

Diseño y Construcción de un Túnel Aerodinámico Para la Calibración de Anemómetros

Hiram A. Barquet, Claudio I. Priori

Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional Tierra del Fuego

Ingeniería Industrial

Ing. Hugo G. Bonifacini

14/11/2023

Declaración

Yo, Hiram Augusto Barquet, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Yo, Claudio Ignacio Priori, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Nacional, y la Facultad Regional Tierra del Fuego, pueden hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Hiram Augusto Barquet

DNI 35913957

Claudio Ignacio Priori

DNI 33484108

Certificación de Autoría

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los alumnos Hiram Augusto Barquet y Claudio Ignacio Priori, bajo mi dirección y supervisión.

Ing. Hugo Bonifacini

DNI 21699250

Auspicio

La presente investigación contó con el auspicio financiero del proyecto “Diseño y construcción de un túnel aerodinámico para la calibración de anemómetros”, que se ejecuta en el Centro de Desarrollo Tecnológico Tierra del Fuego.

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento principalmente a mi esposa y acompañante incondicional, Nancy Vergara, por haberme apoyado e impulsado incansablemente desde el inicio de mi carrera, siendo el pilar fundamental en mi vida, al haber estado presente en cada uno de mis logros y en los momentos que más lo necesité, hasta llegar a cumplir con mi meta académica.

A mis padres y hermanos, que de una u otra forma siempre estuvieron guiándome y motivando para seguir adelante, y fueron testigos del proceso que recorrí hasta el día de hoy. Fueron ellos quienes siempre depositaron su confianza en mí.

A mi compañero y colega Claudio, por la amistad que nos une desde hace varios años, y con quien compartimos cursada. Es también impulsor del proyecto, ya que sin su insistencia en los momentos claves, el proyecto quizás aún no hubiese visto luz.

A la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Tierra del Fuego, por brindarnos desde cada lugar el cobijo que el estudiante necesita para crecer profesionalmente, y propiciando siempre ser buenas personas, virtud que se adquiere rodeándose de excelentes docentes.

A los Ing. Omar V. Duarte e Ing. Aníbal F. Vallejo, docentes que marcaron fuertemente mi formación, y a los que considero verdaderos amigos de la vida. Su apoyo inalcanzable y predisposición para siempre colaborar evidencia su profesionalidad y calidad de persona.

Al Ing. Hugo G. Bonifacini, docente de Proyecto Final y Gerente del CENTEC TDF, por poner su confianza en nuestra capacidad y permitirnos ejecutar este innovador proyecto que satisface una necesidad real al mercado local. También a los Ing. Fernando Rodríguez e Ing. Alejandro Terrado por acompañarnos en los aspectos relacionados al diseño y procedimental.

A los Ing. Marcelo I. Adotti de IMIT, (CONICET- UNNE, FaCENA), e Ing. Pablo Bahamonde y al Lic. Adolfo Samela de la UTN Facultad Regional Santa Cruz, por brindarnos asesoría técnica y consideraciones a tener en cuenta al momento diseñar y caracterizar el túnel.

Y a cada una de las personas que de una u otra forma intervino en mi tránsito académico.

Hiram Augusto Barquet

Quiero expresar mi agradecimiento a mis padres y familiares, por haber estado junto a mí brindándome su apoyo, tiempo, cariño y preocupación durante todo este proceso académico y personal.

A mi esposa Valle y mi hija Guillermina que estuvieron a mi lado en el desarrollo de este proyecto, dándome ánimo, entregándome su tiempo y cariño.

A mi amigo y compañero Hiram por todos los momentos que compartimos durante toda nuestra vida universitaria.

Un sincero agradecimiento a la Universidad Tecnológica Nacional, la Facultad Regional Tierra del Fuego y su grupo de profesionales por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente, por infundirme todo su conocimiento y por toda la paciencia, por no solo enseñarme la materia sino también por enseñarme a ser una mejor persona.

Al CENTEC, por creer en nosotros, en este proyecto, en especial al Ing. Hugo Bonifacini por su ayuda y paciencia.

A todas las personas que formaron parte de esta meta.

Claudio Ignacio Priori

Resumen

Se diseñó y construyó un túnel aerodinámico subsónico con la finalidad de utilizarse como medio en la calibración de anemómetros, proceso realizado en el CENTEC Tierra del Fuego. La premisa del proyecto fue reducir los costos, en la medida que fuera posible, sin dejar de lado las características solicitadas para el túnel. De allí se definieron los siguientes objetivos: diseñar, construir, montar, controlar y caracterizar el túnel aerodinámico, y luego establecer un procedimiento y un formulario para la calibración de los anemómetros. El diseño fue realizado en software de diseño CAD 3D SolidWorks, la construcción de sus partes por proveedor local, el montaje realizado por alumnos, control mediante variador de frecuencia y caracterización utilizando el instrumento patrón con el que cuenta el centro tecnológico. El procedimiento de calibración se elaboró siguiendo las directivas de la norma IEC 61400-12-1, y el formulario según requisitos establecidos por el jefe de Laboratorios del CENTEC.

Palabras Claves: Túnel de viento, anemómetro, calibración, CENTEC, aerodinámica, desarrollo local

Índice de Contenido

Declaración	2
Certificación de Autoría.....	3
Auspicio	3
Agradecimientos	3
Resumen.....	6
Índice de Contenido	7
CENTEC Tierra del Fuego	9
Misión del CENTEC TDF:	9
Visión del CENTEC TDF:.....	10
Problemática:	11
Túnel Aerodinámico	15
Historia del túnel aerodinámico	15
Principio de funcionamiento.....	16
Tipos de túneles aerodinámicos	16
Túneles aerodinámicos en el mundo.....	17
Túneles aerodinámicos en Argentina.....	19
Anemómetros.....	22
Requisitos del Túnel Aerodinámico.....	25
Análisis de Factibilidad.....	29

Diseño y construcción de un túnel aerodinámico	8
Factibilidad Técnica.....	29
Factibilidad Económica	29
Diseño	30
Listado de Materiales.....	37
Construcción.....	44
Cuadro de costos:.....	46
Pruebas y Puesta a Punto del Equipo.....	48
Ensayos Realizados y Resultados Obtenidos.....	50
Procedimiento y Formulario de Calibración.....	61
Conclusiones.....	62
Recomendaciones	63
Planos.....	64
Referencias.....	78
Bibliografía	78
Páginas Web:	79

CENTEC Tierra del Fuego

El Centro de Desarrollo Tecnológico de Tierra del Fuego (CENTEC TDF), es una asociación civil sin fines de lucro conformada por cuatro entidades: el Gobierno de la Provincia, la Asociación de Fábricas Argentinas y terminales Electrónicas (AFARTE), la Facultad Regional Tierra del Fuego de la Universidad Tecnológica Nacional y la Universidad Nacional de Tierra del Fuego.

El CENTEC TDF forma parte de la Red CENTEC de la Argentina que desea articular y potenciar las actividades realizadas por cada centro de desarrollos y servicios tecnológicos, mediante la calificación de recursos humanos, la transferencia de tecnología y el desarrollo de conocimientos e innovaciones, ambientalmente sustentables e inclusivas.

La coordinación de la Red está a cargo de la Dirección Nacional de Desarrollo Tecnológico e Innovación del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Nación, en conjunto con la Agencia I+D+i.

Misión del CENTEC TDF:

“Contribuir al desarrollo sostenible y sustentable del sector industrial tecnológico en sinergia con el Gobierno y las universidades especialmente de Tierra del Fuego, con nuestros laboratorios y servicios de formación e investigación, a partir de la validación de equipamiento e instrumental, certificados de Seguridad Eléctrica y Eficiencia Energética, permitiendo mejorar su competitividad.”

Visión del CENTEC TDF:

“Ser el Centro Tecnológico líder en la provincia de Tierra del Fuego y una referencia regional con proyección Nacional acompañando y contribuyendo al desarrollo tecnológico y la mejora continua, brindando además asistencia para la gestión del conocimiento en un marco de responsabilidad social y de colaboración con todos los actores públicos y privados.”

Problemática:

La isla de Tierra del Fuego posee un clima subpolar. Sin embargo, las temperaturas en la región no son tan bajas como en latitudes similares en el hemisferio norte, debido al efecto moderador que ejerce la masa oceánica que la rodea. Durante todo el año predomina el frío y el viento, con una temperatura promedio de 6° C. En una misma jornada pueden encontrarse momentos de sol, lluvia y hasta nieve.

La inestabilidad del clima en la zona puede ocasionar cambios bruscos en una misma jornada, por lo que se debe tener en cuenta este factor al momento de planificar cualquier actividad. En tal sentido, es común que, tras algunas horas de sol y calma, llueva repentinamente o se registren nubarrones, fuertes vientos y descensos de temperatura. (*El clima en Tierra del Fuego, s.f.*).

En los mares australes se encuentran vientos de circulación latitudinal (50° y 60°), denominados los Furiosos o Aulladores Cincuentas (Howling Fifties o Furious Fifties). Estos vientos de corriente horizontal aceleran mientras atraviesan los océanos, libres de obstáculos, hasta chocar con la isla de Tierra del Fuego, azotando primero la región chilena, para luego atravesar la Cordillera de Los Andes, y por último bajar hacia nuestra provincia, y así continuar su curso. (*Rugientes Cuarentas, 19 de Noviembre de 2007*).

Figura 1

Clipper Route o Ruta de los Clíperes

Nota. En morado se indica la franja latitudinal que contiene a los “Furious Fifties”. Tomado de Wikimedia Commons, 25 de Enero de 2006.

Como bien se indica en el resumen brindado por el InFueTur, en la provincia las condiciones climáticas pueden variar drásticamente durante el transcurso de una jornada laboral. Cuando de condiciones laborales se trata, los profesionales de higiene, seguridad y ambiente deben garantizar que los trabajadores puedan desempeñar su actividad sin riesgos. Es por ello que se requiere, en los trabajos al aire libre, evaluar constantemente las condiciones meteorológicas para que los labores se realicen sin inconvenientes. Una de las magnitudes que se deben evaluar es la velocidad del viento. Dicha magnitud se mide con un instrumento denominado anemómetro, cuyas particularidades se detallarán más adelante.

Es entonces que, para asegurarse que las mediciones son confiables, el instrumento debe calibrarse periódicamente, estableciendo así análisis de comportamiento, error e incertidumbres.

Hasta el año pasado, estos instrumentos se enviaban a calibrar al continente, puesto que no se contaba con equipamiento tecnológico que pudiera simular las condiciones necesarias para llevar a cabo una calibración. El enviar a calibrar un instrumento, es decir, retirarlo de la isla de

Tierra del Fuego, representa un costo prohibitivo para muchas de las pequeñas empresas que brindan servicios de higiene y seguridad laboral, puesto que deben cargar con costos logísticos y aduaneros, como así también los tiempos de envío, calibración y reenvío (semanas y hasta meses, dependiendo del trabajo y disponibilidad de laboratorios de calibración), sin olvidar que ese tiempo significa no disponer del instrumento y no poder brindar el servicio.

El CENTEC, al recibir consultas de sus clientes respecto a esta situación, pudo evaluar que existía una necesidad no satisfecha localmente, y que podría suponer una oportunidad para ofrecer el servicio en su laboratorio de calibraciones.

Es por ello que inició en el año 2020 con sus técnicos a investigar sobre el tema y construyendo un prototipo que, debido a la fuerte demanda de servicios solicitados por la industria local, no pudieron continuar desarrollándolo. Dicho proyecto se mantuvo en espera hasta el año 2021, cuando se ofrece la oportunidad de desarrollar el dispositivo por alumnos de ingeniería de la UTN FRTDF. Se define entonces el objetivo del proyecto como sigue:

“Diseñar y construir un túnel aerodinámico que cumpla con los parámetros funcionales, de operación y dimensionales, necesarios para lograr la calibración de anemómetros en el CENTEC y su validación mediante la realización de pruebas experimentales.”

Para cumplir con este objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Determinar los parámetros funcionales de diseño de un túnel de viento para la calibración de anemómetros.
- Diseñar el túnel de viento asistido con herramientas de diseño mecánico en función de los parámetros de diseño y las normas establecidas.
- Construir el equipo en base a los diseños desarrollados.

- Realizar pruebas, diagnóstico y calibración del equipo, establecidos para el uso determinado.
- Fomentar el trabajo de proveedores locales, invitándolos a participar del proyecto desde la construcción.
- Utilizar herramientas innovadoras en el túnel, fomentando el uso de herramientas que el propio centro posee.
- Reutilizar materiales de descarte de la Industria local, fomentando el reciclaje local y evitar la contaminación proveniente de las actividades industriales locales.

Túnel Aerodinámico

Un túnel aerodinámico (o túnel de viento) es una herramienta de investigación desarrollada para ayudar en el estudio de los efectos del movimiento del aire alrededor de objetos sólidos. Mediante el uso de esta herramienta se pueden simular las condiciones que experimentará el objeto de la investigación en una situación real.

En el túnel aerodinámico, el objeto en estudio permanece estacionario mientras que se propulsa el paso de aire alrededor de él.

Historia del túnel aerodinámico

- El Ing. Militar Benjamín Robins, aproximadamente entre 1740 y 1750, inventó un aparato de brazo giratorio para realizar experimentos de resistencia dentro de la teoría de la aviación.
- Cerca del año 1800, George Cayley también usó un brazo giratorio para medir la resistencia y sustentación de varios álabes. En base a las pruebas realizadas, Cayley construyó un planeador pequeño que se cree que ha sido uno de los primeros vehículos más pesados que trasladó por aire a un hombre. Ese primer brazo no representaba precisamente la realidad, por lo que, en 1871, Francis Wenham pudo arreglar los desvíos, generando y operando el primer túnel de viento.
- En 1897 Osborne Reynolds demostraba que el patrón del flujo de aire sobre un modelo a escala sería el mismo para el vehículo real, siempre y cuando el aire se comportara de la misma manera en ambos casos. Eso da origen al “Número de Reynolds”, parámetro crítico en las situaciones de flujo y fluido en movimiento.

- En 1901, los hermanos Wright usaron un túnel aerodinámico para estudiar los efectos de la corriente de aire al pasar por varias formas mientras desarrollaban su modelo de avión.

A medida que pasaba el tiempo, distintas instituciones, científicos y profesionales, desarrollaron y mejoraron la calidad del túnel de viento para ensayar elementos de aviación, automóviles, puentes, edificios, misiles, y como en nuestro caso, simular condiciones de aire reales para evaluar el comportamiento de un instrumento que mide la velocidad del viento.

Principio de funcionamiento

El aire es soplado o aspirado a través de un conducto equipado con rejillas estabilizadoras al inicio flujo, para garantizar que se comporte de manera laminar, o con obstáculos u objetos si se desea que se comporte de manera turbulenta. En una zona del túnel se monta el objeto en estudio y una serie de sensores con los cuales se miden las condiciones del aire que pasa a través del objeto (humedad, temperatura, velocidad, etc.).

Mediante el uso de estas herramientas se puede analizar el comportamiento de un objeto en situaciones particulares.

Tipos de túneles aerodinámicos

Si se clasifican por la circulación de aire en su interior, los túneles de viento se pueden dividir en abiertos y cerrados.

- Túnel aerodinámico abierto: toma aire directamente desde la atmosfera y después de hacerlo pasar por la cámara de ensayo se devuelve nuevamente a ella. Como ventajas, se destacan los costos de construcción y la posibilidad de usar técnicas

de visualización (flujo con humo, por ejemplo). Dentro de sus inconvenientes, se incluyen la necesidad de acondicionar mejor el flujo, mayor consumo de energía para operarlo.

- Túnel aerodinámico cerrado: es el que hace circular el aire de manera cíclica por la cámara, recuperando por medio de un difusor su energía fluida, antes de llegar de nuevo a la zona donde se encuentra instalado el difusor. Como ventajas se destacan el mayor control de la calidad del flujo dentro del circuito, menor consumo de energía y una menor generación de contaminación acústica. Dentro de las desventajas se incluyen el costo inicial elevado, la complejidad del uso de técnicas de visualización y la necesidad de dispositivos de refrigeración o intercambiadores de calor.

Túneles aerodinámicos en el mundo

Figura 2

Túnel aerodinámico de Ferrari en Maranello, para la prueba de sus autos



Figura 3

Túnel aerodinámico más grande del mundo en California, utilizado por la NASA para ensayar aviones completos



Figura 4

Segundo túnel aerodinámico más grande, de Turkish Aerospace en Turquía, para ensayar aviones de caza



Figura 5

Túnel aerodinámico Red Bull en Bedford, responsable del mal funcionamiento de autos de F1 Mercedes Benz por datos erróneos del túnel



Túneles aerodinámicos en Argentina

Figura 6

Túnel de viento "Vuela", en Buenos Aires, para simular caída libre



Figura 7

Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste en Chaco



Figura 8

UTN FRH, Haedo, Buenos Aires



Figura 9

Unidad de Investigación, Desarrollo, Extensión y Transferencia de Formulación y Evaluación de Proyectos en La Plata



Ilustración 10

UTN-FRTDF, Tierra del Fuego, túnel aerodinámico para la calibración de anemómetros



Anemómetros

Es un instrumento de origen meteorológico utilizado para medir la velocidad del viento y así participar en la predicción de las condiciones meteorológicas. También es uno de los instrumentos básicos en el vuelo de aeronaves.

Cabe destacar que, en el ambiente laboral, precisamente en el departamento de higiene y seguridad, se utiliza para determinar las condiciones de viento y así habilitar o no la realización de una tarea, por ejemplo, de trabajos en altura o izaje de cargas.

Precisamente en ese campo es en el que se utilizan los anemómetros que llegan a CENTEC para su calibración, y es por eso que se debe asegurar la calidad de la medición del instrumento.

Existen diversos tipos de anemómetros que varían en función de su uso principal. Algunos ejemplos son anemómetro de copa, de molinete, tubo pitot, hilo caliente, ultrasónico, entre otros.

Cabe destacar que, para calibrar estos equipos, se debe comparar contra un anemómetro patrón calibrado para asegurar la trazabilidad en las mediciones.

Figura 11

Estación meteorológica con anemómetro de copa



Figura 12

Anemómetro tipo tubo de pitot



Figura 13

Distintos tipos de anemómetros



Requisitos del Túnel Aerodinámico

Parámetros de diseño

El diseño del túnel depende principalmente de las condiciones que se desean simular y los parámetros sobre los cuales se manejan las calibraciones de los instrumentos de medición.

Las características técnicas solicitadas para el túnel aerodinámico son:

- Rango de velocidad hasta 20 metros por segundo: en función del parque de anemómetros relevados entre los clientes, sumado a las condiciones climáticas de la zona, y los límites tolerables de viento para actividades impuestos por los departamentos de seguridad de los clientes consultados.
- Sección de trabajo mayor a 400 centímetros cuadrados: en función de la relación de bloqueo, la cual no permite que la sección de la cámara de pruebas sea obstruida por el diámetro hidráulico de los instrumentos.
- Uniformidad menor al 1%: para garantizar que el flujo completamente desarrollado tenga características uniformes, es decir, pueda mantenerse en un valor con fluctuaciones despreciables por un intervalo de tiempo establecido.
- Turbulencia menor al 2%: requisito fundamental para realizar ensayos, ya que es menester garantizar que el flujo sea laminar. Para ello se deberán desarrollar métodos para reducir la turbulencia axial y rotacional del flujo.
- Seguridad: el equipo debe ser seguro mientras funciona, con las protecciones correspondientes y el personal capacitado para su operación.

