos un tubo con una longitud de 12380 mm, con la distribución correcta de los sensores, la máquina sería capaz de ensayar hasta un tubo de longitud 12220 mm. Sin embargo, con la distribución actual de sensores no lo tomaría, ya que la máquina interpretaría que el tubo es más corto que 12200 mm, esto se debe a que el sensor que debería estar en esa posición está a los 12530 mm, por lo que no admitiría el tubo y se debería producir un desplazamiento de la máquina hasta una posición menor para así probar el tubo.

3.1.3. Generación de soluciones técnicas

Propuestas planteadas

1. Reubicar correctamente los sensores existentes.

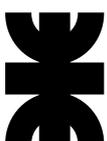
2. Llevar a cabo la medición del tubo se mediante un sensor Laser rangefinder (Telémetro láser) dispuesto en la parte fija donde apoya el tubo que será sometido a la prueba hidráulica, midiendo hasta una placa ubicada en un actuador o motor que se desplaza en la parte opuesta al sensor hasta entrar en contacto con el final del tubo, obteniendo así la longitud real del mismo.

3. Realizar la medición de tubo mediante un sensor fijo ubicado en la parte posterior de la bancada, el cual censa la distancia hasta una placa ubicada en el extremo de un actuador o motor el cual se desplaza hasta entrar en contacto con el tubo, la longitud del mismo será la resta entre la distancia desde el sensor hasta el tope frontal (conocida) y la distancia entre placa y sensor.

4. Medición de tubo mediante horquilla y encoder.

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 28 de 82

3.1.4. Evaluación tecnológica de cada una de las propuestas

1° Alternativa:

Analizando técnicamente esta solución, si bien el estado actual de la tecnología lo permite, no es posible su realización desde el punto de vista estructural ya que físicamente se complejiza la ubicación de los mismos cada 60cm exactos como lo plantea el formato original de la máquina.

2° y 3° Alternativa

Técnicamente esta propuesta queda limitada por el espacio físico y los movimientos propios de la maquinaria existente.

4° Alternativa

Esta alternativa es la más conveniente ya que la tecnología actual permite llevarla a cabo, existiendo una gran variedad de sensores y mecanismos que facilitan su aplicación, además desde el punto de vista estructural, es un sistema que resulta con una sencilla instalación.

3.1.5. Planteo de la solución viable

La solución viable es la alternativa N°4 ya que presenta mayores ventajas en cuanto a distintos factores como, la facilidad de implementación al sistema existente considerando el espacio disponible, tiempo de instalación, cantidad y costos de materiales necesarios, entre otros.

Para llevar a cabo el sistema planteado se utilizarán 5 soportes tipo triángulo, fabricados con perfiles IPN soldados a una pared de chapa ya existente de la máquina, la cual delimita la zona de entrada y la zona de prueba. Dicho soporte sostiene un riel, en el que se encuentra una cremallera sobre la que se desplaza una caja que contiene al motor con un piñón acoplado, este conjunto es el encargado de producir el desplazamiento del equipo de medición. En la parte inferior de la caja, unido mediante una pletina, se encuentra la horquilla con el sensor inductivo que detecta la presencia del tubo, cuando este sensor cambia de estado (termina el tubo), la horquilla vuelve a su posición de "home" contando mediante un encoder la distancia entre la posición de home y el tubo. Luego mediante la programación se obtiene la longitud real del tubo restando la longitud total menos la distancia que marca el encoder.



3.2. Proyecto preliminar

3.2.1. Formulación del modelo

Análisis de sensibilidad y compatibilidad

Para la formulación del modelo, se tuvieron en cuenta distintos parámetros, como el espacio disponible, la facilidad de implementación al sistema existente con el fin de reducir el tiempo de parada de la línea, entre otros. Para el primer aspecto consideramos que la estructura del sistema debía estar en altura para evitar modificaciones en maquinaria pesada existente; para el segundo aspecto planteamos una estructura sencilla de llevar a cabo con la menor cantidad de elementos a usar posibles.

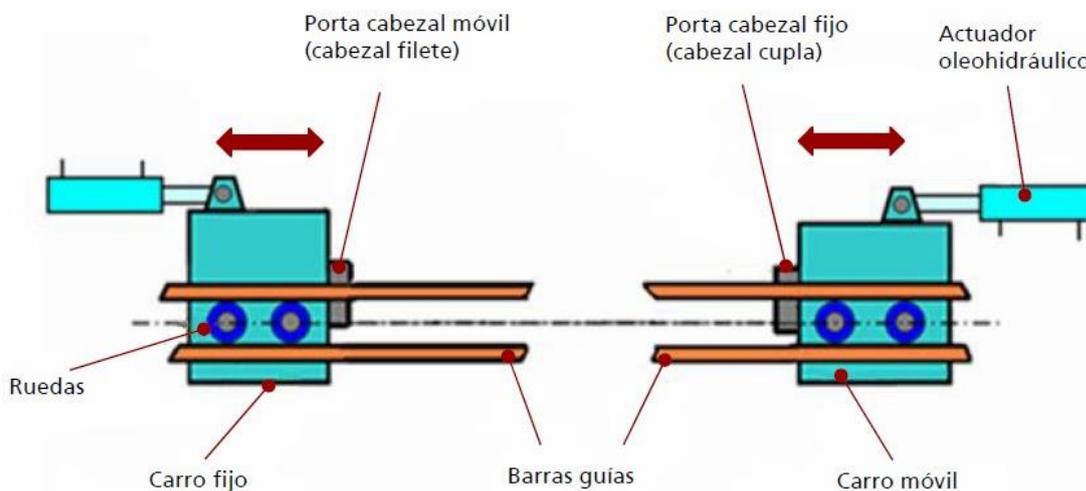
Al tratarse de un sistema con componentes eléctricos sensibles al ruido eléctrico, tuvimos en cuenta que era necesario aplicar materiales que minimicen estas perturbaciones, por lo que se usarán cables mallados, generando que nuestro sistema sea prácticamente insensible frente a estas señales.

Respecto a la compatibilidad tuvimos en cuenta todos los subsistemas existentes en nuestro proyecto, donde consideramos que las entradas al controlador lógico programable sean compatibles con este sistema de automatización existente y que las salidas necesarias sean compatibles también con el mismo.

4. Desarrollo del modelo

4.1. Descripción de modelo

Podemos ver la forma de trabajo del conjunto carro-cabezal en la siguiente imagen:



El ensayo no destructivo llamado “pruebas hidráulicas” consta de dos carros portacabezales, uno denominado carro fijo y el otro, carro móvil. El carro fijo, posee el porta cabezal móvil (denominado cabezal filete) que se desplaza en su interior, mientras que en el carro móvil aloja en su interior al porta cabezal fijo.

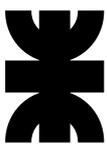
El carro fijo dispone de un alojamiento donde el cabezal filete tiene la libertad de desplazarse en forma longitudinal hacia adelante y hacia atrás, posee una carrera fija, la cual es de 1,2 m. Este carro tiene un sistema de trabas accionadas de manera oleohidráulica para evitar que el carro se desplace en el momento de realizar la prueba.

El sistema de enclavamiento es el siguiente:



Estas trabas encastran en agujeros realizados sobre el bastidor de la maquina cada 60 centímetros, por lo que pueden ir enclavándose para probar diferentes medidas de tubos. Estos enclavamientos están realizados a la misma medida que la ubicación teórica de los sensores inductivos con los que se miden actualmente la longitud de los tubos a probar.

Como se describió anteriormente, se tenía el inconveniente de las reiteradas ocasiones en las que el carro porta cabezal se reacomodaba sin sentido debido a la incorrecta colocación del sistema de medición, produciendo una pérdida considerable en el tiempo de operación de la máquina. Esto conlleva a que, en

<p>UTN FACULTAD REGIONAL SAN RAFAEL</p> 	<p>PROYECTO FINAL</p>	<p>PTH YAMASUI</p>
<p>Optimización línea de producción de tubos</p>	<p>17/04/2023</p>	<p>Página 31 de 82</p>

una misma cantidad de tiempo de producción, se realice el ensayo hidráulico a una menor cantidad de tubos que los que se podrían llegar a ensayar con un sistema de medición más precisa.

4.1.1. Comparación sistema actual y sistema a implementar

Para analizar de manera cuantitativa el sistema de medición de tubos actual y el sistema de mejora planteado, tomamos como referencia una campaña de producción de 270 tubos, de diámetro 9.5/8", uno de los diámetros más producidos en la línea, para luego extrapolar los datos obtenidos a la producción mensual de la línea.

De la campaña mencionada, se analizaron las medidas arrojadas por el sistema actual de medición y las que arrojaría el sistema nuevo, encontrando el porcentaje de reubicaciones que se producen con el sistema actual y las reubicaciones que se llevarían a cabo con el sistema a implementar.

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

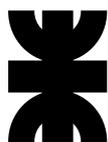
Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 32 de 82

Desplazamientos de carro sistema actual (campaña de 270 tubos, en la imagen se observan solo 45):

numero de tubo	longitud real	posicion real	Distancia posicion y longitud real	Carro Sist Actual
70001	13046	13400		0 no reposiciona
70002	12982	13400		0 no reposiciona
70003	13381	13400		0 no reposiciona
70004	12863	13400		0 no reposiciona
70005	13062	13400		0 no reposiciona
70006	12886	13400		0 no reposiciona
70007	13396	13400		0 no reposiciona
70008	13004	13400		0 no reposiciona
70009	13129	13400		0 no reposiciona
70010	10602	11070	2330	reposiciona
70011	13089	13400	2330	reposiciona
70012	13085	13400		0 no reposiciona
70013	12953	13400		0 no reposiciona
70014	13023	13400		0 no reposiciona
70015	12929	13400		0 no reposiciona
70016	13009	13400		0 no reposiciona
70017	13061	13400		0 no reposiciona
70018	12972	13400		0 no reposiciona
70019	13037	13400		0 no reposiciona
70020	12941	13400		0 no reposiciona
70021	12932	13400		0 no reposiciona
70022	13041	13400		0 no reposiciona
70023	13081	13400		0 no reposiciona
70024	13072	13400		0 no reposiciona
70025	12904	13400		0 no reposiciona
70026	12925	13400		0 no reposiciona
70027	12953	13400		0 no reposiciona
70028	13034	13400		0 no reposiciona
70029	13071	13400		0 no reposiciona
70030	13279	13400		0 no reposiciona
70031	10691	11070	2330	reposiciona
70032	10674	11070		0 no reposiciona
70033	13062	13400	2330	reposiciona
70034	13228	13400		0 no reposiciona
70035	11788	11880	1520	reposiciona
70036	13280	13400	1520	reposiciona
70037	10680	11070	2330	reposiciona
70038	11421	11880	810	no reposiciona
70039	13005	13400	1520	reposiciona
70040	10755	11070	2330	reposiciona
70041	13205	13400	2330	reposiciona
70042	11121	11880	1520	reposiciona
70043	11047	11070	810	no reposiciona
70044	11677	11880	810	no reposiciona
70045	11810	11880		0 no reposiciona

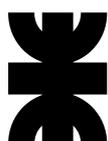


Se parte de una posición del carro del cabezal lado filete (móvil) enclavado a 13400mm. Se puede observar que, dependiendo del largo del tubo a ensayar, el carro se va a tener que reubicar. Es importante destacar que, con el carro en una misma posición, el cabezal puede abarcar hasta una longitud de dos posiciones, esto quiere decir que, estando a 13400mm puede probar hasta 12200mm. En caso de que el tubo sea más corto que esta medida, deberá reubicarse la cantidad de posiciones necesarias según el largo del tubo a probar.

Analizando esta campaña, podemos observar que la cantidad de reposicionamientos del carro fijo fueron de 12 veces. Se deduce que en el 4.4% de los tubos a probar, la máquina tiene que hacer un reacomodamiento del carro, esto nos perjudica considerablemente en los tiempos de producción.

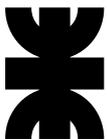
Sistema actual		
Descripción	Valor	Unidad
Cantidad de tubos	270	un
Reposicionamientos	12	Un
Porcentaje de reposicionamiento	4,4%	%
Produccion diaria	650	Un
Cantidad tubos reubicados	29	Un
Tiempo de reubicacion	1,8	min
Tiempo diario reubicación	52	min

Analizando la misma situación, pero con el sistema de medición propuesto, tenemos lo siguiente:



numero de tubo	longitud real	posicion carro con horquilla	Distancia posicion con horquilla y longitud real	Carro Sist Nuevo
70001	13046	13900	854	No Reposiciona
70002	12982	13900	918	No Reposiciona
70003	13381	13900	519	No Reposiciona
70004	12863	13900	1037	No Reposiciona
70005	13062	13900	838	No Reposiciona
70006	12886	13900	1014	No Reposiciona
70007	13396	13900	504	No Reposiciona
70008	13004	13900	896	No Reposiciona
70009	13129	13900	771	No Reposiciona
70010	10602	11500	898	Reposiciona
70011	13089	13300	211	Reposiciona
70012	13085	13300	215	No Reposiciona
70013	12953	13300	347	No Reposiciona
70014	13023	13300	277	No Reposiciona
70015	12929	13300	371	No Reposiciona
70016	13009	13300	291	No Reposiciona
70017	13061	13300	239	No Reposiciona
70018	12972	13300	328	No Reposiciona
70019	13037	13300	263	No Reposiciona
70020	12941	13300	359	No Reposiciona
70021	12932	13300	368	No Reposiciona
70022	13041	13300	259	No Reposiciona
70023	13081	13300	219	No Reposiciona
70024	13072	13300	228	No Reposiciona
70025	12904	13300	396	No Reposiciona
70026	12925	13300	375	No Reposiciona
70027	12953	13300	347	No Reposiciona
70028	13034	13300	266	No Reposiciona
70029	13071	13300	229	No Reposiciona
70030	13279	13300	21	No Reposiciona
70031	10691	11500	809	Reposiciona
70032	10674	11500	826	No Reposiciona
70033	13062	13300	238	Reposiciona
70034	13228	13300	72	No Reposiciona
70035	11788	12700	912	No Reposiciona
70036	13280	13300	20	No Reposiciona
70037	10680	11500	820	Reposiciona
70038	11421	11500	79	No Reposiciona
70039	13005	13300	295	Reposiciona
70040	10755	11500	745	Reposiciona
70041	13205	13300	95	Reposiciona
70042	11121	12100	979	No Reposiciona
70043	11047	12100	1053	No Reposiciona
70044	11677	12100	423	No Reposiciona
70045	11810	12100	290	No Reposiciona

Llegamos a la conclusión de que, implementando el sistema propuesto, se llevarían a cabo un reacomodamiento del carro fijo solamente en el 2.9% de los tubos.



Sistema propuesto		
Descripción	Valor	Unidad
Cantidad de tubos	270	un
Reposicionamientos	8	Un
Porcentaje de reposicionamiento	2,96%	%
Produccion diaria	650	Un
Cantidad tubos reubicados	19	Un
Tiempo de reubicacion	1,8	min
Tiempo diario reubicación	35	min

Como podemos ver, se obtiene una mejora del 1.48%, traducido a tiempo, tenemos una reducción de tiempo de 17 minutos diarios. Si bien esto no parece mucho, lo representaremos en cantidad de tubos de la siguiente manera:

Podemos observar en el software IBA Analyzer (un software que nos ayuda a ver las señales de actuación de todos los sensores presentes en la máquina), cuáles sensores se actúan en cada momento del paso lógico que sigue la máquina.



Se observa en la gráfica superior la curva realizada por el secuencer de la cadena indexada que posee la máquina en su interior para ir realizando las distintas etapas de la prueba hidráulica. Gracias a esta señal, nosotros podemos determinar el llamado tiempo de ciclo, el cual nos indica cada cuántos segundos se prueba un tubo. Como podemos observar, este tiempo es de 44.8 segundos. Entonces, ahorrando un tiempo de 17 minutos diarios, podemos probar casi 23 tubos más por día, y llevado a una unidad mensual son alrededor de 526 minutos ahorrados, los cuales, traducidos a cantidad de tubos, son alrededor de 700 tubos más por mes.

Mediante el software IBA mencionado anteriormente podemos ver el momento en que se da la orden de sacar las trabas del carro fijo, para luego desplazarlo y una vez ubicado donde corresponde, colocar las trabas. El gráfico es el siguiente:



Podemos observar el valor de tiempo que demora la máquina en sacar las trabas, reposicionar el cabezal fijo y colocar las trabas nuevamente. Este valor puede ser mayor o menor, dependiendo de las cantidades de posiciones que se tenga que reubicar, las que más se repiten están alrededor de 1:46 min.

