

# PROYECTO FINAL

## Cálculo y diseño de puente grúa de 5 TN

Alumno:  
Cristian Emanuel Lares  
Legajo N° 6646  
cristian88la@gmail.com  
Ingeniería mecánica

Director:  
Ing. Ricardo Zucal

Co director:  
Ing. Guillermo Pluchino



Evaluadores:  
Dr. Colombo, Diego  
Ing. Fernandez, Roberto  
Ing. Rubertis, Esteban

SEPTIEMBRE  
2022



RINFI se desarrolla en forma conjunta entre el INTEMA y la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-  
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



# PROYECTO FINAL

## Cálculo y diseño de puente grúa de 5 TN

Alumno:  
Cristian Emanuel Lares  
Legajo N° 6646  
cristian88la@gmail.com  
Ingeniería mecánica

Director:  
Ing. Ricardo Zucal

Co director:  
Ing. Guillermo Pluchino



Evaluadores:  
Dr. Colombo, Diego  
Ing. Fernandez, Roberto  
Ing. Rubertis, Esteban

SEPTIEMBRE  
2022

## Tabla de contenido

|   |    |
|---|----|
| 1. Introducción .....   | 4  |
| 1.2. Definición de alcance del proyecto .....                           | 5  |
| 1.2.1 Objetivo .....  | 5  |
| 1.2.2. Descripción del alcance del producto .....                       | 5  |
| 1.2.3 Fronteras del proyecto .....                                      | 5  |
| 1.2.4 Entregables del proyecto .....                                    | 5  |
| 2. Marco teórico .....  | 6  |
| 2.1 Resumen.....  | 6  |
| 2.2 Generalidades sobre las distintas formas del puente .....           | 6  |
| 2.2.1 Movimientos principales .....                                     | 7  |
| 2.2.2 Tipos de puente grúa.....   | 7  |
| 2.2.3 Configuración de montaje.....                                     | 10 |
| 2.2.4 Factores influyentes en el diseño.....                            | 12 |
| 2.3 Componentes de un puente grúa .....                                 | 14 |
| 2.3.1 Polipasto o carro móvil.....                                      | 14 |
| 2.3.2 Viga principal.....   | 16 |
| 2.3.3 Viga testera .....  | 18 |
| 2.3.4 Viga testera .....  | 20 |
| 2.3.5 Mecanismo de traslación del puente.....                           | 20 |
| 2.3.6 Sistema de alimentación eléctrica .....                           | 20 |
| 2.3.7 Rieles .....  | 21 |
| 2.4 Clasificación según la Norma CMAA 70.....                           | 23 |
| 3. Diseño.....  | 24 |
| 3.1 Resumen.....  | 24 |
| 3.2 Parámetros iniciales para el diseño .....                           | 25 |
| 3.3 Descripción de la ubicación del puente grúa dentro del taller ..... | 25 |
| 4. Diseño y cálculo.....  | 26 |
| 4.1 Selección de polipasto.....   | 26 |
| 4.1.1. Selección por norma CMAA .....                                   | 26 |
| 4.1.2. Selección por norma FEM .....                                    | 27 |
| 4.1.3 Determinación del espectro de carga .....                         | 27 |
| 4.1.4 Tiempo medio diario de funcionamiento.....                        | 29 |
| 4.1.5 Selección del grupo de funcionamiento.....                        | 29 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.1.6. Selección de polipasto.....  | 30  |
| 4.2 Determinación y evaluación de cargas .....  | 31  |
| 4.3 Análisis de Cargas.....   | 32  |
| 4.4 Introducción al diseño estructural y mecánico .....                                 | 36  |
| 4.5 Cálculo de viga principal.....  | 37  |
| 4.5.1 Caso I .....  | 37  |
| 4.5.2 Caso II: El puente en uso regular bajo cargas principales y adicionales .....     | 50  |
| 4.5.3 Caso III: el puente en uso regular bajo cargas principales y extraordinarias..... | 54  |
| 4.6 Diseño de vigas testeras.....   | 57  |
| 4.6.1 Selección del perfil .....  | 57  |
| 4.6.2 Determinación de cargas máximas estáticas en vigas testeras .....                 | 59  |
| 4.6.3 Análisis de cargas estáticas en vigas testeras .....                              | 60  |
| 4.6.4 Cálculo de diagramas de carga cortante y momento flector .....                    | 61  |
| 4.6.5 Cálculo de flecha máxima de viga principal .....                                  | 63  |
| 4.6.6 Esfuerzo de flexión y factor de seguridad .....                                   | 64  |
| 4.7 Diseño de ruedas.....   | 68  |
| 4.8 Diseño de ejes .....  | 70  |
| 4.8.1 Análisis de carga y torque de diseño.....   | 70  |
| 4.8.2 Análisis de diagramas y cuerpo libre.....   | 72  |
| 4.8.3 Análisis de diagramas y cuerpo libre.....   | 74  |
| 4.8.4 Primera estimación de diámetro.....   | 76  |
| 4.9 Selección y cálculo de rodamientos .....  | 89  |
| 4.10 Cálculo y selección de motorreductor para puente grúa.....                         | 94  |
| 4.10.1 determinación de potencia mínima según norma CMMA.....                           | 94  |
| 4.10.1 Determinación del modelo de motorreductor .....                                  | 96  |
| 5. Análisis de elementos finitos.....   | 102 |
| 5.1. Software Ansys Static Structural .....   | 102 |
| 5.1.1. Viga principal .....   | 102 |
| 5.1.2. Viga testera .....   | 105 |
| 5.2 Software Autodesk Inventor .....  | 108 |
| 5.2.1. Viga principal.....  | 108 |
| 5.2.2. Viga testera .....   | 111 |
| 6. Detalles de construcción .....   | 115 |
| 6.1.2 Construcción viga principal .....   | 115 |
| 6.2.1 Construcción de testeras.....   | 115 |

|  |     |
|--|-----|
| 6.2.2 Soldadura de testeras .....  | 115 |
| 6.2.3 Verificación de concentradores circulares .....  | 116 |
| Se estudia el efecto de los concentradores de tensiones en los laterales de la chapa cuando la testera es sometida al momento flector máximo que actúa en la dirección X. .... | 116 |
| 6.3 Diseño de la unión viga principal – testeras.....  | 117 |
| 6.3.1 Generalidades .....  | 117 |
| 6.3.2 Bulones.....   | 118 |
| 6.4 Soldadura viga principal – chapa de unión y refuerzos.....   | 120 |
| 6.5 Selección de rieles .....  | 121 |
| 6.5.1 Alternativa 1: Riel standard europeo tipo “A” .....  | 121 |
| 6.5.2 Alternativa 2: Palanquillas cuadradas de acero SAE 1045 laminado en caliente.....  | 121 |
| 6.6 Selección de sistema de amortiguación .....  | 124 |
| 7. Presupuesto.....  | 126 |
| 7.1 Introducción .....   | 126 |
| 7.2 Costos directos .....  | 126 |
| 7.3 Costos indirectos .....  | 130 |
| 7.4 Costos totales.....  | 131 |
| 8. Conclusiones.....   | 132 |
| 9. Bibliografía .....  | 132 |
| 10. Apéndice.....  | 133 |

## 1. Introducción

En el presente proyecto que lleva por título Diseño y cálculo de puente grúa se desarrolla el análisis de los esfuerzos en forma analítica de un mecanismo de elevación del tipo birriel con una capacidad de 5 toneladas. Se desarrollará la ingeniería básica para el cálculo y el diseño de una grúa viajera mediante diagramas de cuerpo aislado, ecuaciones de equilibrio y cálculos de esfuerzo y deformación, se irán definiendo las geometrías, dimensiones y los componentes del puente grúa tales como ejes, ruedas, vigas principales, testeras, etc. Este procedimiento se llevará a cabo de acuerdo con las normas y factores de seguridad que son indicados por los manuales de diseño, y que restringen los esfuerzos y la deformación admisibles. Cada uno de los elementos diseñados sufrirá las revisiones pertinentes para asegurar que estos no fallen.

Actualmente en Mar Del Plata la expansión de la productividad de cualquier tipo juega un papel muy importante dentro de la economía de nuestro país, factores como la necesidad de emplear a la gente con necesidad de este, así como principalmente por la obligación de mantener la competencia y el rango con las demás industrias nacionales.

Por esta causa las empresas, principalmente de la rama metalúrgica y metalmecánica, se ven obligadas a invertir en maquinarias y equipo que les permita reducir costos tanto monetarios como en desarrollo y así lograr ser más eficientes y productivos en ramos de la industria en general.

En lo general se ha sabido que las empresas no cuentan con equipos suficientes para transportar la maquinaria pesada y otros equipos necesarios en el desarrollo de la industria. Esto ocasiona un alto costo, mala calidad y pérdida de tiempo, así como la mala competitividad de sus productos y no alcanzar sus mercados más exigentes. Todo esto nos lleva a diseñar un sistema más eficaz de transporte como una alternativa de desarrollo industrial.

La memoria de cálculo que se presentará en este proyecto será comprobada, con la ayuda de software en los que se realizarán simulaciones de las condiciones de carga en las que están sometidos los elementos de la grúa con la ayuda del método de elementos finitos. Las simulaciones que se realizaran tipo software que se ejemplificarán de manera resumida se presentaran de manera comparativa con los resultados obtenidos



## 1.2. Definición de alcance del proyecto

### 1.2.1 Objetivo

El fin del presente proyecto, es presentar en forma completa y a modo de solución global el proceso de diseño estructural y mecánico del puente grúa solicitado y de su correspondiente sistema de rieles (actualmente inexistentes en las instalaciones de la nave), haciendo uso de las normativas vigentes y dentro de los límites establecidos en esta sección.

### 1.2.2. Descripción del alcance del producto

El puente grúa tendrá una capacidad de 5 toneladas, una luz de 9 metros se trasladará en la nave 20 metros longitudinalmente y el recorrido del gancho será de 5 metros (medidas aproximadas).

Todos los movimientos del puente grúa serán generados por motores eléctricos siendo su velocidad de traslación de 15,4 m/min. Para la elevación y descenso de cargas, el puente grúa dispondrá de un modo normal de trabajo, que proporcionará una velocidad de izaje de 4 m/min. Esto se logrará con un polipasto, que operarán de manera independiente, cuyas velocidades de traslación serán de 15,4 m/min para el polipasto normal, y de 4 m/min para el polipasto de alta velocidad de izaje.

Además, estará equipado con los dispositivos necesarios para llevar a cabo el transporte de cargas, tales como ganchos y de comandos para el control de los movimientos del puente como lo son las botoneras colgantes y/o controles inalámbricos.

### 1.2.3 Fronteras del proyecto

- Este proyecto se limitará al diseño puramente estructural y mecánico de todos los componentes que lo requieran.
- No se estudiará montaje ni instalación
- No se entregará información extra como manuales de operación, mantenimiento y lista de partes
- Se considera ya realizada la verificación de la resistencia de las columnas y bases de la obra civil, que portaran las distintas solicitaciones debidas a la operación del puente
- Además, se supone que la obra cumple con la correcta alineación entre vigas/columnas

### 1.2.4 Entregables del proyecto

Los entregables del proyecto están compuestos por los siguientes ítems

- Memorias de cálculo y de selección de equipos o partes
- Especificaciones técnicas de componentes diseñados/seleccionados y los correspondientes planos generales
- Alternativas de diseño para rieles
- Dibujos 3D del conjunto armado y despiece
- Presupuesto total (incluye diseño, fabricación, montaje e instalación)
- Recomendaciones y conclusiones



## 2. Marco teórico

### 2.1 Resumen

Una vez definido el problema, surgió la necesidad de introducirnos en el tema de elevación y transporte de cargas para tener una mejor perspectiva de esta área. Se estudió al Puente Grúa y sus distintas configuraciones con el objetivo de determinar la opción técnico - económicamente más conveniente. Resultando así un puente grúa birriel, montado, cuyo carro corre por la parte inferior del mismo.

Luego se investigó sobre las distintas normativas vigentes y su aplicación en Argentina, encontrándose que en este momento no existe una normativa de carácter obligatoria que regule el diseño de Puentes Grúas en Argentina. Por lo tanto, se optó por utilizar la norma CMAA N.º 70 correspondiente a La Asociación Americana de Fabricantes de Grúas, la cual es utilizada por una gran cantidad de fabricantes de puentes grúas en todo el Mundo.

### 2.2 Generalidades sobre las distintas formas del puente

Todos los puentes - grúas constan de una o dos vigas principales sobre las que se apoyan los carriles del carro, y de las dos vigas testeras, dispuestas perpendicularmente a las vigas principales y que llevan las ruedas de la grúa. La grúa puente de una sola viga con carro sobre las alas inferiores, solo se ejecuta como puente - grúa de mano hasta unas 5 toneladas de fuerza portante. En las grúas puente con dos vigas principales, el gancho de la carga del carro se mueve entre las vigas principales. En la mayoría de los casos, junto a un accionamiento eléctrico, existe un arriostrado horizontal, que tiene que resistir fuerzas producidas por la aceleración y el frenado y que, al mismo tiempo, sostiene la pasarela de la grúa; este arriostrado está sostenido por un lado por la viga principal y por el otro, por la viga secundaria, llamado también viga de pasillo.

Según la magnitud de la carga y la luz, para la viga principal se emplean vigas de perfil laminado, vigas con alma de planchas, vigas de celosía o vigas cajón.

Las vigas de perfil laminado normales a las de ala ancha, por lo general se utilizan para luces de 10 hasta 15 m, y con fuerzas menores y grúas puente normales para luces aún mayores. Aunque exigen un peso mayor, se realizan con menor trabajo de oficina técnica y de taller.

También tienen un peso aún mayor las vigas compuestas, remachadas o soldadas, llamadas vigas de alma llena, pero se construyen con menos mano de obra que las vigas reticuladas. Por ese motivo, se emplean en la construcción de grúas en Estados Unidos, para todas las fuerzas portantes y luces porque allí los jornales elevados poseen más que el coste del material. (*Hellmut Ernest, Aparatos de elevación y transporte, Tomo 2, 1970*)

### 2.2.1 Movimientos principales

Los movimientos del puente grúa pueden dividirse en dos:

- Movimientos de ascenso y descenso de carga: este movimiento vertical (eje Z) es generado por el polipasto
- Movimiento de traslación de carga: este movimiento es en el plano horizontal, el movimiento a lo ancho de la nave (eje X) es generado por el carro o polipasto y el movimiento longitudinal (eje Y) es generado por los motores ubicados sobre las testeras, que desplazan todo el puente grúa a lo largo de las vigas carrileras.



Figura 2.1: Puente grúa birriel y componentes

Gracias a estos movimientos la superficie de operación barrida por el puente grúa es un rectángulo, que idealmente coincide con la planta de la nave. Pero en la práctica, la superficie de operación es algo menor ya que el gancho de carga, a causa de las dimensiones del carro, no se puede situar muy cerca de las paredes del edificio.

### 2.2.2 Tipos de puente grúa

La Norma CMAA (Crane Manufacturers Association of America) clasifica este tipo de mecanismo de elevación según dos criterios, según su diseño y/o su tipo de funcionamiento.

#### Puente grúa monorriel

Este tipo de mecanismo de elevación es ideal para lugares donde existe restricción de espacio, se aplican en líneas de procesos de producción que cuenten con una ruta fija tales como líneas de ensamblaje y pintura



Figura 2.2: Puente grúa monorraiel

### Puente grúa birriel

El puente grúa birriel se utiliza para servicios continuos y elevación de cargas muy pesadas. Este cuenta con dos vigas principales donde se apoya y desplaza un carro que contiene un polipasto ubicado en la parte superior del puente.

La ventaja de este tipo de puente respecto al anterior es que el gancho puede alcanzar una mayor altura de elevación. Es ideal para galpones e industrias que realicen montaje de equipos y maquinaria pesada.



Figura 2.3: Puente grúa birriel

### Puente grúa pórtico

Este tipo de puente grúa es apto para trabajar en exteriores y es ideal para montajes de estructuras de alto nivel. Estos constan de columnas auto soportadas sobre ruedas que se desplazan longitudinalmente en rieles en nivel de piso.



Figura 2.4: Puente grúa pórtico

### Puente semi pórtico

El puente grúa semipórtico como se observa en la figura 4 no consta de dos columnas como el puente grúa pórtico, solamente un extremo se encuentra apoyado en su estructura fija. Sus aplicaciones se asemejan a las de un puente grúa pórtico, pero quedan restringidas a la resistencia mecánica de la estructura fija.

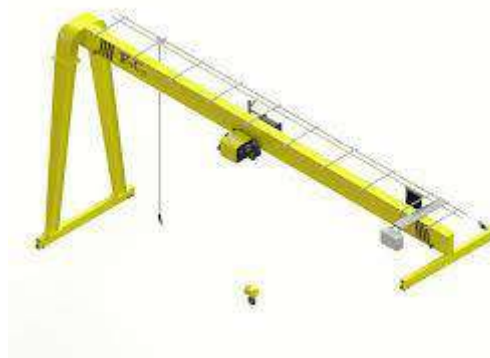


Figura 2.5: Puente grúa pórtico

### 2.2.3 Configuración de montaje

El puente grúa admite diferentes configuraciones de montaje, que, según las especificaciones necesarias de operación y el diseño de la nave, serán adecuadas para cada caso particular.

La principal división que se puede hacer es:

- **Puente grúa montado:** son aquellos puentes grúas con vigas testeras que corren sobre la superficie superior de los rieles, estando estos últimos apoyados sobre la estructura de la nave. Se puede señalar que, esta disposición es la que acepta la mayor capacidad de carga.

Generalmente este tipo de grúa implica que, en la etapa de diseño de la construcción edilicia de la nave, se prevean columnas capaces de resistir las cargas a transportar. Cuando esto no es tenido en cuenta, se suelen armar estructuras de vigas para soportar al puente grúa en cuestión.

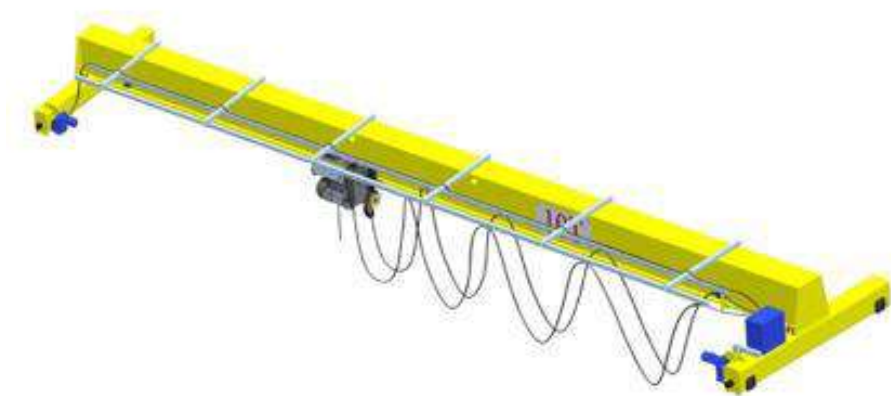


Figura 2.6: Puente grúa montado

- **Puente grúa suspendido:** son aquellos puentes grúas con vigas testeras sostenidas, directa o indirectamente, por las alas inferiores de las vigas carrileras.

Aquí, las vigas carrileras son suspendidas del techo de la nave, lo que limita la capacidad de carga del puente.

Esta configuración, generalmente es usada cuando no se posee una estructura (columnas) donde puedan apoyarse las vigas carrileras y/o se requiere la máxima elevación de gancho posible.

Según el tipo de junta (unión) entre la viga principal y la testera, podemos señalar las siguientes configuraciones generales.





Figura 2.7: Puente grúa suspendido

**A.** Viga principal superior: se los utiliza cuando se cuenta (o puede construirse), con una estructura donde apoyar las vigas carrileras, y, además, cuando el techo de la nave industrial se encuentra muy por encima del nivel de los carriles, de manera que no dificulta el movimiento del puente. Esta configuración se aplica cuando se tiene un puente grúa montado

**B.** Viga principal inferior: esta configuración corresponde únicamente al caso de puente grúa suspendido, donde las vigas testeras corren por debajo de las carrileras, imponiendo de este modo, una restricción a la ubicación de la viga principal.

**C.** Viga principal lateral: este caso puede ser usado tanto en los puentes grúa montados como suspendidos.

Si el puente grúa es de tipo montado, esta disposición se utiliza cuando la estructura donde apoyan las vigas carrileras se encuentra muy próxima al techo de la nave, obligando a adoptar una configuración de menor altura que posibilite el desplazamiento del puente.

Para los casos en que se disponga de un puente grúa suspendido, esta configuración es la que provee la mayor altura de gancho.

Cabe señalar que, existen configuraciones de juntas intermedias más específicas, usadas en la práctica para dar solución a casos particulares. Algunas de estas, se muestran en la siguiente figura.

Por último, se debe citar que el polipasto que recorre la viga principal puede hacerlo de dos formas distintas.

**Polipasto desplazamiento inferior:** es aquel caso en que el polipasto se desplaza por las alas inferiores de la viga principal. Esta disposición es la más común en puentes grúas monorrieles.

- **Polipasto desplazamiento superior:** es aquel caso en que el polipasto se desplaza por la parte superior de la/s viga/s principal/es. Esta disposición es la más común en puentes grúas birrieles y aporta mayor elevación de gancho.



Figura 2.9: Componentes puente grúa monorriel (izquierda), Puente grúa birriel (derecha)

#### 2.2.4 Factores influyentes en el diseño

Se diseñan siguiendo las especificaciones de cada cliente

##### **Capacidad de elevación**

Es la máxima carga para transportar, para la cual el puente grúa es diseñado. Esta carga nominal es especificada por el fabricante. La capacidad de elevación influirá tanto en la elección del tipo de puente grúa (monorriel o birriel) como en la rigidez global del puente, es decir, en todos los componentes de este.

##### **Distancia entre rieles (luz)**

Es la distancia (centro a centro) entre las vigas carrileras. Este valor es muy importante ya que, la tensión y la flecha máxima de la viga principal son directamente proporcional a la luz y al cubo de la luz, respectivamente (para el caso de una viga simplemente apoyada y carga puntual centrada). Por esto, esta dimensión está fuertemente vinculada con el tipo de viga principal a elegir, ya que demanda (junto con la capacidad de elevación) un momento de inercia mínimo para satisfacer ciertos criterios de diseño.

##### **Altura de gancho**

Este parámetro es muy importante, ya que influye en la elección de las configuraciones estudiadas en el apartado 2.3.3, y por consecuencia impone condiciones para el diseño.

## **Velocidades de operación**

Es necesario especificar tres velocidades, las cuales son:

- Velocidades de elevación de gancho
- Velocidades de traslación del polipasto
- Velocidades de traslación del puente

Las velocidades para cada movimiento son un factor primordial en la determinación de los costos de operación y del mismo puente grúa. Si las mismas, son mayores que las velocidades necesarias, los costos del puente grúa y los costos subsecuentes de energía serán más altos debido a grandes motores, controles, transmisión de engranajes, etc. Pero, por otra parte, si las velocidades son menores a las necesarias, cuando el puente entre en operación, excesivo tiempo de traslado puede causar inconvenientes. Se puede mencionar como ejemplo aplicado a nuestro caso, las operaciones de colada en las cuales se debe transportar material fundido, y el tiempo de traslado sea un factor limitante para la obtención de piezas coladas de buena calidad.

## **Tipo y tiempo de servicio.**

Como se verá en la sección 4.1.3, es muy importante definir correctamente el tipo y tiempo de servicio del puente grúa. Como primera consideración a tomar debe ser obtener un puente grúa que desempeñe, con una performance adecuada, el trabajo que para el cual será fabricado. Esta performance requerida determinara el tipo o clasificación de servicio del puente grúa.

La clasificación del puente grúa, afecta al diseño de todos los componentes del puente, desde el gancho hasta el operador del puente, incluyendo motores, frenos, ejes, ruedas, engranajes, estructura, etc. Esto es debido a que, los criterios de diseño para un puente grúa que será usado ocasionalmente, con bajas cargas, velocidades y aceleraciones no serán los mismos que para uno que tenga alta frecuencia de uso, con grandes cargas, velocidades y aceleraciones. En el último caso, las condiciones de uso demandaran que se tengan en cuenta, por ejemplo, estudios de fatiga y factores de seguridad más altos

## **Lugar de instalación**

Se debe tener en cuenta si la instalación del puente grúa será en un lugar cubierto o a la intemperie.

Cuando un puente grúa se instala a la intemperie este debe contar con equipos eléctricos, maquinaria y estructura con protección idónea frente al clima.

En cambio, si se instala dentro de una nave industrial, se debe tener en cuenta, la geometría y distribución de la estructura que soporte el puente grúa y las

condiciones presentes en la atmósfera de la nave (temperatura, polvos, humedad, humos corrosivos, etc.).

### 2.3 Componentes de un puente grúa

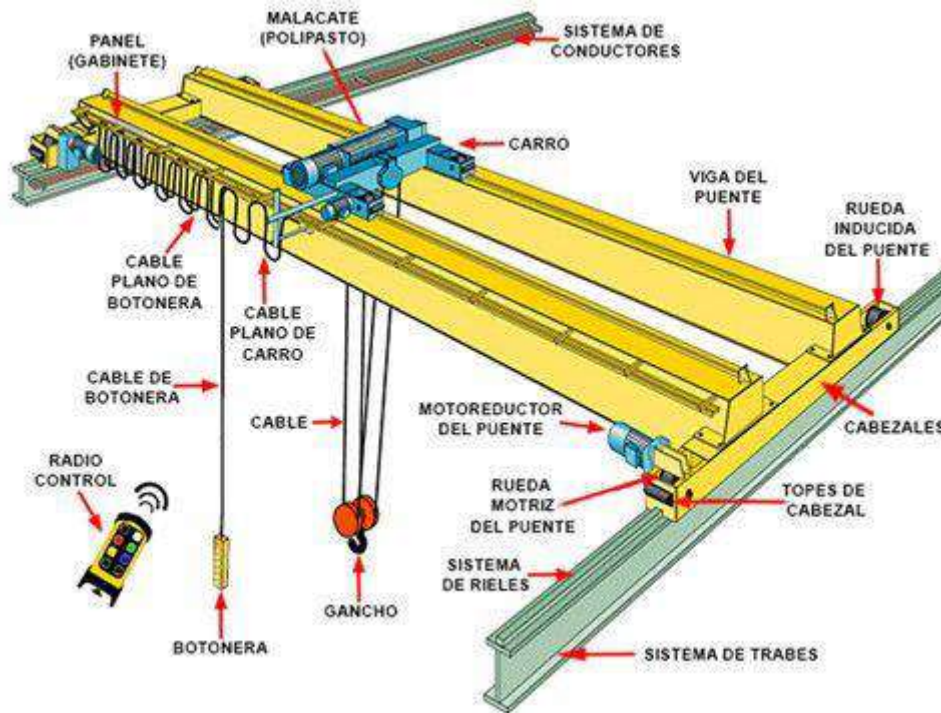


Figura 2.10: Componentes puente grúa

#### 2.3.1 Polipasto o carro móvil

Se trata del mecanismo encargado de elevar, descender o mover la carga a lo largo de la viga principal.

##### Características generales

Es un sistema de poleas compuesto de dos grupos, uno fijo y otro móvil. Se pone en movimiento por medio de una cuerda o cadena sujeta por uno de sus extremos en la primera polea fija, y que corre por las demás, actuando el extremo libre de la cuerda como elemento de potencia.

Los grupos de poleas pueden ser de varios pares (mecanismo diferencial) o de uno solo, en cuyo caso se le llama aparejo diferencial.

Clasificación

### **Polipastos de accionamiento manual**

Los polipastos manuales son los equipos más básicos y de bajo costo que sirven para elevar y trasladar cargas livianas. Su construcción es compacta y de poco peso, lo que facilita su transporte, instalación y/o relocalización.

El mecanismo más simple consta de un bastidor con ruedas, que corre por las alas superiores o inferiores de una viga tipo "doble te", al cual se le coloca un aparejo de cadena suspendido, Figura 11. El movimiento de traslación a lo largo de la viga principal se consigue tirando de la carga (carro a empuje) o con accionamiento manual mediante una cadena y polea de cadena.



Figura 2.11: Polipasto manual

### **Polipastos de accionamiento eléctrico**

A pesar de que se va a diseñar un puente grúa del tipo birriel, para hacer una descripción más detallada de las partes, se utiliza un polipasto eléctrico de 4 ruedas. Cada carro consta de tres partes principales.

1. El mecanismo de elevación tiene la función de hacer elevar/descender la carga principal. Se comprende de un motor de gran potencia y posee numerosos sistemas de seguridad como por ejemplo el freno, el cual suele ser un elemento que trabaja por fricción, y que impide el movimiento de la carga en todo momento en que no se accione intencionalmente el motor. También forman parte de este mecanismo, el aparejo móvil, el tambor del cable, y el reductor.
2. Mecanismo de traslación. Se comprende por otro motor encargado movilizar el carro principal de la estructura y la carga que transporte a lo largo de la viga principal en su movimiento horizontal transversal. Completan este mecanismo las ruedas, el reductor y el freno.



3. El bastidor del carro, en el que se montan y quedan comprendidas todas estas piezas.



Figura 2.12: Polipasto eléctrico

### 2.3.2 Viga principal

Es la parte principal y más importante de la estructura. Su función es la de soportar la carga de servicio y las solicitaciones del carro móvil, siendo, por tanto, la parte crítica de la estructura. El tipo de viga del puente se determina considerando tanto la luz y la capacidad, así como el ciclo de trabajo.

Según la norma CMAA N.º 70 las vigas principales se construyen de sección de caja de acero estructural soldada (viga cajón), vigas estándar "doble T", vigas de "ala ancha" y vigas reforzadas fabricadas con planchas de acero u otras configuraciones estructurales.

Los distintos tipos de vigas nombrados se emplean en los casos de puentes grúa tanto monorraíl como en los birraíl y dependiendo los esfuerzos involucrados se pueden construir de sección constante o variables. Los primeros simplifican el diseño y la construcción y los de sección variable optimizan la utilización de material y reducen el peso.

#### **Vigas de alma llena:**

Vigas de alma llena (laminadas). Los perfiles laminados se producen a partir de la laminación en caliente de palanquillas o tochos hasta darle la conformación deseada. Estos pueden ser perfiles doble T, cuya sección transversal está formada por dos alas y un alma de unión entre ellas. Los perfiles normalizados utilizados son el IPN (o doble T) y el IPE (doble T de ala ancha), Figura 2.13.

En los IPN, las caras exteriores de las alas son perpendiculares al alma y las interiores presentan una inclinación respecto a las exteriores. Las alas tienen el borde con arista exterior viva e interior redondeada.

En cambio, los IPE, las caras exteriores e interiores de las alas son paralelas entre sí y perpendiculares al alma, por lo que las alas tienen espesor constante. Las alas tienen el borde con aristas exteriores e interiores vivas.

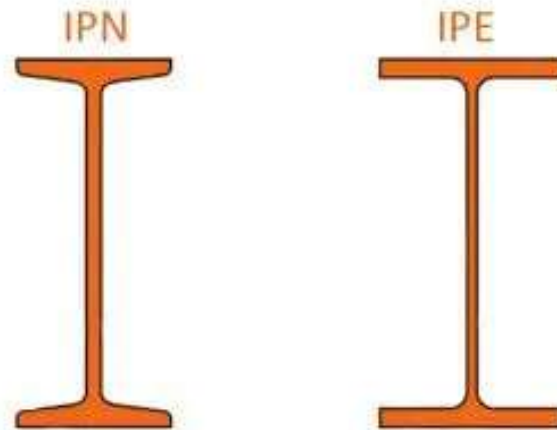


Figura 2.13: Perfiles normalizados

- Vigas de alma llena (armadas). Fabricados a partir de planchas planas de acero que son sometidas a corte, armado y soldadura, Figura 13. Una de las características de los perfiles soldados es que permiten la producción de perfiles de sección variable, lo cual tiene un efecto positivo en la reducción del peso.

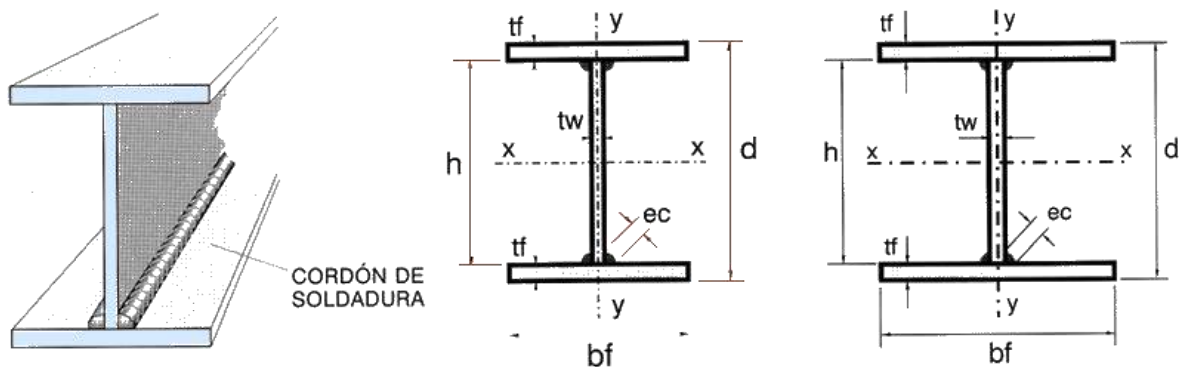


Figura 2.14: Vigas de alma llena

Todos los perfiles doble T presentan un buen comportamiento para la flexión provocada por un momento flector cuya dirección sea perpendicular al alma central, constituyendo una solución muy económica. Estos perfiles no tienen un adecuado comportamiento ante un momento flector perpendicular a las alas o en casos de flexión desviada. Sin embargo, el principal problema que presentan es su escasa resistencia frente a la torsión.

Para pequeñas luces y baja capacidad se utilizan preferentemente las vigas de perfiles laminados, ya que estos no necesitan de ninguna elaboración de taller, por lo tanto, resultan más económicas. Para luces y cargas importantes se recurre a las vigas armadas, ya que los perfiles laminados tienen la limitación del largo en el cual se fabrican, aunque requieren mayor cantidad de mano de obra.

### Viga cajón:

Fabricados a partir de planchas planas de acero que son sometidas a corte, armado y soldadura, formando un perfil de sección transversal rectangular, Figura 15. Cuando resulte necesario, las almas deben ser rigidizadas con refuerzos longitudinales y con placas transversales que se colocan distanciadas cierta longitud a lo largo del puente, para transmitir la carga de las ruedas del carro a las almas de las vigas.

Se utilizan para grandes luces donde el peso propio de la viga principal debe ser minimizado y en los casos donde es necesario reducir el tamaño de la estructura que soporta la carga, con la consecuente disminución del costo total de construcción. Además de estas ventajas se pueden mencionar la sencillez requerida en su fabricación, la alta resistencia ante esfuerzos de flexión y torsión.

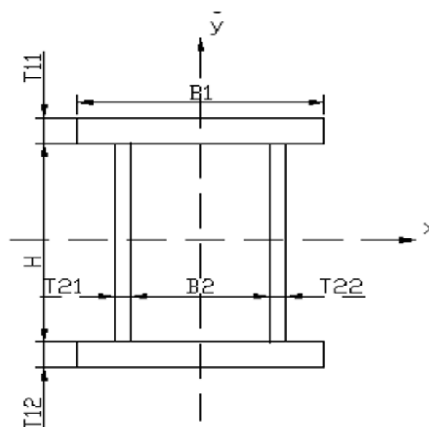


Figura 2.15: Vigas de tipo cajón

### 2.3.3 Viga testera

Las vigas testeras o simplemente testeros son las vigas laterales sobre las que descansa la viga principal y que se desplaza mediante ruedas sobre los rieles, derivando los esfuerzos provenientes de la viga principal a los apoyos (ruedas). Debido a la configuración que presenta la disposición del taller de Enox Ingeniería, en cuanto a la ubicación de las columnas de concreto y sus correspondientes ménsulas, limitaremos el estudio de los testeros, a los casos donde se tiene una configuración de puente grúa montado (ver 2.3.3).

Dentro de cada testero se alojan dos ruedas, de las cuales una es motriz y la otra conducida. De igual manera que en los mecanismos de traslación del carro (polipasto) se pueden clasificar en testeros accionados manualmente (mediante engranes o a empuje) y eléctricos, en aquellas aplicaciones en donde se requieran mayores capacidades de carga y/o grandes recorridos. Debido a esto último, será necesario en nuestro caso diseñar testeros de accionamiento eléctrico, y en los siguientes ítems se listan los detalles constructivos más importantes que deberán tenerse en cuenta en la etapa de diseño.

- La estructura de la testera deberá ser de acero estructural.
- Los testeros deberán ir equipados con amortiguadores (topes) para amortiguar eventuales golpes en caso de fallos en los finales de carrera, y de barredores de rieles para prevenir interferencias entre rieles y ruedas.
- Deberán ser instalados límites de carrera para una operación más segura.
- Las ruedas estarán montadas en ejes giratorios fabricados de acero forjado.
- Se utilizarán rodamientos de bolas o de rodillos.

Para el caso de las ruedas, se mencionan los siguientes:

- Para restringir el movimiento lateral, las ruedas serán de doble pestaña con bandas de rodadura mecanizadas con precisión.
- Puede que tengan tanto bandas de rodadura rectas como cónicas, ensamblados con el diámetro mayor hacia el centro de la luz.
- Serán de material adecuado y podrían ser tratadas térmicamente.
- Serán diseñadas para transportar la máxima carga bajo condiciones normales sin excesivo desgaste. La carga máxima de la rueda es aquella debida al levantamiento de la carga nominal y cuya posición del carro produce la máxima reacción en las ruedas.



Figura 2.16: Vigas testeras

#### 2.3.4 Viga testera

La unión viga – testero es la encargada de transferir los esfuerzos desde la viga principal a las vigas testeras, y es muy importante, ya que de la conexión depende la rigidez de la grúa para prevenir que esta se deforme en funcionamiento. Esto se realiza mediante distintos elementos y procedimientos que aseguren su rigidez.

#### **Placa de refuerzo abulonada**

Se suelda una placa de refuerzo en la parte inferior o lateral de la viga principal (perfil doble te o viga tipo cajón), de acuerdo con la configuración del puente grúa. De esta manera se posibilita una unión atornillada entre la viga principal y las testeras.

Con esto se consigue:

- Gran resistencia de la unión
- Facilidad de montaje/desmontaje en caso de sustitución o mantenimiento
- Fiabilidad de la unión

#### **Placa de refuerzo abulonada y soldada**

En algunos casos las placas no solo van abulonadas a las testeras, sino que también van soldadas, lo que le transfiere una resistencia mayor a la unión. La operación de soldadura se realiza luego del montaje de la grúa en el lugar de operación.

#### 2.3.5 Mecanismo de traslación del puente

Son unidades motoras eléctricas que sirven para mover el puente en su recorrido a lo largo de la nave. Cada mecanismo de translación está compuesto por una caja reductora, los elementos de transmisión (ejes, engranajes y rodamientos), freno y motor. Para ambos testeros se tienen dos motores gemelos de iguales características que funcionan sincronizados, para evitar movimientos oblicuos, gracias al microcontrolador incluido en la estructura

#### 2.3.6 Sistema de alimentación eléctrica

Estructuras de acero galvanizado llamadas “riel en C” son las que estructuran en las cuales se montan y desplazan los carros que soportan a los cables eléctricos planos, encargados de transportar la energía eléctrica y las señales de control al polipasto. Además, cuenta con un riel para la botonera que permite al operador ubicarse a una distancia segura con respecto a la carga cuando se utiliza mando de control cableado, Figura 2.17.





Figura 2.17: Cableado colgante del puente grúa

### 2.3.7 Rieles

Para el desplazamiento del puente grúa se utiliza, como medio de rodadura, ruedas de acero sobre un riel metálico.

Las características comunes presentes en estos rieles son:

- Permiten una fácil rodadura del elemento rodante
- Conforman un perfil equilibrado
- Presentan un valor adecuado de inercia

En forma general existen dos tipos de rieles para puentes grúas:

**Llantón o palanquilla:** Son carriles ordinarios y se emplean frecuentemente sobre los caminos de rodadura implementados sobre perfiles laminados o vigas cajón. Se suministran con las esquinas superiores redondeadas, achaflanadas o con superficie bombeada. Generalmente se emplean como rieles para el camino de rodadura del carro en un puente grúa birriel.

**Forma especial:** Se trata de perfiles diseñados para un uso específico. Aquellas formas de riel que posean alma gruesa son las más adecuadas para los requerimientos de carga muy altas presentes en puentes grúas, y a la vez soportan muy bien las exigencias de velocidad. Los estándares más habituales en Europa son la norma DIN 536 y MRS (Figura derecha), mientras que en EE. UU. son ASCE y CR (Figura izquierda).

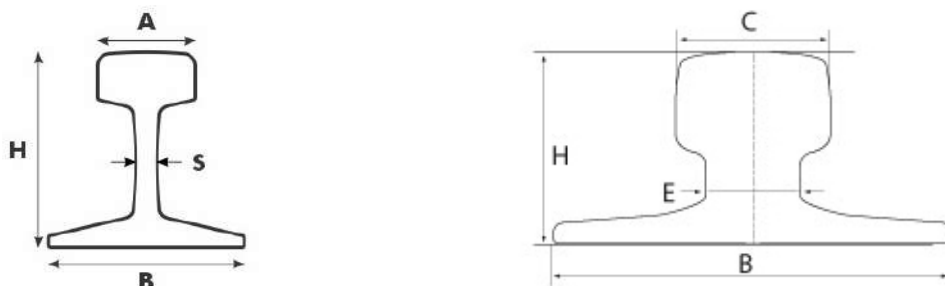


Figura 2.18: Perfil de riel

Los rieles deben ser sujetados a las vigas carrileras con mucha precisión, esto se logra de tres maneras:

1. Pernos ganchos: esta forma de sujeción presenta grandes ventajas ya que el riel puede ser fácilmente ajustado y alineado luego de la instalación, además la viga carrilera no debe ser perforada durante la instalación.

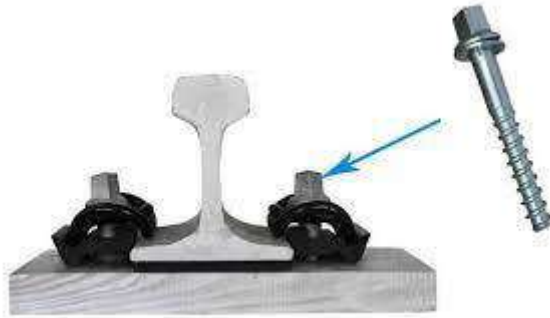


Figura 2.19: Sujeción mediante pernos

2. Clips: proveen un vínculo más fuerte que los pernos ganchos y permiten un rápido remplazo del riel fijado, en caso de falla. Su utilización implica perforar la viga carrilera, lo que aumenta el tiempo y costo de instalación.

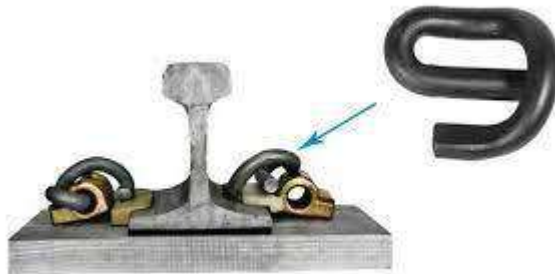


Figura 2.20: Sujeción mediante clips

3. Soldadura: el riel queda fuertemente vinculado con la viga carrilera, no se aconseja en casos en que es probable que los rieles deban ser remplazados o donde el asentamiento del riel puede requerir un realineamiento.

El diseño del camino de rodadura por carril metálico implica la selección y cálculo de la rueda y el propio carril. Para ello se parte de un número de ruedas determinadas, conociendo la carga por ruedas se selecciona el carril y sí es

necesario se aumenta el número de ruedas o diámetro de estas. Para realizar la selección de un riel adecuado, debe tenerse en cuenta básicamente tres factores:

- Ancho de la cabeza: las ruedas montadas en las vigas testeras demandaran un ancho efectivo de cabeza del riel mínimo (y también limitaran su tamaño máximo).
- Ancho del alma: el alma debe ser lo suficientemente fuerte como para soportar las solicitaciones transmitidas por la rueda (flexión, pandeo, entre otras).
- Material: el material deberá ser conveniente para la aplicación deseada. Esto es, que posea una alta resistencia al desgaste junto con una resistencia a la tensión adecuada. En algunos casos, se deberá considerar también la resistencia al impacto y la fragilidad.

#### 2.4 Clasificación según la Norma CMAA 70

La Norma CMAA clasifica a los puentes grúa en grupos de carga de acuerdo con las condiciones de servicio que se mencionan a continuación.

**Clase A (Uso poco frecuente):** Esta clase cubre a puentes grúa instalados en lugares como: plantas eléctricas, servicios públicos, salas de turbinas, sala de motores y estaciones de transformadores lugares donde se requiere manejo preciso de equipos a bajas velocidades con largos periodos de inactividad. Este tipo de mecanismo de elevación se usa para la instalación inicial de equipos y mantenimiento poco frecuente.

**Clase B (Servicio liviano):** Esta clase cubre a puentes grúa instalados en talleres de reparación, fábricas de ensamblaje, bodegas de almacenamiento liviano, entre otros lugares, donde las cargas a levantar son livianas y a velocidades lentas. Las cargas pueden variar de 2 a 5 elevaciones por hora, con un promedio de 3 metros de altura de elevación.

**Clase C (Servicio moderado):** Esta clase cubre a puentes grúa instalados en talleres mecánicos, fábricas de papel. Donde las cargas promedio al 50% de la capacidad nominal, con una tasa de trabajo entre 5 y 10 elevaciones por hora, con un promedio de 4,5 metros de altura de elevación, sin sobrepasar el 50% de la capacidad nominal de la elevación.

**Clase D (Servicio pesado):** Esta clase cubre a puentes grúa instalados en talleres de maquinaria pesada, talleres de fundiciones, depósitos de aceros, depósitos de contenedores, bodegas de madera. En esta clase de servicio las cargas se aproximan al 50% de la capacidad nominal, se manejan a altas velocidades y realizan entre 10 y 20 levantamientos por hora, con un promedio de 4,5 metros de altura de elevación, no sobrepasan el 65% de la capacidad nominal.

**Clase E (Servicio severo):** Esta clase cubre a puentes grúa con capacidad de manejar cargas que se acerquen a la nominal durante toda su vida útil. Las aplicaciones cubren grúas de cuchara magnética para manejo de chatarra, fábricas cementeras, manejo de contenedores, contempla 20 o más levantamientos por hora a la capacidad nominal o cerca de ella.

**Clase F (Servicio severo continuo):** Esta clase cubre a puentes grúa son capaces de manejar cargas que se aproximen o sean iguales a la capacidad nominal, en condiciones de servicio a lo largo de su vida útil. Las aplicaciones incluyen grúas específicamente diseñadas para realizar tareas críticas que sean parte fundamental de un proceso de producción. Estas grúas deben brindar la más alta confiabilidad y requieren facilidad de mantenimiento.

### 3. Diseño

#### 3.1 Resumen

Teniendo en cuenta lo estudiado en la sección 2.3 y los requisitos del cliente (ver 1.2.2) se eligió opción más conveniente a un puente grúa con dos vigas principales, es decir birriel, ya que la carga nominal requerida (5 Tn) y la luz a cubrir 9 metros es congruente con la utilización de un tipo de puente grúa birriel según distintos fabricantes de este mecanismo. También se consideró que la altura del gancho es un factor limitante para nuestro caso de estudio.

Con respecto a los polipastos se aplicó el caso en que el carro se desplaza por las caras superiores de las vigas principales, ya que esta disposición es la más común en puentes grúas birrieles.

En cuanto a la configuración principal del puente fue inmediato optar por un puente grúa montado, es decir, con testeras que apoyen sobre las vigas carrileras (Top Running Single Girder Crane), debido a que la nave existente ya cuenta con columnas y ménsulas especialmente diseñadas y construidas para tal fin.

Los testers serán de dos ruedas y contarán con motores independientes idénticos.

El tipo de junta (unión) entre la viga principal y la testera es del tipo viga principal superior, en la cual la viga principal apoya sobre la testera. Esta unión se logró con

una placa de refuerzo soldada en la viga principal, posibilitando la unión a los testeros mediante bulones.

### 3.2 Parámetros iniciales para el diseño

En esta sección vamos a establecer tanto las geometrías del taller, la distribución en planta y también las prestaciones que va a tener el puente grúa.

### 3.3 Descripción de la ubicación del puente grúa dentro del taller

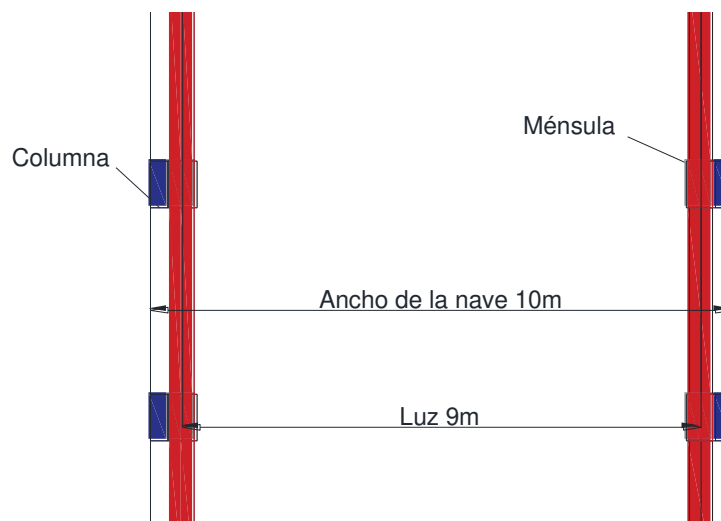


Figura 3.1: Distancia entre columnas de Enox Ingeniería

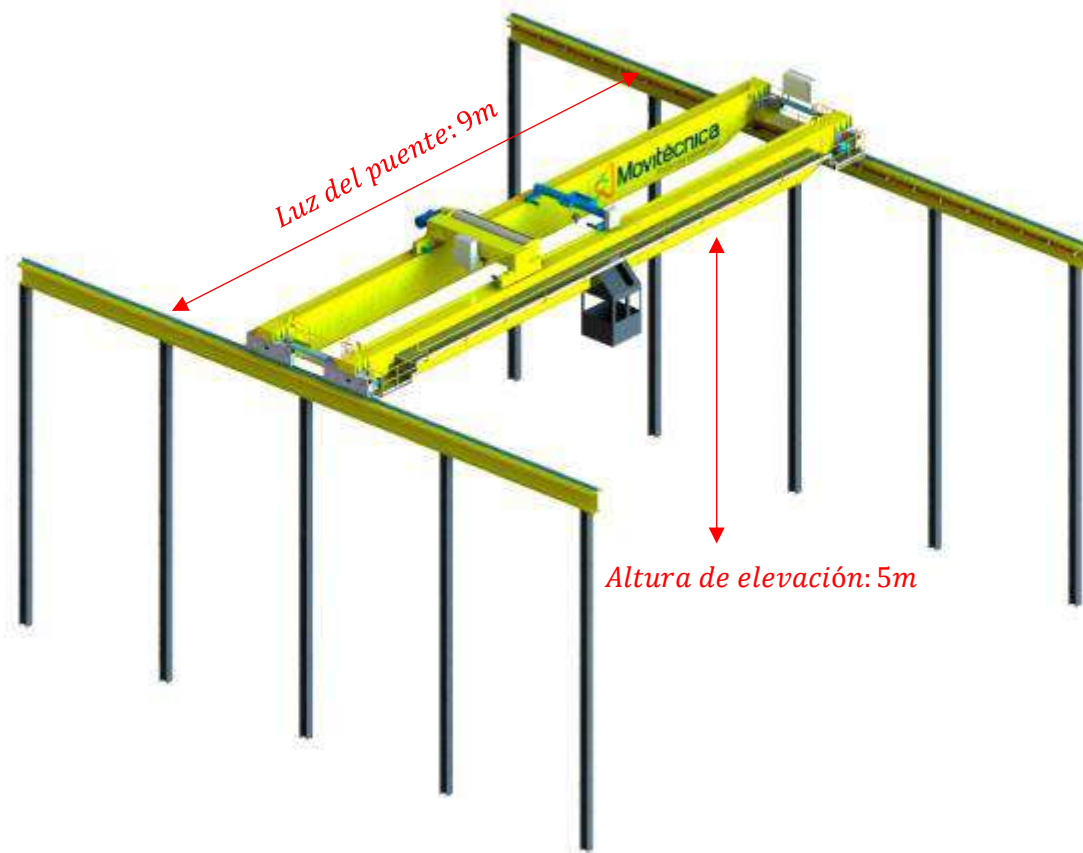


Figura 3.2: Parámetros de trabajo del puente grúa

## 4. Diseño y cálculo

### 4.1 Selección de polipasto

#### 4.1.1. Selección por norma CMAA

Para la elección del polipasto vamos a determinar su grado de funcionamiento mediante la norma CMMA.

Primero necesitaremos el valor de K (Factor de carga nominal) que se determina mediante la siguiente ecuación.

$$K = \sqrt[3]{(W_1)^3 \cdot P_1 + (W_2)^3 \cdot P_2 + (W_3)^3 \cdot P_3 + \dots + (W_n)^3 \cdot P_n}$$

Ecuación 4.1.1: Factor K



*W: Magnitud de carga*

*P: Probabilidad de carga*

*K: Factor de carga nominal*

El valor de carga obtenido  $K = 0,533$  a su vez es una grúa que tiene un uso regular de manera intermitente (Columna N2) por lo que podemos seleccionar mediante la tabla X la clasificación correspondiente para nuestro mecanismo.

**DEFINITION OF CMAA CRANE SERVICE CLASS  
IN TERMS OF LOAD CLASS AND LOAD CYCLES**

| LOAD CLASS     | LOAD CYCLES  |                                       |                                     |  | k = MEAN EFFECTIVE LOAD FACTOR |
|----------------|--|---------------------------------------|-------------------------------------|--|--------------------------------|
|                | N <sub>1</sub>   | N <sub>2</sub>                        | N <sub>3</sub>                      | N <sub>4</sub>                             |                                |
| L <sub>1</sub> | A  | B                                     | C                                   | D  | 0.35 – 0.53                    |
| L <sub>2</sub> | B  | C                                     | D                                   | E  | 0.531 – 0.67                   |
| L <sub>3</sub> | C  | D                                     | E                                   | F  | 0.671 – 0.85                   |
| L <sub>4</sub> | D  | E                                     | F                                   | F  | 0.851 – 1.00                   |
|                | Irregular occasional use followed by long idle periods | Regular use in intermittent operation | Regular use in continuous operation | Regular use in severe continuous operation |                                |

Figura 4.1.1: Clase de servicio del puente grúa CMMA 70

permite clasificar la grúa como clase C. Esta clase de servicios abarca puentes grúa cuyas especificaciones de diseño están enfocadas en trabajos livianos y moderados, donde se trabajen con cargas que en promedio no superen el 50% de la capacidad.

#### 4.1.2. Selección por norma FEM

Muchos fabricantes de puentes grúa usan la norma FEM para la clasificación de izaje de cargas una vez que especifican la clase de servicio y ciclos de carga.

La norma FEM es la Federación Europea de Manejo de Materiales y son los responsables de publicar estándares de manejo de materiales en la industria

#### 4.1.3 Determinación del espectro de carga

Es un diagrama que indica la exigencia a la que estará sometido el polipasto durante un tiempo de operación. Se distinguen 4 tipos de espectros de carga, ligero, medio, pesado y muy pesado.

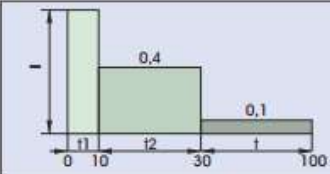
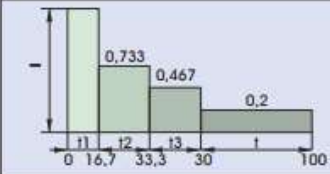
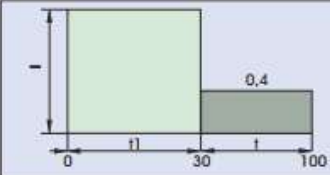
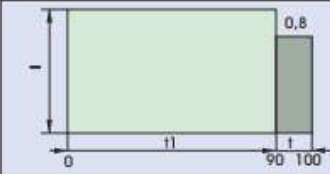
| Tipo de Sollicitación   | Estado de sollicitación teórico.  | Tiempo medio diario de funcionamiento en horas. |          |       |      |
|---|---|---|----------|-------|------|
| 1<br>Ligero   |  <p>(<math>k \leq 0.50</math>)<br/>Mecanismos sometidos excepcionalmente a la sollicitación máxima y usualmente a sollicitaciones muy bajas.</p>         | $\leq 2$  | 2-4      | 4-8   | 8-16 |
| 2<br>Medio  |  <p>(<math>0.50 &lt; k \leq 0.63</math>)<br/>Mecanismos sometidos ocasionalmente a la sollicitación máxima y usualmente a sollicitaciones muy bajas.</p> | $\leq 1$  | 1-2      | 2-4   | 4-8  |
| 3<br>Pesado   |  <p>(<math>0.63 &lt; k \leq 0.80</math>)<br/>Mecanismos sometidos frecuentemente a la sollicitación máxima y usualmente a sollicitaciones medias.</p>    | $\leq 0.5$                                      | 0.5-1    | 1-2   | 2-4  |
| 4<br>Muy Pesado   |  <p>(<math>0.80 &lt; k \leq 1</math>)<br/>Mecanismos sometidos usualmente a sollicitaciones cercanas a las máximas.</p>                                 | $\leq 0.25$                                     | 0.25-0.5 | 0.5-1 | 1-2  |
| Mecanismo calculado de acuerdo con las normas F.E.M. 9511 y la DIN. 15020 |   | M3  | M4       | M5    | M6   |

Figura 4.1.3: Espectro de carga (Fuente: Catálogo de polipastos GH Crane & Components)

La información de las cargas y sus porcentajes de ocurrencia fue obtenida mediante un estudio de campo realizado en conjunto con el cliente.

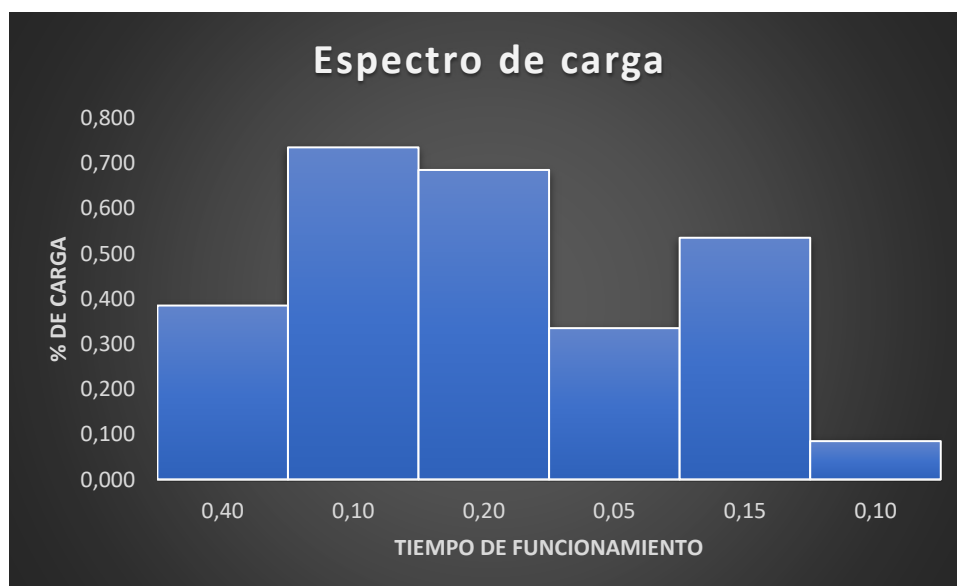


Figura 4.2.3: Espectro de carga caso de estudio

Comparando el espectro de carga obtenido para nuestro caso de estudio con los que se encuentran en la imagen anterior, se identifica que nuestro polipasto trabajará bajo un régimen **MEDIO** debido a que la carga máxima que levantará será del 70% de la capacidad en un periodo del 10% del tiempo.

#### 4.1.4 Tiempo medio diario de funcionamiento

Para poder determinar en definitiva el polipasto debemos realizar un cálculo del tiempo medio de funcionamiento que trabajara nuestro mecanismo diariamente.

Lo antes mencionado se calcula mediante la siguiente ecuación

$$t = \frac{2 \cdot H \cdot N \cdot T}{V \cdot 60}$$

*Ecuación 4.1.4: Tiempo diario de funcionamiento*

*t: Tiempo medio diario de funcionamiento*

*H: Altura de elevación del puente grúa*

*N: Número de ciclos de trabajo por hora*

*V: Velocidad de elevación*

El número de ciclos por hora de trabajo lo definimos en 8 porque en ese lapso se realizarán en promedio 7 ciclos de ascenso y descenso. Como tiempo de funcionamiento diario tomamos 8 horas debido a que es el horario neto de producción y como velocidad promedio de elevación tomamos 4 m/min de acuerdo con el cliente los materiales y equipamiento con la norma CMMA para el levantamiento de cargas.

Por último, se define la altura de elevación del puente grúa como 4m conforme a lo relevado en el taller.

$$t = \frac{2 \cdot 4m \cdot 7 \frac{\text{ciclos}}{h} \cdot 8h}{4 \cdot 60} = 1,86 \frac{h}{\text{dia}}$$

#### 4.1.5 Selección del grupo de funcionamiento

Una vez obtenido el espectro de carga y el periodo de funcionamiento de nuestro puente grúa se procede a la elección de nuestro polipasto.

Con un tipo de sollicitación media de trabajo y un tiempo medio de trabajo  $\leq 2$  horas diarias podemos clasificar al polipasto dentro del grupo **1A<sub>m</sub> FEM / M4 DIN / Clase C CMMA**.

| Hoist Classification |          |     | Corresponding crane class |                    | Typical application  |
|----------------------|----------|-----|---------------------------|--------------------|--|
| FEM                  | HMI      | ISO | CMMA                      | DIN 15018 and sim. | DIN 15018 and sim.   |
| 1C <sub>m</sub>      | H1       | M2  | Class A                   | H1/B2              | Maintenance crane in machine house. Used only occasionally.  |
| 1B <sub>m</sub>      | H2       | M3  | Class B                   | H1/B2              | Light duty work shop crane, single shift operation, low average loads. Maximal load lifted occasionally.         |
| 1A <sub>m</sub>      | H3       | M4  | Class C                   | H2/B3              | Light/Medium duty work shop crane, single shift operation, medium average loads. Occasional lifting of max load. |
| 2 <sub>m</sub>       | H4       | M5  | Class D                   | H2/B3              | Medium/heavy duty work shop crane, 1 or 2 shift operation. Regular medium and heavy loads.                       |
| 3 <sub>m</sub>       | H4       | M6  | Class D                   | H2/B3 or H3/B4     | Heavy duty crane, 2 shift operation. Nominal load regularly lifted. Traverse or other dead loads below the hook. |
| 4 <sub>m</sub>       | H4 or H5 | M7  | Class D or Class E        | H3/B4 or H4/H6     | Very heavy duty crane, 2-3 shift operation, grab or magnet below the hook. Regular heavy loads.                  |

Figura 4.1.5: Clasificación de mecanismos de izaje (Fuente <https://www.proservcrane.com/Resources/DutyClassifications>)

#### 4.1.6. Selección de polipasto

A través de los fundamentos previamente analizados procedemos a seleccionar el polipasto de la marca FORVIS de tipo monorriel, este cuenta con una capacidad de carga de 5 toneladas y se encuentra dentro de grupo de funcionamiento **1A<sub>m</sub> FEM**.



Figura 4.1.6: Polipasto birriel marca Forvis

La velocidad ideal para las distintas especificaciones que podría llegar a tener un puente grúa se pueden obtener considerando las recomendaciones que otorga la norma CMMA 70.

La capacidad de carga que necesita nuestro cliente es de 5 Toneladas para poder aspirar a trabajos de mayor capacidad en un futuro cercano.

Con cooperación de Enox Ingeniería se determinaron las velocidades óptimas de operación para los trabajos más frecuentes es que se realizan dentro del taller.

| Movimiento              | Régimen | Norma CMMA 70        |                   | Velocidad de polipasto Forvis [m/min] |
|-------------------------|---------|----------------------|-------------------|---------------------------------------|
|                         |         | Velocidad (pies/min) | Velocidad (m/min) |                                       |
| Elevación (Gancho)      | Lento   | 14                   | 6                 | (4,41 - 7,61)                         |
| Transversal (Testerías) | Lento   | 50                   | 15                | (13 - 16)                             |
| Longitudinal (Puente)   | Lento   | 50                   | 15                | 15                                    |

*Nota: La velocidad del movimiento longitudinal está determinada por el motorreductor seleccionado.*

Tabla 4.1.6: Velocidades del puente grúa

## 4.2 Determinación y evaluación de cargas

### **Análisis de carga**

Las estructuras que conforman los puentes grúas están sometidas a cargas variables y repetitivas que varían con el tiempo, por lo cual identificar correctamente las cargas que actúan sobre este mecanismo es fundamental para lograr un buen diseño y posteriormente su correcto funcionamiento. La norma CMMA 70 clasifica las siguientes cargas a considerar para el diseño de un puente grúa.

### **Carga muerta**

Esta carga corresponde al peso de todas las partes efectivas de la estructura del puente grúa como son: vigas principales, testerías, carrileras y todos los mecanismos involucrados como los rieles, ruedas, reductores etc.

(Podemos obtener el valor de esta carga cuando ya tenemos todo lo demás)

### ***Carga del polipasto***

Esta carga corresponde al peso del polipasto eléctrico (aparejo y carro)

Según el catálogo seleccionado de la marca FORVIS nuestro conjunto pesa 740 Kg

### ***Carga levantada***

La carga levantada consiste en la carga de trabajo y el peso de los dispositivos de elevación utilizados para manejar y sujetar la carga a izar, como por ejemplo el gancho, imán cuchara y los demás elementos que complementan el sistema de elevación

## 4.3 Análisis de Cargas

La estructura del puente en servicio está sujeta a cargas variables que a medida que transcurre el tiempo inducen tensiones que comienzan a interactuar en todos los mecanismos interconectados del puente grúa.

La norma CMMA 70 en la sección 3.3.2 define que todas las cargas que tienen influencia en el análisis de resistencia se denominan cargas principales, entre ellas tenemos el peso muerto de la estructura las cuales siempre están presentes, la carga de levantamiento que se produce con cada ciclo de trabajo, las fuerzas de inercia y la propia carga del polipasto.

### ***Fuerzas de inercia verticales***

Las fuerzas de inercia verticales son aquellas producidas por el movimiento del puente grúa con sus componentes y aquellas debidas a la elevación o descenso de la carga mediante el polipasto. Estas cargas adicionales pueden incluirse de manera simplificada al aplicar por separado un factor de carga muerta y para la carga de alzamiento mediante las cuales las cargas de acción vertical deben multiplicarse.

### ***Fuerzas de inercia verticales (DLF)***

Este primer factor cubre la carga muerta y la carga del polipasto en función de la velocidad de desplazamiento en pies por minuto, se calcula empleando la siguiente ecuación.

$$DLF = 1.1 < 1.05 + \frac{\text{Velocidad de desplazamiento (FPM)}}{2000} \leq 1.2$$

*Ecuación 4.3: Fuente norma CMMA sección 3.3.2.1.1.4.1*



**SUGGESTED OPERATING SPEEDS  
FEET PER MINUTE  
FLOOR CONTROLLED CRANES**

| CAPACITY<br>IN<br>TONS | HOIST |        |      | TROLLEY |        |      | BRIDGE |        |      |
|------------------------|-------|--------|------|---------|--------|------|--------|--------|------|
|                        | SLOW  | MEDIUM | FAST | SLOW    | MEDIUM | FAST | SLOW   | MEDIUM | FAST |
| 3                      | 14    | 35     | 45   | 50      | 80     | 125  | 50     | 115    | 175  |
| 5                      | 14    | 27     | 40   | 50      | 80     | 125  | 50     | 115    | 175  |
| 7.5                    | 13    | 27     | 38   | 50      | 80     | 125  | 50     | 115    | 175  |
| 10                     | 13    | 21     | 35   | 50      | 80     | 125  | 50     | 115    | 175  |
| 15                     | 13    | 19     | 31   | 50      | 80     | 125  | 50     | 115    | 175  |
| 20                     | 10    | 17     | 30   | 50      | 80     | 125  | 50     | 115    | 175  |
| 25                     | 8     | 14     | 29   | 50      | 80     | 125  | 50     | 115    | 175  |
| 30                     | 7     | 14     | 28   | 50      | 80     | 125  | 50     | 115    | 150  |
| 35                     | 7     | 12     | 25   | 50      | 80     | 125  | 50     | 115    | 150  |
| 40                     | 7     | 12     | 25   | 40      | 70     | 100  | 40     | 100    | 150  |
| 50                     | 5     | 11     | 20   | 40      | 70     | 100  | 40     | 100    | 150  |
| 60                     | 5     | 9      | 18   | 40      | 70     | 100  | 40     | 75     | 125  |
| 75                     | 4     | 9      | 15   | 40      | 70     | 100  | 30     | 75     | 125  |
| 100                    | 4     | 8      | 13   | 30      | 60     | 80   | 25     | 50     | 100  |
| 150                    | 3     | 6      | 11   | 25      | 60     | 80   | 25     | 50     | 100  |

Tabla 4.3: Velocidades sugeridas de operación por CMMA

De la tabla anterior determinamos los valores para el factor de carga muerta sugeridos para el carro eléctrico y el factor de carga muerta para nuestro puente de 5tn.

Debido a las características de operación del cliente se optó por tomar las velocidades más bajas aconsejadas por la norma.

| Tipo de movimiento           | Régimen | Norma CMMA      | Velocidades Polipasto Forvis |
|------------------------------|---------|-----------------|------------------------------|
|                              |         | Velocidad [FPM] | [FPM]                        |
| <b>Elevación (Hoist)</b>     | Lento   | 14              | 14 - 32                      |
| <b>Transversal (Trolley)</b> | Lento   | 50              | 14 - 24                      |
| <b>Longitudinal (Crane)</b>  | Lento   | 50              | -                            |

Tabla 4.3.1: Velocidades seleccionadas

Debido a las características de operación del cliente se optó por tomar las velocidades más bajas permitidas.

Según establece la norma CMMA 70 en la ecuación 1, el valor mínimo aconsejable de DLF = 1.1 y nuestro caso de estudio da como resultado DLF = 1.075 optamos por

tomar el mínimo aconsejable. ese presenta en la siguiente tabla los valores del Factor de carga muerta tanto para el polipasto como para el puente grúa.

|                    | <b>Velocidad PPM</b> | <b>Factor de Carga Muerta</b> |
|--------------------|----------------------|-------------------------------|
| <b>DLF (Hoist)</b> | 50                   | 1.1                           |
| <b>DLF (Crane)</b> | 50                   | 1.1                           |

Tabla 4.3.2: Factores de carga muerta

### **Factor de carga de alzamiento (HFL)**

Este segundo factor se aplica al movimiento de la carga nominal en la dirección vertical, y cubre las fuerzas de inercia, las fuerzas debidas al levantamiento repentino de la carga por el polipasto y las incertidumbres por otras influencias. Este factor de carga es 0,5% de la velocidad de elevación (pies por minuto) del polipasto, pero no debe ser menor al 15% o mayor al 50%.

$$HFL = 0.15 \leq 0.005 \times \text{Velocidad de Elevación (FPM)} \leq 0.5$$

Ecuación 4.3.1

La velocidad de elevación del gancho que se obtuvo anteriormente se la introduce en la ecuación 2 para poder determinar el factor de alzamiento. Respetando los límites de dicha ecuación según recomienda la norma CMMA 70.

|                    | <b>Velocidad [FPM]</b> | <b>Factor de Carga Muerta</b> |
|--------------------|------------------------|-------------------------------|
| <b>HFL (Hoist)</b> | 14                     | 0.15                          |

Tabla 4.3.3: Factores de carga de alzamiento

### **Cargas de inercia debido al manejo (IFD)**

Estas fuerzas de inercia se producen durante la aceleración o desaceleración en los desplazamientos del puente grúa y del polipasto

Según la norma CMMA 70 en la sección 3.3.2.1.1.5 se estipula que estas fuerzas de inercia serán un porcentaje de las cargas verticales. Este porcentaje está definido por un factor llamado Cargas de inercia debido al manejo el cual será 7,8 veces la tasa de aceleración o desaceleración medido en  $\frac{\text{pies}}{\text{s}}$  y no deberá ser menor que el 2.5%.

GUIDE FOR TRAVEL MOTION  
TYPICAL ACCELERATION RATES RANGE<sup>1</sup>

| Free Running<br>Full Load Speed |              | a = Acceleration<br>Rate in<br>Feet per Sec. per Sec.<br>for AC or DC <sup>2</sup> Motors |
|---------------------------------|--------------|---|
| Ft. per Min.                    | Ft. per Sec. |   |
| 60                              | 1.0          | .25 Min.  |
| 120                             | 2.0          | .25 - .80   |
| 180                             | 3.0          | .30 - 1.0   |
| 240                             | 4.0          | .40 - 1.0   |
| 300                             | 5.0          | .50 - 1.1   |
| 360                             | 6.0          | .60 - 1.1   |
| 420                             | 7.0          | .70 - 1.2   |
| 480                             | 8.0          | .80 - 1.3   |
| 540                             | 9.0          | .90 - 1.4   |
| 600                             | 10.0         | 1.0 - 1.6   |

Tabla 4.3.4: Tasa de aceleraciones típicas

De la tabla de aceleraciones típicas que se encuentra en la norma CMMA 70 (N°3.3.2.1.1.5 de dicha norma) podemos seleccionar la tasa de aceleración recomendada para el puente grúa y para el polipasto, teniendo en cuenta que tanto el puente como el carro se mueven a una velocidad lenta de 50 pies/min deberemos tomar la tasa mínima recomendada que será 0.25 pies/s<sup>2</sup>,

$$IFD = 7.8 \times 0.25 = 1.95$$

Ecuación 4.3.2

El factor obtenido para nuestro caso se encuentra por debajo del mínimo especificado por la norma CMMA por lo tanto vamos a definirlo como **IFD = 2.5%**

Entonces multiplicando el factor obtenido anteriormente por la fuerza vertical se determina la carga de inercia debido al manejo para el movimiento del puente será:

$$IFD = F_{vertical} \times \text{Factor IFD}$$

$$IFD = (LL + TL + DL * L) \times 0.025$$

Ecuación 4.3.3

### **Combinación de cargas**

La combinación de cargas para el puente grúa del caso analizado se va a determinar mediante lo estipulado en la norma CMMA 70, apartado **3.3.2.4**.

Se va a seleccionar la carga principal para un uso regular (**Caso 1**).

$$P = DL(DLF_B) + TL(DLF_T) + LL(1 + HFL) + IFD$$

*Ecuación 4.3.4*

Debido a que aún no se determinó la carga muerta  $DL$ , vamos a utilizar la ecuación 5 despreciando el peso muerto de la estructura para poder obtener la carga que es soportada por la viga principal.

$$P = TL(DLF_T) + LL(1 + HFL)$$

$$P = 740kg(1.1) + 5000kg(1 + 0.15)$$

$$P = 6564 \text{ kgf}$$

### 4.4 Introducción al diseño estructural y mecánico

En el diseño estructural se toman como ejes de estudio principales al análisis ingenieril de tensiones, análisis de pandeo y deflexión, teniendo presente a todas las solicitaciones a las que estarán sometidos las distintas partes de las estructuras, aplicado a los casos de estudio que exige la norma CMAA N° 74. No fue necesario analizar los efectos de las cargas repetidas (análisis de fatiga) debido a que su frecuencia de operación es significativamente baja.

Según exige la norma en el diseño estructural se deben tener en cuenta los siguientes casos de estudio:

- Caso I: el puente en uso regular bajo cargas principales
- Caso II: el puente en uso regular bajo cargas principales y cargas adicionales
- Caso III: el puente en uso regular bajo cargas principales y cargas extraordinarias

Finalmente se dimensionarán los componentes de acuerdo con las situaciones más desfavorables de todas las presentadas.

El diseño estructural se efectuará sobre las siguientes partes:

- Viga principal
- Vigas de las testeras
- Unión viga principal – testeras

Cabe aclarar que cuando se habla de diseño mecánico no solo se estudia que los componentes cumplan con las prestaciones requeridas por el servicio a partir de su selección por catálogos comerciales, sino también la correcta implementación de estos componentes a la estructura, teniendo en cuenta las variables velocidad, aceleración y posición.

El diseño mecánico se efectúa sobre los siguientes mecanismos:

- Mecanismo de traslación del puente
- Polipastos

## 4.5 Cálculo de viga principal

### 4.5.1 Caso I

La distancia entre los apoyos de los extremos se define en 7m debido al espacio físico del taller y también por petición del cliente.

Para un primer prediseño se analizará la viga principal la cual podemos considerar en este análisis como simplemente apoyada en ambos extremos con una carga puntual en el centro. (*Hellmut Herness, Aparatos de elevación y transporte continuo tomo 2, pág. 124*)

Vamos a realizar el cálculo en distintas etapas partiendo de la consideración que hace la norma americana que determina una flecha máxima admisible según la luz que tendrá el puente grúa. Una vez obtenida la flecha máxima y con las cargas definidas por la capacidad del mecanismo de elevación procederemos a la obtención de los perfiles necesarios o secciones de vigas de alma llena del tipo encajonada.

#### 4.5.1.1 Etapa 1: cálculo de flecha máxima admisible

La norma CMMA 74, en el apartado **3.5.5.1** define que la máxima flecha admisible para la viga principal no debe ser superior al valor  $\frac{l}{888}$  como se indica en la ecuación X.

$$y_{max} = \frac{l}{888} = \frac{9000mm}{888} = 10,13mm$$

Ecuación 4.5.1.1

$y_{max}$ : Flecha máxima admisible

$l$ : Distancia entre los apoyos

#### 4.5.1.2 Etapa 2: cálculo de momento de inercia referencial

Como segundo paso vamos a estimar el momento de inercia de la viga que necesitamos con una carga aplicada del doble de magnitud de la capacidad de nuestro puente para considerar cargas dinámicas y posibles incertidumbres. (Mirco D Chapetti, *Mecánica de materiales* pág.374)

Considerando que será un puente grúa birriel la carga principal se dividirá en dos vigas, por lo tanto, para la magnificación mencionada en el párrafo anterior será de 5000kgf.

Como primer prediseño vamos a determinar el valor de momento de inercia necesario para satisfacer nuestra cota de flecha máxima con una carga cuyo valor será el doble de la capacidad del puente requerido.

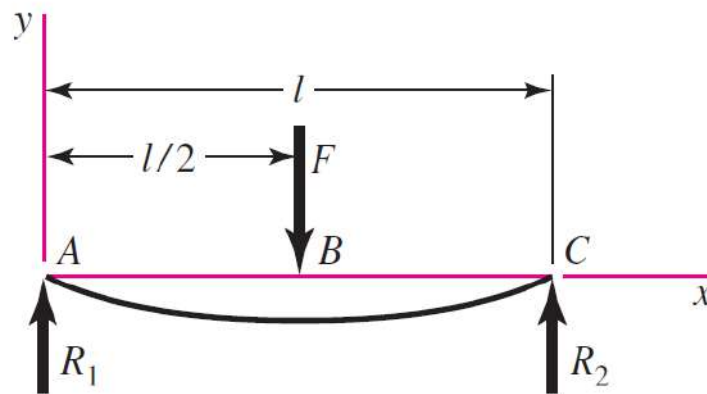


Figura X:4.1.1.2

$$y_f = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I}$$

Ecuación 4.1.1.2

$y_f$ : Flecha máxima producida por las cargas puntuales equidistantes

$F$ : Carga puntual

$a$ : Distancia entre el viículo y la carga puntual

$l$ : Distancia entre vínculos

$E$ : Módulo de Young

$I$ : Momento de inercia de la viga



$$I = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot y_f}$$

$$I = \frac{24525N \cdot (9m)^3}{48 \cdot (200 \cdot 10^9 Pa) \cdot 0,01013m}$$

$$I = 0,00034713 \text{ m}^4 = 34713 \text{ cm}^4$$

El cálculo del momento de inercia realizado en el apartado anterior se realizó teniendo en cuenta el módulo de elasticidad ( $E = 200 \text{ GPa}$ ) correspondiente a un acero ASTM-A36.

#### 4.5.1.3 Etapa 3: Selección de la sección transversal

Uno de los puntos fundamentales del proyecto consistió en la selección de la viga principal y sus dimensiones. La caracterización del tipo de sección fue una etapa indispensable en el diseño del puente grúa, debido a que su geometría determinó en gran medida su resistencia y estabilidad.

En nuestro caso se optó por una sección de viga principal encajonada por las siguientes razones:

- Es necesario reducir el tamaño de la estructura que soporta la carga
- La limitación de altura debido a las características del taller del cliente fue condicionante, y esto hizo necesario optar por un polipasto birriel para mejorar las condiciones de operación.
- Sencillez requerida para su fabricación.
- El polipasto y carro eléctrico producen momentos flectores y torsiones elevados mientras están en servicio (sobre todo en el arranque) y estas secciones encajonadas ofrecen elevada resistencia a la flexión y torsión.