Para realizar el diseño y construcción del túnel que satisfaga los requisitos expresos del CENTEC, se indagó sobre los diferentes tipos de túneles aerodinámicos, clasificándolos de

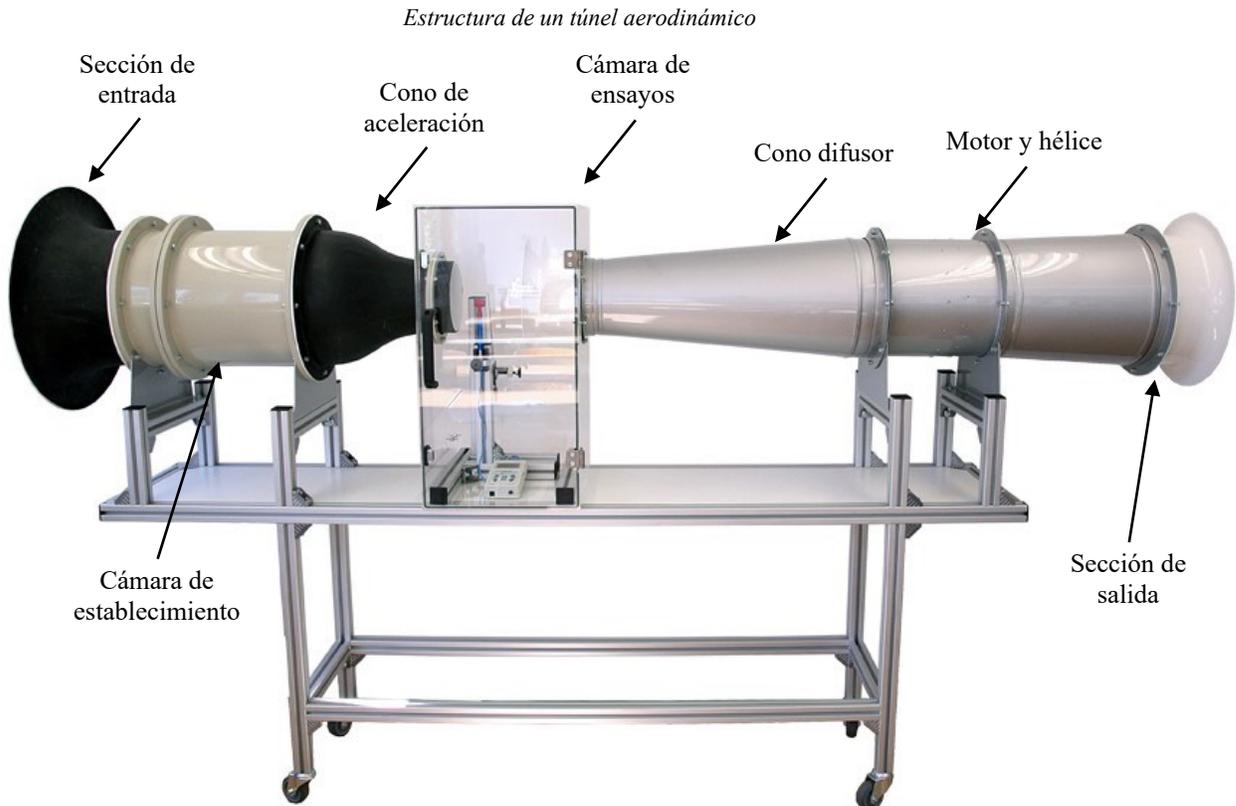
acuerdo con su arquitectura y rangos operativos. Además, se realizó un análisis del parque de anemómetros de los clientes, y se establecieron sus características de funcionamiento.

Un túnel tipo subsónico de circuito abierto es el que mejor se adecúa a los parámetros funcionales y las restricciones de espacio disponible. Básicamente las partes que componen al túnel aerodinámico de circuito abierto son:

- Entrada: es requisito que la sección de entrada posea una superficie lo suficientemente grande y suavizada posible, para garantizar el correcto caudal de flujo que se adecuará en instancias posteriores.
- Cámara de establecimiento (o ajuste): su función principal es acondicionar y uniformizar el flujo, para ello se requiere disponer dispositivos que cumplan dicha función, como acondicionadores de sección circular, cuadrada o en forma de panel (honeycomb).
- Cono de aceleración (o contracción): una vez establecido el flujo, atraviesa el cono que va reduciendo su sección gradualmente con el objetivo de ir incrementando su velocidad.
- Cámara de ensayos: el área donde la energía cinética del flujo debe mantenerse constante, dado que allí se colocarán los anemómetros para su comparación.
- Cono difusor: luego de que el flujo atravesó la cámara de ensayos, debe reducir su velocidad para ser devuelto al ambiente nuevamente, utilizando un cono que incrementa su sección.
- Salida: al igual que la entrada, se incrementa su sección para entregar el aire a presión atmosférica nuevamente.

- Motor y forzador: dependiendo si el túnel será de soplado o aspirado, el motor y su hélice se colocarán luego de la entrada, o antes de la salida; el mismo puede ser del tipo axial o centrífugo.

Figura 14



Para el diseño de cada una de las partes que componen al túnel se utilizó el software SolidWorks, lo que permitió evaluar cada uno de los diseños antes de la materialización. Se estudiaron además las características de los diferentes motores y hélices disponibles en el mercado, optando por un motor con hélice tipo axial, ya que sus prestaciones cumplían con los requerimientos del sistema.

En principio, se solicitó que el túnel posea un rango de velocidades de 0 a 20 m/s. Posteriormente, al interiorizarnos en el área de calibración, se definió según la Norma IEC 61400-12-1 el rango controlado hasta los 16 m/s, por lo que se garantizó las condiciones hasta

dicho valor. Si bien el túnel puede desarrollar velocidades de hasta 25 m/s, no se han realizado ensayos para estos valores.

Análisis de Factibilidad

Factibilidad Técnica

Los puntos analizados para el estudio de factibilidad técnica son los siguientes:

- El diseño y la construcción de un túnel de viento para la calibración de los anemómetros de los clientes del CENTEC, como tesis de grado, es técnicamente factible.
- Existe y se dispone de la información necesaria para estudiar el tema.
- Existe y se dispone de componentes y materiales disponibles en el país para la realización del proyecto.
- Se cuenta con profesionales y empresas para involucrarse con la realización del proyecto.
- Se cuenta con el apoyo de docentes de la UTN FRTDF y los ingenieros que trabajan en el CENTEC para guiar y acompañar en este proyecto.

Factibilidad Económica

El proyecto de diseño y construcción del túnel aerodinámico será totalmente financiado por el CENTEC. Se detallarán más adelante el listado de componentes necesarios con sus respectivos costos asociados en la construcción del túnel.

Diseño

Para diseñar el túnel, se partió de la base que se encontraba en el Centro. Realizamos algunos ensayos y concluimos en que debía modificarse, puesto que no se alcanzaba la velocidad requerida, las condiciones del flujo no eran óptimas y el tamaño de la cámara no alcanzaba para garantizar la relación de bloqueo.

Figura 15

Modelo de túnel inicial (prototipo de CENTEC)

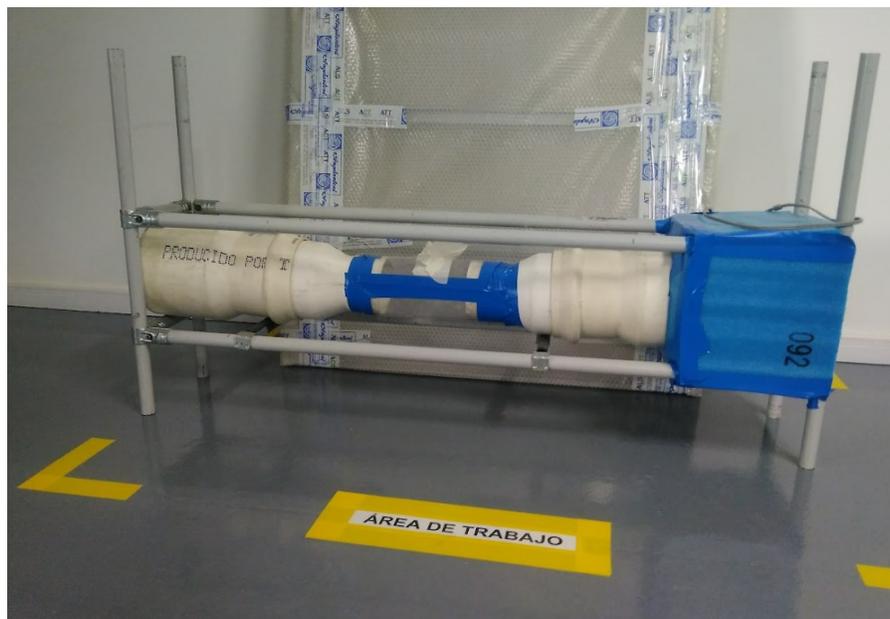


Figura 16

Modelo de túnel inicial (prototipo de CENTEC)



Se consultaron a varios proveedores extranjeros acerca de los modelos de equipos que cubran los requerimientos establecidos, obteniendo información acerca de su construcción, métodos y elementos de control, como así también su costo.

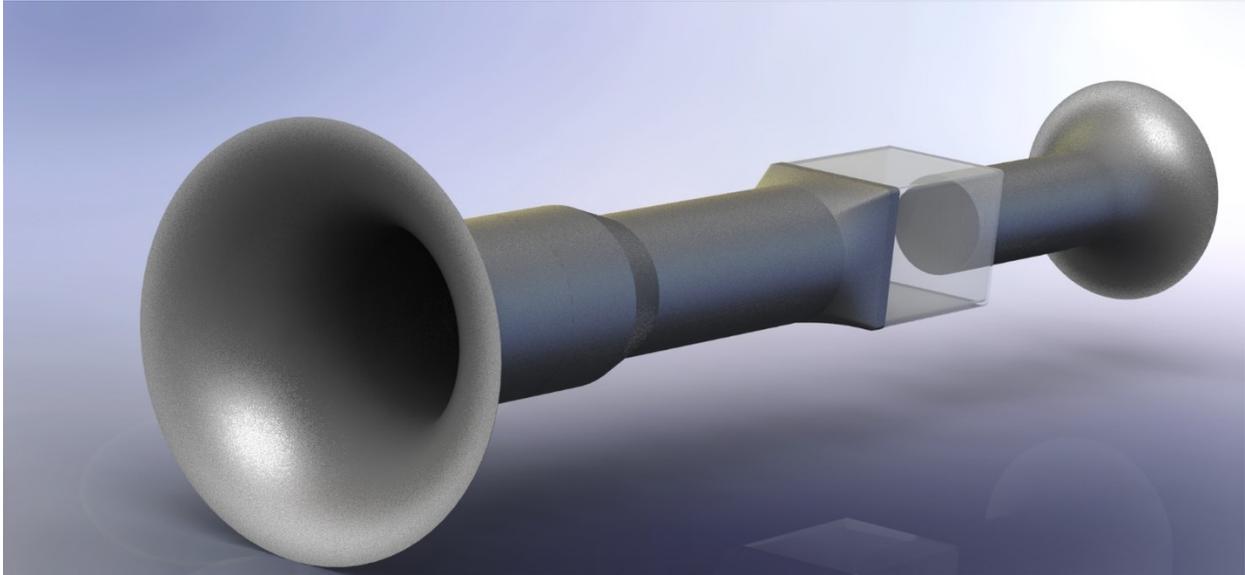
Se realizaron croquis de cada elemento que compone al túnel, para luego generar el sólido y unirlos para formar al conjunto. Este diseño preliminar era muy parecido al prototipo de CENTEC a una escala mayor, pero lamentablemente se perdió debido a una falla en la PC donde se realizó el mismo.

Posteriormente se retomó el mismo concepto, lo que sirvió como guía para iniciar con el diseño del primer modelo, el cual presentaba una toma de aire de sección circular y perfil elíptico, flujo soplado, y cámara de ensayos de sección cuadrada.

Consultado la normativa ANSI/AMCA 210-07, que establece métodos de ensayo para los ventiladores y forzadores axiales y centrífugos, para obtener sus parámetros termodinámicos, rendimiento y consumo. Si bien la norma no es específica de los túneles de viento, en la misma se presentan distintos diseños de acuerdo con el tipo de instalación del ventilador. Esto mismo sirvió de guía para cerrar algunas situaciones inconclusas que no permitían terminar el modelo.

Nuevamente se realizaron los croquis de las partes que componen al túnel para llevarlos al software SolidWorks, obteniendo así el primer diseño sobre el que evaluamos su comportamiento realizando algunas simulaciones.

Figura 17

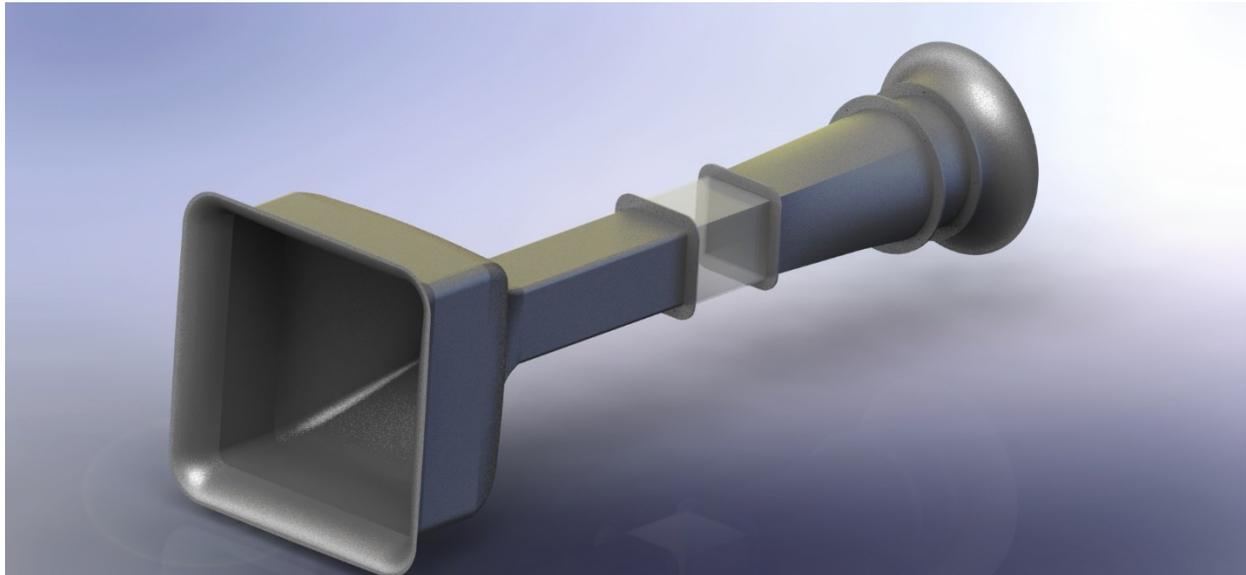
Primer diseño 3D del túnel

El diseño presentaba un desperfecto respecto de los conos, ya que no se tuvieron en cuenta tanto en la etapa de aceleración como el difusor antes de la salida a la atmósfera. Además, si bien la sección cuadrada de la cámara de ensayos garantizaba una relación de bloqueo óptima, en cuestiones constructivas se concluyó que no era factible, dado que se requería un motor de mayor potencia para lograr las características esperadas.

En un segundo diseño se cambió al modelo de aspirado, ampliando considerablemente el área de entrada de sección cuadrada, al igual que la cámara de ensayos.

Figura 18

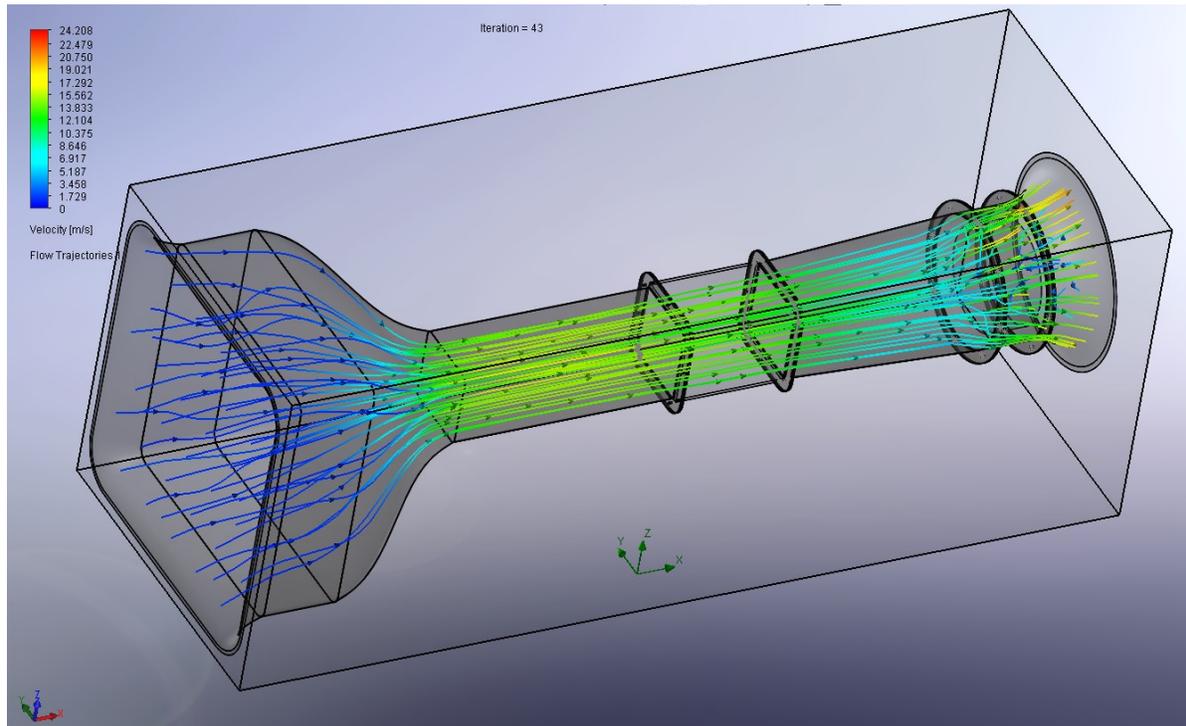
Segundo diseño 3D del túnel



Este diseño se evaluó en simulaciones asumiendo condiciones ambientales tipo en laboratorio.

Figura 19

Simulación del túnel bajo condiciones ambientales tipo



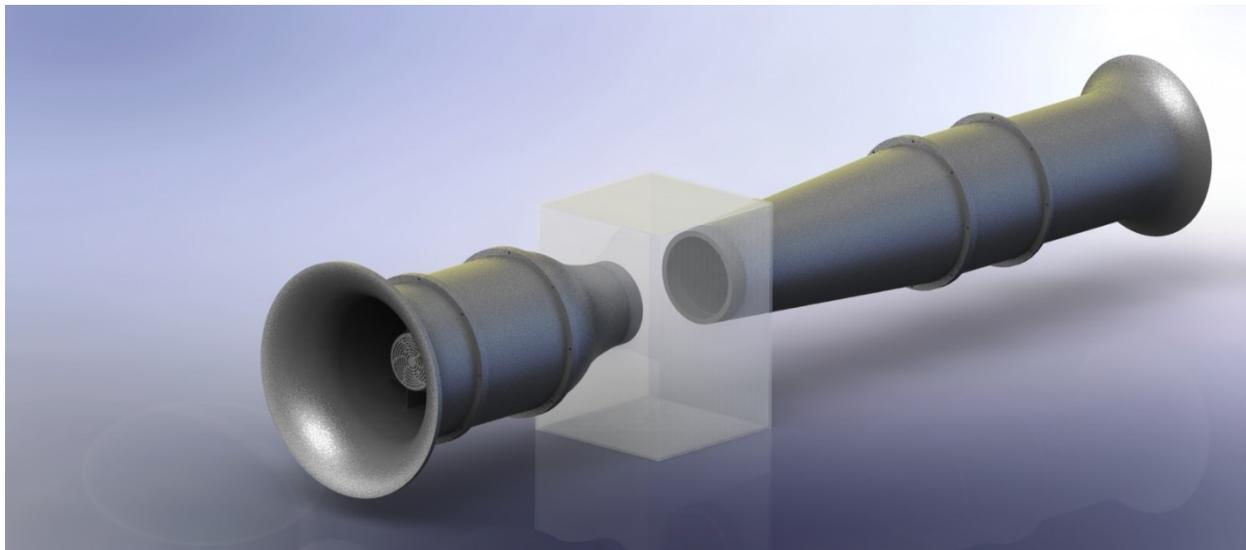
Se confeccionaron los planos y se solicitaron cotizaciones para su construcción. Solamente uno de los cinco proveedores consultados quiso involucrarse con el proyecto, tanto en la preparación de las cotizaciones como en asesoría en el proceso constructivo, como se mencionará más abajo.