Analizándolo respecto de los costos, sabemos que el costo operacional en dólares por toneladas del proceso de ensayo hidrostático es el siguiente:

Costo operacional Prueba hidraulica			USD/Tn
Ítems	ENERGIA ELECTRICA	Estándar	34
		Real	36
		DELTA	-2
	MANO DE OBRA TENARIS	Estándar	60
		Real	67
		DELTA	-7
	ALQUILER DE MAQUINAS Y EQUIPOS	Estándar	42
		Real	70
		DELTA	-28
	MANO DE OBRA TERCEROS	Estándar	5
		Real	5
		DELTA	



El tubo analizado, tiene estas características en promedio:

Tubo analizado		
Descripción	Valor	Unidad
Diámetro	9 5/8	in
Peso métrico	76,96	Kg/m
Long. Media	12,95	m
Peso medio	996,632	kg
Peso medio	0,996632	Tn

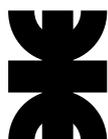
Con el sistema actual de medición tenemos las siguientes características:

Sistema actual		
Descripción	Valor	Unidad
Cantidad tubos testeados	19500	un
Tn producidas	19434,324	Tn
Costo PH por tonelada	103	USD/Tn
Costos totales	2001735,372	USD
Reubicaciones de carro	4,4%	
Cantidad tubos reubicados	858,00	
Tiempo de reubicación	1,46	min
Tiempo total de reub.	1252,68	min/mes
Tiempo total de reub.	41,76	min/día

Con el sistema de medición planteado, tenemos las siguientes características:

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 38 de 82

Sistema nuevo		
Descripción	Valor	Unidad
Cantidad tubos testeados	19790,96	
Tn producidas	19724,31	Tn
Costo PH por tonelada	101,49	USD/Tn
Reubicaciones de carro	2,9%	
Delta reubicaciones	1,5%	
Delta reubicaciones/mes	292,5	
Utilización posible	0,511	
Tiempo de PH/tubo	0,75	min
Tiempo de cada reubicación	1,46	min
Tiempo de reubicación	218,22	min/mes
Tubos que ensayarían	290,96	
Delta tubos ensayados/mes	1670,24	

Donde la utilización posible es el tiempo que realmente podremos tener la prueba hidráulica en funcionamiento, por lo tanto, de todo ese tiempo de reubicación, la PH podrá estar testeando tubos el 51,1% del tiempo. A continuación, tenemos el dato obtenido del mes de Marzo:



Haciendo el cálculo mensual con los valores que observamos en los cuadros anteriores, tendremos las siguientes ganancias:

Delta costo operacional		
Descripción	Valor	Unidad
Delta ganancia/Tn	1,51	USD/Tn
Delta Tn teórico	130,49	Tn
Delta ganancia	29.868,29	USD/mes
Delta ganancia	358.419,53	USD/año

4.2. Cálculo y selección de componentes

4.2.1. Cálculo de potencia a transmitir

Consideramos que la horquilla, caja donde se alojará el motor y el motor pesará alrededor de 120 kg

$$P := 120 \text{ kgf} \quad m := 120 \text{ kg} \quad a := 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad c_{rod} := 0.05$$

Adoptamos un coeficiente de seguridad

$$n := 2$$

Por lo tanto, la fuerza que deberá ejercer el motor para desplazar la horquilla será:

$$P_h := P \cdot c_{rod} = 58.84 \text{ N}$$

La fuerza total para mover el sistema desde el reposo a una velocidad final de 0,88 m/s será:

$$F := (P_h + m \cdot a) \cdot n = 357.68 \text{ N}$$

Si queremos que la horquilla se desplace a 0.88 m/s:

$$v := 0.88 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

La potencia requerida será:

$$N := F \cdot v = 0.315 \text{ kW}$$

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

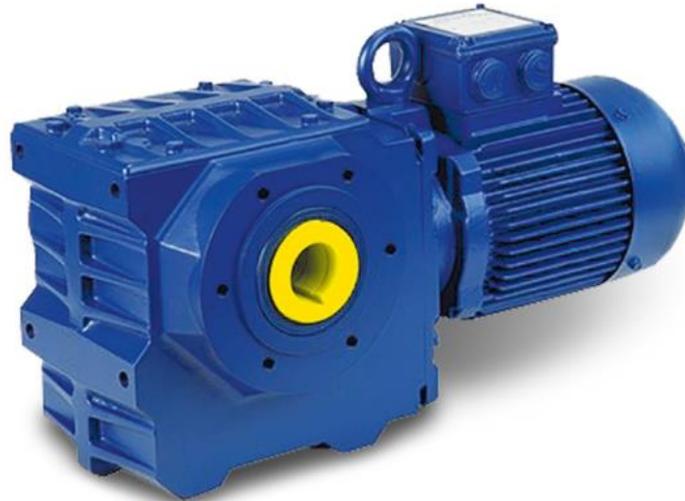
Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 41 de 82

4.2.2. Selección de motor eléctrico

De acuerdo a las prestaciones requeridas seleccionamos el siguiente motor:



Helical Worm BS-Series - Efficiency Class IE1

BS03-61U/DSE07LA4

Manufacturer Bauer Gear Motor

Service fact... 1

Description Helical Worm BS-Series...

Ratio [:1] 62

Part number BS03-61U/DSE07LA4_...

Weight [ca. ... 9,4

Power [kW] 0,37

Radial Forc... 1950

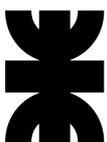
Speed [rpm] 22

Radial Forc... 0

Torque [Nm] 48

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

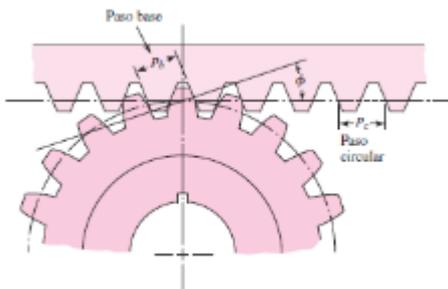
Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 42 de 82

4.2.3. Cálculo piñón y cremallera

Consideramos la cremallera como un engranaje recto con un diámetro de paso infinitamente grande. Por consiguiente, la cremallera tiene un número infinito de dientes y un círculo base que se localiza a una distancia infinita desde el punto de paso. Los lados correspondientes de dientes involuta (curva envolvente) son curvas paralelas; el paso base representa la distancia constante fundamental que hay entre ellos a lo largo de una normal común. $pb = pc \cdot \cos\phi$ donde ϕ es el ángulo de presión.



La potencia transmitida resulta ser la potencia efectiva antes calculada, afectada por el rendimiento de par de engranajes:

$$N_e := 0.37 \text{ kW} \quad \text{potencia a transmitir}$$

$$\eta_e := 0.98 \quad \text{Rendimiento de los engranajes}$$

$$n_e := 22 \text{ rpm}$$

$$N_{tr} := \frac{N_e}{\eta_e} = 0.506 \text{ hp}$$

Datos

$$n_e = 22 \text{ rpm} \quad \text{Velocidad angular de entrada}$$

$$N_{tr} = 0.506 \text{ hp} \quad \text{Potencia a transmitir por los engranajes}$$

Para el cálculo se utilizará como guía los pasos enunciados en el libro "Diseño en ingeniería mecánica" de Shigley, porque recordemos que dicho libro resume las tablas y gráficos a utilizar para el cálculo de engranajes rectos, basándose en la última actualización de la norma ANSI/AGMA 2001-c95.

4.2.3.1. Dimensiones del piñón y la cremallera

Teniendo presente que los engranajes rectos más comunes en el mercado son aquellos que poseen un ángulo de presión $\phi_n = 20^\circ$, y que además el número de dientes mínimo para un piñón con este ángulo es de 18, (Extraído de Norton 4ª edición – Diseño de elementos de máquinas (Pág. 555))

$$Z := 18$$

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 43 de 82

Se adopta un módulo de diseño para los engranajes, que además suministra el paso diametral a utilizar. Comercialmente los módulos disponibles son:

Tabla 13-2

Tamaños de dientes de uso general

Paso diametral	
Basto	2, 2 $\frac{1}{2}$, 2 $\frac{1}{2}$, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 16
Fino	20, 24, 32, 40, 48, 64, 80, 96, 120, 150, 200

Módulos	
Preferidos	1, 1.25, 1.5, 2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50
Siguiente elección	1.125, 1.375, 1.75, 2.25, 2.75, 3.5, 4.5, 5.5, 7, 9, 11, 14, 18, 22, 28, 36, 45

Si seleccionamos

- Un módulo más pequeño por ejemplo $m=2$, tendríamos un diámetro pequeño, pero transmitiría una fuerza tangencial muy grande, esto requeriría un ancho del engranaje más grande y esto no es recomendable.
- Un módulo muy grande tendríamos un diámetro muy grande y esto nos afectaría con respecto al espacio físico disponible y además su costo se elevaría por el exceso de material (más pesado).

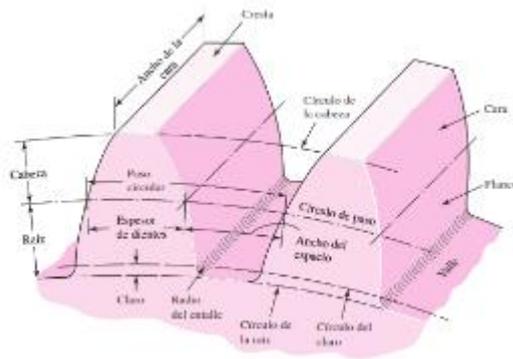
Por esto para determinar las dimensiones del piñón seleccionamos un módulo de 4.

Esto es un parámetro susceptible a cambios, por lo tanto, si las dimensiones del engranaje no concuerdan con nuestro requerimientos, podemos variar el módulo.

$$m := 4 \text{ mm} \quad \text{módulo}$$

Figura 13-5

Nomenclatura de los dientes de engranes rectos.



UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 44 de 82

Determinamos los parámetros geométricos de las ruedas dentadas:

$$\text{modulo} = \frac{Pd}{\pi} = \frac{d}{z}$$

Paso diametral $Pd := m \cdot \pi = 12.566 \text{ mm}$

A partir de aquí, se pueden calcular los diámetros primitivos de los engranajes:

$$dp := \frac{Z \cdot Pd}{\pi} = 72 \text{ mm} \quad \text{Diámetro de paso del piñón.}$$

$$c := m = 4 \text{ mm} \quad \text{Altura de cabeza del diente}$$

$$f := 1.25 \cdot m = 5 \text{ mm} \quad \text{Altura del pie del diente}$$

$$h := f + c = 9 \text{ mm} \quad \text{Altura completa del diente}$$

$$dep := dp + 2 \cdot c = 80 \text{ mm} \quad \text{Diámetro externo del piñón}$$

$$dip := dp - 2 \cdot f = 62 \text{ mm} \quad \text{Diámetro interno del piñón}$$

$$dop := 20 \text{ mm} \quad \text{Diámetro del orificio del eje del piñón (Diámetro del eje de salida del reductor)}$$

4.2.3.2. Verificación de las dimensiones del piñón

Distancia radial entre diámetro del orificio del eje y diámetro interno del piñón

$$drp := \frac{dip - dop}{2} = 21 \text{ mm}$$

Altura de la chaveta del eje de salida del reductor.

$$h_{chaveta} := 7 \text{ mm}$$

Si consideramos que una mitad de la altura de la chaveta queda alojada en el eje y la otra mitad en el piñón, la distancia radial que la misma ocupa es:

$$drc := \frac{h_{chaveta}}{2} = 3.5 \text{ mm}$$

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 45 de 82

Para lograr la verificación geométrica del piñón la distancia radial entre el diámetro del orificio del eje y diámetro interno del piñón debe ser superior a la distancia radial que ocupa la chaveta.

4.2.3.3. Calculo de las velocidades tangencial

$$vt_{\text{piñon}} := \frac{dp}{2} \cdot n_e = 0.083 \frac{m}{s}$$

4.2.3.4. Momentos torsores

(M):

$$M_{\text{piñon}} := \frac{N_{tr}}{n_e} = 163.879 \text{ N} \cdot \text{m}$$

4.2.3.5. Fuerzas tangenciales (Ft):

$$Ft_{\text{piñon}} := \frac{M_{\text{piñon}}}{\frac{dp}{2}} = 464.196 \text{ kgf}$$

4.2.3.6. Cálculo de esfuerzos y dimensiones de acuerdo a norma ANSI/AGMA

$n_e = 22 \text{ rpm}$	Velocidad angular de entrada (piñón)
$Z = 18$	Número de dientes del piñón
$vt_{\text{piñon}} = 0.083 \frac{m}{s}$	Velocidad tangencial
$Ft_{\text{piñon}} = 464.196 \text{ kgf}$	Fuerza tangencial
$N_{tr} = 0.506 \text{ hp}$	Potencia a transmitir por los engranajes
$Pd = 12.566 \text{ mm}$	Paso diametral
$m = 4 \text{ mm}$	Módulo
$dp = 72 \text{ mm}$	Diámetro primitivo del piñón

Para la metodología AGMA se emplean dos ecuaciones fundamentales del esfuerzo, una del esfuerzo de flexión y la otra de resistencia a la picadura (esfuerzo de contacto). Las ecuaciones fundamentales son:

 <p>UTN FACULTAD REGIONAL SAN RAFAEL</p>	<p>PROYECTO FINAL</p>	<p>PTH YAMASUI</p>
<p>Optimización línea de producción de tubos</p>		<p>17/04/2023</p>
		<p>Página 46 de 82</p>

Esfuerzo de flexión en el diente

$$\sigma_f = Ft_{\text{piñon}} \cdot k_o \cdot k_v \cdot k_s \cdot \frac{1}{b \cdot m} \cdot \frac{k_h \cdot k_b}{Y_j}$$

Donde

- Ko: Factor de sobrecarga.
- Kv: Factor dinámico
- Ks: Factor de tamaño.
- Kh: Factor de distribución de cargas.
- Kb: Factor de espesor del aro.
- Yj: Factor geométrico de resistencia a la flexión.
- b: Ancho de la cara del elemento más angosto (diente).
- m: módulo métrico transversal.
- Ft: Fuerza tangencial.

Esfuerzo de flexión permisible

$$\sigma_{f_{perm}} = \frac{St \cdot Y_n}{s_f \cdot Y_\theta \cdot Y_Z}$$

Donde:

- Sf: Factor de seguridad AGMA.
- Yn: Factor de ciclos de esfuerzo de flexión
- Y : Factor de temperatura θ
- YZ: Factor de confiabilidad
- St: Esfuerzo flexionante permisible.

Resistencia de picado (esfuerzo de contacto)

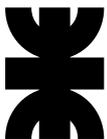
$$\sigma_c = Z_E \cdot \sqrt{(Ft_{\text{piñon}} \cdot k_o \cdot k_v \cdot k_s) \frac{K_H \cdot Z_R}{d_p \cdot b \cdot Y_I}}$$

Donde:

- ZE: Coeficiente elástico.
- dpp: Diámetro primitivo o de paso del piñón.
- ZR: Factor de condición superficial a la picadura.
- ZI: Factor geométrico para la resistencia a la picadura.

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 47 de 82

Esfuerzo permisible al picado:

$$\sigma_{cperm} = \frac{S_c \cdot Z_n \cdot Z_w}{S_H \cdot Y_o \cdot Y_z}$$

Donde:

- S_c : Esfuerzo de contacto permisible
- Z_n : Factor de vida de ciclos de esfuerzos
- Z_w : Factor de relaciones de durezas para la resistencia al picado
- S_H : Factor de seguridad AGMA

Además, deberemos adoptar los siguientes términos;

$conf := 0.99$ confiabilidad del 99%

$Q_v := 7$ Precisión del dentado en el rango comercial. con buena terminación.

Se selecciona $Q_v := 7$ dado que ésta es la máxima calidad de engranaje que encontramos comercialmente.

4.2.3.7. Cálculo de los factores

a) Determinamos el factor de sobrecarga

Factor de sobrecarga, se determina igual a 1 debido a que se está utilizando un motor eléctrico como impulsor del sistema y por lo tanto no tenemos un impacto al desplazar la carga.