La norma CMMA 70 en el apartado **3.1.1** especifica que los aceros estructurales que se usan para la fabricación de este tipo de mecanismo de elevación deben estar acorde a las propiedades mecánicas del acero ASTM- A36. Al ser este un acero normalizado bajo normas americanas vamos a tener que optar por un acero nacional con características similares.

Se opta por escoger chapas de acero A 36 como aconseja la norma CMMA 70 en la sección 3.1.1 cuyas dimensiones serán 360mm x 1/2" y la otra chapa 220mm x 1/2".

Se proponen estas dimensiones debido a que existen ciertas limitaciones que impone la norma y se detallan a continuación:

La norma CMMA 70, en la sección 3.5.1 nos indica las limitaciones para el diseño de vigas encajonadas, la cual debe cumplir con los siguientes parámetros.

$$\frac{L}{h} \leq 25$$

Ecuación 4.5.1.3

$$\frac{L}{b} \leq 65$$

Ecuación 4.5.1.3.1

$L$  = Luz del puente

$b$  = Ancho de la viga cajón

$h$  = Altura de la viga cajón

$$\frac{9000\text{mm}}{360\text{mm}} \leq 25$$

$$\frac{9000\text{mm}}{140\text{mm}} \leq 31,81$$

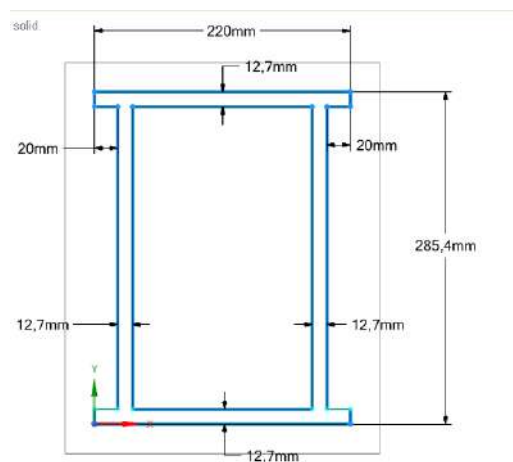


Figura 4.5.1.3: Sección viga principal

Se produce a calcular la inercia respecto al eje X de la sección escogida, considerando que esta es simétrica y aplicando el teorema de Steiner, se plantea la ecuación X

$$I_{xx} = 2(I_x \text{Placa} + A d_y^2)$$

Ecuación 4.5.1.3.2

$$I_{xx} = 2 \left[ \left( \frac{b \cdot h^3}{12} \right) + (b \cdot h) d_y^2 \right] + 2 \left[ \left( \frac{b \cdot h^3}{12} \right) + (b \cdot h) d_y^2 \right]$$

$$I_{xx} = 2 \left[ \left( \frac{1,27 \cdot (33,46 \text{cm})^3}{12} \right) \right] + 2 \left[ \left( \frac{22 \cdot (1,27 \text{cm})^3}{12} \right) + (22 \cdot 1,27)(17,365)^2 \right]$$

$$I_{xx} = 24786 \text{ cm}^4$$

El momento de inercia obtenido es menor al referencial no obstante a continuación se realizarán una serie de cálculos que verificarán el valor obtenido mediante la norma utilizada.

Ahora procedemos a obtener la masa por metro lineal de la placa de acero que estará soldada a los perfiles con su respectiva sección.

Según la tabla de propiedades del fabricante SiderSA, una chapa de acero ASTM A 36 tiene una densidad de 7,85 gr/cm<sup>3</sup>

$$m_{\text{sección}} = A \cdot \rho$$

Ecuación 4.5.1.3.3

$$m_{\text{sección}} = 2 \cdot \left[ (33,46 \cdot 1,27) + (18 \cdot 1,27) \cdot 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

Ecuación 11

$$m_{\text{sección}} = 2 \cdot \left[ \frac{(33,46 \text{cm} \cdot 1,27 \text{cm}) + (18 \text{cm} \cdot 1,27 \text{cm}) \cdot 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{100^2} \right]$$

$$m_{\text{sección}} = 102,6 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

La masa total del cajón de viga principal se obtiene al multiplicar el resultado de la ecuación anterior por el largo del puente.

$$m_{cajón} = \left(102,6 \frac{kg}{m}\right) \cdot 9m = 923,45 kg$$

*Ecuación 4.5.1.3.4*

#### 4.5.1.4 Etapa 4: Análisis estático de la viga principal

Para el análisis estático se utilizará como cargas las obtenidas anteriormente con sus respectivas magnificaciones aconsejadas por la norma. Por una parte, el peso de la estructura se analizará como una carga uniformemente distribuida y las demás se usarán para las cargas principales.

La carga principal será soportada por el polipasto el cual se para sobre sus cuatro ruedas y a su vez se apoyan en las dos vigas puente, por ende, la carga principal se dividirá por un factor de 4.

$$P = \frac{TL(DLF_T) + LL(1 + HFL)}{4}$$

*Ecuación 4.5.1.4*

$$P = \frac{740kgf(1.1) + 5000kgf(1 + 0.15)}{4}$$

$$P = 1641 kgf = 16098N$$

La carga debido al peso del cajón con su respectiva magnificación será la obtenida en la ecuación X.

$$w = 923,4 kgf (1.1)$$

$$w = 1015 kgf = 9964N$$

*Ecuación 4.5.1.4.1*

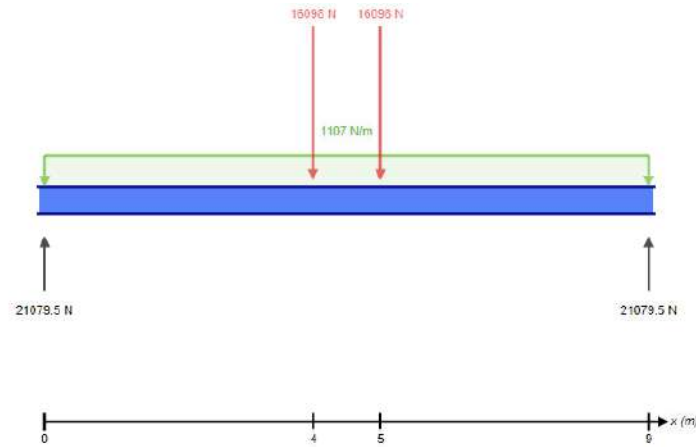


Figura 4.5.1.4: Diagrama de fuerzas viga principal

$$\Sigma M^0 = 0$$

Ecuación 4.5.1.4.2

$$-R_B(9m) + P(4m) + P(5m) + W(4,5m) = 0$$

$$-R_B(9m) + 16098N(4m) + 16098N(5m) + 9964N(4,5m) = 0$$

$$-R_B(9m) + 16098N(4m) + 16098N(3m) + 9964N(4,5m) = 0$$

$$R_B = 21079,5N$$

$$\Sigma F_y = 0$$

Ecuación 4.5.1.4.3

$$-R_B - R_A + P + W = 0$$

$$-21079,5N - R_A + 32196N + 9964N = 0$$

$$R_A = 21079,5N$$

#### 4.5.1.5 Etapa 5: Cálculo de diagramas de carga cortante y momento flector

Se procede a realizar el gráfico de corte mediante las reacciones calculadas anteriormente.

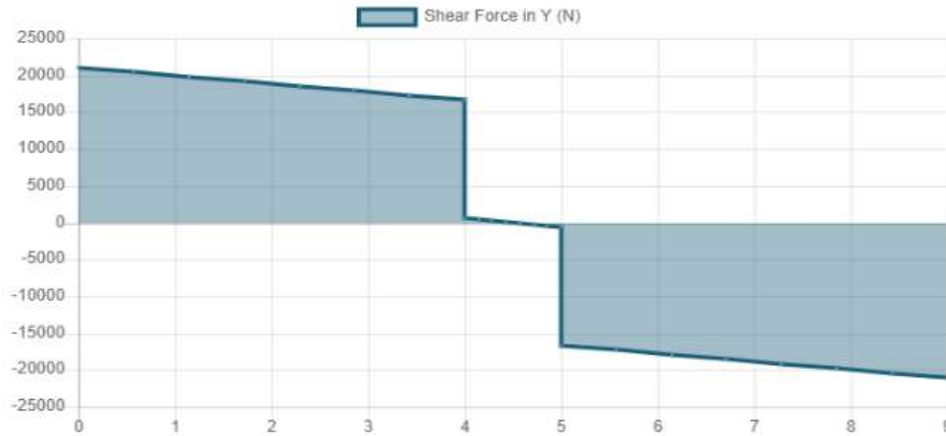


Figura 4.5.1.4.1: Diagrama esfuerzo de corte

El máximo momento flector que soporta la viga principal depende de las dos cargas puntuales equiespaciadas y del propio peso de la viga que, para este último caso consideraremos una carga uniformemente distribuida.

Vamos a utilizar el principio de superposición para determinar el momento máximo al sumar.

$$M_f = F \cdot a$$

Ecuación 4.5.1.4.4

$$M_w = \frac{w \cdot l^2}{8}$$

Ecuación 4.5.1.4.5

$M_f$ : Máximo momento flector debido a las cargas puntuales

$M_w$ : Máximo momento flector debido a la carga uniformemente distribuida

$F$ : Carga puntual

$w$ : Carga uniformemente distribuida

$a$ : Distancia entre el viículo y la carga puntual

$l$ : Distancia entre vínculos



Para obtener el máximo momento flector se debe sumar el momento producido por las cargas puntuales y el que ejerce la carga uniformemente distribuida a lo largo de la viga.

$$M_{max} = M_f + M_w$$

Ecuación 4.5.1.4.6

$$M_{max} = F \cdot a + \frac{w \cdot l^2}{8}$$

$$M_{max} = 16098N \cdot (4m) + \frac{1107 \frac{N}{m} \cdot (9m)^2}{8}$$

$$M_{max} = 75601,51 Nm$$

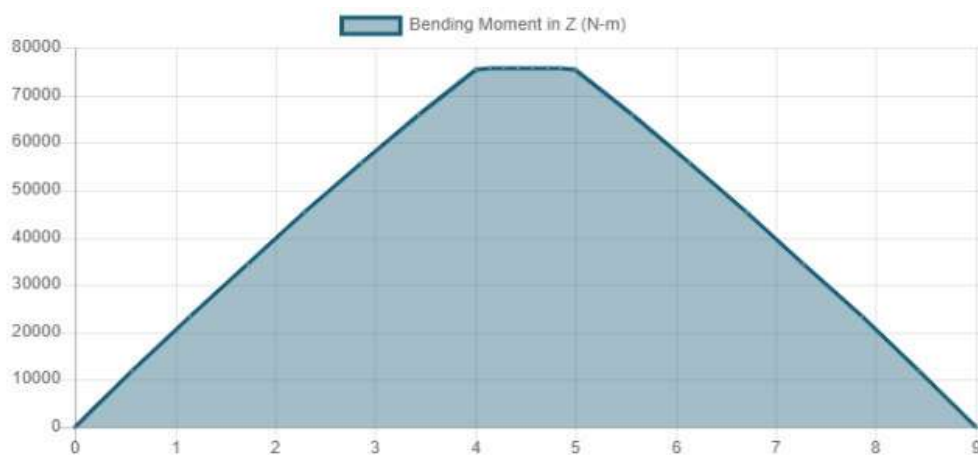


Figura 4.5.1.4.2: Diagrama esfuerzo de corte

#### 4.5.1.6 Etapa 6: Fuerzas de inercia laterales

Para obtener tanto las fuerzas de inercia producidas por el movimiento del puente y del polipasto debemos recurrir a la ecuación 5, que se encuentra en la sección 4.3 del presente informe donde se calcularon los factores que tienen en cuenta los efectos inerciales

$$IFD_{Bridge} = 0,078 \cdot a_b \cdot \left(\frac{pies}{sg^2}\right) = 0,078 \cdot 0,225 \frac{ft}{s^2} = 0,0195 \frac{ft}{s^2} = 0,056 \frac{m}{s^2}$$

Ecuación 4.5.1.6

$$IFD_{Trolley} = 0,078 \cdot a_t \cdot \left(\frac{pies}{sg^2}\right) = 0,078 \cdot 0,25 \frac{ft}{s^2} = 0,0195 \frac{ft}{s^2} = 0,056 \frac{m}{s^2}$$

Ecuación 4.5.1.6.1

Luego se calcularon las fuerzas inerciales debido al movimiento del puente y del polipasto respectivamente:

- Fuerza de inercia debido al movimiento del puente

$$F_{iB} = IF_{DB} \cdot (LL + TL + DL) = 0,056 \frac{m}{s^2} (49050N + 7259N + 923,4N)$$

$$F_{iB} = 3205N$$

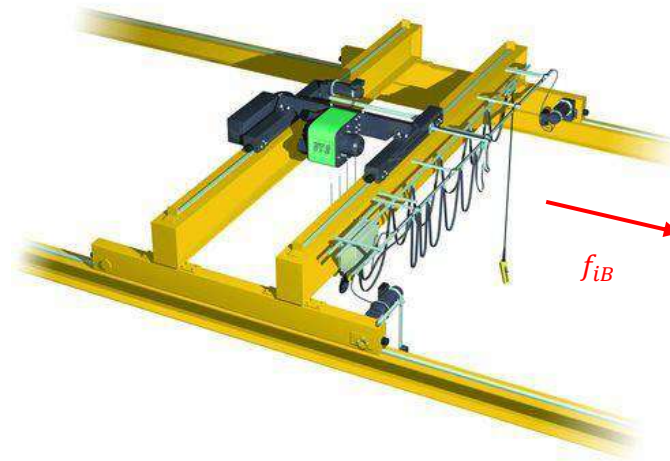


Figura 4.5.1.6

- Fuerza de inercia debido al movimiento del polipasto

$$F_{ip} = IF_{DP} \cdot (LL + TL) = 0,056 \frac{m}{s^2} (49050N + 7259N)$$

$$F_{iB} = 3153N$$

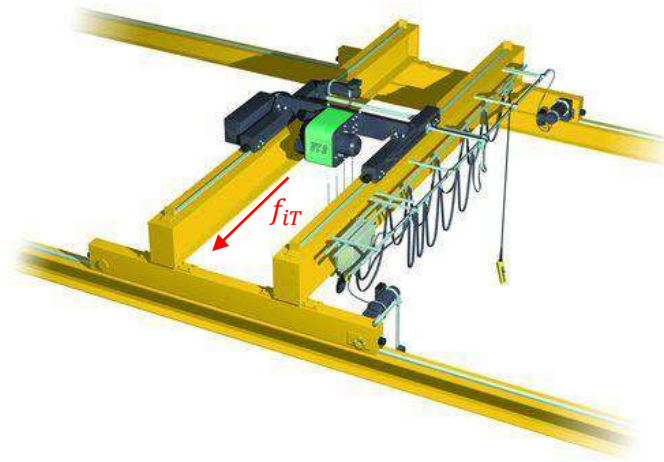


Figura 4.5.1.6.1

#### 4.5.1.7 Etapa 7: Cálculo de flecha máxima de viga principal

La flecha máxima para la viga principal será la sumatoria de las deflexiones que se producen tanto por la carga uniformemente distribuida como las que ejercen las cargas puntuales.

$$y_{max} = y_f + y_w$$

Ecuación 4.5.1.7

$$y_f = \frac{F \cdot a}{24 \cdot E \cdot I} (3l^2 - 4a^2)$$

Ecuación 4.5.1.7.1

$$y_w = \frac{5 \cdot w \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

Ecuación 4.5.1.7.2

$$y_f = \frac{16098N \cdot (4m)}{24 \cdot (200 \cdot 10^9 Pa) \cdot 0,00021722m^4} (3(9m)^2 - 4(4m)^2) = 0,00553 m$$

$$y_w = \frac{5 \cdot 1107 \frac{N}{m} \cdot (9m)^4}{384 \cdot (200 \cdot 10^9 Pa) \cdot 0,00021722m^4} = 0,0021 m$$

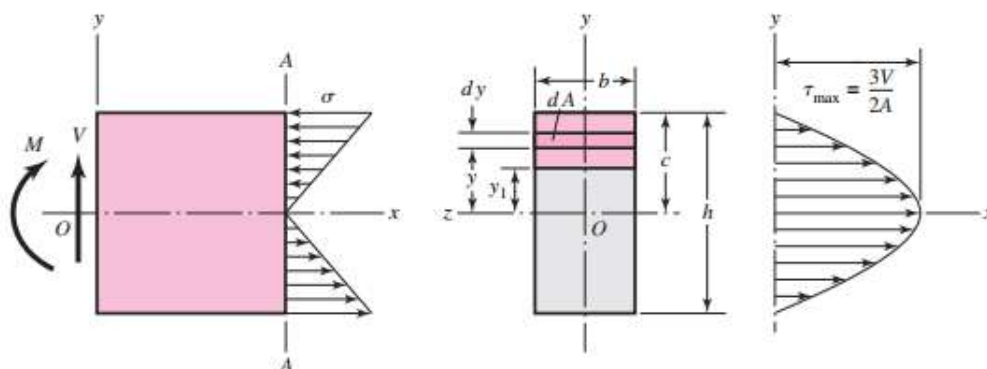
$$y_{max} = 0,00553m + 0,0021m = 0,00763 m$$

$$7,63 mm < 10,13 mm \quad \text{Verifica}$$

#### 4.5.1.8 Etapa 7: Esfuerzo de flexión y factor de seguridad

Cuando una viga está sometida a esfuerzos de flexión simple sobre las superficies libres superior e inferior las tensiones normales ( $\sigma_x$ ) debido al momento flector son máximas, y las tensiones de corte son nulas.

Por otro lado, en la línea neutra (eje x) donde las tensiones de corte ( $\tau_{max}$ ) son máximas, las tensiones normales son nulas.



$$\sigma_{xx_{max}} = \left| -\frac{M_{max} \cdot c}{I_x} \right|$$

Ecuación 4.5.1.8

$$\tau_{max} = \frac{V}{b \cdot h}$$

Ecuación 4.5.1.8.1

$\sigma_x$ : Máxima tensión normal

$M_{max}$ : Máximo momento flector

$V$ : Esfuerzo de corte

$b$ : Ala del perfil

$c$ : Distancia desde línea neutra hasta la fibra más alejada

$h$ : Altura del perfil

$$\sigma_{xx_{max}} = \frac{75601,5Nm \cdot 0,18m}{0,00024786} = 54900145Pa$$

$$\tau_{max} = \frac{21079,5N}{0,18m \cdot 0,00696m} = Pa$$

Ahora vamos a analizar la tensión equivalente según el criterio de falla de Von mises como aconseja la norma en CMMA 70 en la sección **3.4.4.1**

$$\sigma_{vm} = \sqrt{(\sigma_1)^2 + 3(\tau_{max})^2}$$

Ecuación 4.5.1.8.2

$$\sigma_{vm} = \sqrt{(54900145 Pa)^2 + 3(2603428Pa)^2}$$

$$\sigma_{vm} = 55200410Pa = 55Mpa$$

Dado que el esfuerzo límite de fluencia para el acero estructural A- 36 es  $\sigma_y = 250Mpa$ , el esfuerzo máximo admisible que debe experimentar la viga según la norma CMMA 70 apartado **3.4.1** no debe superar  $0,35\sigma_y$ , por lo tanto

$$\sigma_{vm} < 0,35\sigma_y$$

Ecuación 4.5.1.8.3

$$\sigma_{vm} < 0,35 \cdot 250 \text{Mpa}$$

$$55 \text{Mpa} < 87,5 \text{Mpa}$$

**Verifica la norma**

#### 4.5.2 Caso II: El puente en uso regular bajo cargas principales y adicionales

Para el segundo caso de diseño se tienen en cuenta el efecto de las siguientes cargas:

$$P = DL(DLF_B) + TL(DLF_T) + LL(1 + HFL) + IFD + SK$$

Ecuación 4.5.2

Como se puede observar en este caso, se toman las mismas cargas que en el primer caso y se le agregan los efectos de las fuerzas debidas a la marcha oblicua del puente, este último fenómeno se lo denomina Skewing (ver Apéndice 6 *concepto Skewing*). El Skewing se maximiza cuando el carro se encuentra lo más próximo al extremo de la viga como resultado de un aumento en las fuerzas de fricción entre las ruedas de la testera y los rieles por donde circulan.

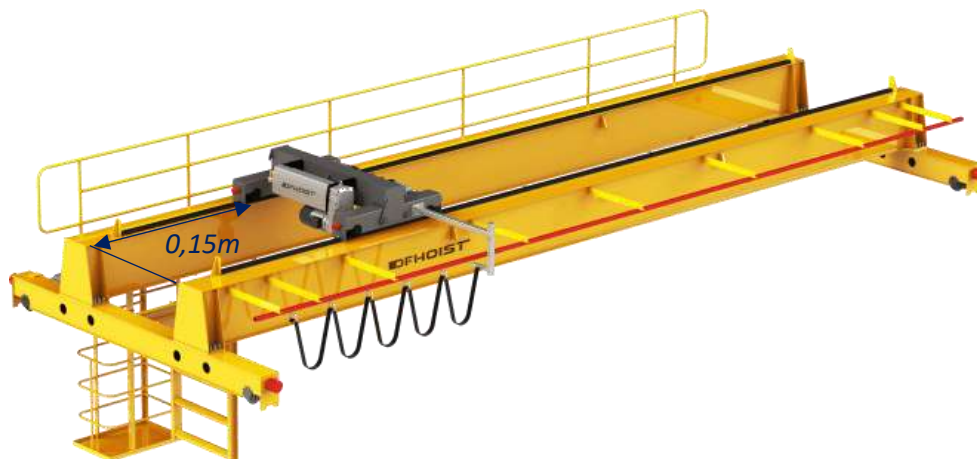


Figura 4.5.2

Es por esto por lo que, en nuestro caso, se halla la mínima distancia posible, tomada entre una de las ruedas del carro y eje de la viga testera como muestra la figura XXX. Contemplando el tipo de configuración de puente grúa elegido, se supone que la rueda se ubica a 0,15m respecto del apoyo.

En resumen, como es de esperarse, al cambiar la posición

del carro se verán modificados los diagramas de corte y momentos de las cargas del caso anterior, (con excepción de los producidos por la carga muerta ya que no depende de la posición del carro). Por lo cual cambiara el estado tensional por completo y la ubicación del punto de mayor sollicitación y el de mayor deflexión en la viga. Sin embargo, no se describirá todo el procedimiento de cálculo (como se hizo para el CASO I) del nuevo estado tensional, solamente se escribirán los resultados finales para una mejor comprensión.

#### 4.5.2.1 Cálculo de las tensiones debidas a la flexión

##### Plano vertical (XY)

Procediendo de forma análoga al caso I se obtienen los valores de las reacciones en los apoyos A y B

$$R_{by} = 34852N$$

$$R_{ay} = 7306N$$

Los valores de corte en las posiciones intermedias que se muestran en la figura

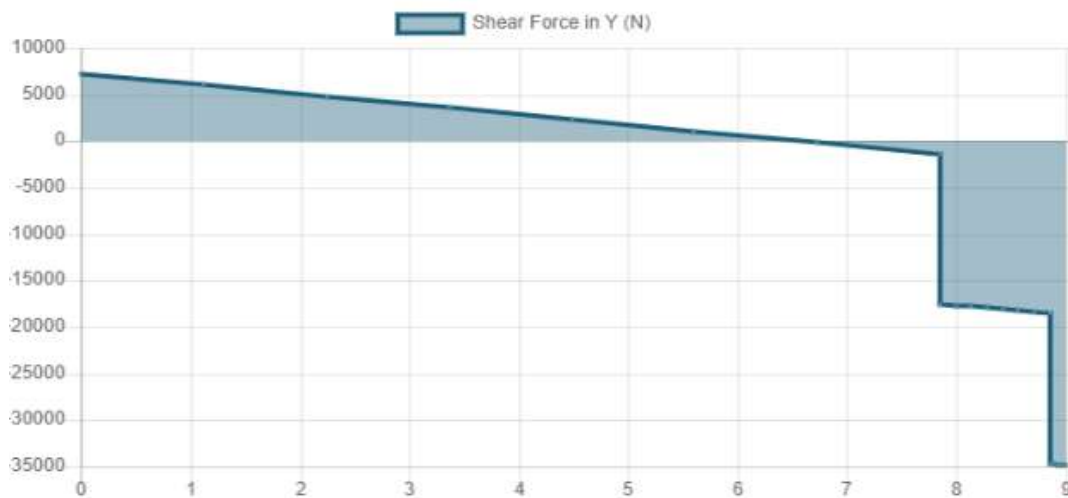


Figura 4.5.2.1: Diagrama esfuerzo de corte

El momento resultante máximo se encuentra en una posición en la viga de  $X = 6,72m$



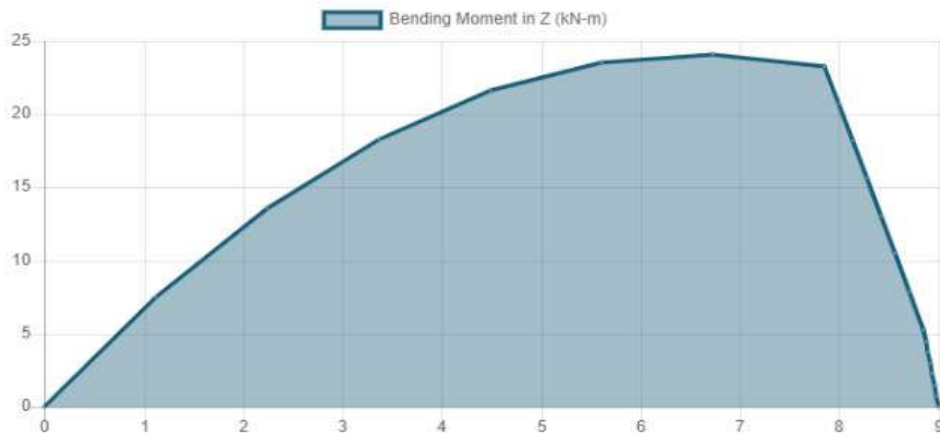


Figura 4.5.2.2: Diagrama de momento

$$M_{max} = 24105 Nm$$

Finalmente se puede calcular la tensión normal máxima ( $\sigma_{xxmax}$ ) que se encuentra en la fibra más alejada del eje de simetría, de forma análoga al CASO I.

$$\sigma_{xxmax} = \left| -\frac{M_{max} \cdot h/2}{I_{xx}} \right| =$$

### Plano Horizontal (ZX)

#### a) Momento debido al desalineamiento del puente

Como se explica en el apartado A.1.1 del Apéndice 4, la norma CMMA para calcular las fuerzas de Skewing producidas utiliza la siguiente expresión:

$$SK = S_{sk} \cdot Fr_A$$

Ecuación 4.5.2.1: Fuerza debido al cruce

El coeficiente  $S_{sk}$  se halla con la curva de la figura X. Siendo la luz  $L = 9m$  y de acuerdo con los catálogos comerciales se supone una distancia entre ruedas de los testers igual a 1,4m (la norma establece que la distancia debe ser mayor a  $L/8$ ), la relación resulta de 6,42.

Ingresando por abscisas con ese valor, se intersecta la recta resultando un coeficiente de 0,14.

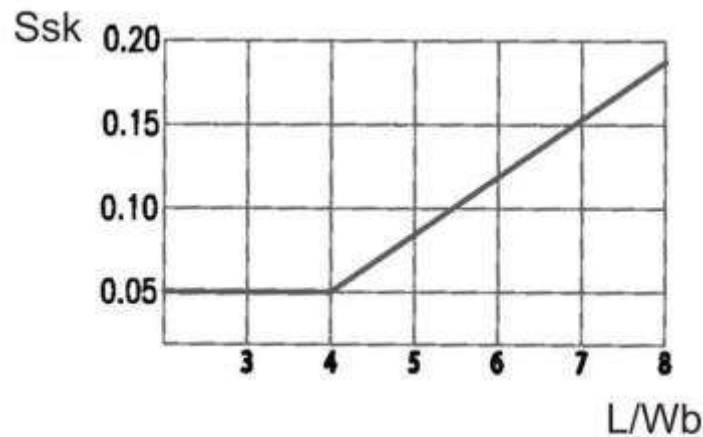


Figura 4.5.2.3: Gráfico Fuerza de cruce vs entre centro

Luego se debe calcular la fuerza que soporta cada rueda del testero más cercano al carro ( $Fr_A$ ), en nuestro caso el carro se encuentra ubicado en el medio por lo tanto ambas ruedas van a soportar un esfuerzo igual a la reacción Ray previamente calculada, más la fuerza del peso debido a la masa del testero y de su motor.

Para estimar la masa de los testeros y de su motorreductor se recurre a catálogos comerciales en donde el peso de la testera armada completamente sin el motorreductor es 152Kg y el peso del motorreductor es de 50Kg. Por lo tanto, la fuerza sobre cada rueda resulta de:

$$Fr_A = \frac{Rby + (Mt + m_m) \cdot g}{2} = \frac{34852N + (182Kg + 50Kg) \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}}{2} = 18564N$$

$$SK = S_{sk} \cdot Fr_A = 0,14 \cdot 18564N = 2599N$$

Ecuación 4.5.2.2

En la siguiente figura se muestra cual es el sentido de estas fuerzas. Notar que dichas fuerzas son las reacciones que los rieles le ejercen a las pestañas de las ruedas:

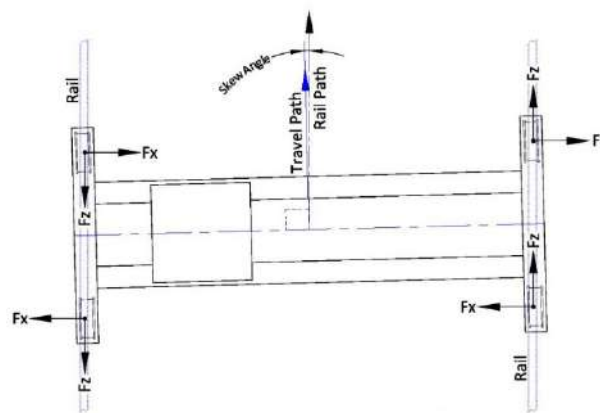


Figura 4.5.2.4: Gráfico Fuerza de cruce vs entre centro

Luego ambas fuerzas actúan en forma de cupla produciendo un momento puntual en el extremo de las vigas principales. El módulo del momento se calcula de la siguiente manera:

$$M_{SK} = SK \cdot W_b = 2599N \cdot 1,4 = 3638,5N$$

Luego realizando la sumatoria de momentos es posible hallar el valor de las reacciones de los apoyos A y B debidas al efecto del momento  $M_{SK}$ , quedando

$$Ra_{SK} = 404,27N$$

$$Rb_{SK} = 404,27N$$

a) Momentos flectores debido a fuerzas de inercia laterales – superposición

Una vez hallados los diagramas correspondientes al fenómeno de marcha oblicua del puente se realiza la superposición de tales diagramas con los relacionados a las fuerzas de inercia laterales (fuerzas debidas al movimiento del puente).

Cuando se analizaron los efectos inerciales debidos al movimiento del puente, el caso I, todas las masas en movimiento se encontraban en la posición central de la viga. En cambio, en el caso II se considera por un lado el movimiento de la masa del puente, aplicado en el centro de masas de la viga ( $L/2$ ), y por el otro el movimiento de la masa del carro (sumado a la carga levantada) aplicada en las 2 ruedas del carro.

Se calcula el módulo de dichas fuerzas con las siguientes expresiones y en la figura X se representan con su sentido correspondiente.

#### 4.5.3 Caso III: el puente en uso regular bajo cargas principales y extraordinarias

En este caso de diseño se tienen en cuenta el efecto de las siguientes cargas:

$$P = DL(DLF_B) + TL(DLF_T) + LL(1 + HFL) + CF$$

*Ecuación 4.5.3: Caso III*

Como se puede apreciar en esta expresión, se toman las mismas cargas que en el primer caso (sin tener en cuenta los efectos dinámicos) y se le agregan las cargas originadas en caso de choque de la estructura con los topes (ver apartado XX). Se puede demostrar que la posición más desfavorable del carro, para este tipo de cargas se encuentra ubicado a una distancia igual a  $L/2$ , respecto de un apoyo.

Es por esto por lo que los diagramas de fueras cortantes y momentos flectores en el plano ZY, correspondientes a las cargas DL, TL y LL no cambiarán su forma, si lo harán sus módulos, los cuales lógicamente se reducirán debido a la eliminación de los factores que contemplan los efectos dinámicos, como se nombró anteriormente. Es por esto, que no se hará en detalle el procedimiento de cálculo para el desarrollo de los

diagramas del plano ZY, solo se limitará a presentar las curvas finales de los mismos, con sus correspondientes puntos característicos.

Cálculo de las tensiones debidas a la flexión

### Plano vertical (XY)

Las reacciones en los apoyos tienen los siguientes valores:

$$R_{ay} = 21079,5N$$

$$R_{by} = 21079,5N$$

El máximo momento se encuentra en el centro de la viga y su valor es:

$$M_{max} = 75597,51 Nm$$

El módulo de la tensión máxima:

$$\sigma_{xx_{max}} = \left| -\frac{M_{max} \cdot c}{I_x} \right|$$

$$\sigma_{xx_{max}} = \frac{75597,5Nm \cdot 0,18m}{0,00021722}$$

$$\sigma_{xx_{max}} = 623644093,5 Pa$$

Este valor corresponde a una tensión en la fibra ubicada en  $-h/2$  en el caso de tracción y  $h/2$  en el caso de compresión.

### Plano Horizontal (XY)

En este plano solo se tiene el movimiento producido por la fuerza de colisión (CF). En este punto la norma expresa que no debe considerarse la carga LL en el cálculo de la fuerza de impacto. El cálculo de esta fuerza se hizo por medio de métodos energéticos.

La situación más crítica que se pueda dar es aquella en que toda la energía cinética con que el puente grúa viaja se almacene en la viga como energía de deformación, luego el problema a resolver será como el presentado en la siguiente figura.

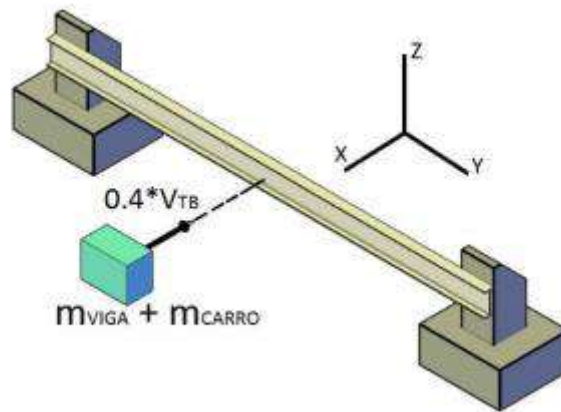


Figura 4.5.3: Esquema de impacto

$$U_{\text{cinética}} = U_{\text{deformación viga}}$$

Ecuación 4.5.3.1: Energía de deformación

$$\frac{1}{2} \cdot (2m_{\text{viga}} + m_{\text{carro}}) (0,4 V_{TB})^2 = \frac{1}{2} \cdot CF \cdot \delta_m$$

$$\delta_m = \frac{CF \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} = \frac{CF}{K_{\text{viga}}}$$

$$K_{\text{viga}} = \frac{48 \cdot E \cdot I}{L^3} = 3822990 \frac{N}{m}$$

$$\frac{1}{2} \cdot (2m_{\text{viga}} + m_{\text{carro}}) (0,4 V_{TB})^2 = \frac{1}{2} \cdot CF \cdot \frac{CF}{K_{\text{viga}}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{CF^2}{K_{\text{viga}}}$$

$$\sqrt{K_{\text{viga}} \cdot (2m_{\text{viga}} + m_{\text{carro}}) \cdot (0,4 V_{TB})^2} = CF$$

$$\sqrt{\frac{3822990N}{m} \cdot (1847Kg + 740Kg) \cdot (0,4 \cdot 0,266)^2} = CF$$

$$CF = 10581N$$

## 4.6 Diseño de vigas testeras

### 4.6.1 Selección del perfil

Las vigas testeras a pesar de su pequeño tamaño son una parte fundamental en la estructura de un puente grúa, pues son las responsables de soportar el peso de la carga en servicio y el peso de la viga principal. También son las encargadas de absorber los impactos contra los topes del final del recorrido en el caso del fallo de los sistemas electrónicos. Por todas estas razones se necesita un perfil que cumple estrictamente con las necesidades de rigidez y resistencia.

Después de un estudio de distintos perfiles conocidos, se propone la utilización de vigas tipo cajón de acero estructural, fabricadas a partir de chapas plegadas en forma "U" y soldadas. Las principales razones que han originado este planteamiento son:

- Una geometría que le proporcionan una gran resistencia e inercia en todas direcciones comparando con otros perfiles.
- Fáciles de construir
- Posee una superficie lateral plana, características fundamentales debido a que es en ese lateral donde se unen mediante uniones atornilladas a la viga principal
- Es necesario un perfil armado debido a que deben soportar grandes solicitaciones y estos ofrecen construcción rígida y fuerte. Además, si se eligiesen los perfiles rectangulares huecos para su uso estructural, comercialmente no se conseguirían en las dimensiones que se requiere.
- Es un perfil muy recomendado y ampliamente utilizado en la industria en general y recomendado por la mayor parte de fabricantes de puentes grúa y testeras.

Para las vigas testeras se ha elegido el mismo material que en el caso de la estructura principal (SA - 36). Sus características están detalladas en el apartado anterior. En cuanto a las dimensiones elegidas para la sección, se tomaron en a partir una relación base B/altura H razonable y un espesor de chapa disponible comercialmente.

En primer lugar, para estimar las dimensiones preliminares de la viga cajón, se recurre a los catálogos de fabricantes de testeros y se eligen modelos que cumplan con los requerimientos del proyecto, los cuales toman como base del cajón a 150 mm (6" aproximadamente) y 230 mm (10") para la altura. Los que fabrican vigas cajón de chapa soldada usan un espesor de 3/8", pero en nuestro diseño verificamos que el espesor de 1/4" (6,35 mm) tiene suficiente resistencia para soportar todos los esfuerzos posibles de la aplicación.

En cuanto a la distancia entre ruedas ( $W_b$ ) utilizan entre 1300 y 1800 mm, se opta por una longitud  $W_b=1400$ mm.

La norma CMMA 70 sección **3.6.1** establece que el puente grúa deberá transportarse mediante las vigas carrileras diseñadas para transportar la carga máxima, cuando esta se levante en un extremo del puente grúa. La distancia entre las ruedas de la viga testera no deberá ser menor a una séptima parte de la luz. Para determinar el alto y ancho de las testeras se debe tener en cuenta las dimensiones de los componentes que llevarán adentro (ejes, ruedas, rodamientos, engranajes, etc.) y también en su exterior (secciones cuadradas macizas) y los reductores que darán movimiento al puente grúa.

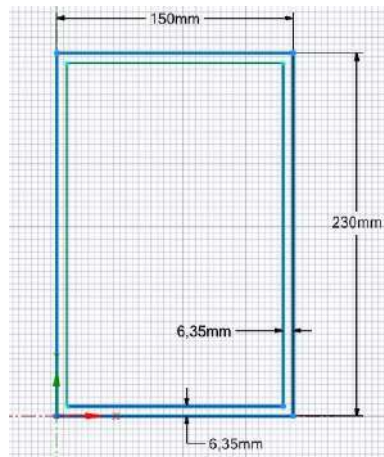


Figura 4.6: Sección testera

Procedemos a realizar el cálculo del momento de inercia de la viga testera

$$I_{xx} = \left( \frac{15\text{cm} \cdot (23\text{cm})^3}{12} \right) - \left( \frac{13,73\text{cm} \cdot (21,73\text{cm})^3}{12} \right)$$

Ecuación 4.6: Determinación de momento de inercia

$$I_{xx} = 15209\text{cm}^4 - 11740\text{cm}^4$$

$$I_{xx} = 3469\text{cm}^4$$

$$m_{placa} = 2 \cdot [(23\text{cm} \cdot 0,635\text{cm}) + (15\text{cm} \cdot 0,635\text{cm})] \cdot 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Ecuación 4.6.1: Determinación de momento masa lineal

$$m_{placa} = \frac{2 \cdot [(23\text{cm} \cdot 0,635\text{cm}) + (15\text{cm} \cdot 0,635\text{cm})] \cdot 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{100^2}$$



$$W_{testera} = 38 \frac{kg}{m}$$

$$Wt = 372 \frac{N}{m}$$

La masa de la viga testera se obtiene de multiplicar su peso lineal por los 2 metros de largo.

$$m_{testera} = 2m \cdot 38 \frac{kg}{m}$$

Ecuación 4.6.2: Determinación de momento total

$$P_{testera} = 76kgf$$

#### 4.6.2 Determinación de cargas máximas estáticas en vigas testeras

Previo al diseño de la viga carrilera, se realizará un análisis de las cargas que van a soportar, para esto, se consideran las reacciones obtenidas en los apoyos de la viga principal, cuando la carga máxima sea levantada en un extremo por el puente grúa, de esta manera se podrán dimensionar las testeras con las reacciones máximas, como se indica en la figura X, según recomienda la norma CMMA 70 en la sección **3.6.1**.

De acuerdo con las dimensiones del polipasto seleccionado, la separación máxima que pueden tener las ruedas del carro hacia un extremo de la viga principal es de 150 mm.

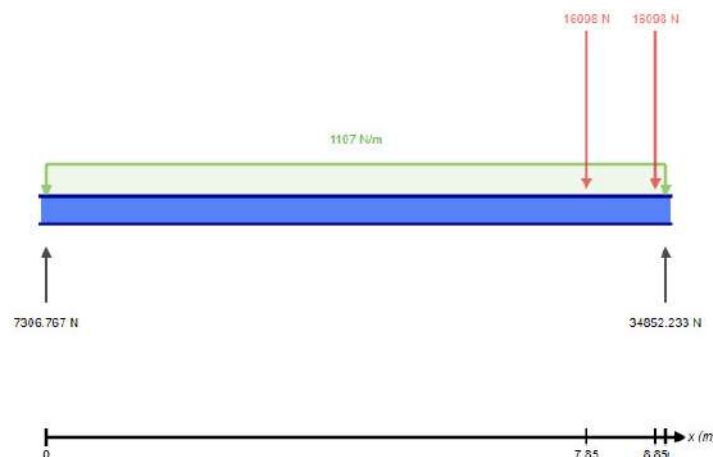


Figura 4.6.2: Diagrama de fuerzas con el polipasto situado en un extremo

Considerando el peso de la viga principal obtenido en la ecuación X y las dos cargas iguales de 212255N, separadas una distancia de 1000mm vamos a realizar la descomposición de fuerzas y momentos.

$$\Sigma M^A = 0$$

Ecuación 4.6.2: Sumatoria de momento

$$-R_B(9m) + P(7,85m) + P(8,85m) + W(4,5m) = 0$$

$$-R_B(9m) + 16098N(7,85m) + 16098N(6,85m) + 9964N(4,5m) = 0$$

$$R_B = 34852,23N$$

$$\Sigma F_y = 0$$

Ecuación 4.6.2.1: Sumatoria de fuerzas

$$-R_B - R_A + 2P + W = 0$$

$$-34852N - R_A + 32196N + 7554N = 0$$

$$R_A = 7306,76N$$

#### 4.6.3 Análisis de cargas estáticas en vigas testeras

Al observar el diagrama de cuerpo libre en la figura X podemos obtener las ecuaciones estáticas de la viga testera y de esta manera podremos definir las reacciones en las ruedas.

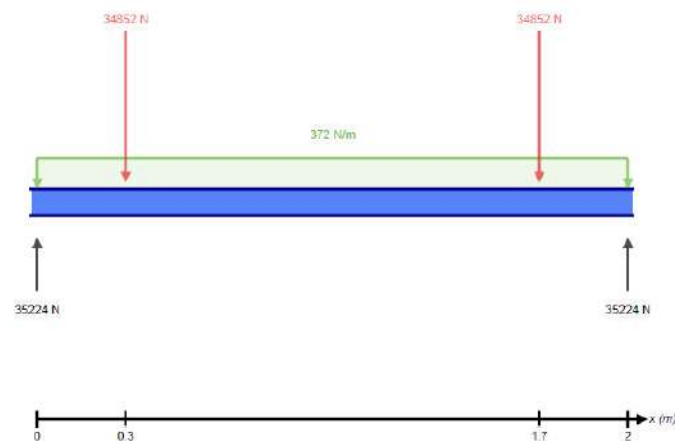


Figura 4.6.3: Diagrama de fuerzas considerando la máxima reacción

$$\Sigma M^0 = 0$$

*Ecuación 4.6.3: Sumatoria de momentos*

$$-R_B(2m) + P(0,3m) + P(1,7m) + W(1m) = 0$$

$$-R_B(2m) + 34852N(0,3m) + 34852N(1,7m) + 745,5N(1m) = 0$$

$$R_B = 35224N$$

$$\Sigma F_y = 0$$

*Ecuación 4.6.3: Sumatoria de fuerzas*

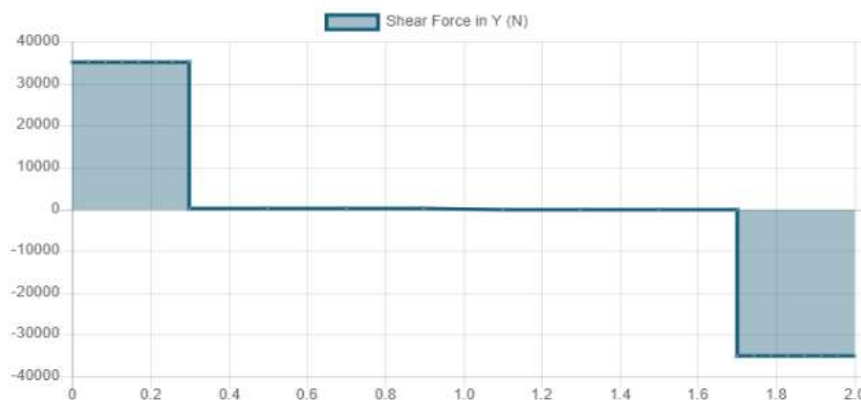
$$-R_B - R_A + P + W = 0$$

$$-35224N - R_A + 69704N + 745,5N = 0$$

$$R_A = 35224N$$

#### 4.6.4 Cálculo de diagramas de carga cortante y momento flector

Se procede a realizar el gráfico de corte mediante las reacciones calculadas anteriormente.



*Figura 4.6.4: Diagrama de corte de viga testera*

El máximo momento flector que soporta la viga testera depende de las dos cargas puntuales equiespaciadas y del propio peso de la viga que, para este último caso consideraremos una carga uniformemente distribuida.

Vamos a utilizar el principio de superposición para determinar el momento máximo al sumar.

$$M_f = P \cdot a$$

Ecuación 4.6.4

$$M_w = \frac{w \cdot l^2}{8}$$

Ecuación 4.6.4.1

$M_f$ : Máximo momento flector debido a las cargas puntuales

$M_w$ : Máximo momento flector debido a la carga uniformemente distribuida

$P$ : Carga puntual

$w$ : Carga uniformemente distribuida

$a$ : Distancia entre el viículo y la carga puntual

$l$ : Distancia entre vínculos

Para obtener el máximo momento flector se debe sumar el momento producido por las cargas puntuales y el que ejerce la carga uniformemente distribuida a lo largo de la viga.

$$M_{max} = M_f + M_w$$

Ecuación 4.6.4.2

$$M_{max} = P \cdot a + \frac{w \cdot l^2}{8}$$

$$M_{max} = 34852N \cdot (0,3m) + \frac{372 \frac{N}{m} \cdot (1m)^2}{8}$$

$$M_{max} = 10639,74 Nm$$

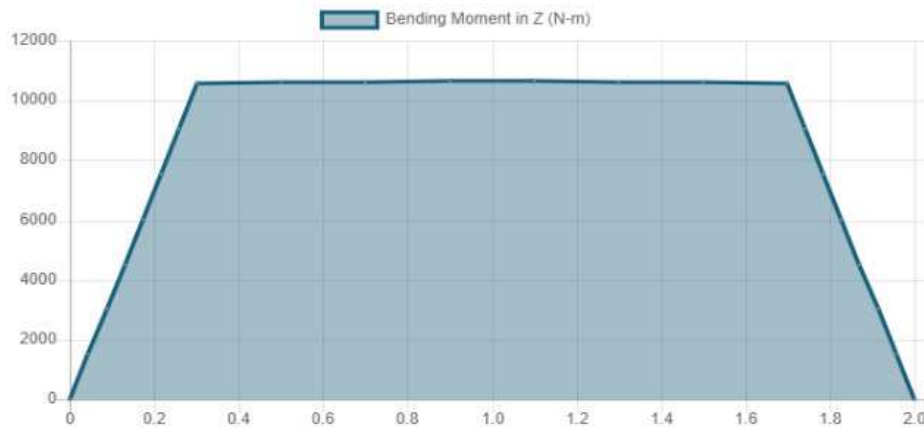


Figura 4.6.4.1: Diagrama de momento de viga testera

#### 4.6.5 Cálculo de flecha máxima de viga principal

La flecha máxima para la viga principal será la sumatoria de las deflexiones que se producen tanto por la carga uniformemente distribuida como las que ejercen las cargas puntuales.

$$y_{max} = y_f + y_w$$

Ecuación 4.6.5

$$y_f = \frac{P \cdot a}{24 \cdot E \cdot I} (3l^2 - 4a^2)$$

$$y_w = \frac{5 \cdot w \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

$$y_f = \frac{34852 \text{ N} \cdot (0,3 \text{ m})}{24 \cdot (200 \cdot 10^9 \text{ Pa}) \cdot 0,00003468 \text{ m}^4} (3(2 \text{ m})^2 - 4(0,3 \text{ m})^2) = 0,000731 \text{ m}$$

$$y_w = \frac{5 \cdot 372 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot (1 \text{ m})^4}{384 \cdot (200 \cdot 10^9 \text{ Pa}) \cdot 0,00003468 \text{ m}^4} = 6,98 \text{ E} - 7 \text{ m}$$

$$y_{max} = 0,00073 \text{ m}$$

$$0,73 \text{ mm} < 3,33 \text{ mm} \quad \text{Verifica}$$

Tomando el mismo criterio de la viga principal, la deflexión de la testera no puede superar lo relación del largo de la testera sobre el numero adimensional 600, lo cual da como resultado 3,33mm, por lo tanto, verifica la norma americana.

#### 4.6.6 Esfuerzo de flexión y factor de seguridad

Cuando una viga está sometida a esfuerzos de flexión simple sobre las superficies libres superior e inferior las tensiones normales ( $\sigma_x$ ) debido al momento flector son máximas, y las tensiones de corte son nulas.

Por otro lado, en la línea neutra (eje x) donde las tensiones de corte ( $\tau_{max}$ ) son máximas, las tensiones normales son nulas.

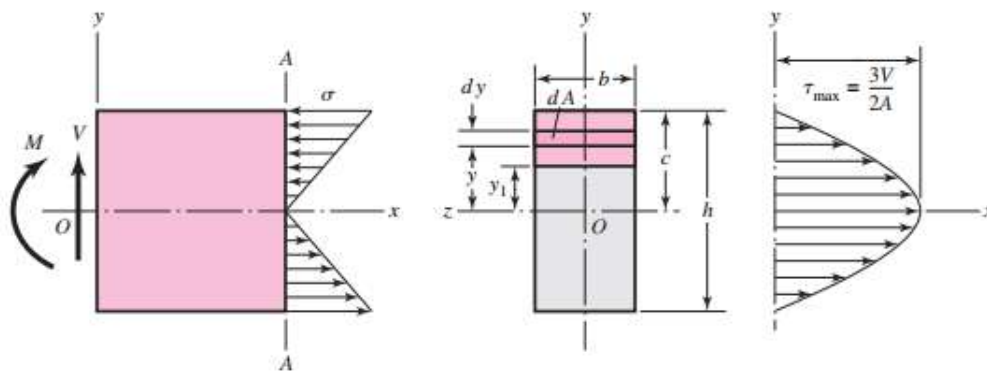


Figura 4.6.6: esfuerzos en flexión simple

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} \cdot c}{I_x}$$

Ecuación 4.6.6:

$$\tau_{max} = \frac{6Q_y}{b_1 \cdot h_1^3 - b_2 \cdot h_2^3} \left( \frac{h_1^2}{4} - y^2 \right)$$

Ecuación 4.6.6.1

$\sigma_x$ : Máxima tensión normal

$M_{max}$ : Máximo momento flector

$V$ : Esfuerzo de corte

$b$ : Ala del perfil

$c$ : Distancia desde línea neutra hasta la fibra más alejada

$h$ : Altura del perfil

$$\sigma_{max} = \frac{10639,74Nm \cdot 0,115m}{0,00003468} = 35281721,45 Pa$$

$$\tau_{max} = \frac{6 \cdot 35244N}{(0,15m \cdot (0,23m)^3) - (0,1373m \cdot (0,02173m)^3)} \frac{(0,23m)^2}{4} = 1532347,83 Pa$$

(Pag 203 chapetti)

Ahora vamos a analizar la tensión equivalente según el criterio de falla de Von mises como aconseja la norma en CMMA 70 en la sección **3.4.4.1**

$$\sigma_{vm} = \sqrt{(\sigma_1)^2 + 3(\tau_{max})^2}$$

Ecuación 4.6.6.2: Tensión equivalente

$$\sigma_{vm} = \sqrt{(35281721,45Pa)^2 + 3(1532347,83Pa)^2}$$

$$\sigma_{vm} = 35381409,5Pa = 35,38 Mpa$$

Dado que el esfuerzo límite de fluencia para el acero estructural A-36 es  $\sigma_y = 250Mpa$ , el esfuerzo máximo admisible que debe experimentar la viga según la norma CMMA 70 apartado **3.4.1** no debe superar  $0,35\sigma_y$ , por lo tanto

$$\sigma_{vm} < 0,35\sigma_y$$

Ecuación 4.6.6.3

$$\sigma_{vm} < 0,35 \cdot 250Mpa$$

$$35Mpa < 87,5Mpa$$

**Verifica la norma**

Plano horizontal (ZX)

En este plano se tienen en cuenta los efectos de la colisión del puente grúa con los topes de fin de carrera. En este punto la norma expresa que no debe considerarse la carga LL en el cálculo de la tensión de compresión producida sobre el testero. El cálculo



de esta tensión se hizo por medio de métodos energéticos (14) utilizando el siguiente modelo simplificado:

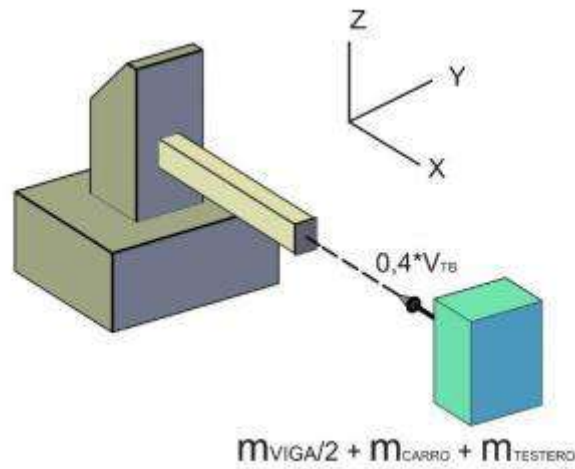


Figura 4.6.6.1: Esquema de impacto testera

Como suposición se toma que la barra sometida a impacto tiene una longitud  $L$  correspondiente a la mitad de longitud del testero ( $Wb/2$ ), pues la viga principal está unida a los testeros en la parte media de ellos.

La masa de la viga se toma como la mitad, pues el impacto lo soportan ambas testeras. Caso contrario para la masa del carro que es tomada completa como simplificación, porque está situada muy próxima a uno de los extremos.

Suponiendo que la rigidez del cuerpo que impacta es despreciable a la de la viga y que la energía cinética de la masa en movimiento, luego del impacto se convierte (integra) en energía de deformación de la viga, es decir no existe disipación de energía por vibración y/o ruido, se deduce el módulo de la tensión de compresión como sigue:

$$U_{cinética} = U_{deformación\ viga}$$

$$U_{cinética} = \frac{1}{2} \cdot CF \cdot \Delta L$$

Ecuación 4.6.6.4: Energía de deformación

Donde

$$CF: \sigma \cdot A$$

$$\Delta L: \varepsilon \cdot L$$

Reemplazando en la anterior

$$U_{cinética} = \frac{\sigma^2 \cdot A \cdot Wb}{4 \cdot E}$$

Ecuación 4.6.6.5

$$\sigma_{xx}^{CF} = \sqrt{\frac{4 \cdot E \cdot U_{cinética}}{A \cdot Wb}}$$

La energía cinética tiene un valor:

$$U_{cinética} = \frac{1}{2} \cdot (m_{viga} + m_{carro} + m_{testera}) \cdot (0,4 \cdot V_{TB})^2$$

Ecuación 4.6.6.6

$$U_{cinética} = \frac{1}{2} \cdot (DL \cdot L + TL + Wt \cdot Wb) \cdot (0,4 \cdot V_{TB})^2$$

$$U_{cinética} = \frac{1}{2} \cdot (923,45Kg + 740Kg + 76Kg) \cdot \left(0,4 \cdot \frac{0,25m}{s}\right)^2 = 8,69J$$

Finalmente

$$\sigma_{xx}^{CF} = \sqrt{\frac{4 \cdot (200 \cdot 10^9 Pa) \cdot 8,69J}{0,00466m^2 \cdot 1,4}}$$

$$\sigma_{xx}^{CF} = 32,64Mpa$$

Debido a que será necesaria la fuerza CF para el diseño de la unión entre el testero y la viga principal, se calcula a continuación.

$$CF = \sigma_{xx}^{CF} \cdot A = 32,64Mpa \cdot 0,00466m^2 = 152120N$$

#### 4.7 Diseño de ruedas

Para poder realizar el dimensionamiento de las ruedas hay que tener en cuenta que deben soportar no solo el peso de las cargas que van a ser levantadas por el puente grúa sino también toda la estructura que compone a este mecanismo en estudio.

Las ruedas le van a permitir realizar el movimiento longitudinal de todo el conjunto, las llantas estarán alojadas dentro de las vigas testeras. Dos ruedas darán tracción al puente al estar unidas a un motor eléctrico mediante una reducción para que esto permita el movimiento a la velocidad establecida.

La carga que deberá soportar cada rueda será la máxima reacción que se produce en las testeras cuando el polipasto se encuentra ubicado en uno de los extremos de la viga puente principal, tal cual se determinó en el capítulo anterior.

El criterio de diseño de las ruedas se realiza en base a la tabla 4.13.3-4 de la norma CMMA 70. La carga que soportará cada rueda será de  $R_b = R_a = 34852N$ , debido a razones económicas se optara por elegir el diámetro de rueda pequeño que figura en la tabla 4.13.3-4 de la norma americana el cual es de 8".

Se deberá verificar también que el diámetro seleccionado cumpla con el proceso de dimensionamiento según la norma CMMA 70, para eso se determina un coeficiente de servicio de carga para la rueda ( $Kwl$ ), el cual no debe ser menor a un  $Kwl$  mínimo establecido por norma americana.

$$Kwl = Kbw \cdot Cs \cdot Sm$$

*Ecuación 4.7*

*Kbw: Factor de carga para las ruedas del puente*

*Cs: Factor de velocidad*

*Sm: Factor de servicio de la rueda*

El factor  $Kbw$  se puede obtener de la tabla 4.13.3-1, el cual es la relación entre la luz del puente y la capacidad de carga. Para nuestro caso donde la capacidad del puente son 5 toneladas y una luz de 9 metros nuestro  $Kbw=0,782$

El valor de  $Cs$  se puede obtener de la tabla 4.13.3-2 de la norma, la cual está en función de la velocidad de desplazamiento del puente grúa (15,24 m/min) y el diámetro de la rueda, en nuestro caso el diámetro es 8" y nos da un  $Cs=0,958$ .

Los valores que restan se los puede obtener de la tabla 4.13.3-3 según el factor de servicio de nuestro puente el cual ya hemos catalogado como clase C.

Por lo tanto,  $Sm=1$  y  $Kwl_{min}=0,80$

$$Kwl = 0,782 \cdot 0,958 \cdot 1$$

$$Kwl = 0,749$$

Nuestro caso  $Kbl$  es inferior al mínimo requerido por norma, por lo tanto, vamos a utilizar  $Kbl=0,8$ .

En la sección 4.13.3.5 de la norma, se determina la carga máxima admisible para la relación existente entre el riel y diámetro de rueda elegido.

Para poder verificar lo citado en el párrafo anterior se debe calcular primero la carga equivalente de durabilidad de la rueda mediante la siguiente ecuación.

$$Pe = \text{Carga máxima de la rueda} \cdot Kwl$$

*Ecuación 4.7.1*

$$Pe = 34852N \cdot 0,8$$

$$Pe = 27881,6N$$

Del resultado anterior podemos concluir que el mínimo riel admisible para un diámetro de rueda de 8" es un ASCE#25 el cual tiene una resistencia máxima permisible de es 8000Lb lo que es equivalente a 35585N por lo que se comprueba que la rueda no fallará por la carga aplicada.

Por cuestiones de escasez de rieles americanos en el ámbito local optaremos por utilizar un perfil A 45 del fabricante Voestalpine High performance Metal Argentina SA el cual es equivalente al ASCE#25 tanto en geometría como en propiedades mecánicas. En caso de faltantes de este tipo de rieles también se puede utilizar una palanquilla de acero SAE 1045 con la misma medida que la cabeza del riel.

El huelgo que debe haber entre las caras internas de las bridas de las ruedas y la cabeza del riel debe ser de 3/4" a 1".

Al tener el diámetro de la llanta 203,2mm podremos obtener el número de vueltas a las que deberán girar las ruedas a la velocidad definida previamente para el desplazamiento del puente grúa de 15,24m/min.

$$n = \frac{V}{\pi \cdot D}$$

*Ecuación 4.7.2*

$$n = \frac{15,24 \text{ m/min}}{3,14 \cdot 0,2023 \text{ m}}$$

$$n = 24 \text{ RPM}$$

## 4.8 Diseño de ejes

### 4.8.1 Análisis de carga y torque de diseño

Vamos a analizar el diagrama de cuerpo aislado de una de las ruedas del puente grúa utilizando ecuaciones y conceptos de dinámica y cinemática.

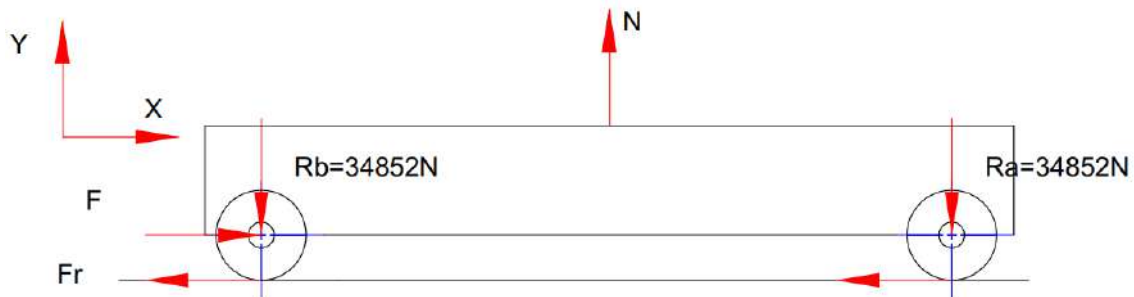


Figura 4.6.8: Esquema testera

$$\Sigma F_y = 0$$

Ecuación 4.8

$$Ra = N = 34852N$$

$$\Sigma F_x = m \cdot a_c$$

Ecuación 4.8.1

$$F - Fr = m \cdot a_c$$

$$F = N \cdot \mu + m \cdot a_c$$

Vamos a calcular la fuerza necesaria que se le tiene que transferir a las ruedas del puente grúa para poder poner todo el conjunto en movimiento. La velocidad definida en la sección X es de  $15,4m/min$ . La aceleración recomendada por la norma americana en la tabla 5.2.1.2.1-A para nuestro caso es de  $0,075m/s^2$

**TABLE 5.2.9.1.2.1-A  
GUIDE FOR TRAVEL MOTION  
TYPICAL ACCELERATION RATES RANGE<sup>1</sup>**

| Free Running<br>Full Load Speed |              | a = Acceleration<br>Rate in<br>Feet per Sec. per Sec.<br>for AC or DC <sup>2</sup> Motors |
|---------------------------------|--------------|---|
| Ft. per Min.                    | Ft. per Sec. |   |
| 60                              | 1.0          | .25 Min.  |
| 120                             | 2.0          | .25 - .80   |
| 180                             | 3.0          | .30 - 1.0   |
| 240                             | 4.0          | .40 - 1.0   |
| 300                             | 5.0          | .50 - 1.1   |
| 360                             | 6.0          | .60 - 1.1   |
| 420                             | 7.0          | .70 - 1.2   |
| 480                             | 8.0          | .80 - 1.3   |
| 540                             | 9.0          | .90 - 1.4   |
| 600                             | 10.0         | 1.0 - 1.6   |

Figura 4.8.1

Para el valor de la masa vamos a considerar la sumatoria de todos los mecanismos que integran el puente grúa y también la carga levantada.

| Peso estructural del puente grúa |           |          |                 |
|----------------------------------|-----------|----------|-----------------|
| Componente                       | Peso [Kg] | Unidades | Peso total [Kg] |
| Viga principal                   | 923,5     | 2        | 1847            |
| Viga testera                     | 76        | 2        | 140             |
| Polipasto                        | 740       | 1        | 740             |
| Carga levantada                  | 5000      | 1        | 3560            |
| Masa total para desplazar [Kg]   |           |          | 7727            |

Tabla 4.8

Como no conocemos aún el peso de los demás mecanismos que integran el puente grúa (reductores, motores eléctricos, ejes, ruedas etc.) adicionaremos un 10% a la masa total.

El coeficiente de fricción ( $\mu$ ) de la rueda contra los rieles lo obtenemos de la tabla 5.2.9.1.2.1-D, el cual es recomendado por la norma CMMA 70 y su valor es  $\mu = 0,00724$ .

SUGGESTED VALUES FOR F (FRICTION FACTOR) FOR BRIDGES & TROLLEYS  
WITH METALLIC WHEELS & ANTI-FRICTION BEARINGS

|                       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Wheel Dia.<br>Inches  | 36 | 30 | 27 | 24 | 21 | 18 | 15 | 12 | 10 | 8  | 6  |
| Friction<br>Lb/Ton(f) | 10 | 10 | 12 | 12 | 12 | 15 | 15 | 15 | 15 | 16 | 16 |

Figura 4.8.1 Valores de fricción según diámetro de rueda

$$F = 34852N \cdot 0,00724 + 8500kg \cdot 0,075 \cdot \frac{m}{s^2}$$

Ecuación 4.8.2

$$F = 252,3N + 637,5N = 890N$$

Una vez obtenida la fuerza necesaria que se requiere aplicar en una de las ruedas para poder mover toda la estructura con su respectiva carga podremos calcular el torque necesario.

El torque es la relación que hay entre la fuerza que se necesita para mover toda la estructura portante del puente grúa y el diámetro de las llantas.

$$T = F \cdot R_{rueda}$$

Ecuación 4.8.2

$$T = 890N \cdot 0,1016 m$$

$$T = 90,4 Nm$$

#### 4.8.2 Análisis de diagramas y cuerpo libre

En primer lugar, vamos a analizar las fuerzas que interactúan con el eje que sale del motorreductor y se acopla a las ruedas. Las fuerzas de reacción en los apoyos donde se alojarán los (Bujes o Rodamientos). A su vez tenemos la fuerza principal que se encuentra ubicada entre los apoyos y corresponde al valor calculado previamente de las reacciones en los apoyos de la viga testera.

Por último, tenemos la carga que se ubica en el centro de los apoyos y se corresponde con la fuerza que es necesaria para poder desplazar el puente grúa.



El valor de la fuerza radial aplicada en la sección de mayor diámetro del macizo (Fy) corresponde a la que se obtuvo debido a las reacciones en los apoyos de las vigas testeras y la fuerza (Fx) es la que se necesita para permitir trasladar de manera horizontal el puente grúa.

Mediante las ecuaciones de estática se puede determinar fácilmente las reacciones en los sentidos X e Y.

Como primer paso procederemos a realizar los diagramas de corte y de momento flector de los planos XY e YZ.

De las ecuaciones de estática podemos determinar las reacciones en los apoyos que son las que se identifican en la tabla que se encuentra a continuación.

| Índice | Ubicación | fuerza radial     |                  |                   |                 | Momento de flexión |   |        |           | Carga continua |   |        | Fuerza axial | Esfuerzo de torsión |                |
|--------|-----------|-------------------|------------------|-------------------|-----------------|--------------------|---|--------|-----------|----------------|---|--------|--------------|---------------------|----------------|
|        |           | Y                 | X                | Tamaño            | Dirección       | Y                  | X | Tamaño | Dirección | Y              | X | Tamaño |              |                     | Dirección      |
| 1      | 84,1mm    | 34852000<br>norte |                  | 34852000<br>norte |                 |                    |   |        |           |                |   |        |              |                     |                |
| 2      | 84,1mm    |                   | 890.000<br>norte | 890.000<br>norte  | 90,00<br>grados |                    |   |        |           |                |   |        |              |                     |                |
| 3      | 84,1mm    |                   |                  |                   |                 |                    |   |        |           |                |   |        |              |                     | 90.400<br>N·m  |
| 4      | 394mm     |                   |                  |                   |                 |                    |   |        |           |                |   |        |              |                     | -90.400<br>N·m |

Figura 4.8.2



Figura 4.8.2.1

### 4.8.3 Análisis de diagramas y cuerpo libre

#### Fuerza de corte, plano YZ

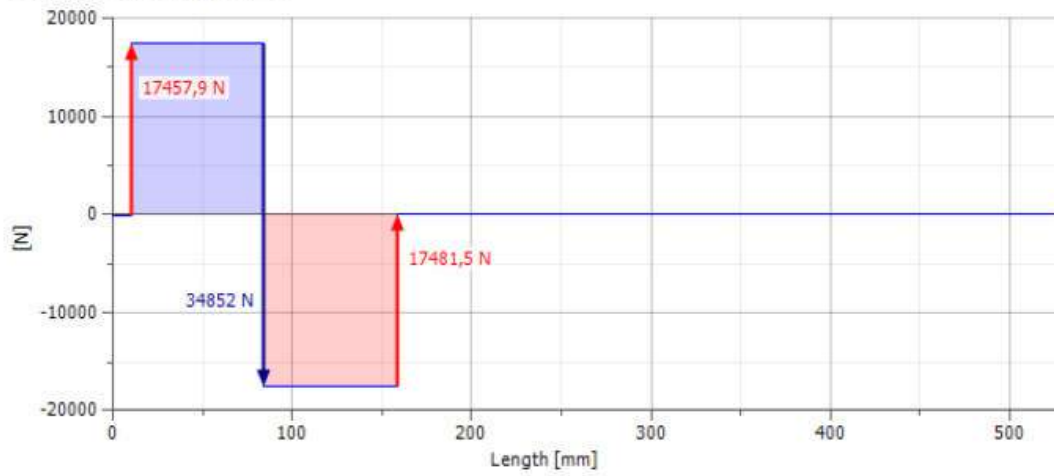


Figura 4.8.3

#### Fuerza de corte, plano XZ

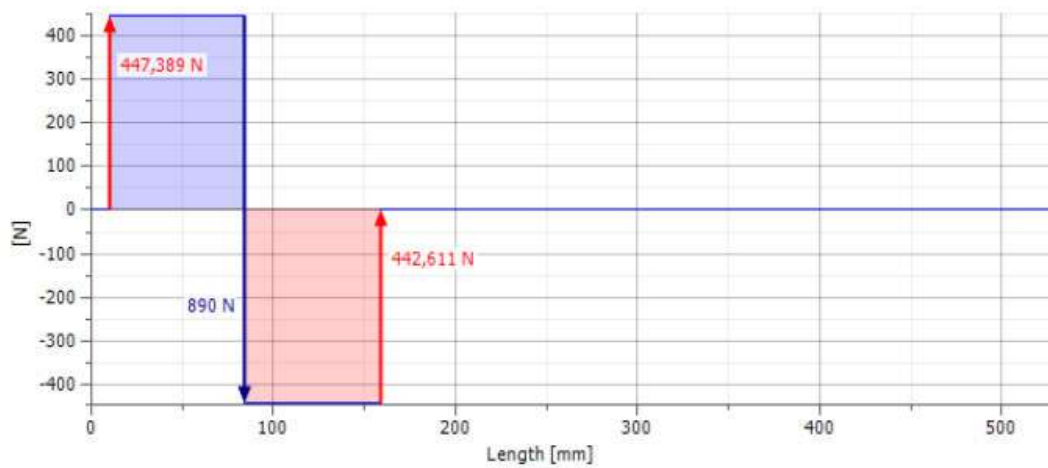


Figura 4.8.3.1

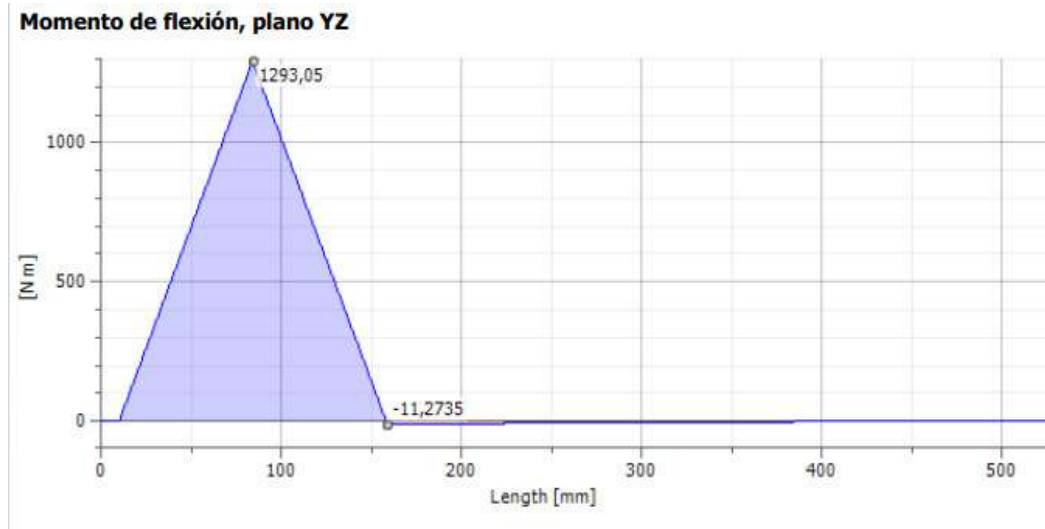


Figura 4.8.3.2

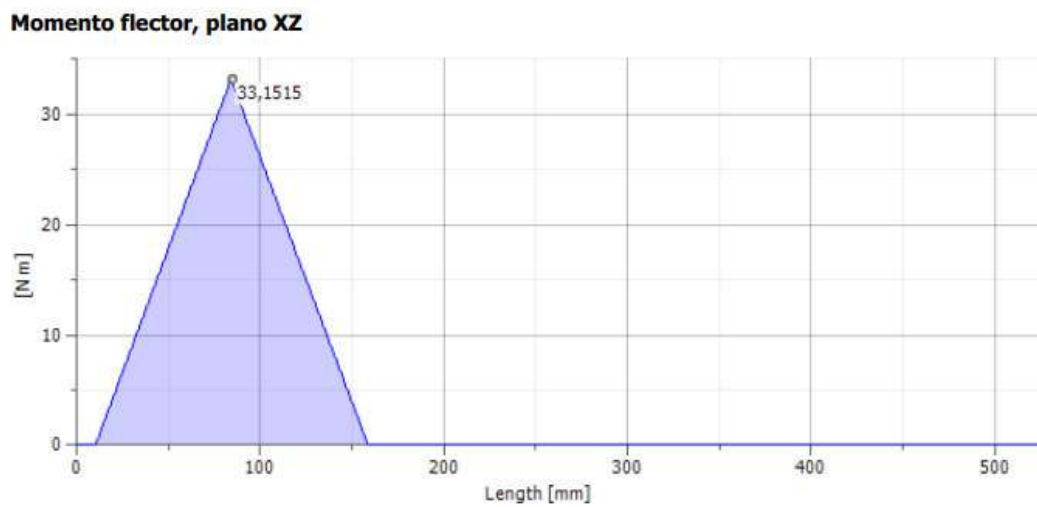


Figura 4.8.3.3

Para obtener el momento total se combinan los planos ortogonales de los momentos máximos obtenidos en los planos XZ e YZ como vectores como se indica en la siguiente ecuación.

$$M_{total} = \sqrt{M_{max}^2_{XZ} + M_{max}^2_{YZ}}$$

Ecuación 4.8.3

$$M_{total} = \sqrt{(33,15Nm)^2 + (1293,05Nm)^2}$$

$$M_{total} = 1293,47Nm$$

#### Momento de flexión

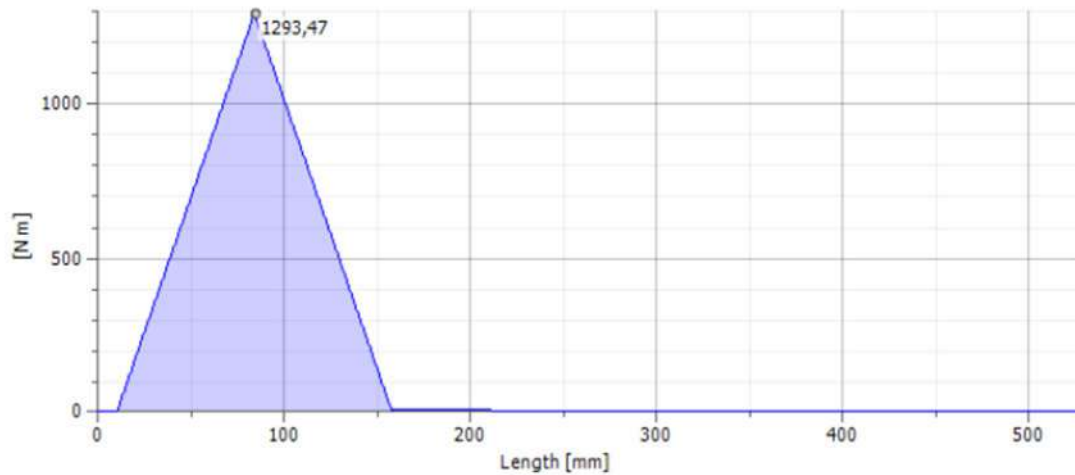


Figura 4.8.3.4

#### 4.8.4 Primera estimación de diámetro

Según la norma CMMA 70, la sección 4.11.4.2 recomienda que, para condiciones normales de operación, todo árbol o eje sometido a esfuerzos fluctuantes, tales como flexión o torsión en transmisiones con inversión, debe analizarse considerando fatiga.

Debe realizarse en puntos de discontinuidad geométrica donde existen concentradores de tensión tales como cambios de radio y muecas. Esto se logra aplicando un apropiado factor de fatiga.

Los árboles sirven para la transmisión de pares. Además del momento además el momento de torsión debe normalmente resistir momentos de flexión provenientes de reacciones como podrían ser engranajes o de fuerzas normales al eje del árbol. Por consiguiente, es necesario calcularlos a la flexión y torsión de manera simultánea.

Como primer paso se realiza el cálculo del diámetro tentativo en las secciones del árbol que deseamos determinar mediante el criterio de falla de Goodman. El criterio parte de la combinación de la teoría de falla de distorsión mejor conocido como criterio de Von Mises y el criterio de falla por fatiga de Goodman modificada.

Comenzaremos con el punto W que se indica en la imagen X, donde el momento flector es elevado, hay un concentrador de tensiones debido al salto de radio y el momento torsor está presente.

$$D_{eq} \geq \sqrt[3]{\frac{16n}{\pi} \cdot \left( \frac{2(K_f \cdot M_a)}{S_e} + \frac{\sqrt{3(K_{fs} T_m)^2}}{S_{ut}} \right)}$$

Ecuación 4.8.4

*n*: Factor de seguridad a la fatiga

*M<sub>a</sub>*: Momento flector alternativo

*T<sub>m</sub>*: Torque medio

*K<sub>f</sub>*: Factor de concentracion de esfuerzos a la fatiga por flexión

*K<sub>fs</sub>*: Factor de concentración de esfuerzos a la fatiga por torsión

*S<sub>e</sub>*: Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica

*S<sub>ut</sub>*: Límite de resistencia ultima del material a la tracción

#### 4.8.4.1 Primera estimación de diámetro

En el punto A de la figura 4.8.2.1 el momento flector es 1293,47Nm y el momento torsor es 90,4Nm.

En el caso de un eje giratorio con flexión y torsión constante es completamente reversible y la torsión es constante (*Shingley, 2008 pág. 357*) por tanto, el momento flector medio *M<sub>a</sub>* y el Torque alternante *T<sub>a</sub>* son igual a cero.

#### 4.8.4.2 Factores de concentración de esfuerzos

Por razones de simplicidad de diseño optaremos por un eje de un solo diámetro con dos chaveteros situados en donde irá montada la rueda para poder transmitir correctamente el torque necesario entre el eje y la llanta y en la salida del motorreductor.

