

Proyecto Fin de Carrera
Grado en Ingeniería Aeroespacial
Vehículos aeroespaciales

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TÚNEL DE VIENTO PARA ENSAYOS EN RÉGIMEN SUBSÓNICO Y TRANSÓNICO

Autor: Daniel Enrique Martínez Coza

Tutor: Pablo José Matute Martín

Dep. de Ingeniería de la Construcción y
Proyectos de Ingeniería
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2016



ÍNDICE GENERAL

- 1. DOCUMENTO 1: MEMORIA DESCRIPTIVA Y ANEXOS.**
- 2. DOCUMENTO 2: PLANOS.**
- 3. DOCUMENTO 3: MEDICIONES Y PRESUPUESTO.**
- 4. DOCUMENTO 4: PLIEGO DE CONDICIONES.**
- 5. DOCUMENTO 5: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD.**

Diseño y construcción de un túnel de viento para
ensayos en régimen subsónico y transónico

DOCUMENTO 1: MEMORIA DESCRIPTIVA Y ANEXOS

ÍNDICE

	Pag.
1. Introducción.....	11
1.1. Marco del proyecto.....	11
1.2. Objetivos del proyecto.....	11
2. Emplazamiento	13
2.1. Ubicación y accesos	14
2.2. Características del polígono y la parcela.....	16
3. Túnel de viento	17
3.1. Definición.....	17
3.2. Clasificación de túneles de viento	17
3.2.1. Velocidad de operación	17
3.2.2. Características topológicas	18
3.2.2.1. Tipo de retorno.....	18
3.2.2.2. Tipo de cámara de ensayos	19
3.3. Elementos de un túnel de viento.....	21
4. Teoría del flujo	23
4.1. Números adimensionales.....	23
4.1.1. Numero de Reynolds	23
4.1.2. Número de Mach.....	24
4.1.3. Número de Froude.....	24
4.2. Régimen del flujo	25
4.2.1. Régimen laminar	25
4.2.2. Régimen turbulento	26
4.2.3. Ecuación de Colebrook –White.....	27
4.2.3.1. El ábaco de Moody	27
4.3. Capa límite	28
4.4. Ecuaciones de conservación: Navier – Stokes	29
4.4.1. Hipótesis de partida.....	29
4.4.2. Ecuaciones de conservación.....	30
4.4.3. Ecuaciones de Navier – Stokes	32
4.4.4. Movimiento de gases en conductos: ecuaciones del número de Mach.....	32
4.4.4.1. Ecuación del número de Match	32
4.4.4.2. Ecuaciones del movimiento isentrópico	34
5. Diseño del túnel.....	35
5.1. Aeronave limitante	35
5.2. Cámara de ensayos	36
5.3. Difusores	38
5.3.1. Primer difusor.....	40
5.3.2. Segundo difusor.....	41
5.4. Codos.....	42
5.4.1. Primer y segundo codo	42

5.4.2. Tercer y cuarto codo.....	43
5.5. Sección impulsora	44
5.6. Contracción	47
5.7. Cámara de estabilización.....	50
5.7.1. Acondicionadores de flujo	50
5.8. Pantalla de seguridad.....	51
5.9. Conductores de adaptación.....	52
5.10. Túnel de viento	53
6. Análisis de las pérdidas y operación del túnel de viento.....	54
6.1. Pérdidas de carga.....	54
6.1.1. Tramos rectos de sección constante	55
6.1.2. Difusores	56
6.1.3. Codos.....	56
6.1.4. Contracción	59
6.1.5. Pantallas de seguridad	59
6.1.6. Acondicionadores de flujo	60
6.2. Operación del túnel de viento.....	61
7. Instalaciones y servicios	67
7.1. Personal	67
7.2. Infraestructuras	68
7.2.1. Túnel de viento.....	68
7.2.2. Edificio principal.....	70
7.2.3. Edificio de ensayos y taller	71
7.2.4. Edificio del compresor	72
7.2.5. Edificio del motor.....	73
7.2.6. Instalaciones auxiliares	73
7.2.6.1. Suministro eléctrico	73
7.2.6.2. Saneamiento y abastecimiento de agua	74
7.2.6.3. Sistema de presurización del túnel.....	75
7.2.7. Parking	76
7.2.8. Caseta de seguridad.....	76
7.2.9. Vallado	77
7.2.10. Urbanización y viales.....	77
7.3. Servicios	78
7.3.1. Ensayos.....	78
7.3.1.1. Aviación civil y comercial	79
7.3.1.2. Aviación militar	79
7.3.1.3. Helicóptero y convertible.....	80
7.3.2. Instrumental.....	80
7.3.2.1. Medida de las cargas sobre el modelo	81
7.3.2.2. Medida de la deformación del modelo	81
7.3.2.3. Medida de presiones sobre el modelo	81
7.3.2.4. Estadísticas y visualización del campo fluido ..	82
7.3.2.5. Mediciones acústicas	82

7.3.2.6. Medida de actitud.....	83
7.3.2.7. Medida del flujo de calor	83
7.3.2.8. Evolución de la transición a la turbulencia	83
8. Resumen del presupuesto	84
9. Normativa de obligado cumplimiento	85
9.1. Ordenación urbanística.....	85
9.2. Administración pública	85
9.3. Estructuras de acero.....	85
9.4. Materiales metálicos y transformados	86
9.5. Estructuras de hormigón y cimientos	86
9.6. Instalaciones eléctricas	87
9.7. Instalaciones de alumbrado	88
9.8. Instalaciones contra incendios.....	89
9.9. Medio ambiente	89
9.10. Seguridad y prevención	91
9.11. Industria	92
9.12. Protección Civil	92
9.13. Abastecimiento de aguas	93
10. Conclusiones.....	94
Anexo I: Movimiento de gases en conductos	95
Anexo II: Conservación del número de Mach	
y el número de Reynolds	98
Anexo III: Resolución del problema	102
Anexo: IV: Diseño de la sección impulsora	115
IV.I Rectificadores de la corriente	115
IV.II Fan	116
Anexo V: Códigos de Matlab	123

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Emplazamiento en España	13
Figura 2.2	Emplazamiento en Sevilla.....	13
Figura 2.3	Emplazamiento en Aerópolis	14
Figura 2.4	Ruta parcela – Sevilla	14
Figura 2.5	Ruta parcela – Aeropuerto	15
Figura 2.6	Ruta parcela – San Pablo Sur.....	15
Figura 3.1	Esquema de un túnel de viento cerrado con cámara de ensayos cerrada.....	20
Figura 3.2	Esquema de un túnel de viento abierto con una cámara de ensayos cerrada.....	20
Figura 3.3	Esquema de un túnel de viento cerrado con una cámara de ensayos abierta.....	21
Figura 3.4	Esquema genérico de un túnel de viento de retorno cerrado	22
Figura 3.5	Esquema genérico de un túnel de viento de retorno abierto	22
Figura 4.1	Esquema régimen laminar.....	25
Figura 4.2	Perfil de velocidades en régimen laminar	26
Figura 4.3	Esquema régimen turbulento	26
Figura 4.4	Ábaco de Moody.....	27
Figura 4.3	Esquema de la capa límite.....	28
Figura 5.1	Cámara de ensayos.....	37
Figura 5.2	Modelo difusor.....	39
Figura 5.3	Primer difusor	40
Figura 5.4	Segundo difusor	41
Figura 5.5	Primer y segundo codo.....	43
Figura 5.6	Tercer y cuarto codo	44
Figura 5.7	Álabes del fan	45
Figura 5.8	Corona de álabes del fan	46
Figura 5.9	Barquilla y rectificadores de la sección impulsora ..	46
Figura 5.10	Sección impulsora completa	47
Figura 5.11	Curva de la contracción en el plano XZ.....	48
Figura 5.12	Curva guía de la contracción en el plano XY	49
Figura 5.13	Contracción	49
Figura 5.14	Tipos de acondicionadores.....	50
Figura 5.15	Acondicionadores del flujo	51
Figura 5.16	Pantalla de seguridad	52
Figura 5.17	Conducto de adaptación.....	52
Figura 5.18	Túnel de viento completo.....	53
Figura 5.19	Planta del túnel completo.....	53
Figura 5.20	Perfil del túnel completo	53
Figura 6.1	Coefficiente de carga de un codo frente a su radio ...	58

Figura 6.2	Potencia consumida por la sección impulsora Frente al número de Mach de ensayo	61
Figura 6.3	Caída de presión remanso o total frente al número de Mach de ensayo.....	62
Figura 6.4	Evolución del número de Mach en el interior del túnel	62
Figura 6.4	Evolución de la velocidad en el interior del túnel....	63
Figura 6.6	Evolución de remanso en el interior del túnel	63
Figura 6.7	Porcentaje de pérdidas de carga por elemento con $M=0,3$	64
Figura 6.8	Porcentaje de pérdidas de carga por elemento con $M=0,95$	65
Figura 6.9	Razón de Reynolds frente a Mach real	66
Figura 6.10	Revoluciones del fan frente al número de Mach del ensayo.....	66
Figura 7.1	Envolvente del túnel	68
Figura 7.2	Enterramiento del túnel.....	
Figura 7.3	Ubicación del edificio principal respecto al túnel....	72
Figura 7.4	Ubicación del edificio de ensayos y de los talleres respecto al túnel.....	72
Figura 7.5	Ubicación del edificio del compresor	72
Figura 7.6	Ubicación del edificio del motor respecto al túnel ..	73
Figura 7.7	Esquema de la transmisión de potencia desde el motor al fan	74
Figura 7.8	Relación entre el tiempo de presurización y la potencia requerida	76
Figura 7.9	Caseta de seguridad típica.....	77
Figura 7.10	Distribución final de las instalaciones	78
Figura A2.1	Razón de Reynolds frente a Mach real	100
Figura A2.2	Velocidad en el modelo frente a la velocidad real ...	101
Figura A2.3	Número de Mach en el modelo frente al número de Mach real	101
Figura A3.1	Distribución del número de Mach.....	103
Figura A3.2	Distribución del número de Mach régimen subsónico.....	106
Figura A3.3	Distribución de velocidad en régimen subsónico	106
Figura A3.4	Distribución de presión en régimen subsónico	107
Figura A3.5	Distribución de presión estática en régimen subsónico.....	107
Figura A3.6	Distribución de densidad de remanso en Régimen subsónico	108
Figura A3.7	Distribución de densidad estática en régimen subsónico.....	108
Figura A3.8	Distribución de temperatura de remanso en	

	régimen subsónico	109
Figura A3.9	Distribución de temperatura estática en régimen subsónico.....	109
Figura A3.10	Distribución del número de Mach en régimen transónico.....	110
Figura A3.11	Distribución de velocidad en régimen transónico....	110
Figura A3.12	Distribución de presión estática en régimen transónico.....	111
Figura A3.13	Distribución de presión estática en régimen transónico.....	111
Figura A3.14	Distribución de densidad de remanso en régimen transónico.....	112
Figura A3.15	Distribución de densidad estática en régimen transónico.....	112
Figura A3.16	Distribución de temperatura en régimen transónico.....	113
Figura A3.17	Distribución de temperatura estática en régimen transónico.....	113
Figura A3.18	de K_{fs} respecto al número de Mach del ensayo.....	114
Figura A4.1	Aerodinámica de una sección genérica de álabe.....	116
Figura A4.2	Revoluciones del fan frente al número de Mach del ensayo.....	118
Figura A4.3	Características aerodinámicas del perfil D de álabes de fan.....	120
Figura A4.4	Perfiles típicos en secciones del fan.....	121
Figura A4.5	Geometría de los perfiles tipo D y tipo E	122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Regímenes de velocidad	17
Tabla 5.1	Aeronaves comerciales consideradas.....	35
Tabla 5.2	Número de Reynolds de operación de los modelos considerados.....	36
Tabla A2.1	Conservación de números adimensionales según el régimen de velocidad	98
Tabla A2.2	Resumen de parámetros iniciales conocidos.....	99
Tabla A4.1	Resumen características de los rectificadores.....	116
Tabla A4.2	Resumen de características del flujo.....	118
Tabla A4.3	Resumen características aproximadas del fan.....	119
Tabla A4.4	Valores experimentales empleados.....	120
Tabla A4.5	Características geométricas de los álabes del fan	121

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- “LOW – SPEED WIND TUNNEL TESTING”, THIRD EDITION, BARROW-RAE-POPE.
- “HYDRAULICS, 1954”, NEKRASOV.
- “AERODYNAMICS OF LOCAL RESISTANCES”, ABRAMOVICH.
- “REDUCING THE RESISTANCE OF SQUARE BENDS BY MEANS OF GUIDE VANES)”, KHANZHONKOV, TALIEV.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Marco del proyecto

Este trabajo de fin de grado pretende desarrollar un túnel de viento y las instalaciones necesarias en carácter de anteproyecto. Para ello el proyecto se centra en el análisis del flujo en el interior del túnel, enmarcándose en el campo de la mecánica de los fluidos.

El conocimiento del comportamiento del flujo es de gran importancia, dado que éste definirá las pérdidas que se producirán en el túnel. Su optimización es crucial ya que el resultado determinará la potencia que será necesaria imprimirle al flujo para mantenerlo en movimiento en régimen estacionario. Es por ello que el análisis de las pérdidas en los elementos del túnel tendrá una importante repercusión en el diseño.

Es necesario mencionar que las dimensiones físicas del túnel de viento vendrán limitadas por el ensayo más exigente que pretendamos realizar. Por ello se analizarán una serie de aeronaves comerciales características y se determinará aquella más restrictiva para el diseño del túnel. Como se verá en capítulos posteriores será necesario el uso de números adimensionales estrictamente relacionados con la mecánica de fluidos.

Como se justificará más adelante, el trabajo se centra en el diseño de un túnel de ciclo cerrado. Esto se debe a las altas exigencias que se requieren en determinados ensayos de régimen subsónico para las aeronaves más críticas. Los túneles de ciclo cerrado ofrecen grandes ventajas como el control del flujo, pero penaliza en el coste. Aún así es la solución más adecuada para este tipo de ensayos.

Resulta claro que el túnel de viento precisa de una serie de instalaciones auxiliares para el desempeño de sus funciones y para la gestión del mismo. Por ello se analizarán las necesidades del mismo y se propondrá una solución constructiva que satisfaga estas necesidades.

1.2 Objetivos del proyecto

Los objetivos del proyecto se pueden resumir en la lista siguiente:

- Diseño de un túnel de viento capaz de realizar ensayos en régimen subsónico y transónico - subsónico para todas las aeronaves comerciales posibles.
- Estudio del flujo de gases en conductos y uso de la teoría de la mecánica de fluidos para analizar el comportamiento cinemático y dinámico del flujo.
- Aplicación de las teorías existentes para la cuantificación de las pérdidas de carga ocasionadas por el flujo.
- Estudiar las necesidades constructivas y de personal necesarias para la ejecución del túnel de viento.

- Diseño y modelado en 3D de los elementos del túnel y generación de planos del mismo y de las instalaciones adyacentes.
- Listar los posibles ensayos a realizar y el instrumental necesario en base a datos bibliográficos.
- Generar un presupuesto tentativo del coste de ejecución del proyecto constructivo.

2. EMPLAZAMIENTO

El túnel de viento se encontrará en España, en la provincia de Sevilla. El polígono industrial Aerópolis dispone de una parcela que cumple las necesidades del proyecto en cuanto a tamaño y accesos. En la imagen siguiente podemos observar la ubicación de la parcela en la que se ejecutará el proyecto.



Figura 2.1: Emplazamiento en España

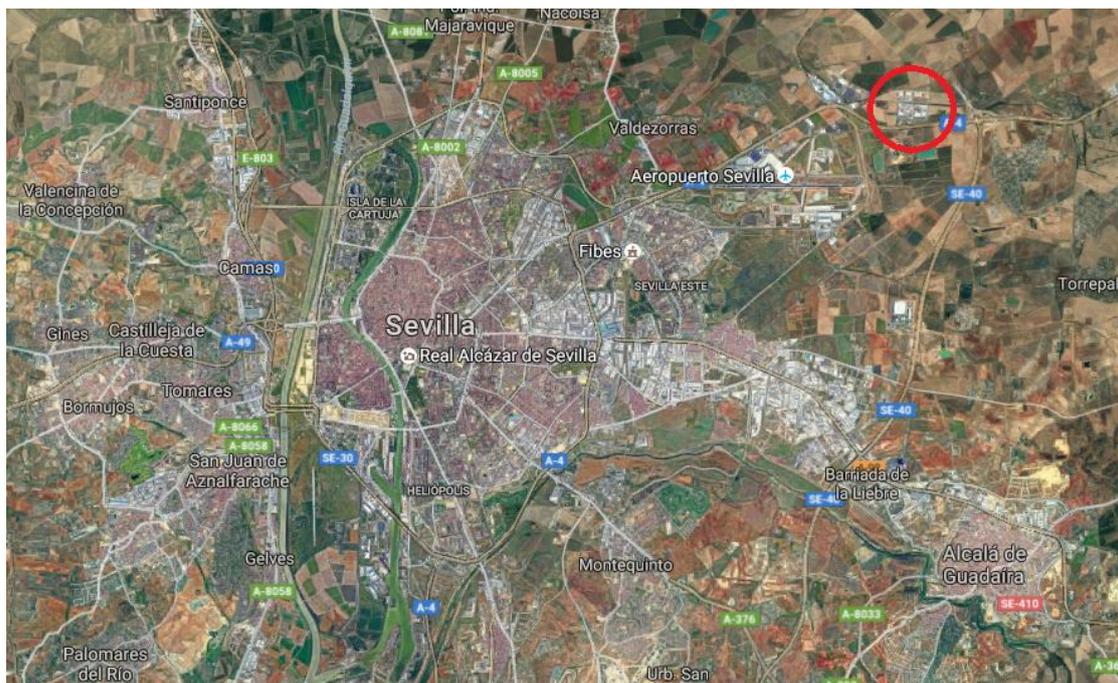


Figura 2.2: Emplazamiento en Sevilla



Figura 2.3: Emplazamiento en Aerópolis

2.1 Ubicación y accesos

El polígono se encuentra ubicado a 10 km al Este de Sevilla. El acceso principal se encuentra en las siguientes coordenadas geográficas (37.431801-N, 5.860494-O). Se puede acceder al polígono Aerópolis por el Sur del mismo a través de la autovía A-4 por la salida 528. Además el polígono se encuentra ubicado a 5 km del aeropuerto de Sevilla. Su ubicación acerca el túnel de viento a la compañía Airbus Defense and Space, ubicada una sede en San Pablo Sur, a 5 km del polígono Aerópolis.

En la imagen siguiente podemos observar la ruta para acceder a Sevilla:



Figura 2.4: Ruta parcela – Sevilla

En la imagen siguiente podemos observar la ruta desde el aeropuerto:



Figura 2.5: Ruta parcela – aeropuerto

En la imagen siguiente podemos observar la ruta desde San Pablo Sur.



Figura 2.6: Ruta parcela – San Pablo Sur

2.2 Características del polígono y la parcela

El polígono industrial Aerópolis está urbanizado y dispone de de redes de abastecimiento de agua, saneamiento y suministro eléctrico. Está bien ubicado, próximo a Sevilla y con buenos accesos. La parcela cumple con los requisitos de espacio necesario para la construcción del proyecto y ofrece la posibilidad de ampliación ya que la superficie es mayor que la necesaria.

3. TÚNEL DE VIENTO

3.1 Definición

Un túnel de viento es una herramienta de tipo experimental que pretende simular los efectos del movimiento de un sólido inmerso en un fluido, en este caso el aire. Este sistema permite simular el comportamiento y las reacciones de un cuerpo, modelado a escala o no, que tendría inmerso en la atmósfera terrestre.

En un túnel de viento, el cuerpo permanece fijo en una cámara de ensayos y se hace circular el fluido para recrear las condiciones requeridas para estudiar el comportamiento dinámico, cinemático o estático que tendría en el caso real. El aire es impulsado generalmente por la sección impulsora, que contiene al fan.

El túnel de viento ofrece simplificaciones y beneficios a la hora realizar estudios de viabilidad aerodinámica y comportamiento de aeronaves, ya que permite diseñar un modelo a escala para las primeras fases del desarrollo de la aeronave, lo cual supone un ahorro considerable en costes al no tener que probar una aeronave a escala real.

El túnel de viento permite simular unas condiciones de semejanza dinámica y cinemática que representan con gran precisión el comportamiento real del flujo alrededor de la aeronave. Además proporciona una gran cantidad de datos de alta precisión que sirven de base para posteriores decisiones en las fases de diseño más complejas.

3.2 Clasificación de túneles de viento

Es posible encontrar una moderada variedad de túneles de viento y por lo tanto se pueden caracterizar de diversas formas. Pero es posible clasificarlos según tres parámetros: según la velocidad en la cámara de ensayos, si el circuito es abierto o cerrado y si la cámara de ensayos está abierta o cerrada a la atmósfera.

3.2.1 Velocidad de operación

Podemos clasificar los túneles de viento según el rango de velocidades óptimos en el que pueden operar. Se emplea el número de Mach alcanzado en la cámara de ensayos como parámetro de clasificación. En la tabla siguiente podemos observar los rangos en que se clasifican:

Tipo	Régimen de velocidad
De baja velocidad	$M < 0.3$
Subsónico	$M < 0.7$
Transónicos	$0.7 < M < 1.2$
Supersónicos	$1.2 < M < 5$
Hipersónicos	$M > 5$

Tabla 3.1: Regímenes de velocidad

Conforme el régimen de velocidad aumenta el diseño del túnel se vuelve más complicado y aparecen las ondas de choque cuando en algún punto del túnel o del modelo se alcanzan velocidades superiores a $M > 1$. Para aeronaves comerciales el régimen de vuelo es siempre subsónico $M < 1$, por lo que el túnel que se proyecta deberá poder trabajar en régimen subsónico y transónico - subsónico.

Se presentan ciertas ventajas de realizar únicamente ensayos en régimen subsónico o transónico – subsónico:

- No se dan ondas de choque en ningún punto del túnel de viento, es decir: las posibles ondas de choque se localizarían en el modelo. Por lo que no afectaría al flujo en el resto del túnel.
- Al nunca alcanzar velocidades supersónicas no se daría el efecto de bloqueo sónico en ninguna sección del túnel: es decir, el gasto de aire circulante no alcanzaría su valor de saturación.
- Las velocidades serían menores que en túneles supersónicos, por lo que las pérdidas de carga serían menores.
- Menor complejidad estructural que en túneles de alta velocidad.

3.2.2 Características topológicas

Es posible caracterizar los túneles de viento según dos características geométricas: el tipo de retorno y la configuración de la cámara de ensayo.

3.2.2.1 Tipo de retorno

El retorno del flujo puede ser de tipo abierto o de tipo cerrado:

- **Retorno abierto**

En esta configuración el túnel se encuentra abierto a la atmósfera y la usa como reservorio de aire. El flujo de aire entra al túnel directamente desde la atmósfera y recorre el túnel de forma recta. El flujo es acondicionado y uniformado en la sección de entrada. Después se acelera en una contracción donde a la vez pierde presión y desemboca en la cámara de ensayos. A continuación se encuentra un difusor que devuelve el aire a la atmósfera a través de la sección de salida. Generalmente encontramos la sección impulsora después de la cámara de ensayos para evitar la interferencia de éste con el flujo.

Este tipo de configuraciones presentan una serie de ventajas e inconvenientes:

- Ventajas:
 - Menores costes de construcción y menor tamaño.
 - Permite técnicas de visualización con humo y agregados al aire ya que el flujo no retorna a la cámara de ensayos.
 - Desventajas:
 - Fuente de contaminación acústica, lo cual podría limitar el uso del túnel a un horario determinado. Además requeriría de aislamientos que incrementarían el coste del proyecto.
 - Sería necesario acondicionar mejor el flujo en la sección de entrada ya que este procede de la atmósfera.
- **Retorno cerrado**

En esta configuración el flujo en el interior del túnel se encuentra aislado de la atmósfera, contenido en un circuito cerrado. El flujo describe una trayectoria tal que se produce el retorno a la cámara de ensayos.

- Ventajas:
 - Mayor control sobre el comportamiento del flujo. Al estar aislado de la atmósfera el flujo es más estable.
 - Menor contaminación acústica ya que no se difunde el flujo a la atmósfera y la sección impulsora se encuentra aislada de la atmósfera.
 - Ofrece la posibilidad de modificar la presión, lo que permite mayor versatilidad de operación y reduce la potencia necesaria para determinados ensayos.
- Desventajas:
 - Alto coste de construcción debido a la mayor complejidad estructural y a la necesidad de mayores instalaciones
 - Requiere sistemas adicionales como compresores, válvulas de alivio, intercambiadores de calor, etc.
 - Dificulta la realización de ciertos ensayos con agregados al aire debido al retorno del flujo.

3.2.2.2 Tipo de cámara de ensayos

Las cámaras de ensayo pueden estar abiertas o cerradas a la atmósfera, independientemente del tipo de retorno:

– **Cámara abierta**

Este tipo de cámara dispone, en alguna de sus paredes, contacto directo con la atmósfera, es decir el flujo atraviesa la contracción para acceder a una sección abierta a la atmósfera.

– **Cámara cerrada**

Este tipo de cámara está aislada por sus paredes de la atmósfera. Es decir, la cámara es una continuación del conducto por el que circula el flujo

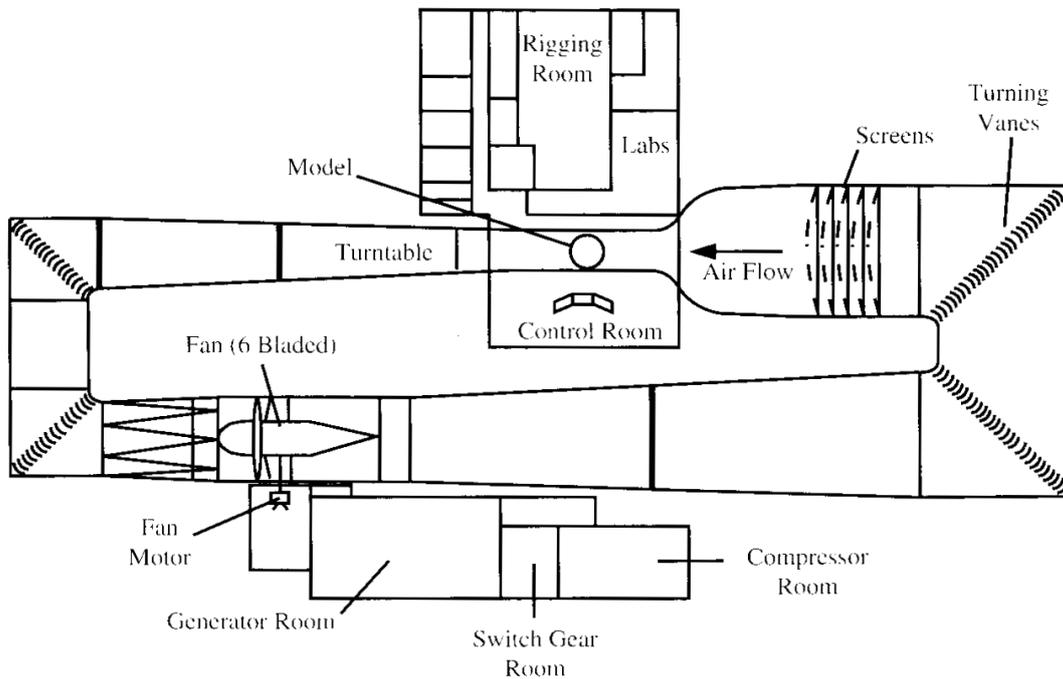


Figura 3.1: Esquema de un túnel de viento cerrado con cámara de ensayos cerrada

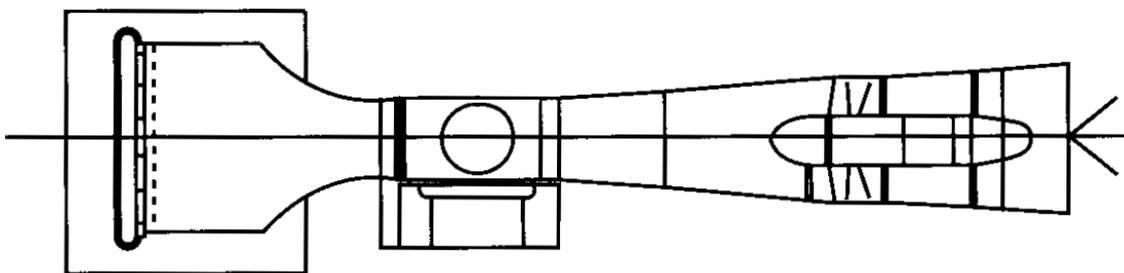


Figura 3.2: Esquema de un túnel de viento abierto con cámara de ensayos cerrada

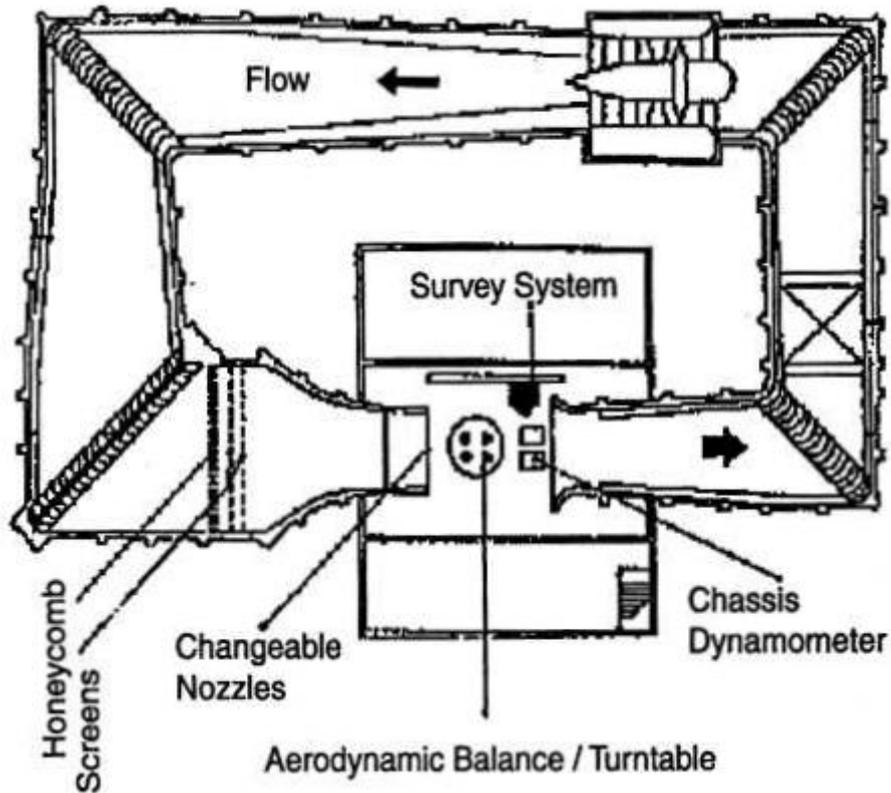


Figura 3.3: Esquema de un túnel de viento cerrado con cámara de ensayos abierta

3.3 Elementos de un túnel de viento

Los elementos que componen un túnel de viento pueden englobarse en la siguiente lista:

- a) Cámara de ensayos.
- b) Primer difusor.
- c) Primer codo.
- d) Tramo recto.
- e) Pantalla de seguridad.
- f) Segundo codo.
- g) Adaptador rectangular a circular.
- h) Sección impulsora: fan y rectificadores.
- i) Segundo difusor.
- j) Tercer codo.
- k) Tramo recto.
- l) Intercambiador de calor.
- m) Cuarto codo.
- n) Difusor de amplio ángulo de difusión.
- o) Cámara de estabilización.
- p) Acondicionadores de flujo.
- q) Contracción o tobera.

En las imágenes siguientes podemos observar una configuración genérica de túnel abierto y cerrado.

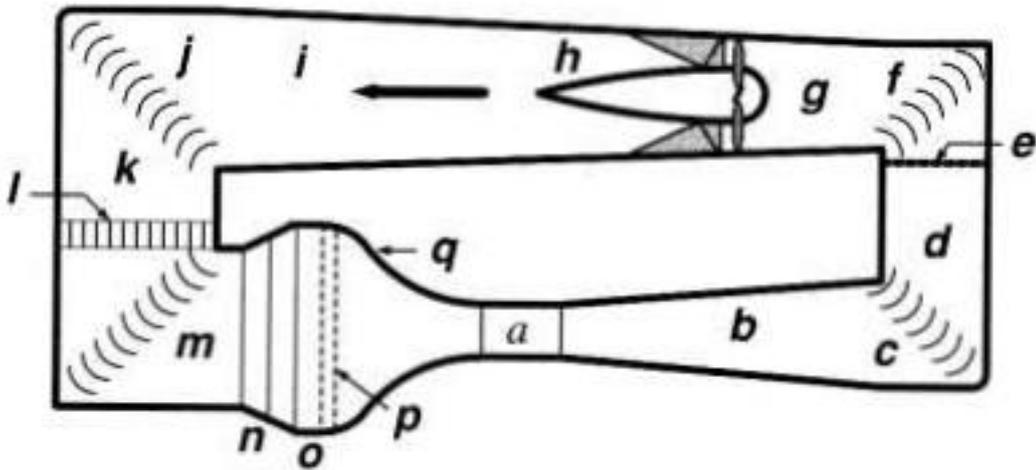


Figura 3.4: Esquema genérico de un túnel de viento de retorno cerrado

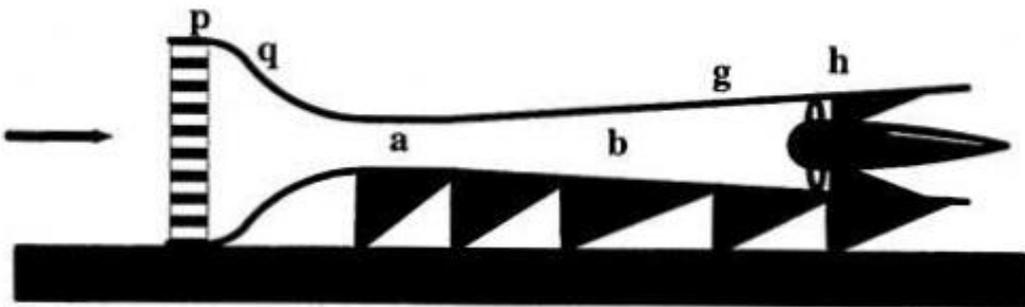


Figura 3.5: Esquema genérico de un túnel de viento de retorno abierto

En este proyecto nos centraremos en el diseño de un túnel de viento con retorno cerrado y cámara de ensayos cerrada. Se descartaría la cámara de ensayos abierta ya que al final de la contracción se daría un cambio abrupto en la geometría que podría dar lugar a fluctuaciones y vórtices en el flujo. Esto influiría en el flujo alrededor del cuerpo a ensayar, lo cual no es deseable. El retorno abierto se descartaría ya que para ensayos en regímenes de velocidad como los que se plantean en este proyecto no son compatibles con esta configuración. Como veremos más adelante será necesario presurizar el túnel, siendo esto imposible con un retorno abierto.

4. TEORÍA DEL FLUJO

En este capítulo se plantearán las ecuaciones que rigen el problema físico que nos ocupa. Para comprender los resultados y el proceso seguido durante el diseño del túnel de viento es necesario introducir una serie de conceptos y ecuaciones de la mecánica de los fluidos. Se explicarán los conceptos de flujo laminar y turbulento, la capa límite, las ecuaciones de conservación y su resultado: las ecuaciones de Navier – Stokes, y una serie de números adimensionales que caracterizan el fluido y su comportamiento que son de gran importancia durante los ensayos.

4.1 Números adimensionales

El desarrollo de ensayos con modelos para determinar el comportamiento a una escala mayor precisa de una teoría de semejanza que proporcione unos resultados lo más cercanos posible al comportamiento que se daría a escala real. Para que esto sea así es necesario que exista semejanza geométrica, cinemática y dinámica. Para ello es necesario el estudio de tres números adimensionales.

– Semejanza geométrica:

Entre el modelo y el prototipo existe semejanza geométrica cuando las relaciones entre todas las dimensiones correspondientes u homologas en modelo y prototipo son iguales.

– Semejanza cinemática:

Dos fenómenos son cinemáticamente semejantes si con la semejanza geométrica, tiene lugar al mismo tiempo, proporcionalidad y orientación igual de los vectores de velocidad en todos los puntos adecuados.

– Semejanza dinámica:

Dos fenómenos son dinámicamente semejantes si con la semejanza cinemática tiene lugar la proporcionalidad y orientación igual de los vectores fuerzas en todos los puntos adecuados de dichos fenómenos hablando en rigor, la semejanza dinámica se consigue solo si tiene lugar la semejanza completa de fenómenos cuando todas las magnitudes físicas similares son iguales en todos los puntos correspondientes.

4.1.1 Número de Reynolds

El número de Reynolds permite establecer la relación existente entre las fuerzas de inercia convectiva del y las fuerzas viscosas del flujo. Permite representar la dominancia de una frente a otra. Esta relación puede expresarse según la siguiente igualdad:

$$R_e = \frac{\rho V L}{\mu}$$

Donde:

- ρ : densidad del fluido.
- V : velocidad característica del fluido.
- L : longitud característica de la región.
- μ : viscosidad dinámica del fluido

Este número nos permite además distinguir el régimen de movimiento del fluido. Cuando se cumple que el número de Reynolds es inferior a 2300 diremos que el flujo es laminar, mientras que si es superior a 4000 podremos suponer que el flujo es turbulento.

4.1.2 Número de Mach

El número de Mach permite establecer la relación existente entre velocidad local del sonido y la velocidad relativa entre el cuerpo y el fluido. Esta relación puede expresarse según la siguiente igualdad:

$$M = \frac{V}{a_\infty}$$

Donde:

- V : velocidad relativa entre el cuerpo y el fluido.
- a_∞ : velocidad local del sonido.

Este número es de gran importancia porque permite determinar la importancia de los efectos que tiene la compresibilidad en el fluido. Un fluido puede considerarse incompresible cuando su densidad no depende de la velocidad del fluido. Cuando el número de Mach es menor a 0.3 se puede suponer un régimen incompresible mientras que si es mayor los cambios en la densidad son significativos.

4.1.3 Número de Froude

El número de Froude permite establecer la relación existente entre las fuerzas de inercia convectiva y la fuerza gravitatoria en un fluido. Esta relación puede expresarse según la siguiente igualdad:

$$F_r^2 = \frac{l}{gt^2}$$

Donde:

- l : longitud característica del movimiento.
- g : aceleración de la gravedad.
- t : tiempo característico del movimiento.

Para conseguir la semejanza necesaria y así obtener unos resultados adecuados es necesario que se conserven los números adimensionales descritos anteriormente. El número de Froude característico es de forma general alto, por lo que no resulta crítico en el diseño del túnel. En cambio, el número de Reynolds y el número de Mach son críticos, ya que estos caracterizan el comportamiento aerodinámico alrededor del cuerpo, y por tanto la dinámica y cinemática del fenómeno.

Los efectos del número de Reynolds son importantes en cualquier ensayo, pero es dominante en ensayos a baja velocidad o en régimen subsónico bajo $M < 0.3$. En cambio los efectos de compresibilidad son altamente significativos cuando se sobrepasa $M > 0.3$.

Como se verá más adelante, conservar el número de Reynolds a alta velocidad es muy costoso, pero al ser dominantes los efectos de compresibilidad bastará con mantener el orden de su valor para obtener unos resultados fiables en los ensayos. De forma análoga, si se desea conservar el número de Reynolds a baja velocidad no es posible conservar el número de Mach. Pero al no ser dominantes los efectos de compresibilidad el número de Mach resultante de conservar el número de Reynolds es suficiente para obtener resultados fiables.

4.2 Régimen del flujo

4.2.1 Régimen laminar

Se denomina flujo laminar al tipo de movimiento de un fluido cuando éste se encuentra perfectamente ordenado, estratificado y suave. El flujo se desarrolla en láminas paralelas, de tal forma que cada partícula del fluido se mueve siguiendo líneas de corrientes que nunca se cortan con otras líneas de corriente. Este fenómeno es característico en movimientos a baja velocidad o en fluidos de alta viscosidad.



Figura 4.1: Esquema régimen laminar

El perfil de velocidades tiene forma de una parábola, donde la velocidad máxima se encuentra en el eje del tubo y la velocidad es igual a cero en la pared del tubo. Este régimen se caracteriza porque la pérdida de energía es proporcional a la velocidad media, siendo mucho menor que en régimen turbulento.

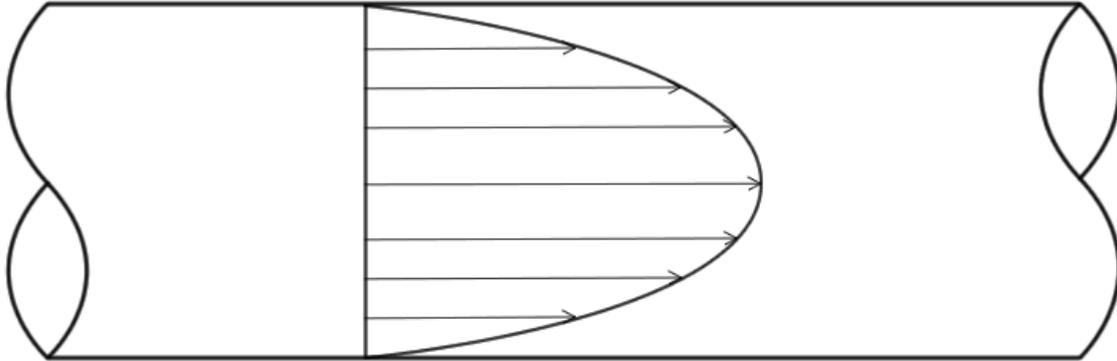


Figura 4.2: Perfil de velocidades en régimen laminar

4.2.2 Régimen turbulento

El flujo turbulento es el más comúnmente desarrollado debido a que la naturaleza tiene tendencia hacia el desorden y esto en términos de flujos significa tendencia hacia la turbulencia. Este tipo de flujo se caracteriza por trayectorias circulares erráticas, caracterizado por vórtices. El flujo turbulento ocurre cuando las velocidades de flujo son generalmente muy altas o en fluidos en los que las fuerzas viscosas son muy pequeñas. Para su estudio se emplean teorías estadísticas basándose en las magnitudes medias del flujo.



Figura 4.3: Esquema régimen turbulento

La turbulencia puede originarse por la presencia de paredes en contacto con el fluido o por la existencia de capas que se muevan a diferentes velocidades. Además, un flujo turbulento puede desarrollarse bien sea en un conducto liso o en conducto rugoso.

4.2.3 Ecuación de Colebrook - White

Esta fórmula es empleada en hidráulica para el cálculo del factor de fricción de Darcy λ , que resulta determinante a la hora de determinar el valor de las pérdidas de carga. La fórmula general es la siguiente:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k/D_h}{3.7} + \frac{2.51}{R_e \sqrt{\lambda}} \right)$$

Donde:

- λ : factor de fricción de Darcy.
- k : rugosidad de la tubería.
- D_h : diámetro hidráulico del conducto.
- $R_{e,D}$: número de Reynolds basado en el diámetro hidráulico.

Es una relación que para ser resuelta debe ser iterada hasta alcanzar un valor del factor de fricción convergente.

4.2.3.1 El ábaco de Moody

El ábaco de Moody es la representación gráfica, en escala doblemente logarítmica, del factor de fricción de Darcy en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa de un conducto. En la imagen siguiente podemos visualizar el ábaco de Moody:

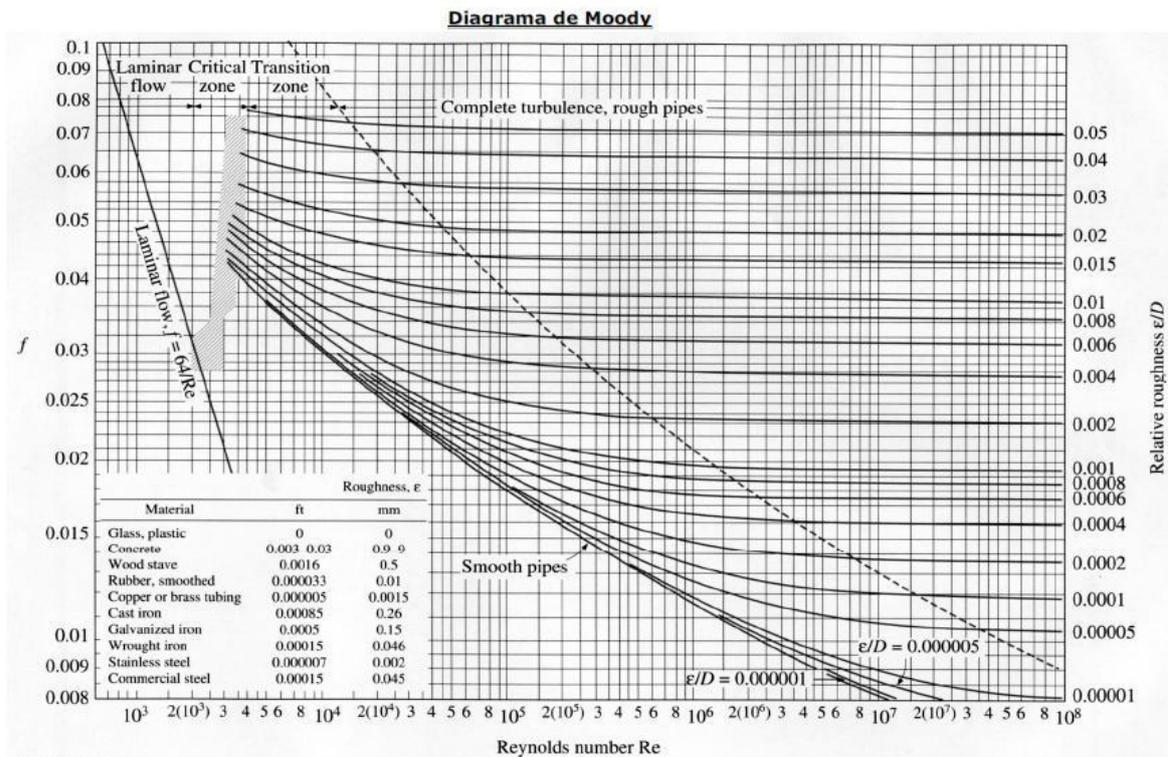


Figura 4.4: Ábaco de Moody

Se pueden distinguir dos situaciones diferentes, el caso en que el flujo sea laminar y el caso en que el flujo sea turbulento. En el caso de flujo laminar el factor de fricción depende únicamente del número de Reynolds. Para flujo turbulento, el factor de fricción depende tanto del número de Reynolds como de la rugosidad relativa de la tubería, aunque es posible observar que conforme el número de Reynolds aumenta, el factor de fricción se hace constante. Se puede observar también una zona intermedia conocida como transición a la turbulencia, es una región en la que coexisten ambos movimientos.

4.3 Capa límite

Cuando un fluido se mueve en contacto con una superficie o un cuerpo, debido a la fricción, la capa de fluido en contacto directo con la superficie se detiene completamente. Esto genera un esfuerzo por fricción que depende de la viscosidad y de la velocidad, que frena las capas inmediatamente superiores de fluido.

El conjunto de capas que se ven afectadas por la proximidad a la pared se denomina capa límite. A pesar de ser una región extremadamente pequeña, tiene un efecto importante en la resistencia ejercida sobre objetos inmersos en el seno de un fluido. El espesor de esta región es del orden de $1/\sqrt{Re}$.

Este espesor aumenta a medida que el fluido se mueve sobre una superficie, pudiendo ocasionar un desprendimiento del flujo. A medida que el fluido avanza, la resistencia ofrecida por la pared reduce progresivamente la velocidad. Si además el movimiento presenta un gradiente adverso de presiones la reducción de la velocidad puede ser más acusada. Si en algún momento la corriente invierte su sentido en el entorno de la pared, se ocasionaría el desprendimiento de esta capa, generando vórtices e inestabilidades que alterarían al flujo fuera de la capa y generarían pérdidas

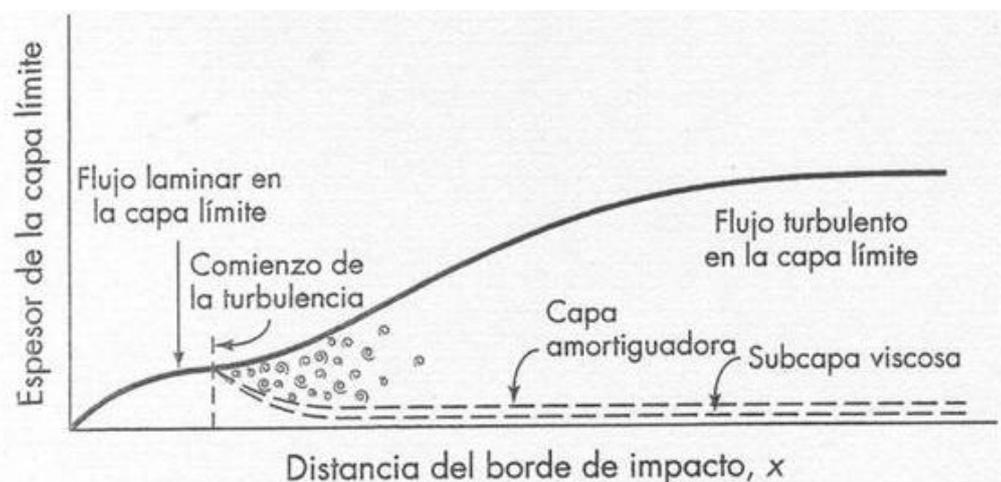


Figura 4.3: Esquema de la capa límite

La capa puede presentar tanto régimen laminar como turbulento. Esto depende de la velocidad exterior de la capa límite y de las rugosidades que presente la superficie de contacto. El régimen turbulento ocasionaría un movimiento caótico y más irregular, aumentando el espesor de la capa y por tanto las pérdidas locales por fricción. Pero la transición a la turbulencia también retrasa el desprendimiento porque el fluido tiene mayor cantidad de movimiento.

4.4 Ecuaciones de conservación: Navier – Stokes

Una vez asentadas las bases teóricas del problema fluido, es necesario determinar las relaciones que rigen el problema. Para ello se plantearán las hipótesis que se asumirán para desarrollar el problema y haciendo uso del balance sobre volúmenes de control se determinarán las ecuaciones integrales de conservación.

En este apartado se presentarán parte de las ecuaciones (será necesario incluir un modelo para las pérdidas de carga que no se contempla en este modelo) que se deberán resolver para determinar las magnitudes que caracterizan al flujo.

4.4.1 Hipótesis de partida

Se deberá tener en cuenta una serie de hipótesis simplificadoras antes de abordar el problema. Pueden resumirse en las siguientes:

- La ecuación de estado que define al gas será de ecuación de los gases ideales:

$$\frac{p}{\rho} = R_g T$$

Donde:

- p : presión del gas [Pa].
 - ρ : densidad del gas [kg/m^3].
 - T : temperatura del gas [K].
 - R_g : constante de los gases ideales [$\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$].
- Se considerará que los calores específicos a presión (C_p) y volumen (C_v) constante no varían. Por tanto el coeficiente de dilatación adiabática (γ) y la constante de los gases ideales (R_g) permanecen constantes. Tomando los valores siguientes:

- $C_p = 1004.5 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$
- $C_v = 717.5 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$
- $R_g = 287 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$
- $\gamma = 1.4$

- Se considerará que el túnel está térmicamente aislado del exterior y que no existe generación interna de calor. Es decir, no hay flujo neto de calor entre el interior y el exterior de ningún tipo y no se produce generación interna de energía calorífica.
- El flujo se considerará estacionario, es decir: $\frac{\partial}{\partial t} = 0$
- Se considerara que el flujo es unidireccional y representativo de las magnitudes en otros puntos de la sección.
- Se considerará que la capa límite siempre permanece adherida y contenida en la pared.
- Se despreciarán los efectos de las fuerzas másicas sobre el fluido.

4.4.2 Ecuaciones de conservación

Previo al planteamiento de las ecuaciones de conservación será necesario definir dos magnitudes que será de interés: el gasto másico y el caudal.

- Gasto: expresa la cantidad de masa que sale o entra en un volumen a través de las superficies del contorno. Podemos expresar el gasto que atraviesa la sección de una sección del túnel de la forma siguiente:

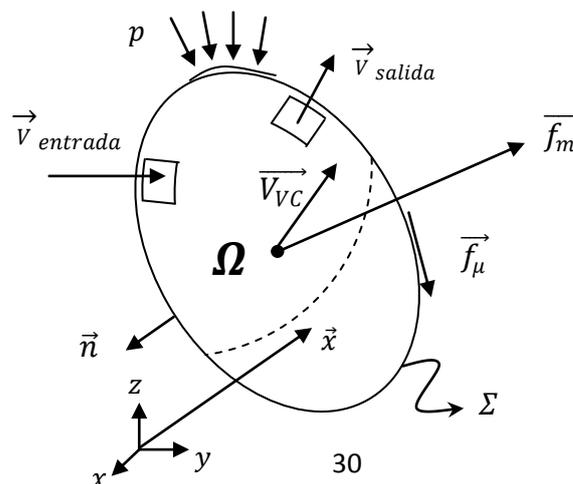
$$G = \rho(x) \cdot v(x) \cdot A(x)$$

Dado que el flujo es estacionario y el sistema es cerrado, el gasto es constante.

- Caudal: expresa el volumen de fluido que atraviesa una sección en un instante determinado. Podemos expresarlo de la forma siguiente:

$$Q(x) = v(x) \cdot A(x)$$

Si consideramos un volumen de control genérico como el de la figura siguiente podemos realizar un balance de masa, de cantidad de movimiento y de energía.



Donde:

- Σ : superficie que contiene al volumen de control.
- Ω : volumen de control.
- \vec{n} : vector normal a la superficie que contiene al volumen de control.
- p : presión normal externa ejercida sobre el volumen.
- \vec{f}_μ : fuerzas viscosas.
- \vec{f}_m : fuerzas másicas sobre el volumen de control.
- \vec{V}_{VC} : Velocidad del volumen de control.
- \vec{V} : velocidad del fluido que ingresa o escapa a través de la superficie.
- \vec{x} : vector de posición genérico

Las ecuaciones de conservación para el volumen de control anterior son las siguientes:

- Conservación de la masa:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} \rho d\omega + \int_{\Sigma} \rho (\vec{V} - \vec{V}_{VC}) \vec{n} d\sigma = 0$$

- Conservación de la cantidad de movimiento:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} \rho \vec{V} d\omega + \int_{\Sigma} \rho \vec{V} (\vec{V} - \vec{V}_{VC}) \vec{n} d\sigma = \int_{\Sigma} -p \vec{n} d\sigma + \int_{\Sigma} \vec{\tau}' \vec{n} d\sigma + \int_{\Omega} \rho \vec{f}_m d\omega$$

- Conservación de la energía:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} \rho \left(e + \frac{v^2}{2} \right) d\omega + \int_{\Sigma} \rho \left(e + \frac{v^2}{2} \right) (\vec{V} - \vec{V}_{VC}) \vec{n} d\sigma = \\ & = \int_{\Sigma} -p \vec{n} \vec{V} d\sigma + \int_{\Sigma} \vec{\tau}' \vec{n} \vec{V} d\sigma + \int_{\Omega} \rho \vec{f}_m \vec{V} d\omega + \int_{\Sigma} K \nabla T \vec{n} d\sigma + \int_{\Omega} (Q_r + Q_q) d\omega \end{aligned}$$

Donde:

- K : conductividad térmica del fluido.
- ∇T : gradiente térmico.
- Q_r : calor recibido por radiación.
- Q_q : calor generado por reacción química.

4.4.3 Ecuaciones de Navier - Stokes

Si escogemos un volumen de control de tamaño infinitesimal, es posible establecer una relación de conservación para cada punto del medio fluido. Al ser el volumen infinitesimal es posible considerar que las magnitudes físicas se mantienen constantes en su interior.

Si además se hace uso del teorema de la divergencia es posible modificar la expresión integral en una diferencial que puede estudiarse punto por punto. El teorema de la divergencia establece que:

$$\int_{\Sigma} \vec{\psi} \cdot \vec{n} \cdot d\sigma = \int_{\Omega} \nabla(\vec{\psi}) \cdot d\omega$$

Donde:

- $\vec{\psi}$: magnitud vectorial genérica.
- \vec{n} : vector normal a la superficie que contiene al volumen de control.
- $\nabla(\vec{\psi})$: divergencia de la magnitud vectorial genérica.

Finalmente se expresa el sistema en la forma de las ecuaciones de Navier – Stokes. Es un sistema de ecuaciones no lineal en derivadas parciales sin solución analítica. Por lo que para resolverlas es necesario recurrir al análisis numérico. Suponiendo que el régimen es estacionario, el sistema de ecuaciones es el siguiente:

- Ecuación de continuidad:

$$\nabla \cdot (\rho \vec{V}) = 0$$

- Ecuación de cantidad de movimiento:

$$\rho \vec{V} \cdot \nabla \cdot \vec{V} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \vec{V} + \rho \vec{f}_m$$

- Ecuación de la energía:

$$\rho C_p \vec{V} \cdot \nabla T = \vec{V} \nabla p + K \nabla T$$

4.4.4 Movimiento de gases en conductos: ecuaciones del número de Mach

Es posible modificar las ecuaciones de Navier – Stokes generales para adaptarlas al movimiento de gases en conductos [ver anexo]. El sistema resultaría de la forma que sigue:

- Ecuación de continuidad:

$$\frac{\partial}{\partial x} (\rho v A) = 0 \leftrightarrow G = \rho(x) v(x) A(x) = cte$$

- Ecuación de cantidad de movimiento:

$$\rho v \frac{\partial v}{\partial x} = -\frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\lambda \rho v^2}{8r_h}$$

Donde:

- λ : factor de fricción de Darcy.
- r_h : radio hidráulico de la sección.

- Ecuación de la energía:

$$h_0(x) = h_0(0) + Q(x)$$

Donde:

- $h_0(x)$: entalpía de remanso en un punto genérico x .
- $h_0(0)$: entalpía de remanso en el origen.
- $Q(x)$: calor recibido por unidad de masa entre el origen y x .

Para esta particularización del problema se ha considerado el flujo unidireccional, con una única componente de velocidad, tal y como se indicó en las hipótesis de partida.

4.4.4.1 Ecuación del número de Mach

Haciendo uso de las ecuaciones de Navier – Stokes para conductos es posible establecer una ecuación general para el número de Mach. Es una ecuación diferencial que contempla pérdidas por fricción y una vez resuelta mediante métodos numéricos facilita la evolución del número de Mach en conductos [ver anexo].

$$\frac{dM^2}{dx} = \frac{(2 + (\gamma - 1)M^2) M^2}{1 - M^2} \left[-\frac{1}{A} \frac{dA}{dx} + \frac{\gamma \lambda M^2}{2D_h} + \frac{1 + \gamma M^2}{2} \frac{dQ/dx}{h_0(0) + Q(x)} \right]$$

Dado que no se contemplará transmisión de calor al fluido la ecuación resultaría de la forma que sigue:

$$\frac{dM^2}{dx} = \frac{(2 + (\gamma - 1)M^2) M^2}{1 - M^2} \left[-\frac{1}{A} \frac{dA}{dx} + \frac{\gamma \lambda M^2}{2D_h} \right]$$

Haciendo uso de esta ecuación es posible conocer la distribución del número de Mach a lo largo de los conductos del túnel.

4.4.4.2 Ecuaciones de movimiento isentrópico

Para relacionar las magnitudes de remanso se emplearán las ecuaciones del movimiento isentrópico. Aunque el movimiento no es isentrópico ya que las pérdidas de carga modifican los valores de las magnitudes de remanso en cada sección, es posible conocer su evolución a través del modelado de las pérdidas del túnel. Por lo tanto, conocida la distribución del número de Mach, es posible relacionar en cada sección la magnitud estática con la de remanso a través de las relaciones de movimiento isentrópico considerando el gas como perfecto y asumiendo una pequeña desviación.

