



# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

## FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

### **Generación de energía eléctrica a partir del paso de vehículos por un reductor de velocidad de sección trapezoidal ("rompemuelle")**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecatrónico, que presenta el bachiller:

**Luis Miguel Dajes Dávalos**

**ASESOR: José Antonio Osada Mochizuki**

Lima, febrero del 2014

# Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar una propuesta de obtención de energía a través del tránsito vehicular por un “rompemuelle” (reductor de velocidad) ubicado en la carretera.

Como una medida de seguridad vial, las autoridades vienen instalando reductores de velocidad, conocidos como “rompemuelles” con la intención de reducir la potencialidad de accidentes e incidentes de tránsito en los sectores de las carreteras que atraviesan las zonas urbanas y que no presentan la debida señalización.

En el país existen muchas estaciones de pesaje y de peaje que no cuentan con suministro de energía eléctrica por lo que recurren al uso de sus propios grupos electrógenos. En algunos casos, estas estaciones tienen un bajo consumo de energía, sin embargo deben mantener encendido el grupo eléctrico, lo que significa un permanente consumo de combustible.

En muchas zonas urbanas el suministro eléctrico se realiza por cableado aéreo, lo que en algunas ocasiones resulta difícil e inseguro conseguir la electricidad para la señalización e iluminación diferenciada del reductor de velocidad.

El principal objetivo es obtener la mayor cantidad de energía a partir del empleo de un multiplicador de velocidad, la inercia de un disco y un generador eléctrico.

La energía potencial de un vehículo debido a su peso puede ser aprovechada a través de un mecanismo que la transforme en energía cinética y posteriormente a energía eléctrica.

Este sistema mecatrónico ofrece una fuente de energía que podrá ser usada en señalizaciones en las carreteras, estaciones de pesaje y de peaje que no cuentan con suministro de energía eléctrica; así como los “rompemuelles” ubicados en las zonas urbanas en el que el suministro de energía por la vía aérea resulta peligroso.

# Índice

Capítulo 1 : Presentación de la problemática .....	6
Capítulo 2 : Requerimientos del sistema mecatrónico y presentación del concepto .....	7
2.1. Requerimientos del sistema mecatrónico .....	7
2.1.1. Requerimientos mecánicos .....	7
2.1.2. Requerimientos eléctricos .....	7
2.1.3. Requerimientos adicionales .....	7
2.2. Concepto de la solución .....	8
Capítulo 3 : Sistema mecatrónico.....	10
3.1. Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico .....	10
3.2. Elementos mecánicos y componentes eléctricos.....	10
3.2.1. Elementos mecánicos .....	10
3.2.1.1. Sistema de engranajes.....	10
3.2.1.2. Sistema de embrague - Rueda libre .....	11
3.2.1.3. Resortes para el retorno de la rampa .....	11
3.2.2. Componentes eléctricos.....	12
3.2.2.1. Generador eléctrico.....	12
3.2.2.2. Batería principal .....	13
3.2.2.3. Batería secundaria .....	13
3.3. Planos del sistema mecatrónico .....	14
3.4. Diagramas esquemáticos de los circuitos del sistema mecatrónico .....	38
3.4.1. Circuito limitador de corriente para la batería principal.....	39
3.4.2. Circuito de carga de la batería secundaria.....	39
3.4.3. Circuito de control de carga de la batería principal .....	40
3.5. Diagrama de flujo del sistema mecatrónico .....	42
Capítulo 4 : Presupuesto.....	44
Capítulo 5 : Conclusiones .....	45
5.1. Recomendaciones.....	45
Bibliografía.....	41
Anexo 1: Modelo matemático del generador y determinación de la relación del sistema de engranajes	
Anexo 2: Dimensionamiento y cálculo de engranajes	
Anexo 3: Cálculo del resorte	
Anexo 4: Cálculo y dimensionamiento de ejes	

Anexo 5: Dimensionamiento del disco de inercia

Anexo 6: Análisis de esfuerzos de la rampa

Anexo 7: Selección de componentes electrónicos

Anexo 8: Cotizaciones

Anexo 9: Hojas de datos

Anexo 10: Planos de despiece y ensamble



# Capítulo 1: Presentación de la problemática

Con el crecimiento económico del Perú en los últimos años, se han realizado considerables inversiones en la mejora de la infraestructura vial del país. En los últimos años se han construido más de 5 000 km de carreteras [1]. Además, el parque automotor muestra un gran crecimiento; según estadísticas del INEI el flujo vehicular en una sola carretera rural se encuentra entre 6000 y 9000 vehículos por día [2].

Muchas de estas carreteras atraviesan ciudades y centros poblados, como una medida de seguridad vial, las autoridades vienen instalando reductores de velocidad, conocidos como “rompemuelles” en los sectores de las carreteras que atraviesan zonas urbanas.

Las estadísticas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y de la Superintendencia de Transporte Terrestre de Personas, Carga y Mercancías (SUTRAN) mencionan un alto número de accidentes de tránsito debido al exceso de velocidad, falta de señalización y estado ético del conductor [3] [4].

Con la intención de reducir la potencialidad de accidentes e incidentes de tránsito se instalan “rompemuelles” sin la debida señalización en zonas donde no hay suministro eléctrico pese a que la reglamentación nacional establece que el reductor de velocidad debe contar con un sistema de iluminación diferenciada a efecto de garantizar a los conductores la visibilidad oportuna del dispositivo, su localización y la presencia de peatones [5].

Por otro lado, en el país existen muchas estaciones de pesaje y de peaje que no cuentan con suministro de energía eléctrica por lo que recurren al uso de sus propios grupos electrógenos. En algunos casos, estas estaciones tienen un bajo consumo de energía, sin embargo deben mantener encendido el grupo electrógeno, lo que significa un permanente consumo de combustible.

En muchas zonas urbanas el suministro eléctrico se realiza por cableado aéreo, lo que en algunas ocasiones resulta difícil e inseguro conseguir el suministro eléctrico para la señalización e iluminación diferenciada del reductor de velocidad.

# Capítulo 2: Requerimientos del sistema mecatrónico y presentación del concepto

## 2.1. Requerimientos del sistema mecatrónico

Para el desarrollo de este trabajo se han tenido en cuenta requerimientos mecánicos (resistencia de las piezas), requerimientos sobre la generación de electricidad, su respectivo almacenamiento y control de carga.

El principal objetivo es obtener la mayor cantidad de energía eléctrica a partir de la transformación de la energía potencial entregada por el peso del vehículo. Esto se logra mediante el uso de un multiplicador de velocidad, la inercia de una masa extra y un generador eléctrico.

### 2.1.1. Requerimientos mecánicos

El sistema mecatrónico deberá ser capaz de soportar los esfuerzos generados por el peso de un eje de un vehículo ligero, el cual se ubica en el rango de 550 kg a 750 kg por eje. En el parque automotor del Perú se pueden encontrar vehículos ligeros de mayor peso, llegando inclusive hasta los 1500 kg por eje; por esta razón se deberá emplear este valor para el dimensionamiento de las piezas mecánicas. Para el dimensionamiento se deberán realizar análisis de esfuerzos estáticos y también análisis por fatiga del material, ya que estarán sometidas a cargas pulsantes.

A su vez, el sistema deberá ser capaz de transmitir la potencia entregada por el peso del vehículo mediante un sistema de engranajes que multiplique la velocidad para entregársela a un generador eléctrico.

### 2.1.2. Requerimientos eléctricos

El sistema mecatrónico deberá contar con circuitos electrónicos de protección para poder limitar la corriente de carga de la batería principal con el objetivo de proteger la batería y a su vez el generador. Además, se requiere de un circuito para el control de carga de la batería principal.

### 2.1.3. Requerimientos adicionales

Las dimensiones del sistema mecatrónico desarrollado deberán cumplir con las exigencias de la directiva N°02-2007 -MTC/14 "Reductores de velocidad tipo resalto" [5], que norma el diseño, uso y construcción de los mismos. Ésta reglamentación establece que este tipo de reductores de velocidad no deberán exceder una altura de 10 cm por encima de la capa asfáltica.

El sistema mecatrónico propuesto deberá contar con una cubierta para protegerlo del polvo y de la humedad del ambiente.

## 2.2. Concepto de la solución

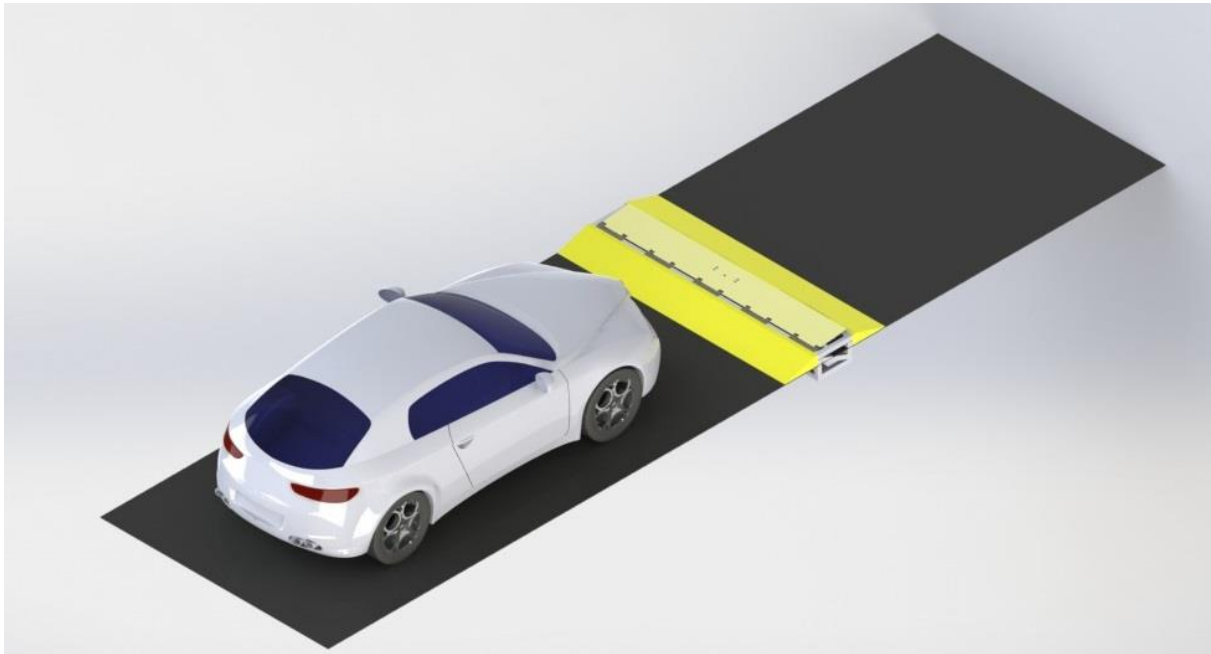


Figura 2.1: Vista general del sistema mecatrónico. Fuente: Elaboración propia.

Se propone desarrollar un sistema mecatrónico a ser instalado en un reductor de velocidad de tipo resalto de sección trapezoidal.

El paso de un vehículo por el “rompemuelle” desplazará la rampa del sistema hacia abajo transmitiendo el movimiento a una corona que accionará un sistema de engranajes. El uso de un sistema de engranajes tiene como finalidad multiplicar la velocidad para alcanzar la deseada en el generador eléctrico seleccionado.

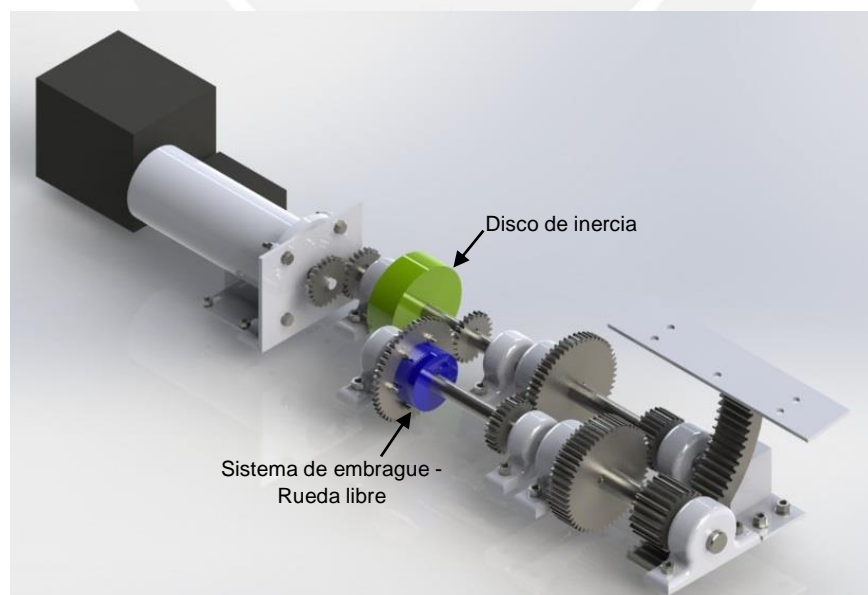


Figura 2.2: Vista del sistema de embrague y disco de inercia del sistema mecatrónico. Fuente: Elaboración propia.



Una vez que el vehículo pasa por el “rompemuelle”, la rampa retorna a su posición inicial debido a la acción de los resortes. Este retorno ocasionaría que el sistema de engranajes gire en sentido contrario por esta acción, lo cual produciría un cambio en el sentido de giro del generador. Para remediar esta situación, se ha considerado en este diseño el uso de un sistema de embrague de rueda libre (freewheel clutch) que permite el desacoplamiento del sistema de engranajes cuando éste cambia de sentido de giro.

Adicionalmente se ha incorporado un disco de masa considerable acoplado al eje del generador que tiene como objetivo aumentar la inercia del sistema para que éste continúe girando más tiempo luego de haberse producido el desacoplamiento.

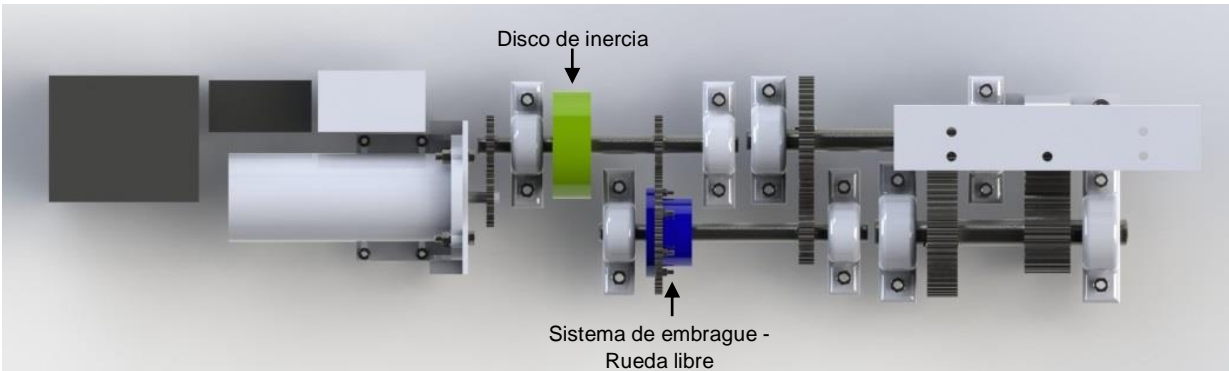


Figura 2.3: Vista superior del sistema mecatrónico (No incluye estructura metálica). Fuente: Elaboración propia.

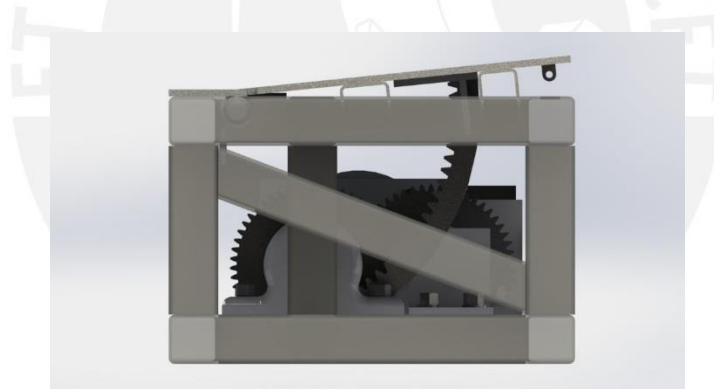


Figura 2.4: Vista lateral del sistema mecatrónico. Fuente: Elaboración propia.

Dado que la velocidad del sistema de engranajes está en función del peso del vehículo que pasa por la rampa, el generador podría alcanzar una mayor velocidad que a su vez produciría una mayor intensidad de corriente. Debido a este efecto se ha considerado el uso de un circuito limitador de corriente para no sobrepasar el límite admisible del generador y además, para no sobrepasar la máxima corriente de carga admisible de la batería.

El diseño incluye también un circuito de control de carga que evita sobrecargar la batería. Para este circuito, se empleará una batería secundaria la cual se mantendrá cargada por el mismo generador.

Este sistema mecatrónico ofrece una fuente de energía que podrá ser usada en señalizaciones en las carreteras, estaciones de pesaje y de peaje que no cuenten con suministro de energía eléctrica.

## Capítulo 3: Sistema mecatrónico

### 3.1. Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico

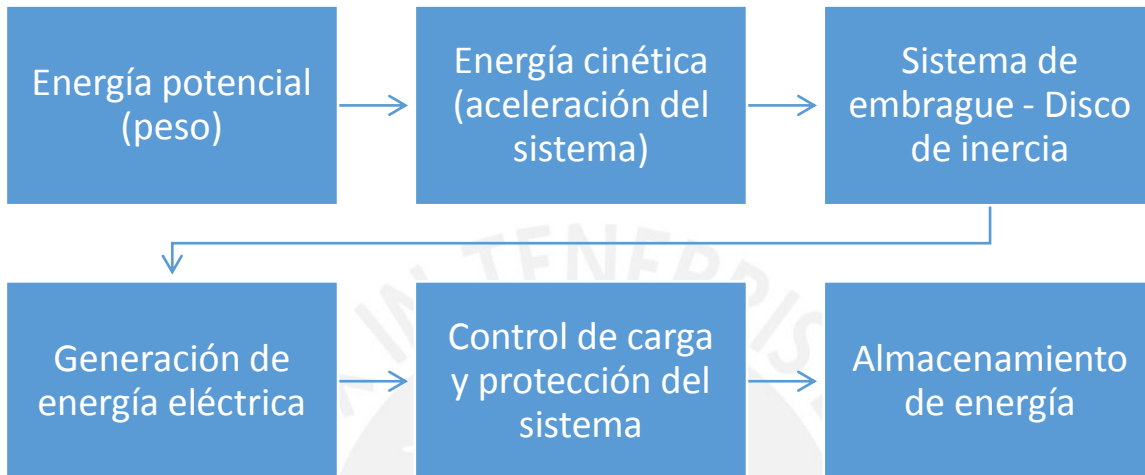


Figura 3.1: Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico.