El factor de concentración de esfuerzos para una primera aproximación según Shingley 9na edición en la pág. 373 recomienda tomar un  $K_t = 2,14$  y  $K_f = 3$

|  | Bending | Torsional | Axial |
|--|---------|-----------|-------|
| Shoulder fillet—sharp ( $r/d = 0.02$ )       | 2.7     | 2.2       | 3.0   |
| Shoulder fillet—well rounded ( $r/d = 0.1$ ) | 1.7     | 1.5       | 1.9   |
| End-mill keyseat ( $r/d = 0.02$ )            | 2.14    | 3.0       | —     |
| Sled runner keyseat                          | 1.7     | —         | —     |
| Retaining ring groove                        | 5.0     | 3.0       | 5.0   |

Tabla 4.8.4.2

$$K_f = K_t$$

$$K_{fs} = K_{ts}$$

#### 4.8.4.3 Límites de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica

Para determinar el límite a la resistencia a la fatiga en la ubicación crítica del eje a diseñar se usa la ecuación de Marín, en la cual se identifican varios factores que cuantifican los efectos de la condición superficial, el tamaño, la carga, la temperatura etc. (Shingley)

$$S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot K_f \cdot S'_e$$

Ecuación 4.8.4.3

$K_a$ : Factor de modificación de la condición superficial

$K_b$ : Factor de modificación de tamaño

$K_c$ : Factor de modificación de carga

$K_d$ : Factor de modificación de temperatura

$K_e$ : Factor de confiabilidad

$K_f$ : Factor de modificación de efectos varios

$S'_e$ : Límite de resistencia a la fatiga en viga giratoria

$S_e$ : Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de la máquina en la geometría y condición de uso

#### 4.8.4.4 Cálculo de factores de modificación

El factor de superficie  $K_a$  depende de la calidad del acabado superficial de la parte de la resistencia a la tensión y se determina mediante la siguiente ecuación.

$$K_a = aS_{ut}^b$$

Ecuación 4.8.4.4

$S_{ut}$  es la resistencia mínima a la tensión y tiene un valor de 620 MPa correspondientes para un acero SAE 1045 y los valores  $a$  y  $b$  se obtienen de considerar una superficie de eje mecanizada.

| Surface Finish         | Factor $a$     |               | Exponent $b$ |
|------------------------|----------------|---------------|--------------|
|                        | $S_{utr}$ kpsi | $S_{utr}$ MPa |              |
| Ground                 | 1.34           | 1.58          | -0.085       |
| Machined or cold-drawn | 2.70           | 4.51          | -0.265       |
| Hot-rolled             | 14.4           | 57.7          | -0.718       |
| As-forged              | 39.9           | 272.          | -0.995       |

Tabla 4.8.4.4

$$K_a = 4,51(620)^{-0,265} = 0,82$$

Para un primer prediseño podemos realizar las siguientes estimaciones según Shingley 9na edición pág. 376 debiendo verificar los coeficientes una vez conocido el diámetro.

$$K_b = 0,9$$

$$K_c = 1$$

$$K_d = 1$$

$$K_e = 1$$

#### 4.8.4.5 Límite de resistencia a la fatiga en viga giratoria $S'_e$

Ahora procederemos a determinar el valor del límite a la resistencia a la fatiga en viga rotatoria  $S'_e$ .

$$S'_e \begin{cases} 0,504S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi} \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ Mpa} & S_{ut} > 1400 \text{ Mpa} \end{cases}$$



El valor de  $S_{ut}$  para el acero SAE 1045 es 620 Mpa y como es menor que 1400 Mpa podemos obtener la siguiente ecuación

$$S'_e = 0,504S_{ut}$$

*Ecuación 4.8.4.5*

$$S'_e = 0,504 \cdot 620 \text{ Mpa} = 312,5 \text{ Mpa}$$

Ahora al haber conseguido todos los coeficientes podremos determinar  $S_e$  reemplazando los mismos en la ecuación X.

$$S_e = 0,82 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 312,5 \text{ Mpa} = 230,61 \text{ Mpa}$$

*Ecuación 4.8.4.5.1*

Por último, podremos obtener la primera estimación del diámetro más pequeño de nuestro eje reemplazando todos los valores en la ecuación de Goodman modificada. Es un buen criterio para un cálculo inicial debido a que es simple y conservativo. Para el factor de seguridad tomaremos para la primera estimación del diámetro un valor  $n = 1$  basándonos en aplicaciones de choques pequeños debido a un arranque suave.

| Casos  | Aplicaciones                            | [n]       |
|--|---|-----------|
| Choques pequeños en el arranque                    | Motores eléctricos, bombas centrífugas. | 1,0 - 1,1 |
| Choques de nivel medio                             | Máquinas y motores alternativos.        | 1,2 - 1,5 |
| Choques fuertes con frecuencia media de aplicación | Máquinas de punzonado y corte.          | 1,5 - 2,0 |
| Choques fuertes con frecuencia alta de aplicación  | Prensas de martillo, molinos de bolas.  | 2,0 - 3,0 |

*Tabla 4.8.4.5*

*Tabla X Fuente (Avilés R., Fatiga de materiales en el diseño mecánico, ETS II de Bilbao España, 1993.)*

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 1,1}{\pi} \cdot \left( \frac{2(2,14 \cdot 1293 \text{ Nm})}{230,61 \cdot 10^6 \text{ Pa}} + \frac{\sqrt{[3(3 \cdot 64 \text{ Nm})^2]}}{620 \cdot 10^6 \text{ Pa}} \right)}$$

$$d = 0,0583 \text{ m} = 58,3 \text{ mm}$$

### ***Unión a torsión; Chavetas***

Las chavetas se emplean para la unión a torsión entre engranajes, correas, ruedas etc. Y sus respectivos ejes, haciendo que giren solidariamente. En este proyecto se utilizará una chaveta paralela longitudinal de sección rectangular, cuyas dimensiones dependen del diámetro del eje siendo estandarizadas por la norma DIN 6885.

Al disponer del primer diámetro tentativo del eje ahora podremos realizar la elección de la chaveta aproximada para nuestro caso de estudio y así determinar los

#### *4.8.4.6 Segunda iteración de diámetros*

Con la primera estimación del diámetro del eje se puede proseguir el cálculo, para determinar un segundo valor de diámetro en el eje considerando concentración de esfuerzos.

#### *4.8.4.7 Concentración de esfuerzos*

En esta segunda iteración se tiene que recalcular los factores de concentración de esfuerzos por fatiga  $K_f$  y  $K_{fs}$ , estos están en función de los factores de esfuerzos  $K_t$  y  $K_{ts}$ . Y la sensibilidad de la muesca  $q$ .

$$K_f = 1 + q(K_t - 1)$$

*Ecuación 4.8.4.7*

$$K_{fs} = 1 + q_{cortante}(K_{ts} - 1)$$

En el trabajo de análisis o diseño, primero se debe encontrar los factores  $K_t$  y  $K_{ts}$  a partir de la geometría del eje, como ahora disponemos del primer diámetro tentativo ingresamos en la norma alemana DIN 6885 de estandarización de chavetas y chaveteros para poder así determinar los factores de concentración de esfuerzos.

Para nuestro diámetro calculado previamente tomaremos un valor de chaflan  $R1 = 0,3mm$ .

**Chavetero para chavetas paralelas**

| Diámetro del eje d |       | Sección de la chaveta<br>b x h | Nominal  | Ancho b, tolerancia             |          |                  |         | Profundidad |         |         |        | Chafón R1 |      |
|--------------------|-------|--------------------------------|----------|---------------------------------|----------|------------------|---------|-------------|---------|---------|--------|-----------|------|
| Más de             | hasta |                                |          | Clase de ajuste del enchavetado |          |                  |         | Eje h1      |         | Cubo h2 |        | Mfn.      | Máx. |
|                    |       |                                |          | Libre                           |          | Normal           |         | Ajustada    |         | Nominal | Toler. |           |      |
|                    |       | Eje h9                         | Cubo D10 | Eje n9                          | Cubo JS9 | Eje y Cubo p9/P9 | Nominal | Toler.      | Nominal | Toler.  |        |           |      |
| 10                 | 12    | 4x4                            | 4        |                                 |          |                  | 2,5     |             | 1,8     |         | 0,08   | 0,16      |      |
| 12                 | 17    | 5x5                            | 5        | +0,030                          | +0,078   | 0                | 3       | +0,1        | 2,3     | +0,1    | 0,16   | 0,25      |      |
| 17                 | 22    | 6x6                            | 6        |                                 | +0,030   | -0,030           | 3,5     | 0           | 2,8     | 0       | 0,16   | 0,25      |      |
| 22                 | 30    | 8x7                            | 8        |                                 | +0,098   | 0                | 4       |             | 3,3     |         | 0,16   | 0,25      |      |
| 30                 | 38    | 10x8                           | 10       | +0,036                          | +0,040   | -0,036           | 5       |             | 3,3     |         | 0,25   | 0,40      |      |
| 38                 | 44    | 12x8                           | 12       |                                 |          |                  | 5       |             | 3,3     |         | 0,25   | 0,40      |      |
| 44                 | 50    | 14x8                           | 14       |                                 | +0,120   | 0                | 6       |             | 3,8     |         | 0,25   | 0,40      |      |
| 50                 | 58    | 16x10                          | 16       | +0,043                          | +0,050   | -0,043           | 6       |             | 4,3     |         | 0,25   | 0,40      |      |
| 58                 | 65    | 18x11                          | 18       |                                 |          |                  | 7       | +0,2        | 4,4     | +0,2    | 0,25   | 0,40      |      |

Tabla 4.8.4.7

A partir de los gráficos de concentración de tensiones  $K_t$  para flexión en ejes de sección circular con asiento de chaveta paralela longitudinal semicircular para una relación  $r/d = 0,0057$ . (W. D. Pilkey, *Peterson's Stress-Concentration Factors*, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 1997, pp. 408-409)

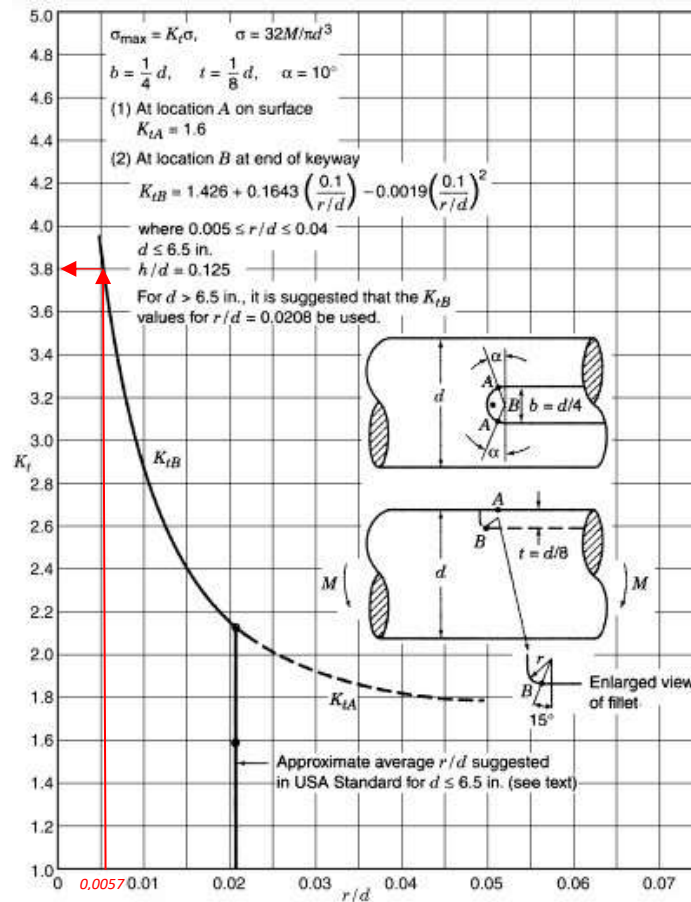


Figura 4.8.4.7

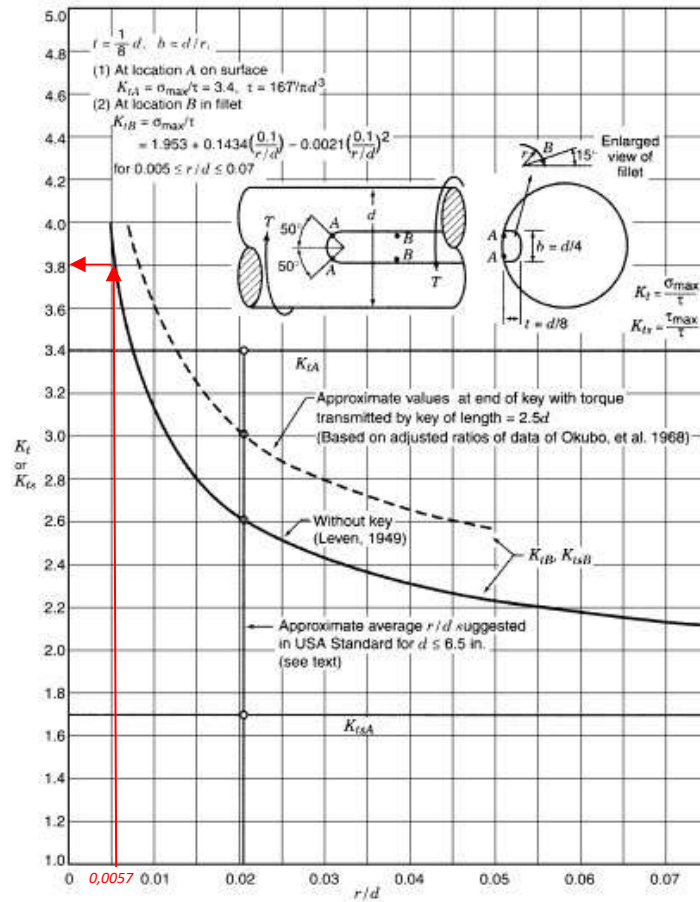


Figura 4.8.4.7.1

Según las gráficas indicadas en las figuras X y X se obtienen los factores  $K_t = 3,8$  y  $K_{ts} = 3,8$ .

Los valores de  $q$  y  $q_{cortante}$  se obtienen a partir de las figuras X y X obtenidas del libro Shingley figura 620 y 621 respectivamente (pág. 295 y 296)

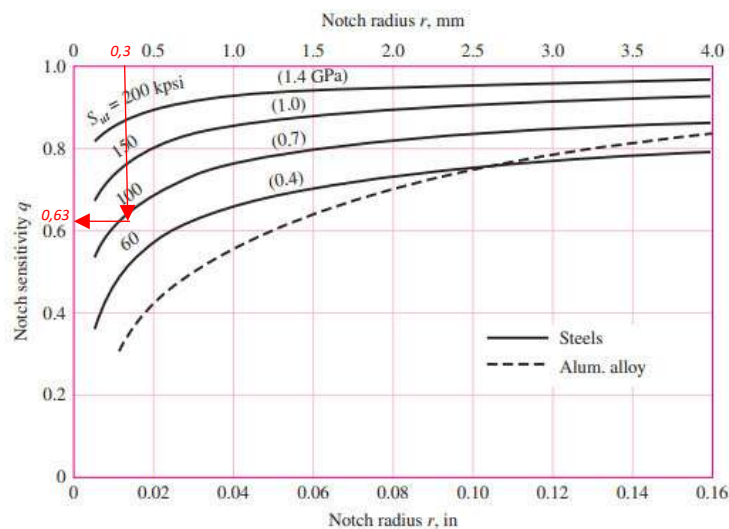


Figura 4.8.4.7.2

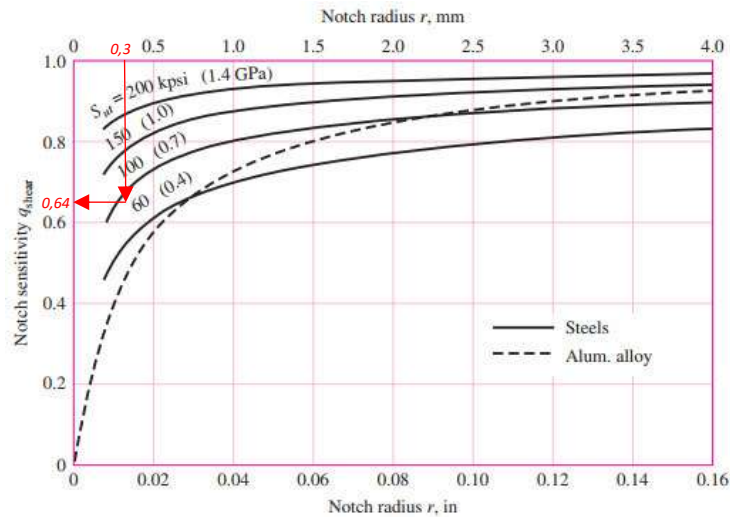


Figura 4.8.4.7.3

Según las gráficas se obtienen los factores  $q = 0,63$  y  $q_{cortante} = 0,64$ .

Reemplazando los valores obtenidos previamente e las ecuaciones X y X

$$K_f = 1 + 0,63(3,8 - 1) = 2,764$$

$$K_f = 1 + 0,64(3,8 - 1) = 2,792$$

#### 4.8.4.7 Recálculo del límite de resistencia a la fatiga y factores de modificación

El factor de superficie  $K_a$  calculado anteriormente se mantiene igual sin modificaciones,  
 $K_a = 0,82$

Para determinar el factor de tamaño  $K_b$  se usa la siguiente expresión que depende del diámetro

$$k_b \left\{ \begin{array}{l} \left( \frac{d}{0,3} \right)^{-1,107} = 0,879d^{-0,107} \quad 0,11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0,879d^{-0,157} \quad 2 \leq d \leq 10 \text{ pulg} \\ \left( \frac{d}{7,62} \right)^{-1,107} = 1,24d^{-0,107} \quad 2,79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1,51d^{-0,157} \quad 51 \leq d \leq 254 \text{ mm} \end{array} \right.$$

Por lo tanto

$$K_b = 1,51(52,3\text{mm})^{-0,157} = 0,811$$

Los factores  $K_c, K_d, K_e$  y  $K_f$  se siguiente manteniendo en 1.

Procederemos a realizar nuevamente el cálculo del valor límite de resistencia a la fatiga mediante la ecuación X

$$S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot K_f \cdot S'_e$$

Ecuación 4.8.4.7

$$S_e = 0,82 \cdot 0,811 \cdot 1 \cdot 312,5 \text{ Mpa} = 207,81 \text{ Mpa}$$

Procederemos a calcular nuevamente el diámetro del eje mediante el criterio de Goodman.

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 1}{\pi} \cdot \left( \frac{2(2,14 \cdot 1223 \text{ Nm})}{207,81 \cdot 10^6 \text{ Pa}} + \frac{\sqrt{[3(3 \cdot 90,4 \text{ Nm})^2]}}{620 \cdot 10^6 \text{ Pa}} \right)}$$

Ecuación 4.8.4.7.1

$$d = 0,0577 \text{ m} = 57,7 \text{ mm}$$

#### 4.8.4.8 Verificación de la resistencia del eje según normativa CMMA 70

En la norma CMMA 70, la sección 4.11.4, establece que todo eje debe estar diseñado para soportar los esfuerzos presentes en condiciones normales de operación, incluyendo el análisis de esfuerzos fluctuantes tales como flexión de ejes y torsión en la transmisión de torque, por lo cual se debe efectuar una verificación de estrés por fatiga para condiciones normales de operación. Para ello se identifican y se calculan los esfuerzos presentes en el eje, como es el esfuerzo de flexión  $\sigma_B$ , el esfuerzo de torsión  $\tau_t$  y el esfuerzo debido a las cargas de corte  $\tau_v$  en cuanto a las cargas axiales no las tendremos en cuenta.

#### **Esfuerzo a la flexión $\sigma_B$**

$$\sigma_B = \frac{M \cdot r}{I} = \frac{64 \cdot M \cdot r}{3,14 \cdot D^4} \leq \frac{\sigma_{ut}}{I}$$

Ecuación 4.8.4.8

*M*: Momento flexionante

*r*: Radio del eje

*D*: Diámetro del eje

*I*: Momento de inercia

### **Esfuerzo de torsión $\tau_B$**

$$\tau_t = \frac{T \cdot r}{J} = \frac{32 \cdot T \cdot r}{3,14 \cdot D^4} \leq \frac{\sigma_{ut}}{5\sqrt{3}}$$

Ecuación 4.8.4.8.1

*T: Momento torsor*

*r: Radio del eje*

*D: Diámetro del eje*

*J: Momento polar de inercia*

### **Esfuerzo de corte $\tau_v$**

$$\tau_v = 1,33 \frac{V}{A} = 1,33 \frac{4 \cdot V}{3,14 \cdot D^2} \leq \frac{\sigma_{ut}}{5\sqrt{3}}$$

Ecuación 4.8.4.8.2

*V: Esfuerzo de corte*

*A: Area de la sección*

*D: Diámetro del eje*

Nuestro eje posee un diámetro de 58,8mm en todo el largo, por lo tanto, vamos a analizar la sección en la que las sollicitaciones son mayores y podremos determinar si cumple con los requerimientos establecidos por la norma CMMA.

| <b>Magnitud</b>           | <b>Valor</b> | <b>Unidad</b> |
|---------------------------|--------------|---------------|
| <b>Momento de inercia</b> | 5,4379E-07   | $m^4$         |
| <b>Momento polar</b>      | 1,0876E-06   | $m^4$         |
| <b>Momento flector</b>    | 1293         | $Nm$          |
| <b>Momento torsor</b>     | 90,4         | $Nm$          |
| <b>Corte</b>              | 13107        | $N$           |
| <b>Area</b>               | 2,61E-03     | $m^2$         |
| <b>Diámetro</b>           | 5,77E-02     | $m$           |
| <b>Radio</b>              | 2,88E-02     | $m$           |



| Magnitud   | Valor    | CMMA     | Verifica CMMA |
|--|----------|----------|---------------|
| <i>Esfuerzo de flexión <math>\sigma_B</math></i> | 68,6 Mpa | 124 Mpa  | SI            |
| <i>Esfuerzo de torsión <math>\tau_B</math></i>   | 2,4 Mpa  | 71,6 Mpa | Si            |
| <i>Esfuerzo de corte <math>\tau_v</math></i>     | 6,67 Mpa | 71,6 Mpa | Si            |

Tabla 4.8.4.8.3

Para la verificación del criterio por fatiga en el eje, la norma CMMA 70 utiliza el criterio de Von Mises.

$$\sigma_{com} = \sqrt{(\sigma_b)^2 + 3(\tau_{TV})^2} \leq \frac{\sigma_e}{K_c}$$

Ecuación 4.8.4.8.4

$\sigma_e$ : Esfuerzo de endurecimiento del material del eje  $\sigma_e = 0,36\sigma_{ut}k_{sc}$

$k_c$ : Factor de clase de grúa

$k_{sc}$ : Factor de condición superficial

Para poder determinar los factores anteriormente mencionados debemos recurrir a las tablas que provee la norma en la sección 4.11.1.

Para la condición superficial tomaremos  $k_{sc} = 0,75$  debido a que el eje será mecanizado para un uso general.

TABLE 4.11.1-1  
SURFACE CONDITION FACTOR

| $K_{sc}$ | SURFACE CONDITION                                |
|----------|--|
| 1.4      | For Polished-Heat treated and inspected shafting |
| 1.0      | For Machined-Heat treated and inspected shafting |
| .75      | For Machined-General usage shafting              |

Tabla 4.8.4.8.1

El otro factor  $k_c = 1,03$  debido a que corresponde a la clase de servicio de la grúa la cual fue identificada en el capítulo X.

TABLE 4.11.1-2

| CRANE CLASS | CRANE CLASS FACTOR<br>$K_c$ |
|-------------|-----------------------------|
| A           | 1.0                         |
| B           | 1.015                       |
| C           | 1.03                        |
| D           | 1.06                        |
| E           | 1.125                       |
| F           | 1.25                        |

Tabla 4.8.4.8.2

Con los dos factores obtenidos anteriormente vamos a poder calcular el esfuerzo de endurecimiento y la tensión combinada de Von Mises.

$$\sigma_{com} = \sqrt{(68,6Mpa)^2 + 3(6,67Mpa + 2,4Mpa)^2}$$

Ecuación 4.8.4.8.5

$$\sigma_{com} = 70,40 Mpa$$

El esfuerzo de endurecimiento es el siguiente

$$\sigma_e = 0,36 \cdot 620 \text{ Mpa} \cdot 0,75$$

Tabla 4.8.4.8.6

$$\sigma_e = 167,4 \text{ Mpa}$$

Por lo tanto

$$\sigma_{com} = 70,40 \text{ Mpa} \leq \frac{167,4 \text{ Mpa}}{1,03} = 162,5 \text{ Mpa}$$

De lo anterior podemos concluir que el eje diseñado verifica los requerimientos de la norma americana CMMA 70.

#### 4.9 Selección y cálculo de rodamientos

Previo a la selección del tipo de rodamientos que se alojarán en el eje anteriormente analizado, se establecen ciertas condiciones y requerimientos que estos deben cumplir.

1. El rodamiento por seleccionar soportará cargas combinadas; una carga puramente radial, correspondiente a las fuerzas de reacción en los apoyos del eje a causa de la carga principal en el centro del eje, y las cargas desplazamiento. También soportará una ligera carga axial producto de las fuerzas por el desplazamiento del polipasto, el levantamiento y descenso de cargas.
2. Debido a que los alojamientos para los rodamientos estarán sujetos a la estructura de la testera, y esta al estar fabricada de chapa de acero laminada sus tolerancias geométricas y superficiales son inferiores, adicionalmente al ser una estructura armada y soldada estas pueden presentar un grado de variación dimensional a lo planificado; por lo tanto, el rodamiento a seleccionar debe tener un grado de compensación de desalineación, tanto en funcionamiento como en el montaje.
3. Los rodamientos trabajarán con lubricación a grasa, para ello los alojamientos dispondrán de graseros. Periódicamente se colocará grasa a la cantidad necesaria según el plan de mantenimiento determinado.
4. El rodamiento no soportará elevadas velocidades de rotación, debido a que la velocidad de desplazamiento longitudinal del puente grúa es baja y el número de revoluciones a las que girará el conjunto del eje con la rueda también es pequeño.

Para la selección y cálculo del rodamiento se usará el procedimiento según el fabricante SKF (*Catálogo rodamientos SKF, 2015*), donde se emplea la tabla de selección de tipo de rodamiento, esta tabla permite realizar una clasificación superficial según las condiciones establecidas.

Los rodamientos de rodillos a rotula tienen dos hileras de rodillos, un camino de rodadura esférico común en el aro exterior y dos caminos de rodadura en el aro interior inclinados de manera tal que forman un ángulo respecto del eje del rodamiento. El punto central de la esfera del camino de rodadura en el aro exterior se encuentra en el eje del rodamiento. De esta manera los rodamientos son autoalineables y no se ven afectados por la desalineación del eje con respecto al soporte que por ejemplo puede producirse por flexión del eje.

Todas las características antes mencionadas hacen del rodamiento de rodillos a rotula ideal para las consideraciones que debemos tener en cuenta para nuestro diseño, por lo que vamos a optar por la aplicación de este.

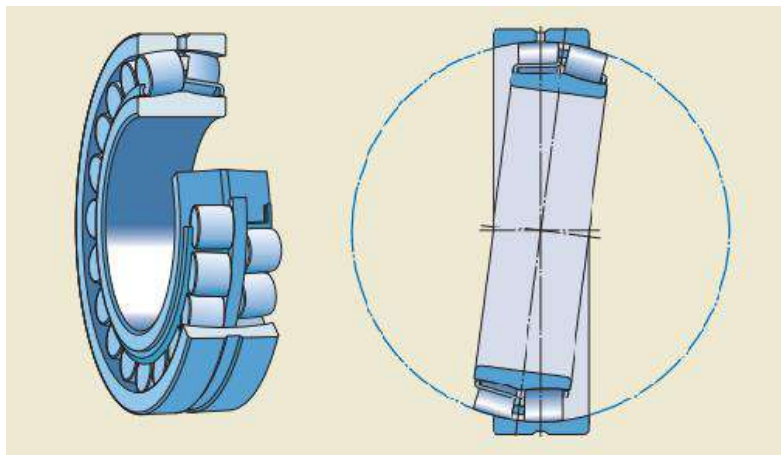


Figura 4.9

Otros criterios importantes que se deben tener en cuenta al seleccionar rodamientos son: la capacidad de carga, la vida útil, fricción, velocidades permitidas, precarga, lubricación y obturadores. Cuando un rodamiento está sometido a cargas radiales y axiales simultáneamente, la carga dinámica equivalente  $P$  se puede determinar de la siguiente manera.

$$P = XF_r + YF_a$$

Ecuación 4.9

Donde:

$F_r$ : Carga radial real del rodamiento [KN]

$F_a$ : Carga radial real del rodamiento [KN]

$X$ : Factor de carga radial del rodamiento

$Y$ : Factor de carga radial del rodamiento

Para este caso las cargas radiales netas serán la suma vectorial de las reacciones  $RA_y$  y  $RB_y$  de los apoyos en el eje analizado anteriormente en la sección XX, y las reacciones de este  $RA_x$  y  $RA_x$  a causa de la fuerza de desplazamiento del puente grúa como se puede apreciar en la figura (de la rueda desplazándose)

$$F_r = \sqrt{(34892N)^2 + (3153N)^2} = 35034,17N$$

*Ecuación 4.9.1*

Las fuerzas axiales que soportan los rodamientos son relativamente ligeras, y serán a causa de la inercia por el desplazamiento transversal del polipasto, cuando el mecanismo de elevación levante la carga máxima. Para ello se realizó un análisis dinámico del desplazamiento transversal del trolley calculado en la sección X

$$F_a = 3153N$$

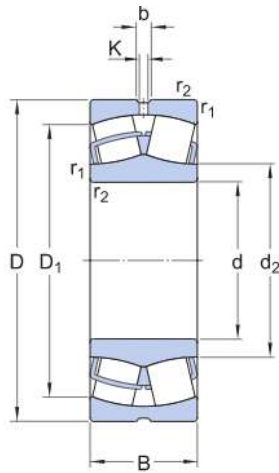
Los factores X e Y se determinan según el tipo de rodamiento seleccionado, en este caso para un rodamiento de rodillos a rótula la carga dinámica equivalente se establece como:

$$P = F_r + Y_1 F_a \text{ cuando } \frac{F_a}{F_r} \leq e$$

*Ecuación 4.9.2*

$$P = 0,67F_r + Y_2 F_a \text{ cuando } \frac{F_a}{F_r} > e$$

Los valores apropiados de los factores de cálculo  $Y_1$ ,  $Y_2$  y  $e$  se pueden encontrar en las tablas de rodamientos para cada tipo en particular. El rodamiento de rodillos a rótula con un diámetro interior de 60 mm, que corresponde al diámetro del eje calculado en la sección anterior tiene una designación 22212 E, la información técnica se indica a continuación:



### DIMENSIONES

|                  |             |  |
|------------------|-------------|--|
| d                | 60 mm       | Diámetro del agujero                         |
| D                | 110 mm      | Diámetro exterior                            |
| B                | 28 mm       | Ancho  |
| d <sub>2</sub>   | ≈ 72.7 mm   | Diámetro del resalte del aro interior        |
| D <sub>1</sub>   | ≈ 96.5 mm   | Diámetro del resalte/rebaje del aro exterior |
| b                | 6 mm        | Ancho de la ranura de lubricación            |
| K                | 3 mm        | Diámetro del agujero de lubricación          |
| r <sub>1,2</sub> | min. 1.5 mm | Dimensión del chaflán                        |

Figura 4.9.1

### DATOS DEL CÁLCULO

|                                    |                |             |
|------------------------------------|----------------|-------------|
| Capacidad de carga dinámica básica | C              | 159 kN      |
| Capacidad de carga estática básica | C <sub>0</sub> | 166 kN      |
| Carga límite de fatiga             | P <sub>u</sub> | 18.6 kN     |
| Velocidad de referencia            |                | 5 600 r/min |
| Velocidad límite                   |                | 7 500 r/min |
| Valor límite                       | e              | 0.24        |
| Factor de carga axial              | Y <sub>1</sub> | 2.8         |
| Factor de carga axial              | Y <sub>2</sub> | 4.2         |
| Factor de carga axial              | Y <sub>0</sub> | 2.8         |

Ecuación 4.9.2

Se determina  $F_a/F_r$  y se compara con el factor de calculo  $e = 0,24$  del rodamiento.

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{3,1KN}{34KN} = 0,09 < 0,24$$

Como el factor  $e$  es menor entonces se utiliza la ecuación

$$P = F_r + Y_1 F_a$$

$$P = 34KN + 2,8 \cdot 3,1KN$$

$$P = 42,7KN$$

El catálogo del fabricante SKF provee la siguiente ecuación para calcular la vida útil de los rodamientos.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

Ecuación 4.9.3

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} L_{10}$$

Donde:

$L_{10}$ : Vida nominal básica [Millones de revoluciones]

$L_{10h}$ : Vida nominal SKF [Horas de funcionamiento]

$C$ : Capacidad de carga dinámica básica [KN]

$P$ : Carga dinámica equivalente del rodamiento [KN]

$n$ : Velocidad de giro [RPM]

$p$ : Capacidad de carga dinámica básica [KN]

$P$ : Exponente de la ecuacion de vida útil para rodamientos de rodillos ,  $p = 10/3$

$$L_{10} = \left(\frac{159}{27}\right)^{\frac{10}{3}}$$

$$L_{10} = 368,78 \text{ [Millones de revoluciones]}$$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot 24RPM} 368,78 RPM$$

$$L_{10h} = 464430,55 \text{ [Horas de funcionamiento]}$$

#### 4.10 Cálculo y selección de motorreductor para puente grúa

##### 4.10.1 determinación de potencia mínima según norma CMMA

Para poder mover toda la estructura en forma longitudinal a la velocidad previamente establecida es necesario optar por una caja reductora o un motorreductor debido a que no podemos instalar directamente un motor eléctrico por sus altas velocidades de giro.

Para poder obtener la potencia requerida por el motor debemos tener en cuenta lo que recomienda la norma CMMA 70 y observar la tabla que se encuentra en la sección 5.2.9.1.2.1 la cual indica la potencia requerida que necesita el motor para el desplazamiento de nuestro mecanismo de elevación.

El motor debe ser seleccionado de manera tal que el rango determinado de (HP) no sea menor que el determinado mediante la siguiente ecuación.

$$HP = k_a \cdot W \cdot V \cdot k_s$$

*Ecuación 4.10*

$k_a$ : Factor de aceleración por tipo de motor elegido

$k_s$ : Factor de servicio para motores según tipo de conducción y ciclo de trabajo

$W$ : Peso total a ser desplazado

$V$ : Velocidad de desplazamiento

$$k_a = \frac{f + \frac{2000a \cdot C_r}{g \cdot E}}{33000 \cdot k_t} \cdot \frac{N_r}{N_f}$$

*Ecuación 4.10.A*

$f$ : Factor de fricción por rodadura (Referencia tabla 5.2.9.1.2.1 – D)

$a$ : Tasa de aceleración para desplazamientos (Referencia tabla 5.2.9.1.2.1 – A)

$C_r$ : Factor de inercia rotacional

$$C_r = 1,05 + \left(\frac{a}{7,5}\right)$$

*Ecuación 4.10.B*



$g$ : Aceleración de la gravedad 32,2 ft/s<sup>2</sup>

$E$ : Eficiencia mecánica de la maquinaria (0,9 si es desconocida)

$N_r$ : Velocidad nominal del motor en plena carga (RPM)

$N_f$ : RPM de funcionamiento libre del motor cuando se conduce a una velocidad  $V$

$k_t$ : Factor de torque de aceleración (Referencia tabla 5.2.9.1.2.1 – C)

El factor de servicio de motores ( $K_s$ ) se determina a partir de la tabla 5.2.9.1.2.1-E de la norma CMMA 70, donde se tiene en consideración el tipo de motor y la clase de servicio del puente grúa.

Nuestro caso de análisis se corresponde con un motor de corriente alterna estático con resistencia del secundario fija y una clase de servicio tipo C, por ende, nuestro factor de servicio de motores resulta ser  $K_s = 1,2$

Para obtener el factor de aceleración ( $k_a$ ) es preciso primero obtener todos los factores que componen la ecuación X. A modo de facilitar la búsqueda de información vamos a desarrollar una tabla en donde se indiquen los distintos coeficientes de la ecuación y la numeración respectiva de las tablas que recomiendan dichos valores.

|  |           |                           |
|--|-----------|---------------------------|
| <b>Factor de aceleración por tipo de motor elegido</b> | $k_a$     | 0,00065                   |
| <b>Factor de servicio del motor</b>                    | $k_s$     | 1,2                       |
| <b>Aceleración de la gravedad</b>                      | $g$       | 32,2 [ft/s <sup>2</sup> ] |
| <b>Eficiencia mecánica de la maquinaria</b>            | $E$       | 0,9                       |
| <b>Factor de inercia rotacional</b>                    | $C_r$     | 1,08                      |
| <b>Factor de fricción por rodadura</b>                 | $f$       | 16 [lb/Tn]                |
| <b>Tasa de aceleración para desplazamientos</b>        | $a$       | 0,25 [ft/s <sup>2</sup> ] |
| <b>Factor de torque de aceleración</b>                 | $k_t$     | 1,5                       |
| <b>Coefficiente de deslizamiento</b>                   | $N_r/N_f$ | 0,9                       |

Tabla 4.10

Ahora que disponemos de todos los valores necesarios estamos en condiciones de calcular la potencia requerida para el motor que dará movimiento a nuestro mecanismo de elevación.

Debemos recordar que la velocidad de translación del puente, así como el peso total a desplazar fueron mencionados en la sección X

$$HP = k_a \cdot W \cdot V \cdot k_s$$

*Ecuación 4.10.C*

$$HP = 0,00065 \cdot 8,5 \text{ Tn} \cdot 50 \text{ fpm} \cdot 1,2$$

$$HP = 0,33 \text{ HP}$$

La ecuación anterior nos brindó la información de la mínima potencia necesaria que debe tener el motor eléctrico.

#### 4.10.1 Determinación del modelo de motorreductor

Para determinar el tipo de reductor y la relación de transmisión debemos utilizar la ecuación X que depende de la velocidad de entrada y la velocidad de salida.

Según las relaciones nominales que brinda el fabricante de la marca Lentax (Catálogo N° 122, Apéndice 7)

$$i = \frac{n_{\text{conducido}}}{n_{\text{motriz}}}$$

*Ecuación 4.10.1*

$$60 = \frac{n_{\text{conducido}}}{24 \text{ RPM}}$$

$$n_{\text{conducido}} = 1440 \text{ RPM}$$

Utilizaremos un reductor a sinfín y corona de la marca Lentax y seguiremos los pasos de selección que describe su respectivo catálogo No 122 (Edición 2017).

*Potencia de cálculo*

Para poder seleccionar el motorreductor necesitamos calcular la potencia que debe transmitir en su eje a las ruedas para mover todo el conjunto del puente grúa.

El valor del torque necesario lo calculamos en la sección X y la velocidad del puente grúa estaba definida, por lo tanto:

$$N_a = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot d}{t}$$

Ecuación 4.10.1.1

$$d = V \cdot t$$

Donde

$N_a$ : Potencia de cálculo

$W$ : Trabajo

$t$ : Tiempo

$W$ : Distancia

$W$ : Velocidad del puente grúa

$$N_a = 890N \cdot 0,254 \frac{m}{s} = 226,06 W = 0,3Hp$$

La potencia obtenida anteriormente por catálogo es menor al mínimo requerido que estipula la norma americana calculado en la sección anterior por lo que para calcular la potencia de entrada utilizaremos 0,33Hp

*Potencia de entrada*

Para realizar este cálculo entramos en el catálogo del fabricante Lentax y tomamos la relación de transmisión normalizada superior más próxima  $i = 60 [RPM]$  y elegimos un modelo de reductor 21 para una primera estimación de la potencia

$$N_e = \frac{N_a}{r}$$

Ecuación 4.10.2

Donde

$N_a$ : Potencia de cálculo

$N_e$ : Potencia de entrada

$r$ : Rendimiento teórico

$$N_e = \frac{0,33Hp}{0,61} = 0,54Hp$$

### Preselección del motor

Vamos a realizar una preselección del motor del reductor ingresando con la potencia de entrada en el catálogo del fabricante y optaremos por un motor de 0,75HP cuya velocidad de entrada es 1415RPM

La velocidad disponible en el eje del motor es 1370 RPM y como el eje estará acoplado a la caja reductora podemos deducir que la velocidad de entrada en el eje del reductor será la misma

El modelo del reductor será 26 0,75 con una reducción de 60 veces.

### Relación de transmisión

Para determinar el tipo de reductor y la relación de transmisión debemos utilizar la ecuación X que depende de la velocidad de entrada y la velocidad de salida.

Donde

| Potencia Entrada |    | Velocidad Salida aprox. | Relación | MODELO      | Factor de Seguridad | Momento l | Velocidad Entrada aprox. | Carga Radial adm. | Carga Axial adm. | Peso aprox. | Medidas | Repuestos |           |
|------------------|----|-------------------------|----------|-------------|---------------------|-----------|--------------------------|-------------------|------------------|-------------|---------|-----------|-----------|
| kW               | HP | (RPM)                   | (i)      |             | (fz)                | (Nm)      | (RPM)                    | (kg)              | (kg)             | (kg)        | Página  | Página    |           |
|                  |    | 40,7                    | 34,77    | <b>23FR</b> | <b>0,75</b>         | 2,85      | 105                      | 1415              | 465              | 265         | 35      | pag 41    | pag 50-51 |
|                  |    | 44,9                    | 31,52    | <b>23FR</b> | <b>0,75</b>         | 3,00      | 100                      | 1415              | 465              | 265         | 35      | pag 41    | pag 50-51 |
|                  |    | 53,5                    | 26,45    | <b>23FR</b> | <b>0,75</b>         | 3,55      | 85                       | 1415              | 465              | 265         | 35      | pag 41    | pag 50-51 |
|                  |    | 15,5                    | 60,00    | <b>23</b>   | <b>0,75 /6</b>      | 1,35      | 215                      | 930               | 650              | 400         | 38      | pag 39    | pag 50-51 |
|                  |    | 19,4                    | 48,00    | <b>23</b>   | <b>0,75 /6</b>      | 1,65      | 186                      | 930               | 650              | 400         | 38      | pag 39    | pag 50-51 |
|                  |    | 23,8                    | 39,00    | <b>23</b>   | <b>0,75 /6</b>      | 1,95      | 155                      | 930               | 600              | 385         | 38      | pag 39    | pag 50-51 |
|                  |    | 28,2                    | 33,00    | <b>23</b>   | <b>0,75 /6</b>      | 2,15      | 135                      | 930               | 600              | 385         | 38      | pag 39    | pag 50-51 |
|                  |    | 32,1                    | 29,00    | <b>23</b>   | <b>0,75 /6</b>      | 2,45      | 124                      | 930               | 600              | 385         | 38      | pag 39    | pag 50-51 |
|                  |    | 39,6                    | 23,50    | <b>23</b>   | <b>0,75 /6</b>      | 2,95      | 109                      | 930               | 600              | 385         | 38      | pag 39    | pag 50-51 |
|                  |    | 47,7                    | 19,50    | <b>23</b>   | <b>0,75 /6</b>      | 3,45      | 92                       | 930               | 465              | 265         | 38      | pag 39    | pag 50-51 |
|                  |    | 56,4                    | 16,50    | <b>23</b>   | <b>0,75 /6</b>      | 3,85      | 80                       | 930               | 465              | 265         | 38      | pag 39    | pag 50-51 |
|                  |    | 18,0                    | 80,00    | <b>23</b>   | <b>0,75</b>         | 1,10      | 191                      | 1415              | 650              | 400         | 32      | pag 39    | pag 50-51 |
|                  |    | 24,0                    | 60,00    | <b>23</b>   | <b>0,75</b>         | 1,60      | 153                      | 1415              | 600              | 385         | 32      | pag 39    | pag 50-51 |
|                  |    | 29,0                    | 48,00    | <b>23</b>   | <b>0,75</b>         | 1,95      | 129                      | 1415              | 600              | 385         | 32      | pag 39    | pag 50-51 |
|                  |    | 36,0                    | 39,00    | <b>23</b>   | <b>0,75</b>         | 2,30      | 107                      | 1415              | 600              | 385         | 32      | pag 39    | pag 50-51 |
|                  |    | 43,0                    | 33,00    | <b>23</b>   | <b>0,75</b>         | 2,55      | 94                       | 1415              | 465              | 265         | 32      | pag 39    | pag 50-51 |
|                  |    | 49,0                    | 29,00    | <b>23</b>   | <b>0,75</b>         | 2,85      | 85                       | 1415              | 465              | 265         | 32      | pag 39    | pag 50-51 |
|                  |    | 60,0                    | 23,50    | <b>23</b>   | <b>0,75</b>         | 3,55      | 73                       | 1415              | 465              | 265         | 32      | pag 39    | pag 50-51 |

0,55 kW  
0,75 HP

$n_e$ : Velocidad de entrada

$n_s$ : Velocidad de salida

$$i = \frac{n_e}{n_s}$$

$$i = \frac{1415RPM}{24RPM}$$

$$i = 59,56$$

### Factor de servicio

Para poder determinar el factor de servicio del reductor necesitamos saber la clase de carga, la cantidad de ciclos que realizará nuestra máquina por hora y la cantidad de horas que trabajará por día.

El catálogo del fabricante nos facilita el proceso de selección del factor de servicio al otorgar una tabla con diferentes tipos de maquinarias y sus respectivos factores según la cantidad de horas que el mecanismo se encuentre operando.

En nuestro caso el turno de trabajo del taller para el cual está destinado el puente es de 8 horas diarias de servicio y como el propósito de la selección del motorreductor es para proveer la translación del conjunto optamos por un  $F_s = 1,65$

| MAQUINA ACCIONADA<br>TIPO DE MAQUINA | FACTOR $f_1$<br>$f_1$ FACTOR<br>hs. de Servicio<br>Service hrs.<br>8 16 24 | APPLICATIONS AND INDUSTRY<br>DRIVEN MACHINE |
|--------------------------------------|--|---|
| <b>GRUAS</b>                         |  | <b>CRANES</b>                               |
| Mecanismo de elevación               | 1,3 1,5 1,6  | Luffing gear                                |
| Mecanismo de Giro                    | 1,5 1,6 1,6  | Bull gear                                   |
| Mecanismo de Traslación              | 1,65 1,8 1,8   | Travelling gear                             |
| Mando de Pluma articulada            | 1,5 1,6 1,6  | Derricking jib gear                         |

### Potencia de mando

Ahora vamos a determinar la potencia de mando y la vamos a verificar

$$N_m = N_e F_s$$

Ecuación 4.10.1.3

$N_m$ : Potencia de mando

$F_s$ : Factor de servicio

$$N_m = 0,75Hp \cdot 1,65 = 1,23Hp$$

Por lo tanto, la potencia de mando es  $N_m = 1,23 Hp$  ahora debemos seleccionar el modelo por medio del catálogo brindado por el fabricante.

Como no existe un motor cuya potencia sea de 1,23 Hp debemos seleccionar el motor normalizado inmediato superior que otorga Lentax el cual es de 1,5 Hp y buscamos en la columna de relación de transmisión el valor que necesitamos para nuestro caso de estudio.

| Potencia Entrada |       | Velocidad Salida aprox. | Relación | MODELO |       | Factor de Seguridad | Momento Útil | Velocidad Entrada aprox. | Carga Radial adm. | Carga Axial adm. | Peso aprox. | Medidas | Repuestos |        |           |
|------------------|-------|-------------------------|----------|--------|-------|---------------------|--------------|--------------------------|-------------------|------------------|-------------|---------|-----------|--------|-----------|
| kW               | HP    | (RPM)                   | (i)      |        |       | (fz)                | (Nm)         | (RPM)                    | (kg)              | (kg)             | (kg)        | Página  | Página    |        |           |
| 1,10             | 1,50  | 1,9                     | 76/30    | 2623   | 1,50  | 1,00                | 2478         | 1430                     | 2250              | 1400             | 118         | pag 43  | pag 50-51 |        |           |
|                  |       | 2,1                     | 69/30    | 2623   | 1,50  | 1,25                | 1976         | 1430                     | 2250              | 1400             | 118         | pag 43  | pag 50-51 |        |           |
|                  |       | 3,0                     | 47/30    | 2623   | 1,50  | 1,35                | 1880         | 1430                     | 2250              | 1400             | 118         | pag 43  | pag 50-51 |        |           |
|                  |       | 4,2                     | 34/30    | 2623   | 1,50  | 1,40                | 1764         | 1430                     | 2250              | 1400             | 118         | pag 43  | pag 50-51 |        |           |
|                  |       | 5,1                     | 28/30    | 2623   | 1,50  | 1,65                | 1500         | 1430                     | 2250              | 1400             | 118         | pag 43  | pag 50-51 |        |           |
|                  |       | 6,0                     | 23/30    | 2623   | 1,50  | 1,95                | 1298         | 1430                     | 2250              | 1400             | 118         | pag 43  | pag 50-51 |        |           |
|                  |       | 7,1                     | 20/30    | 2623   | 1,50  | 2,25                | 1119         | 1430                     | 2250              | 1400             | 118         | pag 43  | pag 50-51 |        |           |
|                  |       | 8,4                     | 17/30    | 2623   | 1,50  | 2,60                | 970          | 1430                     | 2250              | 1400             | 118         | pag 43  | pag 50-51 |        |           |
|                  |       | 1,10                    | 1,50     | 4,3    | 33/36 | 26TR                | 1,50         | 1,30                     | 1530              | 1430             | 2250        | 1400    | 104       | pag 41 | pag 50-51 |
|                  |       |                         |          | 5,4    | 26/30 | 26TR                | 1,50         | 1,50                     | 1346              | 1430             | 2250        | 1400    | 104       | pag 41 | pag 50-51 |
| 6,8              | 20/33 |                         |          | 26TR   | 1,50  | 1,85                | 1074         | 1430                     | 2250              | 1400             | 104         | pag 41  | pag 50-51 |        |           |
| 7,2              | 19/34 |                         |          | 26TR   | 1,50  | 1,95                | 1029         | 1430                     | 2250              | 1400             | 104         | pag 41  | pag 50-51 |        |           |
| 7,9              | 18/32 |                         |          | 26TR   | 1,50  | 2,05                | 981          | 1430                     | 2250              | 1400             | 104         | pag 41  | pag 50-51 |        |           |
| 9,2              | 15/38 |                         |          | 26TR   | 1,50  | 2,45                | 821          | 1430                     | 2250              | 1400             | 104         | pag 41  | pag 50-51 |        |           |
| 10,0             | 14/44 |                         |          | 26TR   | 1,50  | 2,55                | 782          | 1430                     | 2250              | 1400             | 104         | pag 41  | pag 50-51 |        |           |
| 12,4             | 11/56 |                         |          | 26TR   | 1,50  | 3,10                | 646          | 1430                     | 2250              | 1400             | 104         | pag 41  | pag 50-51 |        |           |
| 14,0             | 10/63 |                         |          | 26TR   | 1,50  | 3,25                | 615          | 1430                     | 2250              | 1400             | 104         | pag 41  | pag 50-51 |        |           |
| 17,2             | 8/80  |                         |          | 26TR   | 1,50  | 3,95                | 506          | 1430                     | 2250              | 1400             | 104         | pag 41  | pag 50-51 |        |           |
| 16,2             | 5/90  | 26                      | 1,50 /6  | 2,80   | 477   | 925                 | 2250         | 1400                     | 100               | pag 39           | pag 50-51   |         |           |        |           |
| 18,9             | 4/100 | 26                      | 1,50 /6  | 3,45   | 427   | 925                 | 2250         | 1400                     | 100               | pag 39           | pag 50-51   |         |           |        |           |
| 25,0             | 3/120 | 26                      | 1,50     | 3,25   | 325   | 1430                | 2100         | 1300                     | 93                | pag 39           | pag 50-51   |         |           |        |           |

Siguiendo el mismo criterio, al no tener la relación de transmisión justa que nosotros necesitamos elegimos la inmediata superior. El modelo del motor será 26 y la potencia es 1,5 HP.

Al realizar la verificación podemos determinar que el modelo seleccionado es el correcto.

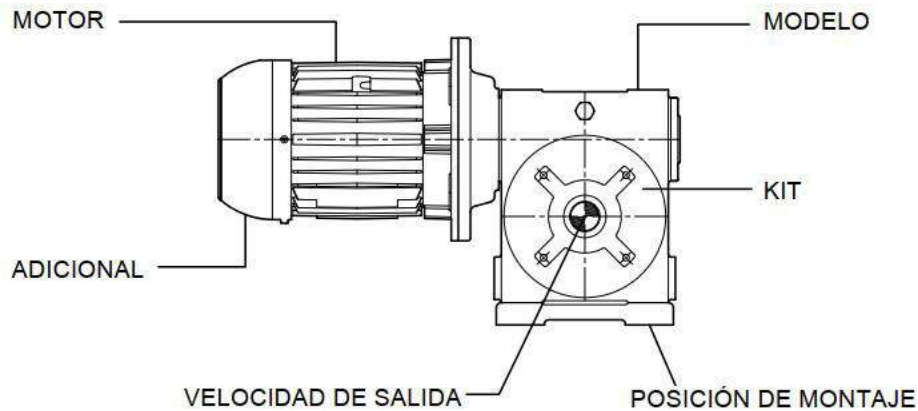
$$N_m > N_e$$

$$1,5 Hp > 0,75Hp$$

Ecuación 4.10.1.5

### *Solución técnica*

Por último, nos quedaría determinar la posición de montaje del motorreductor. En el catálogo se muestran diferentes configuraciones según las necesidades del cliente, nosotros optaremos por elegir la disposición PN3a correspondiente a la serie U, la cual se puede apreciar en la siguiente figura.



La denominación técnica del motorreductor es **26FV 150/4 - 25 - PN3a - Hu**

Donde

*26: Modelo de la caja reductora*

*FV: Adicional freno Lentax*

*150/4: Potencia x 100 – cantidad de polos del motor Lentax*

*25: Velocidad de salida RPM*

*PN3a: Posición de montaje*

*Hu: Kit con eje hueco*

## 5. Análisis de elementos finitos

Para validar los resultados obtenidos analíticamente en el diseño de la viga cajón principal y las testeras que conforman el puente grúa obtenidos mediante las ecuaciones de mecánica y resistencia de materiales se puede realizar un análisis mediante un software de uso comercial y de alcance estudiantil.

Vamos a optar por hacer el análisis mediante el programa Ansys Static Structural y también con Autodesk Inventor los cuales cuentan con las limitaciones de procesamiento de una licencia estudiantil y vamos a detallar a continuación los pasos que hemos realizado para obtener los resultados de la simulación

### 5.1. Software Ansys Static Structural

#### 5.1.1. Viga principal

**Geometría:** la primera etapa para simular la viga puente es generar su geometría, para ello, se partió de un boceto con la sección Spaceclaim del Ansys. Se desarrolló el boceto en los planos x-y conforme la sección transversal de la viga puente, como se indica en la figura 5.84.

Luego con la herramienta pull se obtiene un sólido en tres dimensiones

**Selección del Material:** con la opción Engineering Data como se indicó anteriormente en la sección 4.6, se asigna el material del sólido, para este caso se selecciona acero estructural A-36.

**Mallado:** En cuanto a las discretizaciones empleadas se realizaron dos, una malla gruesa y una malla fina para verificar la convergencia de estas. Por temas de practicidad solamente detallaremos los resultados de la simulación realizada con la malla más fina.

Gracias a la geometría favorable se utilizaron elementos cuadriláteros de orden cuadrático a modo de aumentar la cantidad de puntos de integración de Gauss y de esta manera elevar la calidad de la solución obtenida por el método.



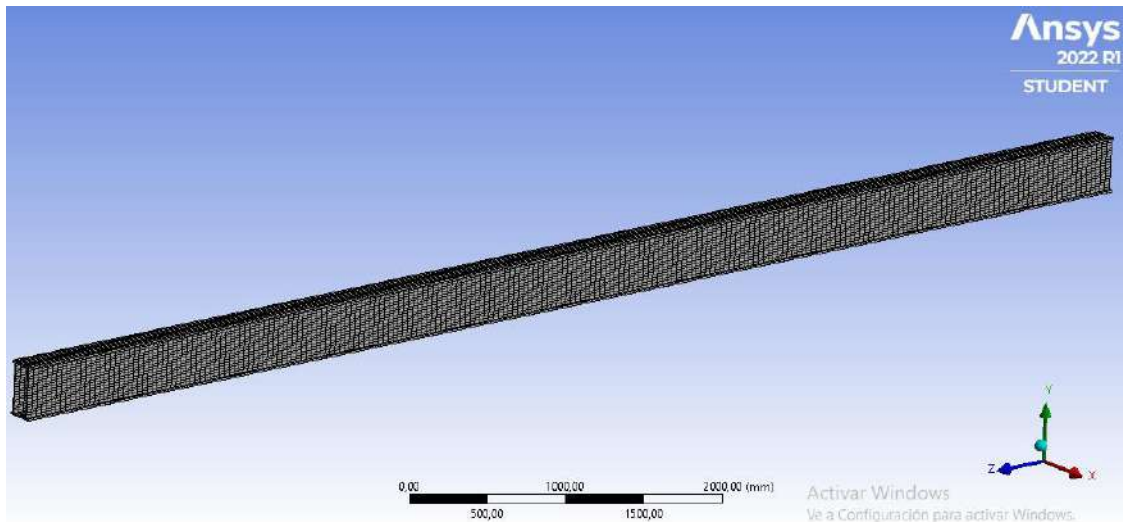


Figura 5.1.1

**Condiciones de contorno:** para simular la viga principal del puente, se procedió a colocar los apoyos con el comando *Displacement* sobre una de las aristas de los extremos con restricciones en las coordenadas x, y, (z libre), y el otro mediante un *Fix Support*, de esta manera se simula una viga simplemente apoyada. Con el comando *Force* se colocan en dirección del eje y los valores de la carga de diseño P, para la viga puente corresponden -16098N. Seguido se asigna el valor de la carga distribuida equivalente al peso de la viga de 1107 N/m, como se indica en la figura XXX.

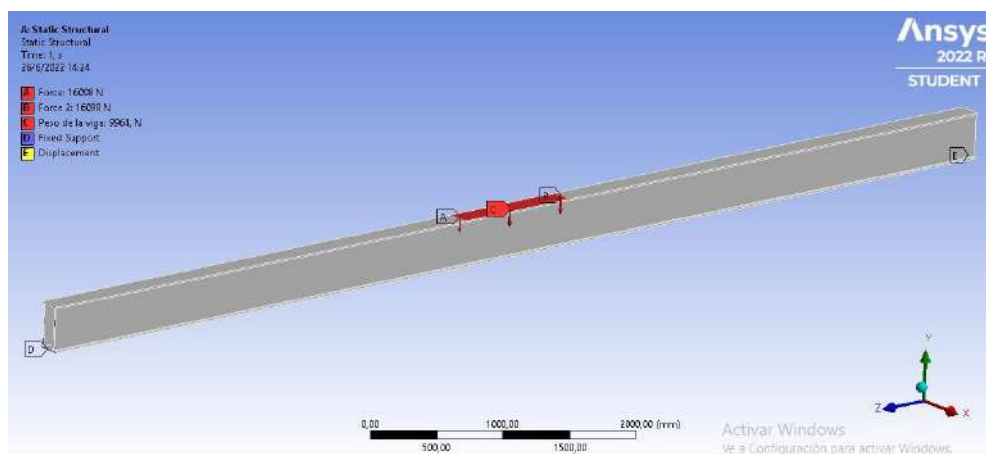


Figura 5.1.1.1

**Resultados:** con el comando *Solve* el software ejecuta la simulación y se presentan los resultados.

- *Flecha máxima*

La flecha máxima que experimenta la viga se produce en la mitad de esta y tiene un valor de 7,66mm. La deformación a lo largo del sólido se muestra en la figura XXX.

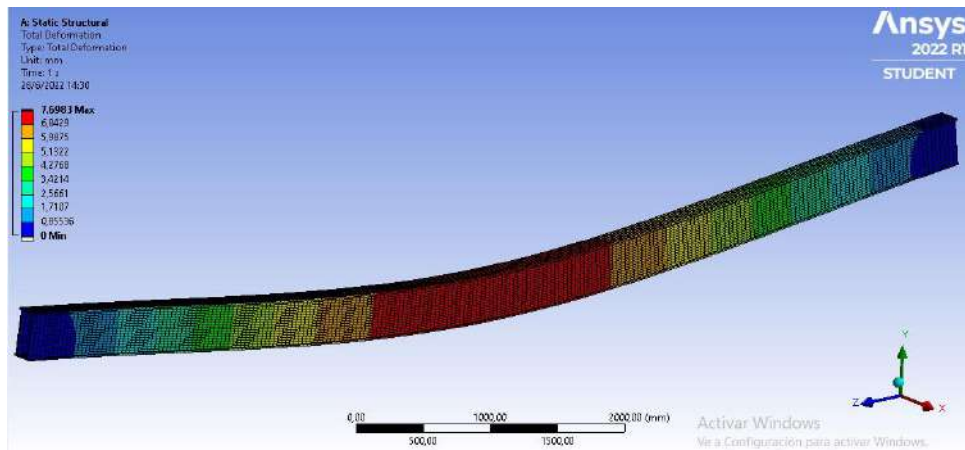


Figura 5.1.1.2

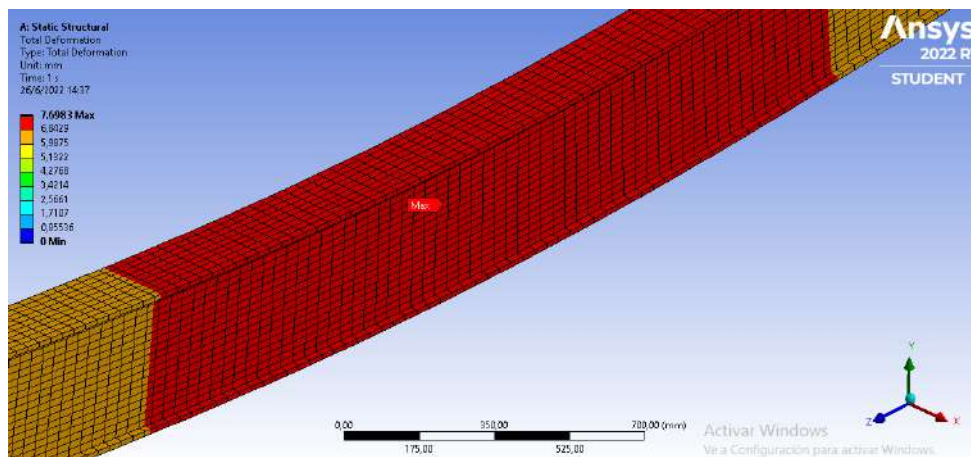


Figura 5.1.1.3

- *Tensiones*

Los resultados del análisis del esfuerzo equivalente revelan que las tensiones en las fibras más alejadas respecto a la línea neutra de la viga se encuentran en un valor de 58Mpa.

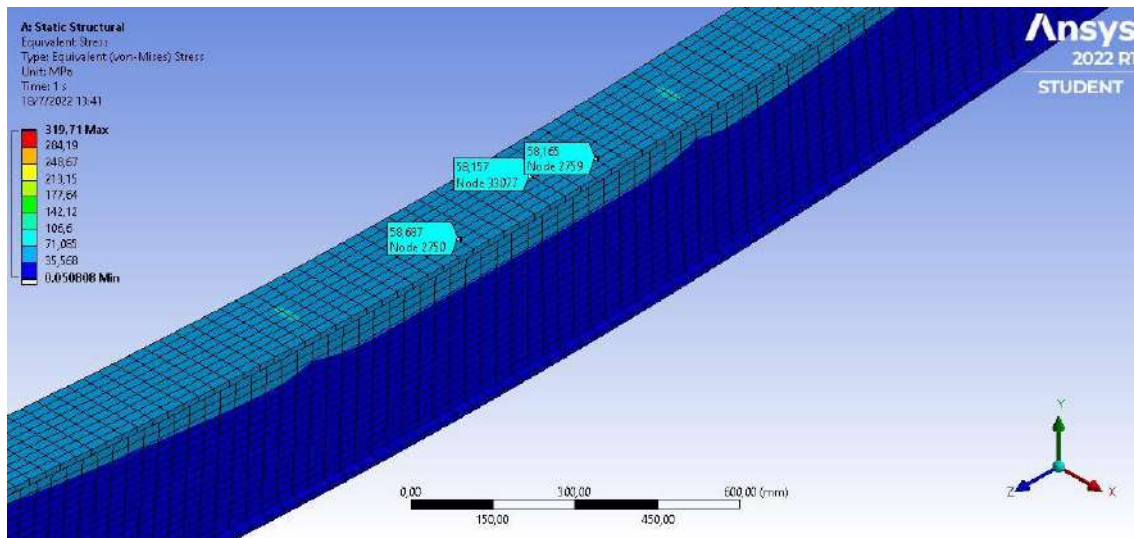


Figura 5.1.1.4

### 5.1.2. Viga testera

**Geometría:** la primera etapa para simular la viga puente es generar su geometría, para ello, se partió de un boceto con la sección Spaceclaim del Ansys. Se desarrolló el boceto en los planos x-y conforme la sección transversal de la viga puente, como se indica en la figura 5.84.

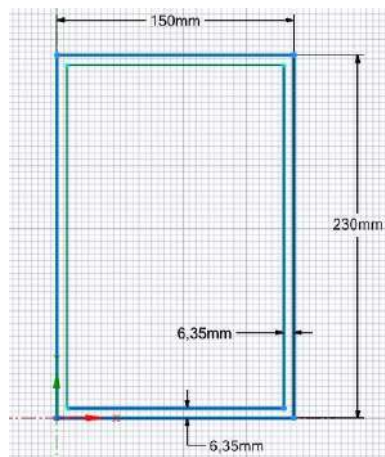


Figura 5.1.2

Luego con la herramienta Pull se obtiene un sólido en tres dimensiones

**Selección del Material:** con la opción Engineering Data como se indicó anteriormente en la sección 4.6, se asigna el material del sólido, para este caso se selecciona acero estructural A-36.

**Mallado:** En cuanto a las discretizaciones empleadas se realizaron dos, una malla gruesa y una malla fina para verificar la convergencia de estas.

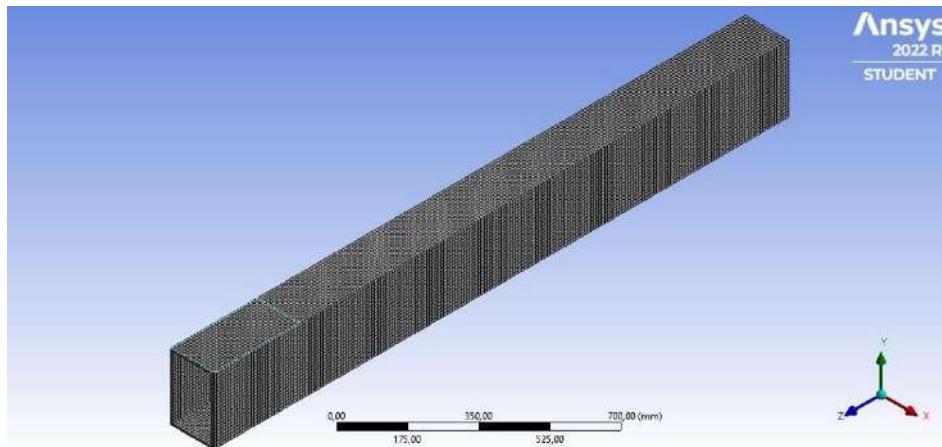


Figura 5.1.2.1

Gracias a la geometría favorable se utilizaron elementos cuadriláteros de orden cuadrático a modo de aumentar la cantidad de puntos de integración de Gauss y de esta manera elevar la calidad de la solución obtenida por el método.

**Condiciones de contorno:** para simular la viga testera, se procedió a colocar los apoyos con el comando *Displacement* sobre una de las aristas de los extremos con restricciones en las coordenadas x, y, (z libre), y el otro mediante un *Fix Support*, de esta manera se simula una viga simplemente apoyada. Con el comando *Force* se colocan en dirección del eje y los valores de las reacciones máximas calculadas en la sección XXX, para la viga testera corresponden -34852N. Seguido se asigna el valor de la carga distribuida equivalente al peso de la viga de 372,5 N/m, como se indica en la figura XXX.

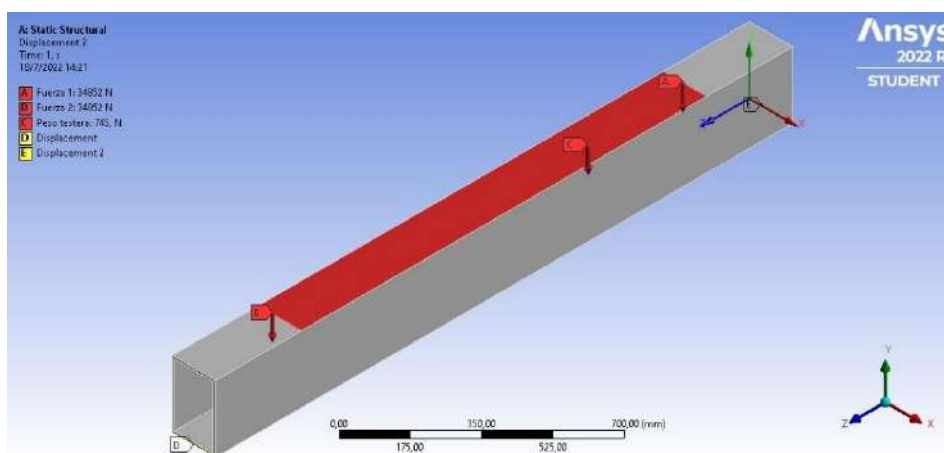


Figura 5.1.2.2



**Resultados:** con el comando *Solve* el software ejecuta la simulación y se presentan los resultados.

- *Flecha máxima*

La deformación máxima que experimenta la viga puente es 0,89mm, la deformación a lo largo del sólido se muestra en la figura XXX.

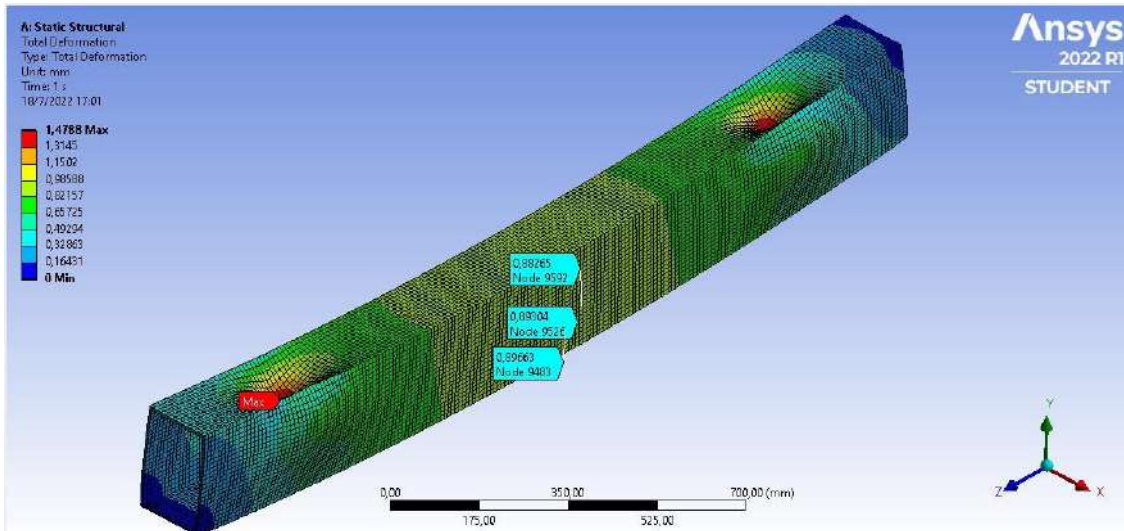


Figura 5.1.2.3

- *Tensiones*

Los resultados del análisis del esfuerzo equivalente revelan que las tensiones en las fibras más alejadas respecto a la línea neutra de la viga se encuentran en un valor de 35Mpa.

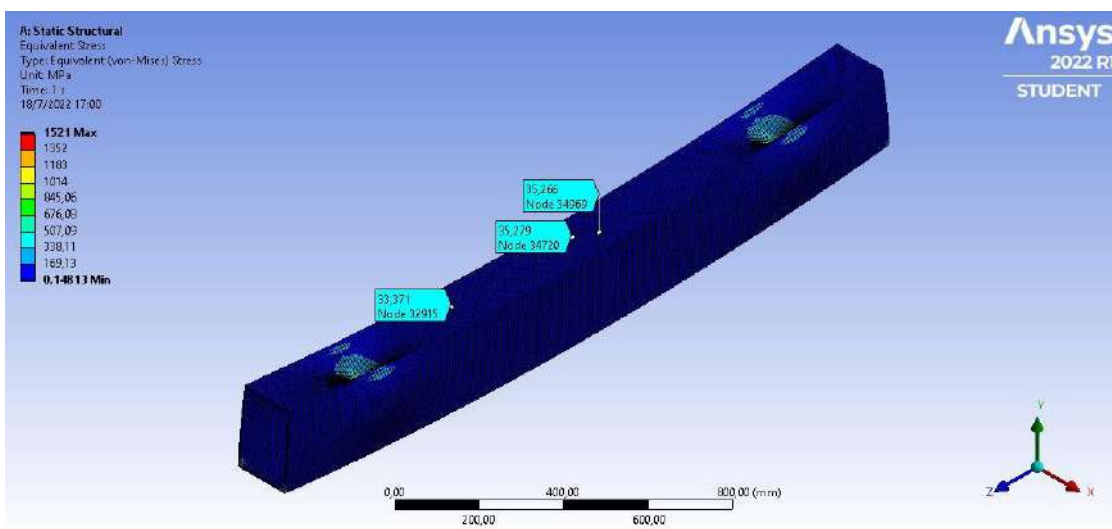


Figura 5.1.2.4

## 5.2 Software Autodesk Inventor

### 5.2.1. Viga principal

**Geometría:** la primera etapa para simular la viga puente es generar su geometría, para ello, se partió de un boceto con la sección Standard (mm) y se desarrolló el boceto en los planos x-y conforme la sección transversal de la viga puente, como se indica en la figura 5.84.

**Selección del Material:** con la opción Material Browser se asigna el material del sólido, para este caso se selecciona acero estructural A-36.

**Mallado:** En cuanto a las discretizaciones empleadas se realizaron dos, una malla gruesa y una malla fina para verificar la convergencia de estas. Por cuestiones de practicidad presentaremos en el presente trabajo los resultados obtenidos por el mallado más fino.

El programa Autodesk Inventor es mucho más simple en cuanto a la configuración de los puntos de integración debido a que solamente se ajustan los siguientes comandos Average element size, Minimum element size y Grading factor

Para la malla más fina se impuso un *Average element size* 0,01, tamaño, *Minimum element size* 0,2 y por último el máximo *Grading factor* permisible que es 10 obteniéndose el mallado que se puede apreciar en la siguiente imagen el cual tiene 132501 nodos y 66470 elementos.



Figura 5.2.1

**Condiciones de contorno:** para simular las vigas puente, se procedió a colocar los apoyos con el comando *Friccionless* sobre una de las aristas de los extremos con restricciones en las coordenadas x, y(libre), z, y el otro mediante un *Fixed*, de esta manera se simula una viga simplemente apoyada. Con el comando *Force* se colocan en dirección del eje x los valores de la carga de diseño P, para la viga puente corresponden

-16098N. Seguido se asigna el valor de la carga distribuida equivalente al peso de la viga de 1107 N/m, como se indica en la figura XXX.

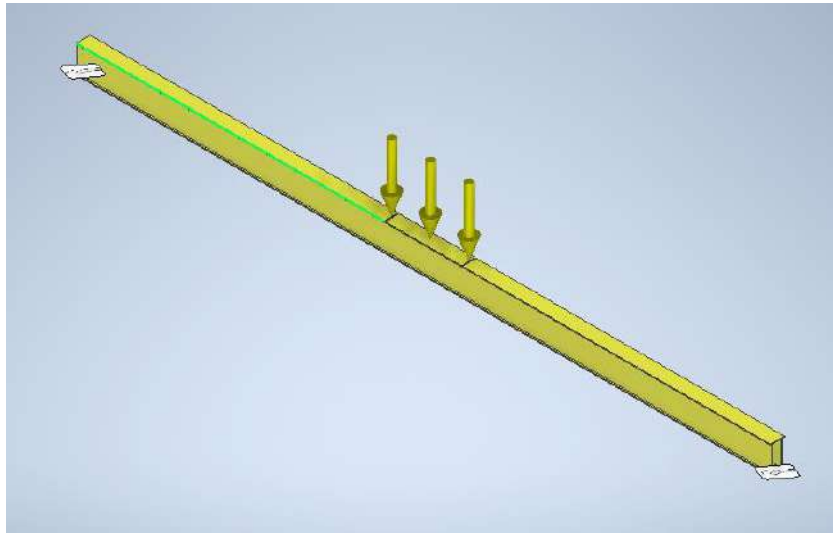


Figura 5.2.1.1

**Resultados:** con el comando Simulate el software ejecuta la simulación y se presentan los resultados.

La deformación máxima que experimenta la viga puente es 7,6673mm, la deformación a lo largo del solido se muestra en la figura XXX.

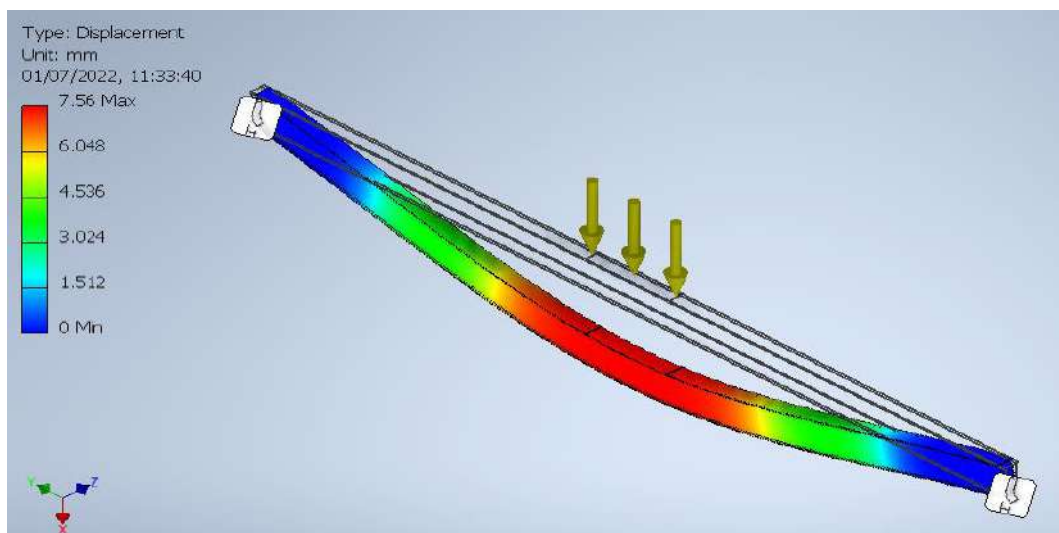


Figura 5.2.1.2

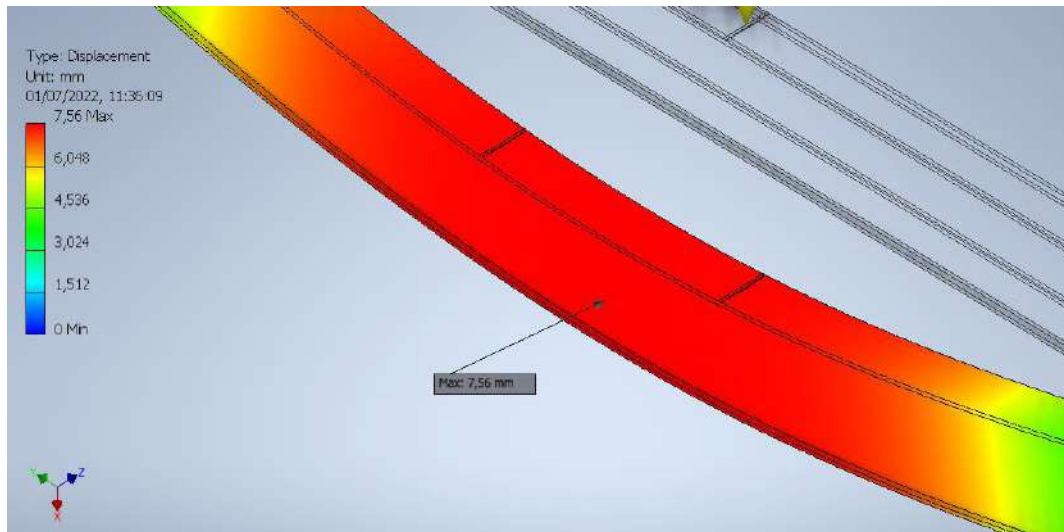


Figura 5.2.1.3

- *Tensiones*

Los resultados del análisis del esfuerzo equivalente revelan que las tensiones en las fibras más alejadas respecto a la línea neutra de la viga se encuentran en un valor de 57Mpa.