Las ecuaciones que se emplearán son las siguientes:

$$\frac{T_0}{T} = 1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2$$

$$\frac{p_0}{p} = \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2\right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$$

$$\frac{\rho_0}{\rho} = \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2\right)^{\frac{1}{\gamma - 1}}$$

$$\frac{a_0}{a} = \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2\right)^{1/2}$$

5. DISEÑO DEL TÚNEL

En este capítulo se pretende describir: la topología del túnel de viento, los elementos que lo componen y las razones que han definido la geometría de los distintos elementos y secciones. El diseño tomará como punto de partida la cámara de ensayos. Una vez establecida su geometría, es posible definir el resto de secciones del túnel en base a las dimensiones de la cámara y a datos bibliográficos y experimentales

Definir la cámara de ensayos es una decisión crítica para el diseño ya que su tamaño impondrá un máximo a las dimensiones de los modelos que se deseen ensayar. Para determinar estas dimensiones es preciso conocer qué tamaño tendría el máximo modelo a ensayar.

5.1 Aeronave limitante

Como se mencionó en el capítulo anterior, el número de Reynolds y el número de Mach son dos factores de vital importancia para poder recrear las condiciones de semejanza dinámica, cinemática y geométrica sobre el modelo. Por lo tanto es necesario conservar el número de Reynolds y el orden del valor del número de Mach para ensayos en régimen subsónicos y el número de Mach y el orden del valor del número de Reynolds para ensayos régimen transónico.

Para obtener un número de Mach concreto en régimen transónico bastaría con modificar el régimen de funcionamiento de la sección impulsora. Sin embargo, conservar el número de Reynolds en régimen subsónico es algo más complicado puesto que depende de las magnitudes que caracterizan al flujo en las localidades del modelo, y del factor de escalado geométrico del modelo respecto al tamaño real.

Para determinar la aeronave limitante se compararán diversos modelos de aeronaves para identificar aquella que opere al mayor número de Reynolds. Seguidamente podemos observar en la tabla siguiente una comparativa que refleja los parámetros que representan las operaciones de algunas aeronaves actuales.

MODELO	M_{cruise}	M_{max}	V_{cruise} [m/s]	V_{max} [m/s]	V_{land} [m/s]	L_{env} [m]	h [m]	Techo [m]
A340-300	0,83	0,86	282,44	292,65	82,31	60,00	10670	12500
A350 XWB	0,85	0,89	282,24	302,86	82,31	64,80	12190	13140
A380-900	0,85	0,89	299,45	302,86	82,31	79,80	10668	13136
B747-400	0,85	0,89	253,61	262,50	71,50	60,00	10500	13700
B777-300	0,84	0,89	251,39	263,89	71,50	61,00	11000	13140
Antonov-An 225	0,74	0,80	222,22	236,11	77,20	88,40	10000	11000
Hughes H-4	0,20	0,33	62,50	105,00	35,80	97,50	6000	6350

Tabla 5.1: Aeronaves comerciales consideradas

El número de Reynolds depende de la densidad, la viscosidad dinámica y la velocidad característica y además debe estar basado en una longitud de referencia. Por lo tanto es inmediato observar que el número de Reynolds característico para distintas velocidades y altitudes de operación variará.

Se comparará el número de Reynolds que caracteriza a las aeronaves anteriores para las siguientes operaciones: altitud de crucero y velocidad de crucero, altitud de crucero y velocidad máxima, techo de vuelo y velocidad máxima y aterrizaje. Se tomará como referencia la envergadura de las aeronaves y se empleará la atmósfera estándar internacional para determinar la densidad y viscosidad dinámica del aire a las altitudes de operación.

En la tabla siguiente se muestran los números de Reynolds basado en la envergadura que caracteriza las operaciones de cada aeronave.

MODELO	Re(h, V_{cruise})	Re(h, V_{max})	Re(Techo, V_{max})	Re(V_{land})
A340-300	4,484E+08	4,646E+08	3,817E+08	3,373E+08
A350 XWB	3,993E+08	4,285E+08	3,576E+08	3,643E+08
A380-900	6,325E+08	6,397E+08	4,417E+08	4,486E+08
B747-400	4,099E+08	4,242E+08	2,633E+08	2,930E+08
B777-300	3,925E+08	4,121E+08	2,941E+08	2,979E+08
Antonov-An 225	5,564E+08	5,912E+08	5,343E+08	4,661E+08
Hughes H-4	2,521E+08	4,235E+08	4,103E+08	2,384E+08

Tabla 5.2: Número de Reynolds de operación de los modelos considerados

A la luz de los resultados obtenidos se concluye:

- El A380-900 resulta ser la aeronave más limitante dado que presenta el Reynolds característico más elevado.
- Es posible asumir que si es viable ensayar esta aeronave comercial, es posible ensayar cualquier otra aeronave comercial actual, ya que es una de las aeronaves más actuales.
- El régimen de funcionamiento de túnel nunca superará $M=1$, ya que el número de Mach máximo de la aeronave no lo es.
- Aunque el número de Mach máximo que puede alcanzar la aeronave limitante es 0.89, se proyectará el túnel para poder realizar ensayos hasta un número de Mach de 0.95

5.2 Cámara de ensayos

Una vez determinada la aeronave limitante y dado el número de Mach máximo que será necesario alcanzar, es posible establecer la semejanza dinámica, cinemática y geométrica. En este caso se hará uso del número de Reynolds para determinar la semejanza geométrica y la relación entre las magnitudes del flujo y las dimensiones del modelo.

La bibliografía existente sobre túneles de viento [referencia a Barrow] sugiere una relación de escala τ comprendida entre 1:12 y 1:20. Para el caso más limitante se tomara $\tau = 18$. Entonces la envergadura del modelo debería medir 4.4 m. Pero es necesario que exista una distancia mínima entre el modelo y las paredes de la cámara para que estas no produzcan interferencias en el flujo alrededor del modelo. La bibliografía [Barrow] sugiere una distancia mínima entorno al 20% u 30% de la envergadura del modelo y una longitud de cámara entorno a 2 veces su ancho. Así mismo el alto de la cámara suele estar comprendido entorno al 50% o el 60% del ancho de la cámara.

Finalmente se pueden establecer las dimensiones siguientes para la cámara de ensayo:

- Ancho: 6.5 m
- Alto: 4 m
- Largo: 13 m

En la imagen siguiente podemos observar la cámara de ensayos del túnel de viento:

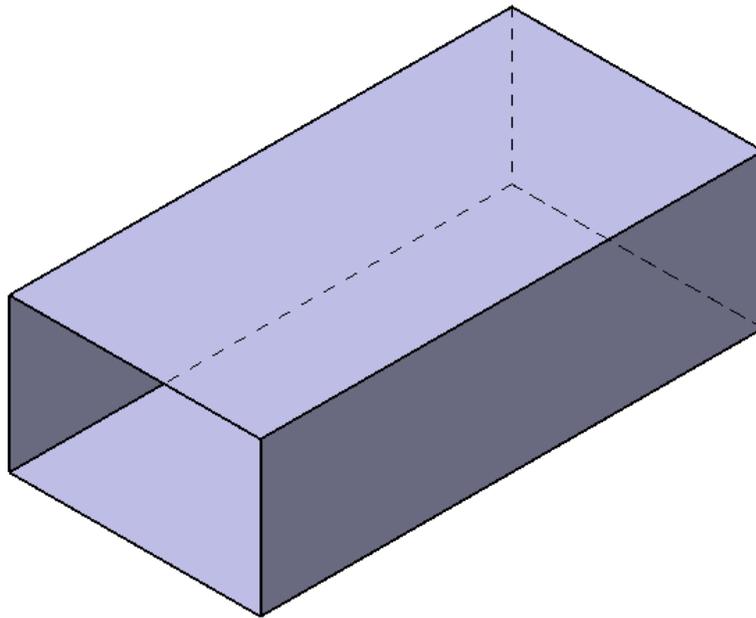


Figura 5.1: Cámara de ensayos

Se puede comprobar [ver Anexo] que, para esa escala ($\tau = 18$) y si suponemos que el aire empleado procede directamente de la atmósfera ($p = 1$ bar y $T = 298.15^\circ$), las velocidades necesarias para conservar el número de Reynolds en régimen subsónico serían demasiado altas. Como solución se propone la presurización del túnel, ya que si comprimimos de forma isoterma el aire en condiciones normales hasta una presión de 5 bares, sería necesario un régimen de velocidades notablemente más bajo.

Nos enfrentaríamos al mismo problema si fuese necesario mantener el número de Reynolds para el desarrollo de ensayos en régimen transónicos, siendo un inconveniente más importante dado el aumento de velocidad que presentaría. Pero para analizar la aerodinámica alrededor del cuerpo ensayado cuando $M > 0.3$, los efectos de la compresibilidad del fluido son mucho más significativos que los del número de Reynolds. Es por ello que únicamente se conservará el número de Mach y se mantendrá el orden de magnitud del número de Reynolds. Para ello emplear aire en condiciones normales satisface las premisas anteriores.

De esta forma quedan plenamente definidas las dimensiones de la cámara de ensayos del túnel viento. Completamente preparado para desarrollar ensayos para aeronaves comerciales en su rango de operación.

5.3 Difusores

Los difusores son elementos encargados de reducir la velocidad del fluido. En el capítulo 3 se estableció que las pérdidas de carga eran proporcionales a la velocidad del flujo elevada al cubo. Por lo tanto, si se fuerza la difusión del flujo, estas pérdidas se verán notablemente reducidas. Para expandir el flujo se emplean variaciones en el área de paso de la sección.

Generalmente las mayores pérdidas tienen lugar en la cámara de ensayo puesto que en ella se dan las velocidades más altas. Para disminuir al máximo las pérdidas la bibliografía sugiere el uso de dos difusores. El primer difusor se extenderá desde la sección de salida de la cámara de ensayos, hasta el primer codo y el segundo difusor se extenderá desde la sección de salida del fan hasta el tercer codo.

El diseño de los difusores es crítico ya que son elementos altamente sensibles a las perturbaciones del flujo, vibraciones u oscilaciones (pueden ser ocasionadas por ejemplo por la sección del fan). De todos los factores del diseño, uno de los más críticos es el ángulo cónico equivalente de expansión, que mide la tasa de aumento del área de la sección. Un ángulo de expansión demasiado elevado generaría un gradiente de presiones adverso demasiado acusado que podría ocasionar un desprendimiento de la capa límite turbulenta, lo que ocasionaría un mal funcionamiento del túnel, vórtices y un aumento de las pérdidas. La bibliografía [Barrow] sugiere el uso de pequeños ángulos de expansión, de 3° para flujos muy uniformes.

En el esquema siguiente podemos observar la descripción geométrica del ángulo de expansión

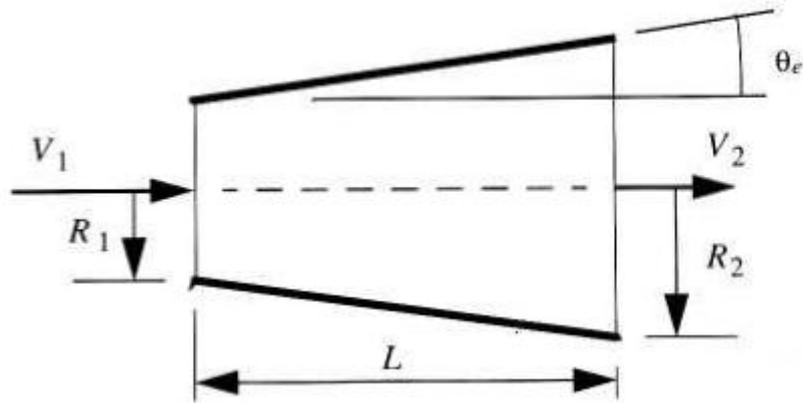


Figura 5.2: Modelo de difusor

Podemos relacionar el ángulo de expansión con los parámetros que definen el difusor de la forma que sigue:

$$\theta_e = \arctan\left(\frac{R_2 - R_1}{L}\right) = \arctan\left(\frac{1}{2} \frac{\sqrt{A_R} - 1}{L/D_1}\right)$$

Donde:

- θ_e : ángulo cónico equivalente de expansión.
- R_1 : radio hidráulico de la sección de entrada.
- R_2 : radio hidráulico de la sección de salida.
- L : longitud del difusor.
- A_R : relación entre el área de salida y el área de entrada.
- D_1 : diámetro hidráulico de la sección de entrada.

En lo referente a la expansión del flujo, no es recomendable una difusión demasiado grande, puesto que la velocidad podría ser demasiado baja para el fan. La bibliografía [Barrow] propone unos ratios comunes para el aumento de la sección:

- Un aumento de 2:1 o 3:1 para la sección del fan respecto a la cámara de ensayos.
- Un aumento de 6:1 o 10:1 para la sección máxima (sección de entrada a la contracción del túnel) respecto a la cámara de ensayos.

Finalmente se fijan los valores de los parámetros descritos anteriormente de la forma siguiente:

- Relación entre la sección del fan y la cámara de ensayos: $\frac{A_{FAN}}{A_{CE}} = 3$
- Relación entre la sección del fan y la contracción: $\frac{A_{CONT}}{A_{CE}} = 6$
- Ángulo cónico equivalente de expansión: $\theta_e = 2.5^\circ$

Se ha fijado el ángulo de expansión en esa cantidad ya que el flujo a la salida de la cámara de ensayos tendrá una alta velocidad y por tanto no dispondrá de una homogeneidad suficiente para el máximo valor admisible.

5.3.1 Primer difusor

El primer difusor se ubicará después de la cámara de ensayos y se extenderá hasta el primer codo. El primer difusor queda definido por los parámetros siguientes:

- $\theta_e = 2.47^\circ$
- $L = 42 \text{ m}$
- $b_2 = 11.26 \text{ m}$
- $h_2 = 6.93 \text{ m}$
- $A_1 = 26 \text{ m}^2$
- $A_2 = 78 \text{ m}^2$

Donde:

- b_2 : ancho de la sección de salida.
- h_2 : alto de la sección de salida.

En la imagen siguiente observamos el primer difusor.

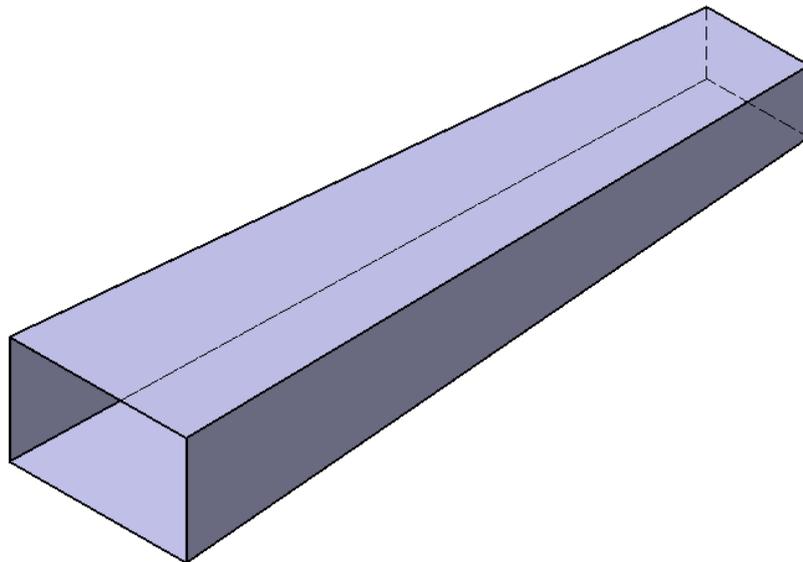


Figura 5.3: Primer difusor

4.3.2 Segundo difusor

El segundo difusor se ubicará después de la sección de impulsión y se extenderá hasta el tercer codo. El segundo difusor queda definido por los parámetros siguientes:

- $\theta_e = 2.49^\circ$
- $L = 41 \text{ m}$
- $Ancho = 15.92 \text{ m}$
- $Alto = 9.80 \text{ m}$
- $A_1 = 78 \text{ m}^2$
- $A_2 = 156 \text{ m}^2$

Donde:

- b_2 : ancho de la sección de salida.
- h_2 : alto de la sección de salida.

En la imagen siguiente observamos el segundo difusor.

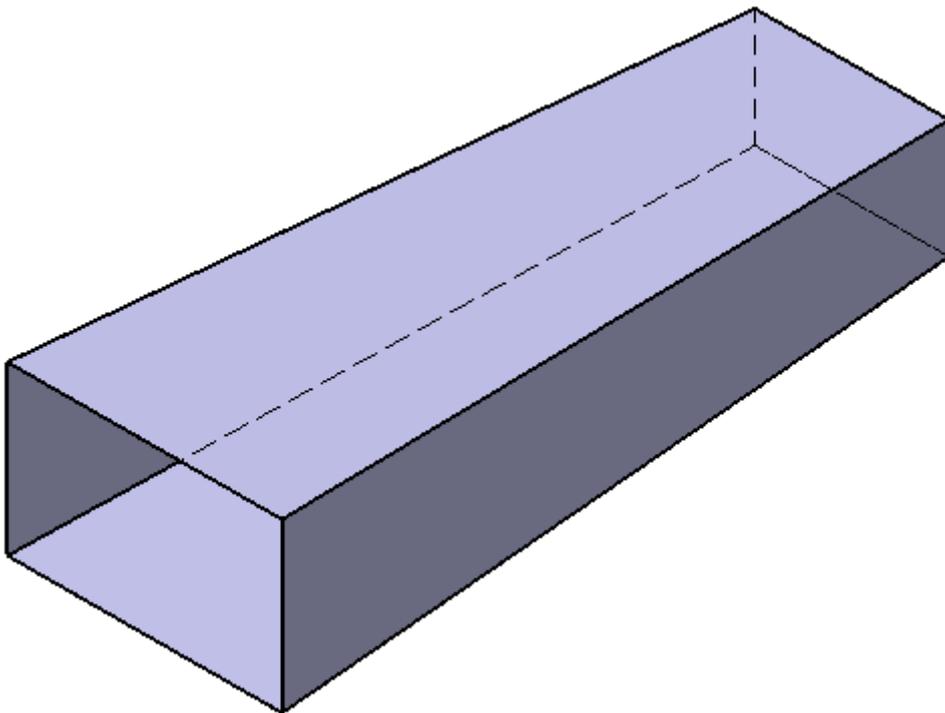


Figura 5.4: Segundo difusor

5.4 Codos

Los codos se emplean para deflectar la corriente de forma que sea posible el retorno del flujo. Los codos estarán equipados con álabes guía para reducir las pérdidas que se producen en el flujo y para facilitar la deflexión de la corriente, siendo de espesor constante. La directriz que une las secciones del codo, de área constante, describe una trayectoria circular.

Dado que el primer y el tercer codo se ubican tras el primer y segundo difusor respectivamente, el área de salida de los difusores (geometría y medidas) es la misma que la de los codos respectivos. Dado que la sección del codo 2 es posterior a la del codo 1 (previo paso por una malla protectora) y el área no cambia, ambos codos son idénticos. De igual forma ocurriría con el codo 3 y el codo 4.

Para definir los codos y el número y posición de álabes se ha recurrido a un análisis de las pérdidas. Pudiéndose determinar el radio que ofrece las mínimas pérdidas de presión de remanso. Todos los codos contarán con 2 álabes guía.

5.4.1 Primer y segundo codo

Tanto el primero como el segundo codo vienen definidos por el radio de la directriz del codo.

$$- R_1 = R_2 = 11.5 \text{ m}$$

Como se ha mencionado, ambos codos contarán con dos álabes guía. Tomando como mismo punto de origen que el radio que define el codo, los radios de los álabes serían:

$$- R_{a1} = 8.184 \text{ m}$$

$$- R_{a2} = 11.10 \text{ m}$$

Ambos álabes tendrían el espesor siguiente:

$$- e = 0.25 \text{ m}$$

En la imagen siguiente podemos observar un esquema del primer y segundo codo junto con los álabes guía:

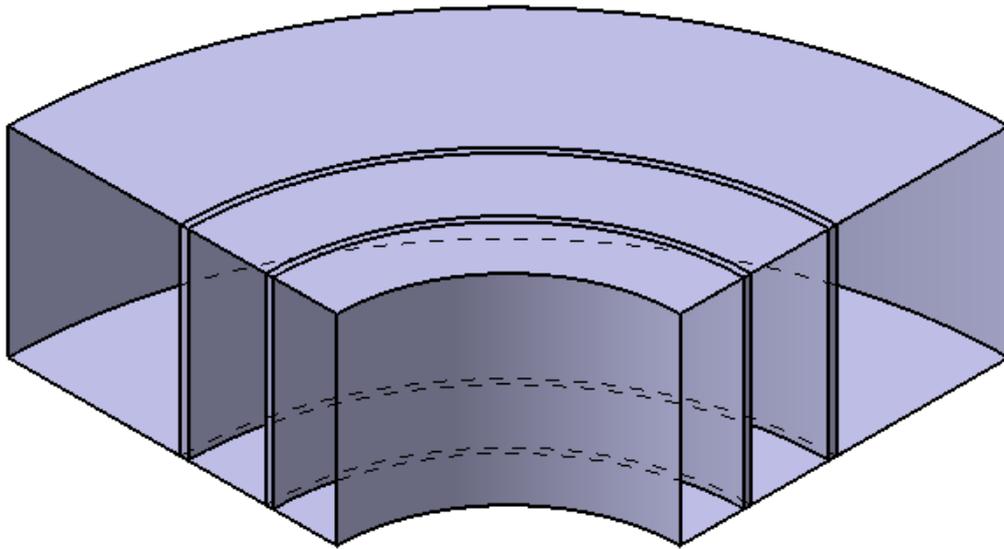


Figura 5.5: Primer y segundo codo

5.4.2 Tercer y cuarto codo

Tanto el tercer como el cuarto codo vienen definidos por el radio de la directriz del codo

- $R_1 = R_2 = 16 \text{ m}$

Como se ha mencionado, ambos codos contarán con dos álabes guía. Tomando como mismo punto de origen que el radio que define el codo, los radios de los álabes serían:

- $R_{a1} = 10.414 \text{ m}$
- $R_{a2} = 14.237 \text{ m}$

Ambos álabes tendrían el espesor siguiente:

- $e = 0.35 \text{ m}$

En la imagen siguiente podemos observar un esquema del tercer y cuarto codo junto con los alabes guía:

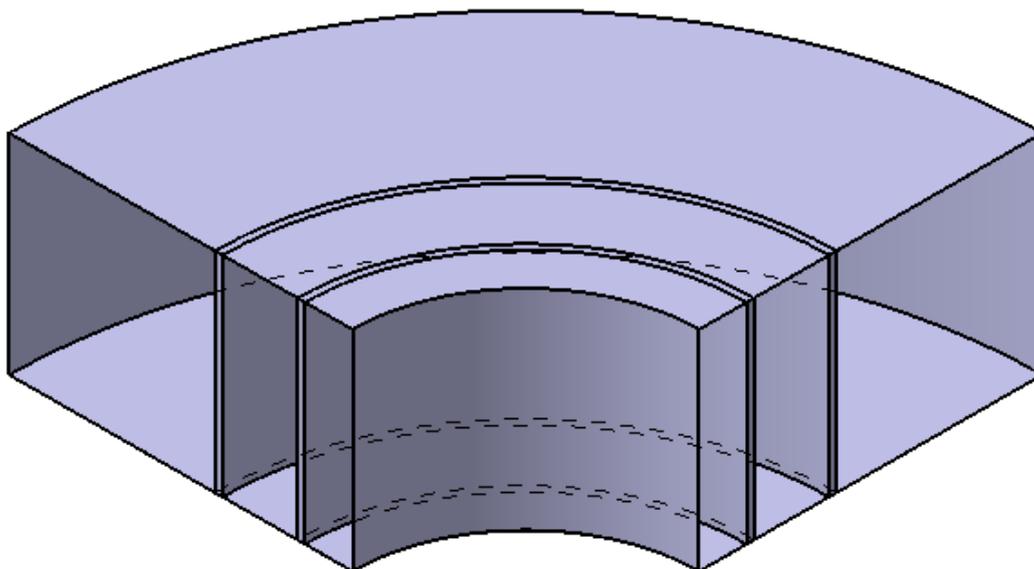


Figura 5.6: Tercer y cuarto codo

5.5 Sección impulsora

La principal función de la sección impulsora es proporcionar la energía necesaria para mantener el flujo en movimiento y vencer las pérdidas de carga que se producen en el recorrido.

La sección impulsora será circular y constará de un fan que imprimirá al fluido la energía necesaria mediante la rotación de la corona de álabes. Constará de un número determinado de palas con una geometría concreta [ver anexo]. La sección además contará de una barquilla o “nacelle” que soportará la estructura y que constará de unos rectificadores de la corriente o “straighteners”. Estos rectificadores de la corriente se encargan de eliminar la componente rotacional que el fan imprime al fluido, encargándose de reorientar la corriente de forma que vuelva a ser lo más unidireccional y homogénea posible. Estos rectificadores están empotrados en las paredes y proporcionan rigidez estructural a la par que absorben las vibraciones. Son palas de espesor constante y cuerda variable, siendo mínima en la barquilla y máxima en las paredes del conducto.

Se ha optado en este proyecto por ubicar el motor que impulsa al fan fuera la barquilla para evitar vibraciones u oscilaciones así como para facilitar el mantenimiento del mismo. La potencia será transmitida desde el motor (tras una reductora) a través de uno de los rectificadores de corriente hacia el eje del fan [ver anexo].

El fan constará de 12 palas equiespaciadas, se ha escogido este número de palas basándose en la bibliografía [Barrow]. La sección del rectificador de corriente dispondrá de 7 palas equiespaciadas. La bibliografía aconseja para un número de palas del fan (N) no escoger un número de palas para el rectificador que sean N , $3N / 2$ o $2N$ para evitar vibraciones y resonancias entre los rectificadores y las palas del fan.

El flujo presentará una aceleración desde la entrada de la sección hasta las palas ya que el área de paso efectiva se reduce en un 60%. Esto se debe a que la barquilla ocupa ese porcentaje de la sección. La sección de la barquilla permanece constante la misma longitud que tiene la cuerda máxima de los rectificadores. Una vez finalizado este tramo, la sección disminuye progresivamente hasta reducirse a cero y retomar el área de paso de la sección de entrada [ver anexo].

La sección de impulsión puede describirse geoméricamente según los parámetros siguientes:

- Diámetro de la sección: $D_F = 9.97 \text{ m}$
- Longitud de la sección: $L_F = 20 \text{ m}$
- Longitud de la barquilla: $L_N = 14.505 \text{ m}$
- Longitud de la nariz: $L_n = 4 \text{ m}$
- Cuerda media de las palas del fan: $c_F = 0.9832 \text{ m}$
- Cuerda mínima del rectificador: $c_{S,min} = 2.685 \text{ m}$
- Cuerda máxima del rectificador: $c_{S,max} = 4.475 \text{ m}$
- Longitud de las palas: $L_P = 1.994 \text{ m}$

En la imagen siguiente podemos observar el detalle de un álabe del fan.

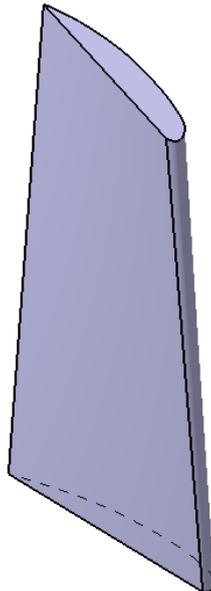


Figura 5.7: Álabe del fan

En la imagen siguiente podemos observar la corona de álabes del fan.

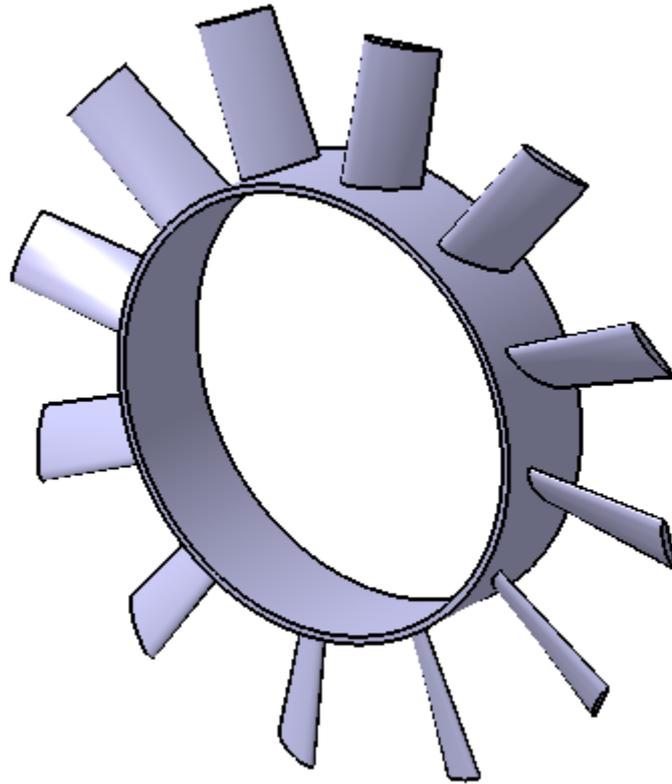


Figura 5.8: Corona de álabes del fan

En la imagen siguiente podemos observar la barquilla junto con los rectificadores de corriente.

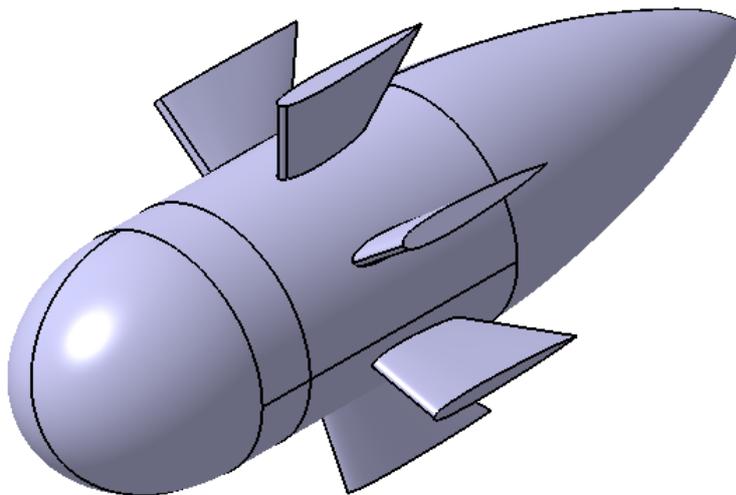


Figura 5.9: Barquilla y rectificadores de la sección impulsora

En la imagen siguiente podemos observar la sección de impulsión completa.

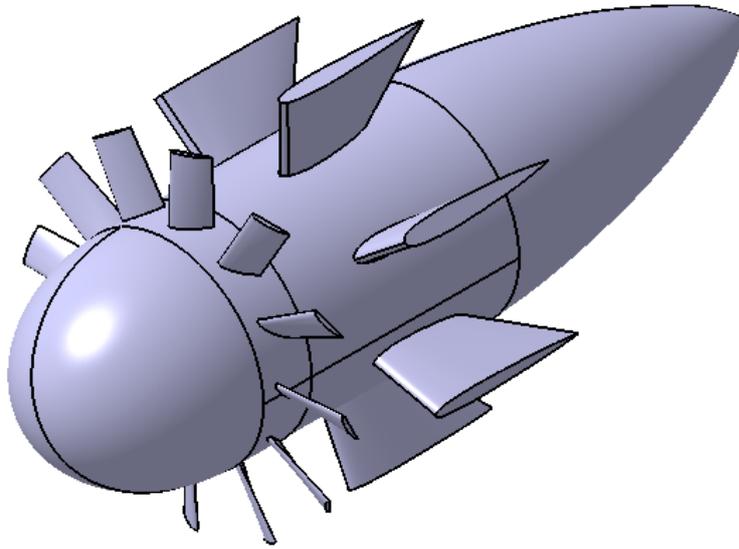


Figura 5.10: Sección impulsora completa

5.6 Contracción

Esta sección tiene una doble función: adaptar la geometría de la cámara de estabilización, que coincide con la sección de paso del tercer y cuarto codo, a la geometría de la cámara de ensayos y acelerar el flujo a las condiciones requeridas para el ensayo. La contracción puede modelarse como una tobera, cuya área mínima (en este caso la de garganta) sería la de la cámara de ensayos. El flujo se acelera ante la reducción de sección de paso efectiva, disminuyendo su presión estática para aumentar su velocidad.

El diseño de la geometría de una contracción puede resultar bastante complejo ya que el flujo es muy sensible a la geometría a causa de la aceleración que sufre en una distancia relativamente corta. El flujo presentaría variaciones respecto al movimiento unidireccional en la dirección del eje de la contracción para secciones no circulares, generándose flujos secundarios, en el entorno de la pared y las esquinas, de mejor velocidad que el predicho por un modelo axilsimétrico. En este modelo se despreciarán estas variaciones puesto que son pequeñas frente al flujo en la dirección axial.

Las pautas de diseño básicas para una contracción indican que la superficie debe ser de variación suave y continua. Definida la longitud de la contracción como $L_C = 20 m$ se ha decidido generar dos superficies definidas por dos curvas de adaptación. Ambas curvas se modelarán como *splines* cúbicos. El primer *spline* estará contenido en el plano formado por la dirección del flujo (x) y la dirección de vertical (y) de la

sección de entrada a la contracción. El segundo *spline* estará contenido en el plano formado por la dirección del flujo (x) y la dirección de horizontal (z) de la sección de entrada a la contracción. Se tomará como origen del sistema anterior el centro geométrico de la sección de entrada.

El *spline* cúbico tomará las siguientes condiciones de contorno:

- $\left. \frac{dz}{dx} \right|_{x=0, x=L_C} = \left. \frac{dy}{dx} \right|_{x=0, x=L_C} = 0$
- $y(x = 0) = 4.9 \text{ m}$
- $y(x = L_C) = 2 \text{ m}$
- $z(x = 0) = 7.96 \text{ m}$
- $z(x = L_C) = 3.25 \text{ m}$

Las expresiones analíticas que definen las curvas de la contracción serían las siguientes:

$$z = 0.0011775 \cdot x^3 - 0.035325 \cdot x^2 + 7.96$$

$$y = 0.000725 \cdot x^3 - 0.02175 \cdot x^2 + 4.9$$

En las imágenes siguientes podemos observar la forma de las curvas.

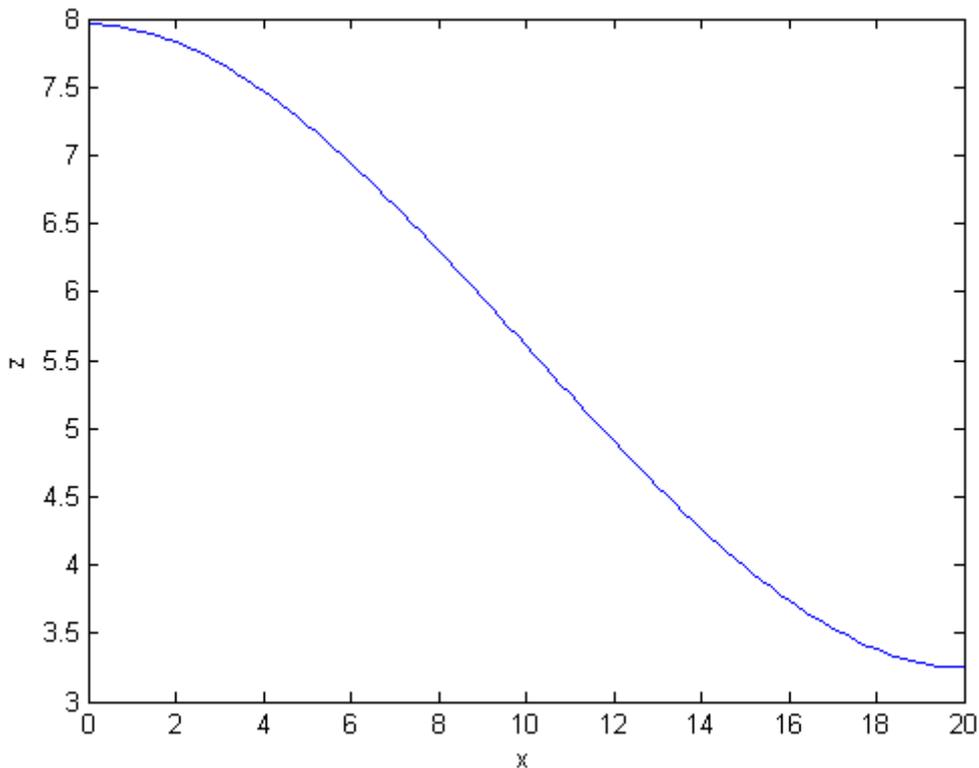


Figura 5.11: Curva guía de la contracción en el plano XZ

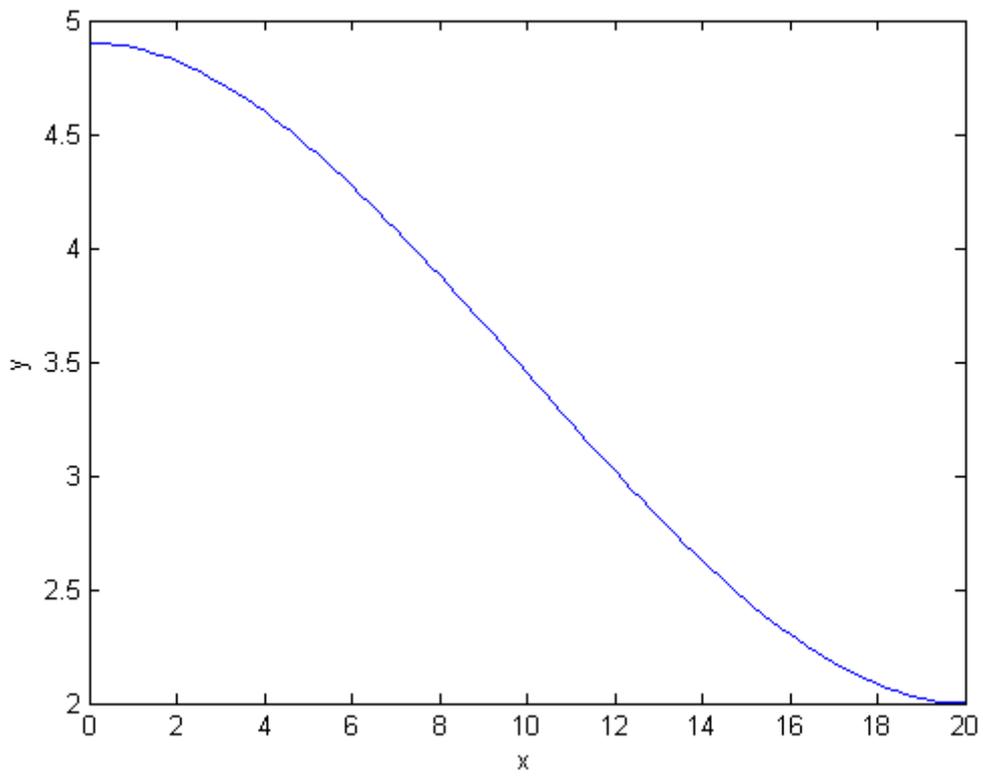


Figura 5.12: Curva guía de la contracción en el plano XY

A continuación podemos observar la contracción.

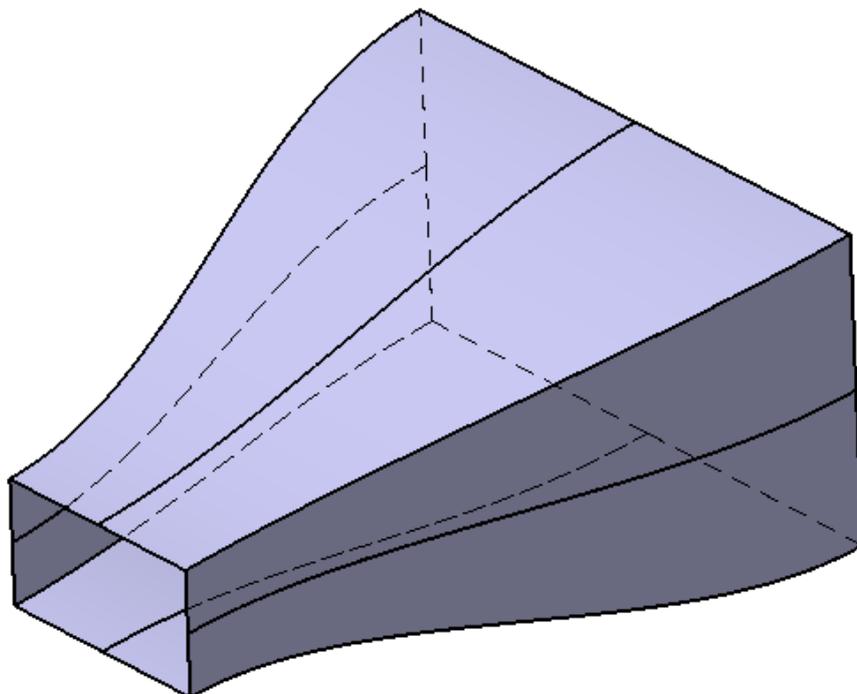


Figura 5.13: Contracción

5.7 Cámara de estabilización

El objetivo de la cámara de estabilización es obtener una corriente de aire uniformemente espaciada respecto al volumen de flujo. Esta cámara se encuentra tras el cuarto codo, antes de la contracción. Para realizar los ensayos es conveniente que el flujo sea lo más homogéneo y uniforme posible, por ello se ubican en esta cámara unos acondicionadores de flujo.

5.7.1 Acondicionadores de flujo

Los acondicionadores de flujo o “*honeycombs*” son unos elementos encargados de reorientar los filamentos de aire de forma que sean lo más paralelos posibles. Existen diversos modelos de acondicionadores, como podemos observar en la imagen siguiente:

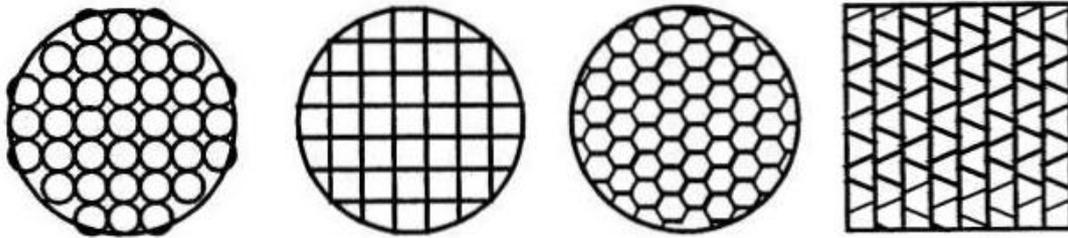


Figura 5.14: Tipos de acondicionadores

Nuestro túnel de viento dispondrá de acondicionadores de flujo de sección hexagonal, puesto que actualmente es la configuración que proporciona el comportamiento más óptimo en cuanto a pérdidas de carga y aprovechamiento del espacio [ver anexo].

Los acondicionadores de flujo serán por tanto hexagonales y quedarán definidos por las características siguientes:

- Longitud de un acondicionador en la dirección del flujo: $L_h = 3 \text{ m}$
- Diámetro hidráulico de un acondicionador: $D_{hh} = 1 \text{ m}$
- Lado del hexágono: $l_h = 0.5774 \text{ m}$
- Espesor de cada pared: $\Delta_h = 0.04 \text{ m}$
- Número de acondicionadores: $n_h = 176$
- Porosidad de la pantalla acondicionadora: $\beta_h = 0.95$

En la imagen siguiente podemos observar la pantalla acondicionadora del flujo.

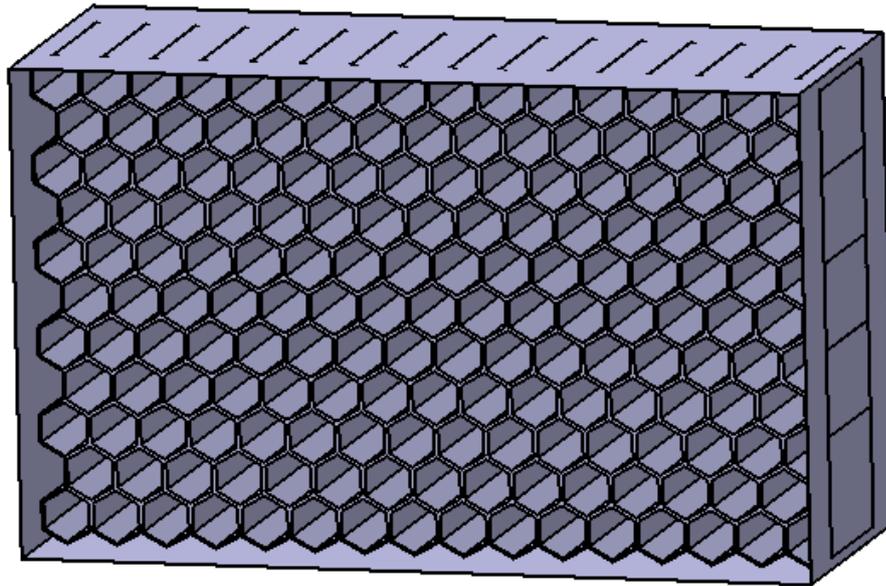


Figura 5.15: Acondicionadores del flujo

5.8 Pantalla de seguridad

La pantalla de seguridad es necesaria para proveer la protección necesaria a la sección impulsora de posibles elementos extraños o procedentes de la cámara de ensayos debido a desprendimiento de material del cuerpo a ensayar. La pantalla protectora representa una de las pérdidas de carga más significativas en el túnel de viento ya que está localizada en una zona de velocidad moderadamente alta.

La pantalla protectora consistirá en un mallado metálico con un emparrillado en las paredes capaz de soportar un impacto de un elemento procedente de la cámara de ensayos y evitar su paso hacia la sección impulsora. La porosidad es un factor crítico en su diseño ya que una baja porosidad perjudicaría notablemente las pérdidas de carga, y una porosidad extremadamente alta impediría una rigidez suficiente para soportar un impacto.

La pantalla de seguridad quedaría caracterizada por los parámetros siguientes:

- Diámetro del hilo: $d_w = 1 \text{ cm}$
- Distancia entre hilos (tanto horizontal como vertical): $w_w = 10 \text{ cm}$
- Porosidad: $\beta_w = 0.9$
- Número de hilos verticales: $n_{wv} = 113$
- Número de hilos horizontales: $n_{wh} = 70$
- Distancia de las paredes horizontales al hilo paralelo más próximo: $e_h = 1.5 \text{ cm}$
- Distancia de las paredes verticales al hilo paralelo más próximo: $e_v = 3 \text{ cm}$

A continuación podemos visualizar la pantalla protectora:

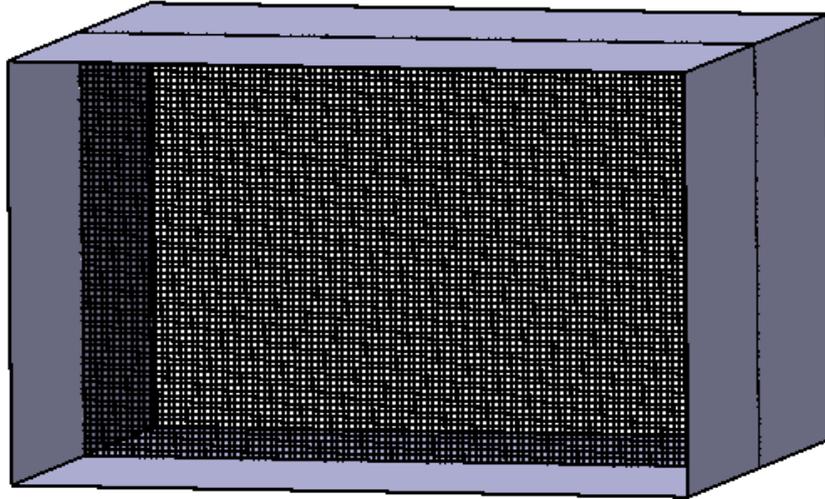


Figura 5.16: Pantalla de seguridad

5.9 Conductos de adaptación

La finalidad de estos conductos es adaptar la sección del conducto, pasando de una sección rectangular a una circular. El túnel de viento contará con dos conductos de adaptación, ubicados antes y después de la sección de impulsión. Ambos conductos son idénticos, el primer conducto de adaptación convertirá la sección rectangular en circular y el segundo conducto de adaptación convertirá la sección circular en rectangular.

La sección rectangular de sendos adaptadores será idéntica a la del primer y segundo codo, mientras que la sección circular será la misma que la de la sección impulsora. Ambos conductos tendrán una longitud $L = 10\text{ m}$.

En la imagen siguiente apreciamos un diagrama de un conducto de adaptación.

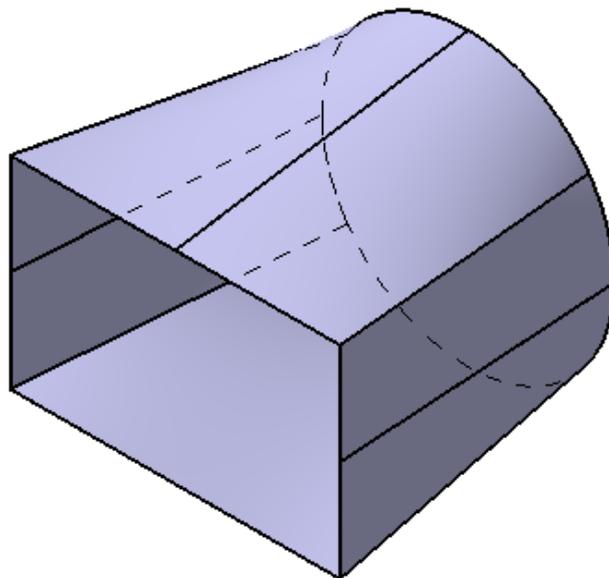


Figura 5.17: Conducto de adaptación

5.10 Túnel de viento

Una vez desarrollados todos los elementos se concluirá el capítulo mostrando una serie de imágenes en las que se puede observar el túnel de viento con todos los elementos ensamblados.

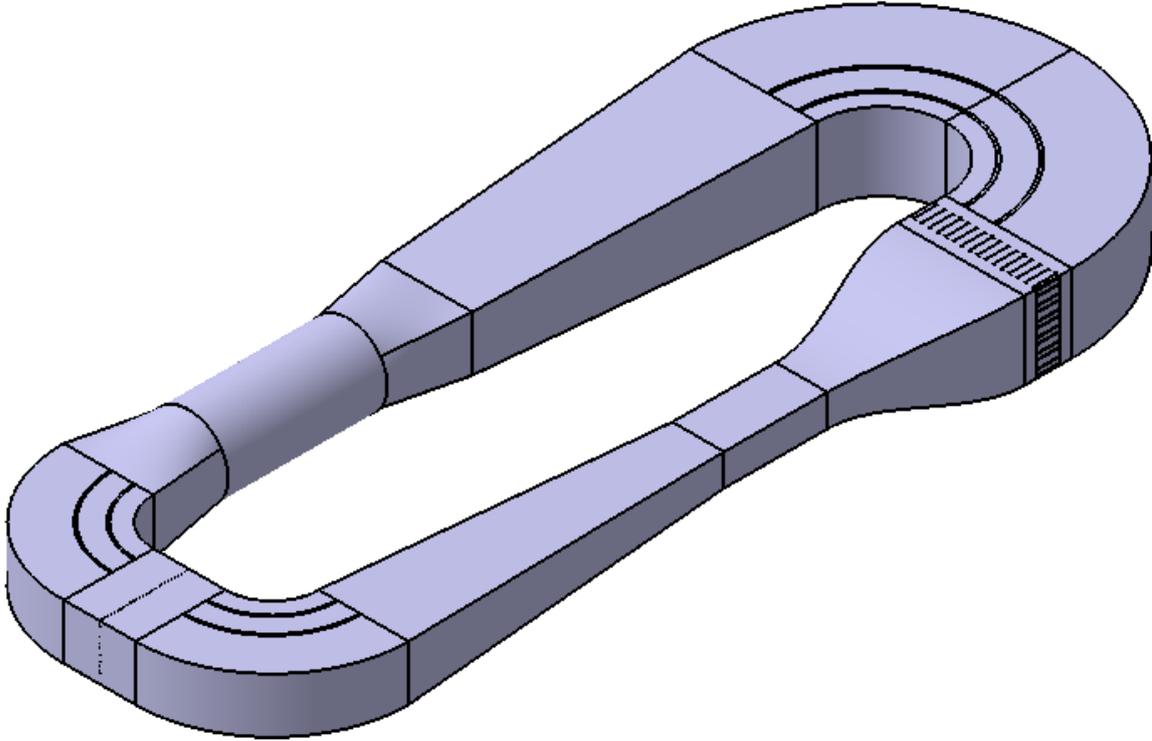


Figura 5.18: Túnel de viento completo

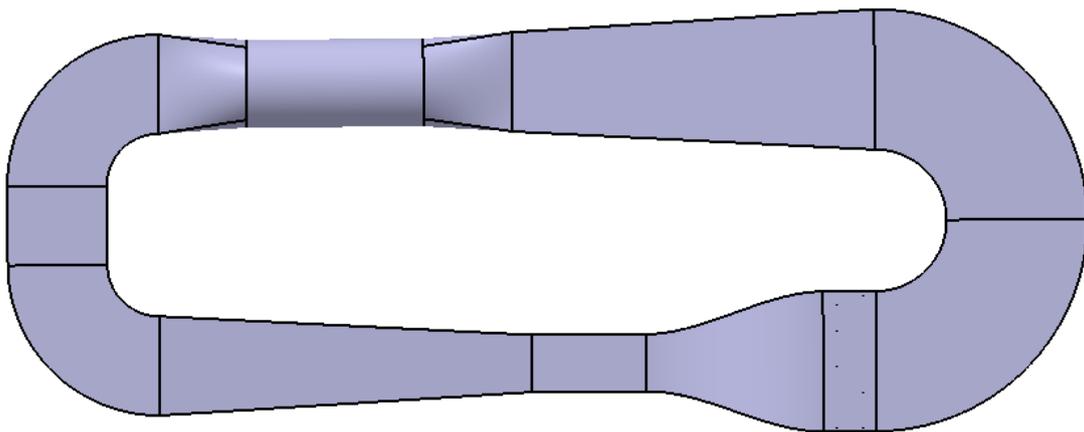


Figura 5.19: Conducto de adaptación

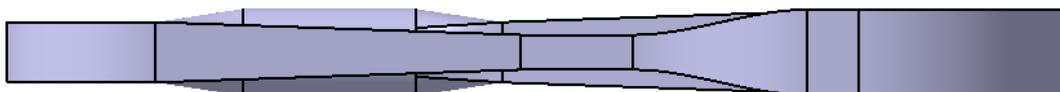


Figura 5.20: Conducto de adaptación

6. ANÁLISIS DE LAS PÉRDIDAS Y OPERACIÓN DEL TÚNEL DE VIENTO

6.1 Pérdidas de carga

Las pérdidas de carga son las pérdidas de energía que se producen en el túnel. Éstas se deben a las irreversibilidades que se producen en el movimiento del fluido en el interior del túnel. Es posible cuantificar estas pérdidas a través de la caída de presión debido a la fricción entre las partículas del fluido y del fluido con las paredes del conducto. Determinar las pérdidas de carga que tienen lugar en el túnel es de vital importancia para determinar las características de la sección impulsora, puesto que ésta se encarga de aportar al fluido la energía necesaria para vencer estas pérdidas.

Las pérdidas de carga pueden de carácter continuo, a lo largo de conductos de sección constante o lentamente variable, o de carácter brusco, debido a la presencia de elementos en el flujo, como válvulas, contracciones, etc.

Podemos distinguir dos tipos de pérdidas de presión: pérdidas por fricción y pérdidas locales.

- Pérdidas por fricción: Las pérdidas por fricción son debidas a la viscosidad de los fluidos reales, y como resultado de la transferencia de energía cinética entre moléculas y entre partículas individuales de las capas adyacentes del fluido que se desplazan a diferentes velocidades.
- Pérdidas locales: Las pérdidas de presión locales son producidas por distorsiones locales del flujo, separación del flujo de las paredes, etc.

Ambas pérdidas contribuyen al intercambio de energía entre las partículas que componen el fluido, siendo un fenómeno inevitable en el movimiento de un fluido en un conducto. Por lo tanto, es posible expresar las pérdidas totales de presión de remanso como:

$$\Delta P_T = \Delta P_\lambda + \Delta P_{loc}$$

Como hemos mencionado anteriormente, las pérdidas de presión que se dan en el túnel de viento determinan la energía que el fluido necesita para mantener el movimiento. Es posible relacionar las pérdidas de presión con la potencia necesaria, a través de la cantidad de gas que se mueve en el interior del túnel.

$$P_f = Q \cdot \Delta P_T$$

Donde:

- P_f : potencia disipada por el fluido en su movimiento en el interior del túnel.
- Q : caudal volumétrico que atraviesa la sección de impulsión.
- ΔP_T : pérdidas totales de presión de remanso.

Para determinar las pérdidas de carga en todas las secciones del túnel de viento, se recurrirá al siguiente modelo:

$$K_l = \frac{\Delta H_l}{q_l}$$

Donde:

- K_l : factor adimensional de pérdidas locales.
- ΔH_l : variación energética local.
- q_l : presión dinámica característica local.

Este modelo nos permite reducir el cálculo de las pérdidas al conocimiento del factor adimensional de pérdidas locales, que dependerá exclusivamente de la geometría, el factor de fricción de Darcy y el número de Reynolds. De esta forma es posible conocer la evolución de las pérdidas a través de una relación que depende de la entrada a la sección y de parámetros geométricos conocidos. Por tanto es posible expresar la expresión anterior de la forma que sigue:

$$K_l = \frac{\Delta P_{0l}}{\frac{1}{2} \rho_l V_l^2}$$

El factor adimensional de pérdidas locales variará según el tipo de elemento que analicemos del túnel, siendo además relaciones puramente experimentales. En lo siguiente se presentarán los factores de pérdidas de cada tipo de elemento.

6.1.1 Tramos rectos de sección constante

En dinámica de fluidos, la ecuación de Darcy – Weisbach es una ecuación empírica que relaciona la pérdida de carga hidráulica (o pérdida de presión), debido a la fricción a lo largo de una tubería recta dada de sección constante, con la velocidad media del flujo del fluido. El factor adimensional de pérdidas en un tramo recto de sección constante se expresaría como:

$$K_t = \lambda_t \cdot \frac{L_t}{D_{ht}}$$

Donde:

- λ_t : factor de fricción de Darcy en el conducto.
- L_t : longitud del conducto.
- D_{ht} : diámetro hidráulico del conducto.

Esta relación se empleará para determinar las pérdidas de carga en: la cámara de ensayos, los adaptadores y los tramos rectos en los que se ubican la malla de seguridad y los estabilizadores de flujo.

6.1.2 Difusores

El factor más crítico en el diseño de los difusores es el ángulo de expansión cónico equivalente. Este parámetro definirá las pérdidas causadas por la expansión del flujo. En los difusores podemos encontrar dos factores de pérdidas que pueden superponerse: el factor de pérdidas por fricción y el factor de pérdidas por expansión.

$$K_D = K_\lambda + K_{ex}$$

Donde los factores de fricción y expansión pueden desarrollarse como:

$$K_\lambda = \left(1 - \frac{1}{A_R^2}\right) \frac{\lambda}{8 \sin \theta_e}$$

$$K_{ex} = K_e(\theta_e) \left(1 - \frac{1}{A_R}\right)^2$$

Donde $K_e(\theta_e)$ es un factor experimental que depende del ángulo de expansión cónico equivalente y se determina según la relación siguiente:

$$K_e(\theta_e) = 0.1222 - 0.0459 \cdot \theta_e + 0.02203 \cdot \theta_e^2 + 0.003269 \cdot \theta_e^3 - 0.0006145 \cdot \theta_e^4 - \\ - 0.000028 \cdot \theta_e^5 + 0.00002337 \cdot \theta_e^6, \quad \text{para } 1.5^\circ \leq \theta_e \leq 5^\circ$$

Esta expresión se empleará para sendos difusores del túnel de viento.