Como se puede observar en la figura 3.1, la energía potencial que entrega el peso del vehículo se aprovecha para la generación de energía eléctrica, la que es optimizada mediante el uso de un sistema de embrague y la inercia de un disco.

### 3.2. Elementos mecánicos y componentes eléctricos

#### 3.2.1. Elementos mecánicos

A continuación se presentarán los principales elementos mecánicos que se proponen en el diseño del sistema:

##### 3.2.1.1. Sistema de engranajes

Una corona accionará a los engranajes, éstos son de dientes rectos. Este sistema permite alcanzar una mayor velocidad de rotación en el generador, disminuyendo el torque entregado por el vehículo. La relación de transmisión de este sistema es 1:43 y ha sido determinada mediante el modelamiento matemático del generador seleccionado, el detalle de este modelo y cálculos correspondientes se encuentra en el Anexo 1: Modelo matemático del generador y determinación de la relación del sistema de engranajes. De la misma manera, los cálculos y dimensionamiento de cada engranaje se encuentran en el Anexo 2: Cálculos y dimensionamiento de engranajes. La vista superior del sistema de engranajes en el sistema mecatrónico presentado se encuentra en la figura 2.3.

### 3.2.1.2. Sistema de embrague - Rueda libre

El sistema de embrague seleccionado es la rueda libre con rodillos retenidos **RENOLD REGL-F2-D2 25 mm** mostrada en la figura 3.2.2. Consiste en una rueda libre que transmite el torque en un solo sentido; se acopla al eje mediante una chaveta y al engranaje mediante una brida, el torque máximo permisible es de 576 N m. Este elemento nos permite aprovechar al máximo el impulso, ya que cuando la rampa regrese a su posición inicial, el generador seguirá girando, puesto que estará desacoplado del multiplicador de velocidad.



Figura 3.2.1: Rueda libre RENOLD F2-D2 25 mm.  
Fuente: Renold.

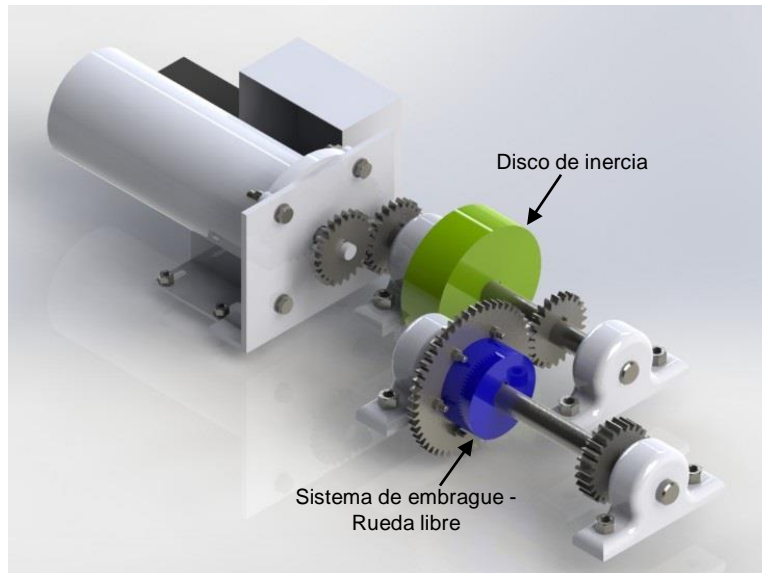


Figura 3.2.2: Ubicación de la rueda libre RENOLD F2-D2 25mm en el sistema mecatrónico. Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.1.3. Resortes para el retorno de la rampa

Se han seleccionado los resortes de torsión **PT700035000-2-OT-LH** fabricados por **Acxes Spring**. Estos resortes son fabricados de acero ASTM A229 y cuentan con un diámetro de alambre de 7 mm, diámetro exterior de 35 mm, 2 espiras activas y una constante de 130 689.38 N mm/rad. Para esta selección se ha tenido en cuenta las cargas que estarán presentes, así como la constante equivalente que permite el retorno de la rampa a su posición inicial. Son 5 juegos de resortes que se encuentran distribuidos linealmente en las bisagras de la rampa del sistema. Es importante resaltar que los resortes no van a soportar el peso del vehículo, solo almacenaran la energía necesaria para poder retornar la rampa a su posición inicial. Los cálculos para la selección de los resortes se encuentran en el Anexo 3: Cálculos y dimensionamiento de resorte de torsión.



Resortes para el retorno

Figura 3.2.3: Ubicación de los resortes en la bisagra de la rampa. Fuente: Elaboración propia.

## 3.2.2. Componentes eléctricos

### 3.2.2.1. Generador eléctrico

El generador eléctrico seleccionado es el **Windstream Power Permanent Magnet DC Generator #443905**, se escogió este tipo de generador debido a su gran simplicidad, ya que no posee escobillas, lo que genera un ahorro en mantenimiento [6] [7]. Además, es capaz de generar electricidad a bajas velocidades de rotación.

Por indicaciones del fabricante, el generador deberá sujetarse del plato frontal, por lo que se diseñó un soporte tal como se muestra en la figura 3.2.6. Al eje del generador se le ha fijado un engranaje mediante una chaveta para poder ser acoplado al sistema de engranajes.



Figura 3.2.5: Generador DC de imanes permanentes #443905, marca Windstream Power. Fuente: Windstream Power .

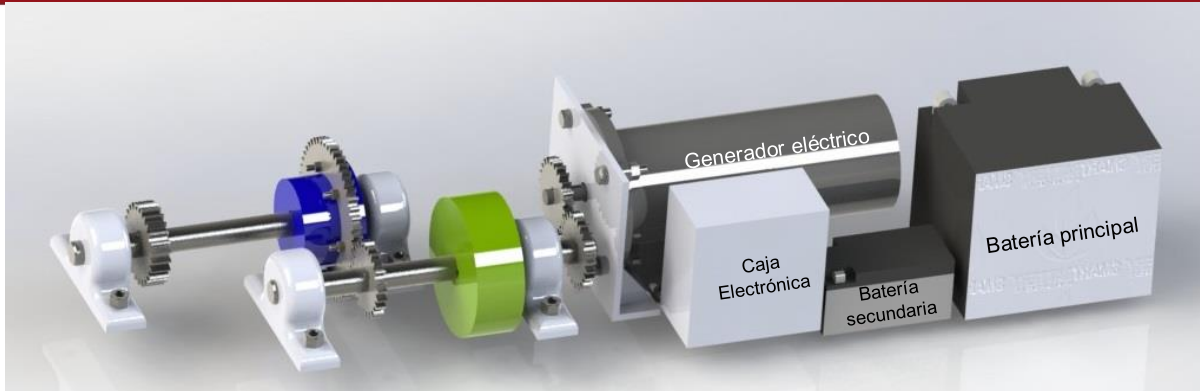


Figura 3.2.6: Montaje del generador y ubicación de las baterías y la caja electrónica en el sistema mecatrónico. Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2.2. Batería principal

La batería principal será usada para almacenar la energía generada, la batería seleccionada es **SMART BATTERY 12V 40Ah Lithium Ion Battery**. Esta batería es capaz de suministrar 480 Wh, sin embargo, para este diseño sólo se ha considerado emplear el 85 % de su capacidad de carga (408 Wh). La tecnología de esta batería es del tipo Li-Ion, se escogió esta batería debido a que cuenta con características del tipo LiFePo<sub>4</sub> (indicado por el fabricante) porque es capaz de recibir grandes cantidades de corriente de carga, por lo general entre 0,5 C y 3 C [8]. La batería seleccionada soporta como máxima corriente de carga 1 C, es decir 40 A. Además, la batería cuenta con un sistema de protección interno contra cortocircuitos, sobrecargas y sobredescargas.



Figura 3.2.7: Batería principal de 12 V 40 Ah del sistema mecatrónico, marca SMART BATTERY. Fuente: Smart Battery.

### 3.2.2.3. Batería secundaria

La batería secundaria seleccionada es de la marca **Yuasa**, modelo **NP3.2 12V**. Ésta batería es del tipo VRLA (voltage regulated lead acid) y sólo será utilizada como fuente de alimentación para el circuito de control de carga. Se ha considerado el uso de esta batería para mantener una fuente constante en el circuito de control, debido a que se espera que la batería principal se descargue continuamente. No se requiere que esta batería soporte una gran cantidad de corriente de carga, debido a que su corriente de descarga es pequeña (1.97 mA). Se mantendrá cargada con una corriente mayor a la corriente de flotación [9] indicada por el fabricante, debido a que la carga no es constante. Para evitar la sobrecarga de la batería, se ha previsto el uso de un diodo Zener y un transistor en paralelo.



Figura 3.2.6: Batería secundaria Yuasa NP3.2 12V. Fuente: Yuasa.

### 3.3. Planos del sistema mecatrónico

A continuación se presentarán los planos de despiece y ensamble correspondientes al sistema mecatrónico planteado. Los planos en tamaño completo se encuentran en el Anexo 9. Las dimensiones del sistema mecatrónico son 2720 mm x 410 mm x 270 mm de altura.

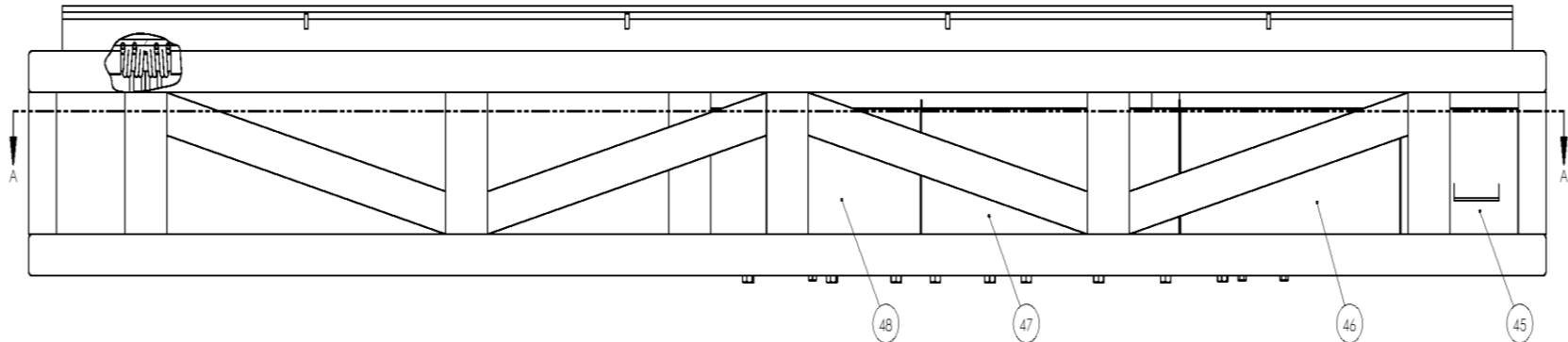


Figura 3.3.1: Vista frontal del ensamble general del sistema mecatrónico. Fuente: Elaboración propia.

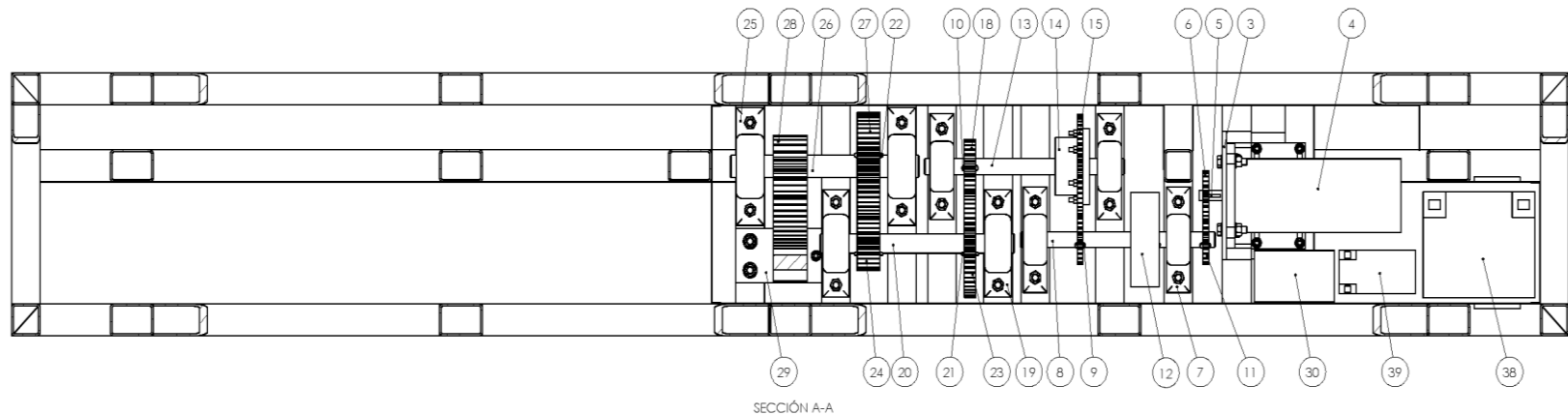


Figura 3.3.2: Vista de sección A-A del ensamble general del sistema mecatrónico. Fuente: Elaboración propia.

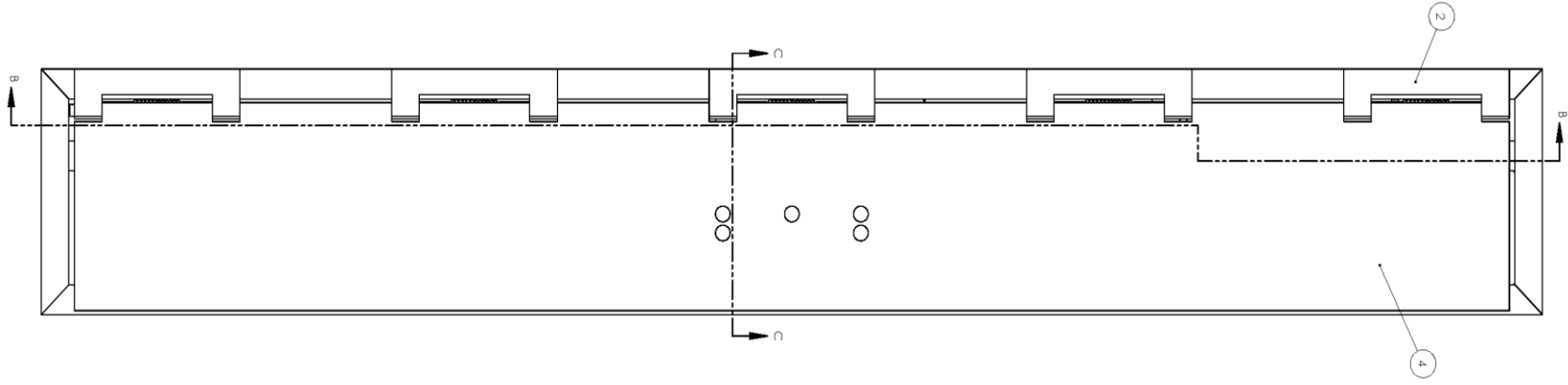


Figura 3.3.3: Vista superior del ensamble general del sistema mecatrónico. Fuente: Elaboración propia.

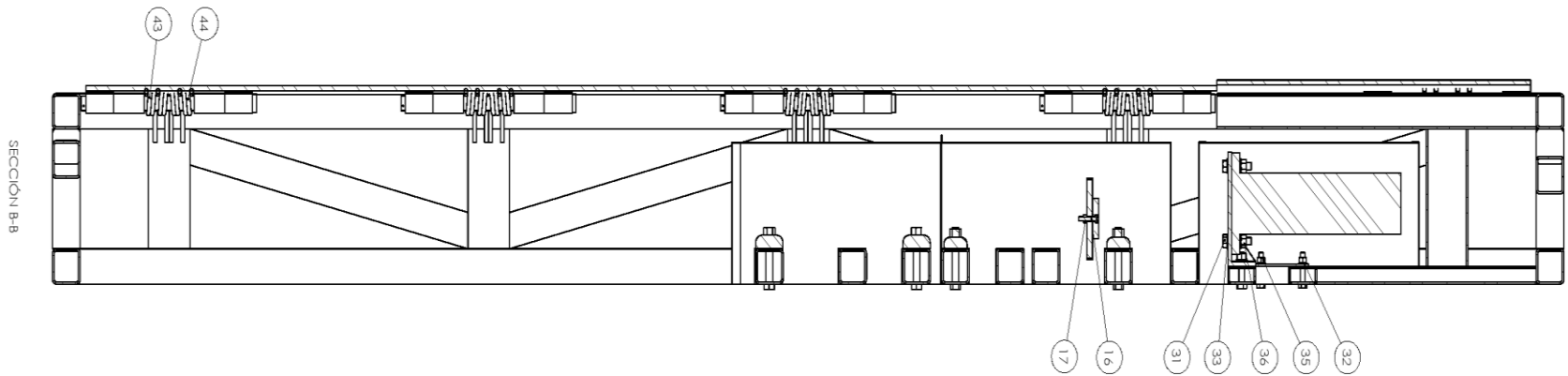


Figura 3.3.4: Vista de sección B-B del ensamble general del sistema mecatrónico. Fuente: Elaboración propia.