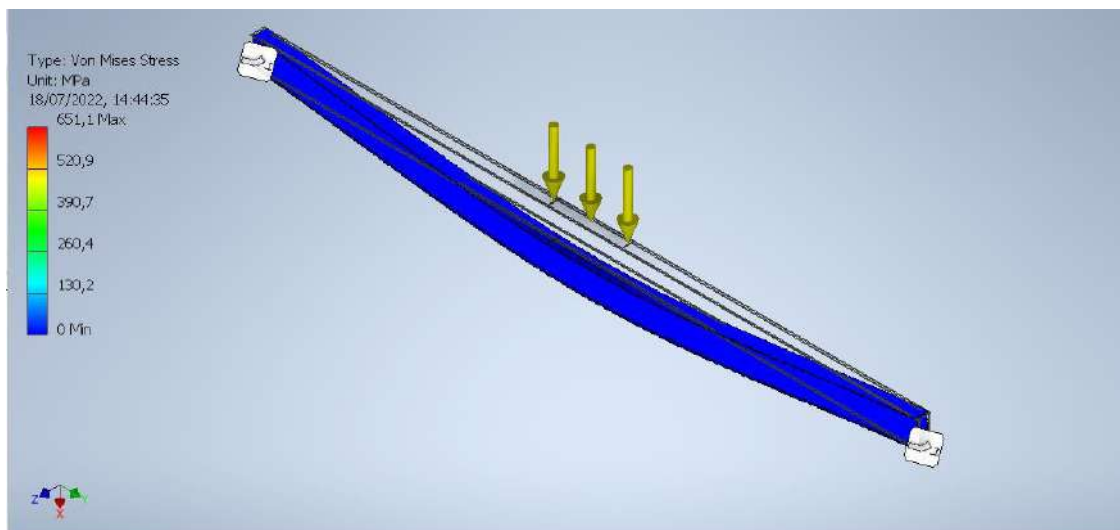


Figura 5.2.1.4



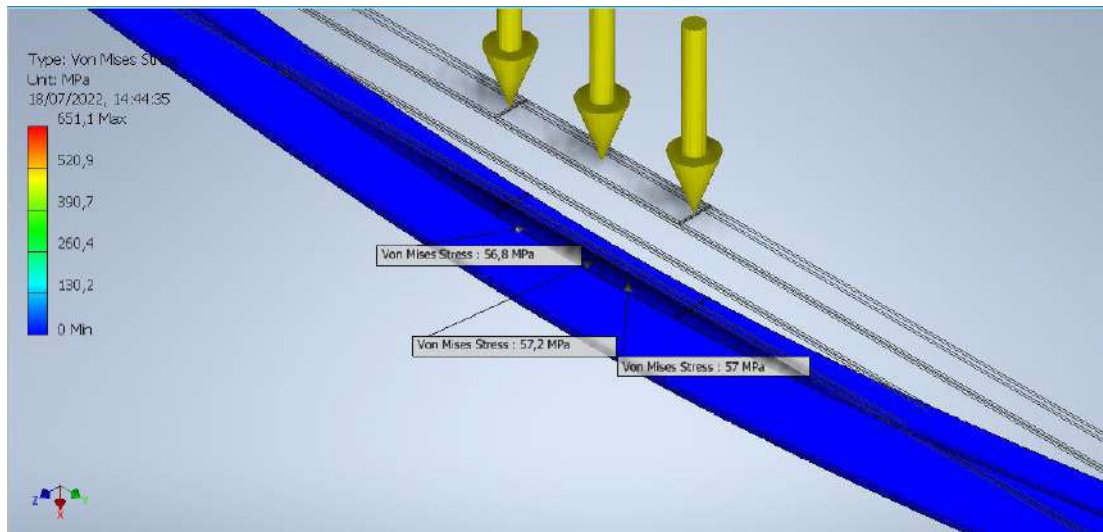


Figura 5.2.1.5

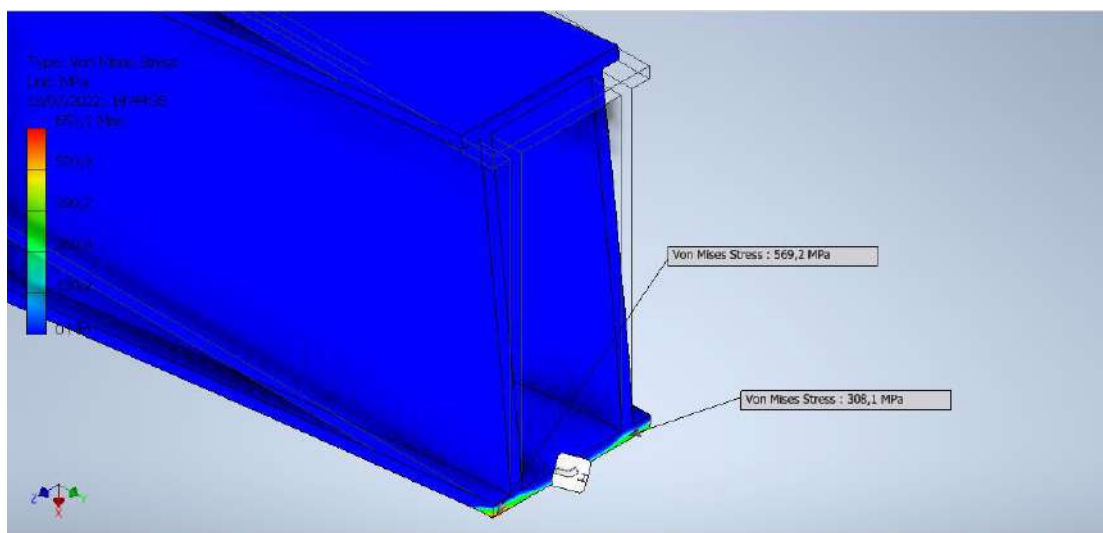


Figura 5.2.1.6

### 5.2.2. Viga testera

**Geometría:** la primera etapa para simular la viga puente es generar su geometría, para ello, se partió de un boceto con la sección Standard (mm) y se desarrolló el boceto en los planos x-y conforme la sección transversal de la viga puente, como se indica en la figura 5.84.

**Selección del Material:** con la opción Material Browser se asigna el material del sólido, para este caso se selecciona acero estructural A-36.

**Mallado:** En cuanto a las discretizaciones empleadas se realizaron dos, una malla gruesa y una malla fina para verificar la convergencia de estas.

El programa Autodesk Inventor es mucho más simple en cuanto a la configuración de los puntos de integración debido a que solamente se ajustan los siguientes comandos Average element size, Minimum element size y Grading factor

Para la malla más fina se impuso un *Average element size* 0,01, tamaño, *Minimum element size* 0,2 y por último el máximo *Grading factor* permisible que es 10 obteniéndose el mallado que se puede apreciar en la siguiente imagen el cual tiene 378223 nodos y 202414 elementos.



Figura 5.2.2

**Condiciones de contorno:** para simular las vigas puente, se procedió a colocar los apoyos con el comando *Friccionless* sobre una de las aristas de los extremos con restricciones en las coordenadas x, y(libre), z, y el otro mediante un *Fixed*, de esta manera se simula una viga simplemente apoyada. Con el comando Force se colocan en dirección del eje x los valores de la carga de diseño P, para la viga puente corresponden -34852N. Seguido se asigna el valor de la carga distribuida equivalente al peso de la viga de -372,5 N/m, como se indica en la figura XXX.

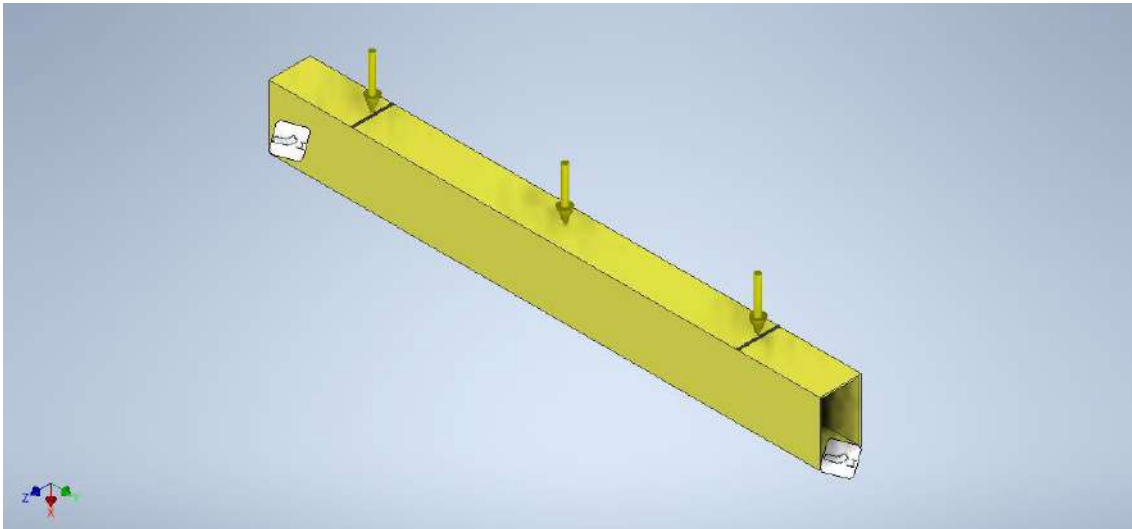


Figura 5.2.2.1

**Resultados:** con el comando Simulate el software ejecuta la simulación y se presentan los resultados.

- *Flecha máxima*

La deformación máxima que experimenta la viga puente es 0,454mm, la deformación máxima que se produce en la mitad de la viga testera. Figura XXX.

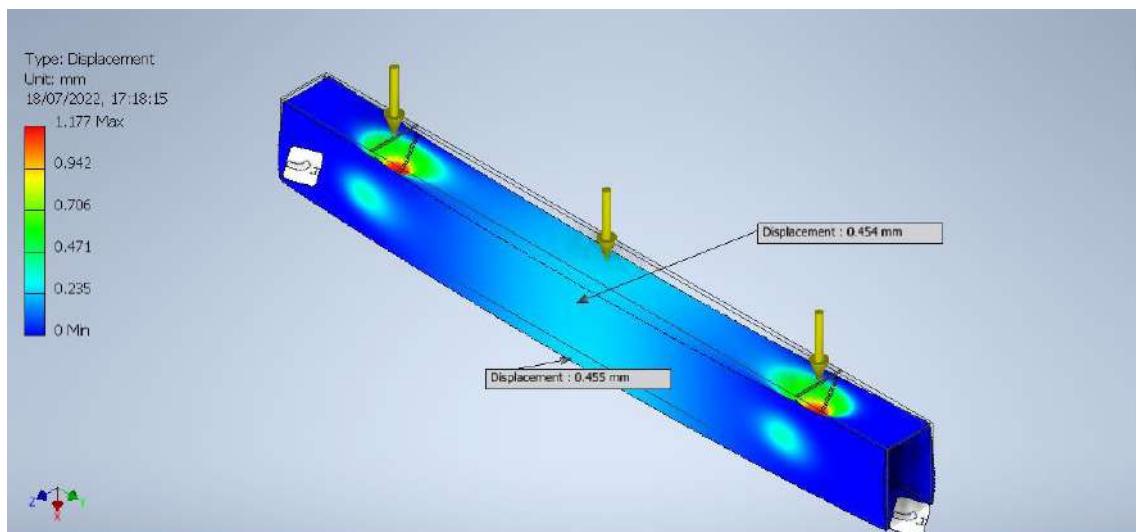


Figura 5.2.2.2

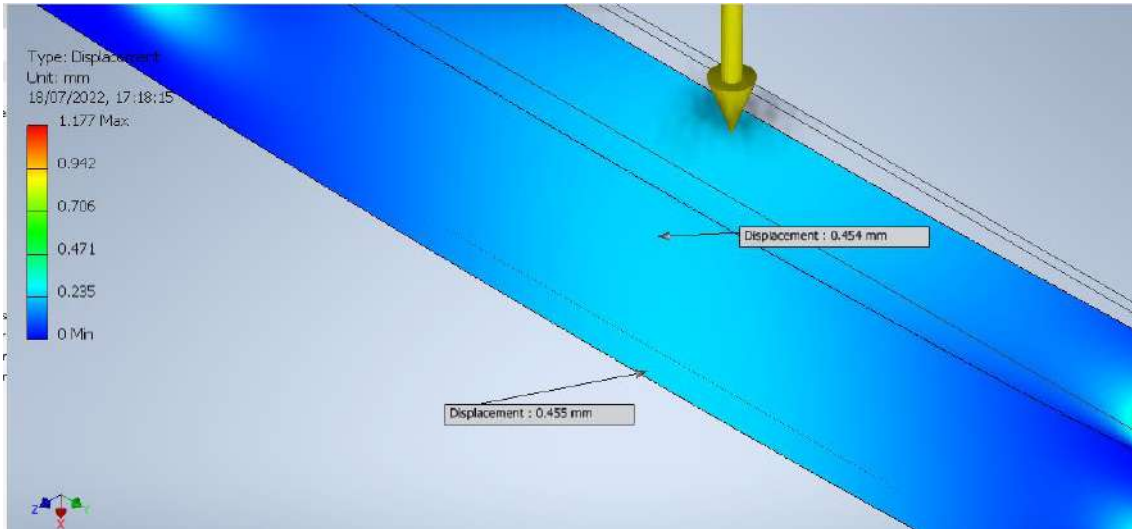


Figura 5.2.3

- *Tensiones*

Los resultados del análisis del esfuerzo equivalente revelan que las tensiones en las fibras más alejadas respecto a la línea neutra de la viga se encuentran en un valor de 27Mpa.

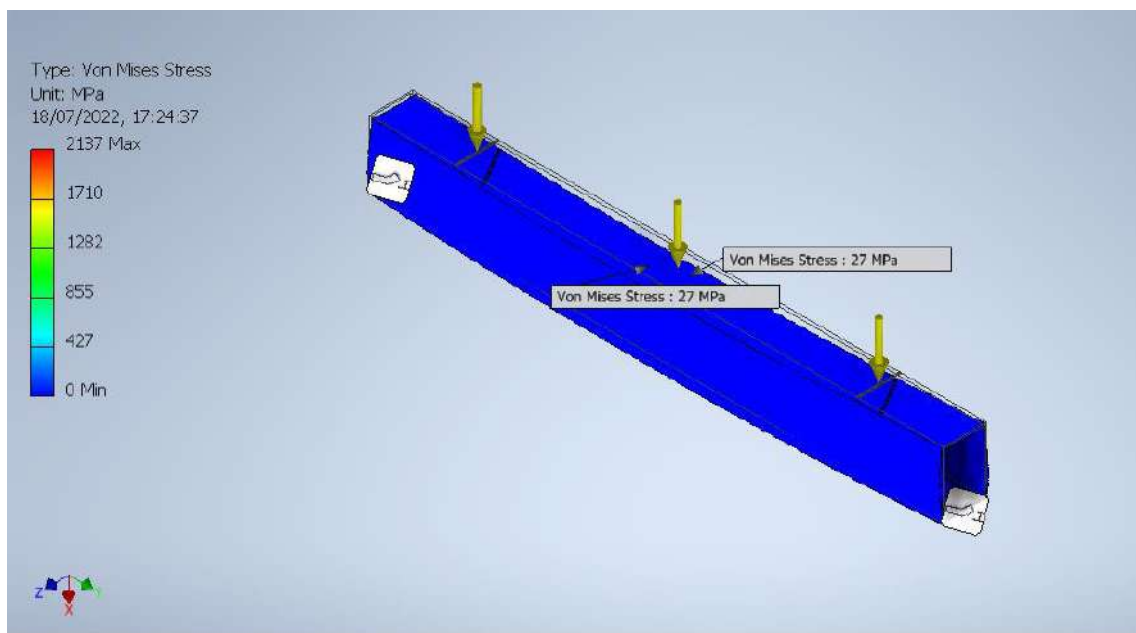


Figura 5.2.4

## 6. Detalles de construcción

### 6.1.2 Construcción viga principal

#### 6.2.1 Construcción de testeras

Cada viga cajón se arma a partir del desarrollo de una chapa de  $\frac{1}{4}$  "en la cual se realizarán las perforaciones necesarias para poder alojar los bulones necesarios y cortes circulares con pantógrafo en los laterales para poder realizar el ajuste manual de la burlonería, este trabajo será previo a los plegados que se deben ejecutar acorde a los planos de construcción. Al perfil "U" obtenido se le soldará una chapa en la parte inferior con cortes en los extremos para permitir que parte de las ruedas salgan del cajón y así transmitir el movimiento.

#### 6.2.2 Soldadura de testeras

Luego estos perfiles se sueldan longitudinalmente de manera continua con juntas precalificadas acorde a la norma AWS 14.1 como lo indica CMMA. El proceso puede ser soldadura por arco eléctrico con protección gaseosa (GMAW) o soldadura por arco eléctrico sumergido (SAW).

En el siguiente cuadro se detalla la soldadura necesaria:

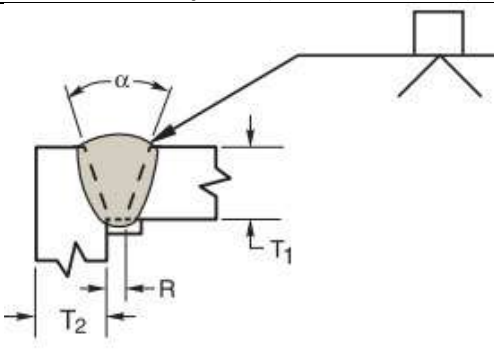
|   |  |
|---|--|
| <b>Clase del acero soldado</b>  | CLASE II   |
| <b>Proceso de soldadura</b>   | GMAW   |
| <b>Tipo de junta</b>  | De esquina, penetración completa con bisel en "V" y respaldo |
| <b>Designación de la junta</b>  | C-U2a-GF   |
| <b>Clase de junta</b>   | Clase III  |
| <b>Material de aporte (alambre macizo)</b>  | (AWS A5. 18) ER 70S-6  |
|  | $R = 1/4"$<br>$\alpha = 45^\circ$                            |

Figura 6.2.2

### 6.2.3 Verificación de concentradores circulares

Se estudia el efecto de los concentradores de tensiones en los laterales de la chapa cuando la testera es sometida al momento flector máximo que actúa en la dirección X. Se utiliza la solución dada por Pilkey en la Tabla 4.88 *Stress Concentration Factors* representada en la siguiente figura:

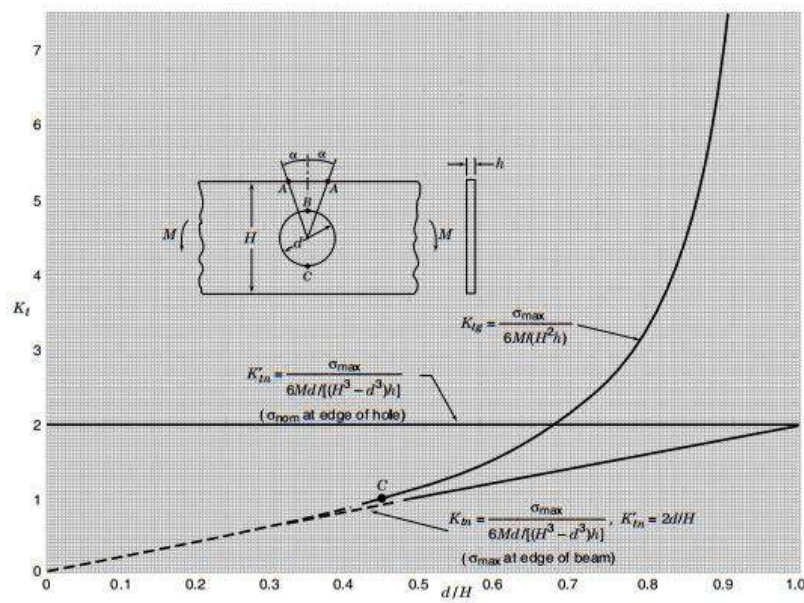


Figura 6.2.3

Punto A: Borde del agujero

$$\sigma_{MAX} = \sigma_A = K_t \cdot \sigma_{nom}$$

$$K_t = 2$$

Ecuación 6.2.2

$$\sigma_{nom} = \frac{6 \cdot M \cdot H}{(H^3 - h^3) \cdot h}$$

Ecuación 6.2.2.1

Punto B: Borde de la chapa

$$\sigma_{MAX} = \sigma_B = K_t \cdot \sigma_{nom}$$

$$K_t = \frac{2h}{H}$$

Ecuación 6.2.2.2



$$\sigma_{nom} = \frac{6 \cdot M \cdot H}{(H^3 - h^3) \cdot h}$$

Ecuación 6.2.2.3

Hipótesis tomadas:

- El momento M se toma igual a la mitad del momento máximo  $M_{max} = 10639,7Nm$  calculado en la sección XX. Esto es considerando de una manera conservativa que las chapas superiores e inferiores no imponen resistencia mecánica y que las almas soportan todo el momento aplicado por igual, es decir  $M_{max} = 5319,85$ .
- $K_t$  en el punto B da menor a 1, por lo tanto, no se considera el efecto del concentrador en ese punto.

Por ende, en el punto A la tensión máxima que se produce es:

$$\sigma_{MAX} = 2 \cdot \sigma_{nom} = \frac{2 \cdot 6 \cdot 5319,85Nm \cdot 0,12m}{((0,23m)^3 - (0,12m)^3) \cdot 0,00635m} = 115,56 \text{ Mpa}$$

Se concluye que el tamaño del orificio tomado es correcto debido a que la tensión resultante es menor a la admisible.

$$\sigma_{MAX} < 0.6\sigma_{yp} = 150Mpa$$

Ecuación 6.2.2.4

## 6.3 Diseño de la unión viga principal – testeras

### 6.3.1 Generalidades

En este punto, fue crítico dimensionar la unión teniendo en cuenta las dimensiones reales de la nave. Aquí es necesaria la mayor altura de elevación posible del gancho debido a la disposición de las mesas de trabajo.

Es común que la chapa de la unión se suelde a la viga principal y se abulone a la viga testera debido a que esto simplifica notablemente el montaje del puente.

Siguiendo estas tendencias y dejando 10 centímetros entre el techo de la nave y la parte superior de la estructura del puente para darle lugar al sistema de alimentación eléctrica riel "C", se propuso la siguiente configuración de unión.

### 6.3.2 Bulones

#### 6.3.2.1 Tipo y configuración de unión abulonada

La norma CMMA exige que la junta se realice conforme a "AISC" Specification for Structural Joints Using ASTM A325 or A490 Bolts".

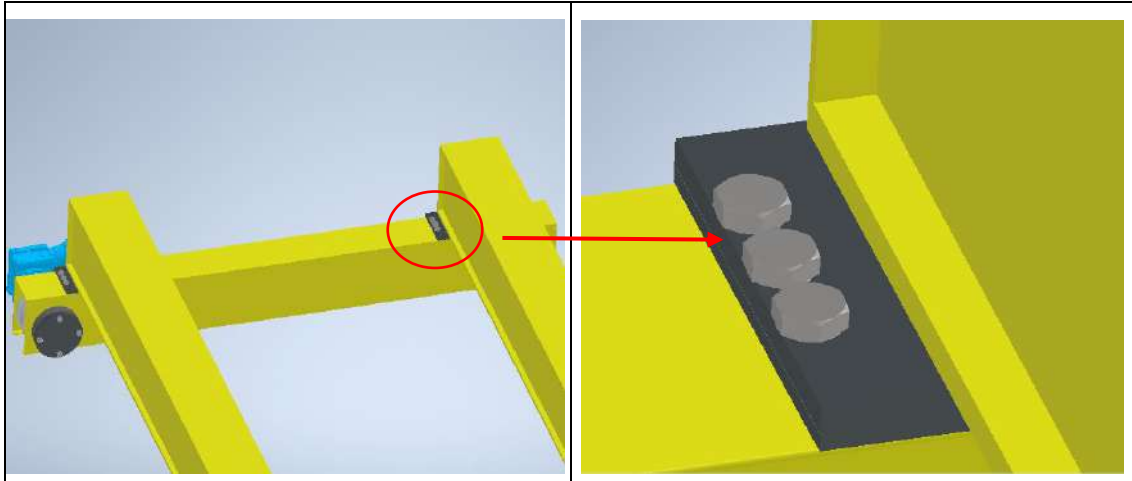


Figura 6.3.2.1

La unión se consideró del tipo deslizamiento crítico para asegurar que no exista movimiento relativo entre la viga principal y el testero, y así mantener las posiciones relativas entre los componentes cuando estos estén bajo servicio.

Se eligieron bulones A 325 de 5/8", sus características principales geométricas y materiales se listan a continuación.

| Nominal Bolt Diameter $d_b$ , in. | Heavy Hex Structural Bolt Dimensions |                    |                         | Heavy Hex Nut Dimensions     |                    |
|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------------|-------------------------|------------------------------|--------------------|
|                                   | Width across flats $F$ , in.         | Height $H_1$ , in. | Thread Length $T$ , in. | Width across flats $W$ , in. | Height $H_2$ , in. |
| 5/8                               | 1 1/16                               | 25/64              | 1 1/4                   | 1 1/16                       | 39/64              |

Figura 6.3.2.2



| Applied Load Condition |                                   | Nominal Strength per Unit Area $F_n$ , ksi |                |
|------------------------|-----------------------------------|--|----------------|
|                        |                                   | ASTM A325 or F1852 Bolt                    | ASTM A490 Bolt |
| Tension <sup>a</sup>   | Static                            | 90   | 113            |
|                        | Fatigue                           | See Section 5.5                            |                |
| Shear <sup>a,b</sup>   | Threads included in shear plane   | 48   | 60             |
|                        | Threads excluded from shear plane | 60   | 75             |

Figura 6.3.2.3

Con respecto a la disposición geométrica es importante mencionar que la configuración se realizó respetando las distancias mínimas entre tornillos y bordes, que impone la norma AISC en la sección J.3.3 y J.3.4.

#### 6.3.2.2 Resistencia requerida al deslizamiento crítico

Esta unión deberá principalmente soportar el corte transmitido en el plano horizontal. Este corte es el máximo para la condición de choque con el carro en un extremo.

#### 6.3.2.3 Resistencia nominal al deslizamiento crítico

Según la sección J.3.8 de AISC Standards, la resistencia nominal al deslizamiento que ofrece un tornillo es

$$R_{n,dc} = \mu \cdot D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s$$

Ecuación 6.3.2.3

Donde

$\mu$ : Coeficiente de fricción = 0,33

$D_u = 1,13$

$h_f = 1$

$n_s = 1$

$T_b$ : Tracción mínima de pretensado, correspondiente al 70% de la tensión de fluencia mínima

$$T_b = 0,7 \cdot \sigma_b \cdot A_b$$

Ecuación 6.3.2.3.1

$$T_b = 0,7 \cdot (620 \cdot 10^6) \left( \frac{\pi}{4} \cdot \left( \frac{5}{8} \cdot 0,0254 \right)^2 \right) = 85976 \text{ N}$$

Luego el valor de la resistencia nominal es

$$R_{n,dc} = 0,3 \cdot 1,13 \cdot 85976 = 29146 \frac{\text{N}}{\text{Bulón}}$$

#### 6.3.2.4 Verificación de deslizamiento crítico

Según AISC si se considera que la unión se hará con agujeros de diámetro estándar, el factor de seguridad vale  $\Omega = 1,5$ . Luego debe verificarse que:

$$R_{n,dc} \leq (n^\circ \text{bulones}) \cdot \frac{R_{n,dc}}{\Omega}$$

Ecuación 6.3.2.4

$$R_{n,dc} \leq 29146 \frac{\text{N}}{\text{Bulón}}$$

#### 6.4 Soldadura viga principal – chapa de unión y refuerzos

Finalmente, la viga principal se suelda en ambos extremos a las chapas de la unión y a las chapas de refuerzo, haciendo uso de soldadura tipo filete.

En el siguiente cuadro se detalla la soldadura necesaria:

|  |  |
|--|--|
| <b>Clase del acero soldado</b>             | CLASE II   |
| <b>Proceso de soldadura</b>                | GMAW   |
| <b>Tipo de junta</b>                       | De filete standard   |
| <b>Clase de junta</b>                      | Clase V  |
| <b>Material de aporte (alambre macizo)</b> | (AWS A5. 18) ER 70S-6  |
|  | <p><i>Tamaño efectivo de la garganta: 1/8"</i></p> <p><i>Tamaño del filete: 1/8"</i></p> |

Tabla 6.4

## 6.5 Selección de rieles

Dada la imposibilidad en Argentina de conseguir los rieles ASCE 25, se proponen dos alternativas al cliente de adaptación de otros rieles disponibles comercialmente.

### 6.5.1 Alternativa 1: Riel standard europeo tipo "A"

Se investiga los distintos posibles proveedores de rieles para grúas y se encuentra que la empresa BOHLER (16) comercializa los rieles europeos que responden a la norma DIN 536, especificación 1991.

Para elegir el tamaño del riel adecuado se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros del riel ASCE 25 (ver propiedades en el apartado XXX del Apéndice XXX):

- Características geométricas: dimensiones, resistencia mecánica de la sección.
- Propiedades del material: tipo, composición química, dureza.

Con lo cual, se opta por los rieles de tamaño A45 cuyo material es un acero grado 70 según la norma mencionada anteriormente (ver resto de características en la sección XXX).

### 6.5.2 Alternativa 2: Palanquillas cuadradas de acero SAE 1045 laminado en caliente

Esta representa como una alternativa mucho más económica y es una solución muy utilizada en la industria local y recomendada por fabricantes de puentes grúas. Se recomienda el uso de las de 2".

Para realizar el cálculo vamos a considerar el contacto entre la rueda y el riel como el de dos cuerpos cilíndricos paralelos. La rueda queda representada por el cilindro superior y el riel por el cilindro inferior con un diámetro infinitamente grande. Según la teoría de Hertz, la superficie de contacto es un rectángulo de longitud  $L$  y ancho  $2b$ .

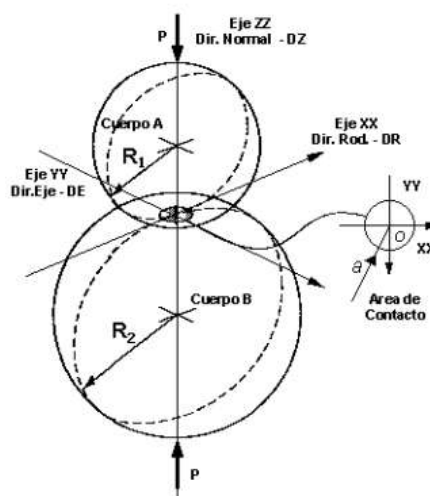


Figura 6.5: Dos cuerpos cilíndricos en contacto

$$b = \sqrt{\frac{4 \cdot F \cdot d_1 \cdot (1 - \nu^2)}{\pi \cdot l \cdot E}}$$

Ecuación 6.5

Donde

$F$ : Fuerza aplicada por la rueda 35224N

$\nu$ : Coeficiente de Poisson del acero = 0,3

$l$ : ancho del riel

$d_1$ : Diametro de la rueda

$$b = \sqrt{\frac{4 \cdot 35224N \cdot 203,4mm \cdot (1 - 0,3^2)}{\pi \cdot 38,1mm \cdot (2 \cdot 10^{11} Pa)}} = 1,04mm$$

La distribución de presión en la zona de contacto es un prisma semieliptico como muestra la figura XX. Luego la presión máxima se encuentra en el centro del área de contacto y su valor es:

$$p_{max} = \frac{2 \cdot F_{ra}^{estatico}}{\pi \cdot b \cdot l}$$

Ecuación 6.5.1

$$p_{max} = \frac{2 \cdot 35224N}{\pi \cdot 1,04mm \cdot 38,1mm} = 566Mpa$$

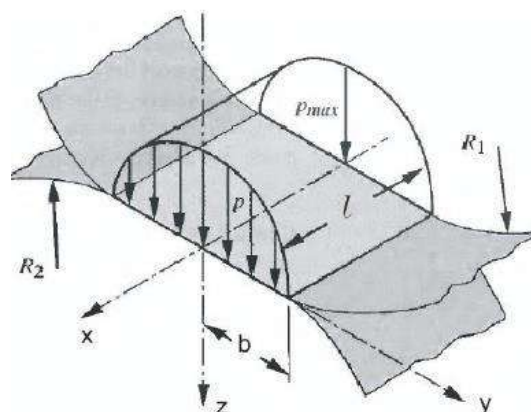


Figura 6.5.1

En un entorno de la superficie de contacto, a lo largo del eje Z las tensiones principales se encuentran en las direcciones X, Y, Z. Dichas tensiones son máximas en la superficie de contacto es decir  $Z=0$ .

$$\sigma_x = \sigma_z = -p_{max} = -566Mpa$$

*Ecuación 6.5.2*

$$\sigma_x = -2 \cdot v \cdot -p_{max} = -339,7Mpa$$

*Ecuación 6.5.3*

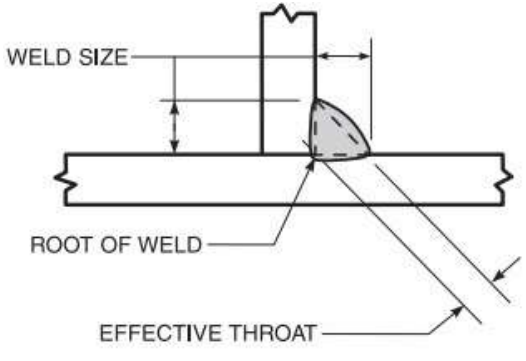
Estos resultados demuestran que los valores máximos de los esfuerzos son de compresión y ocurren en el centro del área de contacto inmediatamente por debajo de la rueda. En ese punto, las tensiones de compresión calculadas son muy altas (más altas que el punto de fluencia del material).

De todas maneras, está demostrado que estas tensiones, en la mayoría de las ocasiones, son soportadas sin daño aparente.

Otros de los problemas que se originan por el contacto en la rodadura de una rueda y un riel es el desgaste por fatiga superficial, de todos modos, debido a que el puente grúa tendrá una frecuencia de uso muy baja, su influencia no se vería manifestada.

#### *Anclaje a las vigas carrileras*

Al ser de medio carbono, no tienen muy buena soldabilidad, por lo cual para realizar el anclaje a las vigas carrileras se recomienda el uso de soldadura por arco eléctrico con protección gaseosa (GMAW) y así evitar el precalentamiento y/o postcalentamiento. Sería necesario una soldadura de filete (intermitente), de 50 cm de longitud de cordón y 30 cm de espaciamiento entre cordones.

|   |  |
|---|--|
| <b>Proceso de soldadura</b>   | GMAW   |
| <b>Tipo de junta</b>  | De filete standard   |
| <b>Clase de junta</b>   | Clase V  |
| <b>Material de aporte (alambre macizo)</b>  | (AWS A5. 18) ER 70S-6  |
|  | <p><i>Tamaño efectivo de la garganta: 1/4"</i></p> <p><i>Tamaño del filete: 1/4"</i></p> |

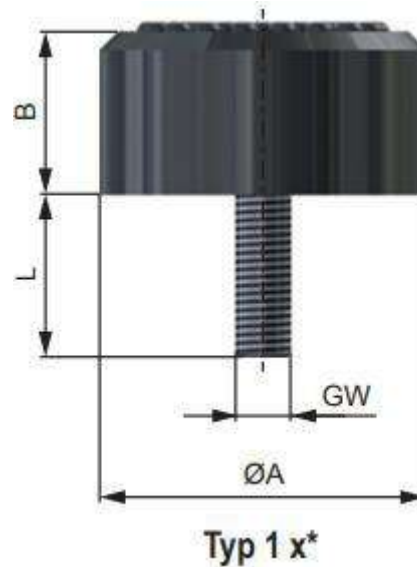
Ecuación 6.5

Como conclusión de las dos alternativas, se recomienda el empleo de las planchuelas de sección cuadrada (Alternativa 2), debido a que son factibles de emplear técnicamente y resultan económicamente más convenientes que los rieles *DIN A 45*, representando una gran reducción en el costo total.

#### 6.6 Selección de sistema de amortiguación

En este caso, la carga de colisión  $CF = 152120N$  calculada en la sección 4.6.6 en combinación con los concentradores de tensión en la unión produce que sea prácticamente imposible mantener las tensiones en el rango admisible. Es por esto por lo que es indispensable adoptar sistemas de amortiguación.

El sistema de amortiguación más usado para puentes grúa de similar capacidad son los topes de goma. Debido a la escasa información en la Argentina de estos topes, se supone el siguiente tope WEFORMA WCB - 080-040-6-B donde tomaremos  $V = 1m/s$



## DIMENSIONS

|                 | Typ* |   | mm (inch) |           |           | GW   | Weight<br>kg (lbs) |
|-----------------|------|---|-----------|-----------|-----------|------|--------------------|
|                 |      |   | A         | B         | L         |      |                    |
| WCB-070-070-6-B | 2    | y | 70 (2.76) | 70 (2.76) | 35 (1.38) | M 12 | 0,25 (0.55)        |
| WCB-080-040-6-B | 1    | x | 80 (3.15) | 40 (1.57) | 35 (1.38) | M 12 | 0,21 (0.46)        |
| WCB-080-080-6-B | 2    | y | 80 (3.15) | 80 (3.15) | 35 (1.38) | M 12 | 0,31 (0.68)        |

Figura 6.6

## PERFORMANCE

|                 | max. Deflection<br>mm<br>(inch) | V<br>static           |                    | V<br>1 m/s            |                    | V<br>2 m/s            |                    | V<br>3 m/s            |                    | V<br>4 m/s            |                    |
|-----------------|---------------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
|                 |                                 | kNm*<br>(in lbs*1000) | kN**<br>(lbs*1000) | kNm*<br>(in lbs*1000) | kN**<br>(lbs*1000) | kNm*<br>(in lbs*1000) | kN**<br>(lbs*1000) | kNm*<br>(in lbs*1000) | kN**<br>(lbs*1000) | kNm*<br>(in lbs*1000) | kN**<br>(lbs*1000) |
| WCB-070-070-6-B | 56<br>(2.2)                     | 0,46<br>(4)           | 24<br>(5.4)        | 0,59<br>(5)           | 26<br>(5.85)       | 0,67<br>(6)           | 30<br>(6.74)       | 0,84<br>(7)           | 35<br>(7.57)       | 1<br>(9)              | 38<br>(8.54)       |
| WCB-080-040-6-B | 32<br>(1.26)                    | 0,37<br>(3)           | 31<br>(6.97)       | 0,47<br>(4)           | 34<br>(7.64)       | 0,54<br>(5)           | 41<br>(9.22)       | 0,67<br>(6)           | 47<br>(10.57)      | 0,8<br>(7)            | 51<br>(11.47)      |
| WCB-080-080-6-B | 64<br>(2.52)                    | 0,7<br>(6)            | 31<br>(6.97)       | 0,89<br>(8)           | 34<br>(7.64)       | 1,02<br>(9)           | 41<br>(9.22)       | 1,28<br>(11)          | 47<br>(10.57)      | 1,52<br>(13)          | 51<br>(11.47)      |

Figura 6.6.1

Procederemos a calcular la constante elástica del tope de goma:

$$K_{\text{tope}} = \frac{\text{Fuerza}^2}{2 \cdot \text{Energía}} = \frac{34^2}{2 \cdot 0,47} = 1230 \text{KN/m}$$

Ecuación 6.6

Gracias a la constante de amortiguación del tope podemos reducir la fuerza de colisión al siguiente valor:

$$CF = \sqrt{2 \cdot U_{cinética} \cdot K_{tope}} = \sqrt{2 \cdot 8,69J \cdot 1230000N/m} = 4623N$$

## 7. Presupuesto

### 7.1 Introducción

En el detalle del presupuesto se determina la cantidad de recursos económicos a emplearse en el diseño, fabricación, montaje y puesta en servicio del puente grúa con su correspondiente sistema de rieles. Se aclara que la cotización es una estimación, ya que el precio de la mayoría de los componentes varía con mucha frecuencia, por lo que el costo del puente grúa también lo hará.

El cálculo total de los costos se realiza para la alternativa numero dos para el sistema de rieles (secciones cuadradas macizas).

La estructura de costos se divide en dos:

- Costos directos
- Costos indirectos

### 7.2 Costos directos

En los costos directos se detallan el costo de los materiales, elementos, equipos y costos de montaje.

Para esto se realiza una tabla y se subdivide

| Artículo   | Proveedor   | Unidades | Costo unitario | Costo total          |
|--|-------------|----------|----------------|----------------------|
| <b>Costo de componentes mecánicos</b>                |             |          |                |                      |
| <b>Rieles</b>  | Hierrometal | 4        | \$23.654,36    | \$118.827,82 + IVA   |
| Macizos cuadrados de<br>1 ½ "x 12m de Acero SAE 1045 |             |          |                |                      |
| <b>Rodamientos</b>                                   |             |          |                |                      |
| 22212 E SKF  | ARGENDRILL  | 4        | \$33.798       | \$163.581,00 + IVA   |
| <b>Polipastos</b>                                    |             |          |                |                      |
| - Aparejo eléctrico FV3 5008                         | FORVIS      | 1        | \$2.861.626,21 | \$3.622.311,66 + IVA |
| - Carro eléctrico CFT TRICICLO                       |             |          |                |                      |
| - Comandos TELEMECHANIQUE                            |             |          |                |                      |



---

**Unión abulonada**

|   |         |   |   |                             |
|---|---------|---|---|-----------------------------|
| Bulones ASTM A325 de 5/8" x 2" con tuerca y arandela. | Comahue | 1 | - | \$ 10.564,23                |
| <b>Total</b>  |         |   |   | <b>\$3.915.323,71 + IVA</b> |

*Origen: Datos otorgados por proveedores y catálogos con precios online*

| Artículo | Proveedor | Unidades | Costo unitario | Costo total |
|----------|-----------|----------|----------------|-------------|
|----------|-----------|----------|----------------|-------------|

**Costo de componentes eléctricos**

**Línea de alimentación eléctrica de polipastos**

|   |  |   |             |                  |
|---|--|---|-------------|------------------|
| Alimentación eléctrica por carro portacables longitud 10m |  | 1 | \$29.629,88 | \$29.629,88 +IVA |
|---|--|---|-------------|------------------|

**Línea de alimentación eléctrica para puente grúa**

|   |  |   |              |                    |
|---|--|---|--------------|--------------------|
| Alimentación eléctrica Barras para cubrir 20m |  | 1 | \$115.364,34 | \$115.364,34 + IVA |
|---|--|---|--------------|--------------------|

**Variadores de velocidad**

|                          |  |   |             |                   |
|--------------------------|--|---|-------------|-------------------|
| Janson FC100-2S-1.5G 2HP |  | 1 | \$33.301,82 | \$33.301,82 + IVA |
|--------------------------|--|---|-------------|-------------------|

**Motorreductor**

|  |        |   |              |                     |
|--|--------|---|--------------|---------------------|
| Motorreductor 26-150 FB-25RPM -PN-3A con eje de salida Hueco | Lentax | 2 | \$802.968,60 | \$1.605.937,2 + IVA |
|--|--------|---|--------------|---------------------|

**Guardamotores**

|                                   |           |   |             |                  |
|-----------------------------------|-----------|---|-------------|------------------|
| Guardamotor WEG MPW 18            | Bremocor  | 3 | \$7.122,64  | \$21.367,92 +IVA |
| Guardamotor Easy Schneider GZ1E14 | Sincrosur | 1 | \$10.508,58 | \$10.508,58 +IVA |

**Interruptores para el movimiento del puente grúa y polipasto**

|   |       |   |            |                  |
|---|-------|---|------------|------------------|
| Final de carrera ZCY 45 marca Telemecanique | LIESA | 4 | \$7.516,41 | \$30.065,66 +IVA |
|---|-------|---|------------|------------------|

|       |   |   |   |                    |
|-------|---|---|---|--------------------|
| Total | - | - | - | \$1.846.175,4 +IVA |
|-------|---|---|---|--------------------|

Origen: Datos otorgados por proveedores y catálogos con precios online

| Tareas                                       | Descripción de tareas   | Empresa   | Importe total \$    |
|--|---|-----------|---------------------|
| <b>Trabajos tercerizados</b>                 |   |           |                     |
| <b>Construcción de dos vigas principales</b> | Corte de chapas A 36 de ½" de espesor                               | Herxon    | \$3.603.540,74+ IVA |
|  | Corte de macizos cuadrados y topes                                  |           |                     |
|  | Taladrado de apoyos   |           |                     |
|  | Armado y soldadura de vigas encajonadas                             |           |                     |
| <b>Construcción de dos vigas testeras</b>    | Corte y plegado en "U" de chapas de acero A 36 de ¼" de espesor     |           |                     |
|  | Taladrado   |           |                     |
|  | Soldadura de perfiles   |           |                     |
| <b>Protección superficial</b>                | Limpieza de superficies con cepillo de copa en amoladora            |           |                     |
|  | Fosfatizado pasivante   |           |                     |
|  | Una mano de imprimación   |           |                     |
|  | Dos manos de pintura poliuretánica amarilla                         |           |                     |
| <b>Ensayos no destructivos</b>               | Líquidos penetrantes en todas las costuras de las vigas principales | Gie Group | \$75.000,00 + IVA   |

|                                      |  |                      |                             |
|--------------------------------------|--|----------------------|-----------------------------|
|                                      | Líquidos penetrantes en todas las costuras de las vigas testeras           |                      |                             |
| <b>Mecanizados</b>                   | Cuatro ruedas mecanizadas en acero SAE 1045 trefilado                      | Mecanizados          | \$64.000,00                 |
|                                      | Dos ejes cortos con chavetero mecanizados en acero SAE 1045 trefilado      | Edisón               | \$18.000,00                 |
|                                      | Dos ejes largos con chaveteros mecanizados en acero SAE 1045 trefilado     |                      | \$36.000,00                 |
| <b>Armado de tableros eléctricos</b> | Se contempla la mano de obra de técnico calificado y materiales necesarios | Del Plata Ingeniería | \$140.000,00+ IVA           |
| <b>Total</b>                         |  |                      | <b>\$3.936.540,74 + IVA</b> |

*Origen: Datos otorgados por proveedores y catálogos con precios online*

#### Costo de montaje

Para obtener el costo de montaje completo, se considera la mano de obra necesaria para el armado y ensamblado de cada uno de los miembros y subconjuntos del puente grúa (componentes eléctricos, mecánicos y estructuras). Además, se considera que debe ser probada en el lugar de instalación con el objeto de comprobar su correcto ensamble, alineación y funcionamiento.

En detalle:

- 2 técnicos eléctricos/electromecánicos para realizar el montaje de tableros, bandejas, motores y conexión de tableros, etc. Tardarían 6 días (24 hs) y c/u cobra 1.991,95 \$/HH. Es decir, para el montaje eléctrico se necesitan  $C_{electrico} = \$95.613,60$ .
- Trabajo de 4 trabajadores con experiencia en montajes de los componentes estructurales y mecánicos de un puente grúa (se incluye al operador de

montaje), durante 6 días (48 hs) a un costo de 1.991,95 \$/HH. Luego el costo de mano de montaje estructural es de  $C_{montaje} = \$ 382.454,40$ .

- Trabajo de un soldador (cobran alrededor 1.732,53 \$/HH cuando los materiales corren por su cuenta) y para realizar la soldadura de los rieles se necesitan 40 m de cordón de soldadura, por lo que tardaría alrededor de 18 hs. Luego el costo de soldadura (), ronda los  $C_{soldador} = \$ 31.185,54$ .
- Alquiler de 32 hs de "Hidrogrúa" a una tarifa de 8500 \$/hs, el costo de alquiler de grúa resulta de  $C_{grúa} = \$ 272.000,00$ .
- El costo de los materiales consumibles utilizados Estos son los productos para pegar, penetrantes, grasas, materiales de corte, desbaste y pulido y otros resulta de  $C_{consumibles} = \$ 9.800,00$ .

Por lo cual el costo total en el montaje

$$Costo_{total} = C_{eléctrico} + C_{montaje} + C_{soldador} + C_{grúa} + C_{consumibles} = \$791.053,54$$

Costos directos totales

| Costos directos                 | Importe total \$             |
|---------------------------------|------------------------------|
| Costos componentes mecánicos    | \$3.915.323,71+ IVA          |
| Costos componentes eléctricos   | \$1.846.175,4 + IVA          |
| Trabajos brindados por terceros | \$3.970.540,74 + IVA         |
| Montaje                         | \$791.053,54                 |
| <b>Total</b>                    | <b>\$10.523.093,39 + IVA</b> |

*Origen: Datos otorgados por proveedores y catálogos con precios online*

### 7.3 Costos indirectos

Costo de Ingeniería

Este costo, se refiere al tiempo empleado en el diseño de cada uno de los elementos que componen el puente grúa. Con lo cual a un ingeniero mecánico especialista en el diseño de este tipo de maquinaria le llevaría un periodo de 15, considerando que trabaja

8hs por día entonces tenemos un total de (120 hs) para diseñar mecánica y estructuralmente al puente grúa. Se estima que a un ingeniero eléctrico con experiencia le llevaría 5 días (30 hs) llevar a cabo todo el diseño eléctrico. Considerando que estos profesionales que trabajan de manera independiente cobran alrededor de 3780 \$/HH en promedio, el costo de ingeniería total será de:

$$C_{ingeniería} = \$567.000,00$$

Costo por contingencias

Se relacionan principalmente con los gastos de movilización del personal, costo de fletes de entrega de materiales, imprevistos, impresiones de planos, etc. Se estima un valor de:

$$C_{contingencias} = \$28.000,00$$

Costos indirectos totales

| Costos indirectos        | Importe total \$    |
|--------------------------|---------------------|
| Costos de ingeniería     | \$567.000,00        |
| Costos por contingencias | \$28.000,00         |
| <b>Total</b>             | <b>\$595.000,00</b> |

#### 7.4 Costos totales

| Costos indirectos | Importe total \$             |
|-------------------|------------------------------|
| Costos directos   | \$10.523.093,39              |
| Costos indirectos | \$595.000,00                 |
| <b>Total</b>      | <b>\$11.118.093,39 + IVA</b> |

*Por último, el costo total para el diseño, fabricación y montaje del puente grúa de 5 toneladas llega a la suma de once millones ciento dieciocho mil noventa y tres pesos con treinta y nueve centavos. Peso Argentino (más IVA). Si expresamos la suma anterior en dólares americanos sería igual a ochenta y un mil quinientos setenta y seis dólares con setenta y tres centavos más IVA.*

*El cierre del dólar al día de la fecha (17/8/22) fue de AR\$136,29*

## 8. Conclusiones

A lo largo del trabajo final, se verificó que el puente grúa de 5 toneladas y 9 metros de luz cumple con las especificaciones impuestas por la norma CMMA N° 70. Debido a que la mayoría de los fabricantes de puentes grúa en Argentina y el mundo utilizan estas normas de construcción para dichos mecanismos de elevación, de esta manera al cumplir con estas especificaciones de la al presupuesto un mayor grado de comparación en el mercado de este tipo de grúas.

Al finalizar el presente proyecto, se logró realizar el diseño mecánico del puente grúa de 5 toneladas birriel para la empresa Enox Ingeniería, con la finalidad de optimizar los procesos productivos y acceder a un mercado laboral en donde van a poder acceder a trabajos de mayor envergadura. Esto conlleva a grandes beneficios para la empresa, tanto económicos como para el proceso de producción debido a que al mejorar el tiempo de operación o de maniobras con aparejos y zorras se reduce significativamente las probabilidades de cuellos de botella y retrasos en las tareas sin mencionar que se reducen notablemente las posibles lesiones que pueden tener ocasionalmente los trabajadores, los cuales quedarían de baja temporalmente.

El cálculo estructural se realizó empleando ecuaciones matemáticas de mecánica de materiales, tanto para cálculos estructurales, selección de mecanismos y materiales de construcción.

Con la simulación realizada en los softwares de elementos finitos como Inventor y Ansys Workbench, de los elementos principales se logró validar los análisis matemáticos empleados logrando resultados de simulación similares a los resultados analíticos. Para lograr resultados confiables y que correspondan al fenómeno real, en cada simulación se logró que la mayor cantidad de elementos formaran la malla, limitado al número permitido de elementos que corresponde para los programas con licencia estudiantil.

Por último, se pidió a la empresa Forvis la cotización de un puente grúa con las mismas características al calculado en el presente proyecto. El costo resultó ser un 40% más económico, sin embargo, no incluye montaje, logística ni instalación eléctrica y en cuanto a materiales y algunos elementos de máquina nosotros hemos optado por lo mejor disponible en el mercado. Teniendo en cuenta lo antes mencionado y que los costos variables unitarios que maneja la empresa Forvis son mucho mas pequeños que los que nosotros hemos podido conseguir, consideramos que este proyecto fue desarrollado con éxito.

## 9. Bibliografía

1. American Welding Society, *Specification for Welding of Industrial Mill Cranes and other material handling Equipment*. Cuarta edición

2. Crane Manufacturers Association of America, Inc. *CMAA Specification N° 70. 2000.*
4. Crane SRL, [En línea] <http://www.ingenieriacabrera.com.ar/>.
5. Ernst, H. *Aparatos de Elevacion y Transporte. Vol. II.*
6. S.A, Forvis. [En línea] <http://www.forvis.com.ar/>.
7. Dubbel. *Handbook of Mechanical Engennering.* Editorial W Beitz & K-H Küttner
8. D. Chapetti, Mirco. *Teorías de Elasticidad, Plasticidad y Mecanica de Fractura. 2009.*
9. Shigley. *Diseño en ingeniería mecánica.* Novena.
10. Skyciv online. <https://platform.skyciv.com/dashboard>

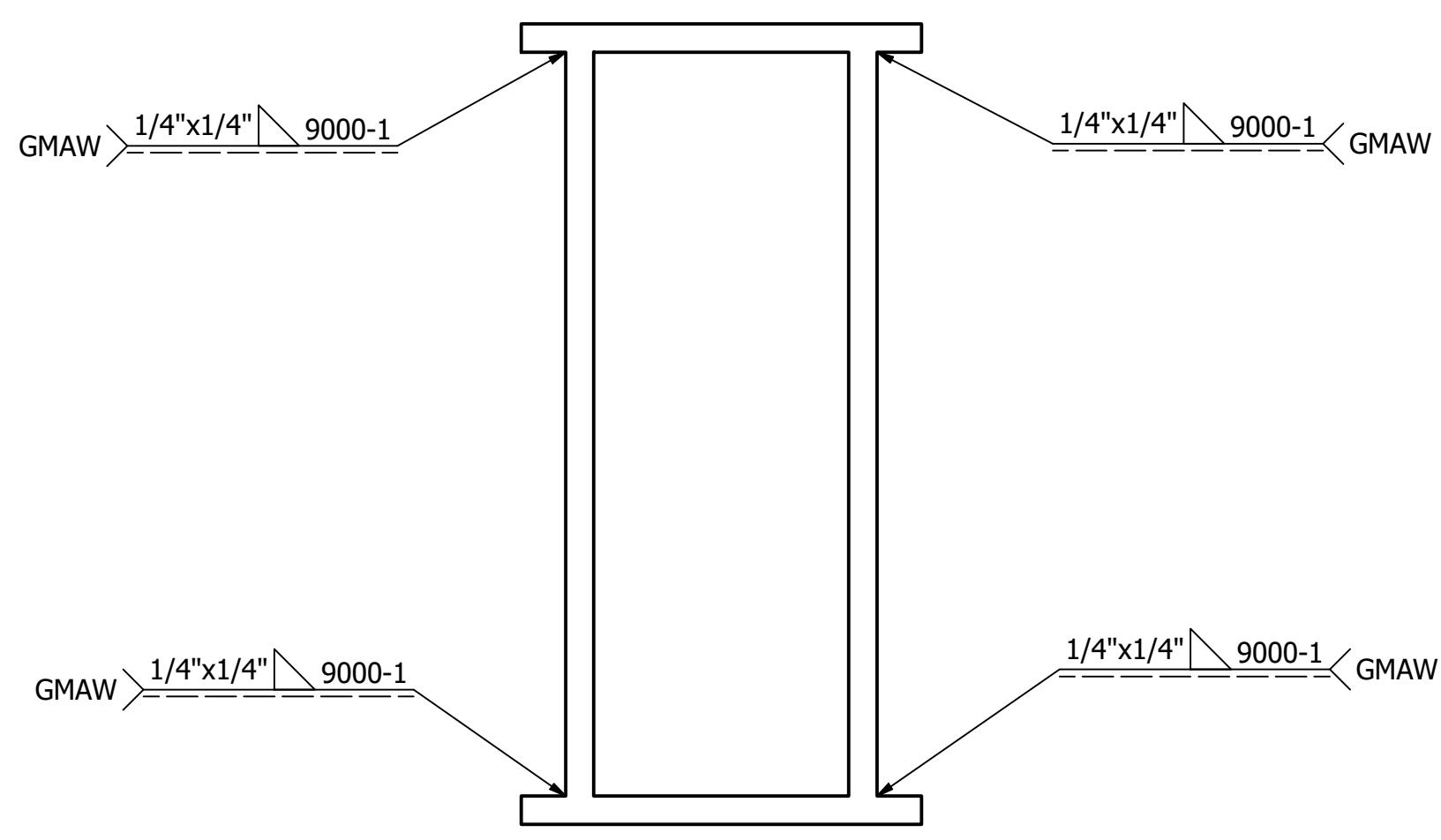
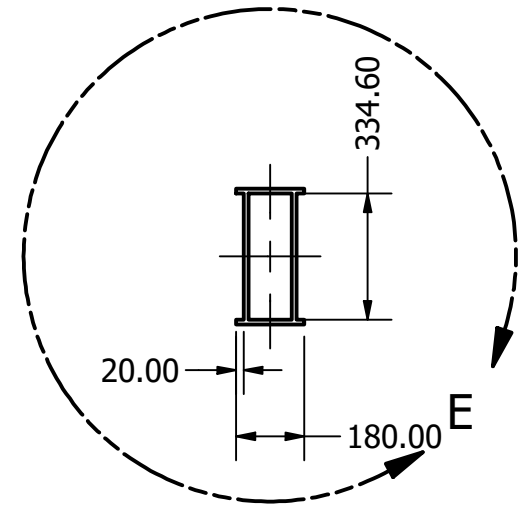
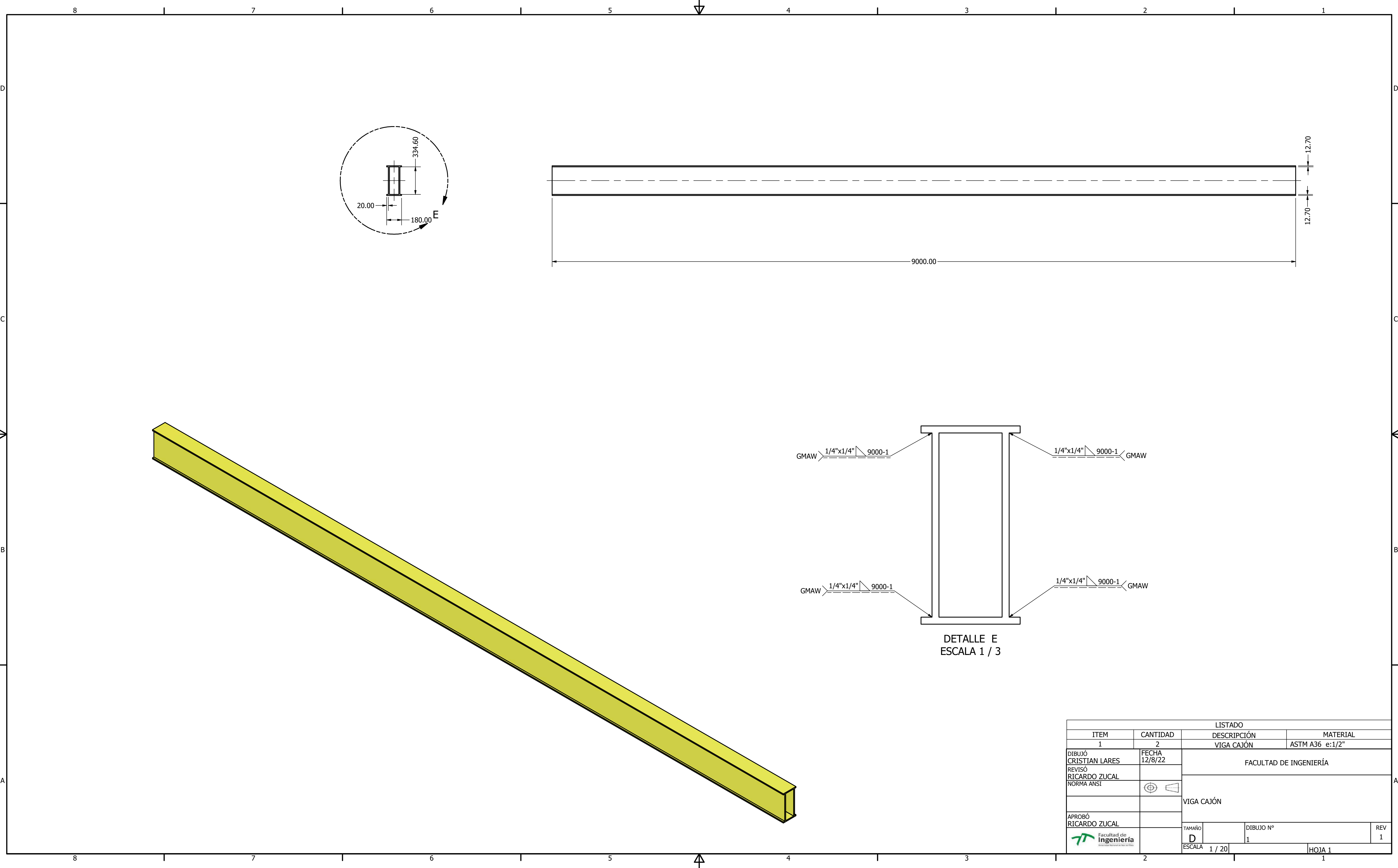
## 10. Apéndices

- **Apéndice 1:** Planos mecánicos
- **Apéndice 2:** Presupuestos
- **Apéndice 3:** Referencias CMMA
- **Apéndice 4:** Concepto skewing
- **Apéndice 5:** Propiedades de materiales



# Apéndice 1

Planos mecánicos



DETALLE E  
ESCALA 1 / 3

| LISTADO                  |                  |                        |                 |
|--------------------------|------------------|------------------------|-----------------|
| ITEM                     | CANTIDAD         | DESCRIPCIÓN            | MATERIAL        |
| 1                        | 2                | VIGA CAJÓN             | ASTM A36 e:1/2" |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES | FECHA<br>12/8/22 | FACULTAD DE INGENIERÍA |                 |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |                  |                        |                 |
| NORMA ANSI               |                  | VIGA CAJÓN             |                 |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |                  | TAMAÑO<br>D            | DIBUJO N°<br>1  |
|                          |                  | ESCALA<br>1 / 20       | HOJA 1          |

D  
C  
B  
A

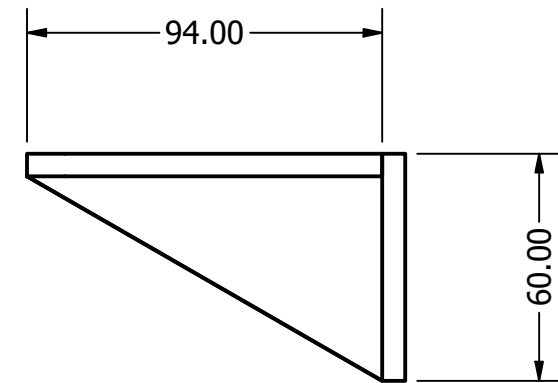
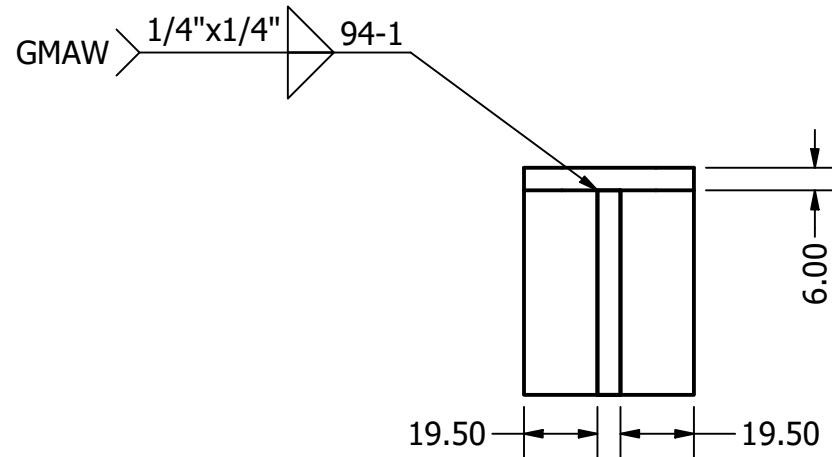
8 7 6 5 4 3 2 1

8 7 6 5 4 3 2 1

6 1 5 1 4 3 1 2 1 1

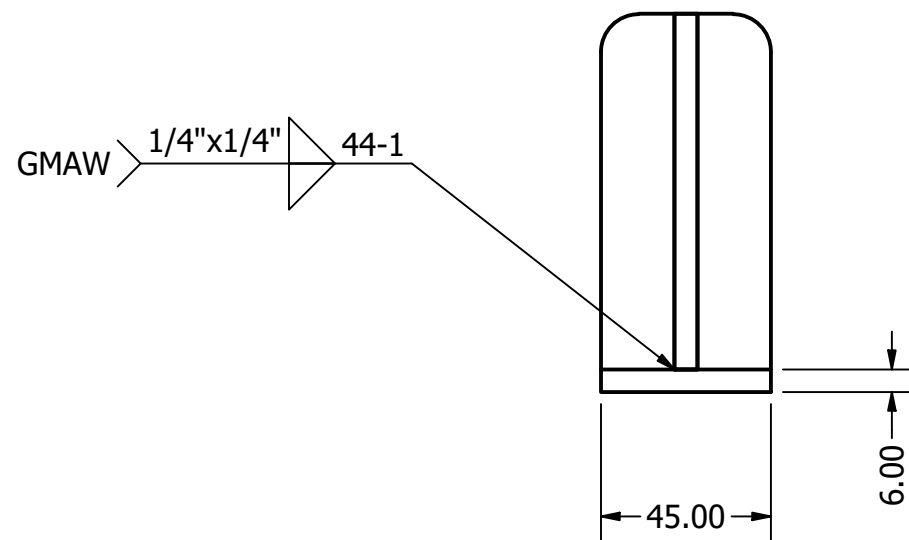
D

D



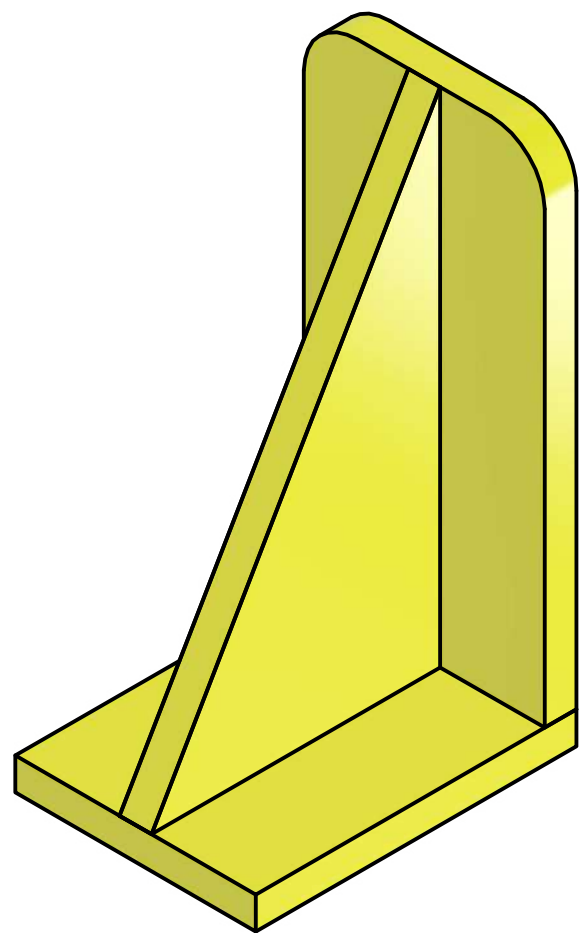
C

C



B

B

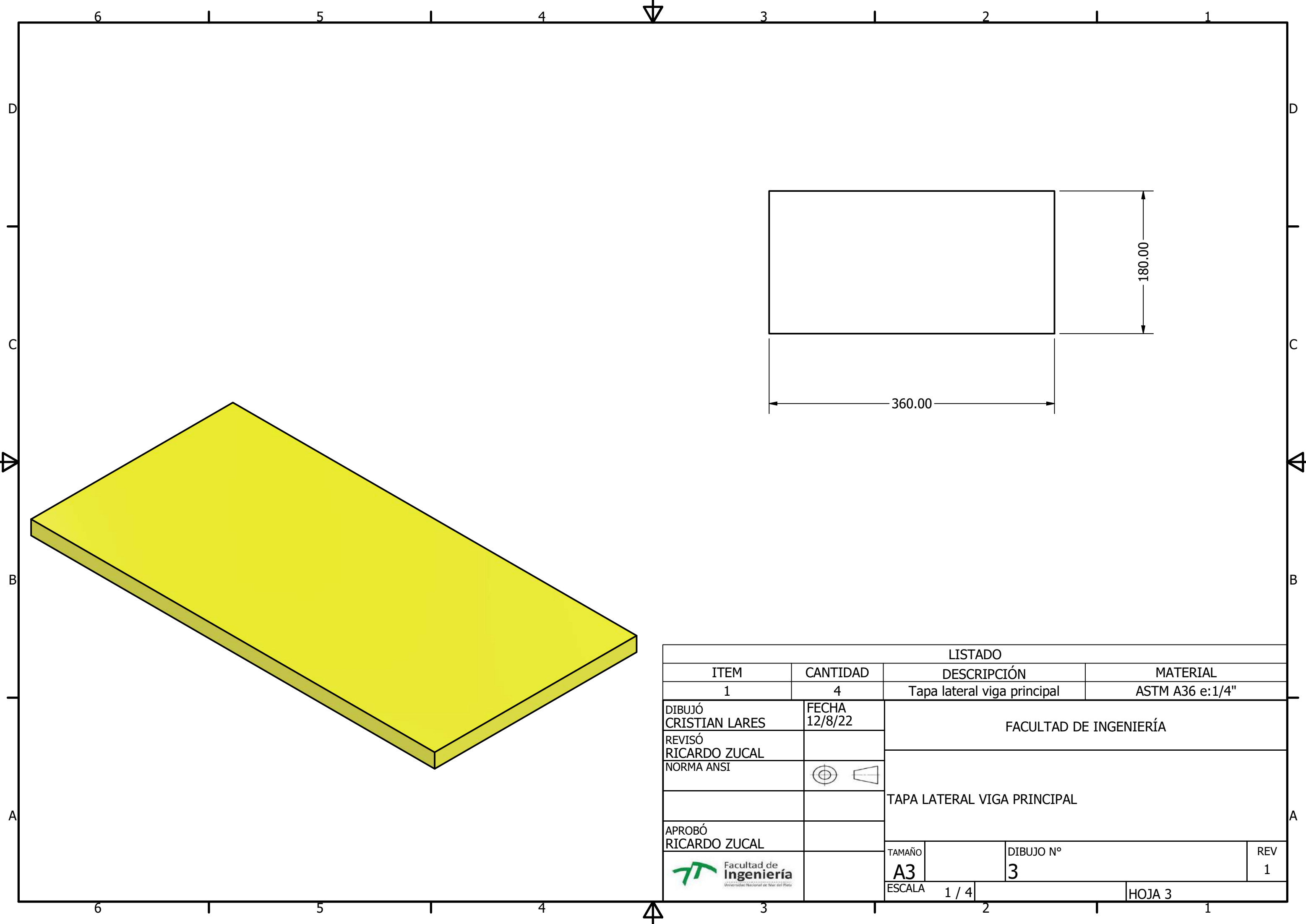



A

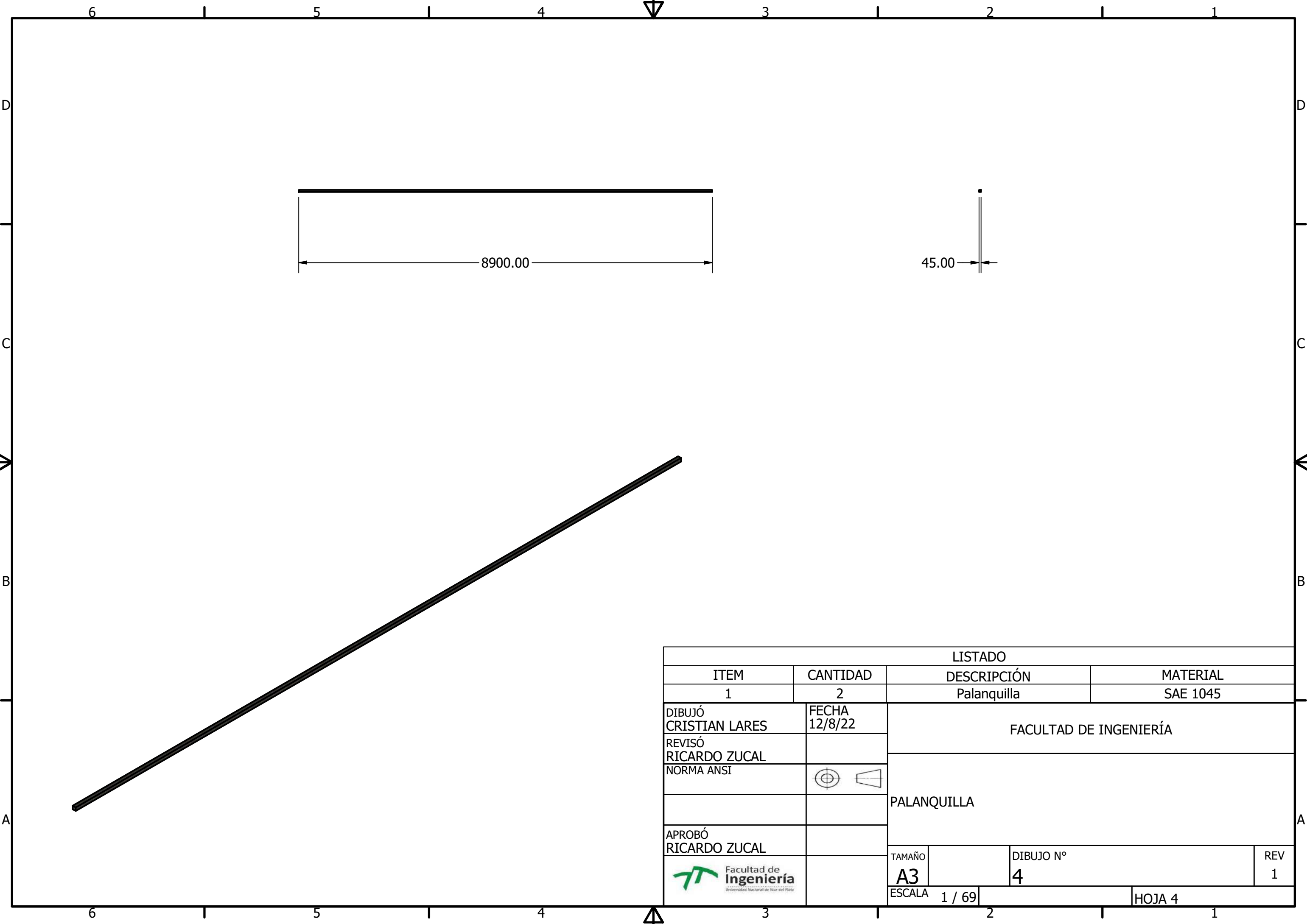
A

6 1 5 1 4 3 1 2 1 1

| LISTADO                  |          |                     |                        |          |
|--------------------------|----------|---------------------|------------------------|----------|
| ITEM                     | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN         | MATERIAL               |          |
| 1                        | 4        | Tope                | ASTM A36 e:1/4"        |          |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES |          | FECHA<br>12/8/22    | FACULTAD DE INGENIERÍA |          |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                     |                        |          |
| NORMA ANSI               |          |                     | TOPE DE VIGA           |          |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                     |                        |          |
|                          |          | TAMAÑO<br><b>A3</b> | DIBUJO N°<br><b>2</b>  | REV<br>1 |
|                          |          | ESCALA<br>1 : 2     | HOJA 2                 |          |



| LISTADO   |          |                             |                             |          |
|---|----------|-----------------------------|-----------------------------|----------|
| ITEM  | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN                 | MATERIAL                    |          |
| 1   | 4        | Tapa lateral viga principal | ASTM A36 e:1/4"             |          |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES  |          | FECHA<br>12/8/22            | FACULTAD DE INGENIERÍA      |          |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL   |          |                             |                             |          |
| NORMA ANSI  |          | ⊕ ◁                         | TAPA LATERAL VIGA PRINCIPAL |          |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL   |          |                             |                             |          |
|  |          | TAMAÑO<br><b>A3</b>         | DIBUJO N°<br><b>3</b>       | REV<br>1 |
|   |          | ESCALA<br>1 / 4             | HOJA 3                      |          |



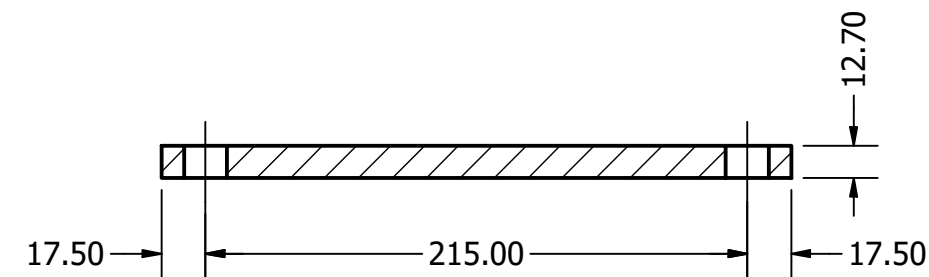
| LISTADO                  |          |                  |                        |
|--------------------------|----------|------------------|------------------------|
| ITEM                     | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN      | MATERIAL               |
| 1                        | 2        | Palanquilla      | SAE 1045               |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES |          | FECHA<br>12/8/22 | FACULTAD DE INGENIERÍA |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                  |                        |
| NORMA ANSI               |          |                  | PALANQUILLA            |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                  |                        |
|                          |          |                  |                        |
| TAMAÑO                   |          | DIBUJO N°        | REV                    |
| A3                       |          | 4                | 1                      |
| ESCALA                   | 1 / 69   | HOJA             | 4                      |

6 1 5 1 4 3 1 2 1

D

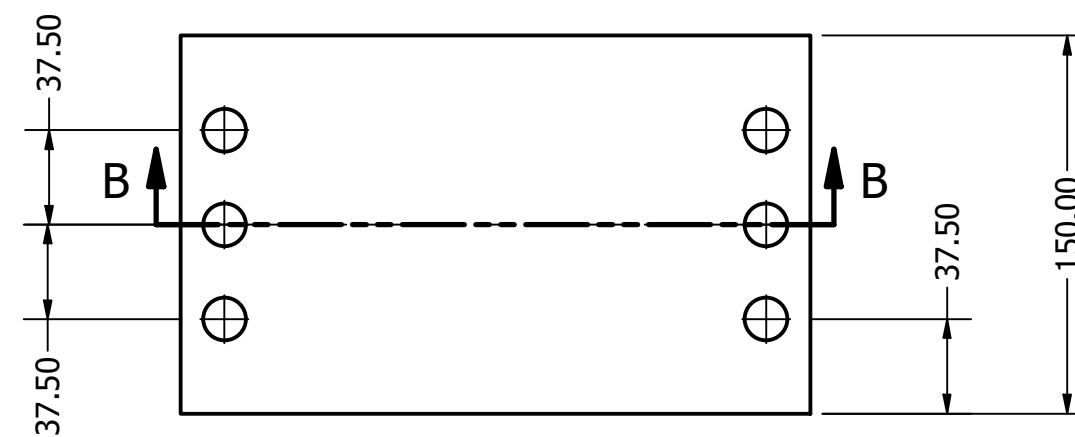
D

SECCIÓN B-B  
ESCALA 1 : 3



C

C



B

B



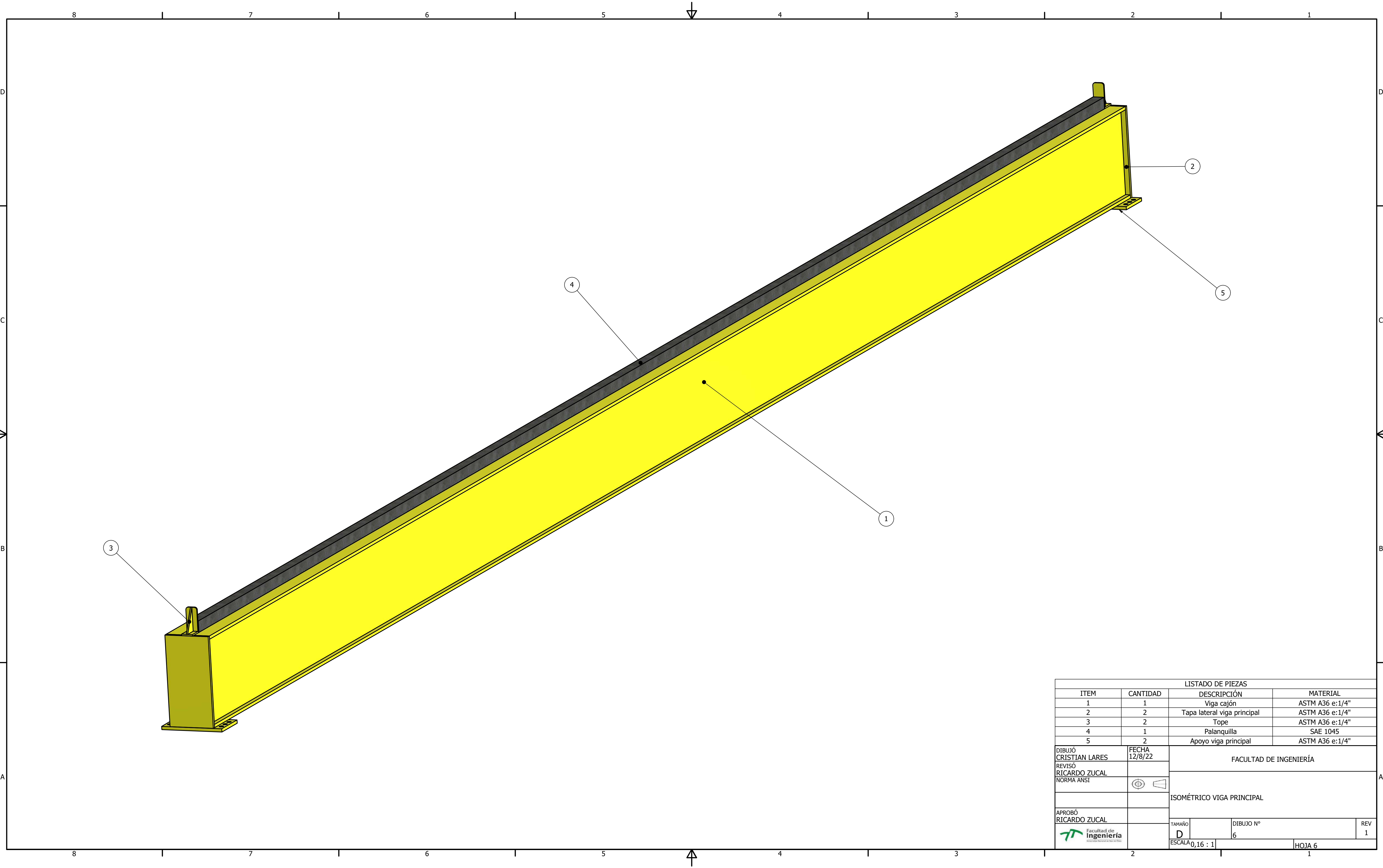
A

A

| LISTADO                  |          |                      |                        |
|--------------------------|----------|----------------------|------------------------|
| ITEM                     | CANTIDAD | PART NUMBER          | DESCRIPTION            |
| 1                        | 2        | Apoyo viga principal | ASTM A 36 e:1/4"       |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES |          | FECHA<br>12/8/22     | FACULTAD DE INGENIERÍA |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                      |                        |
| NORMA ANSI               |          |                      | APOYO VIGA PRINCIPAL   |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                      |                        |
|                          |          |                      |                        |
| TAMAÑO<br>A3             |          | DIBUJO N°<br>5       | REV<br>1               |
| ESCALA<br>1 : 3          |          |                      | HOJA 5                 |