Carácter del movimiento principal	Carácter de la carga sobre la máquina impulsada			
	Uniforme	Impacto ligero	Impacto medio	Impacto pesado
Uniforme	1.00	1.25	1.50	1.75 o mayor
Impacto ligero	1.10	1.35	1.60	1.85 o mayor
Impacto medio	1.25	1.50	1.75	2.00 o mayor
Impacto pesado	1.50	1.75	2.00	2.25 o mayor

Nota: Este table es para transmisiones reductoras de velocidad. Para transmisiones aumentadoras de velocidad, agregue 0.01 (N/n)² o 0.01 (z₂/z₁)² a los factores anteriores.

$K_o := 1$

b) Factor de temperatura.

Factor de temperatura, se adopta igual a 1, teniendo en cuenta que la temperatura de funcionamiento será inferior a los 120°C.

$K_t := 1$



c) Factor de forma de Lewis

El empleo del factor de forma de Lewis nos permite considerar los esfuerzos de flexión en el diente e ignorar los esfuerzos de compresión. Este factor se puede determinar de la tabla en función exclusiva del número de dientes, y teniendo presente que el ángulo de presión es de 20°.

Número de dientes	Y	Número de dientes	Y
12	0.245	28	0.353
13	0.261	30	0.359
14	0.277	34	0.371
15	0.290	38	0.384
16	0.296	43	0.397
17	0.303	50	0.409
18	0.309	60	0.422
19	0.314	75	0.435
20	0.322	100	0.447
21	0.328	150	0.460
22	0.331	300	0.472
24	0.337	400	0.480
26	0.346	Cremallera	0.485

Tabla extraída del libro Shigley octava edición Pag 718

Este factor de Lewis corrige la suposición inicial de considerar al diente como una viga en voladizo. Además tiene en consideración la concentración de tensiones

Factor de Lewis para el piñón $Y_{\text{piñón}} := 0.309$

Factor de Lewis para la cremallera $Y_{\text{cremallera}} := 0.485$

d) Factor de tamaño (Ks)

Para poder calcular este coeficiente es necesario determinar el ancho de los engranajes a utilizar. Faires aconseja:

$$2,5 \cdot p < b < 4 \cdot p \quad \text{o bien} \quad 8 \cdot m < b < 12,5 \cdot m$$

p: paso diametral (Pd).
m: módulo.

$$b := 9 \cdot m = 36 \text{ mm}$$

El factor de tamaño refleja la falta de uniformidad de las propiedades del material debido al tamaño del elemento. Utilizamos la siguiente ecuación;

$$K_{sp} = 1.192 \cdot \left(\frac{b \cdot m^2 \cdot \sqrt{Y_{\text{piñon}}}}{Pd \cdot m} \right)^{0.0535}$$

$$K_{sc} = 1.192 \cdot \left(\frac{b \cdot m^2 \cdot \sqrt{Y_{\text{cremallera}}}}{Pd \cdot m} \right)^{0.0535}$$

Donde:

K_s : Factor de tamaño

b : ancho del diente

Y : factor de forma de Lewis

Pd : Paso diametral

m : módulo

Se calcula para el piñón y la corona:

$$K_{s_{\text{piñon}}} := 1.192 \cdot \left(\frac{b \cdot mm^2 \cdot \sqrt{Y_{\text{piñon}}}}{Pd \cdot m} \right)^{0.0535} = 1.054$$

$$K_{s_{\text{cremallera}}} := 1.192 \cdot \left(\frac{b \cdot mm^2 \cdot \sqrt{Y_{\text{cremallera}}}}{Pd \cdot m} \right)^{0.0535} = 1.066$$

Entonces:

$$K_{s_{\text{piñon}}} = 1.054$$

$$K_{s_{\text{cremallera}}} = 1.066$$

e) Factor geométrico "Yi" de resistencia a la flexión

Este factor propuesto por AGMA emplea un valor modificado del factor de forma de Lewis y viene dado por la gráfica 14-6 para engranajes rectos con ángulo de presión de 20° y dientes de tamaño completo. Tabla Extraída de Shigley 8va edición. (Pág. 733).

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 50 de 82

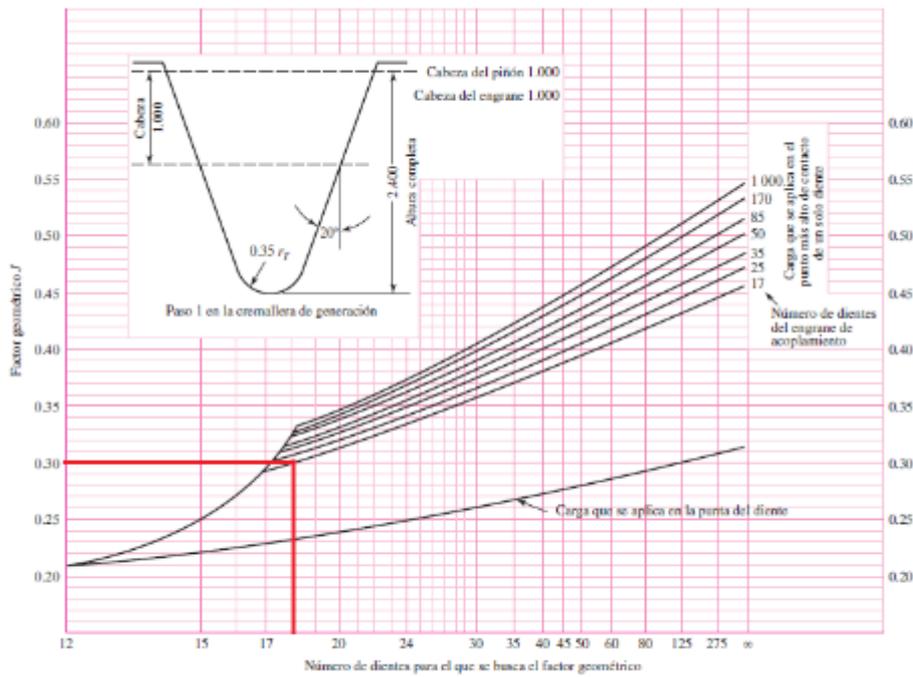


Figura 14-6

Factores geométricos J de engranes rectos. Fuente: La gráfica es de AGMA 218.01, lo que es consistente con los datos tabulares provenientes del actual AGMA 908-B89. La gráfica es adecuada para propósitos de diseño.

Factor geométrico para el piñón $J_{\text{piñon}} := 0.3$

Factor geométrico para la cremallera $J_{\text{cremallera}} := 0.3$

f) Factor dinámico Kv

Mediante este factor se tienen en cuenta las precisiones de fabricación y acoplamientos de dientes de engranajes en movimiento, depende de la calidad deseada y precisión seleccionada. Mediante el coeficiente Q_v se valora la precisión del dentado, el cual toma valores de 3 a 7 para engranajes comerciales, y de 8 a 12 para engranajes de precisión. Adoptamos:

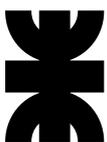
$$K_v = \left(\frac{A + \sqrt{200 \cdot v t_{\text{piñon}}}}{A} \right)^B$$

$$A = 50 + 56 \cdot (1 - B)$$

$$Q_v = 7$$

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 51 de 82

$$B := 0.25 \cdot (12 - Qv)^{\frac{2}{3}} = 0.731$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones.

$$A := 50 + 56 \cdot (1 - B) = 65.064 \quad v_{t_{\text{piñon}}} = 0.083 \frac{m}{s}$$

$$Kv := \left(\frac{A + \sqrt{200 \cdot 0.083}}{A} \right)^B = 1.045$$

g) Factor de confiabilidad (Yz)

Se adoptó anteriormente una confiabilidad del 99%, el coeficiente se selecciona de la tabla 14-10.

Confiabilidad	$K_R (Y_z)$
0.9999	1.50
0.999	1.25
0.99	1.00
0.90	0.85
0.50	0.70

$$K_R := 1$$

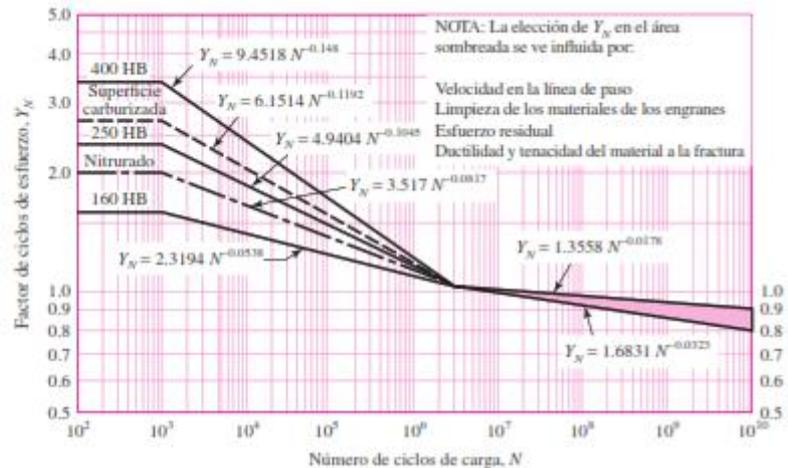
El valor de $K_R=1$ corresponde a que en el planteo de los valores de resistencia de los materiales a la flexión y al picado, la AGMA tabuló los mismos pensando en una confiabilidad del 99%.

h) Factor de los ciclos de esfuerzos Y_n, Z_n

Este coeficiente tiene en consideración los esfuerzos de fatiga por flexión (\$) y por contacto o picado (-n). Las ecuaciones de resistencia por el método AGMA trabajan con una vida para los engranajes de 10^7 ciclos. Estos coeficientes tienen como propósito modificar la resistencia AGMA en base a que tengan una vida distinta a la mencionada. Para nuestro caso adoptaremos una vida infinita (vida $> 10^{10}$ ciclos)

Figura 14-14

Factor de ciclos de esfuerzo repetidamente aplicados de resistencia a la flexión Y_N .
(Fuente: ANSI/AGMA 2001-D04.)



Shigley o Mecánica - Cap.14 pag 173

Se selecciona la recta más desfavorable por las condiciones de trabajo que tendrán los engranajes (tierra, humedad, polvo)

$$N_{ciclos} := 10^{10} \quad \text{"Ciclos de vida propuestos"}$$

$$Y_{n_{piñon}} := 1.3558 \cdot (N_{ciclos})^{-0.0178} = 0.9 \quad \text{"Factor de ciclos por flexión del piñón"}$$

Para calcular, nosotros buscamos que teóricamente tengan la misma vida o se rompan para una misma cantidad de ciclos. Para nuestro caso, los ciclos de vida de la corona serán una parte de los del piñón debido a la relación de transmisión, por ello:

$$i_{real} := 1 \quad \frac{1}{i_{real}} = 1 \quad N_{cremallera} := \frac{N_{ciclos}}{5.278}$$

$$Y_{n_{cremallera}} := 1.3558 \cdot \left(\frac{N_{ciclos}}{5.278} \right)^{-0.0178} = 0.927 \quad \text{"Factor de ciclos por flexión de la corona"}$$

Zn --> Este coeficiente tiene en consideración los esfuerzos de contacto o picado (Z_n). Para nuestro caso adoptaremos una vida infinita (10^7 ciclos).

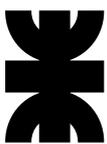
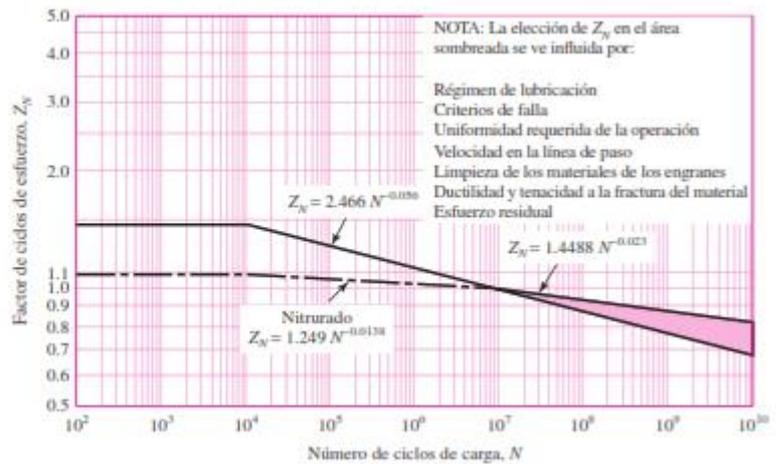
<p>UTN FACULTAD REGIONAL SAN RAFAEL</p> 	<p>PROYECTO FINAL</p>	<p>PTH YAMASUI</p>
<p>Optimización línea de producción de tubos</p>		<p>17/04/2023 Página 53 de 82</p>

Figura 14-15

Factor de ciclos de esfuerzos de resistencia a la picadura Z_N . (Fuente: ANSI/AGMA 2001-D04.)



Shigley 8ª Edición - Cap.14 pág 743

Se selecciona la recta más desfavorable por las condiciones de trabajo que tendrán los engranajes

$$N_{\text{ciclos}} := 10^5 \quad \text{"Ciclos de vida propuestos"}$$

$$Z_{n_{\text{piñon}}} := 1.4488 \cdot (N_{\text{ciclos}})^{-0.023} = 1.112 \quad \text{"Factor de ciclos por contacto del piñón"}$$

Para el caso de la corona, los ciclos de vida están relacionados con los del piñón debido a la relación de transmisión, por ello:

$$Z_{n_{\text{cremallera}}} := 1.4488 \cdot \left(\frac{N_{\text{ciclos}}}{5.278} \right)^{-0.023} = 1.155 \quad \text{"Factor de ciclos por contacto de la corona"}$$

i) Factor de distribución de cargas ($K_H = C_{mf}$)

Debido a la distribución de cargas no es uniforme a lo ancho de un diente, se debe aplicar este coeficiente para reflejar dicho fenómeno:

$$K_H = 1 + C_{mc} \cdot (C_{pf} \cdot C_{pm} + C_{ma} \cdot C_e)$$

Cálculo de C_{mc} (Factor de corrección de carga).

$$C_{mc} = \begin{cases} 1 & \text{para dientes sin coronar} \\ 0.8 & \text{para dientes coronados} \end{cases}$$

$$C_{mc} := 0.8$$

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 54 de 82

Cálculo de C_{pf} (Factor de proporción del piñón y la cremallera).

$$C_{pf} = \begin{cases} \frac{F}{10d} - 0.025 & F \leq 1 \text{ pulg} \\ \frac{F}{10d} - 0.0375 + 0.0125F & 1 < F \leq 17 \text{ pulg} \\ \frac{F}{10d} - 0.1109 + 0.0207F - 0.000228F^2 & 17 < F \leq 40 \text{ pulg} \end{cases}$$

Para anchos mayores a 1 pulgada: $b = 1.417 \text{ in}$ $dp = 2.835 \text{ in}$

$$C_{pf\text{piñon}} := \frac{b}{10 \cdot dp} - 0.0375 + \frac{0.0125 \cdot b}{\text{in}} = 0.03$$

$$C_{pf\text{cremallera}} := C_{pf\text{piñon}}$$

Como la relación $b/10d$ es menor a 0,05, se toma dicha relación como 0,05

$$\frac{b}{10 \cdot dp} = 0.05$$

$$C_{pf\text{piñon}} := 0.05 - 0.0375 + \frac{(0.0125 \cdot b)}{\text{in}} = 0.031$$

$$C_{pf\text{cremallera}} := C_{pf\text{piñon}} = 0.031$$

Cálculo de C_{pm} (Modificador de proporción del piñón)

En función de la ubicación del engranaje en el eje con respecto a la distancia entre cojinetes, se obtiene C_{pm} con la siguiente figura:

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

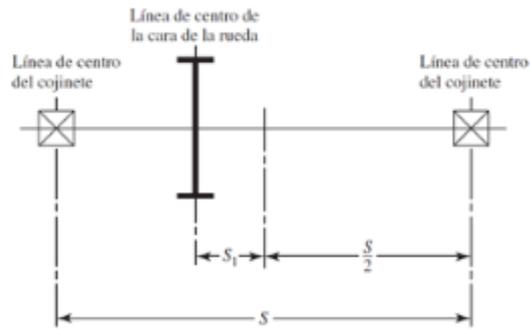
Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 55 de 82

Figura 14-10

Definiciones de las distancias S y S_1 que se utilizan para evaluar C_{pm} ecuación (14-33). (ANSI/AGMA 2001-D04.)