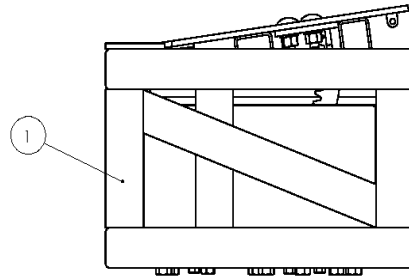


Figura 3.3.5: Vista lateral del ensamble general del sistema mecatrónico. Fuente: Elaboración propia.

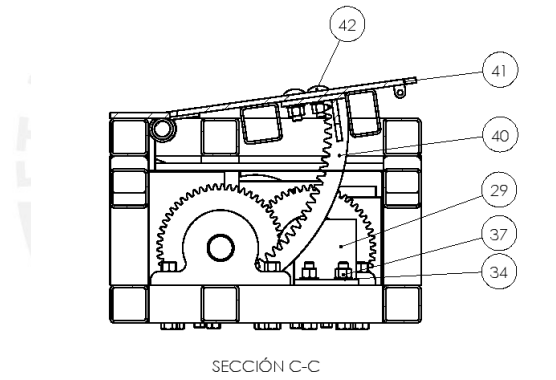


Figura 3.3.6: Vista de sección C-C del ensamble general del sistema mecatrónico. Fuente: Elaboración propia.



48	1	Protector 4		ASTM A1008	G4-P31-A2
47	1	Protector 3		ASTM A1008	G4-P30-A2
46	1	Protector 2		ASTM A1008	G4-P29-A2
45	1	Protector 1		ASTM A1008	G4-P28-A2
44	10	Resorte mano izquierda		ASTM A229	ACXES SPRING
43	10	Resorte mano derecha		ASTM A229	ACXES SPRING
42	5	Tornillo Cabeza Redonda M12 x 65	ISO 8678	AISI 1020	
41	1	Rampa		ASTM A36	G2-P2-A1
40	1	Corona - Ensamble		AISI 1020	G3-P26-A2
39	10	Batería secundaria			YUASA
38	10	Batería principal			SMART BATTERY
37	23	Tuerca Hexagonal M12	ISO 4034	AISI 1020	
36	7	Tuerca Hexagonal M10	ISO 4034	AISI 1020	
35	5	Tuerca Hexagonal M8	ISO 4034	AISI 1020	
34	7	Arandela 12		AISI 1020	
33	11	Arandela 10		AISI 1020	
32	5	Arandela 8		AISI 1020	
31	4	Tornillo Hexagonal M10 x 45	ISO 4016	AISI 1020	
30	1	Caja electrónica			
29	1	Guía		ASTM A36	G3-P23-A3
28	1	Engranaje 1		AISI 4340	G3-P10-A3
27	1	Engranaje 2		AISI 4340	G3-P11-A3
26	1	Eje 1 - 35 mm		AISI 3215	G3-P5-A3
25	2	Unidad de rodamiento 35 mm			SKF
24	1	Engranaje 3		AISI 4340	G3-P12-A3
23	1	Engranaje 4		AISI 4340	G3-P13-A3
22	3	Chaveta 10x8x50	DIN 6885	AISI 3215	G3-P18-A4
21	3	Chaveta 10x8x30	DIN 6885	AISI 3215	G3-P19-A4
20	1	Eje 2 - 30 mm		AISI 3215	G3-P6-A3
19	2	Unidad de rodamiento 30 mm			SKF
18	1	Engranaje 5		AISI 4340	G3-P14-A3
17	6	Tuerca Hexagonal M6	ISO 4034	AISI 1020	
16	6	Tornillo Cabeza Hueca Hexagonal M6 x 30	ISO 4762	AISI 1020	
15	1	Engranaje 6		AISI 4340	G3-P15-A3
14	1	Rueda libre			Renold F2 D2 25 mm
13	1	Eje 3 - 25 mm - Rueda libre		AISI 3215	G3-P7-A3
12	1	Disco de inercia		Plomo	G3-P25-A4
11	2	Engranaje 7 y 8		AISI 4340	G3-P16-A3
10	3	Chaveta 8x7x28	DIN 6885	AISI 3215	G3-P20-A4
9	2	Chaveta 8x7x18	DIN 6885	AISI 3215	G3-P21-A4
8	1	Eje 4 - 25 mm - inercia disco		AISI 3215	G3-P8-A3
7	4	Unidad de rodamiento 25 mm			SKF
6	1	Engranaje 9		AISI 4340	G3-P17-A3
5	1	Chaveta 5x5x12	DIN 6885	AISI 3215	G3-P22-A4
4	1	Generador eléctrico			Windstream Power
3	1	SopORTE generador		ASTM A36	G3-P24-A3
2	4	Rampa - Bisagra			G2-P3-A3
1	1	Estructura		ASTM A36	G1-P1-A0
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

Figura 3.3.7: Lista de elementos del ensamble general del sistema mecatrónico. Fuente: Elaboración propia.

La estructura está hecha por tubos de sección cuadrada de 50 mm x 50 mm y por tubos de sección rectangular de 75 mm x 50 mm y 50 mm x 25 mm. Además, ha sido diseñada para poder soportar el peso del vehículo en el caso que éste se quede detenido en plena rampa.

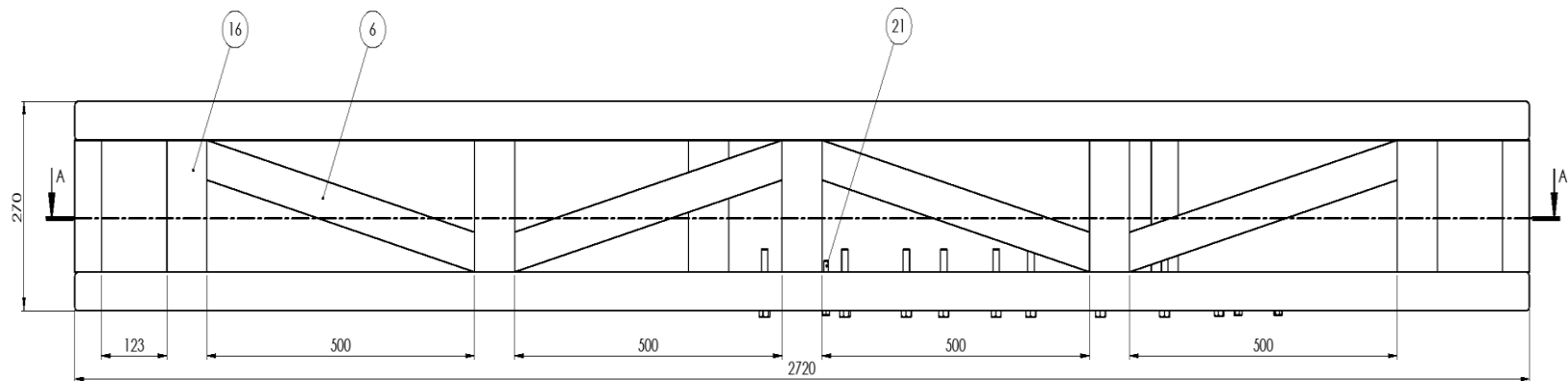


Figura 3.3.8: Vista frontal de la estructura del sistema mecatrónico. Fuente: Elaboración propia.

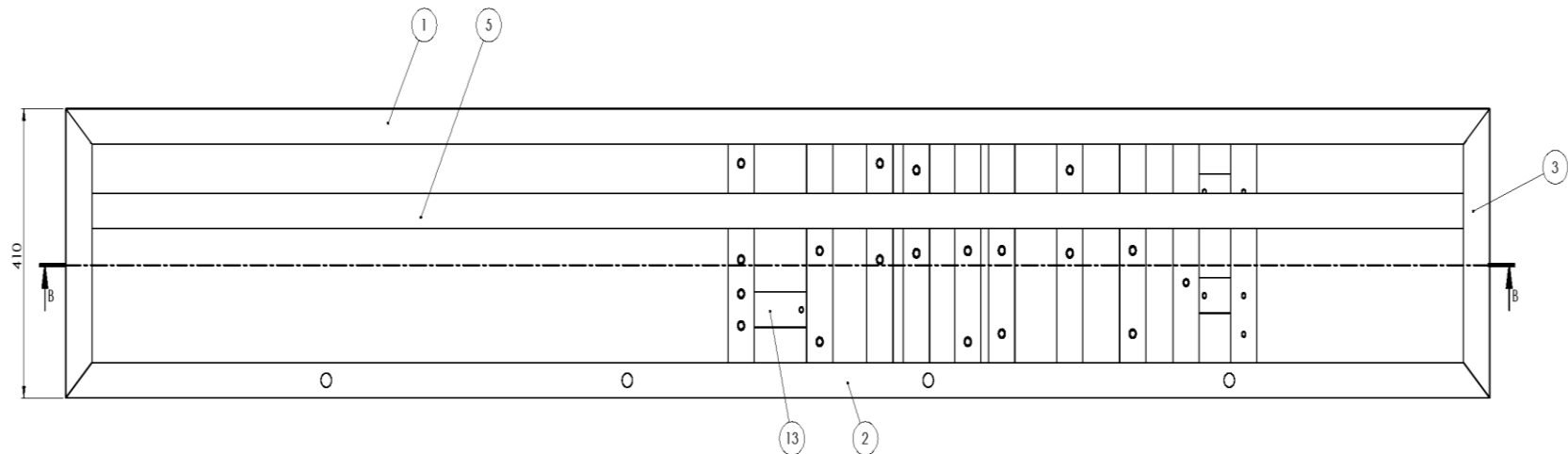


Figura 3.3.9: Vista superior de la estructura del sistema mecatrónico. Fuente: Elaboración propia.

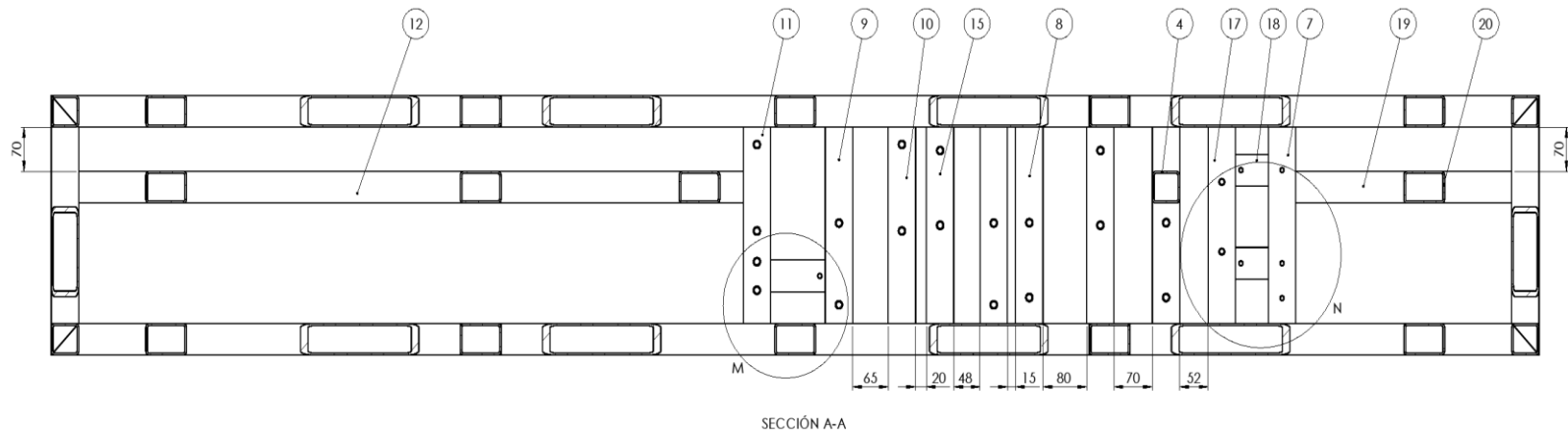


Figura 3.3.10: Vista de sección A-A de la estructura del sistema mecatrónico. Fuente: Elaboración propia.

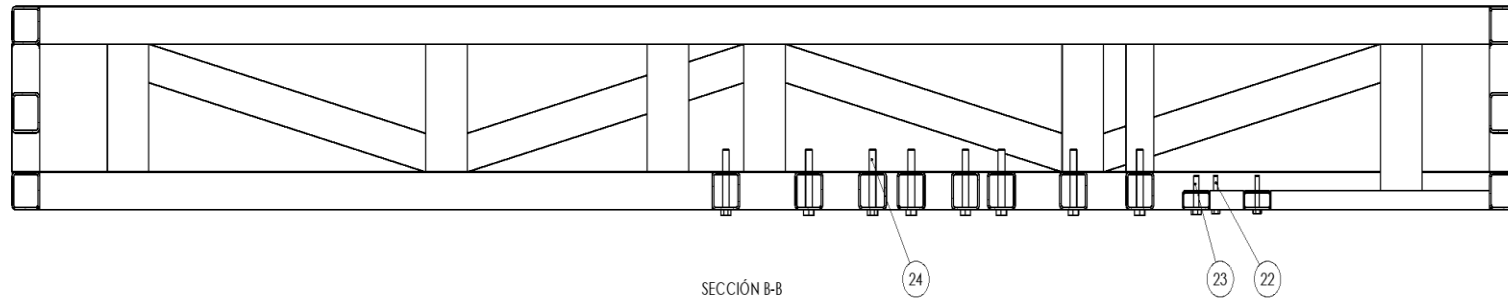


Figura 3.3.11: Vista de sección B-B de la estructura del sistema mecatrónico. Fuente: Elaboración propia.

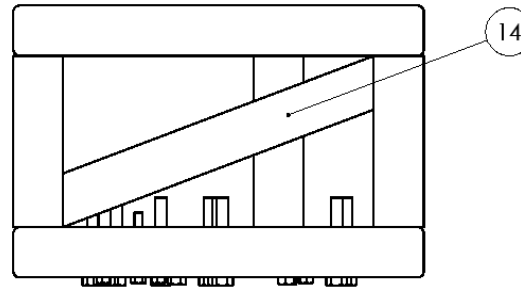


Figura 3.3.12: Vista lateral de la estructura del sistema mecatrónico. Fuente: Elaboración propia.

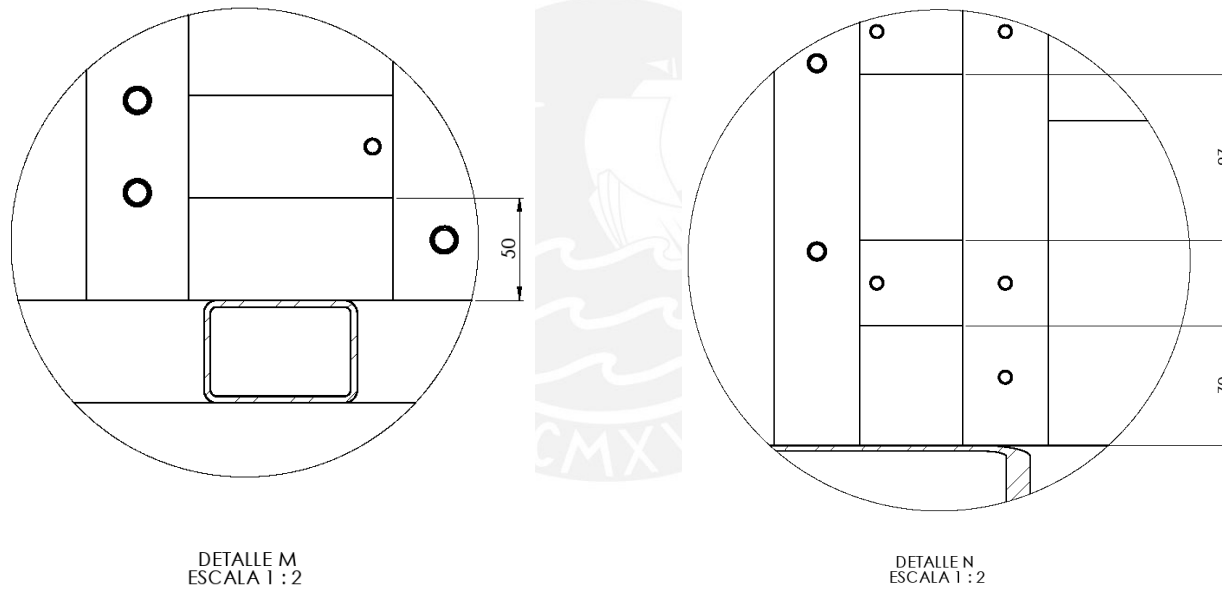


Figura 3.3.13: Vistas de detalles M y N de la estructura del sistema mecatrónico. Fuente: Elaboración propia.

24	1B	ISO 4016 - M12x80	ISO	AISI 1020	
23	2	ISO 4016 - M10x45	ISO	AISI 1020	
22	5	ISO 4016 - MBx45	ISO	AISI 1020	
21	1	ISO 4016 - MBx65	ISO		
20	1	TS 75 x 50 x 3 x 195		ASTM - A36	
19	1	TS 50 x 25 x 2 x 395		ASTM - A36	
18	2	TS 50 x 25 x 2 x 60		ASTM - A36	G1-P1.12-A3
17	1	TS 50 x 25 x 3 x 310		ASTM - A36	G1-P1.11-A3
16	13	TS 75 x 50 x 3 x 170		ASTM - A36	
15	2	TS 50 x 50 x 3 x 310		ASTM - A36	G1-P1.10-A3
14	2	TS 50 x 50 x 3 x 350		ASTM - A36	G1-P1.9-A3
13	1	TS 50 x 50 x 3 x 100		ASTM - A36	G1-P1.8-A3
12	1	TS 50 x 50 x 3 x 1215		ASTM - A36	
11	1	TS 50 x 50 x 3 x 310		ASTM - A36	G1-P1.7-A3
10	1	TS 50 x 50 x 3 x 310		ASTM - A36	G1-P1.6-A3
9	2	TS 50 x 50 x 3 x 310		ASTM - A36	G1-P1.5-A3
8	2	TS 50 x 50 x 3 x 310		ASTM - A36	G1-P1.4-A3
7	1	TS 50 x 50 x 3 x 310		ASTM - A36	G1-P1.3-A3
6	8	TS 50 x 50 x 3 x 526		ASTM - A36	G1-P1.2-A3
5	1	TS 50 x 50 x 3 x 2620		ASTM - A36	
4	5	TS 50 x 50 x 3 x 170		ASTM - A36	
3	4	TS 50 x 50 x 3 x 410		ASTM - A36	
2	1	TS 50 x 50 x 3 x 2720		ASTM - A36	G1-P1.1-A3
1	3	TS 50 x 50 x 3 x 2720		ASTM - A36	
<i>POS.</i>	<i>CANT.</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>NORMA</i>	<i>MATERIAL</i>	<i>OBSERVACIONES</i>

Figura 3.3.14: Listas de elementos de la estructura del sistema mecatrónico. Fuente: Elaboración propia.