6 1 5 1 4 3 1 2 1





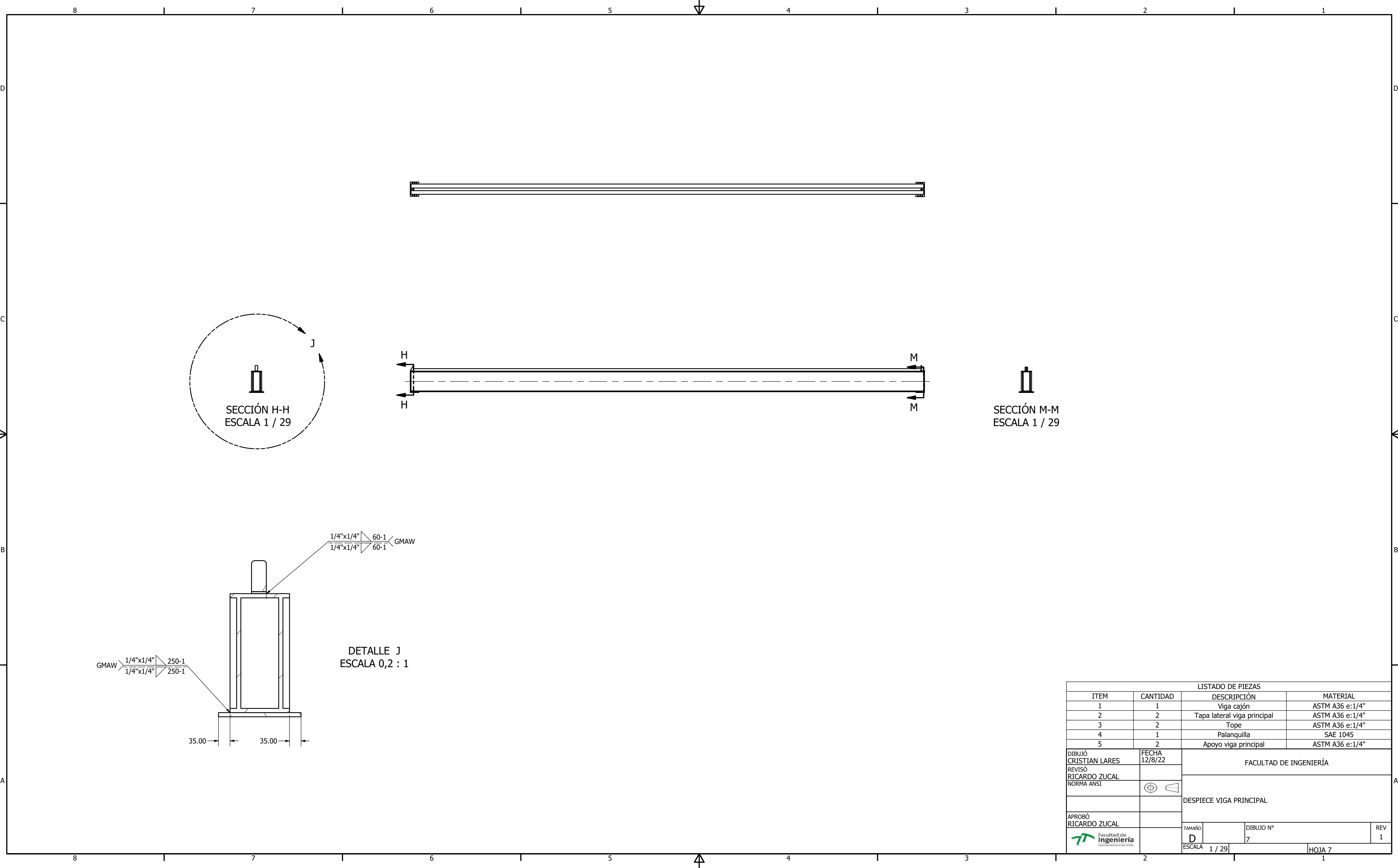
| LISTADO DE PIEZAS |          |                             |                 |
|-------------------|----------|-----------------------------|-----------------|
| ITEM              | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN                 | MATERIAL        |
| 1                 | 1        | Viga cajón                  | ASTM A36 e:1/4" |
| 2                 | 2        | Tapa lateral viga principal | ASTM A36 e:1/4" |
| 3                 | 2        | Tope                        | ASTM A36 e:1/4" |
| 4                 | 1        | Palanquilla                 | SAE 1045        |
| 5                 | 2        | Apoyo viga principal        | ASTM A36 e:1/4" |

|                          |                  |                           |                |
|--------------------------|------------------|---------------------------|----------------|
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES | FECHA<br>12/8/22 | FACULTAD DE INGENIERÍA    |                |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |                  | ISOMÉTRICO VIGA PRINCIPAL |                |
| NORMA ANSI               |                  | TAMAÑO<br>D               | DIBUJO N°<br>6 |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |                  | ESCALA<br>0,16 : 1        | REV<br>1       |





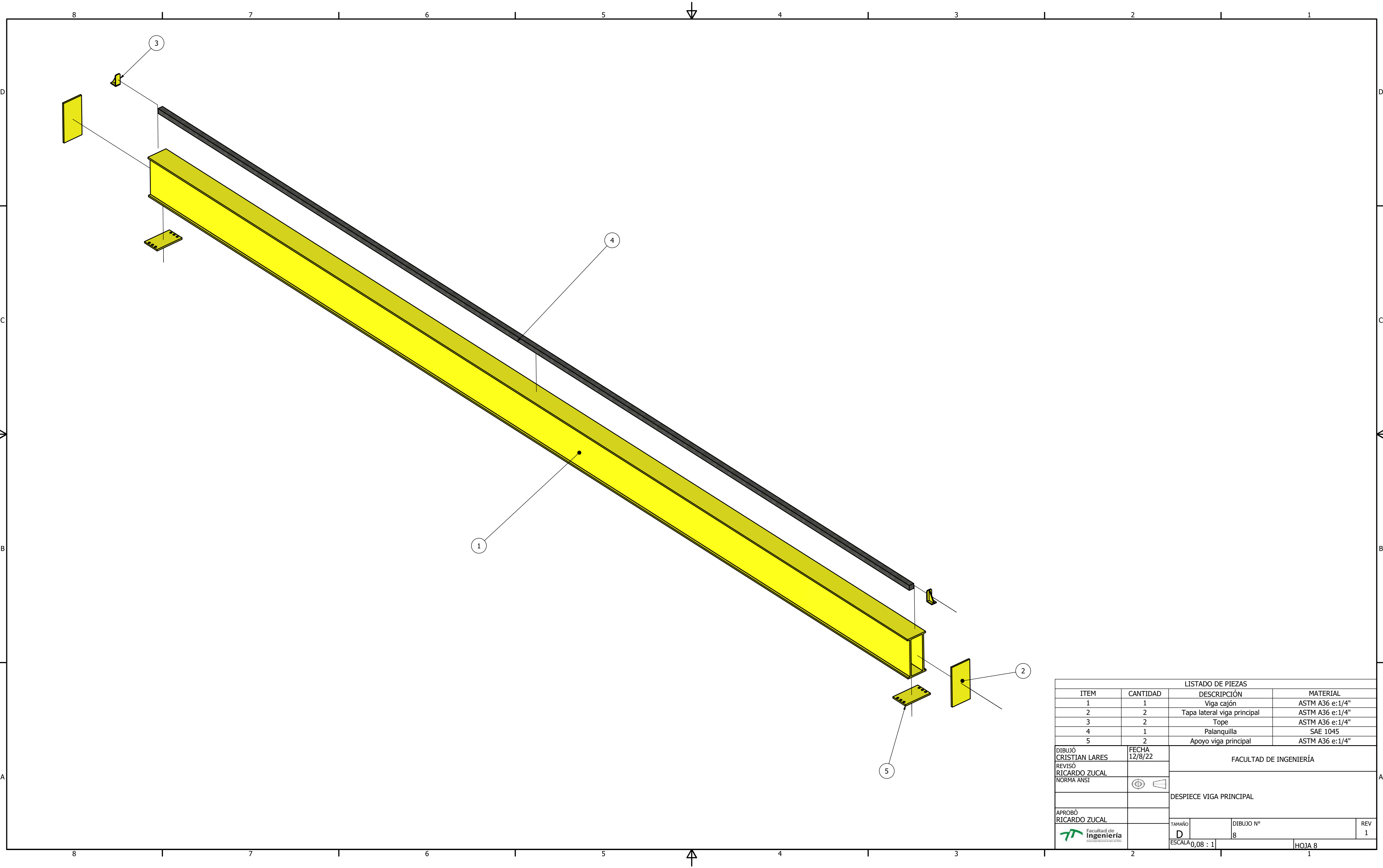


| LISTADO DE PIEZAS |          |                             |                 |
|-------------------|----------|-----------------------------|-----------------|
| ITEM              | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN                 | MATERIAL        |
| 1                 | 1        | Viga cajón                  | ASTM A36 e:1/4" |
| 2                 | 2        | Tapa lateral viga principal | ASTM A36 e:1/4" |
| 3                 | 2        | Tope                        | ASTM A36 e:1/4" |
| 4                 | 1        | Palanquilla                 | SAE 1045        |
| 5                 | 2        | Apoyo viga principal        | ASTM A36 e:1/4" |

|                          |                  |                         |                |
|--------------------------|------------------|-------------------------|----------------|
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES | FECHA<br>12/8/22 | FACULTAD DE INGENIERÍA  |                |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |                  | DESPIECE VIGA PRINCIPAL |                |
| NORMA ANSI               |                  | TAMAÑO<br>D             | DIBUJO N°<br>7 |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |                  | ESCALA<br>1 / 29        | REV<br>1       |



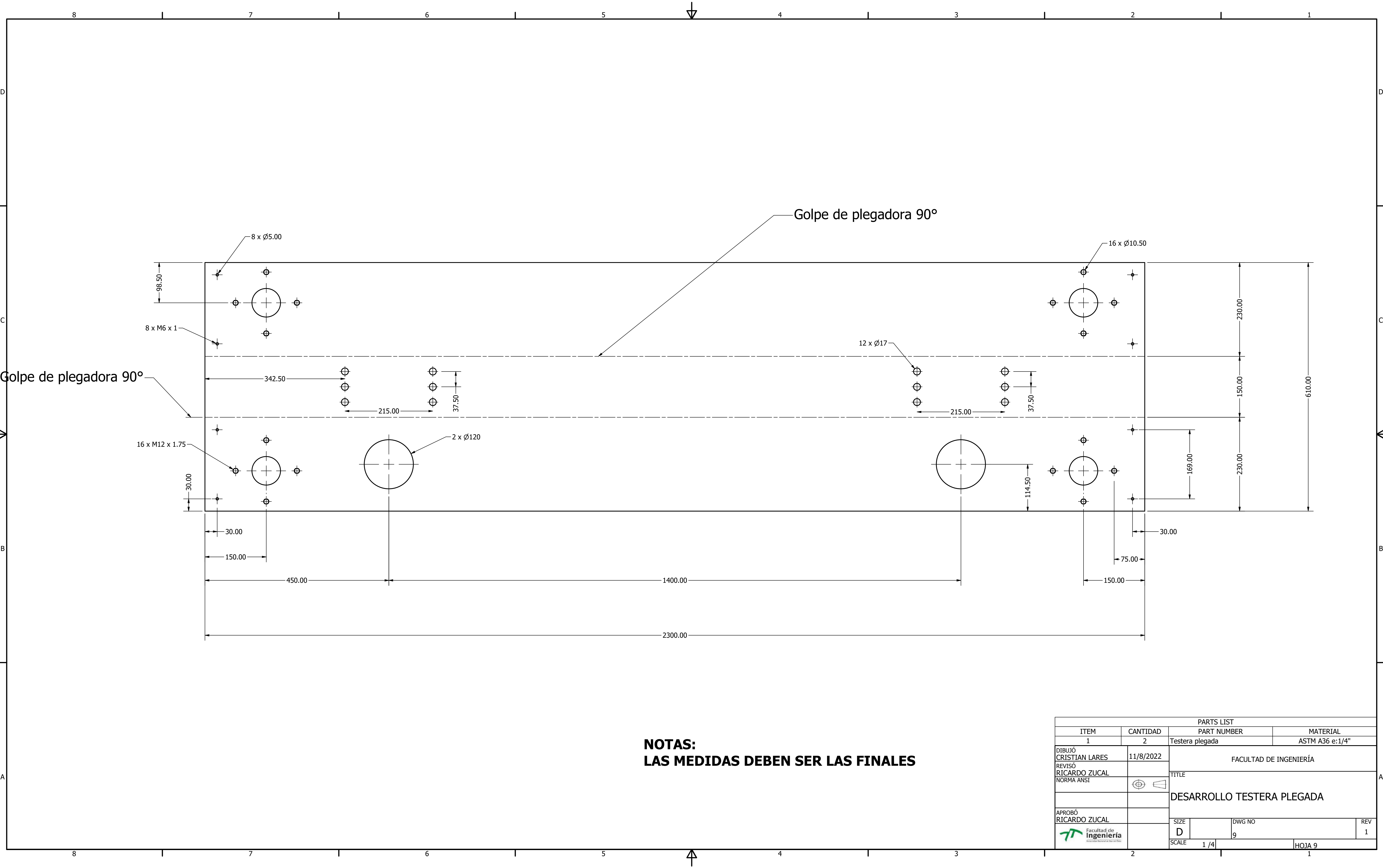


| LISTADO DE PIEZAS |          |                             |                 |
|-------------------|----------|-----------------------------|-----------------|
| ITEM              | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN                 | MATERIAL        |
| 1                 | 1        | Viga cajón                  | ASTM A36 e:1/4" |
| 2                 | 2        | Tapa lateral viga principal | ASTM A36 e:1/4" |
| 3                 | 2        | Tope                        | ASTM A36 e:1/4" |
| 4                 | 1        | Palanquilla                 | SAE 1045        |
| 5                 | 2        | Apoyo viga principal        | ASTM A36 e:1/4" |

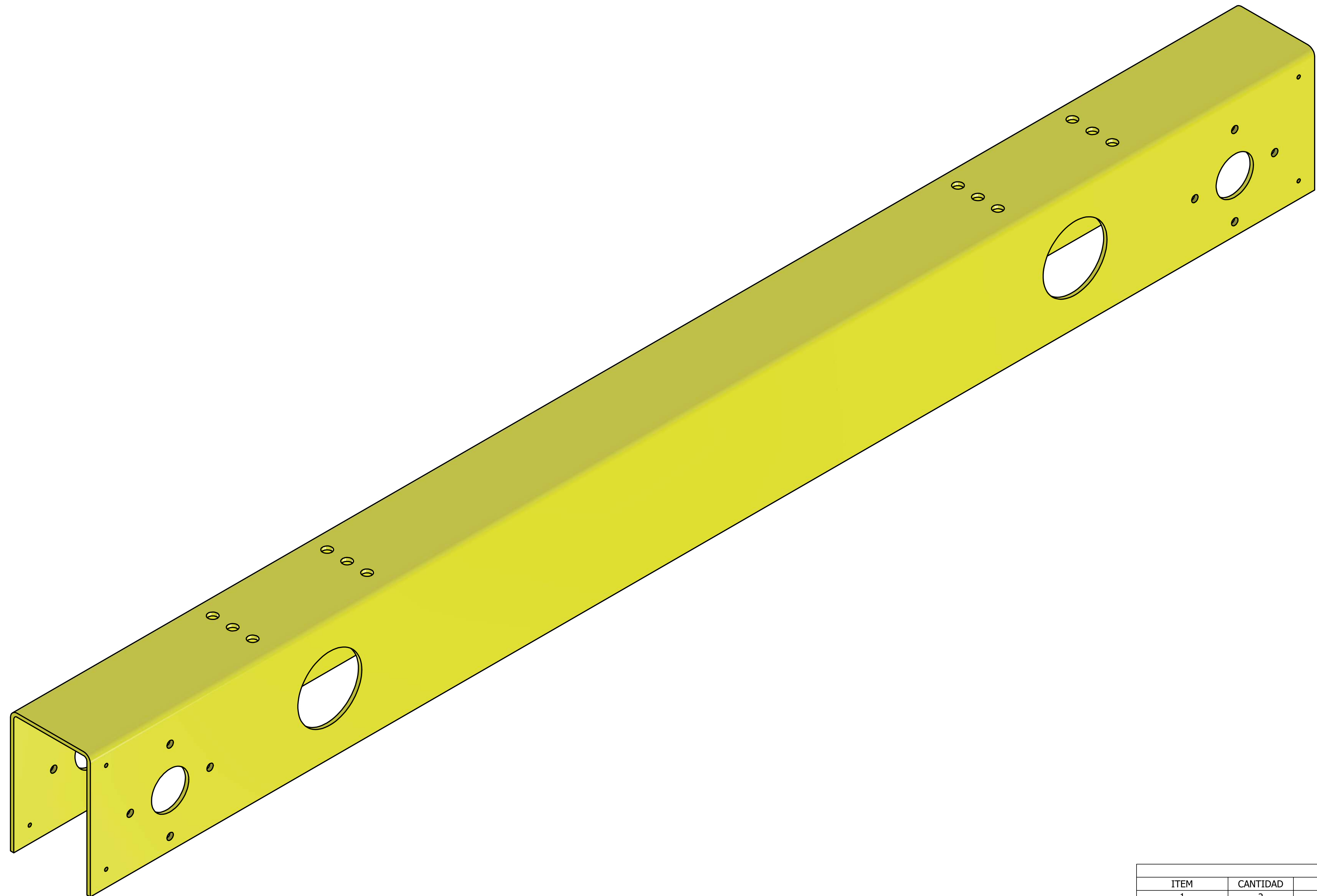
|                          |                  |                         |                |
|--------------------------|------------------|-------------------------|----------------|
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES | FECHA<br>12/8/22 | FACULTAD DE INGENIERÍA  |                |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |                  | DESPIECE VIGA PRINCIPAL |                |
| NORMA ANSI               |                  | TAMAÑO<br>D             | DIBUJO N°<br>8 |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |                  | ESCALA<br>0,08 : 1      | REV<br>1       |





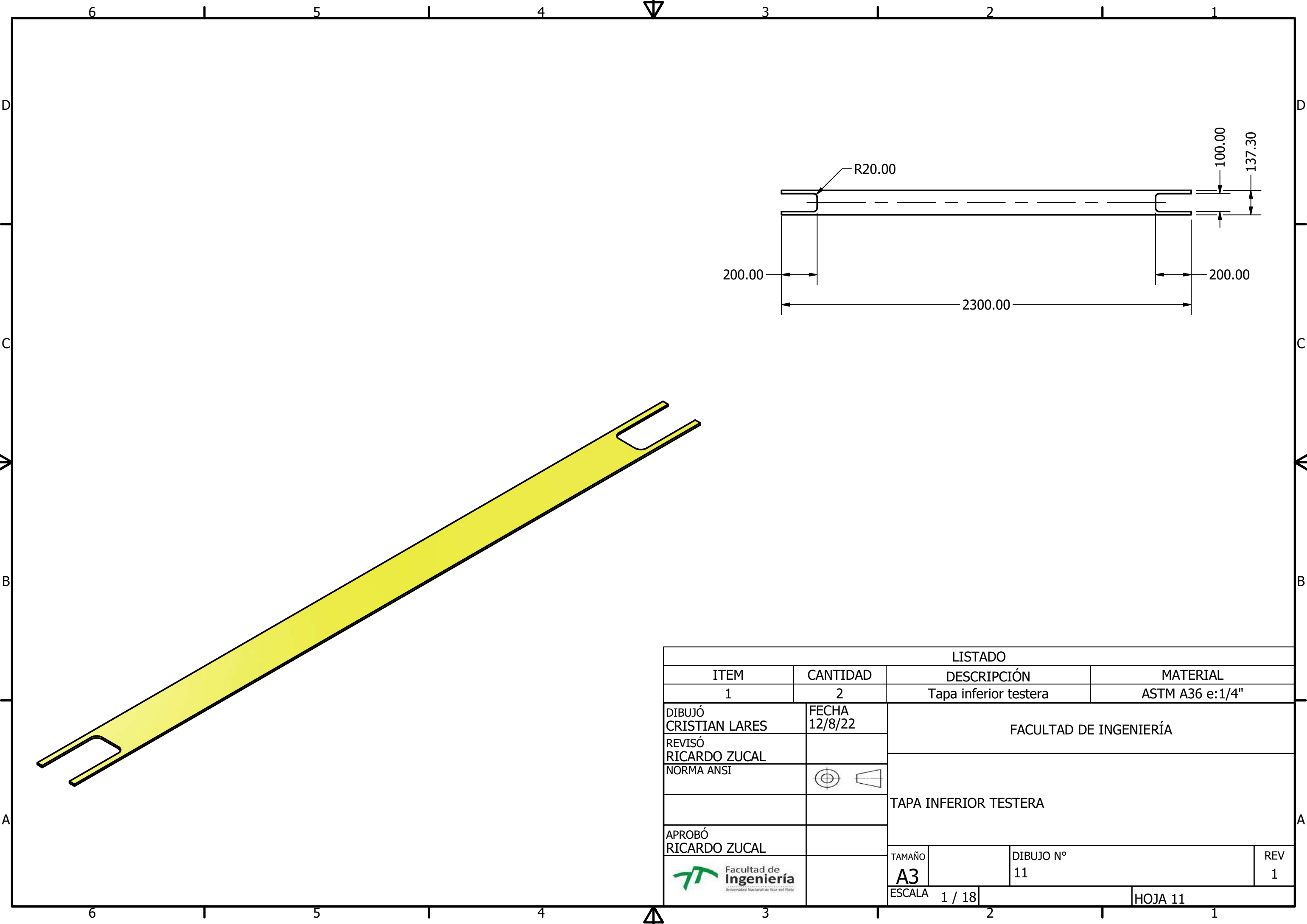
**NOTAS:  
LAS MEDIDAS DEBEN SER LAS FINALES**


| ITEM                     |  | CANTIDAD  |  | PARTS LIST                 |  |
|--------------------------|--|-----------|--|----------------------------|--|
| 1                        |  | 2         |  | PART NUMBER                |  |
|                          |  |           |  | Testera plegada            |  |
|                          |  |           |  | MATERIAL                   |  |
|                          |  |           |  | ASTM A36 e:1/4"            |  |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES |  | 11/8/2022 |  | FACULTAD DE INGENIERÍA     |  |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |  |           |  | TITLE                      |  |
| NORMA ANSI               |  |           |  | DESARROLLO TESTERA PLEGADA |  |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |  |           |  | SIZE                       |  |
|                          |  |           |  | D                          |  |
|                          |  |           |  | DWG NO                     |  |
|                          |  |           |  | 9                          |  |
|                          |  |           |  | REV                        |  |
|                          |  |           |  | 1                          |  |
|                          |  |           |  | SCALE                      |  |
|                          |  |           |  | 1/4                        |  |
|                          |  |           |  | HOJA 9                     |  |



| LISTADO                  |           |                            |                  |
|--------------------------|-----------|----------------------------|------------------|
| ITEM                     | CANTIDAD  | DESCRIPCIÓN                | MATERIAL         |
| 1                        | 2         | Testera plegada            | ASTM A 36 e:1/4" |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES | 11/8/2022 | FACULTAD DE INGENIERÍA     |                  |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |           |                            |                  |
| NORMA ANSI               |           | TITLE                      |                  |
|                          |           | ISOMÉTRICO PLEGADO TESTERA |                  |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |           | SIZE<br>D                  | DIBUJO N°<br>10  |
|                          |           | SCALE<br>1 / 3             | REV<br>1         |
|                          |           |                            | HOJA 10          |





| LISTADO   |          |                       |                        |          |
|---|----------|-----------------------|------------------------|----------|
| ITEM  | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN           | MATERIAL               |          |
| 1   | 2        | Tapa inferior testera | ASTM A36 e:1/4"        |          |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES  |          | FECHA<br>12/8/22      | FACULTAD DE INGENIERÍA |          |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL   |          |                       |                        |          |
| NORMA ANSI  |          | ⊙ ◁                   | TAPA INFERIOR TESTERA  |          |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL   |          |                       |                        |          |
|  |          | TAMAÑO<br><b>A3</b>   | DIBUJO N°<br>11        | REV<br>1 |
|   |          | ESCALA<br>1 / 18      | HOJA 11                |          |

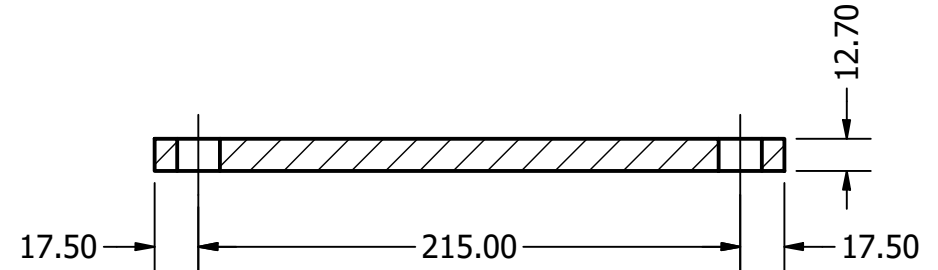


6 1 5 1 4 3 1 2 1

D

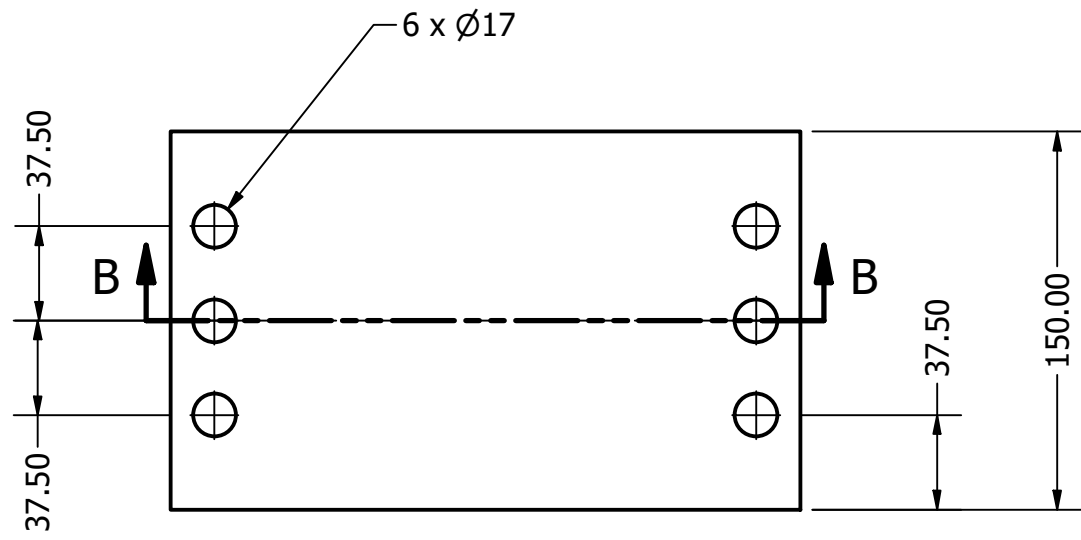
D

SECCIÓN B-B  
ESCALA 1 : 3



C

C



B

B

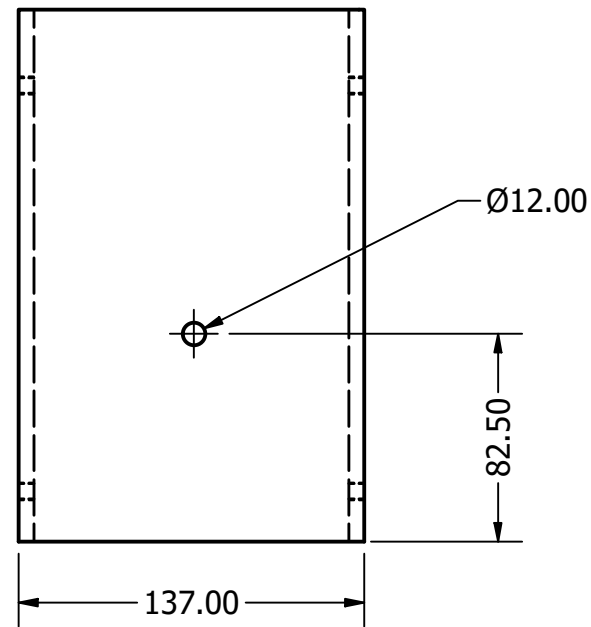
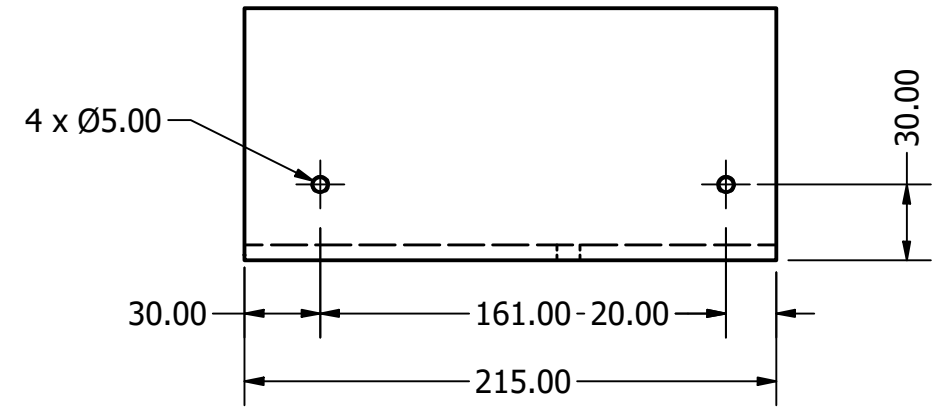
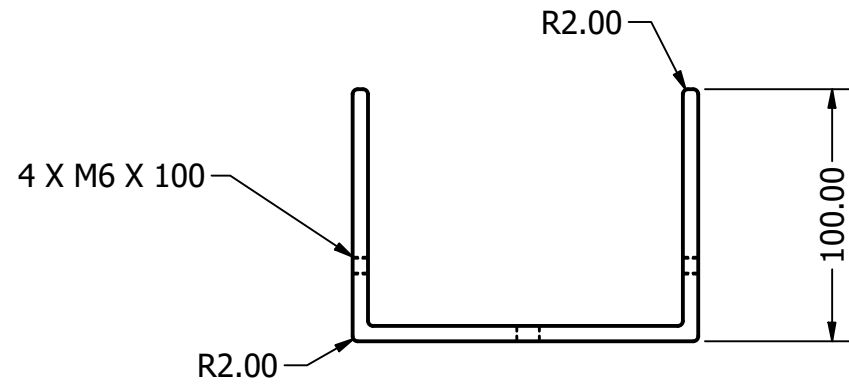
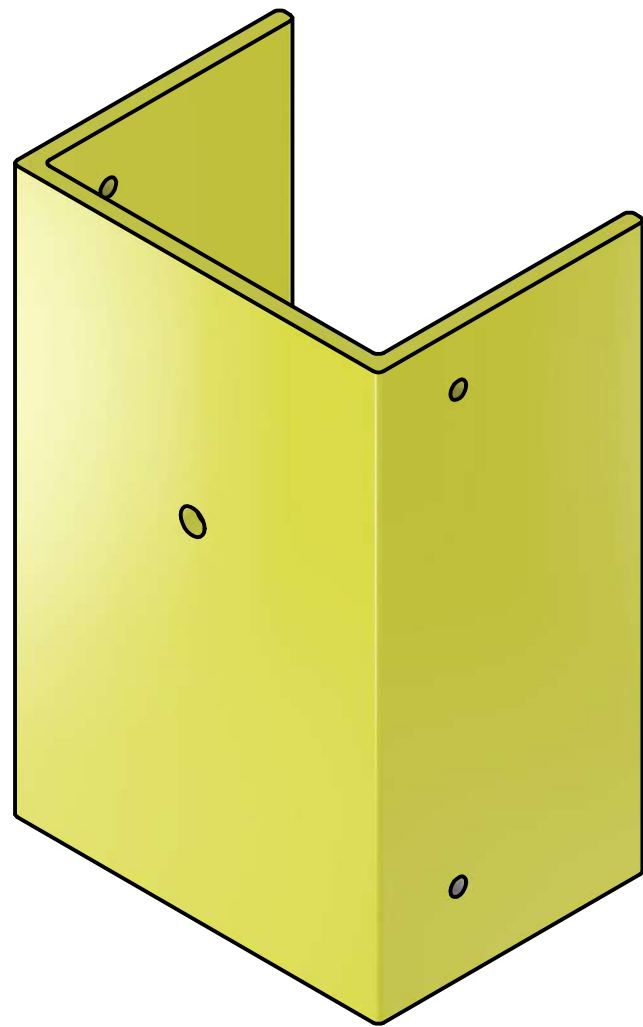


A

A

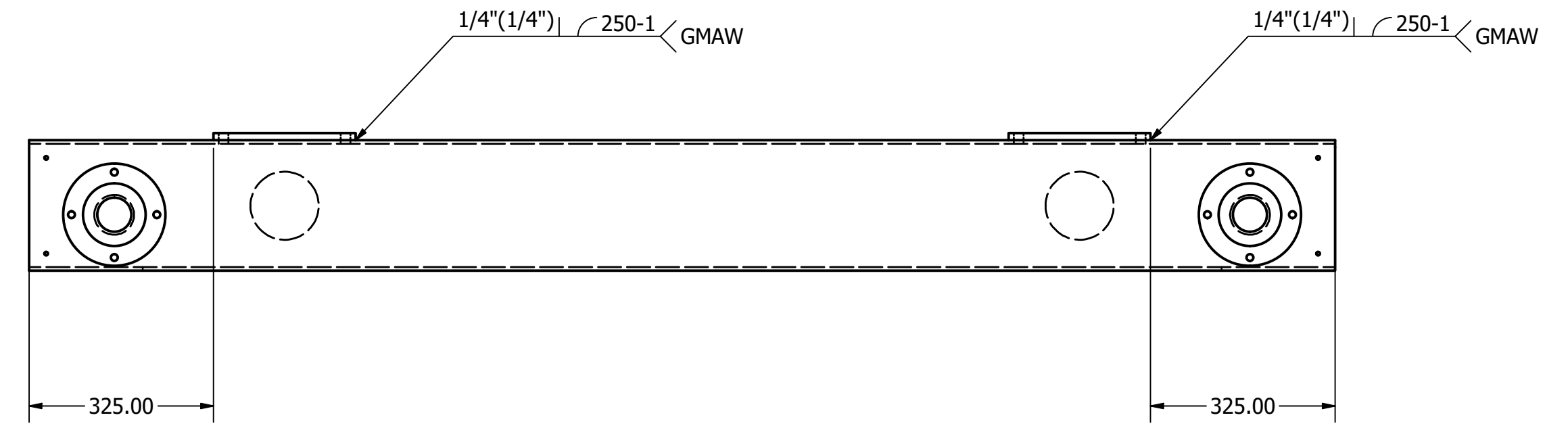
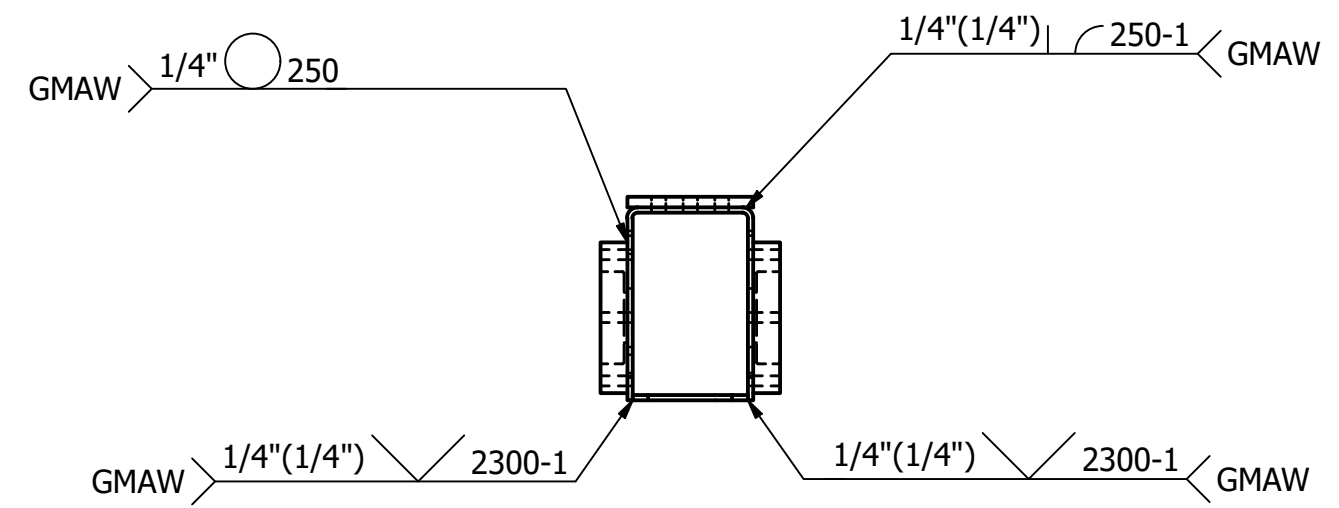
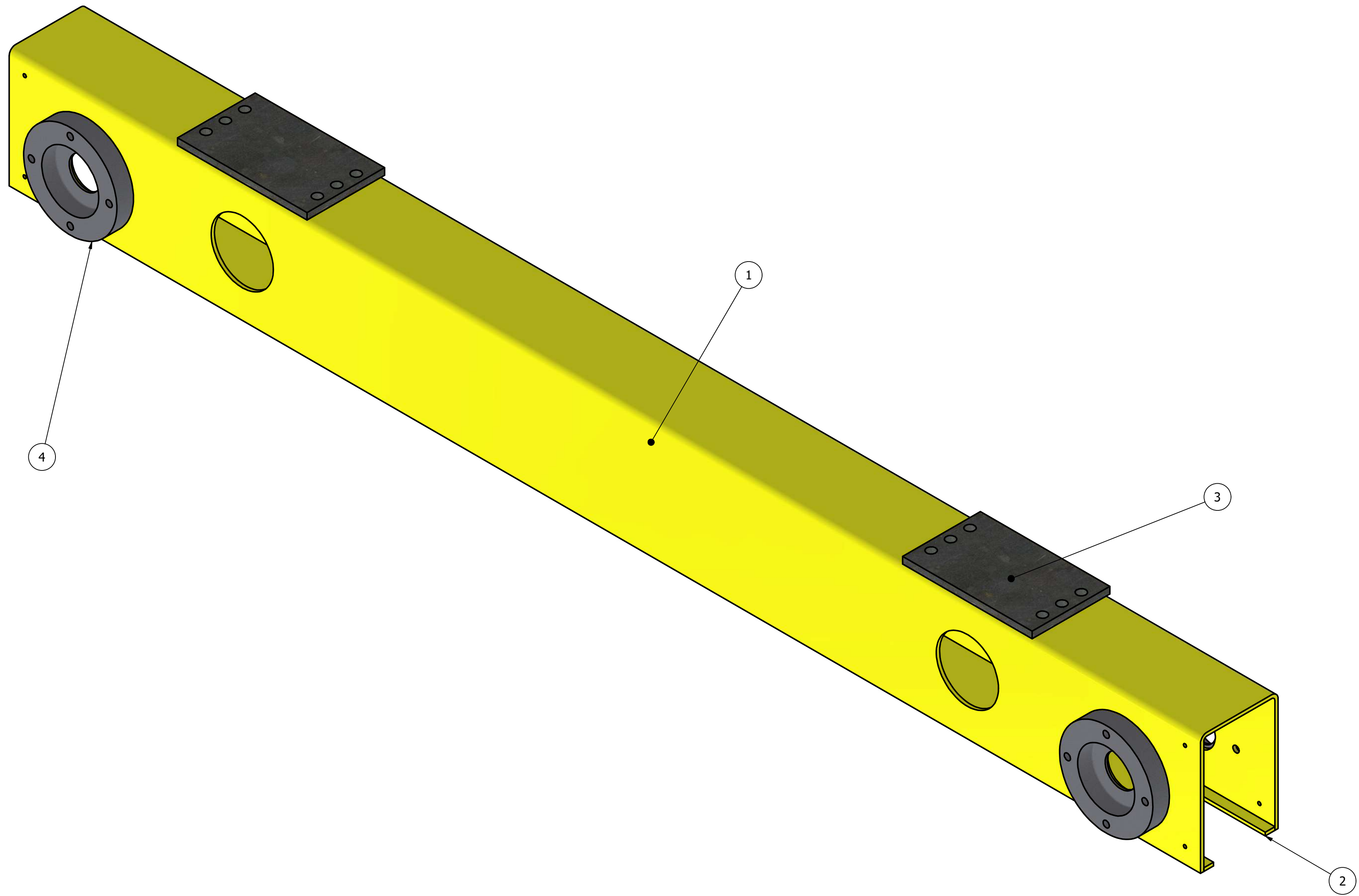
| LISTADO                  |          |                     |                        |
|--------------------------|----------|---------------------|------------------------|
| ITEM                     | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN         | MATERIAL               |
| 1                        | 4        | Refuerzos testera   | ASTM A36 e: 1/4"       |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES |          | FECHA<br>12/8/22    | FACULTAD DE INGENIERÍA |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                     |                        |
| NORMA ANSI               |          |                     | REFUERZO TESTERA       |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                     |                        |
|                          |          | TAMAÑO<br><b>A3</b> | DIBUJO N°<br>12        |
|                          |          | ESCALA<br>1 : 3     | REV<br>1               |
|                          |          |                     | HOJA 12                |

6 1 5 1 4 3 1 2 1



| PARTS LIST               |          |                      |                        |
|--------------------------|----------|----------------------|------------------------|
| ITEM                     | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN          | MATERIAL               |
| 1                        | 4        | Tapa lateral testera | ASTM A 36 e:1/4"       |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES |          | FECHA<br>12/8/22     | FACULTAD DE INGENIERÍA |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                      |                        |
| NORMA ANSI               |          |                      | TAPA LATERAL TESTERA   |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                      |                        |
|                          |          | TAMAÑO<br><b>A3</b>  | DIBUJO N°<br>13        |
|                          |          | ESCALA<br>1 / 3      | REV<br>1               |
|                          |          |                      | HOJA 13                |





| LISTADO DE PIEZAS |          |                       |                   |
|-------------------|----------|-----------------------|-------------------|
| ITEM              | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN           | MATERIAL          |
| 1                 | 1        | Testera plegada       | ASTM A36 e:1/4"   |
| 2                 | 1        | Tapa inferior testera | ASTM A36 e:1/4"   |
| 3                 | 2        | Refuerzo testera      | ASTM A36 e:1/4"   |
| 4                 | 4        | Brida                 | ASTM A36 e:1 1/4" |

|                          |                  |                           |                 |
|--------------------------|------------------|---------------------------|-----------------|
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES | FECHA<br>12/8/22 | FACULTAD DE INGENIERÍA    |                 |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |                  | CUERPO DE TESTERA SOLDADA |                 |
| NORMA ANSI               |                  | TAMAÑO<br>D               | DIBUJO N°<br>14 |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |                  | ESCALA<br>1 / 9           | REV<br>1        |

8 7 6 5 4 3 2 1

8 7 6 5 4 3 2 1

D

C

B

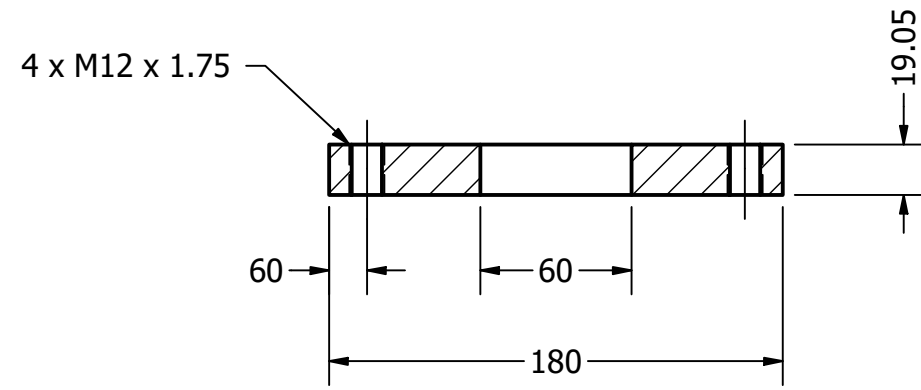
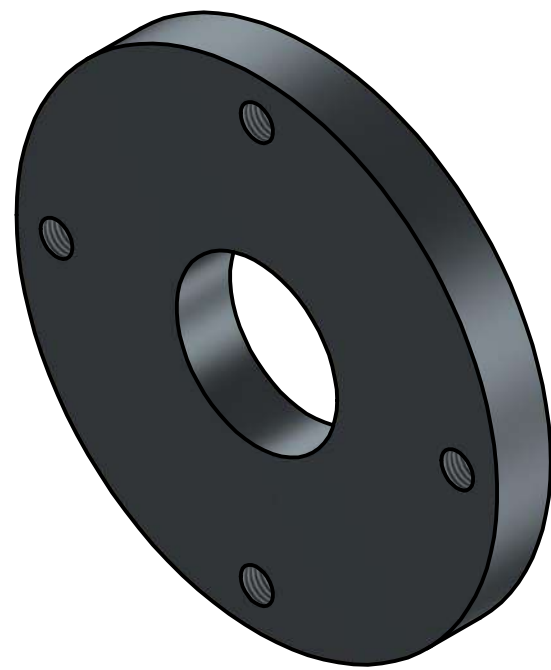
A

D

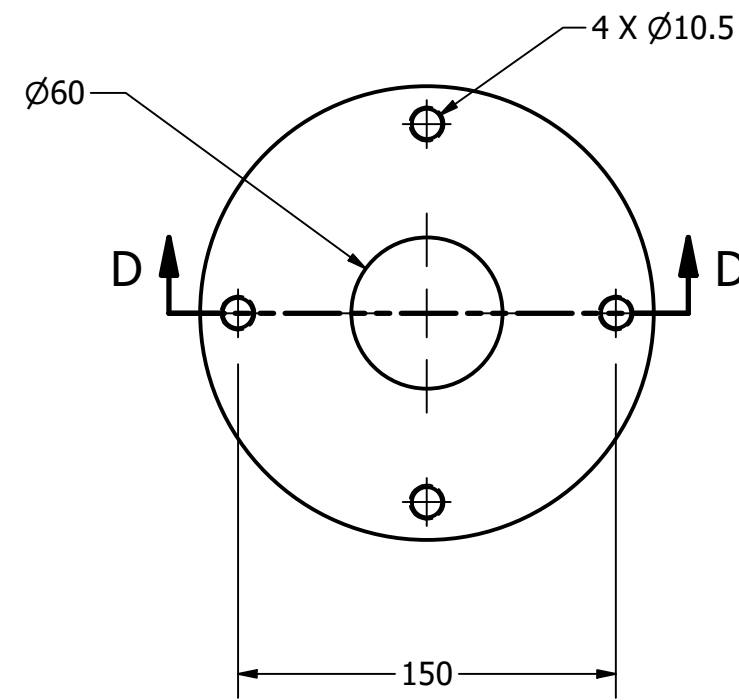
C


B

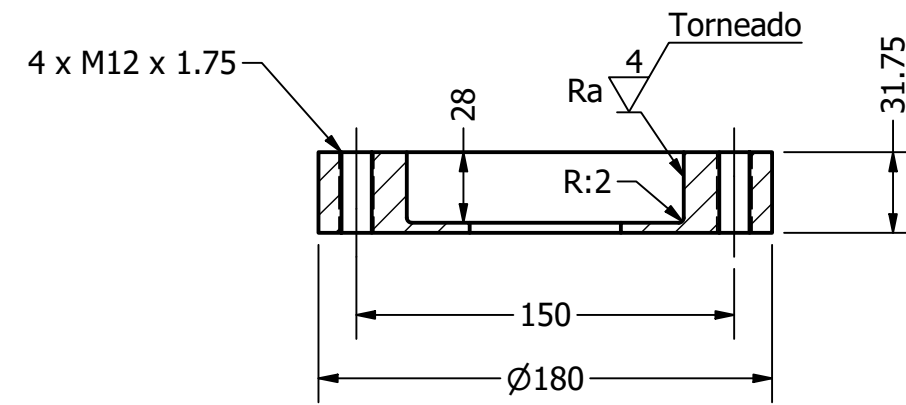
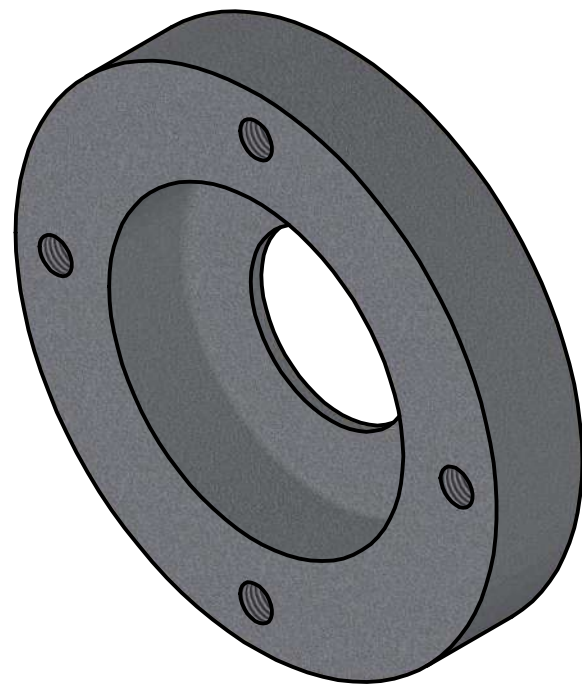
A



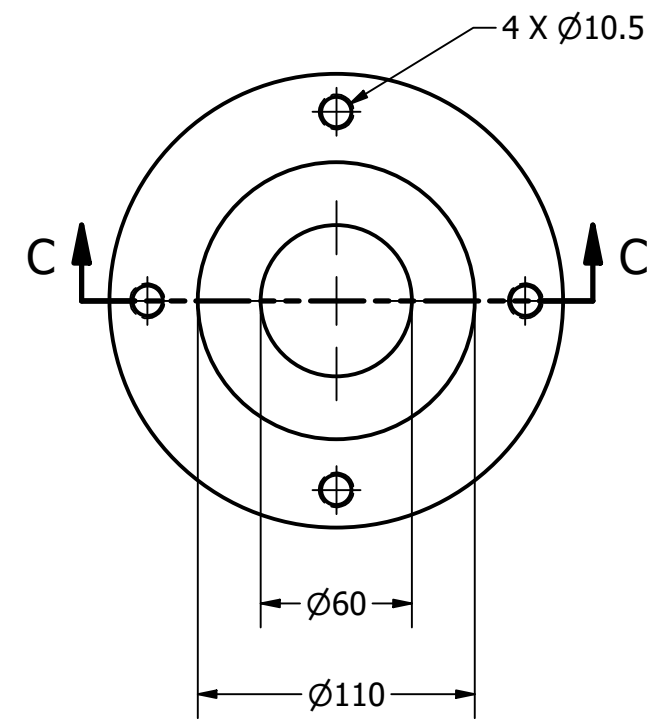
SECCIÓN D-D  
ESCALA 1 : 3



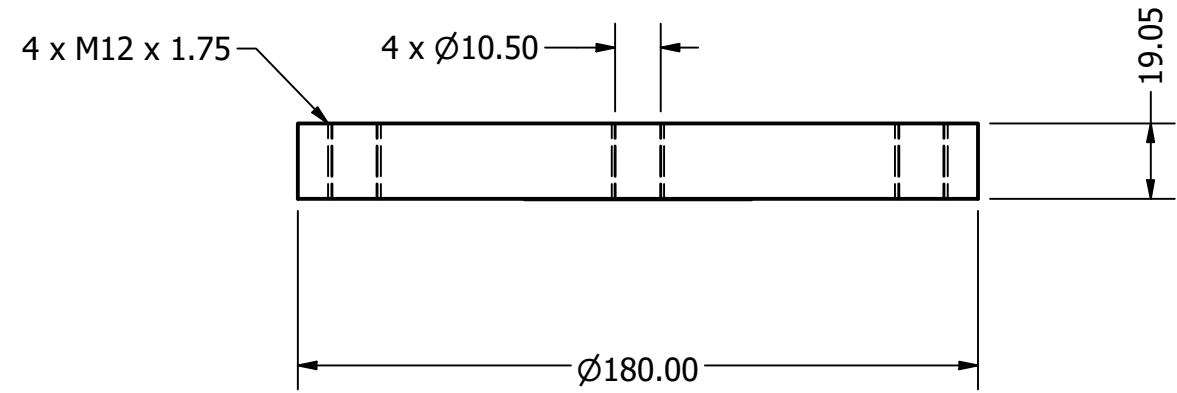
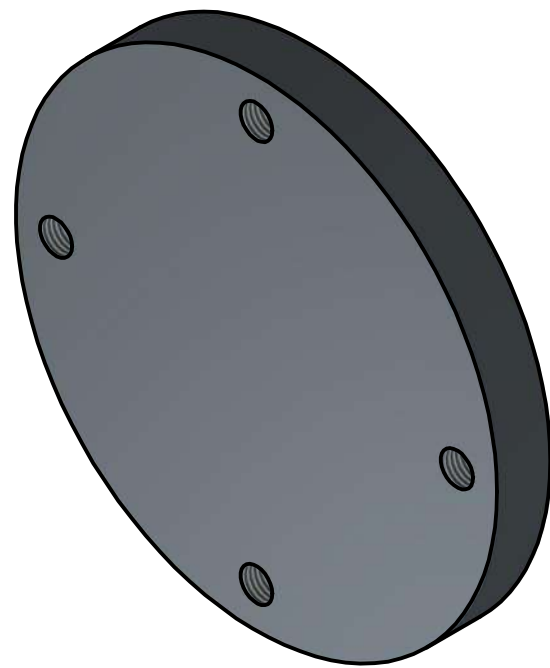
| LISTADO   |          |                        |                  |
|---|----------|------------------------|------------------|
| ITEM  | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN            | MATERIAL         |
| 1   | 2        | Tapa reductor          | ASTM A36 e: 3/4" |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES  |          | FECHA<br>12/8/22       |                  |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL   |          | FACULTAD DE INGENIERÍA |                  |
| NORMA ANSI  |          | TAPA DE BRIDA REDUCTOR |                  |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL   |          | TAMAÑO<br>A3           |                  |
|  |          | DIBUJO N°<br>15        |                  |
| ESCALA<br>1 : 3   |          | REV<br>1               |                  |
|   |          | HOJA 15                |                  |



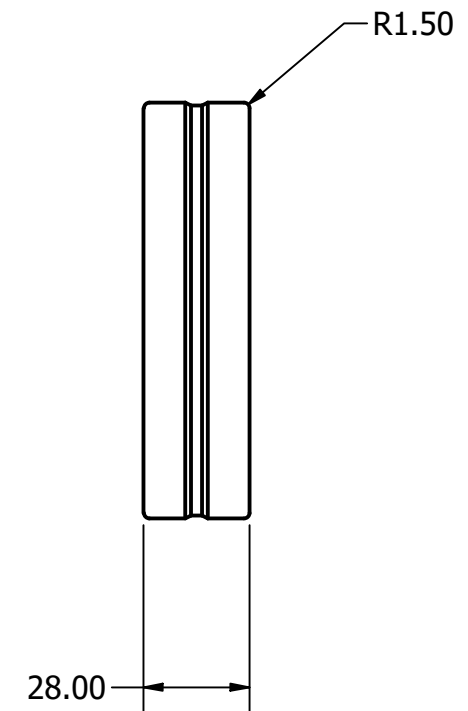
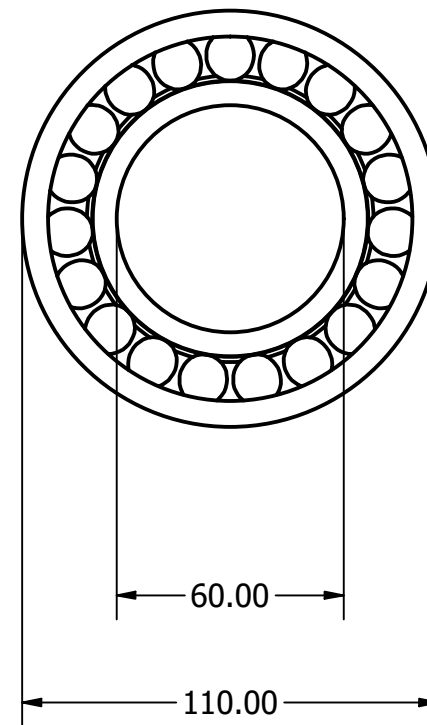
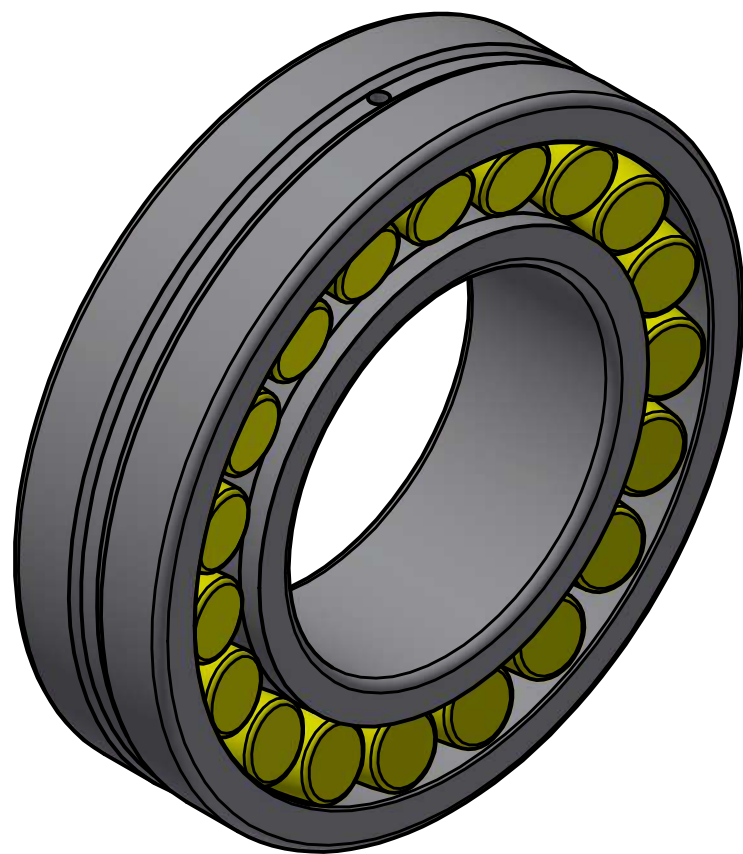
SECCIÓN C-C  
ESCALA 1 / 3




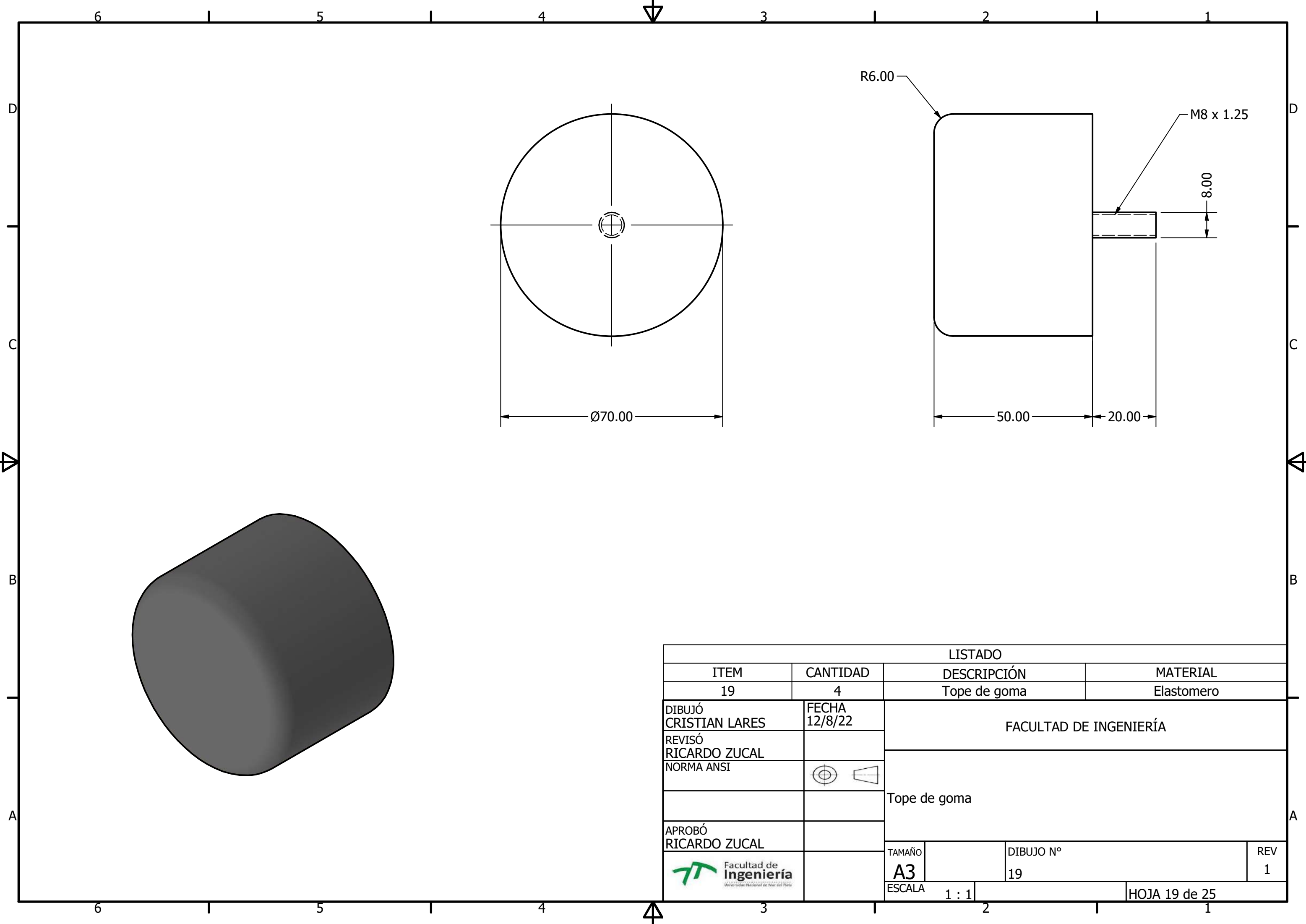
| LISTADO                  |                  |                        |                     |
|--------------------------|------------------|------------------------|---------------------|
| ITEM                     | CANTIDAD         | DESCRIPCIÓN            | MATERIAL            |
| 1                        | 6                | Brida                  | ASTM A 36 e: 1 1/4" |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES | FECHA<br>12/8/22 | FACULTAD DE INGENIERÍA |                     |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |                  |                        |                     |
| NORMA ANSI               |                  | BRIDA                  |                     |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |                  |                        |                     |
|                          | TAMAÑO<br>A3     | DIBUJO N°<br>16        | REV<br>1            |
|                          | ESCALA<br>1 / 3  | HOJA 16                |                     |



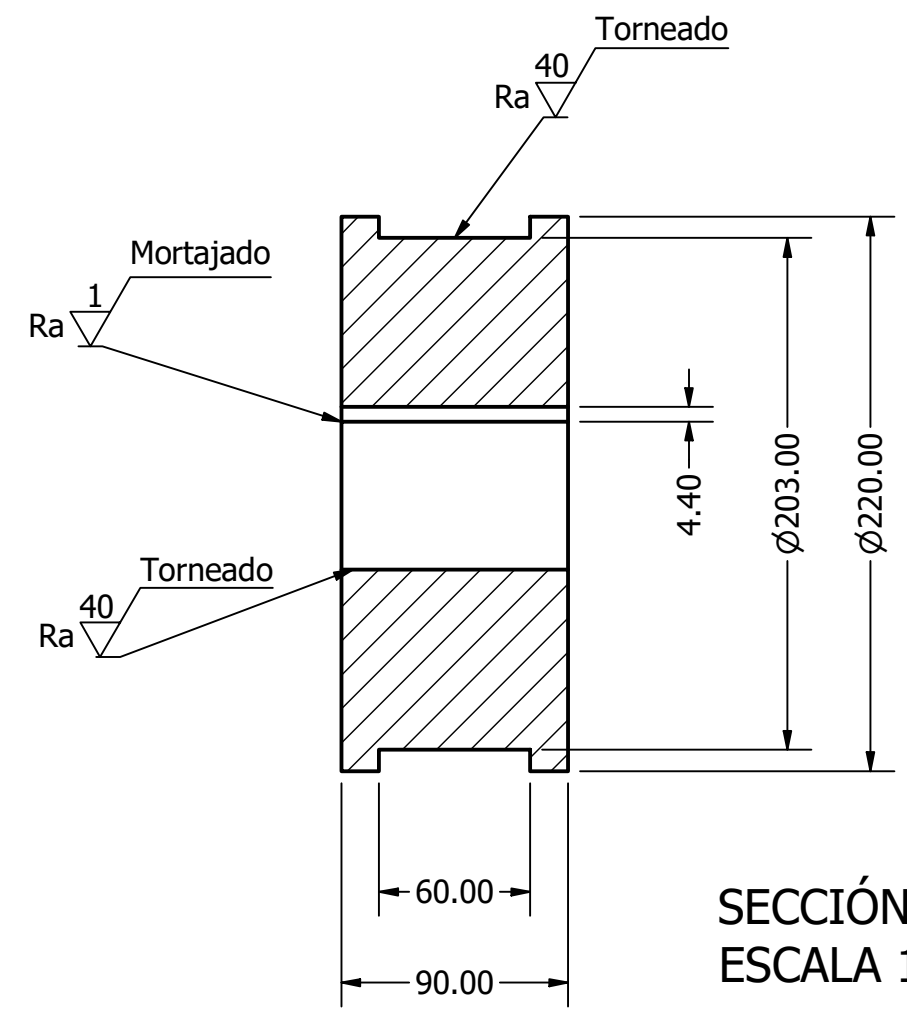
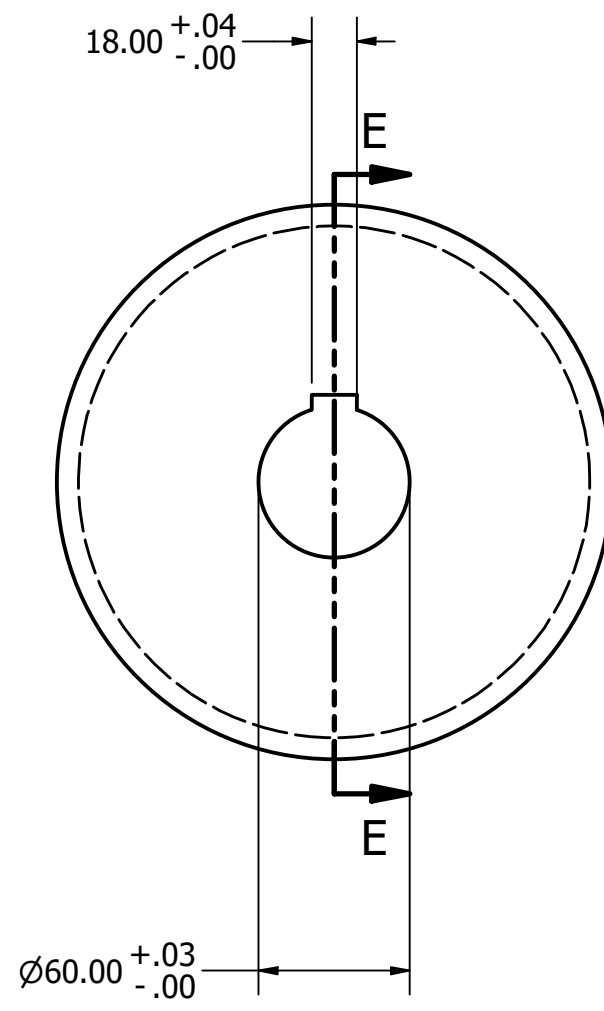
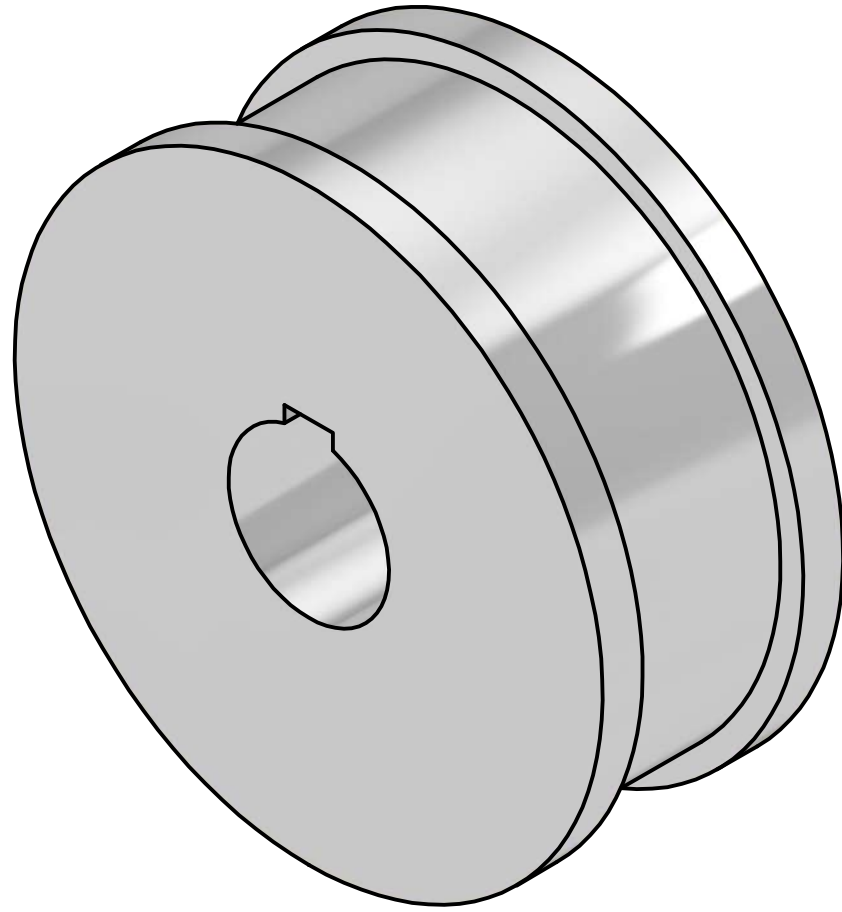
| LISTADO                  |          |                     |                        |
|--------------------------|----------|---------------------|------------------------|
| ITEM                     | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN         | MATERIAL               |
| 1                        | 1        | Brida               | ASTM A 36 e: 3/4"      |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES |          | FECHA<br>12/8/22    | FACULTAD DE INGENIERÍA |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                     |                        |
| NORMA ANSI               |          |                     | TAPA DE BRIDA          |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                     |                        |
|                          |          | TAMAÑO<br><b>A3</b> | DIBUJO N°<br>17        |
|                          |          | ESCALA<br>1 : 2     | REV<br>1               |
|                          |          |                     | HOJA 17                |



| LISTADO   |          |                        |                        |
|---|----------|------------------------|------------------------|
| ITEM  | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN            | MATERIAL               |
| 1   | 4        | RODAMIENTO SKF 22212 E | -                      |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES  |          | FECHA<br>12/8/22       | FACULTAD DE INGENIERÍA |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL   |          |                        |                        |
| NORMA ANSI  |          | ⊕                      | RODAMIENTO A RÓTULA    |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL   |          |                        |                        |
|  |          |                        |                        |
| TAMAÑO<br><b>A3</b>   |          | DIBUJO N°<br>18        | REV<br>1               |
| ESCALA<br>1 : 1   |          | HOJA 18                |                        |



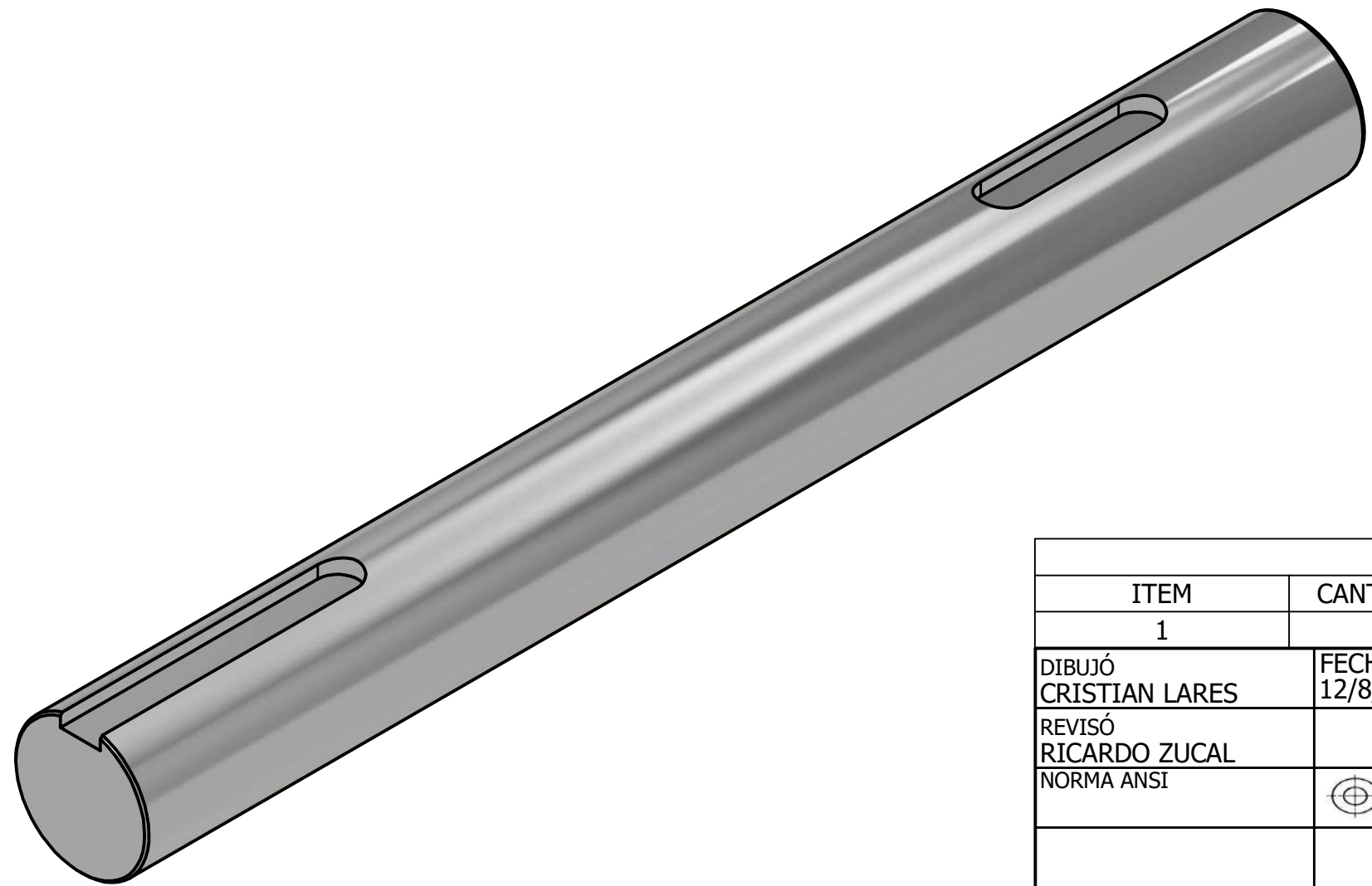
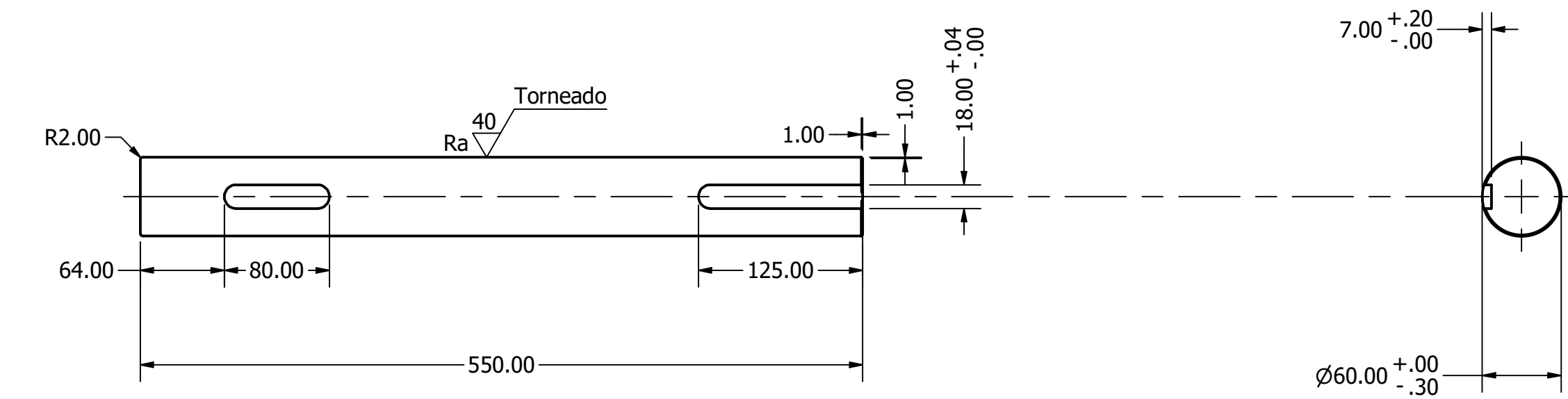
| LISTADO                  |          |                     |                        |  |          |
|--------------------------|----------|---------------------|------------------------|--|----------|
| ITEM                     | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN         | MATERIAL               |  |          |
| 19                       | 4        | Tope de goma        | Elastomero             |  |          |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES |          | FECHA<br>12/8/22    | FACULTAD DE INGENIERÍA |  |          |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                     |                        |  |          |
| NORMA ANSI               |          |                     | Tope de goma           |  |          |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                     |                        |  |          |
|                          |          | TAMAÑO<br><b>A3</b> | DIBUJO N°<br>19        |  | REV<br>1 |
|                          |          | ESCALA<br>1 : 1     | HOJA 19 de 25          |  |          |



