 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

**FABRICACIÓN DE BANCOS EXPERIMENTALES PARA TURBINA
HIDROCINETICA APLICATIVO GUIADO POR RIEL Y POR BOYAS**


JULIO CÉSAR VÉLEZ CORREA CC:98.545.389

Ingeniería Mecatrónica

Director del trabajo de grado:

Juan Gonzalo Ardila Marín

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO
ABRIL 2019**

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

RESUMEN

El objetivo del proyecto es implementar en la piscina del campus Fraternidad dos bancos de prueba experimental para la caracterización de turbinas hidrocínéticas, se cuentan con dos diseños previamente evaluados, el primero se basa en un riel guía a lo largo de la piscina; En el riel se debe instalar un sistema móvil dependiente de un motor eléctrico, de este se despliega un brazo perpendicular al riel que sirve como soporte para la turbina y así simular las corrientes de los ríos a través del movimiento generado por las velocidades variables del motor; el segundo es un sistema de cable envolvente para disminuir las pérdidas por fricción, adaptándole un sistema de flotadores más hidrodinámicos. Adicional en ambos diseños se plantea una caja hermética para el sistema de monitoreo de eficiencia mecánica acondicionado para la adquisición de datos de las variables de la turbina RCECS, principalmente las relacionadas con la eficiencia mecánica: torque, velocidad angular y velocidad lineal.

Los beneficiarios son los investigadores de la línea de Investigación en Computación Avanzada y Diseño Digital – CADD del Grupo de Investigación en Materiales Avanzados y Energía – MATyER, y el proyecto de investigación P17209 del Centro de Investigaciones del ITM, quienes podrán, una vez se ensamblen los sistemas, caracterizar diferentes prototipos de turbinas hidrocínéticas adaptables a la hidrografía colombiana para electrificar zonas no interconectadas. Actualmente existen varios prototipos a escala de turbinas RCECS en el ITM y se adelanta una tesis de maestría que podría beneficiarse con el desarrollo del banco experimental, el cual servirá como soporte técnico para su aplicabilidad y mejora.



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1. Objetivo General.....	10
1.2. Objetivos Específicos.....	11
1.3. Organización del trabajo.....	11
2. ESTADO DEL ARTE.....	12
3. DISEÑO.....	19
3.1. Especificación del problema.....	19
3.2. Propuesta de alternativas.....	22
3.3. Matriz de selección.....	24
3.4. Diseño de Detalle del Concepto 3.....	25
3.5. Diseño de Detalle del Concepto 5.....	40
3.6. Diseño del Sistema Eléctrico AC.....	43
3.7. Diseño del Sistema Electrónico.....	49
3.8. Presupuesto.....	50
4. REAJUSTES EN EL DISEÑO INICIAL.....	52
5. IMPLEMENTACION.....	56
6. CONCLUSIONES.....	66
7. BIBLIOGRAFÍA.....	68
8. PLANOS.....	70
9. PLANOS MODIFICADOS SEGÚN LOS REAJUSTES DE LOS DISEÑOS.....	112

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Necesidades (Fuente Propia)	25
Tabla 2. Matriz Morfológica. (Fuente Propia)	29
Tabla 3. Matriz de Selección (Fuente Propia)	32
Tabla 4. Dimensiones motor 2HP Siemens.	59
Tabla 5. Dimensiones del motor AC. (Siemens, Technical Data, s.f.)	59
Tabla 6. Corrientes cables AWG.	60


 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Diferentes métodos para la caracterización de turbinas Hidrocinéticas. Fuente: (Forbush et al., 2016).....	12
Figura 2. Diferentes métodos para la caracterización de turbinas Hidrocinéticas. Fuente: (Rares-Andrei, Florentina, Gabriela, & Lucia-Andreea, 2017a).....	13
Figura 3. Desarrollo de banco de pruebas experimental para determinar el desempeño de turbinas RCECS (ITM).....	14
Figura 4. Diseño conceptual para movimientos de cuchilla oscilante y cónica.....	16
Figura 5. (a) Operación normal, (b) cuchilla obstruida y (c) funcionamiento de la cuchilla.....	16
Figura 6. Banco experimental en canal de concreto en de Bolívar planta de tratamiento aguas residuales tratadas (Martin Anyi, 2015).....	18
Figura 7. Plano Piscina ITM Fraternidad (Área física Campus Fraternidad).	20
Figura 8. Modelado Piscina Campus Fraternidad (Fuente Propia).	21
Figura 9. Perfil en I.....	26
Figura 10. Tubería PTS. Fuente propia.....	26
Figura 11. Sección de perfil riel Omega. Fuente propia.....	27
Figura 12. Diseño de perfil riel Omega en NX. Fuente propia.....	27
Figura 13. Detalle rodamiento 6000DU y riel Omega. Fuente propia.....	28
Figura 14. Detalle rodamiento superior 5205-ZZ. Fuente propia.....	28
Figura 15. Detalle camisa de Polietileno. Fuente Propia.	29
Figura 16. Detalle base Trolley. Fuente propia.	30
Figura 17. Bases del Trolley. Fuente propia.	30


	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Figura 18. Estructura principal. Fuente propia.	32
Figura 19. Detalle aseguramiento Trolley y estructura principal. Fuente propia .	32
Figura 20. Rodamiento guía 6000DU del Trolley . Fuente propia.	32
Figura 21. Detalle Rodamiento guía Trolley. Fuente propia.	33
Figura 22. Soporte entre el Trolley y la turbina. Fuente propia	34
Figura 23. Detalle caja sumergible. Fuente propia.	37
Figura 24. Detalle accesorios caja sumergible. Fuente propia.	36
Figura 25. Detalle bala sumergible. Fuente propia	39
Figura 26. Subensamble caja sumergible. Fuente propia.	37
Figura 27. Subensamble bala sumergible y turbina. Fuente propia.	38
Figura 28. Detalle caja de control superior. Fuente propia.	38
Figura 29. Accesorios caja superior de control. Fuente propia.	39
Figura 30. Ensamble general del aplicativo riel. Fuente propia.	39
Figura 31. Esquema de las boyas. Fuente propia.	40
Figura 32. Subensamble Boyas-Soporte principal. Fuente propia.	41
Figura 33. Detalle platina principal (Agarre de la turbina). Fuente propia.	41
Figura 34. Vista tridimensional del sistema de boyas sin la turbina. Fuente propia.	42
Figura 35. Vista lateral sistema boyas con la turbina. Fuente propia.	42
Figura 36. Vista tridimensional del sistema de boyas con la turbina. Fuente propia.	43
Figura 37. Soportes laterales de los extremos de las boyas. Fuente propia.	43
Figura 38. Características eléctricas del motor de 2Hp Siemens (Siemens, 2017).	44


	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Figura 39. Diagrama del variador de Frecuencia J1000 (YASKAWA).	46
Figura 40. Diagrama Eléctrico de conexionado sistema AC (Fuente propia)	48
Figura 41. Diagrama de conexión arduino y puente H (Prometec).	49
Figura 42. Código Arduino para Motor DC (Fuente propia).	49
Figura 43. CAD turbina final alámbrico.	53
Figura 44. CAD turbina final sólido.	53
Figura 45. Estructura de sujeción.	54
Figura 46. Estructura de sujeción con turbina en vista alámbrica.	54
Figura 47. Diseño encarrilador inicial Vs diseño encarrilador final.	55
Figura 48. Fabricación cercha.	56
Figura 49. Proceso mecanizado rueda teflón.	57
Figura 50. Proceso mecanizado cuerpo trolley.	58
Figura 51. Proceso mecanizado ejes trolley.	58
Figura 52. Proceso ensamble trolley.	59
Figura 53. Proceso ensamble conjunto trolley.	60
Figura 54. Proceso fabricación platinas sujeción cercha.	60
Figura 55. Fabricación de cono y cuerpo bala.	61
Figura 55. Unión cono y cilindro.	61
Figura 57. Fabricación de bridas de alojamiento del sello mecanico y ensamble en la turbina.	62
Figura 58. Eje principal y chumaceras, ensamble chumaceras y cuerpo.	62
Figura 59. Aplicación capas fibra pulir y pintar)	63
Figura 60. Bala terminada (Sin	63
Figura 61. Bala acabado final.	63



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Figura 62. Abrazadera tapa bala.	64
Figura 63. Presentación perfil piscina ITM, soldadura platinas en perfil.	64
Figura 64. Aplicativo boyas en fase de ensamble.	65

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27


1. INTRODUCCIÓN

Dado que las turbinas hidrocínéticas son una alternativa dentro del aprovechamiento de las energías renovables y establecen una posibilidad de desarrollar e implementar en el mercado nacional este tipo de generación energética, se genera la necesidad de implementar dos bancos de pruebas en la piscina del ITM, facilitando el estudio y la aplicabilidad de las turbinas sin tener que realizar pruebas en aguas abiertas o canalizadas.

Contando con los recursos técnicos y administrativos y el apoyo del grupo de investigación de la Facultad de Ingeniería del ITM, donde la línea CADD del grupo MATyER diseñan los rotores de turbinas RCECS, y requieren bancos de prueba para obtener los datos y poder analizar el comportamiento hidro-mecánico, y la eficiencia de conversión energética en esta primera etapa de lo que será una mini-central hidroeléctrica, es ideal contar con un banco de pruebas que facilite para un futuro la toma de información y permita ir mejorando día a día el diseño de estos rotores.

Uno de los inconvenientes más representativos en el desarrollo de las turbinas hidrocínéticas para la generación de energía es la caracterización de sus rotores, para la solución de estos inconvenientes es necesario construir maneras eficientes de tomar los datos y procesarlos, de tal forma que los resultados obtenidos entreguen información necesaria para ajustes y optimización, las creaciones de bancos experimentales para probar y repotenciar los rotores son necesarios para evaluar su capacidad de conversión hidráulica en mecánica y para su mejoramiento continuo.

La búsqueda de energías renovables y el desarrollo de las mismas, encaminan este proyecto a generar estrategias para la caracterización adecuada de las tecnologías requeridas para el aprovechamiento de una de ellas, con el fin de escalarlas y hacerlas cada vez más reales, así abrimos las puertas para profundizar en la

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27


fabricación de dos bancos experimentales basados en el movimiento lineal de una turbina a través de un estanque artificial (piscina), que por medio de las velocidades variables de un motor de corriente alterna se pueden simular las diferentes corrientes de ríos en la hidrografía colombiana.

Conocer cada una de las variables que intervienen en el desempeño adecuado de la turbina hidrocínética garantiza la caracterización adecuada de la misma, por tanto, la metodología de caracterización cumple una función indispensable para que globalmente el proyecto de energía renovable por medio de turbinas RCECS “River Current Energy Conversion System” (Baena, Jhon, & Flórez, 2017), sea eficiente y garantice que su aplicación final cumpla con el fin de la misma, la generación de energía.

Los resultados esperados de la realización de este proyecto propuestos en el trabajo de grado “Diseño de bancos experimentales para turbina hidrocínética, aplicativo guiado por riel y por boyas: Deyber Alberto Meza Cantillo, Julián David Sierra Gómez” son: 1. Fabricación del banco de prueba experimental (Riel guiado) de acuerdo a los planos arrojados por el diseño previo; 2. Fabricación del banco de prueba experimental (Flotadores) de acuerdo a los planos arrojados por el diseño previo; 3. Ajustes de los dos diseños previos generados, con la modificación y actualización de los diseños CAD y sus planos.

1.1. Objetivo General

Fabricar dos bancos experimentales para la caracterización de turbinas hidrocínéticas con el fin de medir las variables mecánicas y determinar la eficiencia de la turbina en un modelo a escala.


	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

1.2. Objetivos Específicos

- Fabricación del banco de prueba experimental (Riel guiado) de acuerdo con los planos arrojados por el diseño previo.
- Fabricación del banco de prueba experimental (Flotadores) de acuerdo con los planos arrojados por el diseño previo.
- Ajustes y modificaciones de los diseños propuestos durante el proceso de fabricación, con la actualización de los diseños en CAD, sus planos y la actualización de los costos de fabricación.

1.3. Organización del trabajo

A continuación, en el segundo capítulo, se indaga sobre investigaciones acerca del desarrollo de bancos experimentales en el entorno local e internacional; la metodología usada, los hallazgos y conclusiones que le servirán a este proyecto como marco de referencia y guía a los investigadores. En los siguientes capítulos se exponen las fases del diseño empezando por la presentación de alternativas y la justificación de los conceptos seleccionados, tanto el del aplicativo de riel como el de boyas, posteriormente se definen los parámetros de diseño, en cuanto a la viabilidad del proyecto y operación del mismo, se efectúan las justificaciones correspondientes a cada uno de los elementos seleccionados o calculados, donde se evidencian las decisiones tomadas en el sistema mecánico, eléctrico y de control de los dos diseños propuestos, de igual forma se presenta el presupuesto para la fabricación de ambos diseños y la gestión realizada para la compra de materiales, finalmente se evidencia la fabricación de cada uno de los conceptos seleccionados, se procede a realizar la metodología de fabricación y actualización del desarrollo de los prototipos sugeridos para el montaje de la turbinas RCECS, adicional se explican los reajustes de los diseños iniciales con la actualización de los planos y el modelado en CAD.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

2. ESTADO DEL ARTE.

En la investigación sobre turbinas hidrocínéticas, estas proporcionan una gran variedad de beneficios en la generación de energía eléctrica. El aprovechamiento de la energía cinética emitida por corriente en los ríos, hacen viable que este tipo de energía renovable sea sostenible y de gran impacto en la producción de electricidad en la sociedad (Khan, Iqbal, & Quaiocoe, 2006)

En la Figura 1 se observa la caracterización de la ganancia de una turbina hidrocínética de flujo cruzado diseñada para generar hasta 10^4 W, su puesta en marcha para “caracterizar la curva de rendimiento de potencia no dimensional” se realizó por medio de balsa con una velocidad constante en el río Kvichak en EE.UU., la turbina disponía de dos rotores de 4,1 m de largo, ubicados a igual distancia en un espacio de 2,8 m de ancho que albergaba el generador. El área barrida por el rotor es el 3% de la sección transversal del río el 20% de profundidad. En la balsa se contó con un banco de carga resistiva de 15 configuraciones discretas, seis perfiladores Norte Aquadopp de medición (dispositivo para frecuencias de 1 y 2 MHz) y receptores GPS Qstarz BT-Q1000eX para las correcciones de velocidad de la plataforma. El equipo de investigación para caracterización del desempeño de la turbina establece que para una potencia de salida de 12 kW la velocidad uniforme requerida es de 2,3 m/s (Forbush et al., 2016).

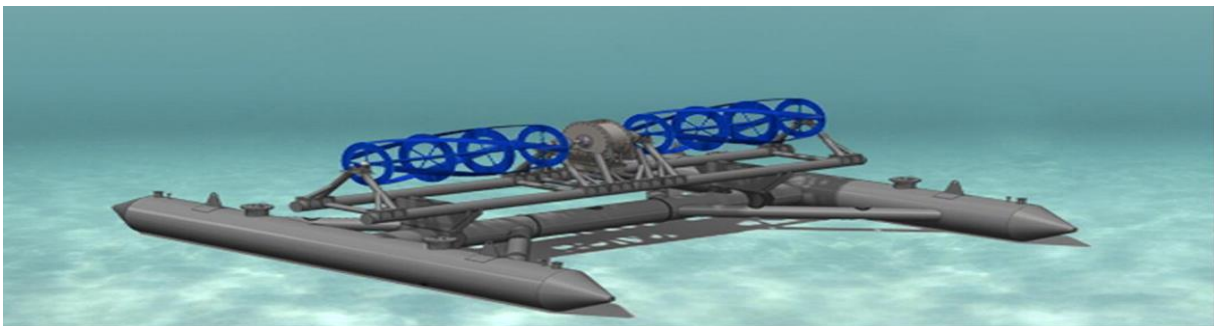



Figura 1. Diferentes métodos para la caracterización de turbinas Hidrocínéticas. Fuente: (Forbush et al., 2016).

En la Figura 2 se observa un banco de pruebas experimental para el ensayo de dos turbinas hidrocínéticas, una con diámetro de 200mm y otra de diámetro de 150mm

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

que para determinar el objetivo del método en ejecución de la “predicción de potencia aplicado a turbinas hidrocínicas de eje horizontal”. su geometría y su diseño para sus respectivas construcciones se obtuvieron mediante resultados posteriores de varias simulaciones en el software QBlade. Los ensayos de ambos prototipos (turbinas) se realizaron en un banco de prueba experimental de paredes transparentes con medidas 375 mm x 300 mm x 1015 mm, que integra un control para las variaciones de la velocidad del agua entre 0,05 y 1 m/s. La verificación se obtuvo fijando la velocidad del agua a 0,9 m/s, se sumerge la turbina a 0,3 m que es profundidad permitida del banco y se implementó un sistema para adquirir la información de la energía generada mediante un transductor de par DR2335 y un sistema de frenado con partículas electromagnéticas FAT20; estos dispositivos cuentan con la capacidad dimensionada para experimentar con turbinas cinéticas axiales de par mecánico hasta 2 Nm y 0,1% de precisión en escala completa. Como resultado sobre la eficiencia de este diseño y puesta a punto se obtuvo que:

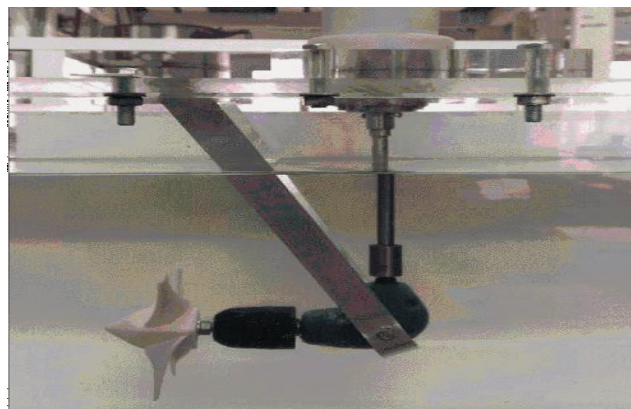



Figura 2. Diferentes métodos para la caracterización de turbinas Hidrocínicas. Fuente: (Rares-Andrei, Florentina, Gabriela, & Lucia-Andreea, 2017a)

- a) La energía mecánica producida por la turbina de diámetro de 200 alcanzó un máximo de 4,2 W con un ángulo de paso de 40° en el rotor, contrarrestando así la buena correlación de los 4,6W obtenidos en la simulación.
- b) Para la turbina con diámetro de 150 mm y que tuvo el mismo ángulo de paso en el rotor, la potencia entregada fue inferior a 1W, determinando así la no implementación para la predicción de potencia por su baja eficiencia en trabajos

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

a mayores escalas (Rares-Andrei, Florentina, Gabriela, & Lucia-Andreea, 2017b).

En la Figura 3 se observa el desarrollo de un banco experimental para turbinas RCECS (River Current Energy Conversion System), este proyecto desarrolla el diseño y la implementación de un banco de pruebas experimental para medir las variables que determinan los desempeños hidrodinámico e hidromecánico de turbinas RCECS en diferentes puntos de diseño.

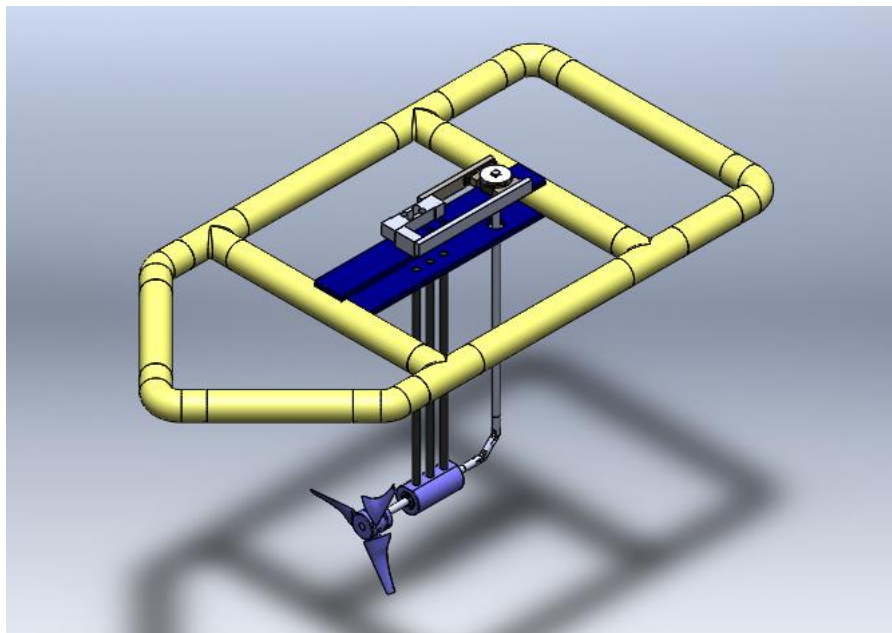



Figura 3. Desarrollo de banco de pruebas experimental para determinar el desempeño de turbinas RCECS (ITM).

Para dar solución a la problemática planteada y caracterizar de manera adecuada los diferentes modelos de turbinas hidrocineéticas, se realiza el diseño mostrado en la Figura 3, parte básicamente de materiales con un alto índice de flotabilidad en la parte superior y el parte inferior se utiliza junta cardánica para transmitir el movimiento mecánico de la turbina RCECS al sistema de adquisición de datos, utiliza un freno prony para generar una carga al sistema. Se realizaron diferentes pruebas tomando las velocidades establecidas para la prueba (0.5,1, 1.5 m/s). (Baena Andres, 2017).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Una de las características básicas que se deben considerar en la creación del banco experimental, es el estado físico y la formación de la corriente, en la vida real uno de los mayores inconvenientes u obstáculos que se presentan en la generación de energía por medio de turbinas hidrocínicas es la alta sedimentación que puede tener el agua y los obstáculos que ella arrastra, presentando pérdidas considerables en la eficiencia del motor llevándolo a parar, esto se podría minimizar ubicando la turbina en corrientes más limpias pero generaría una condición especial y un impedimento en su uso.

Cualquier obstáculo que se adhiriera a las hélices aumentaría la resistencia y sería mayor el peso a mover, si estos residuos se pegan o enredan al eje del rotor podría parar la turbina.

Una de las implementaciones que se desarrollaron en la facultad de Ingeniería de la Universidad de Malasia Sarawak (UNIMAS) y el grupo Energía renovable del Instituto Universitario del sur Australia, para evitar la pérdida de eficiencia o paro por obstrucción de la turbina, fue un modelo que tiene las aspas flexibles tipo bisagras que por medio de un resorte permitan que las aspas al ser impactadas por algún objeto estas se retraigan permitiendo que los mismos se deslicen, y al liberar el obstáculo vuelvan a su posición original por medio de un resorte como se muestra en la Figura 4. Este modelo tiene también una pérdida de la eficiencia en un momento del funcionamiento de la turbina debido a que en un punto de operación el flujo del agua en la zona de contacto con la turbina cambiaría de axial a tangencial, por la posición del aspa, pero se garantiza que permanece libre de obstáculos. Durante el funcionamiento normal, las cuchillas se mantendrían en la parte de funcionamiento radial como se muestra en la Figura 5.

En un pueblo en Sarawak ubicado justo al lado de un gran río de flujo rápido que se utiliza para el suministro de agua, la pesca y el transporte, se trató de implementar el uso de turbinas para la generación de energía, pero la gran cantidad de desecho y sedimentos que transportaba generó inconvenientes en su implementación, este

problema se ha evitado en gran medida instalando dispositivos en áreas donde los desechos no son un factor. El tipo de turbina con bisagras se probó en el sur de Australia siendo un estado más habitado en contraste con Sarawak, fue difícil encontrar una vía fluvial adecuada para probar la turbina. En este sitio no había instalaciones de laboratorio y la financiación no estaba disponible para contratar el transporte.

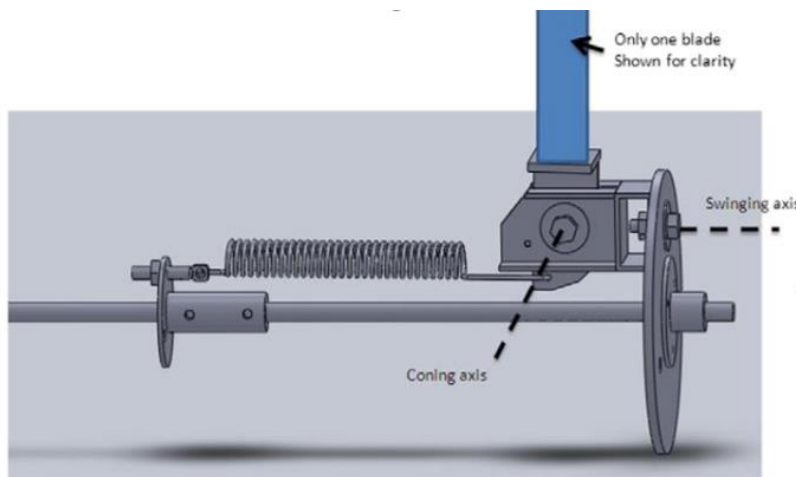


Figura 4. Diseño conceptual para movimientos de cuchilla oscilante y cónica.

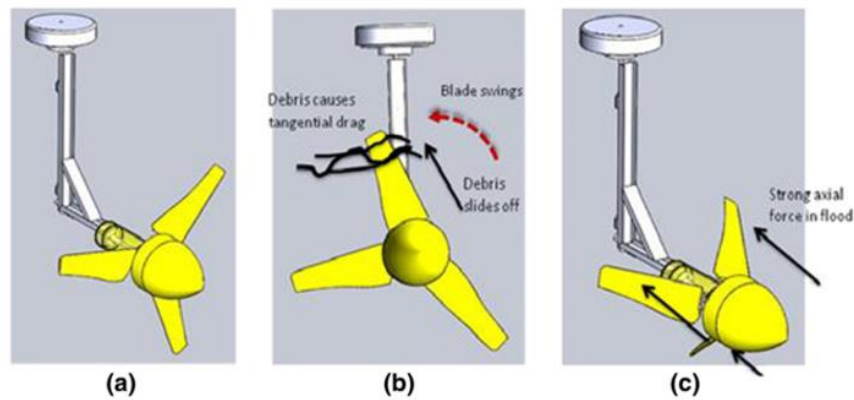



Figura 5. (a) Operación normal, (b) cuchilla obstruida y (c) funcionamiento de la cuchilla.

La elección final fue un canal de concreto de 2,1 m de ancho en aguas residuales de Bolívar planta de tratamiento que transporta aguas residuales tratadas (es decir, no contiene sólidos, agua clara pero rica en nutrientes con muchas fibras largas algas pegajosas). La profundidad y la velocidad del flujo variaron ligeramente con la

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

hora del día, pero la profundidad promedio era de aproximadamente 1 m y la velocidad promedio era aproximadamente 1 m / s. Aunque no es ideal, este canal estaba disponible sin costo. La velocidad de flujo de 1 m / s se consideró representativa de los sitios típicos en Sarawak, pero la profundidad de 1 m significaba que el diseño original, que era para una turbina de 1,6 m de diámetro para generar 200 W en una corriente de 1 m / s, tuvo que reducirse a 0.8 m de diámetro. La potencia esperada ahora se reducía aproximadamente 50 W, calculado como a continuación.

$$P = \frac{1}{2} \rho AV^3 C_p \eta$$


Donde P = potencia, ρ = densidad del agua = 1000 kg / m³, R = radio de la turbina = 0.4 m, V = velocidad de flujo = 1 m / s, C_p = coeficiente de potencia de la turbina, η = eficiencia de la transmisión y el generador. Asumiendo C_p = 0.21 tenemos que P = 52:78 W \approx 53 W.

Aunque esto no es suficiente para un pueblo, se consideró suficiente para probar el concepto de libre de obstrucciones. La turbina estaba montada en un marco con altura ajustable que inicialmente se adjuntó a un bote inflable, con transmisión de potencia a través de un eje con una caja de cambios de 45 ° de una desbrozadora. En pruebas posteriores, la caja de cambios de 45 ° fue reemplazada por una caja de cambios de 90 ° y el marco se montó verticalmente en un puente sobre el canal. La pérdida por el torque de la caja de cambios se midió con un sistema de freno Prony que comprende un cable envuelto 180 ° alrededor de una polea con un par de resorte, la velocidad angular se midió inicialmente con un tacómetro digital, pero la lectura era difícil por el reflejo del sol, resultó ser más fácil simplemente contar revoluciones por minuto.

La potencia mecánica en Watts es dada por

$$P_{\text{Mech}} = T\omega$$


Donde T = par en Nm y ω = velocidad angular en radianes / s = rpm \times π / 30.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

El freno Prony fue reemplazado por un motor eléctrico accionado un generador y se midió la potencia eléctrica. Dos tipos de motor fueron probados en banco, un Smartdrive sin escobillas multipolar motor de baja velocidad de una lavadora, del tipo a menudo defendido para aerogeneradores pequeños construidos por el propietario, y un motor de corriente continua engranado de 36 V. La razón detrás del uso del motor Smartdrive era generar un voltaje lo suficientemente alto para ejecutar dispositivos de 240 V al menor RPM posibles para coincidir con las bajas revoluciones de la turbina. De todos modos, eso no funcionó tan bien como el motor de 36 V, incluso después de la modificación.



Figura 6. Banco experimental en canal de concreto en de Bolívar planta de tratamiento aguas residuales tratadas (Martin Anyi, 2015)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

3. DISEÑO

3.1. Especificación del problema

Con el fin de construir paso a paso la solución de la problemática se realizó un análisis detallado de las necesidades, direccionando el desarrollo a las soluciones más eficientes.


La problemática inicial invita a desarrollar alternativas para medir la eficiencia mecánica de las turbinas RCECS, el objetivo del proyecto es construir dos diseños que sean capaz de adquirir los datos para caracterizar dichas turbinas, es decir, dos bancos experimentales ubicados específicamente en la piscina del ITM Campus Fraternidad, que sean de fácil instalación y además que sean lo más eficientemente posible para caracterizar las turbinas.

El planteamiento principal que se desarrollo fue la elaboración de una matriz de necesidades con el fin de identificarlas y aglomerar toda la información posible en una sola matriz.

Tabla 1. Necesidades (Fuente Propia)

NUMERO	NECESIDAD	IMPORTANCIA
1	Fácil instalación.	3
2	Bajas pérdidas en los desplazamiento.	4
3	Simular las corrientes de los ríos.	5
4	Diseños herméticos que protegen los componentes eléctricos.	5
5	Cómodo y accesible para cambios.	4
6	Que cumpla con los requisitos de área física del campus Fraternidad.	4
7	Diseños hidrodinámicos para la turbina	4

Luego de realizar y concretar las necesidades principales del proyecto, se realizó un análisis con el asesor del proyecto (Docente de la facultad de ingeniería del ITM) y se llegaron a los siguientes acuerdos:

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

1. Se debe respetar el área determinada por el área física.

Nota: El jefe de área física compartió los planos de la piscina con el fin de asegurar que el diseño no sobrepasara $\frac{1}{2}$ de la piscina.

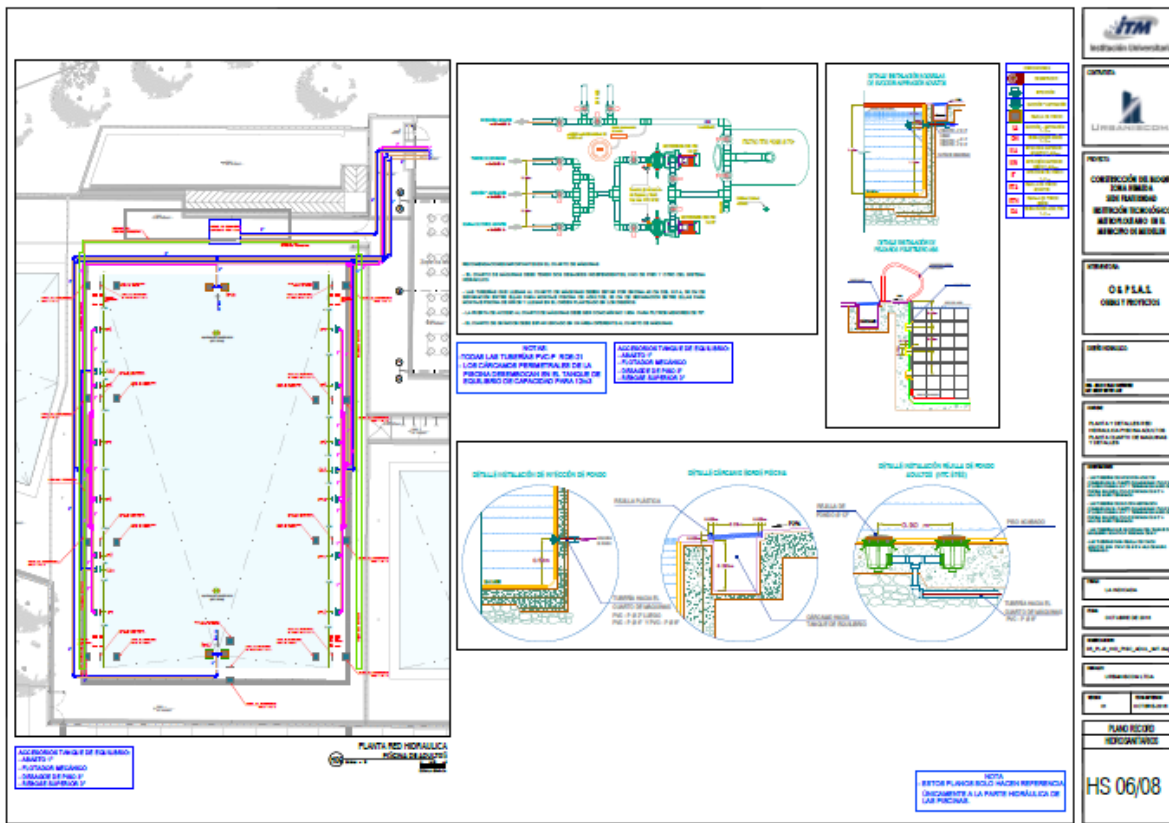



Figura 7. Plano Piscina ITM Fraternidad (Área física Campus Fraternidad)

2. Los anclajes del montaje final no pueden sobresalir del piso y además deben estar instalados en la lechada del enchape.
3. Se debe diseñar dos dispositivos con sistemas de desplazamiento lineal.
4. Se propone tomar como apoyo (guía) para desarrollo de este trabajo, el trabajo de grado desarrollado en el ITM (Desarrollo de banco de pruebas experimental para determinar el desempeño de turbinas RCECS en diferentes puntos de diseño), que funciona a través de una balsa flotante y realizar la optimización necesaria. (Baena, Jhon, & Flórez, 2017).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

5. Se considera una fecha para reunión con el grupo de investigación de la UDEA.
6. Se propone el uso del software NX 11.0 de Siemens para el desarrollo del CAD y la planimetría de los dos diseños.

Una vez realizada la reunión inicial con el asesor del proyecto y concretados los puntos expuestos anteriormente, se realiza mediante el plano suministrado por el área física del campus ITM fraternidad el CAD de la piscina para el dimensionamiento real de los componentes y así establecer cómo se realizarán los dos diseños.

Se procede con el modelado del CAD mediante en el software de NX 11.0 de la versión académica.

El software NX de Siemens es una solución para diseño de productos, ingeniería, fabricación eficiente integral potente y flexible que le ayuda a ofrecer productos mejorados de forma más rápida y eficaz. NX pone a su disposición soluciones de diseño, simulación y fabricación de próxima generación que permiten a las empresas aprovechar todo el valor de los duplicados generales.

NX le ofrece un conjunto integrado de herramientas que coordina distintas disciplinas, preserva la integridad de los datos y la intención de diseño y optimiza el proceso al completo, a la vez que da soporte a todos los aspectos del desarrollo de productos, desde el diseño de conceptos hasta la ingeniería y la fabricación (LIFE, 2019)

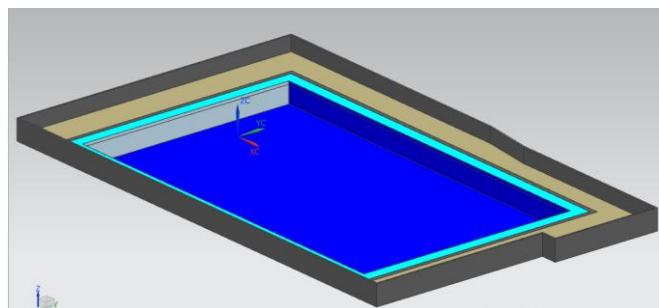



Figura 8. Modelado Piscina Campus Fraternidad (Fuente Propia)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Con el modelo CAD de la piscina Campus Fraternidad se asientan las ideas y se plantean varias soluciones a la problemática enfocándolas a suplir cada una de las necesidades planteadas en la tabla 1.

3.2. Propuesta de alternativas

En la siguiente figura se observa la matriz morfológica, básicamente la componen funciones que resumen el dispositivo para satisfacer nuestra problemática.


Luego de considerar cada una de estas soluciones, se plantea los siguientes conceptos de tal forma que se le dé solución integral a la problemática, esto siempre en función de resolver las necesidades y plantear los dos conceptos finales más eficientes.

Concepto 1. El concepto número uno integra los siguientes componentes:

Como guía para el desplazamiento del sistema se utiliza un perfil cuadrado 2"X 2", la transmisión mecánica se compone de transmisión directa por medio de engranajes, por otra parte, para la generación de energía mecánica se utiliza un motor AC de 2HP, mientras que el almacenamiento de los datos y los componentes eléctricos sumergibles se efectúa en una caja de acrílico de 3mm, finalmente los soportes, en general se ejecuta en Platina en 1/4"+ tubería PTS cuadrada 1"X1".

Tabla 2. Matriz Morfológica. (Fuente Propia)

FUNCION					
Diseñar dos bancos experimentales para la caracterización de turbinas hidrocínicas con el fin de medir las variables mecánicas y determinar la eficiencia de la turbina en un modelo a escala.					
FUNCION	SOLUCION 1	SOLUCION 2	SOLUCION 3	SOLUCION 4	SOLUCION 5
Guía para el desplazamiento	Perfil cuadrado de 2"X 2".	Perfil en I	Perfil Omega	alsa con tubería PV	Boyas Flotantes
sistema de transmisión de energía mecánica	Piñones	Piñones	Guaya forrada	Guaya forrada	Guaya forrada
sistema eléctrico	Motor AC 2HP	Motor AC 2HP	MotorAC 2HP	MotorAC 2HP	MotorAC 2HP
almacenamiento de la turbina y los componentes eléctricos sumergibles.	Caja en acrílico de 3mm	Caja en acrílico de 3mm	Caja en acrílico con parades interna en Prolon+Estructura tipo bala para mayor hermeticidad	Estructura tipo bala	Caja en acrílico con parades interna en Prolon+Estructura tipo bala para mayor hermeticidad
soporteria general	Platina en 1/4"+ tubería PTS cuadrada 1"X1"	Platina en 1/4"+ tubería PTS cuadrada 1"X1"	Platina en 1/4"+ tubería PTS cuadrada 1"X1"	Platina en 1/4"+ tubería PTS cuadrada 1"X1"	Platina en 1/4"+ tubería PTS cuadrada 1"X1"

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Concepto 2. El concepto número dos integra los siguientes componentes:

Como guía para el desplazamiento del sistema, se utiliza un perfil en forma de I, la transmisión mecánica se compone de transmisión directa por medio de engranajes, por otra parte, la fuerza utilizada para el desplazamiento del sistema, es producto de un motor AC de 2HP, mientras que el almacenamiento de los datos y los componentes eléctricos sumergibles se efectúa en una caja de acrílico de 3mm, por último los soportes en general se construyen y fabrican de platina en 1/4" + tubería PTS cuadrada 1"X1".


Concepto 3. El concepto número tres integra los siguientes componentes:

Como guía para el desplazamiento del sistema, se utiliza un perfil en forma omega, que debe contar con una superficie o carro para el transporte del recorrido deseado. La transmisión mecánica es mediante un sistema de guaya forrada calibre 3/16" acoplada a la estructura del carro o superficie de transporte que permite halar el sistema para el recorrido del trayecto trazado de la turbina. La fuerza utilizada para el desplazamiento del sistema es producto de un motor AC de 2HP, mientras que el almacenamiento de los datos y los componentes eléctricos sumergibles se localizan en una caja de acrílico con paredes en prolon, que cuenta con un recubrimiento de fibra de vidrio en forma de bala para garantizar rigidez en su soporte, alineación de la turbina, hermeticidad y choque del agua gracias a su diseño hidrodinámico. Por último, los soportes en general también son construidos y fabricados en platina en 1/4" + tubería PTS cuadrada 1"X1".

Concepto 4. El concepto número cuatro integra los siguientes componentes:

Como guía para el desplazamiento del sistema, se utiliza una balsa con tubería PVC. La transmisión mecánica es mediante un sistema de guaya forrada calibre 3/16" acoplada a la estructura de la turbina.

La fuerza utilizada para el desplazamiento del sistema es producto de también un motor AC de 2HP, mientras que el almacenamiento de los datos y los componentes

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO		Código	FDE 089
			Versión	03
			Fecha	2015-01-27

eléctricos sumergibles se localizan en una caja de recubrimiento de fibra de vidrio en forma de bala para garantizar rigidez en su soporte, alineación de la turbina, hermeticidad y choque del agua gracias a su sistema hidrodinámico. Por último, los soportes en general también son construidos y fabricados en platina en 1/4" + tubería PTS cuadrada 1"X1".


Concepto 5. El concepto número cinco integra los siguientes componentes:

Como guía para el desplazamiento del sistema se utiliza un sistema con Boyas flotantes, las cuales son guiadas por guayas al lado de cada boya para dar dirección al desplazamiento lineal y evitar que este desvíe su trayectoria. Además, la transmisión mecánica es mediante un sistema de guaya forrada calibre 3/16" acoplada a la estructura de la turbina para generar el movimiento del desplazamiento lineal requerido. La fuerza utilizada para el desplazamiento del sistema es producto de también un motor AC de 2HP, mientras que el almacenamiento de los datos y los componentes eléctricos sumergibles se localizan en una caja de acrílico con paredes en prolon + un recubrimiento de fibra de vidrio en forma de bala para garantizar rigidez en su soporte, alineación de la turbina, hermeticidad y choque del agua gracias a su, alineación de la turbina, hermeticidad y choque del agua gracias a su diseño hidrodinámico. Por último, los soportes en general también son construidos y fabricados en platina en 1/4" + tubería PTS cuadrada 1"X1".

3.3. Matriz de selección

Tabla 3. Matriz de Selección (Fuente Propia)

CRITERIOS DE SELECCIÓN	Peso	MATRIZ DE SELECCIÓN									
		CONCEPTOS									
		CONCEPTO 1		CONCEPTO 2		CONCEPTO 3		CONCEPTO 4		CONCEPTO 5	
		Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada
Facilidad de montaje y desmontaje	20%	2	0,4	2	0,4	2	0,4	3	0,6	3	0,6
Eficiencia mecánica	20%	2	0,4	2	0,4	3	0,6	1	0,2	2	0,4
Eficiencia eléctrica	15%	3	0,45	3	0,45	3	0,45	3	0,45	3	0,45
Peso	10%	3	0,3	1	0,1	2	0,2	2	0,2	3	0,3
diseño hidrodinámico	15%	1	0,15	1	0,15	3	0,45	2	0,3	3	0,45
Tamaño	10%	2	0,2	2	0,2	2	0,2	1	0,1	2	0,2
Costo	10%	2	0,2	1	0,1	2	0,2	3	0,3	3	0,3
	100%		2,1		1,8		2,5		2,15		2,7

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

En la tabla anterior se muestra la puntuación a cada uno de los conceptos que se analizaron para este proyecto. La asignación del peso es establecida en conjunto por todos los integrantes del equipo de trabajo. La calificación la determina cada integrante del equipo individualmente, según sus criterios y análisis del proyecto, dando una calificación entre 1 y 3, siendo 1 la de menor valor y 3 la de mayor valor. Al lado de esta columna se encuentra otra denominada “Calificación”, que se obtuvo al multiplicar el factor de peso de cada criterio (ver tabla 6) por la puntuación que nosotros asignamos.


Dada la disponibilidad de las piezas de nuestros conceptos la arquitectura más acorde es la MODULAR, ya que de cierta forma permite integrar el producto por medio de varias etapas, las cuales se articulan a un mismo sistema para que funcionen en conjunto, tanto mecánica como eléctricamente, adicional este tipo de arquitectura brinda la facilidad de insertar nuevos componentes al sistema o realizar mantenimiento del mismo por partes sin necesidad de intervenir todo el sistema a la misma vez.

En la siguiente sección se justifican uno a uno los componentes utilizados, su diseño CAD y la disposición en los subensambles y ensambles finales. La finalidad de este capítulo es exponer los resultados obtenidos en los dos diseños planteados en el proyecto, básicamente se divide en dos partes, la primera trata toda la temática que se desarrolla para justificar el aplicativo con riel y la segunda parte se justifica el aplicativo con boyas.

3.4. Diseño de Detalle del Concepto 3

Para la elaboración del aplicativo guiado por riel del banco experimental para la turbina RCECS se analizaron y estudiaron diferentes alternativas.

La primera alternativa era un perfil en i, que por su forma era el más idóneo para poder montar un carro tipo Trolley que se guiará a través de una de la sección del mismo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

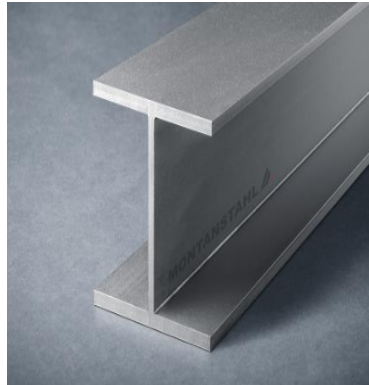


Figura 9. Perfil en I.

Debido a que el proyecto se realiza en la piscina del ITM Fraternidad, se considera tener en cuenta que el perfil debe ser desmontable y ligero, característica que no cumple la selección del perfil en i, por su peso metro lineal que es de 8.4 kg.


Su peso para el traslado, el montaje y el bodegaje consumiría mucho recurso humano, y sería una de las variables en contra para su selección.

Al realizar la búsqueda en el mercado de perfiles livianos y resistentes se encuentran de diferentes tipos y diseños con características propias para el desarrollo del banco; uno de ellos es el perfil tipos PTS.

Este perfil es liviano, pero su sección es completamente cuadrada lo que conlleva a maquinar parte de él para poder sujetar el carro Trolley y asegurar el perfil al piso, por eso el diseño no es funcional.