6.1.3 Codos

A pesar de ser de sección constante, los codos presentan un tipo de pérdidas (a parte de las pérdidas por fricción), debido al cambio de dirección que sufre el movimiento. Al describir una trayectoria con curvatura, el flujo experimenta fuerzas de inercia que tienden a desplazarlo hacia la pared exterior del conducto. Esto da origen a un aumento de la presión en la pared exterior y a una disminución de la presión interior. Esto causaría una mayor acumulación del fluido en la región próxima a la pared exterior. Por tanto, ya que el área de paso no varía, en la pared exterior la velocidad del fluido disminuye mientras que en la pared interior aumenta debido al campo de presiones no uniforme.

Por lo tanto, las pérdidas en el codo pueden modelarse como la superposición de los efectos de los efectos de fricción y el efecto centrífugo.

$$K_C = K_\lambda + K_\delta$$

Donde el término por fricción puede expresarse como:

$$K_{\lambda} = 0.0175 \frac{R_0}{D_{hC}} \delta \cdot \lambda$$

Donde:

- R_0 : radio del codo.
- D_{hC} : diámetro hidráulico de la sección de paso.
- δ : ángulo que se defleca la corriente (en grados)
- λ : factor de fricción de Darcy

Las pérdidas debidas a la deflexión del flujo pueden modelarse por la expresión propuesta por Abramovich:

$$K_{\delta} = A_1 B_1 C_1$$

Donde los coeficientes anteriores vienen determinados por los datos obtenidos por Nekrasov:

$$A_1 = \begin{cases} 0.9 \cdot \sin^2(\delta_0), & \delta_0 < 70^\circ \\ 0.7 + 0.35 \cdot \frac{\delta_0}{90}, & \delta_0 > 100^\circ \\ 1, & \delta_0 = 90^\circ \end{cases}$$

$$B_1 = \begin{cases} \frac{0.21}{(R_0/b_0)^{2.5}}, & R_0/b_0 < 1 \\ \frac{0.21}{(R_0/b_0)^{0.5}}, & R_0/b_0 \geq 1 \end{cases}$$

$$C_1 = \begin{cases} 0.85 + \frac{0.125}{h_0/b_0}, & h_0/b_0 < 4 \\ 1.115 - \frac{0.84}{h_0/b_0}, & h_0/b_0 \geq 4 \end{cases}$$

Donde:

- h_0 : alto de la sección del codo.
- b_0 : ancho de la sección del codo.

Pero una deflexión tan elevada a través de una sección de dimensiones tan altas provoca unas pérdidas por deflexión muy elevadas. Para reducir su efecto es posible emplear álabes guía que disminuyen los efectos de flujos secundarios y capa límite. Estos álabes aumentarían las pérdidas por fricción, pero disminuiría significativamente las pérdidas por deflexión, con lo que se obtiene una mejora notable.

Se ha optado por disponer álabes concéntricos con el mismo centro de curvatura que el radio del codo. Para determinar el número de álabes y su ubicación se hará uso de la tabla basada en los datos de Khanzhonkov y Taliev:

r_0/b_0	0 - 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1	1
N	3 - 4	2	1	0

Tabla 6.1: Datos de Khanzhonkov y Taliev

Donde r_0 sería el radio de la pared interior del codo.

En nuestro caso nos encontraríamos en el caso límite de $r_0/b_0 \cong 0.5$. Con el objeto de ser conservadores, dispondremos de dos álabes guía en cada codo. Para determinar la posición de cada álabe se dispone de la siguiente expresión iterativa:

$$r_i = 1.26 \cdot r_{i-1} + 0.07 \cdot b_0$$

Una vez incorporadas las mejoras que ofrecen los álabes guía el término por deflexión resultaría:

$$K_\delta = A_1 B_1 C_1 \left(0.46 \frac{R_0}{b_0} + 0.04 \right)$$

Como se indico en el capítulo anterior, el radio del codo se determinó optimizando las pérdidas. Dado que la sección está condicionada por el difusor y las condiciones del flujo dependen de la salida del difusor, el único grado de libertad sería el radio del codo. Optimizando la siguiente expresión respecto al radio de cada codo, es posible determinar unos valores óptimos.

$$K_C = 0.0175 \frac{R_0}{D_{hC}} \delta \cdot \lambda + A_1 B_1 C_1 \left(0.46 \frac{R_0}{b_0} + 0.04 \right)$$

En la imagen siguiente podemos observar la tendencia que presentaría la ecuación anterior.

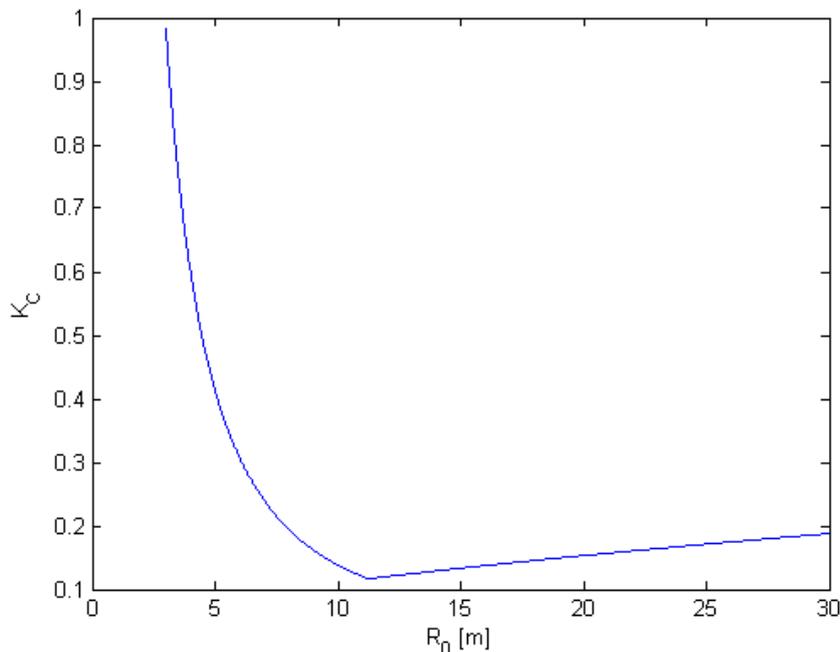


Figura 6.1: Coeficiente de pérdida de carga de un codo frente a su radio

6.1.4 Contracción

El análisis de las pérdidas en una contracción es un proceso altamente complejo. Pero es posible aproximar las pérdidas que ocasiona suponiendo que éstas se originan únicamente por fricción, considerando cada sección como un tramo recto de sección constante de longitud infinitésima y asumiendo pequeñas variaciones en la densidad. Esto es posible ya que la contribución de la contracción a las pérdidas totales es pequeña y es posible asumir esta aproximación. Podemos aproximar la caída de presión como adaptando la ecuación de Darcy – Weisbach.

$$\Delta P_n = \int_0^{L_n} \frac{1}{2} \rho_n(x) V_n^2(x) \frac{\lambda(x)}{D_{hn}(x)} dx$$

Operando sobre la relación anterior es posible establecer el factor de pérdidas de carga de la contracción como:

$$K_n = \lambda \frac{L_n}{D_{ht}} \int_0^1 \frac{D_{ht}^5}{D_{hn}^2 \left(\frac{x}{L_n}\right)} d\left(\frac{x}{L_n}\right)$$

Donde:

- D_{ht} : diámetro hidráulico de la cámara de ensayos.
- $D_{hn}(x)$: diámetro hidráulico de cada sección de la contracción.
- L_n : longitud de la contracción.

6.1.5 Pantalla de seguridad

Las pantallas de seguridad son los elementos que mayores pérdidas de presión ocasionan, siendo necesario escoger la configuración que cause las menores posibles. La bibliografía sugiere un mallado de alambre entrecruzado, por lo que se empleará este tipo de pantalla. Las pérdidas dependerán el tipo de mallado, de la geometría y de la velocidad con que el fluido incida sobre el mallado.

El factor de pérdidas de carga puede expresarse de la forma siguiente:

$$K_m = K_{mesh} \cdot K_{Rn} \cdot \sigma_s + \frac{\sigma_w}{\beta_w^2}$$

Donde:

- K_{mesh} : factor dependiente del mallado y el material (en nuestro caso $K_{mesh} = 1$).
- σ_w : solidez de la pantalla.
- β_w : porosidad de la pantalla.
- K_{Rn} : factor dependiente del número de Reynolds del flujo.

Es posible relacionar la solidez y la porosidad con la geometría que define la pantalla de seguridad:

$$\beta_w = \left(1 - \frac{d_w}{w_w}\right)^2$$

$$\sigma_w = 1 - \beta_w$$

Donde:

- d_w : diámetro del hilo.
- w_w : distancia entre hilos (tanto horizontal como vertical).

El factor K_{Rn} viene determinado por la relación siguiente:

$$K_{Rn} = \begin{cases} 0.785 \left(\frac{R_{ew}}{2.41} + 1\right)^{-4} + 1.01, & R_{ew} < 400 \\ 1, & R_{ew} \geq 400 \end{cases}$$

Donde R_{ew} es el número de Reynolds basado en el diámetro del alambre del mallado:

$$R_{ew} = \frac{\rho V d_w}{\mu}$$

6.1.6 Acondicionadores de flujo

Los acondicionadores de flujo suponen una disminución en el paso de la sección efectiva y un aumento de la superficie mojada, por lo que generan pérdidas por fricción. La bibliografía sugiere que los acondicionadores tengan una sección hexagonal, teniendo un mejor comportamiento. Es posible modelar el factor de pérdidas de carga de la forma siguiente.

$$K_h = \lambda_h \left(\frac{L_h}{D_{hh}} + 3\right) \left(\frac{1}{\beta_h}\right)^2 + \left(\frac{1}{\beta_h} - 1\right)^2$$

Donde:

- λ_h : factor dependiente del flujo y la geometría.
- L_h : longitud de un acondicionador en la dirección del flujo.
- D_{hh} : diámetro hidráulico de un acondicionador.
- β_h : porosidad de la pantalla acondicionadora.

El factor λ_h viene dado por la expresión siguiente:

$$\lambda_h = \begin{cases} 0.375 \left(\frac{\Delta_h}{D_{hh}} \right)^{0.4} \cdot R_{e\Delta}^{-0.1}, & R_{e\Delta} \leq 275 \\ 0.214 \left(\frac{\Delta_h}{D_{hh}} \right)^{0.4}, & R_{e\Delta} > 275 \end{cases}$$

Donde $R_{e\Delta}$ es el número de Reynolds basado en el espesor de la pared de un acondicionador:

$$R_{e\Delta} = \frac{\rho V \Delta_h}{\mu}$$

6.2 Operación del túnel de viento

Una vez analizado el modelo fluido y de pérdidas de carga es posible determinar el comportamiento del fluido en el interior del túnel [ver anexos]. El resultado más inmediato del estudio del movimiento fluido sería la potencia necesaria para mantener el flujo en movimiento para cualquier rango de ensayos. En los gráficos siguientes podemos observar la potencia suministrada a la sección de impulsión y la caída total de presión de remanso frente al número de Mach que queremos obtener en la cámara de ensayos.

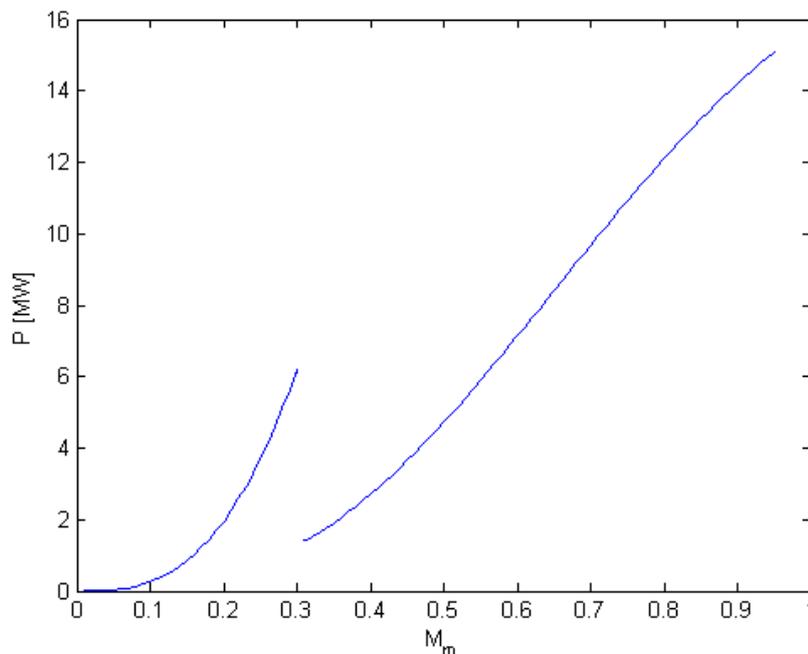


Figura 6.2: Potencia consumida por la sección impulsora frente al número de Mach de ensayo

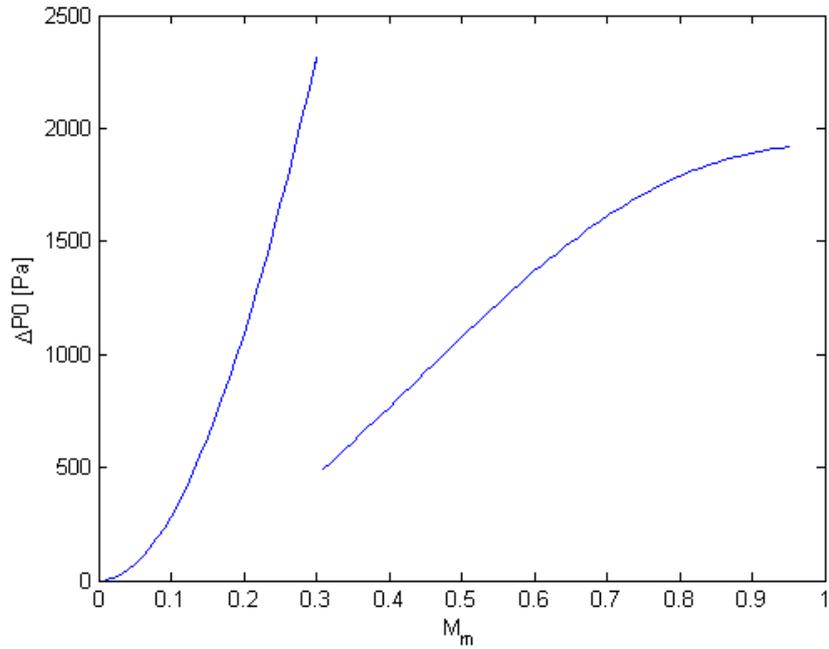


Figura 6.3: Caída de presión remanso total frente al número de Mach de ensayo

Es interesante resaltar que la caída total de presión de remanso en el rango subsónico es del mismo orden que para el rango transónico. Esto se debe a la necesidad de conservar el número de Reynolds en ensayos subsónicos. Al aumentar la presión de 1 bar a 5 bar, se aumenta 5 veces (evolución isoterma) la densidad del flujo, por lo que aunque el flujo es más lento, este debe mover un caudal notablemente mayor. Sin embargo la potencia requerida en el régimen transónico es significativamente mayor debido a que las velocidades son bastante mayores.

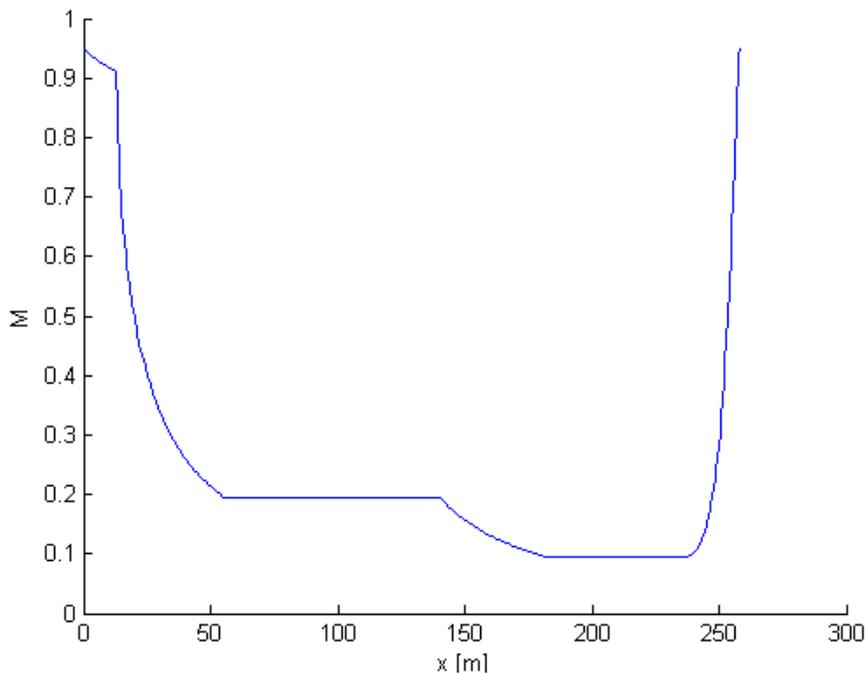


Figura 6.4: Evolución del número de Mach en el interior del túnel

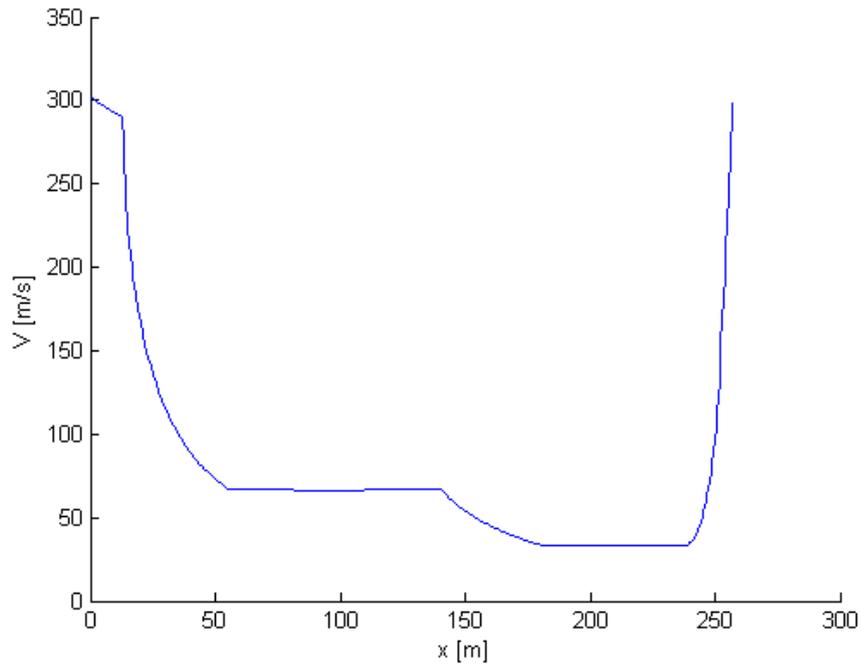


Figura 6.5: Evolución de la velocidad en el interior del túnel

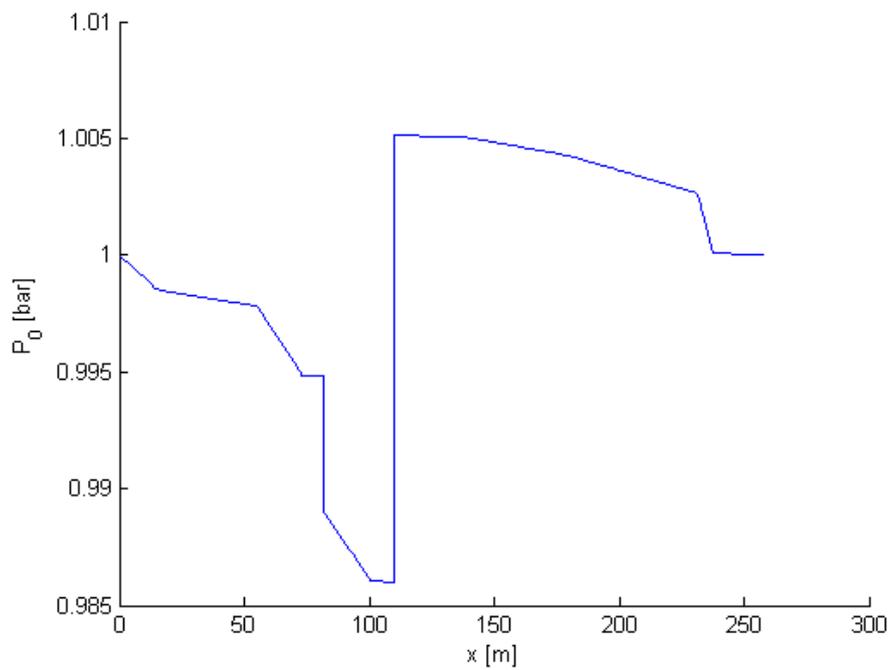


Figura 6.6: Evolución de la presión de remanso en el interior del túnel

Como se ha podido observar, tanto la velocidad como el número de Mach sufren poca variación en los tramos de sección constante, esto se debe que la baja velocidad que poseen en estos tramos ocasionan pocas pérdidas. Sin embargo en la cámara de ensayos sufren una caída mayor debido a que es donde se dan las mayores velocidades. En los difusores se obtiene el efecto deseado, una disminución de la velocidad para evitar grandes pérdidas en el resto de elementos. De forma contraria, en la contracción se produce una intensa aceleración para obtener la velocidad deseada en la cámara de ensayos. En lo que respecta a la evolución de la presión, distinguiremos dos zonas, la región entre la cámara y la sección de impulsión, y la región posterior a la sección de impulsión. Aunque en ambas regiones cuentan con un difusor y dos codos, las pérdidas de carga que se producen en la primera región respecto a la segunda son mayores. Esto se debe a que el fluido se mueve a mayor velocidad en la primera, ya que la sección en la primera región es dos veces más pequeña. De igual forma se puede observar que las pérdidas de carga en la pantalla de seguridad son mayores que en el resto de elementos, y en los acondicionadores también resultan significativas. Es interesante observar la aportación de cada elemento a las pérdidas totales en cada régimen:

En la imagen siguiente podemos observar la distribución de pérdidas para el régimen subsónico típico ($M=0.3$):

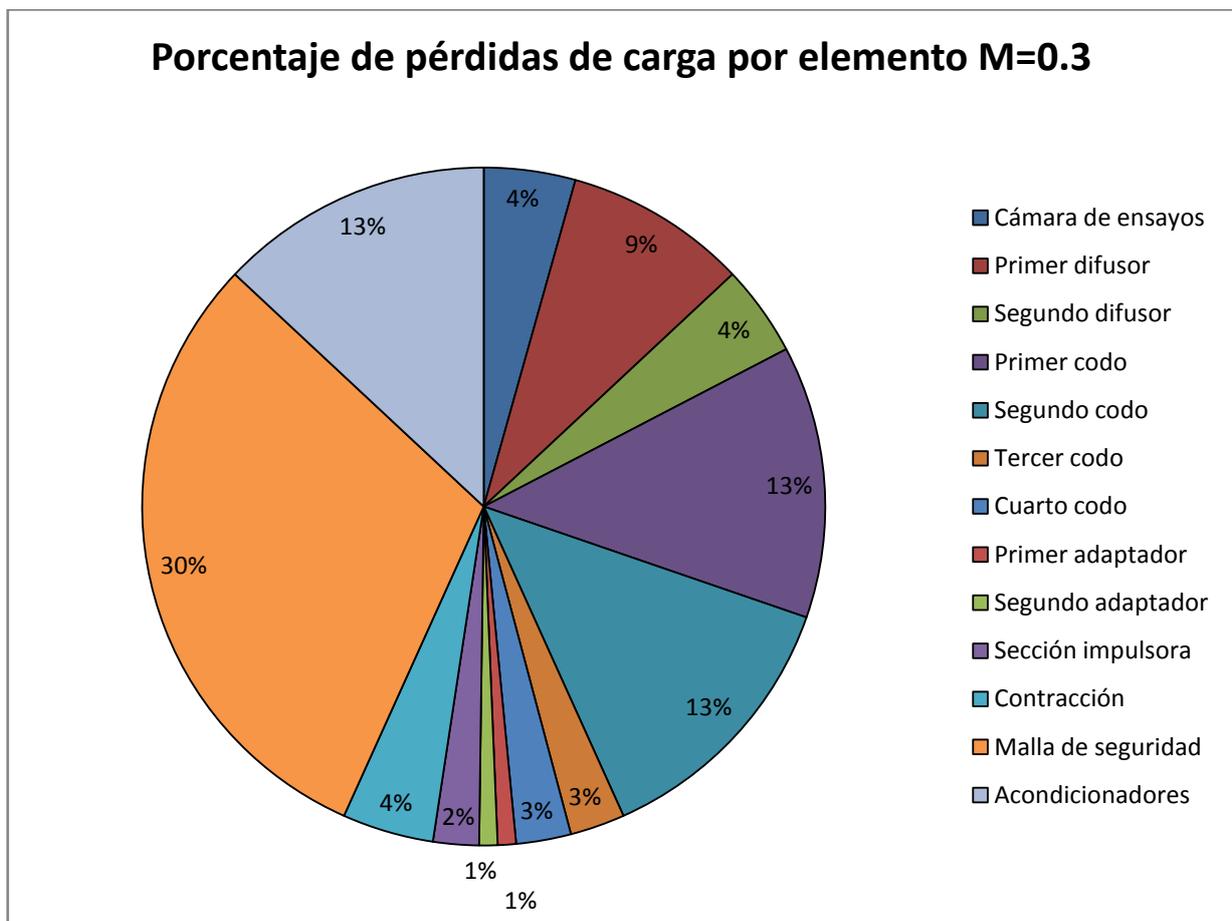


Figura 6.7: Porcentaje de pérdidas de carga por elemento con $M=0.3$

En la imagen siguiente podemos observar la distribución de pérdidas para el régimen transónico típico ($M=0.9$):

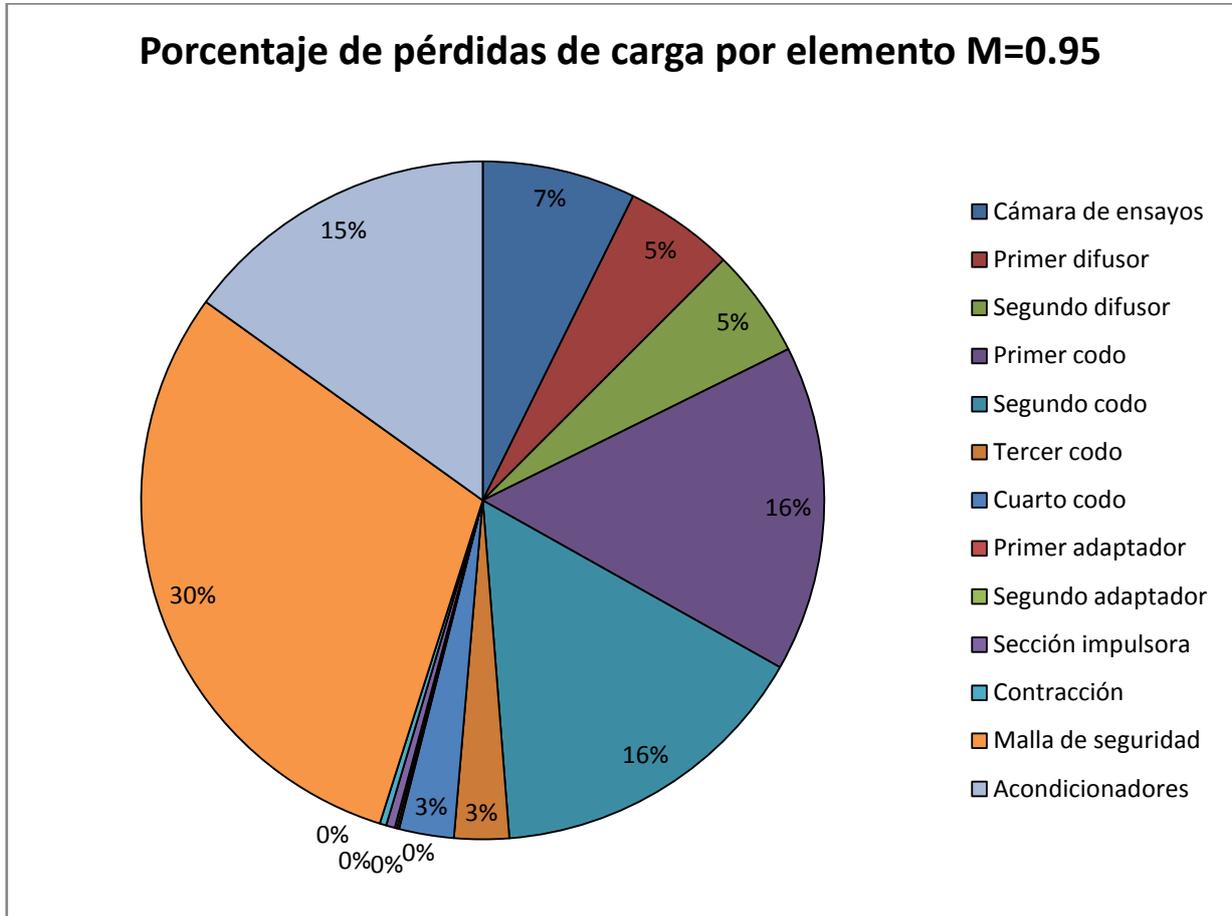


Figura 6.8: Porcentaje de pérdidas de carga por elemento con $M=0.95$

Como se explicó en capítulos anteriores, el número de Reynolds que caracteriza al flujo alrededor del modelo debe conservarse en regímenes subsónicos de ensayo. Por ello resulta relevante mostrar el número de Reynolds que se obtendría en la cámara, supuesto conocido el Reynolds de una operación de una aeronave real. En el gráfico siguiente se presenta que es posible obtener los resultados que se mencionaron.

Observamos que en el rango subsónico el número de Reynolds es prácticamente idéntico al real, mientras que en el régimen superior a $M=0.3$ se puede mantener el orden del valor. Por lo tanto se cumplen los supuestos de partida.

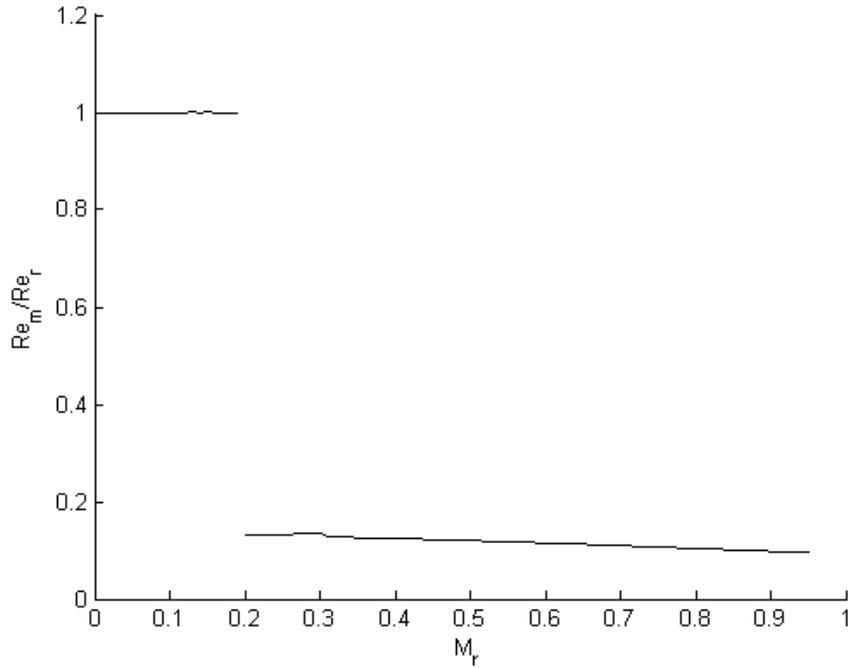


Figura 6.9: Razón de Reynolds frente a Mach real

Para concluir esta sección se presenta un gráfico en el que podemos observar el régimen de giro necesario de la sección de impulsión frente al número de Mach desarrollado en la cámara de ensayos. Como se observa las revoluciones deben aumentar a fin de conseguir una velocidad mayor, ya que es preciso imprimir una potencia más alta al flujo.

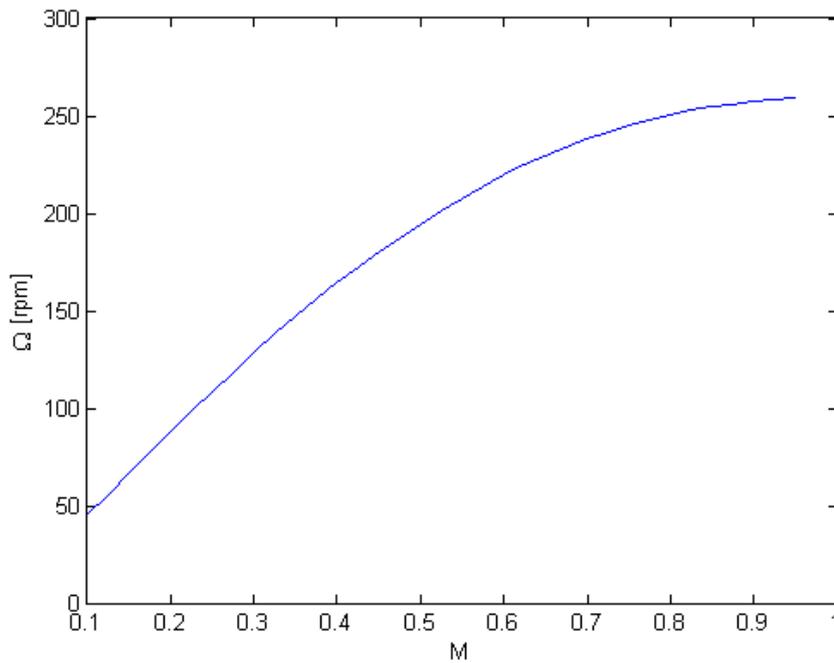


Figura 6.10: Revoluciones del fan frente al número de Mach del ensayo

7. INSTALACIONES Y SERVICIOS

En este capítulo se presentarán las infraestructuras e instalaciones necesarias para el correcto desempeño de las funciones y servicios del túnel y la gestión administrativa. Múltiples factores describen las necesidades de estas instalaciones, pero los factores más determinantes que definen las necesidades principales serían los siguientes:

- Potencia eléctrica.
- Control de operaciones del túnel y adquisición de datos.
- Confidencialidad en los ensayos.
- Labor de administración y recepción de clientes.

La potencia eléctrica que consumirá el túnel hace necesaria la existencia de una subestación de media tensión propia para las instalaciones. Las necesidades de control sobre las operaciones del túnel y de administración darán lugar a la construcción de dos edificios independientes y separados. Será necesario restringir el acceso a diversas zonas de las instalaciones para asegurar la privacidad de los clientes.

7.1 Personal

Las instalaciones deben contar con personal suficiente para la correcta gestión y desempeño de sus funciones. En este apartado se hará una lista del personal considerado como imprescindible para el funcionamiento de las instalaciones.

- Administración y gestión:

Se consideran necesarios los puestos siguientes: un director del centro, un recepcionista encargado de controlar el acceso al edificio principal y de informar a los clientes, dos cargos administrativos para la gestión del centro y dos comerciales encargados de la captación de clientes y venta de servicios.

- Operación del túnel

Se consideran necesarios los puestos siguientes: seis ingenieros encargados del control de las operaciones y ensayos del túnel y de la adquisición y procesamiento de datos y tres operarios encargados de los talleres y el equipamiento de los ensayos.

- Mantenimiento y seguridad

Se consideran necesarios los puestos siguientes: dos encargados de la seguridad, uno diurno en la caseta de seguridad a la entrada de las instalaciones y otro nocturno encargado de la vigilancia de las instalaciones, y tres empleados de mantenimiento, un responsable, un encargado de la mecánica y un encargado de electricidad y control.

Cabe señalar que el personal descrito sería el considerado como imprescindible y fijo en la plantilla. Sin embargo se prevé la necesidad de recurrir a subcontratas en circunstancias puntuales como el mantenimiento del grupo del motor o los compresores.

7.2 Infraestructuras

En este apartado se describirán todas instalaciones y recursos de los que dispone el túnel de viento. Se describirá la configuración interna de los edificios y detalles constructivos de relevancia.

7.2.1 Túnel de viento

El túnel de viento es el elemento más relevante y de mayor tamaño de las instalaciones. Ocuparía una superficie en planta 122.09 m de largo y 47.92 m en la parte más ancha, es decir 5851 m², de los cuales 3012 m² serían los que estarían en contacto con el suelo. La superficie restante estaría contenida en el interior del espacio cercado por el túnel, y en ella se ubicarán dos edificios: el edificio del motor y el edificio de los compresores.

El interior del túnel estará cubierto por placas de PVC ya que la fricción es un factor crítico respecto a las pérdidas. Estas placas poseen una rugosidad mínima que permite una disminución de la fricción con las paredes del túnel frente a otros materiales. La construcción del túnel requerirá de una estructura compuesta por una sucesión de forjados y hormigón armado de gran espesor para toda la envolvente del túnel, ya que al ser necesario presurizar el túnel, la estructura debe ser capaz de soportar la presión de diseño ($p = 5 \text{ bar}$). Para ello se recubrirá las placas internas de PVC con placas de acero. Estas placas de acero deberán estar envueltas por una serie de pórticos atravesados por rigidizadores para asegurar la resistencia a la presión.

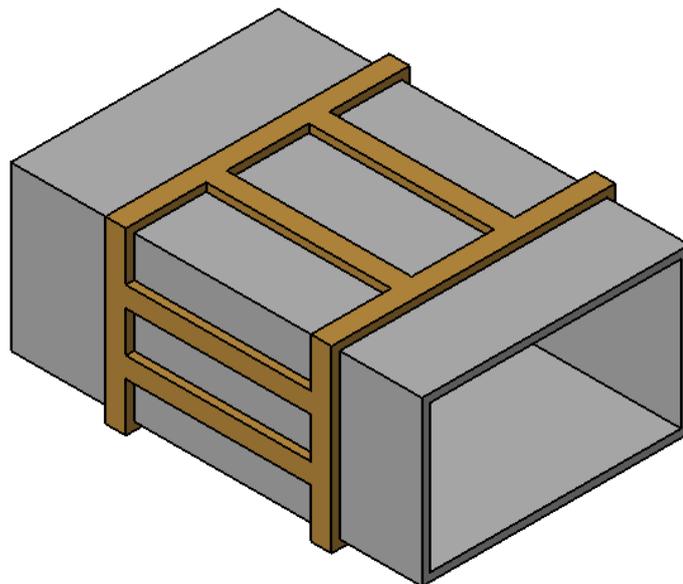


Figura 7.1: Envolvente del túnel

Dado que el túnel presenta distintas cotas respecto a la cámara de ensayos debido a la diferencia de secciones, será necesario excavar y cimentar el terreno de forma que varios elementos quedarán parcialmente enterrados. En la imagen siguiente se puede observar las zonas de enterramiento respecto al nivel del suelo.

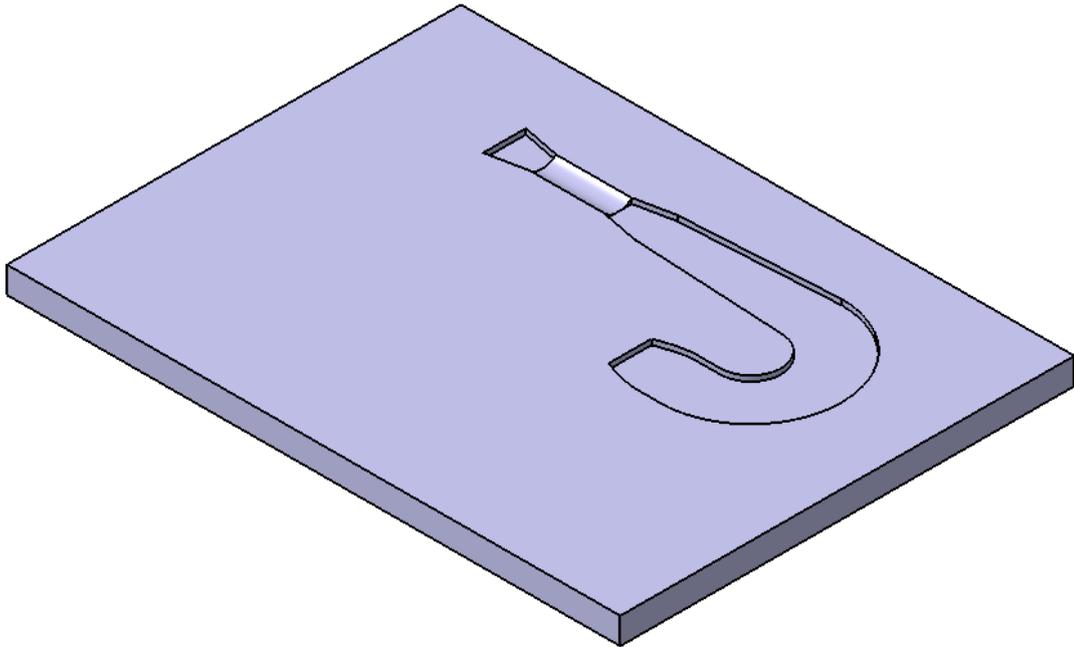


Figura 7.2: Enterramiento del túnel

Se enterrarán parcialmente: los adaptadores, la sección de impulsión, el segundo difusor, el tercer y cuarto codo, la cámara de estabilización y parte de la contracción. A cota cero quedarían: primer y segundo codo y el tramo de la pantalla de seguridad. Por encima del nivel del suelo quedarían: la cámara de ensayos y el primer difusor. Resulta conveniente enterrar parcialmente la sección de impulsión puesto que permite aprovechar la cimentación como cuna para amortiguar y absorber las vibraciones de los elementos. Además la sección de impulsión requiere mayores refuerzos debido a la presencia de un elemento de rotación. Los rectificadores de corriente deben estar reforzados y empotrados a las paredes de la cámara, siendo capaces de absorber las vibraciones del eje de la hélice.

Finalmente cabe señalar que el edificio de ensayos se construirá de forma que este contenga en su interior la cámara de ensayos, para así permitir el control de los ensayos, la manipulación de la cámara y los modelos y el acceso al interior del túnel para mantenimiento.

7.2.2 Edificio principal

El edificio principal cumple dos funciones principales: la gestión y administración de las instalaciones y la recepción de clientes. Por lo tanto es necesario espacio dedicado a oficinas y zonas de carácter comercial para los clientes. Este edificio será de estructura convencional: de pilares de hormigón armado, fachada de ladrillo y techo con cubierta plana accesible como azotea.

El edificio contará con dos plantas, la planta baja tendría forma de L, ocuparía una superficie de 750 m² dispondría de los siguientes elementos y espacios (ver plano):

- Recepción.
- Una sala de reunión y recepción de visitas.
- Un comedor.
- Un salón de actos.
- Una zona común abierta.
- Un despacho para dirección.
- Dos despachos para comerciales.
- Una oficina para administración.
- Armario de limpieza.
- Aseos y vestuarios.
- Ascensor.

El acceso a este edificio se encuentra tras la caseta de seguridad en el parking y desde la planta baja se controla el acceso, a través de un pasaje cerrado y controlado, a la zona del túnel.

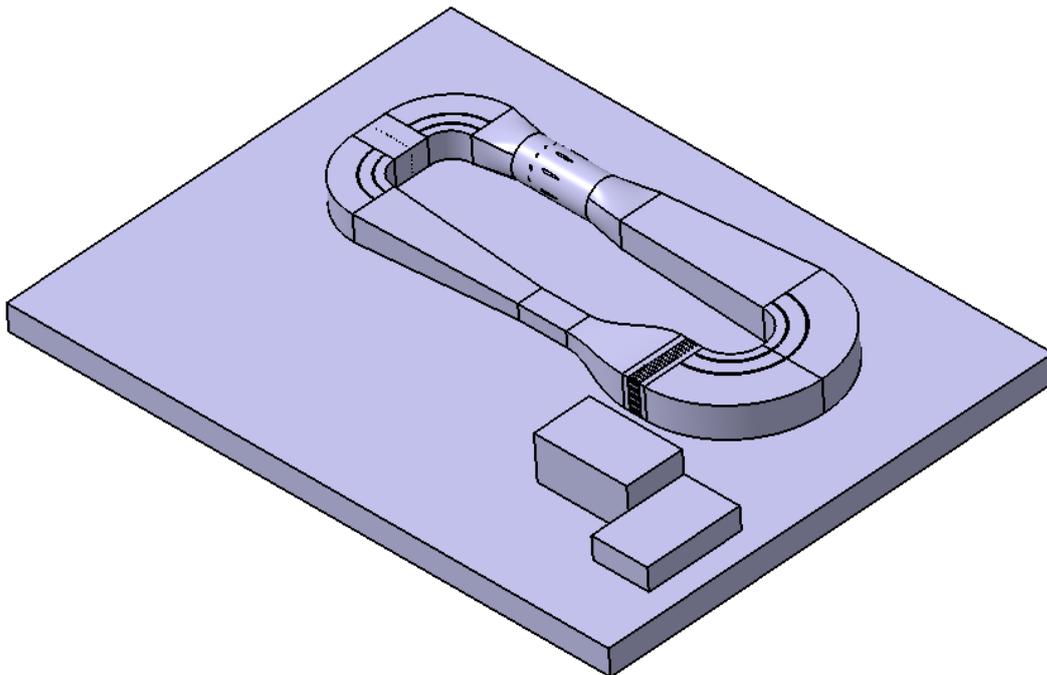


Figura 7.3: Ubicación del edificio principal respecto al túnel

7.2.3 Edificio de ensayos y taller

El edificio de ensayos se ubicará en la zona de acceso limitado de las instalaciones. Será una nave industrial de dos plantas que alojará en su interior la cámara de ensayos, oficinas, la sala de control, accesos a la sección de compresores, a la sección del motor y a los talleres externos e internos. Tendrá forma en T y ocupará una superficie de 645 m². Será posible acceder a este edificio únicamente a través del edificio principal, por un pasaje y tras pasar un control de seguridad.

En la primera planta podemos encontrar:

- La sala de control de túnel.
- Oficinas de ingeniería para el procesamiento de datos.
- Aseos.
- Sala de descanso.
- Escaleras de acceso a la sala de compresores.

En la planta baja podemos encontrar:

- Dos talleres independientes para la preparación de los modelos y la configuración de los ensayos.
- Vías de acceso desde los talleres a la cámara.
- Acceso al edificio principal
- Acceso a la cámara de ensayos
- Acceso a los talleres exteriores.

Cada taller es independiente ya que así se permite el desarrollo de ensayos mientras se dispone el siguiente. Esto se consigue ya que la cámara de ensayos se proyecta como modular, es decir, se puede modificar la configuración interna desde módulos separados que se acoplan a la cámara.

El edificio principal tendrá anexado una nave taller con acceso al exterior de las instalaciones. Será una nave en forma de L que ocupará una superficie de 300 m². Este taller contará con varios talleres diferenciados para satisfacer las necesidades de preparación de ensayos futuros y la creación de modelos. Además contará con un almacén para modelos, piezas, mantenimiento, etc. El taller contará con un acceso de grandes dimensiones que permitirá el acceso desde el exterior a vehículos de transporte que traigan pedidos y material.

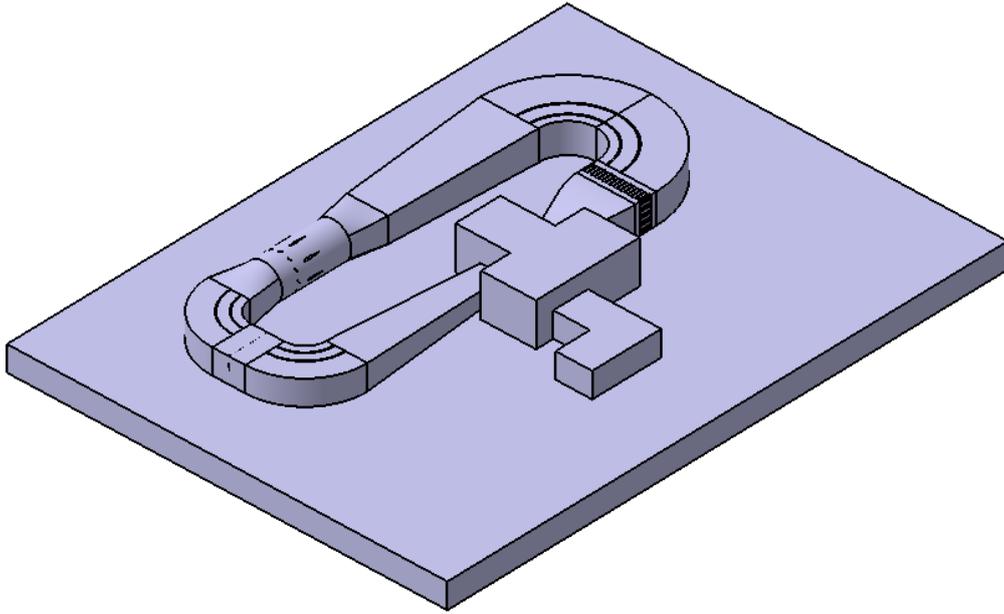


Figura 7.4: Ubicación del edificio de ensayos y de los talleres respecto al túnel

7.2.4 Edificio del compresor

Se trata de una nave anexada al edificio del túnel y da cobijo al compresor y al sistema de distribución de aire que alimenta al túnel cuando requiere ser presurizado, que ocupará una superficie de 200 m². Cuenta con un acceso desde el edificio del túnel y permite el acceso a la nave que aloja el motor a través de un pasaje cerrado. Además cuenta con un acceso de mayor tamaño que permita el acceso a maquinaria desde el exterior.

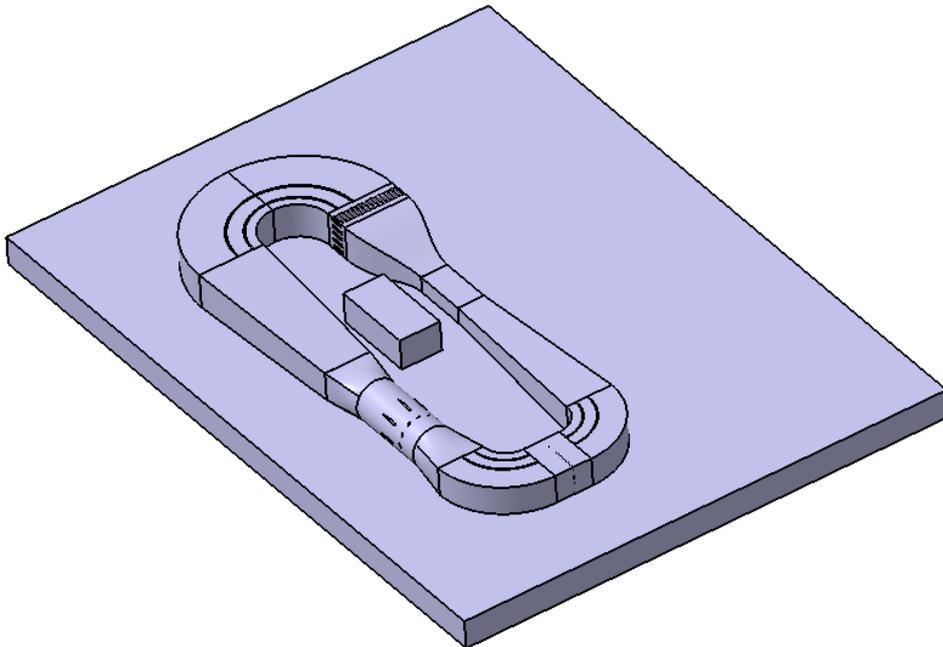


Figura 7.5: Ubicación del edificio del compresor

7.2.5 Edificio del motor

Como se indicará en el apartado siguiente, el grupo motor se ubicará en un edificio en el exterior del túnel. Por tanto se ubicará en una nave dedicada exclusivamente al mantenimiento y funcionamiento del grupo motor. Estará ubicado colindante con la sección de impulsión, en la zona interior que cerca el túnel. Será una nave de $12 \times 8 \text{ m}^2$ y contará con dos accesos: un pasaje procedente del edificio del túnel y un acceso de mayor tamaño que permita la entrada de maquinaria desde el exterior. El edificio contará con un acceso al interior de la sección de impulsión para posible mantenimiento necesario. Es necesario la existencia de un puente grúa en el interior que permita el movimiento del motor o resto de elementos.

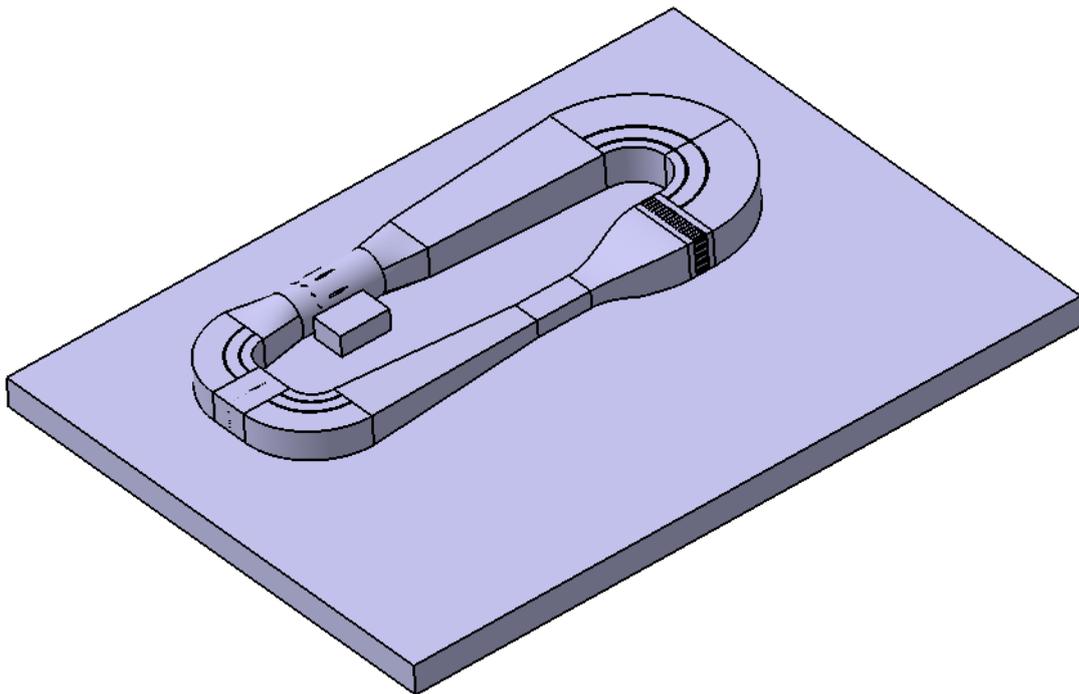


Figura 7.6: Ubicación del edificio del motor respecto al túnel

7.2.6 Instalaciones auxiliares

7.2.6.1 Suministro eléctrico

Debido al alto consumo energético de la sección impulsora del túnel, será necesaria una instalación eléctrica particular para suministrar la energía. Se construirá una subestación de transformación que recibirá potencia eléctrica en media tensión. Desde el centro de transformación se distribuirá la corriente al grupo motor y al resto de instalaciones en baja tensión (alumbrado, equipos, etc.).

Para mover la hélice se empleará un motor síncrono con variador de frecuencia, capaz de suministrar una potencia de 16 MW a la sección impulsora. Para determinar el motor necesario habría que realizar un estudio detallado de las necesidades energéticas, pero existen soluciones proporcionadas por compañías como ABB o TMEIC que satisfacen los requisitos de potencia.

Será necesario instalar por tanto un variador de frecuencia que esté conectado al motor. Debido a las complicaciones que entraña ubicar el motor dentro de la barquilla de la hélice, se ubicará en un edificio exterior. Para comunicar la potencia a la hélice se empleará un sistema de ejes que transmitan la potencia desde el exterior y hagan girar la sección impulsora. Se empleará una reductora que adapte el régimen de giro del motor a las necesidades de la hélice y se transmitirá la potencia a través de un eje que atraviese uno de los rectificadores de corriente, solución ya empleada en otros túneles de viento. En la imagen siguiente podemos observar el sistema de transmisión.

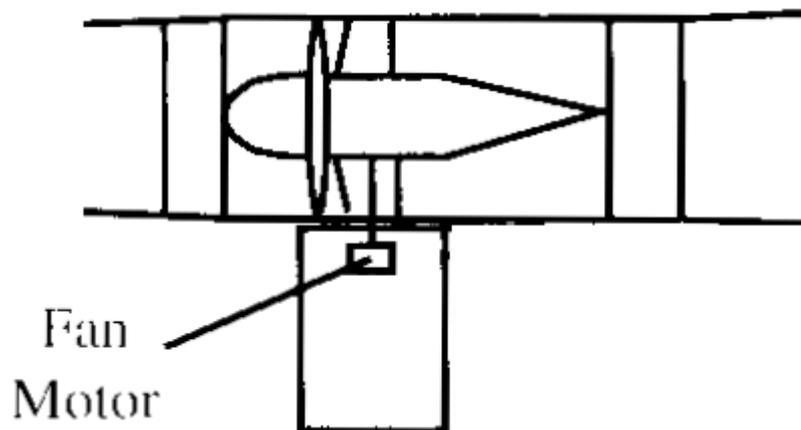


Figura 7.7: Esquema de la transmisión de potencia desde el motor al fan

7.2.6.2 Saneamiento y abastecimiento de agua

Para el sistema de saneamiento se conectará una tubería principal para la conducción de desechos a la red de alcantarillado público. A esta tubería principal se conectará mediante arquetas de registro otras tuberías secundarias que transporten los desechos desde las infraestructuras que disponen de saneamiento. Serán necesarias arquetas de suministro para el sistema de saneamiento. Así mismo se empleará una red de evacuación de aguas residuales que desagüe de forma natural mediante una pendiente. La red de saneamiento se resolverá mediante tuberías enterradas de PVC de resistencia mínima SN-8.

Para el sistema de abastecimiento de agua necesitaremos conectar una tubería principal a la red pública de abastecimiento de agua. Su instalación correrá a cargo del suministrador, y sus características se fijarán de acuerdo con la presión del agua, caudal de suministro, consumos, etc. Desde esta tubería principal se pretende proveer de un

suministro de agua a todos los edificios que la necesiten: el edificio principal, los talleres y el edificio de operación del túnel. Se hará uso de arquetas para conectar a la tubería principal otras tuberías secundarias que abastezcan a los edificios. Además será necesario el uso de collarines de toma en carga para conseguir la estanqueidad en las tuberías. La red de abastecimiento de agua se resolverá mediante tuberías de polietileno de alta densidad PE-50, PN-10.

7.2.6.3 Sistema de presurización del túnel

Para presurizar el túnel a 5 bar se barajaron dos posibilidades: almacenar aire en tanques presurizados que descargarán sobre el túnel y un sistema de compresores que presurizarán el túnel con aire atmosférico.

El uso de tanques hubiese requerido un volumen demasiado grande a una presión muy elevada, por ejemplo, presurizado a 100 bar hubiese sido necesario un tanque cilíndrico de 15 m de largo y un diámetro de 9 m. Esta solución resulta inviable. En cambio, existe compresores capaces de trabajar en este régimen de presión y de presurizar el túnel en un tiempo razonable. Por lo que será la solución empleada.

El consumo de potencia de un compresor también puede resultar muy alto, por lo que se buscará un compresor con una potencia instalada relativamente baja que tarde un tiempo aceptable en presurizar el túnel. Al preverse ensayos nocturnos, se propone presurizar el túnel fuera del horario de ensayo. Por ello el tiempo deja de ser un problema siempre que se dé fuera del horario de ensayo. Si se supone que las campañas se planificarán de forma que todos los ensayos que requieran presurización se realizan una vez se presurice el túnel (o en su defecto que se presurice para una cantidad alta de ensayos), es posible definir un tiempo de presurizado de entre 8 a 3 horas. Se ha escogido un compresor de Atlas Copco que permite mover un caudal máximo de 27000 m³/h a una presión de trabajo máxima de 9 bar, con una potencia instalada de 350 kW. Este compresor satisface completamente las necesidades del túnel.