Las secciones con mayor grado de dificultad en cuanto al proceso constructivo fueron la de entrada, salida y el cono difusor (ya que requería, en su longitud, desarrollar una sección cuadrada a circular). La sección de entrada poseía un perfil particular que respondía a la canalización del flujo y reducción de turbulencias, pero dicha forma resultaba laboriosa y costosa para su construcción.

Buscando la solución a la situación es que se preparó el desarrollo de chapa de cada uno de los cuerpos, pero la empresa no contaba con el equipamiento necesario y nos solicitó realizar cuerpos de revolución. Se modificó el diseño adecuándose a los nuevos requerimientos, previa evaluación del comportamiento del flujo obteniendo la siguiente configuración:

Figura 20

Tercer diseño 3D del túnel



Debido a nuevos inconvenientes que se encontraron en el proceso constructivo (requería mucho trabajo de soldadura y pliegues), trabajando en conjunto con el proveedor, se definió el modelo final, el cual nuevamente fue evaluado obteniéndose resultados aceptables.

Los principales cambios fueron las secciones de revolución, y la cámara de ensayos estanca ampliada, manteniendo el modelo de aspirado.

Figura 21

Bosquejo del diseño conjunto

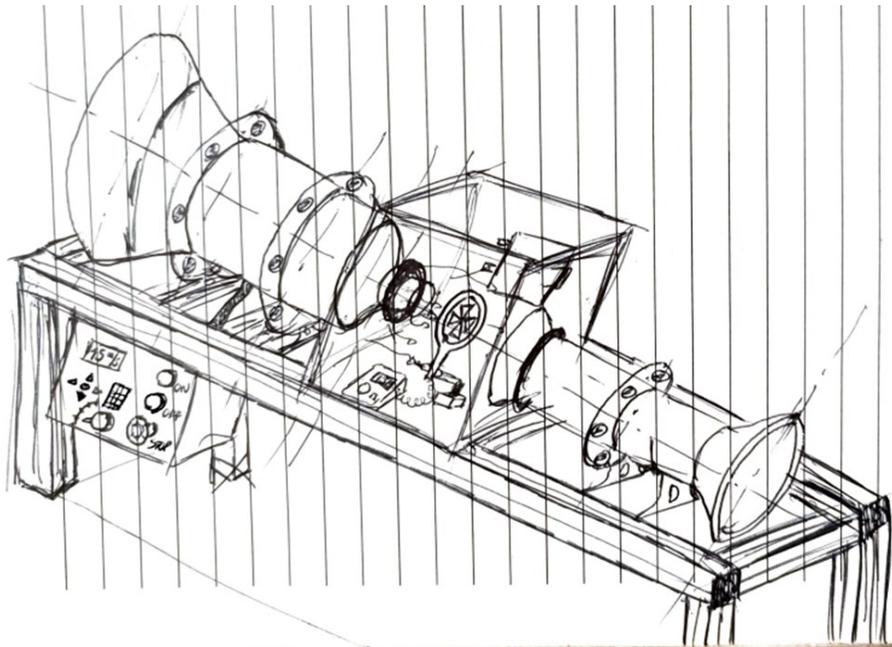
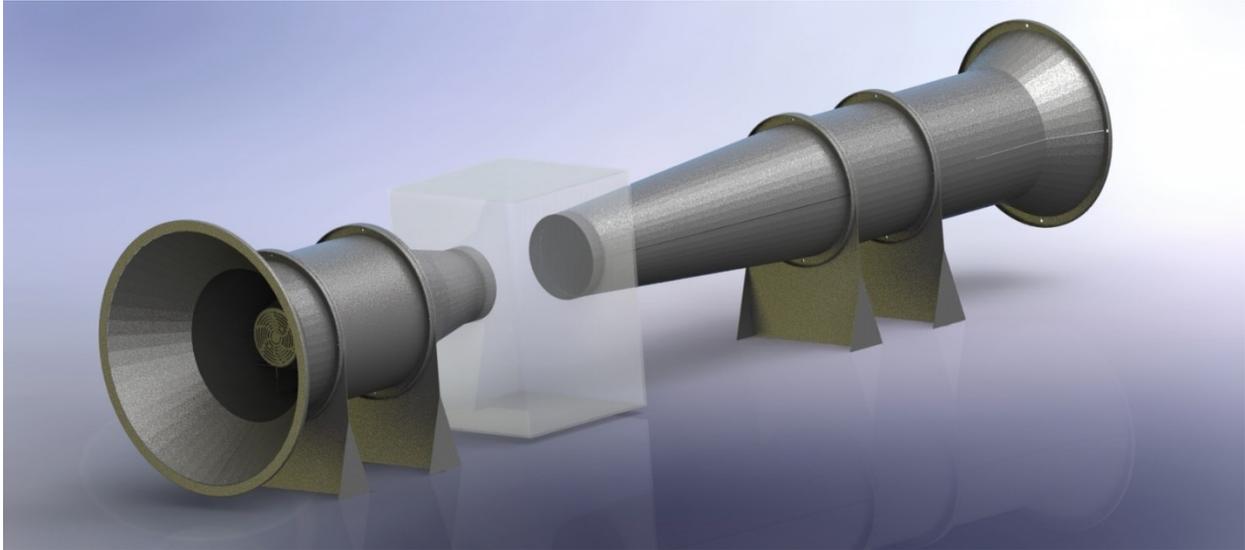
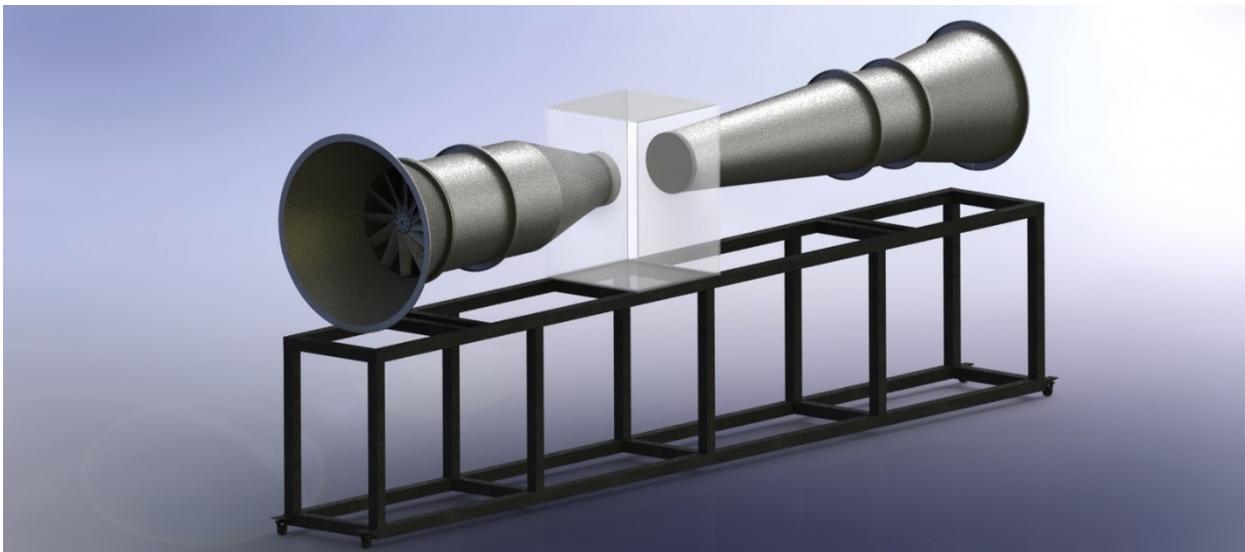


Figura 22

Cuarto diseño 3D del túnel

Durante la etapa constructiva, el proveedor nos indicó que los cuerpos los realizaría rolados y no plegados, por lo que el diseño final sufrió unos pequeños cambios que favorecieron al proceso.

Figura 23

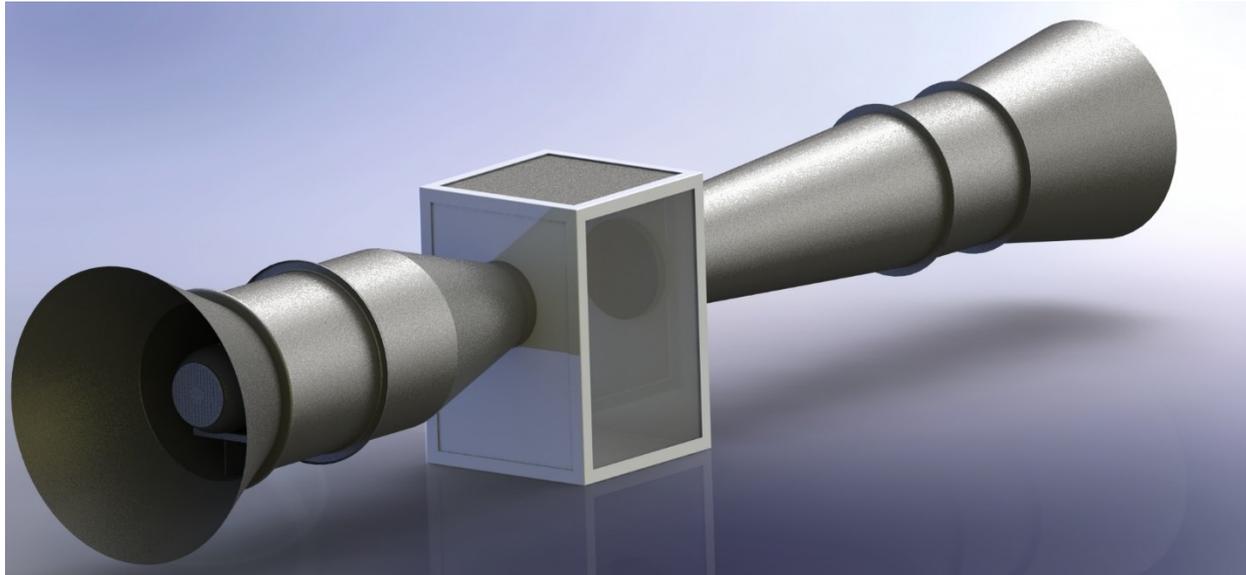
Quinto diseño 3D del túnel

En la construcción de las bridas, que poseían un perfil de cierre poco práctico y que encarecería el presupuesto, estos se eliminaron quedando lisas. La cámara de ensayos fue

reforzada con chapas en los laterales con conexión a los ductos y con aristas en hierro ángulo para garantizar su rigidez, bisagras y burletes para garantizar su estanqueidad.

Figura 24

Diseño final 3D del túnel



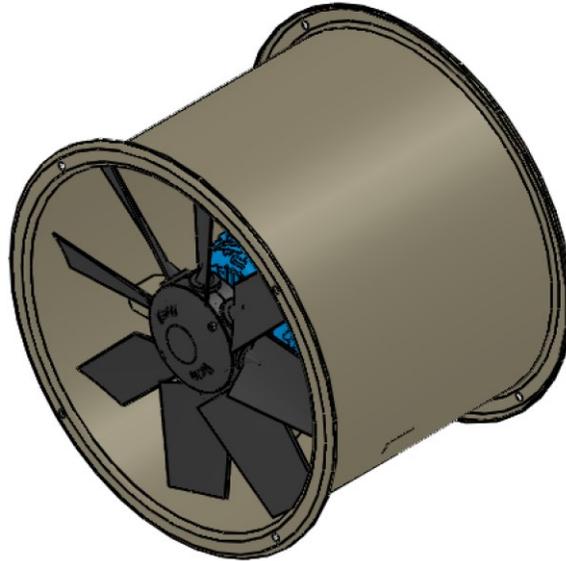
Listado de Materiales

El túnel fue confeccionado en chapa galvanizada calibre 24 y la cámara posee frente y fondo en policarbonato de 4mm.

Los trabajos de corte, plegado y soldadura, tanto para los ductos como las bridas para la unión, fueron realizados por un proveedor local.

El motor, su soporte, ducto y hélice fueron adquiridos en Córdoba, a una empresa que se dedica a sistemas de ventilación.

Figura 25

Diseño 3D del motor y hélice

La estructura donde se encuentra montado el conjunto, es material donado por una empresa de la industria local. El “Sistema Creform” facilita el armado de estructuras de manera rápida, mediante el uso de los caños y accesorios que permiten realizar una amplia gama de uniones (rectas, en te, acodadas a 90°, acodadas a 45°, pivotantes, entre otras).

Figura 26

Estructura sistema Creform



El tablero eléctrico fue diseñado, ensamblado y cableado por nosotros. Gabinete, conductores y protecciones fueron adquiridos a proveedor local, mientras que el VFD se adquirió a un proveedor nacional.

A continuación, se detallan las características de los componentes eléctricos que forman parte del mismo:

Tabla 1

Cuadro de componentes eléctricos del tablero

Parte	Marca	Modelo	Características
IAD: Interruptor automático diferencial	STECK	SDR44030 4P	Tetrapolar I_N 40A $I_{\Delta N}$ 0,03 A I_m 630 A I_{NC} 6 kA V_N 400 V~
ITM: Interruptor termomagnético	SIEMENS	5SL34 MCB	Tetrapolar Curva disparo C I_N 16 I_{CC} 4,5 kA V_N 400 V~ Frec. 50/60 Hz

Q: Guardamotor	SIEMENS	3RV2021-1JA10	Tripolar I _N 10 A V _N 400 V~ Frec. 50/60 Hz P _N 4 kW Clase disparo 10 I _{DI} 130 A
KM1: Contactor de potencia	SIEMENS	3RT2016-1AP01	Bobinado 220 V Tripolar + 1 NA I _N 9 A V _N 400 V~ P _N 4 kW
Contactos auxiliares	SIEMENS	3RH2911-1HA22	2 NC + 2 NA I _N 9 A V _N 400 V~ P _N 4 kW
G: Variador de frecuencia	POWTRAN	PI500 5R5G3	Tripolar, control Vectorial y V/F P _N 5,5 kW Frec. 50/60 Hz V _{NI} 3PH 380 V~ V _{NS} 3PH 0 - 380 V~
PE: Parada emergencia	BAW	B5BE102	Pulsador con retención Contacto NC I _N 10 A V _N 400 V~
AR: Arranque	BAW	B5BE101	Pulsador Contacto NA I _N 10 A V _N 400 V~
PA: Parada	BAW	B5BE102	Pulsador Contacto NC I _N 10 A V _N 400 V~
L1, L2, L3, LP: Lámparas señalizadoras	BAW	B6EV674M	LED color rojo I _N 3 A V _N 220 V~
LA: Lámpara señalizadora	BAW	B6EV673M	LED color verde I _N 3 A V _N 220 V~

Figura 27

Circuito de fuerza y circuito de mando (Software CADe-SIMU)

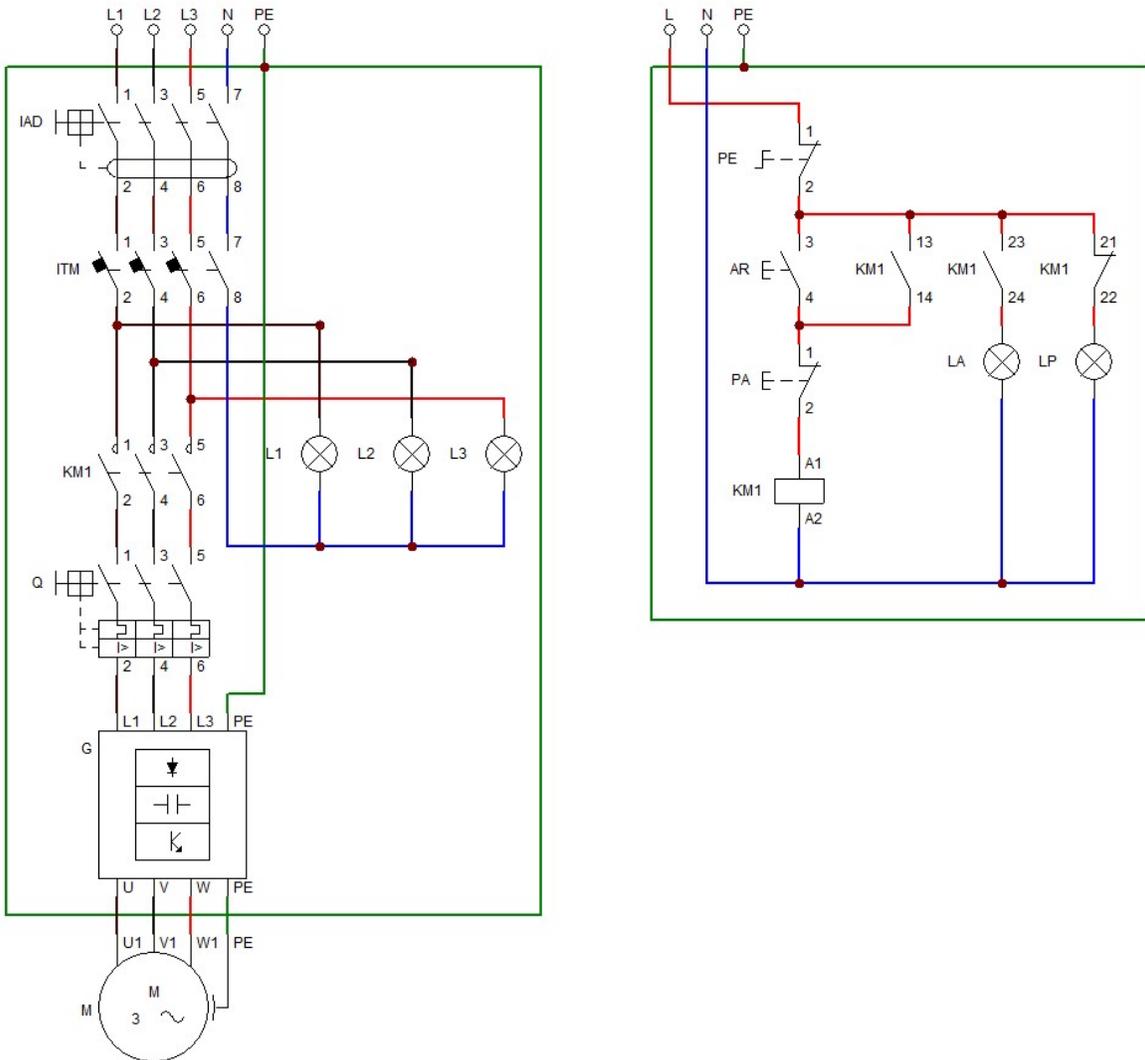
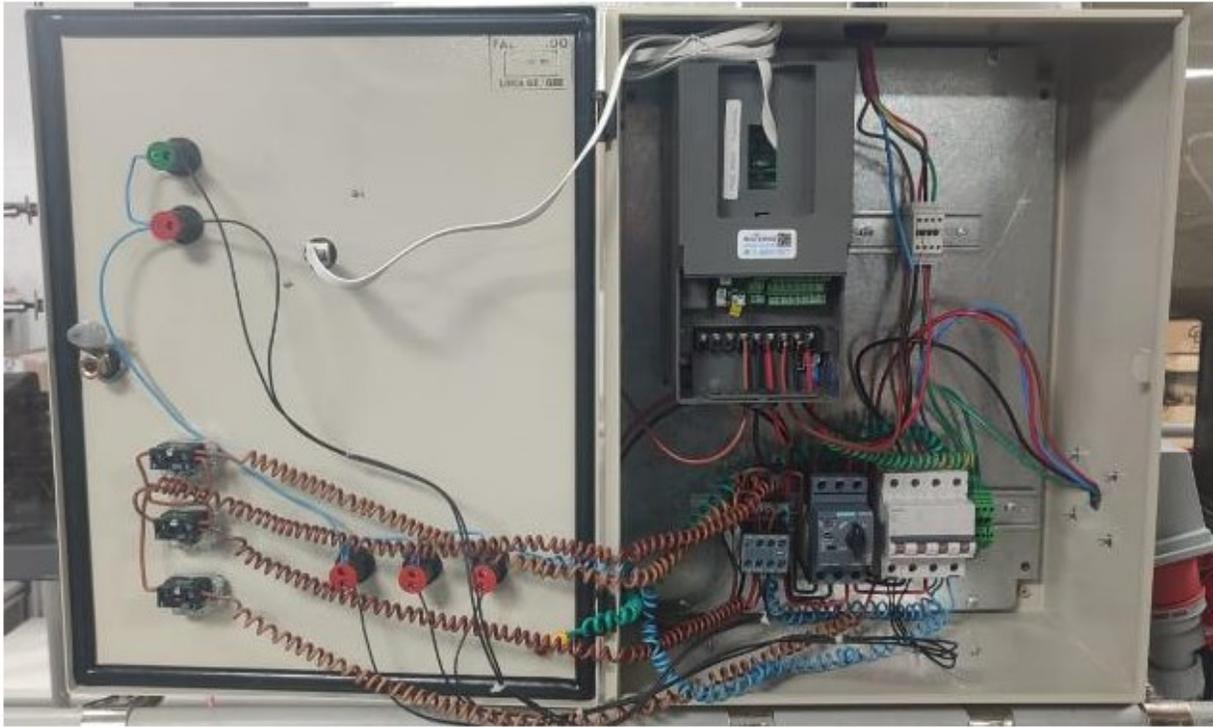


Figura 28

Tablero eléctrico y conexiones



El acondicionador de flujo de estructura honeycomb fue diseñado y fabricado por impresión 3D en CENTEC.