Figura 10. Tubería PTS. Fuente propia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

la alternativa seleccionada es el perfil modular en omega para estantería de tipo pesado, el cual es versátil para nuestra aplicación, es fácil de desmontar, tiene los diferentes niveles estructurales para guiar el carro trolley adecuadamente a lo largo de su desplazamiento y es liviano para su transporte y bodegaje.



Figura 11. Sección de perfil riel Omega. Fuente propia

El perfil está construido en Acero HR cal 14, lo que garantiza una dureza 126 HBN, resistencia mecánica 63.8 kpsi, y genera confiabilidad a la hora de utilizarlo y probarlo, la función principal básicamente es guiar el carro trolley y superficialmente solo tiene contacto directo con superficies de teflón.

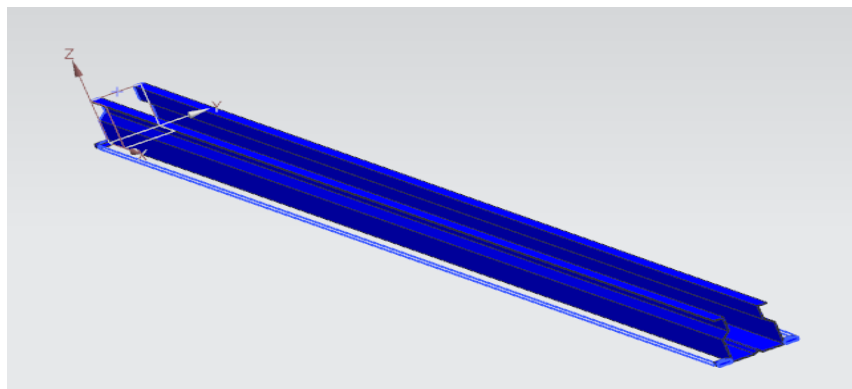



Figura 12. Diseño de perfil riel Omega en NX. Fuente propia

Una vez evaluado el perfil, se valoran los rodamientos que sirven para el guiado y el desplazamiento del trolley.

Para garantizar el desplazamiento guiado a través del perfil Omega, el carro Trolley fue diseñado con rodamientos tipo 6000_2RS (Rodamiento sellado de

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

bolas/radiales) para el desplazamiento horizontal y un rodamiento 5204_ZZ (Rodamiento sellado de bolas/radial) que sirve guiar el Trolley en la parte superior.

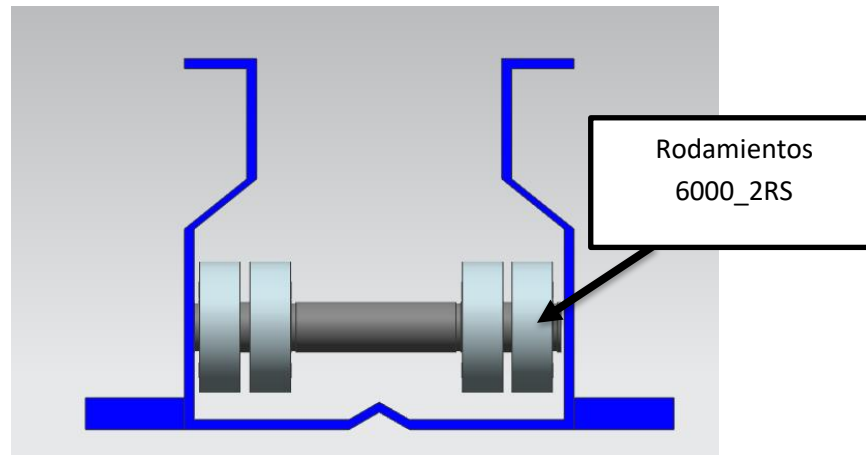


Figura 13. Detalle rodamiento 6000DU y riel Omega. Fuente propia.

Ahora bien, es necesario controlar varios movimientos que se pueden generar en los desplazamientos del trolley, dada la geometría del sistema completo y las cargas que se generan en el extremo opuesto al trolley, se instala un rodamiento cilíndrico para contrarrestar el movimiento que puede llegar a generar la carga en movimiento, de tal forma que el rodamiento superior de bola radial en el cuello de la base trolley sirve como guía en el desplazamiento horizontal del subensamble.

Por la gran capacidad que cuenta el rodamiento de soportar las cargas radiales y axiales que se ejercen desde diferentes direcciones, este es ideal y respalda el sistema. Aunque se debe mitigar la fricción que produce metal con metal, este rodamiento se usa como guía para evitar el descarrilamiento o choque del trolley en su recorrido interno dentro del riel.

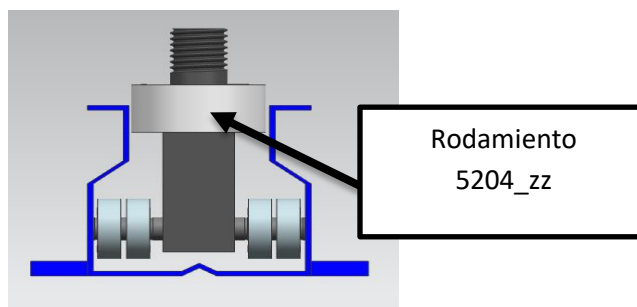



Figura 14. Detalle rodamiento superior 5205-ZZ. Fuente propia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Como la estructura exterior del rodamiento es metálica e igual la del riel tipo omega, se debe disminuir su coeficiente de fricción, reducir el contacto metal - metal, minimizar el ruido, para eso se debe fabricar una camisa en UHMW (POLIETILENO), con lo que se garantiza un desplazamiento uniforme dentro del riel Omega.

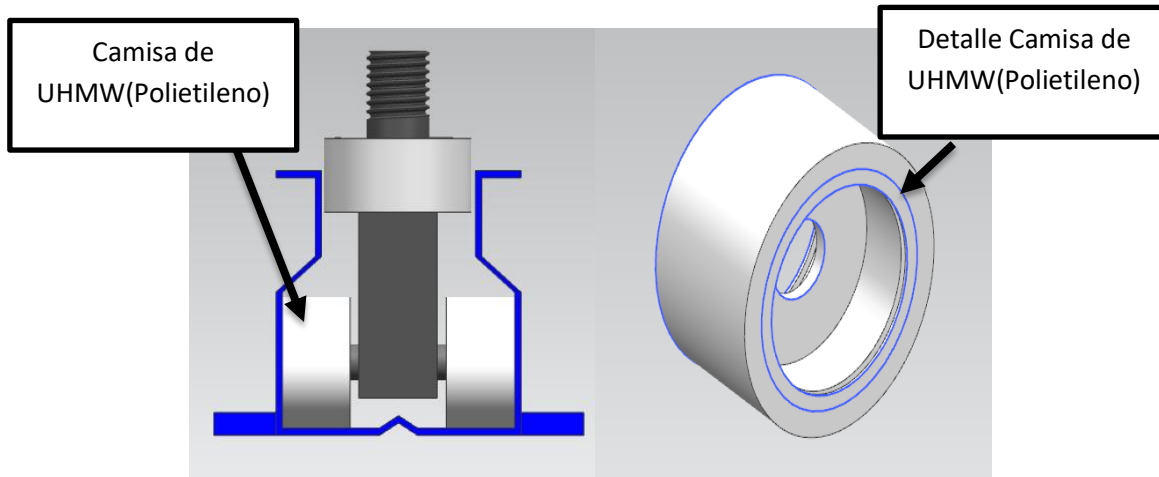


Figura 15. Detalle camisa de Polietileno. Fuente Propia

La unión de estos elementos se realiza por un elemento maquinado en acero al carbón 1018, este es parte fundamental para el funcionamiento del trolley y que se pueda desplazar a lo largo del riel, la base del trolley une los rodamientos laterales por medio de un eje de $\varnothing 10$ mm y el rodamiento superior.

La base trolley cuenta con un roscado superior donde se une la estructura principal de carro trolley.

Se debe considerar que durante el movimiento lineal de trolley existen movimiento axial de los rodamientos y las ruedas de teflón, al generarse el movimiento de los rodamientos que se encuentran montados en el eje, la aceleración centrípeta que los cojinetes obtienen mediante el recorrido de todo el sistema se requiere del uso de una restricción mecánica (pines candados) para evitar el descarrilamiento del subensamble. Este conjunto de la base se cuadruplica, de tal forma que son cuatro

bases las que ayudan que todo el agregado se desplace en el riel, la función principal de ellos es controlar la carga generada por la turbina y sus accesorios.

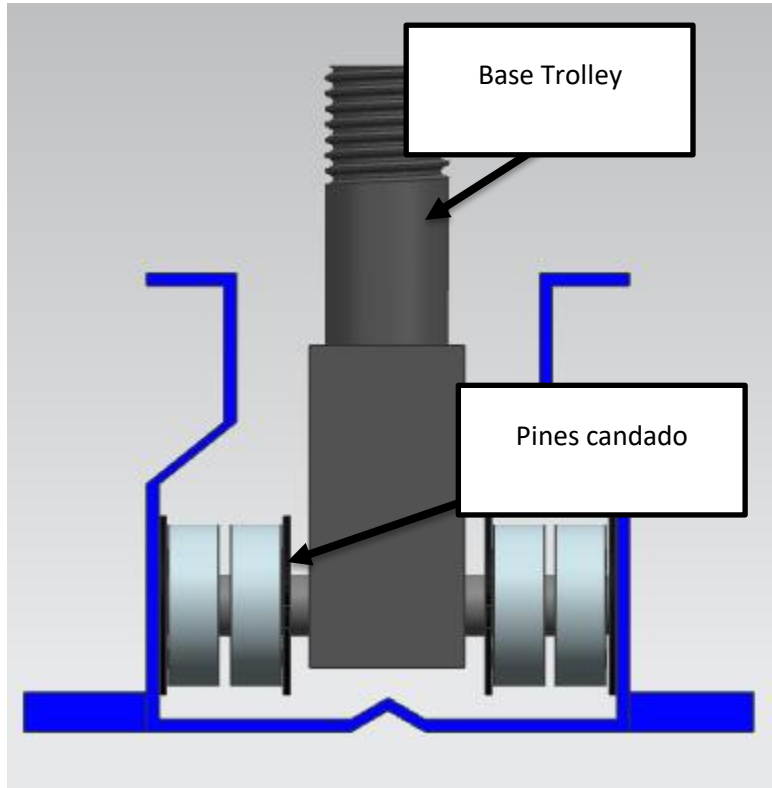


Figura 16. Detalle base Trolley. Fuente propia.

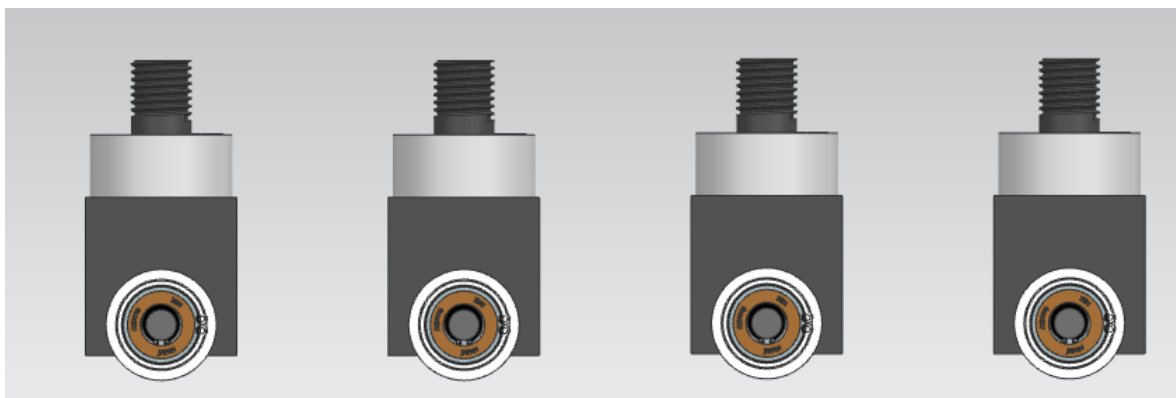



Figura 17. Bases del Trolley. Fuente propia.

Cada una de estas base es asegurada a la estructura principal, esta sufre una fuerzas asociadas a los pesos y las distancias de los componentes del sistema, así

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

que para su correcta operación en el diseño mediante riel, se debe considerar todas las fuerzas que actúan directamente sobre la estructura principal, una de ellas es la fuerza generada por el peso de la turbina y sus accesorios, por tal motivo se diseña cuatro soportes perpendiculares al riel, los cuales facilitan el movimiento lineal del trolley. se instalan rodamientos 6000DU como muestra en la Figura, estos además de ayudar a mejorar el movimiento del sistema, genera una restricción mecánica a la fuerza radial generada por el peso de los componentes que están ubicados en el extremo opuesto a la estructura general.

Para controlar el movimiento axial de los rodamientos se utilizan pines candados en los dos extremos del rodamiento, generando una restricción mecánica al desplazamiento axial, estos rodamientos son instalados en una varilla lisa de Ø10 mm, que a su vez va soldada a la estructura principal del trolley, los rodamientos están en contacto directo con una pestaña del riel omega, este genera una fuerza contraria a la fuerza generada por el peso de la turbina y sus accesorios.

La estructura principal (lamina de ¼") cumple una función esencial en el sistema, la integración de todos los subsistemas se realizan en este, la unión del trolley con el sistema de adquisición de datos y el de generación de energía, en esta base se acoplan los 4 elementos móviles en las perforaciones de 20 mm(1), en la perforaciones de xx mm(2) se instalan las abrazaderas cuadradas para los 2 PTS, los cuales son el soporte conjunto para la turbina, y las perforaciones 6 mm se conectaran las guayas de alma de acero forrado para generar el desplazamiento del elemento móvil, la estructura está construida en acero carbono, con una resistencia mecanica 63.8 Kpsi, a la cedencia de 53.7 Kpsi, características que garantizan funcionalidad en las carreras del sistema móvil, en ella se solda los cuatro soportes anteriormente nombrado con soldadura E-6013 con electrodo revestido.

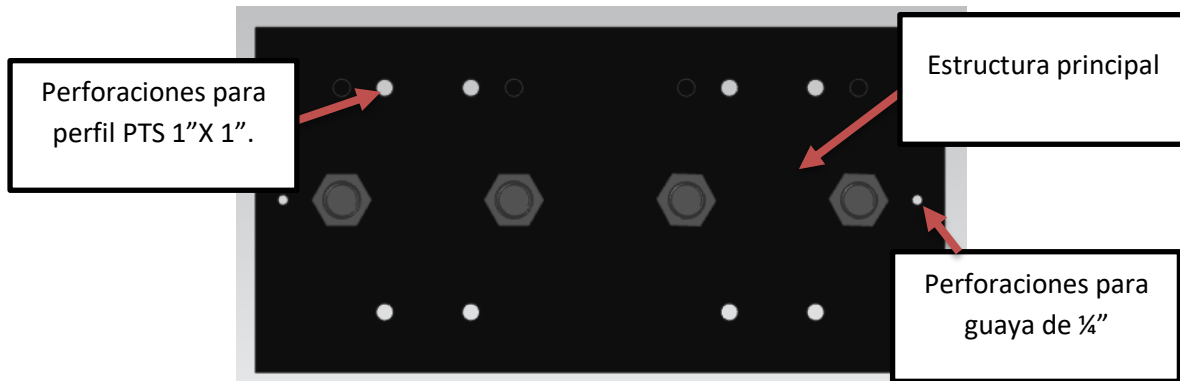


Figura 18. Estructura principal. Fuente propia.

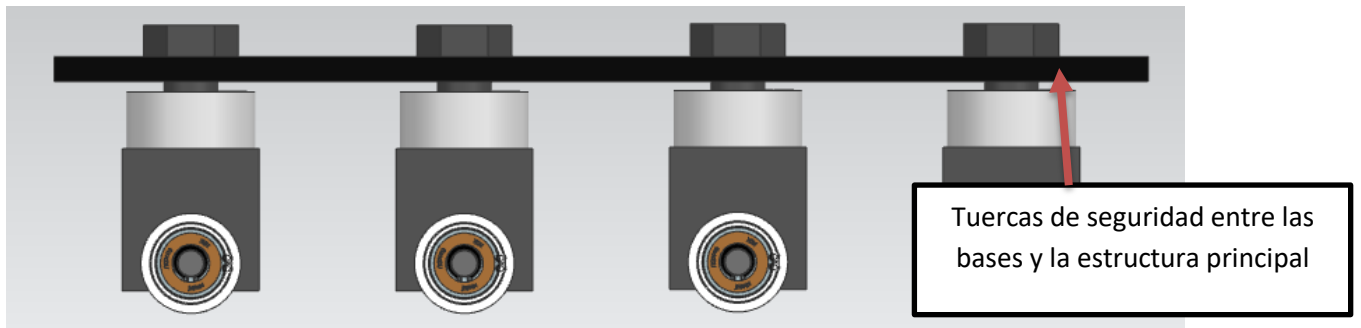


Figura 19. Detalle aseguramiento Trolley y estructura principal. Fuente propia.

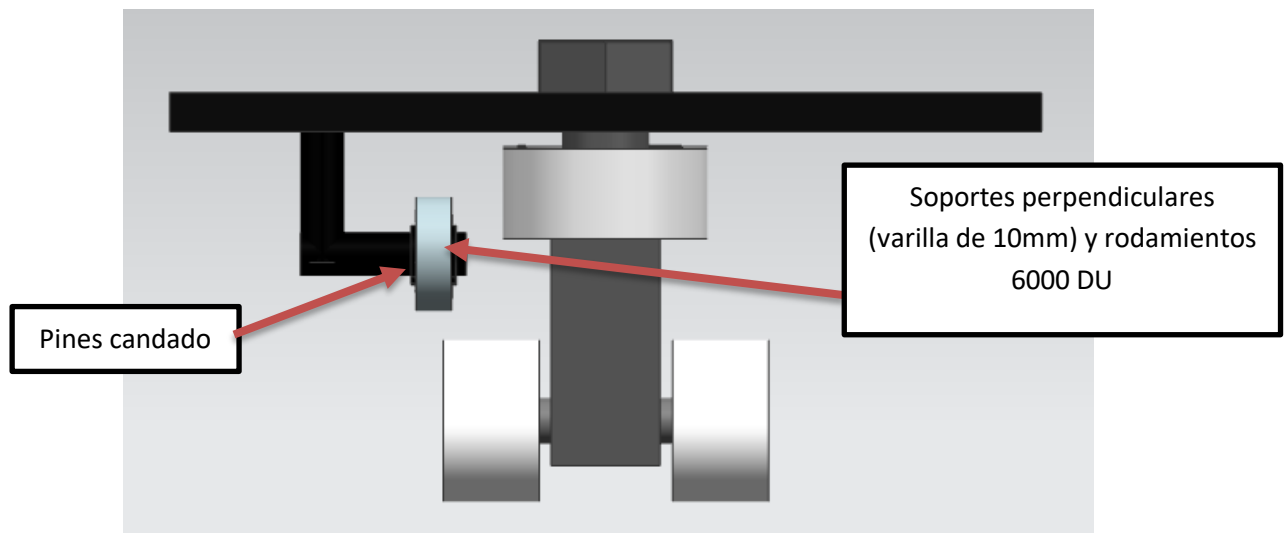



Figura 20. Rodamiento guía 6000DU del Trolley . Fuente propia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

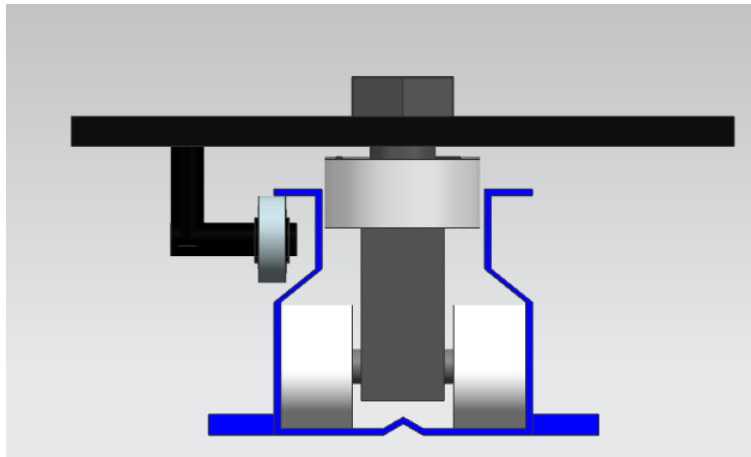



Figura 21. Detalle Rodamiento guía Trolley. Fuente propia.

Con las anteriores consideraciones el trolley en su conjunto contempla cada uno de los factores que intervienen en su correcto funcionamiento, ahora bien, el conjunto completo cuenta con la sección 1 (Conjunto trolley), sección 2 (soporte sistema de adquisición de datos), sección 3 (Sistema de adquisición de datos), ya se evaluaron todas las características de la sección 1; a continuación, se evalúa la sección 2.

Básicamente la función principal de esta estructura es unir el trolley con la turbina, pero se puede dividir en subfunciones de las cuales depende el funcionamiento correcto del conjunto, la estructura cuenta con una cercha tipo columna con perfiles PTS de 1" x1" de 2.6 metros de longitud. La finalidad de esta distancia es conseguir que la turbina tenga mínimamente dos diámetros libres desde el muro de la piscina hasta el eje de la turbina, por otra parte la estructura se diseña tipo cercha con el fin de equilibrar las cargas y el balanceo que genera el desplazamiento lineal a lo largo de la piscina, además tiene este tipo de geometría con el objetivo de generar una mayor resistencia y distribuir las cargas a lo largo de la estructura, la construcción del perfil es acero carbono, por lo que entrega una resistencia alta a flexión y a la ruptura; En segundo plano se encuentran los PTS verticales en forma de "Y" cuya función principal es ser el elemento de empalme entre los PTS horizontales y la turbina; Su disposición en forma de "Y" genera una alta resistencia a la fricción del movimiento obtenida del desplazamiento del trolley además que restringe el movimiento en su propio eje de la turbina. Posterior a estas razones este es un

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

elemento modular de tal forma que se pueda retirar para luego acoplarlo al diseño propuesto con flotadores y en un momento dado retirarlo para obtener la adquisición de datos entregados por el torquímetro.

Finalmente se tienen las abrazaderas, que son las que aseguran la turbina. Estas por su construcción y diseño, pueden ajustarse al diámetro requerido de la turbina y además cuentan con costillas rigidizadoras en los acoples con la tubería cuadrada para obtener una resistencia mayor y un tope en el final de la turbina para garantizar que esta (turbina) no se desplace durante las pruebas. La fabricación de estas abrazaderas es realizada en platina de 1" X ¼" en acero carbono.

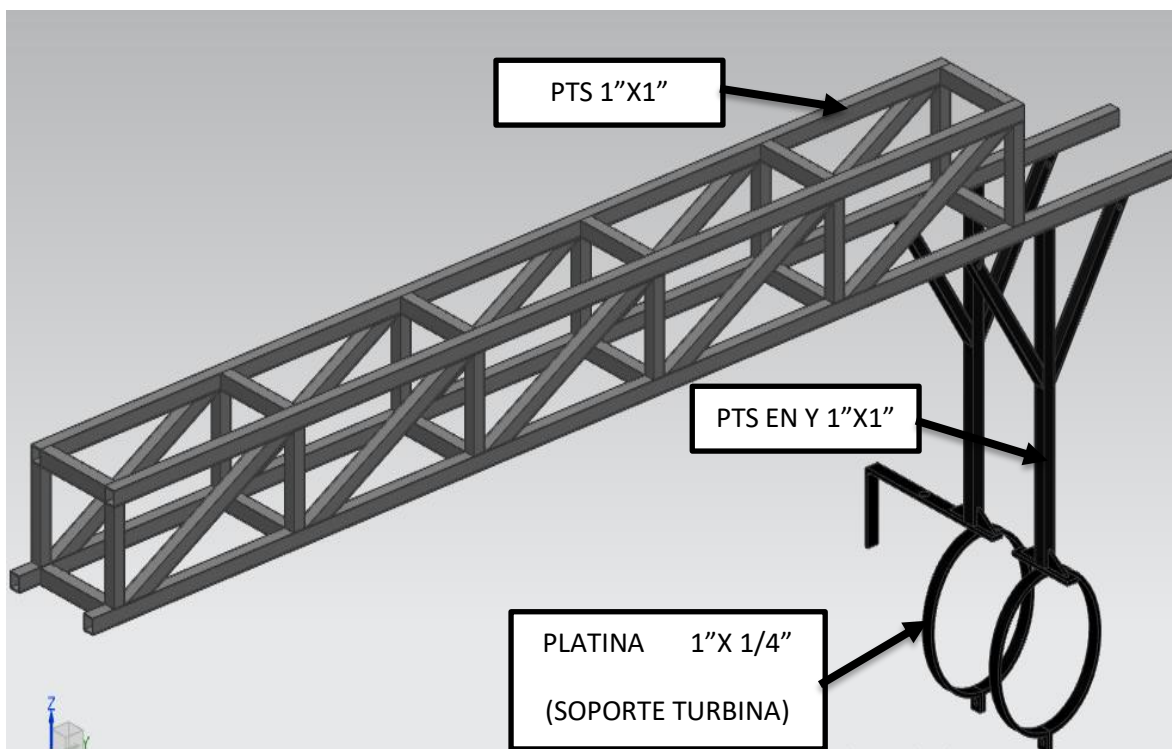



Figura 22. Soporte entre el Trolley y la turbina. Fuente propia.

En la sección 3 se ubica la parte de control, incluyendo soportes con sus respectivos accesorios. Uno de los elementos que componen la sección 3 es la caja sumergible y los componentes de control.

La caja sumergible es de forma rectangular con medidas de 500mmX150mmX150mm de 3 mm de espesor. Su fabricación es de material

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

acrílico (polimetimetacrilato), su estructura y construcción permite el sellado hermético contra fluidos líquidos. La caja es a prueba de sellado contra el agua, la cual es sumergible y dentro de su construcción se encuentran 3 subdivisiones para los componentes, los cuales permiten obtener la lectura de la energía mecánica producida.

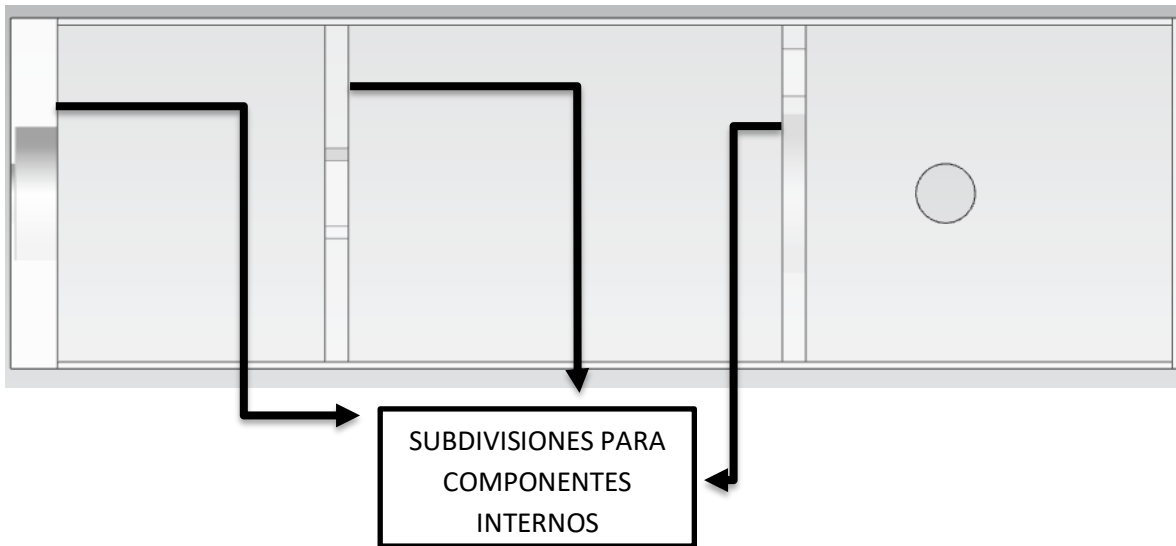



Figura 23. Detalle caja sumergible. Fuente propia.

Las subdivisiones (paredes verticales en acrílico) además de alojar los componentes mecánicos y los dispositivos eléctricos, garantiza la alineación del eje y su balanceo, esto para mitigar las vibraciones producto del giro del rotor. La caja cuenta con los componentes internos que son los acoples tipo araña GE-28, motor DC, Rodamiento RLS8-2Z y el torquímetro TRS605 marca Futek para la toma, lectura y entrega de datos.

El acople tipo araña permite transmitir la potencia a través de un eje a otro garantizando así la mínima pérdida posible de esta, además suaviza los grados de libertad del sistema dentro de la caja para el torquímetro y el motor debido a su posición o ubicación para evitar la pérdida de la potencia transmitida.

El sensor de torque (torquímetro) por medio de los acoples tipo araña, es el encargado de recibir los datos del torque generado a través de la transmisión de la

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

fuerza que genera el rotor por medio del eje y este a su vez entrega la lectura de la transformación de energía hidráulica en energía eléctrica dentro del rango de lectura que cuenta el dispositivo en unidades de N-m.

El motor seleccionado es un motor 12 VDC, el cual va conectado al Driver L298N, por medio del cual recibe los pulsos generados para la variación de la frecuencia requerida (PWM) del Arduino MEGA utilizado. El objetivo principal es generar la carga necesaria a la turbina para que no trabaje al vacío y entregue los datos más acordes con la realidad, esta puede variar de acuerdo con la velocidad del motor DC.

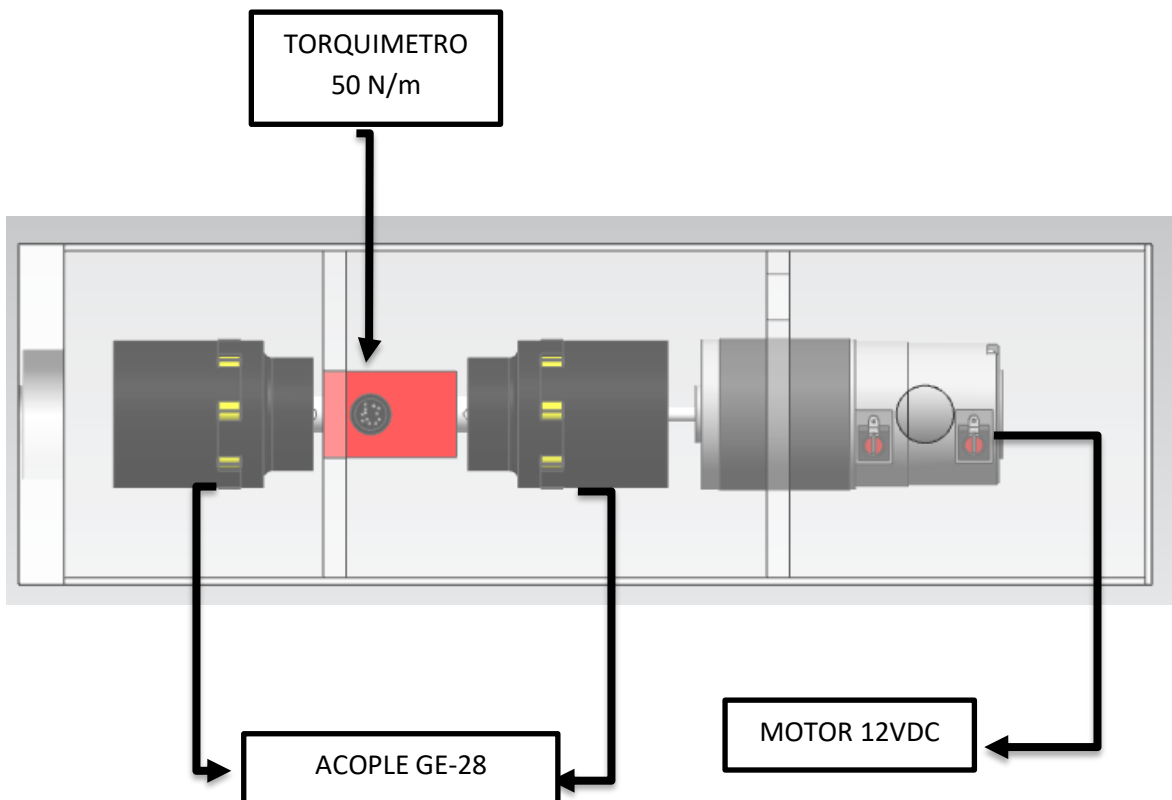


Figura 24. Detalle accesorios caja sumergible. Fuente propia.

La caja sumergida contemplada en el diseño es hermética. Para una mayor protección esta, se ubica dentro de un molde con forma tipo bala, el cual ayuda a que este tenga mejor sistema hidrodinámico, evite los choques contra el agua en su desplazamiento permitiendo así que el sistema sea doblemente seguro.

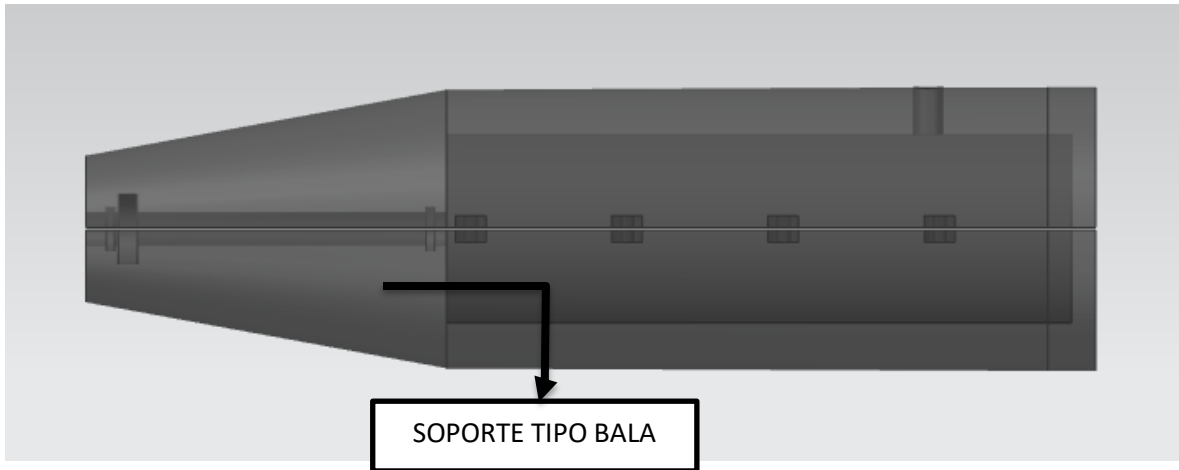


Figura 25. Detalle bala sumergible. Fuente propia

La carcasa en forma tipo bala es fabricada en resiglas. Esta es una resina que se puede moldear de acuerdo con la necesidad y es totalmente impermeable. La caja cuenta con un diámetro de 1" donde se ubica el eje del rotor, lo cual es necesario el uso de dos retenedores de 1" (doble protección hermética) ubicado uno en la parte frontal de la carcasa en forma tipo bala y el otro en la tapa de la caja sumergible donde se dispone de un rodamiento guía RLS8-2Z el cual sirve para alineación del eje de la turbina, un empaque de goma entre la unión de las dos carcasas.

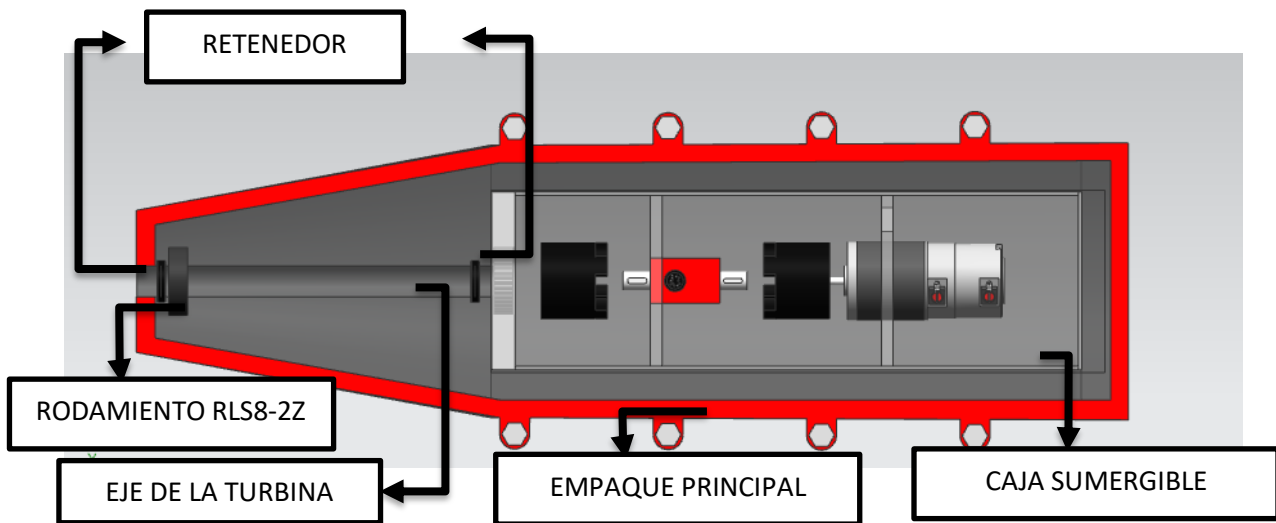


Figura 26. Subensamble caja sumergible. Fuente propia.

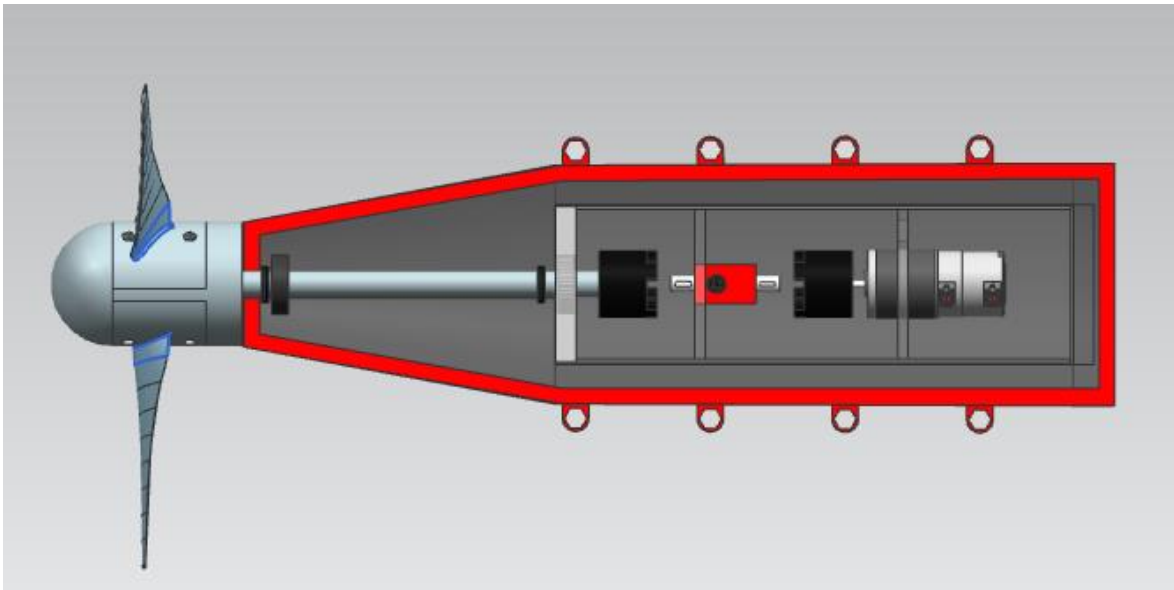


Figura 27. Subensamble bala sumergible y turbina. Fuente propia.

Otro componente incluido en la sección 3, es la caja superior y sus componentes de control. La caja superior tiene las siguientes dimensiones: de 300 mm de altura x 120 mm de largo x 200 mm de profundidad X 3 mm de espesor. La principal función es alojar los componentes de control y alimentación del sistema, es decir, ella en su interior contiene el Arduino MEGA para controlar el PWM del motor DC para la carga de la turbina, el USB20 administra los datos generados por el torquímetro, el Driver L298N es el encargado de controlar los pulsos enviados desde el Arduino y una batería 12V que se encarga de alimentar todo el circuito electrónico.

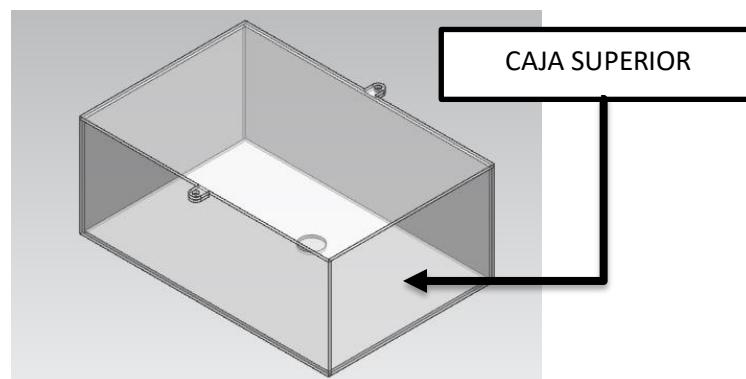


Figura 28. Detalle caja de control superior. Fuente propia.

Esta caja es hermética sin embargo no está sometida a inmersiones en la piscina, solo salpicadura durante las pruebas.

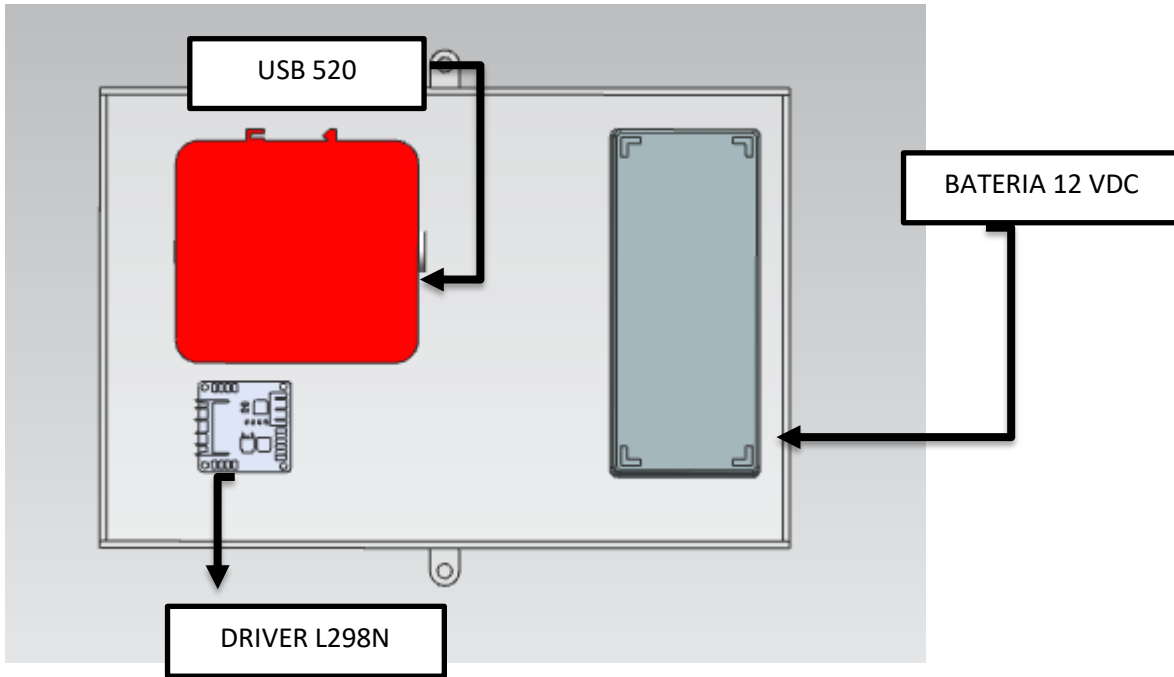



Figura 29. Accesorios caja superior de control. Fuente propia.



Figura 30. Ensamblaje general del aplicativo riel. Fuente propia.

Luego de la evaluación y justificación de las tres secciones que son indispensables para el primer aplicativo por medio del riel, se da forma a la segunda parte de los resultados, en donde se evalúan los componentes del diseño por medio de boyas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Es en esta parte en donde se reutilizan componentes eléctricos y estructurales del primer diseño con la finalidad de optimizar los recursos.

A continuación, se justifica cada uno de los componentes de la segunda parte del aplicativo por boyas.

3.5. Diseño de Detalle del Concepto 5

Los flotadores (boyas) utilizados en este trabajo, son facilitados en forma de préstamo gracias al laboratorio de UDEA, en su momento fueron probados con una turbina de mayor escala por el Grupo de investigación de la UDEA.

El diseño propuesto cuenta con 4 flotadores de tal forma que la carga sea equilibrada y este ubicada en todo el centro de la estructura diseñada.

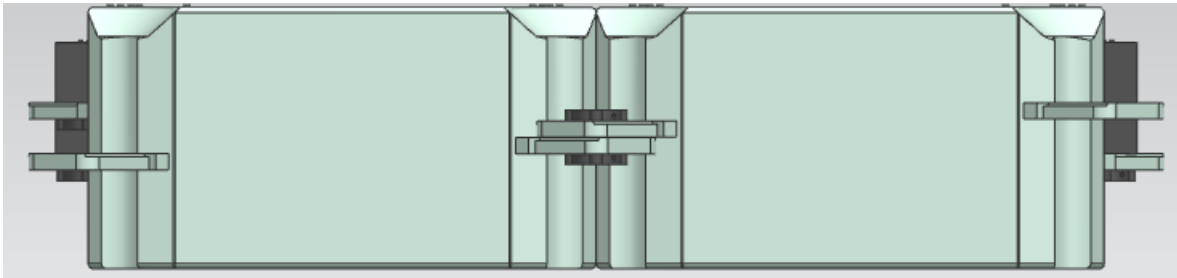


Figura 31. Esquema de las boyas. Fuente propia.

La tubería que une todo el sistema es tubería de 2", esta va incrustada en soportes que van anclados directamente a los soportes de las esquinas de los flotadores.

Se modifica el soporte central, se utiliza platina de 1" X 1/4" para las abrazaderas y el soporte central, pero se reutilizan los soportes PTS de 1"X1" en forma de "Y" para asegurar la turbina y la bala sumergible.

En este diseño de igual forma se reutilizan la carcasa en forma tipo bala, la caja sumergible y la caja superior, es decir, toda la sección 3 del diseño anterior.

Para guiar y asegurar las boyas se utiliza guaya de 1/4" que atraviesan las perforaciones alojadas en los soportes solidos ubicados en los extremos de los

flotadores. En la siguiente imagen se evidencia los diferentes tipos de soportes solidos maquinados de tal forma que los tubos de 2" queden incrustados en ellos.