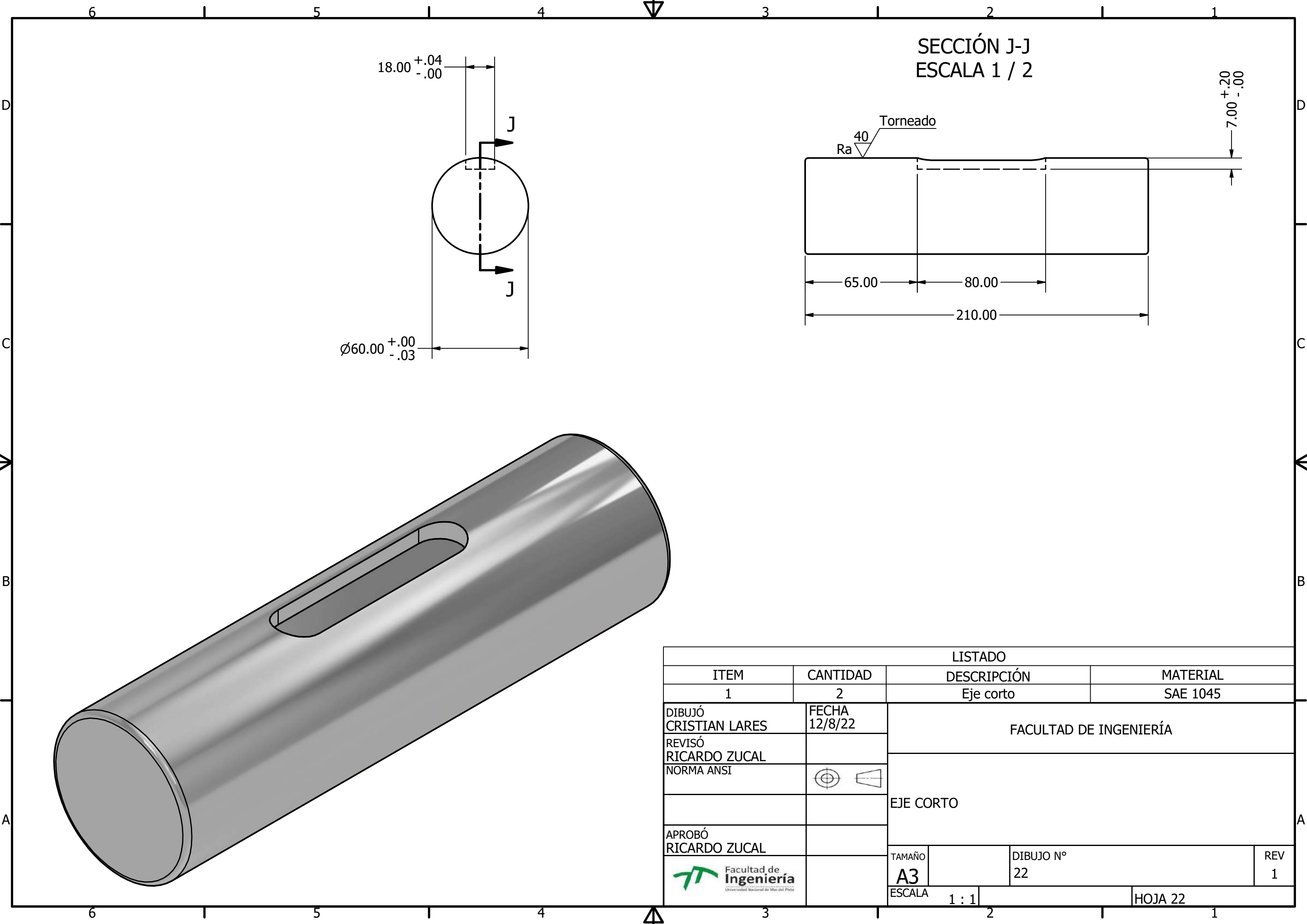
SECCIÓN E-E  
ESCALA 1 / 3

| LISTADO                  |          |                        |                 |
|--------------------------|----------|------------------------|-----------------|
| ITEM                     | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN            | MATERIAL        |
| 1                        | 4        | RUEDA                  | SAE 4140        |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES |          | FECHA<br>12/8/22       |                 |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          | FACULTAD DE INGENIERÍA |                 |
| NORMA ANSI               |          |                        |                 |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          | RUEDA                  |                 |
|                          |          | TAMAÑO<br>A3           | DIBUJO N°<br>20 |
|                          |          | ESCALA<br>1 / 3        | REV<br>1        |
|                          |          | HOJA 20                |                 |

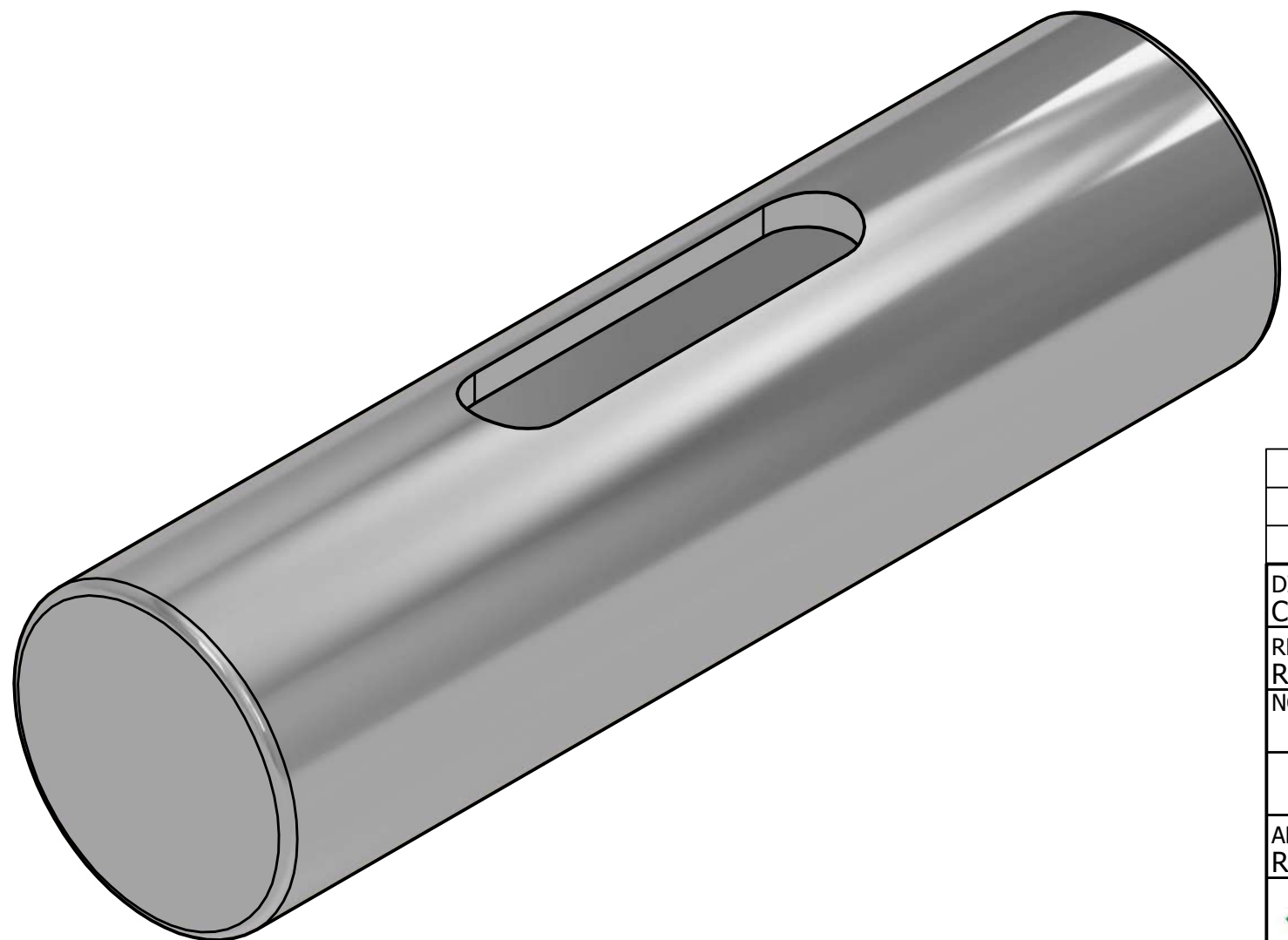
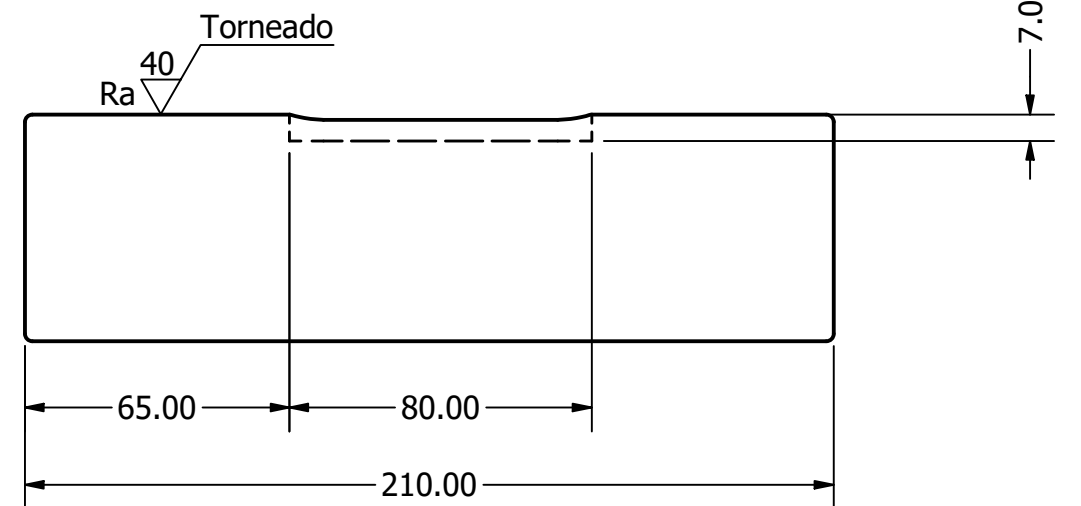
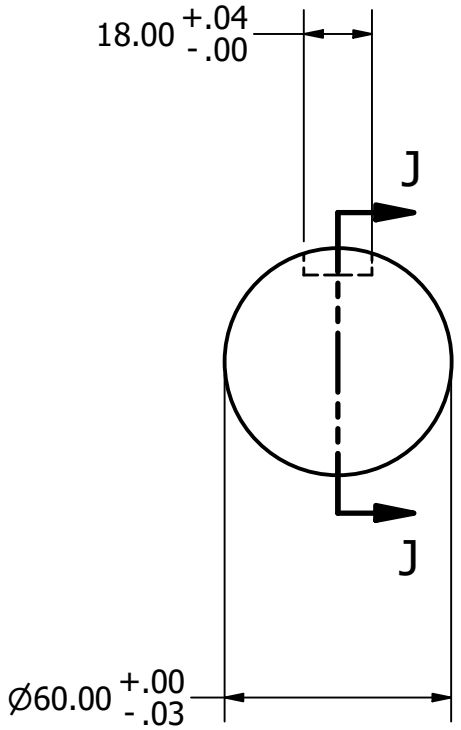




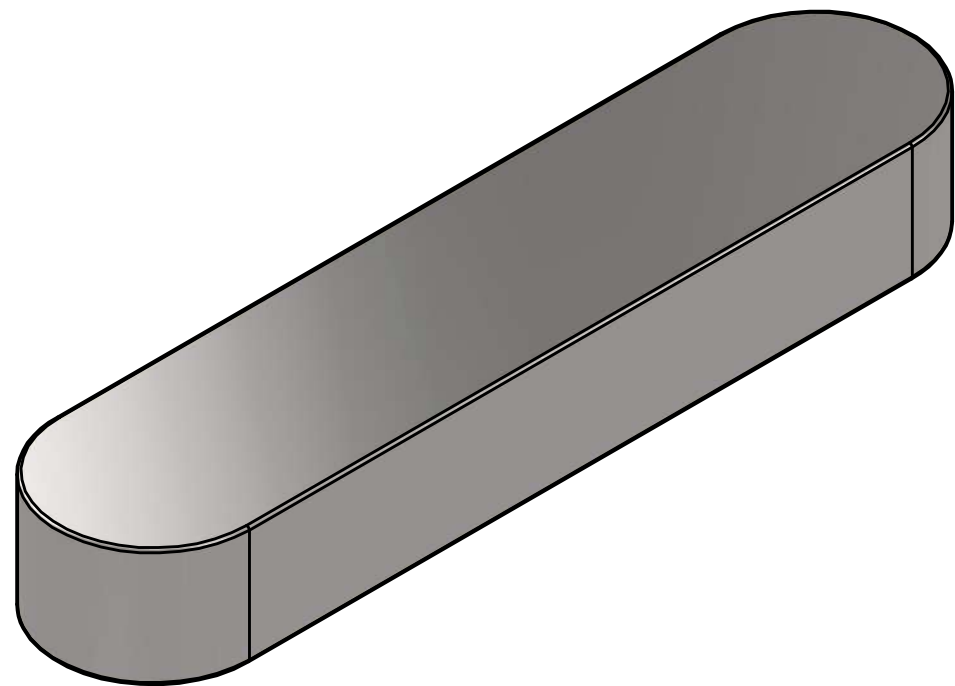
| LISTADO                  |          |                     |                        |
|--------------------------|----------|---------------------|------------------------|
| ITEM                     | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN         | MATERIAL               |
| 1                        | 2        | Eje largo           | SAE 1045               |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES |          | FECHA<br>12/8/22    | FACULTAD DE INGENIERÍA |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                     |                        |
| NORMA ANSI               |          |                     | EJE LARGO              |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                     |                        |
|                          |          | TAMAÑO<br><b>A3</b> | DIBUJO N°<br>21        |
|                          |          | ESCALA<br>1 / 2     | REV<br>1               |
|                          |          |                     | HOJA 21                |



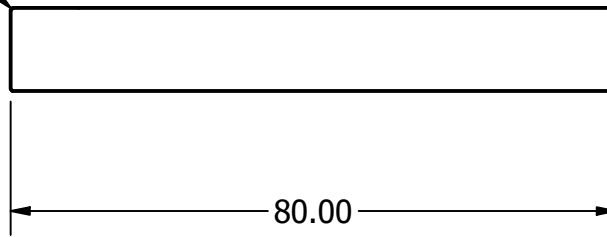
SECCIÓN J-J  
ESCALA 1 / 2



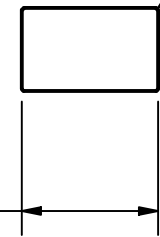
| LISTADO                  |          |                  |                        |
|--------------------------|----------|------------------|------------------------|
| ITEM                     | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN      | MATERIAL               |
| 1                        | 2        | Eje corto        | SAE 1045               |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES |          | FECHA<br>12/8/22 | FACULTAD DE INGENIERÍA |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                  |                        |
| NORMA ANSI               |          |                  | EJE CORTO              |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                  |                        |
|                          |          | TAMAÑO<br>A3     | DIBUJO N°<br>22        |
|                          |          | ESCALA<br>1 : 1  | REV<br>1               |
|                          |          |                  | HOJA 22                |



R.25



18.00  $\begin{matrix} +.00 \\ -.04 \end{matrix}$

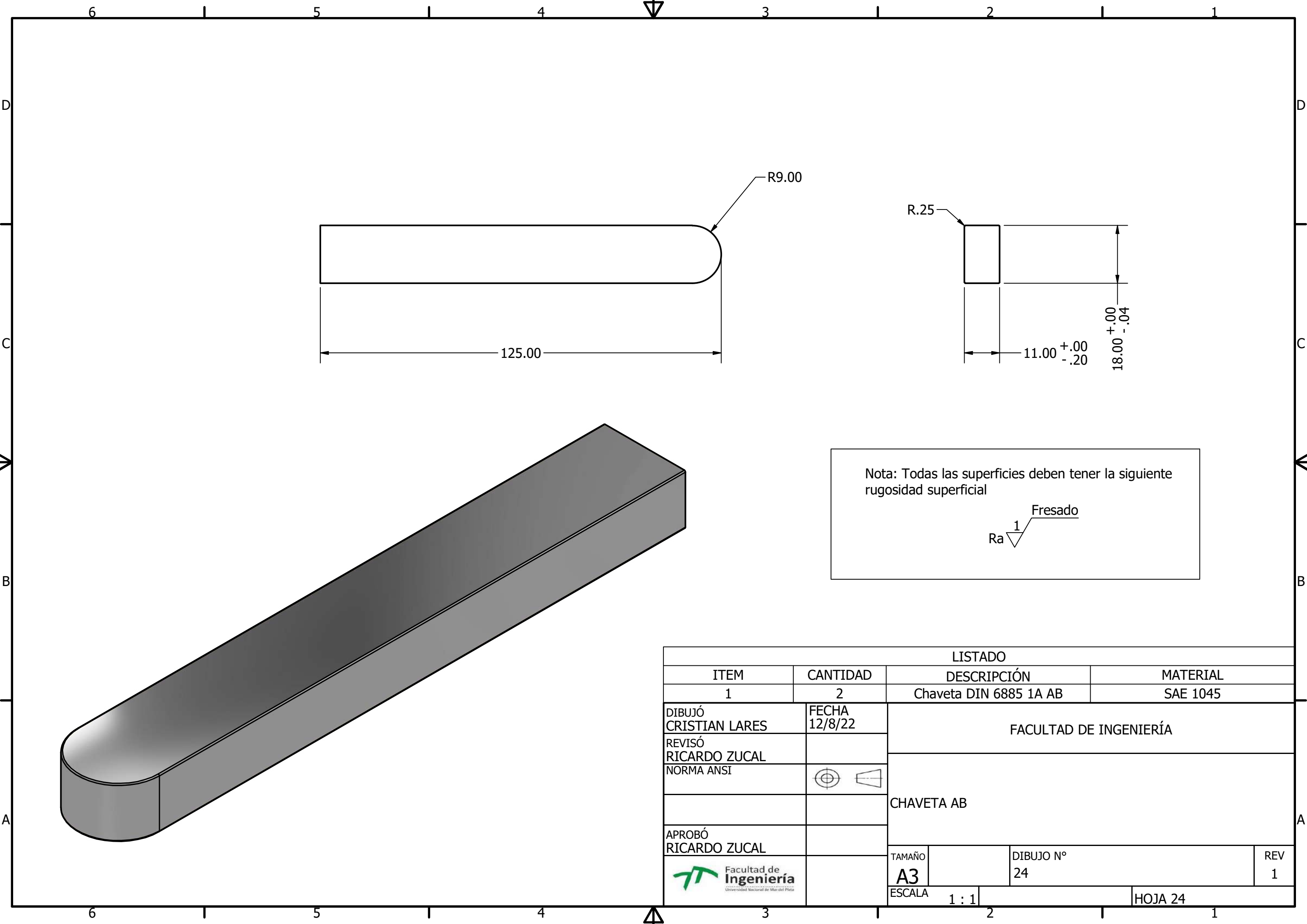


R.25

Nota: Todas las superficies deben tener la siguiente rugosidad superficial

Ra 1 Fresado

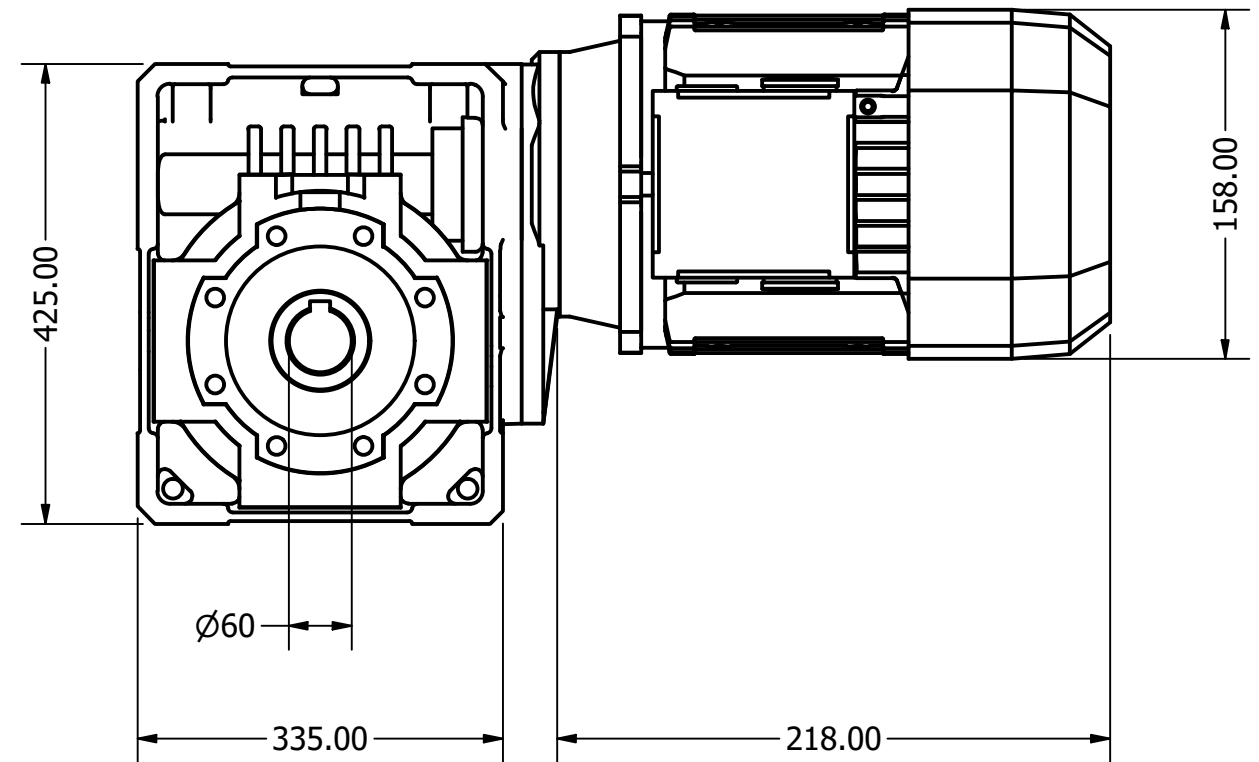
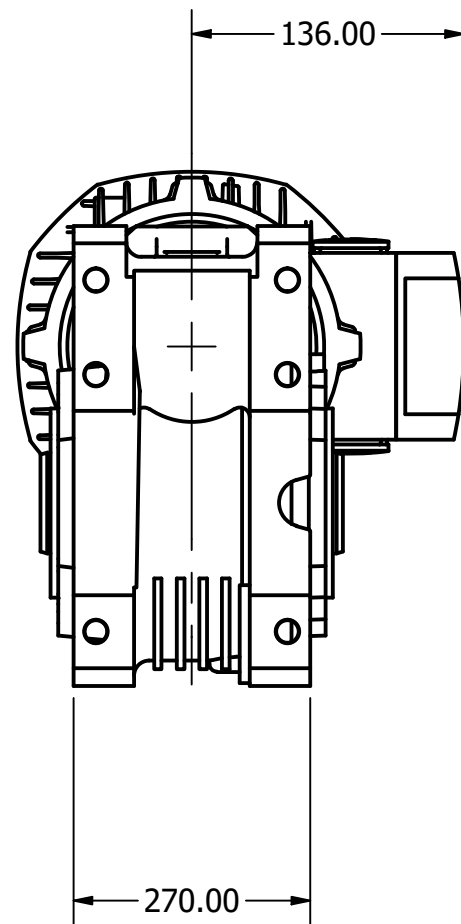
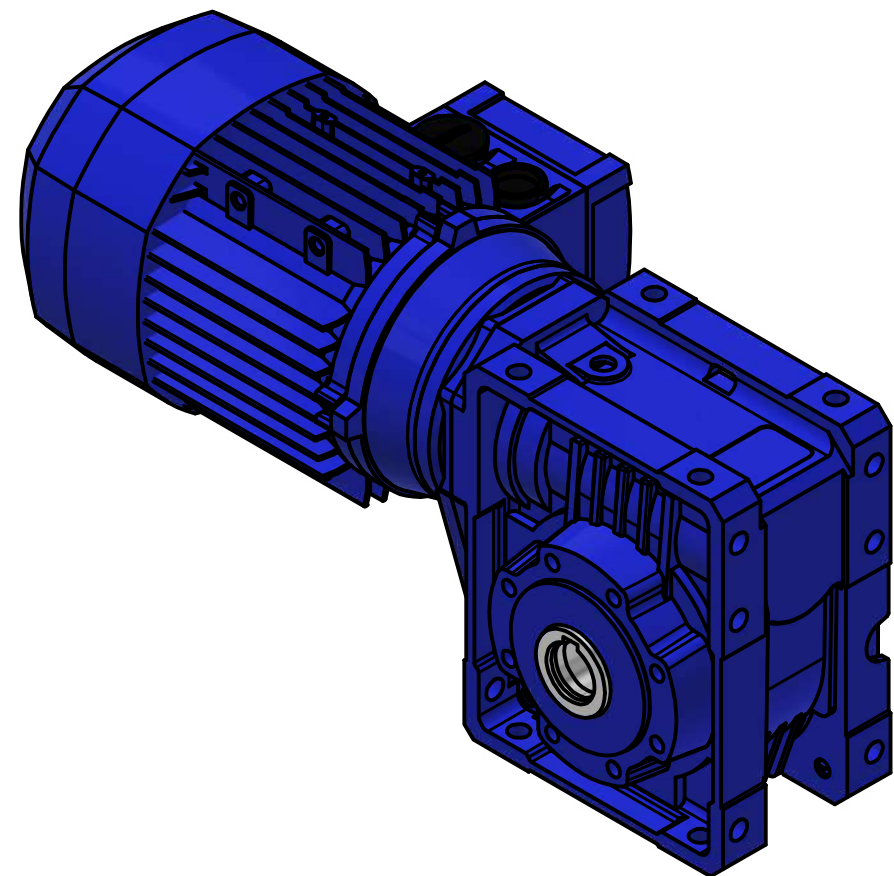
| LISTADO                  |          |                       |                        |
|--------------------------|----------|-----------------------|------------------------|
| ITEM                     | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN           | MATERIAL               |
| 1                        | 2        | Chaveta DIN 6885 1A B | SAE 1045               |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES |          | FECHA<br>12/8/22      | FACULTAD DE INGENIERÍA |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                       |                        |
| NORMA ANSI               |          |                       | CHAVETA B              |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                       |                        |
|                          |          | TAMAÑO<br><b>A3</b>   | DIBUJO N°<br>23        |
|                          |          | ESCALA<br>1 : 1       | REV<br>1               |
|                          |          |                       | HOJA 23                |



Nota: Todas las superficies deben tener la siguiente rugosidad superficial

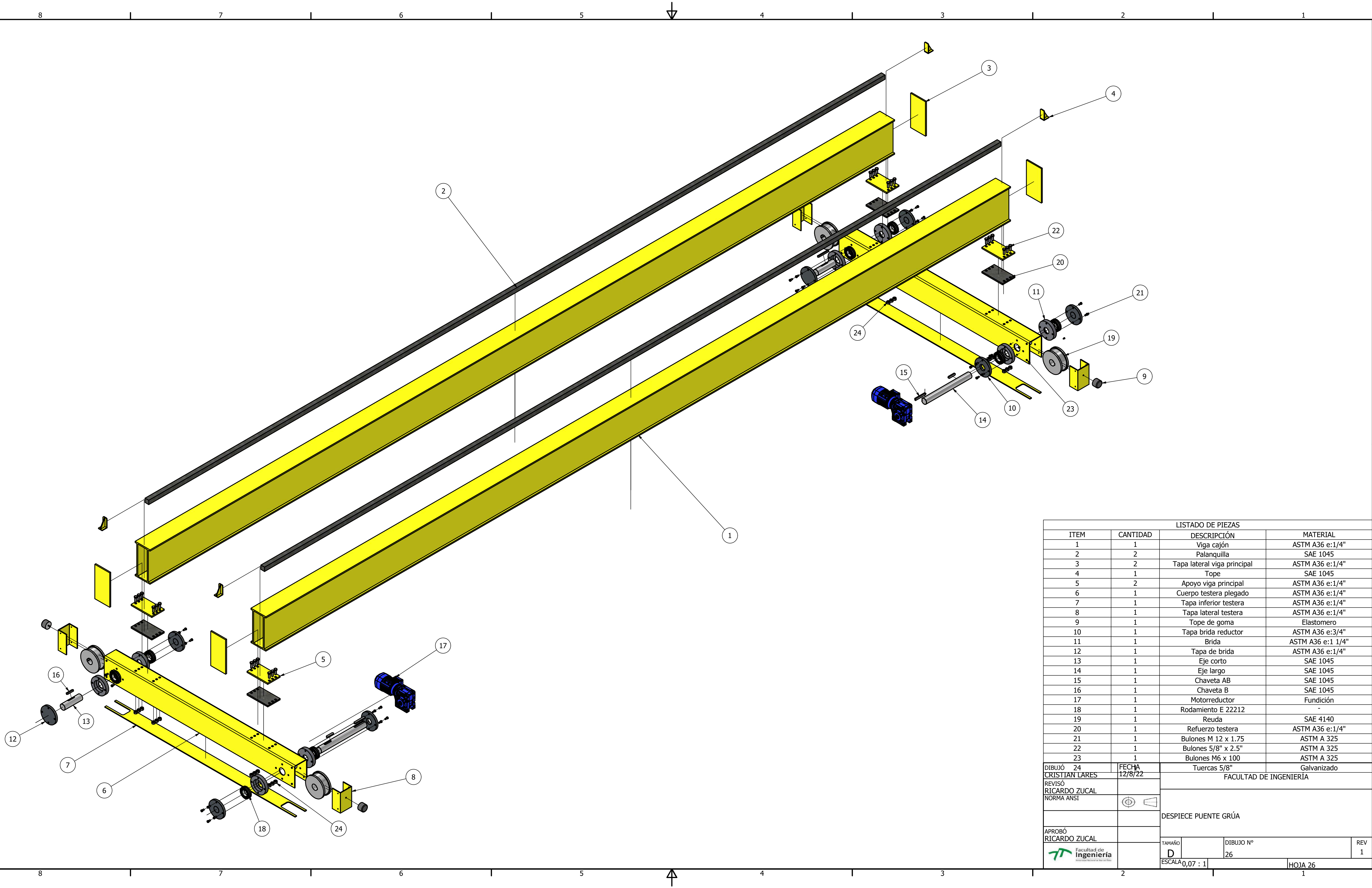
Ra 1 Fresado

| LISTADO                  |          |                        |                        |
|--------------------------|----------|------------------------|------------------------|
| ITEM                     | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN            | MATERIAL               |
| 1                        | 2        | Chaveta DIN 6885 1A AB | SAE 1045               |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES |          | FECHA<br>12/8/22       | FACULTAD DE INGENIERÍA |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                        |                        |
| NORMA ANSI               |          |                        | CHAVETA AB             |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                        |                        |
|                          |          | TAMAÑO<br><b>A3</b>    | DIBUJO N°<br>24        |
|                          |          | ESCALA<br>1 : 1        | REV<br>1               |
|                          |          |                        | HOJA 24                |



| LISTADO                  |          |                     |                        |  |
|--------------------------|----------|---------------------|------------------------|--|
| ITEM                     | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN         | MATERIAL               |  |
| 1                        | 1        | MOTORREDUCTOR       | -                      |  |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES |          | FECHA<br>12/8/22    | FACULTAD DE INGENIERÍA |  |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                     |                        |  |
| NORMA ANSI               |          |                     | MOTORREDUCTOR          |  |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                     |                        |  |
|                          |          | TAMAÑO<br><b>A3</b> | DIBUJO N°<br>25        |  |
|                          |          | ESCALA<br>1 / 3     | REV<br>1               |  |
|                          |          |                     | HOJA 25                |  |



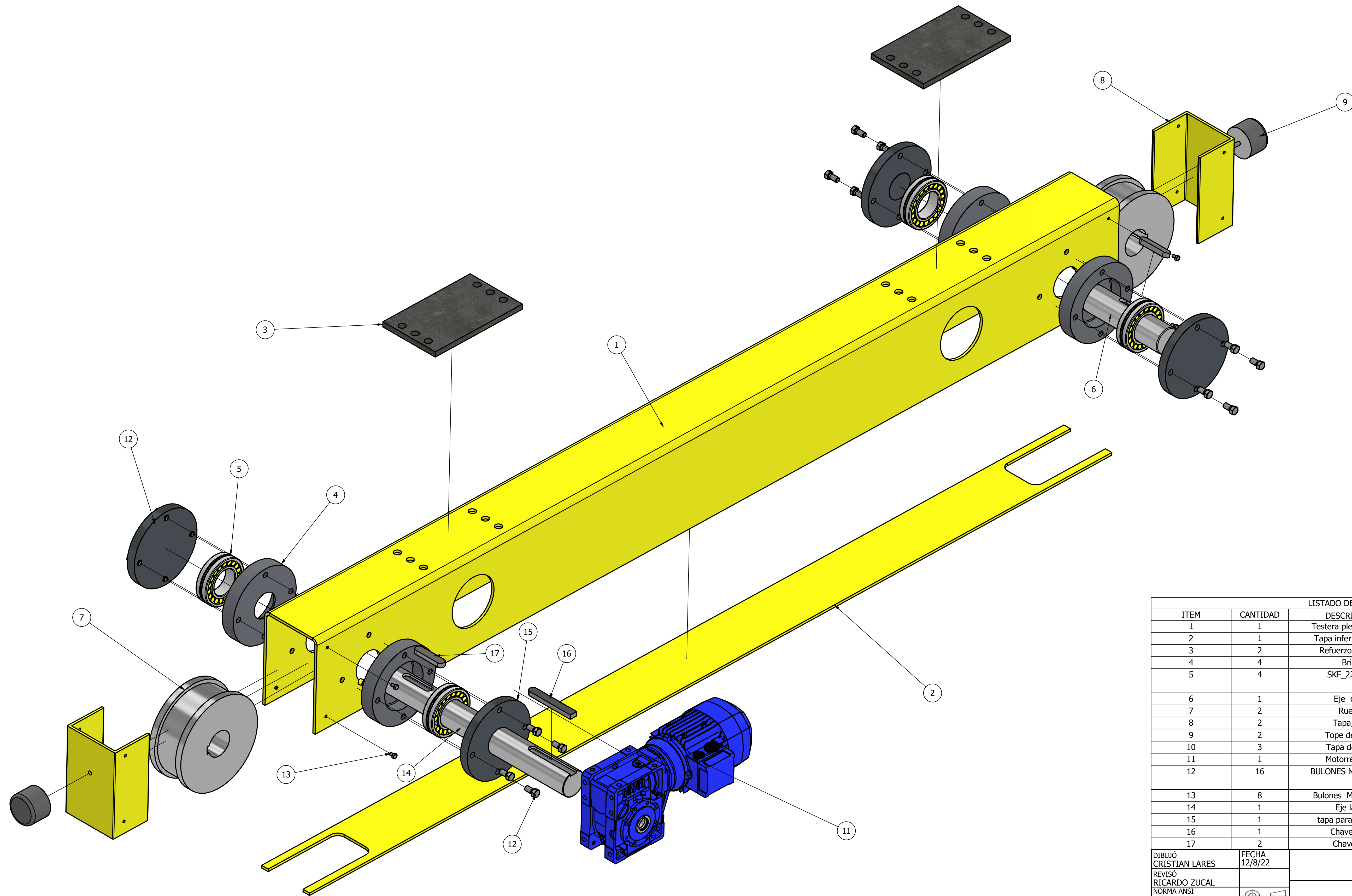


| LISTADO DE PIEZAS |          |                             |                   |
|-------------------|----------|-----------------------------|-------------------|
| ITEM              | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN                 | MATERIAL          |
| 1                 | 1        | Viga cajón                  | ASTM A36 e:1/4"   |
| 2                 | 2        | Palanquilla                 | SAE 1045          |
| 3                 | 2        | Tapa lateral viga principal | ASTM A36 e:1/4"   |
| 4                 | 1        | Tope                        | SAE 1045          |
| 5                 | 2        | Apoyo viga principal        | ASTM A36 e:1/4"   |
| 6                 | 1        | Cuerpo testera plegado      | ASTM A36 e:1/4"   |
| 7                 | 1        | Tapa inferior testera       | ASTM A36 e:1/4"   |
| 8                 | 1        | Tapa lateral testera        | ASTM A36 e:1/4"   |
| 9                 | 1        | Tope de goma                | Elastomero        |
| 10                | 1        | Tapa brida reductor         | ASTM A36 e:3/4"   |
| 11                | 1        | Brida                       | ASTM A36 e:1 1/4" |
| 12                | 1        | Tapa de brida               | ASTM A36 e:1/4"   |
| 13                | 1        | Eje corto                   | SAE 1045          |
| 14                | 1        | Eje largo                   | SAE 1045          |
| 15                | 1        | Chaveta AB                  | SAE 1045          |
| 16                | 1        | Chaveta B                   | SAE 1045          |
| 17                | 1        | Motorreductor               | Fundición         |
| 18                | 1        | Rodamiento E 22212          | -                 |
| 19                | 1        | Reuda                       | SAE 4140          |
| 20                | 1        | Refuerzo testera            | ASTM A36 e:1/4"   |
| 21                | 1        | Bulones M 12 x 1.75         | ASTM A 325        |
| 22                | 1        | Bulones 5/8" x 2.5"         | ASTM A 325        |
| 23                | 1        | Bulones M6 x 100            | ASTM A 325        |
| 24                | 1        | Tuercas 5/8"                | Galvanizado       |

|                        |                |         |           |
|------------------------|----------------|---------|-----------|
| DIBUJÓ                 | CRISTIAN LARES | FECHA   | 12/8/22   |
| REVISÓ                 | RICARDO ZUCAL  |         |           |
| NORMA ANSI             |                |         |           |
| FACULTAD DE INGENIERÍA |                |         |           |
| DESPIECE PUENTE GRÚA   |                |         |           |
| APROBÓ                 | RICARDO ZUCAL  | TAMAÑO  | DIBUJO N° |
|                        |                | D       | 26        |
|                        |                | ESCALA  | 0,07 : 1  |
|                        |                | REV 1   |           |
|                        |                | HOJA 26 |           |



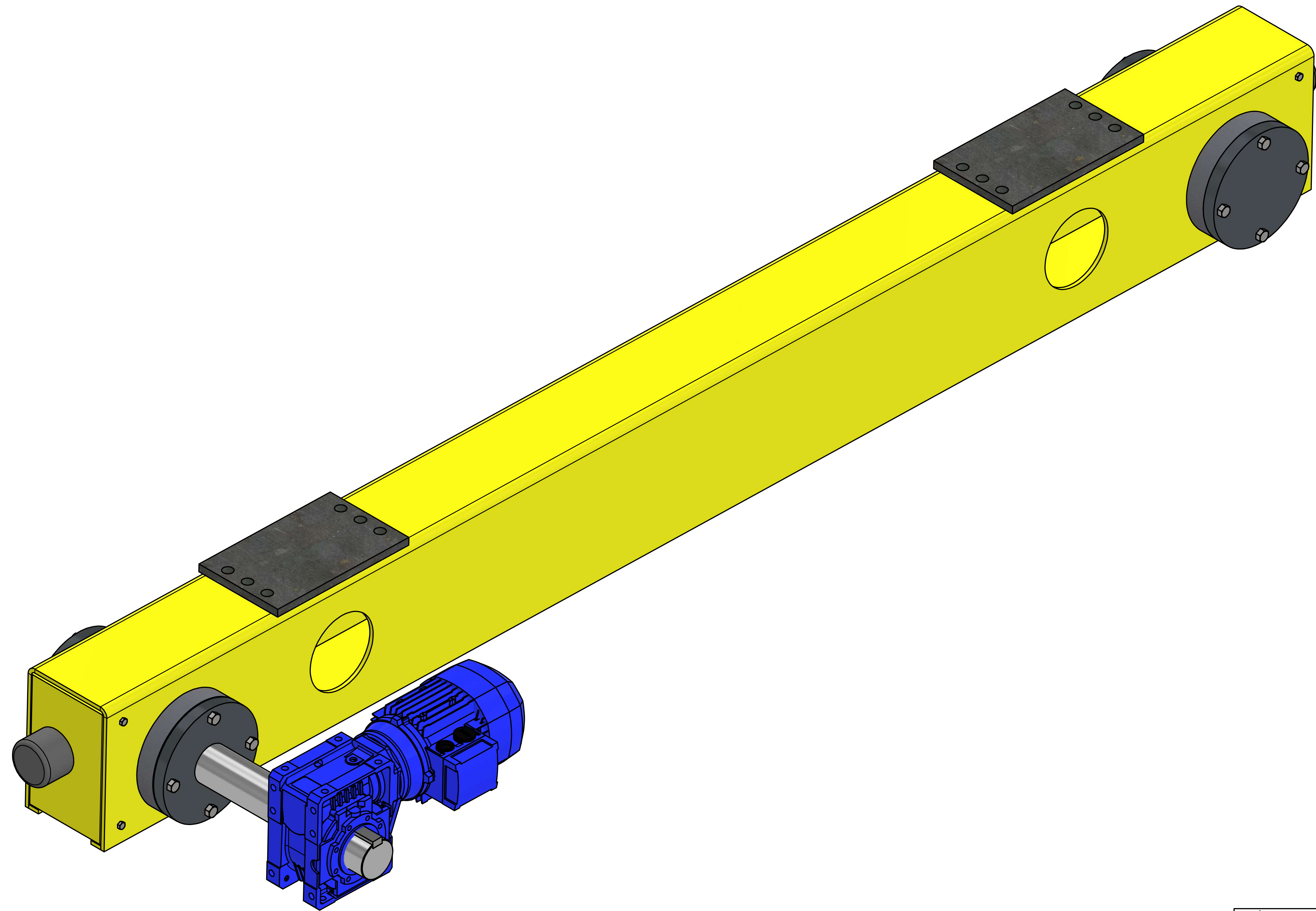



| LISTADO DE PIEZAS |          |                       |                                   |
|-------------------|----------|-----------------------|-----------------------------------|
| ITEM              | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN           | MATERIAL                          |
| 1                 | 1        | Testera plegada 6mm   | ASTM A36 e:1/4"                   |
| 2                 | 1        | Tapa inferior testera | ASTM A36 e:1/4"                   |
| 3                 | 2        | Refuerzos testera     | ASTM A36 e:1/4"                   |
| 4                 | 4        | Brida                 | ASTM A36 e: 1 1/4"                |
| 5                 | 4        | SKF_22212 E           | BS2_001-Spherical roller bearings |
| 6                 | 1        | Eje corto             | SAE 1045                          |
| 7                 | 2        | Rueda                 | SAE 4140                          |
| 8                 | 2        | Tapa_CPY              | ASTM A36 e:1/4"                   |
| 9                 | 2        | Tope de goma          | Elastomero                        |
| 10                | 3        | Tapa de brida         | ASTM A36 e:1/4"                   |
| 11                | 1        | Motorreductor         | FUNDICIÓN                         |
| 12                | 16       | BULONES M12 X 1,75    | ASTM A325)                        |
| 13                | 8        | Bulones M6 x 1 x 10   | ASTM A325                         |
| 14                | 1        | Eje largo             | SAE 1045                          |
| 15                | 1        | tapa para reductor    | ASTM A36 e:1/4"                   |
| 16                | 1        | Chaveta AB            | SAE 1045                          |
| 17                | 2        | Chaveta B             | SAE 1045                          |

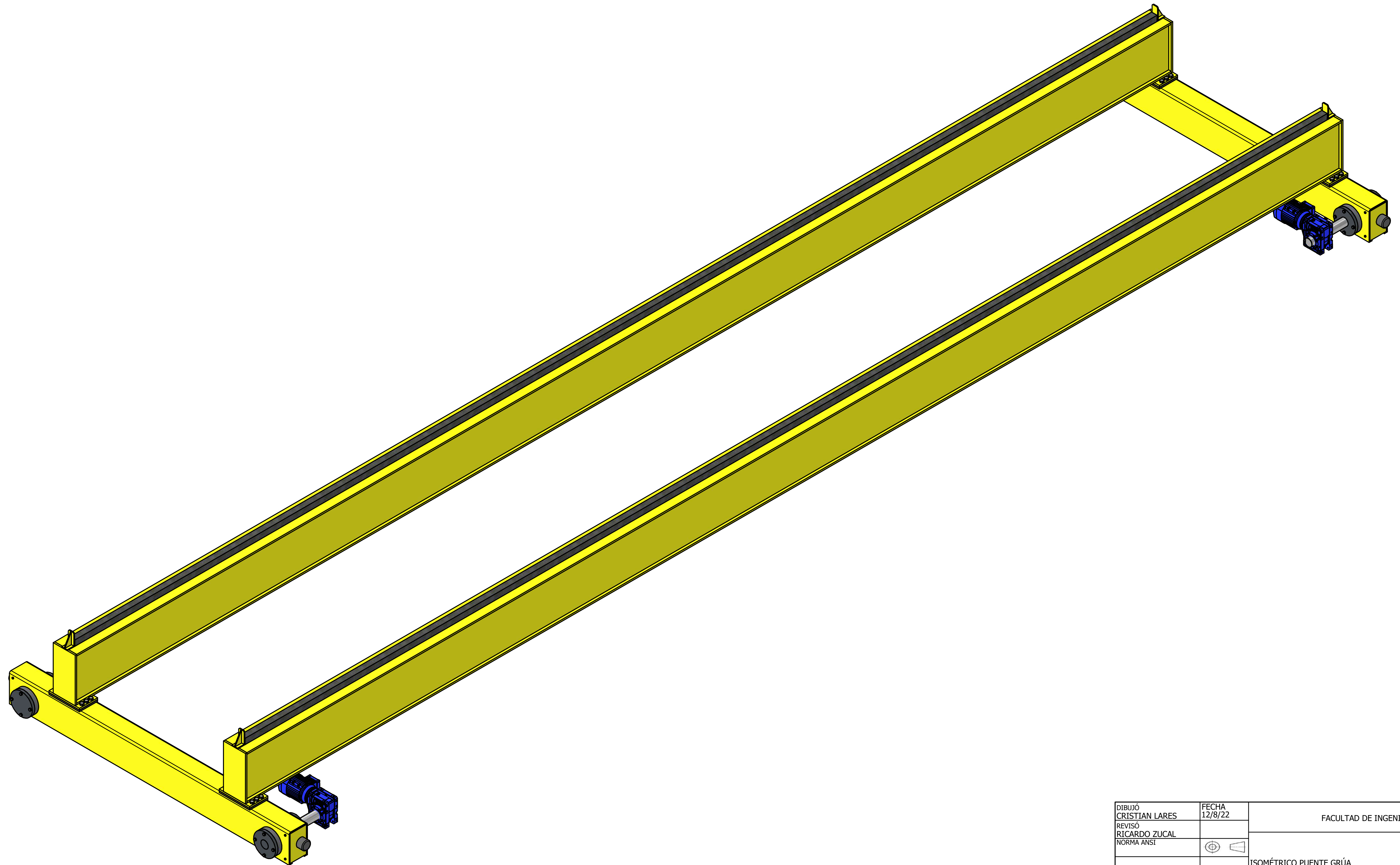
|                          |                  |                           |                 |
|--------------------------|------------------|---------------------------|-----------------|
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES | FECHA<br>12/8/22 | FACULTAD DE INGENIERÍA    |                 |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |                  | ISOMÉTRICO VIGA PRINCIPAL |                 |
| NORMA ANSI               |                  | TAMAÑO<br>D               | DIBUJO N°<br>27 |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |                  | ESCALA<br>1 / 4           | REV<br>1        |
|                          |                  | HOJA 27                   |                 |






|   |                  |                        |                 |          |
|---|------------------|------------------------|-----------------|----------|
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES  | FECHA<br>12/8/22 | FACULTAD DE INGENIERÍA |                 |          |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL   |                  | ISOMÉTRICO TESTERA     |                 |          |
| NORMA ANSI  |                  |                        |                 |          |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL   |                  | TAMAÑO<br>D            | DIBUJO N°<br>28 | REV<br>1 |
|  |                  | ESCALA<br>1 / 3        | HOJA 28         |          |





|   |                  |                        |                 |          |
|---|------------------|------------------------|-----------------|----------|
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES  | FECHA<br>12/8/22 | FACULTAD DE INGENIERÍA |                 |          |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL   |                  | ISOMÉTRICO PUENTE GRÚA |                 |          |
| NORMA ANSI  |                  |                        |                 |          |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL   |                  | TAMAÑO<br>D            | DIBUJO N°<br>29 | REV<br>1 |
|  |                  | ESCALA 0,09 : 1        |                 | HOJA 29  |

# Apéndice 2

Presupuestos

Mar del Plata, 12 de abril de 2022  
Prop-01226-Lares-Puente\_Grua-00

Señores:

**At. Cristian Lares**

Ref.: Fabricación de tablero eléctrico para puente grúa.

De nuestra consideración:

Mediante la presente nos dirigimos a ustedes a fin de exponer nuestra mejor oferta técnico-económica por el servicio de fabricación de tablero eléctrico.

#### **OFERTA TECNICA**

---

**O.T.**

Nuestra empresa cuenta con amplia experiencia en la ejecución de Obras y Proyectos llave en mano. Los trabajos desarrollados con el apoyo y seguimiento de un sólido equipo de Ingeniería, el cual conjuga no solo el área Mecánica (la principal involucrada en el presente proyecto) sino que también Eléctrica, Instrumentación y Control, y todas las áreas de soporte como Recursos Humanos, Seguridad e Higiene, Compras, Calidad y Administración. Todos forman parte del equipo con que DPI da asistencia al cliente en la ejecución de los proyectos.

#### **ALCANCE GENERAL**

Se consideran para el presente trabajo, los siguientes trabajos a realizar en Planta DPI MDQ:

- Armado de tableros eléctricos
- Circuitos eléctricos

#### **EQUIPO DE TRABAJO**

El equipo de trabajo estará conformado por Supervisor, Electricista calificado y medio oficial eléctrico.

## **EQUIPOS Y FACILIDADES**

DPI proveerá los consumibles necesarios, herramientas de mano e instrumental.

## **CONSIDERACIONES.**

- Los trabajos serán realizados en la Planta DPI de Mar del Plata.
- No se contempla mecanizados o intervenciones más allá de las especificadas. En caso de ser necesarias, se cotizarán oportunamente.

## **OFERTA ECONÓMICA**

---

### **O.E**

Se cotiza el armado de tablero eléctrico para puente grúa, la suma total de \$ 140.000, 00 más IVA.

- PLAZO DE ENTREGA: A coordinar con el cliente.
- VALIDEZ DE OFERTA: 30 días.
- ACTUALIZACIÓN DE PRECIOS:
  - 60% Mano de Obra UOM, base Abril 2022.
  - 20% IPIM, base Febrero 2022.
- FORMA DE PAGO:
  - 40% Anticipo: 7 días fecha factura
  - 60% contra entrega: 30 días fecha de factura.

Agradecemos habernos tenido y esperamos les sea de vuestra utilidad.

Aguardamos una respuesta favorable, atte.

**D.P.I. S.A.**

FECHA

N° PROPUESTA GIE

16/08/2022

ENOX-OP00678-OF00646

REFERENCIA

Solicitud vía mail

# Ensayos no destructivos en soldaduras – ENOX

Propuesta Técnica - Económica

## RESPONSABLE DE LA EMPRESA

Pablo Giletto

## CLIENTE

Enox Ingeniería

## SOLICITANTE DEL CLIENTE

Cristian Lares

| DESCRIPCIÓN       | REV | PREPARÓ | CONTROLÓ | APROBÓ | PAGINA |
|-------------------|-----|---------|----------|--------|--------|
| END en soldaduras | 0   | PEGL    | DV       | ER     | 1 / 8  |



**GIEGROUP.NET**

contacto@giegroup.net

ARGENTINA · CHILE · PERÚ · BOLIVIA

## ÍNDICE

|   |          |
|---|----------|
| <b>1. OBJETIVO</b>                                      | <b>4</b> |
| <b>2. ALCANCE</b>                                       | <b>4</b> |
| 2.1. Líquidos Penetrantes                               | 4        |
| 2.2. Análisis de registros y confección de informe      | 4        |
| <b>3. NORMAS, DOCUMENTOS DE APLICACIÓN Y REFERENCIA</b> | <b>5</b> |
| <b>4. REQUERIMIENTOS AL CLIENTE</b>                     | <b>5</b> |
| <b>5. ENTREGABLES Y PLAZOS DE ENTREGA</b>               | <b>5</b> |
| <b>6. CLÁUSULAS PRESUPUESTARIAS</b>                     | <b>6</b> |
| 6.1. Precio de las tareas                               | 6        |
| 6.2. Moneda de pago                                     | 6        |
| 6.3. Impuestos  | 7        |
| 6.4. Certificaciones parciales                          | 7        |
| 6.5. Formas de pago                                     | 7        |
| 6.6. Plazo de pago                                      | 7        |
| 6.7. Validez de la oferta                               | 8        |

| DESCRIPCIÓN       | REV | PREPARÓ | CONTROLÓ | APROBÓ | PAGINA |
|-------------------|-----|---------|----------|--------|--------|
| END en soldaduras | 0   | PEGL    | DV       | ER     | 2 / 8  |





| REVISION | FECHA      | AUTOR | DESCRIPCION |
|----------|------------|-------|-------------|
| 0        | 17/05/2021 | PEGL  | INICIAL     |

## CONFIDENCIALIDAD

La información contenida en esta propuesta es de carácter confidencial. Se encuentra prohibida su reproducción, divulgación y/o utilización por cualquier medio con otro propósito que para el que fue elaborado. Asimismo, GIE GROUP no se responsabiliza por el uso, interpretación o aplicación que pudiera realizar, sin la debida supervisión y/o aceptación de la propuesta, el comitente y/o los terceros ajenos al mismo, respecto de la información aquí contenida.

Queda reservada a favor de GIE GROUP la propiedad de los derechos intelectuales comprometidos en la presente. -



GIE GROUP desarrolla sus actividades encuadradas en el Sistema integrado de Gestión (SGI) el cual responde a las Normas ISO 9001: 2015, ISO 14001: 2015 y OHSAS 18001: 2007.

| DESCRIPCIÓN       | REV | PREPARÓ | CONTROLÓ | APROBÓ | PAGINA |
|-------------------|-----|---------|----------|--------|--------|
| END en soldaduras | 0   | PEGL    | DV       | ER     | 3 / 8  |



## 1. Objetivo

Presentar la mejor propuesta Técnico-Económica correspondiente a la realización del servicio de ensayos no destructivos en soldaduras, en las instalaciones de Enox Ingeniería, ubicado en Avenida Fortunato de la plaza 3754 ciudad de Mar Del Plata, provincia de Buenos Aires.

## 2. Alcance

**Tabla 1 - Descripción de actividades y recursos contemplados**

| Actividades contempladas   | Personal a cargo   | Observaciones                                     |
|--|--|---|
| <b>Ensayos de Tintas Penetrantes en Soldadura sobre Cañería:</b><br><b>Soldadura de unión de vigas</b> | <b>El equipo de trabajo estará compuesto por:</b><br><b>1 Especialista Certificado en NDT de acuerdo con IRAM 9712 y/o SNT-TC-1A</b> | <b>Se emplearán Insumos de la marca Magnaflux</b> |

### 2.1. Líquidos Penetrantes

Se aplicarán Líquidos Penetrantes en las zonas de costuras de soldaduras asociadas a la (s) zona(s) objeto de estudio, estando la ejecución de los ensayos a cargo de un especialista Certificado en END de acuerdo con IRAM9712 y/o SNT-TC-1<sup>a</sup>.

GIE seleccionará para el trabajo los insumos que considere adecuados para la inspección, pudiendo ser líquidos visibles o fluorescentes, los insumos a emplear serán de la marca Magnaflux.

### 2.2. Análisis de registros y confección de informe

Una vez finalizada las actividades de inspección, los especialistas de GIE procederán a realizar un análisis de los registros obtenidos, y posteriormente se elaborará un informe de resultados que contendrá los registros de inspección, normas y referencias técnicas empleadas, análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones.

| DESCRIPCIÓN       | REV | PREPARÓ | CONTROLÓ | APROBÓ | PAGINA |
|-------------------|-----|---------|----------|--------|--------|
| END en soldaduras | 0   | PEGL    | DV       | ER     | 4 / 8  |



### 3. Normas, documentos de aplicación y referencia

- SNT-TC-1A
- IRAM 9712
- ASME V
- API 1104

### 4. Requerimientos al Cliente

- De ser aprobada la presente propuesta se solicitará al Cliente la emisión de la correspondiente ORDEN DE COMPRA o similar, para la iniciación de las actividades.
- Gestión de Permisos y/o credenciales necesarias para el ingreso del personal especializado de GIE a las instalaciones del cliente.
- En caso de ser necesario algún requisito adicional en materia de seguridad, el cliente prestará apoyo al personal de GIE a fin de gestionar el mismo.
- EN caso de requerirse la presencia de un técnico de seguridad durante la ejecución de las tareas de inspección, el mismo deberá ser provisto por El Cliente.
- En caso de requerirse tareas de Gremio correspondientes a retiro de aislación, excavaciones, limpiezas de superficies, armado de andamios ó provisión de medios de elevación, las mismas serán suministradas por el cliente.
- Una vez finalizado el proyecto se solicitará al Cliente comunicar por e-mail al responsable técnico de GIE, la APROBACIÓN del INFORME FINAL para cerrar el mismo.

### 5. Entregables y Plazos de entrega

Tabla 2 - Descripción de entregables y plazos de ejecución

| Actividad  | Plazo de Ejecución estimado (Días hábiles) | Entregable                                   |
|--|--|--|
| Inspección a través de Partículas Magnetizables o Líquidos penetrantes | 1 día                                      | Reporte de inspección y registros de ensayos |

GIE entregará al Cliente el reporte de los ensayos según ASME V una vez finalizadas las actividades de campo.

El cliente dispondrá de 10 días hábiles para aprobar cada reporte presentado o para requerir las aclaraciones que estime necesarias.

| DESCRIPCIÓN       | REV | PREPARÓ | CONTROLÓ | APROBÓ | PAGINA |
|-------------------|-----|---------|----------|--------|--------|
| END en soldaduras | 0   | PEGL    | DV       | ER     | 5 / 8  |



GIE contará con un plazo de hasta de 7 días hábiles para proceder a incorporar los comentarios emitidos por El Cliente.

Siguiendo una política de cuidado medioambiental, los respectivos reportes serán suministrados en forma digital. Los reportes entregados estarán firmados digitalmente. Quedando sujeto a los requerimientos de cliente el envío de una copia impresa.

## 6. Cláusulas Presupuestarias

### 6.1. Precio de las tareas

A continuación, se detalla el importe correspondiente a cada actividad que conforma la presente propuesta y el total general:

**Tabla 3 - Descripción del precio asociado a las tareas descritas**

| Ítem | Descripción  | Unidad        | Precio Unitario (\$) |
|------|--|---------------|----------------------|
| 1    | Movilización/Desmovilización de personal y equipos   | Unidad        | 5.000,00             |
| 2    | Servicio de Inspección con Tintas Penetrantes y realización de registros – Jornada de seis horas | Jornada       | 70.000,00            |
| 3    | Servicio de Inspección con Tintas Penetrantes y realización de registros – Media Jornada         | Media Jornada | 45.000,00            |

#### **NOTAS:**

- La jornada diaria comprende un lapso de seis (6) horas efectivas en las instalaciones del cliente de 9 de la mañana a 16 horas.
- Las medias jornadas podrán ser de 9 a 12 o de 13 a 16, previa solicitud del cliente.

### 6.2. Moneda de pago

Pesos Argentinos (ARS)

| DESCRIPCIÓN       | REV | PREPARÓ | CONTROLÓ | APROBÓ | PAGINA |
|-------------------|-----|---------|----------|--------|--------|
| END en soldaduras | 0   | PEGL    | DV       | ER     | 6 / 8  |



### 6.3. Impuestos

El precio NO incluye IVA, No incluye Sellados

### 6.4. Certificaciones parciales

Se certificará en función de las jornadas o medias jornadas solicitadas por el cliente.

### 6.5. Formas de pago

#### Cheque a la orden de GIES.A.:

Dirección: Av. Juan B. Justo 4391 - (7600) Mar del Plata. Prov. Buenos Aires.

#### Ó Transferencia electrónica:

##### BANCO: BANCO DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

TITULAR DE LA CUENTA: GIE S.A.

CUIT: 30-69001149-9

TIPO DE CUENTA: Cuenta Corriente

SUCURSAL: 4200 - MAR DEL PLATA

CUENTA: 51315/9

C.B.U.: 0140323501420005131597

##### BANCO: SANTANDER RÍO

TITULAR DE LA CUENTA: GIE S.A.

CUIT: 30-69001149-9

TIPO DE CUENTA: Cuenta Corriente

SUCURSAL: 067

CUENTA: 5096/8

C.B.U.: 0720067020000000509686

##### BANCO: BANCO PROVINCIA DEL NEUQUEN S.A.

TITULAR DE LA CUENTA: GIE S.A.

CUIT: 30-69001149-9

TIPO DE CUENTA: Cuenta Corriente

SUCURSAL: 19 RINCON DE LOS SAUCES

CUENTA: 817405/1

C.B.U.: 09700192 - 10008174050013

##### BANCO: CREDICOOP COOPERATIVO LIMITADO

TITULAR DE LA CUENTA: GIE S.A.

CUIT: 30-69001149-9

TIPO DE CUENTA: Cuenta Corriente

SUCURSAL: 084

CUENTA: 27493/5

C.B.U.: 1910084155008402749350

### 6.6. Plazo de pago

60 días a partir de la recepción de factura

| DESCRIPCIÓN       | REV | PREPARÓ | CONTROLÓ | APROBÓ | PAGINA |
|-------------------|-----|---------|----------|--------|--------|
| END en soldaduras | 0   | PEGL    | DV       | ER     | 7 / 8  |



## 6.7. Validez de la oferta

30 días

| DESCRIPCIÓN       | REV | PREPARÓ | CONTROLÓ | APROBÓ | PAGINA |
|-------------------|-----|---------|----------|--------|--------|
| END en soldaduras | 0   | PEGL    | DV       | ER     | 8 / 8  |





Señores  
AT: Cristian Lares

Mar del Plata 17/8/2022 – Nº 401  
Ref: Ruedas y ejes

---

### COTIZACIÓN

- Mecanizado rueda Acero SAE 4140.....\$16.000 c/u
- Mecanizado eje 550mm con chaveteros.....\$18.000 c/u
- Mecanizado eje 210mm con chavetero.....\$ 9.000 c/u

**Total cotización ..... \$118.000,00+ IVA**

#### Condiciones Comerciales:

**Forma de pago:** condiciones habituales.

**Plazo de ejecución-entrega:** coordinar.

**Validez de oferta:** 10 días, de no confirmar la cotización se deberá replantear los precios en materiales e insumos.

**Esperando que el presente sea de su conformidad, saludamos a usted atentamente.**

---

Rodriguez, Maximiliano  
[mecanizadosedison@gmail.com](mailto:mecanizadosedison@gmail.com)  
Dirección Av. Edisón 2056  
Contacto: 2235284228



República de Cuba 171  
tel/fax: 54-223-482-0239/483-4267  
7600 - Mar del Plata - Argentina  
ingenieria@herxon.com  
dtotecnico@herxon.com  
www.herxon.com  
16/08/2022



**Enox Ingeniería**  
Sr. Cristian Lares  
Presente

Mar del Plata 16/18/2022 – N° 7093  
Ref: Puente grúa

---

### **COTIZACIÓN**

Se realizará la construcción de dos vigas para puente grúa y dos vigas testeras realizando los siguientes trabajos según especificaciones del cliente.

- Corte y plegado y taladrado de chapas 1/2" acero ASTM A36/ F24 (Según disponibilidad)
- Corte y plegado y taladrado de chapas 1/4" acero ASTM A36/ F24 (Según disponibilidad)
- Proceso de soldadura de vigas según especificaciones recibidas.
- Pintado de componentes a entregar

**Total cotización ..... \$3.603.540,74+ IVA**

#### **Condiciones Comerciales:**

**Forma de pago:** condiciones habituales.

**Plazo de ejecución-entrega:** coordinar.

**Validez de oferta:** 10 días, de no confirmar la cotización se deberá replantear los precios en materiales e insumos.

**Esperando que el presente sea de su conformidad, saludamos a usted atentamente.**

---

Ituarte, Franco David  
Dto. Técnico  
[dtotecnico@herxon.com](mailto:dtotecnico@herxon.com)  
[www.herxon.com](http://www.herxon.com)



Lentax Sociedad Anónima  
Austria Norte 1158 - (CP:1617) Troncos del Talar - Pque Ind. Tigre - Prov. Bs As.

( 05411) 5252 - 1940 Rotativa  
Fax (05411) 5245 - 6843

: <http://www.lentax.com>  
\* [info@lentax.com](mailto:info@lentax.com) [ventas@lentax.com](mailto:ventas@lentax.com)

PRESUPUESTO

Cliente

Nombre: CRISTIAN LARES  
NºPedido: \_\_\_\_\_  
Ciudad: \_\_\_\_\_ Estado: \_\_\_\_\_ CP: \_\_\_\_\_  
Teléfono: \_\_\_\_\_

Fecha: 03-ago-22  
Nº Presupuesto: 47.161  
Contacto: CRISTIAN  
O. de Compra: \_\_\_\_\_

Detalles de pago

Validez Oferta: 7 DIAS  
Plazo de Entrega: 10 DIAS  
Condicion Pago: 30 % C/ PEDIDO. SALDO C/ENTREGA  
Desc. Otorgados: \_\_\_\_\_

| Cantidad | Descripción   | Pcio. Unit. U\$S | Descuento Otorgado |  |  | Pcio. Unit. Final sin Impuesto | Total Sin Impuesto |
|----------|---|------------------|--------------------|--|--|--------------------------------|--------------------|
|          |   |                  |                    |  |  |                                |                    |
|          | En la solicitud nos piden "eje de salida solido" y en el codigo nos piden "eje hueco HU".<br>Cotizamos ambas opciones.  |                  |                    |  |  |                                |                    |
|          | MODELO: 26 - 150 FB - 25 RPM - PN - 3A<br>Con patas<br>Con motor de 1,5 HP / 1500 RPM CON FRENO   |                  |                    |  |  |                                |                    |
| 1        | PRECIO ALT CON EJE MACIZO DE SALIDA   | 5.197,00 U\$     |                    |  |  | 5.197,00 U\$                   | 5.197,00 U\$       |
| 1        | PRECIO ALT CON EJE HUECO DE SALIDA  | 5.740,00 U\$     |                    |  |  | 5.740,00 U\$                   | 5.740,00 U\$       |
|          | Realizamos la entrega a expresos ubicados dentro de CABA sin costo para facturas mayores a U\$S 300. Para montos menores, se cobrara un adicional de U\$S 25 + IVA. |                  |                    |  |  |                                |                    |

- Lugar de Entrega: NUESTRA FABRICA
- Nota: LA COTIZACION A UTILIZAR ES LA DE BILLETE TIPO VENDEDOR DEL BANCO NACION DEL DIA ANTERIOR AL DEL EFECTIVO PAGO
- Presupuestó: Ing. Gilly Martin

Los Bienes de Capital se encuentran alcanzados por el Decreto 379/01-502/01 Art.3. El Adquirente deberá informar si el producto de referencia sera destinado a exportacion o uso propio. Asumiendo el mismo el compromiso en carácter de declaracion jurada. La DN Serie "B" 70/07 de la Agencia de Recaudación de la Provincia de Buenos Aires, obliga a Lentax Sociedad Anónima a consultar el "Padron por Sujeto" a los efectos de obtener la alícuota de Percepción a utilizar en cada C.U.I.T. En caso de encontrarse exento o no alcanzado por este régimen, comunicarlo al momento de confirmar el Presupuesto. Lentax Sociedad Anónima está exenta del Régimen de Retención y Percepción del Impuesto sobre los Ingresos Brutos Provincia de Buenos Aires, por lo que no corresponde que se efectúe retenciones al momento de emitir el pago.

Antes de imprimir este Presupuesto, asegúrese de que es necesario. El medio ambiente depende de nosotros.



ESTIMACION DE PRECIOS 27973 rev1

SEÑOR:

**CRISTIAN LARES**

MAR DEL PLATA

**AT: SR CRISTIAN LARES**

Muy señores nuestros:

Tenemos el agrado de dirigirnos a ustedes, a efectos de elevar a su consideración nuestra oferta por polipastos, de las siguientes características:

**1- APAREJO ELECTRICO**

MARCA:

TIPO:

MODELO:

CAPACIDAD (KG):

ALZADA (MM):

RAMALES DE CABLE:

VELOCIDAD (M/MIN.):

POTENCIA DE MOTOR (HP):

REVOLUCIONES POR MINUTO:

**GRUPO DE UTILIZACION SEGÚN NORMA FEM  
(FEDERACION EUROPEA DE LA MANUTENCION):**

GUIA CABLE

FINES DE CARRERA

GANCHO c TRABA DE SEGURIDAD

LIMITADOR DE SOBRECARGA

**FORVIS (IND. ARGENTINA)**

A CABLE DE ACERO

FV3 5008

5.000

8.000 (nominal)

4

4

5,5

1.500

**1Am**

SI

SI- SUP. E INFERIOR

SI- s/NORMA DIN 15401

NO

**2- CARRO ELECTRICO**

MARCA

TIPO

MODELO

VELOCIDAD ( MT/MIN)

MOTOR (HP)

TROCHA (entre ejes rieles,en mm)

GARGANTA DE RUEDAS

FINES DE CARRERA

FORVIS

BIRRIEL

CTF- TRICICLO - 3 ruedas

14 - SIN FRENO

0,75 - 1000 RPM

1.400

para riel de 50mm de ancho

NO

**3- COMANDOS**

BOTONERA

PROTECCIÓN GABINETE:

TENSION DE COMANDO:

POSICION:

PULSADORES

CONTACTORES:

TENSION DE ALIMENTACION (V):

UBICACIÓN \_ USO

TIPO TELEMECANIQUE

IP 40 (bajo techo)

24 V.

COLGANTE DEL CARRO

4

SASSIN Ó SIMILAR

3 X 380, 50 HZ.

INTERIOR

**PRECIO : ..... U\$S 21.400.- + IVA.-**



**CONDICIONES COMERCIALES:**

FORMA DE PAGO: 30% de anticipo con la OC, 40% contra aviso de terminación y previo a la entrega, saldo a 30 días

PLAZO DE ENTREGA: 75 días aprox. de recibida su orden de compra y cobrado el anticipo

LUGAR DE ENTREGA: Sobre transporte en Buenos Aires

VALIDEZ DE OFERTA: 5 días.

Sin otro particular, saludamos a ustedes muy atentamente.

| To:      |  |
|----------|--|
| Company: | Gie Group  |
| Contact: | Cristian Lares   |
| Email:   | <a href="mailto:lares@giegroup.net">lares@giegroup.net</a> |
| Phone:   |  |
| Fax:     |  |

## Quotation Form № 943415

Date : 04/08/2022

Order Number : Via mail 03.08.2022

| From:     |  |
|-----------|--|
| Company:  | "Parmex Automatización" SRL                                    |
| Contact : | Fernanda Wong  |
| Email:    | <a href="mailto:f.wong@parmex.com.mx">f.wong@parmex.com.mx</a> |
| Phone:    | +52 222 912 60 15  |
| Fax:      |  |

| No. | Brand   | Customer stock code | Ref. No                     | Description  | Quantity | Unit Type | Unit Price | Amount  | Delivery       |
|-----|---------|---------------------|-----------------------------|--|----------|-----------|------------|---------|----------------|
| 1   | Weforma |                     | CB080040-6B WCB-080-040-6-B | Microcellular buffer Ø 80 mm<br>max. deformation 30 mm<br>threaded screw M12, length 35 mm | 1        | pcs       | 2038.31    | 2038.31 | 9 - 11 (weeks) |

**ORIGEN: ITALIA**

**\*Esta oferta incluye logística de importación.**

Please note that delays in the deliveries may occur due to shortage of raw materials in the world. Thank you for the understanding. Prices are valid only for complete order. We hope our terms will meet your expectations and that you are satisfied from our services.

In case of order please state our Quotation number. 943415

Delivery Method: **EXW** Puebla | Payment Method: **Prepayment**

**Total : 2038.31 MXN | VAT excluded**

Validity Period (days): 30

# Apéndice 3

*Referencias Norma CMMA °70*

En este apéndice vamos a mencionar los conceptos teóricos recomendados por la norma CMMA 70 en las secciones 3.3 y 3.4, que sirven como lineamientos para el dimensionamiento de las vigas encajonadas principales y las testeras.

### 3.1 Solicitaciones en caso particular

#### 3.1.1 Cargas

La norma americana divide las cargas actuantes sobre el puente en 3 distintas categorías diferentes 3.2.3 de la norma

- Cargas principales
- Cargas adicionales
- Cargas extraordinarias

1. Cargas principales:

**Carga muerta (DL):** En este caso tenemos el peso de la viga propiamente dicha

**Peso polipasto (TL):** El peso del polipasto y del equipo sujetado al mismo

**Carga levantada (LL):** Consiste en la carga de trabajo nominal y el peso de los dispositivos de elevación usados para el manejo y el soporte de dicha carga.

**Fuerzas de inercia verticales:** Las fuerzas de inercia verticales incluyen aquellas debidas al movimiento del puente y aquellas debidas a las de elevación o descenso de la carga del polipasto. Estas cargas pueden ser tenidas en cuenta de una manera simplificada, al aplicar tres factores dinámicos a las tres fuerzas listadas anteriormente

- **DLFB:** Factor de carga muerta debido al puente

$$DLF_B = 1,05 + \frac{V_{TB} \left( \frac{\text{pies}}{\text{min}} \right)}{2000}$$

- **DLFT:** Factor de carga del polipasto

$$DLF_T = 1,05 + \frac{V_{TT} \left( \frac{\text{pies}}{\text{min}} \right)}{2000}$$



- **HLF:** Factor de carga levantada

$$HLF = 0,005 * V_{IT} \left( \frac{\text{pies}}{\text{min}} \right)$$

**Fuerzas de inercia laterales:** Las fuerzas de inercia de los mecanismos de traslación resultan de la aceleración o desaceleración del puente grúa o del carro, y dependen de la magnitud de torque aplicado a las ruedas motoras. Esta fuerza debe ser determinada al aplicar un factor (IFD) a la carga levantada y el peso de los componentes del puente, incluyendo accesorios. El factor IFD se calcula como el 7,8% de la aceleración o desaceleración (pies por segundos cuadrados), pero no menor que 2,5%.

- **IFDB:** Factor que contempla el movimiento del puente

$$IFD_B = 0,078 * a_B \left( \frac{\text{pies}}{\text{sg}^2} \right)$$

- **IFDH:** Factor que contempla el movimiento del carro

$$IFD_H = 0,078 * a_h \left( \frac{\text{pies}}{\text{sg}^2} \right)$$

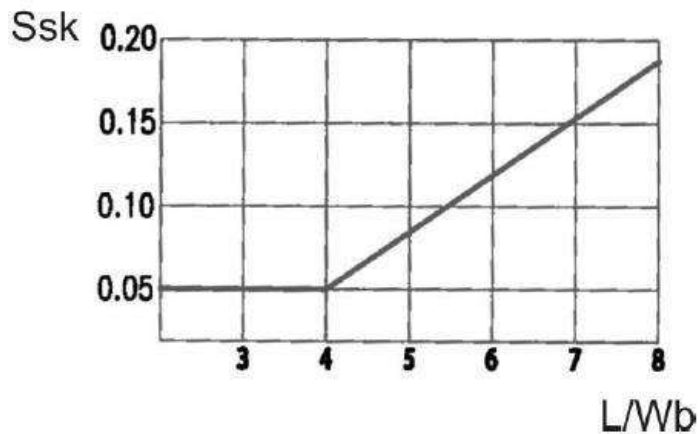
2. Cargas adicionales:

**F) Fuerzas laterales debidas al desalineamiento del puente o "Skewing Forces" (SK)**

Las fuerzas horizontales normales al riel que se producen debido al fenómeno de Skewing (ver Apéndice D) deben ser tomadas en cuenta y se obtienen de la siguiente manera.

$$SK = S_{sk} * Fr$$

- **Fr:** Es la fuerza vertical sobre cada rueda de testero
- **Ssk:** coeficiente que depende de la relación entre la luz y la distancia entre las ruedas del testero



### 3. Cargas extraordinarias:

#### **G) Fuerzas de impacto sobre la estructura (CF)**

Las cargas de la estructura del puente que resultan de las frenadas por los topes de goma deben ser calculadas con el puente a velocidad de 0,4 veces la velocidad nominal asumiendo que el sistema de amortiguación es capaz de absorber la energía dentro de su carrera de diseño. La carga suspendida por el equipamiento de elevación y con posibilidad de balanceo no necesita ser tomada en cuenta. En los casos donde la carga no puede balancearse, el efecto de las gomas debe ser calculado de la misma manera tomando en cuenta el valor de esta carga.

Los esfuerzos que resultan en la estructura se calculan en función de la deceleración que el tope utilizado impone al aparato. Las fuerzas de los amortiguadores deben ser distribuidas de acuerdo con las características de estos y la libertad de movimiento de la estructura con el carro en su posición más desfavorable.

Las fueras de los amortiguadores deben ser distribuidas de acuerdo con las características de estos y la libertad de movimiento de la estructura con el carro en su posición más desfavorable.

#### 3.1.2 Combinación de cargas

Las tensiones se calcularon para los siguientes casos de diseño:

**CASO I: el puente en uso regular bajo cargas principales**

$$DL(DLF_B) + TL(DLF_T) + LL(1 + HLF) + IFD$$

**CASO II: el puente en uso regular bajo cargas principales y cargas adicionales**

$$DL(DLF_B) + TL(DLF_T) + LL(1 + HLF) + IFD + SK$$

**CASO III: el puente en uso regular bajo cargas principales y cargas extraordinarias**

$$DL + TL + LL + CF$$

### 3.2 Tensiones combinadas

Cuando las condiciones de carga de un componente producen tanto tensiones de compresión como de tracciones en direcciones ortogonales, las tensiones deben ser combinadas por la siguiente ecuación:

$$\sigma_t = \sqrt{(\sigma_x)^2 + (\sigma_y)^2 - \sigma_x \sigma_y + 3(\tau_{xy})^2} \leq \sigma_{TALL}$$

La tensión resultante debe estar limitada por la respectiva tensión admisible que se da en la siguiente tabla

| STRESS LEVEL AND CASE | ALLOWABLE COMPRESSION STRESS* | ALLOWABLE TENSION STRESS | ALLOWABLE SHEAR STRESS | ALLOWABLE BEARING STRESS |
|-----------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|
| 1                     | $0.60\sigma_{yp}$             | $0.60\sigma_{yp}$        | $0.35\sigma_{yp}$      | $0.75\sigma_{yp}$        |
| 2                     | $0.66\sigma_{yp}$             | $0.66\sigma_{yp}$        | $0.375\sigma_{yp}$     | $0.80\sigma_{yp}$        |
| 3                     | $0.75\sigma_{yp}$             | $0.75\sigma_{yp}$        | $0.43\sigma_{yp}$      | $0.90\sigma_{yp}$        |

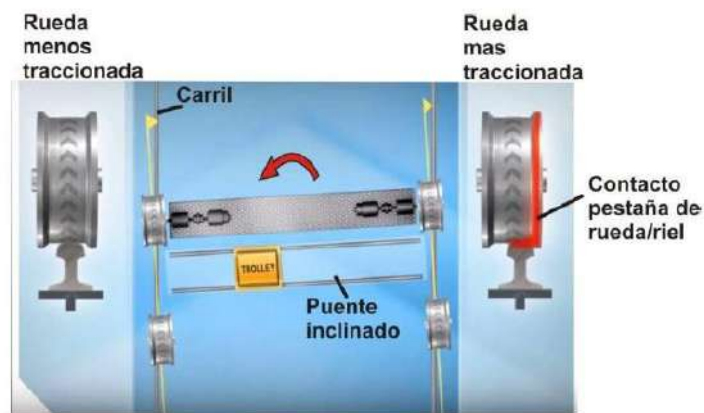
# Apéndice 4

*Concepto Skewing*

En este apartado se realiza una descripción simplificada del fenómeno conocido como Skewing, el cual da origen a las fuerzas laterales consideradas por la norma CMAA como cargas adicionales.

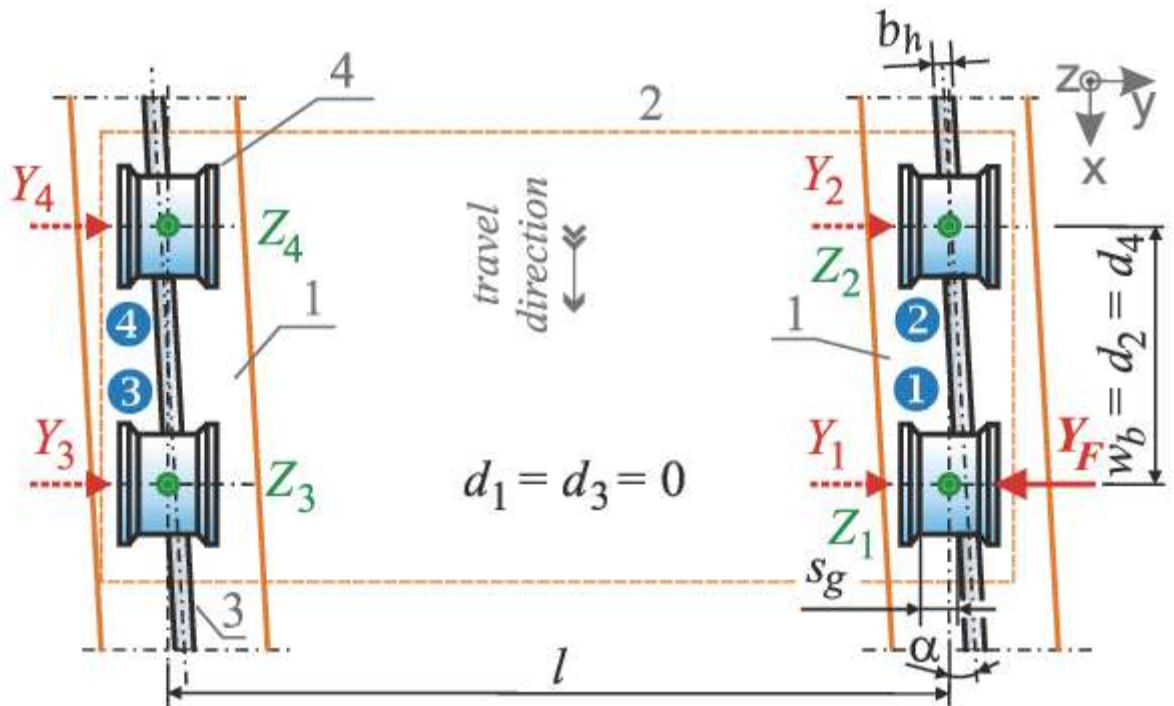
Este fenómeno se produce cuando hay una diferencia en la tracción o la velocidad entre los extremos impulsados del puente. Cuando esto sucede, los siguientes eventos se hacen presentes:

- La diferencia en la tracción entre los extremos accionados hace que la luz del puente actúe como un brazo de palanca. Las fuerzas del brazo de palanca son resistidas por la carga lateral de las ruedas y el carril.
- Las fuerzas causan deformación de la estructura:
- La deformación provoca que las esquinas de la estructura del puente giren, y las ruedas se desalinean temporalmente.
- La estructura permanecerá deformada mientras haya una diferencia en la fuerza de tracción entre los extremos accionados.
- La diferencia de tracción hace que la grúa se oriente hacia un lado hasta que la pestaña de la rueda toca a un lado de la cabeza del riel, aplicándole una fuerza lateral (SW).