Figura 29

Proceso de impresión del acondicionador de flujo (honeycomb)

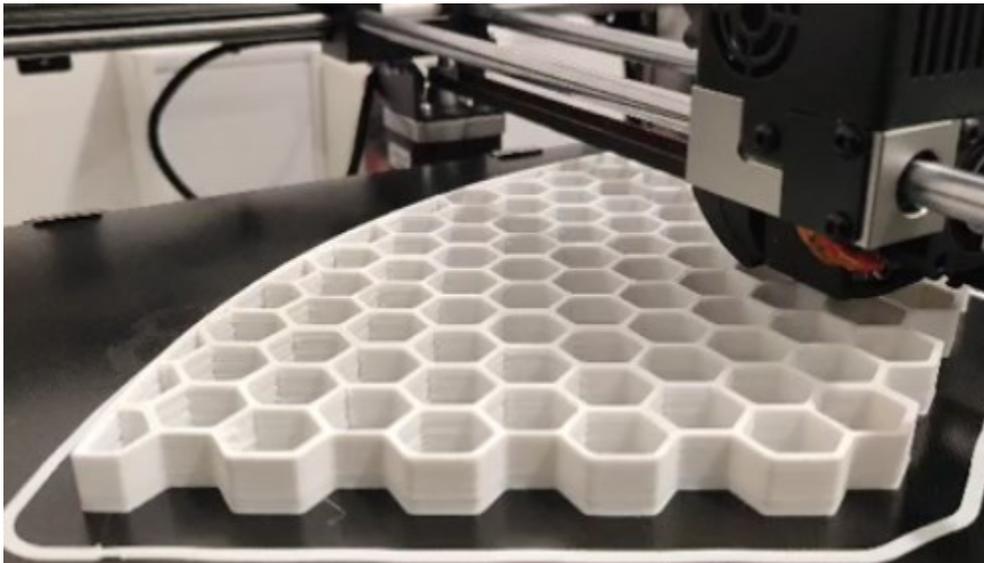


Figura 30

Acondicionador de flujo (honeycomb) instalado



Construcción

Los desafíos planteados por el equipo de trabajo fueron los siguientes:

- Materiales de construcción: utilizar dentro del sistema del túnel (cualquiera de sus partes) materiales reciclados o de descarte de la industria local.
- Componentes y accesorios: utilizar dentro del sistema productos y componentes adquiridos a proveedores nacionales.
- Movilidad y transporte: posibilidad de trasladar y movilizar el equipo dentro de las instalaciones del centro, a medida que este crezca y se desarrolle en el tiempo.

Se prioriza que el equipo internamente tenga la menor cantidad de costuras y rugosidades posible, y que entre cada parte ensamblada no exista pérdidas de aire hacia el exterior.

Figura 31

Partes del túnel en el taller del proveedor



Figura 32

Presentación de las partes en el laboratorio



Figura 33

Ensamblado del túnel aerodinámico



Figura 34

Presentación del túnel aerodinámico en las instalaciones de UTN-FRTDF (Semana de la ingeniería)



Cuadro de costos:

Tabla 2

Cuadro de costos del túnel aerodinámico

Conjunto involucrado	Proveedor	Descripción	Costo (USD)
Secciones del túnel	LOCAL TDF	Armado de partes en chapa	1432
		Modificación cámara de ensayos	473
Sistema de propulsión	CORDOBA	Motor y hélice	457
Sistema de control	BUENOS AIRES	Variador de frecuencia	724
Tablero eléctrico	LOCAL TDF	Conductores, señalización, protecciones y actuadores	560
Total		Túnel de viento	3646

Costos de túneles armados (sin incluir proceso de importación):

Tabla 3

Cuadro de costos túneles aerodinámicos armados

SKU	País	Descripción	Costo (USD)
AF1300	Estados Unidos	SUBSONIC WIND TUNNEL 300mm x 300mm	40170
EA600	India	Subsonic wind tunnel, Power: Electric power, Voltage: 415V, 3 phase	9500
WTM-1000	España	Mini túnel de viento económico para laboratorio	5554

Pruebas y Puesta a Punto del Equipo

La Norma IEC 61400-12-1 establece las características con las que debe contar el túnel para poder llevar a cabo la calibración de un anemómetro de copas. Si bien en la mayoría de los casos los anemómetros utilizados en la industria local son del tipo molinete, las recomendaciones indicadas en la norma se consideran válidas, puesto que es la bibliografía técnica más aceptada entre todos los laboratorios de calibraciones.

Para poder caracterizar el túnel, es necesario determinar:

- Relación de bloqueo: la presencia del anemómetro no afectará sustancialmente el campo de flujo en el túnel de viento. Durante las mediciones, el anemómetro se verá influenciado hasta cierto punto por el bloqueo del túnel de viento o los efectos límite. La relación de bloqueo se define entonces como la relación entre el área frontal del anemómetro (incluido su sistema de montaje) y el área total de la sección de prueba, y no deberá exceder de 0,1.
- Factor de calibración del túnel: este factor proporciona la relación entre las condiciones de posición del anemómetro de referencia y del anemómetro calibrando; se evalúa mediante tubos de Pitot.
- Factor de corrección del túnel: la comparación entre túneles de viento de características y tecnología similar muestra que se necesita un factor de corrección de la velocidad del viento del 0,5 %, es decir, $k_f = 1.005$.
- Uniformidad del flujo: el flujo a través del área cubierta por el anemómetro deberá ser uniforme. La uniformidad del flujo se evaluará antes de la calibración, y se puede estimar utilizando dispositivos sensores de velocidad, es decir, tubos de Pitot, anemómetros de hilo caliente o láser Doppler, midiendo los perfiles de

flujo en dirección longitudinal, transversal y vertical. Deberá ser uniforme al 0,2 %, controlarse periódicamente y adicionalmente después de cada modificación de la aerodinámica del túnel de viento.

- Turbulencia axial: es útil comprobar la pendiente horizontal del viento utilizando dos tubos Pitot idénticos. Se deben posicionar en el lugar exacto donde se colocará el anemómetro calibrando. La intensidad de la turbulencia axial en la posición del anemómetro debe ser inferior al 2 %.

A medida que se realicen ensayos al túnel estos factores se irán adecuando tanto por el método de trabajo que se defina, como así también las modificaciones y/o mediciones que se realicen periódicamente.

Ensayos Realizados y Resultados Obtenidos

Se llevaron a cabo ensayos según lo indicado en la norma IEC 61400-12-1, para caracterizar al túnel aerodinámico. Para ello, se utilizó el anemómetro patrón, cuyas especificaciones son las siguientes:

Tabla 4

Características del anemómetro patrón

Marca	Modelo	Rango [m/s]	Resolución [m/s]	Exactitud [m/s]
Testo	0635 1032	0 a 20	0,01	0,2 + 1% Vm
		20,01 a 30	0,01	0,2 + 2% Vm

Nota. Extraído del manual del instrumento. Vm es el valor medido.

La normativa establece que los ensayos deben realizarse utilizando dos anemómetros de tipo tubo Pitot, pero esto no pudo realizarse debido a que no se poseen los recursos para la adquisición de los mismos. Este tipo de instrumentos requieren, además de su sensor, un adquirente de datos que permita almacenar las mediciones, o bien un procesador que cuente con display para registrar los datos de manera manual. Ninguno de los sistemas pudo adquirirse debido a, principalmente, la falta de recursos, pero también a que los mismos deben importarse, y los proveedores no garantizaban la disponibilidad ni su valor al momento de liberación en aduana.

Por lo tanto, se realizaron las pruebas con el anemómetro patrón durante la misma jornada, y posicionándolo en diferentes configuraciones, según lo normado, y reensayando nuevamente en días posteriores buscando reducir errores en las mediciones.

Los datos registrados por el patrón se almacenan en su memoria, y posteriormente se procesaron utilizando un software de cálculos estadísticos (Minitab 19).

Se realizaron pruebas de normalidad para evaluar que los datos posean dicha distribución. Cuando el Valor p es mayor a 0,05 se considera que la distribución es normal.

Inicialmente se tomaron datos con el túnel sin utilizar el acondicionador de flujo, obteniéndose lo siguiente:

Figura 35

Ensayo de normalidad a frecuencia 5 Hz (velocidad media 2,91 m/s)

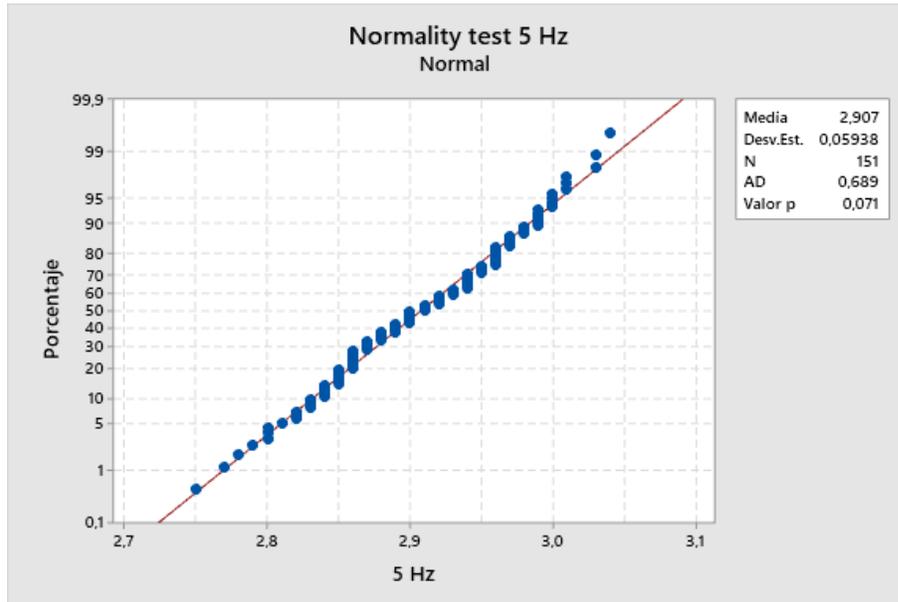
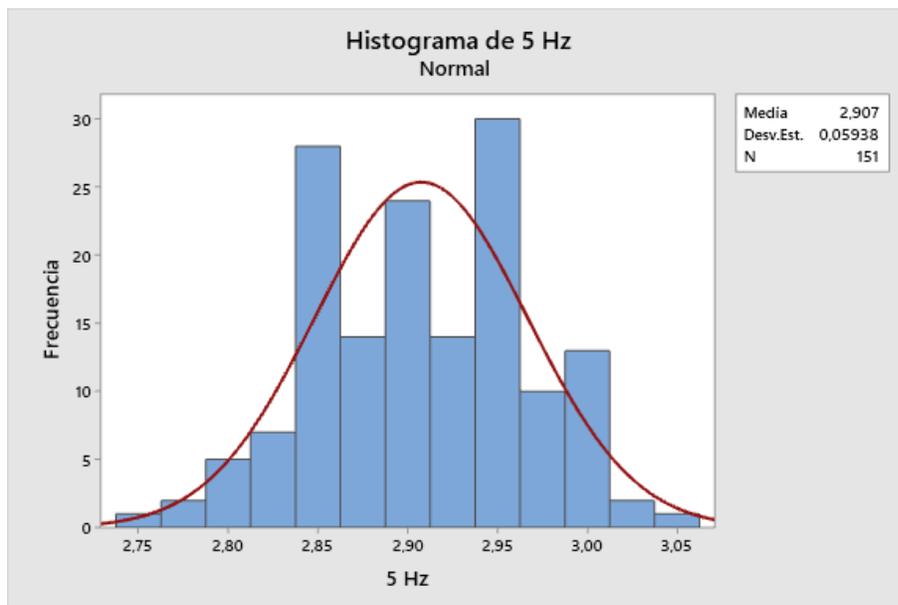


Figura 36

Histograma a frecuencia 5 Hz (velocidad media 2,91 m/s)



Nota. Para un intervalo de confianza del 95% ($k = 2$), se tiene una variación de $\pm 0,12$ m/s.

Figura 37

Ensayo de normalidad a frecuencia 15 Hz (velocidad media 8,85 m/s)

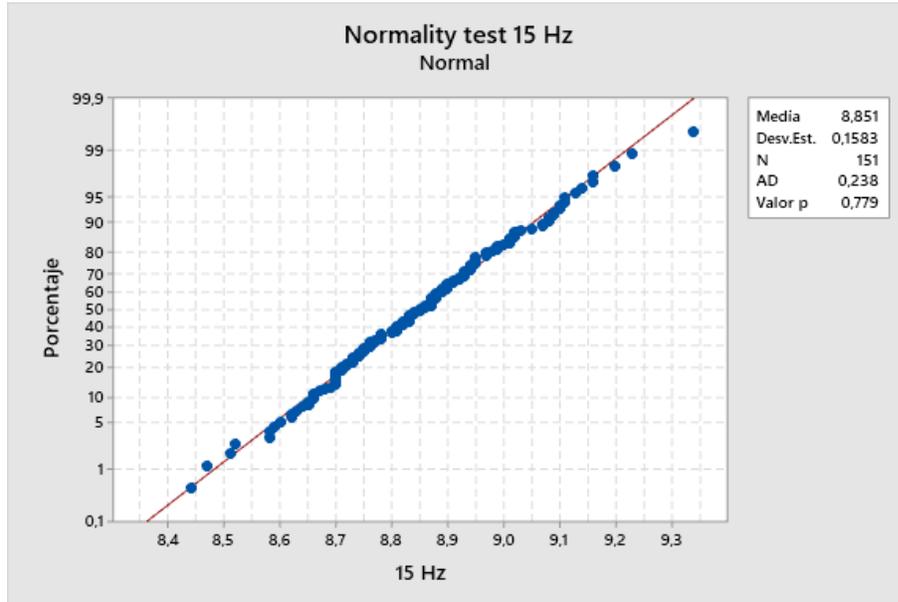
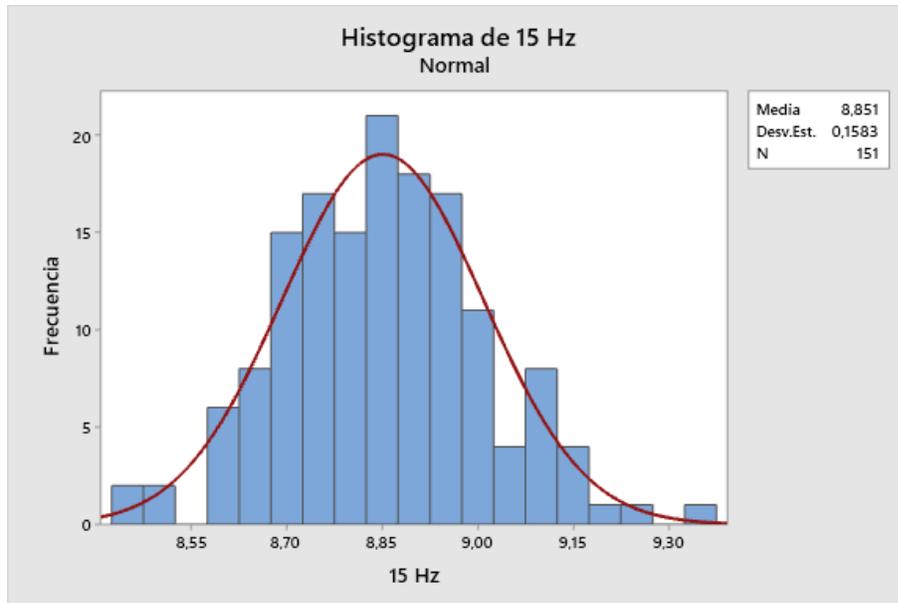


Figura 38

Histograma a frecuencia 15 Hz (velocidad media 8,85 m/s)



Nota. Para un intervalo de confianza del 95% ($k = 2$), se tiene una variación de $\pm 0,32$ m/s.

Figura 39

Ensayo de normalidad a frecuencia 25 Hz (velocidad media 15,35 m/s)

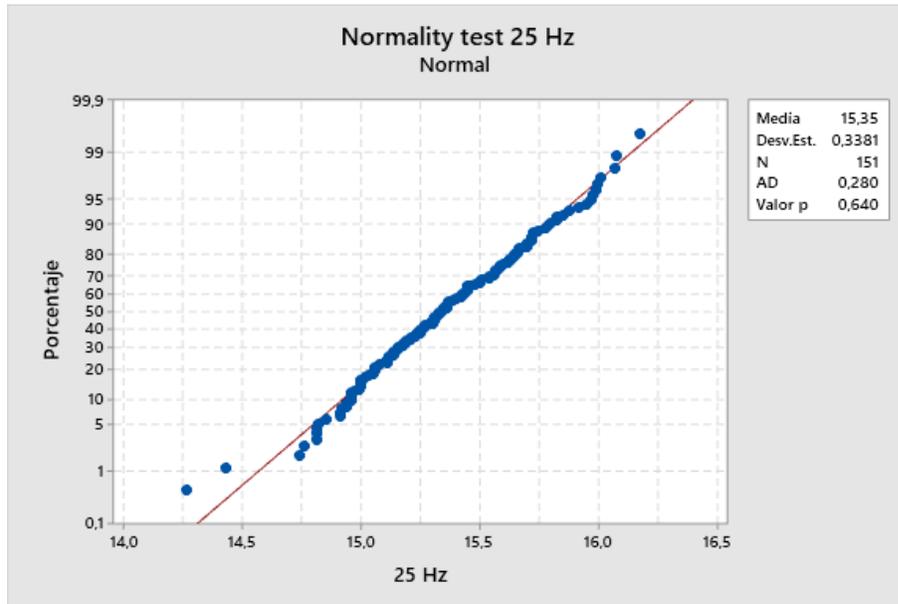
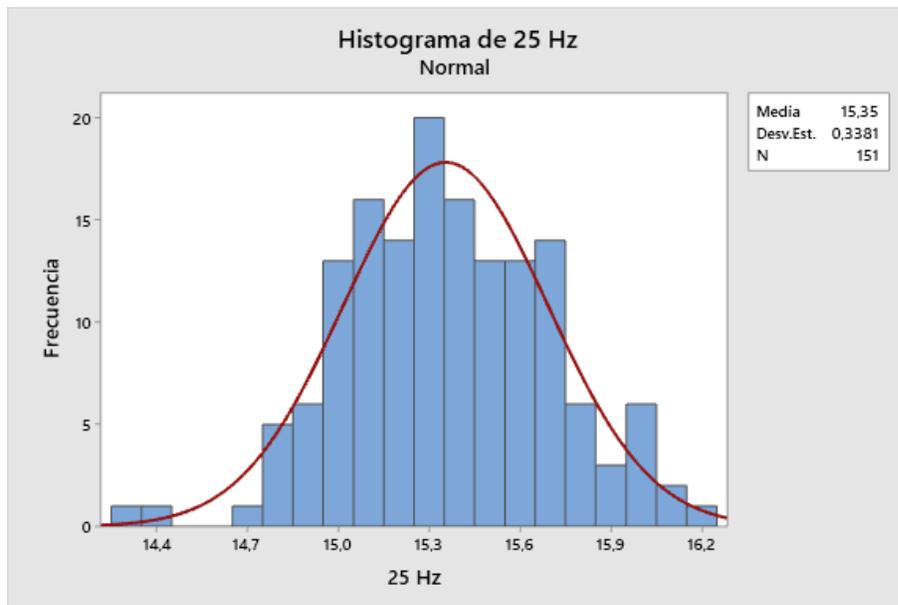


Figura 40

Histograma a frecuencia 25 Hz (velocidad media 15,35 m/s)



Nota. Para un intervalo de confianza del 95% ($k = 2$), se tiene una variación de $\pm 0,68$ m/s.