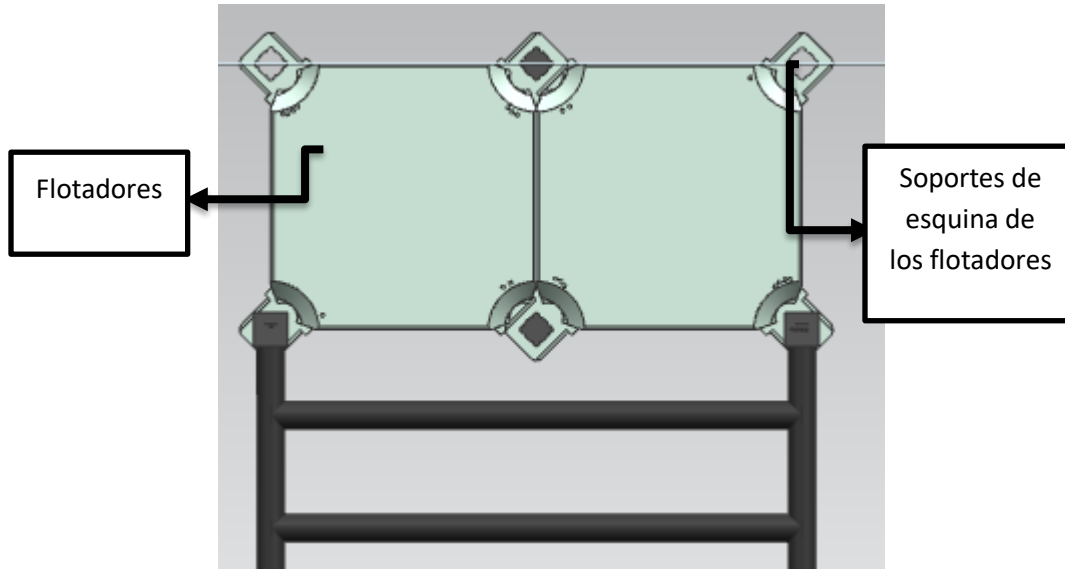


Figura 32. Subensamble Boyas-Soporte principal. Fuente propia.

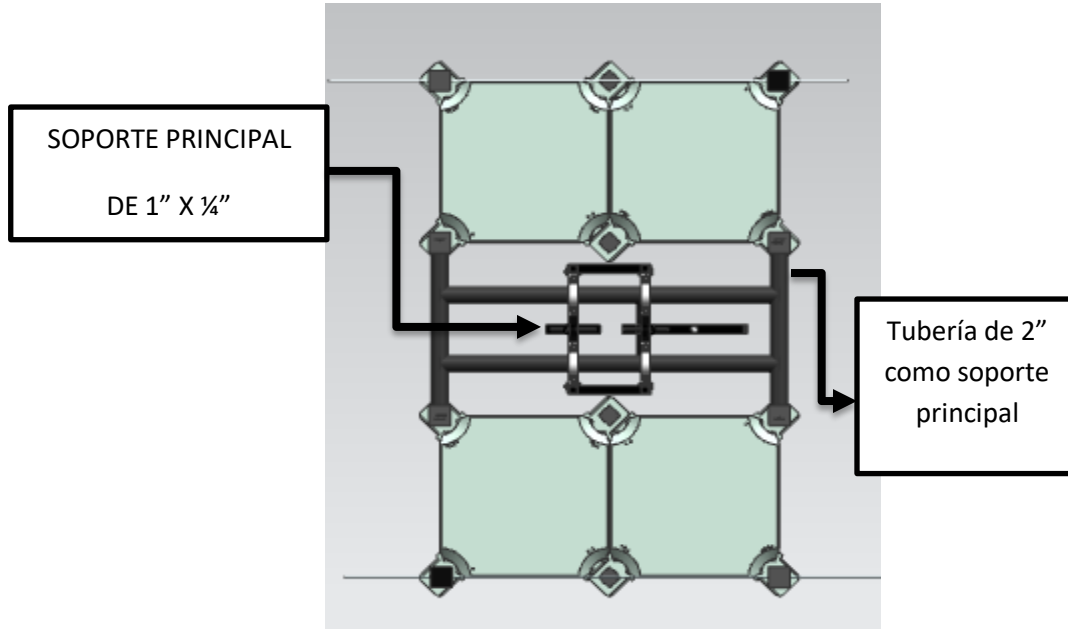


Figura 33. Detalle platina principal (Agarre de la turbina). Fuente propia.

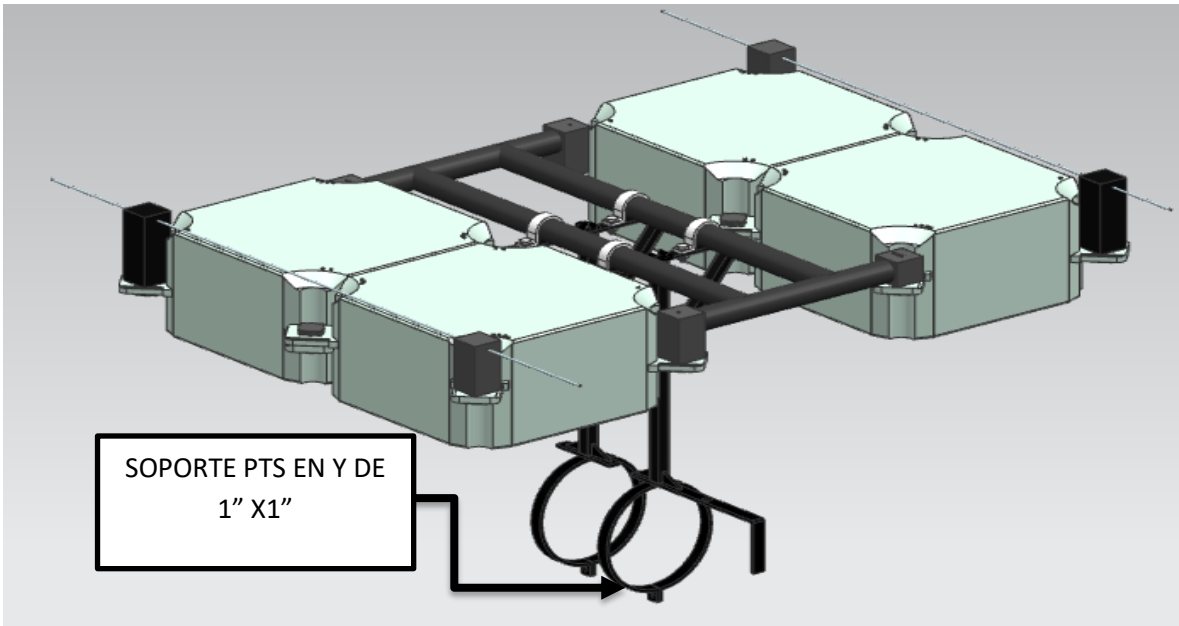


Figura 34. Vista tridimensional del sistema de boyas sin la turbina. Fuente propia.

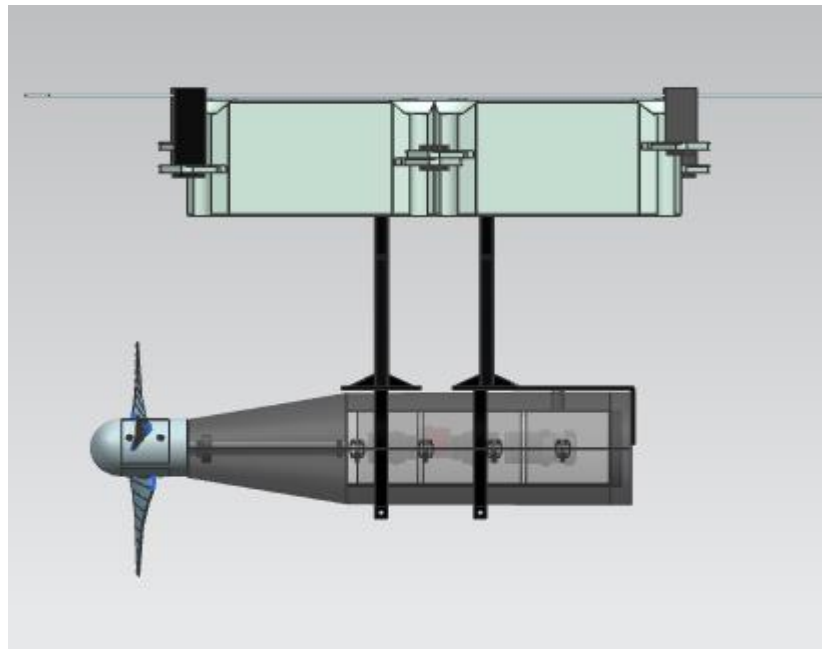


Figura 35. Vista lateral sistema boyas con la turbina. Fuente propia.

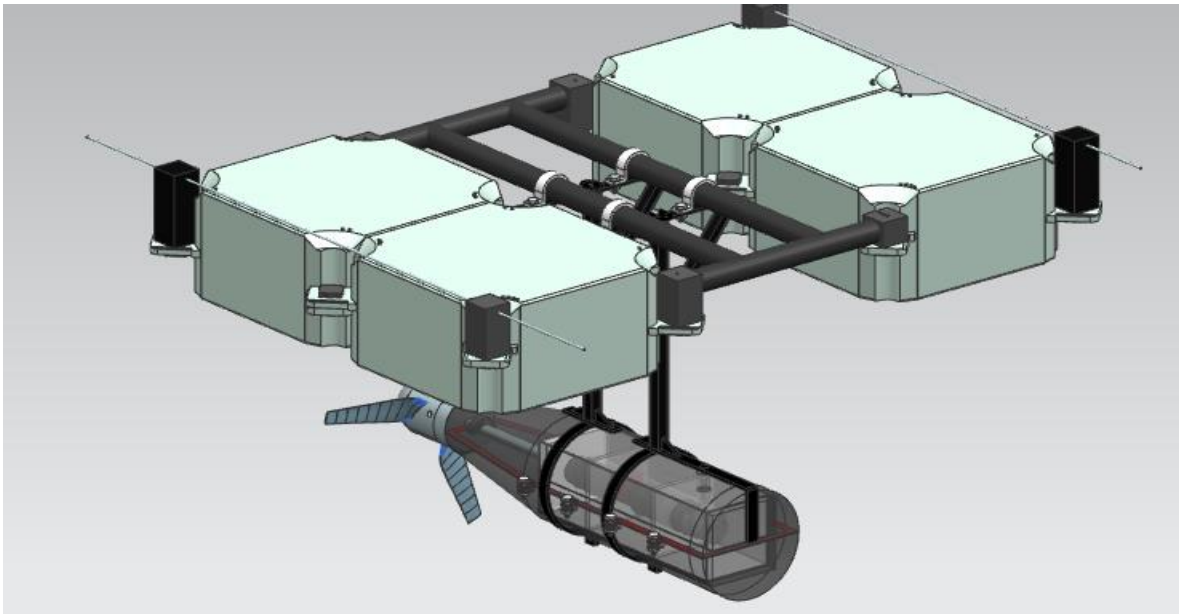


Figura 36. Vista tridimensional del sistema de boyas con la turbina. Fuente propia.

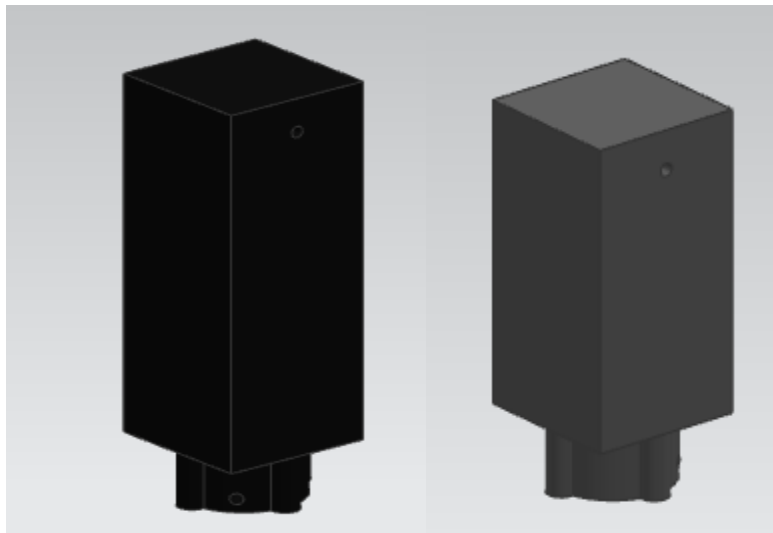


Figura 37. Soportes laterales de los extremos de las boyas. Fuente propia.

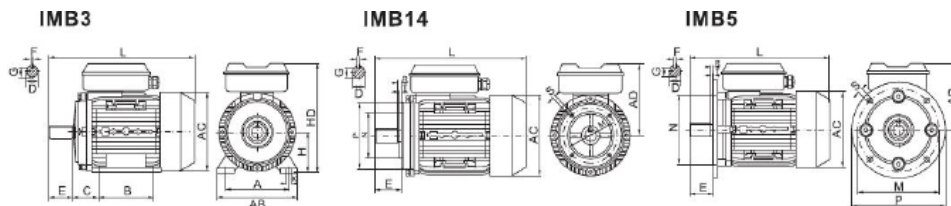
En la siguiente parte se evalúa todo el sistema eléctrico general, lo que involucra los componentes AC y los componentes DC, tanto de control como de potencia.

3.6. Diseño del Sistema Eléctrico AC

El objetivo principal del motor AC de 2 caballos es halar y retraer el sistema completo, ya sea el guiado por riel o por medio de flotadores. Esto por medio de una


guaya de una guaya de 3/16 “que atraviesa dos poleas ancladas en cada extremo de la piscina, siendo posible que los dos sistemas halen en un sentido y en el otro retraiga. La velocidad del motor es controlada por medio de un variador de velocidad YASKAWA J1000, el cual se encarga de accionar la frecuencia del motor y su sentido de giro. El motor AC seleccionado es de marca Siemens 1LE0142-0EC86-4AA4-Z D80-81, de 2 caballos de fuerza, la alimentación es de 2200 VAC, donde se evidencia una corriente nominal según tabla 5 de 5.8 A, su peso aproximado es de 23 Kg y su modelo constructivo es IMB3 con medidas de 90L.

Tabla 4. Dimensiones motor 2HP Siemens (Siemens, Technical Data, s.f.).




Frame Size	Mounting Dimension (mm)																				Frame Dimension (mm)					
	IMB14										IMB5															
	A	B	C	D	E	F	G	H	K	M	N	P	R	S	T	M	N	P	R	S	T	AB	AC	AD	HD	L
71	112	90	45	14	30	5	11	71	7	85	70	105	0	M6	2.5	130	110	160	0	10	3.5	145	145	125	210	255
80	125	100	50	19	40	6	15.5	80	10	100	80	120	0	M6	3.0	165	130	200	0	12	3.5	160	165	135	240	295
90S	140	100	56	24	50	8	20	90	10	115	95	140	0	M8	3.0	165	130	200	0	12	3.5	180	185	145	270	335
90L	140	125	56	24	50	8	20	90	10	115	95	140	0	M8	3.0	165	130	200	0	12	3.5	180	185	145	270	360
100L	160	140	63	28	60	8	24	100	12	130	110	160	0	M8	3.5	215	180	250	0	15	4.0	205	215	170	280	380

tejaio únicamente
productos Siemens:



páginas 3/2 a 4/1 2

GARANTÍA




Datos nominales

Corriente nominal

Peso neto

Referencia Siemens	Potencia (HP)	Tamaño constructivo	Datos nominales		Corriente nominal			Eficiencia %	Peso neto (IM B3) kg
			Velocidad min ⁻¹	Torque Nm	220V A	380VYY A	440V A		
Datos Eléctricos serie 1LE0142 IE1 6-polos, 1,200 min-1 B3									
100368367	0,75	80	M	1.120	4,7	2,9	1,69	1,46	16,5
100368368	1	80	M	1.105	6,5	3,65	2,15	1,84	16
100368369	1,5	90	L	1.140	9,2	5,6	3,25	2,8	22,5
100368370	2	90	L	1.125	12,7	7	4,05	3,5	23
100368371	3	100	L	1.130	18,6	10,2	5,9	5,1	32

Figura 38. Características eléctricas del motor de 2Hp Siemens (Siemens, 2017)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Para conocer el cable necesario para alimentar el motor se utiliza tabla 6, conservando una tolerancia del 50% de la corriente nominal se prevé un cable 4x12 AWG.

Tabla 5. Corrientes cables AWG.

Número AWG	Diámetro de mm	Sección en mm ²	Número de espiras x cm	Kg. por kilómetro	Resistencia en Ω por Km	Corriente en Amperios
0000	11,86	107,2	-	-	0,168	319
000	10,40	85,3	-	-	0,197	240
00	9,226	67,43	-	-	0,252	190
0	8,252	53,48	-	-	0,317	150
1	7,348	42,41	-	375	0,40	120
2	6,544	33,63	-	295	0,40	96
3	5,827	26,67	-	237	0,63	78
4	5,189	21,15	-	188	0,80	60
5	4,621	16,67	-	149	1,01	48
6	4,115	13,30	-	118	1,27	38
7	3,665	10,55	-	94	1,70	30
8	3,264	8,36	-	74	2,03	24
9	2,906	6,63	-	58,9	2,56	19
10	2,588	5,26	-	46,8	3,23	15
11	2,305	4,17	-	32,1	4,07	12
12	2,053	3,31	-	29,4	5,13	9,5
13	1,828	2,62	-	22,2	6,40	7,5

Optando por la misma proporción en cuanto a la corriente nominal y los demás periféricos del sistema, el totalizador es el encargado de proteger el circuito general, utilizando un breaker 3x10 que garantiza mínimamente 1.25 la corriente nominal para el sistema y según coordinación de protecciones es la protección más cercana y más baja del circuito general.

El control de velocidad del MOTOR SIEMENS 2.0 HP 1.800 RPM TAM 90L 1LE0142-0EB46-4AA4-Z D, se realiza por medio del variador de frecuencia YASKAWA J1000, de tal forma que se puedan variar las velocidades de caracterización desde 0.5m/s hasta 2 m/s, el sistema eléctrico AC cuenta básicamente con pulsadores de arranque, parada y stop, de igual forma un selector para cambio de giro utilizado en el momento en que el sistema móvil llegue al final de la carrera para ambos sentidos de desplazamiento.

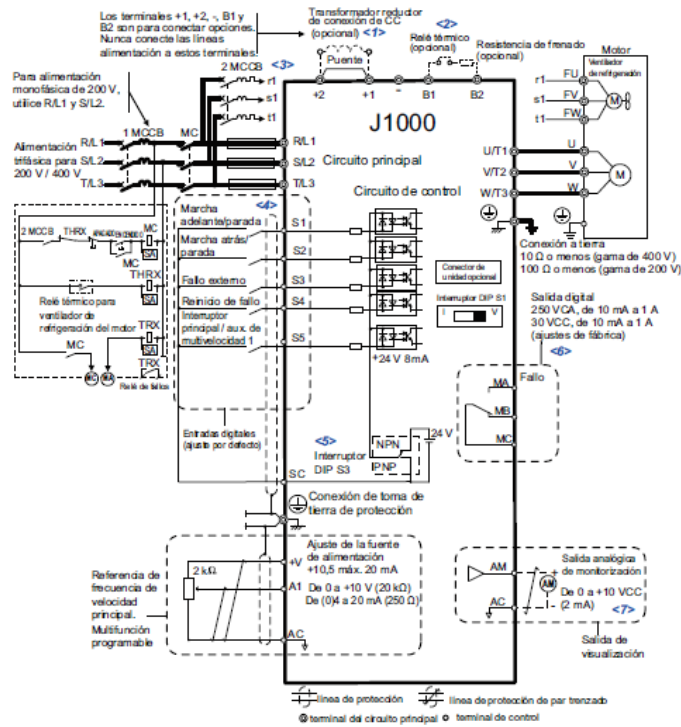


Figura 39. Diagrama del variador de Frecuencia J1000 (YASKAWA)

Una vez relacionados los planos se utilizan las siguientes fórmulas con el fin de calcular la frecuencia para las diferentes velocidades de angulares, además, se debe conocer el diámetro del eje del motor:

Diámetro del motor=24 mm, # de polos = 2

La primera velocidad es 0.5 m/s y un radio de 0.012mt


$$W = \frac{v}{r}$$

$$W = \frac{0.5m/s}{0.012mt}$$

$$W = 41.6 \text{ rev/s}$$

$$W = 41.6 \frac{\text{Rad}}{\text{seg}} * \frac{1\text{rev}}{2\pi\text{Rad}} * \frac{60\text{seg}}{1\text{min}}$$

$$W = 398.08 \text{ rpm}$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

$$F = \frac{\# \text{ par de polos} * w}{60}$$

$$F = \frac{2 * 398.08 \text{ rpm}}{60}$$

$$F = 13.2 \text{ Hz}$$

La segunda velocidad es 1 m/s y un radio de 0.012mt

$$W = \frac{v}{r}$$

$$W = \frac{1m/s}{0.012m}$$

$$W = 84 \text{ rev/s}$$

$$W = 84 \frac{\text{Rad}}{\text{seg}} * \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ Rad}} * \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}}$$

$$W = 796.1 \text{ rpm}$$

$$F = \frac{\# \text{ par de polos} * w}{60}$$

$$F = \frac{2 * 796.1 \text{ rpm}}{60}$$

$$F = 26.53 \text{ Hz}$$

La tercera velocidad es 1.5 m/s y un radio de 0.012mt

$$W = \frac{v}{r}$$

$$W = \frac{1.5m/s}{0.012mt}$$

$$W = 125 \text{ rev/s}$$

$$W = 125 \frac{\text{Rad}}{\text{seg}} * \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ Rad}} * \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}}$$

$$W = 1194,2 \text{ rpm}$$

$$F = \frac{\# \text{ par de polos} * w}{60}$$

$$F = \frac{2 * 1194,2 \text{ rpm}}{60}$$

$$F = 39.8 \text{ Hz}$$

Finalmente, las integraciones de todos los componentes se pueden evidenciar en el siguiente plano, donde se muestra detalladamente el conexionado de la parte de potencia del motor AC y la parte de control del mismo con inversor de giro.

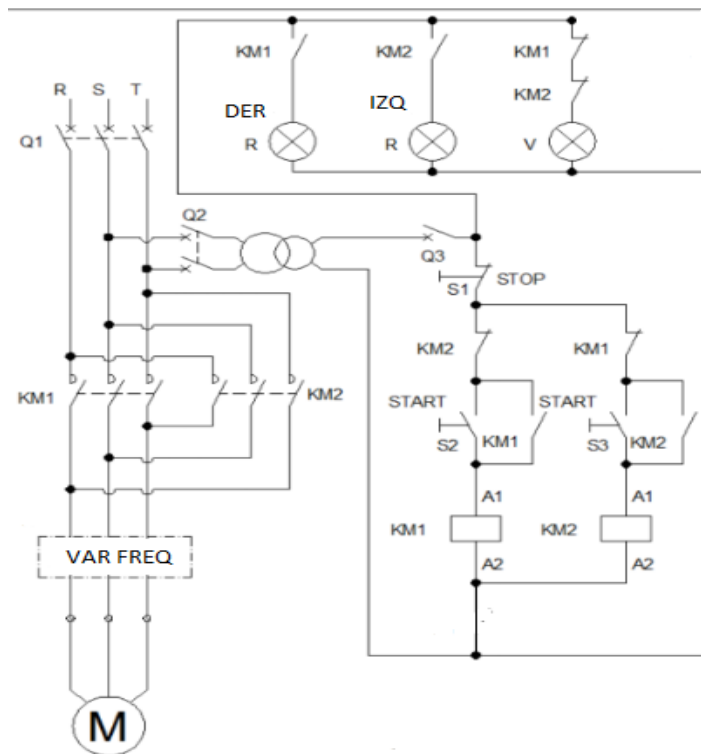



Figura 40. Diagrama Eléctrico de conexionado sistema AC (Fuente propia)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

3.7. Diseño del Sistema Electrónico.

Configuración Arduino PWM. En el siguiente código se muestra la configuración del Arduino Mega, para realizar la variación de velocidad del motor DC de carga de la turbina. La finalidad de sistema electrónico es controlar la velocidad e un motor de carga que esta acoplado directamente a la turbina, de tal forma que se genere una carga baja al sistema pero que represente datos más acordes a la realidad.

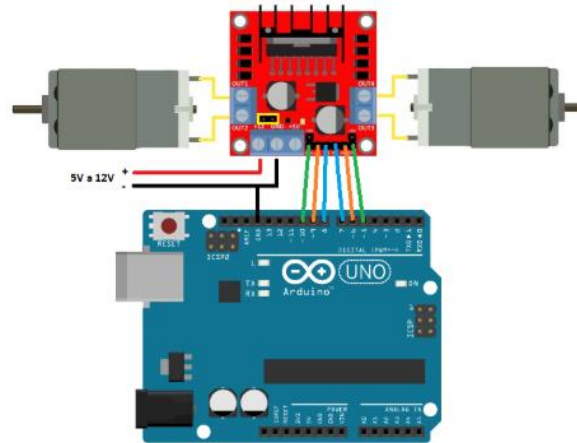


Figura 41. Diagrama de conexión arduino y puente H (Prometec)

```

Realizo Julian sierra-Deyber Meza, Julio Velez]

int pwm1 = 3; //Declaracion de lo pines
const int buttonPin = 2;
int buttonState = 0;

void setup(void) {

  pinMode(buttonPin, INPUT); //DEclaracion de boton de entrada

  pinMode(pwm1, OUTPUT); // Declaracion del PWM
}

void loop() {

  buttonState = digitalRead(buttonPin);
  if (buttonState == HIGH) {


    analogWrite(pwm1, 60); //Asignacion del PWM
  } else {

    analogWrite(pwm1, 0);

  }
}

```

Figura 42. Código Arduino para Motor DC (Fuente propia)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

3.8. Presupuesto

La primera parte para el desarrollo de los bancos experimentales presenta un enfoque de tipo experimental, donde se discuten las diferentes alternativas a implementar y los modelos a realizar, es con una lluvia de ideas y basados en las diferentes experiencias en el área de la mecánica donde se direcciona los primeros bosquejos, observando cual alternativa es la más viable para la elaboración de los dos bancos.

Por ser un dispositivo que debe ser desmontable, los elementos y estructuras utilizadas deben de ser lo más liviana posible, garantizando que su montaje y desmontaje sea versátil, ágil y seguro, pero también debemos avalar que las estructuras aguanten el peso de la turbina diseñada.


Se realiza un estudio de mercado en el medio, donde con base al bosquejo se cotizan elementos existentes en el mercado interno que se acomoden a las necesidades planteadas y cumplan con lo expuesto.

La utilización y soporte de la herramienta del *software* CAD (NX Siemens), ayuda a la toma de decisiones, permitiendo poder mirar de una forma real la estructura usada, el análisis dinámico de la misma y su distribución espacial.

La segunda parte es la cotización de los componentes para presentar al departamento de Mecatrónica, quien debe avalar y dar visto bueno y aprobar para ser presentada en una licitación pública.

Tabla 6. Presupuesto total del proyecto en COP (fuente Propia)

DESCRIPCION	CANT	PRECIO VENTA UNITARIO	PRECIO TOTAL	PRECIO CON IVA 19%	PRECIO VENTA UNITARIO	PRECIO TOTAL	PRECIO CON IVA 19%	PRECIO VENTA UNITARIO	PRECIO TOTAL	PRECIO CON IVA 19%
ELÉCTRICO										
MOTOR DE HP 1800 RPM	1	\$ 573.500	\$ 573.500	\$ 682.465	\$ 571.428	\$ 571.428	\$ 679.999			
PILOTOM 22 mm ROJO	3	\$ 6.480	\$ 19.440	\$ 23.134	\$ 3.361	\$ 10.083	\$ 11.999			
PULSADOR TIPO HONGO CHINT	1	\$ 8.940	\$ 8.940	\$ 10.639	\$ 7.563	\$ 7.563	\$ 9.000			
BORNERA DE 32 amp 4 mm	30	\$ 2.054	\$ 61.620	\$ 73.328	\$ -	\$ -	\$ -			
GABINETE METALICO 40X30X20 (INDELPA)	1	\$ 114.671	\$ 114.671	\$ 136.458	\$ 47.058	\$ 47.058	\$ 55.999			
RIEL OMEGA	1	\$ 3.900	\$ 3.900	\$ 4.641	\$ 4.957	\$ 4.957	\$ 5.899			
PULSADOR VERDE CHINT	2	\$ 6.540	\$ 13.080	\$ 15.565	\$ 5.042	\$ 10.084	\$ 12.000			
PULSADOR ROJO CHINT	1	\$ 6.540	\$ 6.540	\$ 7.783	\$ 5.042	\$ 5.042	\$ 6.000			
ENCAUCHETADO 4X12	50	\$ 6.950	\$ 347.500	\$ 413.525	\$ 5.084	\$ 254.200	\$ 302.498			
CABLE VEHICULO 18	10	\$ 480	\$ 4.800	\$ 5.712	\$ 420	\$ 4.200	\$ 4.998			
BREAKERS 3X10 CHINT	1	\$ 20.400	\$ 20.400	\$ 24.276	\$ 22.689	\$ 22.689	\$ 27.000			
PRENSA ESTOPA DE 3/4	3	\$ 585	\$ 1.755	\$ 2.088	\$ 672	\$ 2.016	\$ 2.399			
ARDUINO MEGA 2560R3	1	\$ 50.420	\$ 50.420	\$ 60.000	\$ 56.440	\$ 56.440	\$ 67.164			
ARDUINO BLUETOOTH HC-05	1	\$ 20.756	\$ 20.756	\$ 24.700	\$ 23.900	\$ 23.900	\$ 28.441			
MECANICO										
Paral metálico para estantería pesada de 3000mm lineal	8	\$ 89.067	\$ 712.536	\$ 847.918	\$ 120.626	\$ 965.008	\$ 1.148.360	\$ 94.000	\$ 752.000	\$ 894.880
espigo metálico para estantería pesada de 700X35mm línea	14	\$ 10.309	\$ 144.324	\$ 171.746						
Tubo PTS 30x30x2x6	1	\$ 34.917	\$ 34.917	\$ 41.551	\$ 16.254	\$ 16.254	\$ 19.342	\$ 21.900	\$ 21.900	\$ 26.061
Q PINTULUX AZUL OSC 41	2	\$ 16.723	\$ 33.446	\$ 39.801	\$ 19.900	\$ 39.800	\$ 47.362	\$ 16.303	\$ 32.605	\$ 38.800
Q ANTICOOROSIVA GRIS 507	2	\$ 10.000	\$ 20.000	\$ 23.800	\$ 9.900	\$ 19.800	\$ 23.562	\$ 9.663	\$ 19.326	\$ 23.289
G AJUSTADOR 2232	2	\$ 14.286	\$ 28.572	\$ 34.001	\$ 24.900	\$ 49.800	\$ 59.262	\$ 11.765	\$ 23.529	\$ 28.000
BROCHA GOYA 2"	2	\$ 5.000	\$ 10.000	\$ 11.900	\$ 6.900	\$ 13.800	\$ 16.422	\$ 4.118	\$ 8.235	\$ 9.800
H LUJA PROF #320	3	\$ 924	\$ 2.772	\$ 3.299	\$ 1.150	\$ 3.450	\$ 4.106	\$ 1.092	\$ 3.277	\$ 3.900
ESTOPA LIMPIEZA	4	\$ 1.933	\$ 7.732	\$ 9.201	\$ 2.900	\$ 5.800	\$ 6.902	\$ 2.521	\$ 10.084	\$ 12.000
ACOPLE COMPLETO GE-28	2	\$ 269.100	\$ 538.200	\$ 640.458	\$ 199.400	\$ 398.800	\$ 474.572	\$ 275.600	\$ 551.200	\$ 655.928
RODAMIENTO 6000_2RS	8	\$ 6.236	\$ 49.888	\$ 53.430	\$ 4.134	\$ 33.072	\$ 39.356			
RODAMIENTO 5204_2Z	4	\$ 8.972	\$ 35.888	\$ 38.436	\$ 46.784	\$ 187.136	\$ 222.692			
CAJA EN ACRILICO 3MM 30X12X20	1	\$ 68.000	\$ 68.000	\$ 80.920	\$ 130.000	\$ 130.000	\$ 154.700	\$ 110.000	\$ 110.000	\$ 130.900
CAJA EN ACRILICO 3MM 50X15X15	1	\$ 96.000	\$ 96.000	\$ 114.240						
CABLE FORRADO 3/16"	50	\$ 1.680	\$ 84.000	\$ 99.960	\$ 1.680	\$ 84.000	\$ 99.960	\$ 4.900	\$ 245.000	\$ 291.550
CABLE ALMA DE ACERO 3/16"	150	\$ 1.680	\$ 252.000	\$ 299.880	\$ 1.176	\$ 176.400	\$ 209.916	\$ 1.040	\$ 156.000	\$ 185.640
GRILLETE 5/16" TIPO PESADO	16	\$ 2.521	\$ 40.336	\$ 48.000	\$ 336	\$ 5.376	\$ 6.397	\$ 738	\$ 11.808	\$ 14.052
SENSOR DE 3/8	6	\$ 4.201	\$ 25.206	\$ 29.955	\$ 1.680	\$ 10.080	\$ 11.995	\$ 3.766	\$ 22.596	\$ 26.889
RODAMIENTO 6000_2RS	8	\$ 4.202	\$ 33.616	\$ 36.003						
Lamina 3/8 40 x 20 cm	1	\$ 28.010	\$ 28.010	\$ 29.999						
Tuerca galv 1/2	4	\$ 155	\$ 619	\$ 663						
Tornillo Gal 1/2*2 1/2	4	\$ 618	\$ 2.473	\$ 2.649						
Tornillo Gal 5/16* 1 1/2	4	\$ 166	\$ 663	\$ 710						
Tuerca galv 5/16	4	\$ 46	\$ 184	\$ 197						
Rod-2VNA-04	4	\$ 6.722	\$ 26.888	\$ 28.797						
tubería PVC 1 1/2	3	\$ 6.000	\$ 18.000	\$ 19.278						
Te 1 1/2	4	\$ 4.800	\$ 19.200	\$ 20.563						
Disolvente	1	\$ 20.000	\$ 20.000	\$ 21.420						
Electrodo3/32 6013	1	\$ 5.000	\$ 5.000	\$ 5.355						
TORNILLO HEXAGONAL 3/8X1/2	12	\$ 2.900	\$ 34.800	\$ 41.412						
ANCLAJE CONCRETO ROSCA INTERNA 3/8	12	\$ 3.500	\$ 42.000	\$ 49.980						
RODAMIENTO RLS.2RS(KOY)	2	\$ 51.459	\$ 102.918	\$ 122.472						
1 MT ACERO INOX 1"	1	\$ 53.782	\$ 53.782	\$ 64.001						
PLATINA H 1/4" X1X 6MTS	1	\$ 20.087	\$ 20.087	\$ 23.904						
ACERO RDO CAL 10 1018	3,75	\$ 3.700	\$ 13.875	\$ 16.511						
ACERO RDO TORN 3" 1018	36	\$ 4.000	\$ 144.000	\$ 171.360						
TUBERIA CUADRADA CR 1"X1" CALIBRE 20 6 MTS 5 Kg (Presio x kilo)	1	\$ 2.689	\$ 13.445	\$ 16.000	\$ 11.997	\$ 11.997	\$ 14.278	\$ 19.898	\$ 19.898	\$ 23.679
50 CM BARRA UHMW(POLIETILENO)2"	1	\$ 54.100	\$ 54.100	\$ 64.379						
MOTOR LIMPIABRISAS UNIVERSAL 12V MARCA VULKO	1	\$ 84.033	\$ 84.033	\$ 99.999						
TELA VOLAN SAINT 232 GR/MT2X1.27(IMT)	3	\$ 13.500	\$ 40.500	\$ 48.195						
VITELMAT 2MM(5MT)	1	\$ 36.974	\$ 36.974	\$ 43.999						
RESIGLAS(4KG)	1	\$ 36.900	\$ 36.900	\$ 43.911						
PEROXICOL(120 GRS)	1	\$ 2.899	\$ 2.899	\$ 3.450						

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

4. REAJUSTES EN EL DISEÑO INICIAL.

En esta parte del trabajo se profundizará en los reajustes y rediseños de las propuestas iniciales, estos precisamente se realizaron luego de evaluar más detalladamente la problemática de los primeros diseños, de esta se sacaron conclusiones y oportunidades de mejora en los planteamientos originales.

Considerando que la mejor forma de garantizar la hermeticidad del sistema es construir la turbina en su parte móvil con un sello mecánico, el cual certifica que en la parte móvil no exista filtración de agua hacia el interior de la turbina. Además, se busca tener lo menor área posible de entrada de fluido al interior de la turbina, por tal motivo el área total del empaque se redujo considerablemente para minimizar el riesgo de filtración.

En función de esta premisa se realizan varias modificaciones al sistema, de tal forma que todos los elementos propuestos en el diseño inicial cumplan su función.

A continuación, se muestra el diseño inicial versus el diseño final, mostrando en detalle cada una de las modificaciones.

En el primer diseño se propuso tener dos rodamientos soportados en dos alojamientos fabricados con la fibra de vidrio por un lado y por el otro en la tapa principal de la caja de equipos, este diseño no garantiza excentricidad ya que los alojamientos pueden ceder o no quedar totalmente alineado o concéntricos, posteriormente se propuso instalar dos retenedores, uno al inicio de la turbina y otro al inicio de la caja de control, este tipo de retenedores no garantizan buen sellado en equipos en movimiento, por tal motivo este diseño no era el más conveniente para la aplicación, y como tercer punto el empaque perimetral, se evaluó que es demasiada área y posiblemente puedan existir filtraciones.

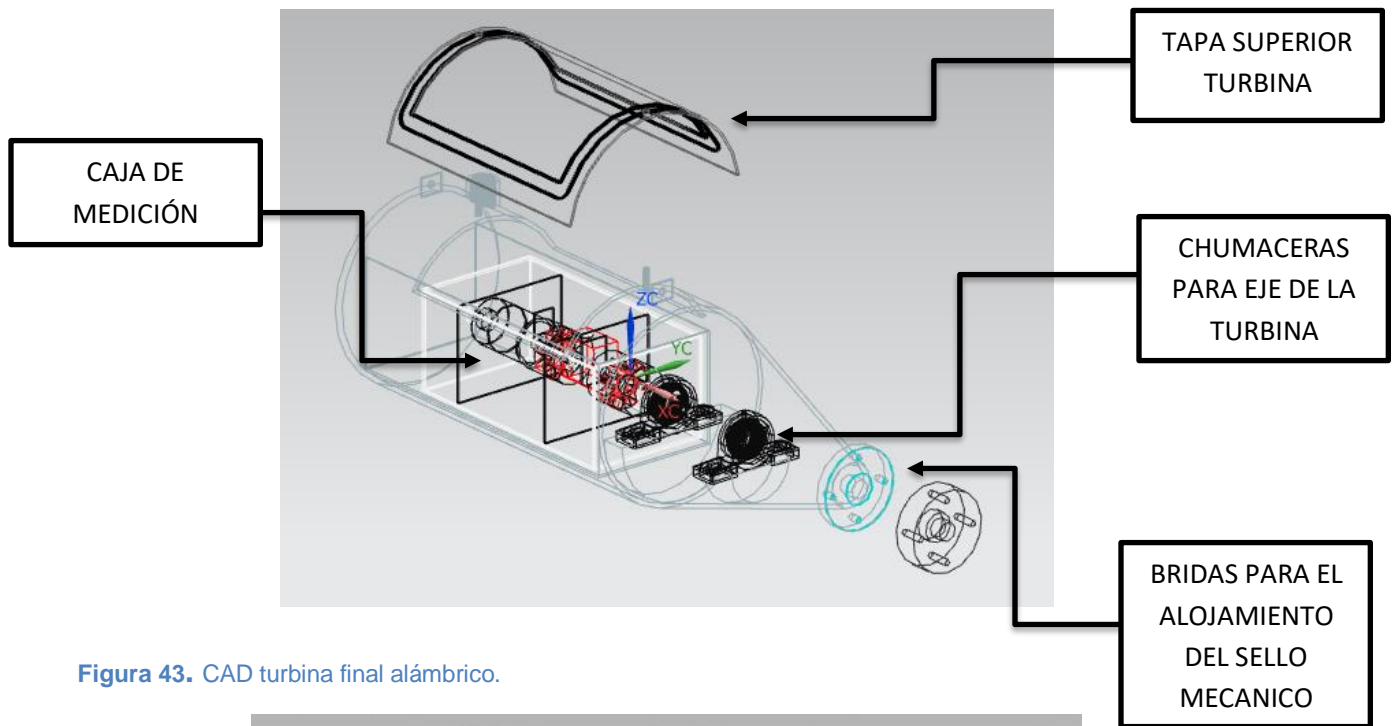


Figura 43. CAD turbina final alámbrico.

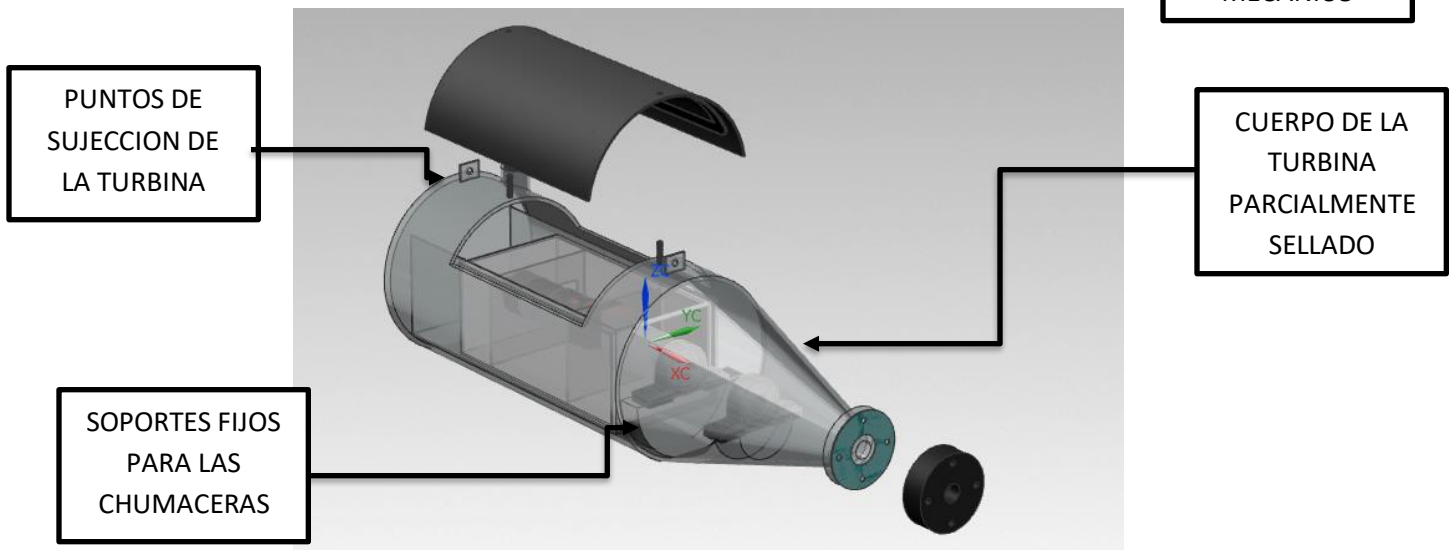



Figura 44. CAD turbina final sólido.

En las imágenes anteriores se muestra la corrección de los puntos de mejora del diseño inicial, el primer punto se corrigió utilizando dos chumaceras con soportes fijos en la carcasa de la turbina, las chumaceras aseguradas directamente en estos soportes garantizando excentricidad y balanceo del eje principal, el segundo punto se mejoró utilizando un sello mecánico que garantiza hermeticidad en las partes

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

móviles, este sello tiene como alojamiento dos bridas que se aseguran entre sí con tornillería y entre ellos un empaque, finalmente el último punto se solucionó reduciendo el área total de la empaquetadura, generando mayor hermeticidad y menos posibles puntos de filtración.

Los cambios mencionados anteriormente traen consigo una modificación de la estructura de sujeción, el punto de agarre inicialmente estaba diseñado con dos abrazaderas metálicas y dos perfiles paralelos soportando dichas abrazaderas.

Para permitir las modificaciones realizadas en la turbina es necesario cambiar la estructura de sujeción, en la siguiente imagen se muestra cómo se realiza la modificación y como el anclaje mejora notoriamente asegurando la turbina directamente a los perfiles, no por medio de abrazaderas.

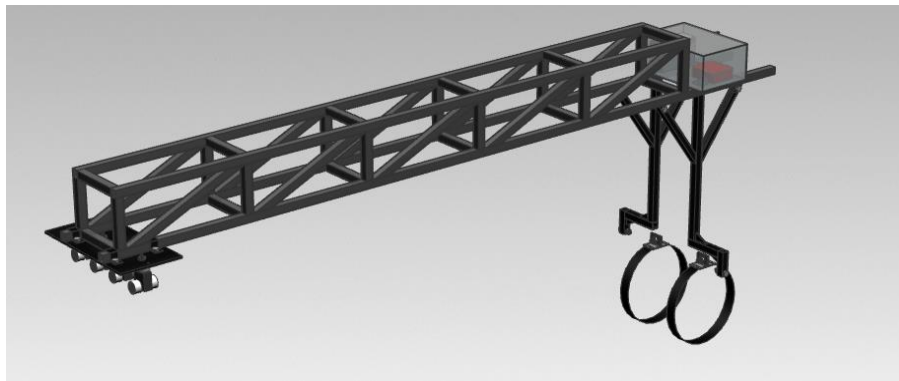


Figura 45. Estructura de sujeción.

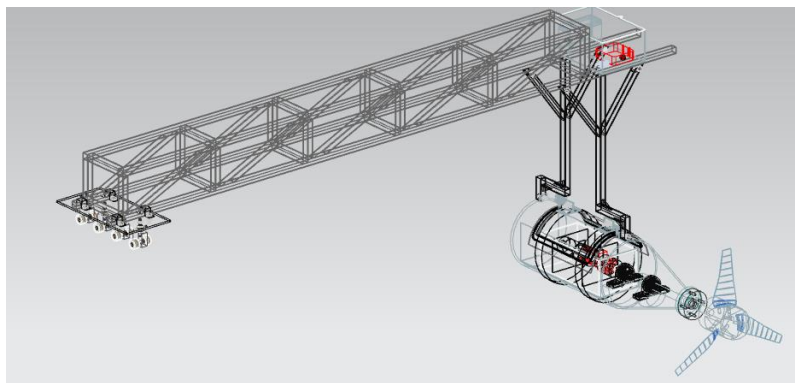



Figura 46. Estructura de sujeción con turbina en vista alámbrica.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Los demás componentes del sistema continúan con su estructura inicial y cumplen la misma función de los diseños iniciales.