$$\frac{S_1}{S} < 0.175$$

$$C_{pm} := 1$$

$$\frac{S_1}{S} \geq 0.175$$

$$C_{pm} := 1.1$$

Se establece para ambos casos que el engranaje se colocará hacia uno de los cojinetes, no estando centrado, por lo tanto S_1/S será superior a 0,175.

$$C_{pm\piñon} := 1.1$$

$$C_{pmcremallera} := 1.1$$

Para el caso del piñón, el mismo estará colocado en el extremo del eje de salida del reductor. Teniendo en cuenta que el eje de salida del reductor posee apoyos que están dentro de la carcasa del mismo y que el piñón no está entre ambos apoyos, el cociente entre S_1 y S será mayor a 0.175 por lo tanto

Condición	A	B	C
Engranajes abiertos	0.247	0.0167	$-0.765(10^{-4})$
Unidades comerciales, cerradas	0.127	0.0158	$-0.930(10^{-4})$
Unidades de precisión, cerradas	0.0675	0.0128	$-0.926(10^{-4})$
Unidades de precisión extrema, cerradas	0.00360	0.0102	$-0.822(10^{-4})$

$$A := 0.247$$

$$B := 0.0167$$

$$C := -0.765 \cdot 10^{-4}$$

Factor para el piñón y para la cremallera el valor de b debe estar en pulgadas:

$$b = 1.417 \text{ in}$$

$$C_{ma} := A + \frac{B \cdot b}{\text{in}} + \frac{C \cdot b^2}{\text{in}^2} = 0.271$$

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 56 de 82

Para el coeficiente C_e se define:

$$C_e = \begin{cases} 0.8 & \text{para engranajes ajustados durante el ensamble o si la} \\ & \text{compatibilidad se mejora mediante lapeado, o ambos} \\ 1 & \text{para todas las otras condiciones} \end{cases} \quad C_e := 1$$

Calculo de C_{mf} ó K_f (Factor de distribución de carga en la cara).

$$K_{H\text{piñon}} := 1 + C_{mc} \cdot (C_{pfp\text{piñon}} \cdot C_{pmp\text{piñon}} + C_{ma} \cdot C_e) = 1.243$$

$$K_{H\text{cremallera}} := 1 + C_{mc} \cdot (C_{pfc\text{remallera}} \cdot C_{pmp\text{cremallera}} + C_{ma} \cdot C_e) = 1.243$$

j) Coeficiente de condición superficial (Z_r)

Este coeficiente se emplea para determinar las condiciones superficiales del diente. AGMA aún no define valores para este coeficiente, por ello solo considera que sea mayor a la unidad.

$$Z_R := 1.1 \quad \text{Para piñón y corona.}$$

k) Coeficiente elástico (Z)

Este coeficiente se considera por que se supuso que los dientes no deformaban, lo cual en la realidad no se cumple.

Se obtiene de la siguiente tabla 14-8, teniendo en cuenta el material del piñón y de la corona, en el problema planteado, se adopta que ambos son de Acero.

Tabla 14-8

Coeficiente elástico C_p [Z], $\sqrt{\text{psi}}$ [$\sqrt{\text{MPa}}$] Fuente: AGMA 218.01.

Material del piñón	Módulo de elasticidad del piñón E_p , psi (MPa) ^a	Material y módulo de elasticidad de la corona E_w , lbf/pulg ² (MPa) ^a					
		Acero 30×10^6 (2×10^5)	Hierro maleable 25×10^6 (1.7×10^5)	Hierro nodular 24×10^6 (1.7×10^5)	Hierro fundido 22×10^6 (1.5×10^5)	Bronce al aluminio 17.5×10^6 (1.2×10^5)	Bronce al estaño 16×10^6 (1.1×10^5)
Acero	30×10^6 (2×10^5)	2.300 [191]	2.180 [181]	2.160 [179]	2.100 [174]	1.950 [162]	1.900 [158]
Hierro maleable	25×10^6 (1.7×10^5)	2.180 [181]	2.050 [174]	2.070 [172]	2.020 [168]	1.900 [158]	1.850 [154]
Hierro nodular	24×10^6 (1.7×10^5)	2.160 [179]	2.070 [172]	2.050 [170]	2.000 [166]	1.880 [156]	1.830 [152]
Hierro fundido	22×10^6 (1.5×10^5)	2.100 [174]	2.020 [168]	2.000 [166]	1.960 [163]	1.850 [154]	1.800 [149]
Bronce al aluminio	17.5×10^6 (1.2×10^5)	1.950 [162]	1.900 [158]	1.880 [156]	1.850 [154]	1.750 [145]	1.700 [141]
Bronce al estaño	16×10^6 (1.1×10^5)	1.900 [158]	1.850 [154]	1.830 [152]	1.800 [149]	1.700 [141]	1.650 [137]

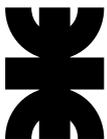
Edición de Polson - 030

^a Cuando se obtienen valores del módulo de elasticidad en sus unidades nacionales, pulg² de contacto con milí, se podría utilizar.

$$Z_e := 191 \sqrt{\text{MPa}}$$

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 57 de 82

l) Factor geométrico (I), (Z_I)

A dicho factor se lo conoce como factor geométrico de resistencia a la picadura según AGMA y se define:

Para engranajes rectos $mn := 1$ Repartición de cargas

Relación de velocidades: $mg := 1$

Factor geométrico superficial para engranajes externos; $\theta := 20^\circ$

$$Z_I := \frac{\cos(\theta) \cdot \sin(\theta)}{2 \cdot mn} \cdot \frac{mg}{mg + 1} = 0.08$$

Al ser menor a la unidad se lo considera $Z_I = 1$

$$Z_I := 1$$

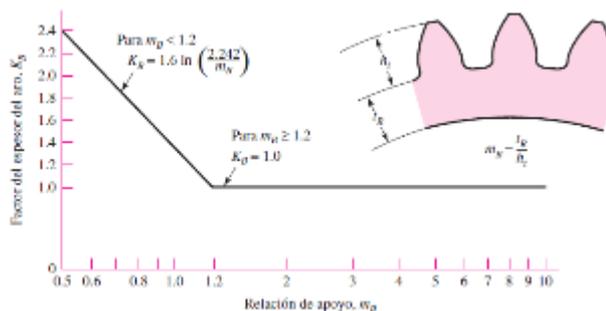
m) Factor del espesor de aro (K_b)

Cuando el espesor del aro no es suficiente para proporcionar soporte completo a la raíz del diente, la ubicación de la falla por fatiga por flexión puede ser a través del aro del engrane en lugar del entalle de la raíz

Mediante el siguiente gráfico ("Shigley 8va Edición". Figura 14-16 Pág 744) se obtiene el valor de K_b .

Figura 14-16

Factor del espesor del aro K_b
(ANSI/AGMA 2001-D04)



En este caso se definirá que $K_b = 1$ de manera que en el proceso de fabricación el aro deberá poseer una altura mayor o igual a 1,2 veces la altura del diente, dado que si realizamos el aro más de un 20% con respecto al diente, tendremos más material y por consiguiente más peso. Pero si hacemos el aro menor a un 20% del tamaño del diente, esto puede ocasionar la rotura entre dientes por ejemplo:

Altura del diente $ht := 2.5 \cdot m = 10 \text{ mm}$

Altura del aro $drp := 1.2 \cdot ht = 12 \text{ mm}$

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 58 de 82

Relación entre altura del diente y altura del aro

$$m_B := \frac{dr_p}{h} = 1.333$$

Entonces se tiene que al ser $m_B=1.333$ se considera que: $K_b := 1$

4.2.3.8. Flexión en los dientes de los engranajes

Se calcula a partir de la ecuación fundamental AGMA para esfuerzos (o números de esfuerzos) a la flexión, para el SI:

Recordamos los coeficientes y datos obtenidos:

$F_{t_{\text{piñon}}} = 464.196 \text{ kgf}$	Fuerza tangencial
$K_o = 1$	Factor de sobrecarga
$K_v = 1.045$	Factor dinámico
$K_{s_{\text{piñon}}} = 1.054$	Factor de tamaño del piñón
$K_{s_{\text{cremallera}}} = 1.066$	Factor de tamaño de la corona
$m = 4 \text{ mm}$	Módulo
$K_{H_{\text{piñon}}} = 1.243$	Factor de distribución del piñón
$K_{H_{\text{cremallera}}} = 1.243$	Factor de distribución de carga de la corona
$J_{\text{piñon}} = 0.3$	Factor geométrico de resistencia a la flexión del piñón
$J_{\text{cremallera}} = 0.3$	Factor geométrico de resistencia a la flexión de la corona
$K_b = 1$	Factor de espesor de aro del piñón
$K_b = 1$	Factor de espesor de aro de la corona

$$\sigma_{f_{\text{piñon}}} := F_{t_{\text{piñon}}} \cdot K_o \cdot K_v \cdot K_{s_{\text{piñon}}} \cdot \frac{1}{b \cdot m} \cdot \frac{K_{H_{\text{piñon}}} \cdot K_b}{J_{\text{piñon}}} = (1.472 \cdot 10^3) \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{f_{\text{cremallera}}} := F_{t_{\text{piñon}}} \cdot K_o \cdot K_v \cdot K_{s_{\text{cremallera}}} \cdot \frac{1}{b \cdot m} \cdot \frac{K_{H_{\text{cremallera}}} \cdot K_b}{J_{\text{cremallera}}} = (1.489 \cdot 10^3) \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 59 de 82

4.2.3.9. Tensión permisible a flexión

La tensión corregida que el material del engranaje puede soportar sin fallar se calcula de la siguiente manera según AGMA:

$$\sigma_{fperm} = 0.7 \cdot \frac{St \cdot Y_n}{S_f \cdot Y_\theta \cdot Y_Z}$$

Adoptamos un valor de seguridad AGMA de:

$$S_f = 1.2$$

El factor 0,7 se ha agregado debido a que los valores de St están tabulados mediante ensayos realizados en un solo sentido de giro. Como en el caso de un puente grúa se requiere hacer girar los engranajes en ambos sentidos, la norma aconseja colocar dicho coeficiente.

Para construir tanto al piñón como a la corona utilizaremos acero niturado endurecido completamente, cuyos datos son:

Material	Designación del material ¹	Tratamiento térmico	Dureza superficial típica mínima ²	Número de esfuerzo de flexión permisible, S_n ³ psi
Hierro fundido gris ASTM A48	Clase 20	Como sale de la fundición	—	5 000
	Clase 30	Como sale de la fundición	174 HB	8 500
	Clase 40	Como sale de la fundición	201 HB	13 000
Hierro dúctil (nodular) ASTM A536	Grado 60-40-18	Recocido	140 HB	22 000-33 000
	Grado 80-55-06	Templado y revenido	179 HB	22 000-33 000
	Grado 100-70-03	Templado y revenido	229 HB	27 000-40 000
	Grado 120-90-02	Templado y revenido	269 HB	31 000-44 000
Bronce	Aleación 954 ASTM B-148	Fundición en arena Tratada térmicamente	Resistencia mínima a la tensión 40 000 psi Resistencia mínima a la tensión 90 000 psi	5 700 23 600

La siguiente figura nos permite obtener mediante gráfica o utilizando la fórmula propuesta, el valor del esfuerzo de flexión permisible S_t :

UTN FACULTAD REGIONAL SAN RAFAEL 	PROYECTO FINAL	PTH YAMASUI
Optimización línea de producción de tubos		17/04/2023
		Página 60 de 82

$HB := 369$ Acero AISI 4140 Templado y revenido

$St := 0.749 \text{ MPa} \cdot HB + 110 \text{ MPa} = 56039.826 \text{ psi}$ Para grado 2

Entonces, para el piñón:

$$\sigma_{fperm_{piñon}} := \frac{0.7 \cdot St \cdot Y_{n_{piñon}}}{S_f \cdot K_t \cdot K_r} = (2.068 \cdot 10^3) \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Para la corona:

$$\sigma_{fperm_{cremallera}} := \frac{0.7 \cdot St \cdot Y_{n_{cremallera}}}{S_f \cdot K_t \cdot K_r} = (2.13 \cdot 10^3) \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Comparación entre tensiones de trabajo y tensiones permisibles.

$$\sigma_{f_{cremallera}} < \sigma_{fperm_{piñon}} = 1$$

$$\sigma_{f_{piñon}} < \sigma_{fperm_{cremallera}} = 1$$

Debido a que los valores de los esfuerzos de flexión permisibles son mayores que los de trabajo, estos verificarán.

4.2.3.10. Picado en los dientes de los engranajes

Se calcula a partir de la ecuación fundamental AGMA para esfuerzos (o números de esfuerzos) al picado, para el SI.

$$\sigma_c = Z_E \cdot \sqrt{F_t \cdot K_o \cdot K_v \cdot K_s \cdot \frac{K_H \cdot Z_R}{d_{pp} \cdot b \cdot Z_I}}$$

$$Z_E := 191 \cdot \sqrt{\text{MPa}}$$

Coefficiente elástico

$$F_{t_{piñon}} = 464.196 \text{ kgf}$$

Fuerza tangencial del piñón

$$F_{t_{cremallera}} := F_{t_{piñon}} = 464.196 \text{ kgf}$$

Fuerza tangencial de la corona

$$K_o = 1$$

Factor de sobrecarga

$$K_v = 1.045$$

Factor dinámico

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 61 de 82

$K_{s_{\text{piñon}}} = 1.054$	Factor de tamaño del piñón
$K_{s_{\text{cremallera}}} = 1.066$	Factor de tamaño de la corona
$K_{H_{\text{piñon}}} = 1.243$	Factor de distribución de carga del piñón
$K_{H_{\text{cremallera}}} = 1.243$	Factor de distribución de carga de la corona
$Z_R = 1.1$	Factor de condición superficial
$dp = 72 \text{ mm}$	Diámetro del paso del del piñón
$b = 36 \text{ mm}$	Ancho de cara del diente
$Z_I = 1$	Factor geométrico de resistencia a la picadura

Para el piñón:

$$\sigma_{c_{\text{piñon}}} := Ze \cdot \sqrt{Ft_{\text{piñon}} \cdot Ko \cdot Kv \cdot Ks_{\text{piñon}} \cdot \frac{K_{H_{\text{piñon}}} \cdot Z_R}{dp \cdot b \cdot Z_I}} = (3.168 \cdot 10^3) \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Para la corona:

$$\sigma_{c_{\text{cremallera}}} := Ze \cdot \sqrt{Ft_{\text{cremallera}} \cdot Ko \cdot Kv \cdot Ks_{\text{cremallera}} \cdot \frac{K_{H_{\text{cremallera}}} \cdot Z_R}{dp \cdot b \cdot Z_I}} = (3.187 \cdot 10^3) \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

4.2.3.11. Tensión permisible al picado

La tensión corregida que el material del engranaje puede soportar sin fallar se calcula de la siguiente manera según AGMA:

Se calculan los factores de vida de ciclos de esfuerzos con las siguientes ecuaciones.

$$\sigma_{cperm} = \frac{Sc \cdot Zn \cdot ZW}{Ch \cdot Y_{\theta} \cdot Y_Z}$$

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 62 de 82

Por medio de AGMA, adoptamos un valor de seguridad de:

$$S_H := 1.2$$

$$S_c := 0.2$$

Determinación de Ch factor de relaciones de durezas para la resistencia al picado:

Como el piñón tiene un número de dientes menor que la corona, este se vé sometido a más ciclos de esfuerzo, en consecuencia, el objetivo de este factor consiste en ajustar las resistencias superficiales para este efecto. Este factor se usa solo para la corona, siendo igual a 1 para el cálculo del piñón.

$$Ch = 1 + A' \cdot (mg - 1)$$

En este caso la dureza del material empleado para piñón y corona es la misma por lo tanto A' es igual a cero

$$\frac{H_{b\text{piñon}}}{H_{b\text{corono}}} < 1.2 \quad A' := 0$$

$$Ch := 1 + A' \cdot (mg - 1) = 1$$

La dureza Brinell para nuestro acero es:

$$HB := 400$$

$$Y_Z := 1$$

$$S_c := 2.41 \text{ MPa} \cdot HB + 237 \text{ MPa} = 174.19 \text{ ksi}$$

Calculamos entonces para el piñón:

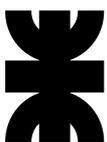
$$\sigma_{cperm\text{piñon}} := \frac{S_c \cdot Z_n\text{piñon} \cdot Ch}{Ch \cdot K_t \cdot Y_Z} = (1.362 \cdot 10^4) \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

En el caso de la corona:

$$\sigma_{cperm\text{corona}} := \frac{S_c \cdot Z_n\text{corona} \cdot Ch}{Ch \cdot K_t \cdot Y_Z} = (1.415 \cdot 10^4) \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 63 de 82

Comparación entre tensiones de trabajo y tensiones permisibles de piñón y corona:

$$\sigma_{c_{cremallera}} < \sigma_{cperm_{piñon}} = 1$$

$$\sigma_{piñon} < \sigma_{cperm_{cremallera}} = 1$$

Aquí podemos ver que verifican los valores, siendo los esfuerzos de trabajo menores a las tensiones permisibles.