Al margen del compresor es necesario un sistema de conductos y válvulas que permitan introducir el gas desde la atmósfera y liberar presión en caso de querer despresurizar el túnel o en caso de emergencias un sistema de válvulas de alivio.

En el gráfico siguiente se muestra el tiempo necesario para presurizar el túnel en función de la potencia consumida por el compresor. Dado que las condiciones máximas son las anteriores, no podrá presurizarse el túnel en menos de 3 horas.

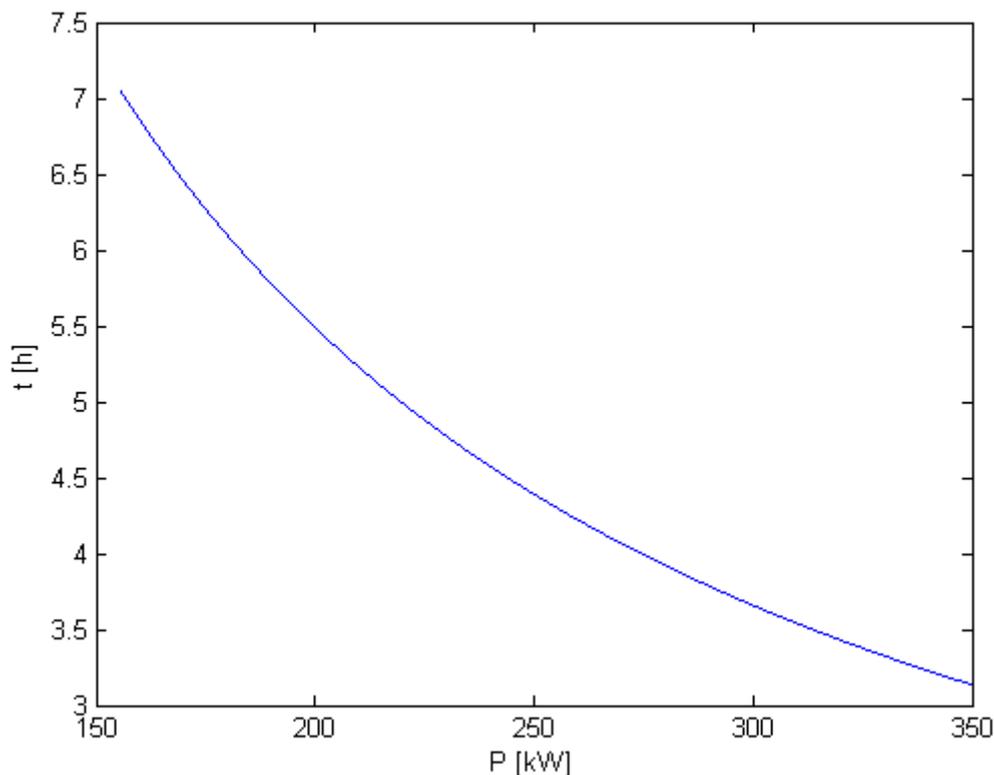


Figura 7.8: Relación entre el tiempo de presurización y la potencia requerida

7.2.7 Parking

Se habilitará una zona para aparcamiento con capacidad para 25 plazas de aparcamiento, una de éstas habilitada para minusválidos, ocupando 753 m². Las dimensiones de cada plaza de aparcamiento son de 2.5x5 m² (de 5x5 m² para minusválidos). El sentido de circulación es único, con un ancho de calzada de 5 m. Se empleará asfalto y pintura blanca anti – rodadura.

El parking contará con dos accesos: un acceso desde el exterior para vehículos y peatones y otro acceso desde la zona en la que se encuentra el edificio principal.

7.2.8 Caseta de seguridad.

La caseta de seguridad se encuentra en la entrada del recinto, permitiendo control total sobre el acceso a las instalaciones [ver plano]. Además dispondrá de acceso al sistema de vigilancia del recinto y comunicación con todas las secciones.

Como solución constructiva se ha optado por una caseta prefabricada de 3x3 m² como la que podemos observar en la imagen siguiente:



Figura 7.9: Caseta de seguridad típica

7.2.9 Vallado

Es necesario cercar toda la propiedad y además dividirla interiormente para asegurar la privacidad y confidencialidad de la zona de ensayos y el túnel. Por lo que se requerirá disponer un vallado a lo largo de 500 m.

7.2.10 Urbanización y viales

Las zonas de la parcela que no están ocupadas por instalaciones serán tratadas de diversas formas. Se prevé una distribución de zonas ajardinadas, viales, Acerados y pavimentados. Se contarán con 680 m² de jardines, 162 m² de Acerados, 3810.6 m² de viales y 8456 m² de pavimentado.

Los viales permitirán acceso al taller del túnel, así como el posible acceso a cualquier parte exterior del túnel y la subestación de transformación. Esto permitiría el transporte de maquinaria a cualquier punto de las instalaciones.

En la imagen siguiente podemos observar el vallado y los viales que recorren el recinto:

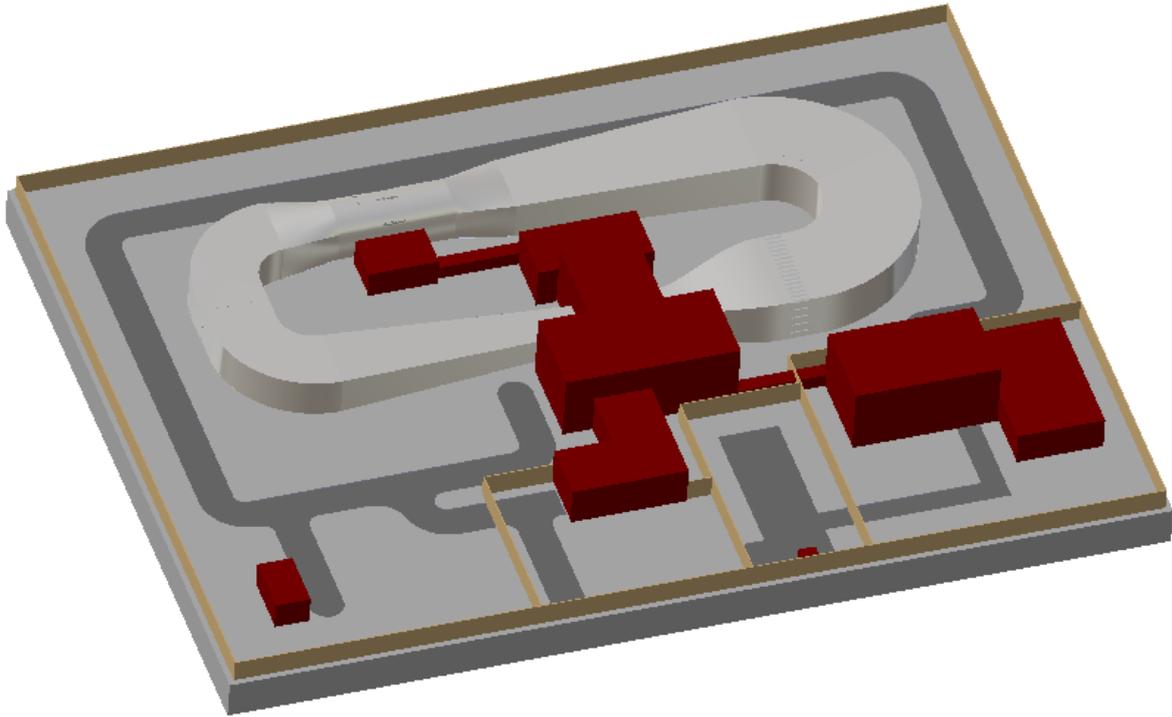


Figura 7.10: Distribución final de las instalaciones

7.3 Servicios

El propósito del túnel de viento es desarrollar campañas de ensayos aerodinámicos en régimen subsónico y transónico para aeronaves civiles. Pero también puede dar cabida a ensayos de otra índole. En este apartado se presentarán los posibles ensayos a realizar y el instrumental genérico que es necesario para el desempeño de estos ensayos.

7.3.1 Ensayos

El túnel de viento puede dar cabida a tres bloques genéricos de ensayos:

- Ensayos en aeronaves en régimen subsónico y transónico: pudiendo tratarse de aeronaves comerciales, civiles o helicópteros. Siempre que se mantengan en el rango de operación previsto para el túnel.
- Ensayos en otros vehículos: puede dar cabida a vehículos a escala real como automóviles, furgonetas o bicicletas y vehículos a escala como trenes o camiones.
- Otros ensayos: puede dar cabida a ensayos de propósito científico como el estudio de la capa límite terrestre sobre la orografía terrestre o ensayos sobre estructuras inmersas en la atmósfera.

Basándonos en la información obtenida de los ensayos sobre aeronaves realizados en otros túneles de viento como ONERA podemos clasificar los ensayos según al tipo de aviación al que va dirigido y según el modelo empleado en el ensayo. Lo mostrado a continuación son ensayos para el régimen subsónico y transónico con $M < 1$.

7.3.1.1 Aviación civil y comercial

- Modelo completo: son ensayos en los que pretendemos obtener: la distribución del flujo de presiones, cualidades del control de la aeronave, cargas estructurales, medidas precisas de la resistencia, resistencia inducida por motores y el flujo alrededor de los “nacelle”, medidas acústicas, efectos de interferencia del apoyo del modelo (“*sting mounted models*”). Para estos ensayos emplearemos pruebas donde variaremos el ángulo de ataque y el de resbalamiento para obtener las polares del avión. Ensayos hasta $M=0.95$.
- Medio modelo: son ensayos en los que se analizará el control del flujo laminar y la resistencia inducida aportada por los impulsores, turbinas, “nacelle”. Para ello se variará el ángulo de ataque y analizarán las polares con todos los parámetros fijos. Ensayos hasta $M=0.95$.
- Motor aislado: en estos ensayos se pretende analizar el comportamiento de fanes, turbohélices y turborreactores frente a una corriente. Se pretende obtener medidas de la presión estable e inestable, distorsiones de la corriente, medidas acústicas, distribución de presión en los “nacelle”, medidas de la resistencia. Se consigue con variaciones de la posición de las palas, variación de los parámetros motor (RPM) y variaciones del ángulo de ataque y resbalamiento. Ensayos hasta $M=0.95$.

7.3.1.2 Aviación militar

- Modelo completo: son ensayos en los que pretendemos obtener: la distribución del flujo de presiones, cualidades del control de la aeronave, cargas estructurales, medidas precisas de la resistencia, resistencia inducida por motores y el flujo alrededor de los “nacelle”, medidas acústicas, efectos de interferencia del apoyo del modelo (*sting mounted models*). Para estos ensayos emplearemos pruebas donde variaremos el ángulo de ataque y el de resbalamiento para obtener las polares del avión. Ensayos hasta $M=0.95$.
- “Air intake model”: son ensayos en los que se analizará la distorsión del flujo entrante y saliente, medidas de la resistencia y del flujo de presión sobre la superficie. Para ello se variará el ángulo de ataque, el ángulo de resbalamiento y las características internas del flujo. Ensayos para $M < 1$.

- Modelo completo con simulación de combustión: se pretende analizar la señal infrarroja y analizar el flujo de salida del motor mediante variaciones del combustible inyectado.

7.3.1.3 Helicóptero y convertible

- Modelo completo: se pretenden obtener las cargas y el modelo de la distribución de presiones. Para ello se tiene un control sobre la configuración de las palas y se considera el efecto del número de Reynolds.
- Modelo del rotor aislado: en estos ensayos se pretende medir las cargas sobre el rotor y la distribución de presiones sobre las palas mediante el control remoto de la posición de las palas.
- Rotor del helicóptero: se pretende analizar las actuaciones del rotor, tomar medidas acústicas y medidas de la presión estable e inestable. Para ello se emplea un control remoto de la posición de las palas.
- Perfiles de las palas: se medirá la resistencia, la distribución de la presión y medidas del cabeceo oscilante inestable en los modelos. Se consigue con el control del cabeceo.

7.3.2 Instrumental

Para realizar un estudio con el túnel de viento como herramienta tenemos que conocer en las condiciones a las que se expone el objeto de estudio en su interior. Para ello necesitaremos dispositivos que nos permitan conocer parámetros tales como la presión o la temperatura y su variación a lo largo del tiempo y de la posición. Este trabajo lo realizan los sensores. Los sensores nos permiten conocer la evolución de las variables y el comportamiento que tiene el modelo ensayos bajo las interacciones físicas. Estos sensores generarán información que será recogida por los equipos de adquisición de datos y procesadas por estos y por equipos informáticos.

El túnel de viento pretende proporcionarnos información para definir el comportamiento aerodinámico del modelo a ensayar. Nos facilitará datos que nos permitirán conocer: la distribución de presiones sobre el modelo, medidas precisas de la sustentación y la resistencia, la polar del avión, las cargas que soporta la estructura, medidas acústicas y de generación de ruido, estadísticas sobre el flujo, medidas de las cargas sobre las superficies de control, etc. Es por ello que en esta sección se presentan las magnitudes de interés a medir y los métodos de medida que se emplean.

7.3.2.1 Medida de las cargas sobre el modelo

La medida de las cargas es básico y crucial, y para ello se emplean generalmente balanzas aerodinámicas y dinamómetros, que son elegidas según los requerimientos del ensayo, pudiendo ser externas o ir integradas en el modelo. De forma general miden las 6 componentes de la resultante (fuerza y momento). Estos son algunas de las balanzas empleadas

- “*Sting mounted balance*”: Cuyo diámetro puede variar desde 8 mm a 210 mm. Tiene una capacidad de fuerza normal que varía entre 60 N y 22 000 N, y una capacidad de fuerza axial entre 100 N y 27 000 N.
- “*Wall mounted balance*”: Utilizadas para el estudio de los propulsores (hélices), el balance y los momentos que sufre la aeronave. Las medidas están realizadas por seis dinamómetros desacoplados entre sí. Su diámetro puede variar entre 200 mm y 2000 mm, la fuerza normal entre 8000 N y 100000 N, y la fuerza axial entre 350 N y 25000 N.
- “*Rotating shaft balance*”: Se realiza una modelización en elementos finitos para obtener un buen compromiso entre rigidez y sensibilidad, así como reducir los efectos centrífugos y termomecánicos. Su diámetro puede variar entre 51 mm y 200 mm, la fuerza axial entre 1200 N y 13000 N, y la velocidad máxima que alcanza son 15000 RPM.

7.3.2.2 Medida de la deformación del modelo

La deformación del modelo durante un ensayo es un factor muy importante que ha de ser tenido en cuenta, para ello se emplean marcas adhesivas sobre la superficie del modelo (esencialmente las alas, debido a su alta deformación) y un determinado número de cámaras calibradas que permiten analizar las deformaciones que sufre el modelo.

7.3.2.3 Medida de presiones sobre el modelo

La medida de la presión sobre el modelo es fundamental para el ensayo. Se utilizan principalmente dos técnicas para llevar a cabo una medida de la presión sobre el modelo.

- PSP (Pintura sensible a la presión): Se aplica una pintura sobre el modelo que cambia su luminiscencia con la presión cuando es observado a través de cámaras digitales. La imagen se representa en un ordenador para su estudio. Es más efectiva a alta velocidad, aunque a baja velocidad también obtiene resultados notables.

- “Static pressure tap”: Mide la presión estática en distintos puntos mediante la utilización de tubos y sensores. En algunos casos los tubos ya están incorporados en el modelo.

7.3.2.4 Estadísticas y visualización del campo fluido

Se utilizan las siguientes técnicas:

- PIV (“Particle image velocimetry”): Se colocan marcadores entre las partículas que son iluminadas a pulsos muy rápidos por una luz láser. Los sensores de óptica digital capturan la luz de dichas partículas. Empleando técnicas de imagen se obtienen los diferentes vectores de velocidad con una gran resolución. Finalmente, se obtiene una imagen digital tridimensional del flujo.
- Medida de la dirección del flujo: Se utilizan sondas con diversos agujeros para medir la presión y con unas calibraciones, el ángulo que lleva el fluido. Hay distintos tipos de sondas: de cinco agujeros, cónicas con tres agujeros y medidores bidimensionales de dos agujeros.
- Rastrillo de presiones en la entrada de aire: Pueden ser de diferentes diámetros (94 mm, 164 mm o 185 mm, por ejemplo).
- Estudio de la estela: Se utiliza para determinar la resistencia debida a diversas fuentes, midiendo la velocidad y el ángulo de la estela. Utiliza una sonda motorizada de 5 agujeros y varios sensores. Los resultados son representados digitalmente.
- Rastrillo de presiones para el estudio de la capa límite.

7.3.2.5 Mediciones acústicas

Se desarrollarán medidas en el campo fluido cercano y lejano al modelo.

- Campo cercano: varios micrófonos colocados alrededor (27). Se ha desarrollado métodos de procesamiento de señal digital para eliminar las reverberaciones.
- Campo lejano:
 - Alta velocidad: 3 antenas con 85 micrófonos.
 - Baja velocidad: 2 filas de 18 micrófonos cada una.

7.3.2.6 Medida de actitud

Se desarrolla un modelo de actitud (ángulo de ataque) del modelo. Se emplearán los siguientes dispositivos:

- Dispositivos sensibles a la gravedad.
- Encoders.
- Inclinómetros.
- Acelerómetros.

7.3.2.7 Medida del flujo de calor

Se utilizan las siguientes técnicas:

- Termografía infrarroja: Se basa en el principio de que la radiación de un cuerpo varía con su temperatura. Cámaras termográficas detectan la radiación en el rango infrarrojo del espectro electromagnético y producen imágenes digitales.
- Termopares.
- TSP (Pintura sensible a la temperatura): La pintura varía su luminiscencia en función de la temperatura.

7.3.2.8 Evolución de la transición a la turbulencia

El túnel de viento está limitado en tamaño y presión de remanso por requerimientos de potencia. A escala real y altos números de Reynolds es altamente probable que la capa límite sea turbulenta, pero en ensayos de túnel es más probable que la capa permanezca laminar, para ello se emplean algunas técnicas que ocasionen la transición a la turbulencia.

- Transición a la turbulencia: Se suelen emplear partículas de Carborundo que se adhieren a la superficie y le imprimen una rugosidad que favorece la turbulencia. También se emplean tiras adhesivas con que al retirarse dejan en la superficie parte del adhesivo.
- Visualización de la transición: Se emplean técnicas de termografía para visualizar la evolución de la capa límite y de visualización mediante acenafteno.

8. RESUMEN DEL PRESUPUESTO

En esta sección se presenta un resumen del presupuesto tentativo para el proyecto de ejecución del túnel de viento y sus instalaciones. A continuación se presenta el presupuesto desglosado por capítulos.

Capítulo	Resumen	Importe (€)
01	Movimiento de tierras	157.648,00 €
02	Cimentación del túnel de viento	2.025.871,20 €
03	Edificaciones	2.708.465,00 €
04	Túnel de viento	9.895.925,35 €
05	Urbanización	817.339,00 €
06	Saneamiento y abastecimiento de agua	510.200,00 €
07	Instalación eléctrica en MT y BT	4.468.000,00 €
08	Estudios previos, ingeniería y dirección de obras	700.000,00 €
09	Seguridad, salud y control de calidad	240.830,00 €
TOTAL PRESUPUESTO DE EFECUCIÓN MATERIAL		21.524.278,55 €

9. NORMATIVA DE OBLIGADO CUMPLIMIENTO

En la redacción del presente proyecto se ha tenido en cuenta la normativa legal de vigente aplicación, de entre la que cabe destacar:

9.1 Ordenación urbanística

- Ley 7/2002, del 17 de Diciembre del 2002. Ley de Ordenación Urbanística de Andalucía.

9.2 Administración pública

- Texto refundido de la ley de contratos con las administraciones públicas. Real Decreto Administrativo 2/2000 del 16 de Junio.
- Reglamento general de contratación de las administraciones públicas. Real Decreto 1098/2001 del 12 de Octubre.
- Ley de Contratos del Sector Público. Ley 30/2007 del 30 de Octubre.

9.3 Estructuras de acero

- Real Decreto 314/2006, del 17 de marzo de 2006, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. (Documento DB-SE-Seguridad Estructural).
 - CTE DB SE-AE. Código Técnico de la Edificación. Documento Seguridad Estructural. Acciones en la edificación.).
 - CTE DB SE-A. Código Técnico de la Edificación. Documento Seguridad Estructural. Acero.).
- Real Decreto 997/2002, del 27 de septiembre del 2002, por el que se aprueba la norma de construcción sismorresistente (NCSR-2002).
- Real Decreto 2702/1985, del 18 de diciembre de 1985, del Ministerio de Industria y Energía (BOE 28-02-86), por el que se aprueba la Homologación de alambres trefilados, lisos y corrugados, para mallas electrosoldadas y viguetas semirresistentes de hormigón armado.
- Orden del 8 de marzo de 1994, del Ministerio de Industria y Energía (BOE 22-03-94), por el que se aprueba el Certificado de conformidad como alternativa a la homologación de alambres trefilados, lisos y corrugados, para mallas electrosoldadas y viguetas semirresistentes de hormigón armado.

- Real Decreto 2365/1985, de 20 de noviembre de 1985, del Ministerio de Industria y Energía (BOE 21-12-85), por el que se aprueba la Homologación de armaduras activas de acero para hormigón pretensado.
- Orden del 3 De marzo de 1994, del Ministerio de Industria y Energía (BOE 22-03-94), por el que se aprueba el Certificado de conformidad como alternativa a la homologación de armaduras activas de acero para hormigón pretensado.
- Norma española UNE-EN ISO 14122-1. “Medios de acceso permanente a máquinas e instalaciones industriales”.
- Real Decreto 751/2011 de 27 de mayo, por el que se aprueba la Instrucción de Acero Estructural (EAE)

9.4 Materiales metálicos y transformados

- Real decreto 846/2006 deroga diferentes disposiciones en materia de normalización y homologación de productos industriales.
- Orden del 8 de marzo de 1994 del Ministerio de Industria y Energía (BOE 22-03-94), por el que se aprueba el Certificado de conformidad como alternativa a la homologación de tubos de acero soldado.

9.5 Estructuras de hormigón y cimientos

- Real Decreto 1247/2008, del 18 de julio por el que se aprueba la Instrucción de Hormigón Estructural, EHE-08.
- Real Decreto 314/2006, del 17 de marzo de 2006, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación, CTE DB SE-CIMIENTOS. Código Técnico de la Edificación Documento Básico Seguridad Estructural: Cimientos.
- Real Decreto 997/2002, del 27 de septiembre del 2002, por el que se aprueba la norma de construcción sismorresistente (NCSR-2002).
- PG-3. Pliego de prescripciones técnicas para obras de carreteras y puentes.
- Norma de Construcción Sismorresistente NCSE-02.
- NTE 1977 CPI
- UNE-EN 1536. Ejecución de trabajos especiales de geotecnia. Pilotes perforados.

- UNE-EN 12669. Ejecución de trabajos especiales de geotecnia. Pilotes de desplazamiento.
- UNE-EN 10080. Aceros para armados de hormigón.
- UNE-EN 146121. Áridos para la fabricación de hormigones.

9.6 Instalaciones eléctricas

- Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23.
- Real Decreto 263/2008, de 22 de febrero, por el que se establecen medidas de carácter técnico en líneas eléctricas de alta tensión, con objeto de proteger la avifauna.
- Real Decreto 223/2008 de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09. (BOE 19/03/2008).
- Corrección de erratas del Real Decreto 223/2008 de 15 de Febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias. ITC-LAT 01 a 09. (BOE 17/05/2008). Se ha modificado en el artículo 15 los apartados a y b del RD 560/2010, de 7 de mayo, en el sentido de sustituir instalador autorizado por instalador y empresa instaladora autorizada por empresa instaladora.
- Corrección de erratas del Real Decreto 223/2008 de 15 de Febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias. ITC-LAT 01 a 09. (BOE 19/07/2008).
- Decreto 178/2006 de 10 de Octubre por el que se establecen las normas de protección de la avifauna para instalaciones eléctricas de alta tensión.
- Normas particulares de la Compañía ENDESA Sevillana de Electricidad, aprobadas por Resolución de la Dirección General de Industria, Energía y

Minas, de la Junta de Andalucía, de 5 de Mayo de 2005 (B.O.J.A. de 20/06/05).

- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (Decreto 842/2002 de 2 de Agosto) e instrucciones Técnicas complementarias a dicho Reglamento, y modificaciones posteriores.
- Real Decreto 1955/2000 de 1 de Diciembre (B.O.E. 27/12/00), por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Real decreto 1627/1997 de 24 de Octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.
- Ley 7/1994, de 18 de mayo, de protección ambiental y decretos que la desarrollan.
- Reglamento de Verificaciones Eléctricas y Regularidad en el Suministro de Energía Eléctrica.
- Normas UNE y Recomendaciones UNESA que sean de aplicación.
- Condiciones impuestas por las entidades públicas afectadas.

9.7 Instalaciones de alumbrado

- Real Decreto 314/2006, del 17 de marzo de 2006, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación, CTE DB AHORRO DE ENERGÍA. Código Técnico de la Edificación Documento Básico Ahorro de Energía.
- Real Decreto 314/2006, del 17 de marzo de 2006, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. (Documento DB-SU. Seguridad de Utilización).
- Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior, e instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07. Real Decreto 1890/2008 del 14 de noviembre.
- Condiciones impuestas por las entidades públicas afectadas.

9.8 Instalaciones contra incendios

- Real Decreto 2267/2004, del 3 de diciembre de 2004, por el que se aprueba el reglamento de seguridad contra incendios en establecimientos industriales.
- Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios RII.
Corresponde al Real Decreto 1942/1993, de 5 de Noviembre, emitido por el Ministerio de Industria y Energía en el BOE de 14 de Diciembre de 1993, con corrección de errores en el BOE de 7 de Mayo de 1994.
- Real Decreto 314/2006, del 17 de marzo de 2006, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (Documento DB-SI. Seguridad en caso de incendio).

9.9 Medio ambiente

Nivel Estatal

- Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.
- Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
- Real Decreto 379/2001, de 6 de abril por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias MIE-APQ-1, MIE-APQ-2, MIE-APQ-3, MIE-APQ-4, MIE-APQ-5, MIE-APQ-6 y MIE-APQ-7.
- Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
- Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos.
- Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, desarrolla la Ley 37/2007, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- Texto Refundido de la Ley de Aguas (Real Decreto Legislativo 1/2001) y en el Reglamento del Dominio Público Hidráulico (Real Decreto 849/1986 modificado por el Real Decreto 606/2003).

- Real Decreto 833/1988, de 20 de julio, por el que se aprueba el reglamento para la ejecución de la ley 20/1986, de 14 de mayo, básica de residuos tóxicos y peligrosos.
- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.
- Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.
- La Ley 34/2007 de Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera
- Real Decreto 100/2011, de 28 de enero, por el que se actualiza el catálogo de actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera y se establecen las disposiciones básicas para su aplicación.
- Ley 18/2003, de 29 de diciembre, por la que se aprueban medidas fiscales y administrativas.
- Real Decreto 393/2007, de 23 de marzo, por el que se aprueba la Norma Básica de Autoprotección de los centros, establecimientos y dependencias dedicados a actividades que puedan dar origen a situaciones de emergencia.
- Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.
- Real decreto 846/2006 deroga diferentes disposiciones en materia de normalización y homologación de productos industriales.

Nivel Autonómico

- Decreto 356/2010, de 3 de agosto, por el que se regula la autorización ambiental unificada, se establece el régimen de organización y funcionamiento del registro de autorizaciones de actuaciones sometidas a los instrumentos de prevención y control ambiental, de las actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera y de las instalaciones que emiten compuestos orgánicos volátiles, y se modifica el contenido del Anexo I de la Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental.
- Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental.
- Ley 9/2010, de 30 de julio, de Aguas para Andalucía.
- Ley 8/2003, de 28 de octubre, de la Flora y Fauna Silvestres.

- Decreto 239/2011, de 12 de julio, por el que se regula la calidad del medio ambiente atmosférico y se crea el Registro de Sistemas de Evaluación de la Calidad del Aire en Andalucía.
- Decreto 326/2003, de 25 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía.
- Decreto 104/2000, de 21 de marzo, por el que se regulan las autorizaciones administrativas de las actividades de valorización y eliminación de residuos y la gestión de residuos plásticos agrícolas

9.10 Seguridad y prevención

- Real Decreto 314/2006, del 17 de marzo de 2006, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. (Documento DB-SU-Seguridad de Utilización).
- LEY 31/1.995, de 8 de noviembre, de prevención de riesgos laborales
- Real Decreto 486/1997 del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, de 14 de abril de 1997 (B.O.E. 23-04-1997), por el que se aprueban las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Real Decreto 487/1997 del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, de 14 de abril de 1997 (B.O.E. 23-04-1997), por el que se aprueban las Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorsolumbares, para los trabajadores.
- Real Decreto 488/1997 del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, de 14 de abril de 1997 (B.O.E. 23-04-1997), por el que se aprueban las Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos que incluyen pantallas de visualización.
- Real Decreto 485/1997, 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. BOE núm. 97 de 23 de abril.
- Real Decreto 1407/1992, del 20 de noviembre, del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (BOE 28-12-92), por le que se regulan las Condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual.

- Orden del 16 de mayo de 1994, del Ministerio de Industria y Energía (BOE 01-06-94), por el que se aprueba la Modificación del periodo transitorio establecido en el Real Decreto 1407/92 del 20 de noviembre.
- Ley 31/1995 del 8 de noviembre de 1995, de la Jefatura de Estado (BOE 10-11-95), por la que se regula la Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes. BOE núm. 178, de 26 de julio.
- Real Decreto 1627/97 del 24 de octubre de 1997, del Ministerio de la Presidencia (BOE 26-10-97), por el que se aprueban las Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud para en las obras de construcción.
- Real Decreto 773/97 del 30 de mayo de 1997, del Ministerio de la Presidencia (BOE 12-06-97 Y BOE 18-07-97), por el que se aprueban las Disposiciones mínimas de Seguridad y Salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de protección individual.
- Real Decreto 664/97 del 12 de mayo de 1997, del Ministerio de la Presidencia (BOE 24-06-97), por el que se aprueba la Protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo.
- Real Decreto 665/97 del 12 de mayo de 1997, del Ministerio de la Presidencia (BOE 24-06-97), por el que se aprueba las Protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo.
- Orden del 27 de junio de 1997 del Ministerio de trabajo y Asuntos Sociales (BOE 04-07-97), por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de prevención.

9.11 Industria

- LEY 21/1992, de 16 de julio, de Industria.

9.12 Protección civil

- LEY 2/1985 de protección civil.

- Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban las medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas. BOE de 20 de julio de 1999.
- RD 407/1992, Norma básica de Protección Civil.
- REAL DECRETO 1196/2003, de 19 de septiembre, por el que se aprueba la Directriz básica de protección civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas. BOE núm. 242 de 9 de octubre.
- Guía Técnica: Metodologías para el análisis de riesgos. Visión general.
- Guía Técnica: Métodos cualitativos para el análisis de riesgos.
- Guía Técnica: Métodos cuantitativos para el análisis de riesgos

9.13 Abastecimiento de aguas

- Real Decreto 314/2006, del 17 de marzo de 2006, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. (Documento DB-HS-Salubridad).

10. CONCLUSIONES

Se puede concluir que se ha propuesto una solución que satisface completamente los objetivos del proyecto. Se ha diseñado un túnel de viento capaz de dar cabida a campañas de ensayos en régimen subsónico y transónico – subsónico buscando la minimización de la potencia requerida para su funcionamiento. Se ha empleado un modelo del movimiento fluido y de las pérdidas aceptablemente aproximado. Se han analizado opciones que se creen cumplen las necesidades constructivas básicas y establecido una configuración de las instalaciones adecuadas al propósito de las tareas que se prevé que tendrán lugar.

También se ha evaluado un presupuesto preliminar para la construcción de las instalaciones necesarias para el túnel de viento proyectado.

ANEXO I: Movimiento de gases en conductos

El objetivo de este anexo es el análisis de las ecuaciones que rigen el movimiento de gases en conductos para determinar la ecuación general para el número de Mach. Primero recordaremos las ecuaciones que modelan el problema:

- Ecuación de continuidad:

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho v A) = 0 \leftrightarrow G = \rho(x)v(x)A(x) = cte$$

- Ecuación de cantidad de movimiento:

$$\rho v \frac{\partial v}{\partial x} = -\frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\lambda \rho v^2}{2D_h}$$

Donde:

- o λ : factor de fricción de Darcy.
- o D_h : diámetro hidráulico de la sección.

- Ecuación de la energía:

$$h_0(x) = h_0(0) + Q(x)$$

Donde:

- o $h_0(x)$: entalpía de remanso en un punto genérico x .
- o $h_0(0)$: entalpía de remanso en el origen.
- o $Q(x)$: calor recibido por unidad de masa entre el origen y x .

Recordemos que la ecuación de la cantidad de movimiento es una relación escalar, ya que supusimos que el movimiento se desarrolla en una sola dirección, la del eje del conducto.

Si se divide la ecuación de la cantidad de movimiento por p y multiplicamos y dividimos el primer término por v obtenemos:

$$\frac{\rho v^2}{p} \frac{1}{v} \frac{\partial v}{\partial x} = -\frac{1}{p} \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\lambda v^2}{2D_h} \frac{\rho}{p}$$

Teniendo en cuenta que:

$$\frac{\rho v^2}{p} = \frac{v^2}{p/\rho} = \frac{v^2}{a^2/\gamma} = \gamma M^2$$

Es posible reescribir la cantidad de movimiento como:

$$\gamma M^2 \frac{1}{v} \frac{\partial v}{\partial x} = -\frac{1}{p} \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\lambda}{2D_h} \gamma M^2 \quad (1)$$

Atendiendo a la relación siguiente:

$$h_0 = C_p T_0 = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \frac{p}{\rho} \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2 \right)$$

Es posible reescribir las ecuaciones de continuidad y de la energía de la forma que sigue respectivamente:

$$\rho p A^2 \gamma M^2 = G^2$$

$$\frac{\gamma}{\gamma - 1} \frac{p}{\rho} = \frac{h_0(0) + Q(x)}{1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2}$$

Si multiplicamos las relaciones anteriores obtenemos:

$$p^2 = G^2 \frac{\gamma - 1}{\gamma^2} \frac{(h_0(0) + Q(x))}{A^2(x)} \frac{1}{M^2} \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2 \right)^{-1}$$

Tomando logaritmo neperiano en la expresión anterior:

$$2 \ln p = \ln \left(G^2 \frac{\gamma - 1}{\gamma^2} \right) + \ln(h_0(0) + Q(x)) - 2 \ln A(x) - \ln M^2 - \ln \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2 \right)$$

Derivando la expresión anterior resulta:

$$-\frac{1}{p} \frac{dp}{dx} = -\frac{1}{2} \left[\frac{1}{h_0(0) + Q(x)} \frac{dQ}{dx} - \frac{2}{A} \frac{dA}{dx} - \left(\frac{1}{M^2} + \frac{\gamma - 1}{2} \frac{1}{1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2} \right) \frac{dM^2}{dx} \right] \quad (2)$$

Atendiendo a la relación siguiente:

$$v^2 = M^2 a^2 = M^2 \gamma \frac{p}{\rho}$$

Es posible expresar la velocidad como sigue:

$$v^2 = (\gamma - 1) \frac{(Q(x) + h_0(0))M^2}{\left(1 + \frac{\gamma - 1}{2}M^2\right)}$$

Tomando logaritmo neperiano en la expresión anterior:

$$2 \ln v = \ln(\gamma - 1) + \ln(Q(x) + h_0(0)) + \ln M^2 - \ln\left(1 + \frac{\gamma - 1}{2}M^2\right)$$

Derivando la expresión anterior resulta:

$$\frac{1}{v} \frac{dv}{dx} = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{(Q(x) + h_0(0))} \frac{dQ}{dx} + \frac{1}{M^2} \frac{dM^2}{dx} - \frac{\gamma - 1}{2} \frac{1}{1 + \frac{\gamma - 1}{2}M^2} \frac{dM^2}{dx} \right] \quad (3)$$

Sustituyendo las expresiones (2) y (3) en (1) se obtendría la ecuación general para el número de Mach para movimiento de gases en conductos:

$$\frac{dM^2}{dx} = \frac{(2 + (\gamma - 1)M^2) M^2}{1 - M^2}$$

ANEXO II: Conservación del número de Mach y el número de Reynolds

El objetivo de este anexo es establecer las relaciones de conversión que determinan las magnitudes que deben presentarse en la cámara de ensayos para conservar la semejanza dinámica, cinemática y geométrica de los resultados.

La tabla siguiente nos permite resumir las variables controladas según el régimen de ensayo:

RÉGIMEN	R_e	M
SUBSÓNICO $M < 0.3$	CONSERVADO	APROXIMADO
TRANSÓNICO $0.3 < M < 0.95$	APROXIMADO	CONSERVADO

Tabla A2.1: Conservación de números adimensionales según el régimen de velocidad

Es decir, conservamos el número de Reynolds a baja velocidad y el número de Mach a alta velocidad. Partiendo de esas variables conocidas es posible relacionar las magnitudes en el ensayo con las de la operación real. Definiremos las variables que se tratarán para cerrar el problema.

- V : velocidad.
- ρ : densidad.
- μ : viscosidad dinámica.
- L : longitud característica.
- τ : escala, relación entre la longitud real y la del modelo ($\tau = 18$)
- T : temperatura estática.
- p : presión estática.
- T_0 : temperatura de remanso.
- p_0 : presión de remanso.
- M : número de Mach.
- R_e : número de Reynolds.

Estas magnitudes vendrán acompañadas de un subíndice que hará referencia a si la magnitud pertenece al modelo (m) o a la operación real (r). De ahora en adelante las variables de la operación real serán todas conocidas, puesto que para desarrollar la semejanza hemos de conocer el problema real.

Dado que el fluido en el interior del túnel será aire atmosférico (presurizado o no), se asumirá que la temperatura del gas remansado es la temperatura ambiente 298.15 K. Para ensayos en régimen subsónico el túnel se encontrará presurizado a 5 bar mientras que para ensayos en régimen transónico se empleará gas en condiciones ambiente 1 bar. Por lo que la densidad del gas remansado es conocida en ambos regímenes a través de la ecuación de estado.

Para evitar trabajar con la densidad, ya que la presión es más interesante, se empleará la siguiente expresión modificada del número de Reynolds.

$$R_e = \frac{VL}{\mu} \frac{p}{R_g T}$$

El modelo empleado para determinar la viscosidad depende exclusivamente de la temperatura:

$$\mu = 1.458 \cdot 10^{-6} \frac{T^{\frac{1}{2}}}{1 + \frac{110.4}{T}}$$

Las condiciones anteriores conocidas sobre el modelo pueden resumirse en la tabla siguiente:

Parámetro	$M_m < 0.3$	$0.3 < M_m < 0.95$
M_m	-	M_r
R_{em}	R_{er}	-
T_{0m} [K]	298.15	298.15
p_{0m} [bar]	5	1
T_m [K]	298.15	$298.15/(1 + 0.2M_m^2)$
p_m [bar]	5	$1/(1 + 0.2M_m^2)^{3.5}$
τ	18	18

Tabla A2.2: Resumen de parámetros iniciales conocidos

Faltaría determinar la velocidad que debería tener el flujo en la cámara de ensayos en ambos regímenes, el número de Mach en ensayos subsónicos y el número de Reynolds en ensayos transónicos.

Para ensayos subsónicos partimos de la relación siguiente $R_{em} = R_{er}$ y obtenemos la siguiente expresión que determina la velocidad, y a través de ella, el número de Mach:

$$V_m = V_r \tau \frac{\mu_r}{\mu_m} \frac{p_r}{p_m} \frac{T_m}{T_r}$$

$$M_m = \frac{V_m}{\sqrt{\gamma R_g T_m}}$$

Emplearemos estas expresiones si el número de Mach real es inferior a 0.3, pero esto no significa que el número de Mach en la cámara de ensayos también resulte inferior 0.3. Por lo tanto, si el número de Mach resultante de este proceso resultase mayor a 0.3 aparecerían efectos de compresibilidad que no tendrían lugar en la realidad, por lo tanto habría que mantener el número de Mach como si el ensayo fuese transónico.

Para ensayos transónicos partimos de la relación siguiente $M_m = M_r$ y obtenemos la expresión siguiente que determina la velocidad, y a través de ella, el número de Reynolds:

$$V_m = M_m \cdot \sqrt{\gamma R_g T_m}$$

$$R_{em} = \frac{\rho_m V_m L_m}{\mu_m}$$

Es posible comparar la relación entre el número de Reynolds del modelo y el real a través de la relación siguiente:

$$\frac{R_{em}}{R_{er}} = \frac{V_m \rho_m \mu_r}{V_r \rho_r \mu_m \tau}$$

En la imagen siguiente podemos observar la relación entre el número de Reynolds real y el del modelo frente al Mach de operación real. Podemos observar que son iguales hasta que sólo podemos conservar su orden cuando el número de Mach en la cámara supera 0.3

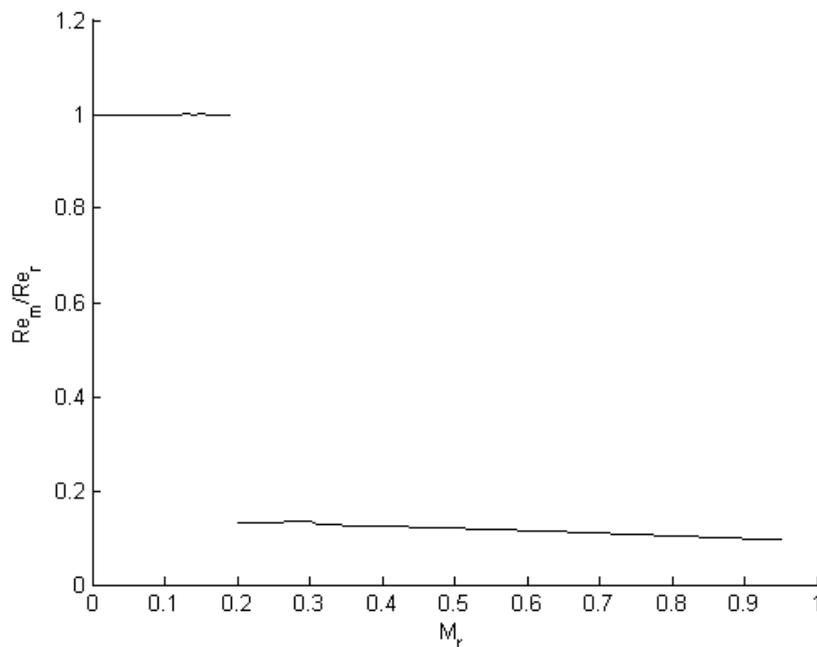


Figura A2.1: Razón de Reynolds frente a Mach real

En los gráficos siguientes podemos observar la velocidad y el número de Mach en la cámara de ensayos frente a los valores que presentan en la operación real.

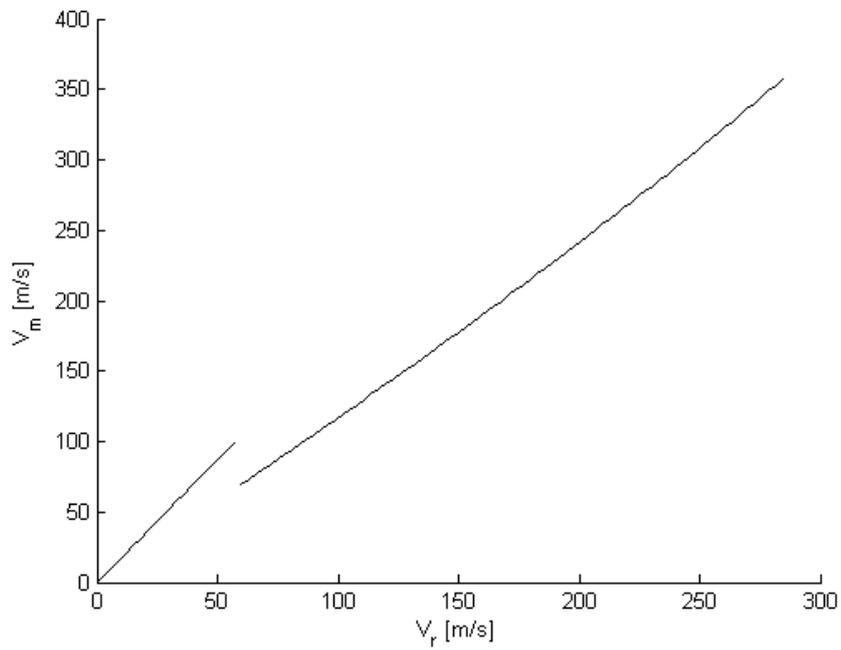


Figura A2.2: Velocidad en el modelo frente a la velocidad real

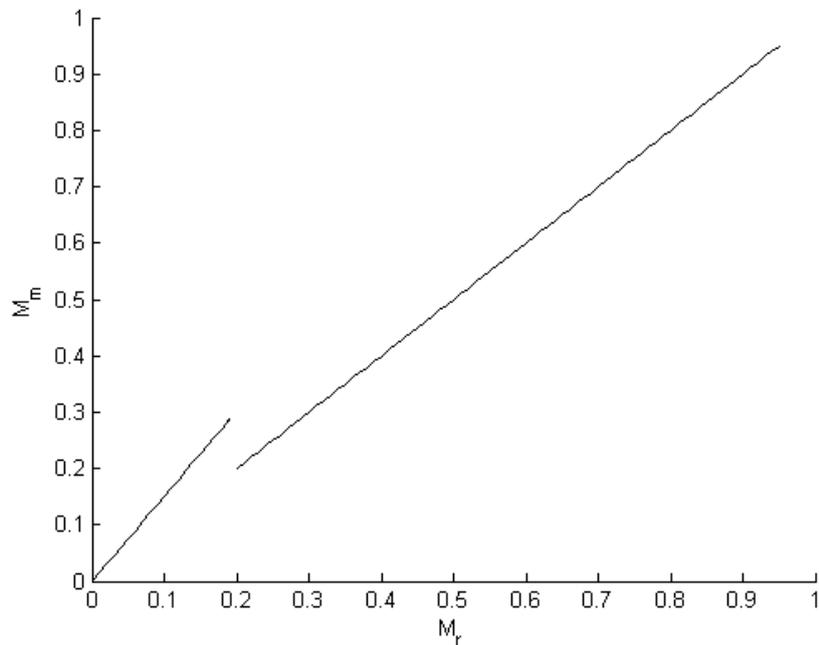


Figura A2.3: Número de Mach en el modelo frente al número de Mach real

ANEXO III: Resolución del problema

El objetivo de este anexo es resolver el problema matemático que rige el comportamiento del fluido en el interior del túnel de viento, es decir obtener las pérdidas energéticas totales y conocer la evolución de las magnitudes fluidas. Para ello se hará uso de las ecuaciones de la mecánica de fluidos y el modelo de pérdidas para cada elemento.

Para resolver el problema es preciso establecer unas condiciones iniciales. Resulta inmediato tomar las condiciones en la cámara de ensayos como punto de partida, ya que estas condiciones deben darse para conseguir la semejanza entre el modelo y la operación real. Iniciando el proceso en la cámara de ensayos y recorriendo cada elemento llegaríamos a la sección impulsora, y en ella se da el aporte de energía necesario para vencer las pérdidas. Pero sería desconocido ya que desconocemos en un primer punto lo que ocurre en el resto de secciones entre el fan y la cámara.

Finalmente, se deberán resolver dos problemas, recorrer los elementos en el sentido del flujo desde la cámara de ensayos hasta la entrada a la sección del fan (problema directo) y recorrer los elementos en el sentido contrario al flujo hasta la sección del fan (problema inverso).

Las variables que debemos conocer, en todo punto del recorrido, para caracterizar completamente el movimiento del fluido son las siguientes:

- M : número de Mach.
- p_0 : presión de remanso.
- T_0 : temperatura de remanso.
- ρ_0 : densidad de remanso.
- p : presión estática.
- T : temperatura estática.
- ρ : densidad estática.
- V : velocidad.
- G : gasto másico.

El primer paso sería resolver la ecuación general del número de Mach para conductos sin transferencia de calor. Esta ecuación contemplaría los efectos de fricción que se dan en el túnel, y nos proveería de una muy buena aproximación del comportamiento de esta variable en el túnel.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dM^2}{dx} = \frac{(2 + (\gamma - 1)M^2) M^2}{1 - M^2} \left[-\frac{1}{A} \frac{dA}{dx} + \frac{\gamma \lambda M^2}{2D_h} \right] \\ M(0) = M_0 \end{array} \right.$$

Una vez resuelta se conocería el valor de esta variable en toda la geometría del túnel. En la imagen siguiente podemos observar la evolución de esta variable para un valor dado en la cámara de ensayos.

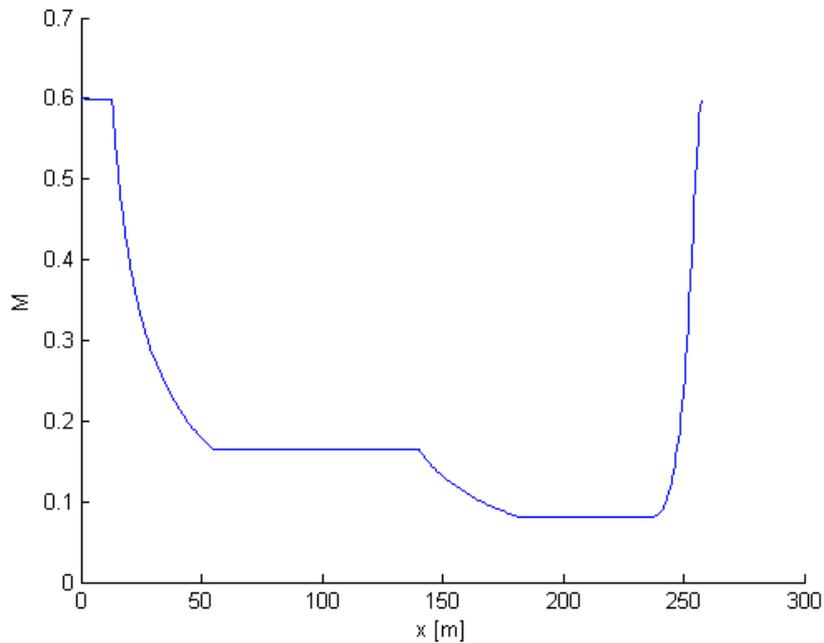


Figura A3.1: Distribución del número de Mach

Plantearemos ahora unas relaciones preliminares para reducir el problema al conocimiento de dos variables fluidas, y en función de ellas el resto de las variables fluidas. Estas incógnitas resultarían:

- M : número de Mach.
- p_0 : presión de remanso.
- T_0 : temperatura de remanso.

Dado que el número de Mach viene determinado por la ecuación general del número de Mach para movimiento de gases en conductos, restaría determinarlas otras dos variables. Se presentan ahora las relaciones generales que determinan el resto de magnitudes fluidas respecto a esas tres.

- Ecuación de estado:

$$\rho_0 = \frac{P_0}{R_g T_0}$$

- Movimiento isentrópico local:

$$T = \frac{T_0}{1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2}$$

$$p = \frac{p_0}{\left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2\right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}}$$

$$\rho = \frac{p_0}{R_g T_0 \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2\right)^{\frac{1}{\gamma - 1}}}$$

- Definición del número de Mach:

$$V = Ma = M \left(\frac{\gamma R_g T_0}{1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Para resolver el problema directo es necesario expresar las magnitudes fluidas a la salida (i+1) de un elemento respecto a las de entrada (i). Estas variables de entrada serían conocidas puesto que partimos de las condiciones en la cámara y una vez obtenidas las de salida, éstas serían las de entrada del elemento siguiente.

Cerramos el problema con las siguientes expresiones que relacionan la presión de remanso y la temperatura de remanso con las variables a la entrada del elemento y el coeficiente de pérdidas de carga de la sección conocido. Para determinar la caída de presión de remanso atendemos a la definición del coeficiente de pérdidas de carga:

$$p_0(i + 1) = p_0(i) - \frac{1}{2} \rho(i) V(i)^2 K_l(i)$$

Donde:

- $K_l(i)$: es el factor de pérdidas de carga del elemento con entrada i y salida $i + 1$.

Para determinar la variación de temperatura de remanso haremos uso de la ecuación de continuidad:

$$G = \rho VA$$

Por lo que obtenemos:

$$T_0(i + 1) = p_0^2(i + 1) \frac{\gamma M^2(i + 1) A^2(i + 1)}{G^2 R_g} \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2(i + 1)\right)^{\frac{\gamma + 1}{\gamma - 1}}$$

Para resolver el problema inverso es necesario expresar las magnitudes fluidas a la entrada (i) de un elemento respecto a las de salida (i+1). Estas variables de salida

serían conocidas puesto que partimos de las condiciones en la cámara y una vez obtenidas las de la entrada, éstas serían las de entrada del elemento siguiente.