A la estructura del *trolley* se realizan algunas mejoras en su diseño inicial, los encarriladores o rodamientos guía exterior que iban paralelos al riel se modifica generando un ángulo de 30 grados con respecto a la estructura principal donde minimizamos esfuerzos en el eje del rodamiento.

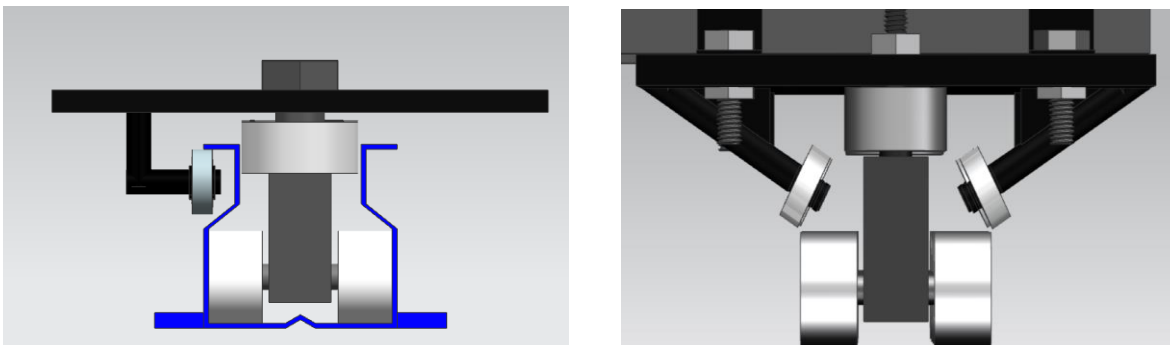



Figura 47. Diseño encarrilador inicial Vs diseño encarrilador final.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

5. IMPLEMENTACION

En este siguiente capítulo se evidencia cada uno de los procesos realizados para la fabricación completa de cada uno de los diseños aprobados, tanto la parte mecánica, eléctrica, electrónica y finalmente la integración de cada uno de los sistemas de tal forma que cumpla con el objetivo principal del proyecto.

En función de los resultados obtenidos en el diseño del sistema guiado por riel se inicia con la fabricación de la estructura tipo viga mostrada en la Figura, en donde se realizan varios procesos metalmecánicos, como corte con pulidora con disco de corte y soldadura eléctrica con electrodo revestido para el armado de la estructura, básicamente el proceso de armado se dividió en tres secciones.

1. Corte de cada una de las piezas de acuerdo con los planos arrojados en los diseños.
2. Soldadura de los perfiles y armado de la cercha.
3. Pulido y pintura de la estructura.

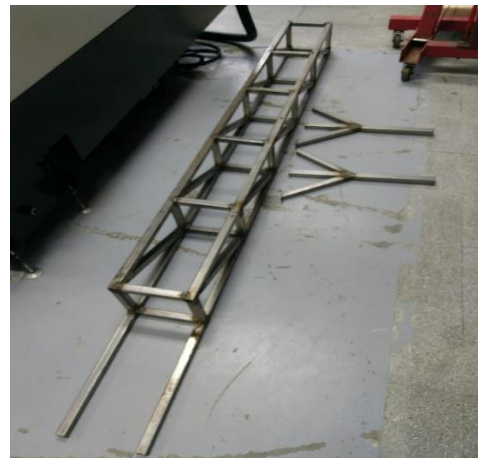



Figura 48. Fabricación cercha.

Posterior a la fabricación de la cercha, se inicia con la manufactura de las ruedas de teflón del carrito del *trolley*, estas fueron maquinadas en la *LEADWELL V-40LT* de 5 ejes del campus fraternidad del ITM, en las siguientes figuras se observa el

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

paso a paso de cómo se realizó la fabricación de la rueda, en donde se partió de una barra de teflón y posteriormente se realizó el corte de la barra en tramos iguales para el montaje en la máquina.

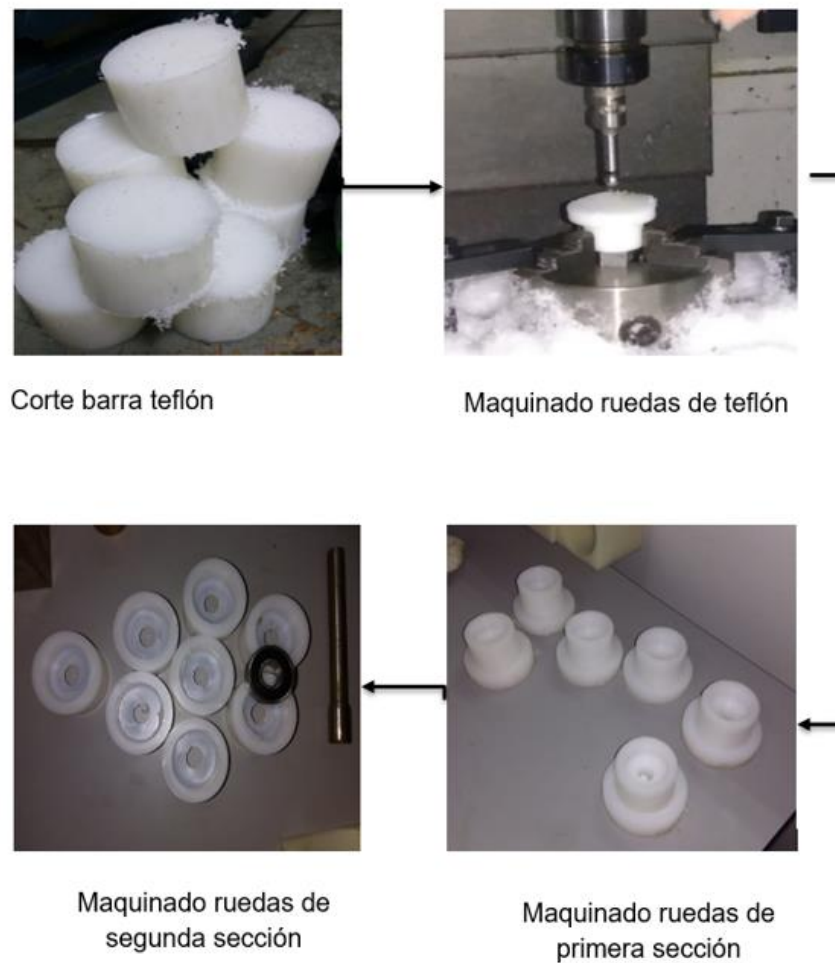



Figura 49. Proceso mecanizado rueda teflón.

Así mismo se fabricaron cada uno de los componentes aprobados en los dos diseños, consecutivamente se realizó la fabricación de las bases de los *trolley*, que representa estructuralmente la pieza que sirve de unión para todos los componentes del sistema guiado por riel, se parte de la misma base, una barra de acero 1020 de 2" y esta es cortada en tramos iguales para posteriormente ser montados en la

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

máquina LEADWELL V-40LT, en la siguiente imágenes se observa el resultado final del proceso de maquinado.



Figura 50. Proceso mecanizado cuerpo *trolley*.

Finalmente se realiza el maquinado del eje en donde reposan las ruedas de teflón con sus respectivos rodamientos, de igual forma como se realizaron los dos procesos anteriores se parte de un eje largo de $\frac{1}{2}$ " de acero 1020, se cortan en tramos iguales y se montan en el torno, primeramente se baja el diámetro de 9,7 mm y a continuación se realizan las canales para los pines candados, en las siguientes figuras se precisa el procedimiento de elaboración y en el ensamble de todos los componentes.



Figura 51. Proceso mecanizado ejes *trolley*.


	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27



Figura 52. Proceso ensamble *trolley*.

En las siguientes imágenes se puede observar el montaje completo de los cuatro carritos en la platina principal, este conjunto completo se encarga de desplazar la viga anteriormente mostrada en donde está asegurada la turbina y la carcasa sumergible (llamada “bala”), cada uno de los carritos se asegura a la platina de forma roscada y con una tureca de seguridad en la parte superior de la platina.

Consecutivo al ensamble del carrito *trolley*, se realizaron los cortes necesarios para las platinas que sostienen la cercha fabricada anteriormente, esta platina fabricadas en platina de 1”, es la que une el carrito *trolley* con la cercha principal.


	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27



Figura 53. Proceso ensamble conjunto *trolley*.




Figura 54. Proceso fabricación platinas sujeción cercha.

Otra de las secciones que se diseñó y se fabricó con un proveedor externo, fue la bala, fabricada en fibra de vidrio ya que las propiedades de este material permiten moldear la figura que se solicitó, para su realización se ejecutaron los siguientes pasos, cabe recordar que esta es una de las piezas más importantes de ambos diseños ya que debe ser totalmente hermética, es modular y donde se encuentran todos los componentes de control.

Paso 1. Molde del cilindro y el cono del dispositivo.

La fabricación se realiza de acuerdo con los diseños preliminares, sin embargo en una evaluación más profunda sobre la importancia del dispositivo y la relevancia de la hermeticidad, se rediseñaron algunos componentes de la turbina.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

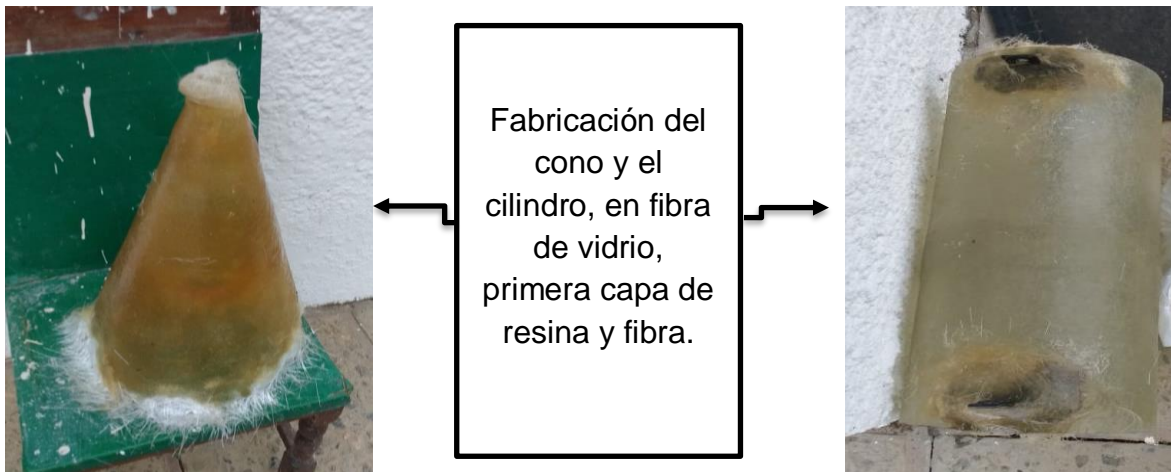


Figura 55. Fabricación de cono y cuerpo bala.

Paso 2. Unión del cono con el cilindro y acople de los soportes.

Se realiza la unión del cono y del cilindro de la bala por medio de la fibra de vidrio en busca darle forma al diseño y poder construir el resto del dispositivo.



Figura 56. Unión cono y cilindro.

Paso 3. Construcción de las bridas de alojamiento del sello mecánico y ensamble en la turbina.

Paso 4. Ensamble del eje y chumaceras, balanceo del eje. Se realiza la instalación de dos chumaceras en donde va a girar la turbina y van a soportar las carga radial y axial del sistema, se busca el eje del sistema para instalar el resto.



Fabricación de matriz.



Desbaste y terminación.



Ensamble de brida en cuerpo.




Ensamble de brida en cuerpo.

Figura 57. Fabricación de bridas de alojamiento del sello mecánico y ensamble en la turbina.



Figura 58. Eje principal y chumaceras, ensamble chumaceras y cuerpo.

Paso 5. Aplicación de capas finales

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

En este paso se realiza la aplicación de las capas restantes para darle resistencia al dispositivo, y poder garantizar la firmeza mecánica necesarias para las pruebas.



Figura 59. Aplicación capas fibra




Figura 60. Bala terminada (Sin pulir y pintar)

Paso 6. Pintura y terminación del ensamble. En este paso final se puede observar la terminación de la bala con el cubo instalado, con el acabado y pintura terminada.



Figura 61. Bala acabado final



	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Con el fin de obtener la mayor hermeticidad posible, es necesario construir dos abrazaderas que aseguren la tapa de la bala, estas dos abrazaderas son construidas con dos ángulos, y una correa que abraza todo el cuerpo de la bala; en las siguientes imágenes se muestra la fabricación y el ensamble de las platinas con la correa.



Figura 62. Abrazadera tapa bala.

A continuación se presenta el riel en la piscina, para marcar de forma adecuada y precisa las platinas que posteriormente serán soldadas a los perfiles, en las dos siguientes imágenes se observa el perfil ubicado en la piscina para tomar las medidas y en la siguiente las platinas ya soldadas en los perfiles.

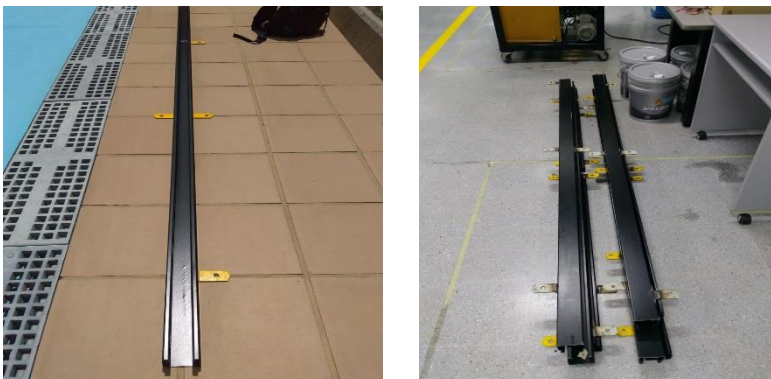




Figura 63. Presentación perfil piscina ITM, soldadura platinas en perfil.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Por último, el diseño del banco para turbina hidrocínética sistema flotante cumplió con todas las especificaciones de diseño propuestas en el trabajo de grado “Diseño de bancos experimentales para turbina hidrocínética, aplicativo guiado por riel y por boyas: Deyber Alberto Meza Cantillo, Julián David Sierra Gómez”



Figura 64. Aplicativo boyas en fase de ensamble.


 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

6. CONCLUSIONES

- Se fabrican los dos diseños propuestos en el trabajo de grado “Diseño de bancos experimentales para turbina hidrocinetica, aplicativo guiado por riel y por boyas: Deyber Alberto Meza Cantillo, Julian David Sierra Gómez”
- Luego de reevaluar y analizar las posibles formas de fabricación se rediseñaron algunos dispositivos para garantizar la funcionabilidad adaptativa al proyecto.
- Se recalcula el costo de los componentes finales del proyecto hasta la fabricación, mostrando que se incrementan debido a las modificaciones y mejoras propuestas.
- Se rediseñan los planos de los sistemas mecánicos, debido al análisis en el proceso de fabricación.
- Se presentan bosquejos apropiados para los dos diseños en CAD, modelados en el software de versión académica Siemens NX 11.0. Dando cumplimiento a los requisitos de los conceptos seleccionados por los objetivos.
- La fabricación del banco experimental empleado para categorizar y conocer la eficiencia mecánica que produce una turbina a una velocidad lineal de 0.5 m/s a 1.5 m/s en la piscina del campus Fraternidad ITM.


TRABAJO A FUTURO

- Para cumplir con los objetivos propuestos formar un grupo interdisciplinario entre las partes de montaje, puesta a punto, adquisición de datos y el grupo de especialización con la construcción de los alabes requeridos para las pruebas finales.
- El trabajo realizado cumple con cada uno de los objetivos específicos planteados y se deja un como base una planimetría integral mecánica, eléctrica y de control, con el fin que en el siguiente desarrollo (montaje de los dos diseños, puesta a punto y adquisición de datos), se implemente cada detalle de la ingeniería básica realizada en este proyecto, se dejan todos los

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27


componentes necesarios cotizados en dos o tres partes diferentes en el mercado local y los planos para los subensambles y ensambles finales actualizados.

- Se recomienda utilizar cada uno de los planos realizados en el trabajo, además de guiar el ensamble con las imágenes de los CAD mostrados en el trabajo, donde se ilustra el montaje.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

7. BIBLIOGRAFÍA

- LIFE, S. I. (09 de 01 de 2019). *plm.automation.siemens*. Obtenido de <https://www.plm.automation.siemens.com>
- plasticos., T. d. (03 de 06 de 2011). *Polietileno de ultra peso molecular*. Obtenido de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/polietileno-de-ultra-alto-peso-molecular.html>
- Prometec. (s.f.). *EL MÓDULO CONTROLADOR DE MOTORES L298N*. Obtenido de <https://www.prometec.net/l298n/>
- Siemens. (1 de Mayo de 2017). *Lista de Precios Colombia*. Obtenido de Productos Electricos Industriales: www.Siemens.com.co
- Siemens. (s.f.). *Technical Data*. Obtenido de IMB3: <https://www.google.com.co/search?q=technical+data+imb3&rlz>
- Ta-Shuo, C. (15 de 11 de 2002). *Power supply and charger system for bicycle*. Obtenido de <https://patents.google.com/patent/US20040095092A1/en?q=US+2004%2f0095092+A1+>
- YASKAWA. (s.f.). *YASKAWA Variador CA J1000*. Obtenido de <https://www.yaskawa.eu.com/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=2529&token=a1224ac6a637a8cf73ab1794214d903fe8791882>
- Baena, A., Jhon, O., & Flórez, D. (2017). Obtenido de Desarrollo de banco de pruebas experimental para determinar el desempeño de turbinas RCECS en diferentes puntos de diseño. Medellín.
- Forbush, D., Polagye, B., Thomson, J., Kilcher, L., Donegan, J., & Mcentee, J. (2016). Obtenido de

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Performance characterization of a cross-flow hydrokinetic turbine in sheared inflow. *International Journal of Marine Energy*, 16, 150–161.

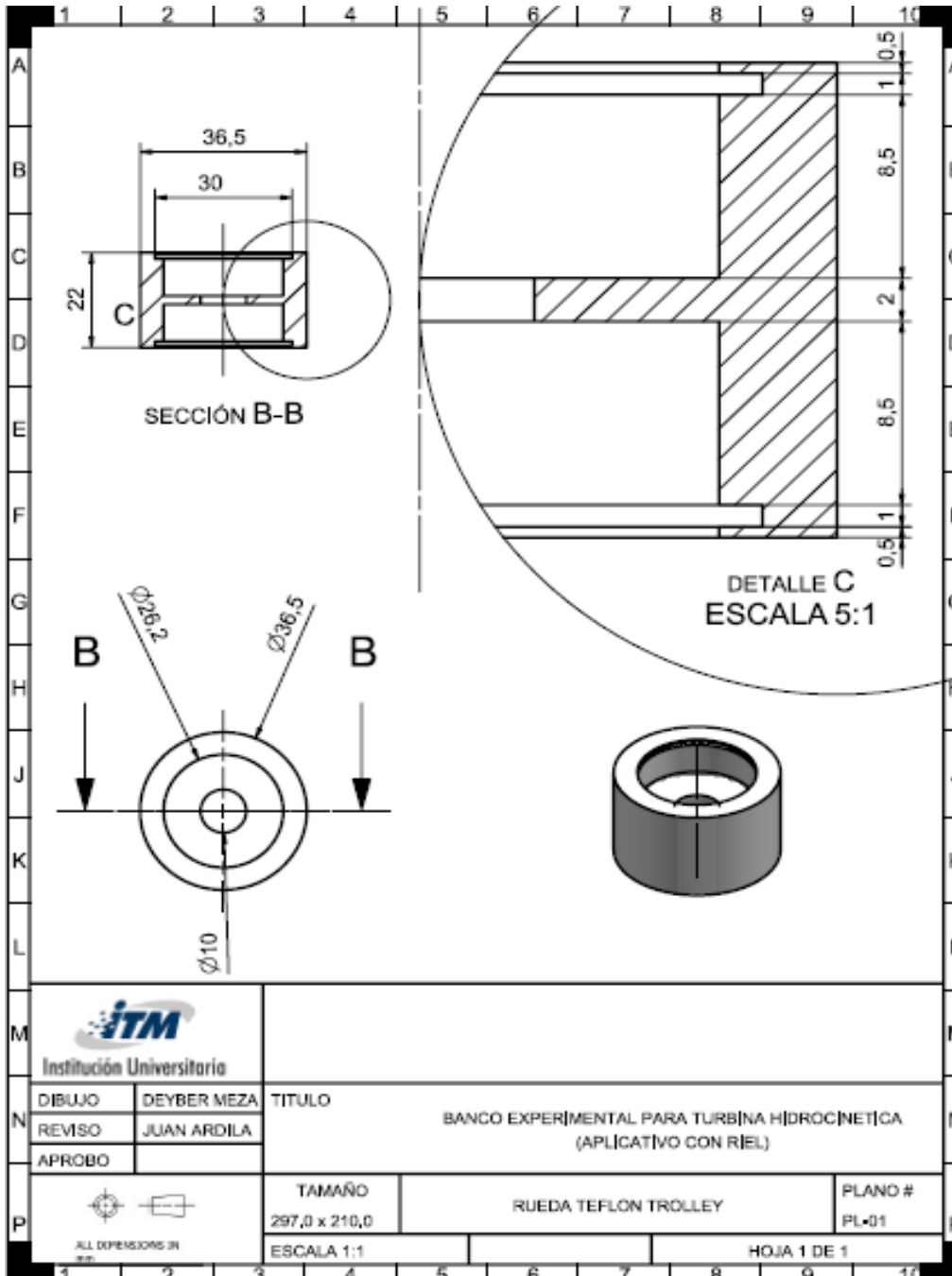
<https://doi.org/10.1016/j.ijome.2016.06.001>

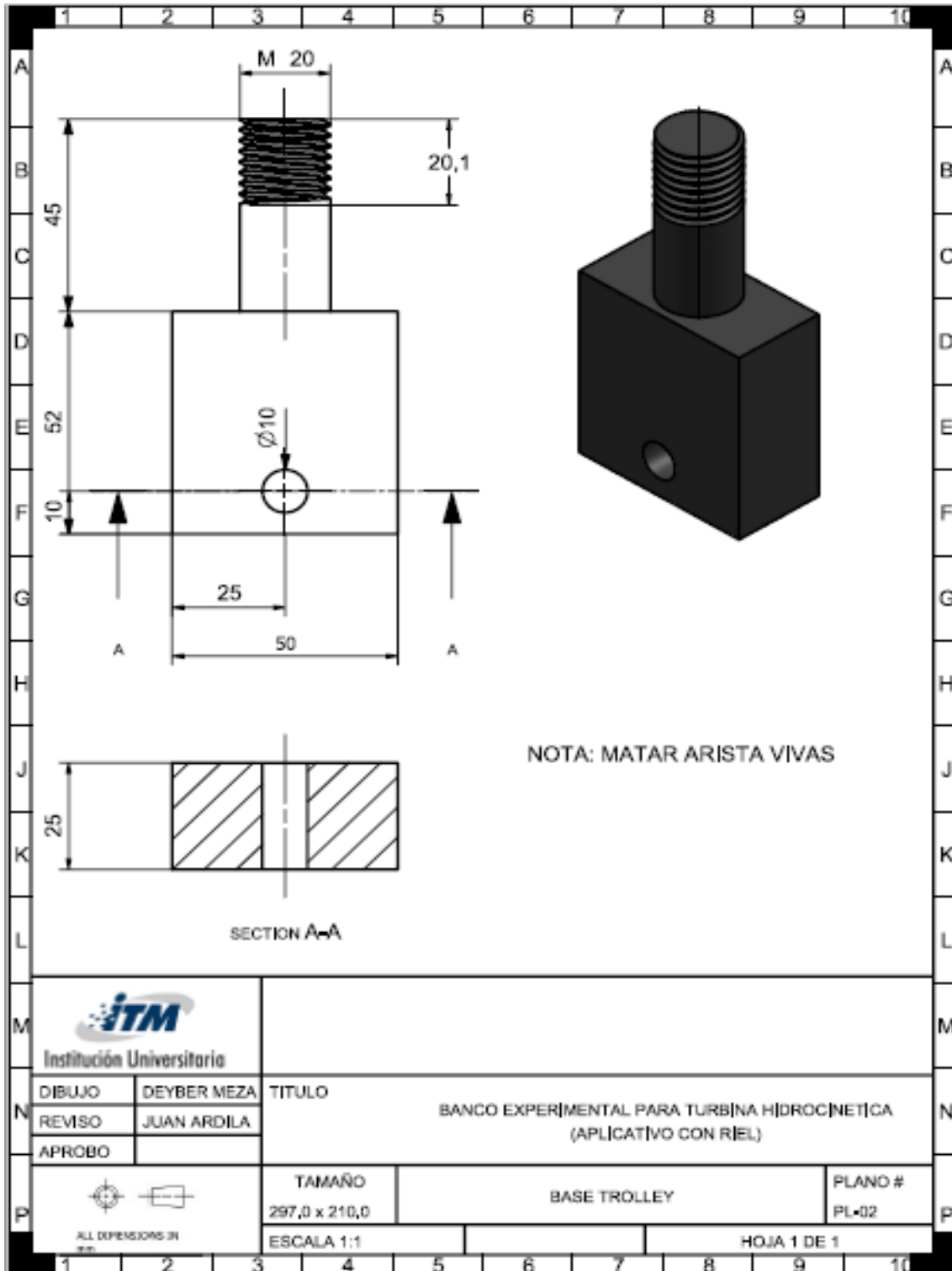
Khan, M., Iqbal, M., & Quicoe, J. (2006). Obtenido de

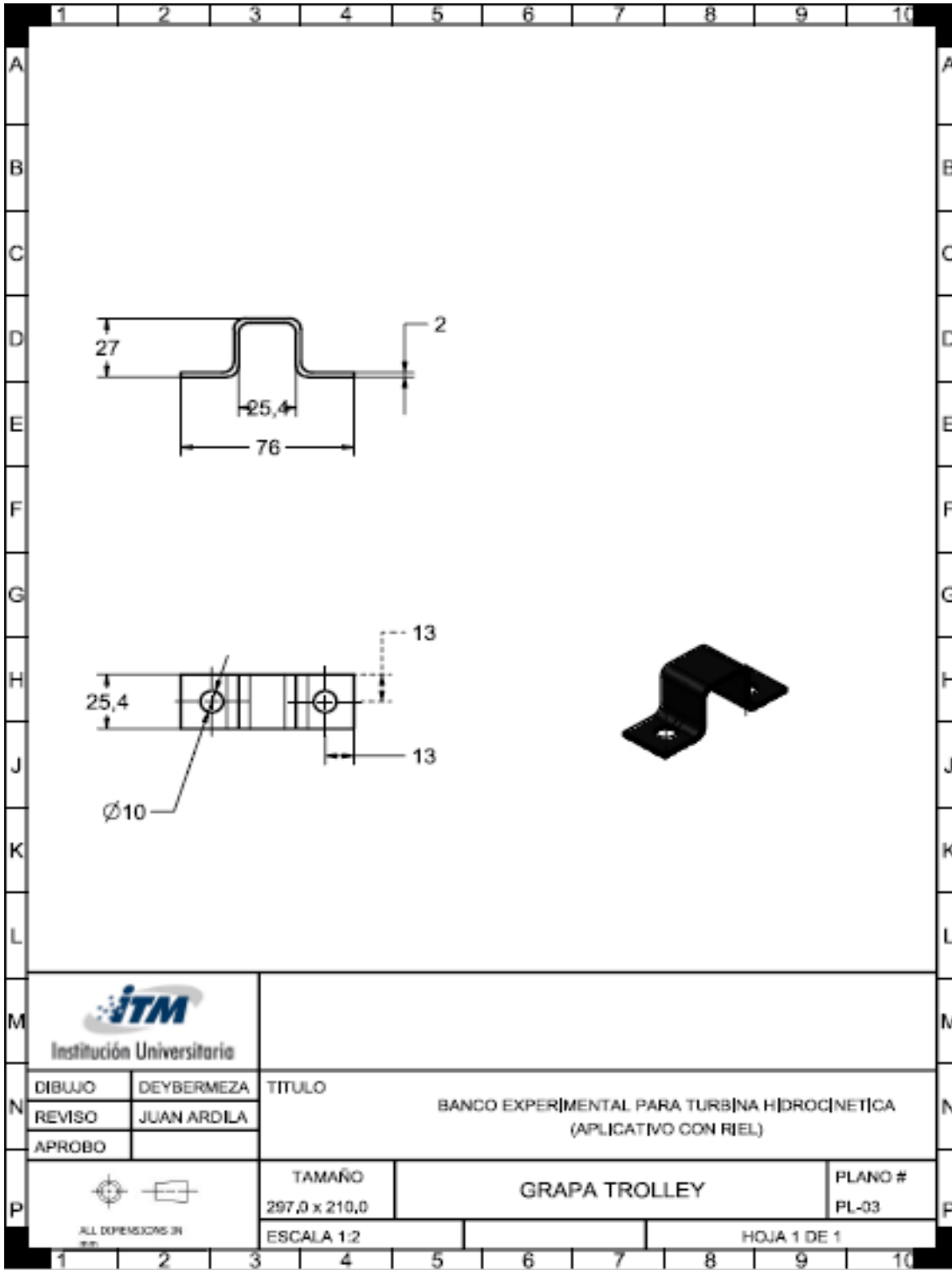
A Technology Review and Simulation Based Performance Analysis of River Current Turbine Systems. In *2006 Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering* (pp. 2288–2293). IEEE.

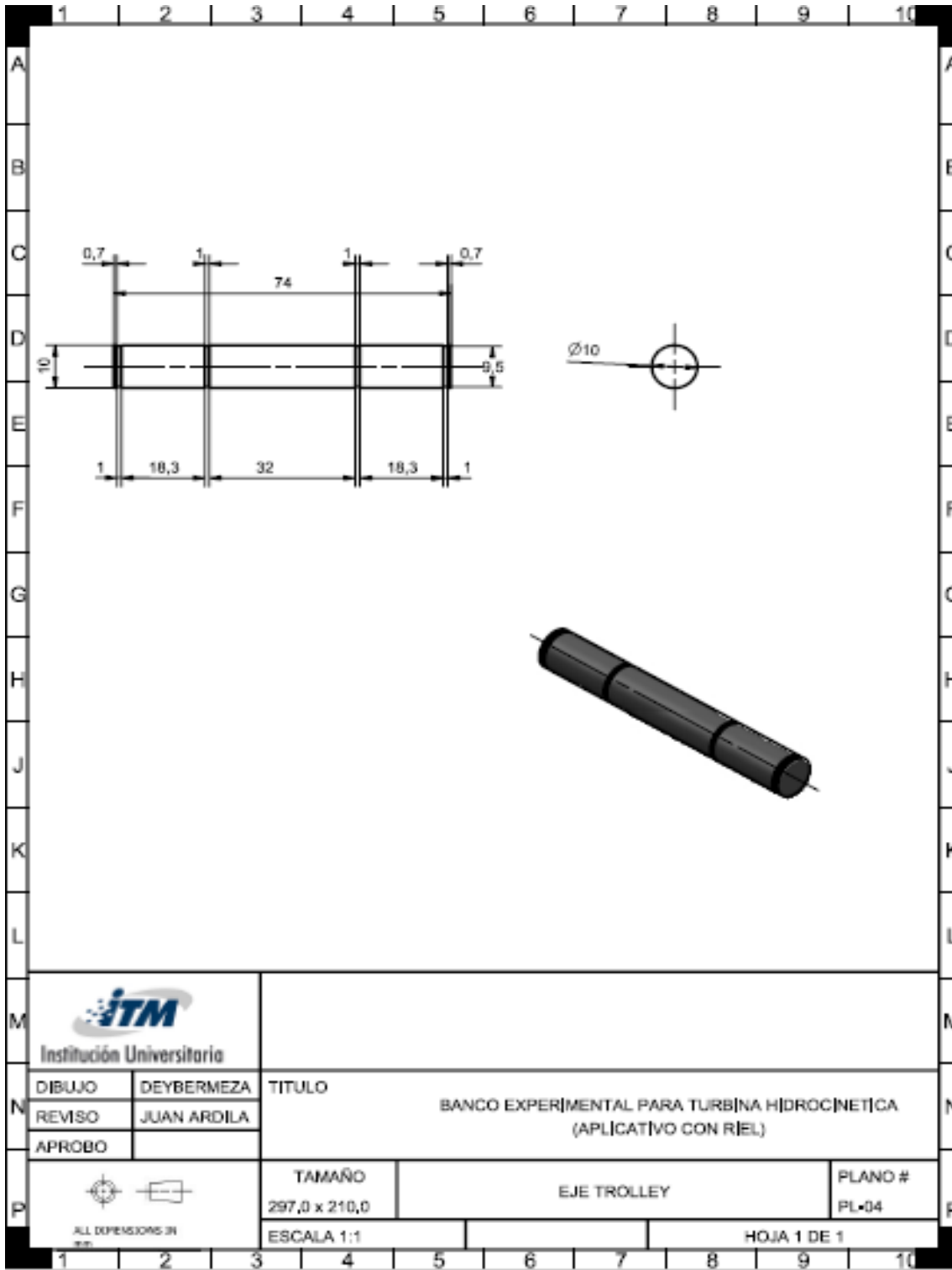
<https://doi.org/10.1109/CCECE.2006.277821>


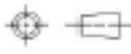
8. PLANOS

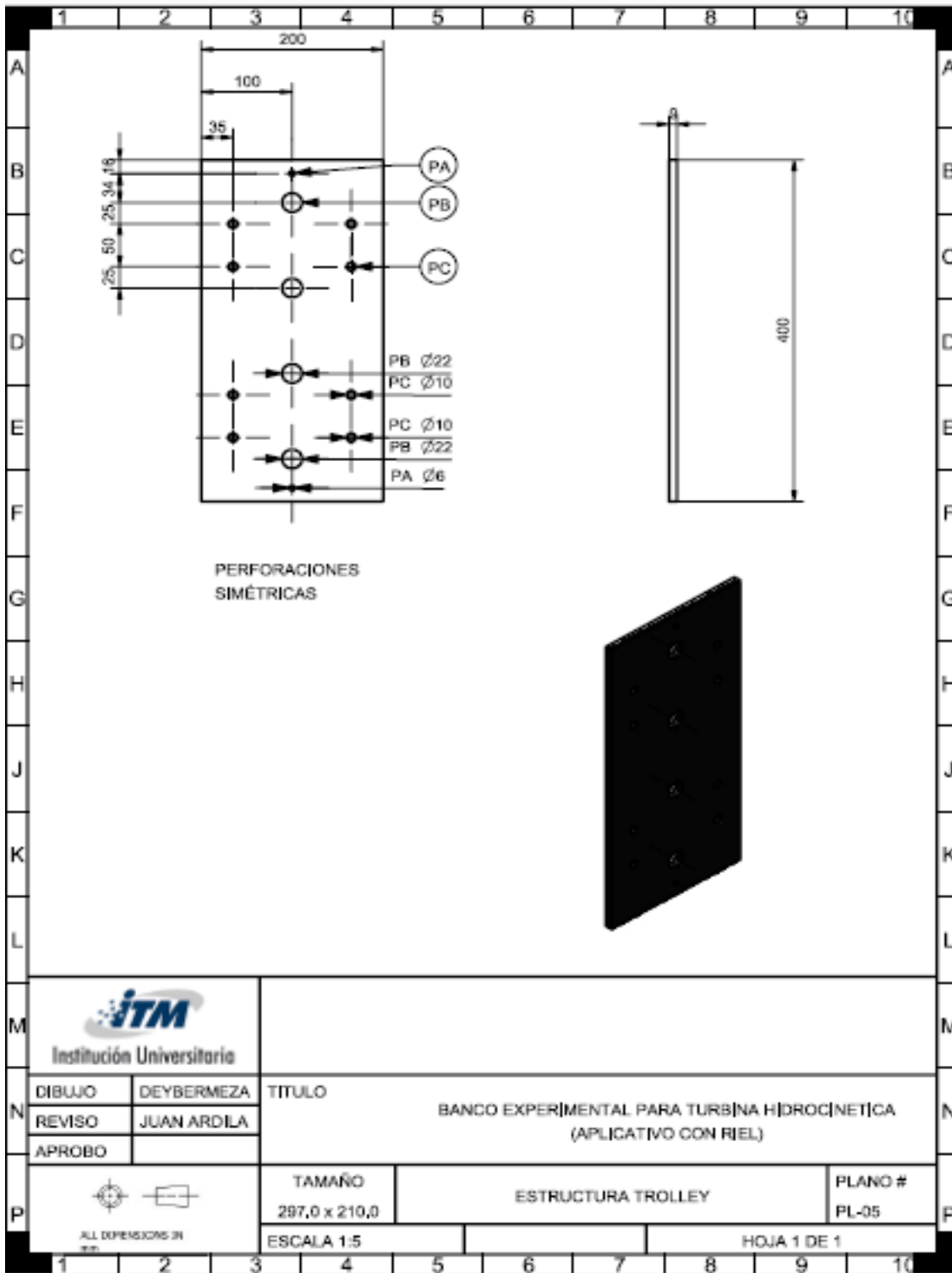



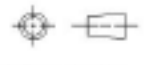


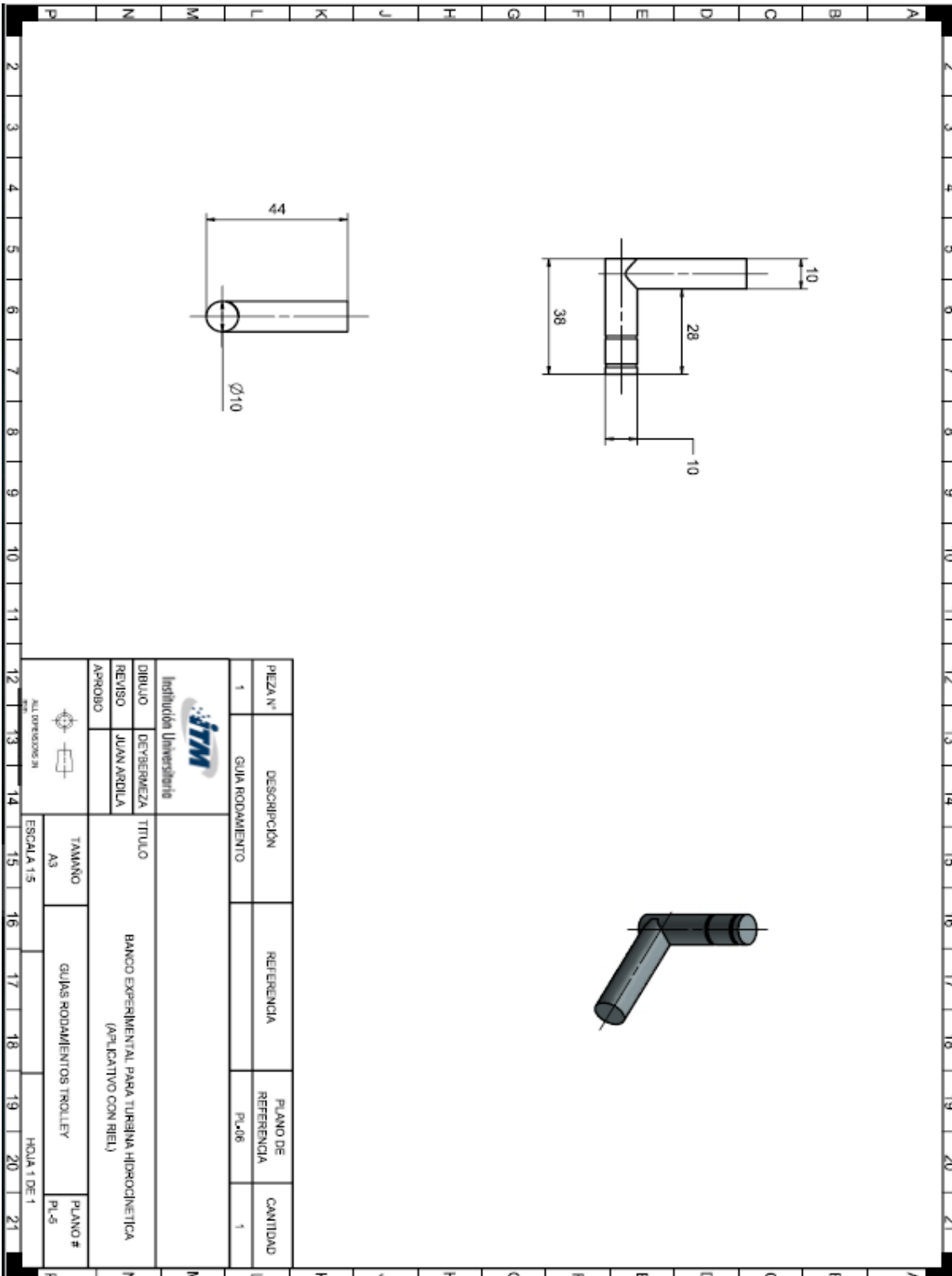


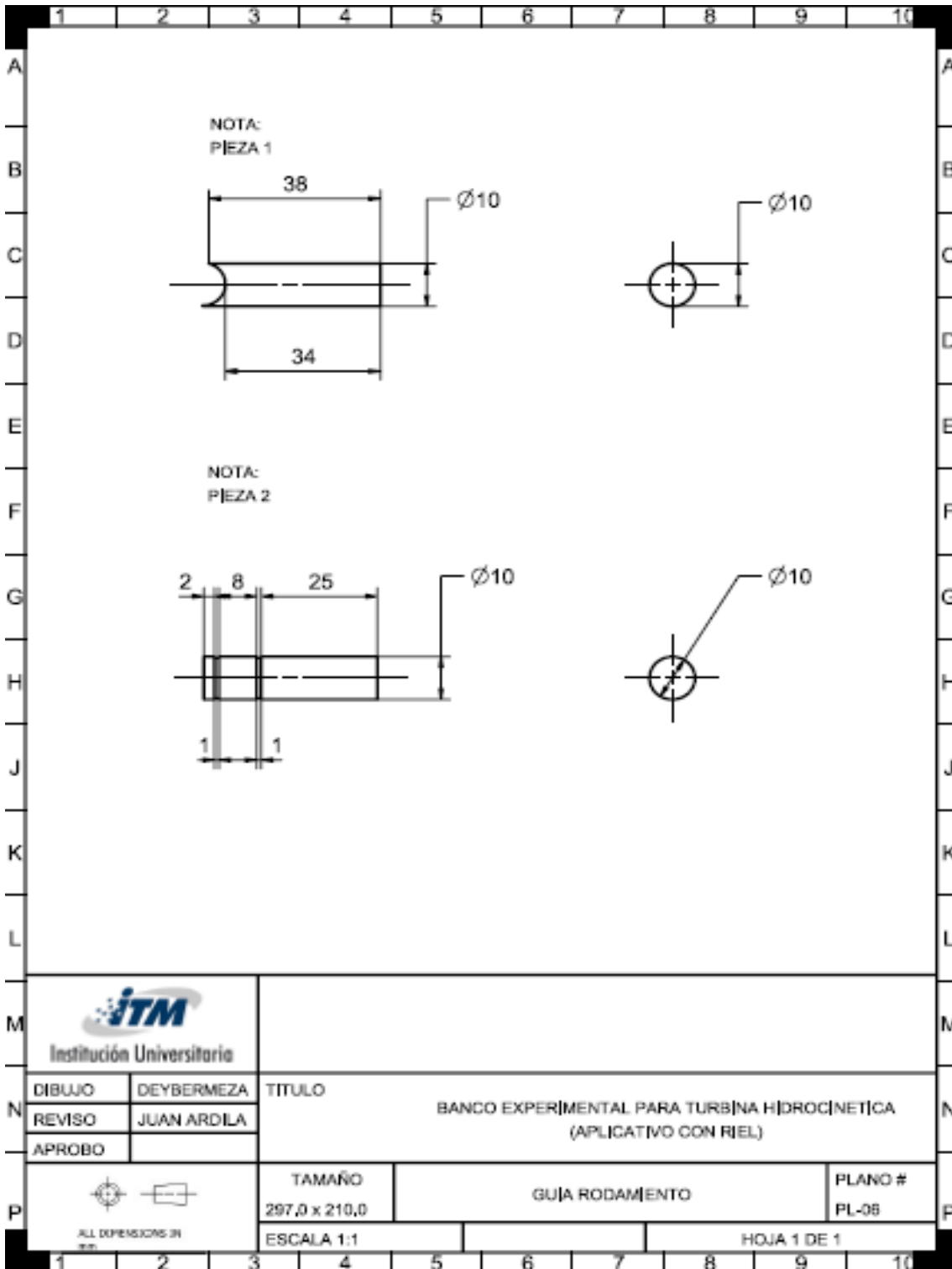


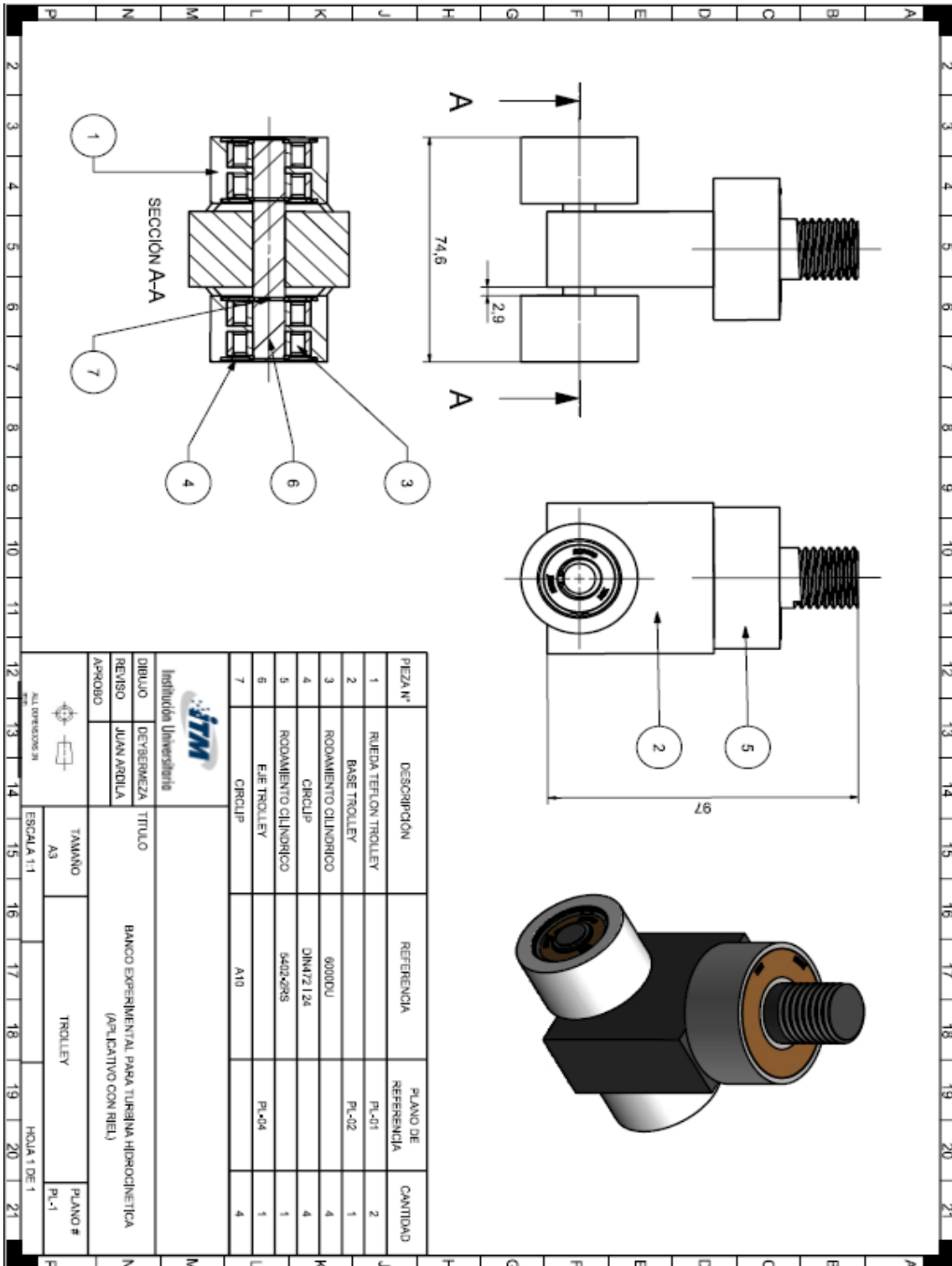
 Institución Universitaria			
DIBUJO	DEYBERMEZA	TÍTULO BANCO EXPERIMENTAL PARA TURBINA HIDROELECTRICA (APLICATIVO CON RIEL)	
REVISO	JUAN ARDILA		
APROBO			
 ALL DIMENSIONS IN mm		TAMAÑO	PLANO #
		297,0 x 210,0	PL-04
		ESCALA 1:1	HOJA 1 DE 1