Luego, se realizaron los mismos ensayos utilizando el acondicionador de flujo honeycomb (blanco). El mismo posee un diámetro hidráulico unitario de 14 mm, el conjunto

cubre una superficie de 130.930 mm², y la porosidad es 80,5%. Los resultados obtenidos fueron aceptables, aunque se esperaban mejores.

Figura 41

Ensayo de normalidad a frecuencia 8 Hz (velocidad media 4,01 m/s)

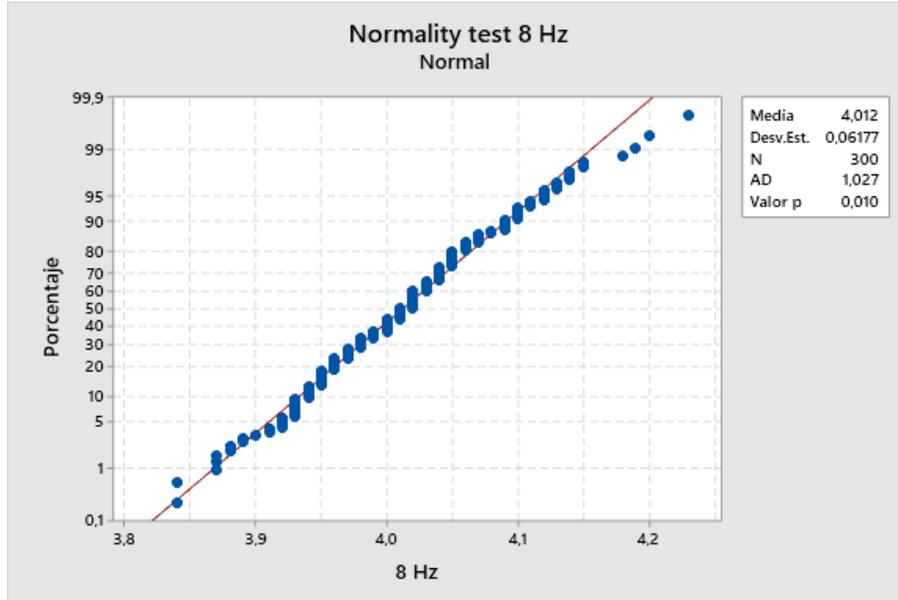
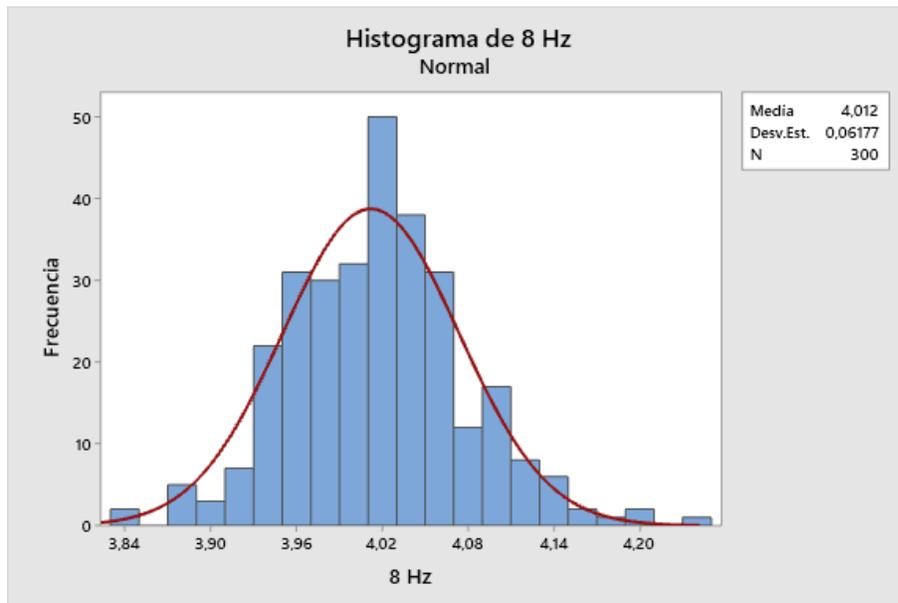


Figura 42

Histograma a frecuencia 8 Hz (velocidad media 4,01 m/s)



Nota. Para un intervalo de confianza del 95% ($k = 2$), se tiene una variación de $\pm 0,12$ m/s.

Figura 43

Ensayo de normalidad a frecuencia 20 Hz (velocidad media 10,17 m/s)

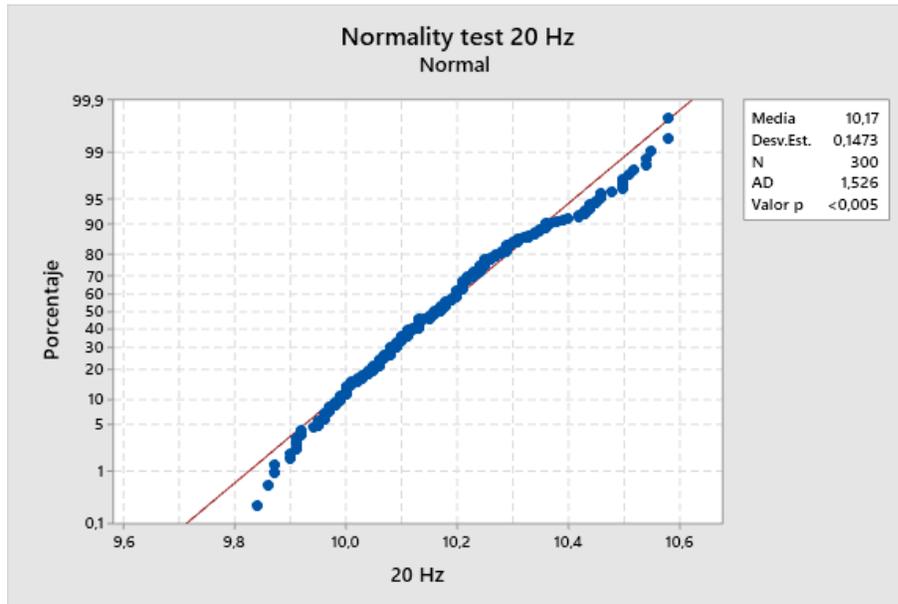
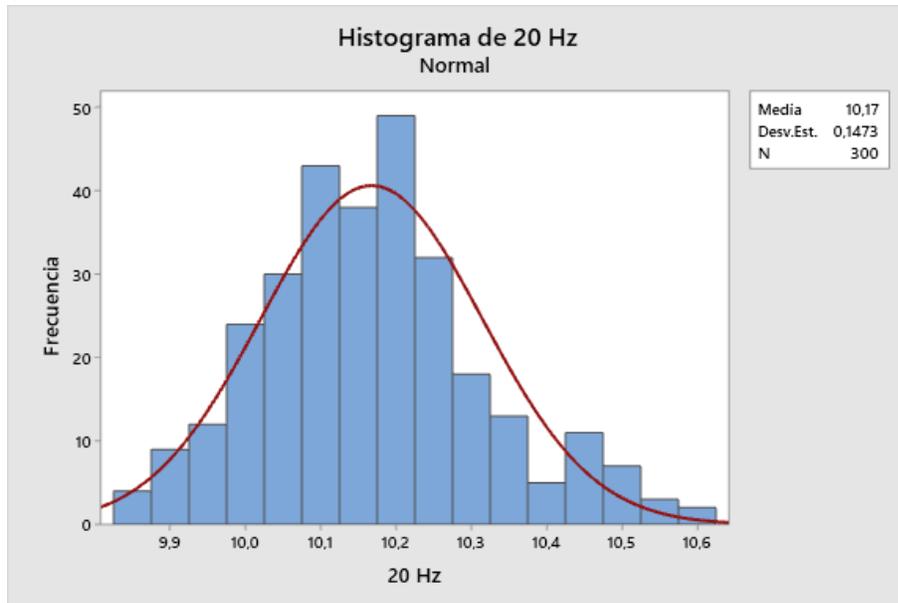


Figura 44

Histograma a frecuencia 20 Hz (velocidad media 10,17 m/s)



Nota. Para un intervalo de confianza del 95% ($k = 2$), se tiene una variación de $\pm 0,29$ m/s.

Figura 45

Ensayo de normalidad a frecuencia 32 Hz (velocidad media 16,44 m/s)

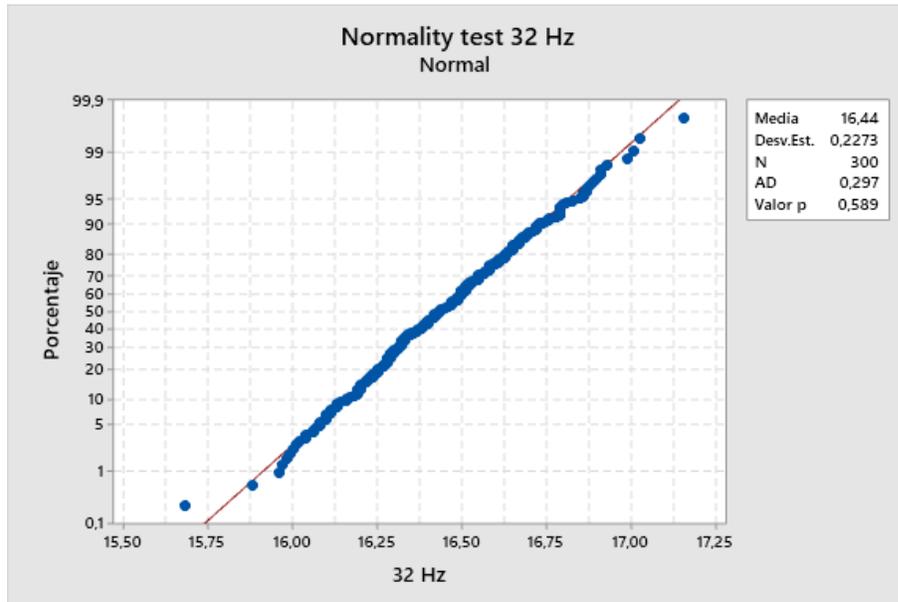
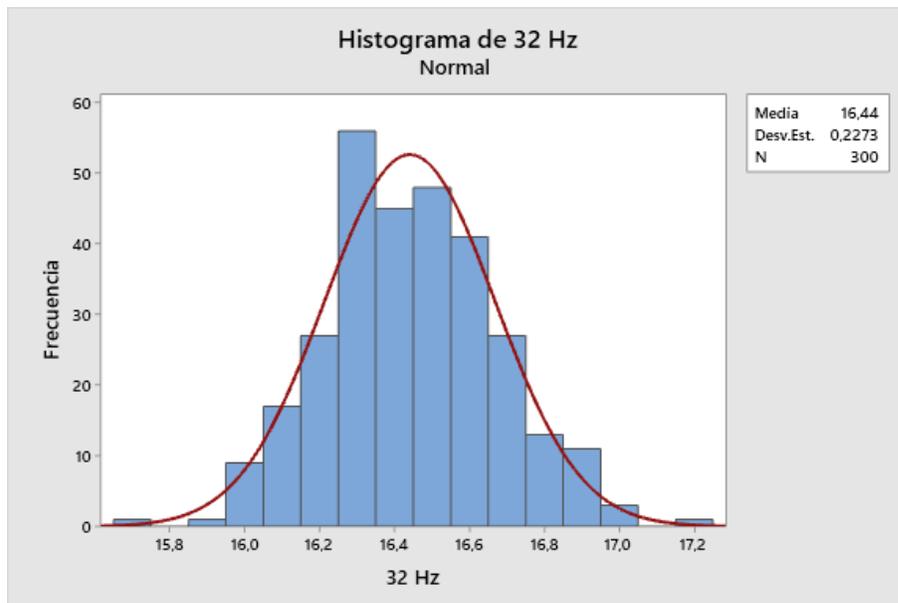


Figura 46

Histograma a frecuencia 32 Hz (velocidad media 16,44 m/s)



Nota. Para un intervalo de confianza del 95% ($k = 2$), se tiene una variación de $\pm 0,45$ m/s.

Habiendo obtenido buenos resultados con el perfil del acondicionador de flujo, y buscando reducir la uniformidad del flujo, se rediseño el mismo adoptando el diámetro

hidráulico unitario a 12,6 mm, el conjunto cubre una superficie de 100.824 mm², y la porosidad es 84,4%. Con esta modificación se obtuvieron mejoras, tal como se puede observar en los informes.

Figura 47

Ensayo de normalidad a frecuencia 8 Hz (velocidad media 3,74 m/s)

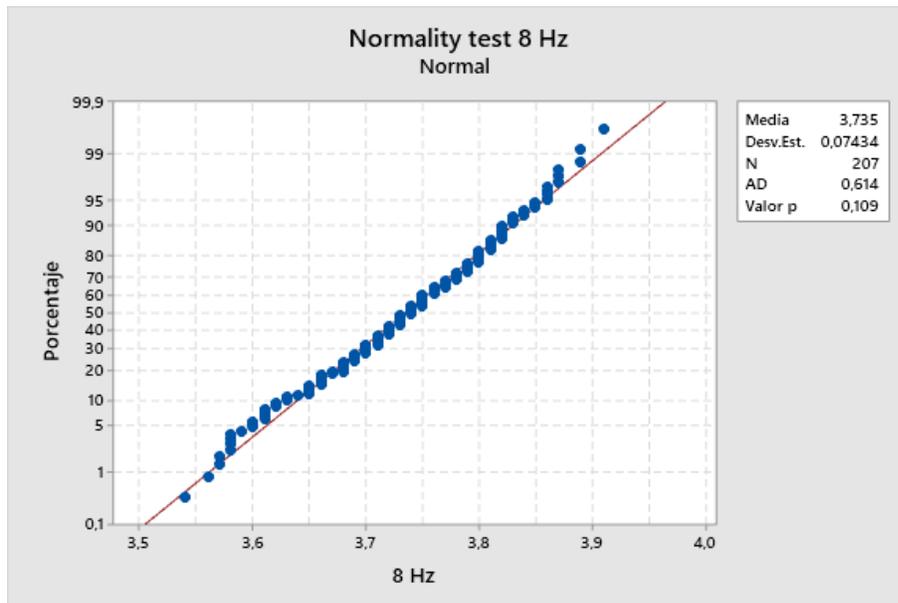
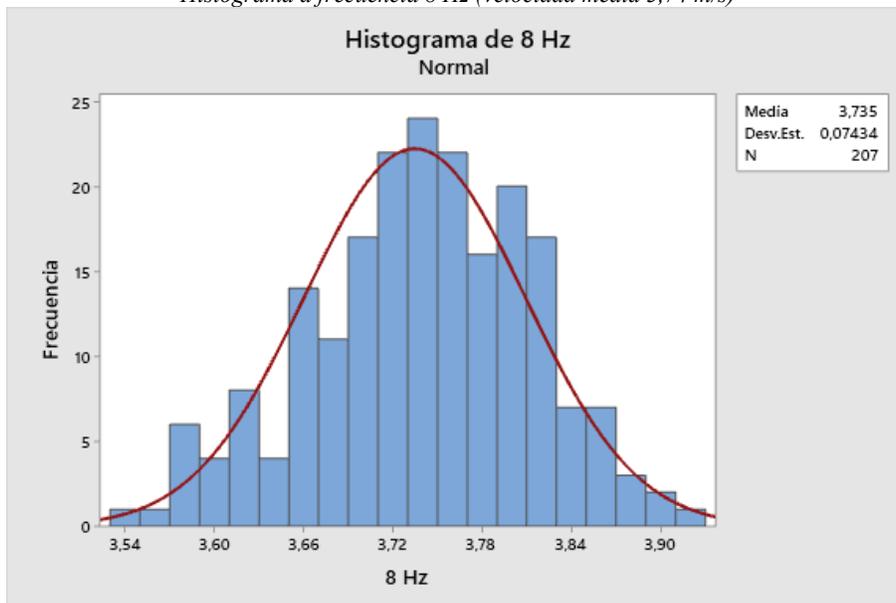


Figura 48

Histograma a frecuencia 8 Hz (velocidad media 3,74 m/s)



Nota. Para un intervalo de confianza del 95% (k = 2), se tiene una variación de $\pm 0,15$ m/s.

Figura 49

Ensayo de normalidad a frecuencia 20 Hz (velocidad media 10,04 m/s)

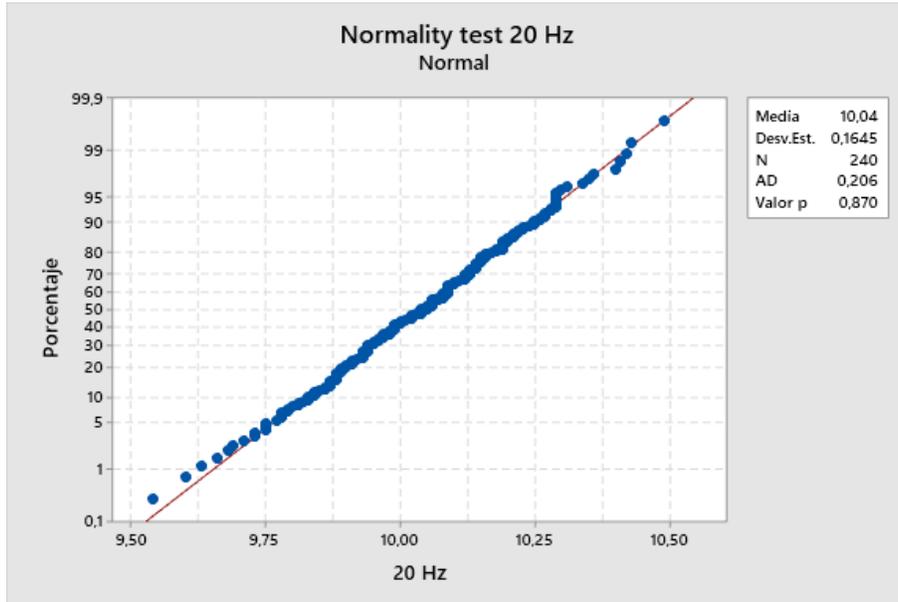
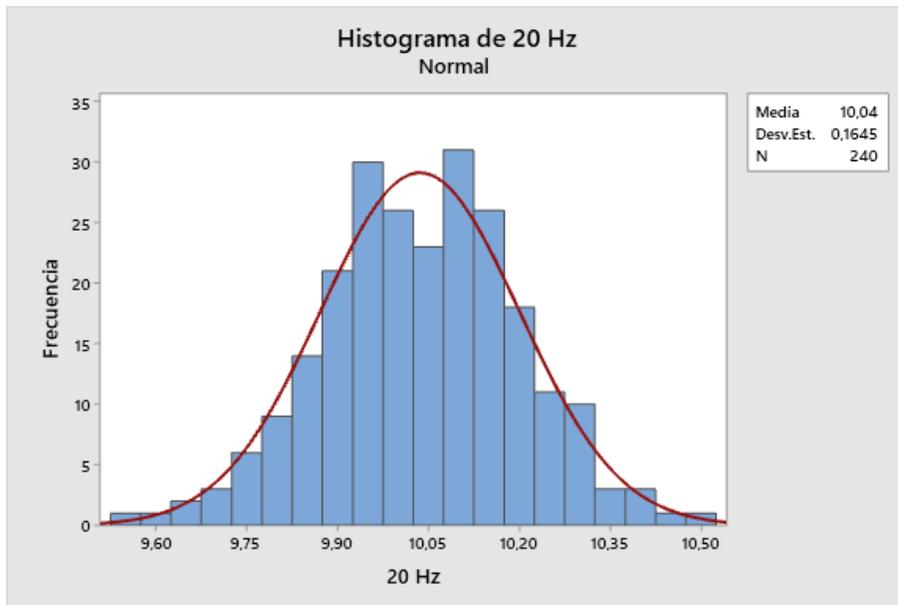


Figura 50

Histograma a frecuencia 20 Hz (velocidad media 10,04 m/s)



Nota. Para un intervalo de confianza del 95% ($k = 2$), se tiene una variación de $\pm 0,33$ m/s.