La rampa se fabricará de acero ASTM A36 de 2.6 m x 0.35 m con un espesor de 7 mm. Además, en el diseño se ha considerado la instalación de dos tubos por toda su longitud con la finalidad de agregar inercia y reducir la deflexión. En el Anexo 6: Análisis de esfuerzos de la rampa, se encuentran las simulaciones CAE realizadas para esta pieza. En el Anexo 9: Planos de despiece y ensamble, también se muestra el plano de despiece de la plancha de la rampa.

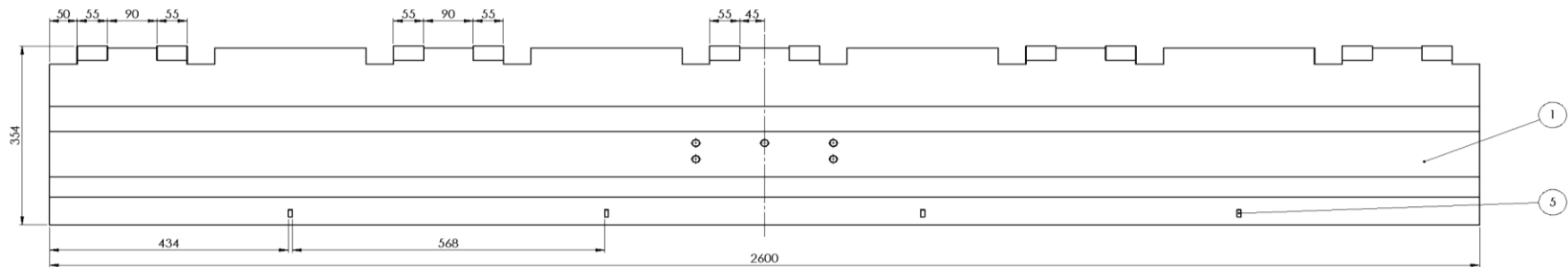


Figura 3.3.15: Vista superior del ensamble de la rampa. Fuente: Elaboración propia.

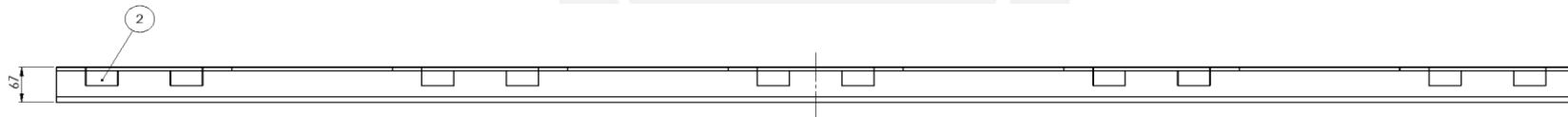


Figura 3.3.16: Vista frontal del ensamble de la rampa. Fuente: Elaboración propia.

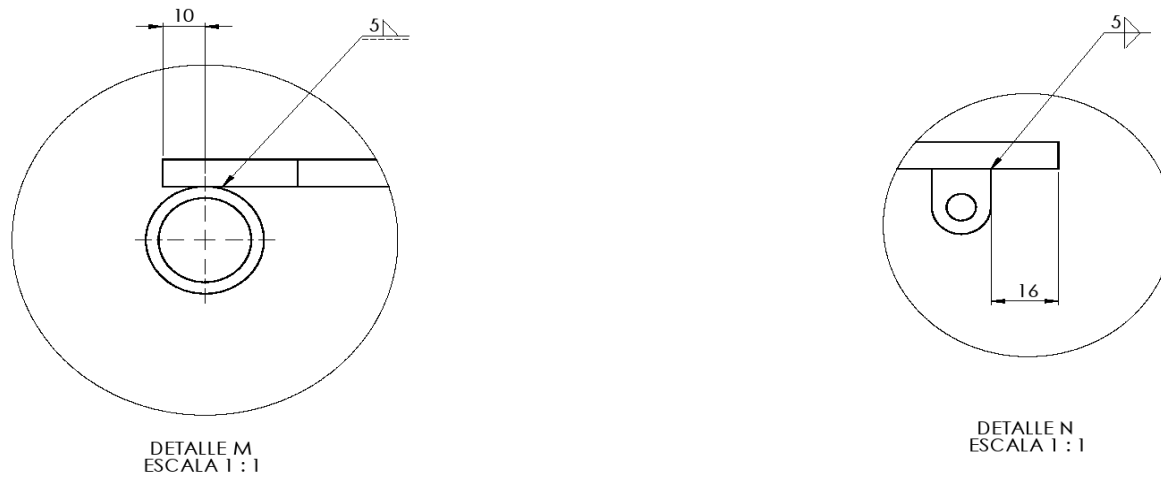


Figura 3.3.17: Vista de detalles M y N del ensamble de la rampa. Fuente: Elaboración propia.

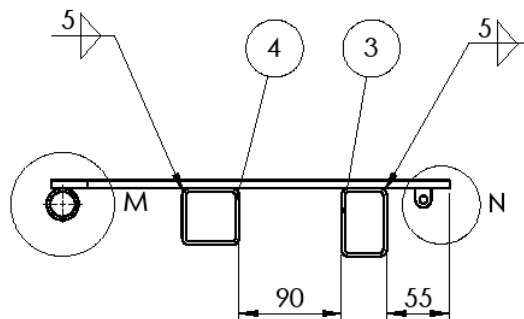


Figura 3.3.18: Vista lateral del ensamble de la rampa. Fuente: Elaboración propia.

5	4	Rampa - Oreja		ASTM A36	G2-P2.2-A4
4	1	TS 50 x 50 x 3 x 2600		ASTM A36	
3	1	TS 60 x 40 x 3 x 2600		ASTM A36	
2	10	Tubería 3/4" x 55		ASTM A500	
1	1	Rampa - Plancha		ASTM A36	G2-P2.1-A2
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES

Figura 3.3.19: Lista de elementos del ensamble de la rampa. Fuente: Elaboración propia.

Las 5 bisagras serán de las mismas dimensiones y fabricadas de acero ASTM A36, parte de las bisagras se encuentra soldada en la rampa del sistema mecatrónico. (Ver figura 3.3.2)

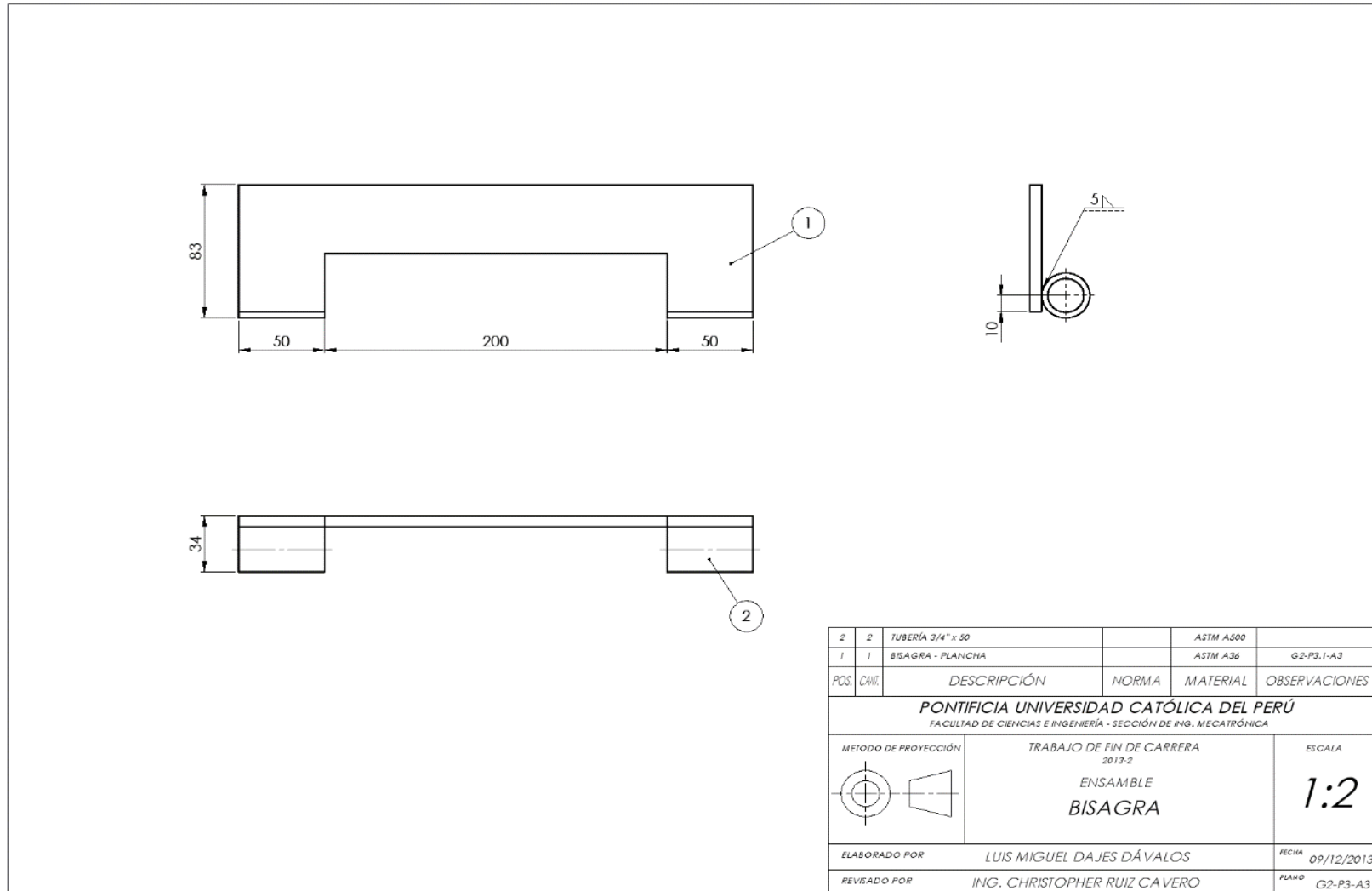


Figura 3.3.20: Plano de ensamble de la bisagra. Fuente: Elaboración propia.



Las 5 clavijas serán de las mismas dimensiones y fabricadas de acero ASTM A36.

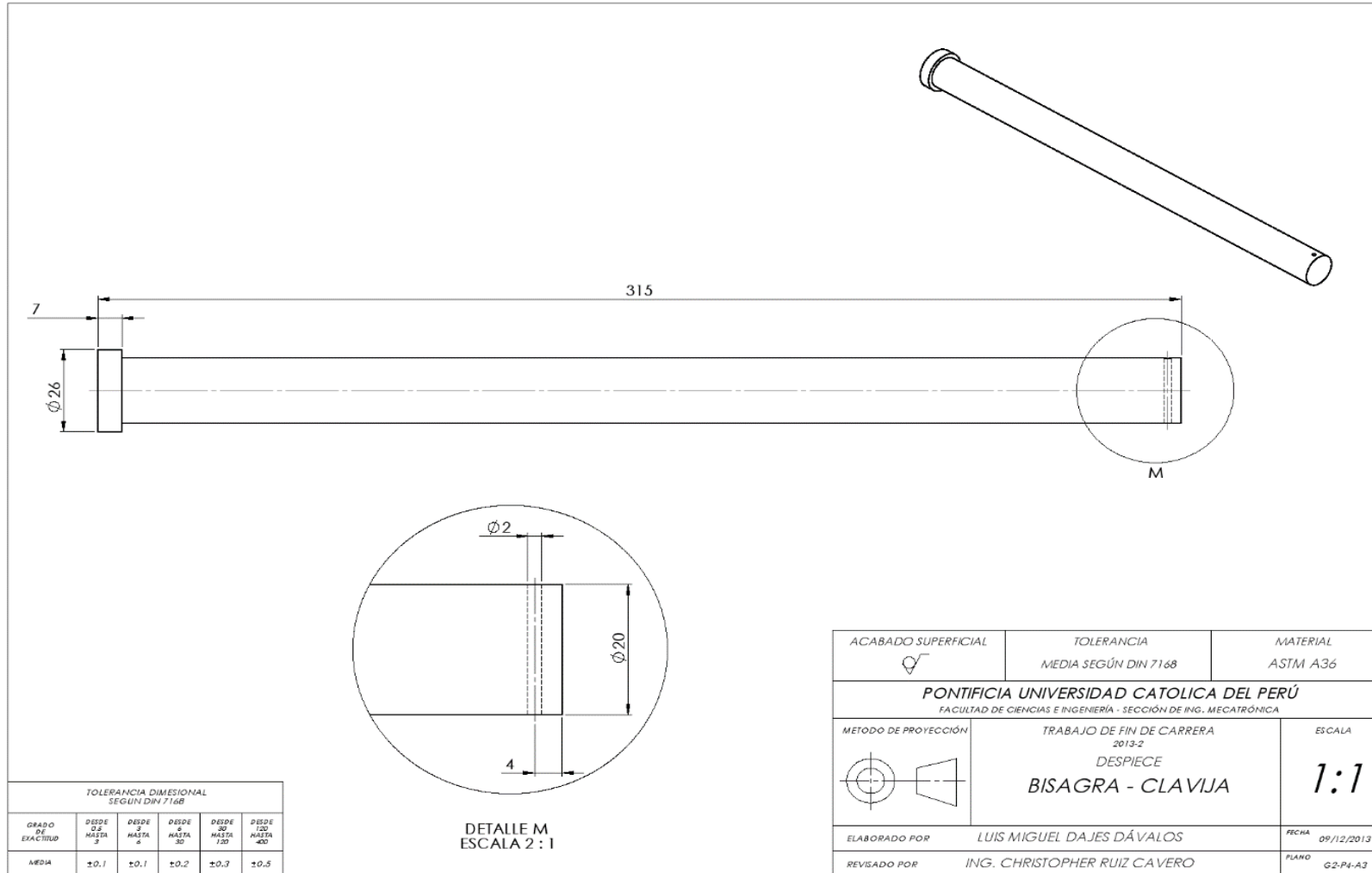


Figura 3.3.21: Plano de despiece de la clavija. Fuente: Elaboración propia.

Los ejes serán fabricados de acero AISI 3215, comúnmente usado para este tipo de elementos. Los canales chaveteros tienen las tolerancias recomendadas por la norma DIN 6885. En la figura A4.1 se muestran los 4 ejes del sistema mecatrónico. A continuación sólo se muestra el plano de despiece del eje 1, los planos de los demás ejes se encuentran en el Anexo 9: Planos de despiece y ensamble. El cálculo para el dimensionamiento de todos los ejes se encuentra en el Anexo 4: Cálculos y dimensionamiento de ejes.

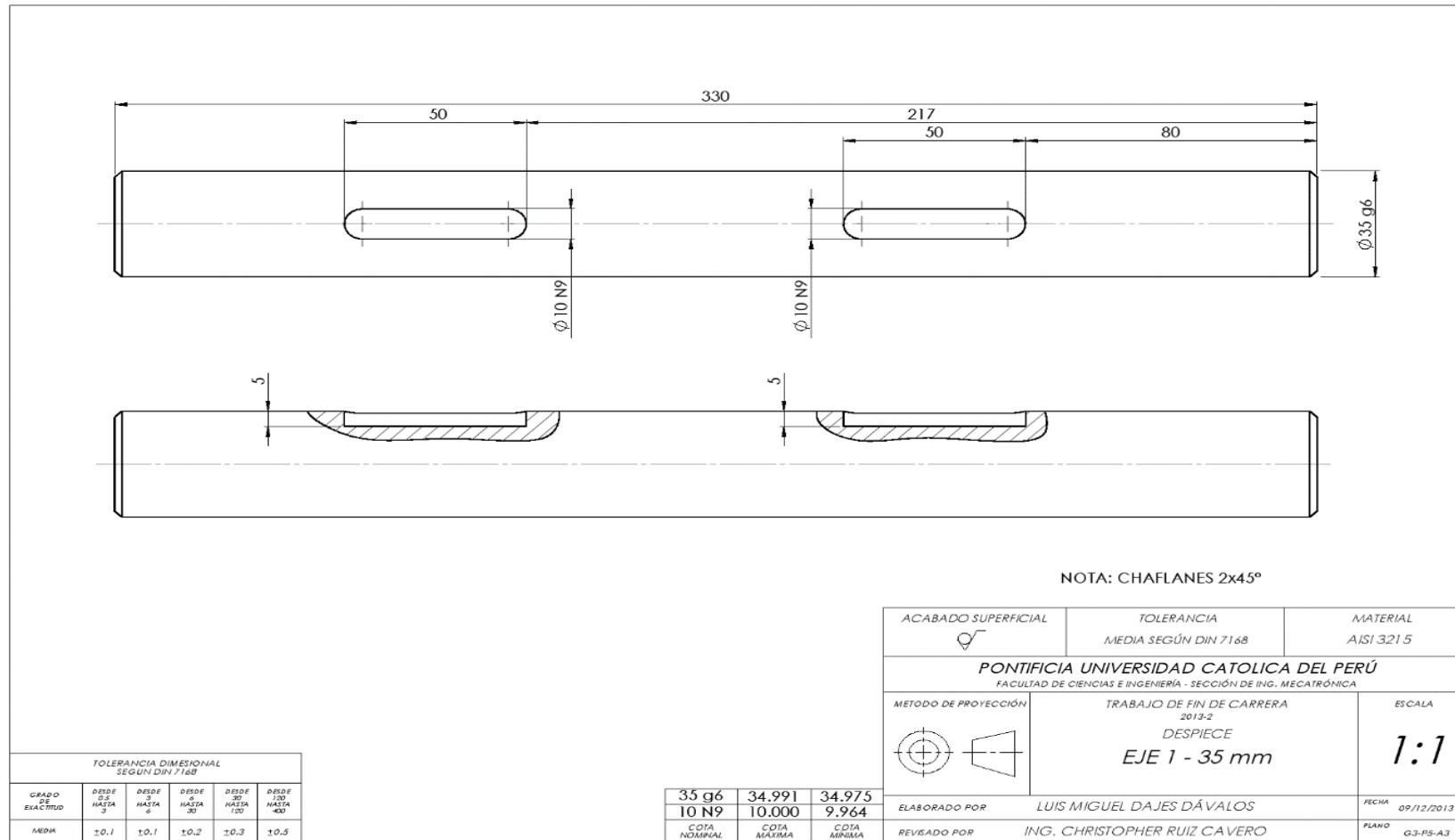


Figura 3.3.22: Plano de despiece del eje 1. Fuente: Elaboración propia.