UTN FACULTAD REGIONAL SAN RAFAEL 	PROYECTO FINAL	PTH YAMASUI
Optimización línea de producción de tubos	17/04/2023	
	Página 64 de 82	

4.2.4. Cálculo de verificación del eje

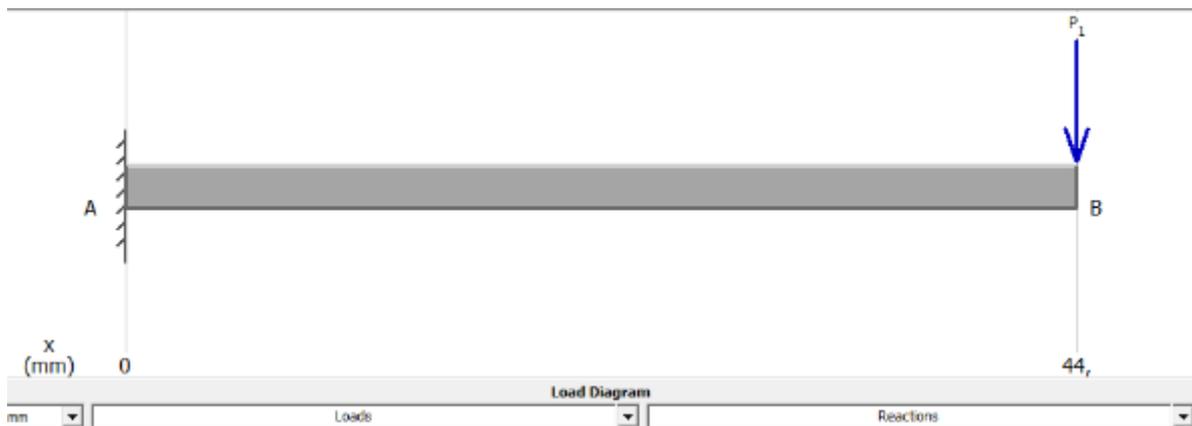
La carga que deberán soportar los ejes es de 120 Kg, distribuida en partes iguales en los 4 ejes:

$$P_{total} := 120 \text{ kgf} \quad P := \frac{P_{total}}{4} = 294.2 \text{ N}$$

Por condiciones de diseño el eje tendrá las siguientes dimensiones:

$$l := 44 \text{ mm} \quad d := 30 \text{ mm} \quad \sigma_{adm} := 1200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Los 4 ejes estarán solamente sometidos a flexión, por lo tanto calculamos los esfuerzos a los que estará sometidos utilizando el software "MDSolids". Nuestro eje se encontrará soldado en un extremo y se le aplicará la fuerza en el otro.



UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

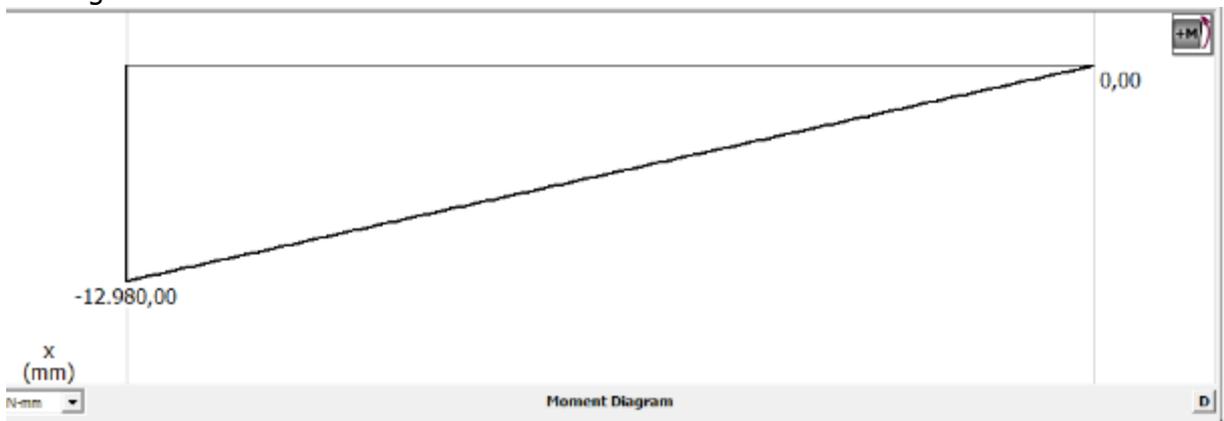
17/04/2023

Página 65 de 82

El esfuerzo cortante será:



El diagrama de momento flector:



Calculamos el momento flector máximo:

$$Mf_{max} := P \cdot l = 12.945 \text{ m} \cdot N$$

Con el módulo resistente calculamos la tensión a la que estará sometido el eje:

$$W := \frac{\pi}{32} \cdot d^3 \quad \text{Módulo resistente de una sección circular}$$

$$\sigma_{flexión} := \frac{Mf_{max}}{W} = 49.798 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{flexión} < \sigma_{adm} = 1 \quad \text{Verifica}$$



4.2.5. Selección de rodamientos

Desde la herramienta de selección que nos brinda SKF adoptamos el siguiente rodamiento:

New mode
Try our guided selection for electric motors, automatically proposing bearings based on your performance requirements.

Try out (English only)

Login for full experience

- ✓ Save work
- ✓ Generate report
- ✓ Import project

Login to open saved projects

Create account

Bearing type & arrangement

Rolling or plain bearing

Single or 2 bearings on a shaft

Next

Filters

Dimensional constraints
Enter exact dimensions or ranges in mm to filter (e.g. 23-27, -40)

Bearing types
Deep groove ball bearing

SKF Explorer bearings
Filter on SKF Explorer items only

Capping
Filter on open/capped bearings



Q Search designation

Principal dimensions			Basic load ratings		Designation
d (mm)	D (mm)	B (mm)	C (kN)	C ₀ (kN)	
30	62	16	20.3	11.2	■ 6206
30	62	16	23.4	12.9	6206 ETN9
30	62	16	20.3	11.2	■ 6206 N
30	62	16	20.3	11.2	■ 6206 NR
30	62	16	20.3	11.2	■ 6206-2RS1
30	62	16	20.3	11.2	■ 6206-2RSH/VA947
30	62	16	20.3	11.2	■ 6206-2RZ



La imagen puede diferir del producto. Consulte las especificaciones técnicas para obtener más información.

6206 NR

Rodamiento rígido de bolas con anillo elástico

Los rodamientos de bolas de ranura profunda de una hilera con ranura para anillo elástico son particularmente versátiles, tienen baja fricción y están optimizados para un bajo nivel de ruido y vibración, lo que permite altas velocidades de rotación. Admiten cargas radiales y axiales en ambas direcciones, son fáciles de montar y requieren menos mantenimiento que muchos otros tipos de rodamientos. El anillo elástico, montado en una ranura anular en el anillo exterior, facilita la ubicación axial de los rodamientos dentro de sus alojamientos.

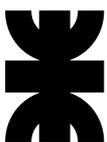
- El anillo elástico facilita la ubicación axial dentro de la carcasa
- Diseño simple, versátil y robusto.
- Capacidad de baja fricción y alta velocidad
- Acomodar cargas radiales y axiales en ambas direcciones
- Requiere poco mantenimiento

Dimensiones

Diámetro del agujero	30mm
Diámetro exterior	62mm
Ancho	16mm

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 68 de 82

Actuación

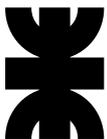
Capacidad de carga dinámica básica	20,3 kN
Capacidad de carga estática básica	11,2 kN
Limitación de velocidad	15 000 rpm
Velocidad de referencia	24 000 rpm
Clase de rendimiento SKF	Explorador de SKF

Propiedades

Tipo de orificio	Cilíndrico
Jaula	Hoja de metal
Revestimiento	Sin
ranuras de llenado	Sin
Característica de localización, anillo exterior del rodamiento	Anillo elástico (montado)
Lubricante	Ninguno
Arreglo emparejado	No
Material, cojinete	Acero para rodamientos
Número de filas	1
Juego interno radial	CN
Función de relubricación	Sin
Sellando	Sin

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 69 de 82

4.3. Materiales

LISTADO DE MATERIALES				
CANTIDAD	Unidad	ITEM	UNITARIO	SUBTOTAL
18,127	m	Perfil IPN 100	\$ 13.000,00	\$ 235.651,00
16,4	m	Perfil UPC 100	\$ 16.500,00	\$ 270.600,00
8,2	m	Cremallera: modulo =4, ancho=36mm, alto=25mm	\$ 22.000,00	\$ 180.400,00
1	u	Engranaje 4140: modulo=4, dp=80mm, dientes=18	\$ 87.600,00	\$ 87.600,00
1	u	Motor 0,12hp y Reductor 1/60	\$ 43.000,00	\$ 43.000,00
MATERIALES HORQUILLA				
3	u	Planchuela: 150mm x 50mm x 5mm	\$ 3.000,00	\$ 9.000,00
2	u	Planchuela: 125mm x 50mm x 5mm	\$ 2.800,00	\$ 5.600,00
2,5	m	Caño 1" x 4mm espesor	\$ 6.000,00	\$ 15.000,00
MATERIALES CAJA				
4	u	Planchuela: 100mm x 50mm x 10mm (1x1/2)	\$ 7.500,00	\$ 30.000,00
4	u	Eje: 30mm x 45mm	\$ 13.000,00	\$ 52.000,00
4	u	Rodamiento SKF - 6206 NR	\$ 2.500,00	\$ 10.000,00
MATERIALES ELECTRICOS				
1	Unidad	Rueda fonica (ENCODER) y sensor de rpm	\$ 30.000,00	\$ 30.000,00
1	Unidad	Sensor inductivo p/ encoder	\$ 12.000,00	\$ 12.000,00
20	m	Cable Mallado 3 vias (para sensores)	\$ 1.500,00	\$ 30.000,00
40	m	Cable TPR 3x2,5mm	\$ 350,00	\$ 14.000,00
8	m	Cadena pasacable	\$ 23.500,00	\$ 188.000,00
2	Unidad	Fin de carrera uso pesado	\$ 7.000,00	\$ 14.000,00
1	Unidad	Termomagnetica Tripolar 20A	\$ 4.500,00	\$ 4.500,00
1	Unidad	Interruptor diferencial Tetrapolar 25A	\$ 20.000,00	\$ 20.000,00
3	Unidad	Contacto tripolar 20A	\$ 14.000,00	\$ 42.000,00
1	Unidad	Gabinete metalico 400x300x160	\$ 15.000,00	\$ 15.000,00
1	Unidad	relé térmico tripolar 20A	\$ 22.000,00	\$ 22.000,00
MANO DE OBRA				
80	Horas	Diseño de ingeniería	\$ 3.100,00	\$ 248.000,00
336	Horas	Mano de obra	\$ 1.500,00	\$ 504.000,00
TOTAL				
Pesos				\$ 2.082.351,00
Dolar oficial				213,5
USD				\$ 9.753,40

4.4. Mantenimiento del sistema a implementar

Con el fin de favorecer la durabilidad y el correcto funcionamiento del equipo, se programan actividades de revisión parcial de forma planificada, en las cuales se ejecutan cambios, sustituciones, lubricaciones y mediciones; antes de que se materialicen las fallas, aplicando las técnicas de mantenimiento productivo total (TPM). Este tipo de mantenimiento implica lógicamente un costo extra en el proyecto ya que considera sustitución de piezas y



la compra de repuestos, para ello hemos considerado una frecuencia de cambio calculada para cada elemento que sufre desgaste, un stock mínimo de seguridad y un punto de reorden que considera las demoras en el tiempo de entrega de repuestos, ya que éste representa la demanda durante un plazo de entrega determinado. Cuando el inventario se proyecta por debajo del nivel de inventario definido por el punto de reorden, ha llegado el momento de pedir más cantidad. El inventario disminuirá gradualmente hasta que llegue la reposición.

El recambio de repuestos y compra de los mismos se hará de la siguiente manera:

LISTADO DE MATERIALES			Mantenimiento							
CANTIDAD	Unidad	ITEM	Necesita Cambio	Frecuencia [días]	Rep. De seguridad	Tiempo de	Punto de reorden	Pesos	USD	
18,127	m	Perfil IPN 100	NO		0			\$ -	\$ 0,00	
16,4	m	Perfil UPC 100	NO		0			\$ -	\$ 0,00	
8,2	m	Cremallera: modulo =4, ancho=36mm, alto=25mm	SI	2190	0	180	0,1	\$ -	\$ 0,00	
1	u	Engranaje 4140: modulo=4, dp=80mm, dientes=18	SI	2190	0	180	0,1	\$ -	\$ 0,00	
1	u	Motor 0,12hp y Reductor 1/60	NO		1	30		\$ 43.000,00	\$ 201,41	
								\$ -	\$ 0,00	
MATERIALES HORQUILLA										
3	u	Planchuela: 150mm x 50mm x 5mm	NO		0			\$ -	\$ 0,00	
2	u	Planchuela: 125mm x 50mm x 5mm	NO		0			\$ -	\$ 0,00	
2,5	m	Caño 1" x 4mm espesor	NO		0			\$ -	\$ 0,00	
								\$ -	\$ 0,00	
MATERIALES CAJA										
4	u	Planchuela: 100mm x 50mm x 10mm (1x1/2)	NO					\$ -	\$ 0,00	
4	u	Eje: 30mm x 45mm	NO					\$ -	\$ 0,00	
4	u	Rodamiento SKF - 6206 NR	SI	730	2	90	2,5	\$ 5.000,00	\$ 23,42	
								\$ -	\$ 0,00	
MATERIALES ELECTRICOS										
1	Unidad	Rueda fonica (ENCODER) y sensor de rpm	NO		1	180		\$ 30.000,00	\$ 140,52	
1	Unidad	Sensor inductivo p/ encoder	NO		1	90		\$ 12.000,00	\$ 56,21	
20	m	Cable Mallado 3 vias (para sensores)	NO					\$ -	\$ 0,00	
40	m	Cable TPR 3x2,5mm	NO					\$ -	\$ 0,00	
8	m	Cadena pasacable	NO					\$ -	\$ 0,00	
2	Unidad	Fin de carrera uso pesado	NO					\$ -	\$ 0,00	
1	Unidad	Termomagnetica Tripolar 20A	NO		1	15		\$ 4.500,00	\$ 21,08	
1	Unidad	Interruptor diferencial Tetrapolar 25A	NO					\$ -	\$ 0,00	
3	Unidad	Contacto tripolar 20A	NO					\$ -	\$ 0,00	
1	Unidad	Gabinete metalico 400x300x160	NO					\$ -	\$ 0,00	
1	Unidad	relé térmico tripolar 20A	NO		1	15		\$ 22.000,00	\$ 103,04	
TOTAL								Repuestos	\$ 116.500,00	\$ 545,67
								Lubricantes	\$ 55.000,00	\$ 257,61
								Trabajos de rectificación y mano de obra terciarizada	\$ 200.000,00	\$ 936,77
								Limpieza/45 días	\$ 75.000,00	\$ 351,29

En el caso del engranaje y la cremallera, no se considera compra de repuesto ya que no se realizará cambio de los mismos, pero si una revisión y posible rectificación a los 6 años, considerado en el valor final.

Se requiere tener un motor como stock de repuesto de seguridad en caso de que el mismo sufra una rotura inesperada por sobreconsumo u otro motivo y de no tener repuesto, la maquina no podrá operar hasta que llegue el recambio.

 <p>UTN FACULTAD REGIONAL SAN RAFAEL</p>	<p>PROYECTO FINAL</p>	<p>PTH YAMASUI</p>
		<p>17/04/2023</p>
<p>Optimización línea de producción de tubos</p>		<p>Página 71 de 82</p>

Los rodamientos se cambiarán cada dos años, teniendo un stock de seguridad de dos rodamientos en caso de ser necesarios, el cálculo de vida útil se realizó siguiendo lo especificado en ISO 281.