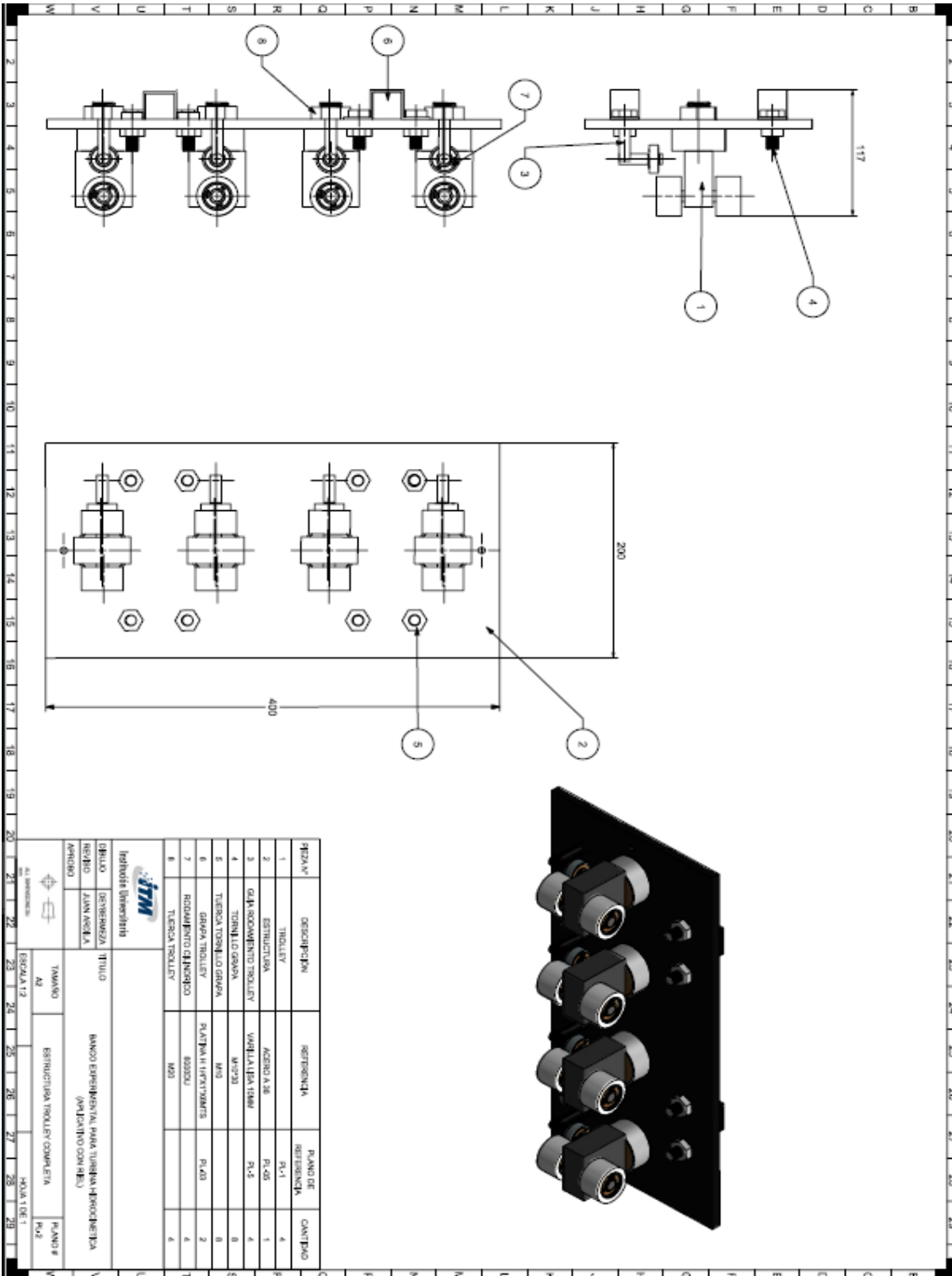


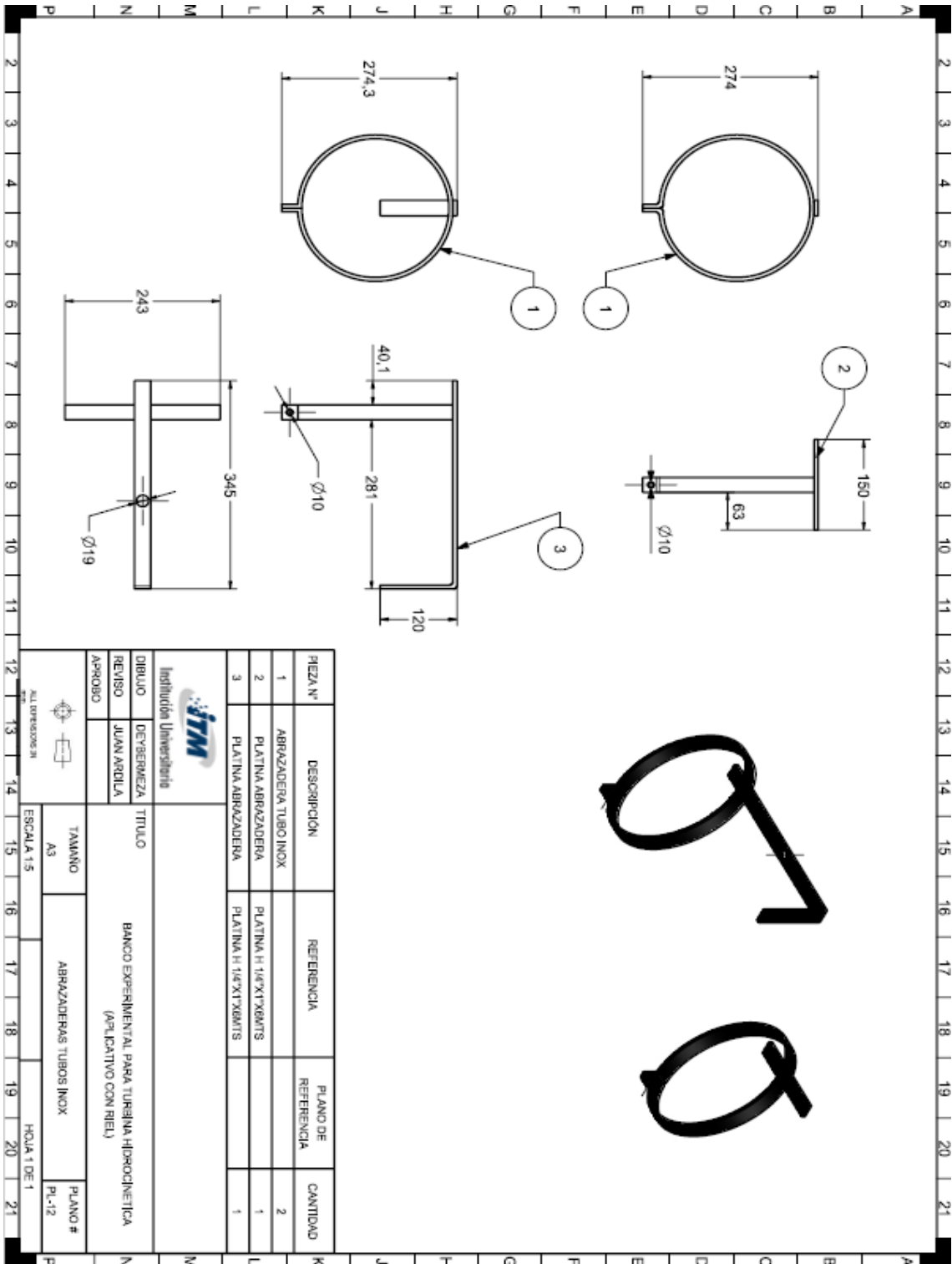
 Institución Universitaria			
DIBUJO	DEYBERMEZA	TÍTULO	
REVISO	JUAN ARDILA	BANCO EXPERIMENTAL PARA TURBINA HIDROELECTRICA (APLICATIVO CON RIEL)	
APROBO			
 ALL DIMENSIONS IN mm		TAMAÑO	ESTRUCTURA TROLLEY
		297,0 x 210,0	PLANO #
		ESCALA 1:5	PL-05
		HOJA 1 DE 1	

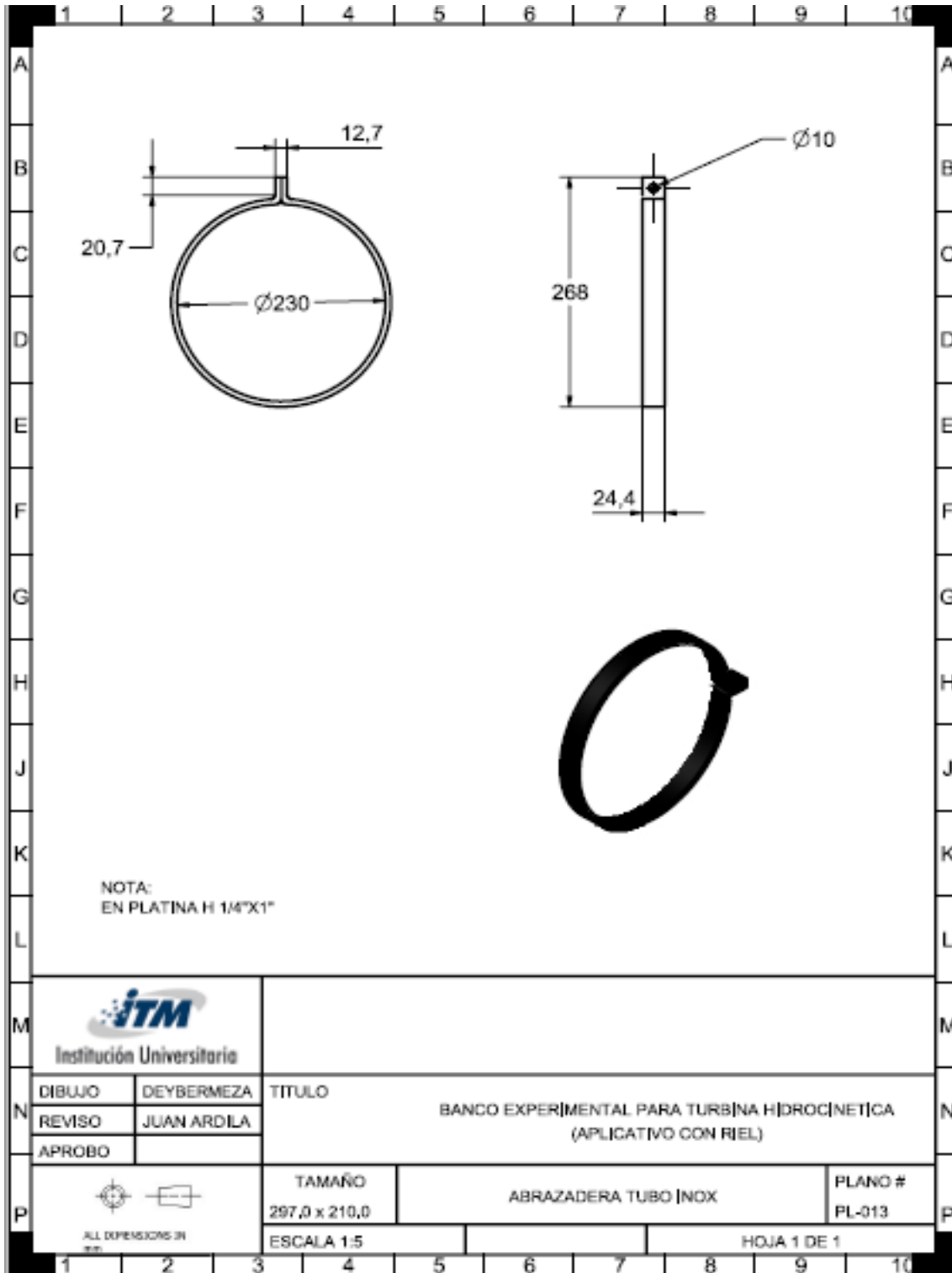


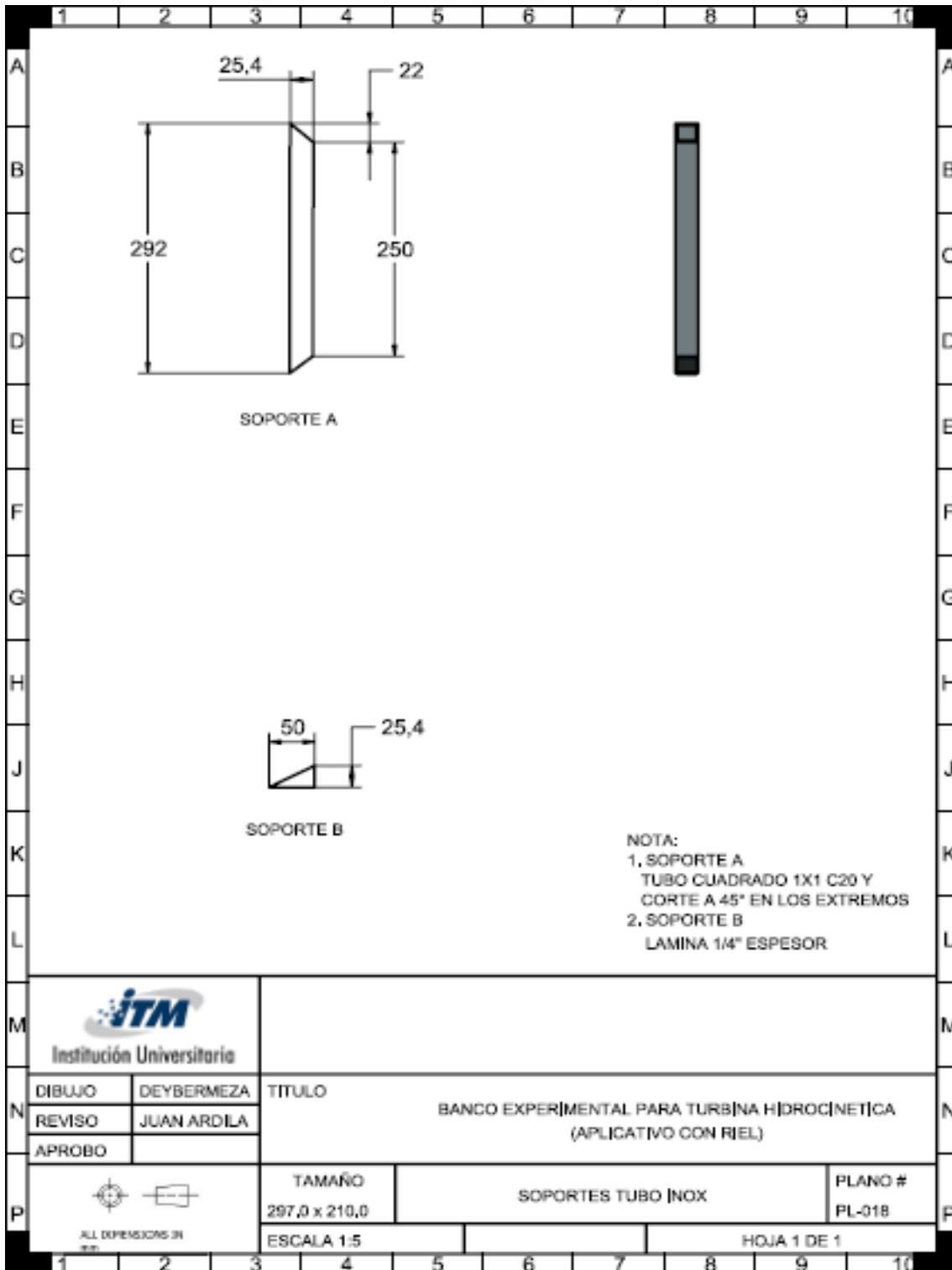


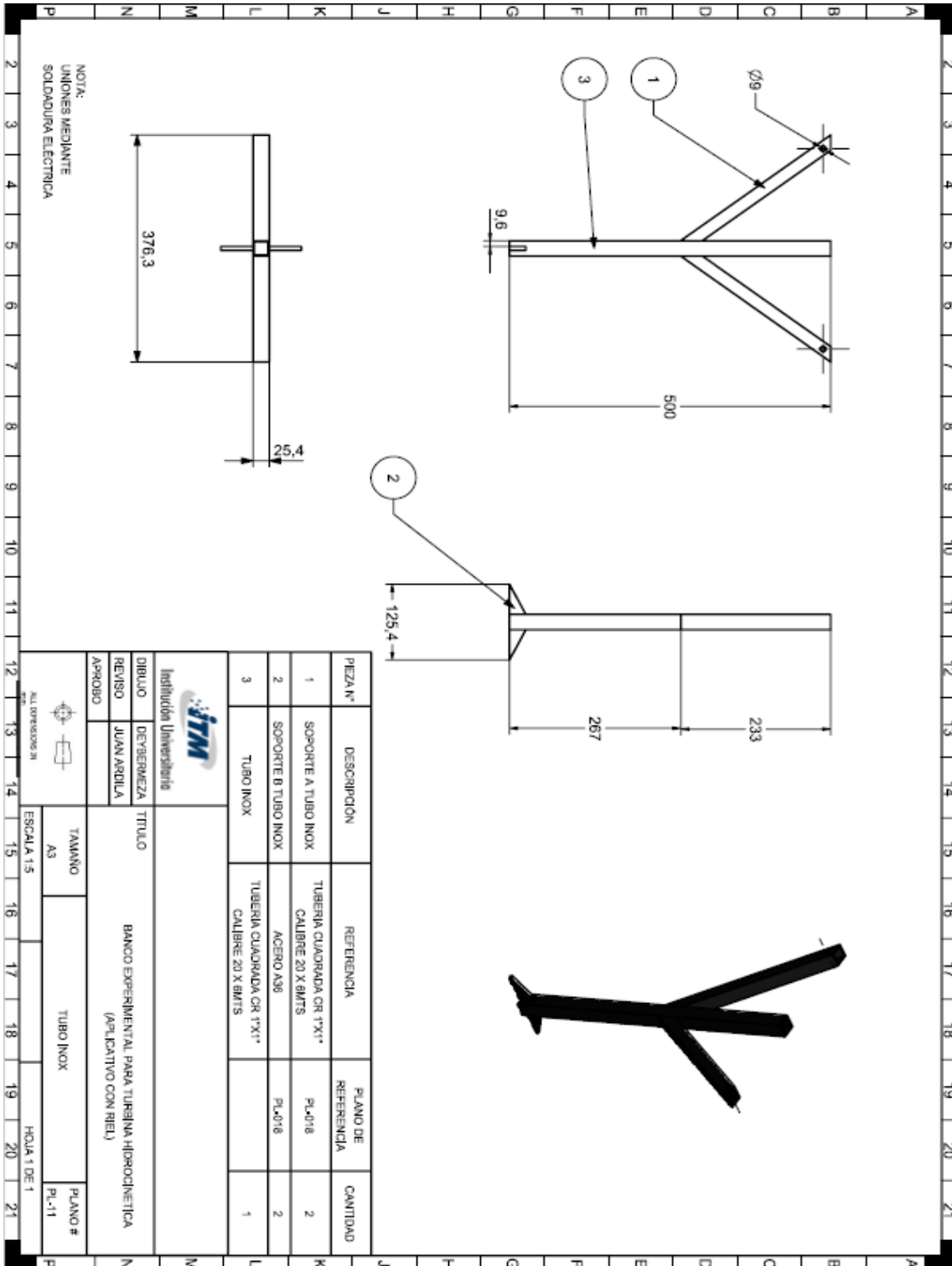


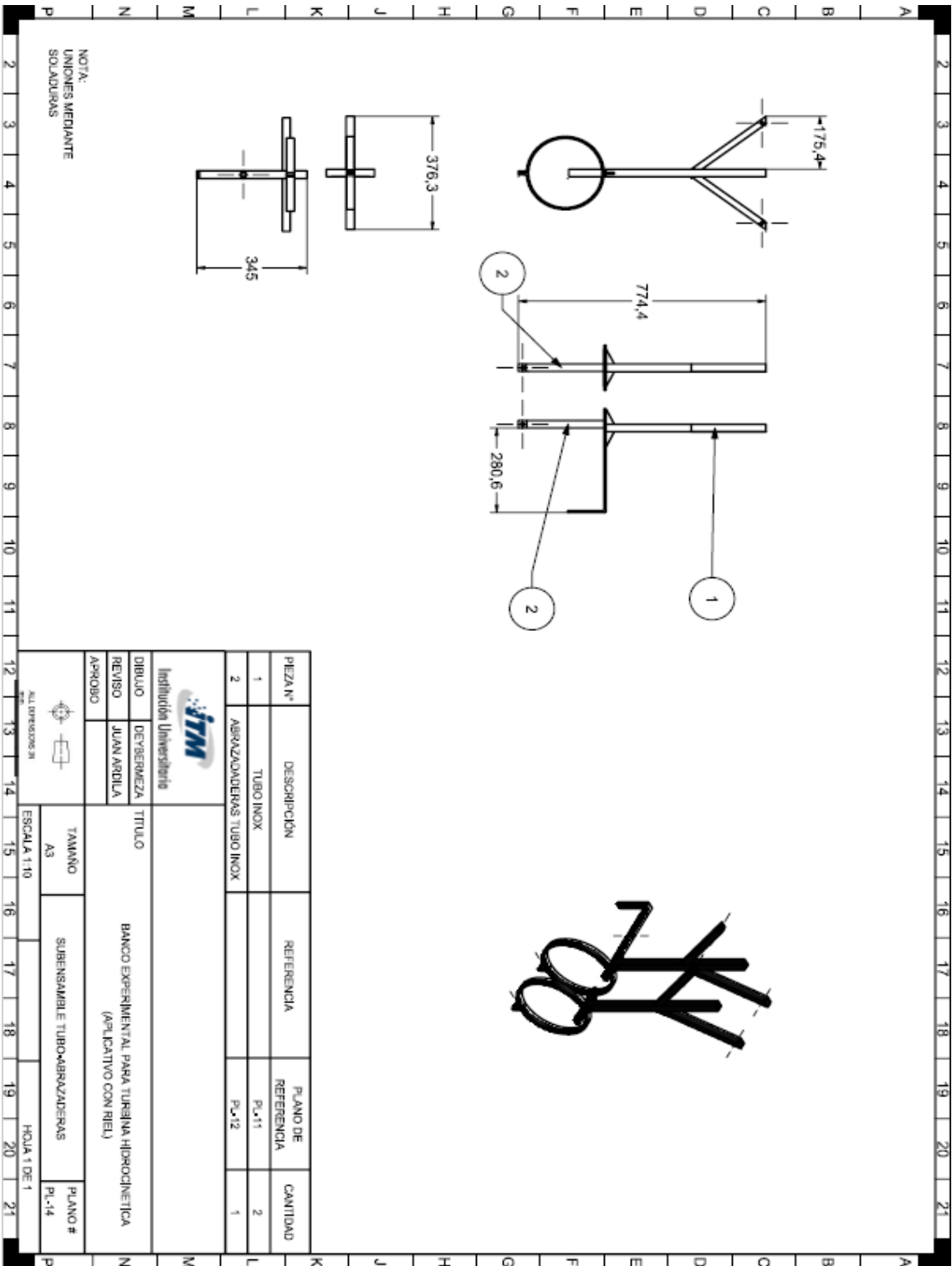


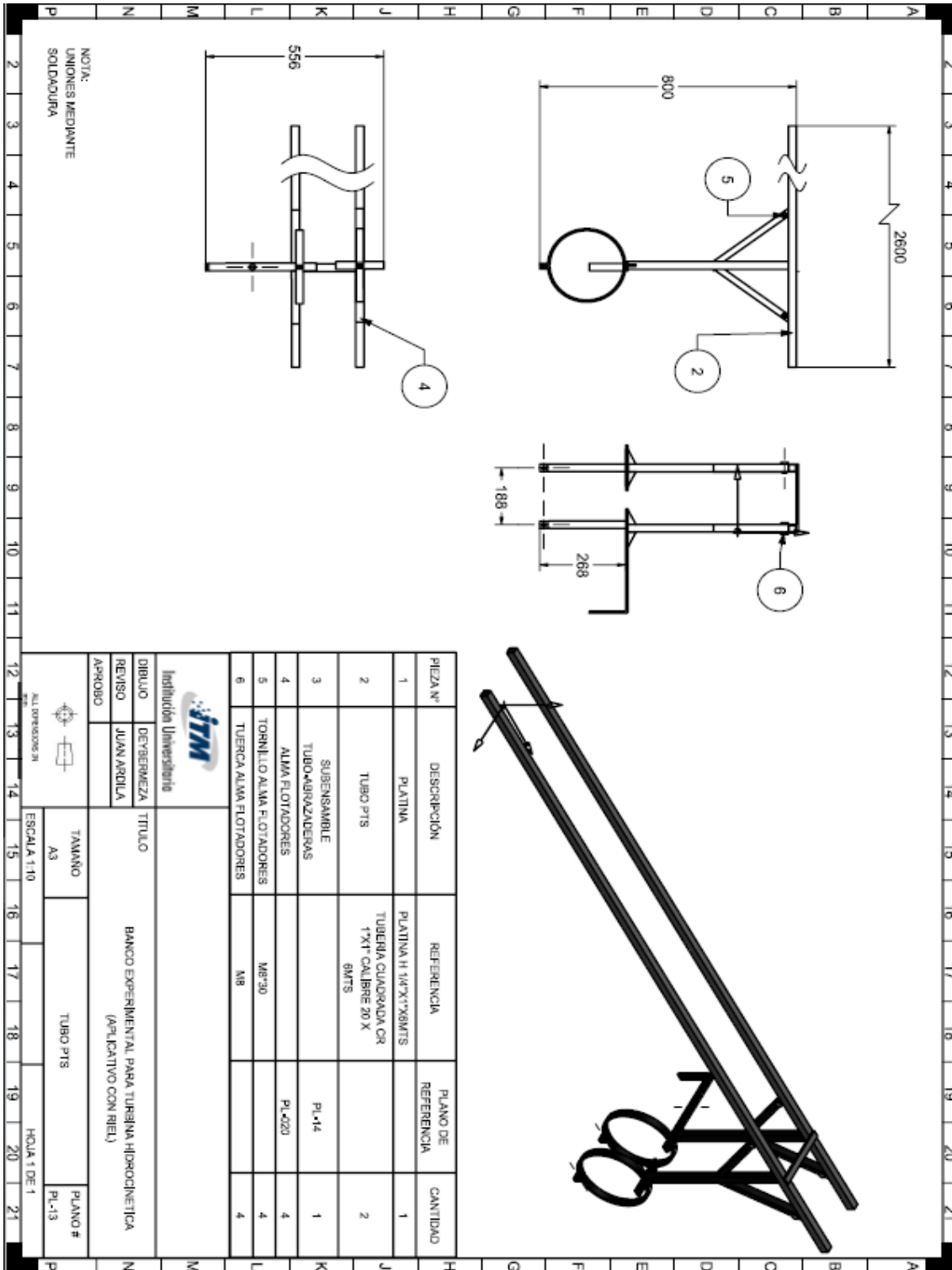


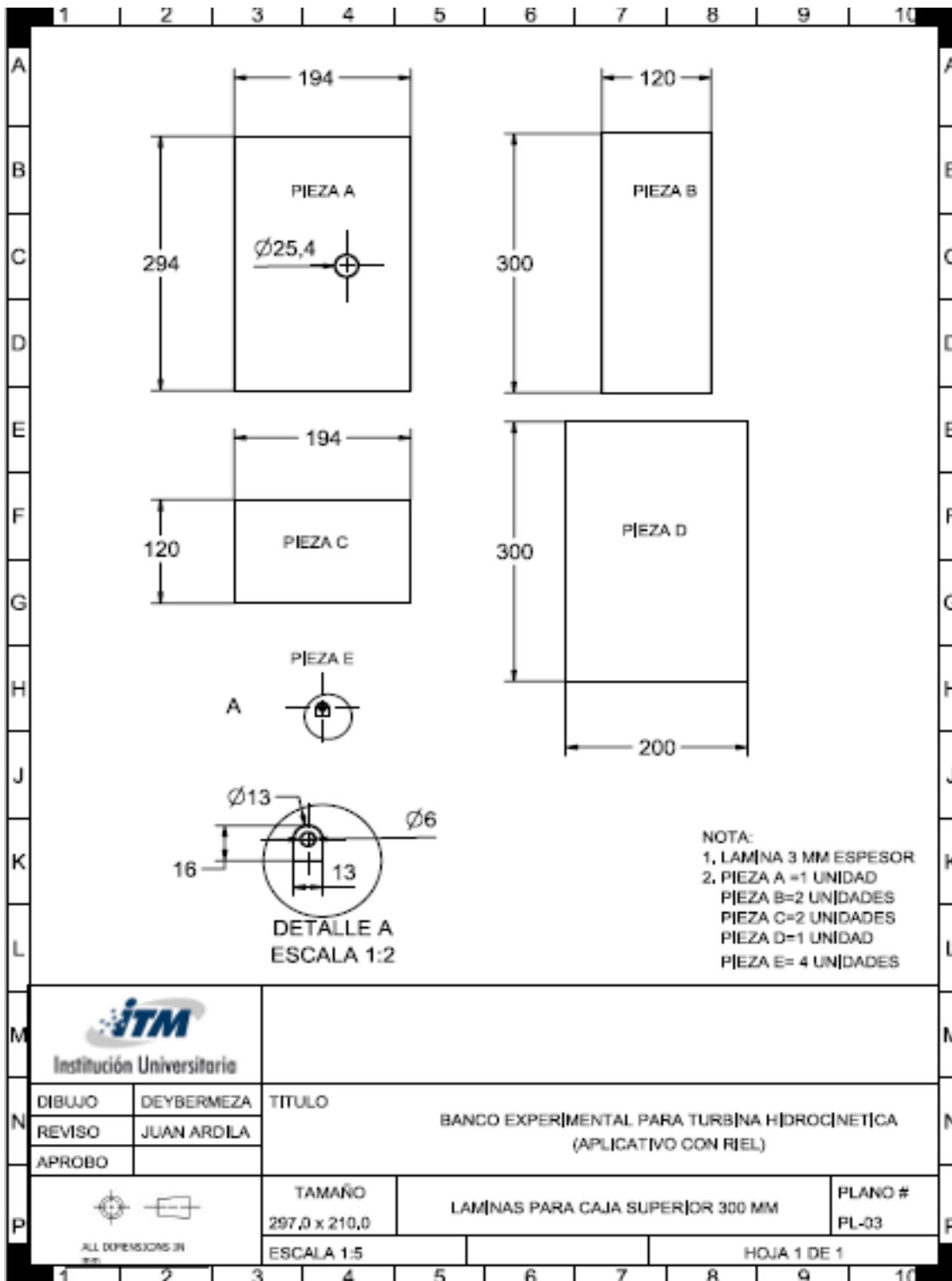




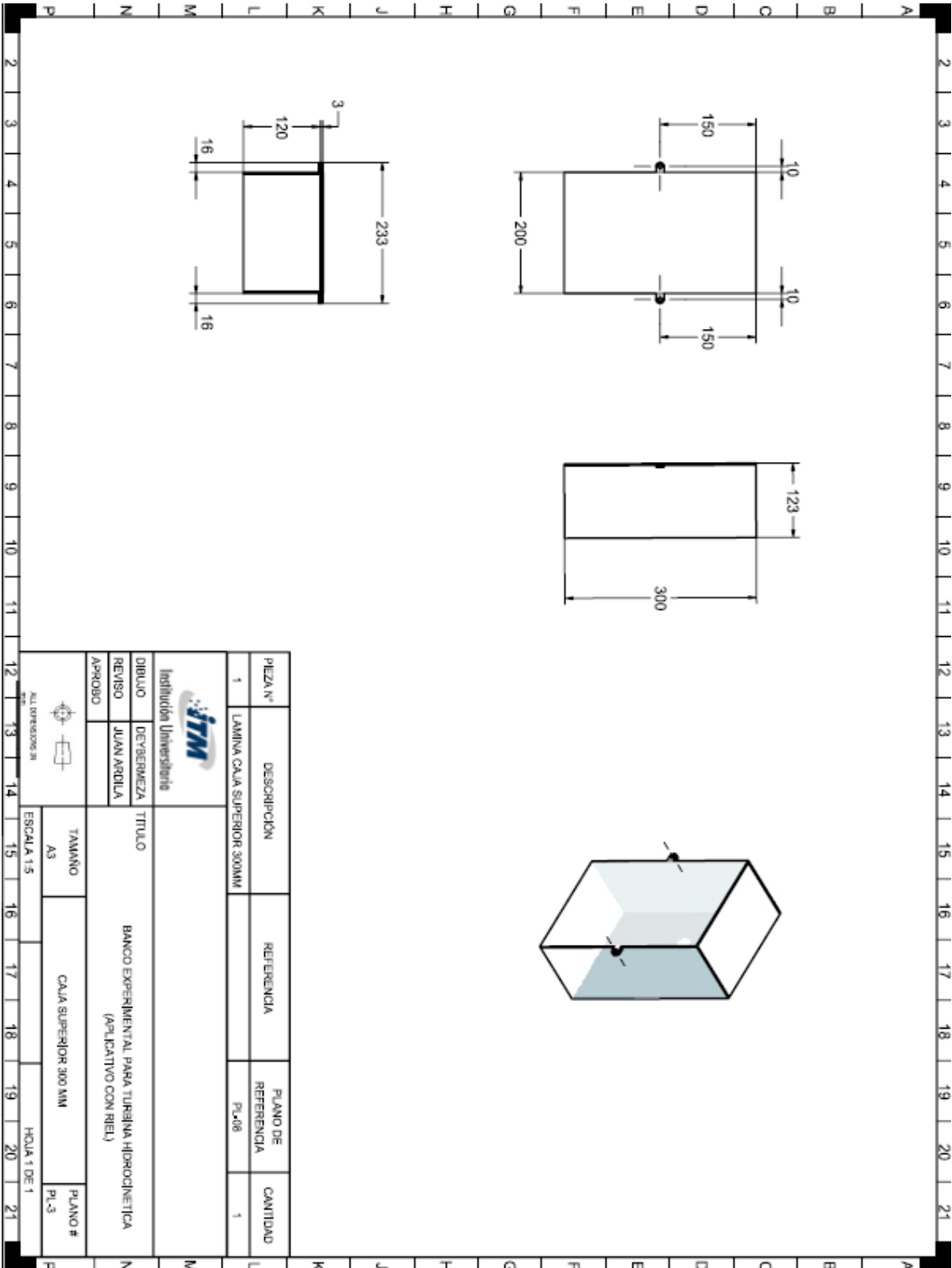


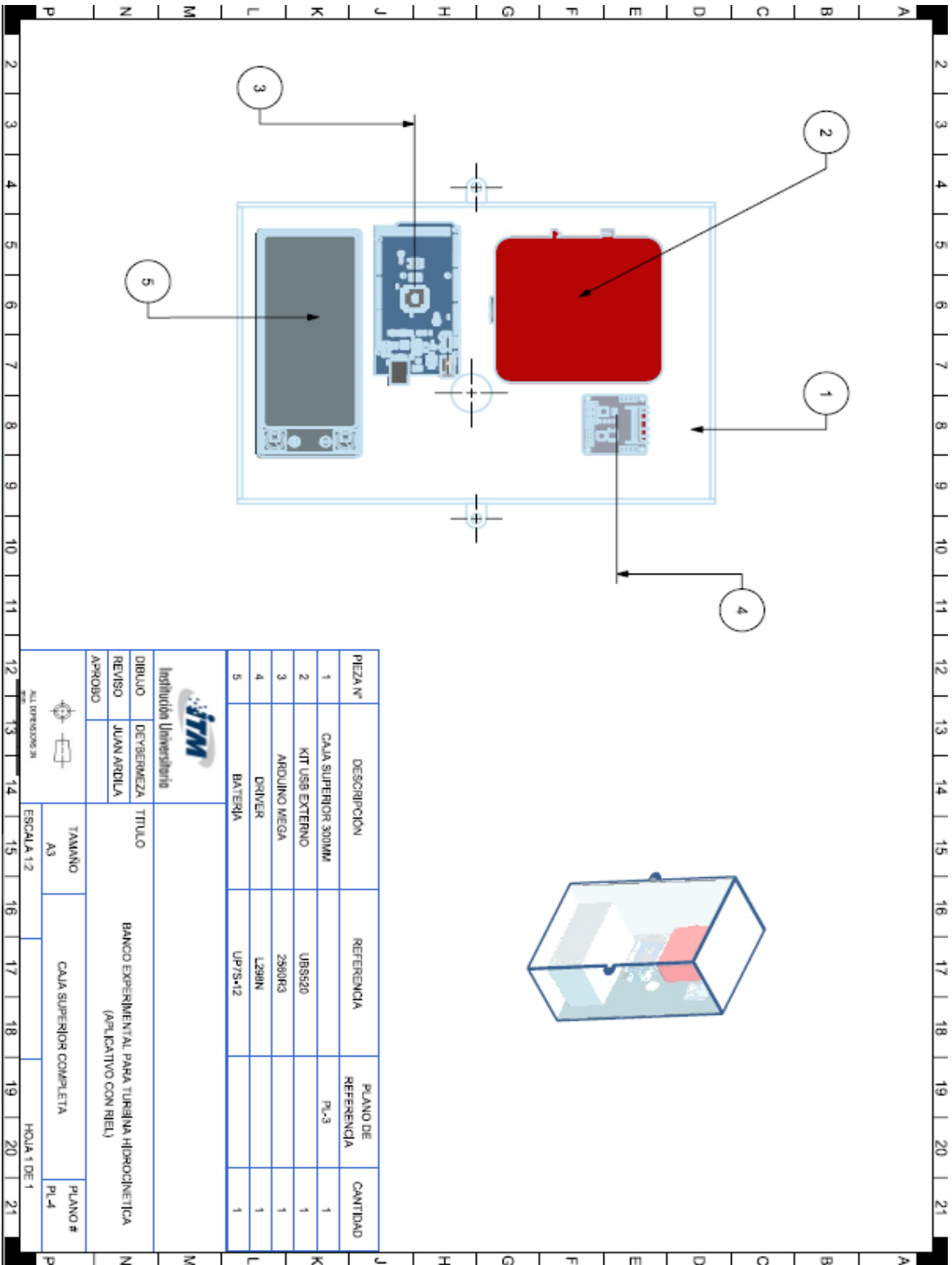


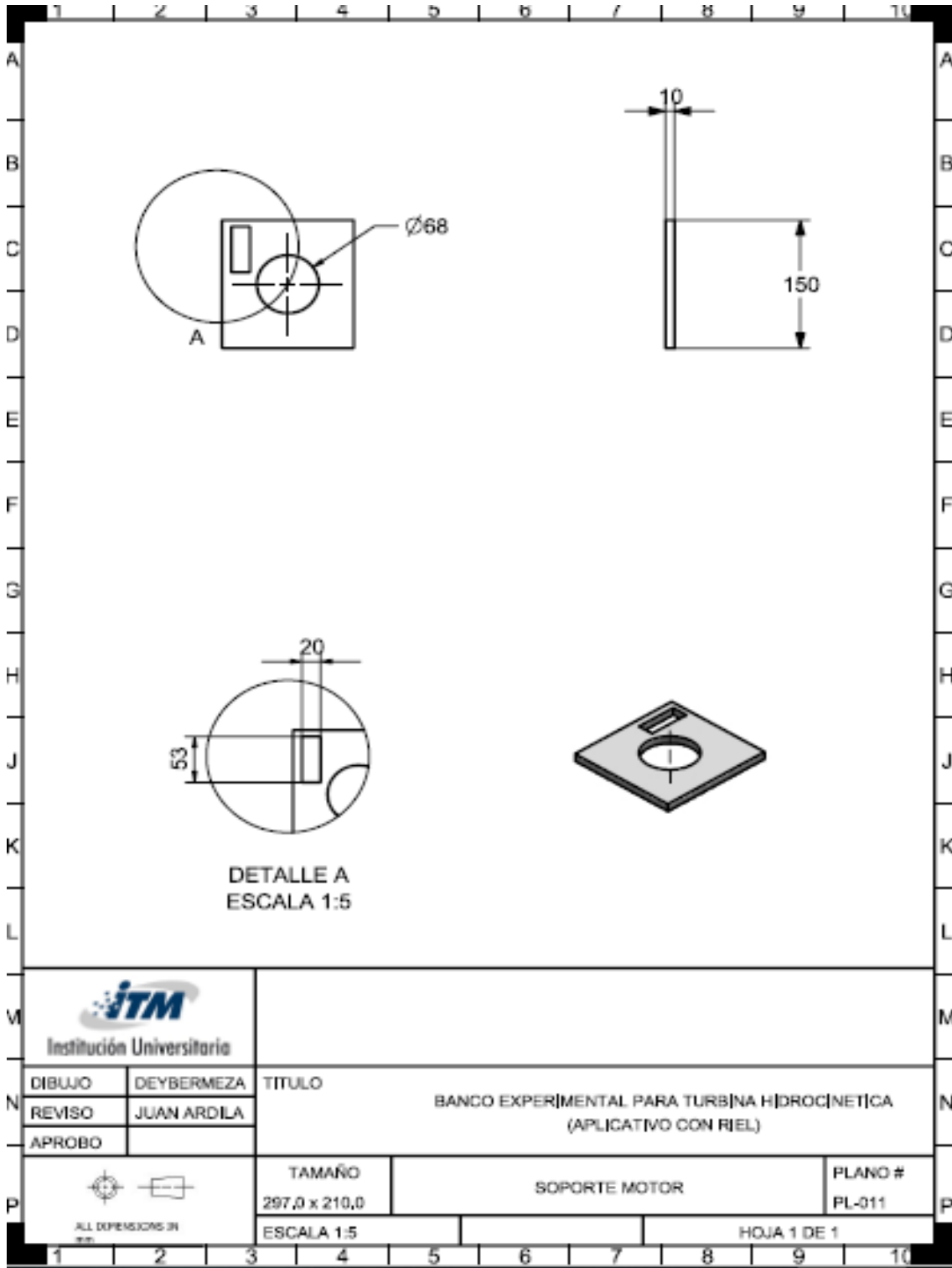


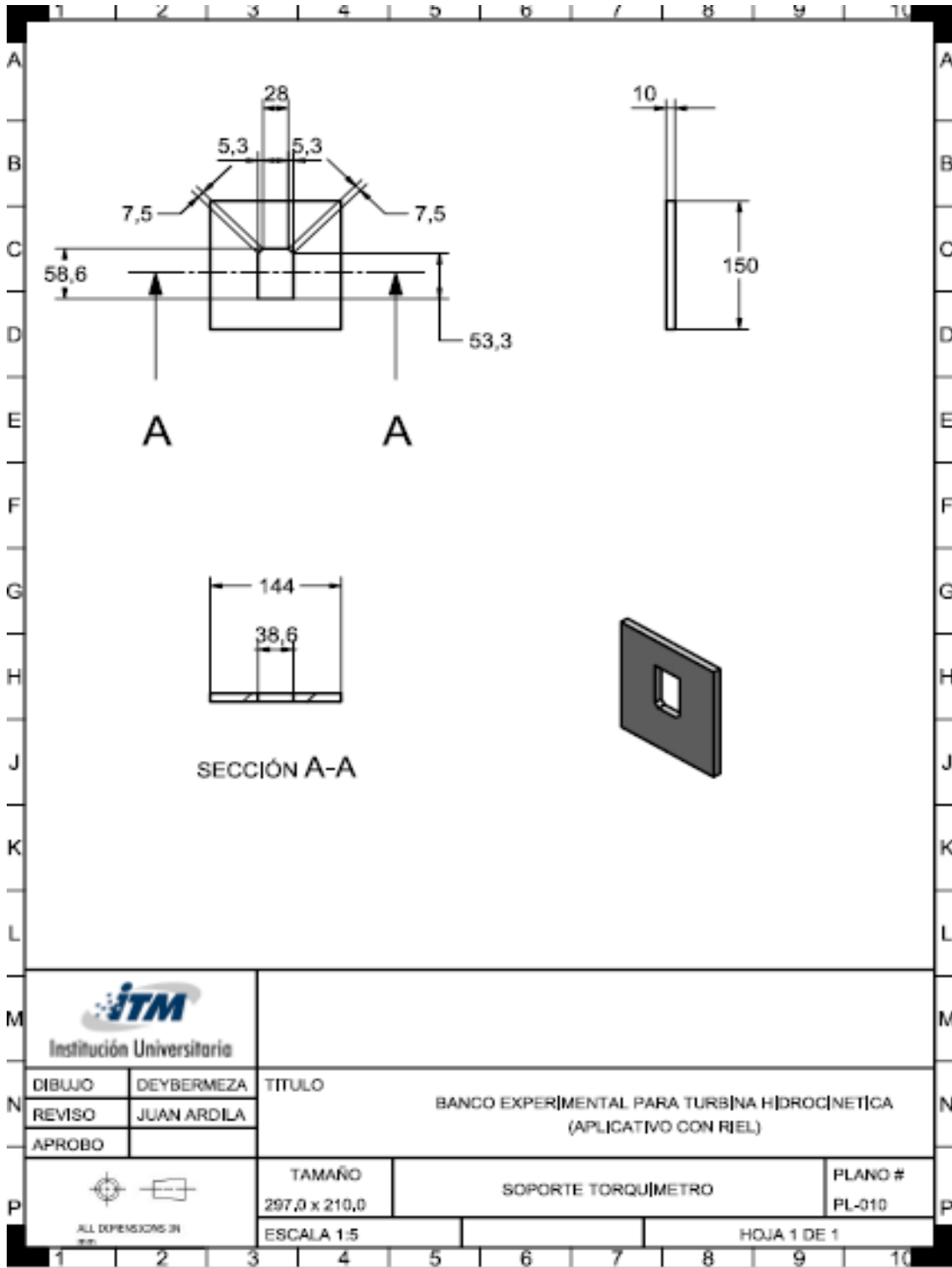


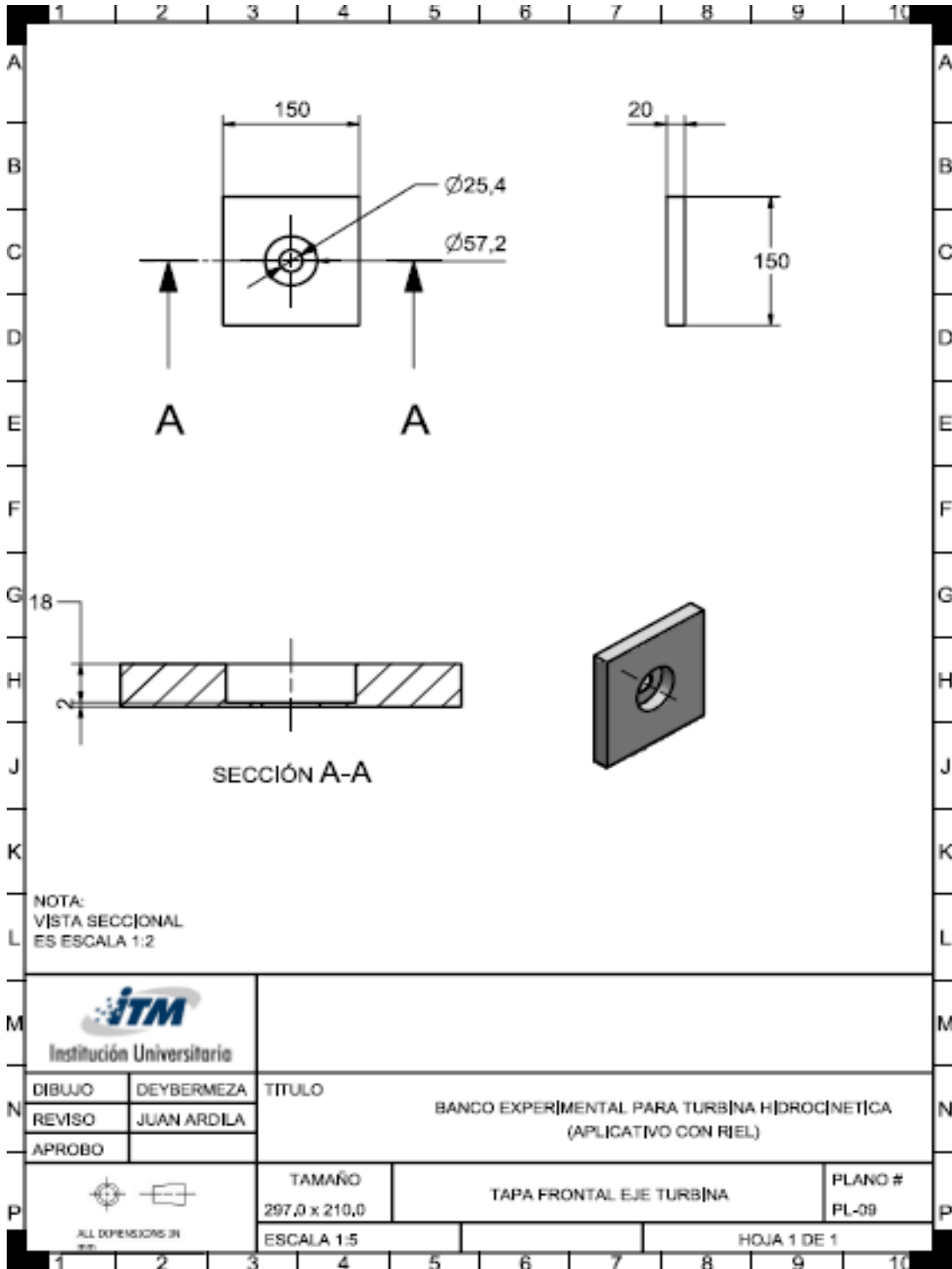
NOTA:
1. LAMINA 3 MM ESPESOR
2. PIEZA A =1 UNIDAD
PIEZA B=2 UNIDADES
PIEZA C=2 UNIDADES
PIEZA D=1 UNIDAD
PIEZA E= 4 UNIDADES