Al no conocer la velocidad en la entrada no es posible aplicar de forma inmediata el modelo de pérdidas, pero sí es posible transformar la expresión anterior de forma que en ella aparezcan en ella como parámetros únicamente la presión de remanso y la temperatura de remanso. Para ello se empleará la continuidad y la definición de la velocidad:

$$G = \rho VA \rightarrow \rho(i+1)V(i+1)A(i+1) = \rho(i)V(i)A(i)$$

$$V(i) = M(i) \left(\frac{\gamma R_g T_0(i)}{1 + \frac{\gamma-1}{2} M(i)^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Por lo que se obtendría:

$$p_0(i) = p_0(i+1) + \frac{1}{2} \rho(i+1)V(i+1) \frac{A(i+1)}{A(i)} K_l(i) M(i) \left(\frac{\gamma R_g T_0(i)}{1 + \frac{\gamma-1}{2} M(i)^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Manipulando de nuevo la ecuación de continuidad obtendríamos:

$$T_0(i) = p_0^2(i) \frac{\gamma M^2(i) A^2(i)}{G^2 R_g} \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2(i) \right)^{-\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones anterior es posible determinar analíticamente una expresión para las incógnitas:

$$T_0(i) = \frac{p_0(i+1)}{R_g \Omega^2(i)}$$

$$p_0(i) = p_0(i+1) + \frac{1}{2} \rho(i+1)V(i+1) \frac{A(i+1)}{\Omega(i) \cdot A(i)} K_l(i) M(i) \left(\frac{\gamma p_0(i+1)}{\left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M(i)^2 \right)} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\Omega(i) = \rho(i+1)V(i+1) \frac{A(i+1)}{A(i)} \left[\frac{\left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2(i) \right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}}}{\gamma^{\frac{1}{2}} M(i)} - \frac{1}{2} \frac{\gamma^{\frac{1}{2}} M(i)}{\left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2(i) \right)^{\frac{1}{2}}} K_l(i) \right]$$

Una vez resuelto el problema podemos ver la evolución de las magnitudes en el avance el flujo alrededor del túnel. En las imágenes siguientes podemos observar la variación de las magnitudes fluidas para un régimen subsónico máximo ($M=0.3$)

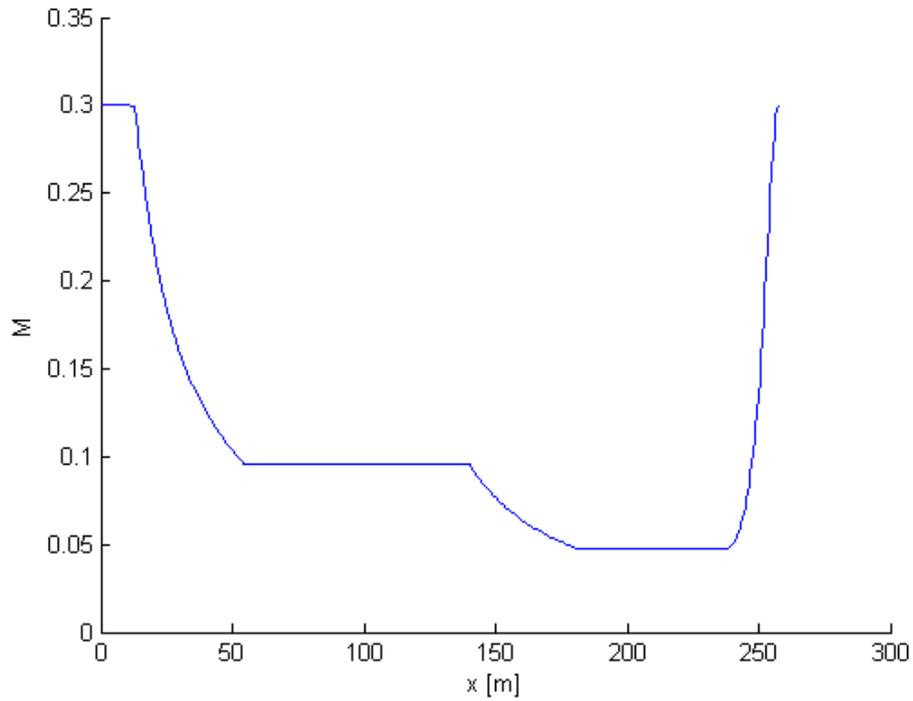


Figura A3.2: Distribución del número de Mach régimen subsónico

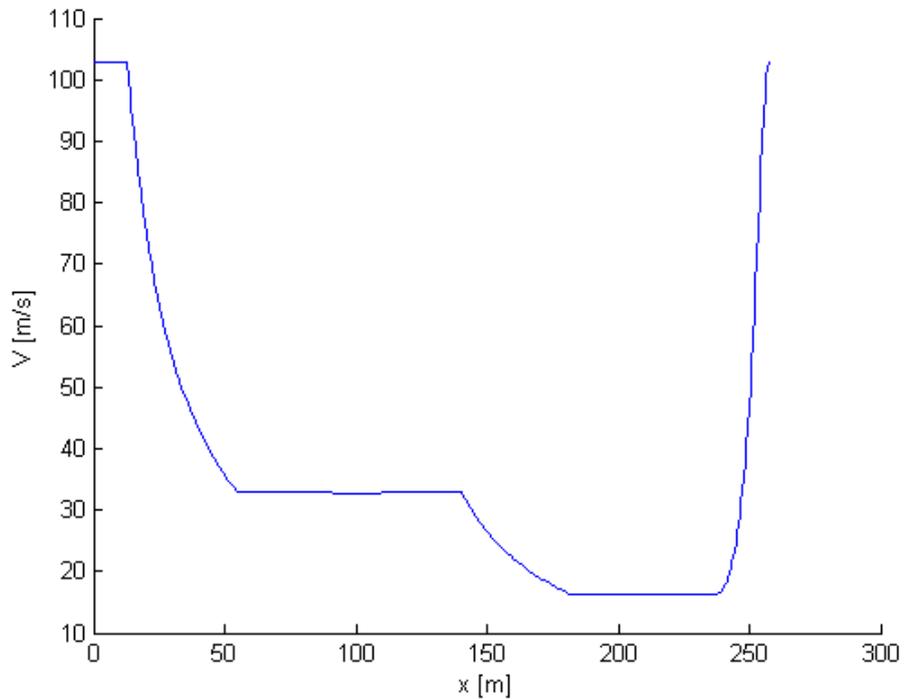


Figura A3.3: Distribución de velocidad en régimen subsónico

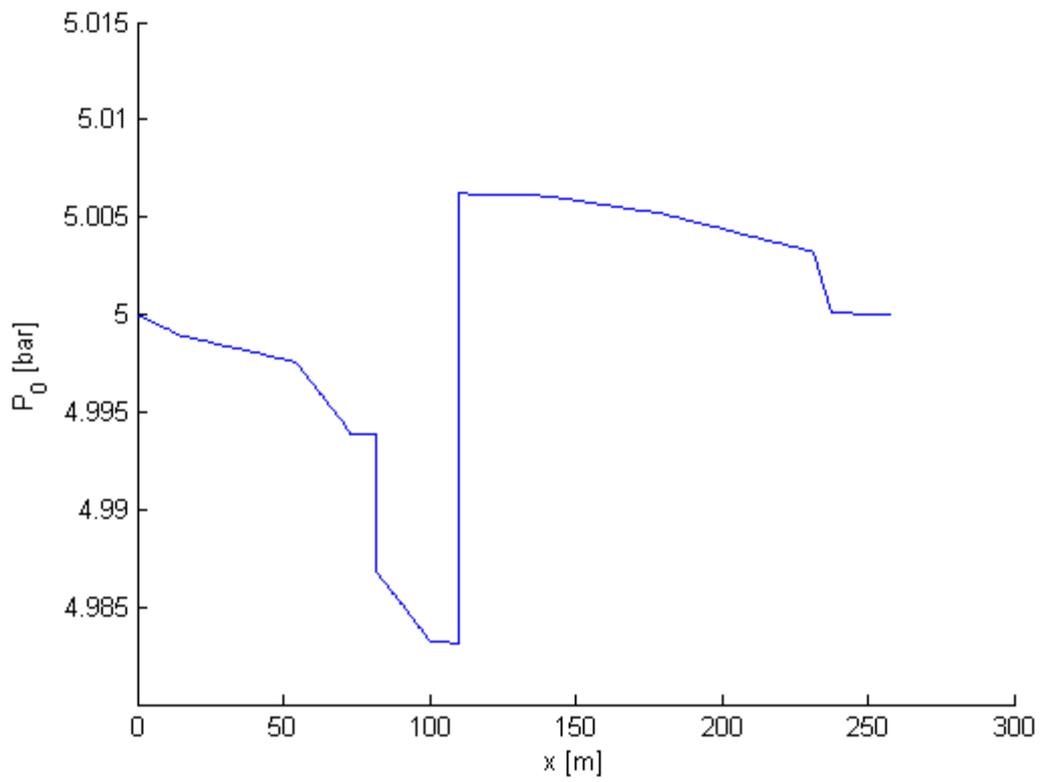


Figura A3.4: Distribución de presión de remanso en régimen subsónico

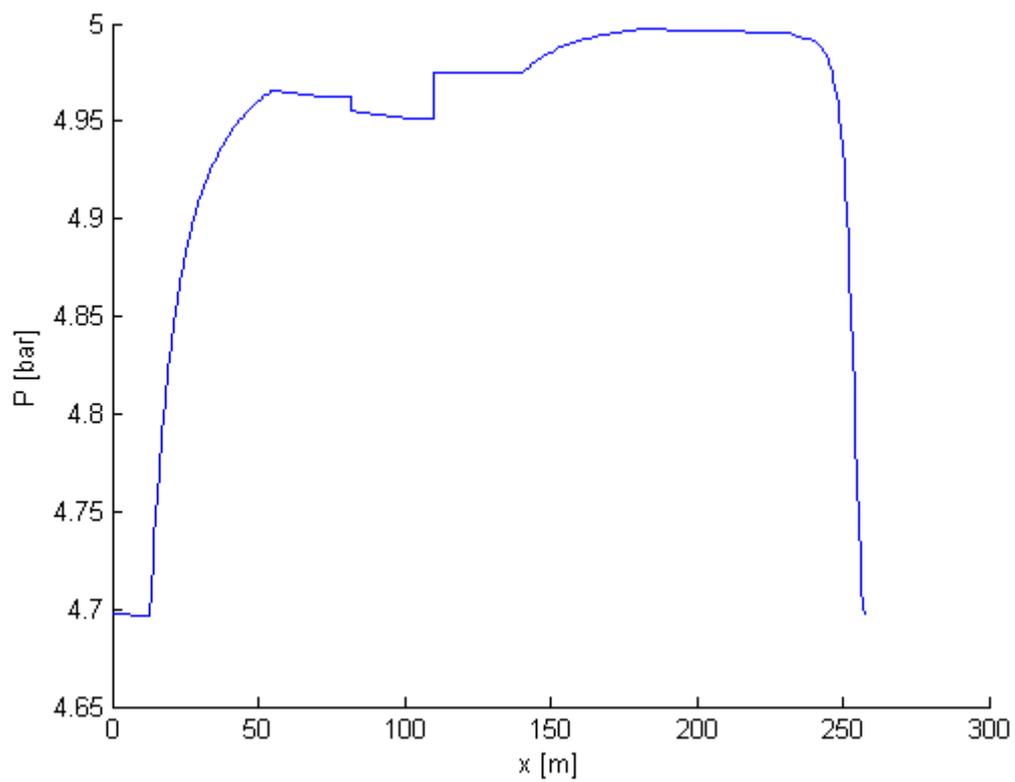


Figura A3.5: Distribución de presión estática en régimen subsónico

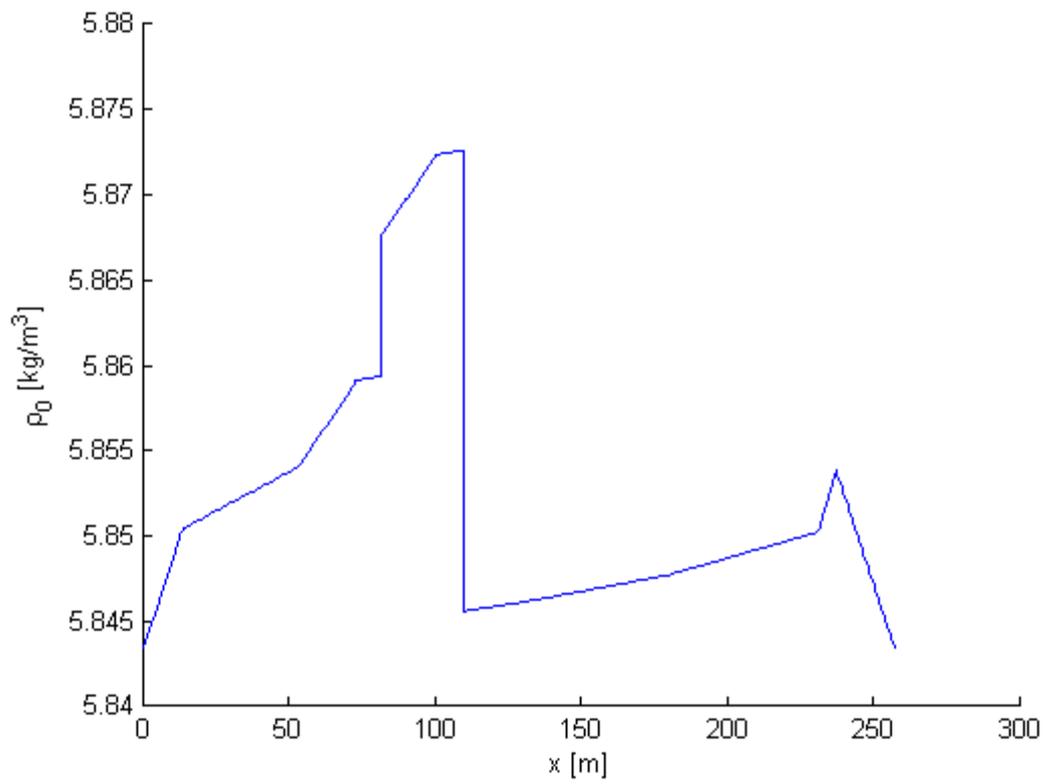


Figura A3.6: Distribución de densidad de remanso en régimen subsónico

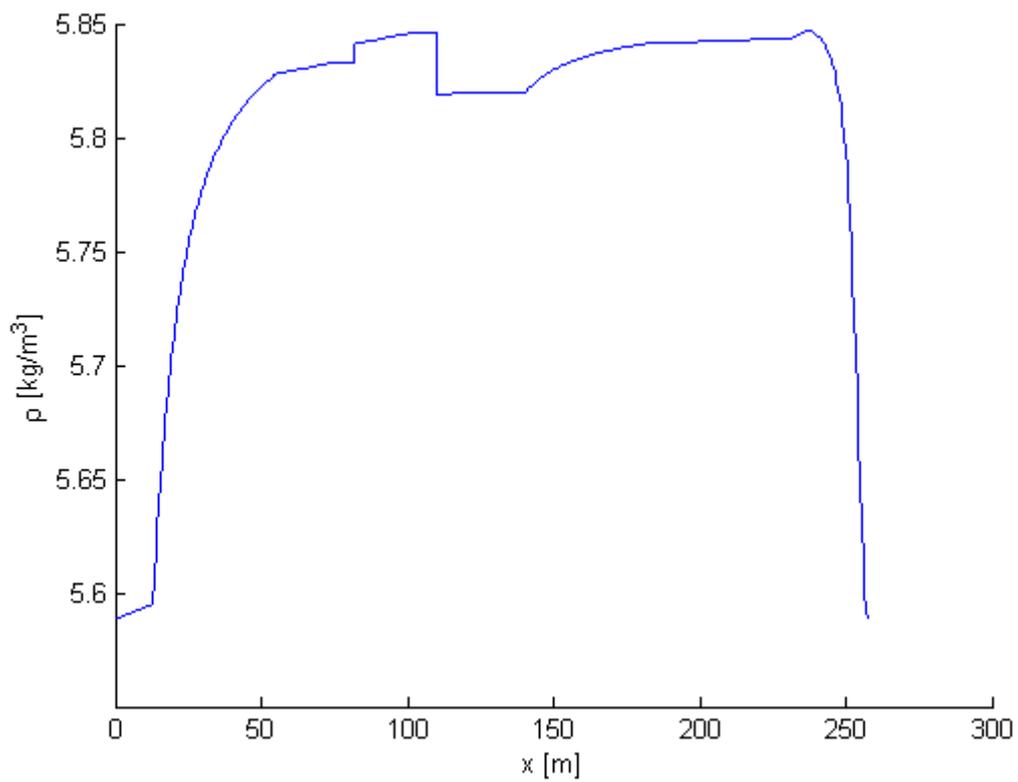


Figura A3.7: Distribución de densidad estática en régimen subsónico

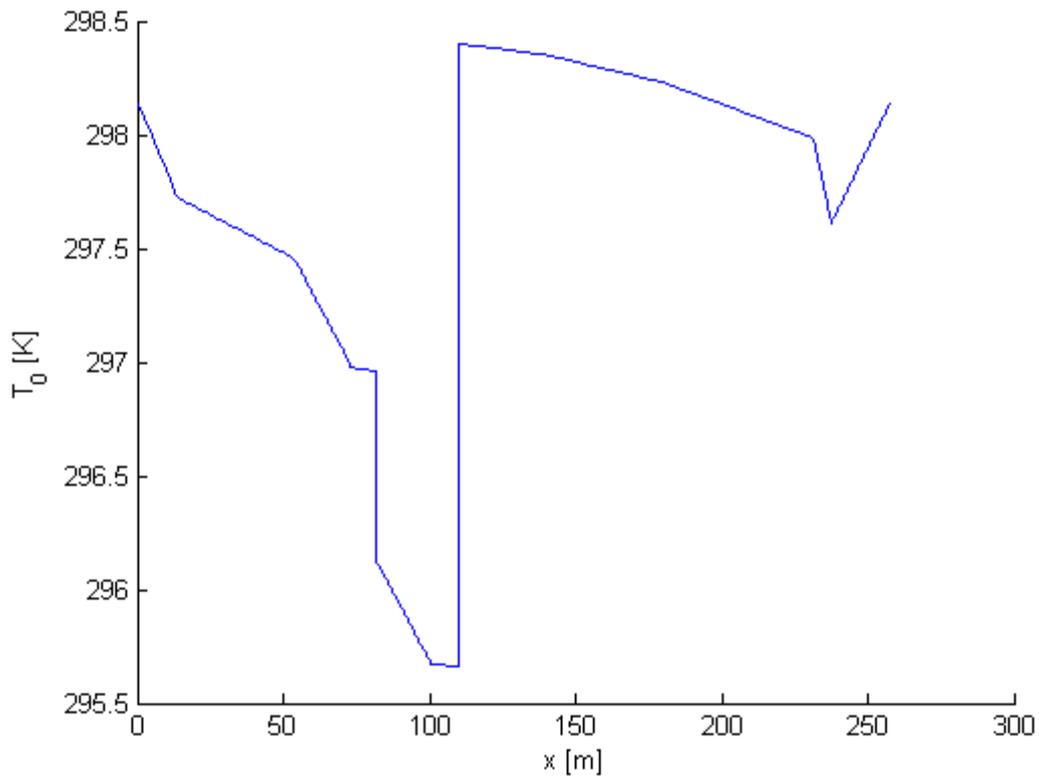


Figura A3.8: Distribución de temperatura de remanso en régimen subsónico

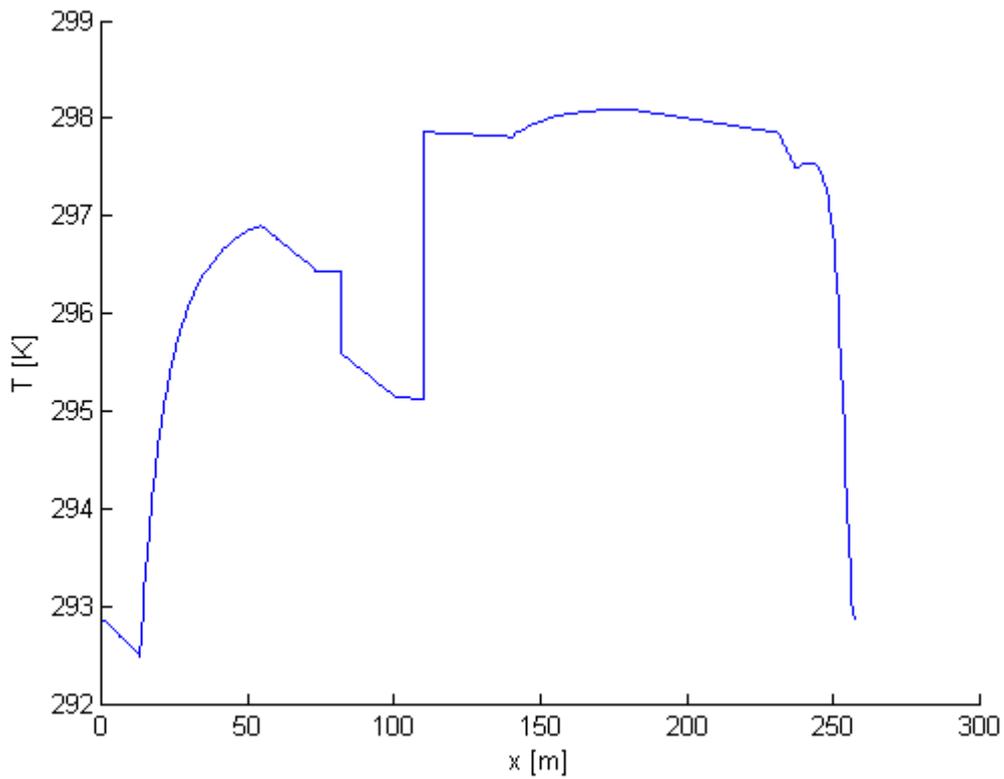


Figura A3.9: Distribución de temperatura estática en régimen subsónico

En las imágenes siguientes podemos observar la variación de las magnitudes fluidas para un régimen transónico máximo ($M=0.95$)

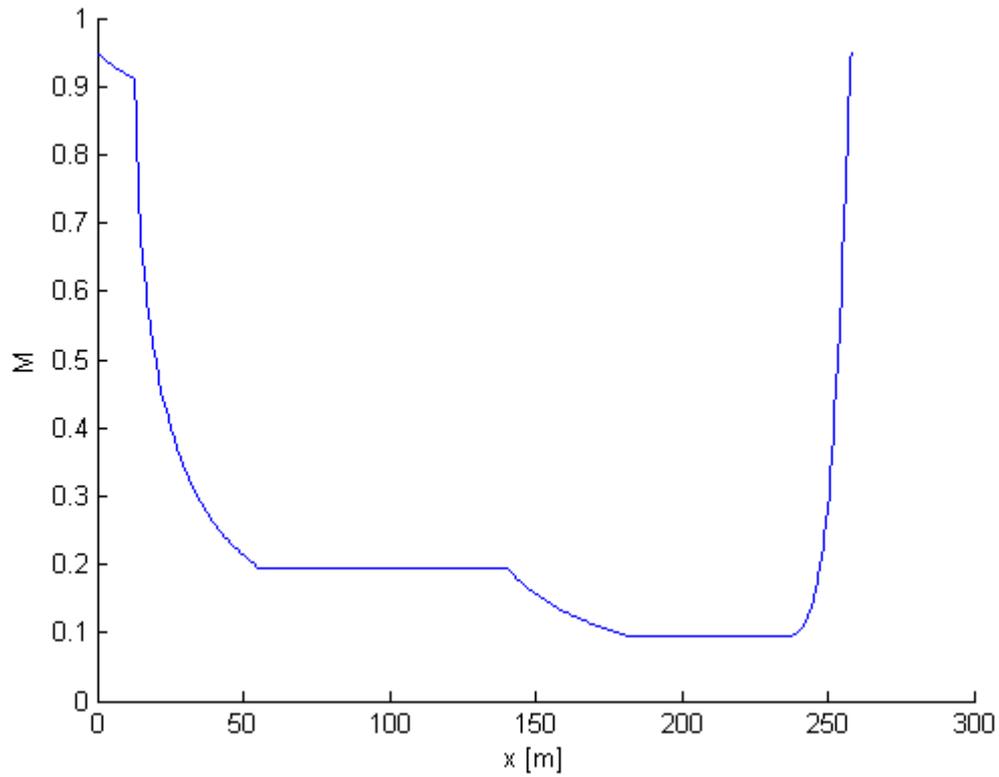


Figura A3.10: Distribución del número de Mach en régimen transónico

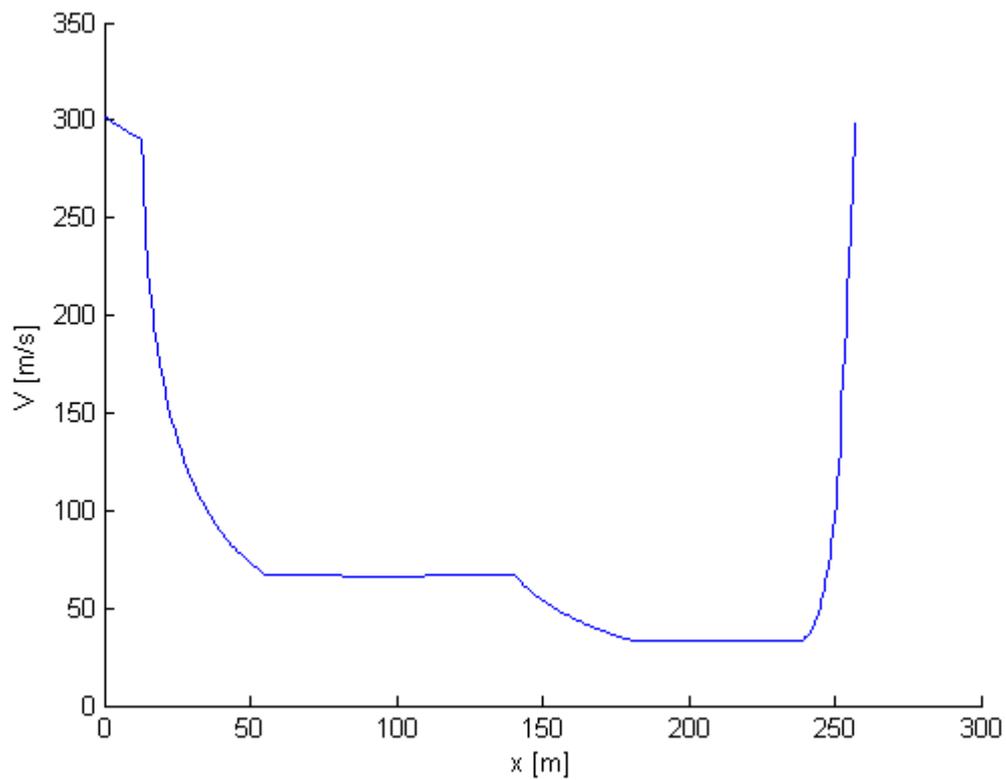


Figura A3.11: Distribución de velocidad en régimen transónico

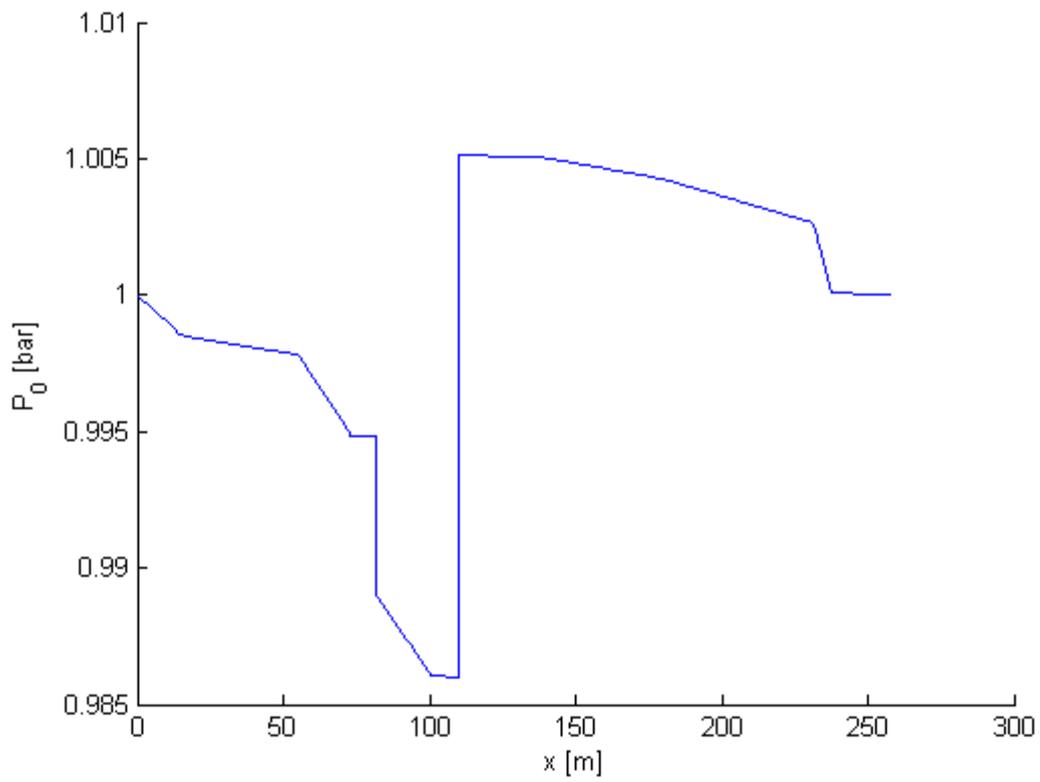


Figura A3.12: Distribución de presión de remanso en régimen transónico

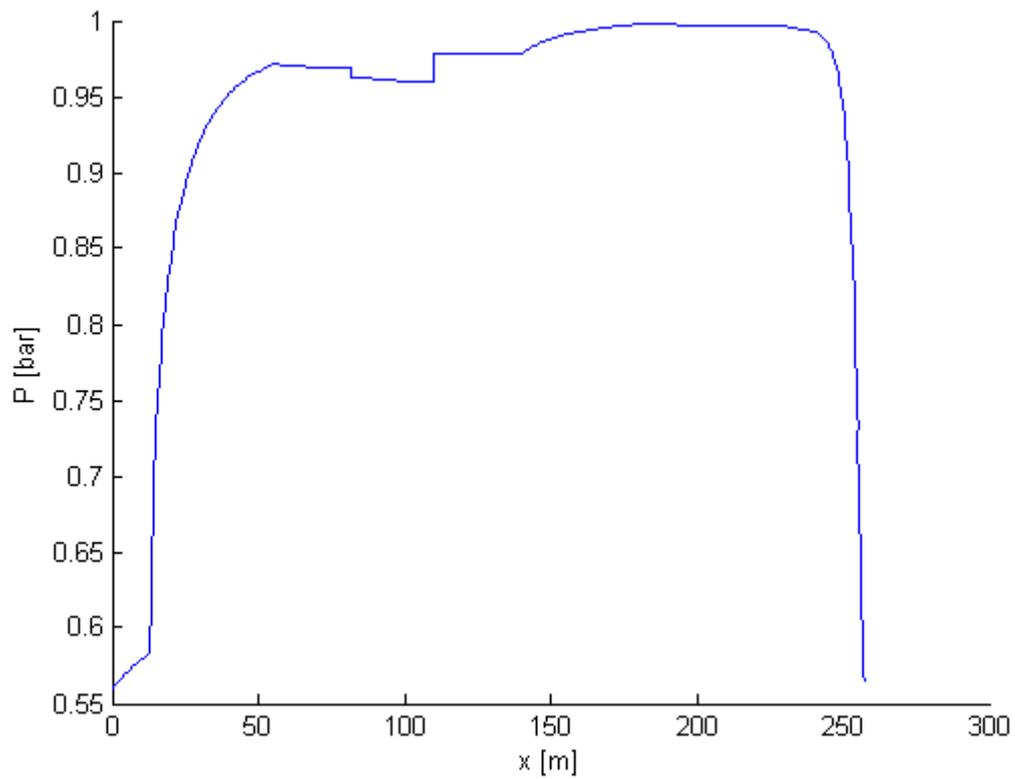


Figura A3.13: Distribución de presión estática en régimen transónico

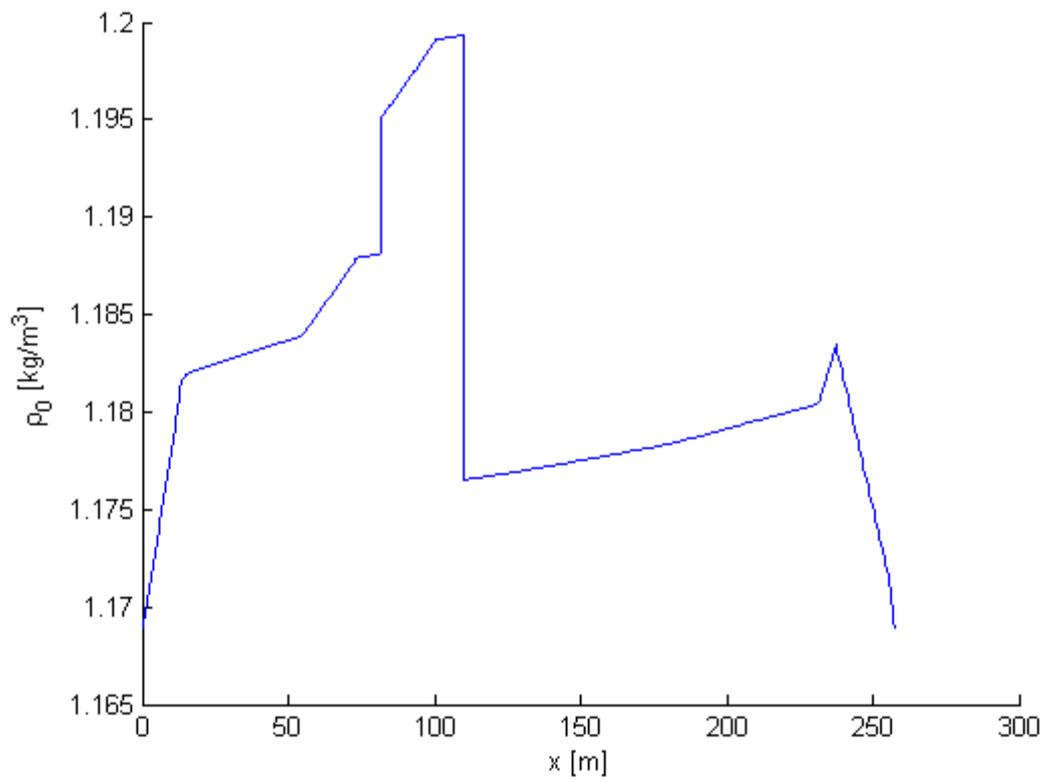


Figura A3.14: Distribución de densidad de remanso en régimen transónico

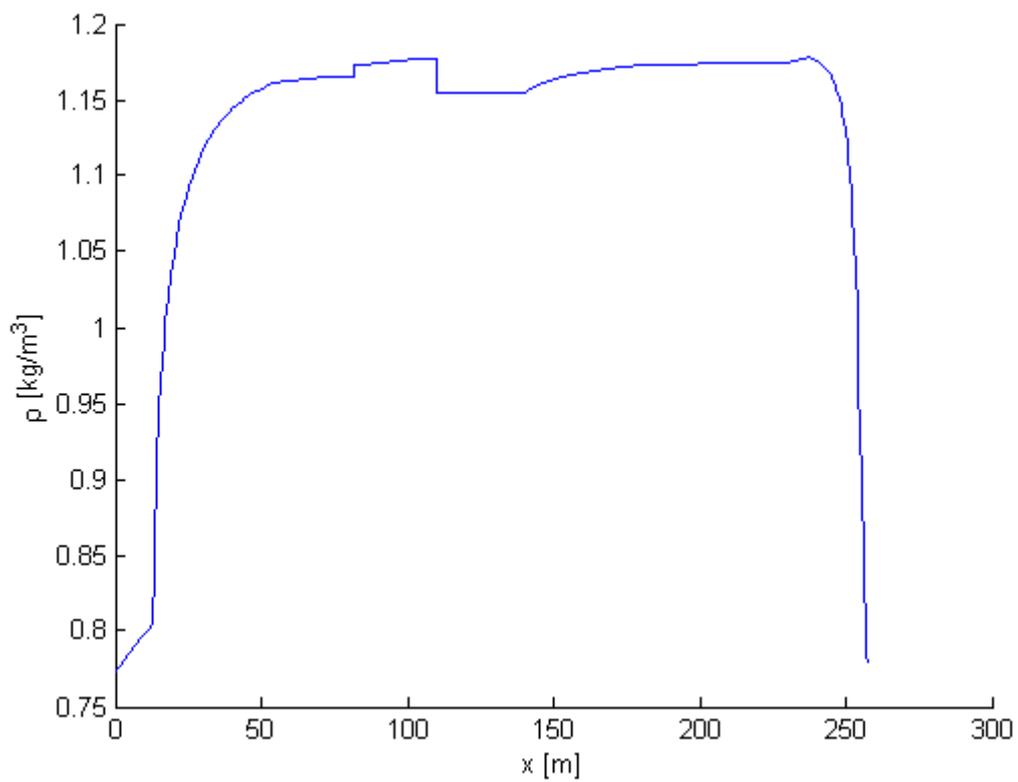


Figura A3.15: Distribución de densidad estática en régimen transónico

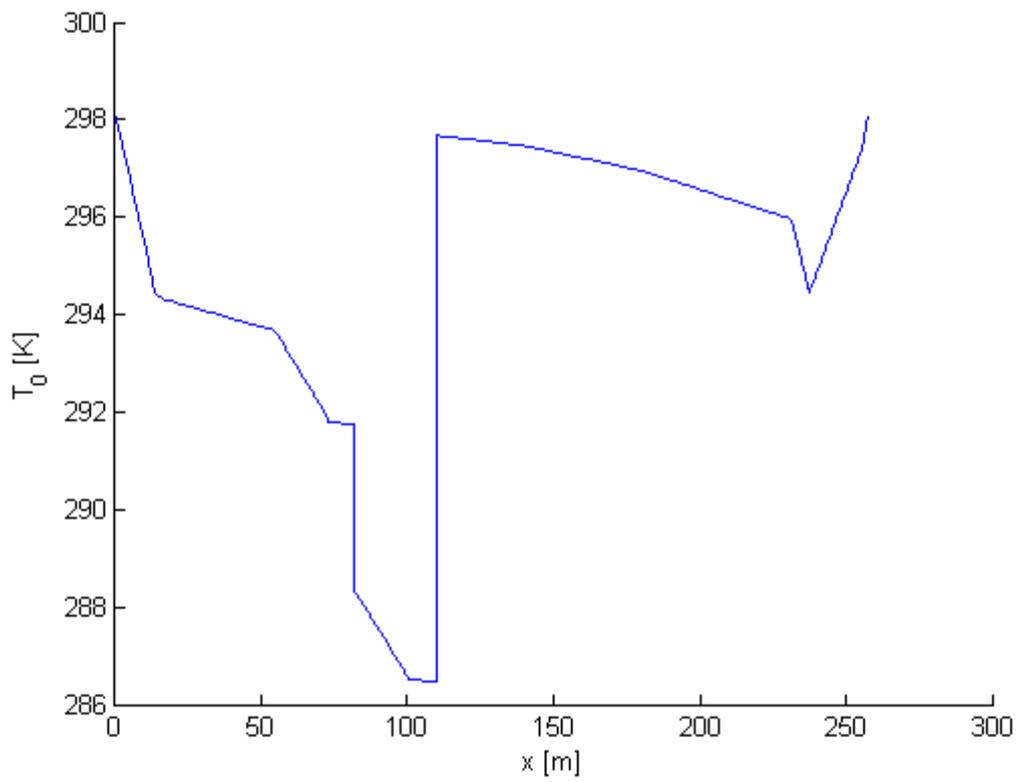


Figura A3.16: Distribución de temperatura de remanso en régimen transónico

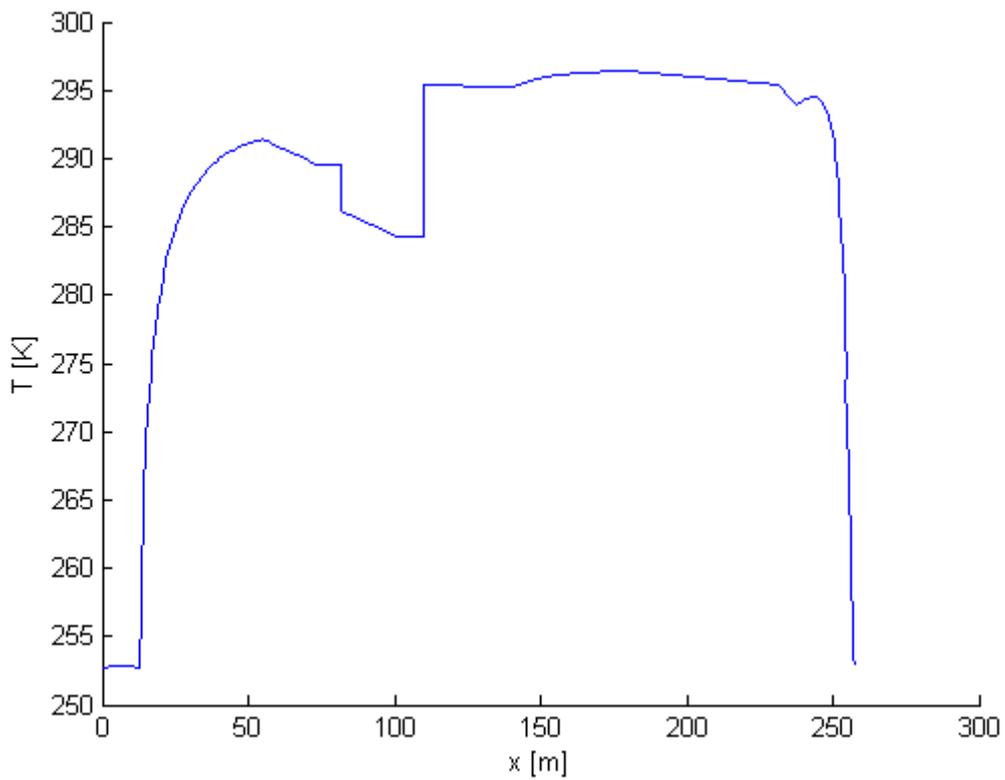


Figura A3.17: Distribución de temperatura estática en régimen transónico

Se realizará un último cálculo para finalizar la sección que será de gran interés para el diseño de la sección impulsora. Las pérdidas totales de energía deben ser compensadas por el movimiento del fan. Por lo que las pérdidas totales de energía podrían obtenerse de la relación siguiente:

$$\Delta p_{0T} = \sum_i \frac{1}{2} \rho(i) V(i)^2 K_l(i)$$

Donde i sería la sección de entrada del elemento del túnel.

Es posible obtener un coeficiente que determine la cantidad de energía necesaria que debe suministrar el fan al aire:

$$K_{fs} = \frac{1}{q_f} \sum_i \frac{1}{2} \rho(i) V(i)^2 K_l(i)$$

Donde q_f es la presión dinámica a la entrada de la sección de impulsión. Pero ha de tenerse en cuenta que esta energía es la requerida por el fluido, es decir, la potencia eléctrica que habrá de suministrar al motor dependerá del rendimiento de la máquina.

$$K_{fs,real} = \frac{K_{fs}}{\eta_{fs}}$$

Considerando que la sección impulsora puede mantener un rendimiento de $\eta_{fs} = 0.93$ se obtendría las necesidades energéticas respecto al número de Mach que deseamos conseguir en la cámara de ensayos.

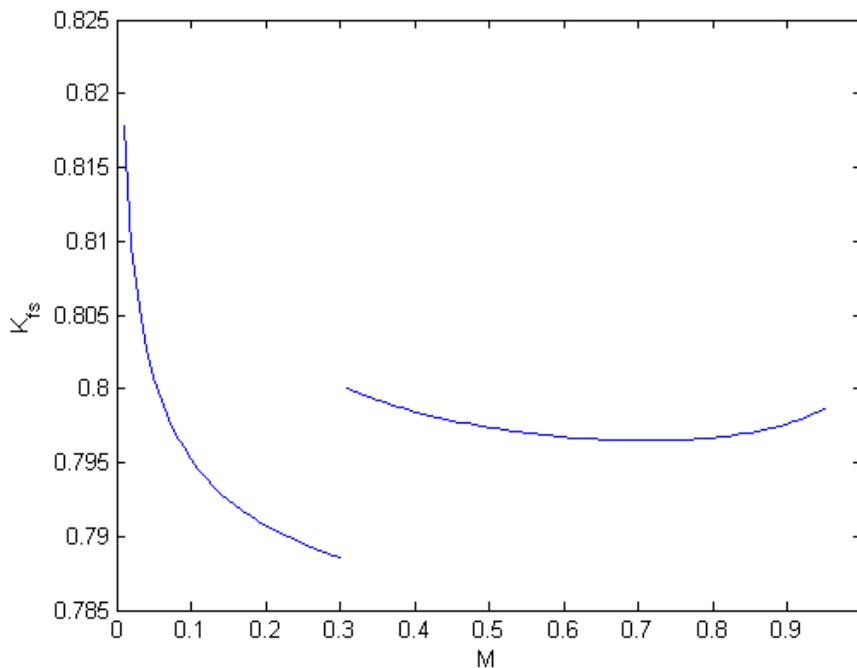


Figura A3.18: Distribución de K_{fs} respecto al número de Mach del ensayo

ANEXO IV: Diseño de la sección impulsora

El objetivo de este anexo es el diseño de la sección impulsora: fan y rectificadores de corriente. Para ello se ha recurrido a la bibliografía [Barrow] que facilita expresiones y datos experimentales de túneles reales. Para ello se partirá del conocimiento de la geometría de la sección de paso y de las características del fluido a la entrada de la sección del fan. En primer lugar se realizará el diseño de los rectificadores de corriente y se concluirá con el diseño de la corona de álabes del fan

Como se mencionó en el ANEXO II se asume que será posible conseguir una eficiencia de la sección impulsora $\eta_{fs} = 0.93$ y de un valor conocido de K_{fs} , que dependerá del número de Mach que se dé en la cámara de ensayos.

I. Rectificadores de la corriente

Los rectificadores de la corriente estarán formados por una serie de perfiles aerodinámicos simétricos que irán desde la barquilla hasta las paredes del túnel. Estos perfiles pueden caracterizarse por dos parámetros: su espesor t_s y su cuerda c_s . Si se definiesen con una relación espesor – cuerda constante, estos tendrían un espesor demasiado grande, por lo que se asumirá que los perfiles son de espesor constante.

Asumiremos una relación espesor – cuerda en la punta de los rectificadores de 0.12. Haciendo uso de las relaciones siguientes es posible obtener el espesor de los rectificadores, la distribución de cuerda según el radio de la sección y la distribución de pérdidas del rectificador k_s :

$$c_s = \frac{2\pi r}{N_s}$$

$$t_s = 0.12 \frac{2\pi R_{fs}}{N_s} = 0.5369 \text{ m}$$

$$k_s = \frac{0.045}{2\pi r} t_s N_s + 0.003$$

Donde:

- N_s : número de rectificadores ($N_s = 7$).
- R_{fs} : radio de la sección impulsora.
- r : radio genérico de la sección $\left(0.6 < \frac{r}{R_{fs}} < 1\right)$.

Los rendimientos de las secciones de los rectificadores y el fan se definen como:

$$\eta_s = \frac{\eta_{fs} k_s}{K_{fs}}$$

$$\eta_f = \eta_{fs} + \eta_s$$

En la tabla siguiente podemos observar la distribución de cuerda, de pérdida y el rendimiento de las secciones de los rectificadores y el rendimiento de las secciones del fan según el radio de la sección:

$\frac{r}{R_{fs}}$	0.6	0.7	0.8	0.9	1
$c_s(m)$	2.6847	3.1322	3.5796	4.0271	4.4745
k_s	0.012	0.0107	0.0097	0.009	0.0084
η_s	0.014	0.0125	0.0114	0.0105	0.0098
η_f	0.944	0.9425	0.9414	0.9405	0.9398

Tabla A4.1: Resumen características de los rectificadores

II. Fan

El fan estará constituido por 12 álabes iguales sobre una corona circular que al rotar transmite la potencia necesaria al fluido en forma de aumento de la presión del fluido. Cada álabe estará formado por una serie de perfiles aerodinámicos de cuerda variable, cada uno con un ángulo de paso diferente. Podemos analizar el flujo alrededor del álabe a través de la imagen siguiente:

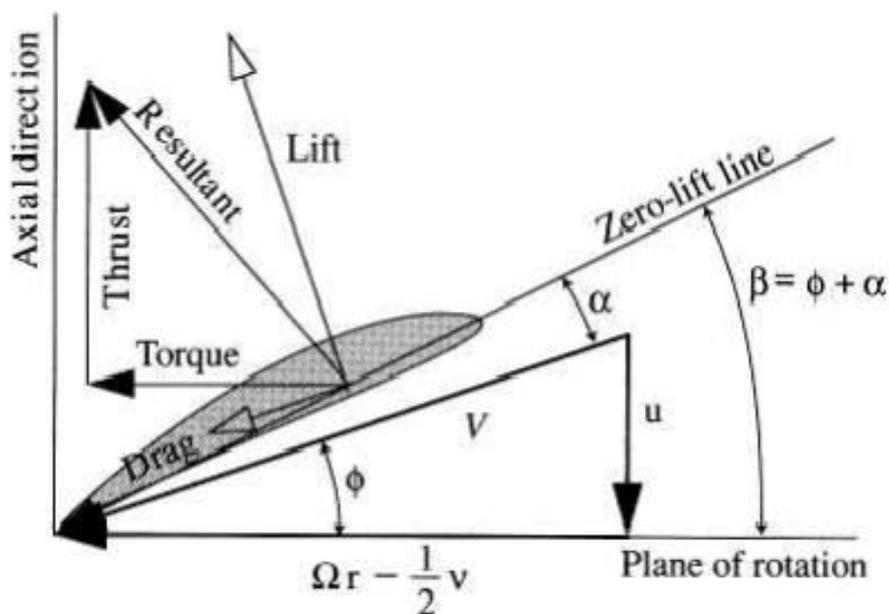


Figura A4.1: Aerodinámica de una sección genérica de álabe

Para diseñar estos álabes se ha recurrido a la bibliografía [Barrow]. Por lo que si asumimos un valor razonable para el ratio sustentación – resistencia (L/D) en la punta del álabes es posible estimar el valor del coeficiente de flujo axial (λ) en la punta y el coeficiente de componente rotacional (ε) en la punta y en base a estos valores obtener sus distribuciones. Para ello se emplearán la relación siguiente y se asumirá $c_l/c_d|_{punta} = 45$:

$$\lambda = \frac{\eta_f}{(1 - \eta_f) \frac{c_l}{c_d}} + \left[\frac{1 - (1 - \eta_f) \frac{K_{fs}}{4\eta_f}}{(1 - \eta_f) \frac{c_l}{c_d}} \right] \lambda^2 + \left[\frac{\left(\frac{K_{fs}}{4\eta_f} \right)^2}{(1 - \eta_f) \frac{c_l}{c_d}} \right] \lambda^4$$

Una vez obtenido el coeficiente de flujo en la punta λ_{punta} particularizando la ecuación anterior es posible obtener la distribución radial del coeficiente de flujo axial, del coeficiente de flujo rotacional y el régimen de giro de la sección impulsora:

$$\lambda = \lambda_{punta} \frac{r}{R_{fs}}$$

$$\varepsilon = \frac{\lambda_{punta} K_{fs}}{2\eta_{fs}}$$

$$\Omega = \frac{\pi}{\lambda_{punta} R_{fs}} \frac{60}{2\pi}$$

Tras determinar la distribución del coeficiente de flujo se puede determinar la distribución radial del ratio sustentación – resistencia así como el ángulo de flujo interno ϕ . Para ello se han empleado las ecuaciones siguientes:

$$\frac{c_l}{c_d} = \frac{\eta_f}{(1 - \eta_f)\lambda} + \left[\frac{1 - (1 - \eta_f) \frac{K_{fs}}{4\eta_f}}{(1 - \eta_f)} \right] \lambda + \left[\frac{\left(\frac{K_{fs}}{4\eta_f} \right)^2}{(1 - \eta_f)} \right] \lambda^3$$

$$\tan \phi = \frac{\lambda}{1 - \frac{1}{2} \lambda \varepsilon}$$

En la tabla siguiente podemos observar la distribución radial del coeficiente de flujo axial y del coeficiente de flujo rotacional supuesto un número de Mach en la cámara de ensayos de 0.95:

$\frac{r}{R_{fs}}$	0.6	0.7	0.8	0.9	1
λ	0.8166	0.7	0.6125	0.5444	0.49
ε	0.3492	0.2993	0.2619	0.2328	0.2095
$\frac{c_l}{c_d}$	34.5868	35.324	36.8151	38.7681	41.0248
ϕ (°)	43.60	38.02	33.66	30.17	27.32

Tabla A4.2: Resumen de características del flujo

En la imagen siguiente observaríamos la variación del régimen de giro con el número de Mach en la cámara de ensayo.

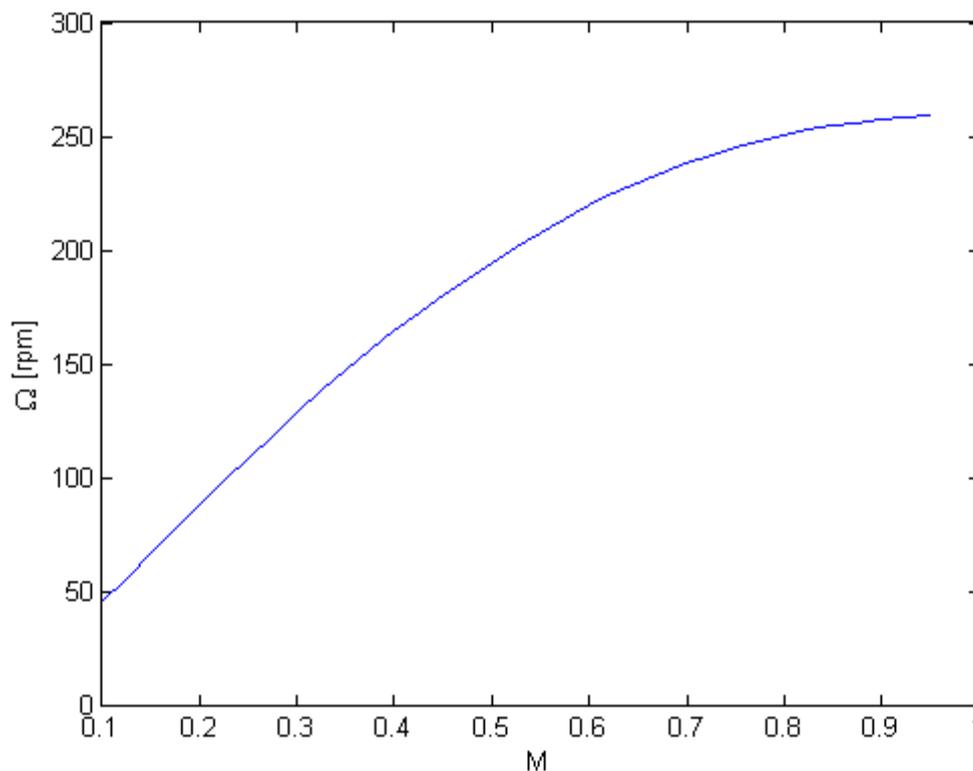


Figura A4.2: Revoluciones del fan frente al número de Mach del ensayo

Una vez obtenida la distribución radial del ratio sustentación – resistencia es posible realizar una estimación de la distribución radial valor de la cuerda necesario y del número de Reynolds basado en la cuerda del álabe haciendo uso de las relaciones siguientes:

$$C_T \approx c_{l,aprox} \cos \phi$$

$$c_{l,aprox} \approx 0.0125 \frac{c_l}{c_d}$$

$$\frac{dT_c}{dx} = 2(K_{fs} + k_s - \varepsilon^2)$$

$$\frac{dT_c}{dr} = \frac{c_{aprox} N_f C_T}{\pi r (\sin \phi)^2}$$

$$R_{e,aprox} = \frac{\rho c_{aprox}}{\mu} \sqrt{u^2 + \Omega^2 r^2}$$

Donde:

- u : velocidad axial a la entrada del fan.
- N_f : número de álabes del fan.
- $\frac{dT_c}{dr}$: variación de la tracción respecto a la variación de la posición radial.

En la tabla siguiente podemos observar las distribuciones radiales de: la cuerda de los álabes, el coeficiente de sustentación aproximado, el número de Reynolds y la variación radial de tracción. Supuesto un número de Mach en la cámara de ensayos de 0.95:

$\frac{r}{R_{fs}}$	0.6	0.7	0.8	0.9	1
$c_{aprox}(m)$	0.9784	0.9994	0.9866	0.9559	0.9166
$c_{l,aprox}$	0.4323	0.4416	0.4602	0.4846	0.5128
$R_{e,aprox}/10^6$	9.7793	9.9884	9.8609	9.5538	9.1610
$\frac{dT_c}{dr}$	0.8225	1.0030	1.1784	1.3502	1.5196

Tabla A4.3: Resumen características aproximadas del fan

Para determinar valores más exactos emplearemos valores experimentales para un tipo de perfiles habituales en los álabes de los fanes. Para ello usaremos los valores del ratio sustentación – resistencia obtenidos anteriormente y obtendremos las distribuciones de: ángulo de ataque, de coeficiente de sustentación y resistencia:

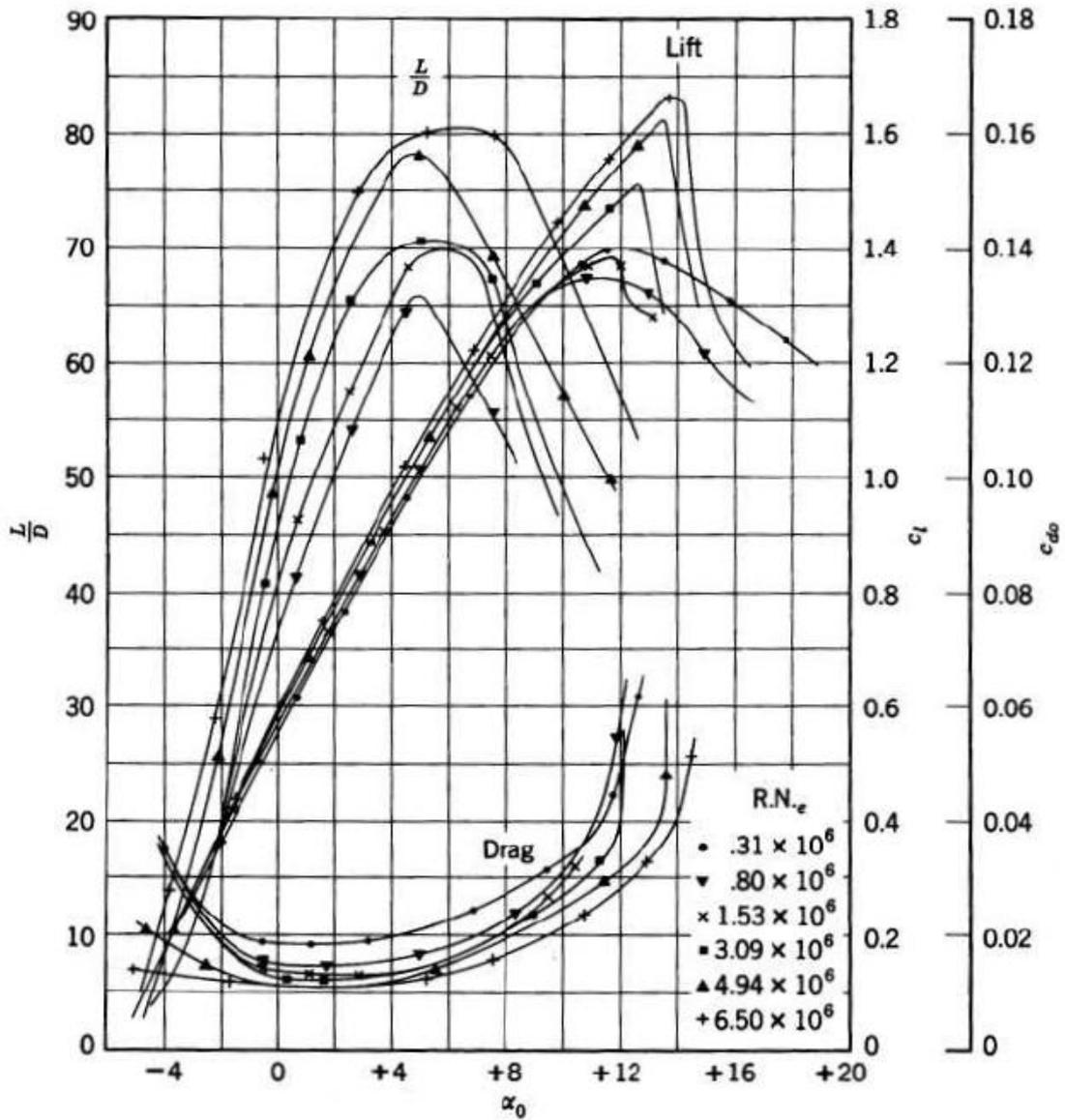


Figura A4.3: Características aerodinámicas del perfil tipo D de álabes de fan

En la tabla siguiente se muestran los resultados obtenidos para el número de

$\frac{r}{R_{fs}}$	0.6	0.7	0.8	0.9	1
c_l	0.42	0.4375	0.455	0.4725	0.49
c_d	0.0125	0.01238	0.01225	0.01213	0.012
α (°)	-1.60	-1.455	-1.31	-1.165	-1.02

Tabla A4.4: Valores experimentales empleados

Una vez obtenido el ángulo de ataque es posible obtener la distribución de paso de los álabes y su cuerda exacta haciendo uso de las relaciones siguientes:

$$\beta = \alpha + \phi$$

$$C_T \approx c_l \cos \phi$$

$$c = \frac{dT_C}{dr} \frac{\pi r (\sin \phi)^2}{NC_T}$$

En la tabla siguiente se muestran los resultados obtenidos:

$\frac{r}{R_{fs}}$	0.6	0.7	0.8	0.9	1
c (m)	1.0072	1.0086	0.9897	0.9804	0.9592
β (°)	42.00	36.57	32.35	29.00	26.30

Tabla A4.5: Características geométricas de los álabes del fan

La bibliografía sugiere el uso de dos posibles tipos de perfiles aerodinámicos, los perfiles E y D que se muestran en la imagen siguiente. Ambos perfiles se han probado satisfactorios en el diseño de álabes de fan. Para el túnel de viento que nos ocupa se emplearán perfiles de tipo D por disponer de datos experimentales concretos.

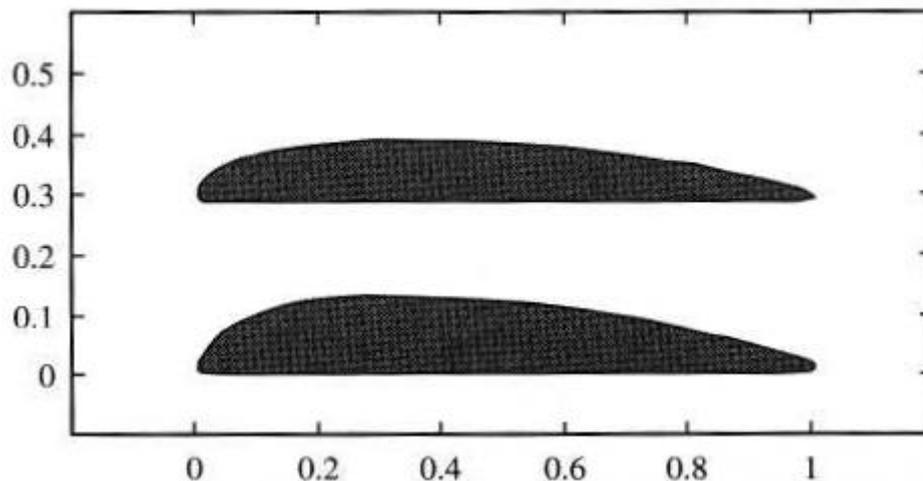


Figura A4.4: Perfiles típicos en secciones del fan

Distance from Leading Edge ^a	Height above Flat Undersurface	
	D	E
0	0.0135	0.0115
0.0125	0.0370	0.0319
0.0250	0.0538	0.0442
0.0500	0.0780	0.0610
0.0750	0.0925	0.0724
0.1000	0.1030	0.0809
0.1500	0.1174	0.0928
0.2000	0.1250	0.0990
0.3000	0.1290	0.1030
0.4000	0.1269	0.1022
0.5000	0.1220	0.0980
0.6000	0.1120	0.0898
0.7000	0.0960	0.0770
0.8000	0.0740	0.0591
0.9000	0.0470	0.0379
0.9500	0.0326	0.0258
1.0000	0.0100	0.0076
L.E. rad	0.0135	0.0115
T.E. rad	0.0100	0.0076

^aT.E. means Trailing Edge. L.E. means Leading Edge.

Figura A4.5: Geometría de los perfiles tipo D y tipo E

ANEXO V: Códigos de MATLAB

El objetivo de este anexo es la recopilación de todos los códigos empleados para resolver numéricamente el proyecto y proporcionar una breve descripción de su función.

- **mapa_Mach_Re.m**: genera las ecuaciones del Anexo I.
- **tramovuelo.m**: transforma las condiciones de operación reales a las del modelo.
- **geometría_tunel.m**: proporciona a los programas que lo necesiten cualquier información sobre la geometría del túnel (longitudes, diámetros, áreas, etc.).
- **tramorrecto.m**: determina el factor de pérdidas de carga en tramos como: cámara de ensayos, adaptadores y tramos rectos tanto de la rejilla como de los acondicionadores.
- **difusor.m**: determina el factor de pérdidas de carga en los dos difusores.
- **codo.m**: determina el factor de pérdidas de carga en los cuatro codos.
- **contracción.m**: determina el factor de pérdidas de carga en la contracción.
- **rejilla.m**: determina el factor de pérdidas de carga en la pantalla de seguridad.
- **honeycomb.m**: determina el factor de pérdidas de carga en los acondicionadores.
- **colebrook.m**: proporciona el factor de fricción de Darcy en cualquier punto.
- **mach_tunel.m**: resuelve la ecuación general del número de Mach en conductos.
- **magnitudes_tunel_directo.m**: resuelve las ecuaciones del problema directo del Anexo III.
- **magnitudes_tunel_inverso.m**: resuelve las ecuaciones del problema inverso del Anexo III.
- **mapa_rpm.m**: proporciona el régimen de giro frente al número de Mach.
- **TUNEL_FINAL.m**: combina los programas anteriores para proporcionar el valor de las magnitudes que definen el movimiento.
- **FAN.m**: resuelve las ecuaciones del Anexo IV.