Todos los engranajes serán fabricados de acero AISI 4340, comúnmente usado para este tipo de elementos. En la figura A2.5 se muestran los 9 engranajes del sistema mecatrónico, a continuación se muestra el plano de despiece del engranaje E1, los planos de los demás engranajes se muestran en el Anexo 9: Planos de despiece y ensamble.

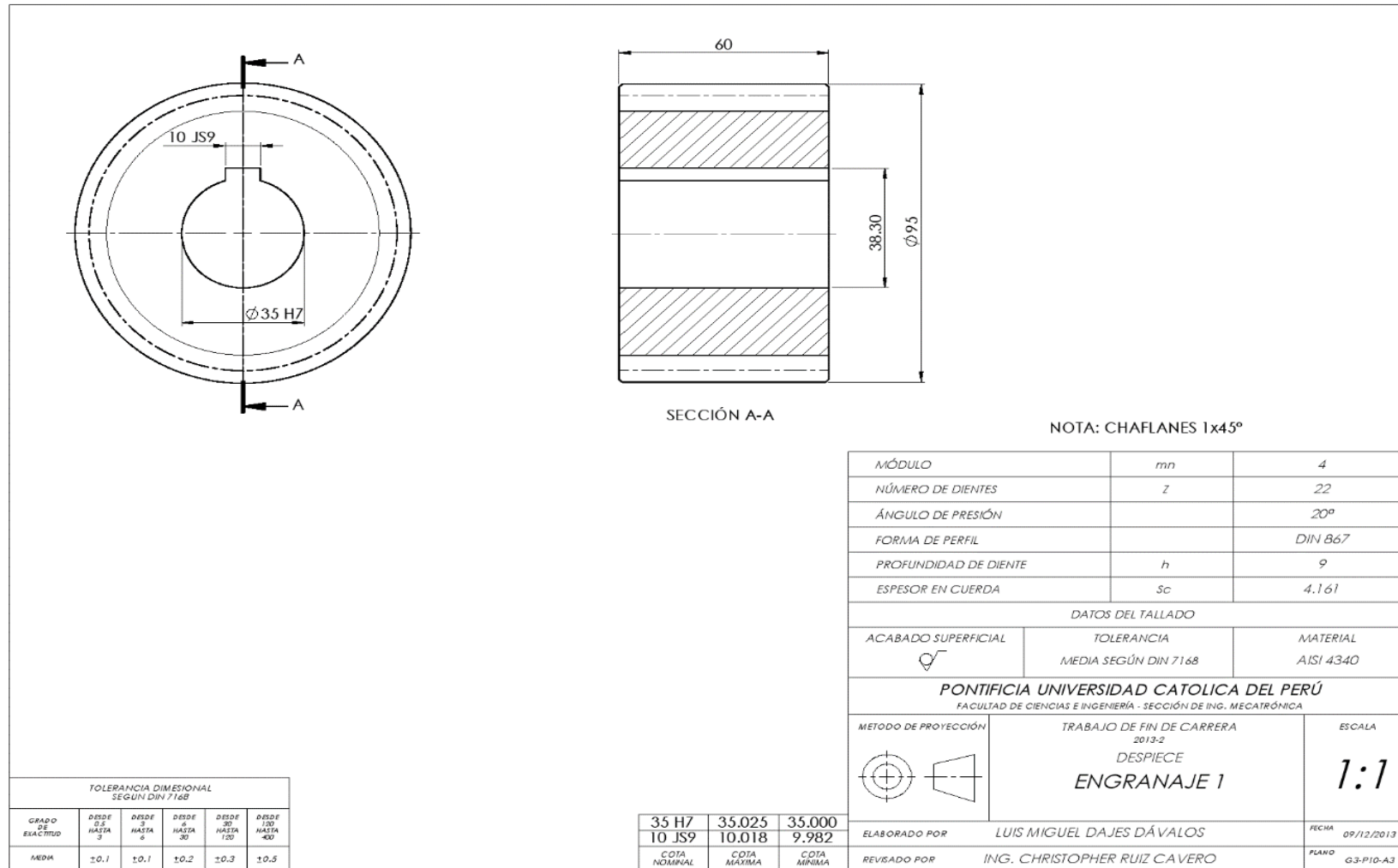


Figura 3.3.23: Plano de despiece del engranaje 1. Fuente: Elaboración propia.

Todas las chavetas serán fabricadas de acero AISI 3215. Se usó la norma DIN 6885 para el dimensionamiento de las chavetas. A continuación se muestra el plano de despiece de la chaveta del engranaje 1, los planos de las demás chavetas se muestran en el Anexo 9: Planos de despiece y ensamble.

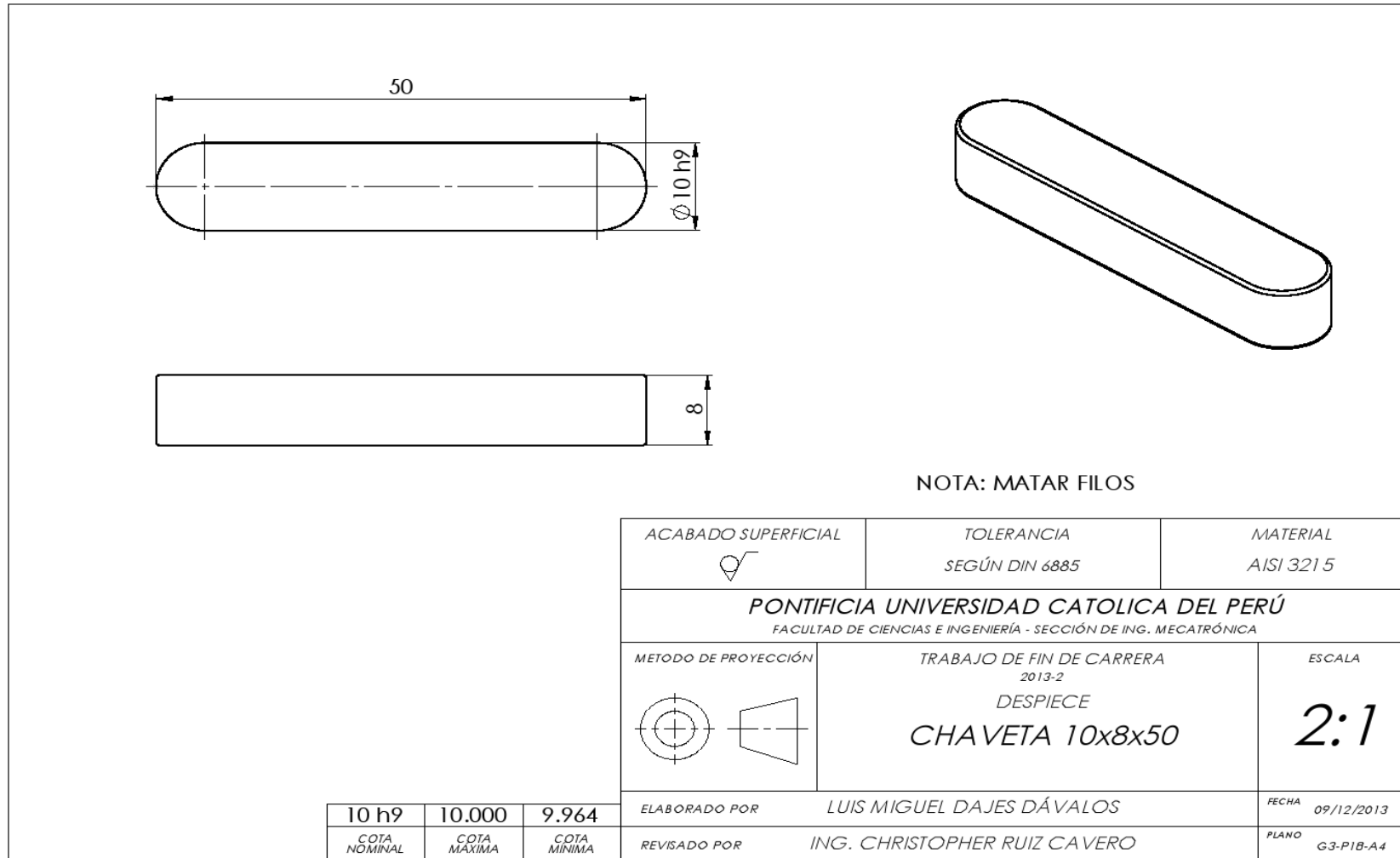


Figura 3.3.24: Plano de despiece de la chaveta del engranaje 1. Fuente: Elaboración propia.

La corona será fabricada de acero AISI 4340.

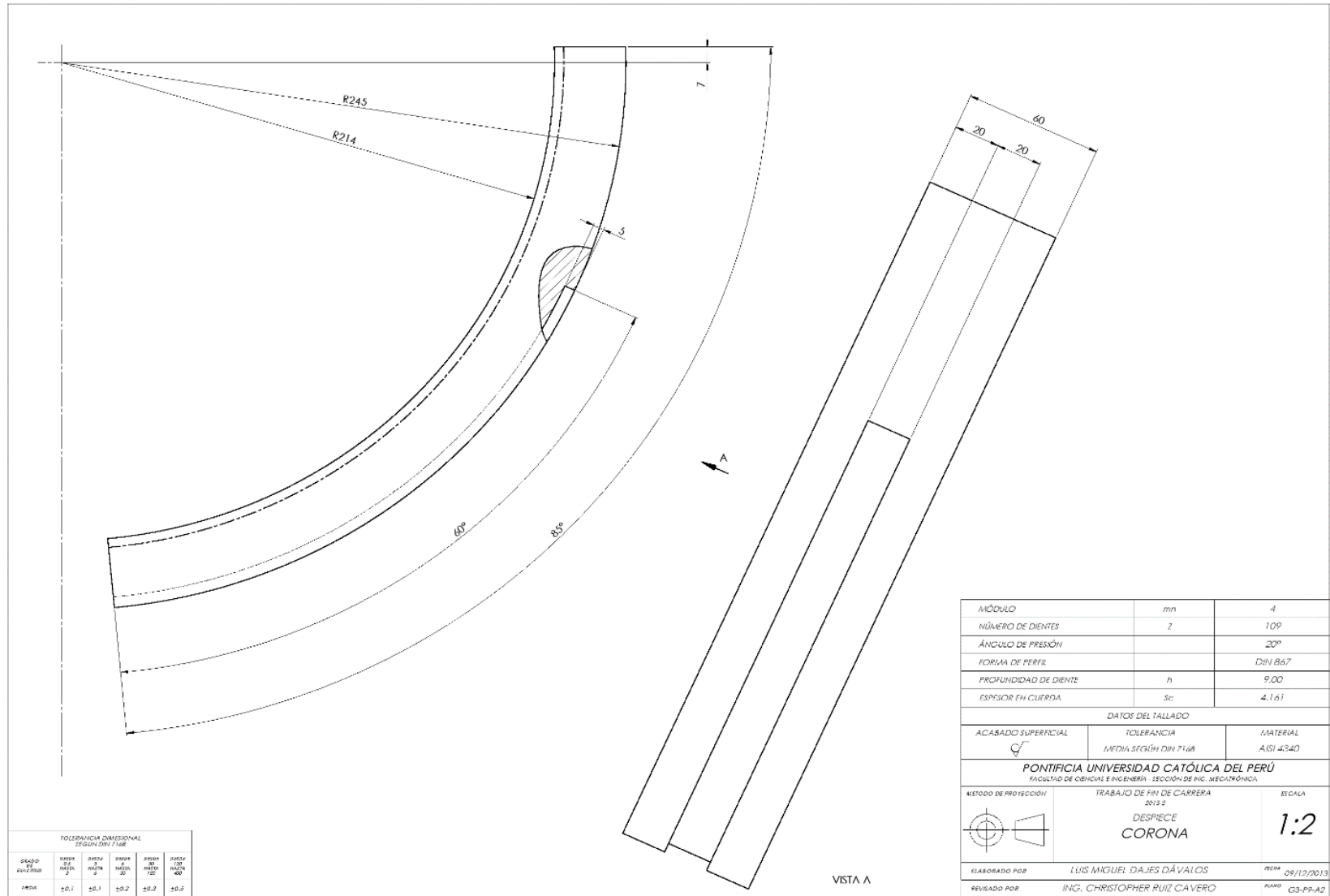


Figura 3.3.25: Plano de despiece de la corona. Fuente: Elaboración propia.

La corona irá soldada sobre una plancha del mismo espesor de la rampa (ver figura 3.3.2). Además, se han incluido dos cartelas que serán soldadas a la corona y a la plancha con la finalidad de brindar mayor rigidez y estabilidad.

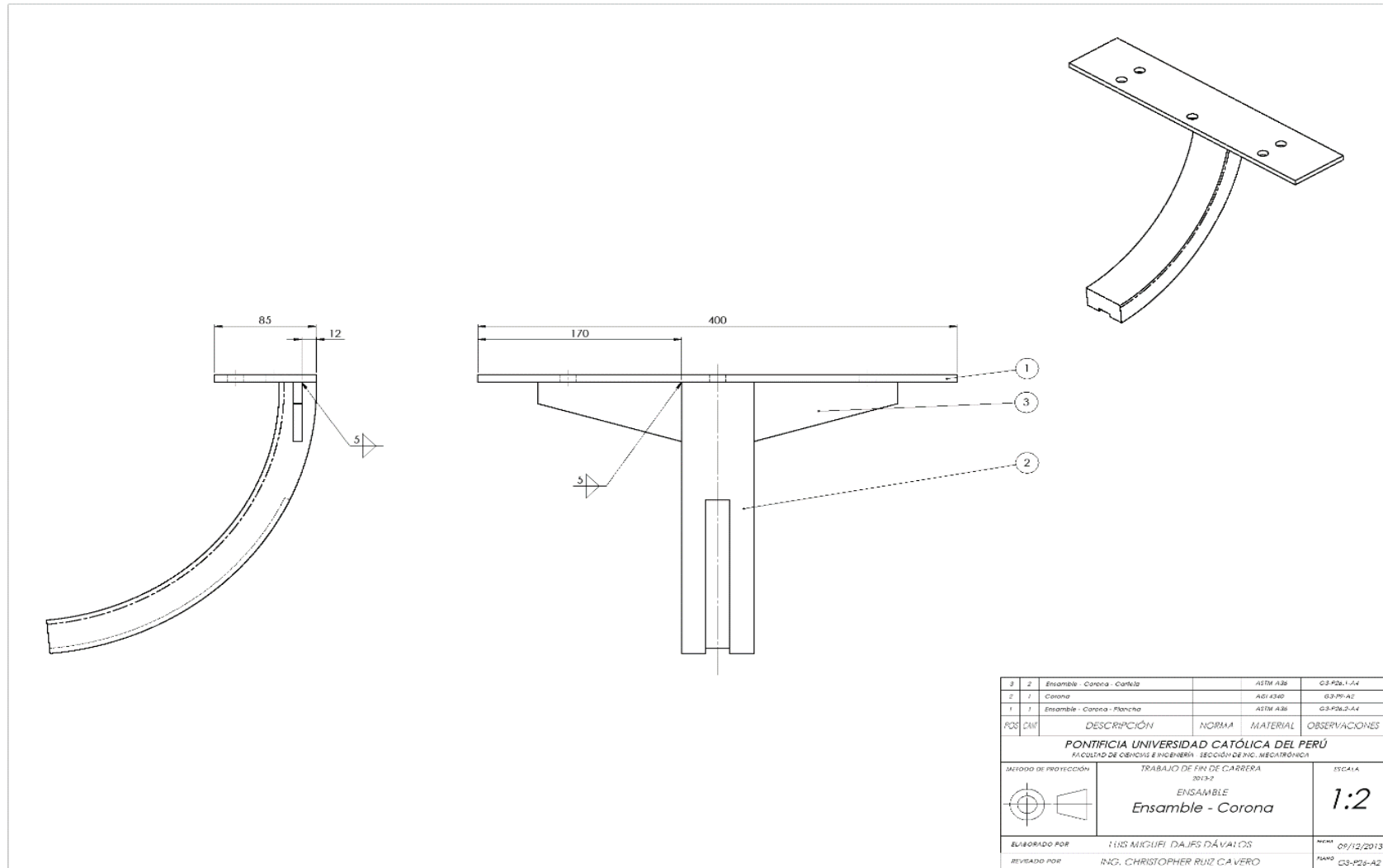


Figura 3.3.26: Plano de ensamble de la corona. Fuente: Elaboración propia.

La guía de la corona será fabricada de acero ASTM A36. Esta guía evita cualquier desalineamiento de la corona, además de protegerla contra esfuerzos por cargas excéntricas. Esta pieza debe ser engrasada para que la corona tenga un mejor deslizamiento sobre ésta y evitar desgaste por fricción.