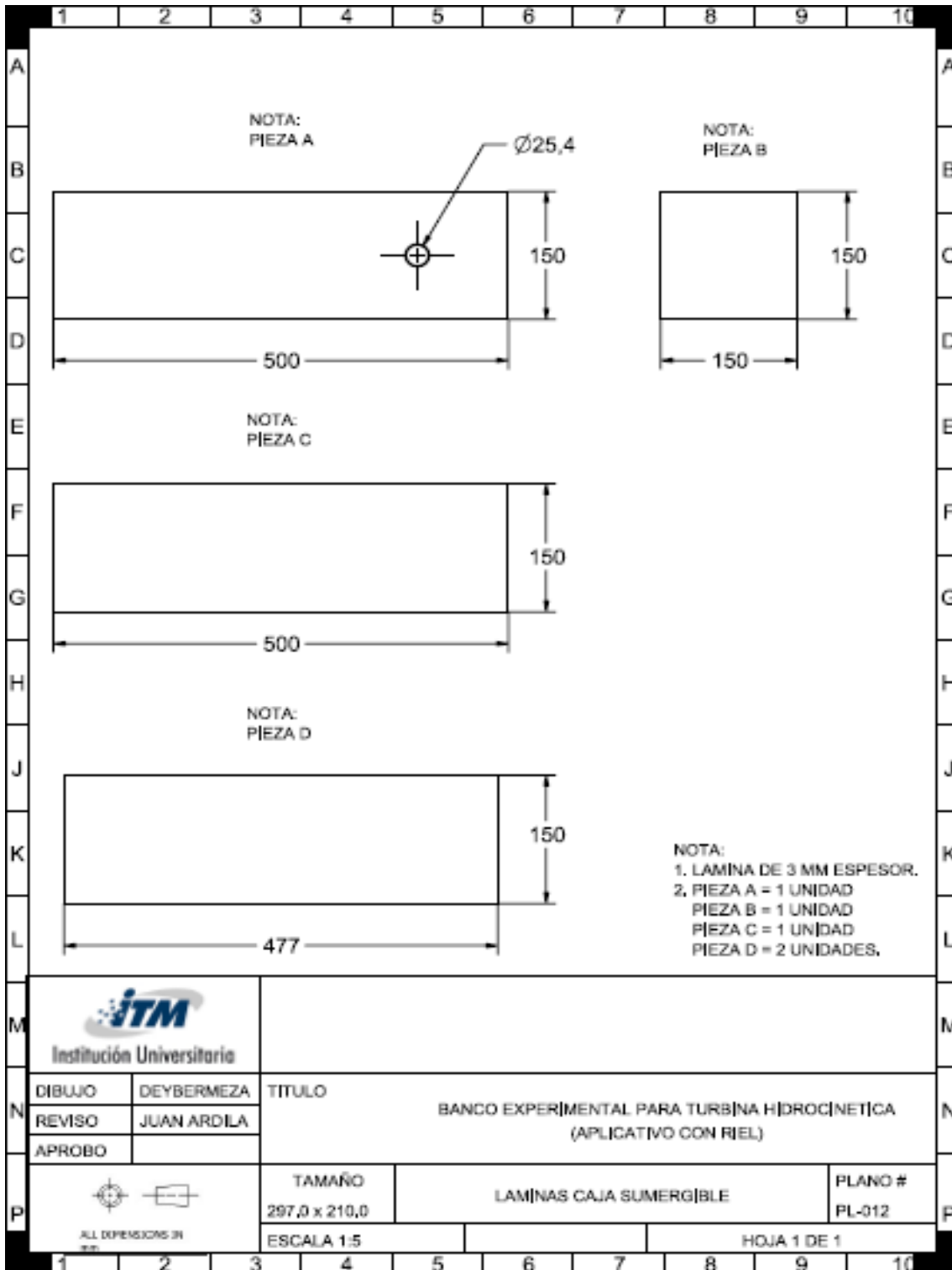


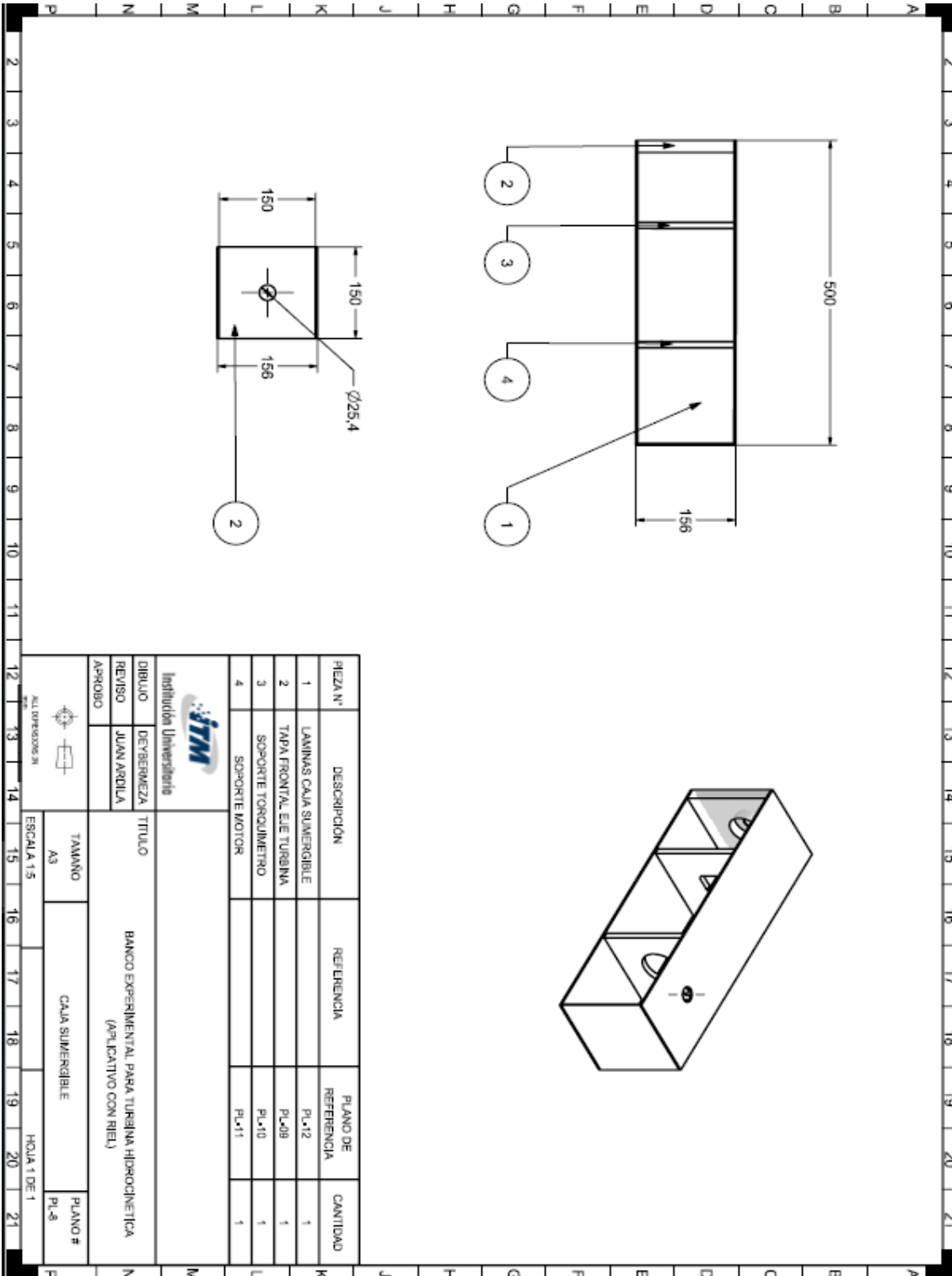


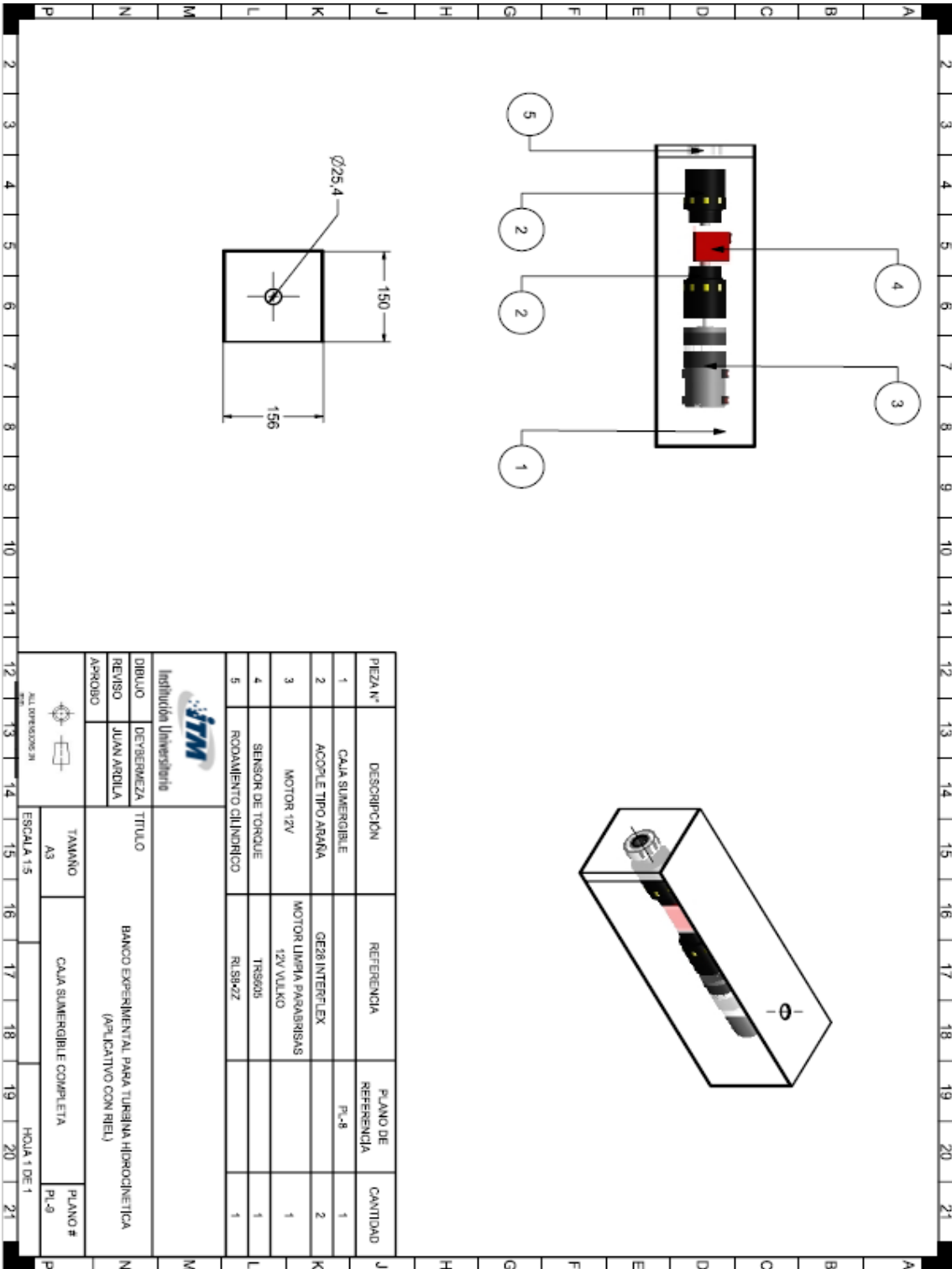


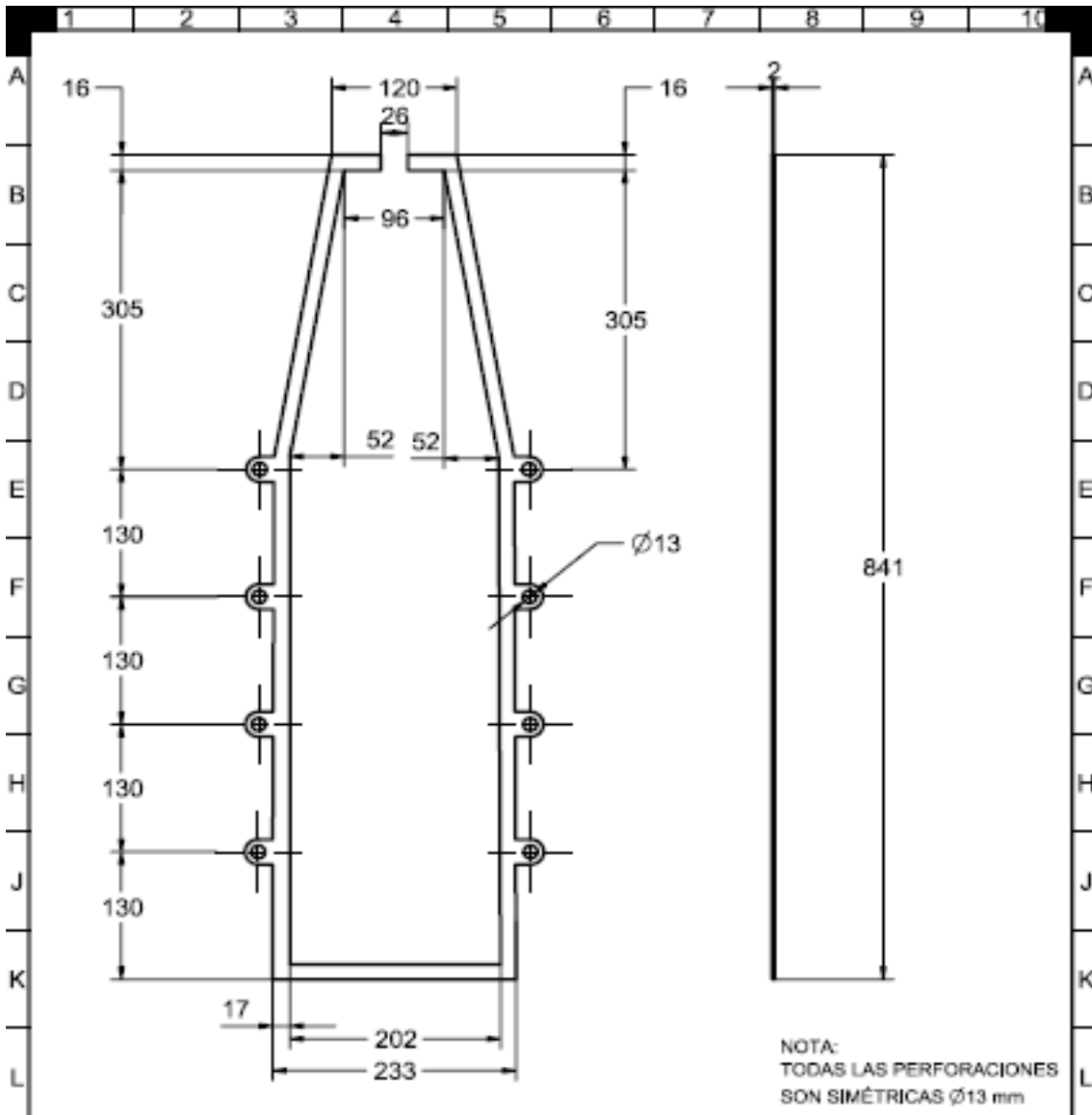



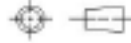


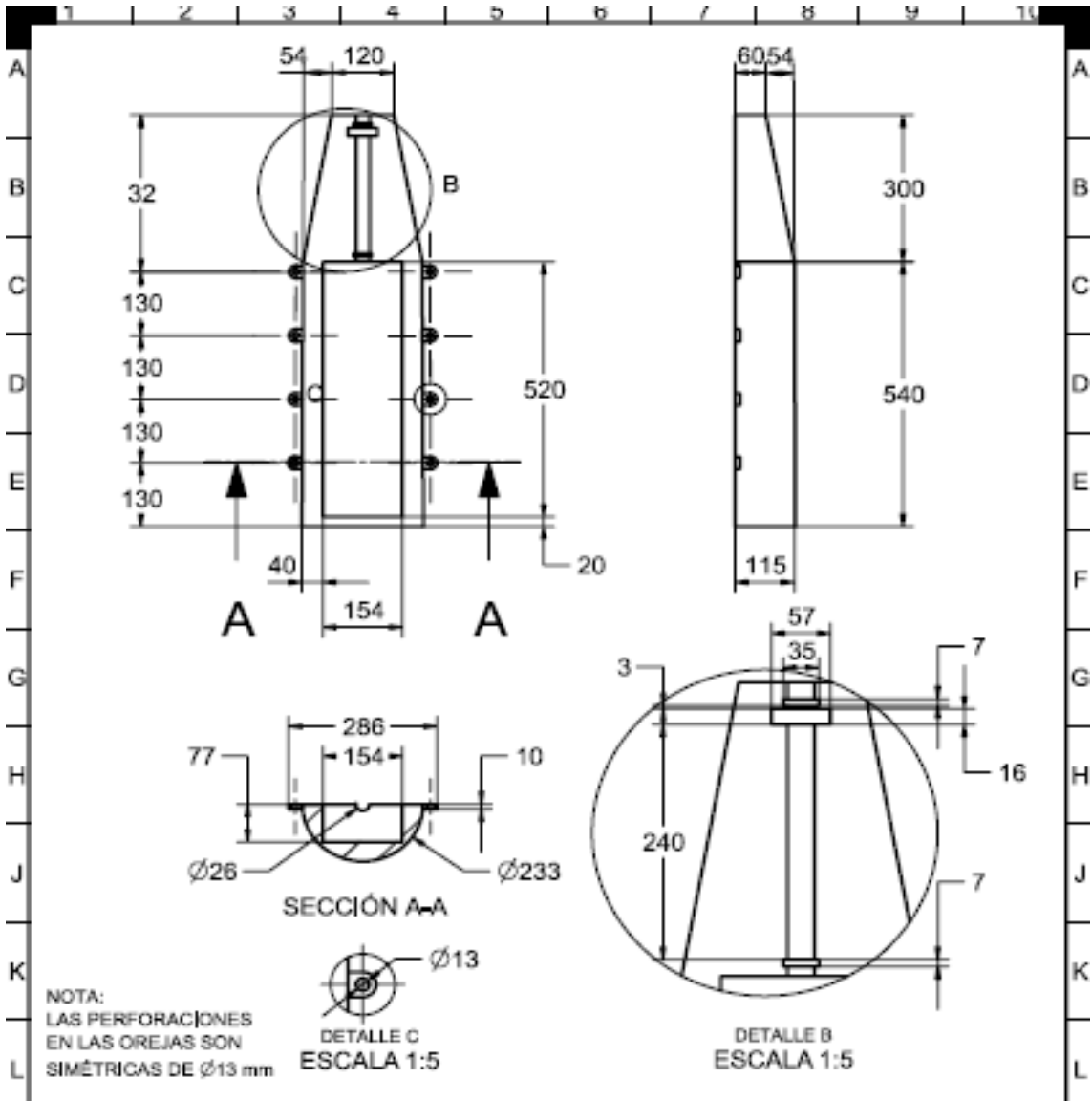



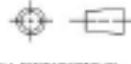


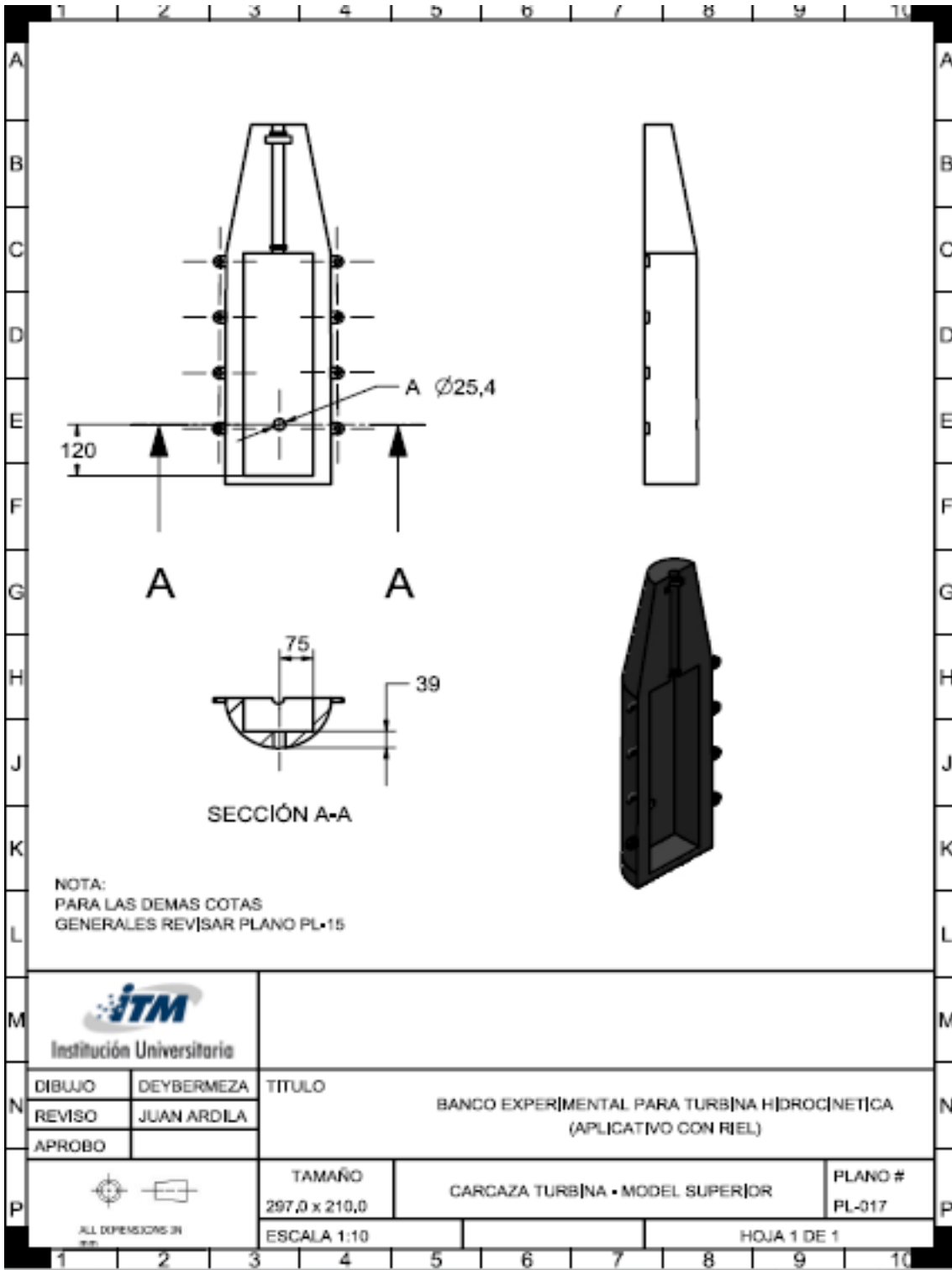


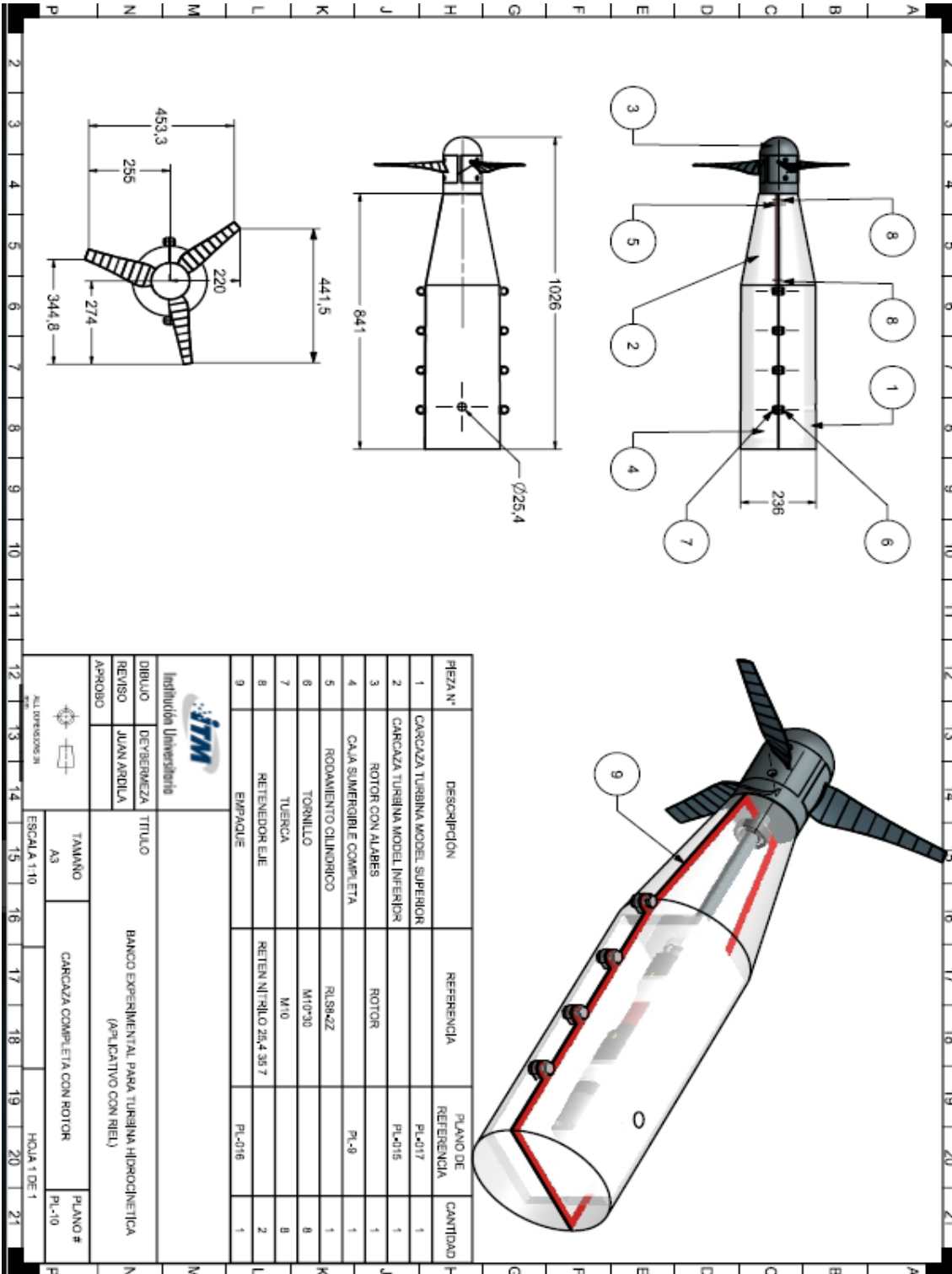


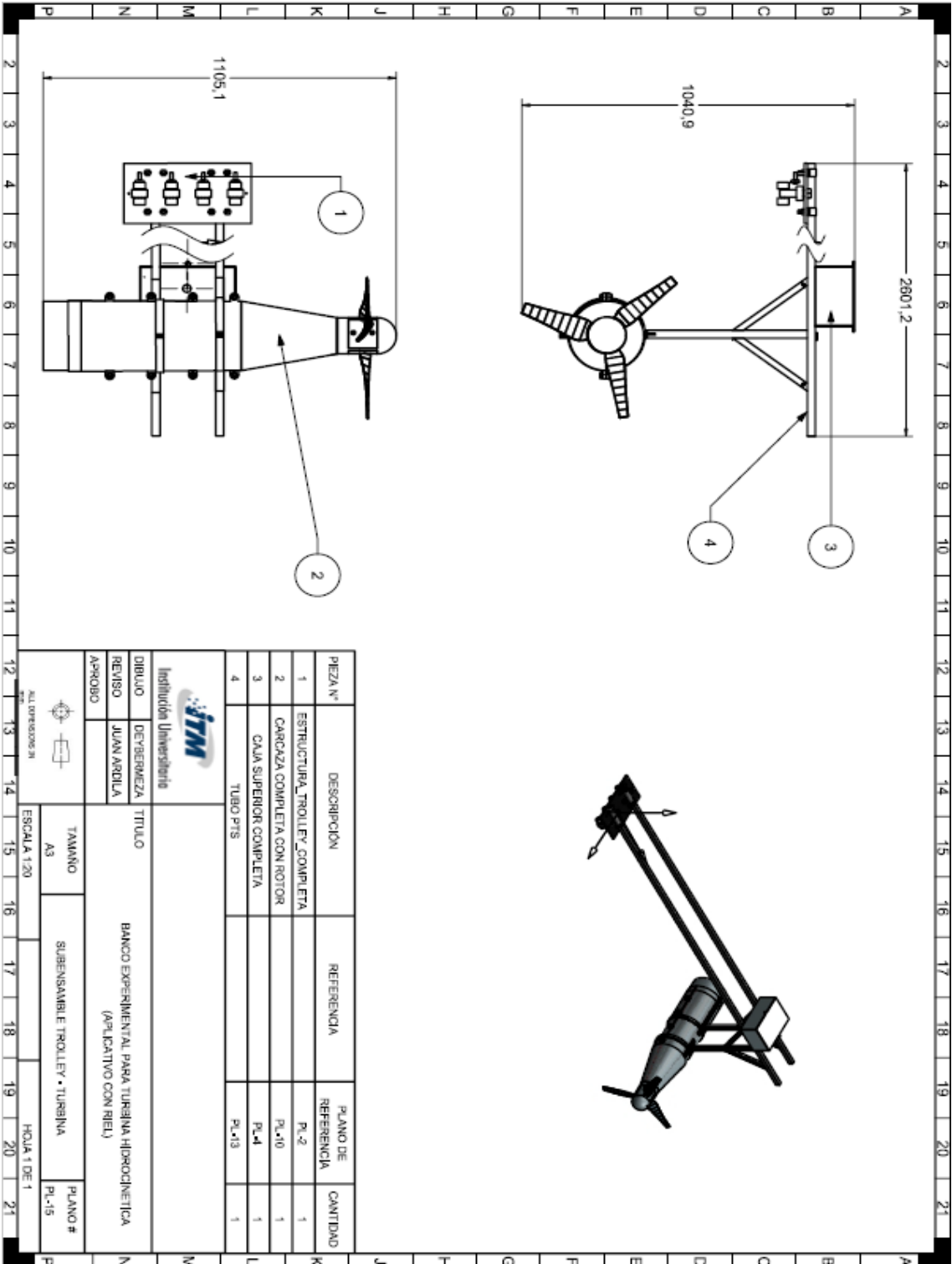
 Institución Universitaria									
DIBUJO	DEYBERMEZA	TÍTULO							
REVISO	JUAN ARDILA	BANCO EXPERIMENTAL PARA TURBINA HIDROELECTRICA (APLICATIVO CON RIEL)							
APROBO		TAMAÑO		EMPAQUE				PLANO #	
 ALL DIMENSIONS IN mm		297,0 x 210,0						PL-016	
		ESCALA 1:5						HOJA 1 DE 1	

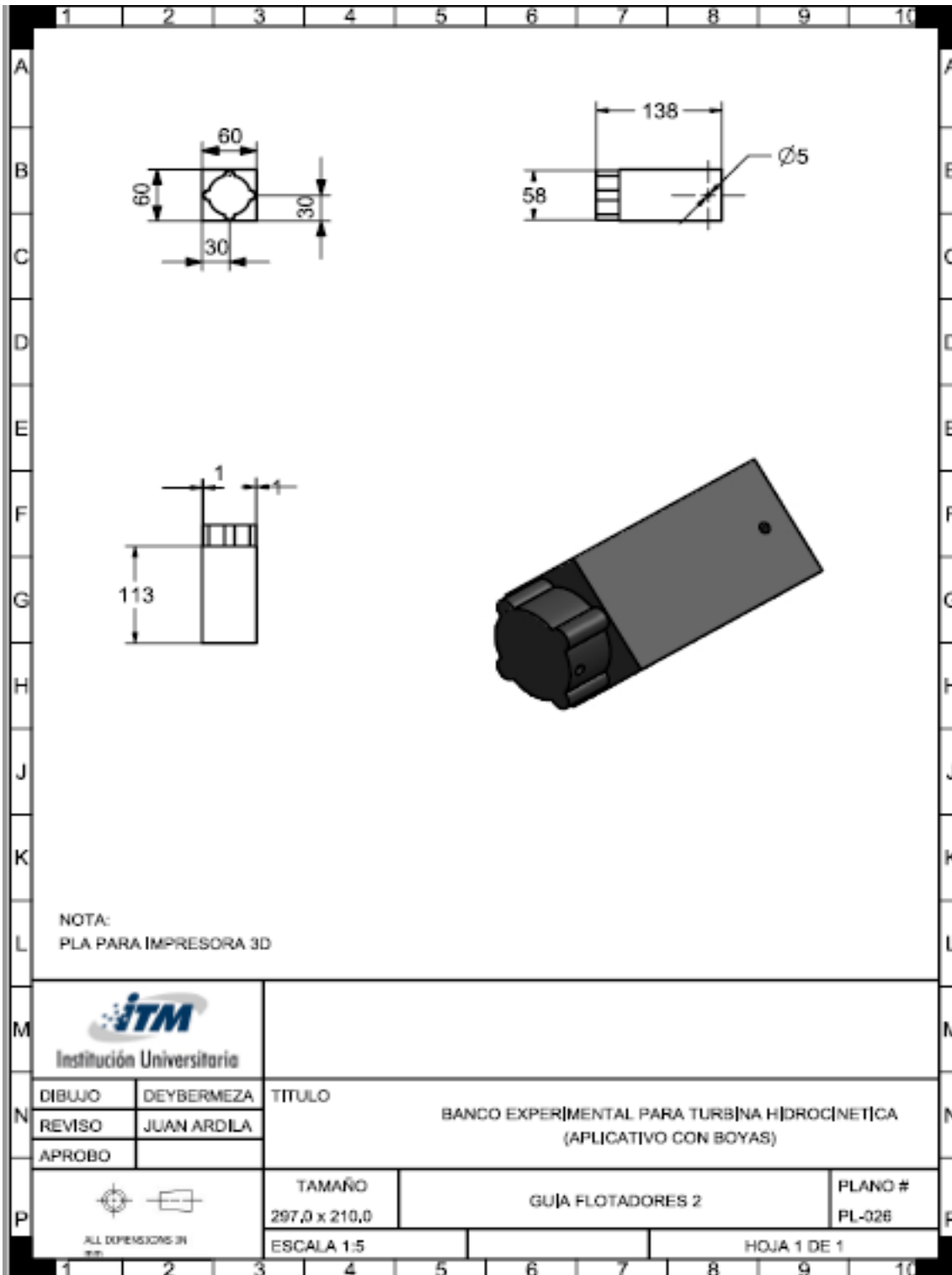


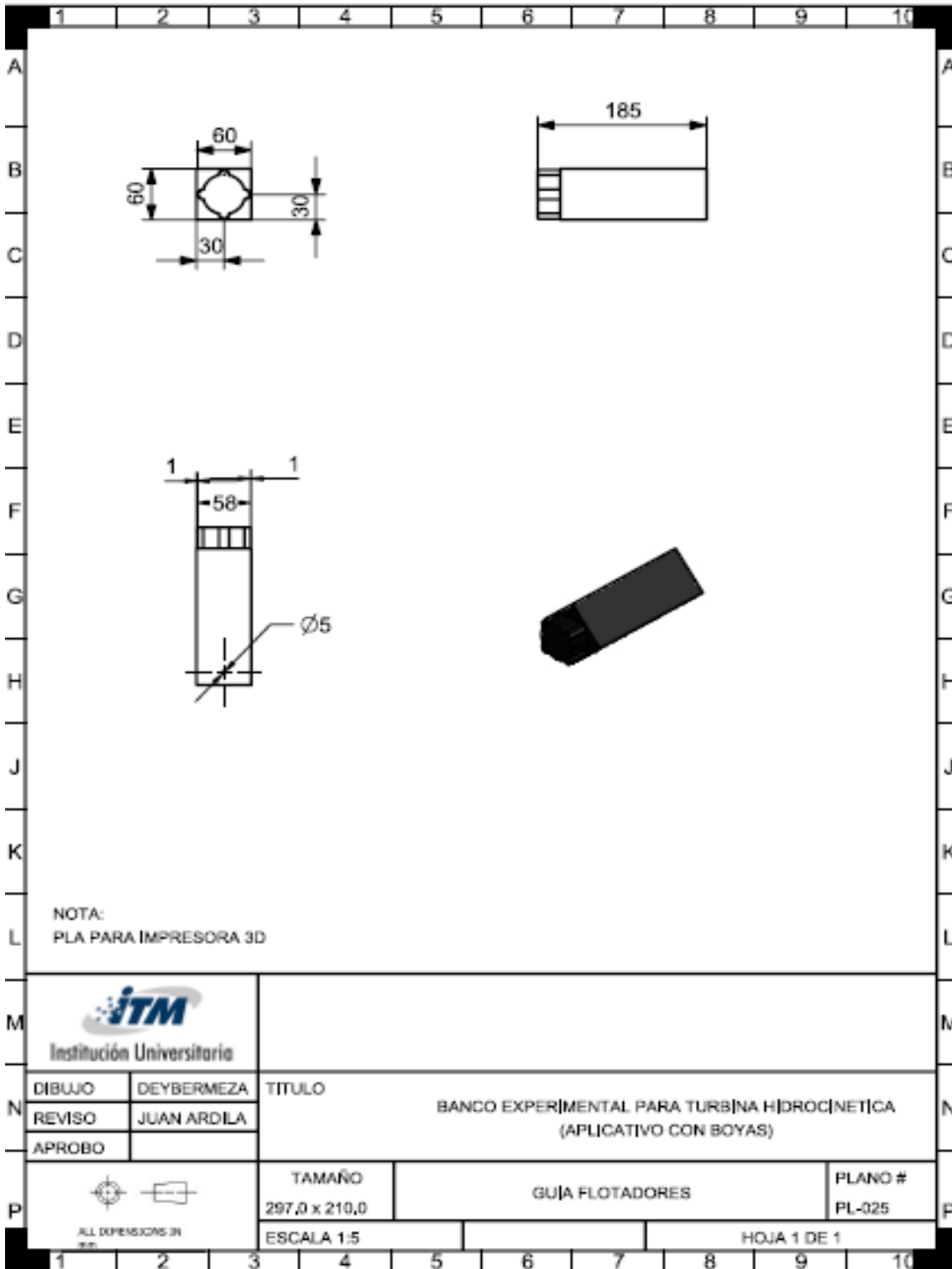
 Institución Universitaria			
DIBUJO	DEYBERMEZA	TÍTULO	
REVISO	JUAN ARDILA	BANCO EXPERIMENTAL PARA TURBINA HIDROELECTRICA (APLICATIVO CON RIEL)	
APROBO			
 ALL DIMENSIONS IN mm		TAMAÑO	PLANO #
		297,0 x 210,0	CARCAZA TURBINA • MOLDE INFERIOR
		ESCALA 1:10	PL-015
		HOJA 1 DE 1	