Figura 51

Ensayo de normalidad a frecuencia 32 Hz (velocidad media 16,30 m/s)

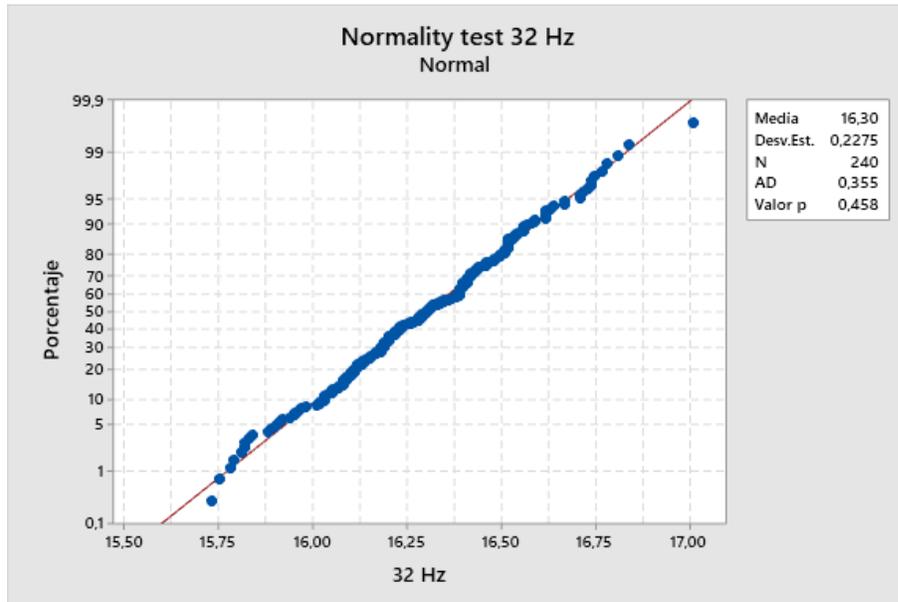
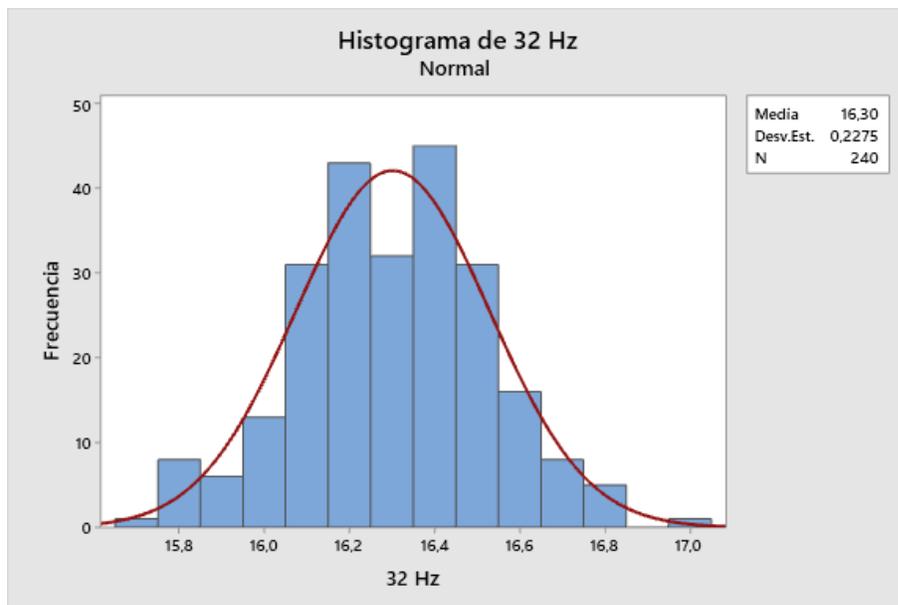


Figura 52

Histograma a frecuencia 32 Hz (velocidad media 16,30 m/s)



Nota. Para un intervalo de confianza del 95% ($k = 2$), se tiene una variación de $\pm 0,45$ m/s.

Estos resultados son mejores a los obtenidos con el primer acondicionador de flujo, por lo que quedó montado como definitivo en el conjunto armado.

Tabla 5

Uniformidad del flujo para cada escenario

Velocidad	Unidad	Sin acondicionador	Acondicionador blanco	Acondicionador azul
4	m/s	$\pm 0,12$	$\pm 0,12$	$\pm 0,15$
10	m/s	$\pm 0,32$	$\pm 0,29$	$\pm 0,33$
16	m/s	$\pm 0,68$	$\pm 0,45$	$\pm 0,45$

Nota. Si bien los resultados indican que utilizando el acondicionador de flujo blanco las variaciones son menores, la prueba de normalidad establece que el tercer escenario es el más adecuado.

Cabe resaltar que los ensayos fueron realizados hasta una velocidad de 16 m/s, ya que es el rango operativo que se indica en la norma. Sin embargo, el túnel es capaz de desarrollar un flujo de 24 m/s máximo con la configuración actual, aunque las especificaciones de turbulencia y uniformidad no se pueden garantizar sin realizar ensayos previos.

Procedimiento y Formulario de Calibración

La norma IEC 61400-12-1 establece, en su Anexo F, un “Procedimiento de calibración de anemómetros de copa”.

En el documento se indican:

- Los requisitos con los que debe contar el túnel de viento
- Los requisitos con los que deben contar los instrumentos de medición y la puesta a punto del anemómetro calibrando.
- Método de calibración
- Análisis de los datos obtenidos
- Análisis de incertidumbres de la medición
- Presentación de los datos

Como se mencionó anteriormente, el procedimiento se establece solamente para los anemómetros de copa, pero con las modificaciones adecuadas al método, puede utilizarse para la calibración de anemómetros de otras tecnologías.

El procedimiento de calibración fue confeccionado, validado y entregado al CENTEC, y se encuentra definido bajo el identificador “SG-PGA001: Procedimiento para la calibración de anemómetros”.

De igual manera, el formulario de calibración fue confeccionado, validado, puesto en práctica, modificado y entregado al CENTEC, y se encuentra definido bajo el identificador “SG-FCA001: Formulario calibración anemómetros por comparación”.

Conclusiones

La primera calibración de un anemómetro ejecutada utilizando el túnel aerodinámico se realizó el día 26/12/2022, y a la fecha CENTEC lleva emitidos 15 certificados. Durante ese periodo se llevaron a cabo algunos ajustes en cuanto a procedimiento y formulario de calibración, y los resultados obtenidos son comparables con los informes emitidos por otros laboratorios.

Esto nos permite confirmar que los objetivos se cumplieron en su totalidad, es decir que:

- Cada diseño del equipo, sus modificaciones y materialización, son el resultado de un trabajo en conjunto con proveedores locales, los que se involucraron fielmente con el proyecto, aportando su experiencia con el fin de mejorar los procesos en cada etapa.
- Todos los diseños fueron realizados y evaluados en software de diseño mecánico previo a su construcción.
- Los ensayos realizados durante la caracterización del túnel ofrecen una garantía en cuanto a su funcionamiento, ya que cumplen correctamente con los requisitos normados. El plan de mantenimiento del equipo indica cuáles serán los puntos críticos a relevar y evaluar para asegurar que se mantenga esta condición.
- La retroalimentación entre lo académico y la práctica, generada por los mismos proveedores, ponen en manifiesto su interés con la formación de profesionales en la provincia, ya que se involucraron fuertemente con este trabajo de ingeniería.
- Durante las etapas de construcción, armado y puesta a punto, se han utilizado de manera constante los recursos con los que dispone CENTEC. En este sentido, no

fue necesario adquirir herramientas y/o elementos de unión para acoplar cada una de las partes, y los acondicionadores de flujo fueron diseñados y fabricados mediante impresión 3D con el equipo que posee el centro.

- Tanto la estructura que soporta al conjunto armado, como la cámara de ensayos, fueron realizados con materiales obsoletos donados por empresas de la industria local, lo que permitió darle valor a elementos que fueron considerados para descarte.

Recomendaciones

El túnel debe ser ubicado en un espacio que mantenga la temperatura en valores estándar y que minimice el deterioro de los elementos del túnel causados por estar expuestos a la intemperie.

Realizar mantenimiento preventivo (balanceo y alineación) de manera planificada, así como también la limpieza de las hélices del ventilador. Verificar la condición del motor y el acondicionador de flujo periódicamente.

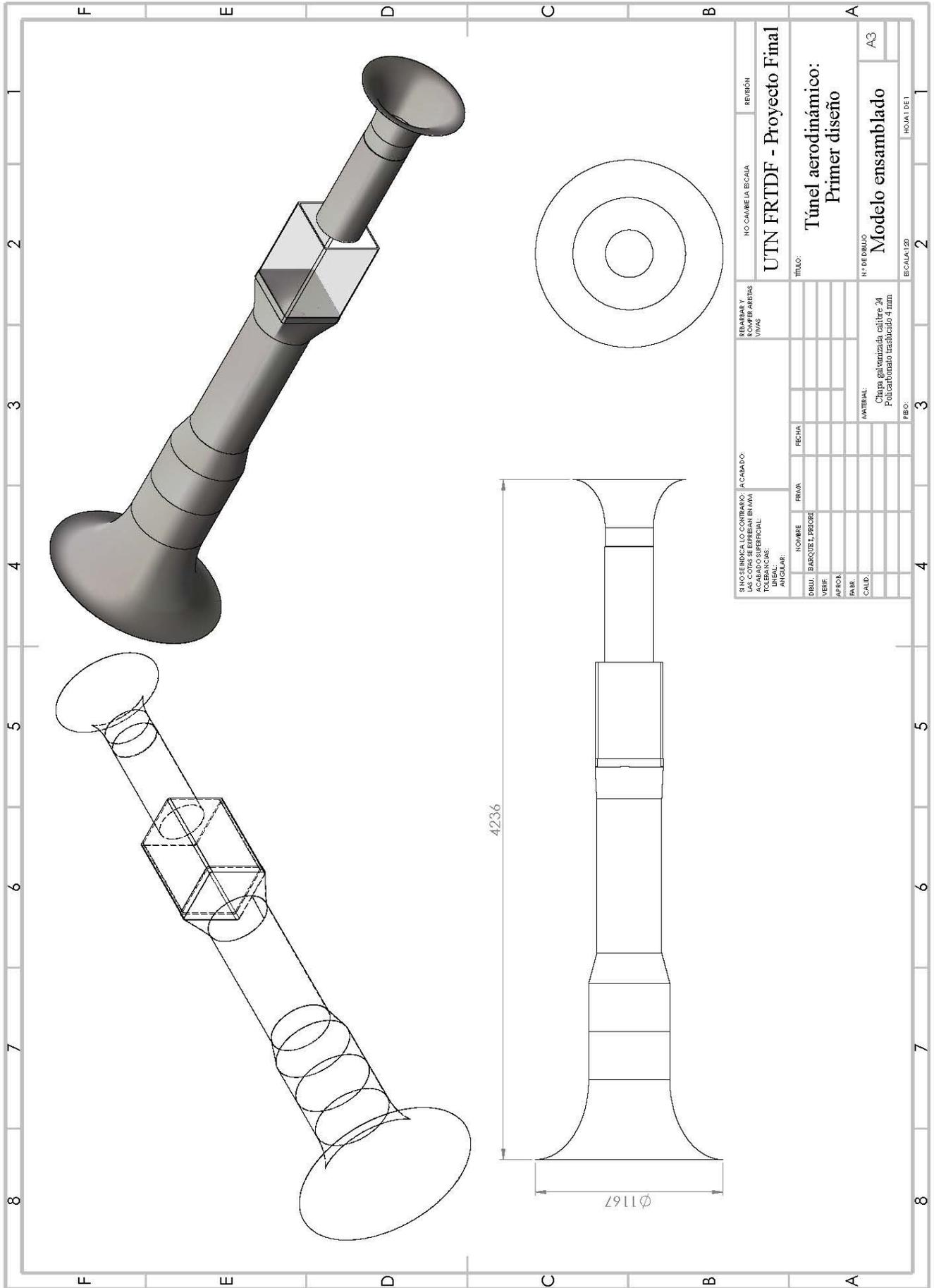
Cumplir con todas las recomendaciones dispuestas en el manual de funcionamiento, para precautelar la salud de los operarios y la vida útil del equipo.

Controlar periódicamente las uniones del túnel, para evitar fugas que pueden causar un mal funcionamiento del sistema.

En una etapa posterior se deberían continuar los ensayos para mejorar la calidad del flujo, adquiriendo el instrumental recomendado por la norma y realizando ajustes en la etapa de acondicionamiento del flujo.

Planos

En esta sección se presentan los planos de la evolución de los modelos diseñados hasta el real, y todos sus componentes.



SINO SE INDICA LO CONTRARIO: A CABALO: LOS CORROS SE ENTENDEN EN MM Y LOS ANGULOS EN GRADOS TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		REBARBAR Y COMPLEMENTOS VARIOS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ.:		NOMBRE:		FECHA:		TÍTULO:	
VERIF.:		PROYECT.:		:		:	
APROB.:		:		:		:	
FABR.:		:		:		:	
CALD.:		:		:		:	
MATERIAL:		:		:		:	
Chapa galvanizada calibre #4		:		:		:	
Poli-carbonato, espesor 4 mm.		:		:		:	
N.º DE DIBUJO		:		:		:	
Modelo ensamblado		:		:		:	
A3		:		:		:	
ESCALA: 1:20		:		:		:	
FECH.:		:		:		:	
HOJA: 1 DE 1		:		:		:	