- La fuerza lateral crea una fuerza de fricción paralela al carril que se opone a la de tracción. • Las diferencias aleatorias de las fuerzas de fricción hacen que varíe el ángulo de "skew" (crece y decrece)
- Como muestra la siguiente figura, la grúa gira (en planta) hasta que el efecto acumulativo de contacto de la pestaña de la rueda y la fricción lateral son iguales al efecto de la diferencia de fuerza de tracción entre los extremos accionados. El ángulo de rotación es el ángulo de "skew".
- Si se permite que el ángulo de "skew" sea lo suficientemente grande, la fuerza de fricción sería igual o superior a la fuerza de tracción y la grúa llegaría a

detenerse. En cambio, si los motores son muy potentes, las ruedas podrían subir el riel ocasionando descarrilamiento.



# Apéndice 5

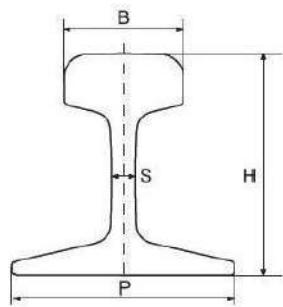
Propiedades aceros



| Propiedades del Acero Estructural A-36 |                        |      |                         |      |     |     |
|--|------------------------|------|-------------------------|------|-----|-----|
| Composición                            | C                      | P    | S                       | Si   | Cu  | Mn  |
|  |                        | 0,26 | 0,04                    | 0,05 | 0,4 | 0,2 |
| Densidad 20°C                          | 7850 Kg/m <sup>3</sup> |      | 0,28 lb/in <sup>3</sup> |      |     |     |
| Esfuerzo mínimo a la fluencia          | 250MPa                 |      | 36259 Psi               |      |     |     |
| Resistencia mínima a la Tracción       | 400MPa                 |      | 58000Psi                |      |     |     |
| Módulo de Elasticidad                  | 200GPa                 |      | 29000Ksi                |      |     |     |

| Propiedades del Acero bonificado AISI 4340 (705) |                        |          |                         |      |     |     |
|--|------------------------|----------|-------------------------|------|-----|-----|
| Composición                                      | C                      | P        | Si                      | Cr   | Mn  | Ni  |
|  |                        | 0.35-0.4 | ---                     | 0,25 | 1,4 | 0,7 |
| Densidad 20°C                                    | 7850 Kg/m <sup>3</sup> |          | 0,28 lb/in <sup>3</sup> |      |     |     |
| Esfuerzo mínimo a la fluencia                    | 470MPa                 |          | 68200Psi                |      |     |     |
| Resistencia mínima a la Tracción                 | 745MPa                 |          | 108000Psi               |      |     |     |
| Módulo de Elasticidad                            | 200GPa                 |          | 29000Ksi                |      |     |     |
| Dureza   | 270-330HB              |          |                         |      |     |     |

| Propiedades del Acero al Carbono SAE 1045 (760) |                        |     |                         |      |     |     |
|---|------------------------|-----|-------------------------|------|-----|-----|
| Composición                                     | C                      | P   | S                       | Si   | Cr  | Mn  |
|   |                        | 0,5 | 0,04                    | 0,05 | 0,5 | 0,6 |
| Densidad 20°C                                   | 7850 Kg/m <sup>3</sup> |     | 0,28 lb/in <sup>3</sup> |      |     |     |
| Resistencia mínima a la Tracción                | 637MPa                 |     | 92451Psi                |      |     |     |
| Módulo de Elasticidad                           | 200GPa                 |     | 29000Ksi                |      |     |     |
| Dureza  | 200 -220 HB            |     |                         |      |     |     |



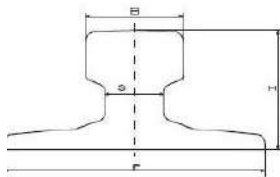
**Technical Data**

Nominal Weight: 25 Lb/Yd (12.43 kg/m)  
 Cross Sec. Area: 2.40 In<sup>2</sup> (15.48 cm<sup>2</sup>)  
 Moment of Inertia: 2.54 In<sup>4</sup> (104.1 cm<sup>4</sup>)  
 Sec. Modulus-Head: 1.76 In<sup>3</sup> (28.84 cm<sup>3</sup>)  
 Sec. Modulus-Base: 1.88 In<sup>3</sup> (30.81 cm<sup>3</sup>)

**Dimensions (mm)**

| B<br>mm | S<br>mm | H<br>mm | P<br>mm |
|---------|---------|---------|---------|
| 38.1    | 7.54    | 69.85   | 69.85   |

| <b>Propiedades químicas</b> |         |         |            |           |          |
|-----------------------------|---------|---------|------------|-----------|----------|
| Peso del Riel y Sección     | %C      | %Mn     | %P         | %S        | %Si      |
| 25-Lb ASCE                  | 0,4-0,6 | 0,5-0,9 | 0.045 max. | 0,05 max. | 0,4 max. |



**Technical Data**

| Profile | Area of Inertia (cm <sup>2</sup> ) | Moment Head (cm <sup>3</sup> ) | Sec. Modulus Base (cm <sup>3</sup> ) | Sec. Modulus (cm <sup>3</sup> ) |
|---------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| A45     | 20.2                               | 90.0                           | 41.5                                 | 27.0                            |

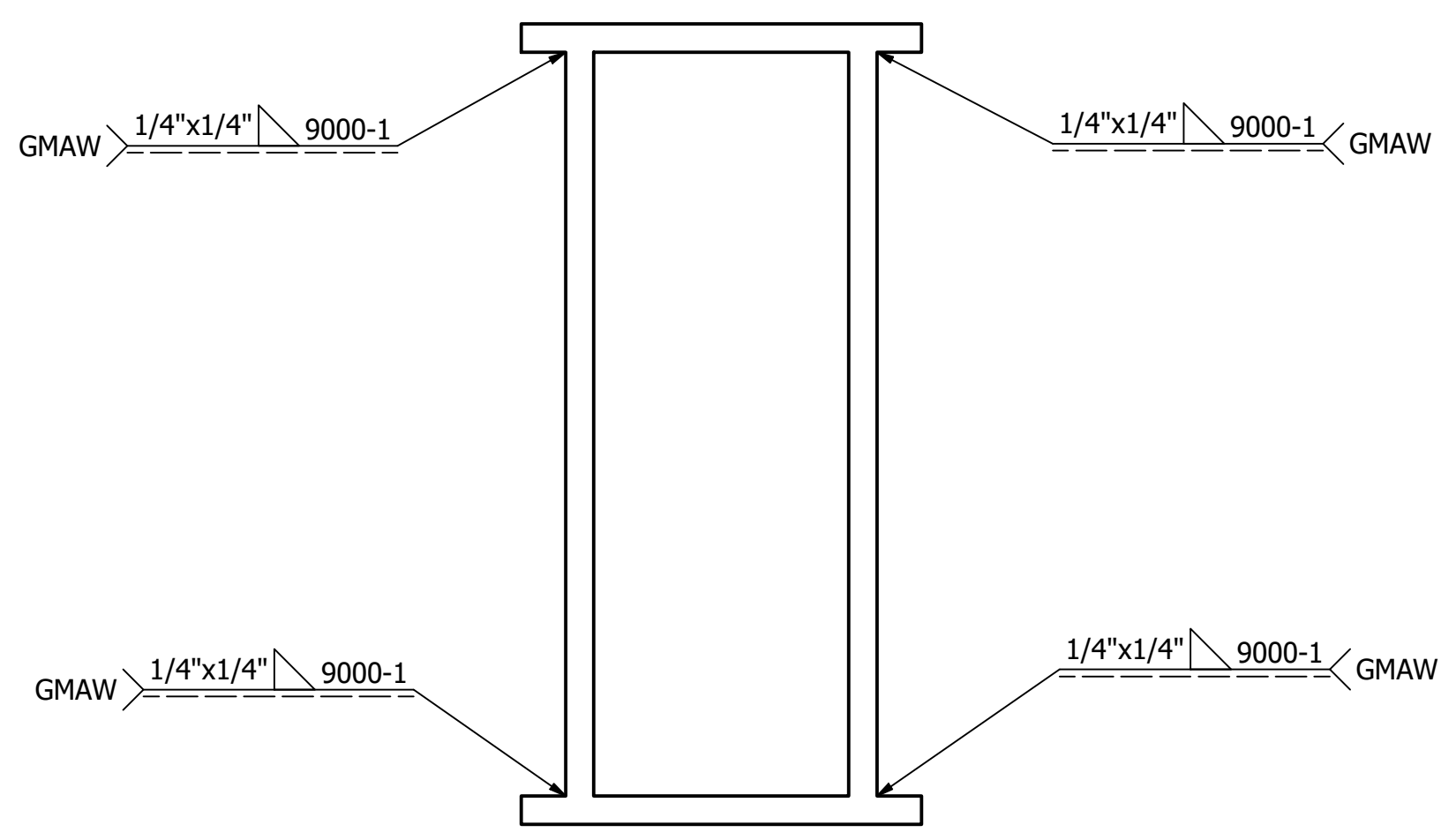
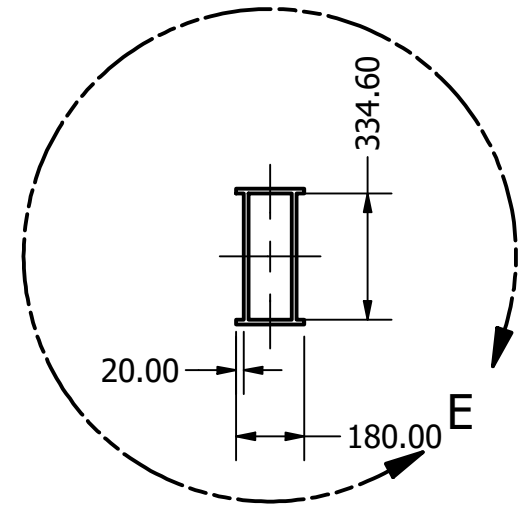
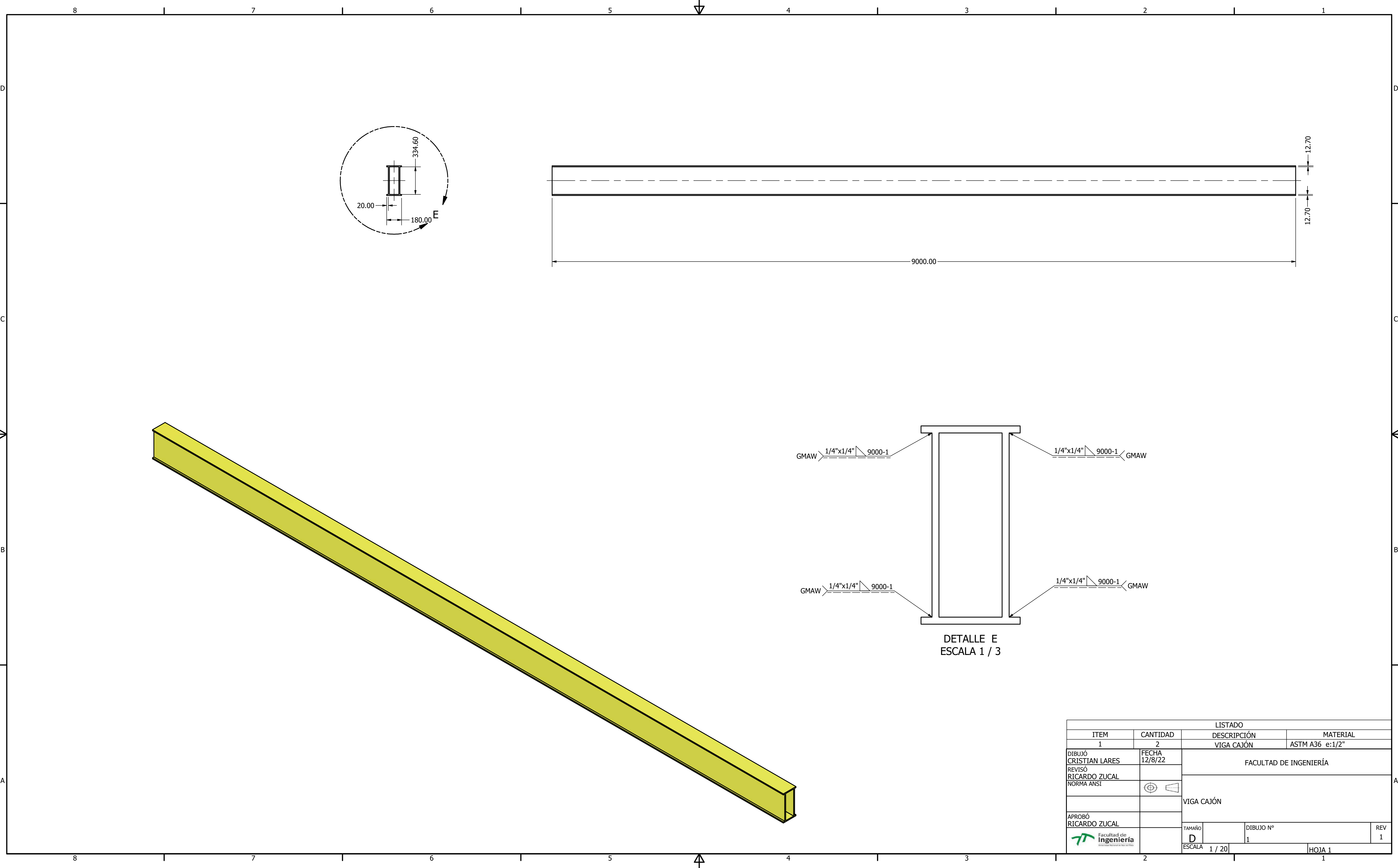
| Profile | Weight |      | Base (P) |     | Height (H) |    | Head (B) |    | Web (S) |    |
|---------|--------|------|----------|-----|------------|----|----------|----|---------|----|
|         | lbs/yd | kg/m | inches   | mm  | inches     | mm | inches   | mm | inches  | mm |
| A45     | 44.66  | 22.1 | 4.02     | 125 | 2.17       | 55 | 1.77     | 45 | 0.94    | 24 |

| <b>Propiedades químicas</b> |         |         |            |            |           |
|-----------------------------|---------|---------|------------|------------|-----------|
| Tipo de riel                | %C      | %Mn     | %P         | %S         | %Si       |
| A45                         | 0,4-0,6 | 0,8-1,2 | 0.045 max. | 0,045 max. | 0,35 max. |

| <b>Dureza</b> |         |
|---------------|---------|
| Tipo de Riel  | MAX     |
| A45           | 204 BHN |

# Apéndice 1

Planos mecánicos



DETALLE E  
ESCALA 1 / 3

| LISTADO                  |                  |                        |                 |
|--------------------------|------------------|------------------------|-----------------|
| ITEM                     | CANTIDAD         | DESCRIPCIÓN            | MATERIAL        |
| 1                        | 2                | VIGA CAJÓN             | ASTM A36 e:1/2" |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES | FECHA<br>12/8/22 | FACULTAD DE INGENIERÍA |                 |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |                  |                        |                 |
| NORMA ANSI               |                  | VIGA CAJÓN             |                 |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |                  | TAMAÑO<br>D            | DIBUJO N°<br>1  |
|                          |                  | ESCALA<br>1 / 20       | HOJA 1          |

D  
C  
B  
A

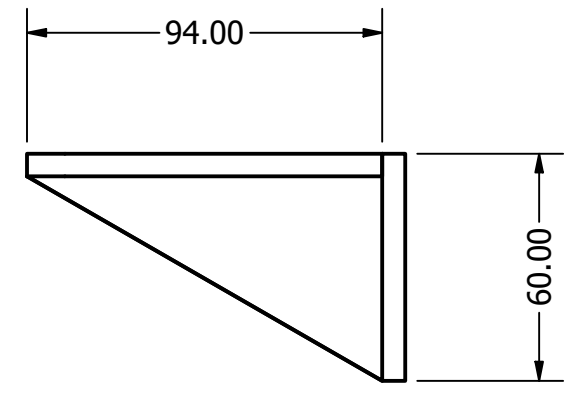
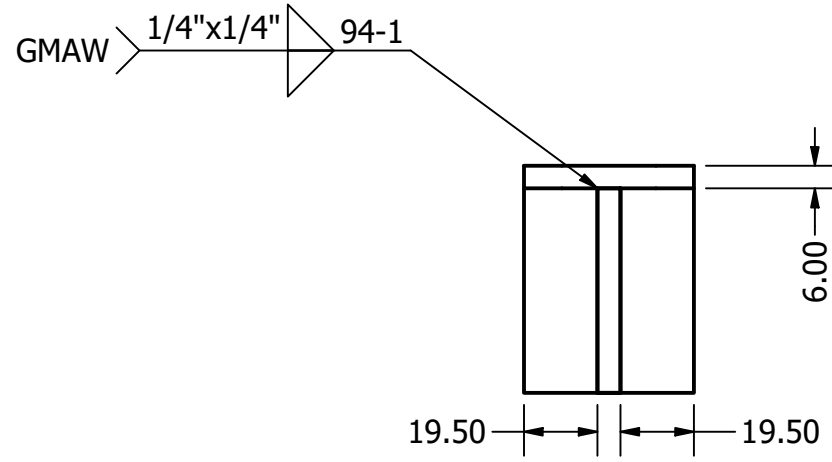
8 7 6 5 4 3 2 1

8 7 6 5 4 3 2 1

6 1 5 1 4 3 1 2 1 1

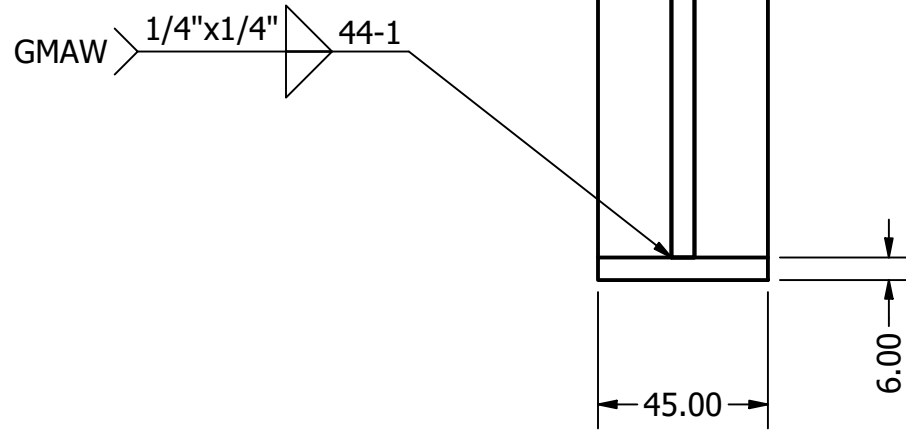
D

D



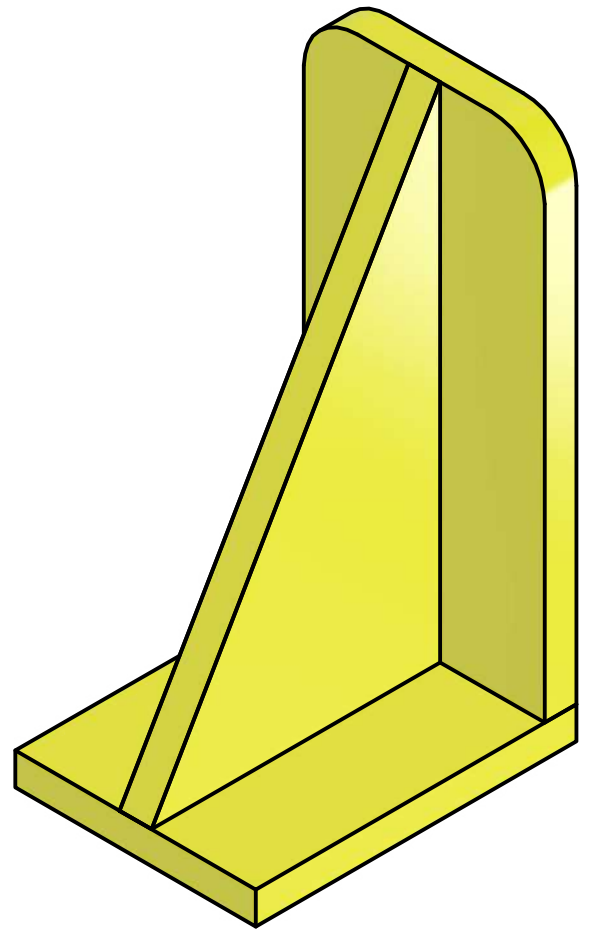
C

C



B

B

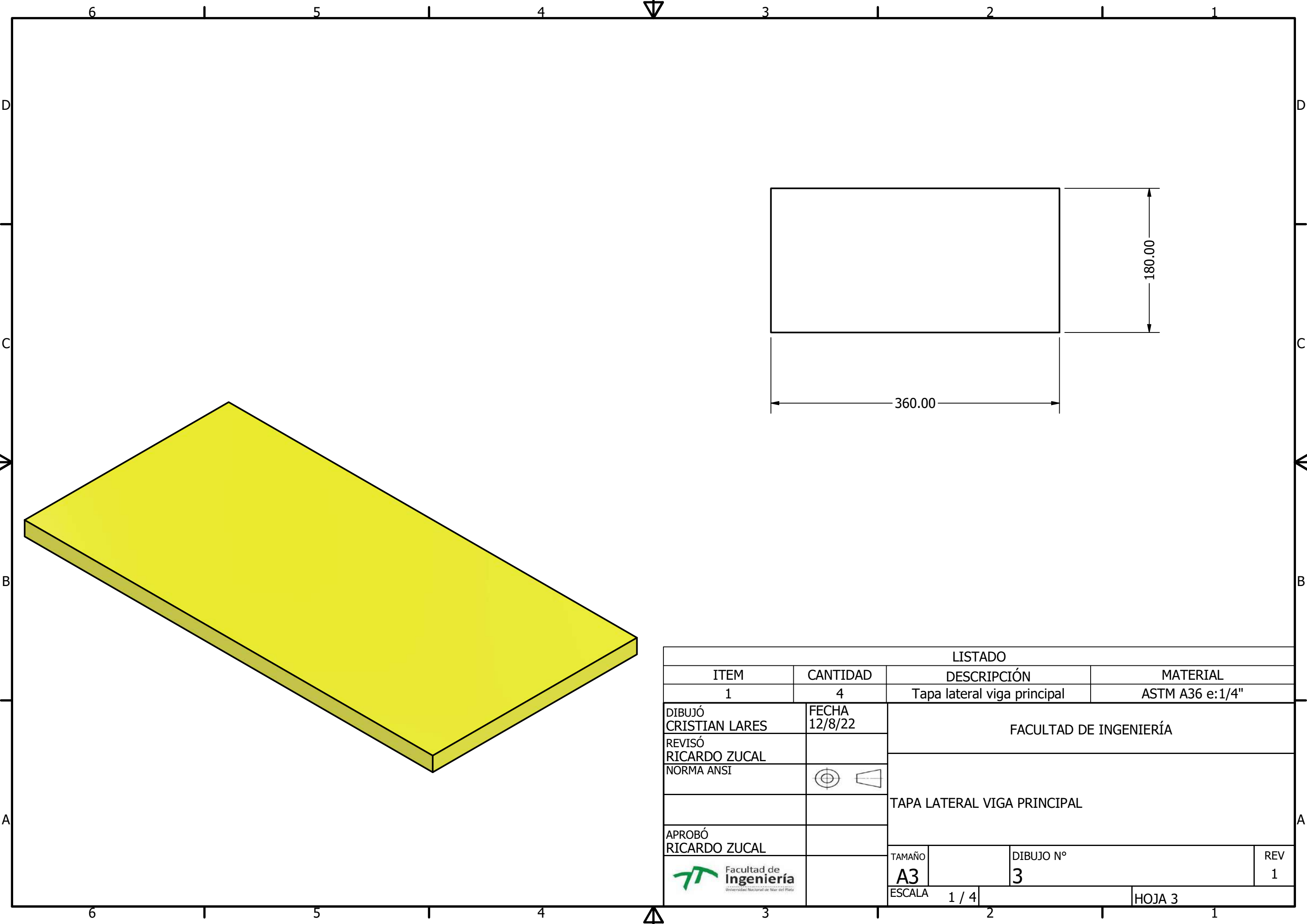



A

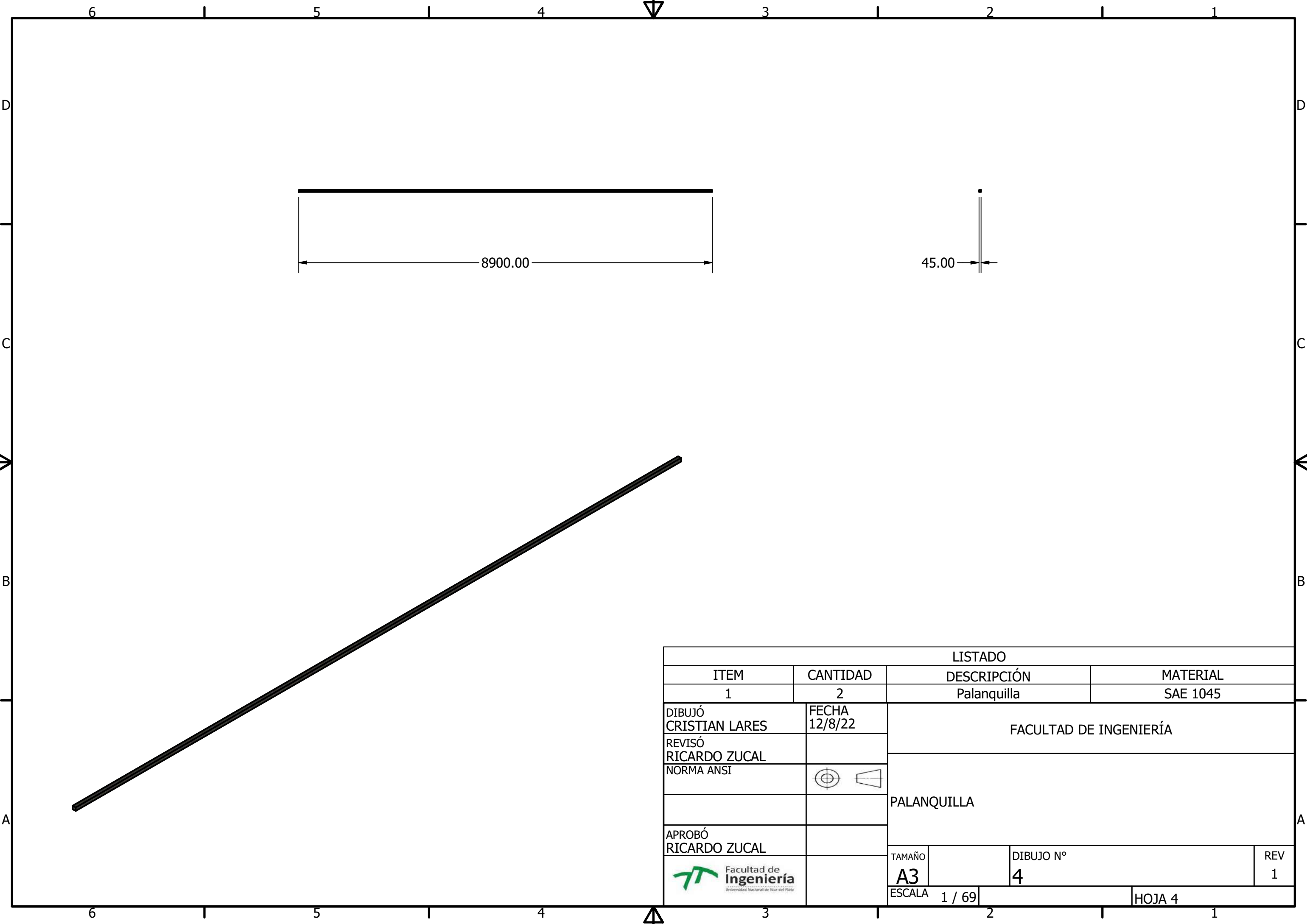
A

6 1 5 1 4 3 1 2 1 1

| LISTADO                  |          |                     |                        |          |
|--------------------------|----------|---------------------|------------------------|----------|
| ITEM                     | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN         | MATERIAL               |          |
| 1                        | 4        | Tope                | ASTM A36 e:1/4"        |          |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES |          | FECHA<br>12/8/22    | FACULTAD DE INGENIERÍA |          |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                     |                        |          |
| NORMA ANSI               |          |                     | TOPE DE VIGA           |          |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                     |                        |          |
|                          |          | TAMAÑO<br><b>A3</b> | DIBUJO N°<br><b>2</b>  | REV<br>1 |
|                          |          | ESCALA<br>1 : 2     | HOJA 2                 |          |



| LISTADO   |          |                             |                             |          |
|---|----------|-----------------------------|-----------------------------|----------|
| ITEM  | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN                 | MATERIAL                    |          |
| 1   | 4        | Tapa lateral viga principal | ASTM A36 e:1/4"             |          |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES  |          | FECHA<br>12/8/22            | FACULTAD DE INGENIERÍA      |          |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL   |          |                             |                             |          |
| NORMA ANSI  |          | ⊕ ◁                         | TAPA LATERAL VIGA PRINCIPAL |          |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL   |          |                             |                             |          |
|  |          | TAMAÑO<br><b>A3</b>         | DIBUJO N°<br><b>3</b>       | REV<br>1 |
|   |          | ESCALA<br>1 / 4             | HOJA 3                      |          |



| LISTADO                  |          |                     |                        |
|--------------------------|----------|---------------------|------------------------|
| ITEM                     | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN         | MATERIAL               |
| 1                        | 2        | Palanquilla         | SAE 1045               |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES |          | FECHA<br>12/8/22    | FACULTAD DE INGENIERÍA |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                     |                        |
| NORMA ANSI               |          |                     | PALANQUILLA            |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                     |                        |
|                          |          | TAMAÑO<br><b>A3</b> | DIBUJO N°<br><b>4</b>  |
|                          |          | ESCALA<br>1 / 69    | REV<br>1               |
|                          |          |                     | HOJA 4                 |

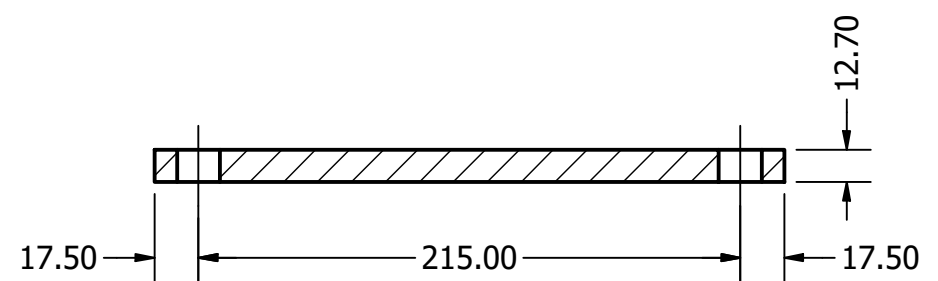


6 1 5 1 4 3 1 2 1

D

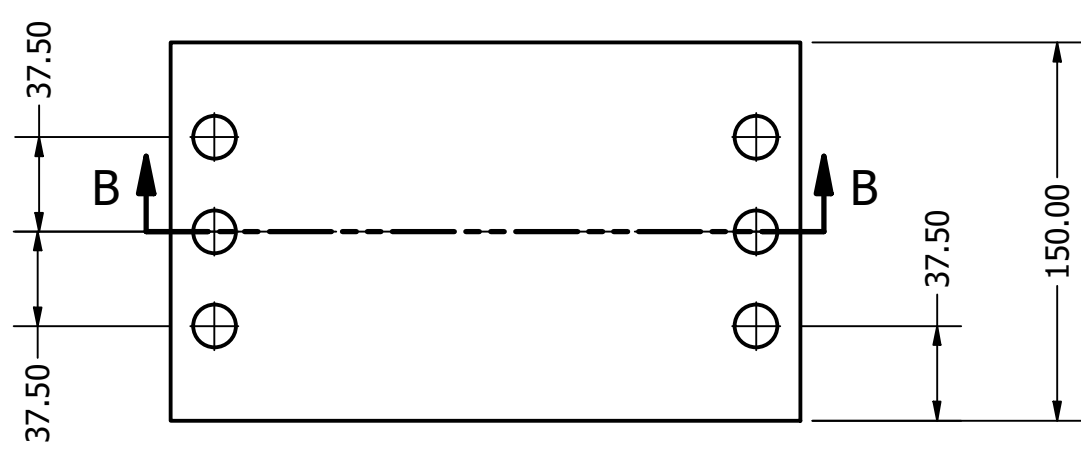
D

SECCIÓN B-B  
ESCALA 1 : 3



C

C



B

B

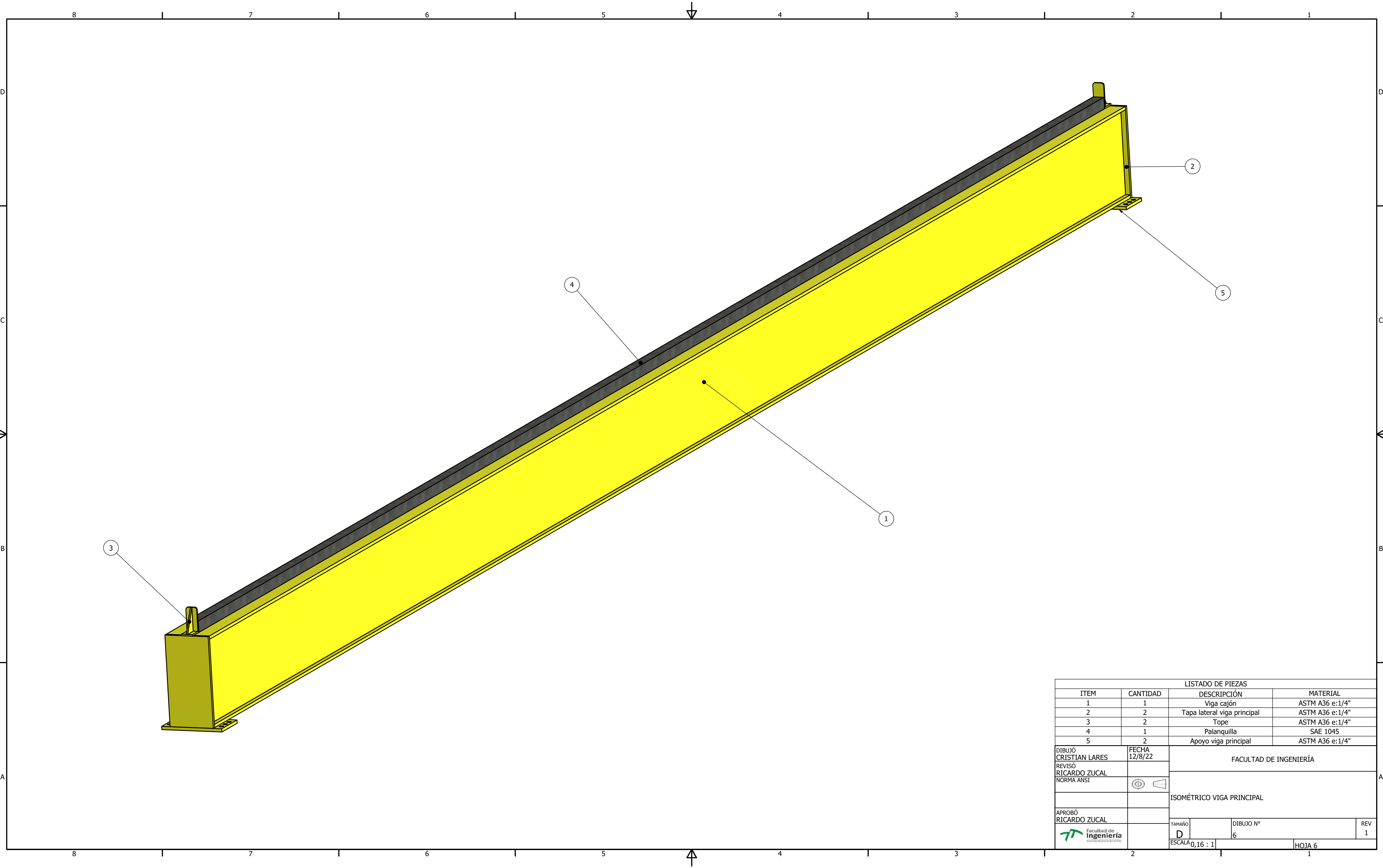


A

A

| LISTADO                  |          |                      |                        |
|--------------------------|----------|----------------------|------------------------|
| ITEM                     | CANTIDAD | PART NUMBER          | DESCRIPTION            |
| 1                        | 2        | Apoyo viga principal | ASTM A 36 e:1/4"       |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES |          | FECHA<br>12/8/22     | FACULTAD DE INGENIERÍA |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                      |                        |
| NORMA ANSI               |          |                      | APOYO VIGA PRINCIPAL   |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                      |                        |
|                          |          |                      |                        |
| TAMAÑO<br><b>A3</b>      |          | DIBUJO N°<br>5       | REV<br>1               |
| ESCALA<br>1 : 3          |          |                      | HOJA 5                 |

6 1 5 1 4 3 1 2 1

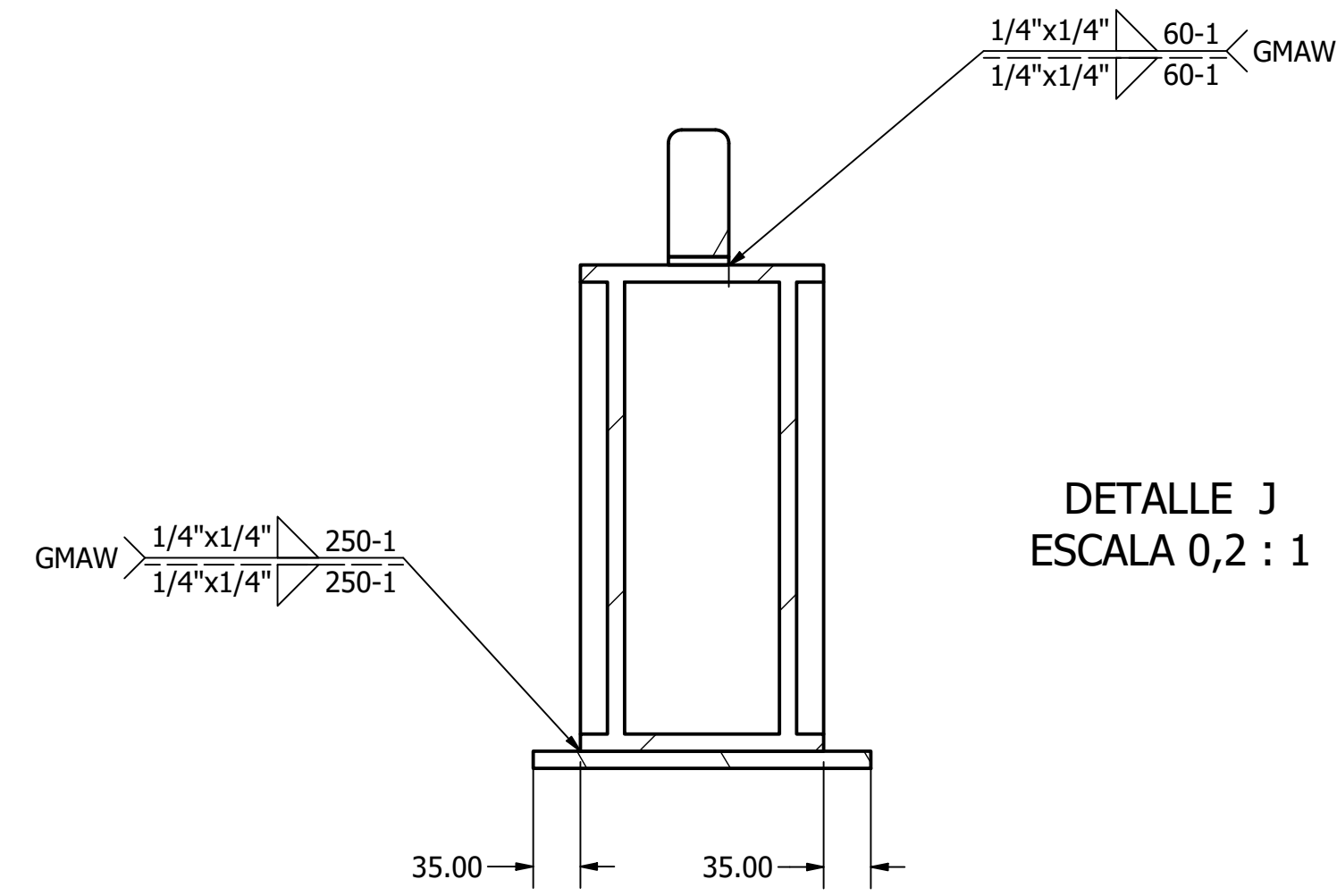
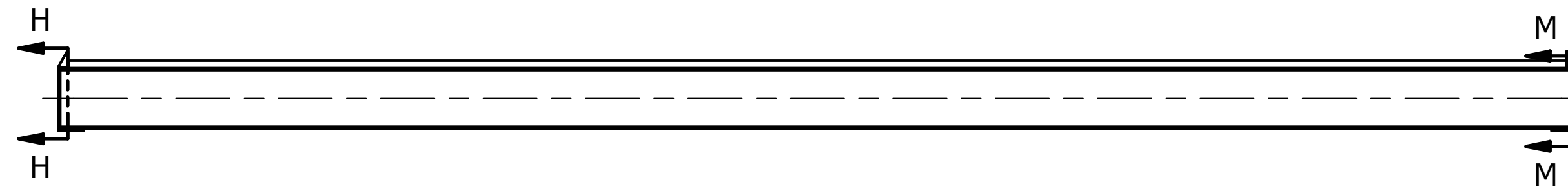
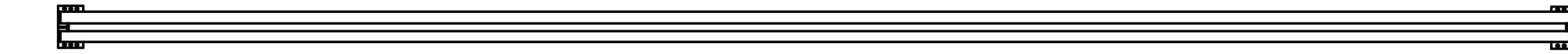
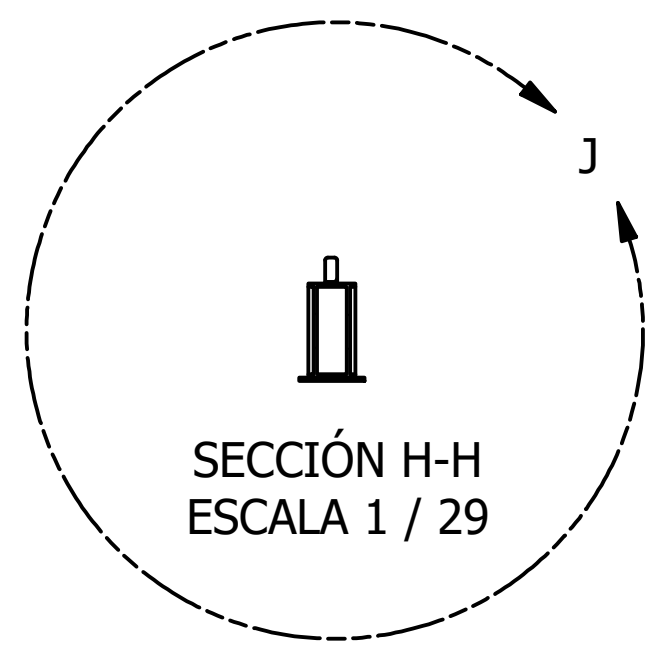


| LISTADO DE PIEZAS |          |                             |                 |
|-------------------|----------|-----------------------------|-----------------|
| ITEM              | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN                 | MATERIAL        |
| 1                 | 1        | Viga cajón                  | ASTM A36 e:1/4" |
| 2                 | 2        | Tapa lateral viga principal | ASTM A36 e:1/4" |
| 3                 | 2        | Tope                        | ASTM A36 e:1/4" |
| 4                 | 1        | Palanquilla                 | SAE 1045        |
| 5                 | 2        | Apoyo viga principal        | ASTM A36 e:1/4" |

|                          |                  |                           |                |
|--------------------------|------------------|---------------------------|----------------|
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES | FECHA<br>12/8/22 | FACULTAD DE INGENIERÍA    |                |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |                  | ISOMÉTRICO VIGA PRINCIPAL |                |
| NORMA ANSI               |                  | TAMAÑO<br>D               | DIBUJO N°<br>6 |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |                  | ESCALA<br>0,16 : 1        | REV<br>1       |





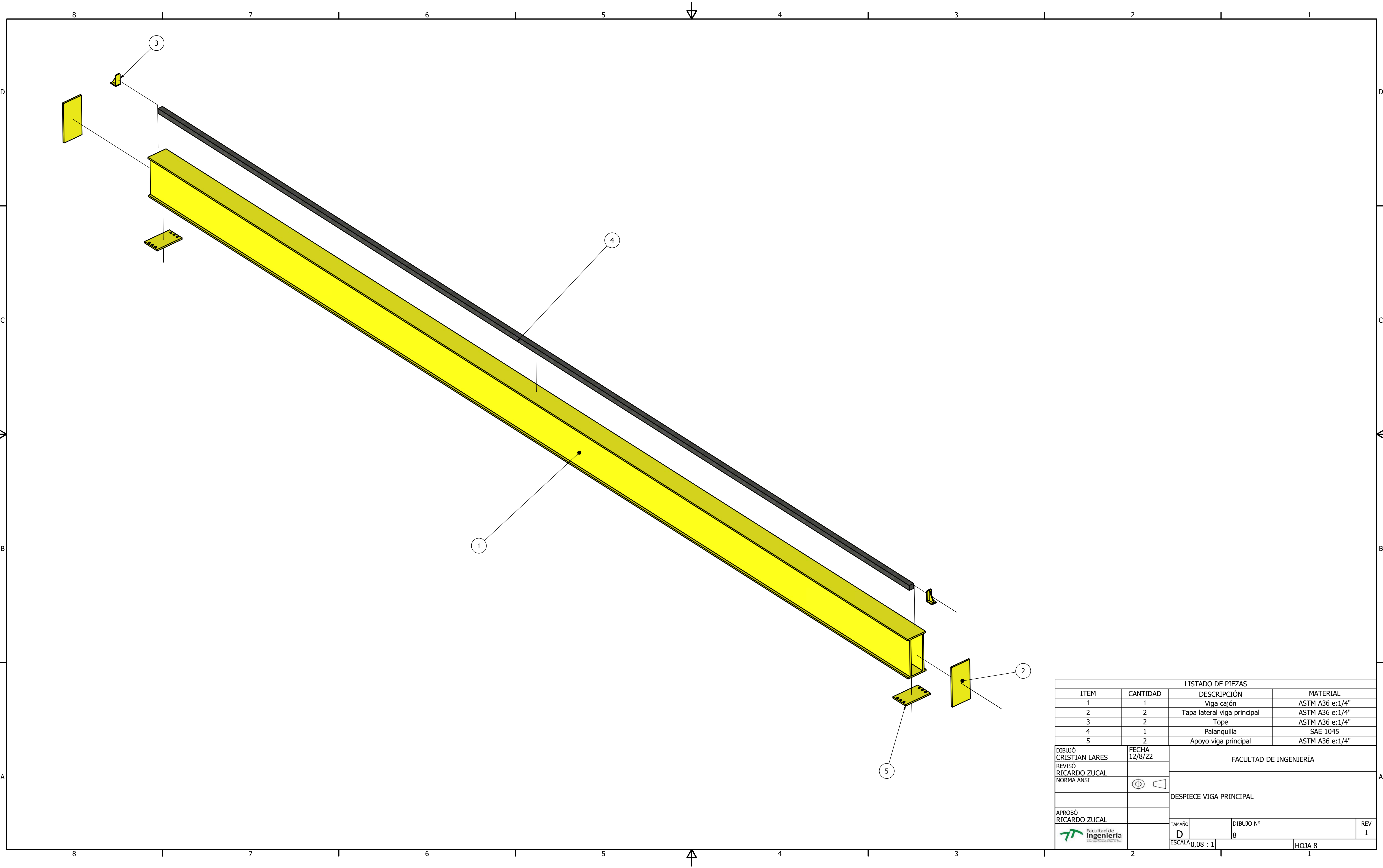
| LISTADO DE PIEZAS |          |                             |                 |
|-------------------|----------|-----------------------------|-----------------|
| ITEM              | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN                 | MATERIAL        |
| 1                 | 1        | Viga cajón                  | ASTM A36 e:1/4" |
| 2                 | 2        | Tapa lateral viga principal | ASTM A36 e:1/4" |
| 3                 | 2        | Tope                        | ASTM A36 e:1/4" |
| 4                 | 1        | Palanquilla                 | SAE 1045        |
| 5                 | 2        | Apoyo viga principal        | ASTM A36 e:1/4" |

|                          |                  |                         |                |
|--------------------------|------------------|-------------------------|----------------|
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES | FECHA<br>12/8/22 | FACULTAD DE INGENIERÍA  |                |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |                  | DESPIECE VIGA PRINCIPAL |                |
| NORMA ANSI               |                  | TAMAÑO<br>D             | DIBUJO N°<br>7 |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |                  | ESCALA<br>1 / 29        | REV<br>1       |





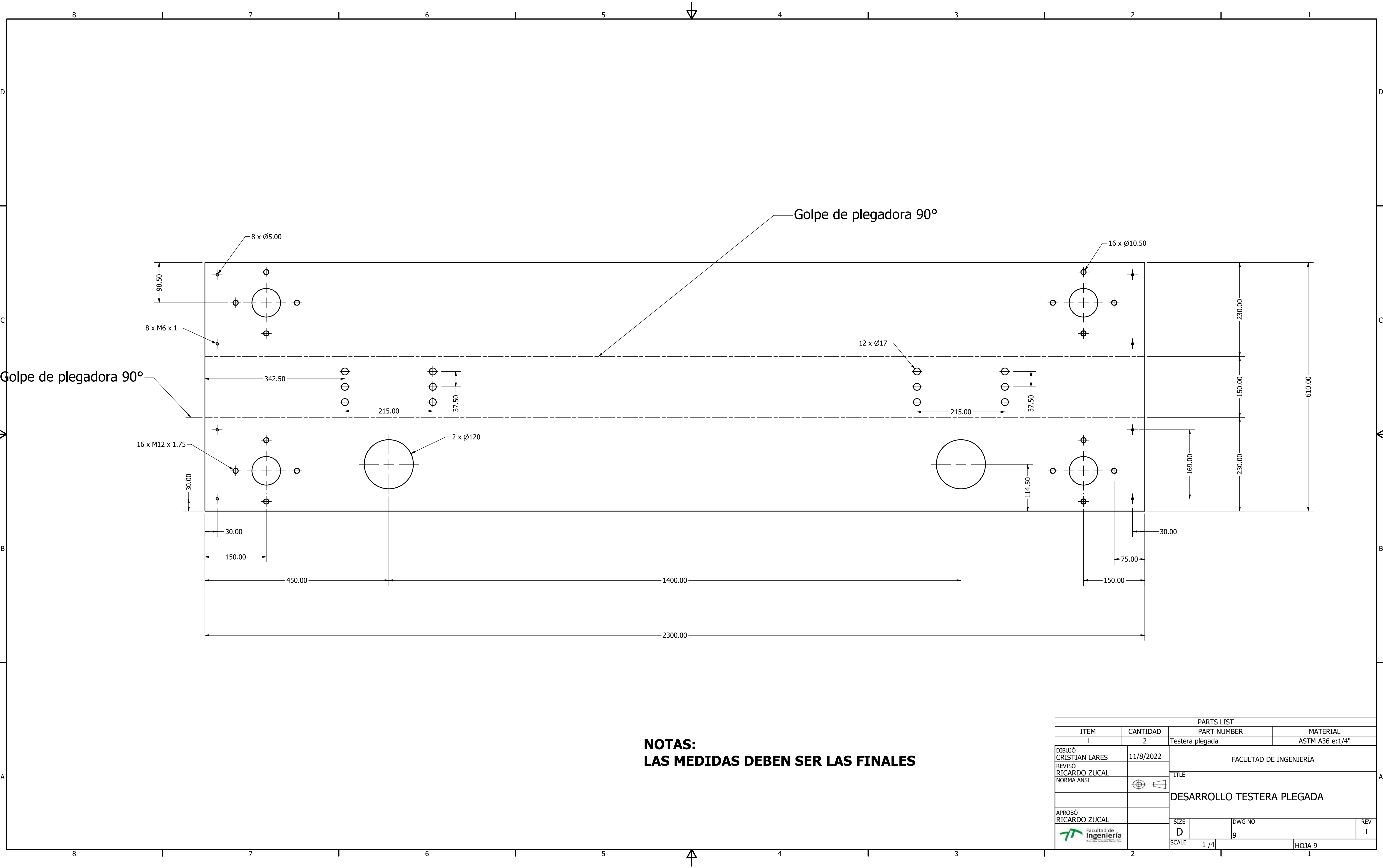


| LISTADO DE PIEZAS |          |                             |                 |
|-------------------|----------|-----------------------------|-----------------|
| ITEM              | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN                 | MATERIAL        |
| 1                 | 1        | Viga cajón                  | ASTM A36 e:1/4" |
| 2                 | 2        | Tapa lateral viga principal | ASTM A36 e:1/4" |
| 3                 | 2        | Tope                        | ASTM A36 e:1/4" |
| 4                 | 1        | Palanquilla                 | SAE 1045        |
| 5                 | 2        | Apoyo viga principal        | ASTM A36 e:1/4" |

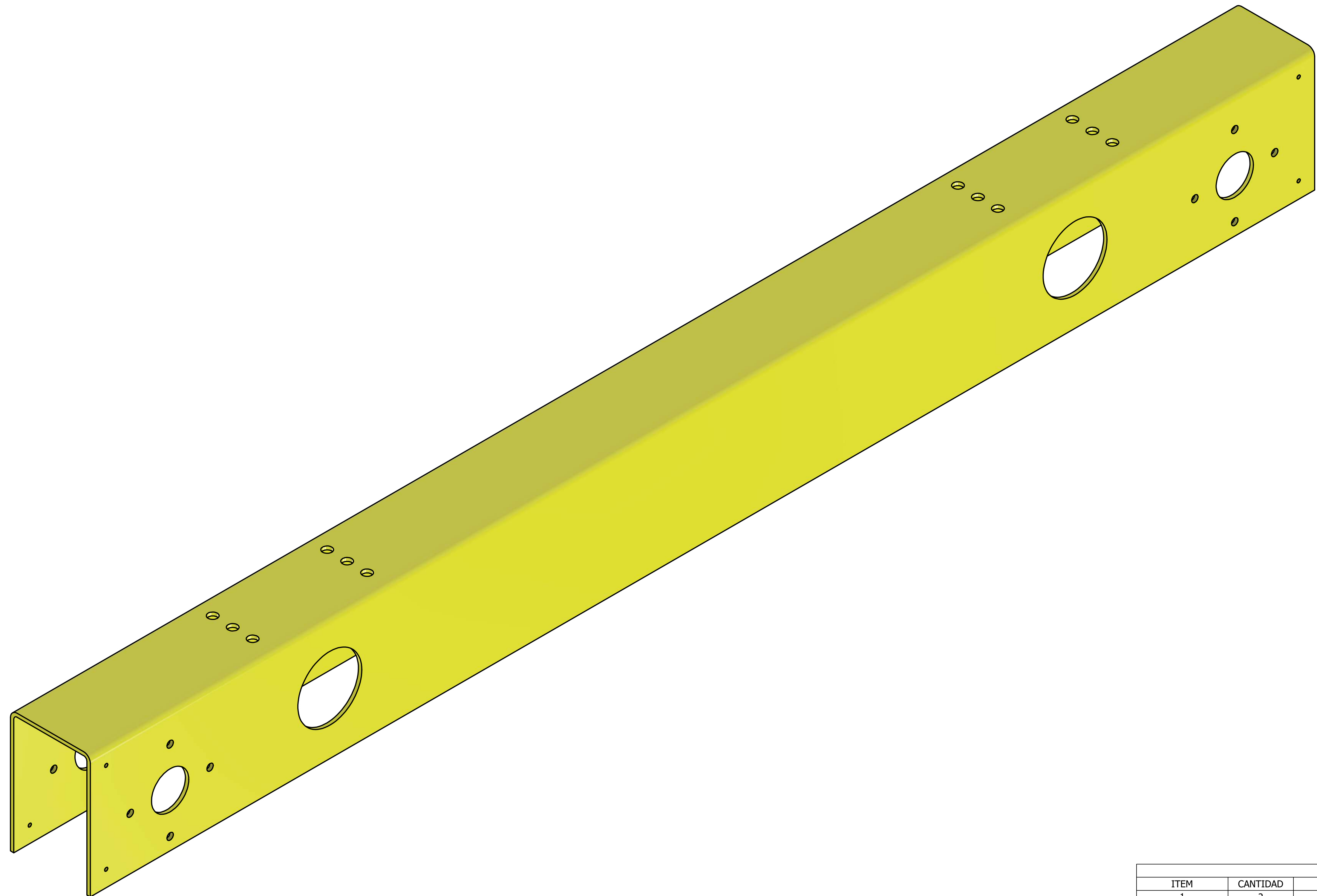
  

|                          |                  |                         |                |
|--------------------------|------------------|-------------------------|----------------|
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES | FECHA<br>12/8/22 | FACULTAD DE INGENIERÍA  |                |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |                  | DESPIECE VIGA PRINCIPAL |                |
| NORMA ANSI               |                  | TAMAÑO<br>D             | DIBUJO N°<br>8 |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |                  | ESCALA<br>0,08 : 1      | REV<br>1       |



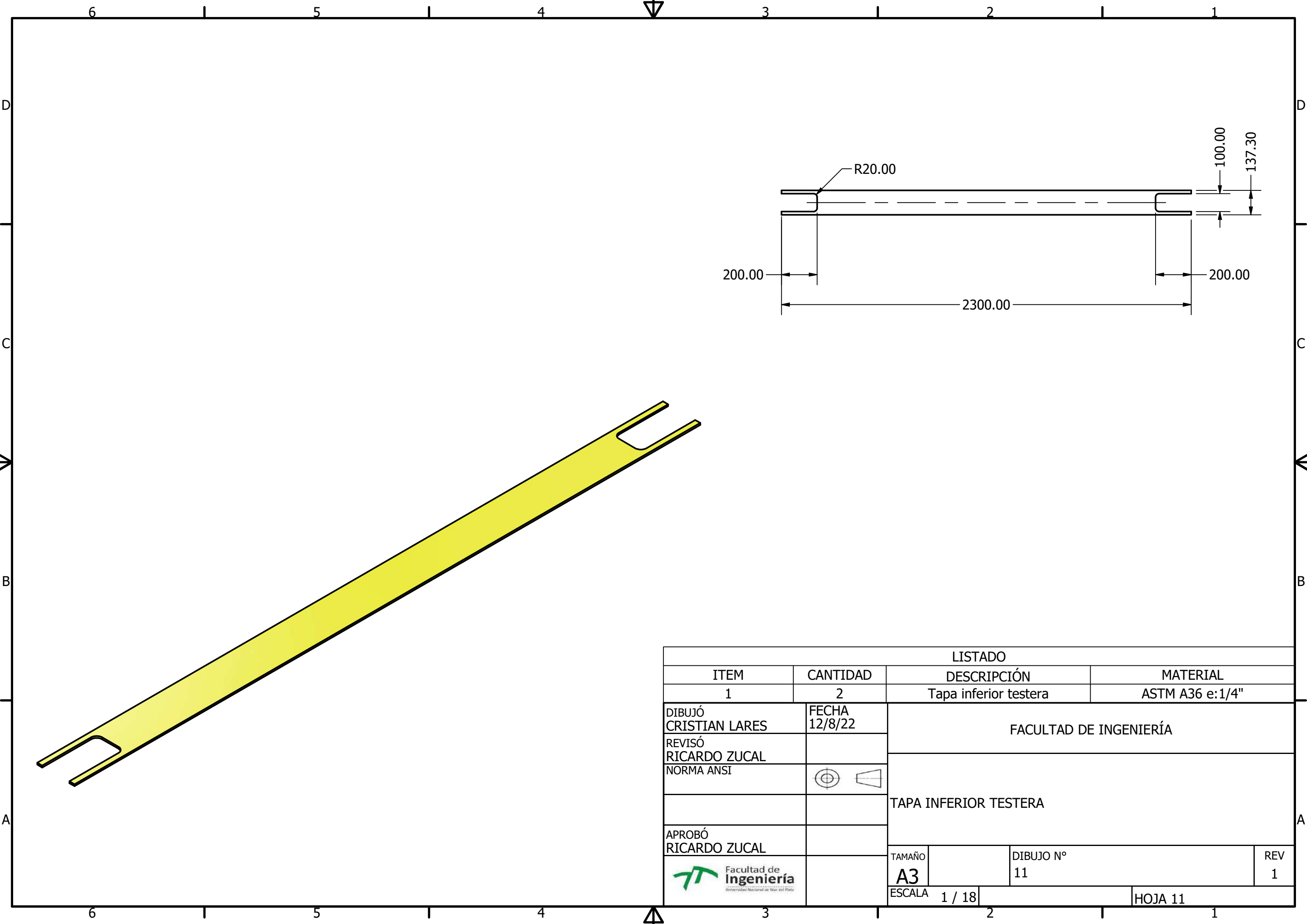


| PARTS LIST               |          |                            |                 |
|--------------------------|----------|----------------------------|-----------------|
| ITEM                     | CANTIDAD | PART NUMBER                | MATERIAL        |
| 1                        | 2        | Testera plegada            | ASTM A36 e:1/4" |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES |          | 11/8/2022                  |                 |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          | FACULTAD DE INGENIERÍA     |                 |
| NORMA ANSI               |          | TITLE                      |                 |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          | DESARROLLO TESTERA PLEGADA |                 |
| Facultad de Ingeniería   |          | SIZE<br>D                  | DWG NO<br>9     |
| SCALE<br>1/4             |          | REV<br>1                   |                 |
|                          |          | HOJA 9                     |                 |



| LISTADO                  |           |                            |                  |
|--------------------------|-----------|----------------------------|------------------|
| ITEM                     | CANTIDAD  | DESCRIPCIÓN                | MATERIAL         |
| 1                        | 2         | Testera plegada            | ASTM A 36 e:1/4" |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES | 11/8/2022 | FACULTAD DE INGENIERÍA     |                  |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |           |                            |                  |
| NORMA ANSI               |           | TITLE                      |                  |
|                          |           | ISOMÉTRICO PLEGADO TESTERA |                  |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |           | SIZE<br>D                  | DIBUJO N°<br>10  |
|                          |           | SCALE<br>1 / 3             | REV<br>1         |
|                          |           |                            | HOJA 10          |





| LISTADO                  |          |                       |                        |
|--------------------------|----------|-----------------------|------------------------|
| ITEM                     | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN           | MATERIAL               |
| 1                        | 2        | Tapa inferior testera | ASTM A36 e:1/4"        |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES |          | FECHA<br>12/8/22      | FACULTAD DE INGENIERÍA |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                       |                        |
| NORMA ANSI               |          |                       | TAPA INFERIOR TESTERA  |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                       |                        |
|                          |          | TAMAÑO<br><b>A3</b>   | DIBUJO N°<br>11        |
|                          |          | ESCALA<br>1 / 18      | REV<br>1               |
|                          |          |                       | HOJA 11                |

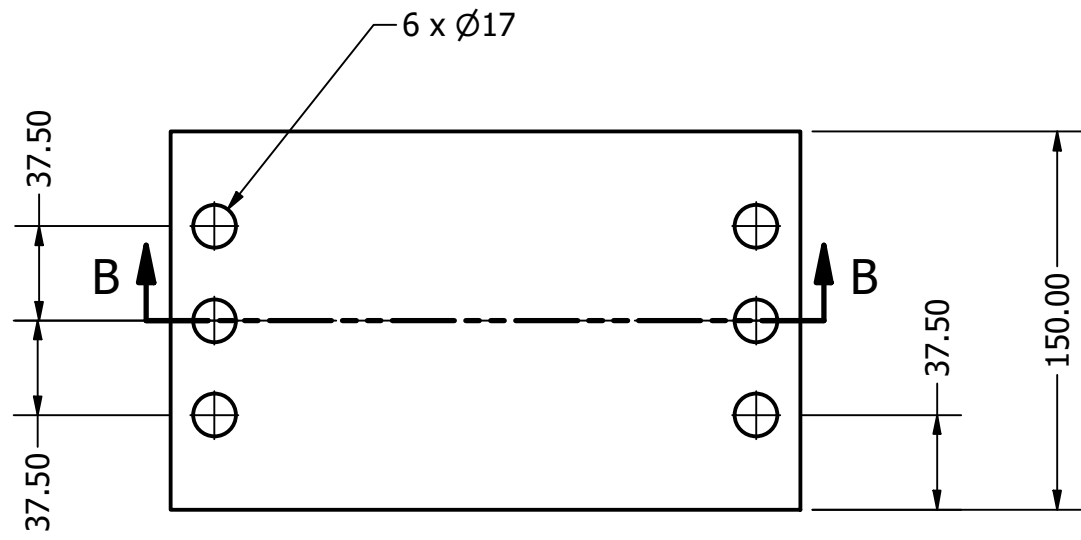
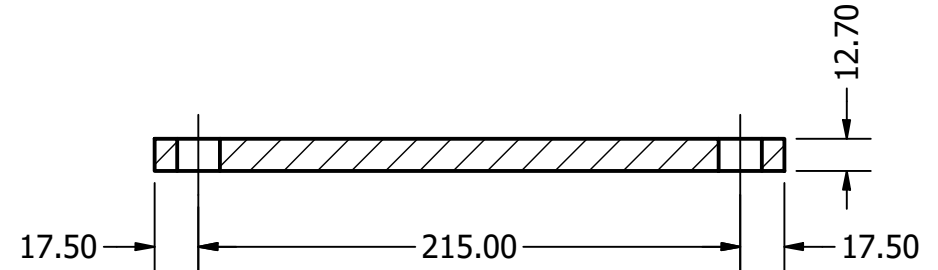


6 1 5 1 4 3 1 2 1 1

D

D

SECCIÓN B-B  
ESCALA 1 : 3



C

C

B

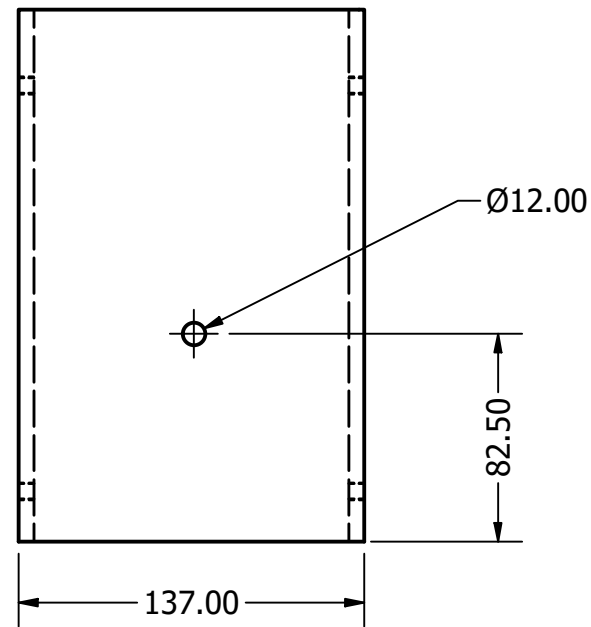
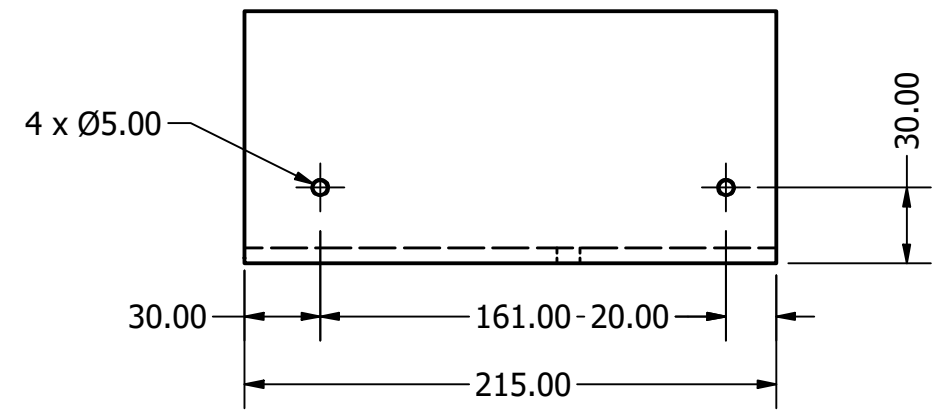
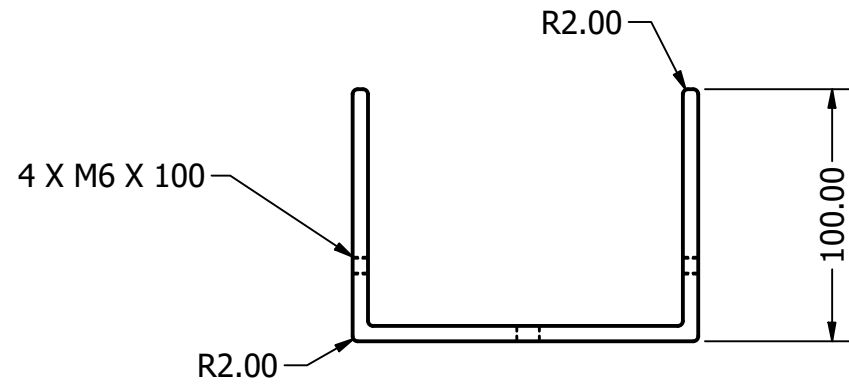
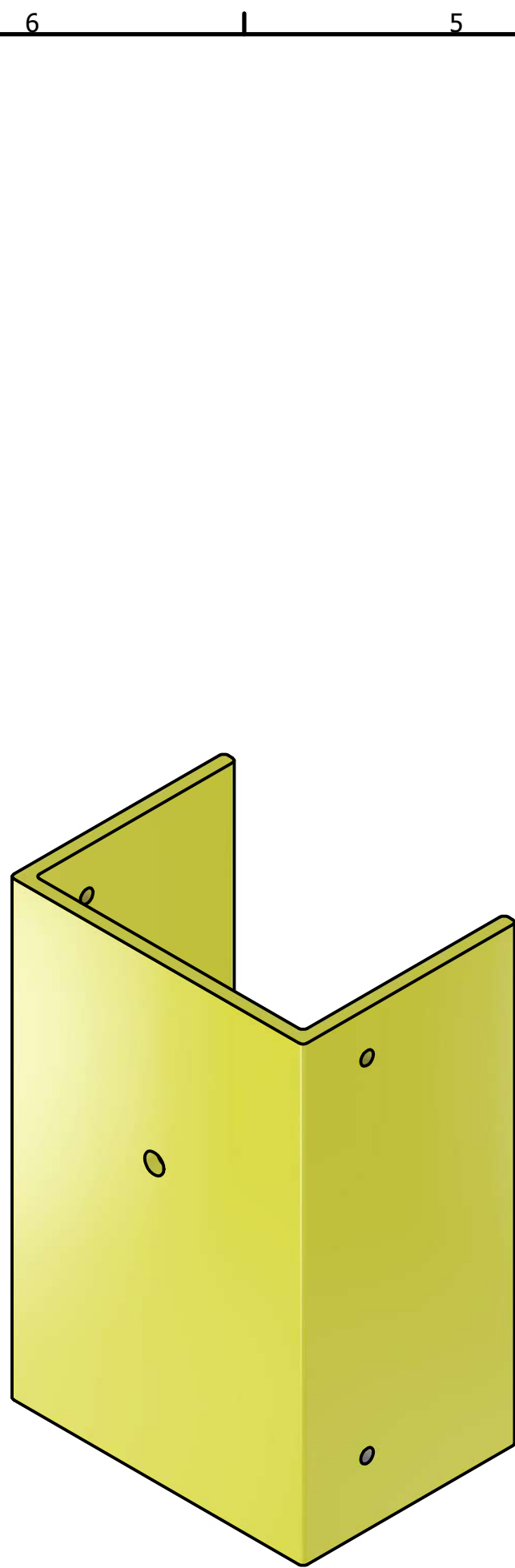
B


A

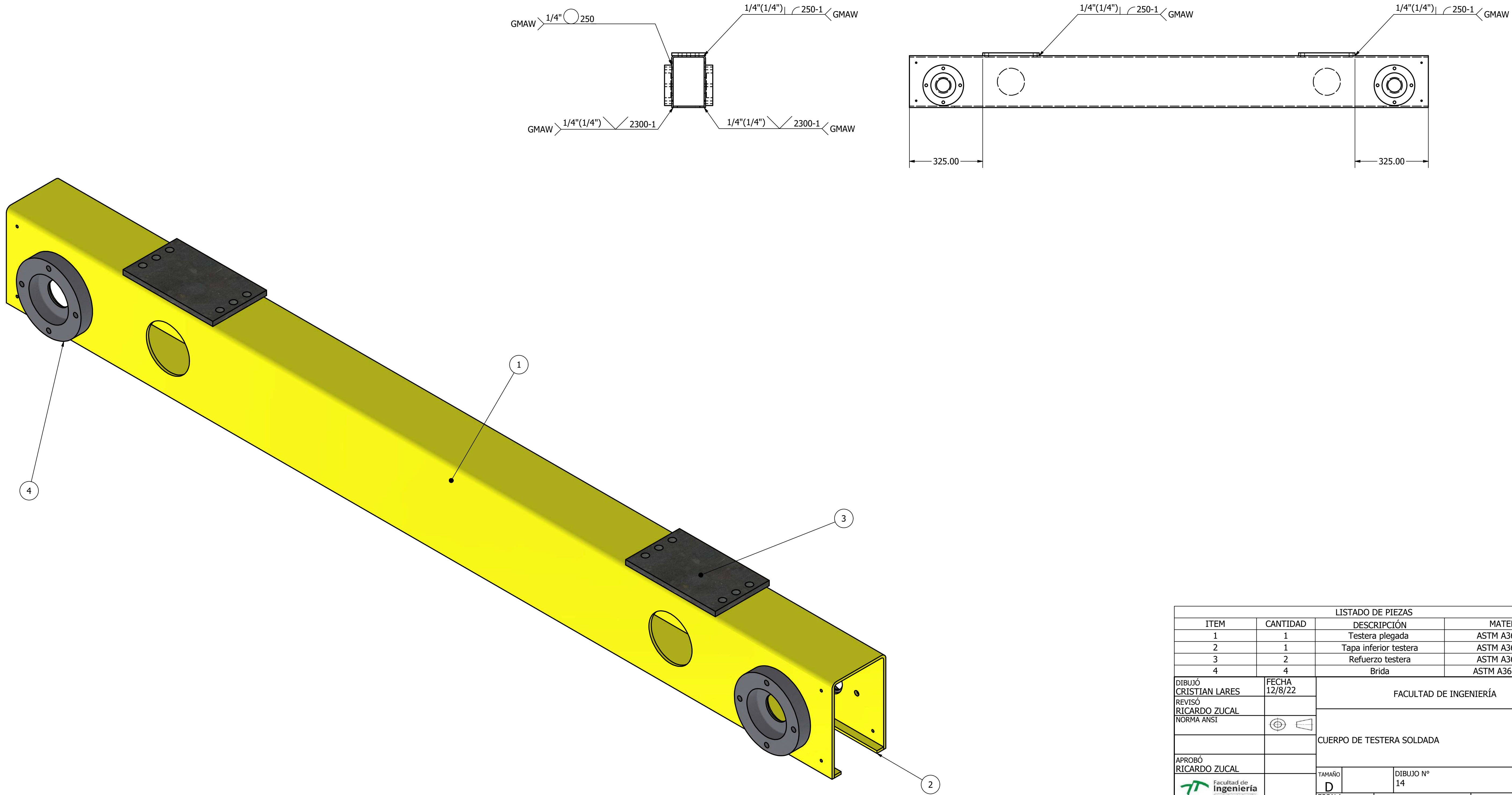
A

6 1 5 1 4 3 1 2 1 1

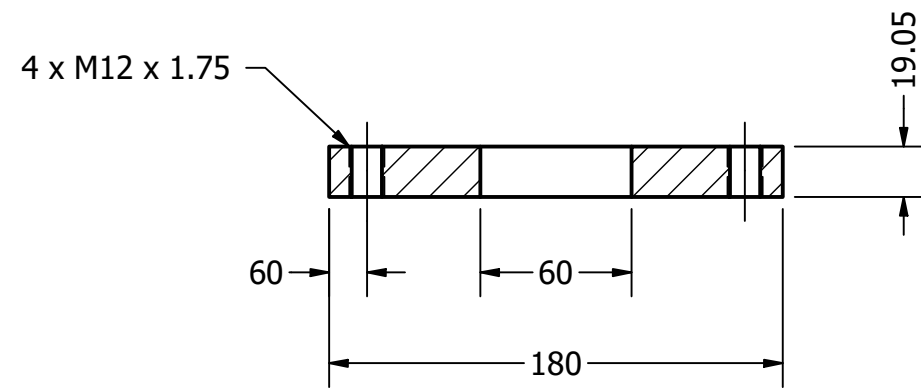
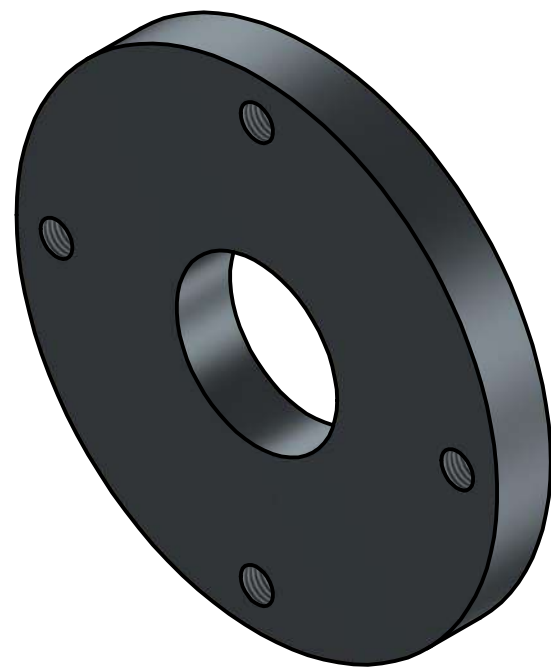
| LISTADO                  |          |                     |                        |
|--------------------------|----------|---------------------|------------------------|
| ITEM                     | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN         | MATERIAL               |
| 1                        | 4        | Refuerzos testera   | ASTM A36 e: 1/4"       |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES |          | FECHA<br>12/8/22    | FACULTAD DE INGENIERÍA |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                     |                        |
| NORMA ANSI               |          |                     | REFUERZO TESTERA       |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                     |                        |
|                          |          | TAMAÑO<br><b>A3</b> | DIBUJO N°<br>12        |
|                          |          | ESCALA<br>1 : 3     | REV<br>1               |
|                          |          |                     | HOJA 12                |



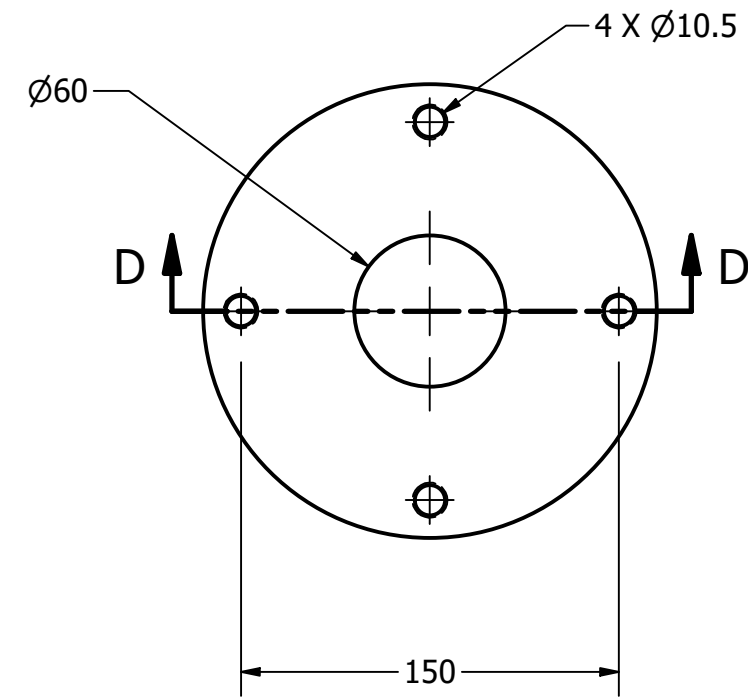
| PARTS LIST  |          |                        |                  |
|---|----------|------------------------|------------------|
| ITEM  | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN            | MATERIAL         |
| 1   | 4        | Tapa lateral testera   | ASTM A 36 e:1/4" |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES  |          | FECHA<br>12/8/22       |                  |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL   |          | FACULTAD DE INGENIERÍA |                  |
| NORMA ANSI  |          | TAPA LATERAL TESTERA   |                  |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL   |          | TAMAÑO<br>A3           |                  |
|  |          | DIBUJO N°<br>13        |                  |
| ESCALA<br>1 / 3   |          | REV<br>1               |                  |
|   |          | HOJA 13                |                  |