Se tendrá un encoder y un sensor en stock por seguridad, en caso de que fallen por algún motivo.

Al ser elementos que funcionan como “fusibles”, sensibles a grandes variaciones en la corriente, se tendrán, un relé y una termomagnética en stock de seguridad.

Para realizara lubricación de los elementos, principalmente del piñón y la cremallera, se considera la compra de grasa YPF Limit MO2, especial para engranajes.

El resto de los elementos serán mantenidos con frecuencia, pero no consideramos que sea necesario su recambio.

Por lo tanto, vemos que, para favorecer un correcto mantenimiento, se necesitan los siguientes costos de mantenimiento:

Mantenimiento	Descrpición de mantenimiento	Cant rep. de seg	Cant recambio	Valor
Motor 0,12 hp y reductor 1/60	Repuesto de seguridad	1		201,41
Rodamiento SKF 6206 NR	Repuesto de seguridad y recambio cada	2	4	23,42
ENCODER y sensor rpm	Repuesto de seguridad	1		140,52
Sensor inductivo p/ encoder	Repuesto de seguridad	1		56,21
Termomagnética tripolar 20 A	Repuesto de seguridad	1		21,08
Relé térmico tripolar 20 A	Repuesto de seguridad	1		103,04
Lubricantes				257,61
Limpieza	Cada 45 días, 8 veces al año			351,9
Total				

Mantenimiento	0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Total
Motor 0,12 hp y reductor 1/60	201											201
Rodamiento SKF 6206 NR	47		94		94		94		94			422
ENCODER y sensor rpm	141											141
Sensor inductivo p/ encoder	56											56
Termomagnética tripolar 20 A	21											21
Relé térmico tripolar 20 A	103											103
Lubricantes		26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	258
Limpieza		2.815	2.815	2.815	2.815	2.815	2.815	2.815	2.815	2.815	2.815	28.152
Total	569	2.841	2.935	2.841	2.935	2.841	2.935	2.841	2.935	2.841	2.841	29.353

4.5. Análisis económico

4.5.1. Matriz de riesgos

Se plantea la siguiente matriz de riesgos:

No. de Riesgo	Tipo de riesgo	Riesgo	Impacto (A/M/B)	Probabilidad (A/M/B)	Evaluación	
					Valor (1 al 9)	Nivel (A/M/B)
1	De la organización	Falta de predisposición a realizar el proyecto por parte de la empresa	A	B	3	Medio
2	Externo	Dificultad para conseguir los insumos	A	M	6	Alto
3	Técnico	Falta de tiempo para la implementación	M	B	2	Bajo
4	Técnico	Capacitación de los operadores	B	B	1	Bajo
5	Externo	Falta de terceros	M	B	2	Bajo
6	Técnico	Espacio físico disponible	A	B	3	Medio

Impacto	A	3	6	9
	M	2	4	6
	B	1	2	3
		B	M	A
		Probabilidad		

VALOR	NIVEL DEL RIESGO
6 a 9	Alto
3 y 4	Medio
1 y 2	Bajo

Riesgo del proyecto	17
Riesgo total	54
Riesgo	31%

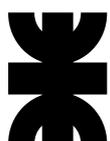
Como podemos observar, nuestro proyecto tiene un riesgo medio, influenciado principalmente por la dificultad para conseguir los insumos, debido a las condiciones sociopolíticas actuales del país.

4.5.2. Flujo de fondos

Descripción	0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Inversión	14.569										
Total costo infraestructura	- 14.000										
Mantenimiento	- 569	- 2.841	- 2.935	- 2.841	- 2.935	- 2.841	- 2.935	- 2.841	- 2.935	- 2.841	- 2.841
Depreciación		- 600	- 600	- 600	- 600	- 600	- 600	- 600	- 600	- 600	- 600
Total ingreso		358.419	358.419	358.419	358.419	358.419	358.419	358.419	358.419	358.419	358.419
Resultado sin impuesto		354.978	354.885	354.978	354.885	354.978	354.885	354.978	354.885	354.978	354.978
Impuesto			- 124.210	- 124.242	- 124.210	- 124.242	- 124.210	- 124.242	- 124.210	- 124.242	- 124.242
Depreciación		600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Resultado con impuesto		355.578	231.275	231.336	231.275	231.336	231.275	231.336	231.275	231.336	231.336
Flujo neto no acumulado	- 14.569	354.978	231.275	231.336	231.275	231.336	231.275	231.336	231.275	231.336	231.336
Flujo neto acumulado	-	354.978	586.253	817.589	1.048.863	1.280.199	1.511.474	1.742.809	1.974.084	2.205.420	2.436.755

	Abreviatura	Valor	Fórmula
Inflación esperada	g	6,5%	
Tasa de descuento real	kr	11,7%	
Riesgo	r	31,5%	
Tasa de descuento nominal	kn	56,4%	$(1+r)*(1+kr)*(1+g)-1$
Valor Actual Neto	VAN	469.850	
Tasa Interna de Retorno	TIR	2403%	

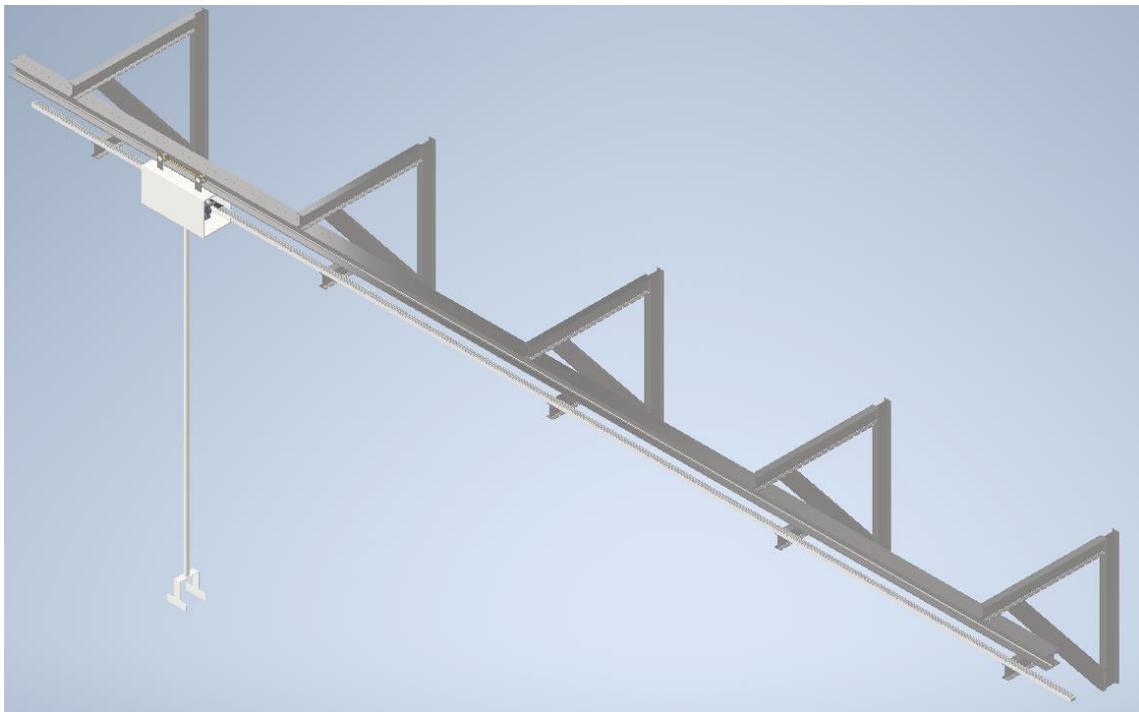
Momento	Flujo neto
Momento 0	- 14.569
Año 1	354.978
Año 2	231.275
Año 3	231.336
Año 4	231.275
Año 5	231.336
Año 6	231.275
Año 7	231.336
Año 8	231.275
Año 9	231.336
Año 10	231.336

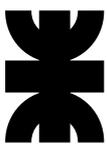


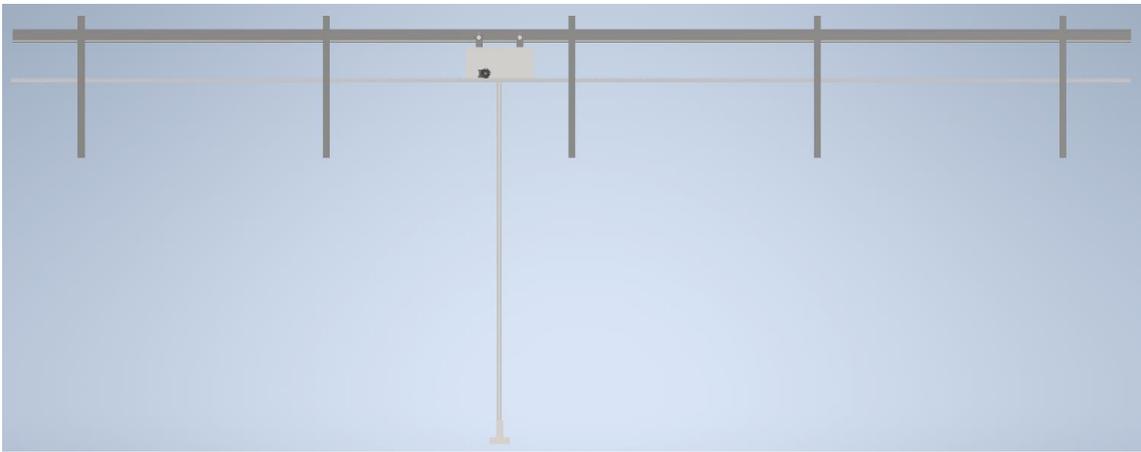
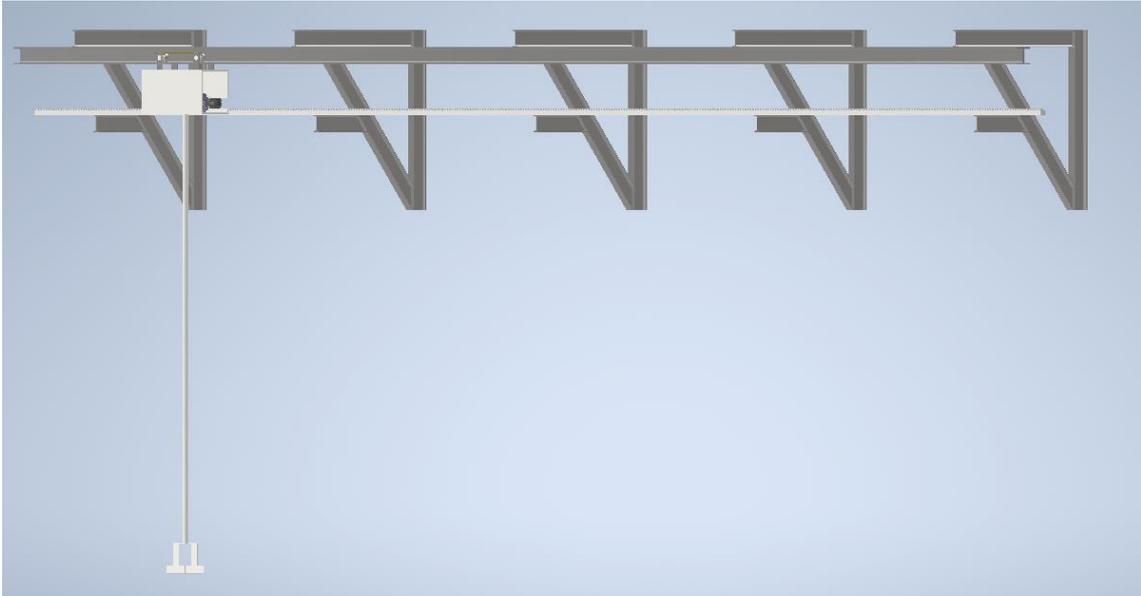
Para llevar a cabo este flujo de fondos se tuvo en cuenta la inflación anual de Estados Unidos en el año 2022 debido a que el proyecto está analizado en dólares. La tasa de descuento exigida por la empresa para todo proyecto de internalización es de 11,7%, es por ello que se ha utilizado este valor. El riesgo es calculado mediante la matriz anteriormente desarrollada. Por último, la tasa de descuento nominal es calculada mediante la ecuación de Fisher.

Mediante este flujo de fondos, podemos determinar que el proyecto es económicamente viable, debido que el VAN es positivo y nuestra TIR es mayor a la tasa de descuento nominal calculada.

4.6. Diseño planteado

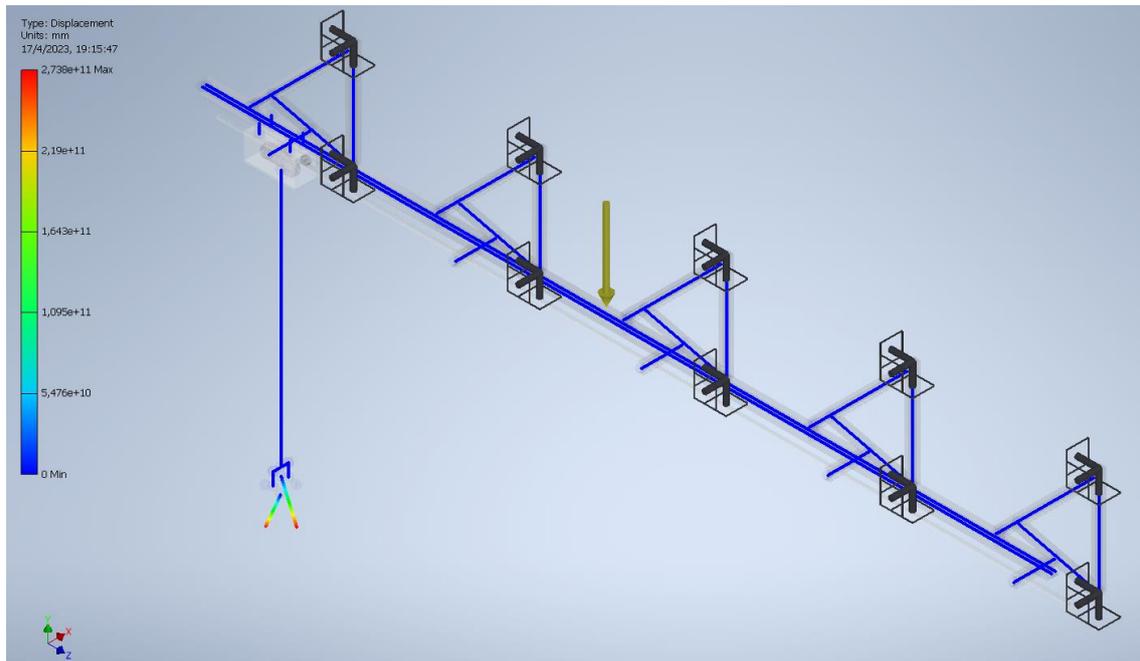


UTN FACULTAD REGIONAL SAN RAFAEL 	PROYECTO FINAL	PTH YAMASUI
Optimización línea de producción de tubos	17/04/2023	
	Página 74 de 82	

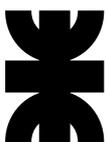




4.2.7. Análisis de estructura por elementos finitos



Como podemos observar, mediante el software Autodesk Inventor, se verifica que la estructura no sufre deformaciones considerables.



5. Tipificación de los proyectos

5.1 Clasificación de los proyectos

5.1.1 De acuerdo con el tiempo

Nuestro proyecto según el tiempo de ejecución es de corto plazo, ya que, para su implementación en el sistema hasta su puesta en marcha, serán necesarios 15 días; luego, el tiempo de aprovechamiento, es de largo plazo, ya que nuestro sistema puede ser utilizado durante más de 10 años, hasta que se reemplace por otra tecnología.

5.1.2 De acuerdo con el sector productivo

Según el sector productivo es de tipo industrial, ya que nuestro sistema planteado abarca parte del procesamiento en la transformación de un insumo en producto final.

5.1.3 De acuerdo con el tipo de bien

Según el tipo de bien, nuestro proyecto se clasifica como un *bien final de capital* considerando que además de ser un bien final, este produce riqueza, ya que se trata de un sistema perteneciente a una máquina.