En adelante se proporcionan los códigos de los programas en el orden en que se describieron en la lista anterior.

- **mapa_Mach_Re.m**

```
h = 10000;
for Mr = 0:0.01:0.95;

%
Rg = 287;
gam = 1.4;
tau = 18;
%
%% - Atmósfera - %%
%
Tsl = 288.16;
rho_sl = 1.224691;
```

```

%
Tr = Tsl - 6.5e-3*h;
rhor = rho_sl*(Tr/Tsl)^(9.18/6.5e-3/287-1);
%
mur = 1.458e-6*sqrt(Tr)./(1+110.4./Tr);
%
Vr = Mr*sqrt(gam*Rg*Tr);
%
%% - Tramo según Mach - %%
%
if Mr <= 0.3
    %
    P0m = 5e5;
    T0m = 298.15;
    Rho0m = P0m/Rg/T0m;
    %
    mum = 1.458e-6*sqrt(T0m)./(1+110.4./T0m);
    %
    Vm = Vr*rhor*tau*mum/mur*Rg*T0m/P0m;
    Mm = Vm/sqrt(gam*Rg*T0m);
    %
    if Mm >0.3
        %
        P0m = 1e5;
        T0m = 298.15;
        Rho0m = P0m/Rg/T0m;
        %
        Mm = Mr;
        Vm = Mm.*sqrt(gam*Rg*T0m*(1 + (gam - 1)/2*Mm.^2));
        %
    end
    Rhom = Rho0m;
else
    %
    P0m = 1e5;
    T0m = 298.15;
    Rho0m = P0m/Rg/T0m;
    %
    mum = 1.458e-6*sqrt(T0m)./(1+110.4./T0m);
    %
    Mm = Mr;
    Vm = Mm.*sqrt(gam*Rg*T0m*(1 + (gam - 1)/2*Mm.^2));
    %
    Rhom = Rho0m/(1+(gam-1)/2*Mm^2)^(1/(gam-1));
end
%
Rem_Rer = Rhom*Vm*mur/(tau*rhor*Vr*mum);
%
figure(1),hold on,plot(Mr,Mm)
figure(2),hold on,plot(Vr,Vm)

```

```

figure(3),hold on,plot(Mr,Rem_Rer)
figure(5),hold on,plot(Mr,Mm/Mr)
%
figure(4),hold on,plot(Mm,Vm)
end

```

– **tramovuelo.m**

```

function [mum, P0m, T0m, Mm] = tramovuelo(Mr,h)
%
Rg = 287;
gam = 1.4;
tau = 18;
%
%% - Atmósfera - %%
%
Tsl = 288.16;
rho_sl = 1.224691;
%
Tr = Tsl - 6.5e-3*h;
rhor = rho_sl*(Tr/Tsl)^(9.18/6.5e-3/287-1);
%
mur = 1.458e-6*sqrt(Tr)/(1+110.4./Tr);
%
Vr = Mr*sqrt(gam*Rg*Tr);
%
%% - Tramo según Mach - %%
%
if Mr <= 0.3
%
P0m = 5e5;
T0m = 298.15;
%
mum = 1.458e-6*sqrt(T0m)/(1+110.4./T0m);
%
Vm = Vr*rhor*tau*mur/mum*Rg*T0m/P0m;
Mm = Mr;
%Mm = Vm/sqrt(gam*Rg*T0m);
%
%if Mm>0.3
%
% P0m = 1e5;
% T0m = 298.15;
%
% mum = 1.458e-6*sqrt(T0m)/(1+110.4./T0m);
%

```

```

% Mm = Mr;
% Vm = Mm*sqrt(gam*Rg*T0m*(1 + (gam - 1)/2*Mm^2));
%
%end
else
%
P0m = 1e5;
T0m = 298.15;
%
mum = 1.458e-6*sqrt(T0m)/(1+110.4./T0m);
%
Mm = Mr;
Vm = Mm*sqrt(gam*Rg*T0m*(1 + (gam - 1)/2*Mm^2));
%
end
%
end

```

– **geometría_tunel.m**

```

function [A, dAdx, D, L, b1, h1, b2, h2, Rc1, bc1, hc1, Rc2, bc2, hc2]=geometria_tunel
%
clc;
%
%%% - Define la geometría relevante del tunel - %%%
%
L = [13 42 11.5*pi/2 9 11.5*pi/2 10 20 10 41 16*pi/2 16*pi/2 6 20]; % Longitud de
cada tramo del tunel
%
%%% - Geometría de las secciones del tunel - %%%
%
% - Geomtrías con variación de área ( dAdx ) nula - %
%
A(1) = 26;          dAdx(1) = 0;          D(1) = 4.95;          % Cámara de
ensayos
%
Rc1 = 11.5; % Rádio primer codo [m]
bc1 = 11.26; % Ancho primer codo [m]
hc1 = 6.93; % Alto primer codo [m]
%
A(3) = 78;          dAdx(3) = 0;          D(3) = 8.6;          % Codo 1
A(4) = 78;          dAdx(4) = 0;          D(4) = 8.6;          % Rejilla
A(5) = 78;          dAdx(5) = 0;          D(5) = 8.6;          % Codo 2
A(6) = 78;          dAdx(6) = 0;          D(6) = (9.97+8.6)/2; % Adaptador
1
A(7) = 78;          dAdx(7) = 0;          D(7) = 9.97;          % Fan
A(8) = 78;          dAdx(8) = 0;          D(8) = (9.97+8.6)/2; % Adaptador
2

```

```

%
Rc2 = 16; % Rádío segundo codo [m]
bc2 = 15.92; % Ancho segundo codo [m]
hc2 = 6.93; % Alto segundo codo [m]
%
A(10) = 156;          dAdx(10) = 0;          D(10) = 12.13;          % Codo 3
A(11) = 156;          dAdx(11) = 0;          D(11) = 12.13;          % Codo 4
A(12) = 156;          dAdx(12) = 0;          D(12) = 12.13;          % Cámara de
ajustes
%
% - Geometría variable del primer difusor - %
%
h1 = 4;
b1 = 6.5;
%
A(2) = 26;          dAdx(2) = 52/42;          D(2) = 4*(h1.*b1)./( h1 + b1); %
Difusor 1 - diámetro hidráulico a la entrada
%
% - Geometría variable del segundo difusor - %
%
h2 = 6.93;
b2 = 11.26;
%
A(9) = 78;          dAdx(9) = 78/41;          D(9) = 4*(h2.*b2)./( h2 + b2); %
Difusor 2 - diámetro hidráulico a la entrada
%
% - Geometría variable de la contracción - %
%
%z = 1.1775e-3*x.^3 - 0.035325*x.^2 + 7.96;
%hc = 7.25e-4*x.^3 - 0.02175*x.^2 + 4.9;
%dhc = 3*7.25e-4*x.^2 - 2*0.02175*x;
%dz = 3*1.1775e-3*x.^2 - 2*0.035325*x;
%
%A(13) = z*hc;          dAdx(13) = hc*dz+z*dhc;          D(13) = 4*(z.*hc)./( hc + z);
% Contracción
%
end
%

```

– **tramorecto.m**

```

function K = tramorecto (L,D,Re,k)
%
f = colebrook(k,D,Re);
%
K = f*L/D;
%
end

```

– **difusor.m**

```
function K=difusor(L,D,Re,k,Ar)
% D: diámetro hidráulico a la entrada del difusor.
% Ar: relación de áreas a la entrada y salida del difusor.
% L: Longitud del difusor.
% Re: Reynolds basado en el diámetro hidráulico a la entrada.
% theta: semiángulo que forman las paredes divergentes del difusor.

f = colebrook(k,D,Re);

theta = atan(0.5*(sqrt(Ar)-1)/(L/D));

Kf = (1-1/Ar^2)*f/8/sin(theta);

Ke =0.122-0.0459*theta+0.02203*theta^2+0.003269*theta^3-0.0006145*theta^4-
0.000028*theta^5+0.00002337*theta^6;
Kex = Ke*(1-1/Ar)^2;

K = Kf + Kex;

end
```

– **codo.m**

```
function K=codo(k,D,Re,R,b,h)
% D: diámetro hidráulico a la entrada del codo.
% Re: Reynolds basado en el diámetro hidráulico a la entrada.
% R: Radio del codo.
% b: Ancho de la sección codo.
% h: Alto de la sección del codo.

f = colebrook(k,D,Re);

A = 1;
B = 0.21/sqrt(R/b);
C = 0.85 + 0.125/(h/b);

Klocal = (0.46*R/b+ 0.04)*A*B*C;

Kf = 1.57*f*R/D;

K = Klocal + Kf;

end
```

– **contracción.m**

```
function K=contraccion(L,Dn,Dt,k,Re,Ret)
% Re: Reynolds antes de la contracción.
% Ret: Reynolds en la cámara de ensayos.
% Dn: Diámetro hidráulico de la entrada a la contracción.
% Dt: Diámetro hidráulico en la cámara de ensayos
% k: rugosidad.
% L: Longitud de la contracción.

f = (colebrook(k,Dn,Re) + colebrook(k,Dt,Ret))/2;

x=0:0.01:1;
z = 1.1775e-3*L^3*x.^3 - 0.035325*L^2*x.^2 + 7.96;
y = 7.25e-4*L^3*x.^3 - 0.02175*L^2*x.^2 + 4.9;

Dx= 4*(z.*y)./( y + z);

D = (Dt./Dx).^5;

I = trapz(x,D);

K = f*L/Dt*I;

end
```

– **rejilla.m**

```
function K=rejilla(Kmesh,Re,d,beta)
% Re: Reynolds basado en el diámetro de cable de la rejilla: d
% d: diámetro del cable de la rejilla.
% w: ancho entre cables (espaciado de celda)
% beta: porosidad

%beta = (1 - d/w);
w = d/(1-beta);
sigma = 1 - beta;

if Re < 400

    Krn = 0.785*(Re/2.41 + 1)^(-4);

else
    Krn = 1;
end

K = Kmash*Krn*sigma + sigma/beta^2;

end
```

– **honeycomb.m**

```
function K=honeycomb(L,D,e,Re,beta)
% L: Longitud de la celda en la dirección del flujo.
% D: Diámetro hidráulico de la celda.
% e: Espesor del material.
% Re: Reynolds basado en el espesor del material.
% beta: Porosidad del honeycomb.

if Re > 275

    lambda = 0.214*(e/D)^0.4;

else

    lambda = 0.375*(e/D)^0.4*Re^(-0.1);

end

K = lambda*(L/D + 3)*(1/beta)^2 + (1/beta - 1)^2;

end
```

– **colebrook.m**

```
function F=colebrook(k,D,Re)

f = 1; % Valor de partida
j = 1;

tol=1e-5;

while j == 1

    g = (-2*log(k/3.7/D + 2.51/Re/sqrt(f)))^(-2);

    R = abs(f-g);

    if R < tol
        break
    end
    f = g;
end

F = g;

end
```

– mach_tunnel.m

```

function [M, X, N]=mach_tunnel(Mi)
%
close all; clc;
%
gam = 1.4;
lambda = 0.003;
%
x = [13 42 11.5*pi/2 9 11.5*pi/2 10 20 10 41 16*pi/2 16*pi/2 6 20]; % Longitud de
cada tramo del tunel
%
X = [];
M = [];
N = [];
%
for t=1:13
    %
    [Mv, xv] = mach( Mi, x(t), lambda, gam, t );
    %
    M = [M, Mv];    % Guarda los números de Mach en las secciones
    %
    Nx = length(Mv);
    Mi = Mv(1,Nx);
    %
    N = [N, Nx];    % Guarda las posiciones en las que acaba cada tramo del tunel.
    %
    if t == 1
        Xv =xv;
    else
        Xv = xv + sum(x(1:(t-1)));
    end
    %
    X = [X, Xv];
    %
end
%
plot(X,M),xlabel('x(m)'),ylabel('M')
%
end
%
%% - Función que integra la ecuación del número de Mach en conductos - %%
%
function [Mv, xv] = mach(M, x, lambda, gam, t)
%
y0(1,1) = M^2;
x0 = 0;
xL = x;
%
[xval ysol] = ode45(@toberadif, [x0 xL], y0(1,1), [], lambda, gam, t);

```

```

%
Nx = length(xval);
xv(1:Nx) = xval'; %Para hacerlo vector fila.
%
Mv(1:Nx) = sqrt(ysol');
%
end
%
%% - Ecuación del número de Mach y geometría - %%
%
function ydot = toberadif(x,y,lambda,gam,t)
%
%% - Geometría sin variación de área - %%
%
A(1) = 26;          dAdx(1) = 0;          D(1) = 4.95;          % Cámara de
ensayos
A(3) = 78;          dAdx(3) = 0;          D(3) = 8.6;          % Codo 1
A(4) = 78;          dAdx(4) = 0;          D(4) = 8.6;          % Rejilla
A(5) = 78;          dAdx(5) = 0;          D(5) = 8.6;          % Codo 2
A(6) = 78;          dAdx(6) = 0;          D(6) = 8.6+(9.97-8.6)*x/10; %
Adaptador 1
A(7) = 78;          dAdx(7) = 0;          D(7) = 9.97;          % Fan
A(8) = 78;          dAdx(8) = 0;          D(8) = 9.97-(9.97-8.6)*x/10; %
Adaptador 2
A(10) = 156;        dAdx(10) = 0;          D(10) = 12.13;       % Codo 3
A(11) = 156;        dAdx(11) = 0;          D(11) = 12.13;       % Codo 4
A(12) = 156;        dAdx(12) = 0;          D(12) = 12.13;       % Cámara de
ajustes
%
%% - Geometría variable del primer difusor - %%
%
h1 = 4 + (6.93 - 4)*x/42;
b1 = 6.5 + (11.26 - 6.5)*x/42;
%
A(2) = 26+52*x/42;  dAdx(2) = 52/42;      D(2) = 4*(h1.*b1)./( h1 + b1); %
Difusor 1
%
%% - Geometría variable del segundo difusor - %%
%
h2 = 6.93 + (9.8 - 6.93)*x/41;
b2 = 11.26 + (15.92 - 11.26)*x/41;
%
A(9) = 78+78*x/41;  dAdx(9) = 78/41;      D(9) = 4*(h2.*b2)./( h2 + b2); %
Difusor 2
%
%% - Geometría variable de la contracción - %%
%
z = 1.1775e-3*x.^3 - 0.035325*x.^2 + 7.96;
hc = 7.25e-4*x.^3 - 0.02175*x.^2 + 4.9;
dhc = 3*7.25e-4*x.^2 - 2*0.02175*x;

```

```

dz = 3*1.1775e-3*x.^2 - 2*0.035325*x;
%
A(13) = z*hc;          dAdx(13) = hc*dz+z*dhc;    D(13) = 4*(z.*hc)/(hc + z);
% Contracción
%
%%% - Ecuación del número de Mach - %%%
%
ydot(1,1) = (2 + (gam - 1)*y)*y/(1 - y)*(-dAdx(t)/A(t) - lambda*gam/2/D(t)*y);
%
end

```

– **magnitudes_tunel_directo.m**

```

function [P0,Rho0,T0,K,G]=magnitudes_tunel_directo(Mv,hv)
%
%% - Condiciones en la Cámara de ensayos - %%
%
gam = 1.4;    % Coeficiente de expansión adiabática.
Rg = 287;    % Constante de los gases [J/kg·K]
k = 0.0015e-3; % Rugosidad del material (PVC,PE) [m]
%
[mu, P0(1), T0(1), M(1)] = tramovuelo(Mv,hv);
%
Rho0(1) = P0(1)/Rg/T0(1);
%
%% - Generamos la geometría necesaria - %%
%
[A, dAdx, D, L, b1, h1, b2, h2, Rc1, bc1, hc1, Rc2, bc2, hc2] = geometria_tunel;
%
%% - Generamos la distribución de Mach en el tunel - %%
%
[m, x, N] = machtunel(M(1));
% M: vector que contiene el número de Mach al final de cada sección.
% La primera componente es la entrada a la cámara.
for u=1:13
    %
    n(u) = sum(N(1:u));
    M(u + 1) = m(1, n(u));
    %
end
%
%% - Evolución de las variables entre la Cámara de ensayos y el Fan - %%
%
%% - Cámara de ensayos - %%
%
%%% A la entrada de la cámara
%
AUX(1) = (1 + (gam - 1)/2*M(1)^2);

```

```

%
P(1) = P0(1)*AUX(1)^(-gam/(gam - 1)); % Presión estática
T(1) = T0(1)/AUX(1); % Temperatura estática
Rho(1) = Rho0(1)*AUX(1)^(-1/(gam - 1)); % Densidad estática
%
V(1) = M(1)*sqrt(gam*Rg*T(1)); % Velocidad
%
%%% -> Gasto [kg/s]
%
G = Rho(1)*A(1)*V(1);
%
%%% Pérdidas
%
s = 2;
%
Re(s-1) = Rho(s-1)*V(s-1)*D(s-1)/mu;
K(s-1) = tramorecto (L(s-1),D(s-1),Re,k);
%
%%% A la salida de la cámara
%
AUX(s) = (1 + (gam - 1)/2*M(s)^2);
%
P0(s) = P0(s-1) - 0.5*Rho(s-1)*V(s-1)^2*K(s-1);
T0(s) = P0(s)^2*gam*M(s)^2/Rg/G^2*A(s)^2*( (AUX(s))^( -(gam + 1)/2/(gam - 1))
)^2;
Rho0(s) = P0(s)/Rg/T0(s);
%
P(s) = P0(s)*AUX(s)^(-gam/(gam - 1));
T(s) = T0(s)/AUX(s);
Rho(s) = Rho0(s)*AUX(s)^(-1/(gam - 1));
%
V(s) = M(s)*sqrt(gam*Rg*T(s));
%
%%% - Difusor 1 - %
%
%%% Pérdidas - Hay que hacer la media de la velocidad y la densidad para
%%% obtener unas pérdidas más realistas.
%
s = 3;
%
Red = Rho(s-1)*V(s-1)*D(s-1)/mu;
Ar1 = A(s)/A(s-1);
Kd = difusor(L(s-1),D(s-1),Red,k,Ar1);
%
%%% A la salida del difusor
%
AUXd = (1 + (gam - 1)/2*M(s)^2);
%
P0d = P0(s-1) - 0.5*Rho(s-1)*V(s-1)^2*Kd;

```

```

T0d = P0d^2*gam*M(s)^2/Rg/G^2*A(s)^2*( (AUXd)^(-(gam + 1)/2/(gam - 1)) )^2;
Rho0d = P0d/Rg/T0d;
%
Td = T0d/AUXd;
Rhod = Rho0d*AUXd^(-1/(gam - 1));
%
Vd = M(s)*sqrt(gam*Rg*Td);
%
%%% - Media de las magnitudes -
%
Re(s-1) = ((Rho(s-1) + Rhod)/2)*((V(s-1) + Vd)/2)*D(s-1)/mu;
K(s-1) = difusor(L(s-1),D(s-1),Re(s-1),k,Ar1);
%
AUX(s) = (1 + (gam - 1)/2*M(s)^2);
%
P0(s) = P0(s-1) - 0.5*Rho(s-1)*Vd^2*K(s-1);
T0(s) = P0(s)^2*gam*M(s)^2/Rg/G^2*A(s)^2*( (AUX(s))^( -(gam + 1)/2/(gam - 1) ) )^2;
Rho0(s) = P0(s)/Rg/T0(s);
%
P(s) = P0(s)*AUX(s)^(-gam/(gam - 1));
T(s) = T0(s)/AUX(s);
Rho(s) = Rho0(s)*AUX(s)^(-1/(gam - 1));
%
V(s) = M(s)*sqrt(gam*Rg*T(s));
%
%% - Codo 1 - %%
%
%%% Pérdidas
%
s = 4;
%
Re(s-1) = Rho(s-1)*V(s-1)*D(s-1)/mu;
K(s-1) = codo(k,D(s-1),Re(s-1),Rc1,bc1,hc1);
%
%%% A la salida de la cámara
%
AUX(s) = (1 + (gam - 1)/2*M(s)^2);
%
P0(s) = P0(s-1) - 0.5*Rho(s-1)*V(s-1)^2*K(s-1);
T0(s) = P0(s)^2*gam*M(s)^2/Rg/G^2*A(s-1)^2*( (AUX(s))^( -(gam + 1)/2/(gam - 1) ) )^2;
Rho0(s) = P0(s)/Rg/T0(s);
%
P(s) = P0(s)*AUX(s)^(-gam/(gam - 1));
T(s) = T0(s)/AUX(s);
Rho(s) = Rho0(s)*AUX(s)^(-1/(gam - 1));
%
V(s) = M(s)*sqrt(gam*Rg*T(s));
%

```

```

%
%% - Tramo recto - %%
%
%
%% % Pérdidas
%
s = 5;
%
Re(s-1) = Rho(s-1)*V(s-1)*D(s-1)/mu;
K(s-1) = tramorecto (L(s-1),D(s-1),Re(s-1),k);
%
%% % A la salida de la cámara
%
AUX(s) = (1 + (gam - 1)/2*M(s)^2);
%
P0(s) = P0(s-1) - 0.5*Rho(s-1)*V(s-1)^2*K(s-1);
T0(s) = P0(s)^2*gam*M(s)^2/Rg/G^2*A(s-1)^2*( (AUX(s))^( -(gam + 1)/2/(gam - 1))
)^2;
Rho0(s) = P0(s)/Rg/T0(s);
%
P(s) = P0(s)*AUX(s)^( -gam/(gam - 1));
T(s) = T0(s)/AUX(s);
Rho(s) = Rho0(s)*AUX(s)^( -1/(gam - 1));
%
V(s) = M(s)*sqrt(gam*Rg*T(s));
%
%
%% - Rejilla - %%
%
s = 6;
%
d = 0.01;
beta = 0.9; % Entre 0.5 y 0.8
Kmesh = 1;
Re(s-1) = Rho(s-1)*V(s-1)*d/mu;
%
K(s-1) = rejilla(Kmesh,Re(s-1),d,beta);
%
%% % A la salida de la cámara
%
AUX(s) = (1 + (gam - 1)/2*M(s-1)^2);
%
P0(s) = P0(s-1) - 0.5*Rho(s-1)*V(s-1)^2*K(s-1);
T0(s) = P0(s)^2*gam*M(s-1)^2/Rg/G^2*A(s-2)^2*( (AUX(s))^( -(gam + 1)/2/(gam -
1)) )^2;
Rho0(s) = P0(s)/Rg/T0(s);
%
P(s) = P0(s)*AUX(s)^( -gam/(gam - 1));
T(s) = T0(s)/AUX(s);
Rho(s) = Rho0(s)*AUX(s)^( -1/(gam - 1));

```

```

%
V(s) = M(s-1)*sqrt(gam*Rg*T(s));
%
%
%% - Codo 2 - %%
%
%
%% % Pérdidas
%
s = 7;
%
Re(s-1) = Rho(s-1)*V(s-1)*D(s-2)/mu;
K(s-1) = codo(k,D(s-2),Re(s-1),Rc1,bc1,hc1);
%
%% % A la salida de la cámara
%
AUX(s) = (1 + (gam - 1)/2*M(s-1)^2);
%
P0(s) = P0(s-1) - 0.5*Rho(s-1)*V(s-1)^2*K(s-1);
T0(s) = P0(s)^2*gam*M(s-1)^2/Rg/G^2*A(s-2)^2*( (AUX(s))^( -(gam + 1)/2/(gam - 1) ) )^2;
Rho0(s) = P0(s)/Rg/T0(s);
%
P(s) = P0(s)*AUX(s)^( -gam/(gam - 1) );
T(s) = T0(s)/AUX(s);
Rho(s) = Rho0(s)*AUX(s)^( -1/(gam - 1) );
%
V(s) = M(s-1)*sqrt(gam*Rg*T(s));
%
%
%% - Adaptador 1 - %%
%
s = 8;
%
Re(s-1) = Rho(s-1)*V(s-1)*D(s-2)/mu;
K(s-1) = tramorecto (L(s-2),D(s-2),Re(s-1),k);
%
%% % A la salida de la cámara
%
AUX(s) = (1 + (gam - 1)/2*M(s-1)^2);
%
P0(s) = P0(s-1) - 0.5*Rho(s-1)*V(s-1)^2*K(s-1);
T0(s) = P0(s)^2*gam*M(s-1)^2/Rg/G^2*A(s)^2*( (AUX(s))^( -(gam + 1)/2/(gam - 1) ) )^2;
Rho0(s) = P0(s)/Rg/T0(s);
%
P(s) = P0(s)*AUX(s)^( -gam/(gam - 1) );
T(s) = T0(s)/AUX(s);
Rho(s) = Rho0(s)*AUX(s)^( -1/(gam - 1) );
%

```

```
V(s) = M(s-1)*sqrt(gam*Rg*T(s));
%
close all;
end
```

– **magnitudes_tunel_inverso.m**

```
function [P0,Rho0,T0,K]=magnitudes_tunel_inverso(Mv,hv)
%
%% Este programa nos da las variables a la entrada de cada sección.
%
%% - Condiciones en la Cámara de ensayos - %%
%
%
gam = 1.4;    % Coeficiente de expansión adiabática.
Rg = 287;    % Constante de los gases [J/kg·K]
rk = 0.0015e-3; % Rugosidad del material (PVC,PE) [m]
%
[mu, P0(1), T0(1), M(1)] = tramovuelo(Mv,hv);
%
Rho0(1) = P0(1)/Rg/T0(1);
%
%% - Generamos la geometría necesaria - %%
%
[A, dAdx, D, L, b1, h1, b2, h2, Rc1, bc1, hc1, Rc2, bc2, hc2] = geometria_tunel;
%
%% - Generamos la distribución de Mach en el tunel - %%
%
[m, x, N] = machtunel(M(1));
%
% M: vector que contiene el número de Mach al final de cada sección.
% La primera componente es la entrada a la cámara.
for u=1:13
    %
    n(u) = sum(N(1:u));
    M(u + 1) = m(1, n(u));
    %
end
%
%% - Evolución de las variables entre la Cámara de ensayos y el Fan - %%
%
%% - Cámara de ensayos - %%
%
%% A la entrada de la cámara
%
AUX(1) = (1 + (gam - 1)/2*M(1)^2);
%
P(1) = P0(1)/AUX(1)^(gam/(gam - 1)); % Presión estática
```

```

T(1) = T0(1)/AUX(1);           % Temperatura estática
Rho(1) = Rho0(1)/AUX(1)^(1/(gam - 1)); % Densidad estática
%
V(1) = M(1)*sqrt(gam*Rg*T(1)); % Velocidad
%
%% - Evolución de las variables entre el Fan y la Cámara de ensayos - %%
%
%% %% - Gasto - %% %%
%
G = Rho(1)*V(1)*A(1);
%
%% - Contracción - %%
%
w = 15;
k = 2;
%
Re(k-1) = Rho(k-1)*V(k-1)*D(k-1)/mu;
Re(k) = Rho(k-1)*M(w-k)*sqrt(gam*Rg*T(k-1))*D(w-k-1)/mu;
K(k-1) = contraccion(L(w-k),D(w-k-1),D(1),rk,Re(k),Re(k-1))*10; % Multiplicada por
10 para corregir
%
AUX(k) = (1 + (gam - 1)/2*M(w-k)^2);
Omega(k-1) = G/A(w-k-1)*( AUX(k)^(1/(gam-1)))/(M(w-k)*sqrt(gam)*(AUX(k))^(
0.5)) - 0.5*M(w-k)*AUX(k)^(-0.5)*sqrt(gam)*K(k-1) );
%
T0(k) = P0(k-1)^2/Rg/Omega(k-1)^2;
P0(k) = G/A(w-k-1)*AUX(k)^(1/(gam-1))/(M(w-k)*sqrt(gam)*(AUX(k))^(
0.5))*sqrt(Rg*T0(k));
Rho0(k) = P0(k)/(Rg*T0(k));
%
P(k) = P0(k)/AUX(k)^(gam/(gam - 1)); % Presión estática
T(k) = T0(k)/AUX(k);           % Temperatura estática
Rho(k) = Rho0(k)/AUX(k)^(1/(gam - 1)); % Densidad estática
%
V(k) = M(k)*sqrt(gam*Rg*T(k)); % Velocidad
%
%% - Cámara de estabilización - %%
%
k = 3;
%
e = 0.04; % Espesor del material
beta = 0.95; % Porosidad del panel
Lh = 3; % Longitud de la celda
Dh = Lh/3; % Diámetro hidráulico de la celda
Re(k) = Rho(k-1)*V(k-1)*Dh/mu;
%
K(k-1) = honeycomb(Lh,Dh,e,Re(k),beta);
% Misma área A(1)/A(2)
%
AUX(k) = (1 + (gam - 1)/2*M(w-k)^2);

```

```

Omega(k-1) = G/A(w-k-1)*( AUX(k)^(1/(gam-1)))/(M(w-k)*sqrt(gam)*(AUX(k))^(-
0.5)) - 0.5*M(w-k)*AUX(k)^(-0.5)*sqrt(gam)*K(k-1) );
%
T0(k) = P0(k-1)^2/Rg/Omega(k-1)^2;
P0(k) = G/A(w-k-1)*AUX(k)^(1/(gam-1))/(M(w-k)*sqrt(gam)*(AUX(k))^(-
0.5))*sqrt(Rg*T0(k));
Rho0(k) = P0(k)/(Rg*T0(k));
%
P(k) = P0(k)/AUX(k)^(gam/(gam - 1)); % Presión estática
T(k) = T0(k)/AUX(k); % Temperatura estática
Rho(k) = Rho0(k)/AUX(k)^(1/(gam - 1)); % Densidad estática
%
V(k) = M(k)*sqrt(gam*Rg*T(k)); % Velocidad
%
%
%% - Codo 4 - %%
%
k = 4;
%
Re(k) = Rho(k-1)*V(k-1)*D(w-k)/mu;
K(k-1) = codo(rk,D(w-k),Re(k),Rc2,bc2,hc2);
%
AUX(k) = (1 + (gam - 1)/2*M(w-k)^2);
Omega(k-1) = G/A(w-k-1)*( AUX(k)^(1/(gam-1)))/(M(w-k)*sqrt(gam)*(AUX(k))^(-
0.5)) - 0.5*M(w-k)*AUX(k)^(-0.5)*sqrt(gam)*K(k-1) );
%
T0(k) = P0(k-1)^2/Rg/Omega(k-1)^2;
P0(k) = G/A(w-k-1)*AUX(k)^(1/(gam-1))/(M(w-k)*sqrt(gam)*(AUX(k))^(-
0.5))*sqrt(Rg*T0(k));
Rho0(k) = P0(k)/(Rg*T0(k));
%
P(k) = P0(k)/AUX(k)^(gam/(gam - 1)); % Presión estática
T(k) = T0(k)/AUX(k); % Temperatura estática
Rho(k) = Rho0(k)/AUX(k)^(1/(gam - 1)); % Densidad estática
%
V(k) = M(k)*sqrt(gam*Rg*T(k)); % Velocidad
%
%
%% - Codo 3 - %%
%
k = 5;
%
Re(k) = Rho(k-1)*V(k-1)*D(w-k)/mu;
K(k-1) = codo(rk,D(w-k),Re(k),Rc2,bc2,hc2);
% En este caso A(w-k) para que sea el área del codo
AUX(k) = (1 + (gam - 1)/2*M(w-k)^2);
Omega(k-1) = G/A(w-k)*( AUX(k)^(1/(gam-1)))/(M(w-k)*sqrt(gam)*(AUX(k))^(-0.5))
- 0.5*M(w-k)*AUX(k)^(-0.5)*sqrt(gam)*K(k-1) );
%
T0(k) = P0(k-1)^2/Rg/Omega(k-1)^2;

```

```

P0(k) = G/A(w-k)*AUX(k)^(1/(gam-1))/(M(w-k)*sqrt(gam)*(AUX(k))^(-
0.5))*sqrt(Rg*T0(k));
Rho0(k) = P0(k)/(Rg*T0(k));
%
P(k) = P0(k)/AUX(k)^(gam/(gam - 1)); % Presión estática
T(k) = T0(k)/AUX(k); % Temperatura estática
Rho(k) = Rho0(k)/AUX(k)^(1/(gam - 1)); % Densidad estática
%
V(k) = M(k)*sqrt(gam*Rg*T(k)); % Velocidad
%
%% - Difusor 2 - %%
%
k = 6;
%
Re(k) = Rho(k-1)*V(k-1)*D(w-k)/mu;
Ar2 = A(w-k+1)/A(w-k);
K(k-1) = difusor(L(w-k),D(w-k),Re(k),rk,Ar2);
%
AUX(k) = (1 + (gam - 1)/2*M(w-k)^2);
Omega(k-1) = G/A(w-k-1)*( AUX(k)^(1/(gam-1))/(M(w-k)*sqrt(gam)*(AUX(k))^(-
0.5)) - 0.5*M(w-k)*AUX(k)^(-0.5)*sqrt(gam)*K(k-1) );
%
T0(k) = P0(k-1)^2/Rg/Omega(k-1)^2;
P0(k) = G/A(w-k-1)*AUX(k)^(1/(gam-1))/(M(w-k)*sqrt(gam)*(AUX(k))^(-
0.5))*sqrt(Rg*T0(k));
Rho0(k) = P0(k)/(Rg*T0(k));
%
P(k) = P0(k)/AUX(k)^(gam/(gam - 1)); % Presión estática
T(k) = T0(k)/AUX(k); % Temperatura estática
Rho(k) = Rho0(k)/AUX(k)^(1/(gam - 1)); % Densidad estática
%
V(k) = M(k)*sqrt(gam*Rg*T(k)); % Velocidad
%
%% - Adaptador 2 - %%
%
k = 7;
%
Re(k) = Rho(k-1)*V(k-1)*D(w-k)/mu;
K(k-1) = tramorecto (L(w-k),D(w-k),Re(k),rk);
%
AUX(k) = (1 + (gam - 1)/2*M(w-k)^2);
Omega(k-1) = G/A(w-k-1)*( AUX(k)^(1/(gam-1))/(M(w-k)*sqrt(gam)*(AUX(k))^(-
0.5)) - 0.5*M(w-k)*AUX(k)^(-0.5)*sqrt(gam)*K(k-1) );
%
T0(k) = P0(k-1)^2/Rg/Omega(k-1)^2;
P0(k) = G/A(w-k-1)*AUX(k)^(1/(gam-1))/(M(w-k)*sqrt(gam)*(AUX(k))^(-
0.5))*sqrt(Rg*T0(k));
Rho0(k) = P0(k)/(Rg*T0(k));
%

```

```

P(k) = P0(k)/AUX(k)^(gam/(gam - 1)); % Presión estática
T(k) = T0(k)/AUX(k); % Temperatura estática
Rho(k) = Rho0(k)/AUX(k)^(1/(gam - 1)); % Densidad estática
%
V(k) = M(k)*sqrt(gam*Rg*T(k)); % Velocidad
%
%% - FAN tramo recto - %%
%
k = 8;
%
Re(k) = Rho(k-1)*V(k-1)*D(w-k)/mu;
K(k-1) = tramorecto (L(w-k),D(w-k),Re(k),rk);
%
AUX(k) = (1 + (gam - 1)/2*M(w-k)^2);
Omega(k-1) = G/A(w-k-1)*( AUX(k)^(1/(gam-1)))/(M(w-k)*sqrt(gam)*(AUX(k))^(-
0.5)) - 0.5*M(w-k)*AUX(k)^(-0.5)*sqrt(gam)*K(k-1) );
%
T0(k) = P0(k-1)^2/Rg/Omega(k-1)^2;
P0(k) = G/A(w-k-1)*AUX(k)^(1/(gam-1))/(M(w-k)*sqrt(gam)*(AUX(k))^(-
0.5))*sqrt(Rg*T0(k));
Rho0(k) = P0(k)/(Rg*T0(k));
%
P(k) = P0(k)/AUX(k)^(gam/(gam - 1)); % Presión estática
T(k) = T0(k)/AUX(k); % Temperatura estática
Rho(k) = Rho0(k)/AUX(k)^(1/(gam - 1)); % Densidad estática
%
V(k) = M(k)*sqrt(gam*Rg*T(k)); % Velocidad
%
close all;
%
end

```

– **mapa_rpm.m**

```

clear all; close all; clc;
%
M = 0.1:0.025:0.95;
%
[g,n] = size(M);
%
Vfan = zeros(1,n);
Perdidas = zeros(1,n);
Rhofan = zeros(1,n);
Tfan = zeros(1,n);
rpm = zeros(1,n);
%
for i = 1:n
%

```

```

[P0, P, T0, T, Rho0, Rho, V, Mv, x, N] = TUNEL_FINAL(M(i),1e4);
%
R = N(1:6);
r = sum(R);
close all;
%
Perdidas(1,i) = max(P0) - min(P0);
% Q(1,i) = V(1)*26;
Vfan(1,i) = V(r);
Rhofan(1,i) = Rho(r);
Tfan(1,i) = T(r);
%
%
end
%
mufan = 1.458e-6*sqrt(Tfan)./(1+110.4./Tfan); % Viscosidad en el fan
%
K = Perdidas./(0.5.*Rhofan.*Vfan.^2)/0.93;
%
for j = 1:n
%
Kfs = K(1,j); % Pérdidas totales referidas a presión dinámica en el fan
%
Ufs = Vfan(1,j); % Velocidad axial en el fan [m/s]
%
%
x = 0.6:0.05:1;
%
Ns = 7; % Número de palas del straightener
N = 12; % Número de palas del fan
%
Rt = 4.985; % Radio de la punta de la pala [m]
Rr = 2.991; % Radio de la raíz de la pala [m]
%
tcs_tip = 0.12; % Relación espesor cuerda en la punta del straightener
%
%% - Rendimientos - %%
%
rend_fs = 0.93; % Rendimiento global Fan-Straighteners
%
ks_tip = 0.045*tcs_tip + 0.003; % Pérdidas en los álabes del Straightener
%
rend_s_tip = rend_fs*ks_tip/Kfs;
%
rend_f_tip = rend_s_tip + rend_fs;
%
%% - Coeficiente de flujo - %%
%
L_D_tip = 40; % Asumimos esa eficiencia en la punta
%

```

```

lambda_p = zeros(1,10);
lambda_p(1) = 0.4;
%
for i = 2:10
    %
    A = rend_f_tip/( (1 - rend_f_tip)*L_D_tip );
    %
    B = ( 1 - (1 - rend_f_tip)*Kfs/4/rend_fs )/( (1 - rend_f_tip)*L_D_tip );
    %
    C = ( Kfs/4/rend_fs )^2/( (1 - rend_f_tip)*L_D_tip );
    %
    lambda_p(i) = A + B*lambda_p(i-1)^2 + C*lambda_p(i-1)^4;
    %
end
%
lambda_tip = lambda_p(i);
%
%%% - Distribución radial del coeficiente de flujo - %%%
%
lambda = lambda_tip./x;
%
%% - Rotación - %%
%
rpm(1,j) = ( Ufs/lambda_tip/Rt )*60/2/pi; % Velocidad angular de rotación [rpm]
%
end
%
figure(1),plot(M,rpm),xlabel('Mach en la cámara de ensayos'), ylabel('Revoluciones del fan (rpm)')

```

– **TUNEL_FINAL.m**

```

function [P0, P, T0, T, Rho0, Rho, V, M, x, N] = TUNEL_FINAL(Mv,hv)
%
Rg = 287;
gam = 1.4;
%
[P0_d,Rho0_d,T0_d,K_d,G]=magnitudes_tunel_directo(Mv,hv);
%
[P0_i,Rho0_i,T0_i,K_i]=magnitudes_tunel_inverso(Mv,hv);
%
[mum, P0m, T0m, Mm] = tramovuelo(Mv,hv);
%
[m, x, N] = machtunel(Mm);
%
M = m;
%
P0 = [];

```

```

T0 = [];
%
for k = 1:7
%
if k == 5
%
else
if k > 5 % Para evitar el problema con las N
%
%%% - Presión - %%%
%
p0 = P0_d(k) + (P0_d(k+1) - P0_d(k))*(0:(N(k)-1))/N(k);
%
P0 = [P0, p0];
%
%%% - Temperatura - %%%
%
t0 = T0_d(k) + (T0_d(k+1) - T0_d(k))*(0:(N(k)-1))/N(k);
%
T0 = [T0, t0];
%
else
%
%%% - Presión - %%%
%
p0 = P0_d(k) + (P0_d(k+1) - P0_d(k))*(0:(N(k)-1))/N(k);
%
P0 = [P0, p0];
%
%%% - Temperatura - %%%
%
t0 = T0_d(k) + (T0_d(k+1) - T0_d(k))*(0:(N(k)-1))/N(k);
%
T0 = [T0, t0];
%
end
end
%
end
%
for k = 8:14
%
%%% - Presión - %%%
%
p0 = P0_i(16-k) + (P0_i(15-k) - P0_i(16-k))*(0:(N(k)-1))/N(k);
%
P0 = [P0, p0];
%
%%% - Temperatura - %%%
%

```

```

t0 = T0_i(16-k) + (T0_i(15-k) - T0_i(16-k))*(0:(N(k-1)-1))/N(k-1);
%
T0 =[T0, t0];
%
end
%
AUX = 1 + (gam-1)/2*M.^2;
%
%%% - Presión - %%%
%
P = P0./AUX.^(gam/(gam-1));
%
%%% - Temperatura - %%%
%
T = T0./AUX;
%
%%% - Densidad - %%%
%
Rho0 = P0./T0/Rg;
Rho = P./T/Rg;
%
%%% - Velocidad - %%%
%
V = M.*sqrt(gam*Rg*T);
%
end

```

– **FAN.m**

```

clear all; close all; clc;
%
%%% - FAN - %%%
%
% En los straighteners tendremos espesor constante
%
x = 0.6:0.05:1;
%
Ns = 7;      % Número de palas del straightener
N = 12;     % Número de palas del fan
%
%%% - M = 0.95
%
Kfs = 0.7953; % Pérdidas totales referidas a presión dinámica en el fan
%
Ufs = 66.17; % Velocidad axial en el fan [m/s]
rhofs = 1.177; % Densidad en el fan [kg/m3]
mufs = 1.771e-5; % Viscosidad en el fan [Pa·s]
%

```

```

%% - M = 0.3
%
%Kfs = 0.789; % Pérdidas totales referidas a presión dinámica en el fan
%
%Ufs = 32.79; % Velocidad axial en el fan [m/s]
%rhofs = 5.846; % Densidad en el fan [kg/m3]
%muks = 1.823e-5; % Viscosidad en el fan [Pa·s]
%
%% - M = 0.1
%
%Kfs = 0.7986; % Pérdidas totales referidas a presión dinámica en el fan
%
%Ufs = 11.47; % Velocidad axial en el fan [m/s]
%rhofs = 5.844; % Densidad en el fan [kg/m3]
%muks = 1.835e-5; % Viscosidad en el fan [Pa·s]
%
Rt = 4.985; % Radio de la punta de la pala [m]
Rr = 2.991; % Radio de la raíz de la pala [m]
%
tcs_tip = 0.12; % Relación espesor cuerda en la punta del straightener
%
%% - Rendimientos - %%
%
rend_fs = 0.93; % Rendimiento global Fan-Straighteners
%
ks_tip = 0.045*tcs_tip + 0.003; % Pérdidas en los álabes del Straightener
%
rend_s_tip = rend_fs*ks_tip/Kfs;
%
rend_f_tip = rend_s_tip + rend_fs;
%
%% - Coeficiente de flujo - %%
%
L_D_tip = 40; % Asumimos esa eficiencia en la punta
%
lambda_p = zeros(1,10);
lambda_p(1) = 0.4;
%
for i = 2:10
    %
    A = rend_f_tip/( (1 - rend_f_tip)*L_D_tip );
    %
    B = ( 1 - (1 - rend_f_tip)*Kfs/4/rend_fs )/( (1 - rend_f_tip)*L_D_tip );
    %
    C = ( Kfs/4/rend_fs )^2/( (1 - rend_f_tip)*L_D_tip );
    %
    lambda_p(i) = A + B*lambda_p(i-1)^2 + C*lambda_p(i-1)^4;
    %
end
%
```

```

lambda_tip = lambda_p(i);
%
%%% - Distribución radial del coeficiente de flujo - %%%
%
lambda = lambda_tip./x;
%
%% - Rotación y velocidad radial - %%
%
rpm = ( Ufs/lambda_tip/Rt ) * 60 / 2 / pi; % Velocidad angular de rotación [rpm]
%
w_tip = rpm * Rt * 2 * pi / 60; % Velocidad de giro en la punta [m/s]
%
%% - Coeficiente de rotación - %%
%
epsilon = lambda * Kfs / 2 / rend_fs; % Comparar en la raíz para ver pérdida con gráfico
3.23
%
%% - Álabes del Straightener - %%
%
Cs = 2 * pi / Ns * Rt * x;
%
ts = 0.12 * 2 * pi / Ns * Rt;
%
t_C_s = ts ./ Cs;
%
ks = 0.045 * ts ./ Cs + 0.003;
%
rend_s = rend_fs / Kfs * ks;
%
%% - Eficiencia de cada sección del fan - %%
%
rend_f = rend_fs + rend_s;
%
%% - Eficiencia de cada sección - %%
%
D = rend_f / ( 1 - rend_f );
%
E = ( 1 - ( 1 - rend_f_tip ) * Kfs / 4 / rend_fs ) ./ ( 1 - rend_f );
%
F = ( Kfs / 4 / rend_fs ) ^ 2 ./ ( 1 - rend_f );
%
cl_cd = D ./ lambda + E .* lambda + F .* lambda.^3;
%
%% - Ángulo del flujo - %%
%
tan_phi = lambda ./ ( 1 - 0.5 * epsilon .* lambda );
%
phi = atan(tan_phi); % Ángulo del flujo en radianes.
%
%% - Cuerda aproximada - %%

```

```

%
dTdx = 2*x.*( Kfs + ks - epsilon.^2 );
%
cl_aprox = cl_cd*0.0125; % Multiplicamos por esta razón de forma aproximada
cT_aprox = cl_aprox.*cos(phi);
%
c_aprox = dTdx.*x.*sin(phi).^2*pi*Rt./cT_aprox/N;
%
%% - Reynolds aprox. basado en la cuerda y velocidad relativa - %%
%
V = sqrt( Ufs^2 + w_tip^2 );
%
Re_aprox = rhofs/mufs*V*c_aprox;
%
%% - Datos reales del gráfico - %%
%
cl = [ 0.42, 0.42875, 0.4375, 0.44625, 0.455, 0.46375, 0.4725, 0.48125, 0.49 ];
cd = [ 0.0125, 0.0124375, 0.012375, 0.0123125, 0.01225, 0.0121875, 0.012125,
0.0120625, 0.012 ];
%
alfa = -[ 1.6, 1.5275, 1.455, 1.3825, 1.31, 1.2375, 1.165, 1.0925, 1.02 ]; % En grados
%
L_D = cl./cd;
%
beta = alfa + phi*180/pi; % Ángulo de paso en grados
%
cT = cl.*cos(phi);
%
c = dTdx.*x.*sin(phi).^2*pi*Rt./cT/N;
%
%% - Espesor del perfil - %%
%
xp = [ 0, 0.0125, 0.025, 0.05, 0.075, 0.1, 0.15, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 0.95,
1 ];
z_c = [ 0.0135, 0.037, 0.0538, 0.078, 0.0925, 0.103, 0.1174, 0.125, 0.129, 0.1269,
0.122, 0.112, 0.096, 0.0740, 0.047, 0.0326, 0.01 ];
%
t_p = z_c*c;
%

```


Diseño y construcción de un túnel de viento para
ensayos en régimen subsónico y transónico

DOCUMENTO 2: PLANOS

ÍNDICE

1. CÁMARA DE ENSAYOS.
2. PRIMER DIFUSOR.
3. SEGUNDO DIFUSOR.
4. PRIMER Y SEGUNDO CODO.
5. TERCER Y CUARTO CODO.
6. ADAPTADOR.
7. CONTRACCIÓN.
8. CÁMARA DE ESTABILIZACIÓN.
9. SECCIÓN DEL FAN.
10. DETALLE ÁLABE.
11. DETALLE CORONA ÁLABES
12. BARQUILLA Y RECTIFICADORES.
13. SECCIÓN DE IMPULSIÓN.
14. DETALLE ACONDICIONADOR.
15. PLANTA DE LAS INSTALACIONES.
16. PERSPECTIVAS TÚNEL COMPLETO.
17. EDIFICIO DEL MOTOR.
18. EDIFICIO PRINCIPAL P.B. (PLANTA BAJA).
19. EDIFICIO PRINCIPAL P.P. (PRIMERA PLANTA).
20. EDIFICIO DE ENSAYOS P.B. (PLANTA BAJA).
21. EDIFICIO DE ENSAYOS P.P. (PRIMERA PLANTA).
22. APARCAMIENTO.

D

C

B

A

4

4

3

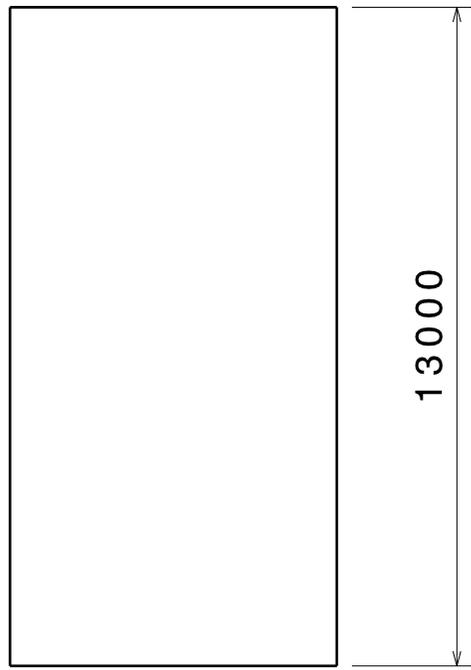
3

2

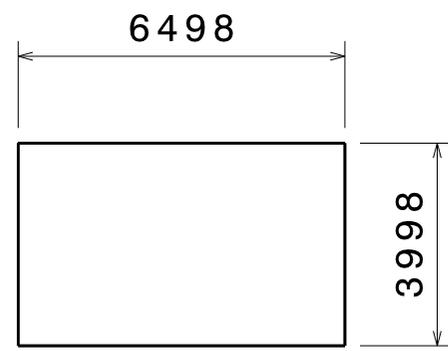
2

1

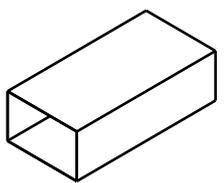
1



Front view
Scale: 1:150



Front view
Scale: 1:150

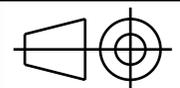


Isometric view
Scale: 1:500

DISEÑADO POR:
Daniel Enrique
Martínez Coza
FECHA:
13/09/2016

**Diseño y construcción de
un túnel de viento para ensayos
en régimen subsónico y transónico**

TAMANO:
A4



Cámara de ensayos

ESCALA:
1:120

Blank space for additional drawing information.