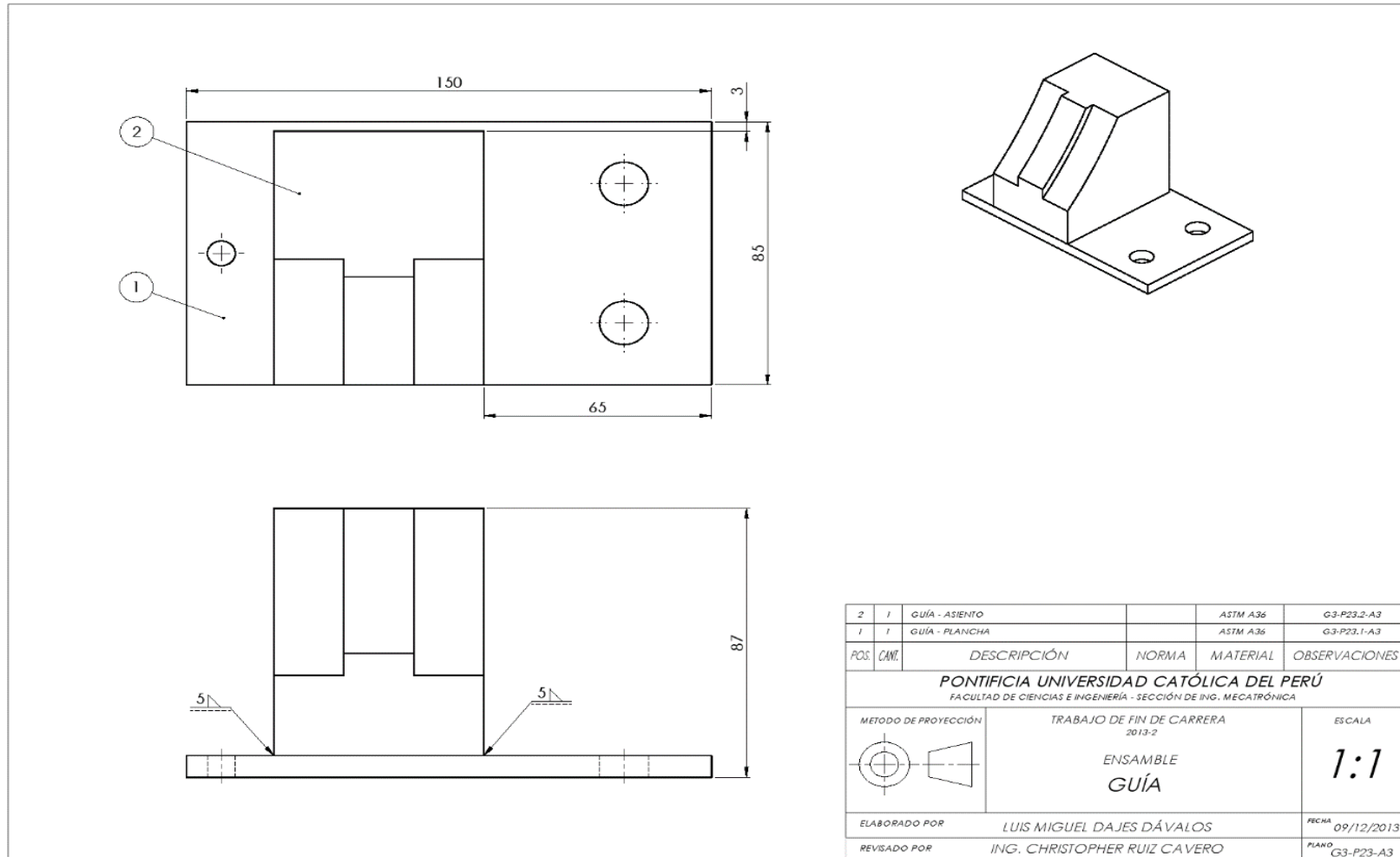


Figura 3.3.27: Plano de ensamble de la guía de la corona. Fuente: Elaboración propia.

Tal como se indicó anteriormente, por recomendaciones del fabricante, el generador debe estar sujeto por el plato frontal, es por esto que se diseñó un soporte. Se usó el mismo espesor de la plancha con el fin de aprovechar el material restante de la rampa.

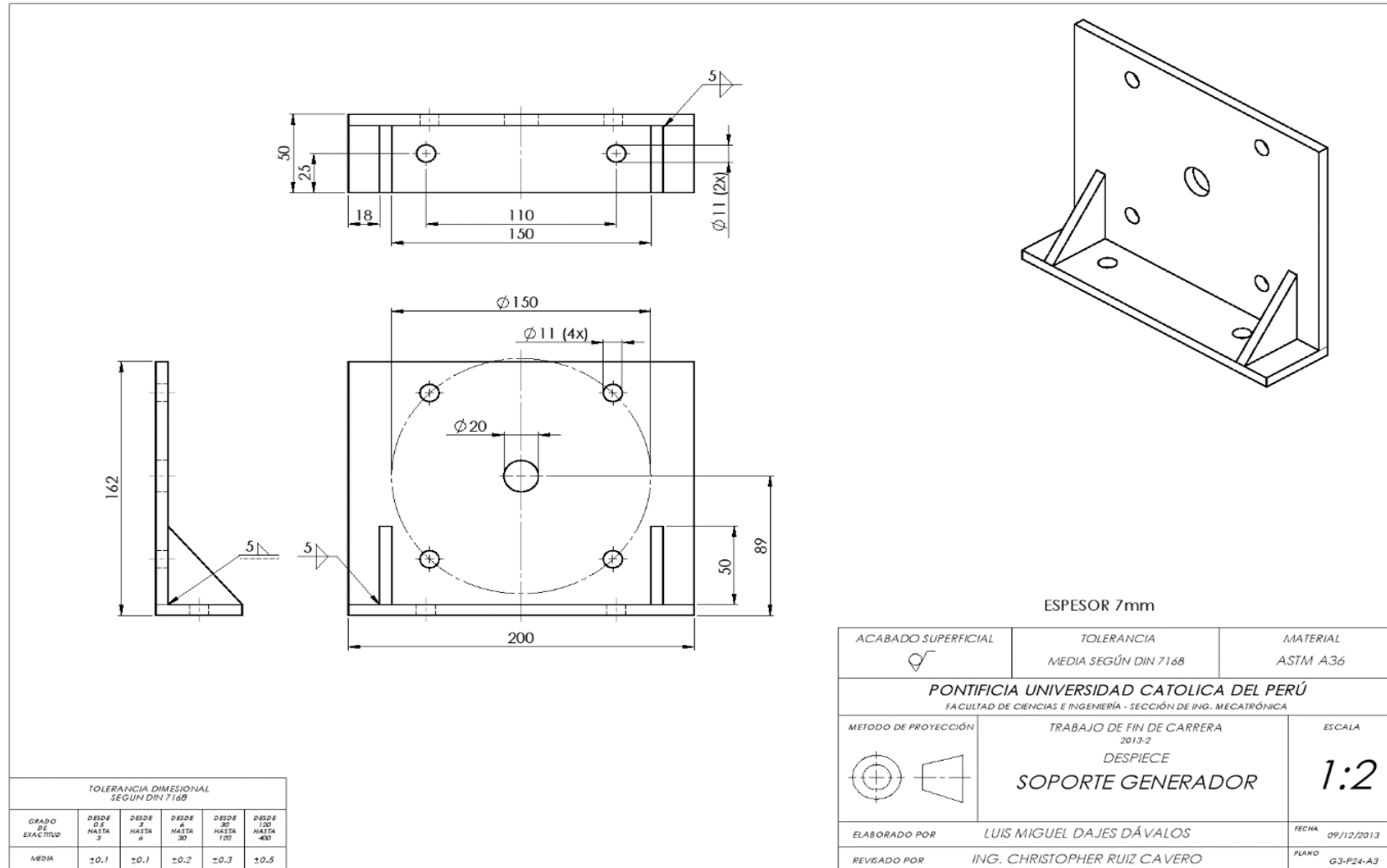


Figura 3.3.28: Plano de despiece del soporte del generador. Fuente: Elaboración propia.



El material empleado para la fabricación de esta pieza es el plomo debido a su alta densidad y su bajo costo en el mercado. El cálculo y dimensionamiento del disco se encuentra en el Anexo 5:.

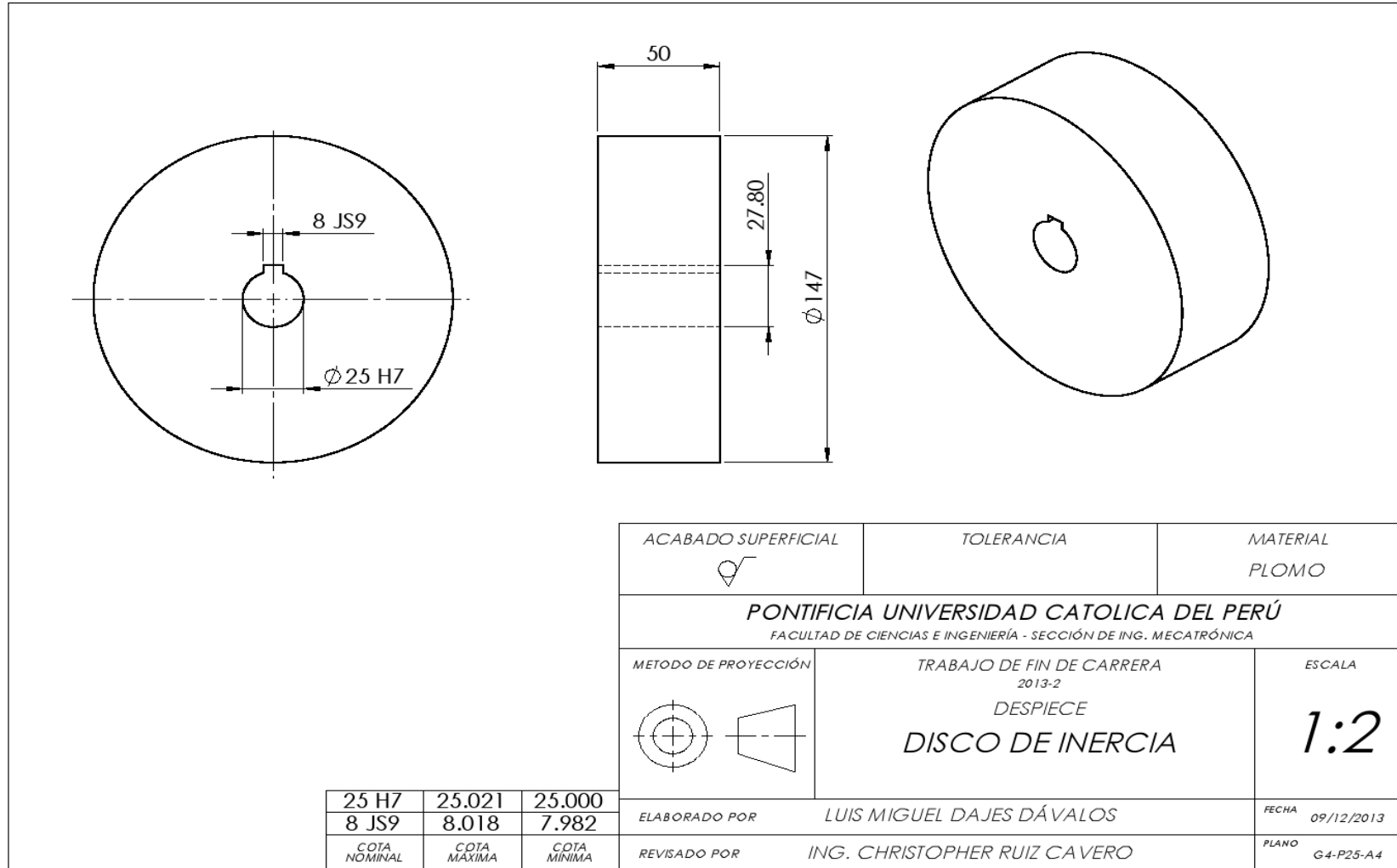


Figura 3.3.29: Plano de despiece del disco de inercia. Fuente: Elaboración propia.

La chapa protectora del sistema mecatrónico cubre del polvo y la humedad al sistema de engranajes, generador, baterías y circuitos eléctricos. Esta chapa está conformada por 4 piezas que serán fabricadas de acero ASTM A653 de 0.5 mm de espesor. El material seleccionado es resistente a la corrosión.

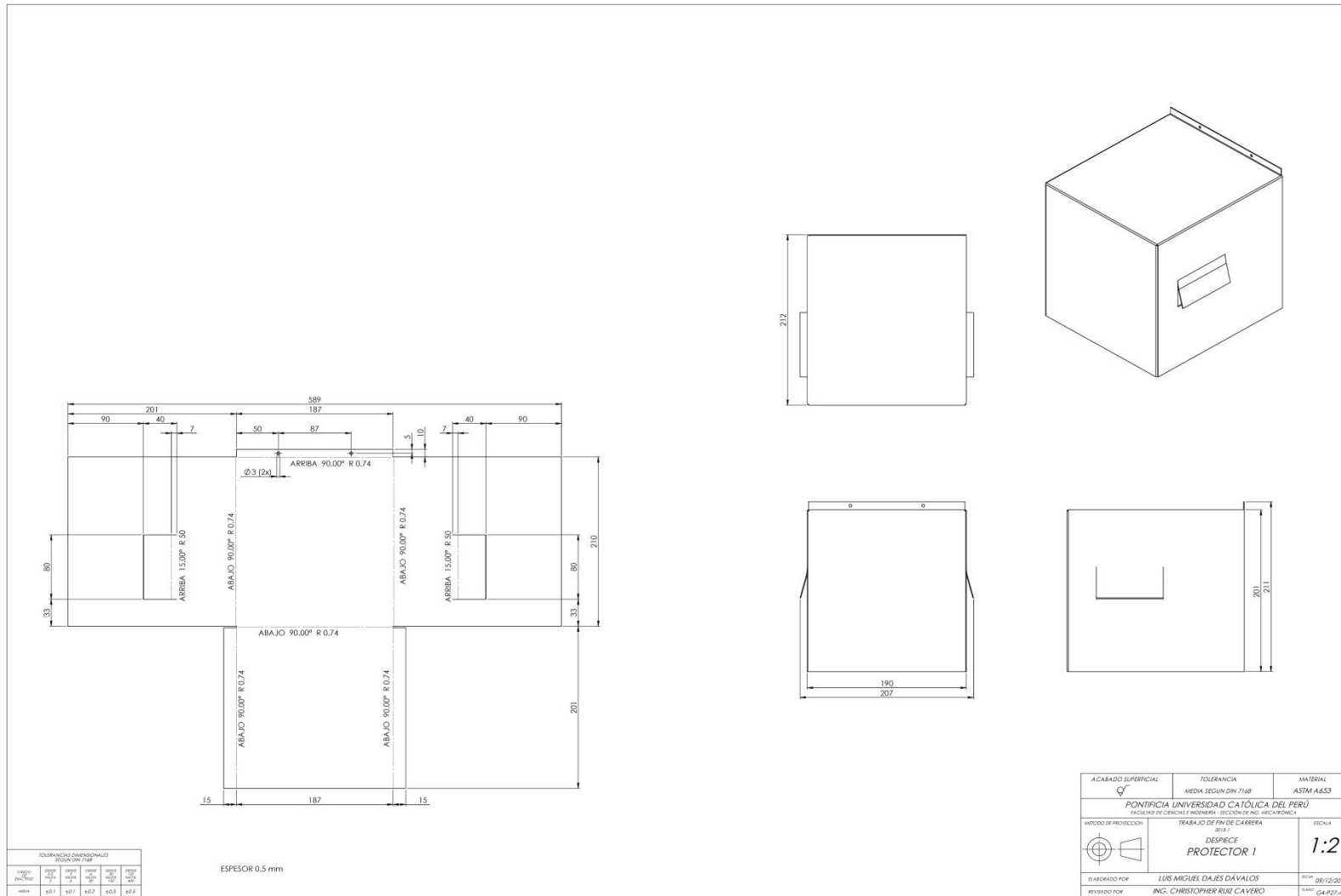


Figura 3.3.30: Plano de despiece del protector 1. Fuente: Elaboración propia.