5.1.4 De acuerdo con el destino

Según a quién se dirige el proyecto se clasifica como un proyecto privado, ya que la idea surge de detectar la necesidad de aumentar la producción de tubos disminuyendo tiempos y costos del mismo en el mercado. Tampoco posee respaldo colectivo, sino que es una iniciativa individual del sector privado.

5.1.5 De acuerdo con el grado de dependencia

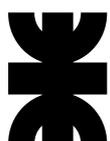
El grado de dependencia de nuestro proyecto es sustituto, ya que está reemplazando a un sistema ya existente.

5.1.6. De acuerdo con el tipo de inversión

Según el tipo de inversión nuestro proyecto se trata de un proyecto de modernización, ya que, aunque no haya cumplido su ciclo el sistema anterior, estamos reemplazándolo por otro que permite modernizar la tecnología aplicada.

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

Página 78 de 82

6. Conclusión

El proyecto plantea un problema real de producción en una de las plantas de Tenaris, miembro del grupo Techint engineering, que genera una pérdida significativa de horas de producción en la fabricación de tubos de acero sin costura en una de sus principales líneas de terminación (Línea 3), debido a una medición ineficiente de los mismos. La solución propuesta, se basa en una alternativa técnica, un análisis económico y de factibilidad para resolver el problema de la manera más eficiente y rentable posible.

Se planteó el objetivo de maximizar la producción de tubos de acero sin costura. Para lograr este objetivo, se hizo foco en los tiempos muertos y en la sincronización del proceso de prueba hidráulica. Es decir, se buscó minimizar las ocasiones en las cuales se debía reacomodar la posición de los carros porta cabezales en la prueba hidráulica, proceso que podía demorar hasta 2,5 minutos y producía un desbalanceo en la línea que terminaba parando la producción e impactando considerablemente en el proceso productivo.

Entre las fortalezas del proyecto se destacan la disminución de tiempos muertos, la alta rentabilidad de la inversión, el aumento en la eficiencia de la línea de producción y la posibilidad de aumentar la producción de tubos.

Para solucionar este problema se propuso la instalación de un sistema, que funciona de la siguiente manera: mediante un sensor inductivo unido a una horquilla se detecta la presencia del tubo. Cuando el sensor corta la señal (termina el tubo), la horquilla vuelve a su posición de home contando, mediante un encoder, los pulsos, traduciéndose mediante lógica de PLC, en la distancia existente entre la posición de home y el tubo. Luego, a la longitud total seteada se le resta esta distancia marcada por el encoder obteniendo la longitud real del tubo.

A través de la investigación y el análisis de los datos, se ha demostrado que la implementación de este método logra:

- Un aumento de la productividad en 2,5% mensual (291 piezas más mensualmente)
- Disminución del 33,3% de tiempos improductivos ocasionados por reacomodamiento de cabezales.
- Van positivo de 469850, evaluado en 10 años.
- TIR de 2403%, altamente superior a la tasa exigida al proyecto de 31,5%
- Proyecto de alta factibilidad

UTN

FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

17/04/2023

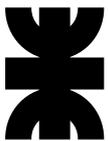
Página 79 de 82

En definitiva, este proyecto propone una solución técnica que mejora de manera significativa la productividad de la empresa y reduce los costos de producción, a través de la implementación de un nuevo método de medición de tubos sin costura. Los resultados obtenidos son altamente satisfactorios y representan un gran avance para la empresa en términos económicos y de competitividad en el mercado.