HOJA:
01/22

D

A

D

C

B

A

4

4

3

3

2

2

1

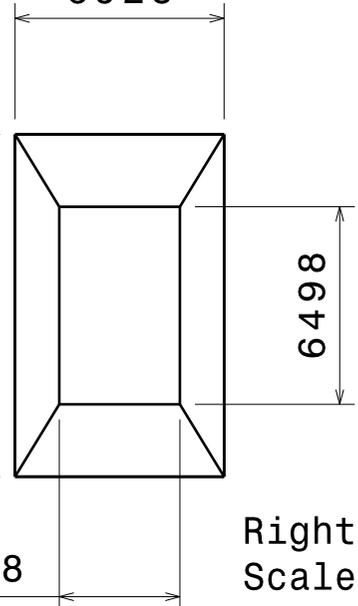
1

6928

11258

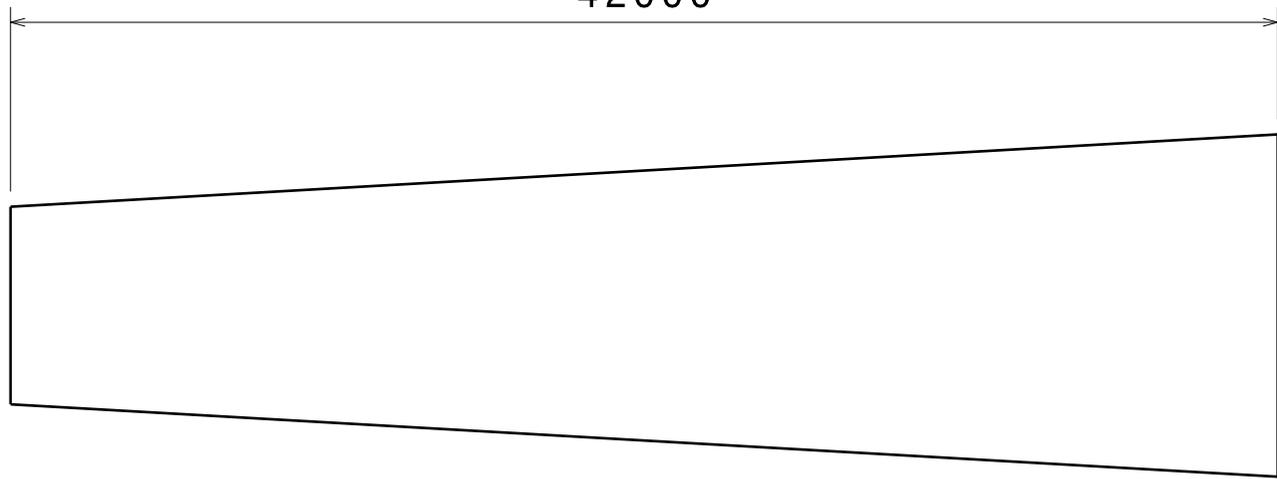
6498

3998

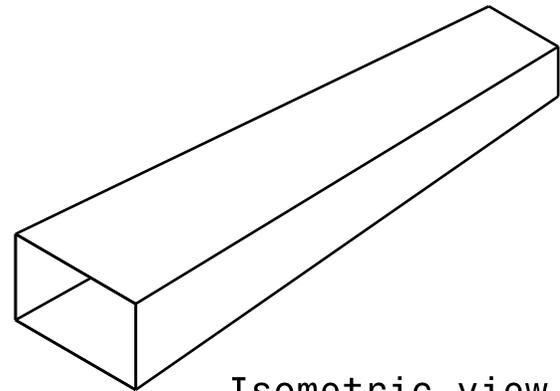


Right view
Scale: 1:250

42000



Front view
Scale: 1:250

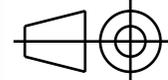


Isometric view
Scale: 1:500

DISEÑADO POR:
**Daniel Enrique
 Martínez Coza**
 FECHA:
13/09/2016

**Diseño y construcción de
 un túnel de viento para ensayos
 en régimen subsónico y transónico**

TAMANO:
A4



Primer difusor

ESCALA:
1:250

HOJA:
02/22

D

A

D

C

B

A

9798

41000

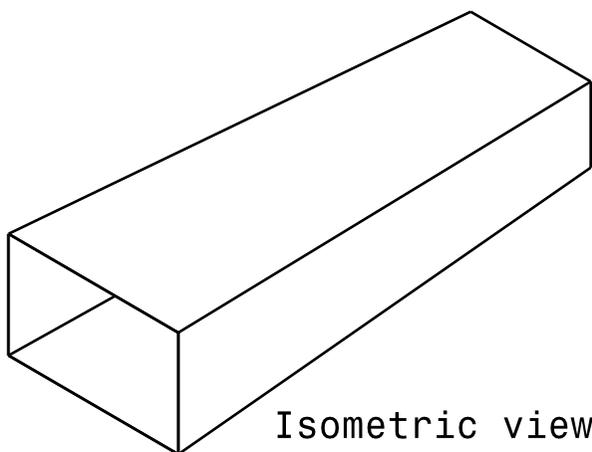
15918

11258

6928

Right view
Scale: 1:250

Front view
Scale: 1:250



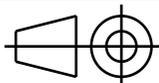
Isometric view
Scale: 1:500

DISEÑADO POR:
Daniel Enrique
Martínez Coza
FECHA:
13/09/2016

**Diseño y construcción de
un túnel de viento para ensayos
en régimen subsónico y transónico**

TAMANO:

A4



Segundo difusor

ESCALA:

1:250

HOJA:

03/22

D

A

4

3

2

1

4

3

2

1

D

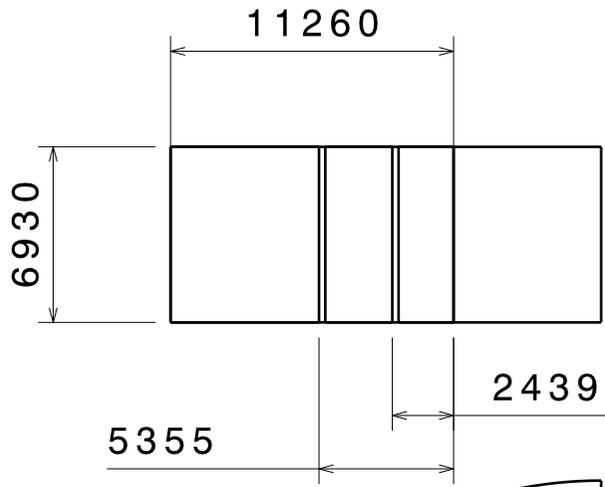
C

B

A

4

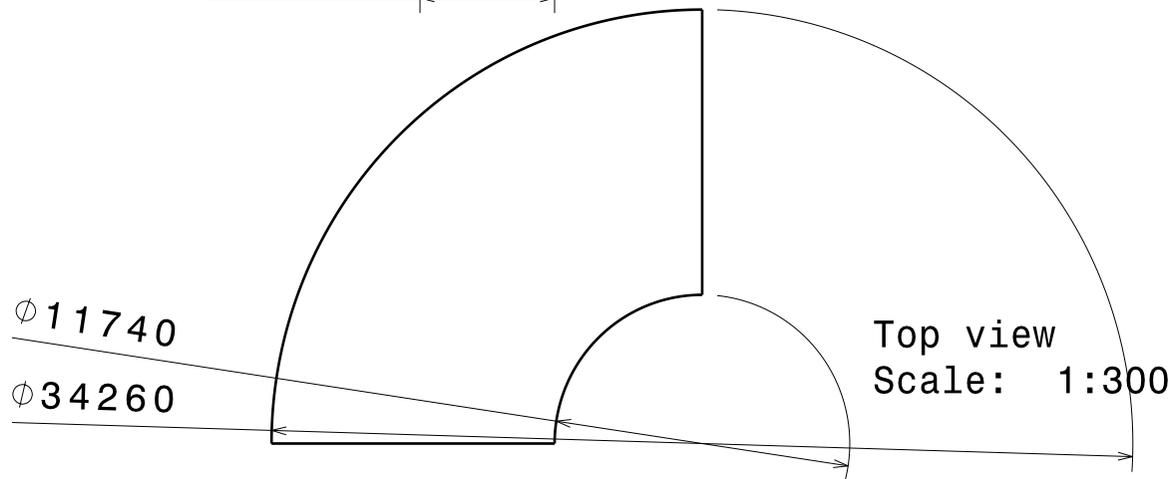
4



Front view
Scale: 1:300

3

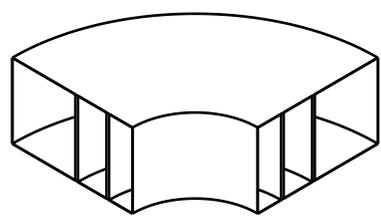
3



Top view
Scale: 1:300

2

2



Isometric view
Scale: 1:500

1

1

DISEÑADO POR:
Daniel Enrique
Martínez Coza
FECHA:
13/09/2016

**Diseño y construcción de
un túnel de viento para ensayos
en régimen subsónico y transónico**

TAMANO:
A4

Primer y segundo codo

ESCALA:
1:500

HOJA:
04/22

D

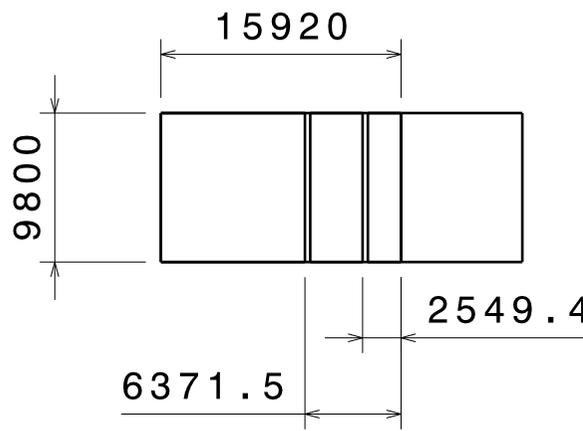
A

D

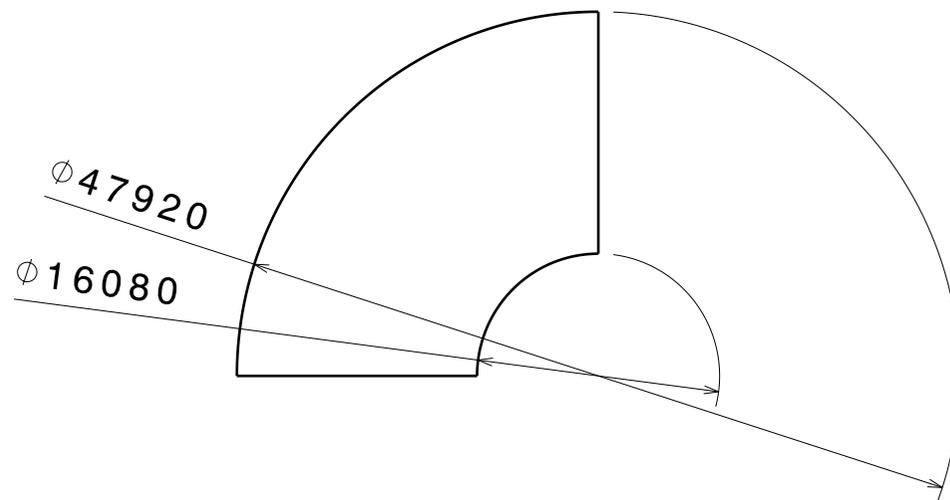
C

B

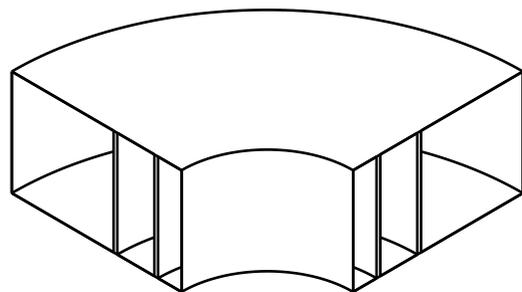
A



Front view
Scale: 1:500



Top view
Scale: 1:500

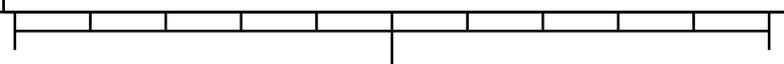


Isometric view
Scale: 1:500

DISEÑADO POR: Daniel Enrique Martínez Coza FECHA: 13/09/2016		Diseño y construcción de un túnel de viento para ensayos en régimen subsónico y transónico	
TAMAÑO: A4			
ESCALA: 1:500			HOJA: 05/22

D

A



4

3

2

1

4

3

2

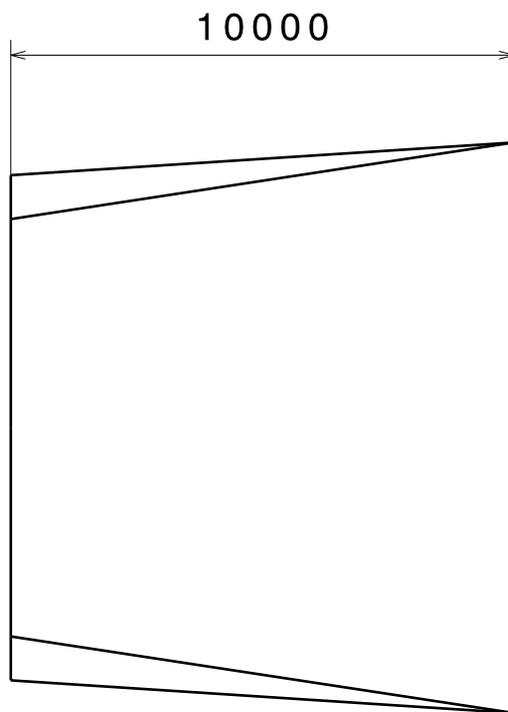
1

D

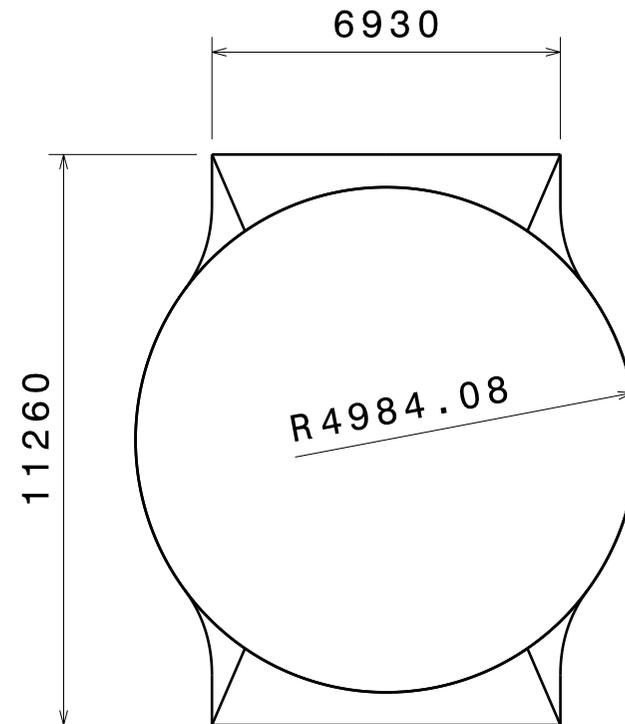
C

B

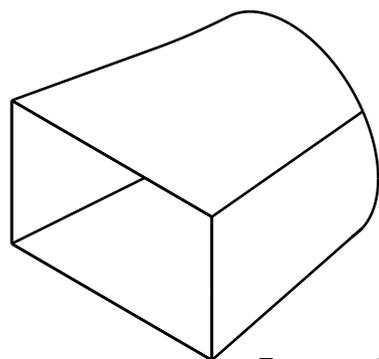
A



Front view
Scale: 1:150



Left view
Scale: 1:150

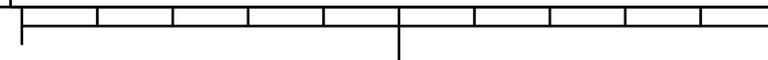


Isometric view
Scale: 1:300

DISEÑADO POR: Daniel Enrique Martínez Coza FECHA: 13/09/2016		Diseño y construcción de un túnel de viento para ensayos en régimen subsónico y transónico	
TAMAÑO: A4		Adaptador	
ESCALA: 1:150			HOJA: 06/22

D

A



4

4

3

3

2

2

1

1

D

C

B

A

4

4

3

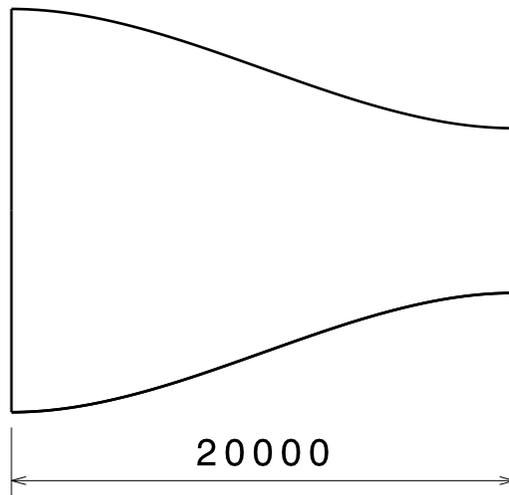
3

2

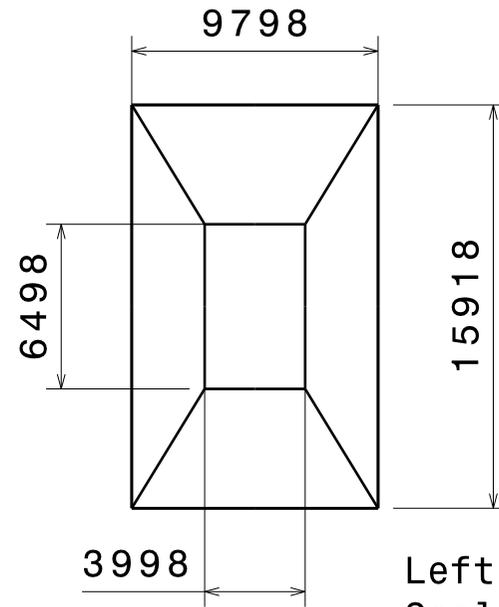
2

1

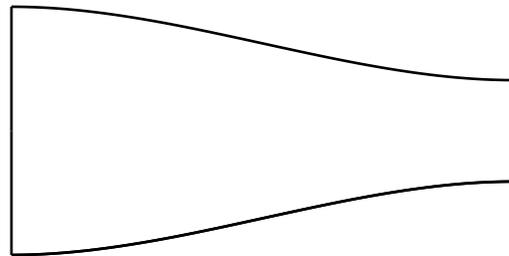
1



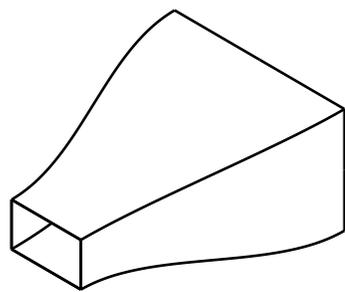
Front view
Scale: 1:300



Left view
Scale: 1:300



Top view
Scale: 1:300

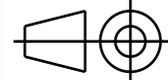


Isometric view
Scale: 1:500

DISEÑADO POR:
**Daniel Enrique
Martínez Coza**
FECHA:
13/09/2016

**Diseño y construcción de
un túnel de viento para ensayos
en régimen subsónico y transónico**

TAMANO:
A4



Contracción

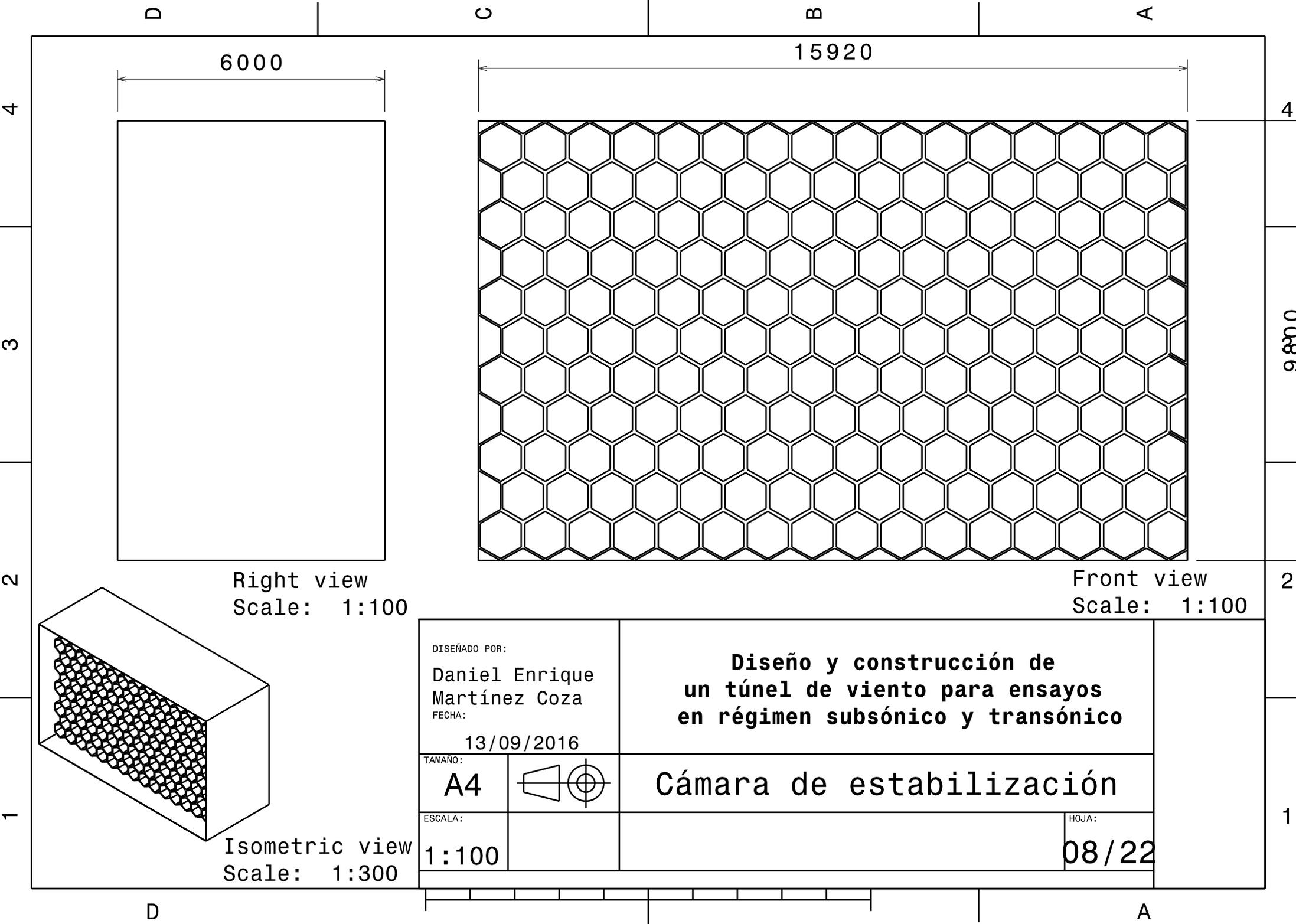
ESCALA:
1:300

HOJA:
07/22

HOJA:
07/22

D

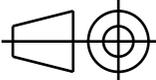
A

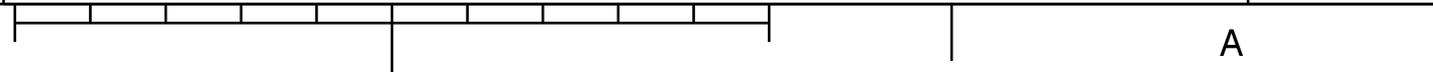


Right view
Scale: 1:100

Front view
Scale: 1:100

Isometric view
Scale: 1:300

DISEÑADO POR: Daniel Enrique Martínez Coza FECHA: 13/09/2016		Diseño y construcción de un túnel de viento para ensayos en régimen subsónico y transónico	
TAMAÑO: A4		Cámara de estabilización	
ESCALA: 1:100			HOJA: 08/22



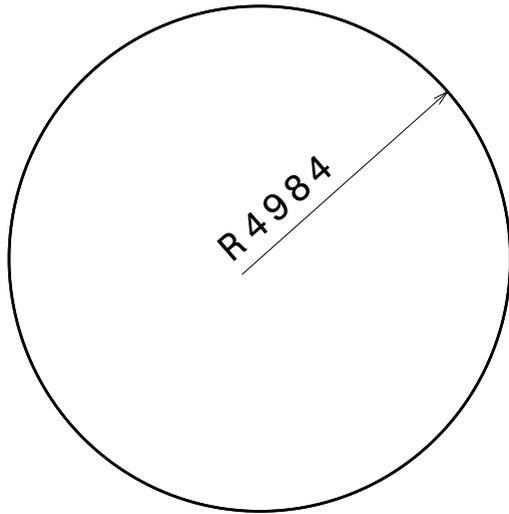
D

C

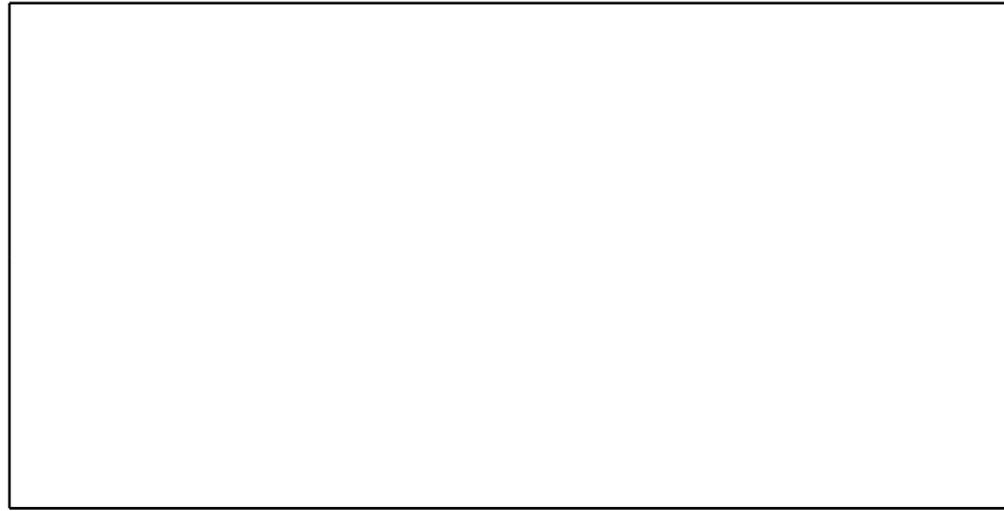
B

A

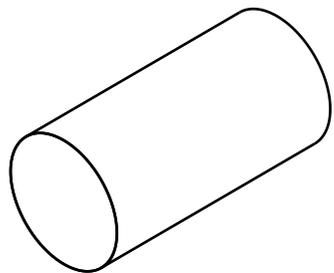
20000



Front view
Scale: 1:150



Left view
Scale: 1:150



Isometric view
Scale: 1:500

DISEÑADO POR:

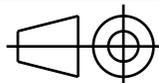
Daniel Enrique
Martínez Coza

FECHA:

13/09/2016

TAMANO:

A4



**Diseño y construcción de
un túnel de viento para ensayos
en régimen subsónico y transónico**

Sección del Fan

ESCALA:

1:150

HOJA:

09/22

D

A

4

4

3

3

2

2

1

1

D

C

B

A

4

4

3

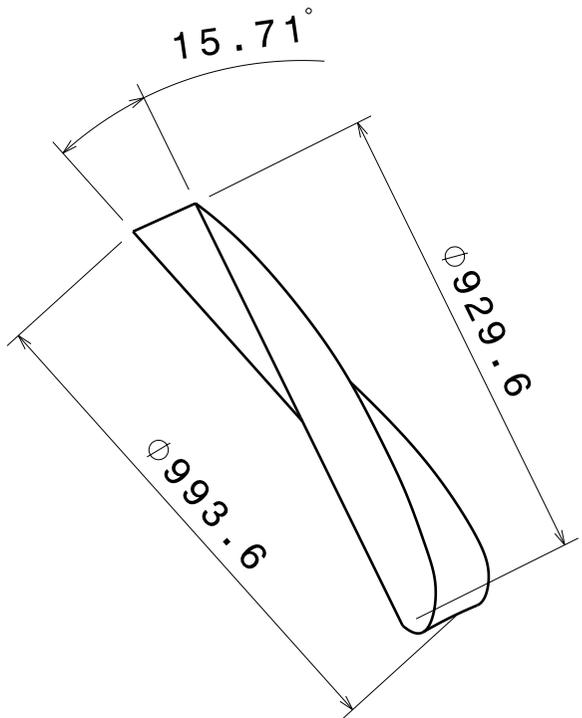
3

2

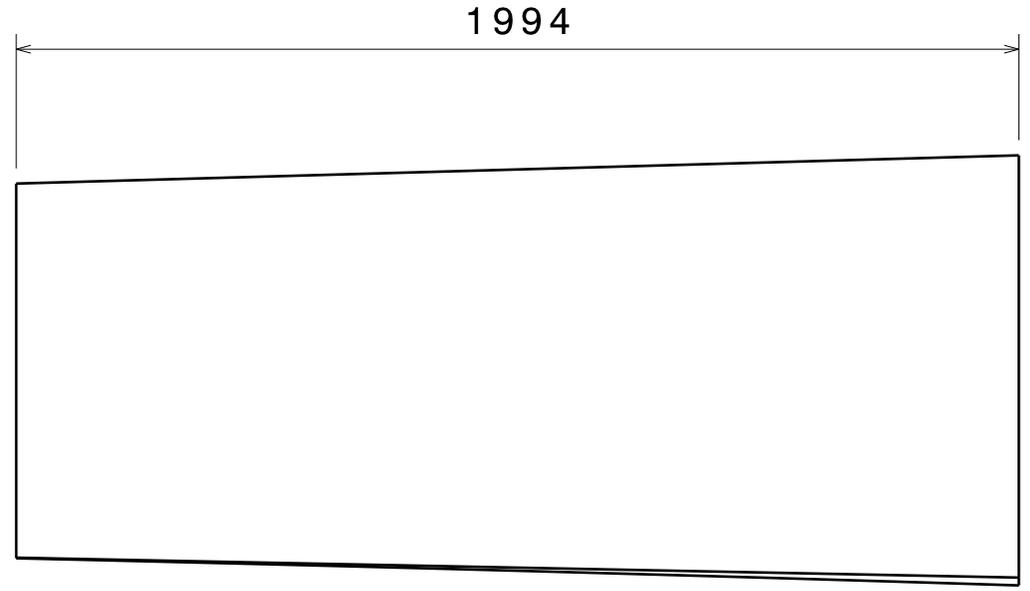
2

1

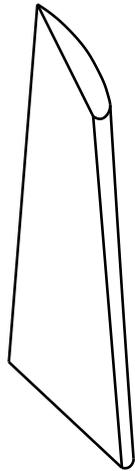
1



Front view
Scale: 1:15



Left view
Scale: 1:15

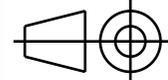


Isometric view
Scale: 1:35

DISEÑADO POR:
Daniel Enrique
Martínez Coza
FECHA:
13/09/2016

**Diseño y construcción de
un túnel de viento para ensayos
en régimen subsónico y transónico**

TAMANO:
A4



Detalle álabes

ESCALA:
1:15

HOJA:
10/22

HOJA:
10/22

D

A

D

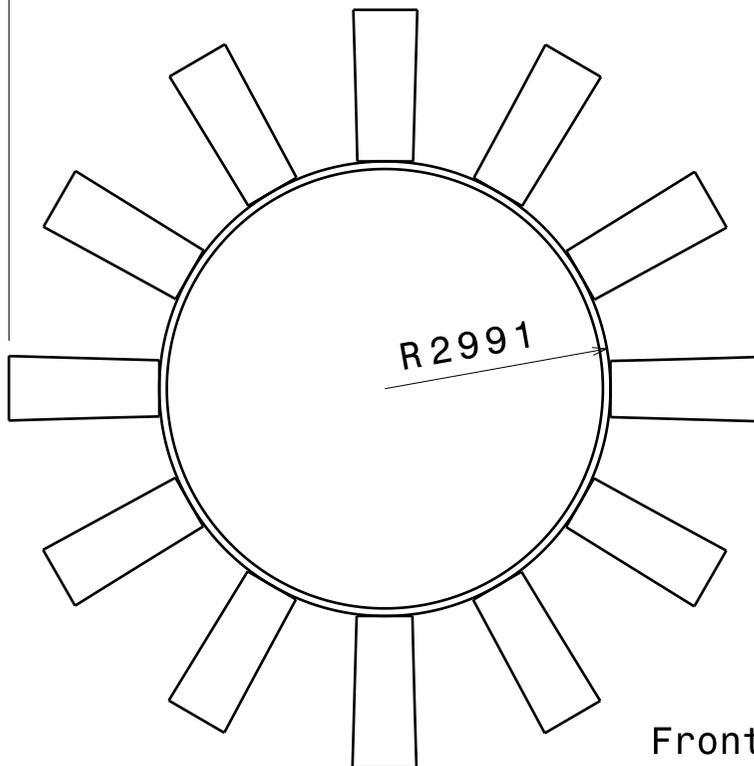
C

B

A

9970

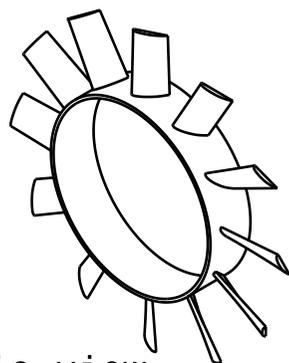
1500



Front view
Scale: 1:100



Left view
Scale: 1:100



Isometric view
Scale: 1:200

DISEÑADO POR:

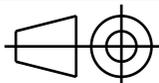
Daniel Enrique
Martínez Coza

FECHA:

13/09/2016

TAMANO:

A4



**Diseño y construcción de
un túnel de viento para ensayos
en régimen subsónico y transónico**

Detalle corona de álabes

ESCALA:

1:100

HOJA:

11/22

D

A

4

3

2

1

D

C

B

A

4

4

3

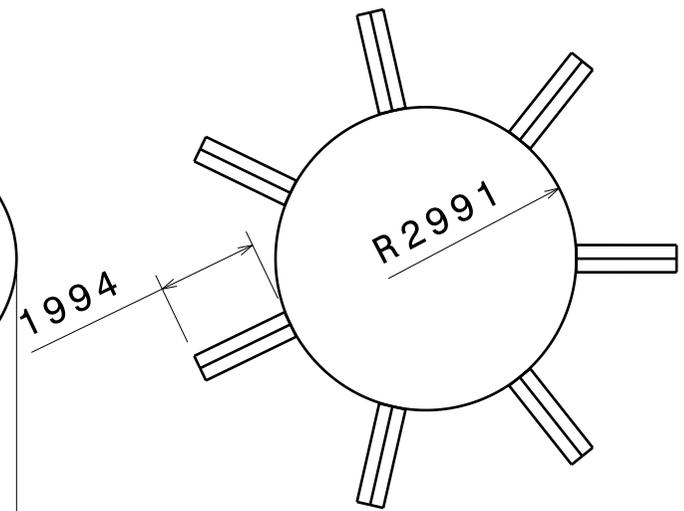
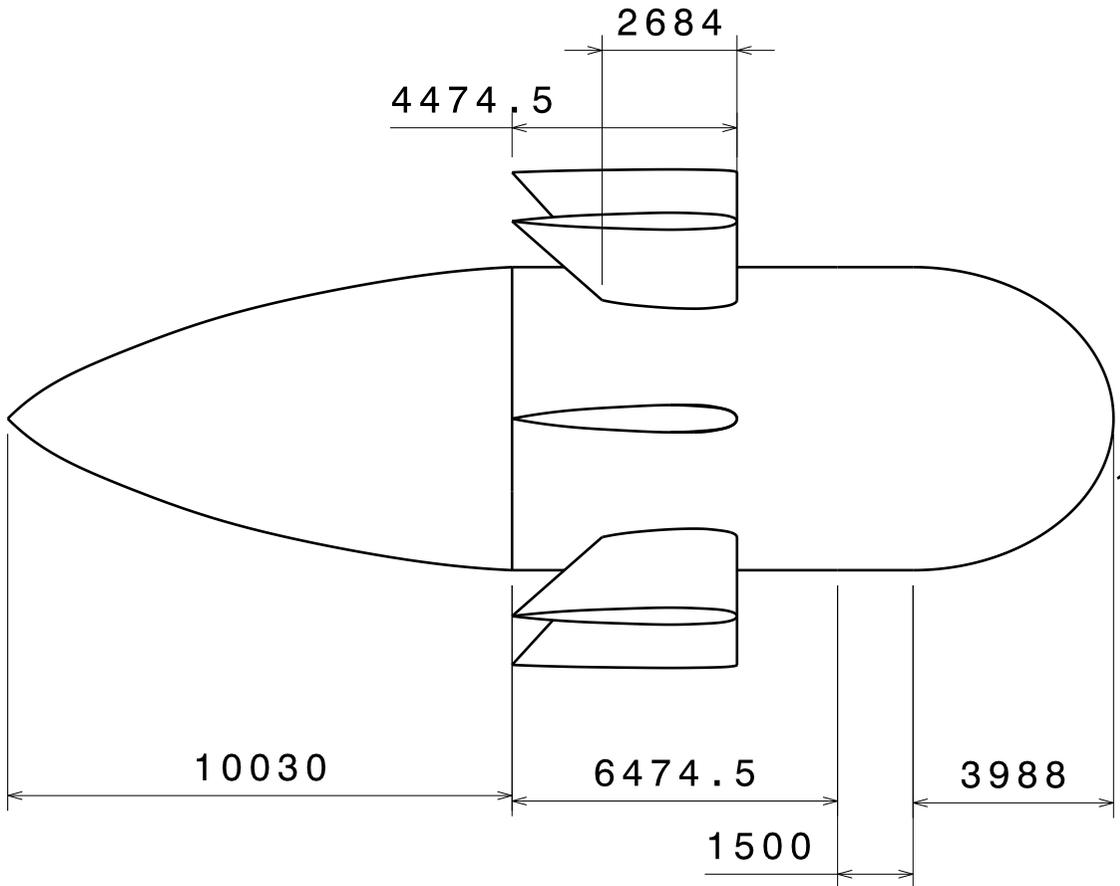
3

2

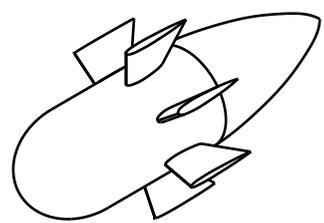
2

1

1



Left view
Scale: 1:150



Isometric view
Scale: 1:400

DISEÑADO POR: Daniel Enrique Martínez Coza FECHA: 13/09/2016		Front view Scale: 1:150 Diseño y construcción de un túnel de viento para ensayos en régimen subsónico y transónico	
TAMAÑO: A4		Barquilla y rectificadores	
ESCALA: 1:150			HOJA: 12/22

D

A

D

C

B

A

4

4

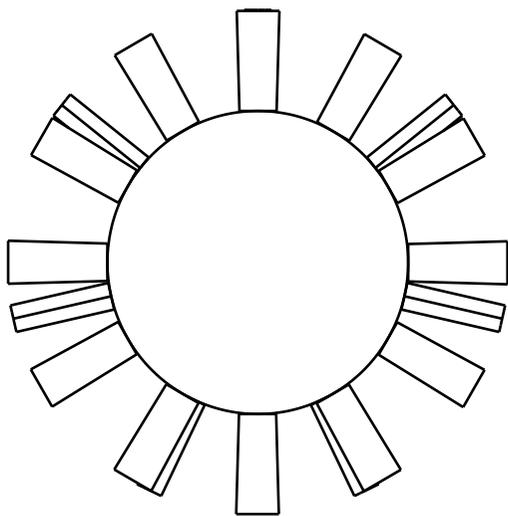
3

3

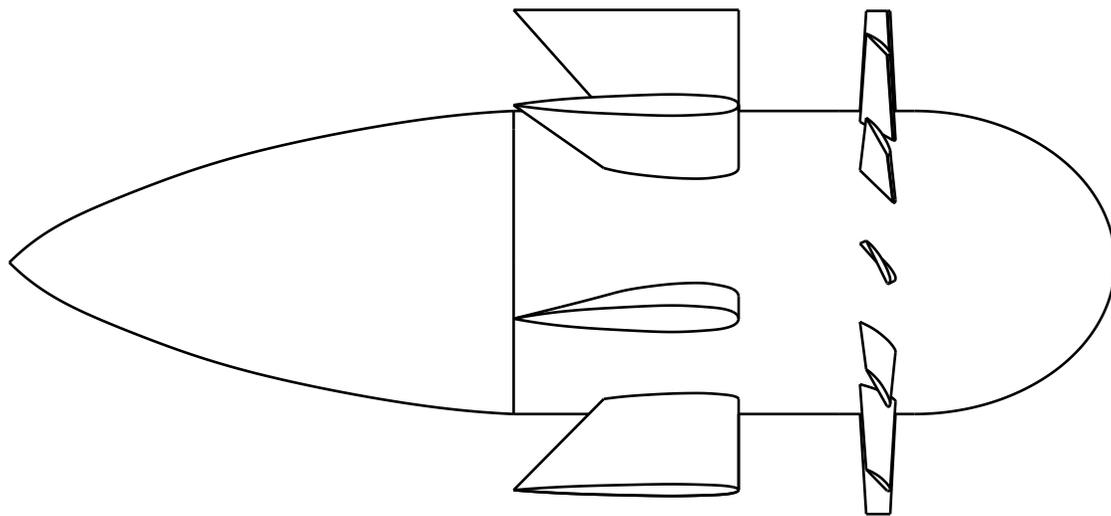
2

1

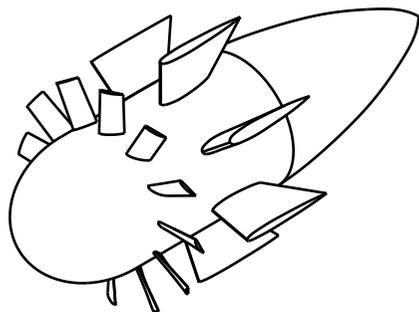
1



Front view
Scale: 1:150



Left view
Scale: 1:150



Isometric view
Scale: 1:300

DISEÑADO POR: Daniel Enrique Martínez Coza FECHA: 13/09/2016		Diseño y construcción de un túnel de viento para ensayos en régimen subsónico y transónico	
TAMAÑO: A4		Sección de impulsión	
ESCALA: 1:150			HOJA: 13/22

A

D

C

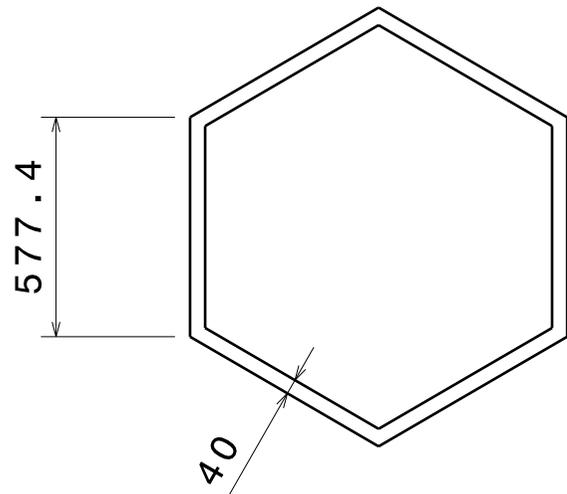
B

A

4

3

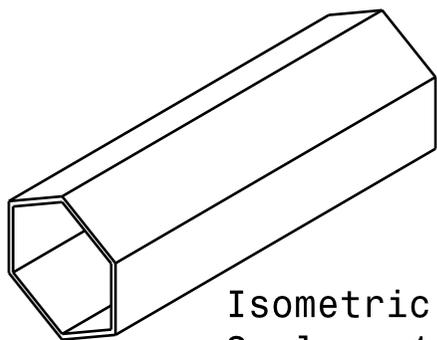
1



Front view
Scale: 1:20



Left view
Scale: 1:20



Isometric view
Scale: 1:50

DISEÑADO POR: Daniel Enrique Martínez Coza FECHA: 13/09/2016		Diseño y construcción de un túnel de viento para ensayos en régimen subsónico y transónico	
TAMAÑO: A4			
ESCALA: 1:20			HOJA: 14/22

D

A

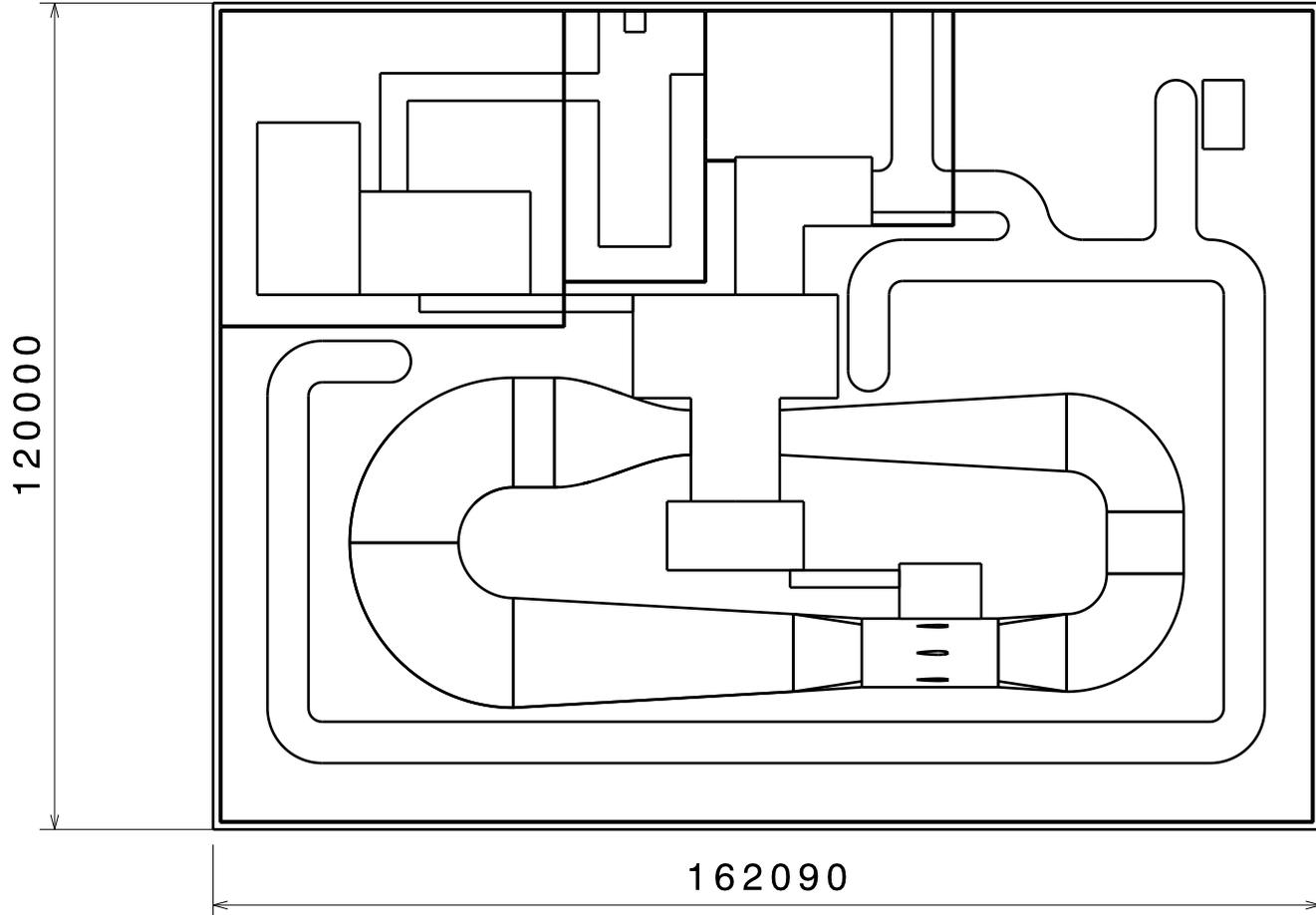


D

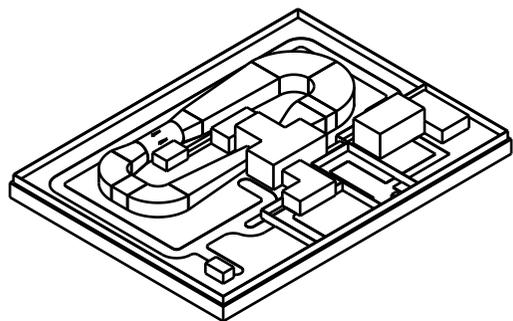
C

B

A



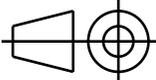
Front view
Scale: 1:1100



Isometric view
Scale: 1:3000

DISEÑADO POR:
**Daniel Enrique
Martínez Coza**
FECHA:
13/09/2016

**Diseño y construcción de
un túnel de viento para ensayos
en régimen subsónico y transónico**

TAMANO:
A4 

Planta de las instalaciones

ESCALA:
1:1100

HOJA:
15/22

A

D

C

B

A

4

4

3

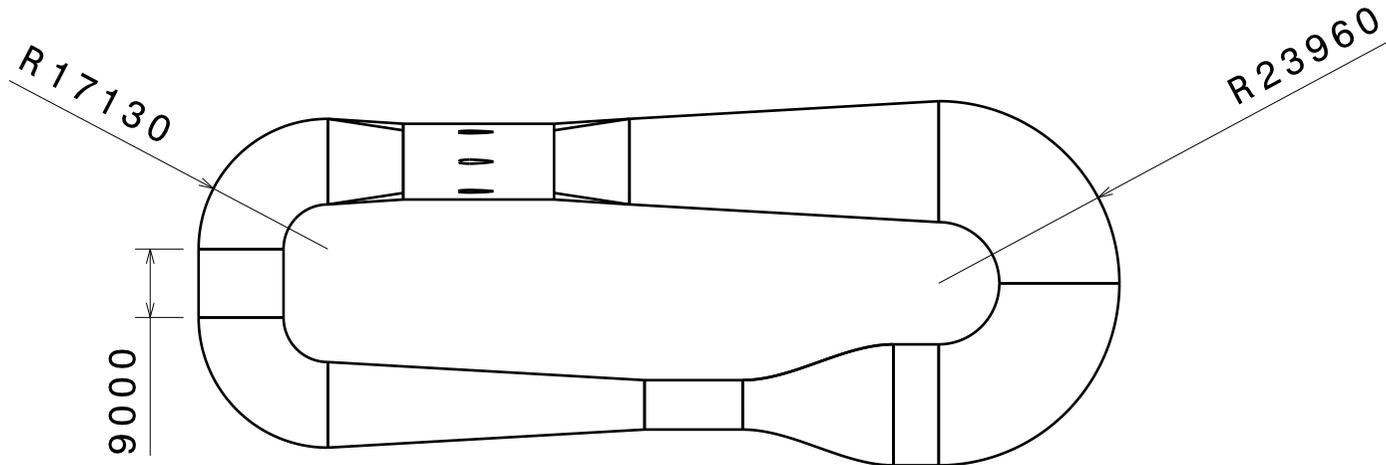
3

2

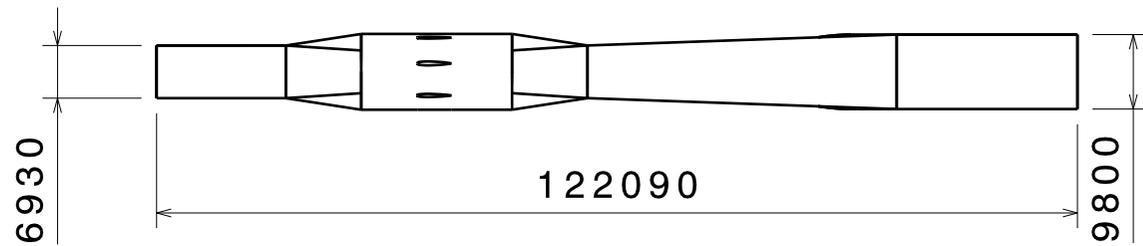
2

1

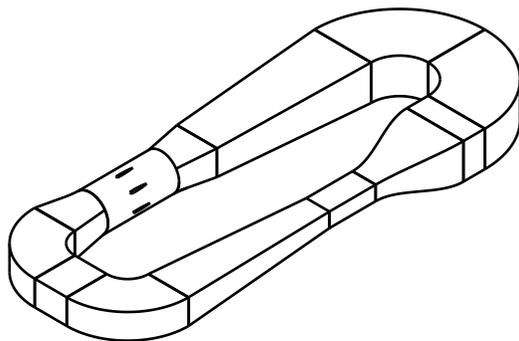
1



Front view
Scale: 1:1000



Top view
Scale: 1:1000

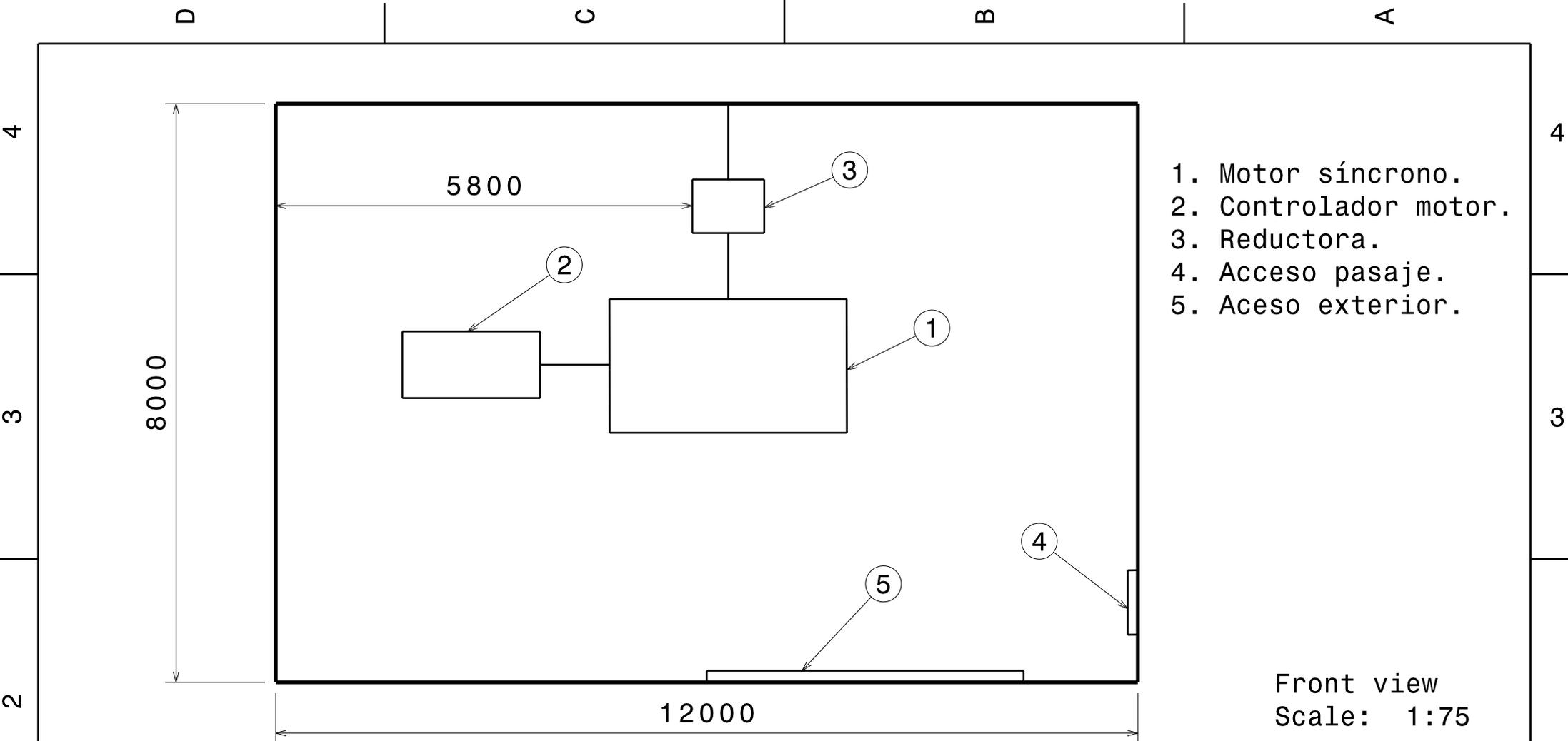


Isometric view
Scale: 1:1500

DISEÑADO POR: Daniel Enrique Martínez Coza FECHA: 13/09/2016		Diseño y construcción de un túnel de viento para ensayos en régimen subsónico y transónico	
TAMAÑO: A4		Perspectivas túnel completo	
ESCALA: 1:1000			HOJA: 16/22

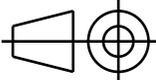
D

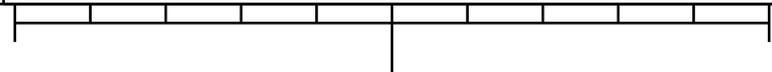
A

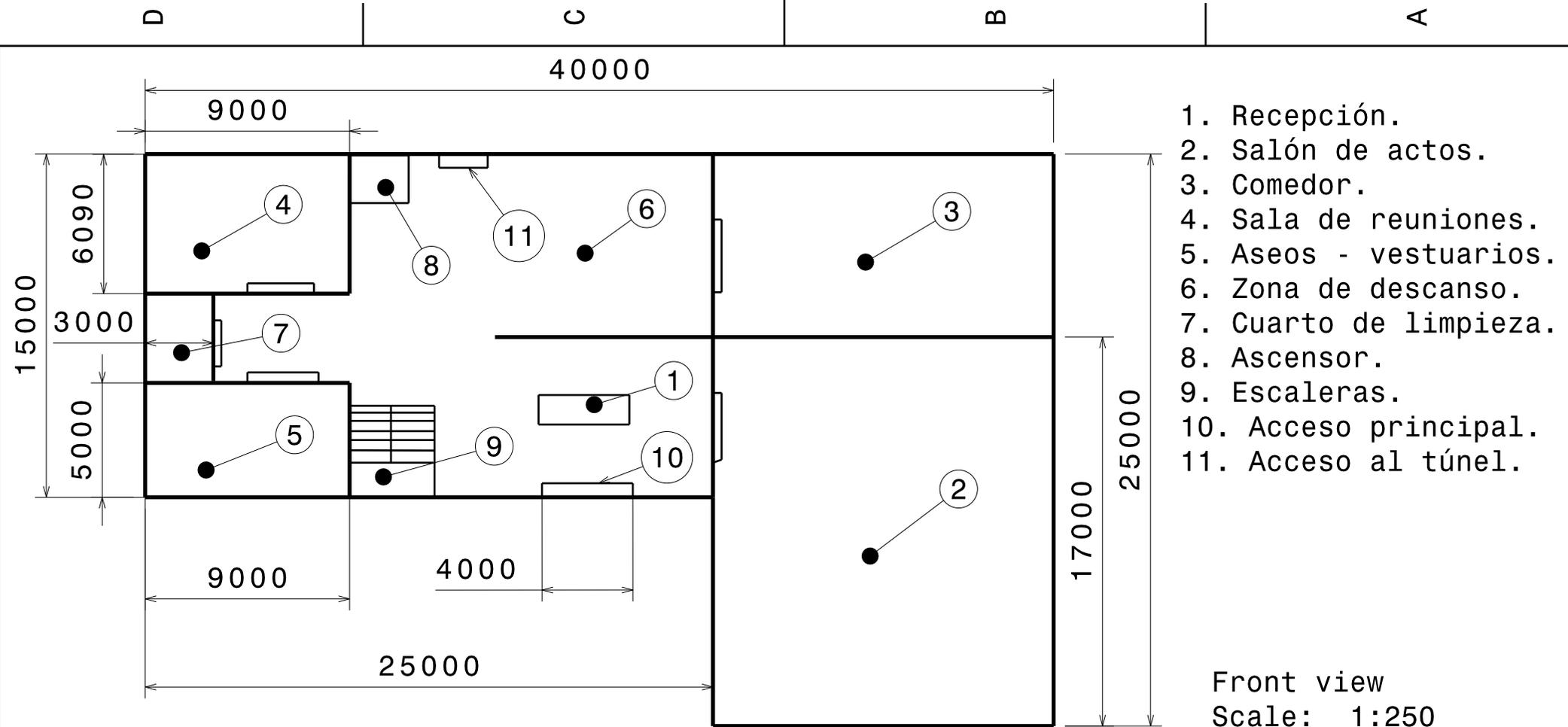


- 1. Motor síncrono.
- 2. Controlador motor.
- 3. Reductora.
- 4. Acceso pasaje.
- 5. Acceso exterior.

Front view
Scale: 1:75

DISEÑADO POR: Daniel Enrique Martínez Coza FECHA: 13/09/2016		Diseño y construcción de un túnel de viento para ensayos en régimen subsónico y transónico	
TAMAÑO: A4		Edificio del motor	
ESCALA: 1:75			HOJA: 17/22





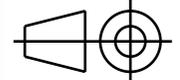
- 1. Recepción.
- 2. Salón de actos.
- 3. Comedor.
- 4. Sala de reuniones.
- 5. Aseos - vestuarios.
- 6. Zona de descanso.
- 7. Cuarto de limpieza.
- 8. Ascensor.
- 9. Escaleras.
- 10. Acceso principal.
- 11. Acceso al túnel.

Front view
Scale: 1:250

DISEÑADO POR:
Daniel Enrique
Martínez Coza
FECHA:
13/09/2016

**Diseño y construcción de
un túnel de viento para ensayos
en régimen subsónico y transónico**

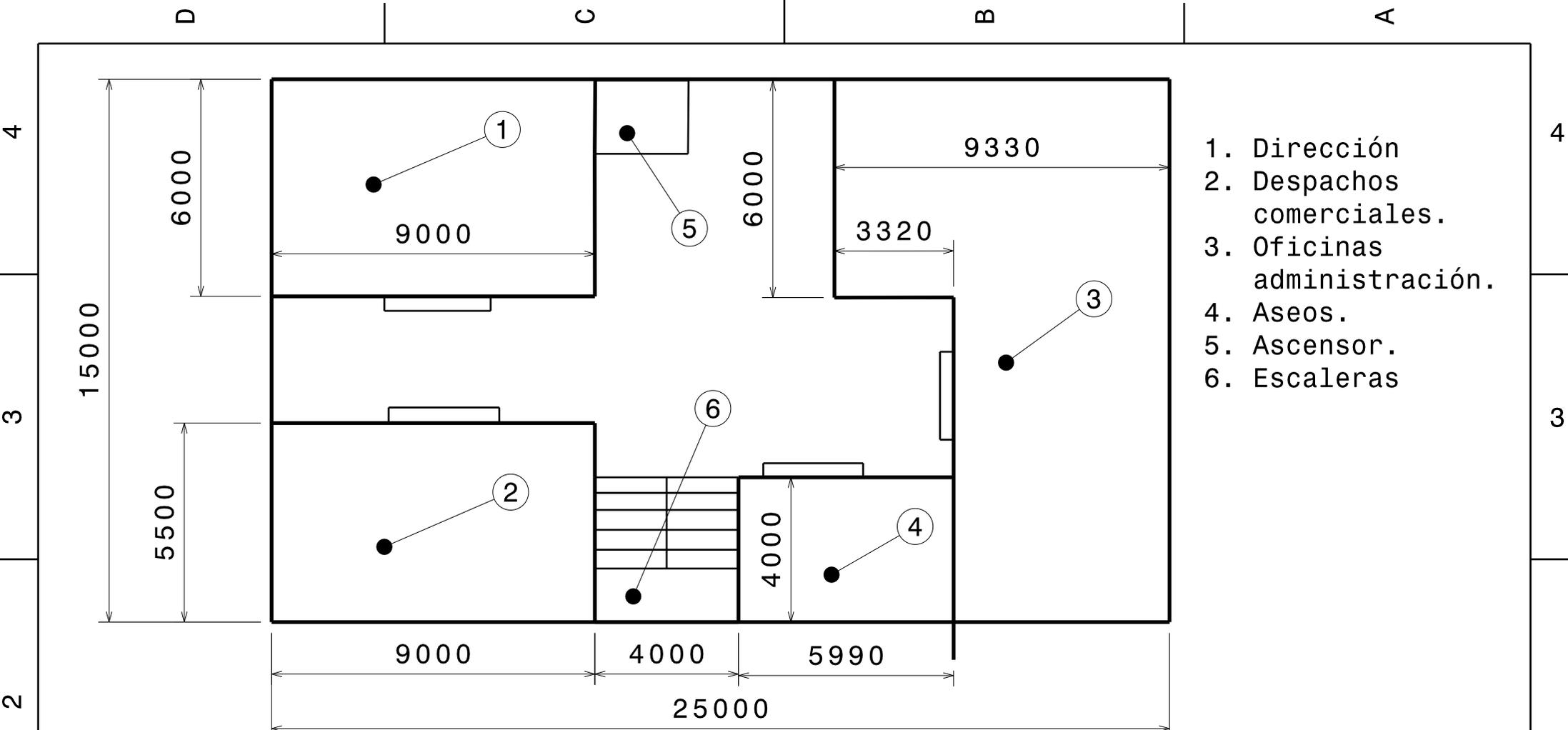
TAMANO:
A4



Edificio principal - P.B.

ESCALA:
1:250

HOJA:
18/22

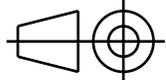


Front view
Scale: 1:150

DISEÑADO POR:
Daniel Enrique
Martínez Coza
FECHA:
13/09/2016

**Diseño y construcción de
un túnel de viento para ensayos
en régimen subsónico y transónico**

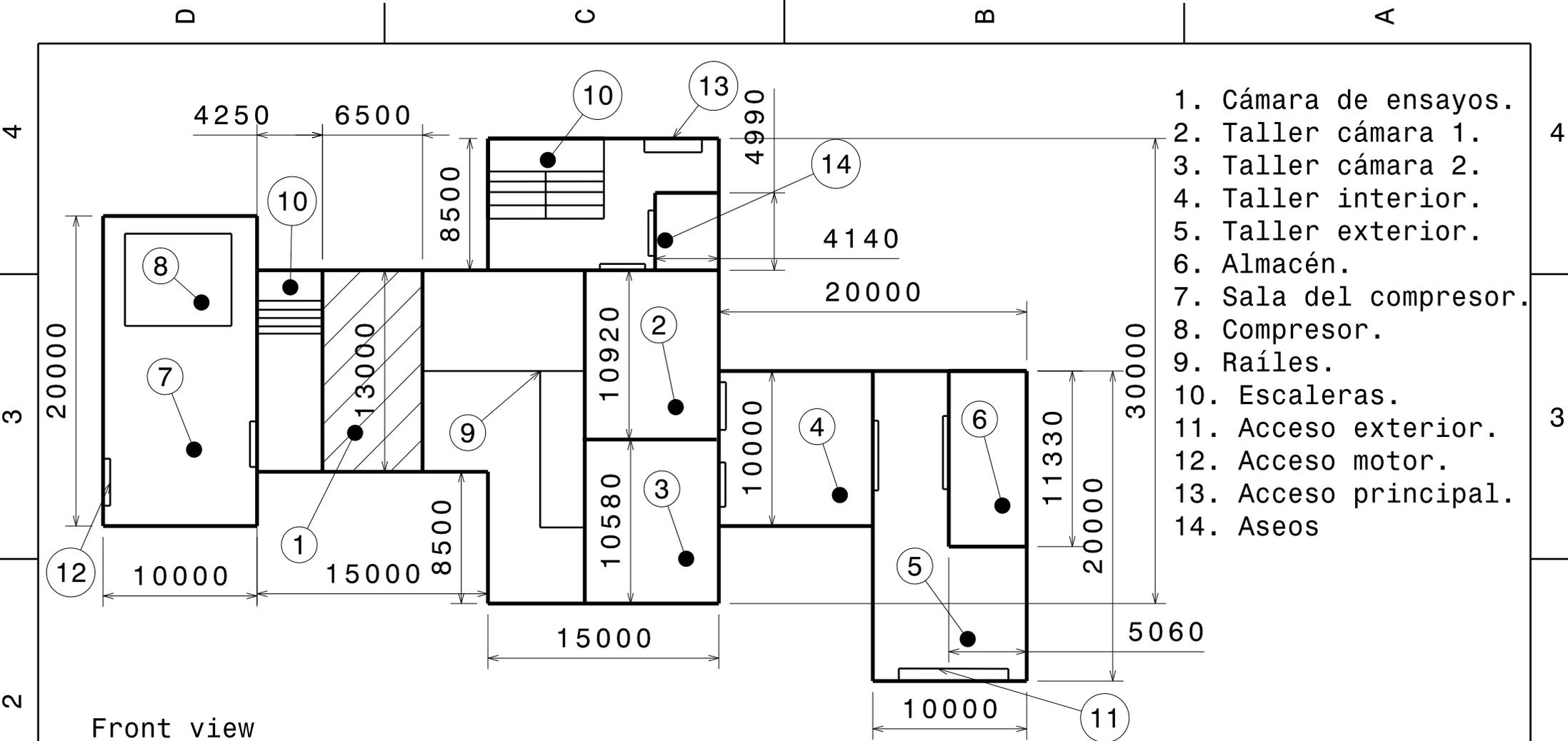
TAMANO:
A4



Edificio principal - P.P.