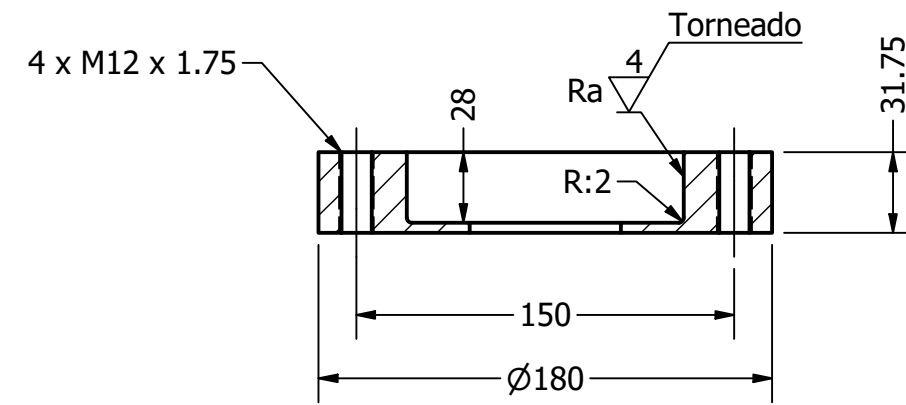
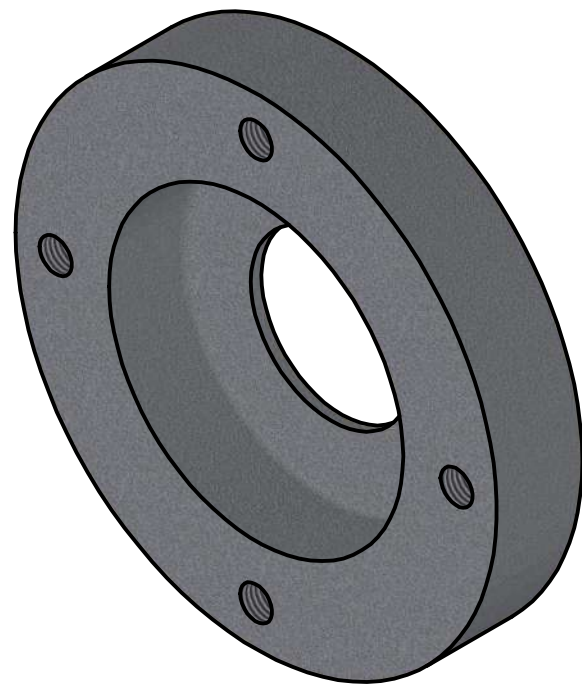
| LISTADO DE PIEZAS        |                  |                           |                   |          |
|--------------------------|------------------|---------------------------|-------------------|----------|
| ITEM                     | CANTIDAD         | DESCRIPCIÓN               | MATERIAL          |          |
| 1                        | 1                | Testera plegada           | ASTM A36 e:1/4"   |          |
| 2                        | 1                | Tapa inferior testera     | ASTM A36 e:1/4"   |          |
| 3                        | 2                | Refuerzo testera          | ASTM A36 e:1/4"   |          |
| 4                        | 4                | Brida                     | ASTM A36 e:1 1/4" |          |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES | FECHA<br>12/8/22 | FACULTAD DE INGENIERÍA    |                   |          |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |                  |                           |                   |          |
| NORMA ANSI               |                  | CUERPO DE TESTERA SOLDADA |                   |          |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |                  | TAMAÑO<br>D               | DIBUJO N°<br>14   | REV<br>1 |
|                          |                  | ESCALA<br>1 / 9           |                   | HOJA 14  |



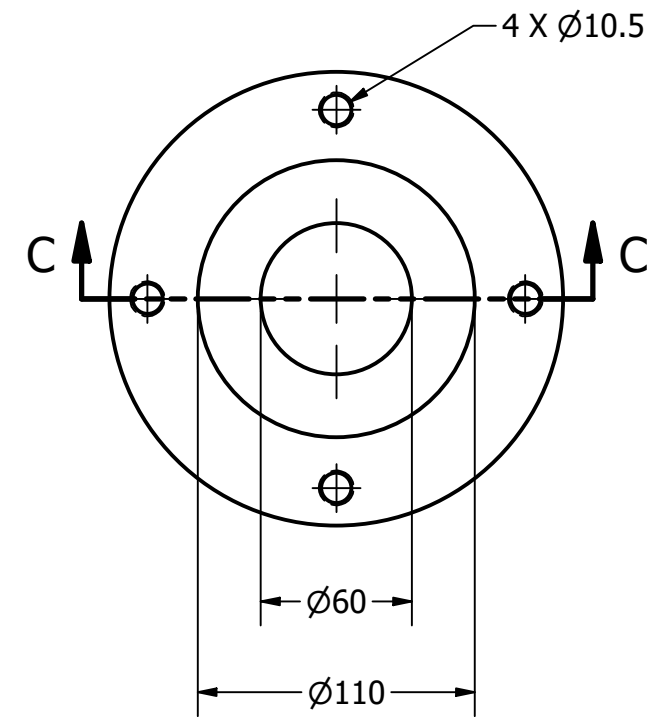
SECCIÓN D-D  
ESCALA 1 : 3



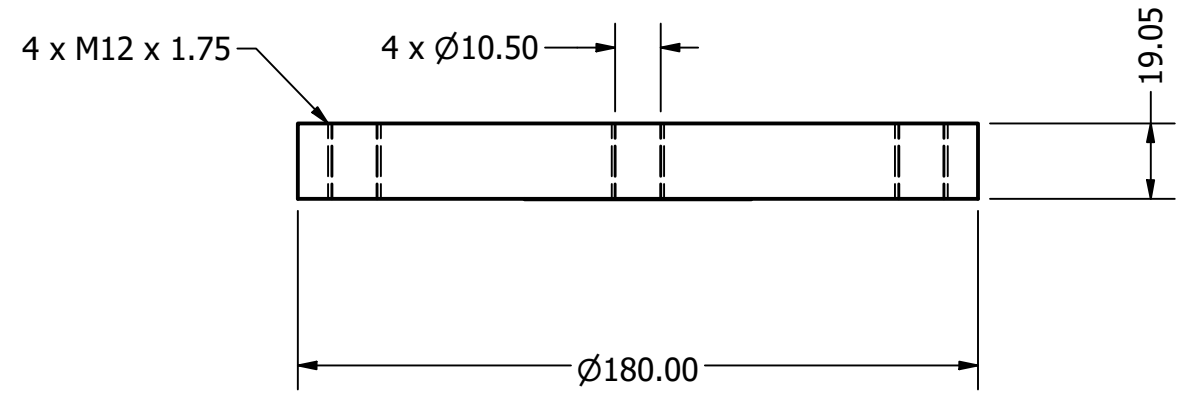
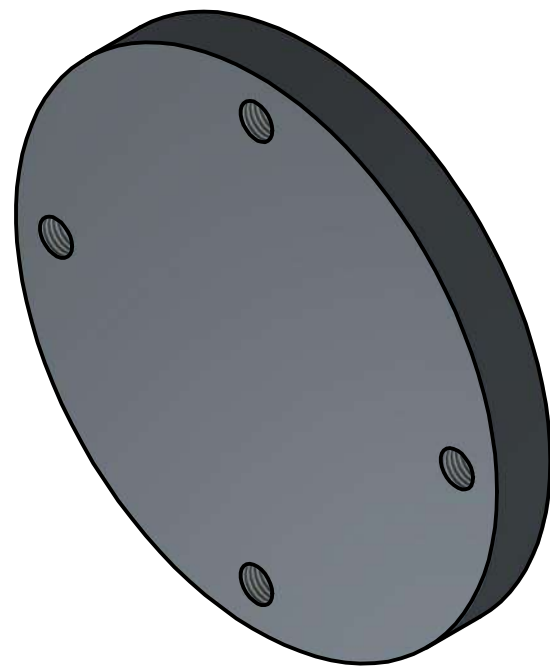
| LISTADO   |          |                        |                  |
|---|----------|------------------------|------------------|
| ITEM  | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN            | MATERIAL         |
| 1   | 2        | Tapa reductor          | ASTM A36 e: 3/4" |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES  |          | FECHA<br>12/8/22       |                  |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL   |          | FACULTAD DE INGENIERÍA |                  |
| NORMA ANSI  |          | TAPA DE BRIDA REDUCTOR |                  |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL   |          | TAMAÑO<br>A3           |                  |
|  |          | DIBUJO N°<br>15        |                  |
| ESCALA<br>1 : 3   |          | REV<br>1               |                  |
|   |          | HOJA 15                |                  |



SECCIÓN C-C  
ESCALA 1 / 3

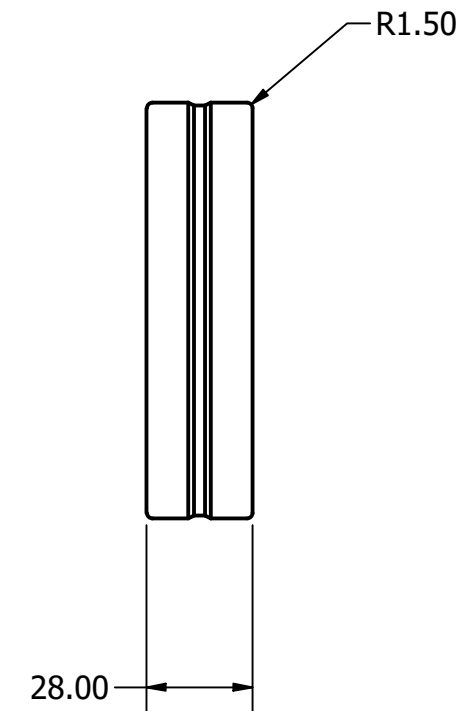
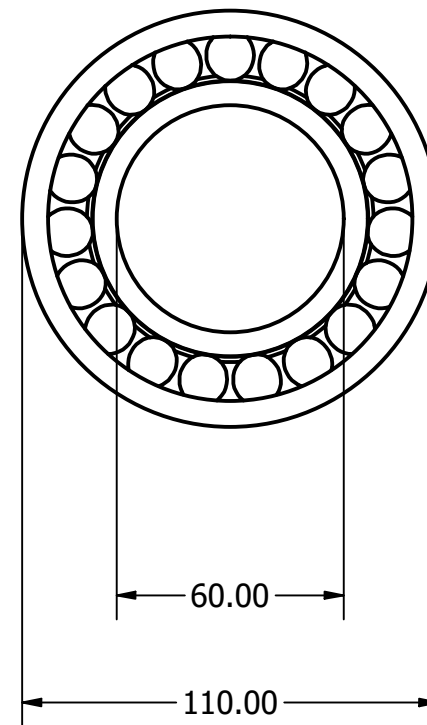
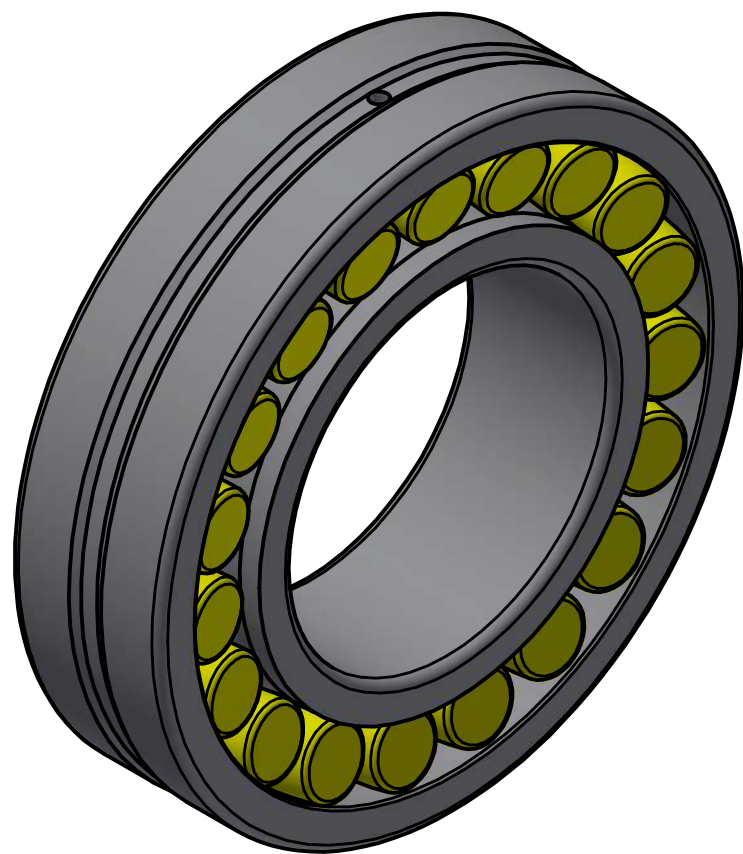



| LISTADO                  |                  |                        |                     |
|--------------------------|------------------|------------------------|---------------------|
| ITEM                     | CANTIDAD         | DESCRIPCIÓN            | MATERIAL            |
| 1                        | 6                | Brida                  | ASTM A 36 e: 1 1/4" |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES | FECHA<br>12/8/22 | FACULTAD DE INGENIERÍA |                     |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |                  |                        |                     |
| NORMA ANSI               |                  | BRIDA                  |                     |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |                  |                        |                     |
|                          | TAMAÑO<br>A3     | DIBUJO N°<br>16        | REV<br>1            |
|                          | ESCALA<br>1 / 3  | HOJA 16                |                     |



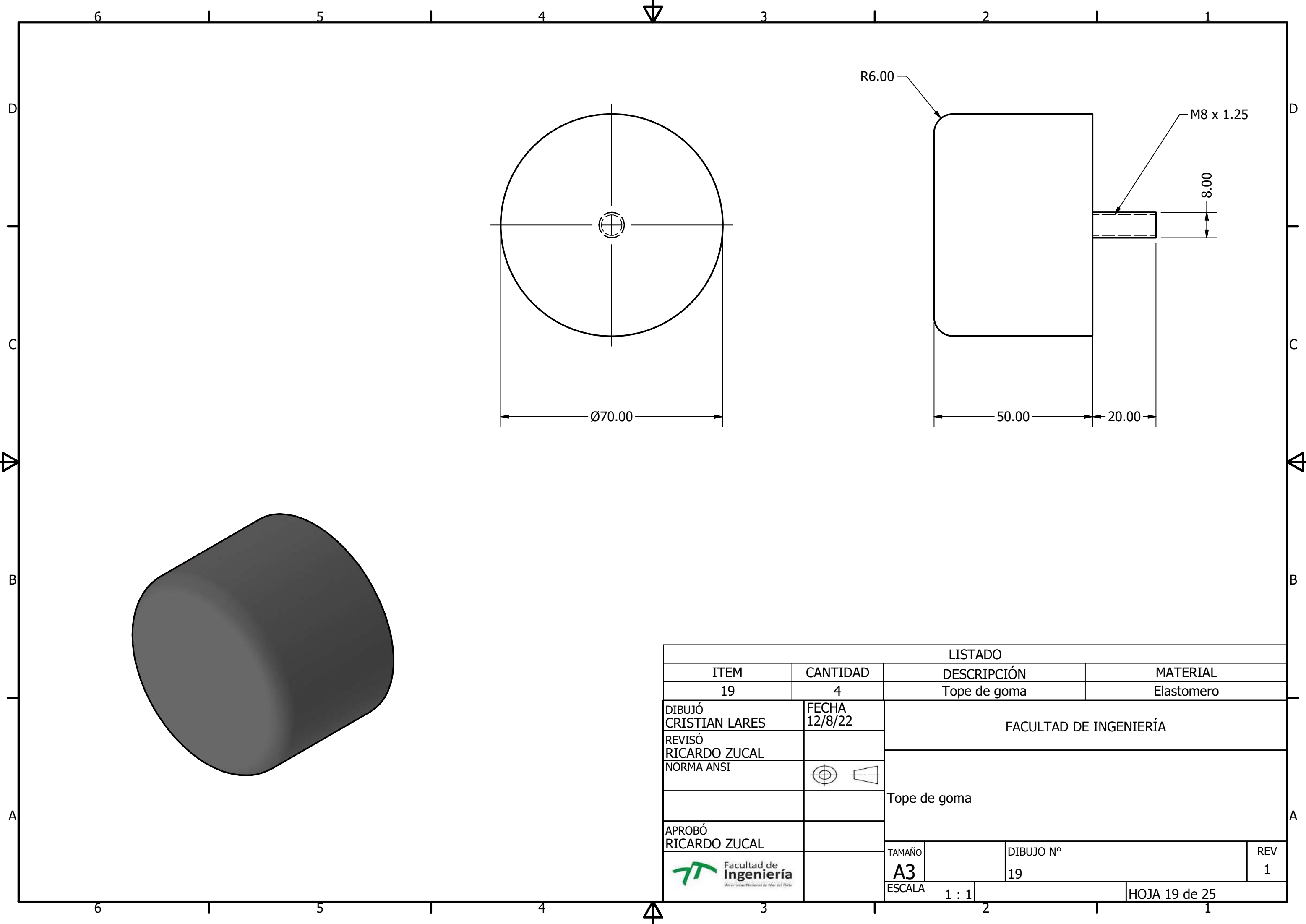
| LISTADO                  |          |                     |                        |
|--------------------------|----------|---------------------|------------------------|
| ITEM                     | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN         | MATERIAL               |
| 1                        | 1        | Brida               | ASTM A 36 e: 3/4"      |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES |          | FECHA<br>12/8/22    | FACULTAD DE INGENIERÍA |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                     |                        |
| NORMA ANSI               |          |                     | TAPA DE BRIDA          |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                     |                        |
|                          |          | TAMAÑO<br><b>A3</b> | DIBUJO N°<br>17        |
|                          |          | ESCALA<br>1 : 2     | REV<br>1               |
|                          |          |                     | HOJA 17                |



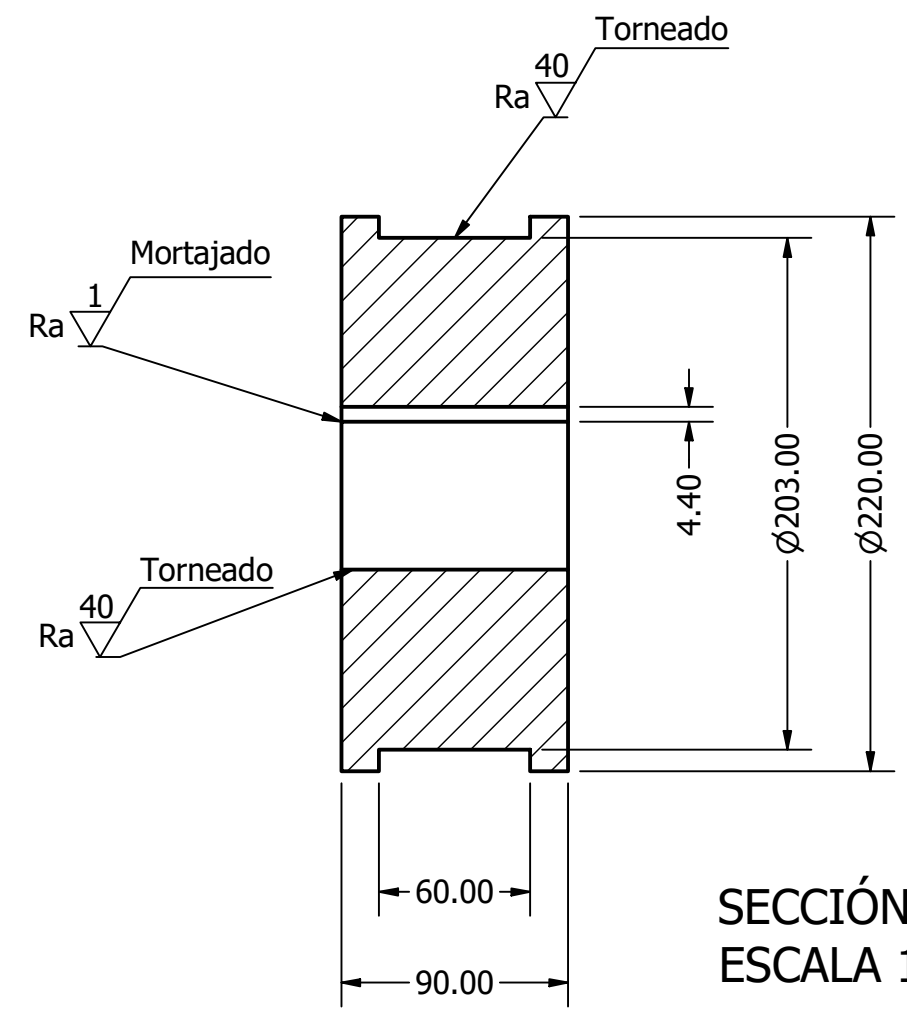
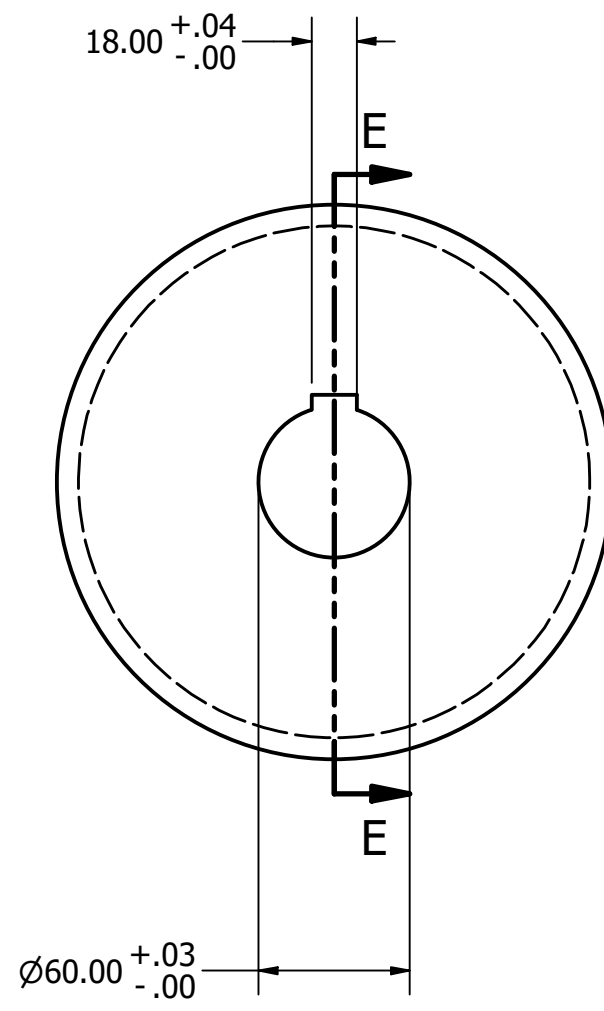
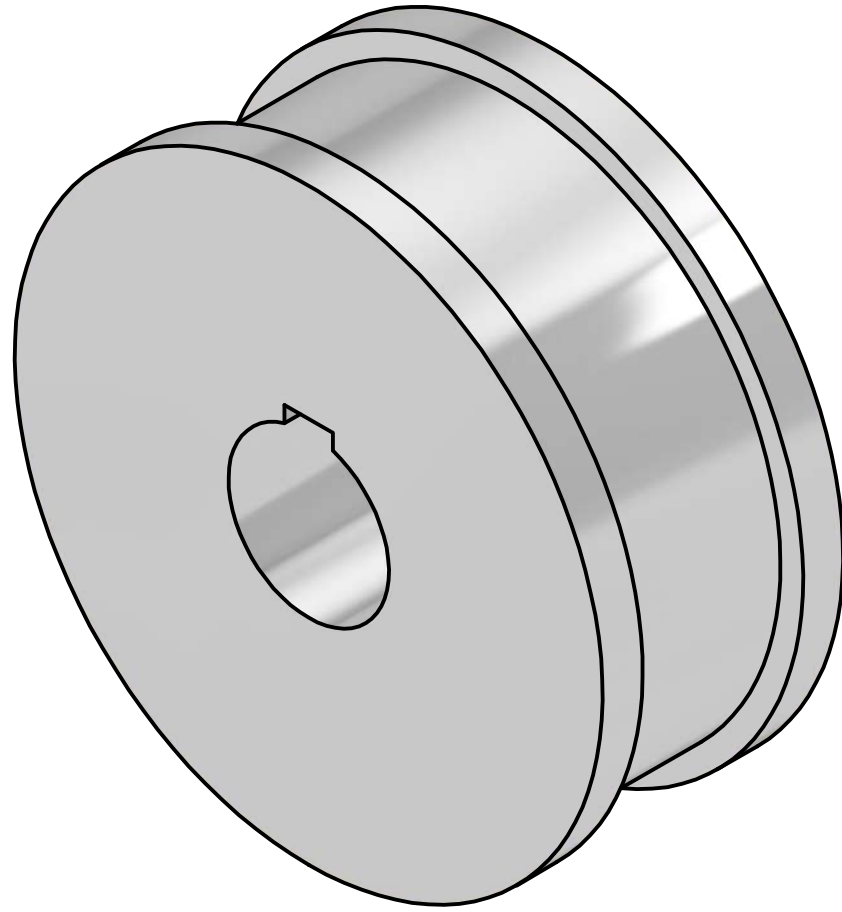


| LISTADO   |          |                        |                        |  |
|---|----------|------------------------|------------------------|--|
| ITEM  | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN            | MATERIAL               |  |
| 1   | 4        | RODAMIENTO SKF 22212 E | -                      |  |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES  |          | FECHA<br>12/8/22       | FACULTAD DE INGENIERÍA |  |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL   |          |                        |                        |  |
| NORMA ANSI  |          | ⊕ ◁                    | RODAMIENTO A RÓTULA    |  |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL   |          |                        |                        |  |
|  |          | TAMAÑO<br><b>A3</b>    | DIBUJO N°<br>18        |  |
|   |          | ESCALA<br>1 : 1        | HOJA 18                |  |
|   |          |                        | REV<br>1               |  |



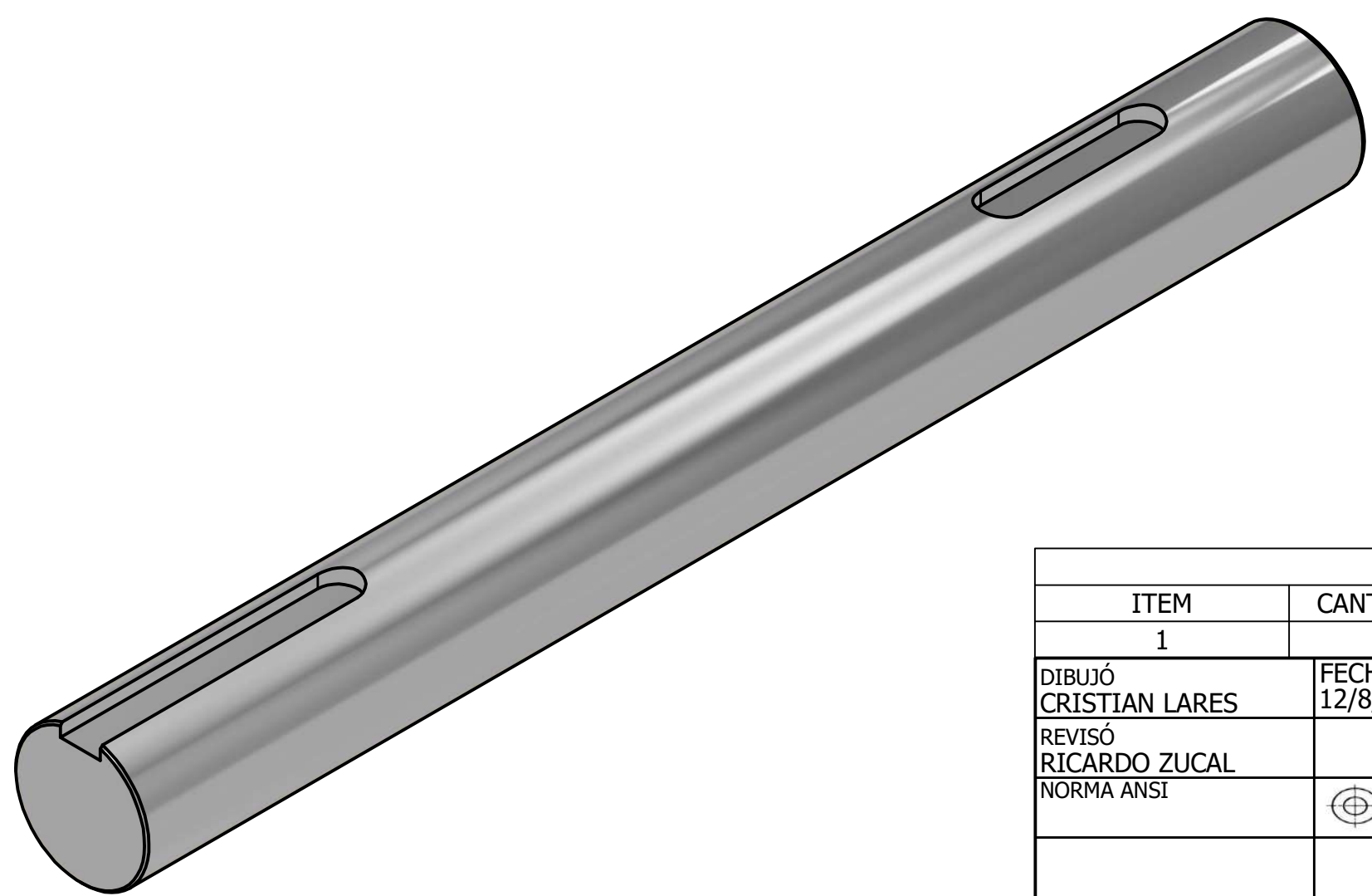
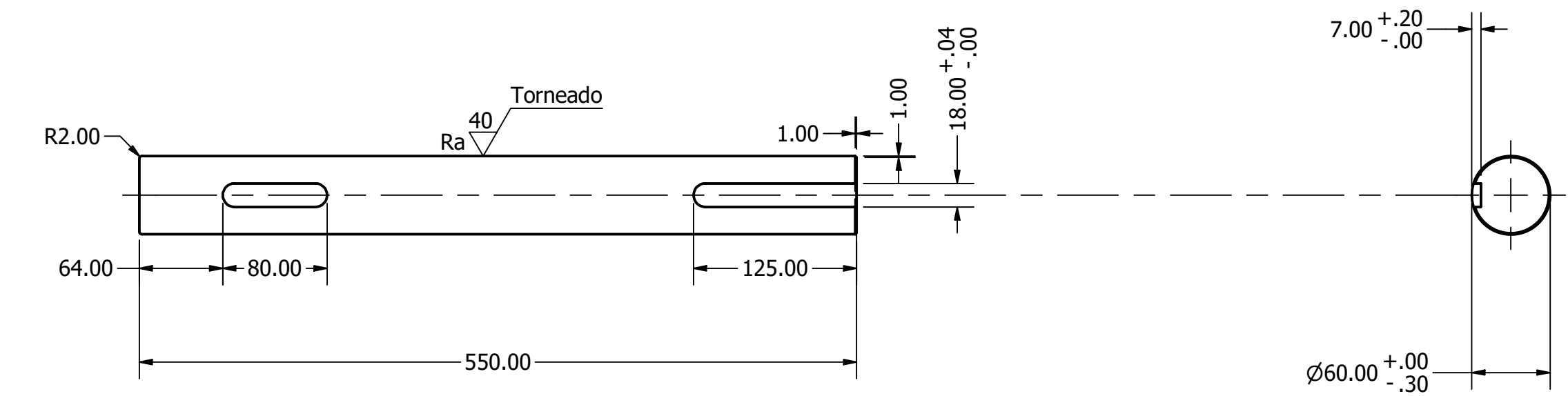


| LISTADO                  |          |                     |                        |  |
|--------------------------|----------|---------------------|------------------------|--|
| ITEM                     | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN         | MATERIAL               |  |
| 19                       | 4        | Tope de goma        | Elastomero             |  |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES |          | FECHA<br>12/8/22    | FACULTAD DE INGENIERÍA |  |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                     |                        |  |
| NORMA ANSI               |          |                     | Tope de goma           |  |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                     |                        |  |
|                          |          | TAMAÑO<br><b>A3</b> | DIBUJO N°<br>19        |  |
|                          |          | ESCALA<br>1 : 1     | REV<br>1               |  |
|                          |          |                     | HOJA 19 de 25          |  |

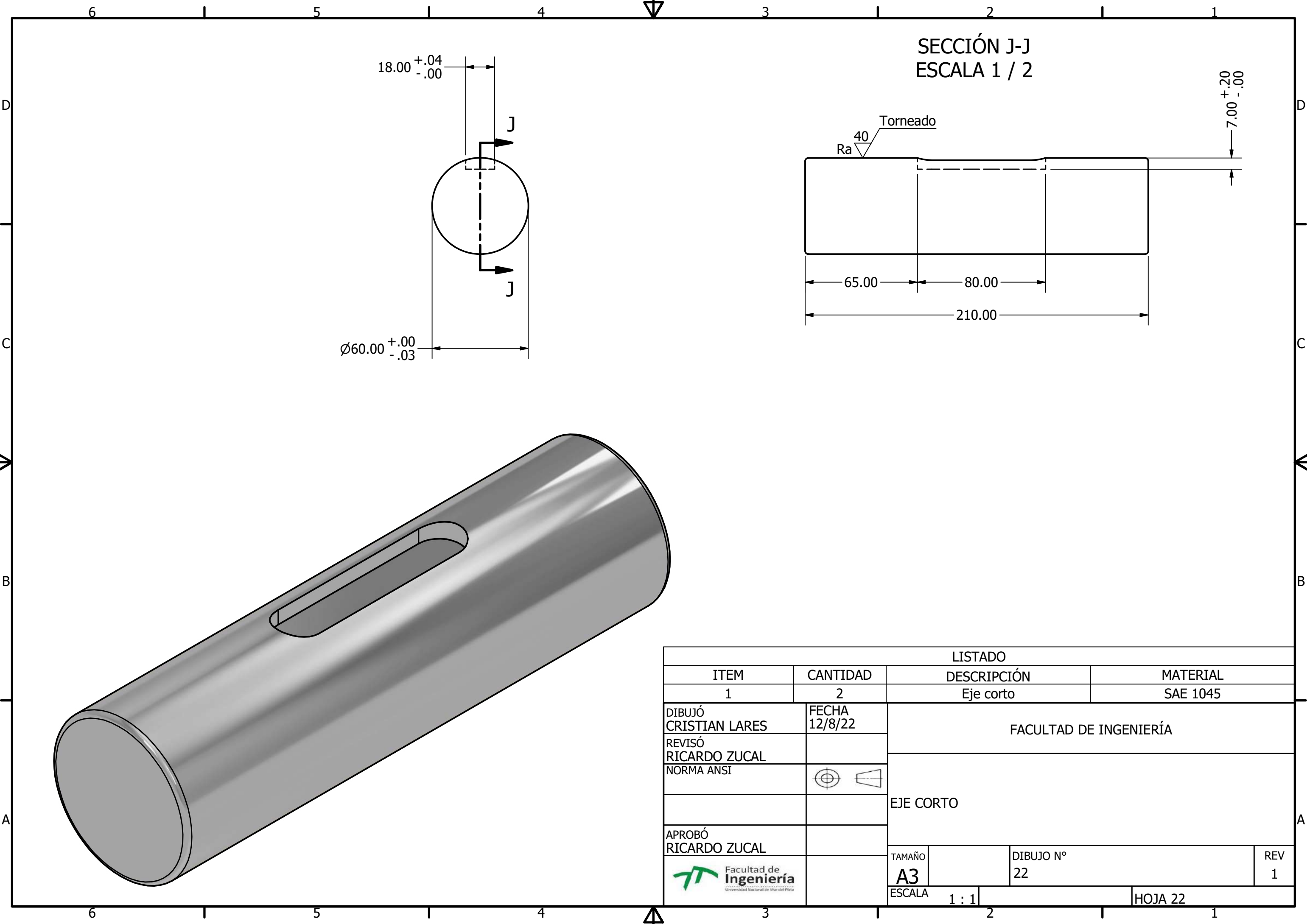


SECCIÓN E-E  
ESCALA 1 / 3

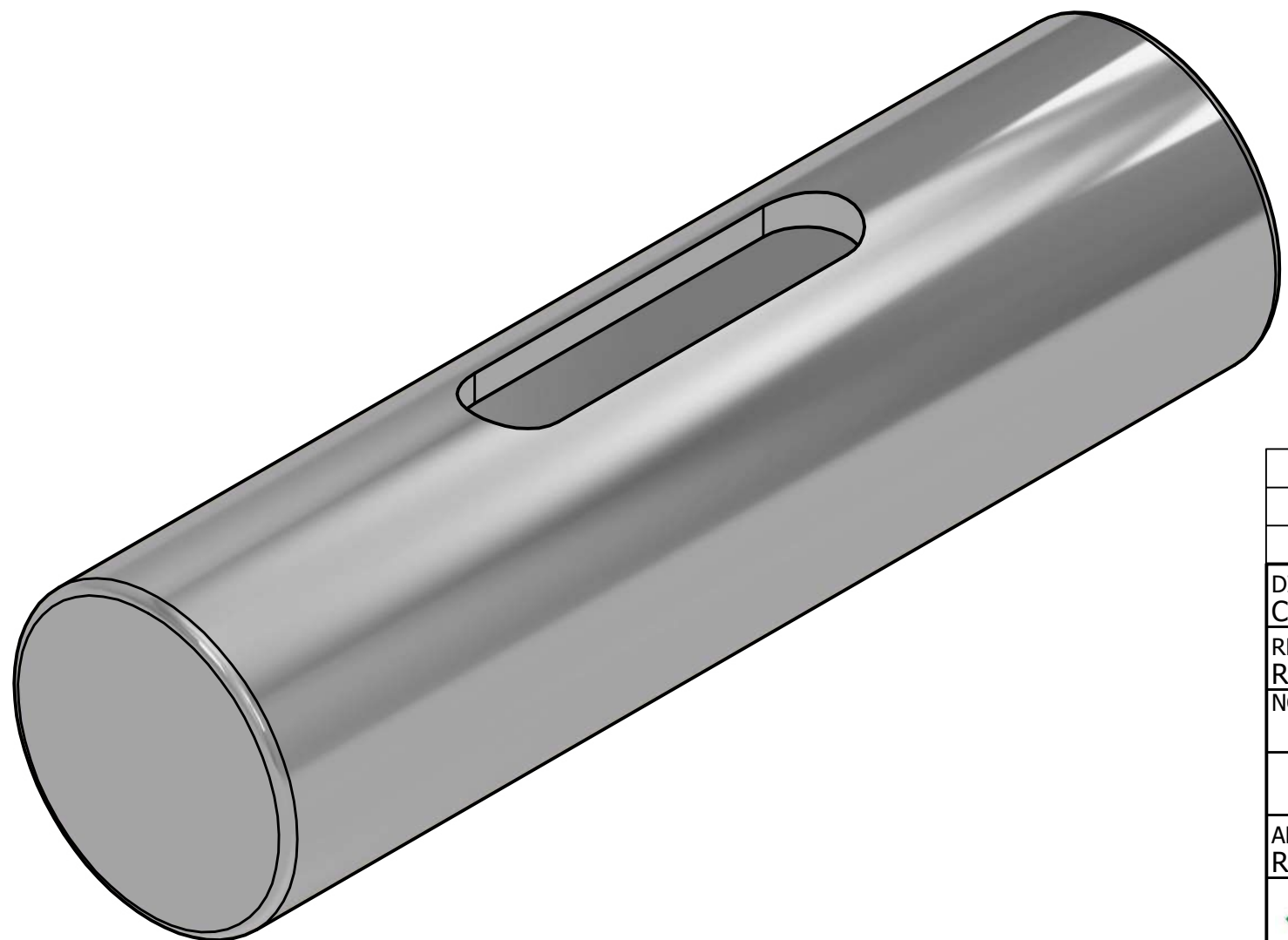
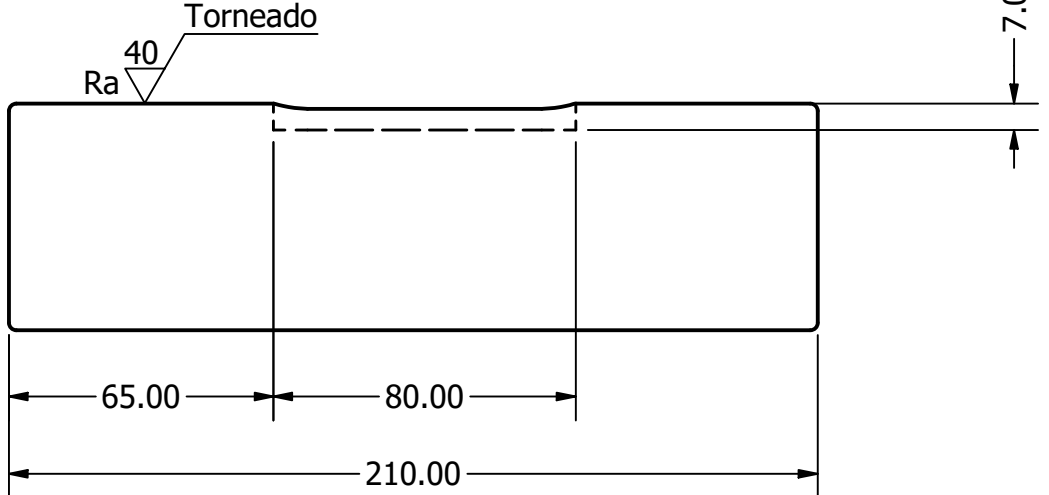
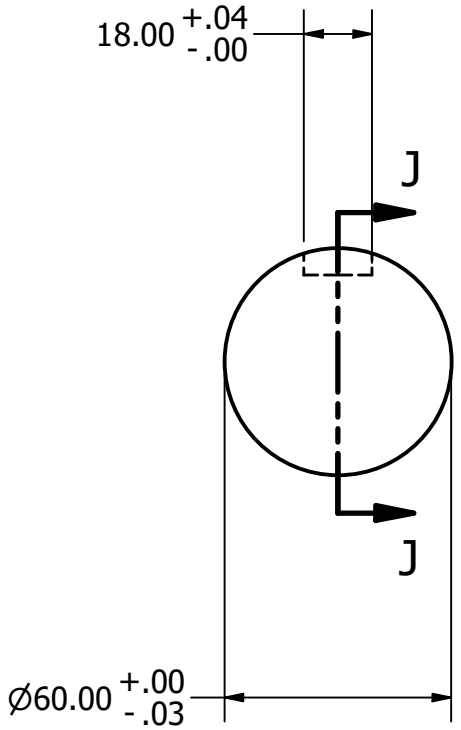
| LISTADO                  |          |                     |                        |          |
|--------------------------|----------|---------------------|------------------------|----------|
| ITEM                     | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN         | MATERIAL               |          |
| 1                        | 4        | RUEDA               | SAE 4140               |          |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES |          | FECHA<br>12/8/22    | FACULTAD DE INGENIERÍA |          |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                     |                        |          |
| NORMA ANSI               |          |                     | RUEDA                  |          |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                     |                        |          |
|                          |          | TAMAÑO<br><b>A3</b> | DIBUJO N°<br>20        | REV<br>1 |
|                          |          | ESCALA<br>1 / 3     | HOJA 20                |          |



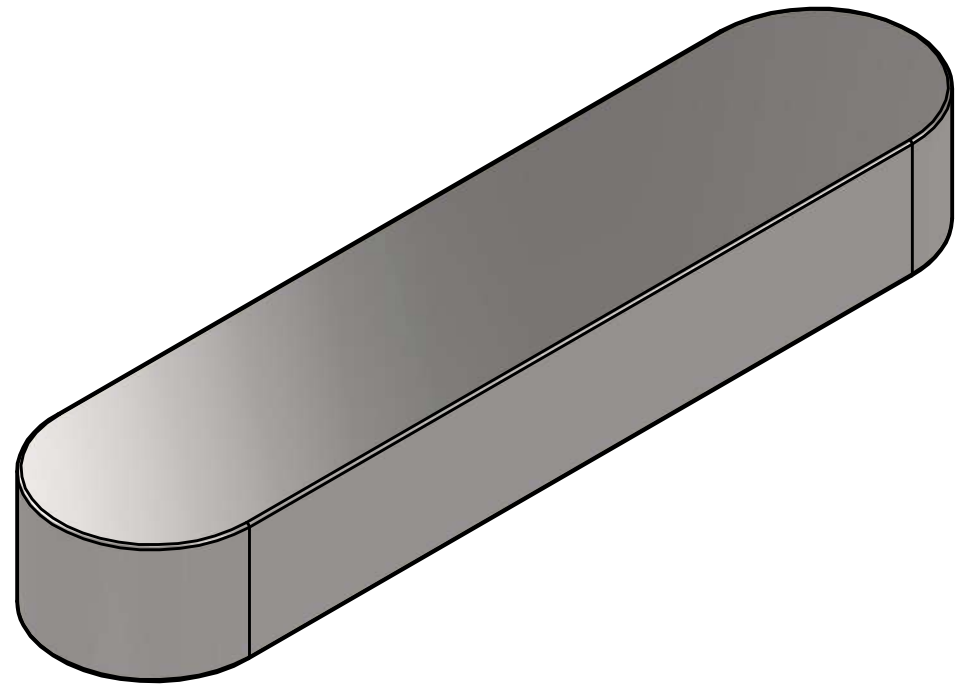
| LISTADO                  |          |                     |                        |          |
|--------------------------|----------|---------------------|------------------------|----------|
| ITEM                     | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN         | MATERIAL               |          |
| 1                        | 2        | Eje largo           | SAE 1045               |          |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES |          | FECHA<br>12/8/22    | FACULTAD DE INGENIERÍA |          |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                     |                        |          |
| NORMA ANSI               |          |                     | EJE LARGO              |          |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                     |                        |          |
|                          |          | TAMAÑO<br><b>A3</b> | DIBUJO N°<br>21        | REV<br>1 |
|                          |          | ESCALA<br>1 / 2     | HOJA 21                |          |



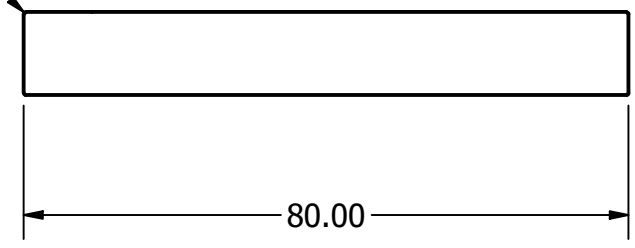
SECCIÓN J-J  
ESCALA 1 / 2



| LISTADO                  |          |                     |                        |          |
|--------------------------|----------|---------------------|------------------------|----------|
| ITEM                     | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN         | MATERIAL               |          |
| 1                        | 2        | Eje corto           | SAE 1045               |          |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES |          | FECHA<br>12/8/22    | FACULTAD DE INGENIERÍA |          |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                     |                        |          |
| NORMA ANSI               |          |                     | EJE CORTO              |          |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                     |                        |          |
|                          |          | TAMAÑO<br><b>A3</b> | DIBUJO N°<br>22        | REV<br>1 |
|                          |          | ESCALA<br>1 : 1     | HOJA 22                |          |



R.25

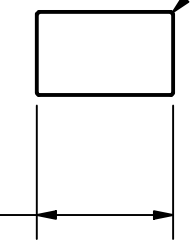


80.00

11.00  
+ .00  
- .20

18.00  
+ .00  
- .04

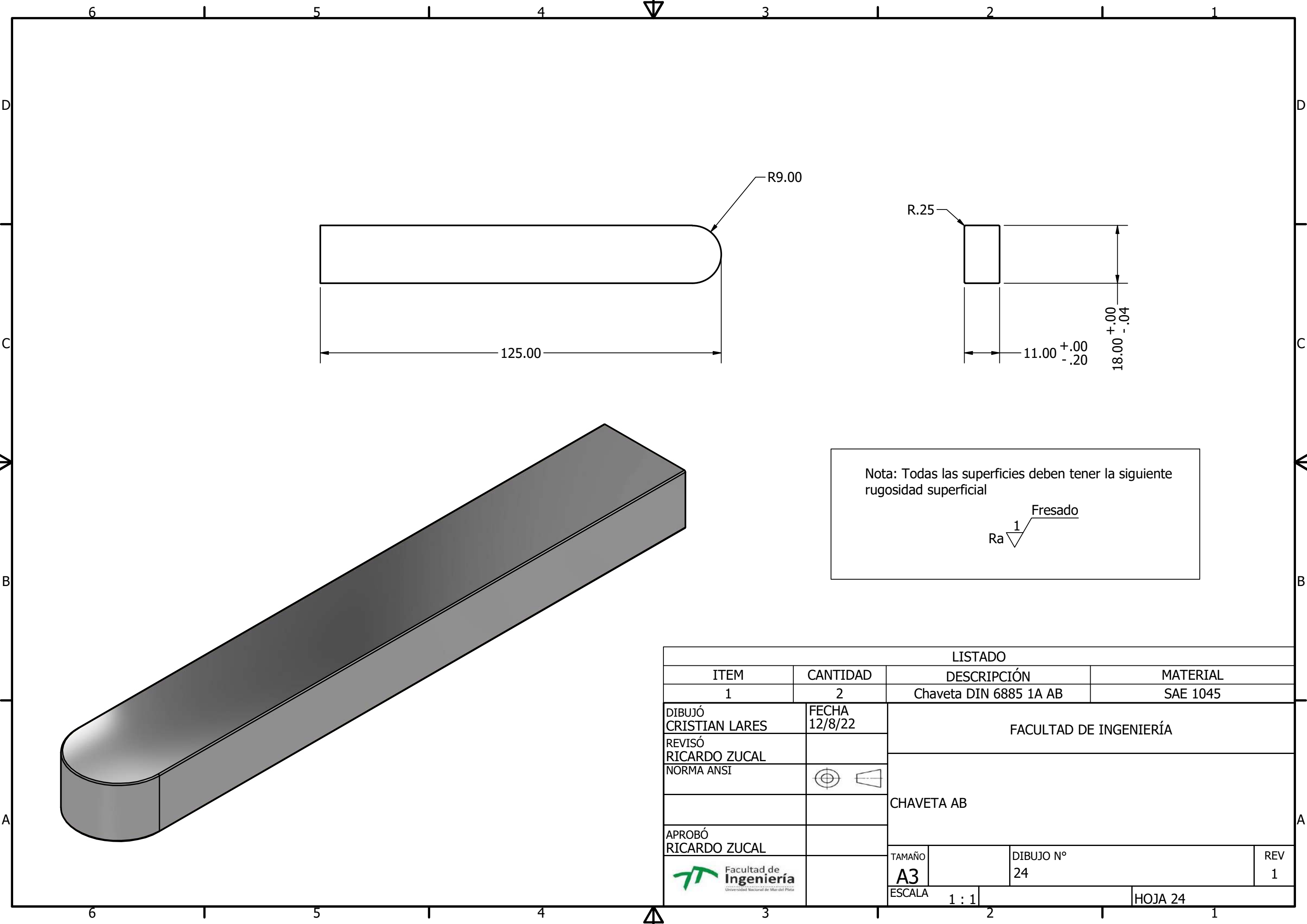
R.25



Nota: Todas las superficies deben tener la siguiente rugosidad superficial

Ra 1 Fresado

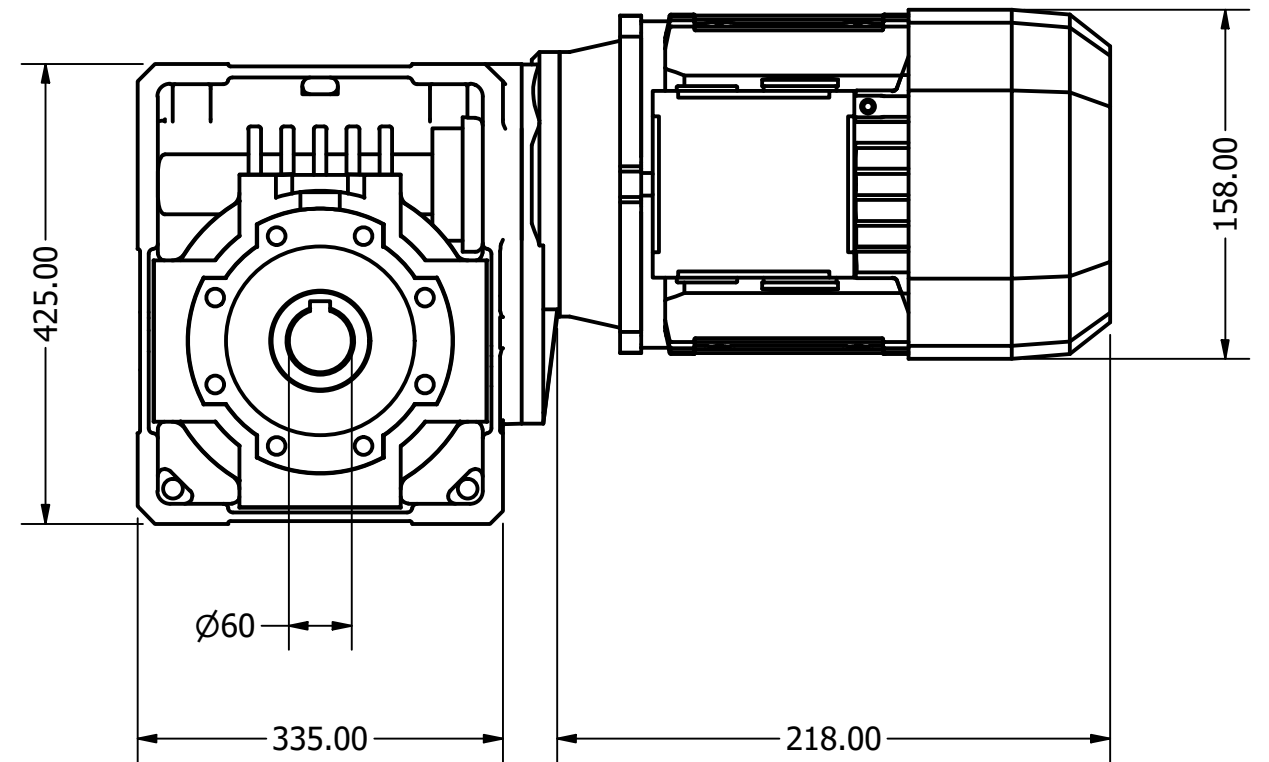
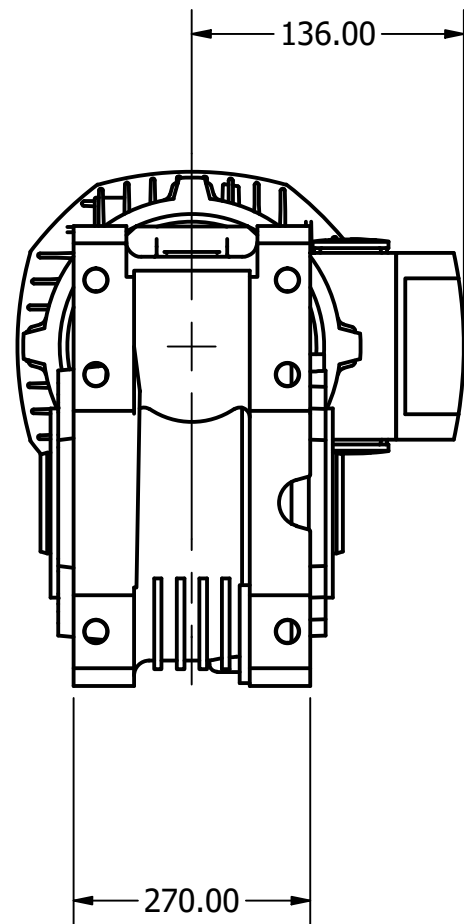
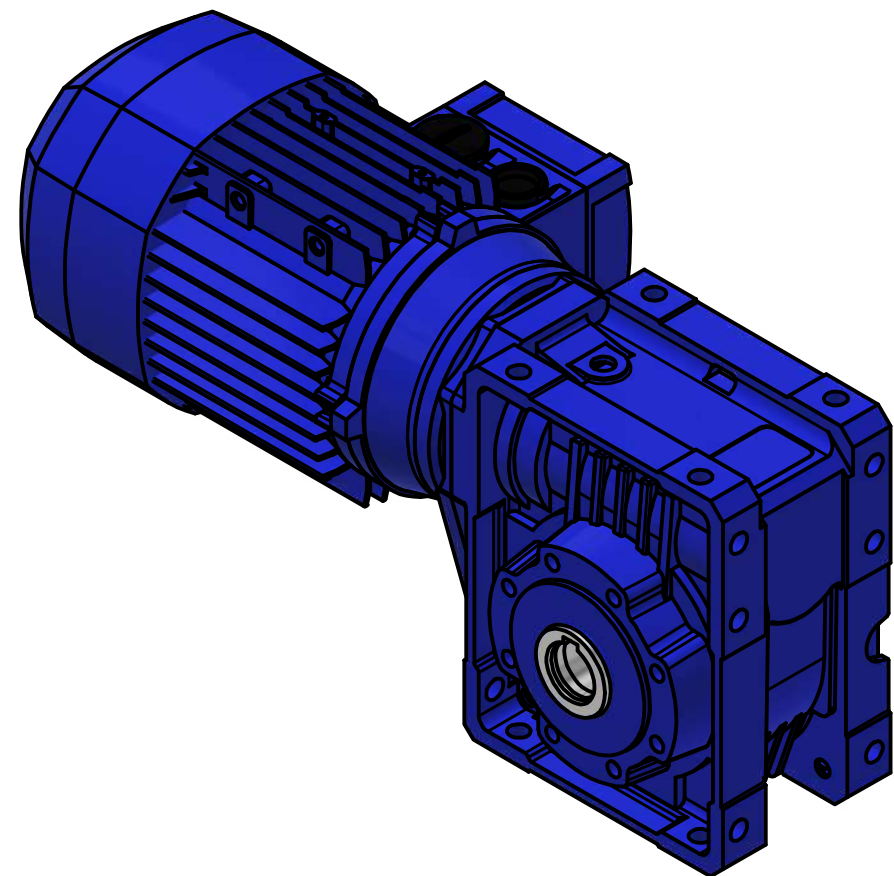
| LISTADO                  |          |                       |                        |
|--------------------------|----------|-----------------------|------------------------|
| ITEM                     | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN           | MATERIAL               |
| 1                        | 2        | Chaveta DIN 6885 1A B | SAE 1045               |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES |          | FECHA<br>12/8/22      | FACULTAD DE INGENIERÍA |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                       |                        |
| NORMA ANSI               |          |                       | CHAVETA B              |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                       |                        |
|                          |          | TAMAÑO<br><b>A3</b>   | DIBUJO N°<br>23        |
|                          |          | ESCALA<br>1 : 1       | REV<br>1               |
|                          |          |                       | HOJA 23                |



Nota: Todas las superficies deben tener la siguiente rugosidad superficial

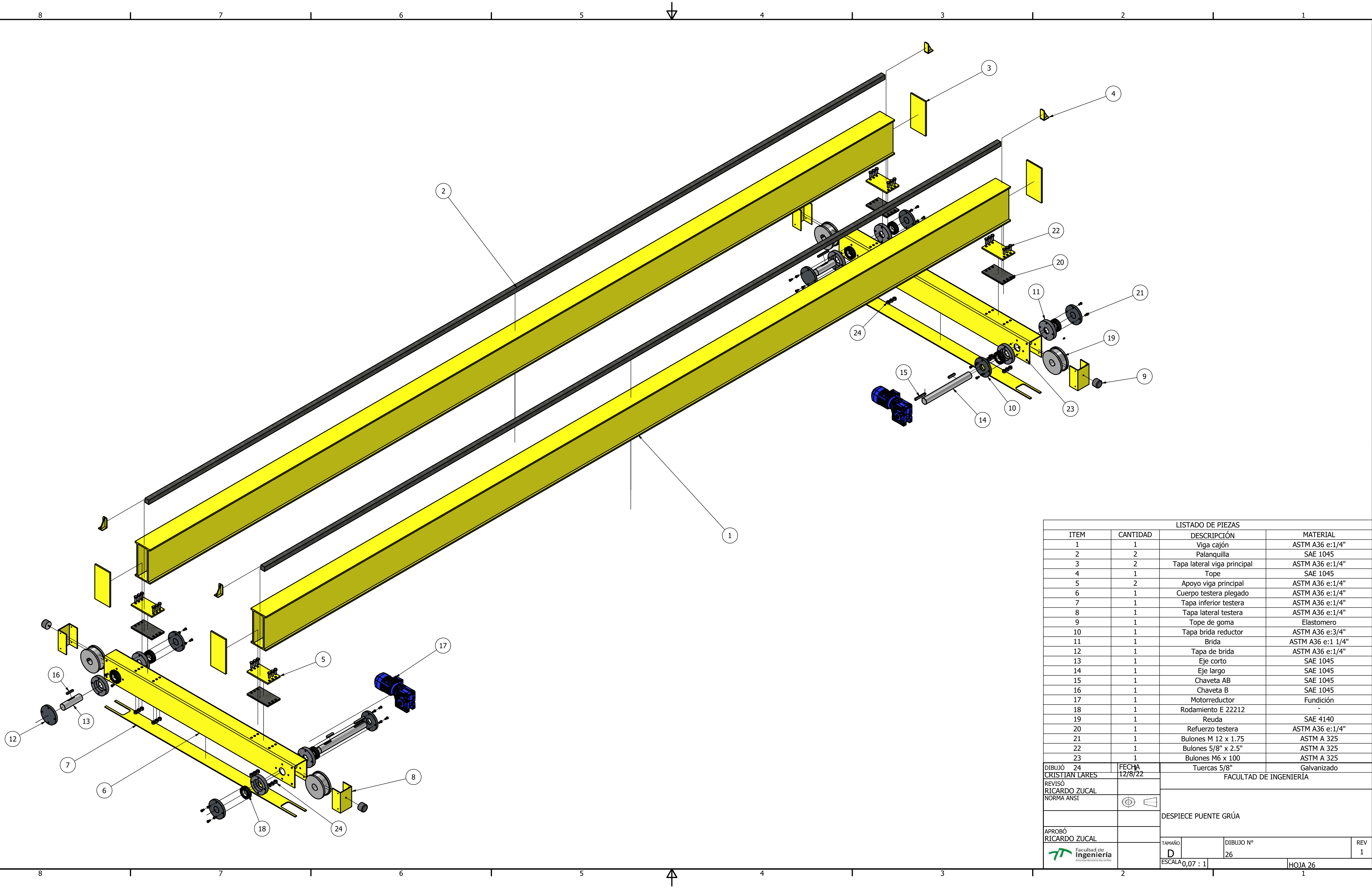
Ra 1 Fresado

| LISTADO                  |          |                        |                        |
|--------------------------|----------|------------------------|------------------------|
| ITEM                     | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN            | MATERIAL               |
| 1                        | 2        | Chaveta DIN 6885 1A AB | SAE 1045               |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES |          | FECHA<br>12/8/22       | FACULTAD DE INGENIERÍA |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                        |                        |
| NORMA ANSI               |          |                        | CHAVETA AB             |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                        |                        |
|                          |          | TAMAÑO<br><b>A3</b>    | DIBUJO N°<br>24        |
|                          |          | ESCALA<br>1 : 1        | REV<br>1               |
|                          |          |                        | HOJA 24                |



| LISTADO                  |          |                     |                        |          |
|--------------------------|----------|---------------------|------------------------|----------|
| ITEM                     | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN         | MATERIAL               |          |
| 1                        | 1        | MOTORREDUCTOR       | -                      |          |
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES |          | FECHA<br>12/8/22    | FACULTAD DE INGENIERÍA |          |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                     |                        |          |
| NORMA ANSI               |          |                     | MOTORREDUCTOR          |          |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |          |                     |                        |          |
|                          |          | TAMAÑO<br><b>A3</b> | DIBUJO N°<br>25        | REV<br>1 |
|                          |          | ESCALA<br>1 / 3     | HOJA 25                |          |





| LISTADO DE PIEZAS |          |                             |                   |
|-------------------|----------|-----------------------------|-------------------|
| ITEM              | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN                 | MATERIAL          |
| 1                 | 1        | Viga cajón                  | ASTM A36 e:1/4"   |
| 2                 | 2        | Palanquilla                 | SAE 1045          |
| 3                 | 2        | Tapa lateral viga principal | ASTM A36 e:1/4"   |
| 4                 | 1        | Tope                        | SAE 1045          |
| 5                 | 2        | Apoyo viga principal        | ASTM A36 e:1/4"   |
| 6                 | 1        | Cuerpo testera plegado      | ASTM A36 e:1/4"   |
| 7                 | 1        | Tapa inferior testera       | ASTM A36 e:1/4"   |
| 8                 | 1        | Tapa lateral testera        | ASTM A36 e:1/4"   |
| 9                 | 1        | Tope de goma                | Elastomero        |
| 10                | 1        | Tapa brida reductor         | ASTM A36 e:3/4"   |
| 11                | 1        | Brida                       | ASTM A36 e:1 1/4" |
| 12                | 1        | Tapa de brida               | ASTM A36 e:1/4"   |
| 13                | 1        | Eje corto                   | SAE 1045          |
| 14                | 1        | Eje largo                   | SAE 1045          |
| 15                | 1        | Chaveta AB                  | SAE 1045          |
| 16                | 1        | Chaveta B                   | SAE 1045          |
| 17                | 1        | Motorreductor               | Fundición         |
| 18                | 1        | Rodamiento E 22212          | -                 |
| 19                | 1        | Reuda                       | SAE 4140          |
| 20                | 1        | Refuerzo testera            | ASTM A36 e:1/4"   |
| 21                | 1        | Bulones M 12 x 1.75         | ASTM A 325        |
| 22                | 1        | Bulones 5/8" x 2.5"         | ASTM A 325        |
| 23                | 1        | Bulones M6 x 100            | ASTM A 325        |
| 24                | 1        | Tuercas 5/8"                | Galvanizado       |

DIBUJÓ 24 CRISTIAN LARES      FECHA 12/8/22  
 REVISÓ RICARDO ZUCAL  
 NORMA ANSI

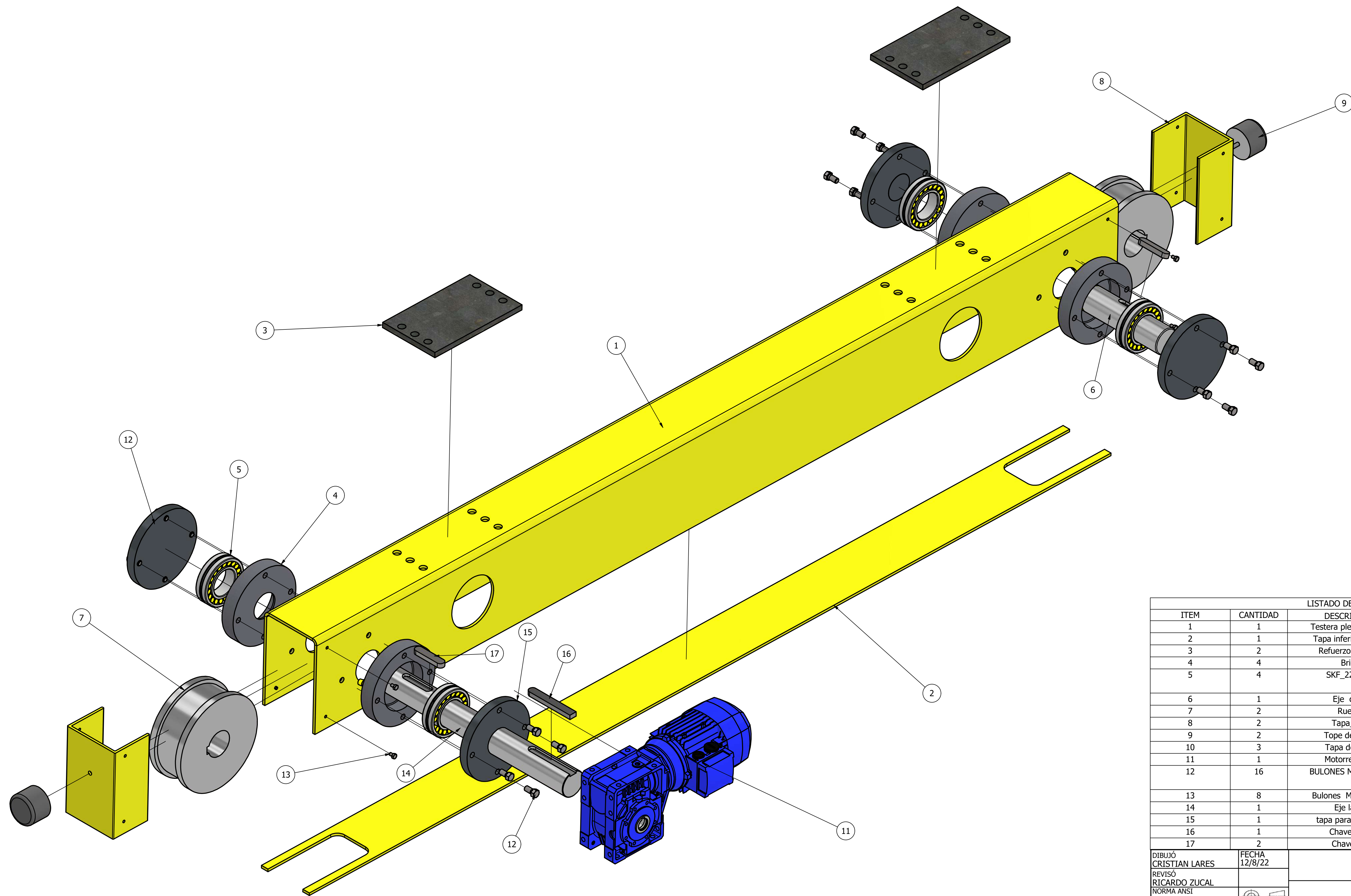
APROBÓ RICARDO ZUCAL

ESCALA 0,07 : 1


FACULTAD DE INGENIERÍA  
 DESPIECE PUENTE GRÚA

TAMAÑO D      DIBUJO N° 26      REV 1  
 ESCALA 0,07 : 1      HOJA 26

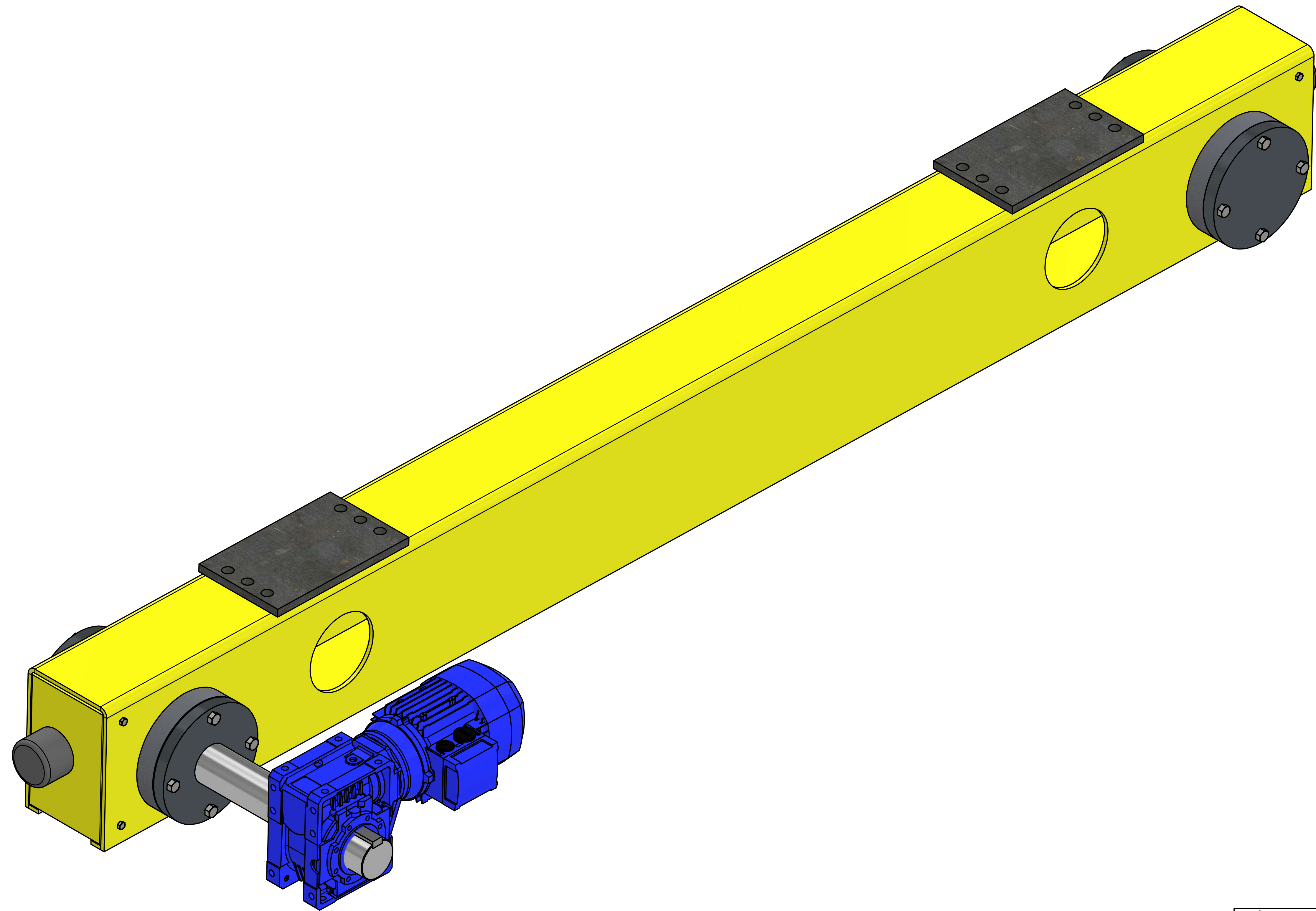




| LISTADO DE PIEZAS |          |                       |                                   |
|-------------------|----------|-----------------------|-----------------------------------|
| ITEM              | CANTIDAD | DESCRIPCIÓN           | MATERIAL                          |
| 1                 | 1        | Testera plegada 6mm   | ASTM A36 e:1/4"                   |
| 2                 | 1        | Tapa inferior testera | ASTM A36 e:1/4"                   |
| 3                 | 2        | Refuerzos testera     | ASTM A36 e:1/4"                   |
| 4                 | 4        | Brida                 | ASTM A36 e: 1 1/4"                |
| 5                 | 4        | SKF_22212 E           | BS2_001-Spherical roller bearings |
| 6                 | 1        | Eje corto             | SAE 1045                          |
| 7                 | 2        | Rueda                 | SAE 4140                          |
| 8                 | 2        | Tapa_CPY              | ASTM A36 e:1/4"                   |
| 9                 | 2        | Tope de goma          | Elastomero                        |
| 10                | 3        | Tapa de brida         | ASTM A36 e:1/4"                   |
| 11                | 1        | Motorreductor         | FUNDICIÓN                         |
| 12                | 16       | BULONES M12 X 1,75    | ASTM A325)                        |
| 13                | 8        | Bulones M6 x 1 x 10   | ASTM A325                         |
| 14                | 1        | Eje largo             | SAE 1045                          |
| 15                | 1        | tapa para reductor    | ASTM A36 e:1/4"                   |
| 16                | 1        | Chaveta AB            | SAE 1045                          |
| 17                | 2        | Chaveta B             | SAE 1045                          |

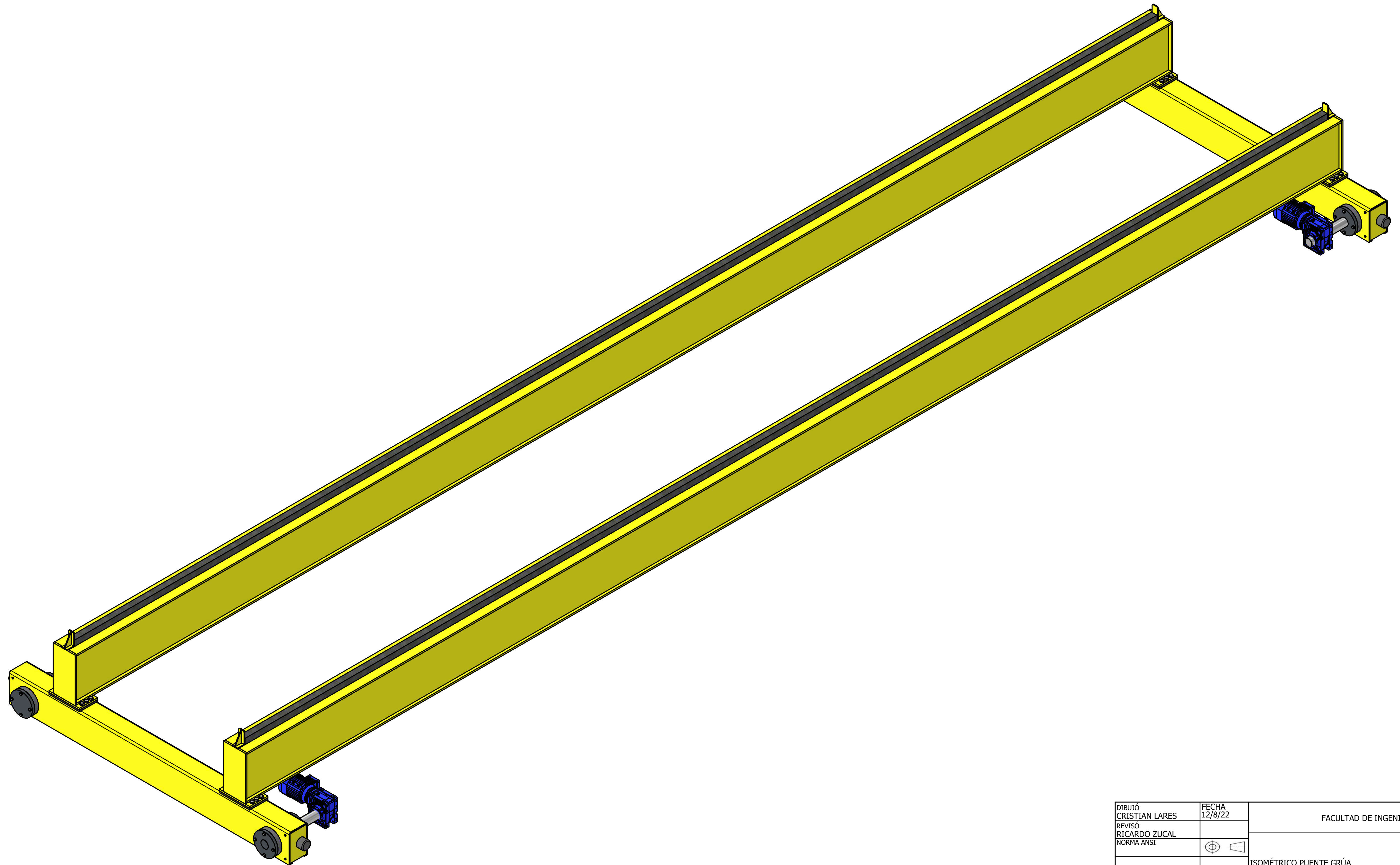
|   |                  |                           |                 |
|---|------------------|---------------------------|-----------------|
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES  | FECHA<br>12/8/22 | FACULTAD DE INGENIERÍA    |                 |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL   |                  | ISOMÉTRICO VIGA PRINCIPAL |                 |
| NORMA ANSI  |                  | TAMAÑO<br>D               | DIBUJO Nº<br>27 |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL   |                  | ESCALA<br>1 / 4           | REV<br>1        |
|  |                  | HOJA 27                   |                 |






|                          |                  |                        |                 |          |
|--------------------------|------------------|------------------------|-----------------|----------|
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES | FECHA<br>12/8/22 | FACULTAD DE INGENIERÍA |                 |          |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL  |                  | ISOMÉTRICO TESTERA     |                 |          |
| NORMA ANSI               |                  |                        |                 |          |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL  |                  | TAMAÑO<br>D            | DIBUJO N°<br>28 | REV<br>1 |
| ESCALA 1 / 3             |                  | HOJA 28                |                 |          |





|   |                  |                        |                 |          |
|---|------------------|------------------------|-----------------|----------|
| DIBUJÓ<br>CRISTIAN LARES  | FECHA<br>12/8/22 | FACULTAD DE INGENIERÍA |                 |          |
| REVISÓ<br>RICARDO ZUCAL   |                  | ISOMÉTRICO PUENTE GRÚA |                 |          |
| NORMA ANSI  |                  |                        |                 |          |
| APROBÓ<br>RICARDO ZUCAL   |                  | TAMAÑO<br>D            | DIBUJO N°<br>29 | REV<br>1 |
|  |                  | ESCALA 0,09 : 1        |                 | HOJA 29  |