UTN FRITDF - Proyecto Final

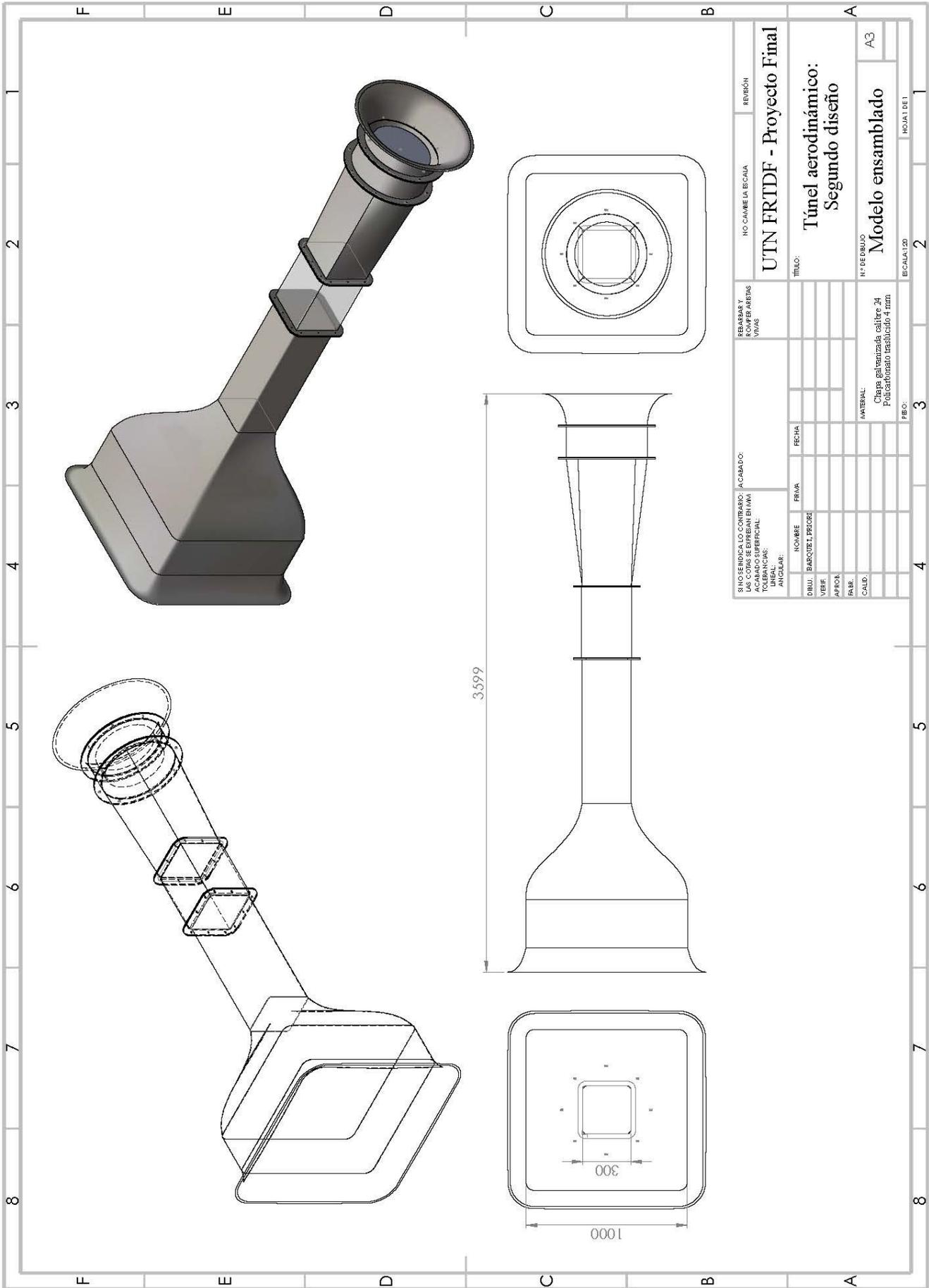
Túnel aerodinámico:
Primer diseño

Modelo ensamblado

A3

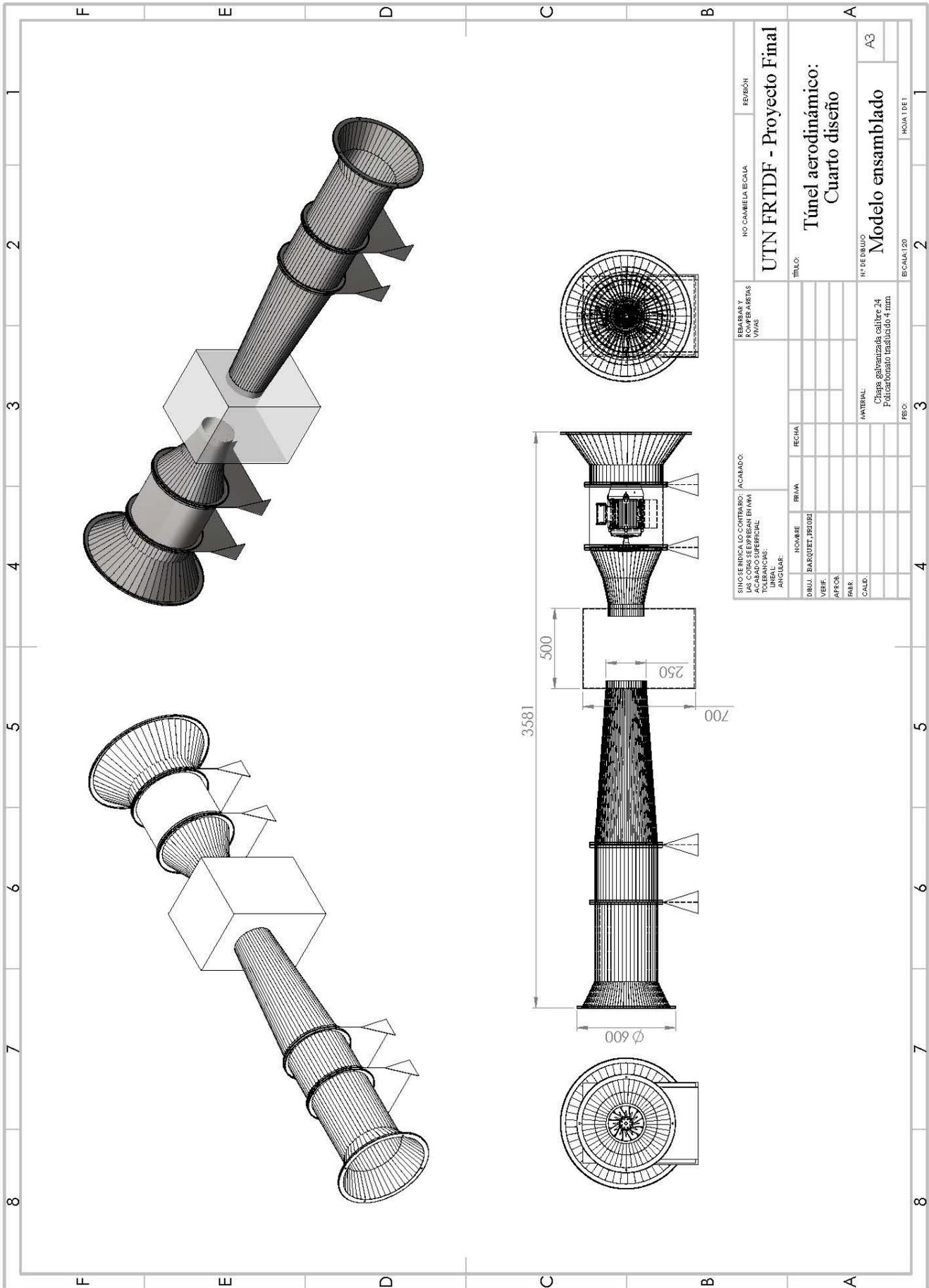
ESCALA: 1:20

HOJA: 1 DE 1

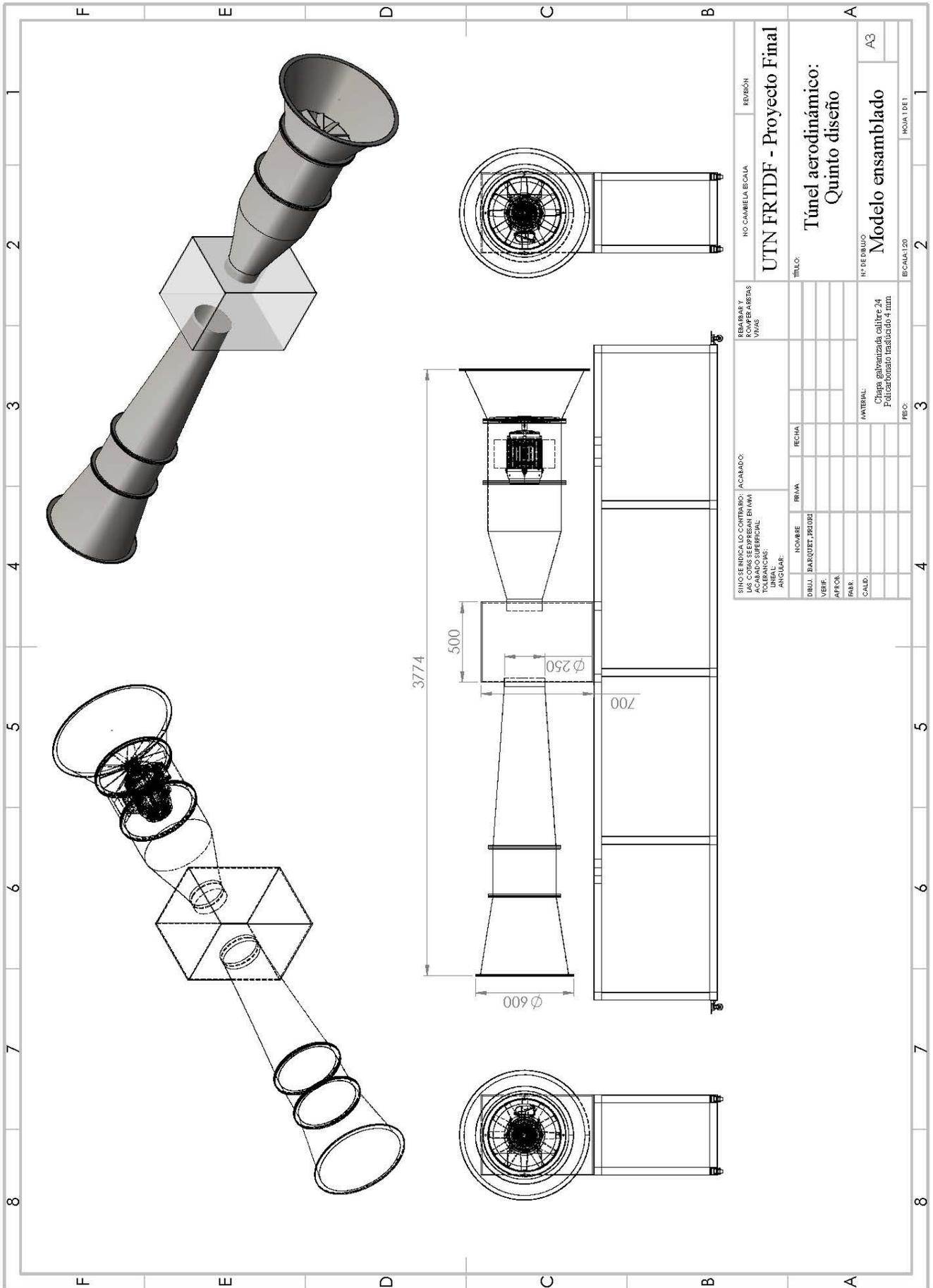


REBARBAR Y COMPLEMENTOS VARIOS		NO CAMBIA LA ESCALA		REVISIÓN	
UTN FRITDF - Proyecto Final					
TÍTULO:					
Túnel aerodinámico: Segundo diseño					
N.º DE DIBUJO					
Modelo ensamblado					
A3					
MATERIAL:					
Chapa galvanizada calibre #4					
Poliuretano, testificado 4 mm.					
FECHA:					
HOJA 1 DE 1					
ESCALA 1:20					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

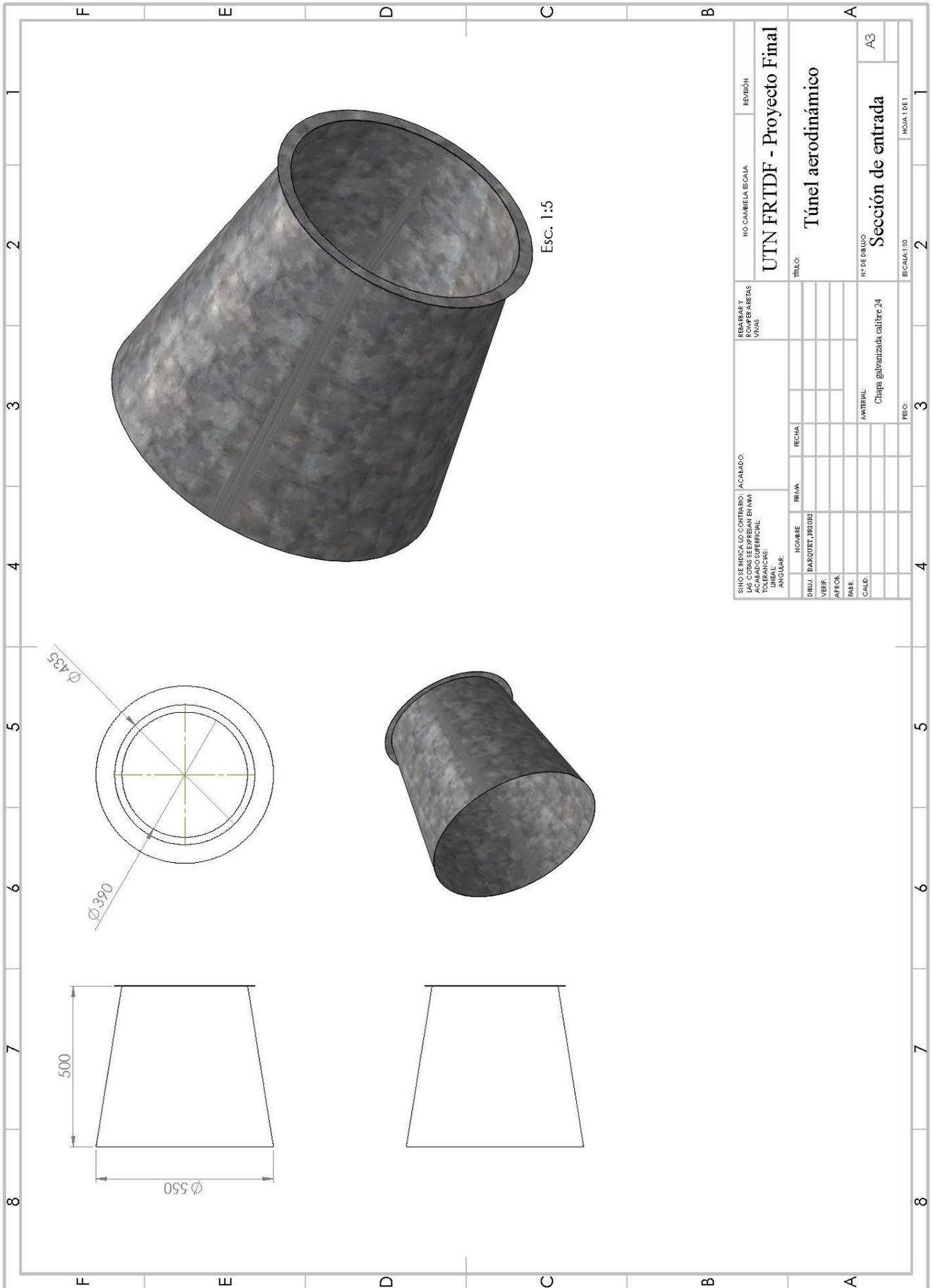
SINO SE INDICA LO CONTRARIO: A CABALDO:		FECHA:			
LAS COTAS SE ENTENDEN EN MM		FECHA:			
TOLERANCIAS:		FECHA:			
LINEAL:		FECHA:			
ANGULAR:		FECHA:			
DIBUJ.:		FECHA:			
V.º:		FECHA:			
APROB.:		FECHA:			
FABR.:		FECHA:			
CALD.:		FECHA:			
NOMBRE:		FECHA:			
PARQUETEL. PRECISI.:		FECHA:			
FRIVA:		FECHA:			



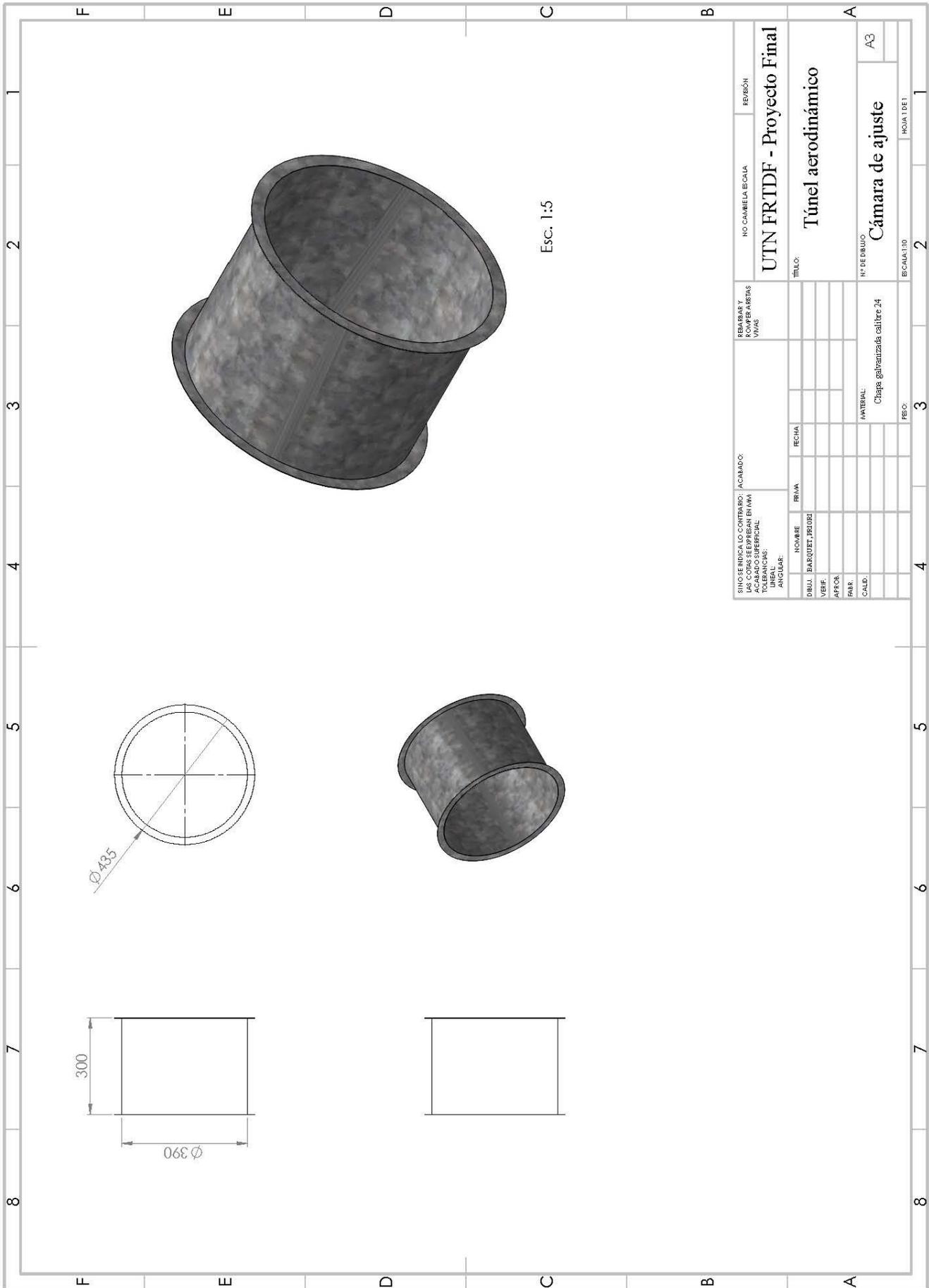
NO CAMBIA ESCALA		REVISIÓN
UTN FRITDF - Proyecto Final		
REPARAR Y CAMBIAR Nº DE Nº DE DIBUJO		
Túnel aerodinámico: Cuarto diseño		
MATERIAL: Chapas galvanizadas calibre 24 Policarbonato traslucido 4 mm.		
TÍTULO:		
Nº DE DIBUJO		
ESCALA 1:20		
FECHA:		
HOJA 1 DE 1		
SINO SE INDICA LO CONTRARIO, ACABADO: LAS CORTES SE EFECTÚAN EN MM Y SE REDONDEAN EN LOS RÁSTROS Y ANGULOS TOLERANCIAS: ANGULOS:		REVISIÓN
DIBUJO: BARQUET, PRIORI		FECHA:
VERIFICADO:		
APROBADO:		
PARA:		
CALIDAD:		



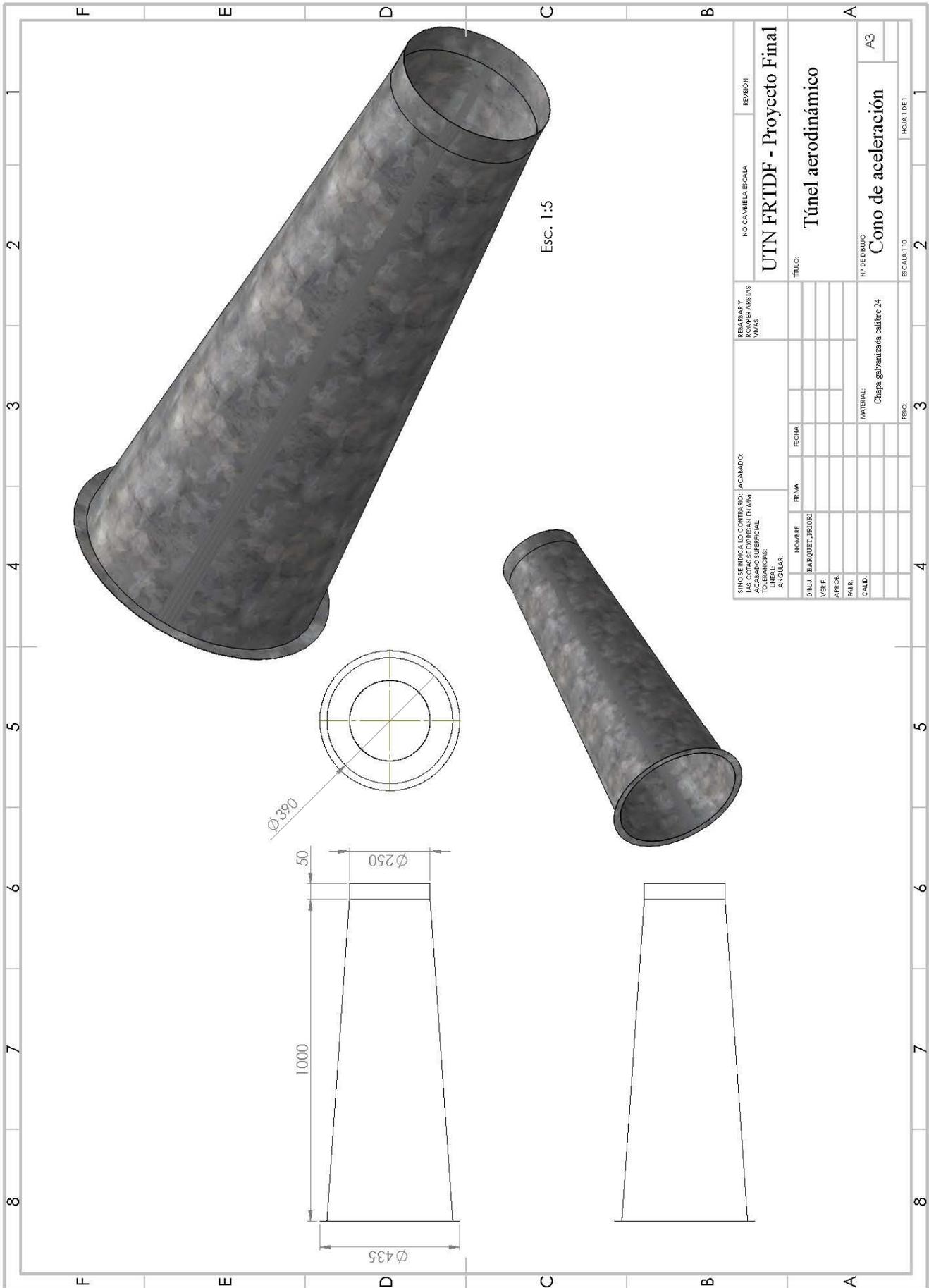
SINO SE INDICA LO CONTRARIO, ACABADO: LAS CORTES SE EFECTUAN EN MM. TOLERANCIAS: UNIDAD: ANGLÉS:		REBARBAR Y MARGEN ARISTAS MM.		NO CAMBIA LA ESCALA	REVISIÓN
UTN FRITDF - Proyecto Final		TÍTULO:		Túnel aerodinámico: Quinto diseño	
DIBUJ. BARQUET, PRIORI		FECHA:		Nº DE DIBUJO	
VERIF.				Modelo ensamblado	
APROB.				A3	
PAIS.				Nº DE DIBUJO	
CALID.				Modelo ensamblado	
MATERIAL: Chapa galvanizada calibre 24 Policarbonato traslucido 4 mm.		FECHA:		ESCALA: 1:20	
		3		2	
4		5		6	
7		8		1	