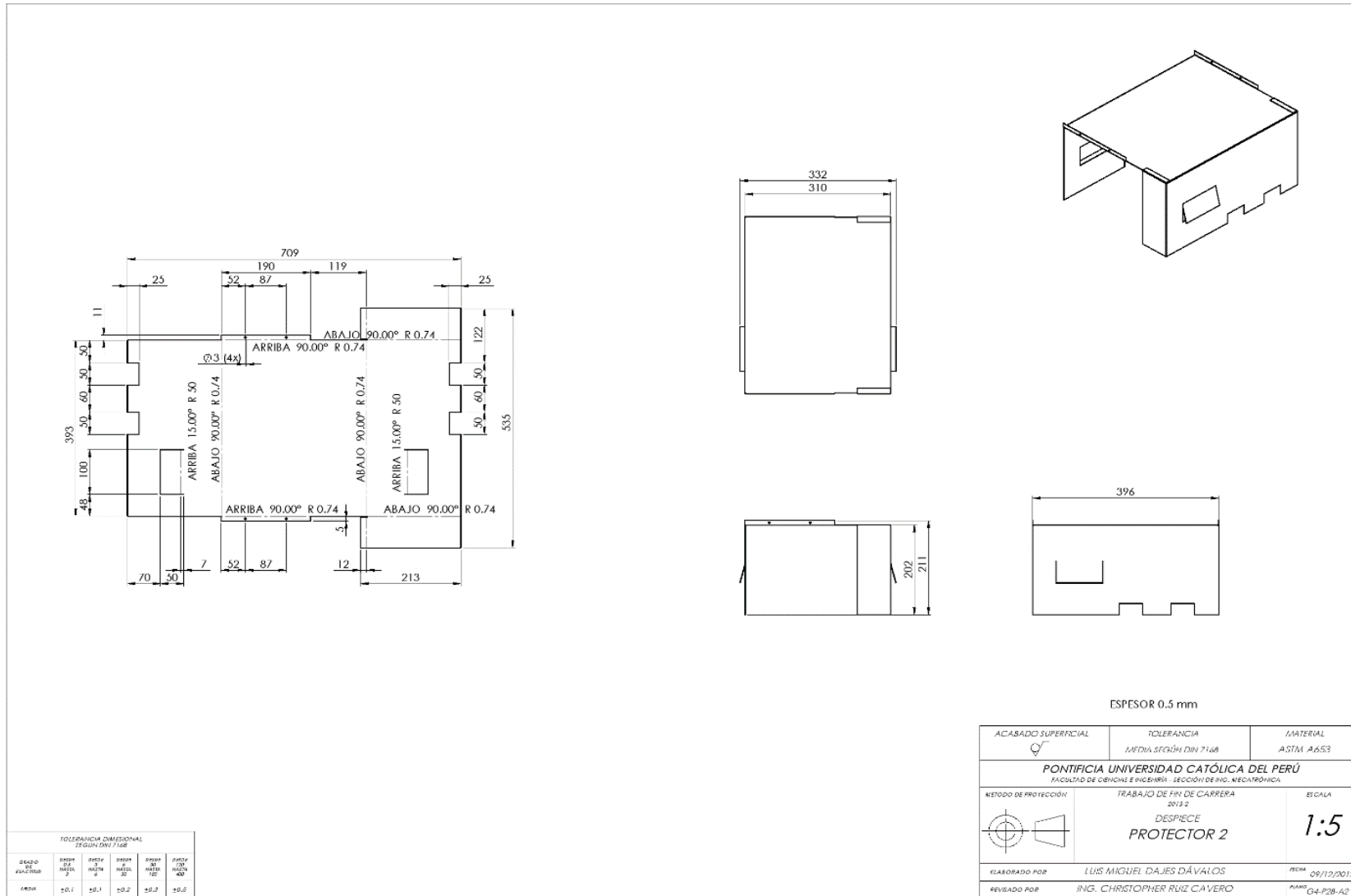


Figura 3.3.31: Plano de despiece del protector 2. Fuente: Elaboración propia.

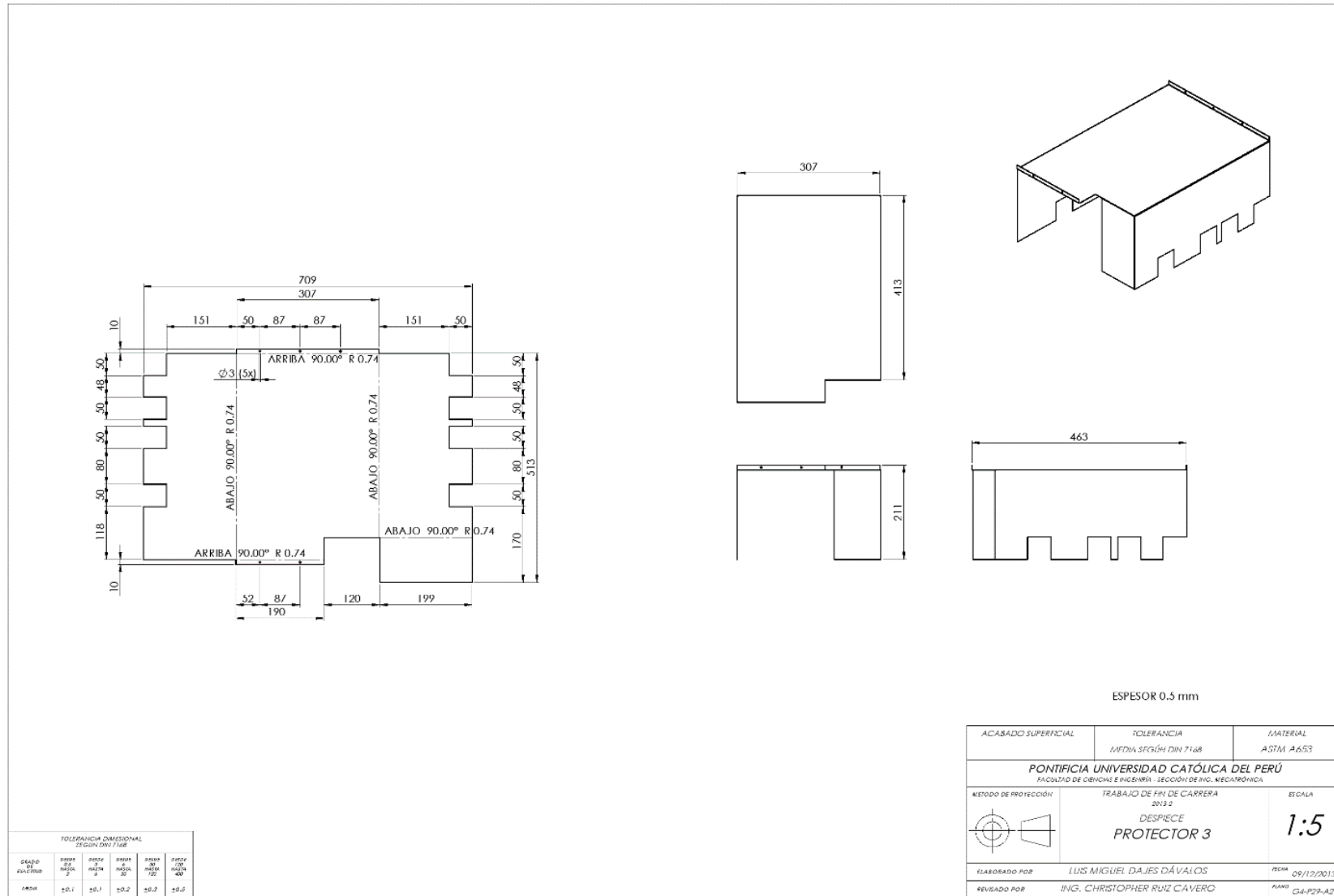


Figura 3.3.32: Plano de despiece del protector 3. Fuente: Elaboración propia.

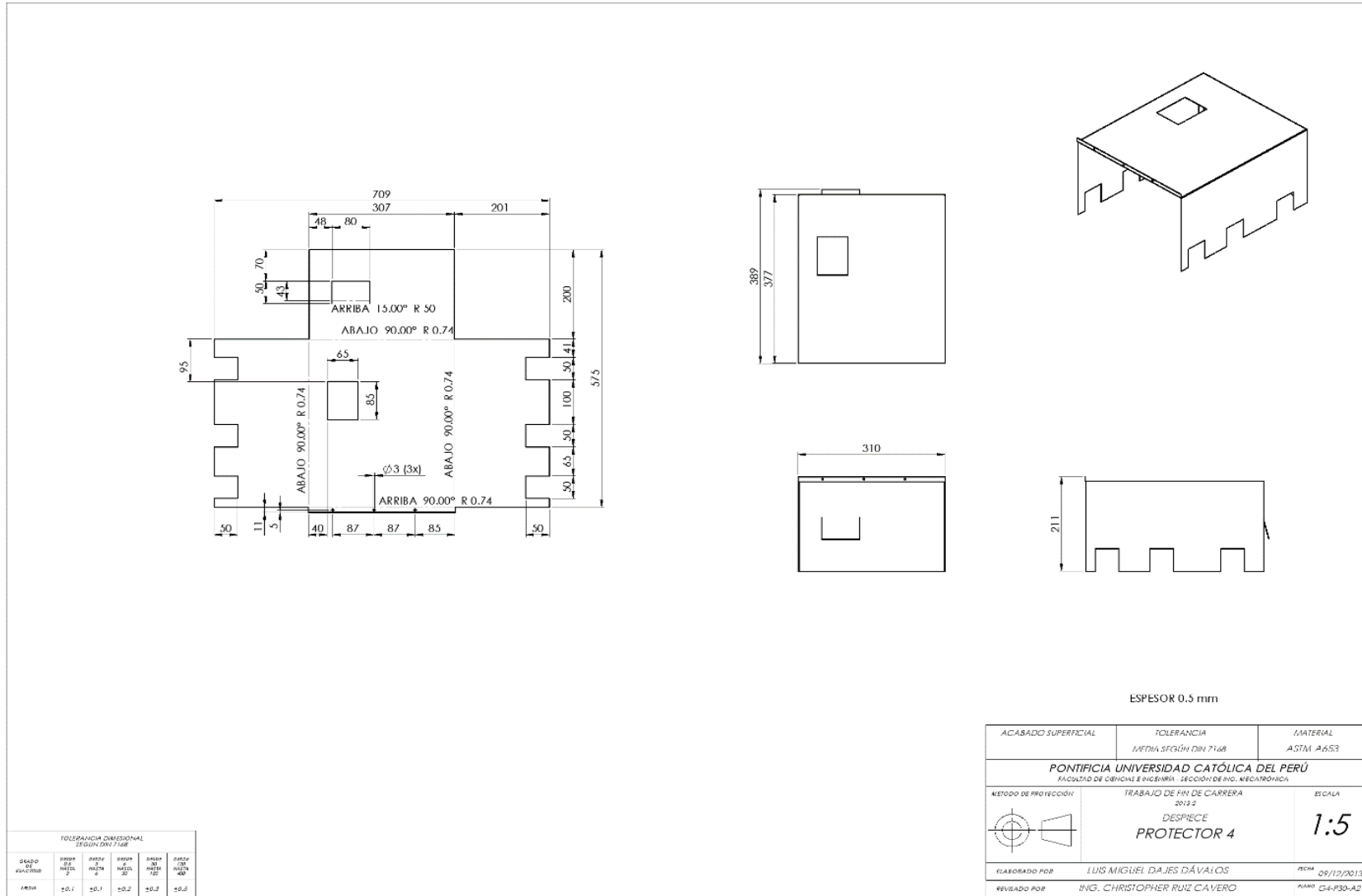


Figura 3.3.33: Plano de despiece del protector 4. Fuente: Elaboración propia.

### 3.4. Diagramas esquemáticos de los circuitos del sistema mecatrónico

A continuación, se muestra el diagrama esquemático general del sistema mecatrónico propuesto.

El diagrama propuesto está conformado por 3 circuitos:

- Circuito limitador de corriente para la batería principal.
- Circuito de carga de la batería secundaria.
- Circuito de control de carga de la batería principal.

Los cálculos para la selección de los componentes electrónicos se encuentran en el Anexo 7: Selección de componentes electrónicos.

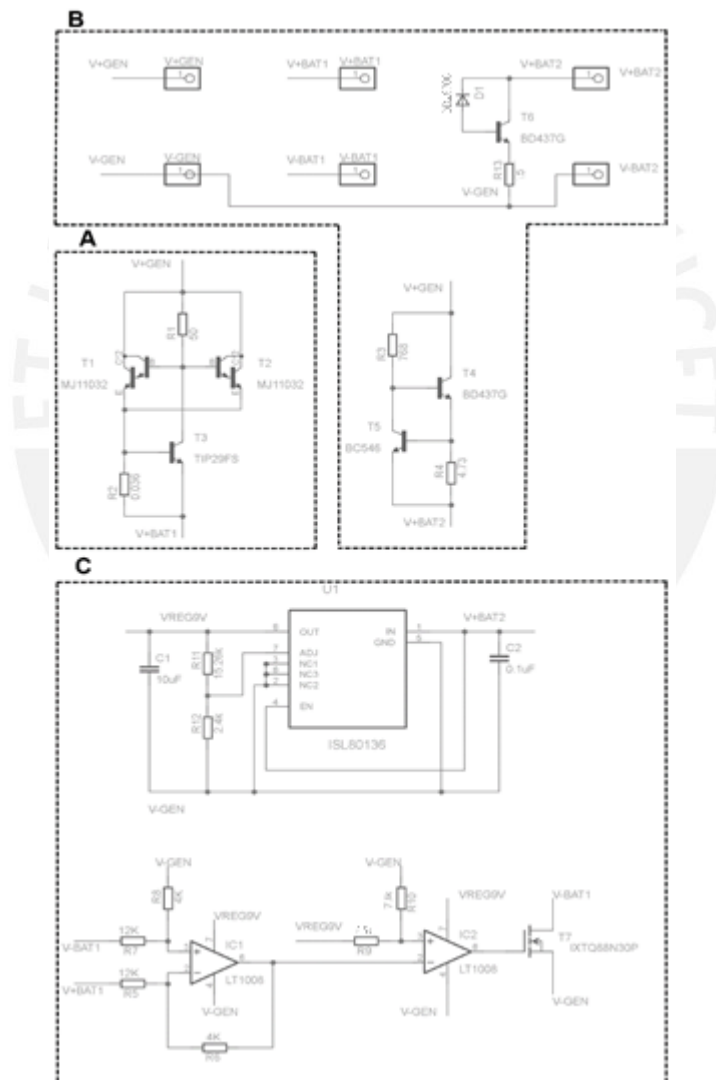


Figura 3.4.1: Diagrama esquemático general del sistema mecatrónico. A: Circuito limitador de corriente para la batería principal. B: Circuito de carga de la batería secundaria. C: Circuito de control de carga de la batería principal. Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.1. Circuito limitador de corriente para la batería principal

El generador seleccionado soporta como máximo una corriente de 30 A, por razones de seguridad se ha decidido trabajar con 20 A como máximo, para lo cual se empleará un circuito limitador de corriente. Los transistores T1 y T2 y la resistencia R2 requieren el uso de disipadores debido a la gran intensidad de corriente que transitará por éstos, el cálculo de éstos disipadores se encuentra en el Anexo 7: Selección de componentes electrónicos. El diagrama esquemático de este circuito se presenta a continuación:

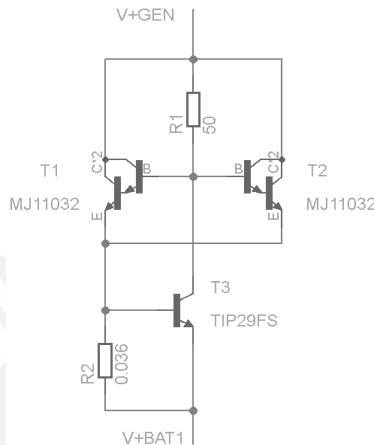


Figura 3.4.2: Diagrama esquemático del circuito limitador de corriente (20 A) para la batería principal. Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.2. Circuito de carga de la batería secundaria

Se ha propuesto utilizar una batería secundaria del tipo VRLA como fuente de alimentación para el circuito de control de carga. Para asegurar que esta batería esté siempre cargada, se ha considerado una corriente de carga mayor a la corriente de flotación indicada por el fabricante de la batería. Por esta razón, se empleará un limitador de corriente de 150 mA con la misma estructura usada para la batería principal tal como se muestra en la figura 3.4.3.

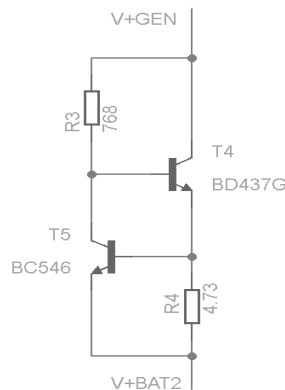


Figura 3.4.3: Diagrama esquemático del circuito limitador de corriente para la batería secundaria. Fuente: Elaboración propia.

Además, como método de protección contra sobrecargas se ha colocado un circuito de descarga en paralelo a la batería tal como se muestra en la figura 3.4.4. Este circuito consta de un diodo Zener, un transistor y una resistencia que tienen como función derivar la intensidad de corriente de carga cuando la batería trate de superar una tensión programada (13.5 V); de esta forma, la batería queda protegida contra sobrecargas.

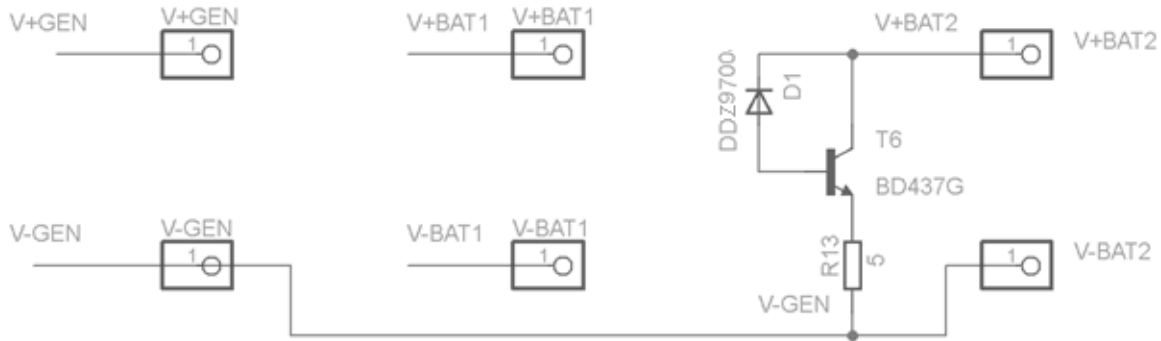


Figura 3.4.4: Diagrama esquemático del circuito de protección contra sobrecargas para la batería secundaria.  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.3. Circuito de control de carga de la batería principal

La batería seleccionada es del tipo Li-Ion de 12 V y cuenta con las características del tipo LiFePo<sub>4</sub>. Esta batería no podrá ser cargada en su totalidad (máxima tensión de carga: 14.6 V ó 3.65 V/celda), debido a que este sistema no cuenta con una fuente de alimentación permanente [10]. Por esta razón, el límite de carga seleccionado es de 14 V que corresponde aproximadamente al 85 % de su capacidad de carga (3.5 V/celda) [11].

En este circuito se ha considerado el uso de un amplificador operacional (IC1) configurado como restador que tiene como función medir la tensión eléctrica entre los terminales de la batería principal. Además, se emplea otro amplificador operacional (IC2) configurado como comparador que tiene como función comparar la tensión eléctrica medida por IC1 con la tensión límite de carga seleccionado (14 V). El amplificador operacional IC2 activa un MOSFET cuando el valor medido es inferior al límite y lo desactiva en caso contrario, de esta manera se asegura que la batería solo podrá ser cargada hasta el límite seleccionado.