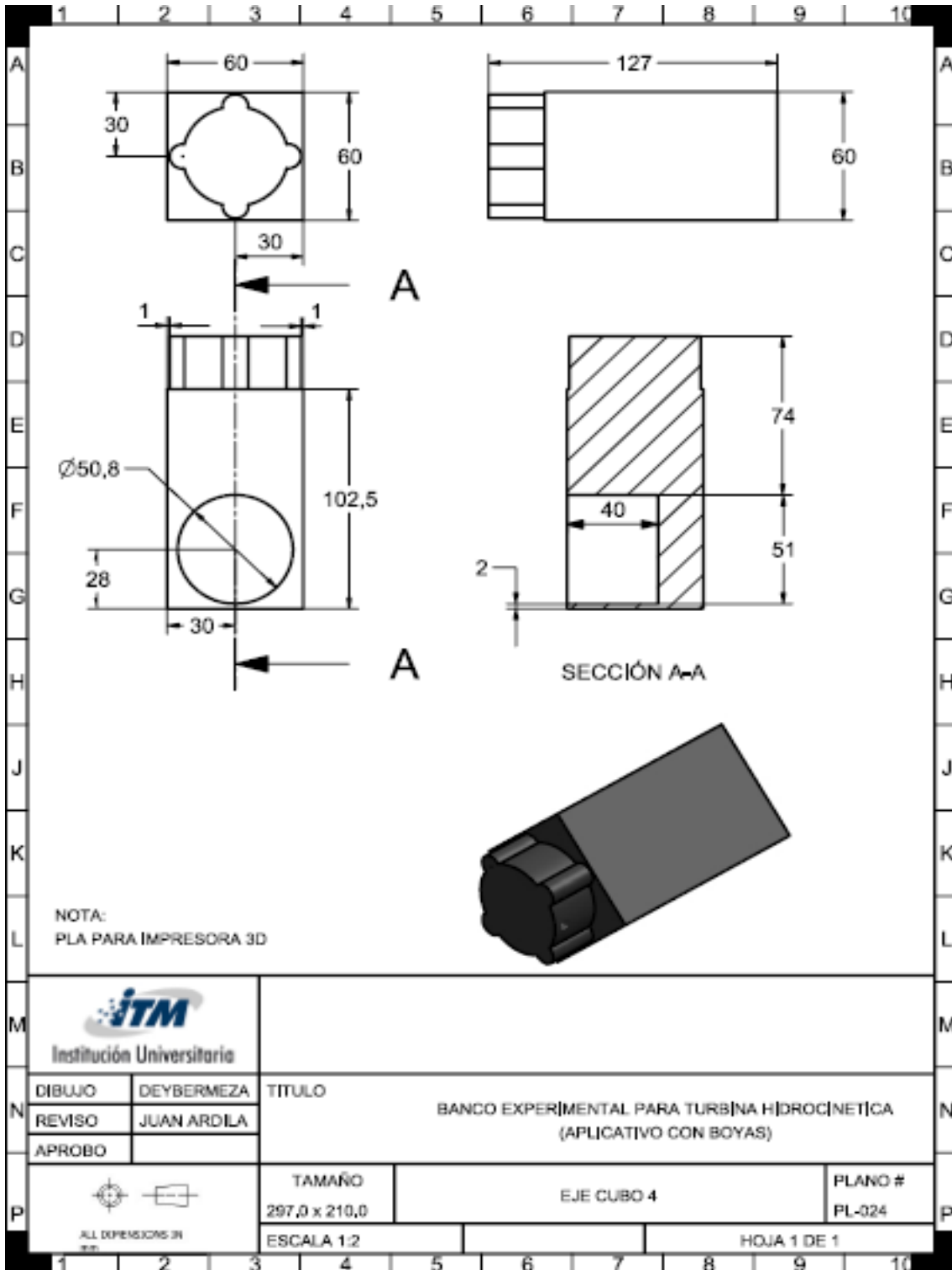


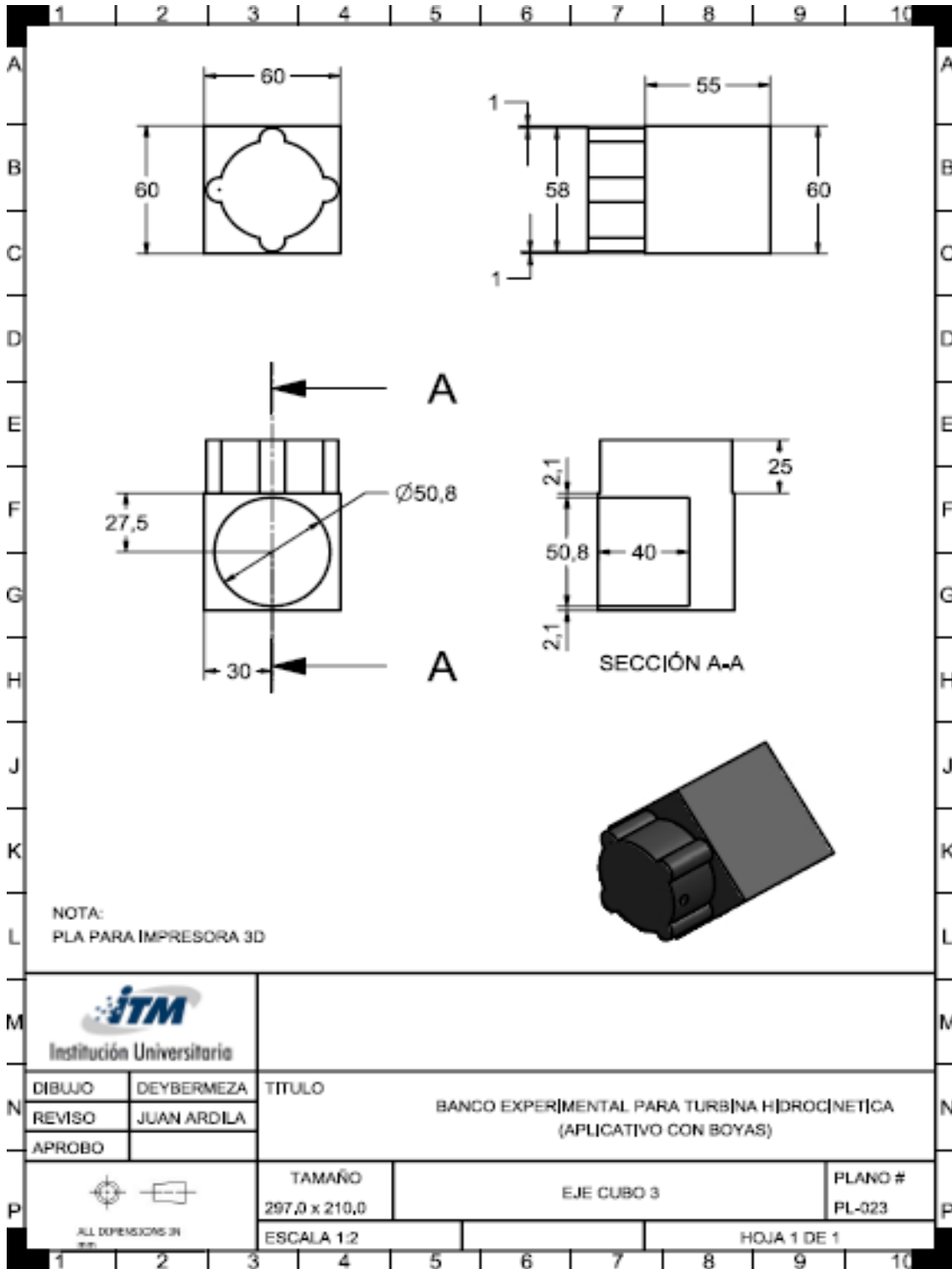


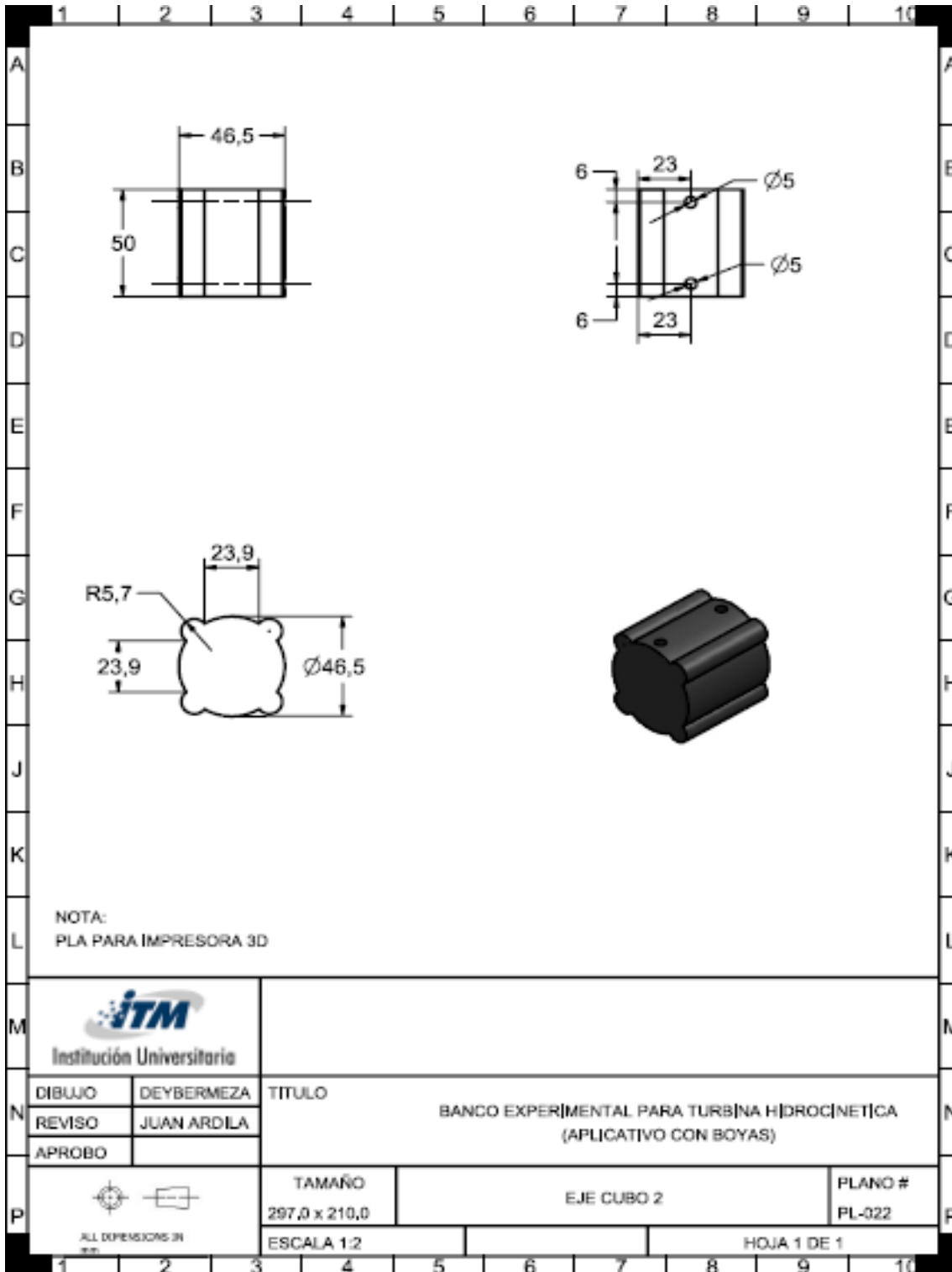


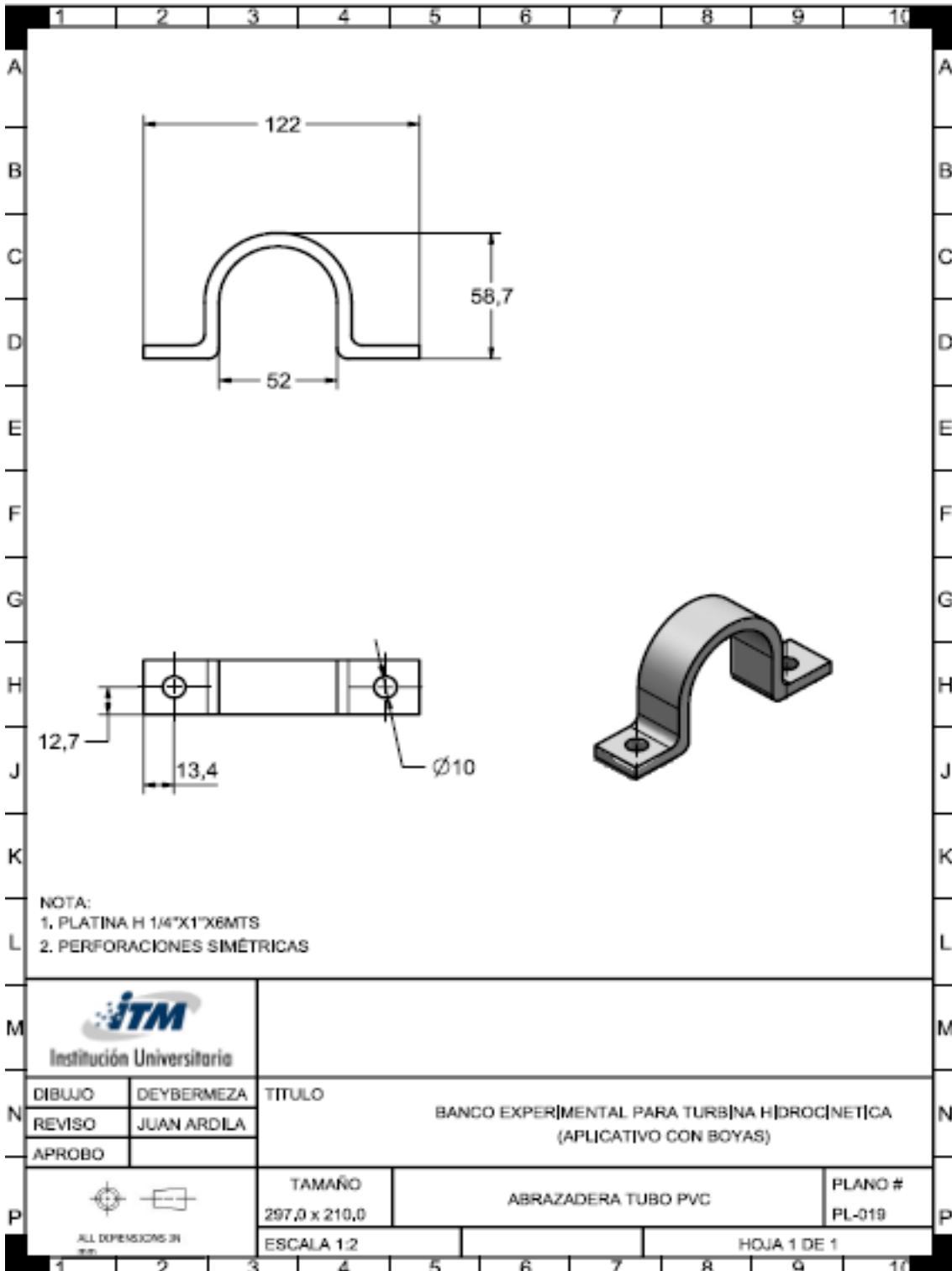


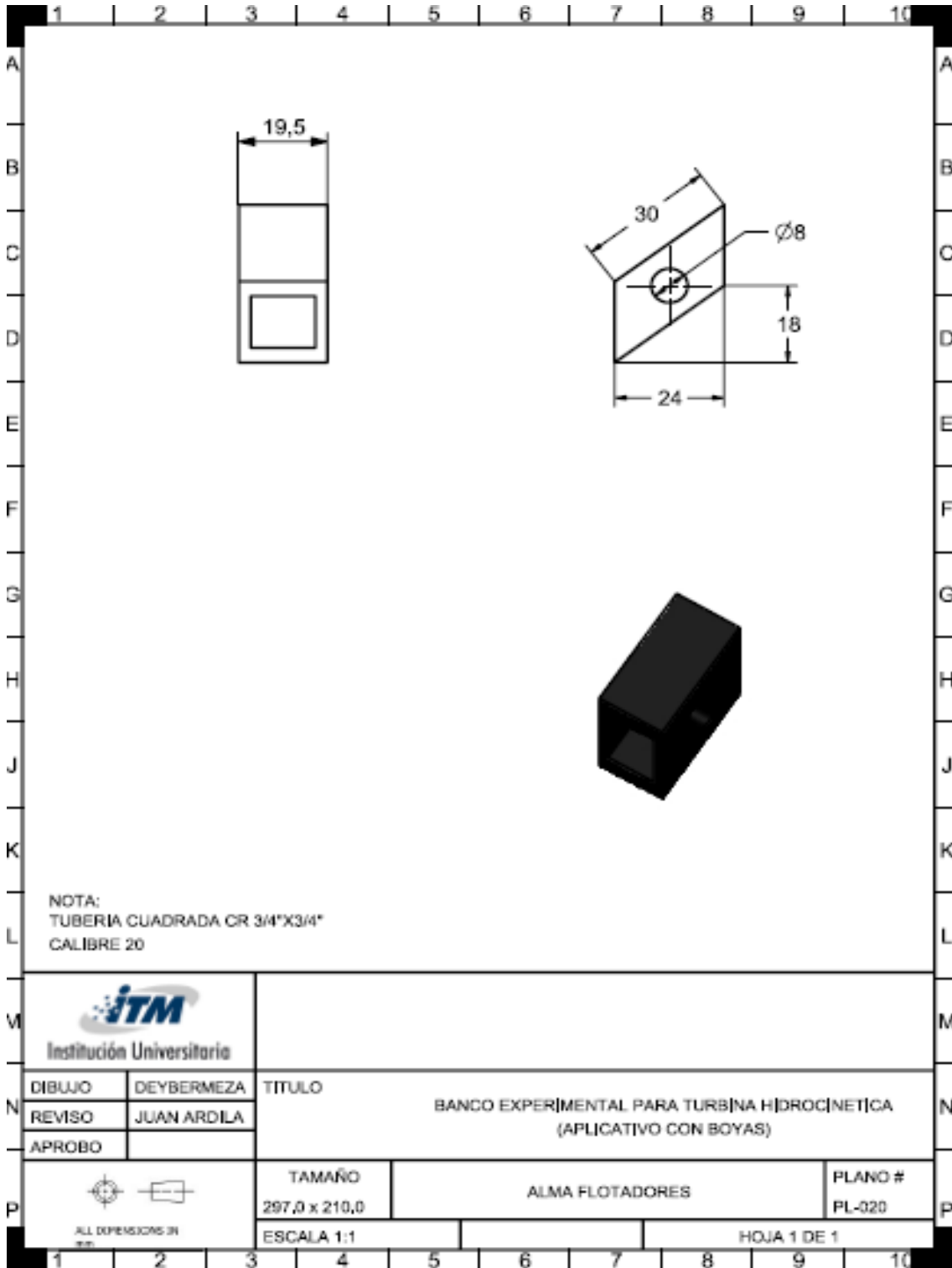


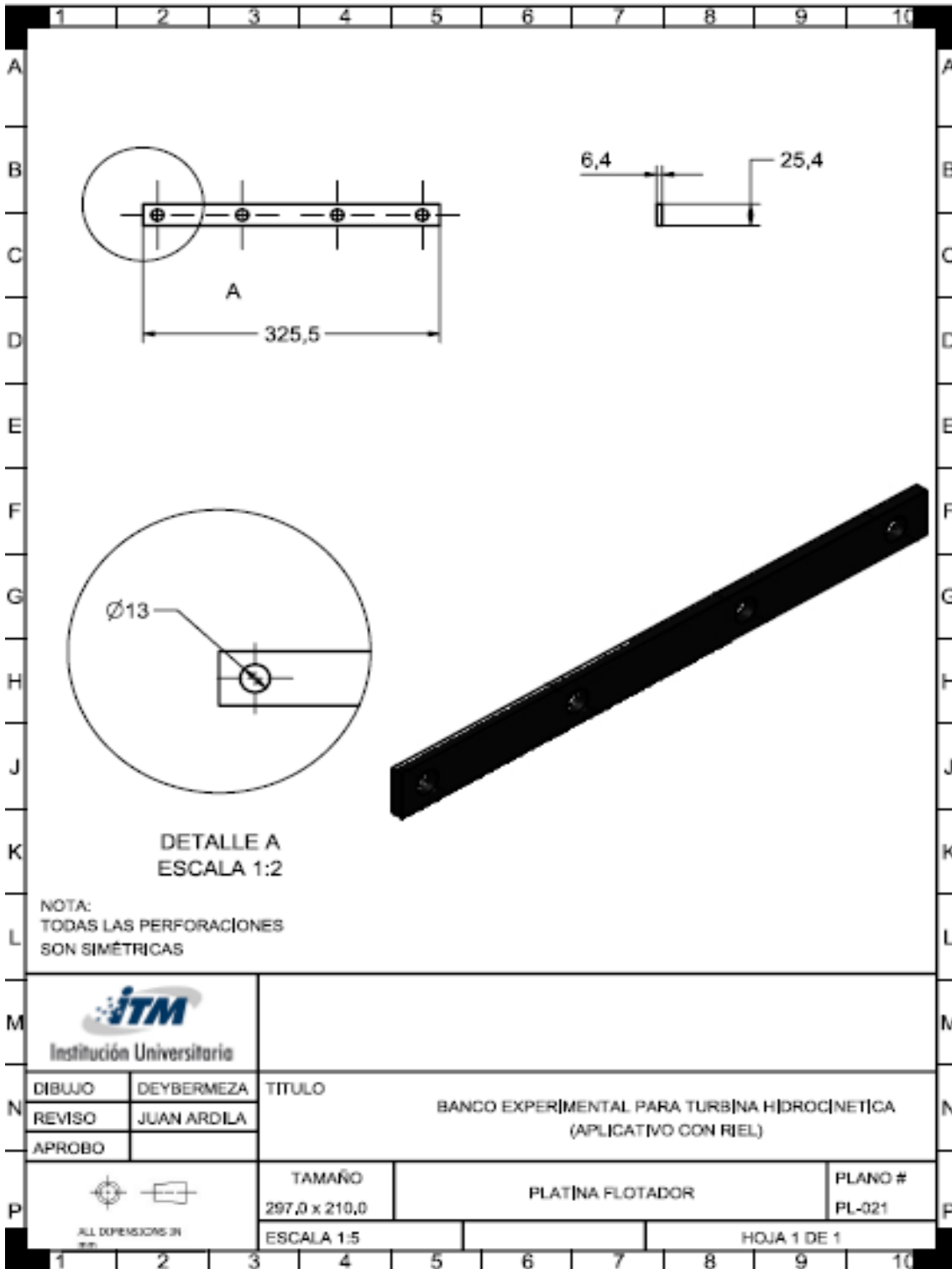


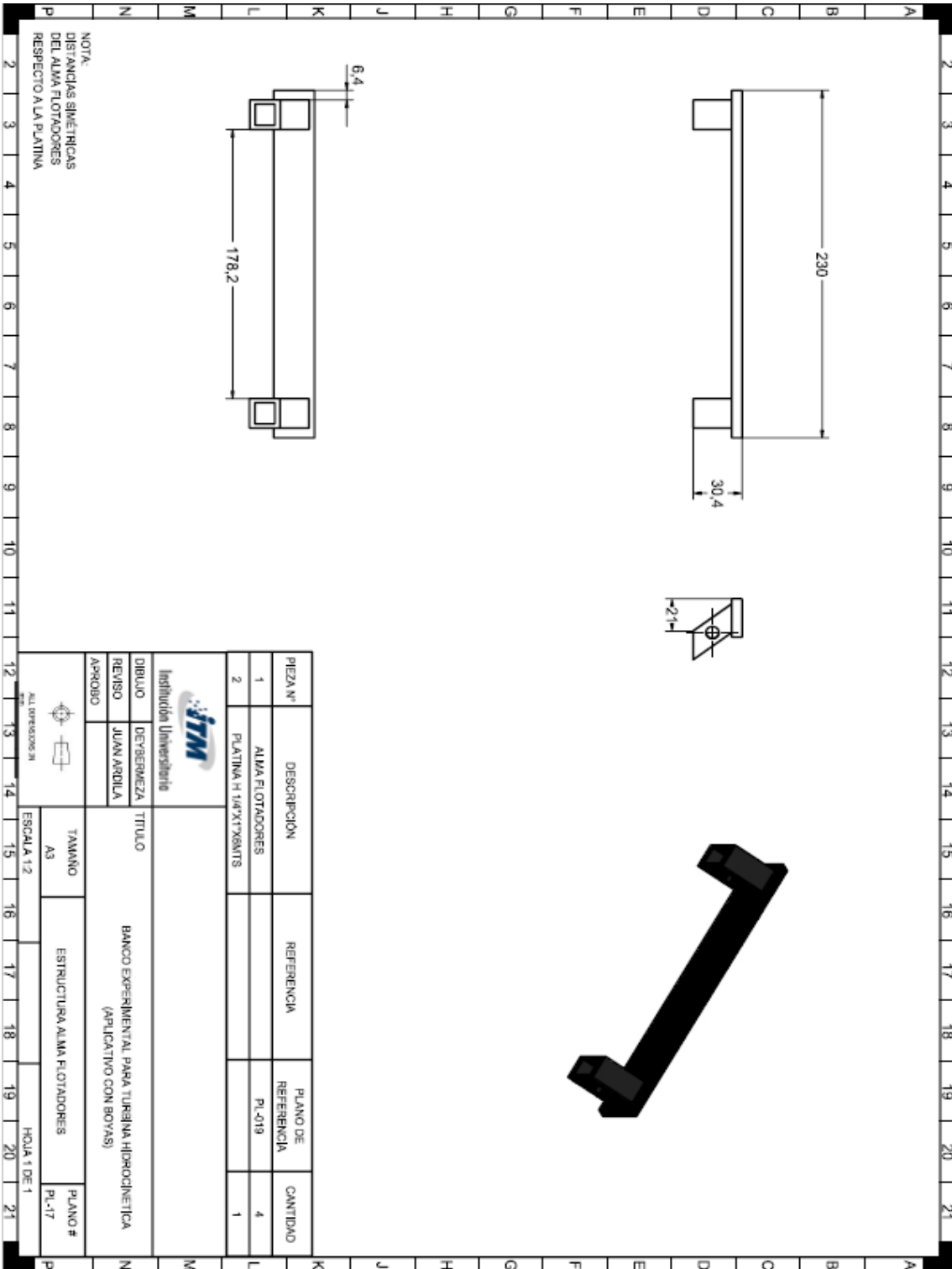


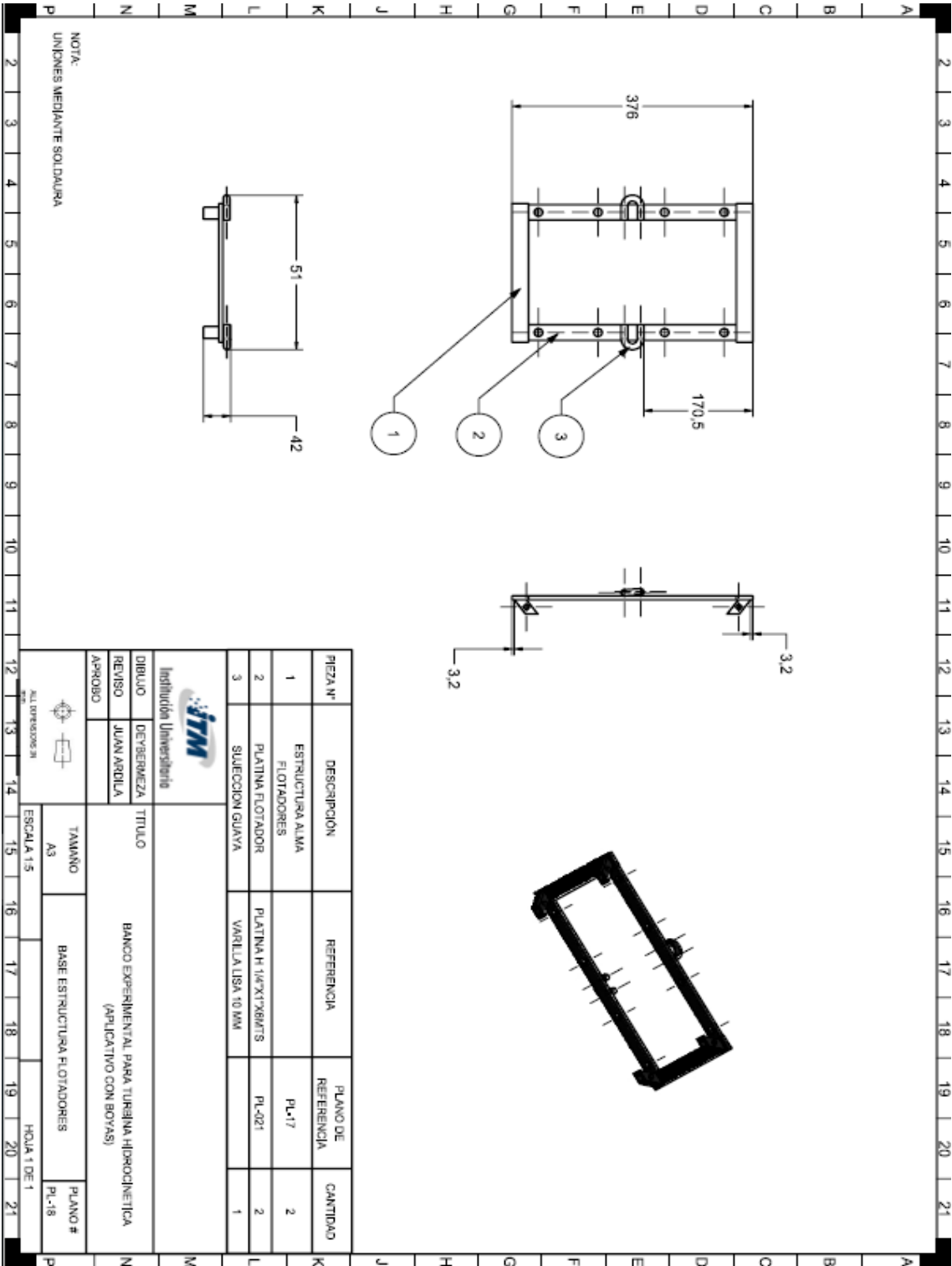


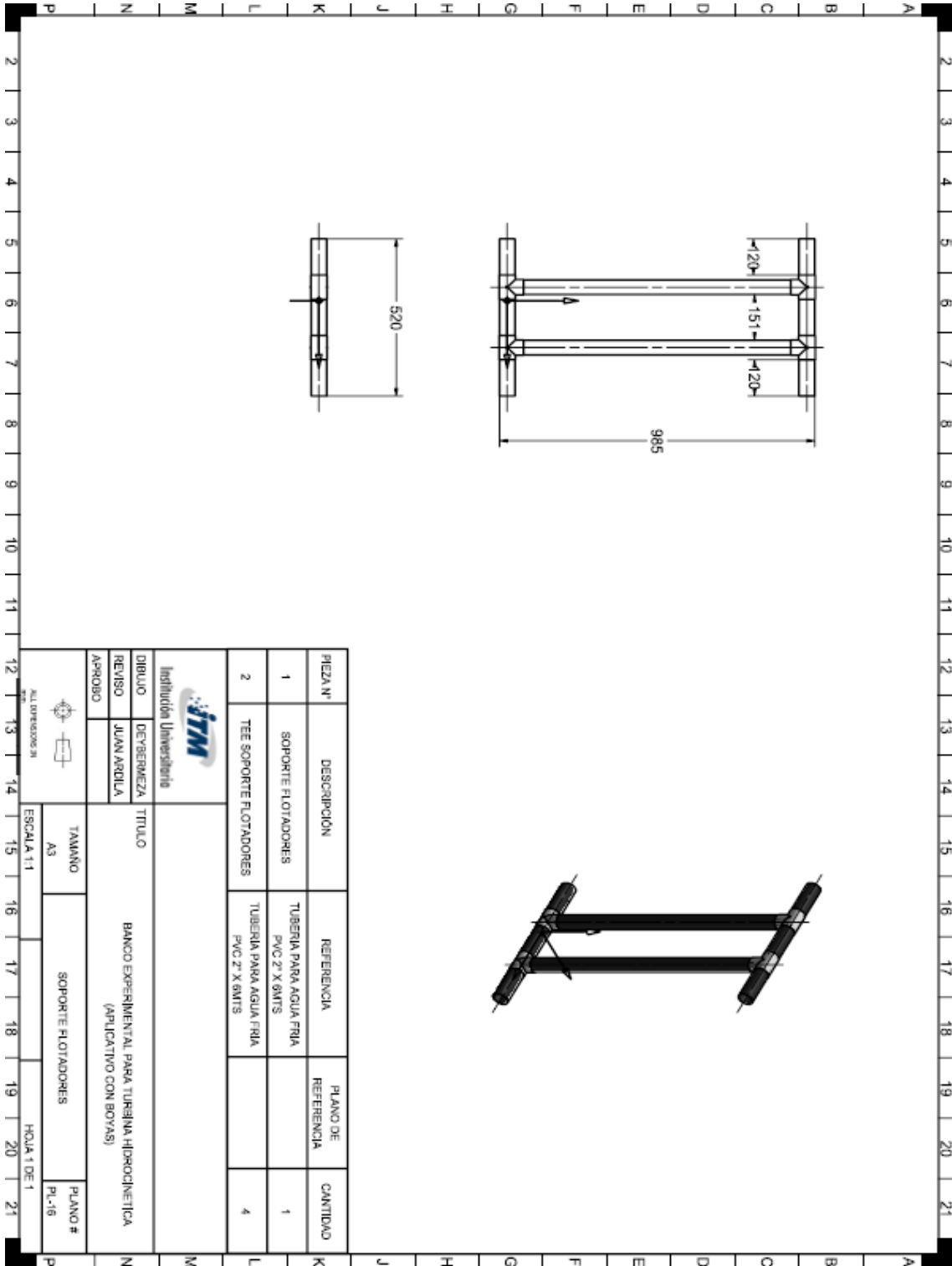


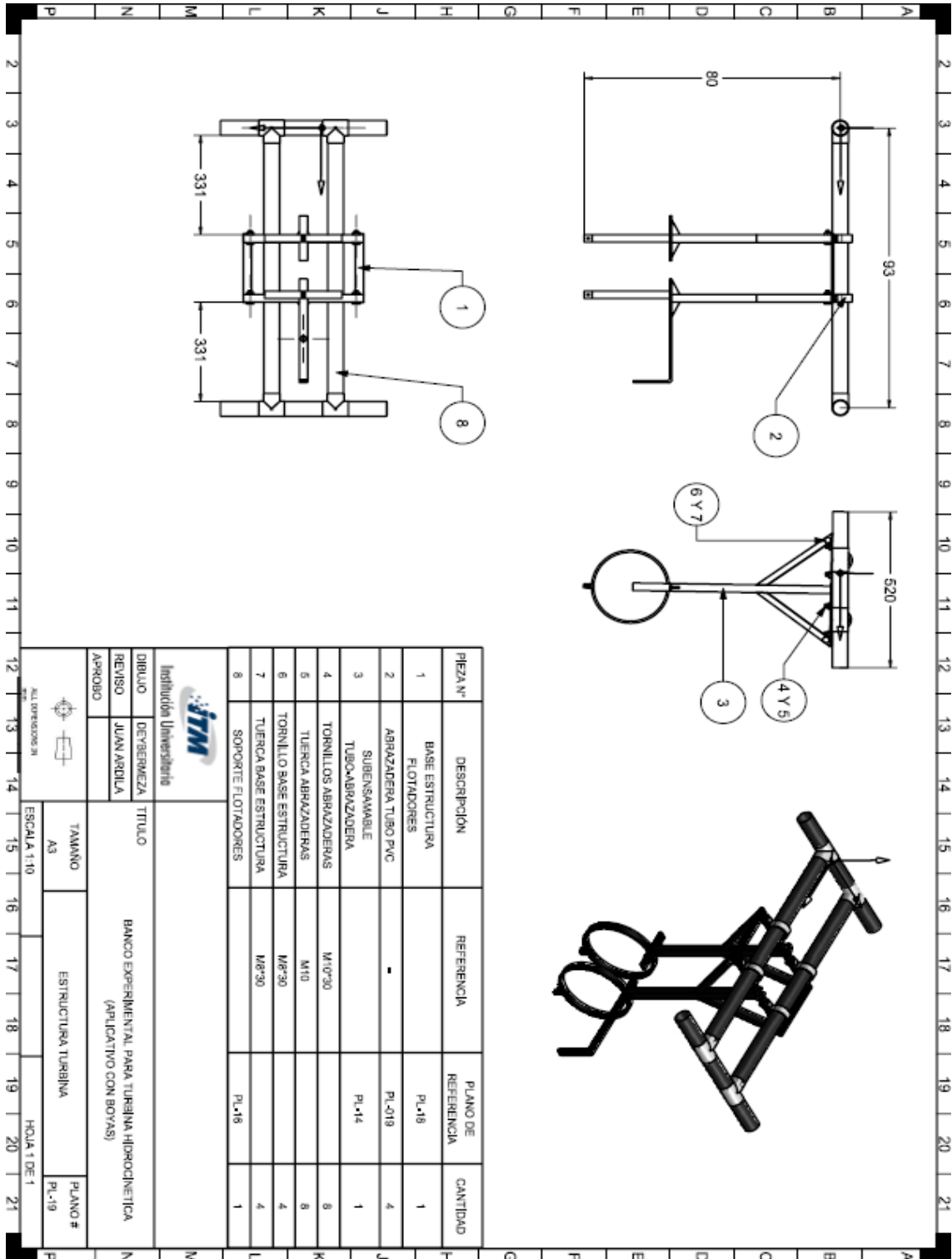


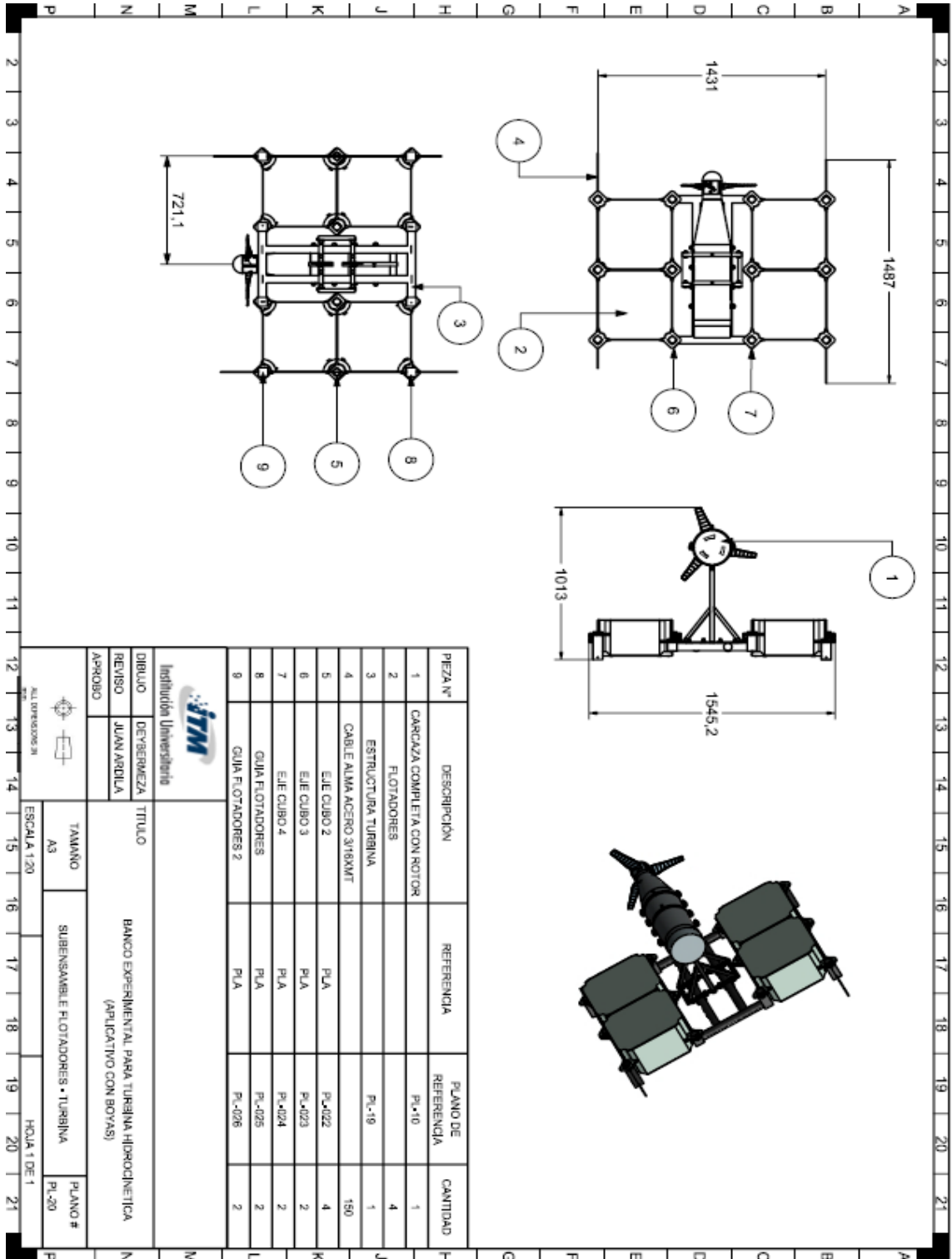




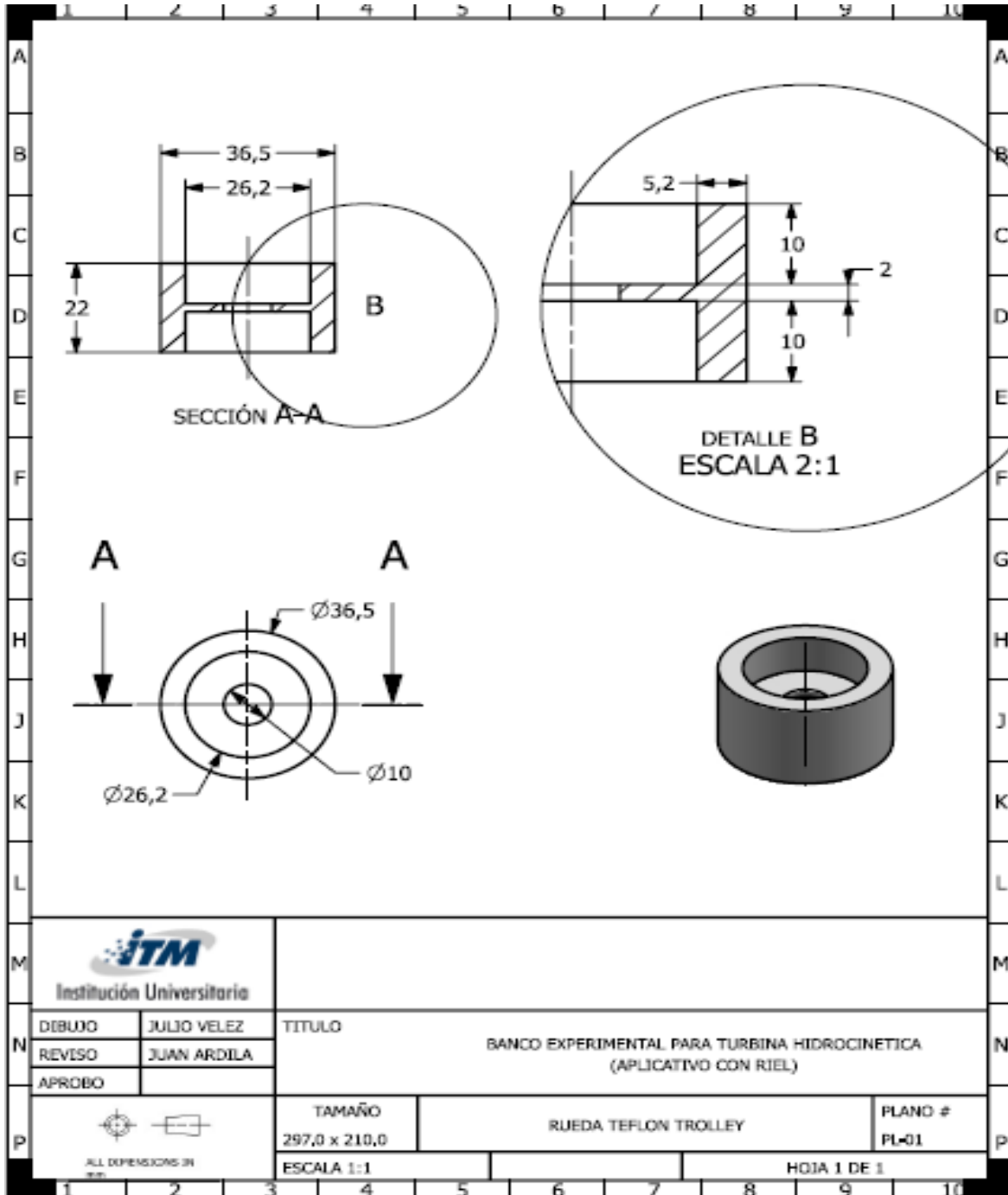


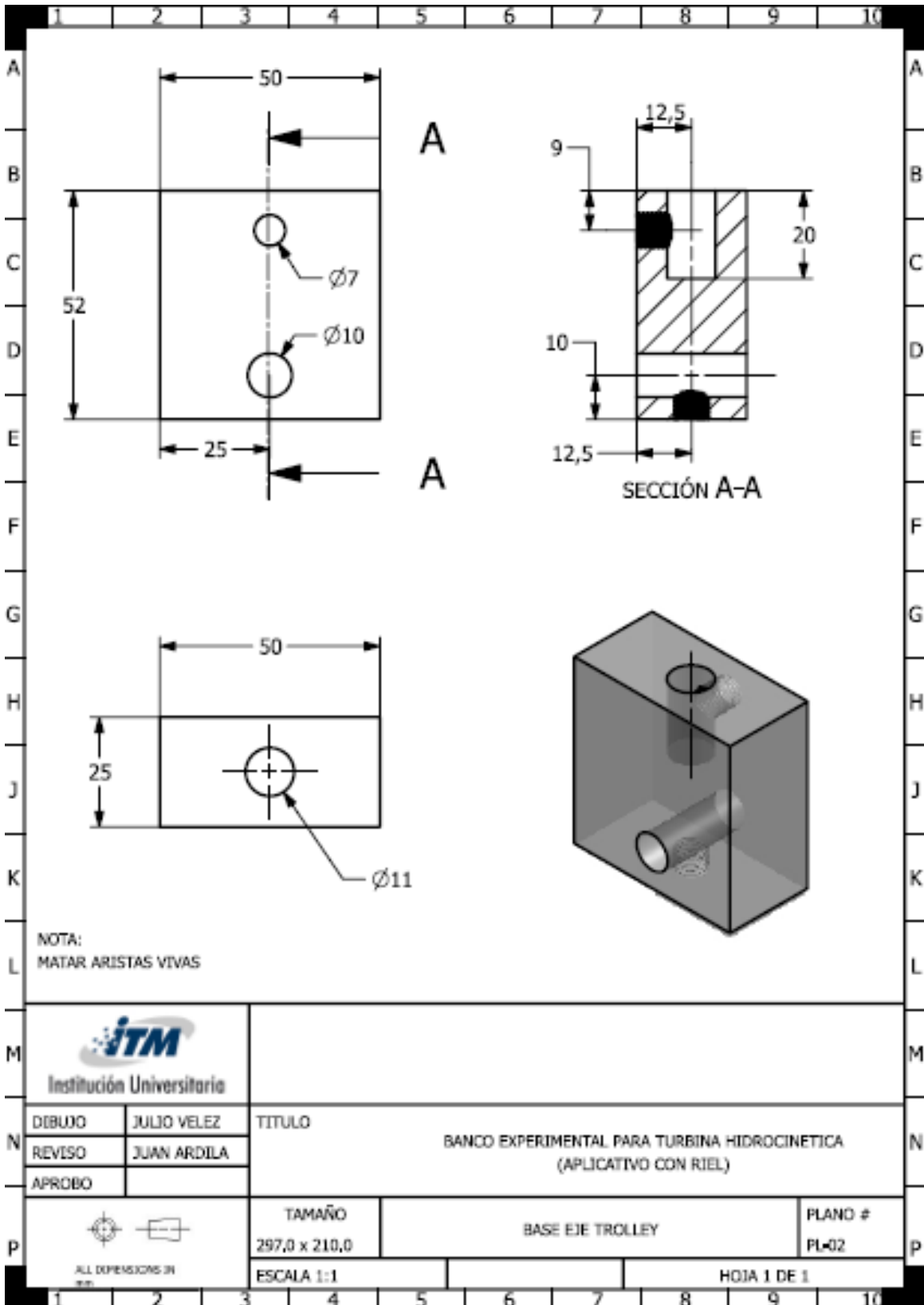




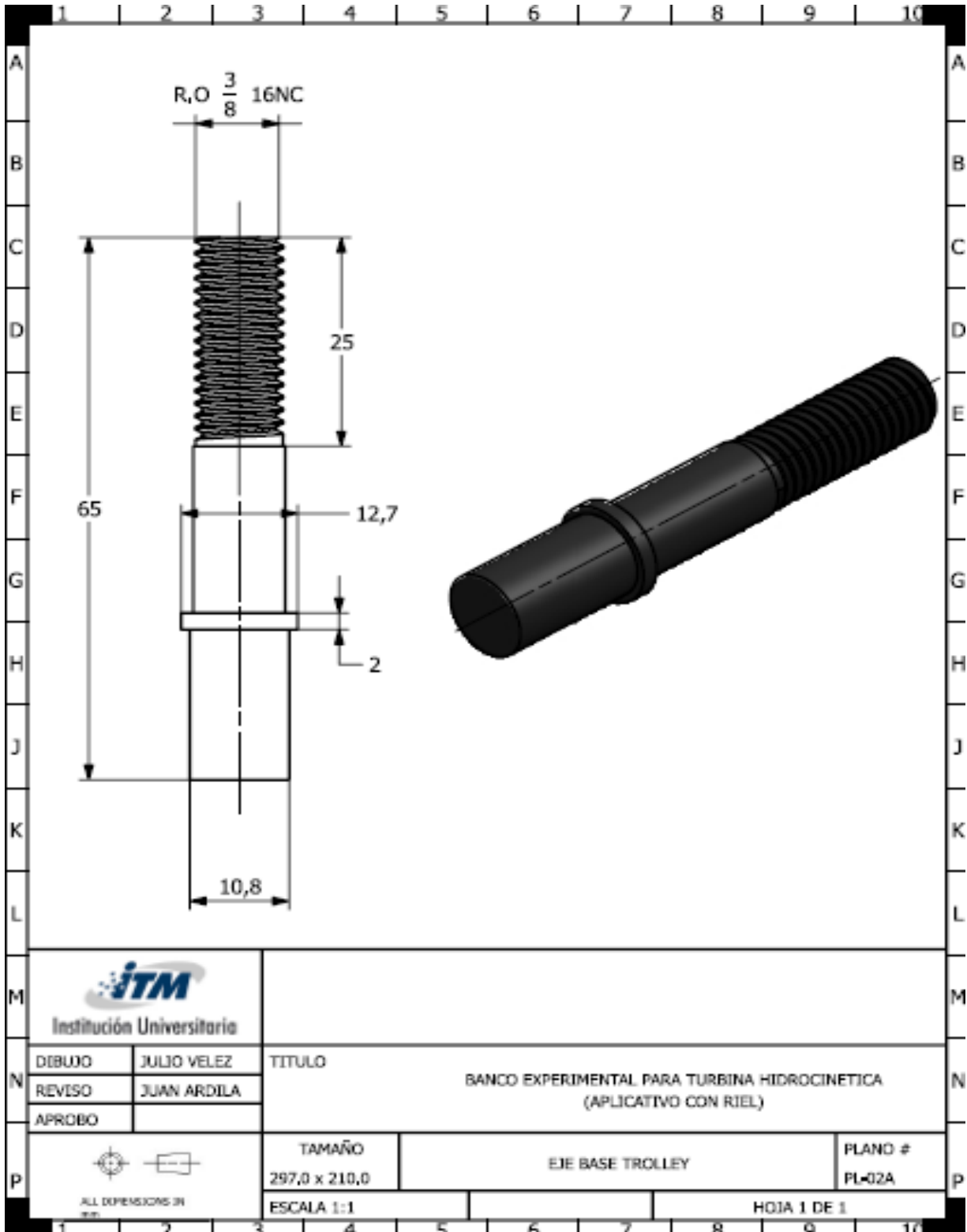


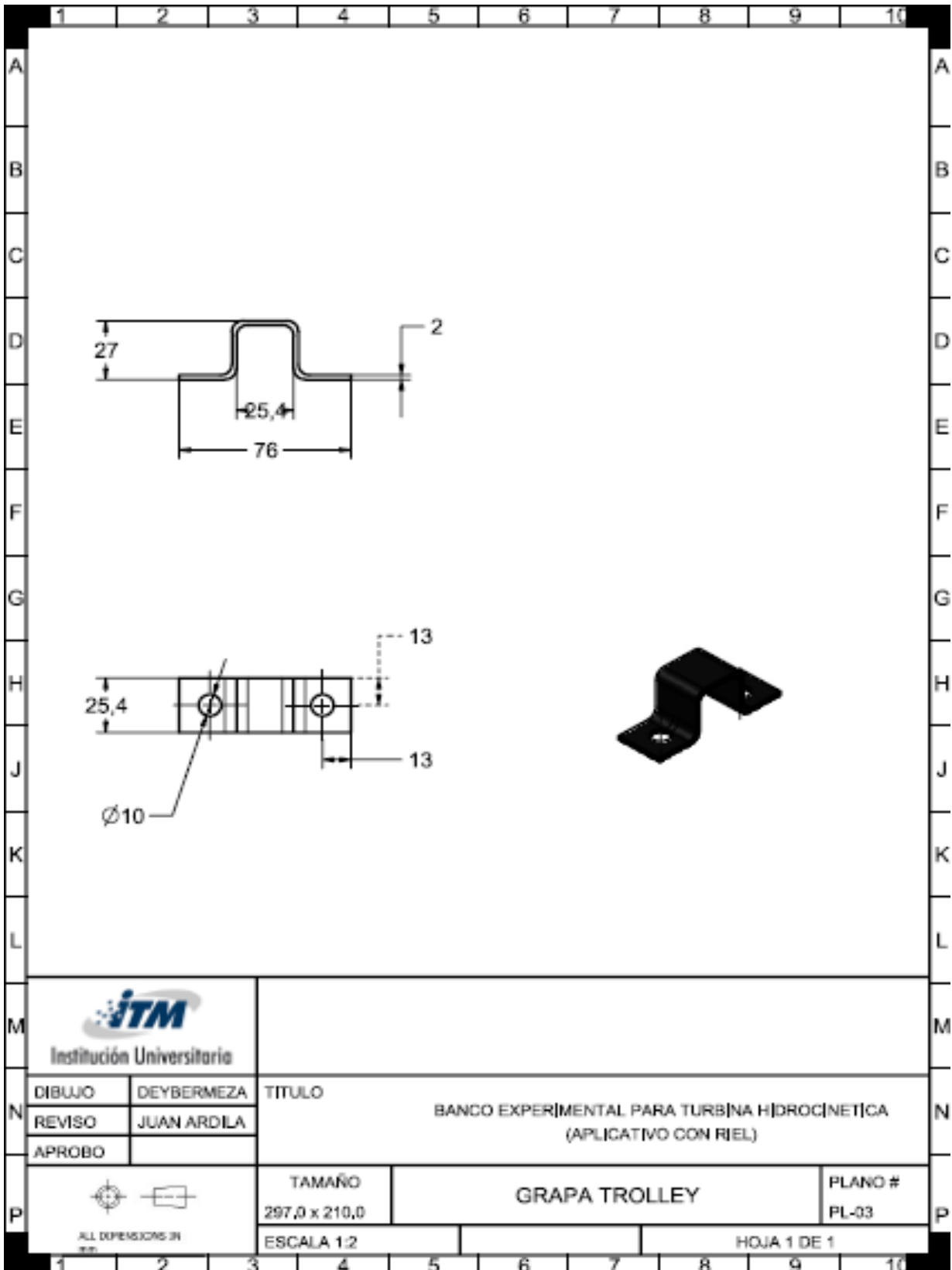
9. PLANOS MODIFICADOS SEGÚN LOS REAJUSTES DE LOS DISEÑOS

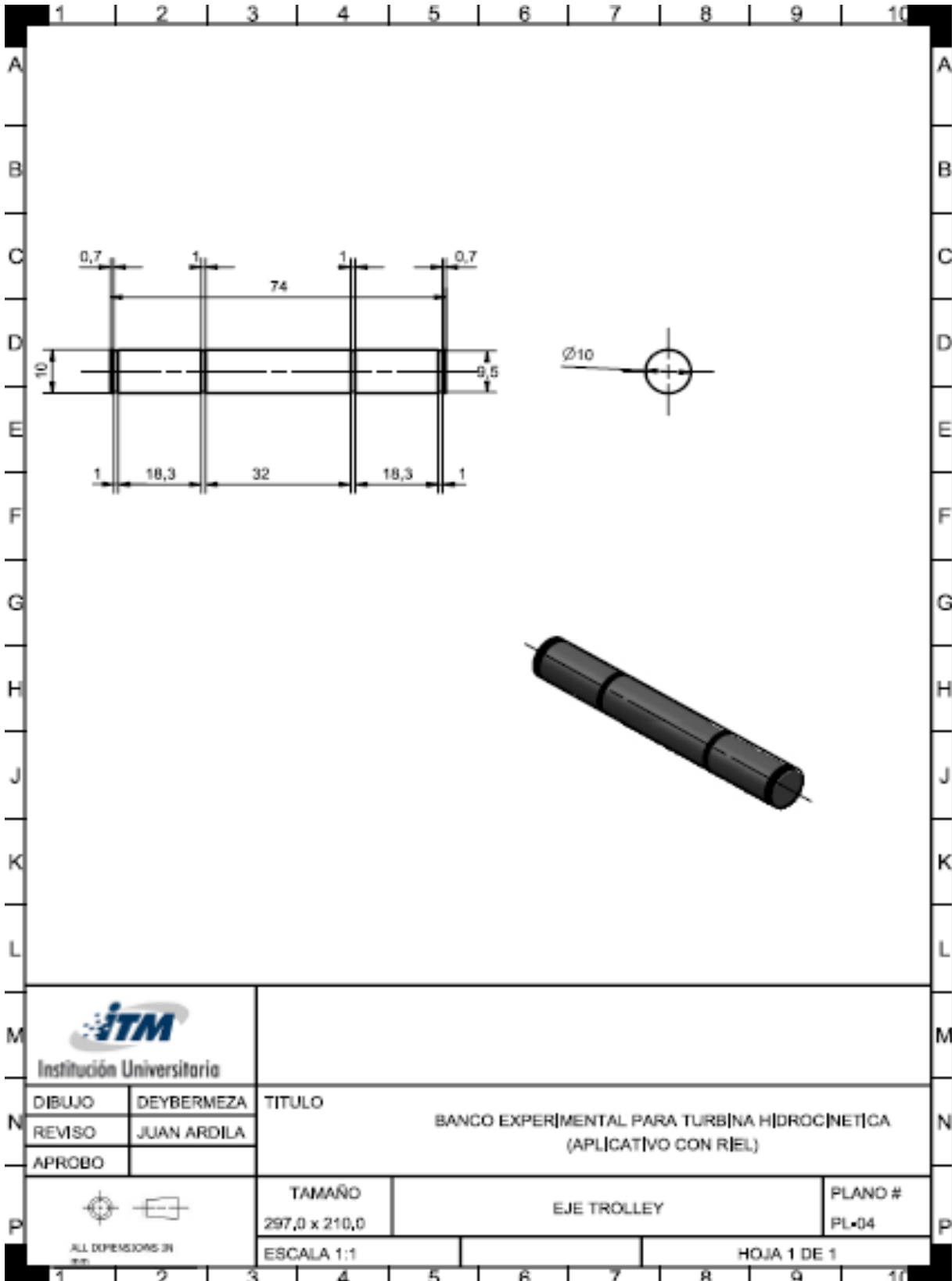


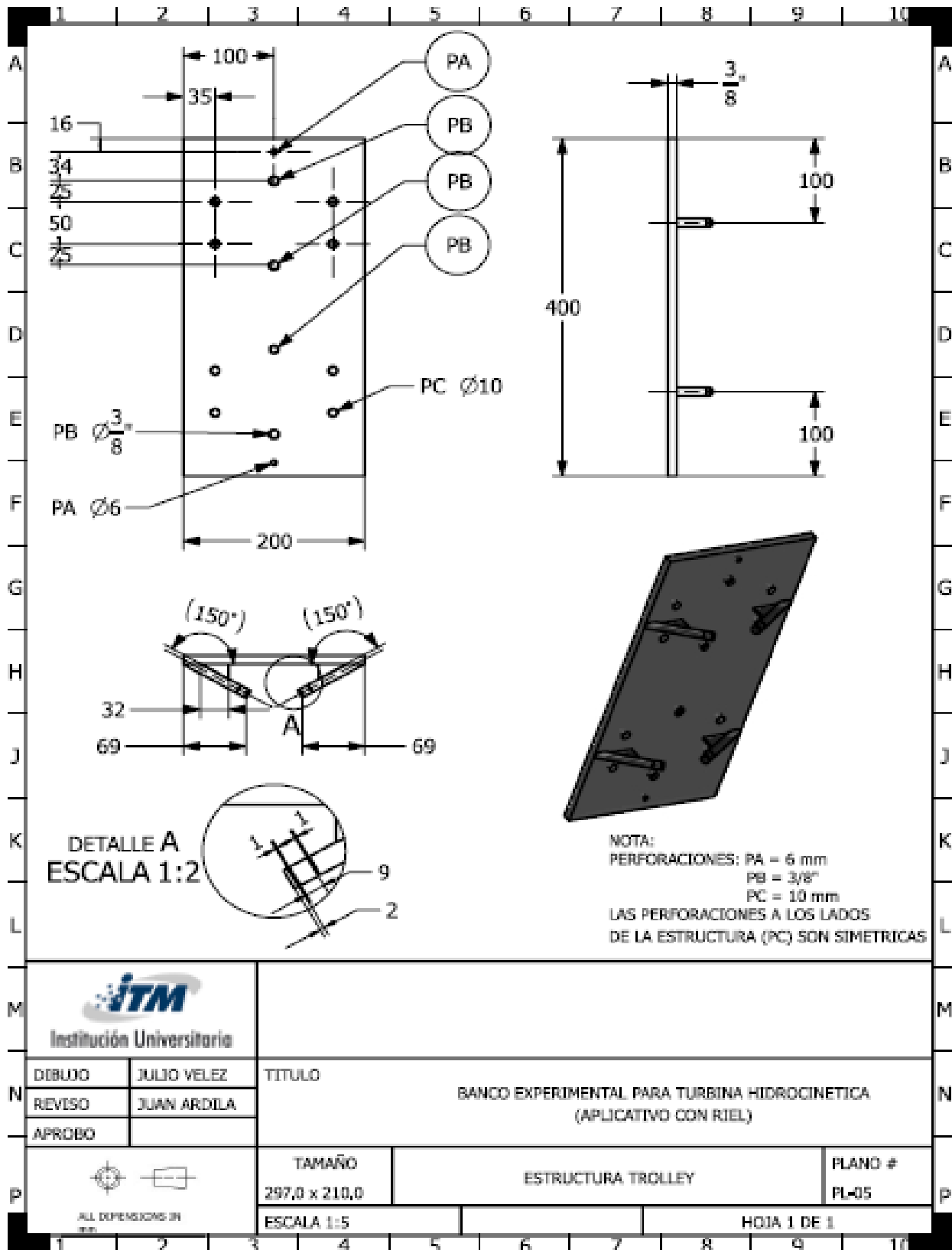


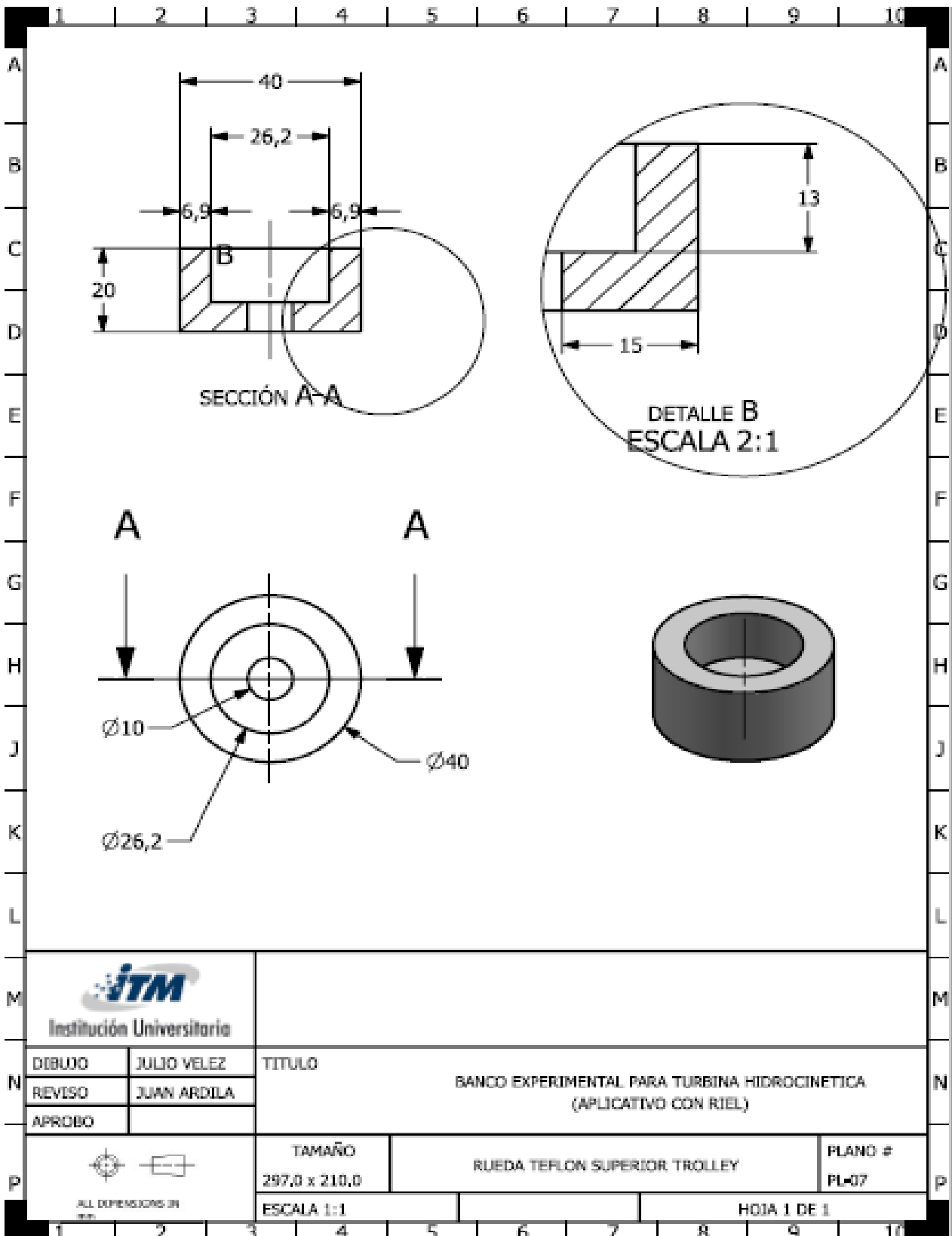
 Institución Universitaria				
DIBUJO	JULIO VELEZ	TITULO		
REVISO	JUAN ARDILA	BANCO EXPERIMENTAL PARA TURBINA HIDROKINETICA (APLICATIVO CON RIEL)		