Anexo 1
Planos

UTN
FACULTAD
REGIONAL
SAN RAFAEL



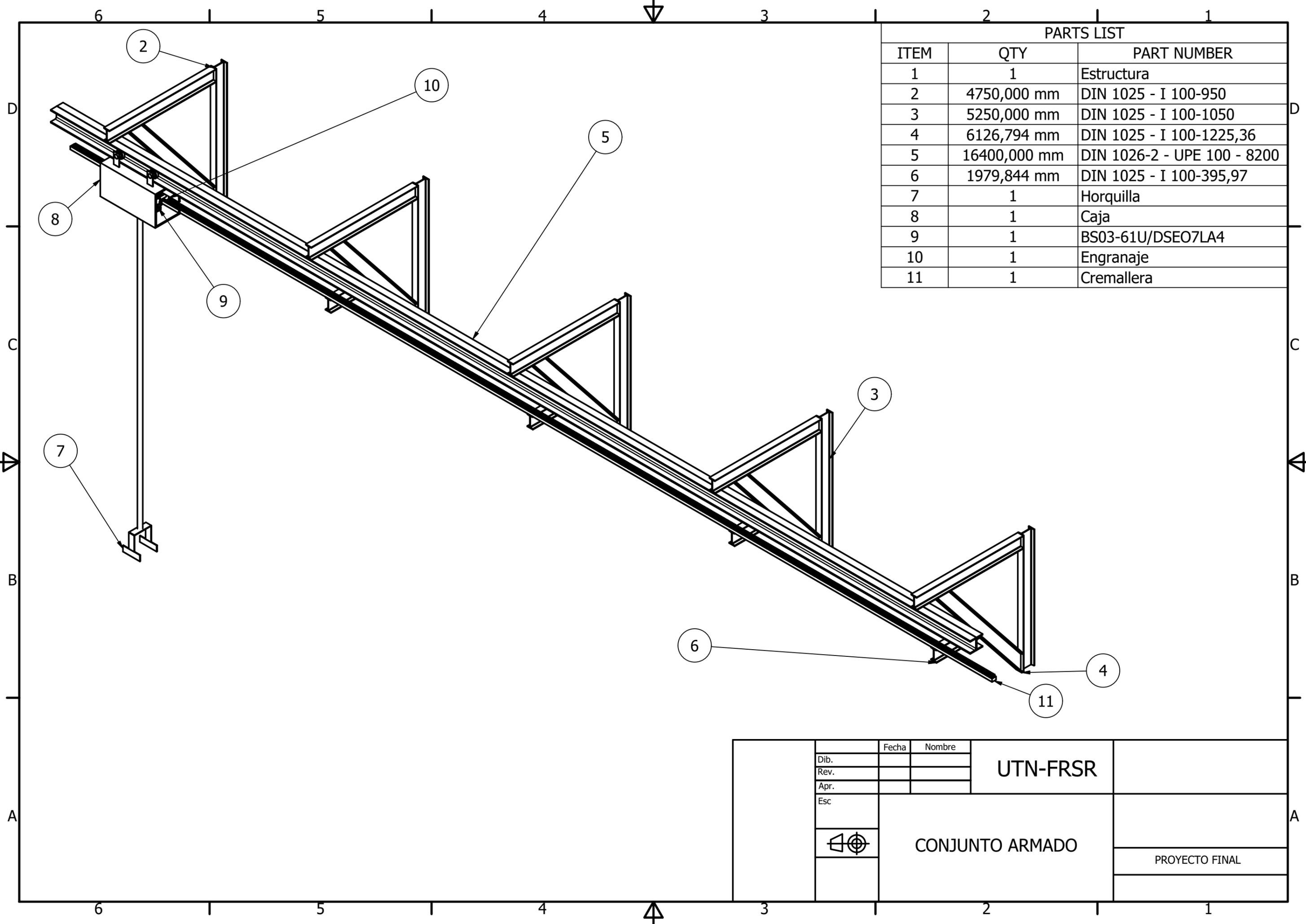
PROYECTO FINAL

PTH YAMASUI

Optimización línea de producción de tubos

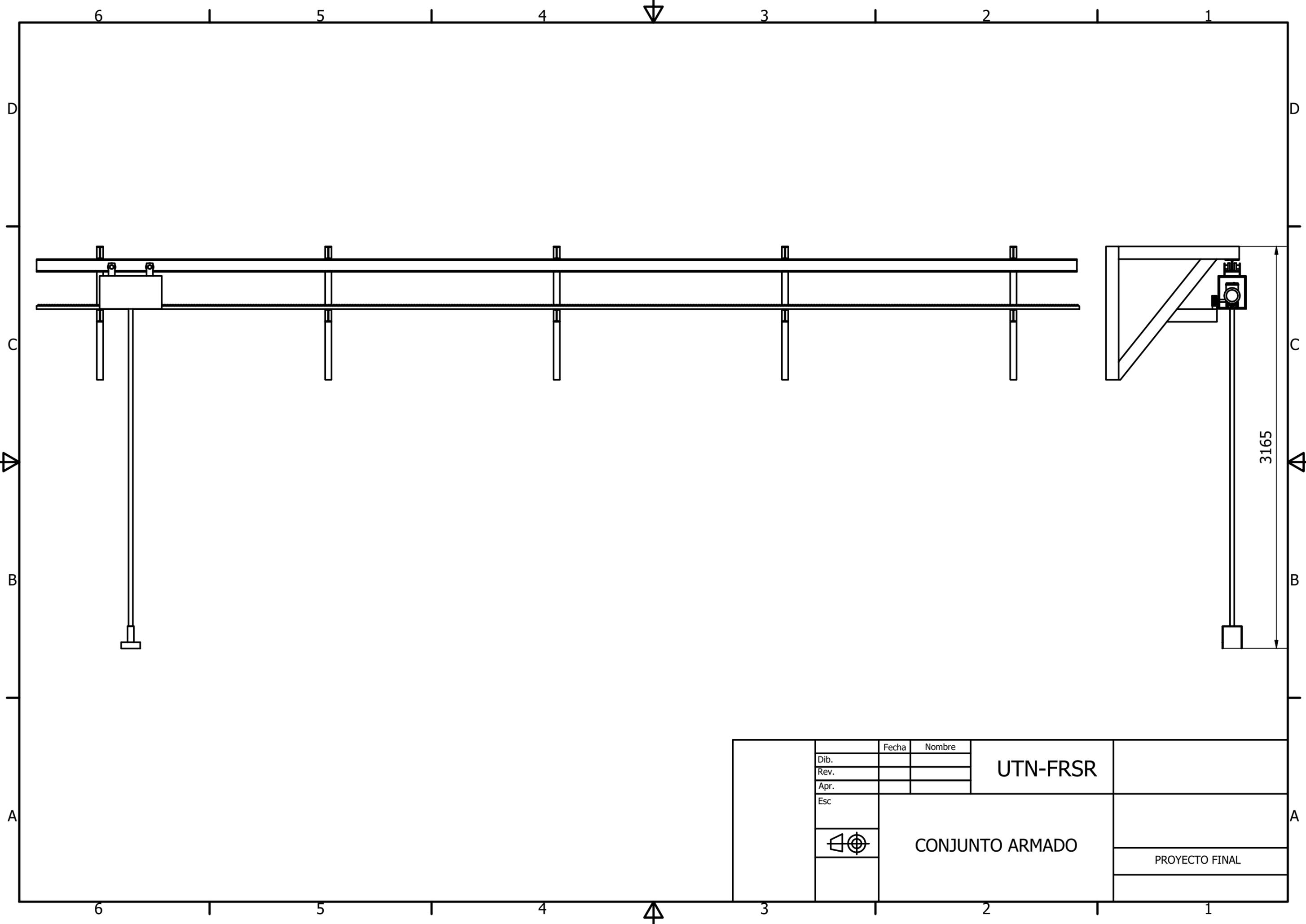
17/04/2023

Página **81** de **82**

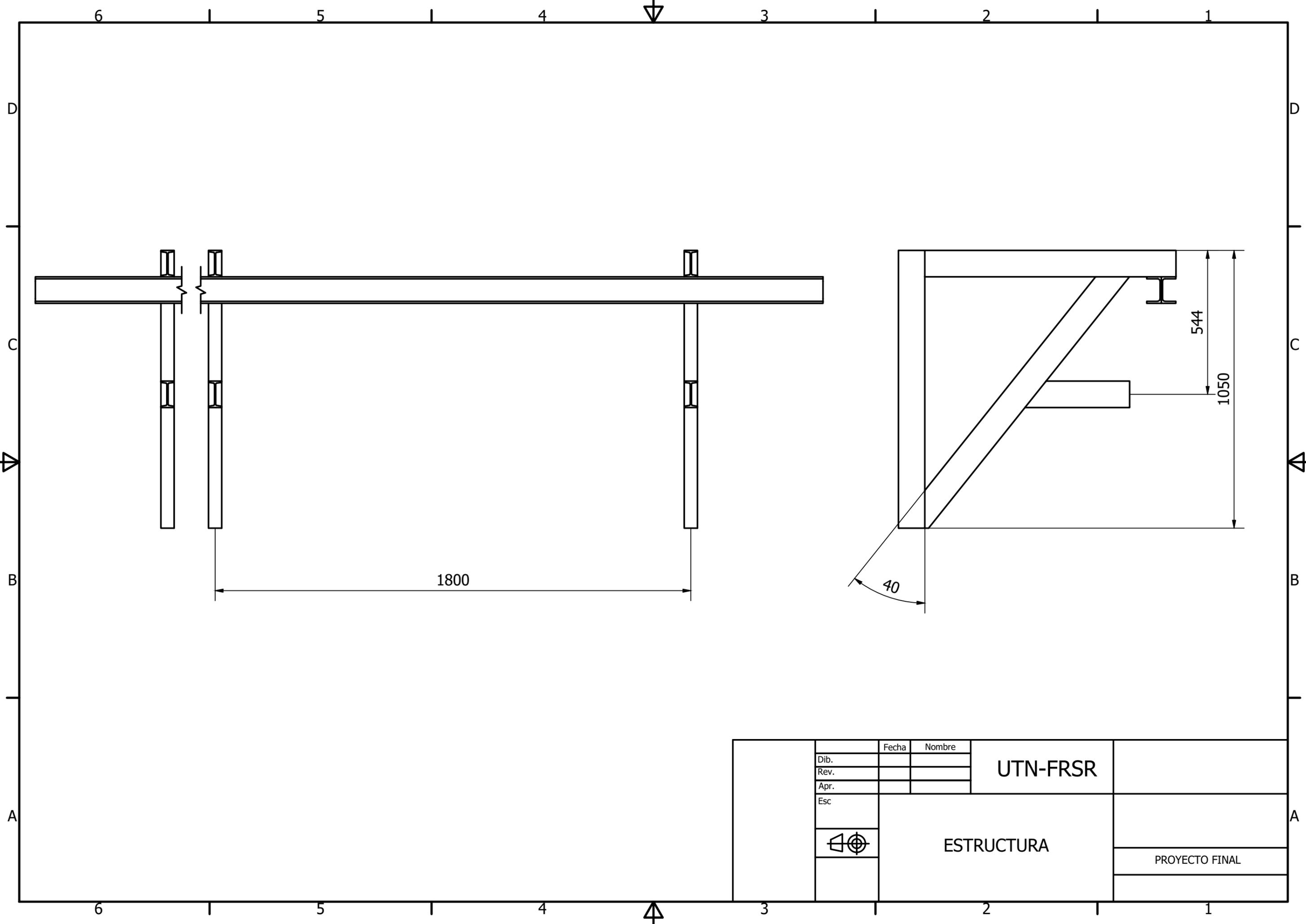


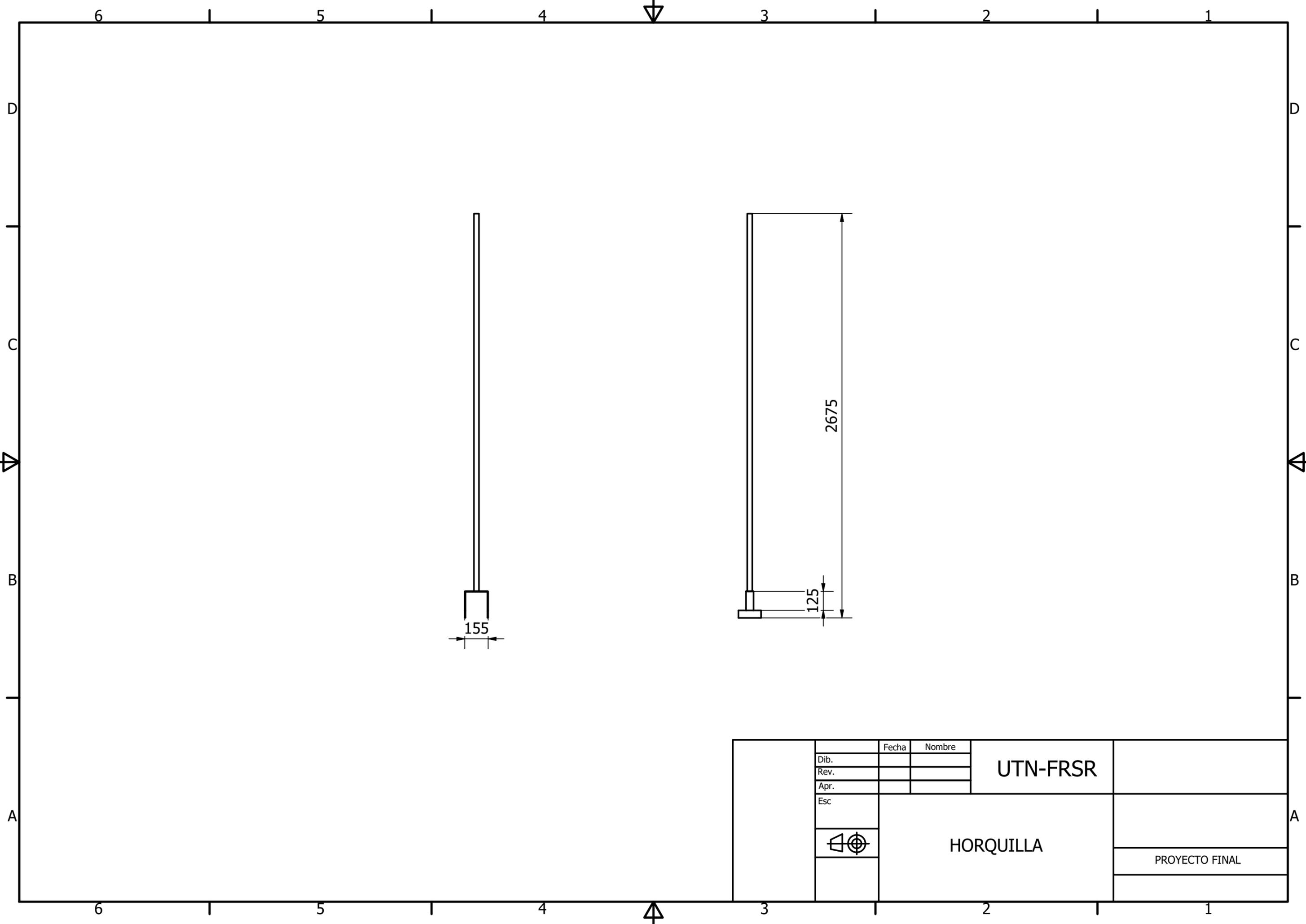
PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	Estructura
2	4750,000 mm	DIN 1025 - I 100-950
3	5250,000 mm	DIN 1025 - I 100-1050
4	6126,794 mm	DIN 1025 - I 100-1225,36
5	16400,000 mm	DIN 1026-2 - UPE 100 - 8200
6	1979,844 mm	DIN 1025 - I 100-395,97
7	1	Horquilla
8	1	Caja
9	1	BS03-61U/DSEO7LA4
10	1	Engranaje
11	1	Cremallera

Dib. Rev. Apr. Esc	Fecha	Nombre	UTN-FRSR
			CONJUNTO ARMADO
		PROYECTO FINAL	



	Fecha	Nombre	UTN-FRSR	A
Dib.				
Rev.				
Apr.				
Esc			CONJUNTO ARMADO	A
				
			PROYECTO FINAL	



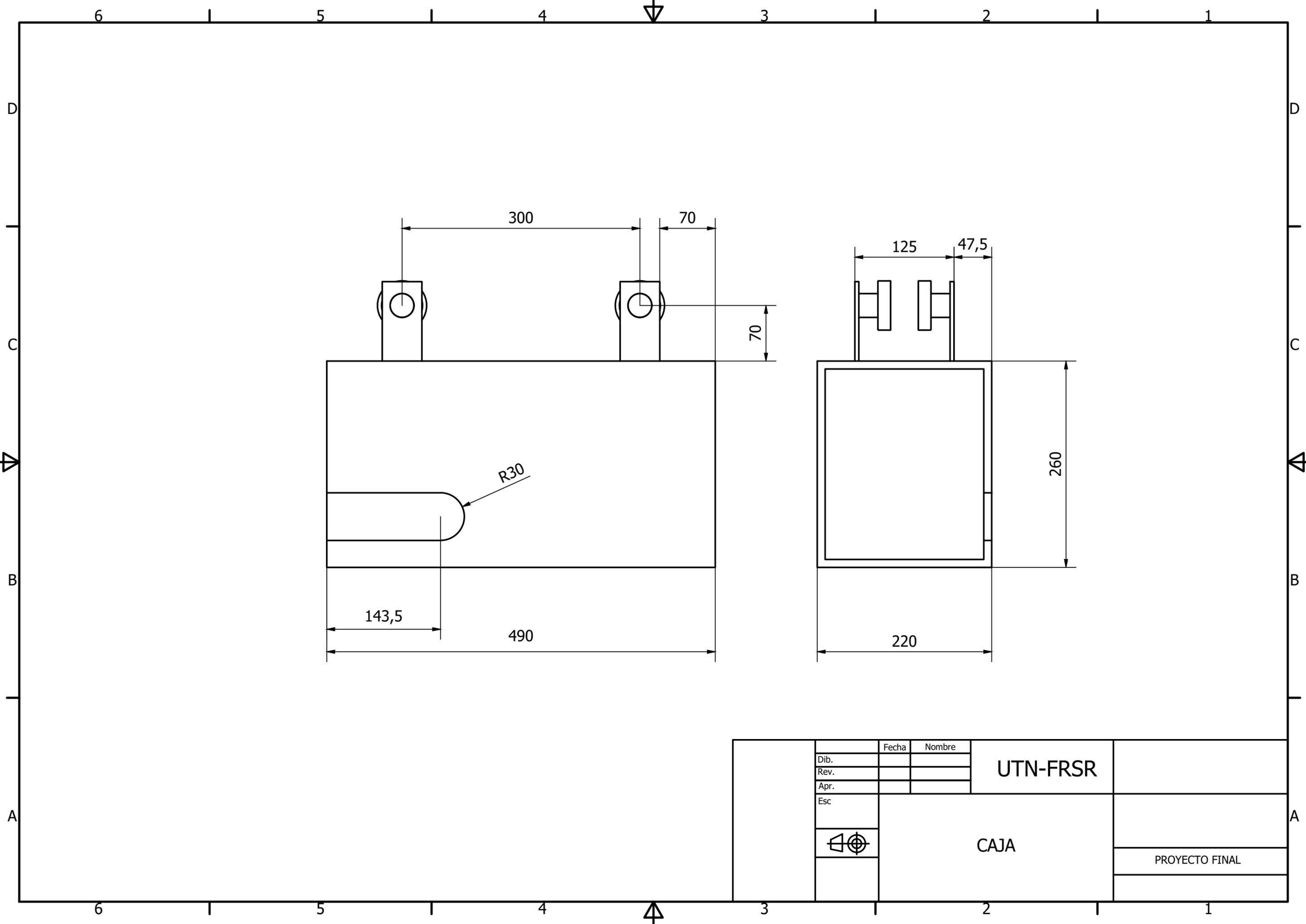


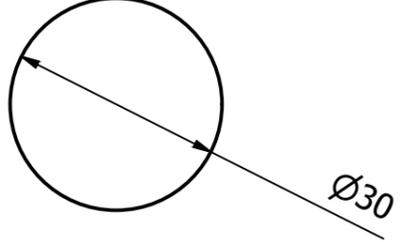
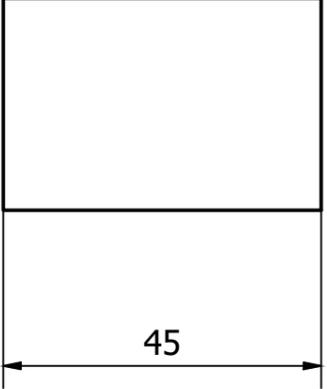
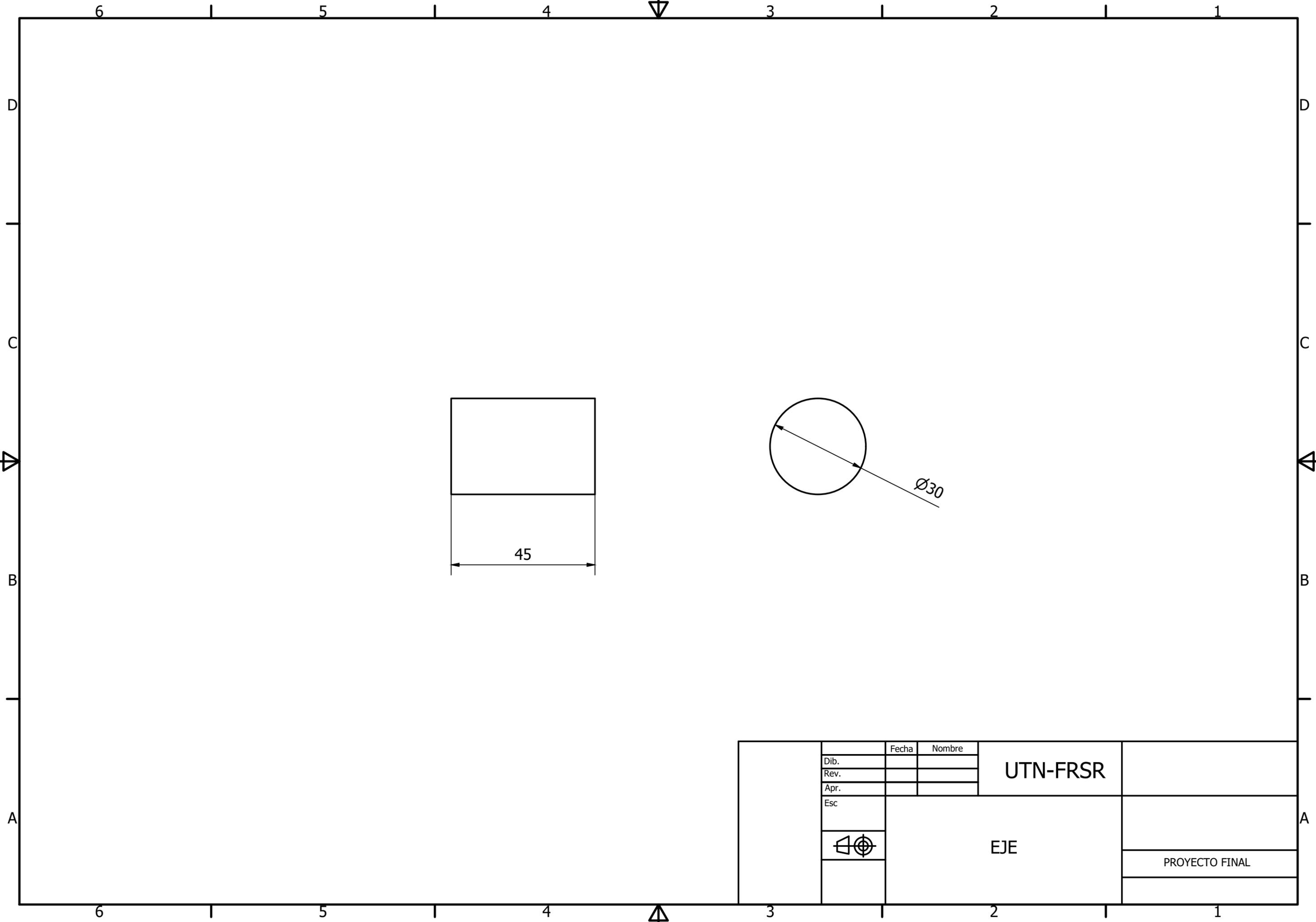
155

125

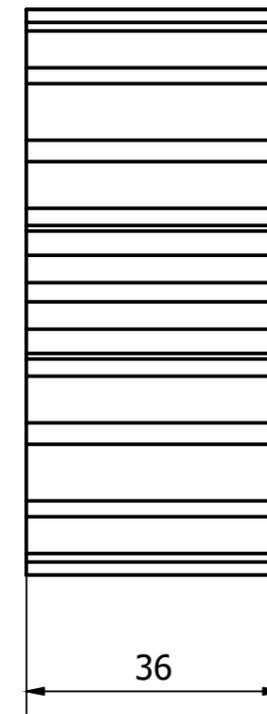
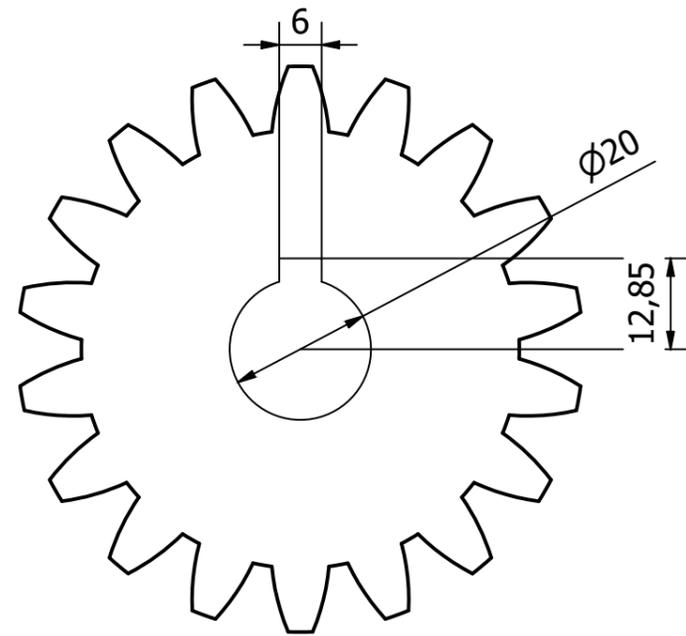
2675

	Fecha	Nombre	UTN-FRSR	
	Dib.			
	Rev.			
	Apr.			
Esc			HORQUILLA	PROYECTO FINAL



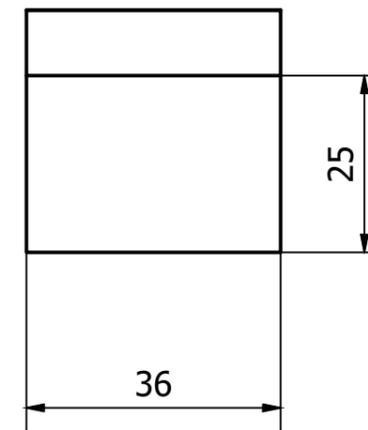
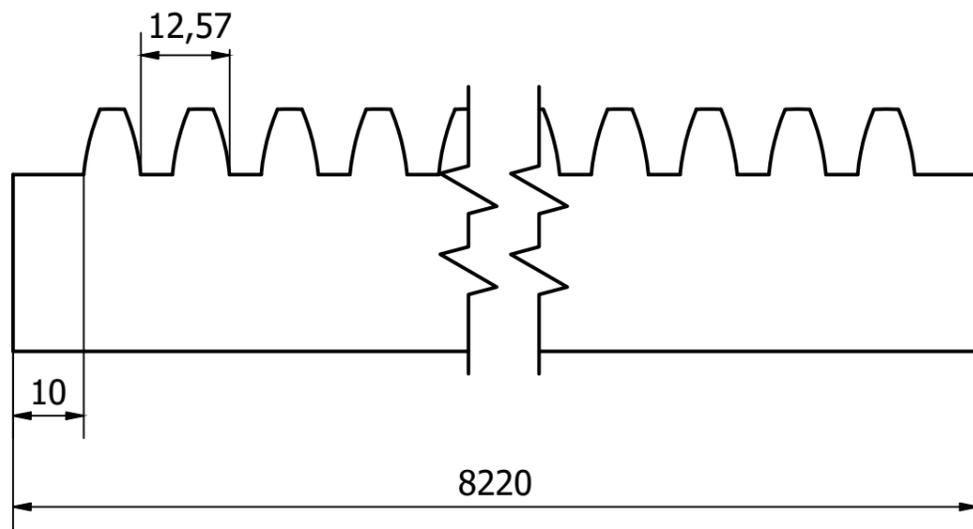


	Fecha	Nombre	UTN-FRSR	
	Dib.			
	Rev.			
	Apr.			
Esc	EJE		PROYECTO FINAL	



M: 4
 PC: 12.57
 PD: 5
 Z: 18

	Fecha	Nombre	UTN-FRSR
	Dib.		
	Rev.		
	Apr.		
Esc			ENGRANAJE
			
			PROYECTO FINAL



M:4
 PC: 12.57
 PD:5

	Fecha	Nombre	UTN-FRSR	
	Dib.			
	Rev.			
	Apr.			
Esc			CREMALLERA	PROYECTO FINAL
				