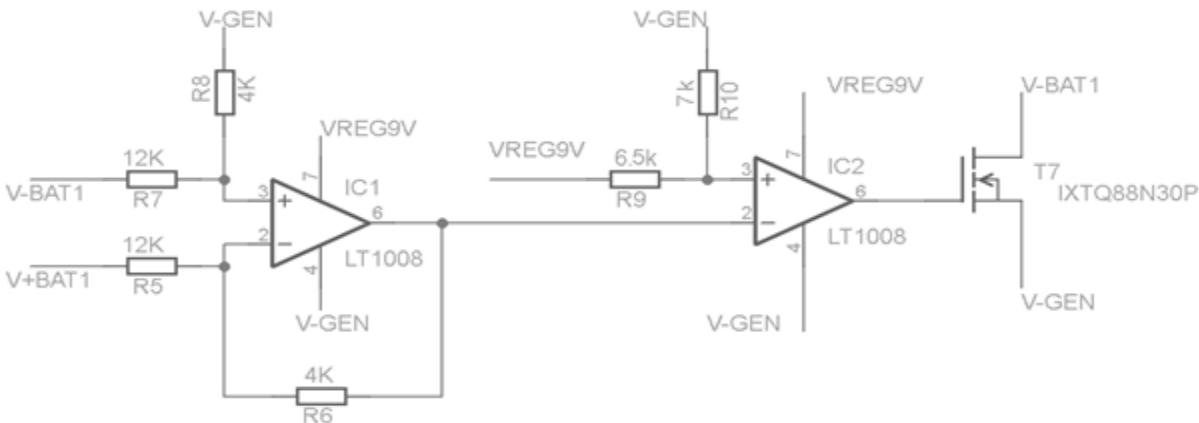




Figura 3.4.5: Diagrama esquemático del restador y comparador usado en el circuito de control de carga. Fuente: Elaboración propia.

Los amplificadores operacionales IC1 e IC2 requieren de una fuente de alimentación regulada (U1), por lo que se ha seleccionado un regulador de tensión LDO a 9 V como se muestra en la figura 3.4.5. El regulador de tensión seleccionado tiene la característica de consumir bajas cantidades de intensidad de corriente cuando se encuentra en estado de inactividad (low quiescent current). Las conexiones del regulador han sido realizadas según la recomendación del fabricante.

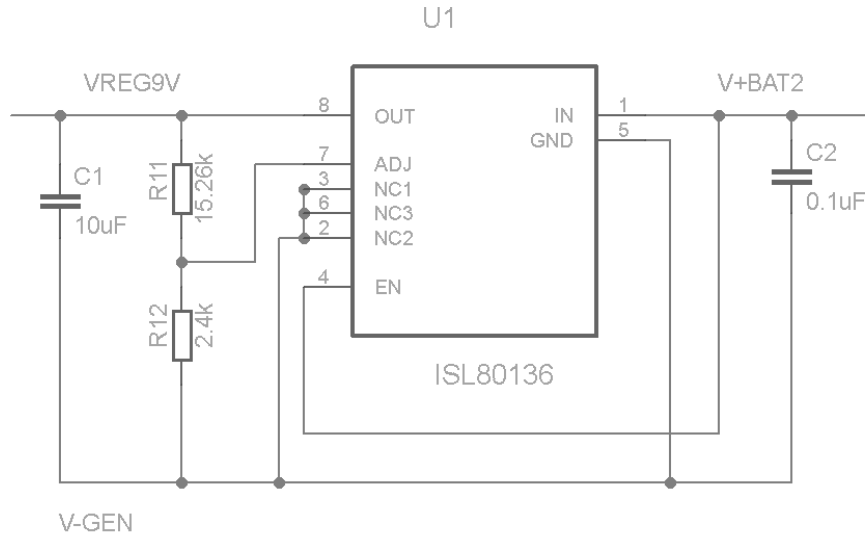


Figura 3.4.6: Diagrama esquemático del regulador de tensión usado en el circuito de control de carga. Fuente: Elaboración propia.

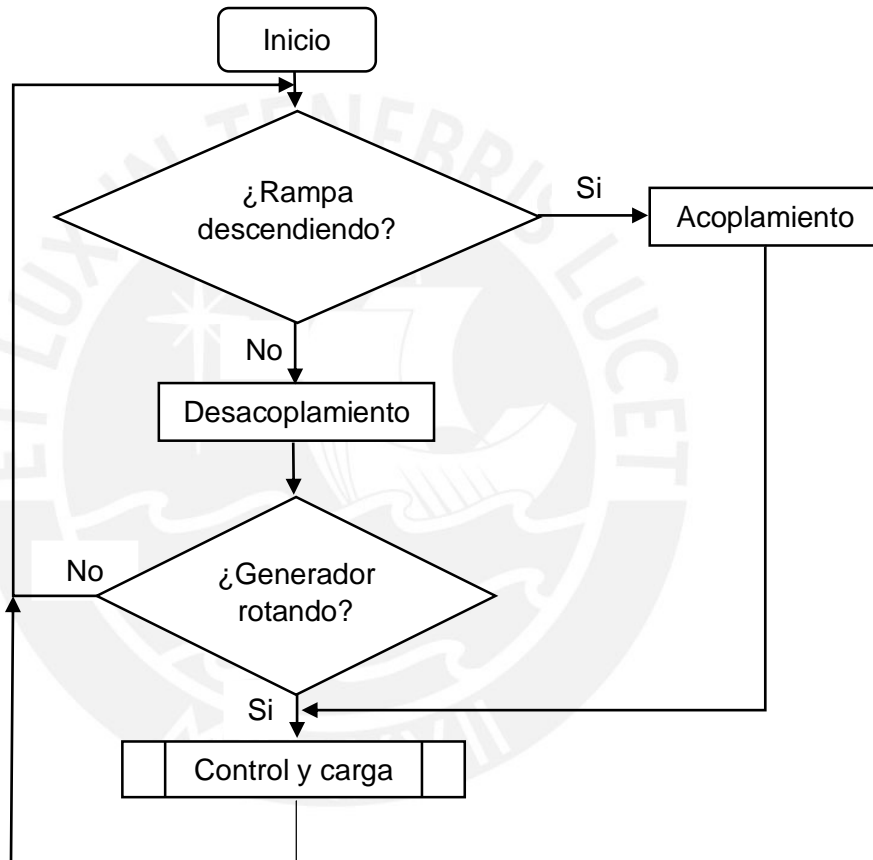


### 3.5. Diagrama de flujo del sistema mecatrónico

#### Proceso principal

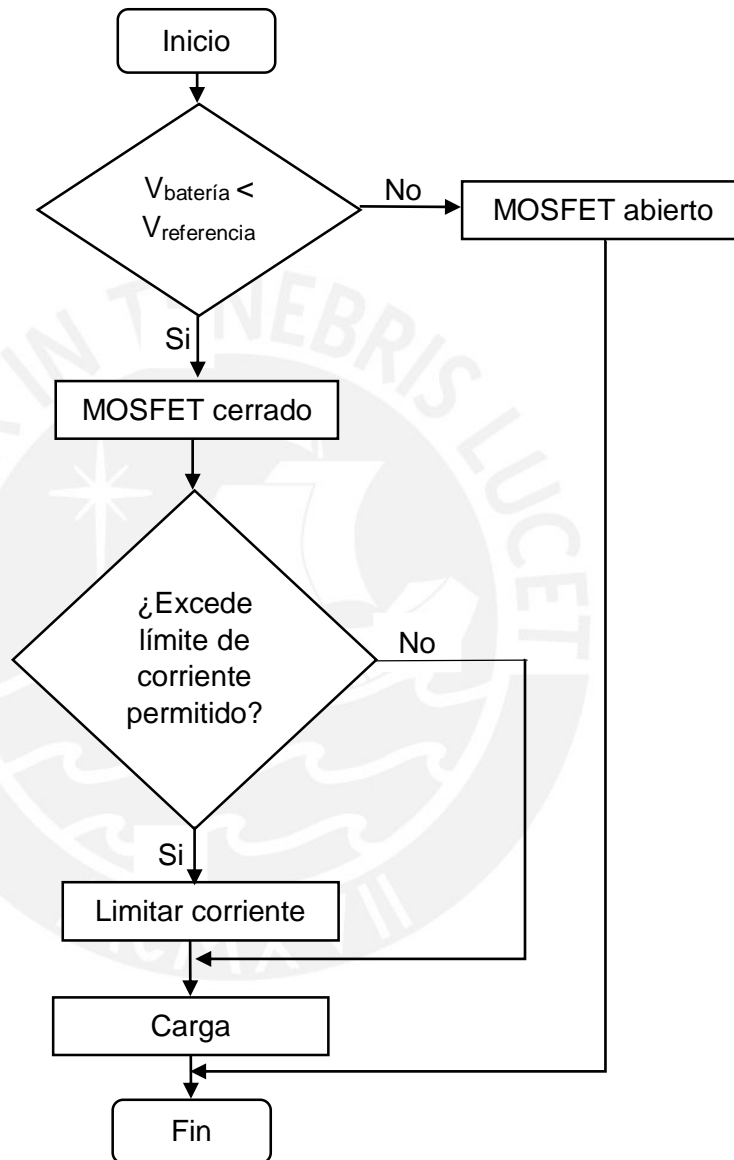
En el proceso principal se presentan 2 situaciones, una de ellas es cuando la rampa está en descenso y la otra es cuando está en ascenso. Cuando esté en descenso se producirá el acoplamiento entre el sistema de engranajes y el generador; y cuando esté en ascenso se producirá el desacoplamiento entre éstos.

Además, sólo cuando el generador se encuentre rotando se realizará el control y carga de la batería.



### Control y carga

La batería principal sólo podrá ser cargada cuando la tensión de ésta sea menor a la tensión máxima permitida (tensión de referencia). Además, la corriente se encuentra limitada mediante un circuito de protección.



## Capítulo 4: Presupuesto

La realización del presente diseño del sistema mecatrónico requiere de un presupuesto de S/. 14231.77 (ver Tabla 4.3).

Este presupuesto tiene servicios y componentes adquiridos en Lima (ver Tabla 4.1) y componentes importados de Estados Unidos (ver Tabla 4.2).

Se utilizó la tasa de cambio vigente al día 23 de Noviembre de 2013: 1 USD = S/. 2.803 y un recargo del 18 % por el IGV. Finalmente, a los productos importados se les aplicó un recargo de 15% por los impuestos aduaneros correspondientes.

Elemento	S/.	Referencia
Estructura metálica y mecanizado de piezas	3486.10	Figura A8.1
Rueda libre Renold	2797.78	Figura A8.2
Rodamientos SKF	686.54	Figura A8.3
Batería secundaria	50.00	
<b>Subtotal (S/.)</b>	<b>6970.42</b>	

Tabla 4.1: Costos de servicios y componentes adquiridos en Lima.

Elemento	Cantidad	Precio unitario (US \$)	Precio total (US \$)	Referencia
Generador eléctrico	1	525.00	525.00	Figura A8.5
Batería principal	1	614.79	614.79	Figura A8.6
Resorte de torsión	20	25.60	512.00	Figura A8.7
Componentes electrónicos	1		76.10	Figura A8.8
Costo de envío	1		218.25	Figura A8.9
<b>Subtotal (US \$)</b>			<b>2593.34</b>	
<b>Subtotal (S/.)</b>			<b>7261.36</b>	

Tabla 4.2: Costos de componentes importados de Estados Unidos.

Servicios y componentes adquiridos en Lima (S/.)	6970.42
Componentes importados de Estados Unidos (S/.)	7261.36
<b>Total (S/.)</b>	<b>14231.77</b>

Tabla 4.3: Presupuesto total.

En este presupuesto no se ha considerado el gasto de instalación ni de obras civiles.

## Capítulo 5: Conclusiones

La energía potencial de un vehículo debido a su peso puede ser aprovechada a través de un mecanismo que la transforme en energía cinética y posteriormente a energía eléctrica. Todo esto se puede alcanzar con el sistema mecatrónico propuesto.

El sistema mecatrónico propuesto ofrece una fuente de energía que puede ser usada en señalizaciones en las carreteras, estaciones de pesaje y de peaje que no cuenten con suministro de energía eléctrica; así como los “rompemuelles” ubicados en las zonas urbanas en las que el suministro de energía por la vía aérea resulte peligroso.

El costo del presente sistema mecatrónico asciende a la suma de S/. 14 231.77. Se puede mencionar que la estructura metálica y el mecanizado de las piezas representan el 25% de este presupuesto. Asimismo, el componente más significativo en cuanto a costos es la rueda libre Renold que representa 20 %, debido básicamente a los costos de importación. A pesar del costo del proyecto, se debe resaltar que los costos totales son menores a una instalación de un “rompemuelle” convencional con señalización adecuada en lugares donde no existe el suministro público de red eléctrica.

El empleo de la rueda libre protege al generador contra el impacto ocasionado por el cambio de sentido de rotación debido al ascenso de la rampa, además, al desacoplar al generador lo deja libre para que continúe rotando. El disco de inercia utilizado en este sistema mecatrónico permite aumentar la inercia del sistema para que éste continúe girando por más tiempo luego de haberse producido el desacoplamiento. El empleo de estos dos elementos es de suma importancia debido a que permite generar mayor cantidad de energía.

Este sistema contribuirá a reducir la potencialidad de accidentes e incidentes de tránsito, es decir, a evitar la pérdida de vidas humanas, debido a que ofrece una alternativa de suministro eléctrico para la señalización en zonas donde no hay facilidad o disponibilidad de energía eléctrica.

### 5.1. Recomendaciones

Para la instalación de este sistema mecatrónico se recomienda que la cavidad en la que será alojado sea un vaciado de cemento en la que se considere la colocación de tubos de drenaje para posibles filtraciones de lluvia. Además, se deberá contar con un tubo que permita la conexión de la batería principal hacia los componentes que vayan a ser alimentados con el sistema mecatrónico. Para la construcción de esta cavidad se deberá cumplir las exigencias reglamentarias [5].

# Bibliografía

- [1] MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES  
2013 *Principales logros al segundo año de gestión de gobierno Agosto 2011 – Julio 2013.* 07 de Julio.
- [2] INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA  
2013 *Informe Técnico N°06. Flujo Vehicular por Unidades de Peaje.* Junio de 2013.  
<[http://economia.unmsm.edu.pe/Servicios/BEst/datos/INEI\\_IT\\_6.13\\_FV.pdf](http://economia.unmsm.edu.pe/Servicios/BEst/datos/INEI_IT_6.13_FV.pdf)>
- [3] MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES  
2012 *ACCIDENTES DE TRÁNSITO FATALES Y NO FATALES REGISTRADOS POR LA POLICÍA DE CARRETERAS, SEGÚN CLASE Y RED VIAL: 2002 – 2012.*  
< <https://www.mtc.gob.pe/estadisticas/update2/2013/3.G.6.xls>>
- [4] SUPERINTENDENCIA DE TRANSPORTE TERRESTRE DE PERSONAS, CARGA Y MERCANCÍAS  
2013 *REPORTE ESTADÍSTICO ACC/08-13 PERÚ – VÍAS NACIONALES: ACCIDENTES DE TRÁNSITO CON DAÑOS PERSONALES DE VEHÍCULOS DE SERVICIO DE TRANSPORTE TERRESTRE DE PERSONAS, CARGA Y MERCANCÍAS.* Agosto 2013.  
<[http://www.sutran.gob.pe/portal/images/estadisticas/An\\_\\_lisis\\_Accidentes\\_Ene-Ago2013-SUTRAN.pdf](http://www.sutran.gob.pe/portal/images/estadisticas/An__lisis_Accidentes_Ene-Ago2013-SUTRAN.pdf)>
- [5] MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES  
2007 *Directiva N° 02-2007-MTC/14. Reductores de velocidad tipo resalto.*
- [6] FARIÑAS WONG, Ernesto Yoel, Idielin MARTÍNEZ YONG y Abdel Jacomino BERMÚDEZ  
2000 *Generador de imanes permanentes para aplicaciones industriales*  
<<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar04/HTML/articulo01.htm>>
- [7] CHAPMAN, Stephen  
2005 *Máquinas eléctricas.* Cuarta edición. México, A4.F.: McGraw-Hill Interamericana.
- [8] BATTERY UNIVERSITY  
2011 *What is the C-rate?*  
<[http://batteryuniversity.com/learn/article/what\\_is\\_the\\_c\\_rate](http://batteryuniversity.com/learn/article/what_is_the_c_rate)>
- [9] NGUYEN, Phuong, Guillaume DILLESEGER, Christian GLAIZE y Jean ALZIEU  
2008 *Between floating ad intermittent floating: low-current self-discharge under compensation.*
- [10] HUA, A. Chih-Chiang y SYEU B. Zong-Wei  
2010 *Charge and Discharge Characteristics of Lead-Acid Battery and LiFePO4 Battery.*

- [11] EARLE, Greg y Will KIEWICZ-SCHLANSKER  
2012 *LiFePO4 Battery Pack Per-Cell Management System*. Lafayette college.
- [12] PORRAS, Andrés y María Luisa SORIANO  
2001 *Tema 8 - Engranajes*. Material de enseñanza. Castilla: Cátedra de Motores y Máquinas – UCLM.
- [13] RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ, Jorge  
2003 *Resistencia de materiales 2*. Material de enseñanza. Lima: Pontificia Universidad católica del Perú, Ciencias e Ingeniería.
- [14] NIEMANN, Gustav  
1973 *Elementos de máquinas*. Dos volúmenes. Segunda edición. Barcelona: Labor.
- [15] MOTT, Robert  
2006 *Diseño de elementos de máquinas*. Cuarta edición. México, A4.F.: Pearson Educación.
- [16] MUHAMMAD H., RASHID  
1973 *Electrónica de Potencia, circuitos, dispositivos y aplicaciones*. Segunda edición. México: Prentice Hall Hispanoamericana.