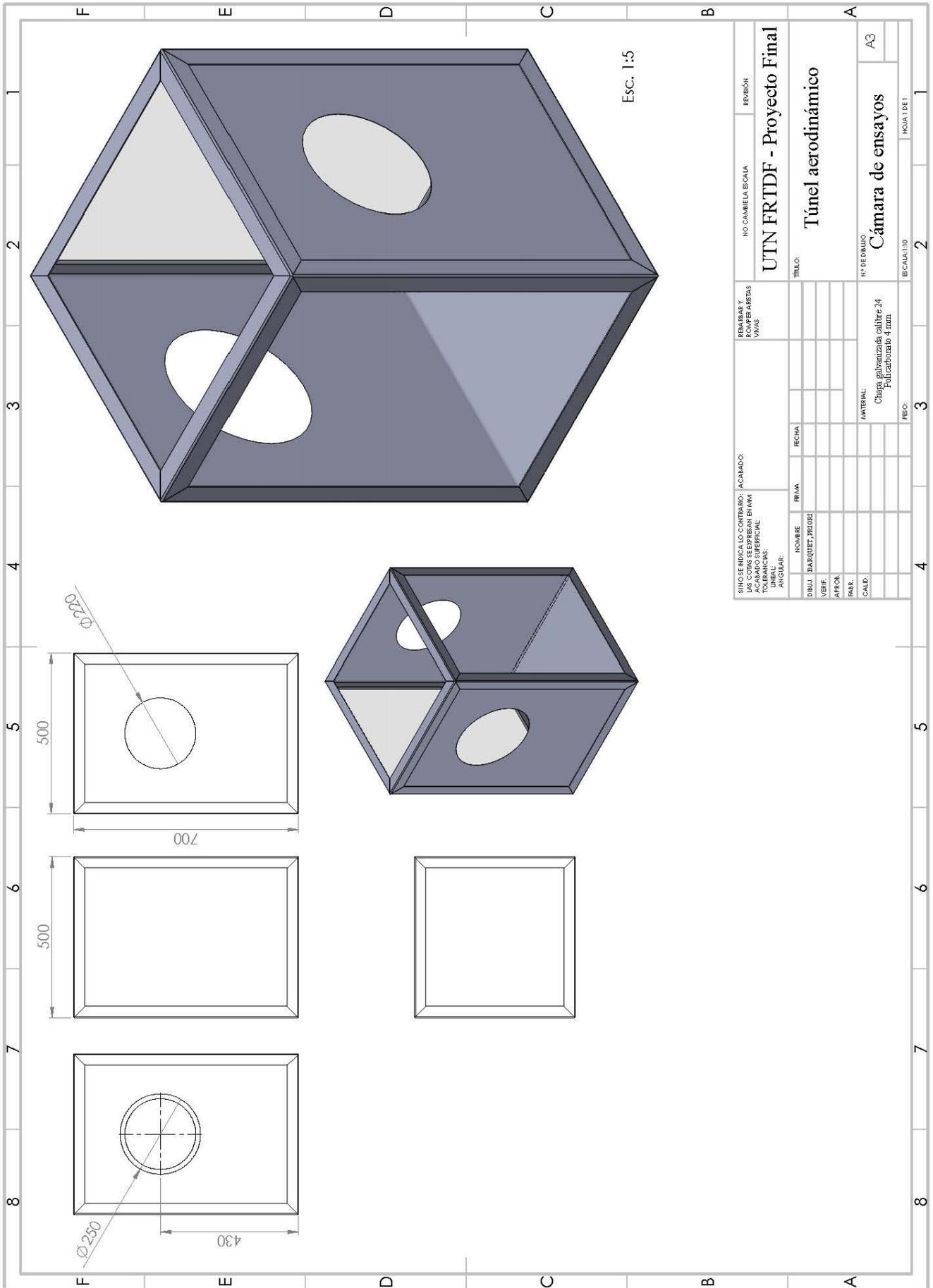
SINO SE INDICA LO CONTRARIO, ACABADO: LAS CORTES SE EFECTUAN EN MM Y LAS MEDIDAS EN mm TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		REBARBAR Y SUPERFICIES LIBRES		NO CAMBIA LA ESCALA		REVISIÓN
UTN FRITDF - Proyecto Final						
TÍTULO: Túnel aerodinámico						
Nº DE DIBUJO: A3						
SECCIÓN DE ENTRADA						
MATERIAL: Chapas galvanizadas calibre 24						
ESCALA: 1:5						
FECHA: _____						
HOJA 1 DE 1						



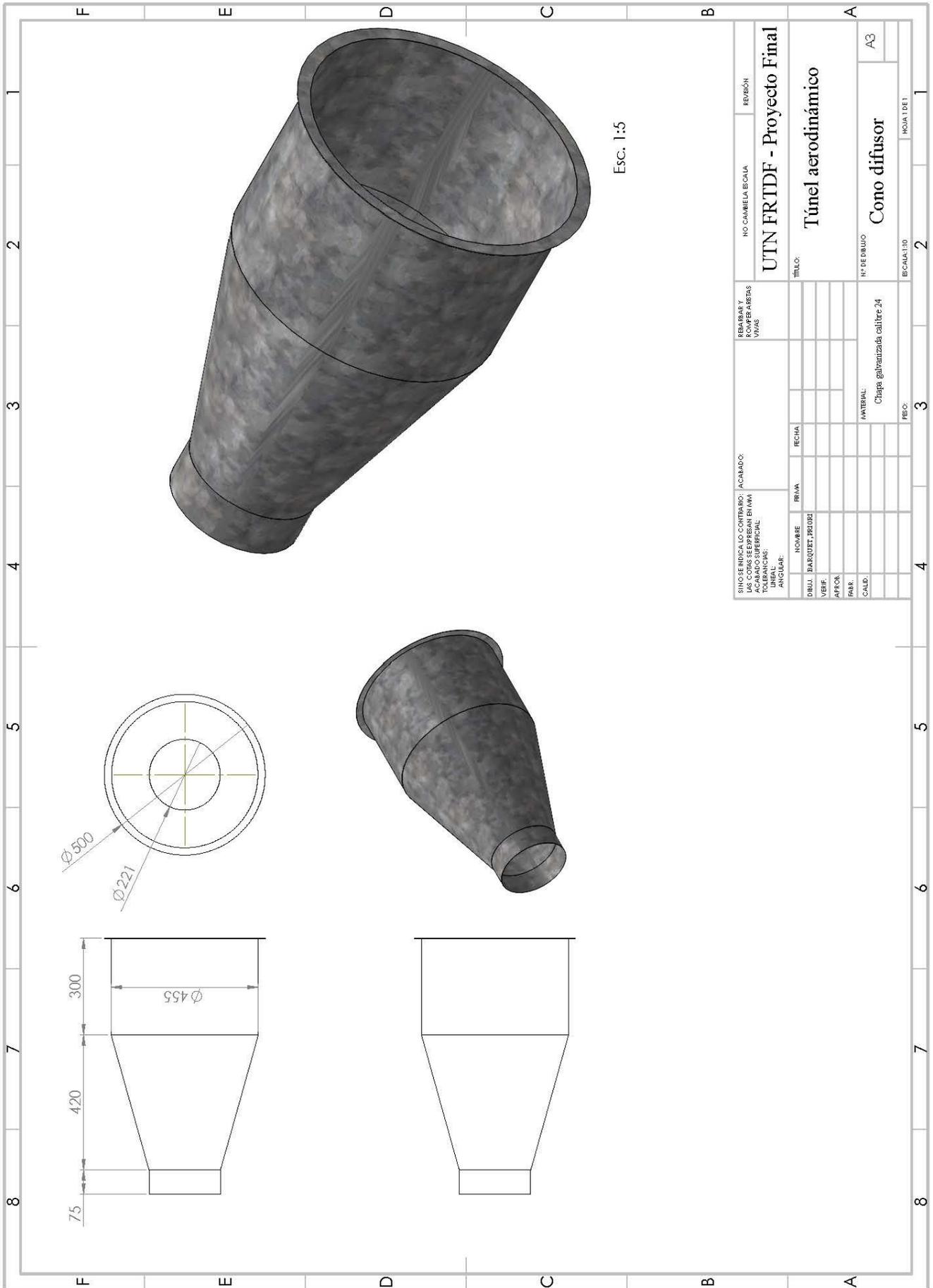
SINO SE INDICA LO CONTRARIO, ACABADO: LAS CORDAS SE EFECTUAN EN MM LAS MEDIDAS EN mm TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		REPARAR Y CORREGIR VARIAS		NO CAMBIA ESCALA	REVISIÓN
UTN FRITDF - Proyecto Final					
TÍTULO: Túnel aerodinámico					
Nº DE DIBUJO: Cámara de ajuste					
MATERIAL: Chapas galvanizadas calibre 24					
ESCALA: 1:10					
HOJA 1 DE 1					



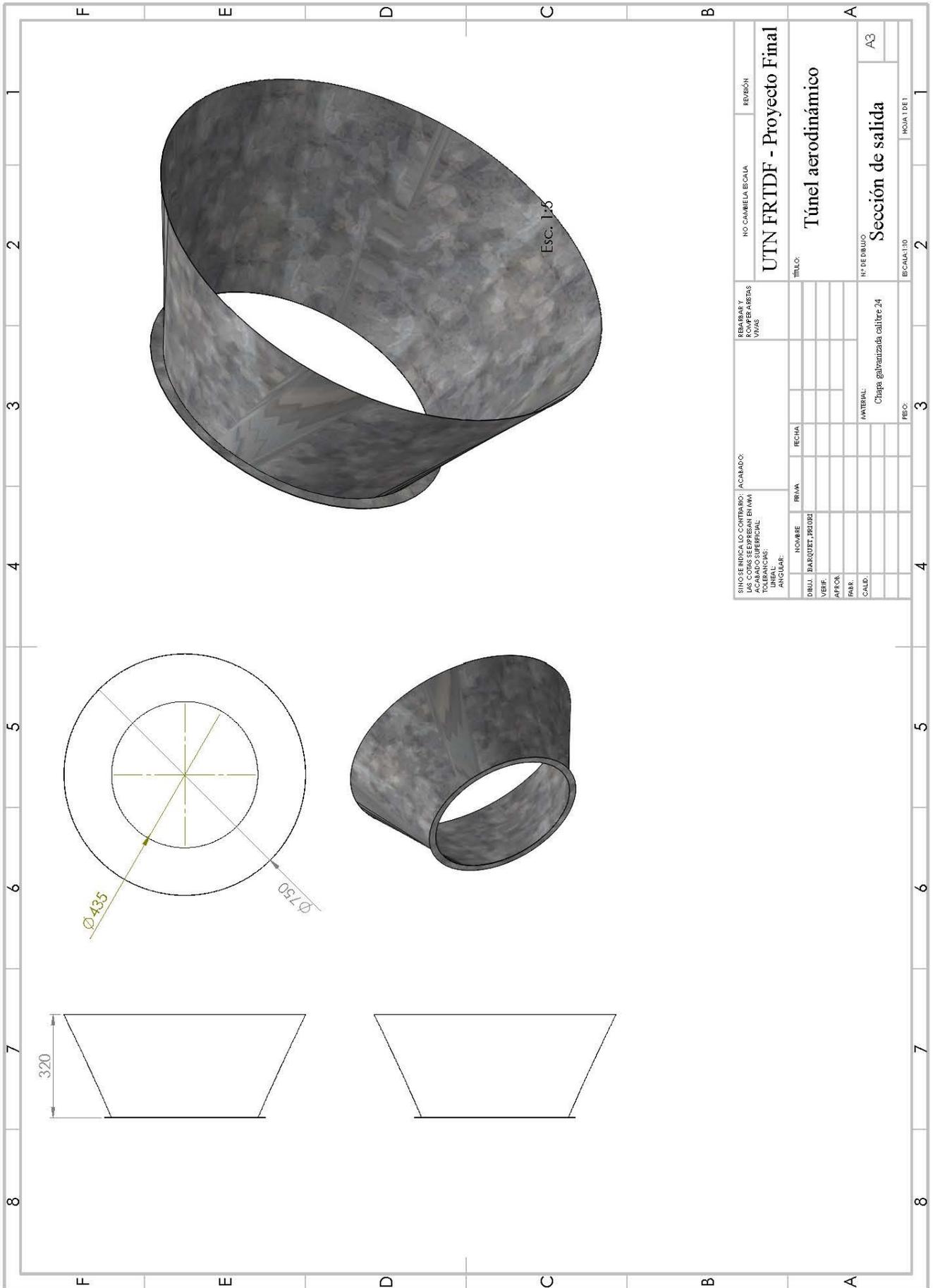
SINO SE INDICA LO CONTRARIO, ACABADO: LAS CORTES SE EFECTUAN EN UNA LINEA DE SIMETRIA PRINCIPAL TOLERANCIAS: UNIDAD: ANGULO:		REPARAR Y CORREGIR VARIAS		NO CAMBIA LA ESCALA		REVISION
UTN FRITDF - Proyecto Final						
TÍTULO: Túnel aerodinámico						
Nº DE DIBUJO Cono de aceleración						
A3						
MATERIAL: Chapas galvanizadas calibre 24						
ESCALA 1:10						
FECHA: 2						
FOLIO: 3						
HOJA 1 DE 1						



SINO SE INDICA LO CONTRARIO, ACABADO: LAS CORTES SE EFECTUAN EN MM Y SE REDONDEAN EN LOS TOCANTES. TOLERANCIAS: UNIDAD: ANGULO:		REBARBAR Y MARGEN ARISTAS MM		NO CAMBIA LA ESCALA		REVISIÓN
UTN FRITDF - Proyecto Final						
Túnel aerodinámico						
TÍTULO:						
Nº DE DIBUJO: Cámara de ensayos						
A3						
MATERIAL: Chapa galvanizada calibre 24 Pulverizado 4 mm.						
DIBUJ.	BARQUET.	PROJEC.	FECHA	FECHA	FECHA	FECHA
VERIF.						
APROB.						
PAIS.						
CALID.						
FIBRO:				ESCALA: 1:10		HOJA: 1 DE 1



SINO SE INDICA LO CONTRARIO, ACABADO: LAS CORTES SE EFECTUAN EN LÍNEA DE CORTES SE EFECTUAN EN LÍNEA DE CORTES SE EFECTUAN EN LÍNEA TOLERANCIAS: UNIDAD: ANGULO:		REBARBAR Y SUPERFICIES LIBRES		NO CAMBIA LA ESCALA	REVISIÓN
UTN FRITDF - Proyecto Final					
TÍTULO: Túnel aerodinámico					
Nº DE DIBUJO Cono difusor					
MATERIAL: Chapas galvanizadas calibre 24					
ESCALA 1:10					
HOJA 1 DE 1					



SINO SE INDICA LO CONTRARIO, ACABADO: LAS CORTES SE EFECTUAN EN MM Y LAS MEDIDAS EN mm TOLERANCIAS: UNESAL: ANGULARES:		REBARBAR Y SUPERFICIES LIBRES		NO CAMBIA LA ESCALA	REVISIÓN
UTN FR/TDF - Proyecto Final					
TÍTULO: Túnel aerodinámico					
Nº DE DIBUJO: A3					
MATERIAL: Chapas galvanizadas calibre 24					
ESCALA: 1:10					
FECHA: 2					
HOJA: 1 DE 1					

Referencias

Fin del Mundo (s.f). El clima en Tierra del Fuego. <https://findelmundo.tur.ar/es/c/clima-en-tierra-del-fuego/1041>

Wikimedia Commons (25 de Enero de 2006). File:ClipperRoute.png. Recuperado el 8 de noviembre de 2023 de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ClipperRoute.png?uselang=es>

Wikipedia (19 de Noviembre de 2007). Rugientes Cuarentas. Recuperado el 8 de noviembre de 2023 de https://es.wikipedia.org/wiki/Rugientes_Cuarentas

Bibliografía

1. Jewel B. Barlow, William H. Rae, Jr., Alan Pope, “Low-Speed Wind Tunnel Testing”, tercera edición, 1999.
2. NASA - Langley Research Center, “Wind-Tunnel Model Systems Criteria”.
3. IEC 61400-12-1:2005, Ed. 1, “Wind turbines – Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines.”.
4. Emil Simiu (2009), NIST Technical Note 1655: “Toward a Standard on the Wind Tunnel Method”.
5. María B. Ortiz García (2012), “Diseño y Construcción de un Túnel de Viento Para la Calibración de Anemómetros en el INAMHI”.
6. Lenin A. Ludueña Aguilar (2019), “Diseño e implementación de un túnel de viento de circuito abierto para una mejor exactitud en la calibración de anemómetros”.
7. ANSI/AMCA 210-07 (2007), “Laboratory Methods of Testing Fans for Certified Aerodynamic Performance Rating”.

8. Andrés Rocha Molina, Heiner Castañeda Gómez, Jairo Salcedo Naizir, Luis De La Cruz Natera, Javier Roldán Mckinle (2017), “Diseño de un banco de pruebas para ventiladores axiales en serie, norma ANSI/AMCA 210”.

9. İbrahim Göv (2021), “Comparison of Hexagonal, Square, and Circular Sectioned Honeycomb Performance in a Wind Tunnel”.

10. Alberto Muñoz Mejías (2012), “Diseño y Análisis Computacional Para Túnel de Viento de Baja Velocidad”.

11. A.M. Samela, P. J. Bahamonde, O. Szewczuk, A. L. Ibarreta Fañanas, V. Forchino, C.Tommasi (2015), “Diseño y Construcción de Túnel de Viento Para Ensayo de Perfiles de Superficies de Palas Para Aerogenerador”.

12. Roberto Peinado Illana (2012), “Sistema Eléctrico y de Control de Potencia de un Túnel Aerodinámico”.

13. Navis anemometers, Calibration Certificate. Recuperado Noviembre de 2023 de http://www.navis-anemometers.com/pdf/WSS_103_calibration_certificate.pdf

14. James Scheiman (1981), NASA Technical Memorandum 81868: “Considerations for the installation of Honeycomb and Screens To Reduce Wind-Tunnel Turbulence”. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19810020599/downloads/19810020599.pdf>

15. P.J. Eecen, M. de Noord (2005), “Uncertainties in Cup Anemometer Calibrations”.

Páginas Web:

1. NASA. Interactive Simulations. Recuperado Noviembre 2023 de <https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/bga-simulations/#atmosphere>

2. NASA. Guide Tours of the BGA. Recuperado Noviembre 2023 de <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/guided.htm>

3. NASA. Reynolds Number. Recuperado Noviembre de 2023 de <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/reynolds.html>

4. Ecuación de Reynolds a partir de la Ecuación de Navier-Stokes. Recuperado Noviembre 2023 de https://en.wikipedia.org/wiki/Reynolds-averaged_Navier%E2%80%93Stokes_equations#Equations_of_Reynolds_stress

5. Modelo de turbulencia K_epsilon. Recuperado Noviembre 2023 de https://en.wikipedia.org/wiki/K-epsilon_turbulence_model

6. Calculadora de propiedades, conversiones y estimaciones de límites. Recuperado Noviembre 2023 de <https://www.cfd-online.com/Tools/turbulence.php>