APROBO				
 ALL DIMENSIONS IN MM	TAMAÑO	BASE EJE TROLLEY		PLANO #
	297,0 x 210,0			PL-02
ESCALA 1:1		HOJA 1 DE 1		

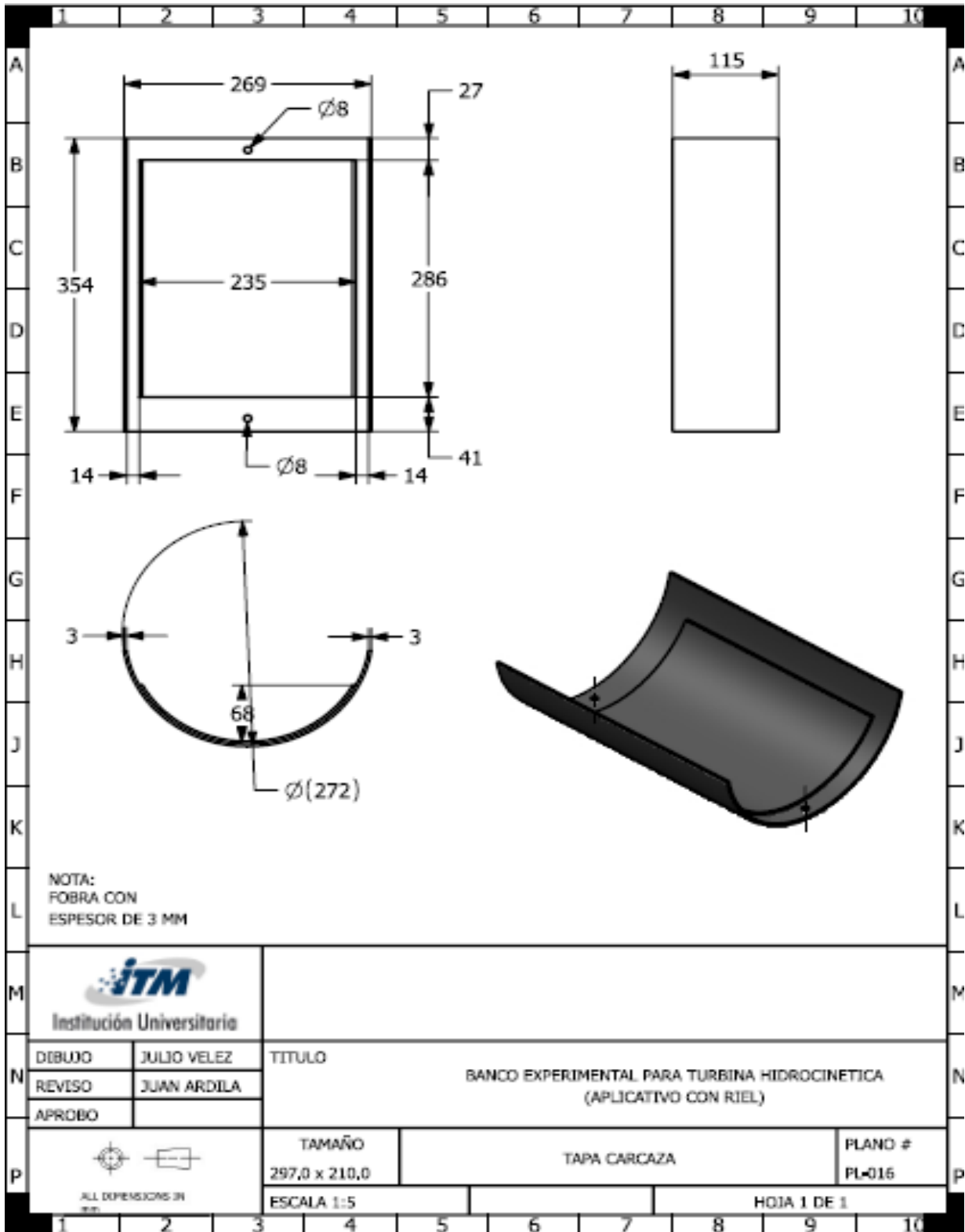


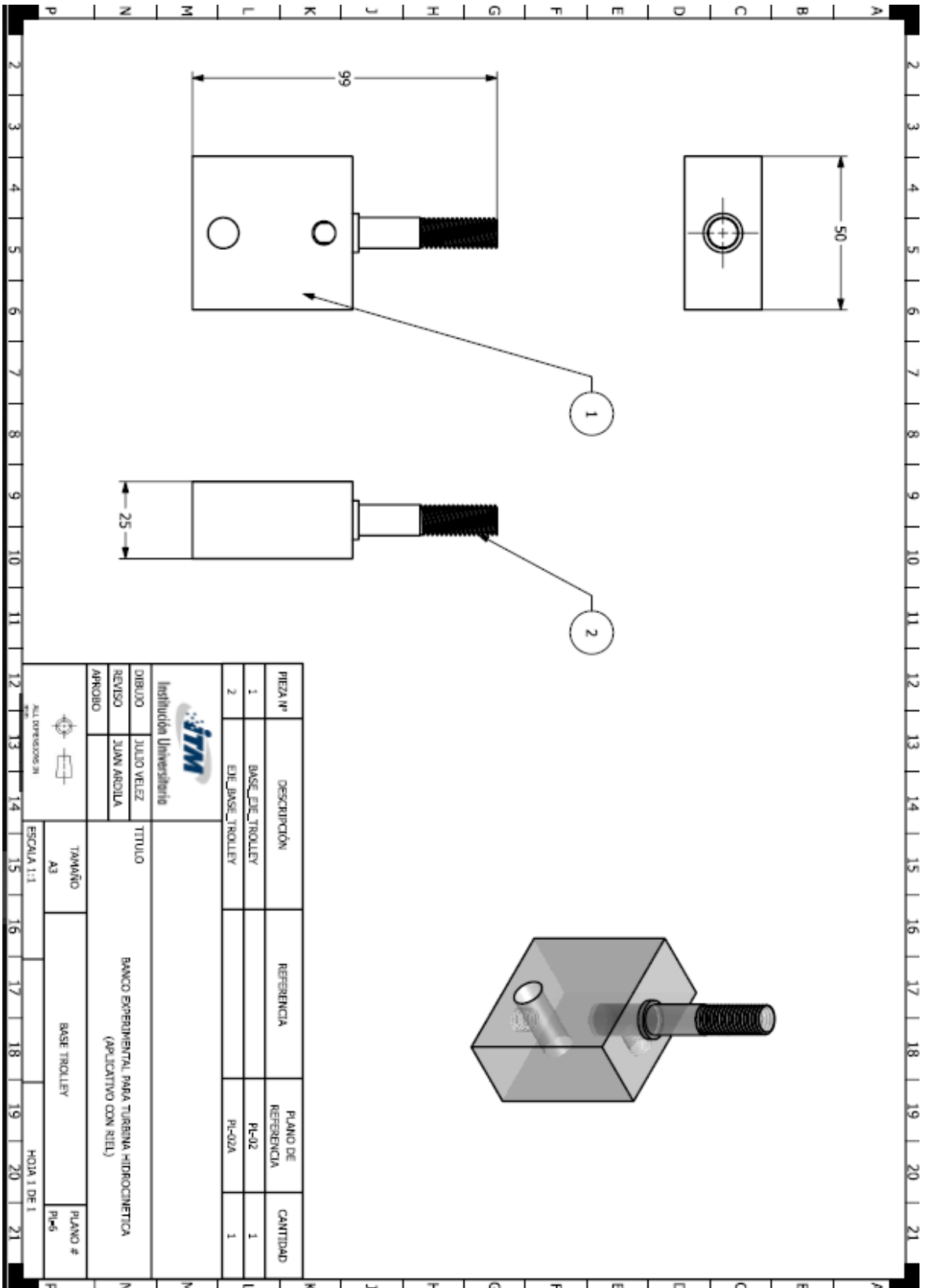


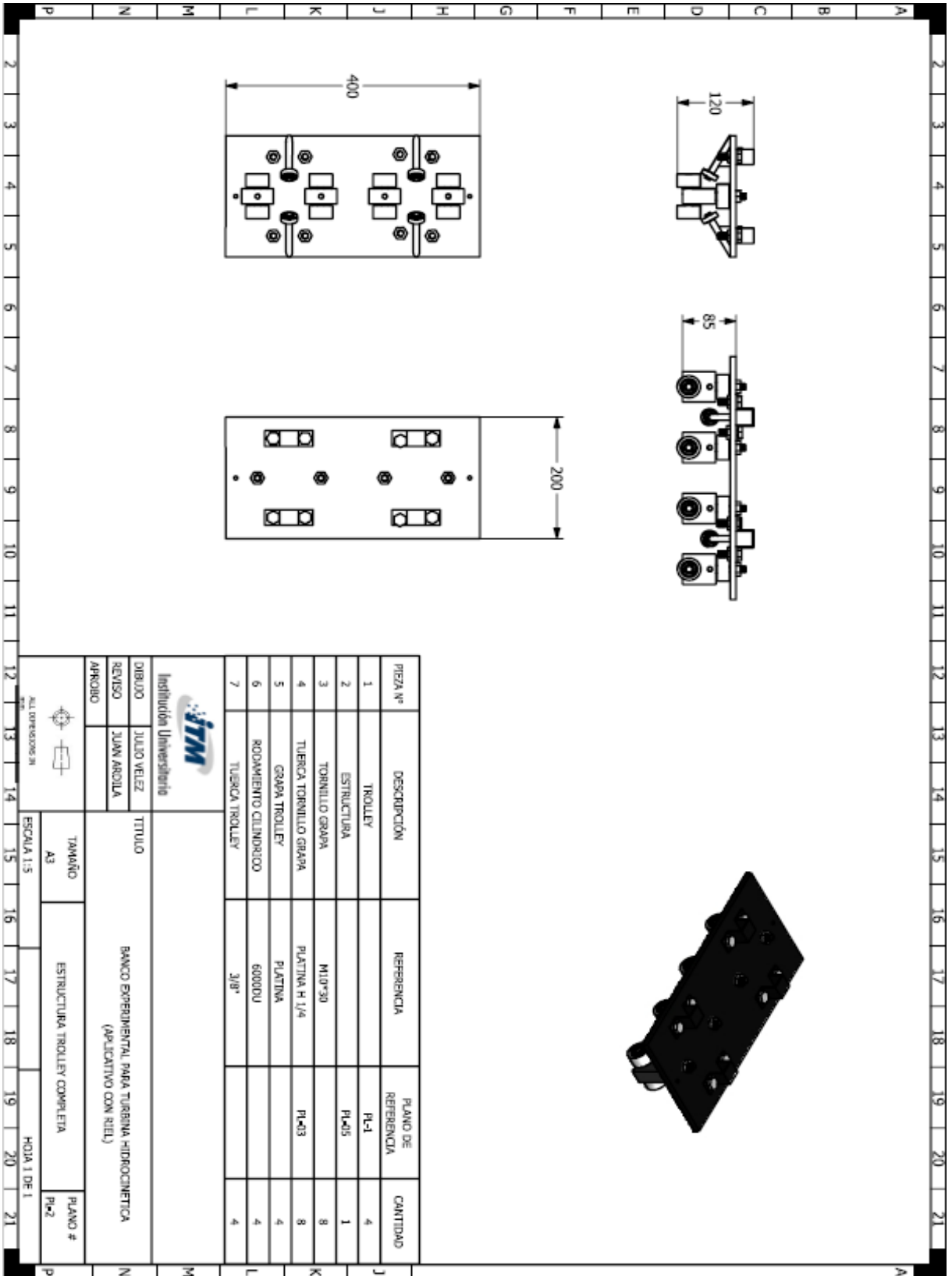


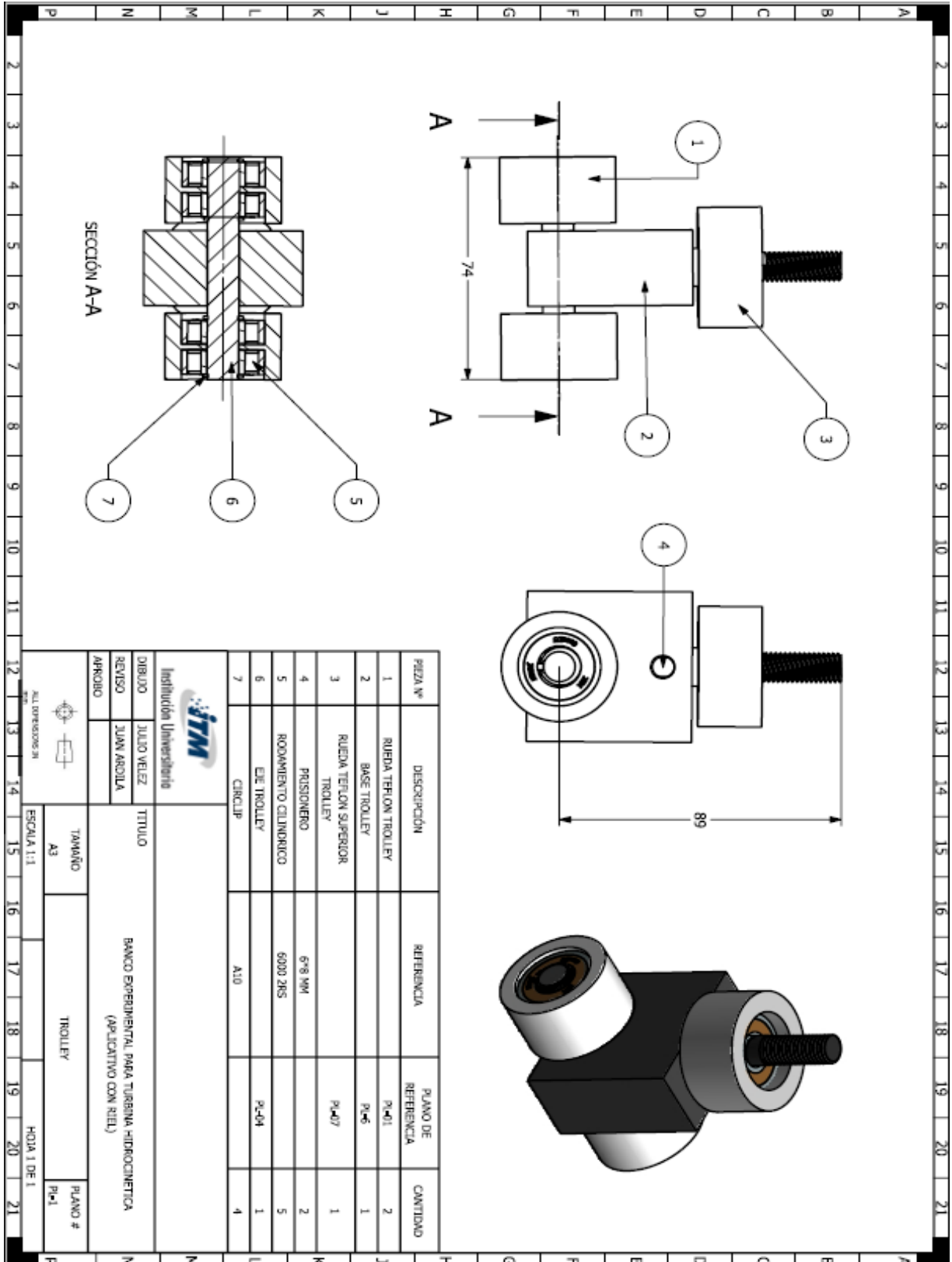


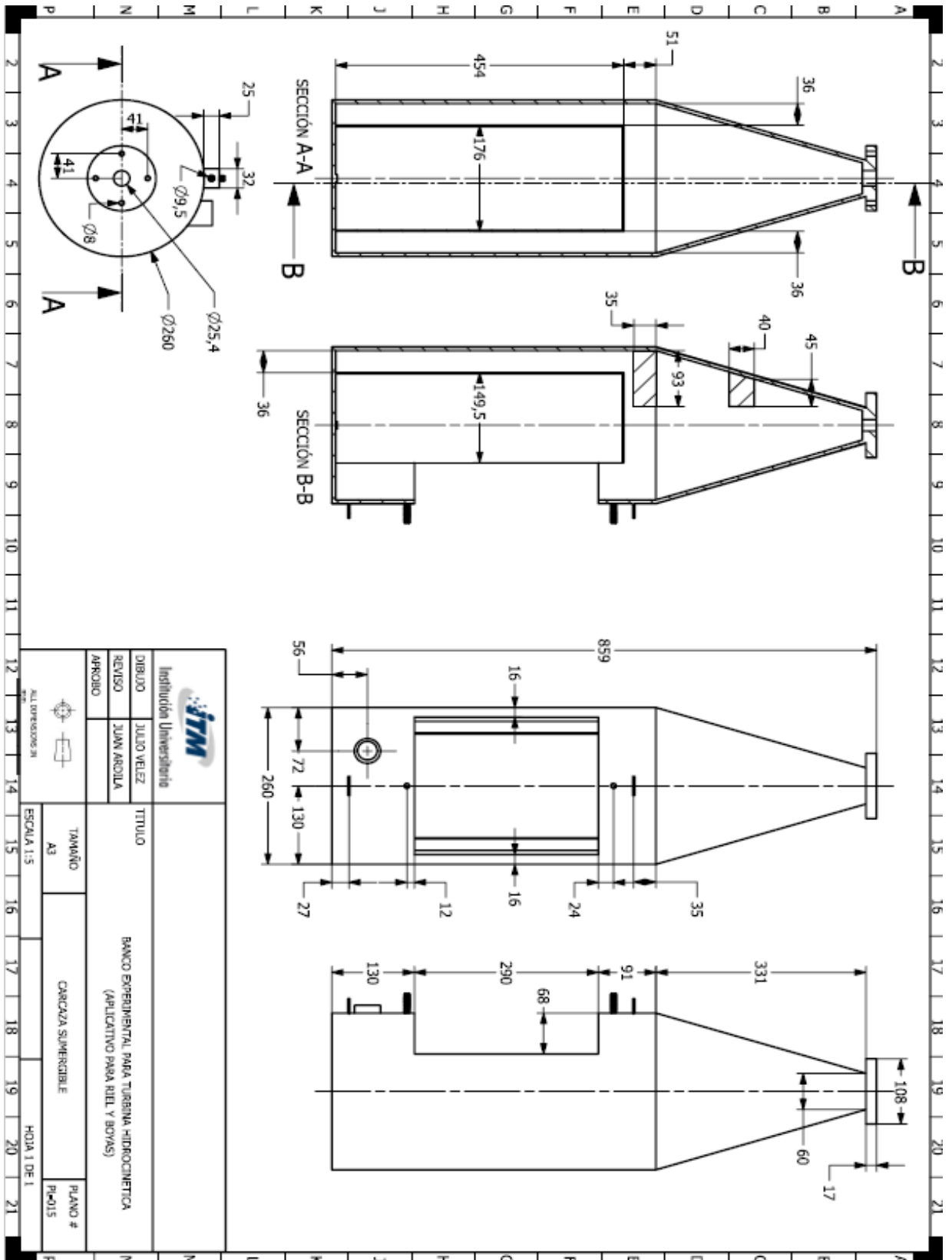


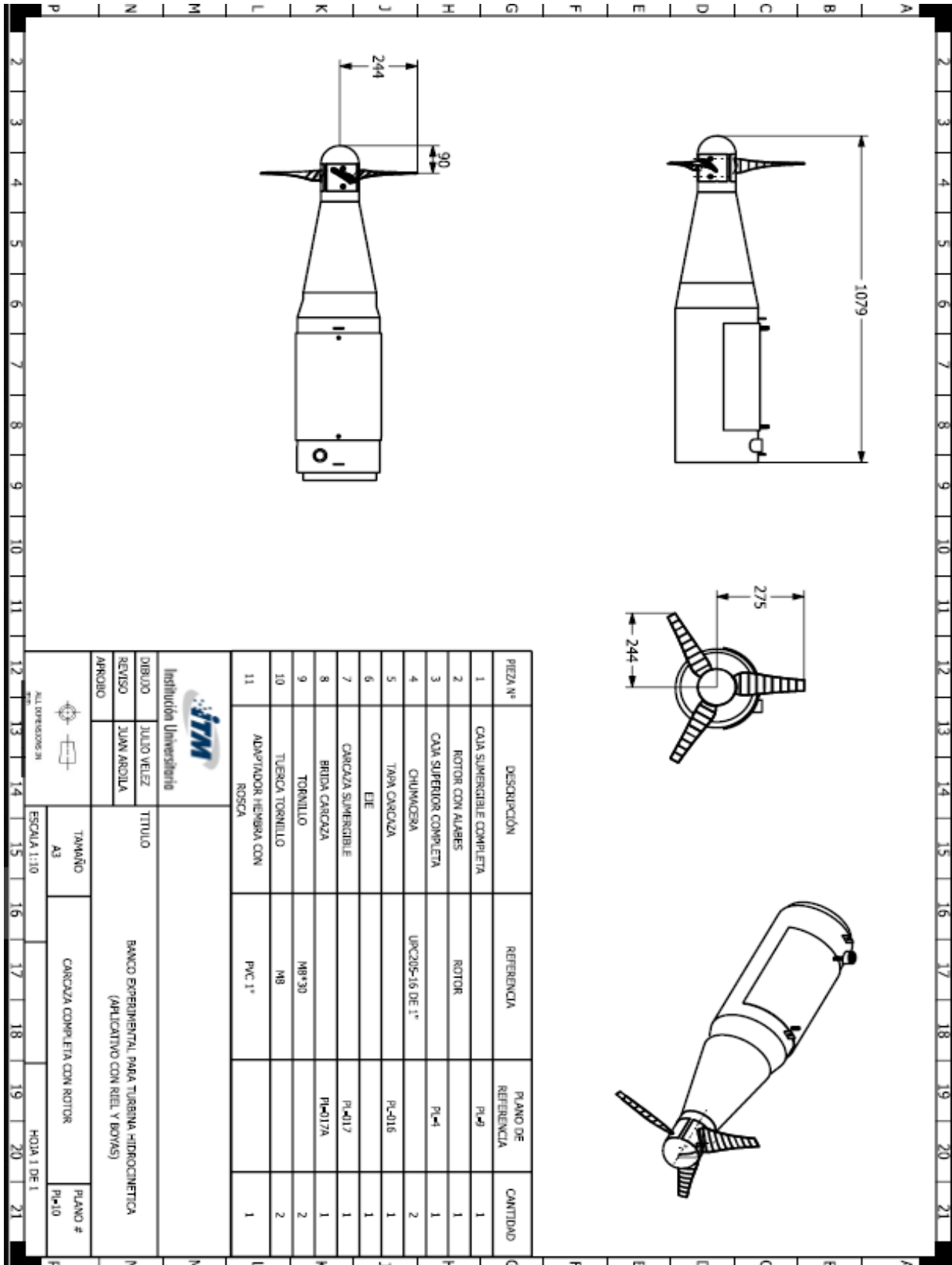


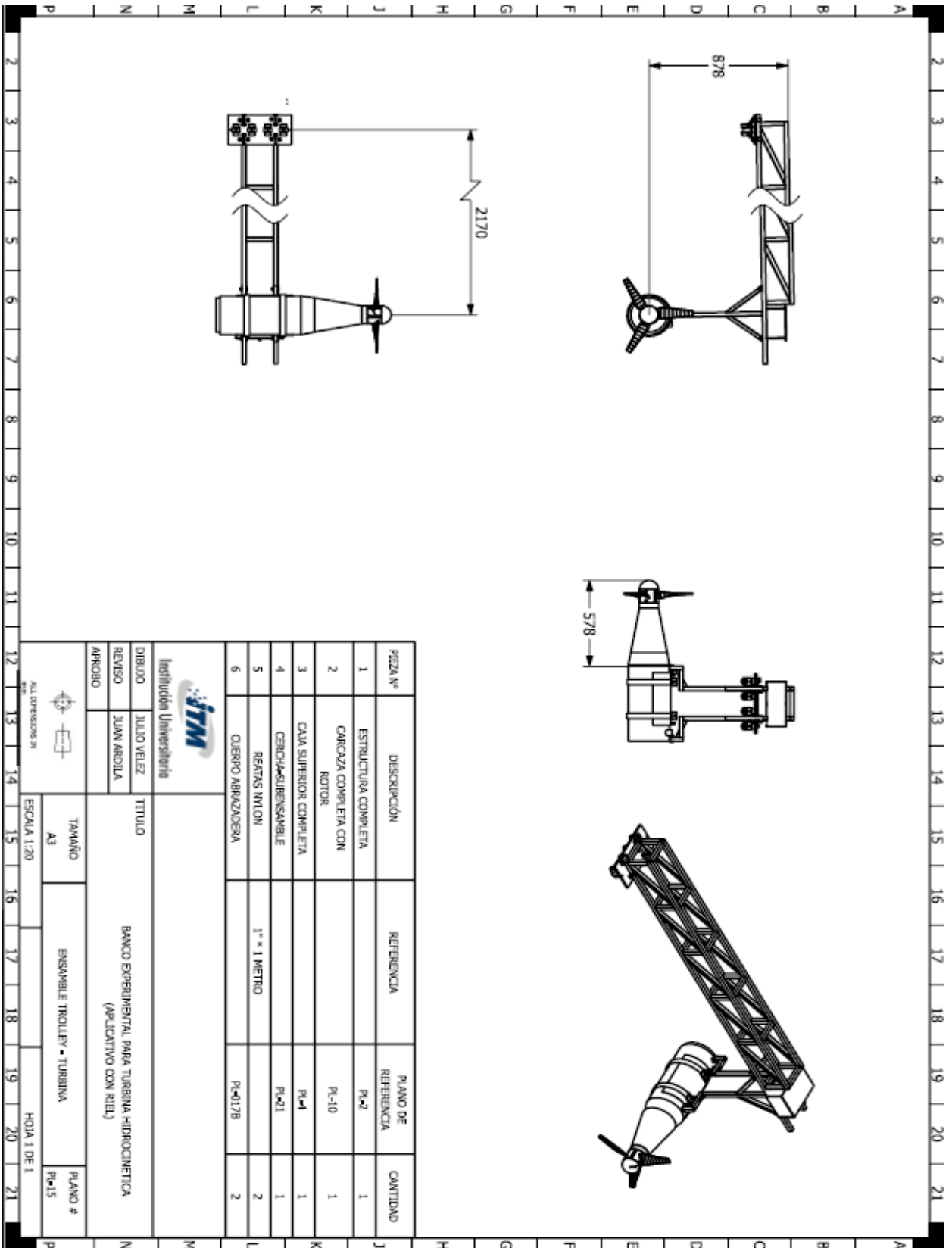













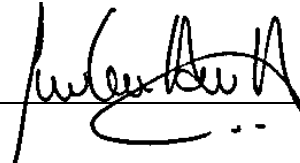


 Institución Universitaria		TÍTULO BANCO EXPERIMENTAL PARA TURBINA HIDROKINETICA (APLICATIVO CON RIEL)	
DIBUJO	JULIO VELEZ	TAMAÑO	A3
REVISO	JUAN ARDILLA	ENSAMBLE TROLLEY - TURBINA	PI-15
APROBADO		ESCALA 1:20	HOJA 1 DE 1
ALL OPERATIONS IN 			

FIRMA ESTUDIANTE _____



FIRMA ASESOR _____



FECHA ENTREGA: 09/08/2019 entrega informe final APROBADO

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO ___

ACEPTADO ___

ACEPTADO CON MODIFICACIONES ___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____