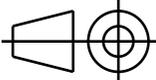
ESCALA:
1:150

HOJA:
19/22



1. Cámara de ensayos.
2. Taller cámara 1.
3. Taller cámara 2.
4. Taller interior.
5. Taller exterior.
6. Almacén.
7. Sala del compresor.
8. Compresor.
9. Raíles.
10. Escaleras.
11. Acceso exterior.
12. Acceso motor.
13. Acceso principal.
14. Aseos

Front view
Scale: 1:350

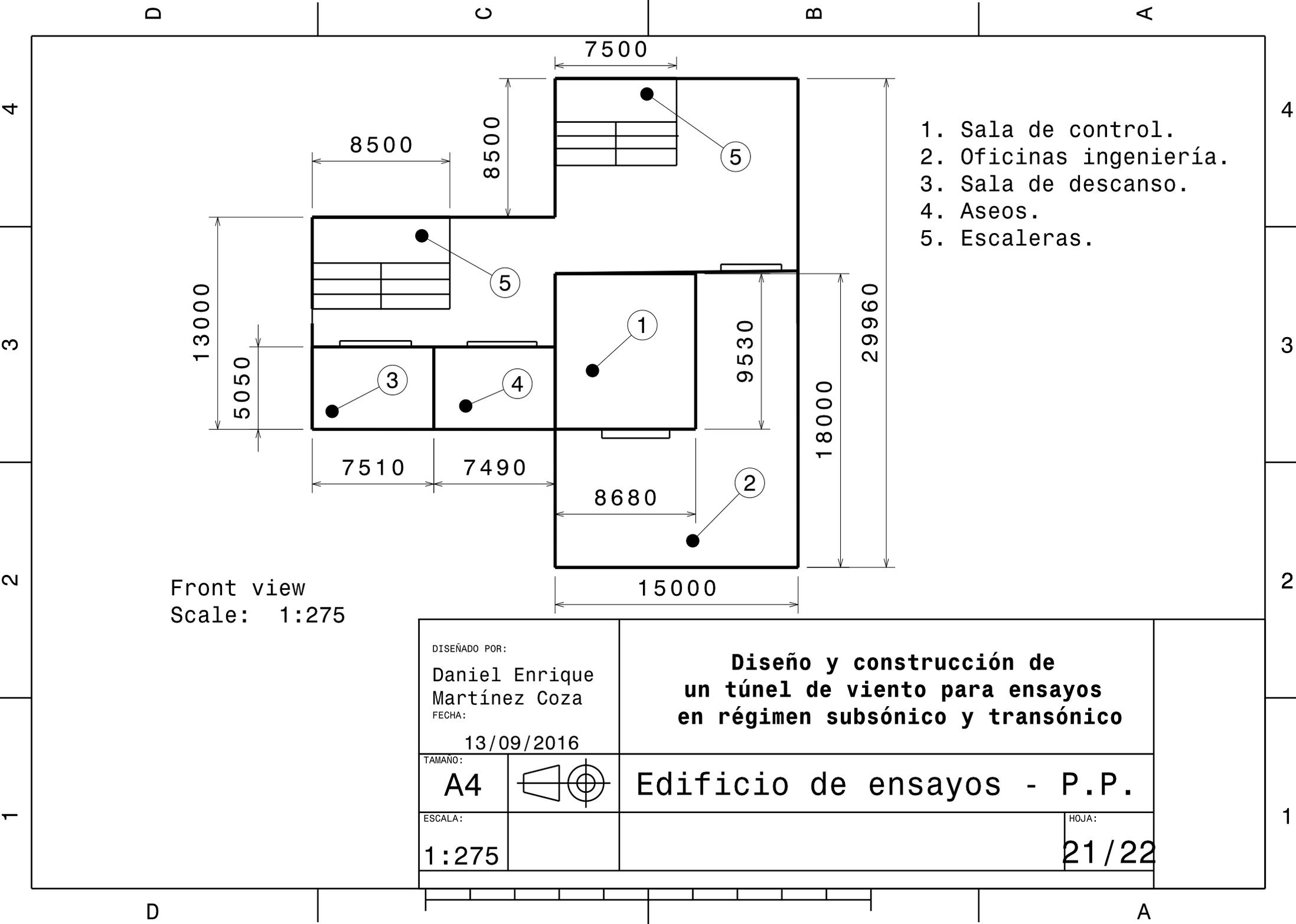
DISEÑADO POR: Daniel Enrique Martínez Coza FECHA: 13/09/2016		Diseño y construcción de un túnel de viento para ensayos en régimen subsónico y transónico	
TAMANO: A4		Edificio de ensayos - P.B.	
ESCALA: 1:350			HOJA: 20/22

4
3
2
1

4
3
2
1

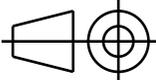
D C B A

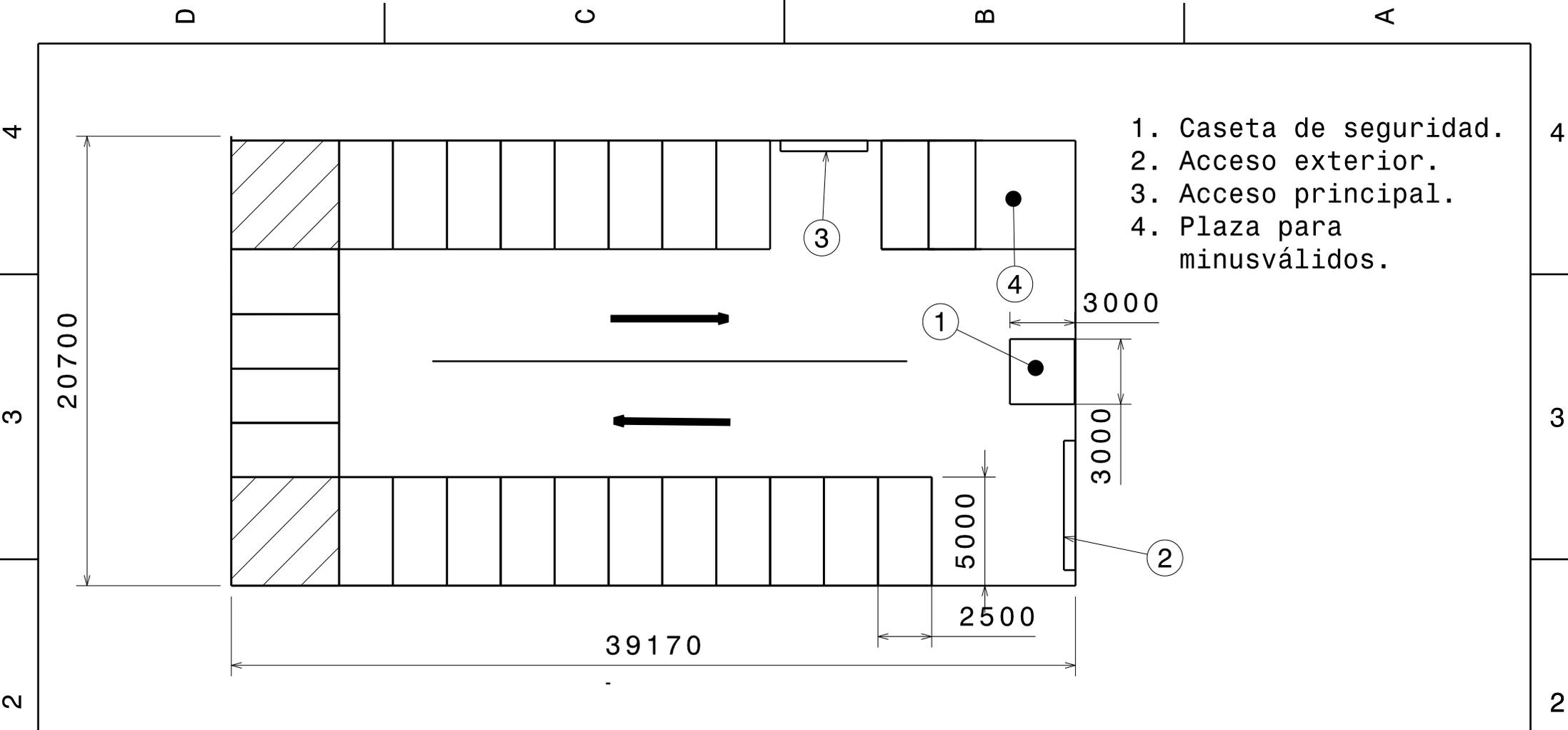
D A



- 1. Sala de control.
- 2. Oficinas ingeniería.
- 3. Sala de descanso.
- 4. Aseos.
- 5. Escaleras.

Front view
Scale: 1:275

DISEÑADO POR: Daniel Enrique Martínez Coza FECHA: 13/09/2016		Diseño y construcción de un túnel de viento para ensayos en régimen subsónico y transónico	
TAMAÑO: A4		Edificio de ensayos - P.P.	
ESCALA: 1:275			HOJA: 21/22



- 1. Caseta de seguridad.
- 2. Acceso exterior.
- 3. Acceso principal.
- 4. Plaza para minusválidos.

DISEÑADO POR: Daniel Enrique Martínez Coza FECHA: 13/09/2016		Diseño y construcción de un túnel de viento para ensayos en régimen subsónico y transónico	
TAMAÑO: A4		Aparcamiento	
ESCALA: 1:275			HOJA: 22/22

Diseño y construcción de un túnel de viento para
ensayos en régimen subsónico y transónico

DOCUMENTO 3: MEDICIONES Y PRESUPUESTO

MEDICIONES Y PRESUPUESTO

En este documento se presentará un presupuesto tentativo para la ejecución material del proyecto constructivo. Se encontrará desglosado en los capítulos siguientes:

1. Movimiento de tierras.
2. Cimentación del túnel de viento
3. Edificaciones.
4. Túnel de viento.
5. Urbanización.
6. Saneamiento y abastecimiento.
7. Instalación eléctrica en MT y BT
8. Estudios previos, ingeniería y dirección de obras
9. Seguridad, salud y control de calidad.

Seguidamente se presenta el presupuesto desglosado:

CAPÍTULO	RESUMEN	Ud	MEDICIÓN	PRECIO [€]	IMPORTE [€]
01	Movimiento de tierras				157.648,00 €
01.1.	Desbroce del terreno	m²	18.880,00	1,25 €	23.600,00 €
01.2.	Transporte de tierras	m²	18.880,00	1,45 €	27.376,00 €
01.3.	Relleno y compactado del terreno	m²	18.880,00	5,65 €	106.672,00 €
02	Cimentación del túnel de viento				2.025.871,20 €
02.1.	Mejora del terreno	m²	3.012,00	21,60 €	65.059,20 €
02.2.	Cimentación	m²	3.012,00	651,00 €	1.960.812,00 €
03	Edificaciones				2.708.465,00 €
03.1.	Edificio principal	m²	750,00	1.354,00 €	1.015.500,00 €
03.2.	Edificio túnel	m²	645,00	1.625,00 €	1.048.125,00 €
03.3.	Edificio taller	m²	300,00	956,00 €	286.800,00 €
03.4.	Edificio compresor	m²	200,00	788,00 €	157.600,00 €

03.5.	Edificio motor	m²	96,00	865,00 €	83.040,00 €
03.6.	Subestación eléctrica	m²	60,00	415,00 €	24.900,00 €
03.7.	Pasaje principal	m²	78,00	750,00 €	58.500,00 €
03.8.	Pasaje motor	m²	40,00	850,00 €	34.000,00 €
04	Túnel de viento				9.895.925,35 €
04.1.	Envolvente	m²	8.556,55	950,00 €	8.128.725,35 €
04.2.	Elementos del túnel				
04.2.1.	Fan	ud	1,00	615.000,00 €	615.000,00 €
04.2.2.	Rejilla de seguridad y acondicionadores	ud	1,00	85.600,00 €	85.600,00 €
04.2.3.	Compresor, válvulas, bombas y conductos	ud	1,00	195.600,00 €	195.600,00 €
04.2.4.	Intercambiadores de calor	ud	1,00	55.000,00 €	55.000,00 €
04.3.	Instrumental				
04.3.1.	Sensores: térmicos, presión, aceleración...	ud	1,00	560.000,00 €	560.000,00 €
04.3.2.	Equipos de adquisición de datos	ud	1,00	256.000,00 €	256.000,00 €
05	Urbanización				817.339,00 €
05.1.	Pavimentado	m²	11.468,00	52,50 €	602.070,00 €
05.2.	Jardines	m²	680,00	18,50 €	12.580,00 €
05.3.	Viales	m²	3.810,00	38,45 €	146.494,50 €
05.4.	Parking	m²	753,00	41,50 €	31.249,50 €
05.5.	Cerramiento	m	500,00	31,99 €	15.995,00 €
05.6.	Puertas	ud	1,00	8.950,00 €	8.950,00 €
06	Saneamiento y abastecimiento				510.200,00 €
06.1.	Red de agua potable	ud	1,00	6.500,00 €	6.500,00 €
06.2.	Acometidas	ud	1,00	12.500,00 €	12.500,00 €

06.3.	Alumbrado exterior	ud	1,00	18.700,00 €	18.700,00 €
06.4.	Red general de saneamiento	ud	1,00	17.500,00 €	17.500,00 €
06.5.	Contra incendios y ventilación	ud	1,00	455.000,00 €	455.000,00 €
07	Instalación eléctrica en MT y BT				4.468.000,00 €
07.1.	Motor 15MW	ud	1,00	1.650.000,00 €	1.650.000,00 €
07.2.	Subestación transformación	ud	1,00	2.560.000,00 €	2.560.000,00 €
07.3.	Instalaciones baja tensión	ud	1,00	258.000,00 €	258.000,00 €
08	Estudios previos, ingeniería y dirección de obras				700.000,00 €
08.1.	Estudios Previos		1,00	45.000,00 €	45.000,00 €
08.2.	Ingeniería	ud	1,00	285.000,00 €	285.000,00 €
08.3.	Dirección de obras	ud	1,00	315.000,00 €	315.000,00 €
08.4.	Coordinación de seguridad y salud	ud	1,00	55.000,00 €	55.000,00 €
09	Seguridad, salud y control de calidad	ud			240.830,00 €
09.1.	Medidas de protección personal	ud	1,00	85.155,00 €	85.155,00 €
09.2.	Medidas de protección colectiva	ud	1,00	155.675,00 €	155.675,00 €
TOTAL PRESUPUESTO DE EFECUCIÓN MATERIAL					21.524.278,55 €

La ejecución material del diseño y construcción de un túnel de viento para ensayos en régimen subsónico y transónico tendría un coste aproximado de 21.524.278,55 €.

Diseño y construcción de un túnel de viento para
ensayos en régimen subsónico y transónico

DOCUMENTO 4: PLIEGO DE CONDICIONES

ÍNDICE

	Pag.
1. DEFINICIÓN Y ALCANCE DEL PLIEGO.....	5
1.1. Objeto	5
1.2. Cuerpo normativo.....	5
1.3. Documentos que definen obras	5
1.4. Compatibilidad y relación entre dichos documentos	5
2. CONDICIONES FACULTATIVAS.....	6
2.1. Obligaciones al contratista	6
2.2. Facultades de la dirección técnica	8
2.3. Disposiciones varias	9
3. CONDICIONES ECONÓMICAS.....	10
3.1. Mediciones	10
3.2. Valoraciones.....	11
4. CONDICIONES LEGALES	13
4.1. Recepción de obras.....	13
4.2. Cargos al contratistas.....	14
4.3. Disposiciones varias	15
5. CONDICIONES GENERALES.....	16
6. CUMPLIMIENTO DE LOS PLAZOS	17
7. PLAN DE OBRA Y RELACION DE MAQUINARIA.....	17
7.1. Materiales de depósito.....	17
7.2. Maquinaria y medios auxiliares	18
8. CONTROL DE CALIDAD E INSPECCIÓN Y CONTROL ...	18
9. MANUALES DE MANTENIMIENTO Y PLANOS “AS BUILT”.....	18

1. DEFINICIÓN Y ALCANCE DEL PLIEGO.

1.1 Objeto

El presente pliego regirá en unión de las disposiciones que con carácter general y particular se indican, y tienen por objeto la ordenación de las condiciones técnico-facultativas que han de regir en la ejecución de las obras para el PROYECTO BÁSICO DE DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE UN TÚNEL DE VIENTO PARA ENSAYOS EN RÉGIMEN SUBSÓNICO Y TRANSÓNICO.

1.2 Cuerpo normativo

El cuerpo normativo de aplicación en la ejecución de las obras objeto del presente proyecto será el formado por toda la legislación de obligado cumplimiento que le sea de aplicación en la fecha de la forma del Contrato de adjudicación de las obras.

Si entre la normativa de aplicación existiesen discrepancias, se aplicarán las más restrictivas, salvo que por parte de la Dirección Facultativa se manifieste por escrito lo contrario en el Libro de Órdenes.

Si entre la normativa de aplicación existiese contradicción será la Dirección Facultativa quien manifieste por escrito la decisión a tomar en el Libro de Órdenes.

Será responsabilidad del Contratista cualquier decisión tomada en los supuestos anteriores si esta no está firmada en el Libro de Órdenes por la Dirección Facultativa y por tanto estará obligado a asumir las consecuencias que deriven de las órdenes que debe tomar la Dirección Facultativa para corregir la situación creada.

1.3 Documentos que definen las obras

El presente Pliego, conjuntamente con los otros documentos, memorias, planos y mediciones, forman el proyecto que servirá de base para la ejecución de las obras. Los planos constituyen los documentos que definen la obra en forma geométrica y cuantitativa.

1.4 Compatibilidad y relación entre dichos documentos.

Lo mencionado en los Pliegos de Condiciones y omitido en los Planos, o viceversa, habrá de ser ejecutado como si estuviese expuesto en ambos documentos. En caso de contradicción entre los Planos y los Pliegos de Condiciones, prevalecerá lo prescrito en estos últimos.

Las omisiones en Planos y Pliegos de Condiciones o las descripciones erróneas de los detalles de obra que sean manifiestamente indispensables para llevar a cabo el espíritu o la intención expuestos en los Planos y Pliegos de Condiciones, o que, por uso y costumbre, deben ser realizados, no sólo no eximen al contratista de la obligación de ejecutar esos detalles de obra omitidos o erróneamente descritos, sino que, por el contrario, deberán ser ejecutados como si hubieran sido completa y correctamente

especificados en los Planos y Pliegos de Condiciones sin que suponga variación en el presupuesto de la unidad o el capítulo.

2. CONDICIONES FACULTATIVAS

2.1 Obligaciones del contratista

Art.1. Condiciones técnicas.

Las presentes condiciones técnicas serán de obligada observación por el contratista a quien se adjudique la obra, el cual deberá hacer constar que las conoce y que se compromete a ejecutar la obra con estricta sujeción a las mismas en la propuesta que formule y que sirva de base a la adjudicación.

Art.2. Marcha de los trabajos.

Para la ejecución del programa de desarrollo de la obra, el contratista deberá tener siempre en la obra un número de obreros proporcionado a la extensión de los trabajos y clases de estos que estén ejecutándose.

Art.3. Personal.

Todos los trabajos han de ejecutarse por personas especialmente preparadas. Cada oficio ordenará su trabajo armónicamente con los demás procurando siempre facilitar la marcha de los mismos, en ventaja de la buena ejecución y rapidez de la construcción, ajustándose a la planificación económica prevista en el proyecto.

El contratista permanecerá en la obra durante la jornada de trabajo, pudiendo estar representado por un encargado apto, autorizado por escrito, para recibir instrucciones verbales y firmar recibos y planos o comunicaciones que se lo dirijan.

Art.4. Precauciones a adoptar durante la construcción.

Las precauciones a adoptar durante la construcción serán las previstas en la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

El contratista se sujetará a las leyes, Reglamentos y Ordenanzas vigentes, así como a los que se dicten durante la ejecución de las obras.

Art.5. Responsabilidades del contratista.

En la ejecución de las obras que se hayan contratado, el contratista será el único responsable, no teniendo derecho a indemnización alguna por el mayor precio a que pudiera costarle, ni por las erradas maniobras que cometiese durante la construcción, siendo de su cuenta y riesgo e independiente de la inspección del Ingeniero. Asimismo será responsable ante los Tribunales de los accidentes que, por inexperiencia o descuido, sobrevinieran, tanto en la construcción como en los andamios, ateniéndose en todo a las disposiciones de Policía Urbana y leyes comunes sobre la materia.

Art.6. Desperfectos en propiedades colindantes.

Si el contratista causase algún desperfecto en propiedades colindantes tendrá que restaurarlas por su cuenta dejándolas en el estado en que las encontró al comienzo de la obra. El contratista adoptará cuantas medidas encuentre necesarias para evitar la caída de operarios, desprendimiento de herramientas y materiales que puedan herir o matar a alguna persona.

Art.7. Seguro de incendios.

Queda obligado el contratista a asegurar las obras en Compañía de reconocida solvencia inscrita en el Registro de Ministerio de Hacienda en virtud de la vigente Ley de Seguros.

En caso de no asegurar las obras se entiende que es el contratista el asegurador:

La póliza habrá de extenderse con la condición especial de que si bien el contratista la suscribe con dicho carácter es requisito indispensable que, en caso de siniestros una vez justificada su cuantía, el importe íntegro de la indemnización lo cobre la entidad propietaria, para ir pagando la obra que se reconstruya a medida que esta se vaya realizando, previas las certificaciones facultativas, como los demás trabajos de la construcción.

Art. 8. Obligaciones no especificadas.

Es obligación del contratista ejecutar cuanto sea necesario para la terminación completa y buena construcción y aspecto de las obras, aunque algún detalle complementario no se halle expresamente determinado en estas condiciones, siempre que, sin separarse de su espíritu y recta interpretación, lo disponga el Ingeniero-Director.

Las dudas que pudieran ocurrir en las condiciones y demás documentos del contrato se resolverán por el Ingeniero-Director así como la inteligencia e interpretación de los planos, detalles y descripciones debiendo someterse el contratista a lo que dicho facultativo decida.

Art.9. Documentos que puede reclamar el contratista.

El contratista conforme a lo dispuesto en el Pliego de Condiciones, podrá sacar a sus expensas copias de los documentos del Proyecto de Contrata, cuyos originales le serán facilitadas por el Ingeniero-Director, el cual autorizará con su firma las copias, si el contratista lo desea.

Art.10. Seguros.

El contratista estará asegurado en Compañía solvente para cubrir todos los accidentes que ocurran en la obra, si la Compañía no los abonase, los abonará el contratista directamente.

En cualquier momento estos documentos podrán ser exigidos por la propiedad y la Dirección Facultativa.

2.2 Facultades de la dirección técnica

Art.1. Interpretación de los documentos de Proyecto.

El contratista queda obligado a que todas las dudas que surjan en la interpretación de los documentos del Proyecto o posteriormente durante la ejecución de los trabajos serán resueltas por la Dirección Facultativa de acuerdo con el “Pliego de Condiciones Técnicas de la Dirección General de Arquitectura”, Pliego de Condiciones que queda en su articulado incorporado al presente de Condiciones Técnicas.

Las especificaciones no descritas en el presente Pliego con relación al Proyecto deben considerarse como datos en cuenta en la formulación del Presupuesto por parte de la Empresa que realice las obras así como el grado de calidad de las mismas.

En las circunstancias en que se vertieran conceptos en los documentos escritos que no fueran reflejados en los Planos del Proyecto, el criterio a seguir lo decidirá la Dirección Facultativa de las obras, recíprocamente cuando en los documentos gráficos aparecieran conceptos que no se ven reflejados en los documentos escritos, la especificación de los mismos, será decidida por la Dirección Facultativa de las obras.

La Contrata deberá consultar previamente cuantas dudas estime oportunas para una correcta interpretación de la calidad constructiva y de características del Proyecto.

Art.2. Aceptación de materiales.

Los materiales serán reconocidos antes de su puesta en obra por la Dirección Facultativa, sin cuya aprobación no podrán emplearse en dicha obra; para ello la contrata proporcionará al menos dos muestras para su examen por parte de la Dirección Facultativa, ésta se reserva el derecho de desechar aquellos que no reúnan las condiciones que a su juicio, no considere aptas. Los materiales desechados serán retirados de la obra en el plazo más breve. Las muestras de los materiales una vez que hayan sido aceptados, serán guardados juntamente con los certificados de los análisis para su posterior comparación y contraste.

Art.3. Mala ejecución.

Si a juicio de la Dirección Facultativa hubiera alguna parte de la obra mal ejecutada, el contratista tendrá la obligación de demolerla y volverla a realizar cuantas veces sea necesario, hasta que quede a satisfacción de dicha Dirección, no otorgando estos aumentos de trabajo derecho a percibir ninguna indemnización de ningún género, aunque las condiciones de mala ejecución de la obra se hubiesen notado después de la recepción provisional, sin que ello pueda repercutir en los plazos parciales o en el total de ejecución de la obra.

Art.4. Reformas en el proyecto.

Si durante el curso de las obras el Ingeniero-Director estimase conveniente introducir modificaciones en el proyecto, el contratista estará obligado a realizarlas, siempre y cuando la cantidad de las obras nuevamente proyectadas no aumentasen en

una sexta parte las de igual índole, consignadas en el Presupuesto de Contrata, abonándosele la parte que resulte con arreglo a los precios del Proyecto.

2.3 Disposiciones varias

Art.1. Replanteo.

Como actividad previa a cualquier otra de la obra se procederá por la Dirección Facultativa a la comprobación del replanteo de las obras en presencia del Contratista marcando sobre el terreno conveniente todos los puntos necesarios para su ejecución. De esta operación se extenderá acta por duplicado que firmará la Dirección Facultativa y la Contrata, la cual, facilitará por su cuenta todos los medios necesarios para la ejecución de los referidos replanteos y señalamiento de los mismos, cuidando bajo su responsabilidad de las señales o datos fijados para su determinación. Asimismo para el resto de replanteos que se verifiquen en obra, estos se realizarán por el Contratista con la consiguiente aprobación de la Dirección Facultativa para el inicio de la correspondiente unidad.

Art.2. Libro de Órdenes, Asistencia e Incidencias.

Con objeto de que en todo momento se pueda tener un conocimiento exacto de la ejecución e incidencias de la obra, se llevará, mientras dure la misma, el Libro de Órdenes Asistencia e Incidencias, en el que se reflejarán las visitas facultativas realizadas por la Dirección de la obra, incidencias surgidas y en general, todos aquellos datos que sirvan para determinar con exactitud si por la contrata se han cumplido los plazos y fases de ejecución previstas para la realización del proyecto.

El Ingeniero-Director de la obra, y los demás facultativos colaboradores en la dirección de las mismas, irán dejando constancia, mediante las oportunas referencias, de sus visitas e inspecciones y las incidencias que surjan en el transcurso de ellas y obliguen a cualquier modificación en el proyecto o la ejecución de las obras, las cuales serán de obligado cumplimiento.

Las anotaciones en el Libro de Órdenes, Asistencias e Incidencias, harán fe a efectos de determinar las posibles causas de resolución e incidencias del contrato. Sin embargo, cuando el contratista no estuviese conforme, podrá alegar en su descargo todas aquellas razones que abonen su postura, aportando las pruebas que estime pertinentes. Efectuar una orden a través del correspondiente asiento en este Libro, no será obstáculo para que cuando la Dirección Facultativa lo juzgue conveniente, se efectúe la misma también por oficio. Dicha orden se reflejará también en el Libro de Órdenes.

Art.3. Modificaciones en las unidades de Obra.

Cualquier modificaciones en las unidades de obra que suponga la realización de distinto número de aquellas, más o menos de las figuradas en el estado de mediciones del presupuesto, deberá ser conocida y aprobada previamente a su ejecución por el Director Facultativo, haciéndose constar en el Libro de Obra, tanto la autorización citada como la comprobación posterior de su ejecución.

En caso de no obtener esta autorización, el contratista no podrá pretender, en ningún caso, el abono de las unidades de obra que se hubiesen ejecutado de más respecto a las figuradas en el proyecto.

Art.4. Controles de obra: Pruebas y ensayos.

Se ordenará cuando se estime oportuno, realizar las pruebas y ensayos, análisis y extracción de muestras de obra realizada para comprobar que tanto los materiales como las unidades de obra están en perfectas condiciones y cumplen lo establecido en este Pliego. El abono de todas las pruebas y ensayos será de cuenta del contratista.

Art.5. Correspondencia oficial.

El contratista tendrá derecho a que se le acuse recibo, si lo pide, de las comunicaciones y reclamaciones que dirija al Ingeniero-Director y a su vez está obligado a devolver a dicho Ingeniero, ya en originales, ya en copias, todas las ordenes y avisos que de él reciba poniendo al pie el “enterado” y su firma.

Art.6. Accesos a la obra.

Se facilitarán los accesos a todas las partes de la obra por medio de chaperas, andamiaje con tablonos, pasamanos, etc., de tal manera que todas las personas que accedan a los diversos sitios de la obra tengan la seguridad necesaria para la revisión de los diferentes trabajos.

Art.7. Gastos de obra.

Serán por cuenta del promotor salvo que se indique en contrato, los gastos referentes a licencia de obras, honorarios de Proyecto y Dirección Facultativa, así como todos los originados para dotar a la obra de acometidas de agua, electricidad, etc.

3. CONDICIONES ECONÓMICAS

3.1. Mediciones

Art.1. Forma de medición.

La medición del conjunto de unidades de obra que constituyen el proyecto se verificará aplicando a cada unidad de obra la unidad de medida que le sea apropiada y con arreglo a las mismas unidades adoptadas en el presupuesto, unidad completa, partida alzada, metros cuadrados, cúbicos o lineales, kilogramos, etc.

Tanto las mediciones parciales como las que se ejecuten al final de la obra, se realizarán conjuntamente con el contratista, levantándose las correspondientes actas que serán firmadas por ambas partes.

Todas las mediciones que se efectúen comprenderán las unidades de obra realmente ejecutadas, no teniendo el contratista derecho a reclamación de ninguna

especie por las diferencias que se produjeran entre las mediciones que se ejecuten y las que figuren en el proyecto, así como tampoco por los errores de clasificación de las diversas unidades de obra que figuren en los estados de valoración.

Art.2. Valoración de unidades no expresadas en este Pliego.

La valoración de las obras no expresadas en este Pliego se verificará aplicando a cada una de ellas la medida que le sea más apropiada y en forma de condiciones que estime justas el Ingeniero, multiplicando el resultado final por el precio correspondiente.

Art.3. Equivocaciones en el presupuesto.

Se supone que el contratista ha hecho un detenido estudio de los documentos que componen el Proyecto, y por lo tanto, al no haber hecho ninguna observación sobre errores posibles o equivocaciones del mismo, no hay lugar a disposición alguna en cuanto afecta a medidas o precios, de tal suerte que si la obra ejecutada con arreglo al proyecto contiene mayor número de unidades de las previstas, no tiene derecho a reclamación alguna, si por el contrario el número de unidades fuera inferior, se descontará del presupuesto.

3.2 Valoraciones

Art.1. Valoraciones

Las valoraciones de las unidades de obra que figuran en el presente proyecto, se efectuarán multiplicando el número de estas por el precio unitario asignado a las mismas en el presupuesto.

En el precio unitario aludido en el párrafo anterior se consideran incluidos los gastos del transporte de materiales, las indemnizaciones o pagos que hayan de hacerse por cualquier concepto, así como todo tipo de impuestos fiscales que graven los materiales por el Estado, Provincia o Municipio, durante la ejecución de las obras, y toda clase de cargas sociales. También serán de cuenta del contratista los honorarios, las tasas y demás gravámenes que se originan con ocasión de las inspecciones, aprobación y comprobación de las instalaciones con que esté dotado el inmueble.

El contratista no tendrá derecho por ello a pedir indemnización alguna por las causas enumeradas. En el precio de cada unidad de obra van comprendidos los de todos los materiales accesorios y operaciones necesarias para dejar la obra terminada y en disposición de recibiese.

Art.2. Valoración de las obras no incluidas ó incompletas.

Las obras no incluidas se abonarán con arreglo a precios consignados en el Presupuesto, sin que pueda pretenderse cada valoración de la obra fraccionada en otra forma que la establecida en los cuadros de descomposición de precios.

Art.3. Precios contradictorios.

Si ocurriese algún caso excepcional e imprevisto en el cual fuese necesaria la designación de precios contradictorios entre la propiedad y el contratista, estos precios deberán fijarse con arreglo a los determinados para unidades análogas, después de haber convenido lo mismo el Ingeniero en representación de la Propiedad y el contratista.

Art.4. Relaciones valoradas.

El Contratista de la obra formulará mensualmente una relación valorada de los trabajos ejecutados desde la anterior liquidación con sujeción a los precios del presupuesto.

La Dirección Facultativa, que presenciara las operaciones de valoración y medición, tendrá un plazo de diez días para examinarlas. Deberá dentro de este plazo dar su conformidad o, en caso contrario, hacer las observaciones que considere convenientes.

Estas relaciones valoradas no tendrán más que carácter provisional a buena cuenta, y no supone la aprobación de las obras que en ellas se comprenden. Se formará multiplicando los resultados de la medición por los precios correspondientes, y descontando si hubiera lugar la cantidad correspondiente al tanto por ciento de baja o mejora producido en la licitación.

Art.5. Obras que se abonarán al contratista: Precio de las mismas.

Se abonarán al contratista la obra que realmente se ejecute con sujeción al proyecto que sirve de base al contrato, o a las modificaciones del mismo, autorizadas por la superioridad, o a las órdenes que con arreglo a sus facultades le haya comunicado por escrito el Director de la obra, siempre que dicha obra se halle ajustada a los preceptos del contrato y sin que su importe pueda exceder de la cifra total de los presupuestos aprobados. Por consiguiente, el número de unidades que se consignan en el Proyecto o en el Presupuesto no podrá servirle de fundamento para entablar reclamaciones de ninguna especie, salvo en los casos de rescisión.

Tanto en las certificaciones de obra como en la liquidación final, se abonarán las obras hechas por el contratista a los precios de ejecución material que figuran el presupuesto para cada unidad de obra.

Si excepcionalmente se hubiera realizado algún trabajo que no se halle reglado exactamente en las condiciones de la contrata pero que sin embargo sea admisible a juicio del Director, se dará conocimiento de ello, proponiendo a la vez la rebaja de precios que se estime justa, y si aquella resolviese aceptar la obra, quedará el contratista obligado a conformarse con la rebaja acordada.

Cuando se juzgue necesario emplear materiales para ejecutar obras que no figuren en el proyecto, se evaluará su importe a los precios asignados a otras obras o materiales análogos si los hubiera, y cuando no, se discutirá entre el Director de la obra y el contratista, sometiéndoles a la aprobación superior.

Los nuevos precios convenidos por uno u otro procedimiento se sujetarán siempre a lo establecido en el contrato general de la obra.

Al resultado de la valoración hecha de este modo, se le aumentará el tanto por ciento adoptado para formar el presupuesto de la contrata, y de la cifra que se obtenga se descontará lo que proporcionalmente corresponda a la rebaja hecha, en el caso de que exista ésta.

Cuando el contratista, con la autorización del Director de la obra emplease materiales de más esmerada preparación o de mayor tamaño que lo estipulado en el proyecto, sustituyéndose la clase de fábrica por otra que tenga asignado mayor precio, ejecutándose con mayores dimensiones o cualquier otra modificación que resulte beneficiosa a juicio de la Propiedad, no tendrá derecho, sin embargo, sino a lo que correspondería si hubiese construido la obra con estricta sujeción a lo proyectado y contratado.

Art.6. Abono de las partidas alzadas.

Las cantidades calculadas para obras accesorias, aunque figuren por una partidaalzada del presupuesto, no serán abonadas sino a los precios de la contrata, según las condiciones de la misma y los proyectos particulares que para ellos se formen o en su defecto, por lo que resulte de la medición final.

Para la ejecución material de las partidas alzadas figuradas en el proyecto de obra, deberá obtenerse la aprobación de la Dirección Facultativa. A tal efecto, antes de proceder a su realización se someterá a su consideración el detalle desglosado del importe de la misma, el cual, si es de conformidad podrá ejecutarse.

4 CONDICIONES LEGALES

4.1. Recepción de obras

Art.1. Recepción de las obras.

Una vez terminadas las obras, y hallándose en las condiciones exigidas, se procederá a la recepción de las mismas.

Al acto de recepción concurrirán la propiedad, el facultativo encargado de la dirección de la obra y el contratista, levantándose el acta correspondiente. En caso de que las obras no se hallen en estado de ser recibidas se actuará conforme a lo dispuesto en contrato establecido.

El plazo de la garantía comenzará a contarse a partir de la fecha de la recepción de la obra. Al realizarse la recepción de las obras deberá presentar el contratista las pertinentes autorizaciones de los Organismos oficiales de la provincia para el uso y puesta en servicio de las instalaciones que así lo requieran. No se efectuará esa recepción de las obras si no se cumple este requisito.

Art.2. Plazo de garantía.

Sin perjuicio de las garantías que expresamente se detallan en el contrato el contratista garantiza en general todas las obras que ejecute, así como los materiales empleados en ellas y su buena manipulación.

El plazo de garantía será el establecido en contrato y durante este período el contratista corregirá los defectos observados, eliminará las obras rechazadas y reparará las averías que por dicha causa se produzcan, todo ello por su cuenta y sin derecho a indemnización alguna, ejecutándose en caso de resistencia dichas obras por la Administración con cargo a la fianza.

El contratista garantiza a la Propiedad contra toda reclamación de tercera persona, derivada del incumplimiento de sus obligaciones económicas o disposiciones legales relacionadas con la obra. Una vez aprobada la recepción y liquidación definitiva de las obras, la Propiedad tomará acuerdo respecto a las retenciones efectuadas.

Tras la recepción de la obra el contratista quedará relevado de toda responsabilidad salvo lo referente a los vicios ocultos de la construcción debidos a incumplimiento doloso del contrato por parte del empresario, de los cuales responderá en el término de 10 años. Transcurrido este plazo quedará totalmente extinguidas la responsabilidad.

Art.3. Pruebas para la recepción.

Con carácter previo a la ejecución de las unidades de obra, los materiales habrán de ser reconocidos y aprobados por la Dirección Facultativa. Si se hubiese efectuado su manipulación o colocación sin obtener dicha conformidad deberán ser retirados todos aquellos que la citada dirección rechaza, dentro de un plazo de treinta días.

El contratista presentará oportunamente muestras de cada clase de material a la aprobación de la Dirección Facultativa, las cuales conservarán para efectuar en su día comparación o cotejo con los que se empleen en obra.

Siempre que la Dirección Facultativa lo estime necesario serán efectuados por cuenta de la contrata las pruebas y análisis que permitan apreciar las condiciones de los materiales a emplear.

4.2. Cargos al contratistas

Art.1. Planos para las instalaciones.

El contratista, de acuerdo con la Dirección Facultativa entregará en el acto de la recepción provisional, los planos de todas las instalaciones ejecutadas en la obra, con las modificaciones o estado definitivo en que hay quedado.

Art.2. Autorizaciones y Licencias.

El contratista se compromete igualmente a entregar las autorizaciones que perceptivamente tienen que expresar las delegaciones Provinciales de Industria, Sanidad, etc., y autoridades locales, para la puesta en servicio de las referidas instalaciones.

Son también de cuenta del contratista todos los arbitrios, licencias municipales, vallas, alumbrado, multas, etc., que ocasionen las obras desde su inicio hasta su total

terminación, salvo que se especifique lo contrario en el contrato entre la Propiedad y el contratista.

Art.3. Conservación durante el plazo de garantía.

El contratista durante el tiempo que media entre la recepción provisional y la definitiva, será el conservador de las obras, donde tendrá el personal suficiente para atender a todas las averías y reparaciones que puedan presentarse, aunque el establecimiento fuese ocupado o utilizado por la propiedad antes de la recepción definitiva.

4.3 Disposiciones varias

Art.1. Normas de aplicación.

Para todo aquello no detallado expresamente en los artículos anteriores, y en especial sobre las condiciones que deberán reunir los materiales que se emplean en obra, así como la ejecución de cada unidad de obra, y las normas para su medición y valoración regirá el Pliego de Condiciones Técnicas de la Dirección General de Arquitectura.

Se cumplimentarán todas las normas vigentes y las sucesivas que se publiquen en el transcurso de las obras.

Art.2. Suspensión de las obras.

Cuando la entidad propietaria desee suspender la ejecución de las obras tendrá que avisarlo con un mes de anticipación y el contratista tendrá que suspender los trabajos sin derecho a indemnización, siempre que se le abone el importe de la obra ejecutada y el valor de los materiales acumulados al pie de obra, al precio corriente en la localidad; igual se hará en los casos de rescisión justificada.

Si la suspensión de las obras fuese motivada por el contratista, el propietario se reserva el derecho a la rescisión del contrato, abonando al contratista tan sólo la obra ejecutada con pérdida de la retención como indemnización de perjuicios irrogados a la entidad propietaria; quedando obligado el contratista a responder de los perjuicios superiores a esta cantidad, salvo que se indique lo contrario en el contrato.

En caso de muerte o de quiebra del contratista, quedará rescindida la contrata, a no ser que los herederos o los síndicos de la quiebra ofrezcan llevarla a cabo bajo las condiciones estipuladas en la misma. El propietario puede admitir o desechar el ofrecimiento, sin que en este caso tengan aquellos derechos a indemnización alguna.

Tanto en estos casos de rescisión como en los que legalmente se pudiesen presentar, las herramientas y demás elementos de trabajo que sean de pertenencia del contratista, tendrá éste obligación a recogerlos en un plazo de ocho días; de no ser así se entiende que los abandona a favor de la obra.

Art.3. Prorroga de las obras.

Si se diese el caso de que por alguna contingencia, la Empresa Constructora solicitase una ampliación de plazo para la terminación de las obras, este se determinará de acuerdo con la Dirección Facultativa y siempre y cuando las causas alegadas sean por motivos ajenos al discurrir normal de la obra.

Art.4. Rescisión de contrato.

En caso de que hubiese rescisión de contrato, la valoración de las obras incompletas se haría aplicando los precios del presupuesto, sin que el contratista tenga derecho alguno a reclamación. Si no existiesen precios descompuestos, o en el precio dado no estuviesen claramente especificados, se aplicarán a los materiales los precios corrientes de almacén de la localidad.

Art.5. Personal en obra.

Todo el personal que desarrolle cualquier actividad en la obra, deberá tener su situación laboral de acuerdo con la legislación vigente.

5. CONDICIONES TECNICAS GENERALES

Art.1. Calidad de los materiales.

Todos los materiales a emplear en la presente obra serán de primera calidad y reunirán las condiciones exigidas vigentes referentes a materiales y prototipos de construcción.

Art.2. Pruebas y ensayos de materiales.

Todos los materiales a que este capítulo se refiere podrán ser sometidos a los análisis o pruebas, por cuenta de la contrata, que se crean necesarios para acreditar su calidad. Cualquier otro que haya sido especificado y sea necesario emplear deberá ser aprobado por la Dirección de las obras, bien entendido que será rechazado el que no reúna las condiciones exigidas por la buena práctica de la construcción.

Art.3. Materiales no consignados en proyecto.

Los materiales no consignados en proyecto que dieran lugar a precios contradictorios reunirán las condiciones de bondad necesarias, a juicio de la Dirección Facultativa, no teniendo el contratista derecho a reclamación alguna por estas condiciones exigidas.

Art.4. Condiciones generales de ejecución.

Todos los trabajos, incluidos en el presente proyecto se ejecutarán esmeradamente, con arreglo a las buenas prácticas de la construcción, de acuerdo con las condiciones establecidas en el Pliego de Condiciones de la Edificación de la Dirección General de Arquitectura y cumpliendo estrictamente las instrucciones recibidas por la Dirección Facultativa, no pudiendo por tanto servir de pretexto al contratista el bajo contrato, para variar esa esmerada ejecución, ni la primerísima calidad de las instalaciones proyectadas en cuanto a sus materiales y mano de obra, ni pretender proyectos adicionales.

6. CUMPLIMIENTO DE LOS PLAZOS

El contratista está obligado al cumplimiento de los plazos parciales fijados definitivamente por la Administración, así como del plazo final para la total terminación de obra.

Si el retraso fuera producido por motivos no imputables al contratista y ésta se ofreciera a cumplir sus compromisos mediante prórroga del tiempo convenido, se concederá por la Administración un plazo que será, por lo menos, igual al tiempo perdido.

El contratista dará comienzo a las obras una vez firmada el Acta de Inicio de las mismas.

7. PLAN DE OBRA Y RELACIÓN DE MAQUINARIA

Al inicio de las obras, el contratista estará obligado ante el requerimiento de la Dirección Facultativa a complementar el Plan de Obra que hay previsto con la relación de medios humanos y su cualificación profesional, así como con la relación de medios auxiliares y maquinaria que se compromete a mantener durante la ejecución de las obras.

Asimismo, el contratista deberá aumentar los medios auxiliares y personal técnico, siempre que la Administración compruebe que ello es necesario para el desarrollo de las obras en los plazos previstos.

La aceptación del Plan de Obra y de la relación de medios auxiliares propuestos no implicará exención alguna de responsabilidad para el contratista, en caso de incumplimiento de los plazos parciales o del final.

7.1. Materiales en depósito

Los materiales que se entreguen por la Administración al contratista se considerarán en depósito desde el momento de la entrega, siendo el contratista responsable de su custodia y conservación hasta tanto la obra sea recibida.

A tal fin, el contratista responde con la fianza de cumplimiento de los daños, deterioros, pérdidas, extravíos, robos o cualquier otro accidente que puedan sufrir los citados materiales.

7.2. Maquinaria y medios auxiliares

Toda la maquinaria y medios auxiliares empleados por el contratista serán de su exclusiva cuenta, sin que en ningún caso pueda exigirse que la Administración se las abone, ya que su coste presumible y gastos de amortización y conservación han sido tenidos en cuenta en la formación de los distintos precios. No podrá, el contratista, alegando lo costoso de las instalaciones auxiliares, exigir que se le abone cantidad alguna en concepto de anticipo sobre dichos medios.

8. CONTROL DE CALIDAD E INSPECCIÓN Y CONTROL

Previamente al inicio de las obras, el contratista deberá presentar al Ingeniero-Director, para su aprobación, el Plan de Control de Calidad y el de Puntos de Inspección y Control de la obra, que será de aplicación tanto a la obra civil como a los equipos eléctricos y mecánicos a instalar.

Para la ejecución de todas las unidades de obra, estas se someterán a los controles establecidos por la normativa legal de vigente aplicación, o los que por cualquier motivo considerase necesario la Dirección Facultativa, siendo el coste de los mismos por cuenta del contratista.

En los mencionados planes se recogerá de forma clara la identificación de cada unidad de obra, el tipo de ensayo a realizar y la normativa de aplicación, la frecuencia de realización de cada tipo de ensayo, y las condiciones de aceptación o rechazo. Para materiales y equipos definirá los certificados de origen, pruebas y garantías que deberá aportar el proveedor de los mismos, así como las pruebas y ensayos a realizar en obra, la frecuencia de los mismos y las condiciones de aceptación o rechazo.

9. MANUALES DE MANTENIMIENTO Y PLANOS “AS BUILT”

Concluidas las obras, el contratista está obligado a entregar los “Manuales de mantenimiento” de aquellas instalaciones o equipos que hubiese instalado, así como los planos “As-Built” de todas las obras realizadas. Tanto los manuales como los planos se entregarán por triplicado. En los citados manuales de mantenimiento se recogerán, tanto la descripción detallada de los equipos o instalaciones, como lista de repuestos, operaciones de mantenimiento preventivo y operativo y, en general, todo lo necesario para el correcto funcionamiento y conservación de las citadas instalaciones y/o equipos.

Diseño y construcción de un túnel de viento para
ensayos en régimen subsónico y transónico

DOCUMENTO 5: ESTUDIOS DE SEGURIDAD Y SALUD

ÍNDICE

	Pag.
1. Antecedentes y objeto.....	5
2. Identificación de la obra	5
2.1. Tipo de obra.....	5
2.2. Situación	5
2.3. Servicios y redes de distribución afectadas por la obra.....	6
2.4. Presupuesto de ejecución.....	6
2.5. Número de trabajadores.....	6
3. Normas de seguridad aplicables a la obra	7
4. Dirección, características y programación de la obra.....	8
4.1. Características generales de la obra.....	8
4.2. Fases de ejecución de la obra	8
4.3. Oficios, maquinaria y medios previstos para la ejecución de la obra	9
5. Análisis general de riesgos y prevención de los mismos	11
6. Señalización de los riesgos	75
6.1. Señalización del trabajo.....	75
6.2. Señalización vial.....	75
7. Instalaciones provisionales para los trabajadores	77
8. Prevención asistencial en caso de accidente laboral.....	77
8.1. Primeros auxilios	77
8.2. Medicina preventiva	78
8.3. Evacuación de accidentados	78
9. Prevención asistencial en caso de accidente laboral.....	79
10. Coordinador en materia de seguridad y salud	80
11. Plan de seguridad y salud en el trabajo.....	81
12. Obligaciones de contratistas y subcontratas	82
13. Obligaciones de los trabajadores autónomos.....	84
14. Libro de incidencias	85
15. Paralización de los trabajos	85
16. Derechos de los trabajadores	85
17. Disposiciones mínimas de seguridad y salud que deben aplicarse en las obras mínimas	86

1. ANTECEDENTES Y OBJETO

Se redacta el presente Estudio de Seguridad y Salud de acuerdo con lo establecido en el apartado 1 del Artículo 4 del R.D. 1627/1997 por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.

Es el objetivo del presente Estudio de Seguridad la prevención de todos los riesgos que indudablemente se producen en cualquier proceso laboral y está encaminado a proteger la integridad de las personas y los bienes, indicando y recomendando los medios y métodos que habrán de emplearse, así como las secuencias de los procesos laborales adecuados en cada trabajo específico, a fin de que contando con la colaboración de todas las personas que intervienen en los trabajos a conseguir un RIESGO NULO durante el desarrollo de los mismos.

Se atenderá especialmente a los trabajos de mayor riesgo, y se cuidarán las medidas para las protecciones individuales y colectivas, señalizaciones, instalaciones provisionales de obra y primeros auxilios.

En aplicación de este Estudio de Seguridad y Salud, el contratista de la obra elaborará el Plan de Seguridad y Salud en el trabajo aplicable a la obra, en el que se analizarán, estudiarán, desarrollarán y complementarán las previsiones contenidas en este estudio, en función de sus propios sistemas y medios de ejecución de la obra.

2. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

2.1 Tipo de obra

La obra objeto del presente Estudio de Seguridad y Salud, consiste en la ejecución del proyecto de Diseño y construcción de un túnel de viento para ensayos en régimen subsónico y transónico. Para ello, se ejecutarán todas las partidas necesarias de obra civil, estructuras metálica, equipos, instalaciones eléctricas e hidráulicas, cerramientos y alumbrado, imprescindibles para su construcción.

2.2 Situación

Las obras objeto del presente proyecto se desarrollarán en la parcela indicada en la memoria descriptiva

Se incluye plano de situación y emplazamiento de las instalaciones, así como plano de implantación de las edificaciones a ejecutar.

2.3 Servicios y redes de distribución afectadas por la obra

Las obras se realizarán en el interior de la parcela antes aludida dentro del P.I. Aerópolis (Sevilla)

Las interferencias previsibles son las derivadas del transito de camiones y la ocupación de parte de la parcela para las nuevas obras.

2.4 Presupuesto total de ejecución de la obra

El presupuesto total de ejecución material de la obra asciende a **21.524.278,55 €**.

Plazo de ejecución

El plazo de ejecución se estima entre 10 y 12 meses.

2.5 Número de trabajadores

De acuerdo con la estimación adjunta, durante la ejecución de las obras se ha previsto una presencia media de 50 trabajadores simultáneamente.

Presupuesto de ejecución	21.524.278,55 Euros
Importe del coste de la mano de obra.	20% 21.524.278,55 Euros = 4.304.855,71 Euros
Precio medio hora/trabajador.	9,02 Euros.
Número de horas totales trabajadas.	430.661,79 Euros / 9,02 euros/hora ~ 48.000 horas
Número de horas por trabajo estimado	120 días x 8 horas/día = 960 horas
Número de operarios	48.000 horas : 960 horas = 50
Redondeo número de operarios	50 operarios

3. NORMAS DE SEGURIDAD APLICABLES A LA OBRA

LEY 31/ 1.995 de prevención de riesgos laborales.

Real Decreto 485/1.997 sobre Señalización de seguridad en el trabajo.

Real Decreto 486/1.997 sobre Seguridad y Salud en los lugares de trabajo.

Real Decreto 487/1.997 sobre Manipulación de cargas.

Real Decreto 773/1.997 sobre Utilización de Equipos de Protección Individual.

Real Decreto 39/1.997. Reglamento de los Servicios de Prevención.

Real Decreto 1215/1.997 sobre Utilización de Equipos de Trabajo.

Real Decreto 1627/1.997 por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.

Estatuto de los Trabajadores.

Ordenanza de Trabajo de la Construcción, Vidrio y Cerámica, en los títulos no derogados.

Adicionalmente, serán de aplicación las Condiciones Técnicas y Prescripciones Reglamentarias de aplicación a cada uno de los trabajos.

4. DESCRIPCIÓN, CARACTERÍSTICAS Y PROGRAMACIÓN DE LA OBRA

4.1 Características generales de la obra

Como ya anteriormente se ha indicado, la obra objeto del presente Estudio de Seguridad y Salud, consiste en Diseño y construcción de un túnel de viento para ensayos en régimen subsónico y transónico en Sevilla.

En la Memoria Descriptiva y Planos del proyecto en el que se integra este estudio se recoge una descripción detallada de las características de estas obras e instalaciones.

4.2 Fases de ejecución de la obra

En coherencia con las características de la obra, se han previsto las siguientes fases de ejecución:

- Obras Civiles y estructuras para equipos
- Suministro y Montaje de equipos.
- Ejecución de instalación eléctrica en Media y Baja Tensión
- Redes Hidráulicas
- Albañilería

4.3 Oficios, maquinaria y medios auxiliares previstos para la ejecución de la obra.

Las actividades de obra descritas, se realizan con la concurrencia de los siguientes oficios:

- Albañilería en general.
- Carpintería metálica.
- Pintores.
- Electricistas.
- Montaje de Equipos electromecánicos
- Montadores de Estructuras metálicas
- Montadores de prefabricados.
- Montadores de cubiertas.
- Como medios auxiliares para la realización de los diferentes trabajos, se ha previsto la utilización de:
 - Andamios en general
 - Escaleras de mano
 - Redes de seguridad
 - Líneas de vida
- Como maquinaria necesaria para la ejecución de la obra se ha previsto el empleo de:
 - Retroexcavadora
 - Pala cargadora
 - Volquete autopropulsado
 - Motoniveladora
 - Rodillo vibrante
 - Camión de transporte de materiales
 - Camión cisterna de agua

- Camión cuba hormigonera
- Camión grúa
- Dumper
- Martillo neumático
- Máquinas herramienta de mano en general
- Hormigonera eléctrica
- Vibradores eléctricos
- Dobladora eléctrica para la conformación de armaduras de ferralla
- Taladro eléctrico portátil
- Rozadora radial eléctrica
- Soldadora por arco eléctrico

En aplicación de este Estudio de Seguridad y Salud, el contratista de la obra elaborará el Plan de Seguridad y Salud en el trabajo aplicable a la misma, en el que se analizarán, estudiarán, desarrollarán y complementarán estas previsiones, en función de sus propios sistemas y medios de ejecución de la obra.

5. ANÁLISIS GENERAL DE RIESGOS Y PREVENCIÓN DE LOS MISMOS

Se realiza a continuación un análisis y evaluación de riesgos asociados a la ejecución de la obra, con indicación de las medidas preventivas a adoptar, y los equipos de protección individual y colectiva a emplear. No obstante, como medidas preventivas de carácter general se tendrá en cuenta:

Actividades de la obra:

- Se mantendrán las vallas de obras en buen estado vigilándolas y manteniéndolas en el transcurso de la obra.
- Se mantendrán limpias las áreas de trabajo, evitando acumulación de escombros y montículos de tierra.
- Se señalizará y separará el tránsito de vehículos y operarios.
- Se colocarán barandillas en los bordes de los desniveles (0.90 m.).
- Se evitará una exposición constante de los operarios a los agentes atmosféricos adversos.
- Se colocarán los topes de retroceso para vertido y carga de vehículos.
- Las cargas deberán ir paletizadas con el fin de evitar el deslizamiento de cualquier material en la maniobra de izado y traslado.
- Se apilarán ordenadamente los elementos auxiliares antes y después de utilizarlos.

Los oficios que intervienen en la obra:

- Se mantendrán los tajos limpios de escombros o medios auxiliares.
- Se señalizará el área dispuesta por donde se vierten los escombros.
- Se evitará el acopio de cemento, yesos o derivados que estén mal envasados o rotos con el fin de no provocar polvaredas que puedan afectar a operarios y transeúntes fuera del recinto delimitado para la obra.
- No se permitirá la realización de fuego en la obra bajo ningún concepto, evitándose así incendios, asfixias, etc...
- Los envases almacenados deben permanecer correctamente cerrados.

- Se vigilará que los locales o lugares de trabajo donde sea necesaria la utilización de maquinaria que produzcan polvo estén perfectamente ventilados.
- Se cuidará que cada oficio que por necesidad de los medios auxiliares necesiten corriente eléctrica, la tomen de los cuadros de distribución de equipados con puesta a tierra, así como conectar los aparatos con las clavijas macho hembra para tal fin.

Medios auxiliares:

- Se extremará el cuidado oportuno para instalar andamios y borriquetas en planos horizontales. Si por cualquier motivo esto no fuese posible, se calzarán adecuadamente con elementos resistentes y se tomarán medidas para evitar el deslizamiento de los citados elementos y vuelcos.
- Antes de la utilización de cualquier medio auxiliar, se comprobará el estado del mismo desechando todo aquel que no cumpla con las prescripciones mínimas.
- Los medios auxiliares deberán poseer los elementos propios adecuados para la prevención de la seguridad.

Maquinaria para intervenir en la obra:

- Se recibirá en la obra la maquinaria que cumpla con las condiciones de seguridad dispuestas para cada una en la legislación vigente, desechando aquellas que no lo cumplan.
- Se designará la circulación interior en la obra para las distintas maquinarias rodadas adecuando el terreno para tal fin para evitar vuelcos y atropellos.
- No se dejarán las máquinas funcionando si no existe un operario pendiente de su utilización.
- No se colocarán instalaciones provisionales o definitivas en el trazado designado para la circulación de maquinaria.
- Se colocarán topes de retroceso para vertido y carga de vehículos.
- Cuando en la ejecución de la obra coincidan dos o más máquinas de circulación rodada, se dispondrá un trabajador u operario para controlar el movimiento alternativo de las mismas.

- Para la maquinaria portátil o de fácil traslado, se tendrá en cuenta que posea los elementos de seguridad diseñados para la misma, que esté conectada correctamente en el cuadro de distribución, que los cables no estén pelados o dañados. No se trabajará con la mencionada maquinaria en presencia de agua, sólo se utilizará aquella que esté diseñada para tal fin.
- Las máquinas de uso corriente y de pequeño tamaño suelen tener elementos que por su utilización en el trabajo requerido se desgastan, por lo que hay que evitar apurar al máximo dicho material para evitar riesgos leves ligeramente dañinos.

Instalaciones de la obra:

- Se suministrarán andamios y borriquetas en perfecto estado, no acumulando los materiales a manipular de forma desordenada.
- No se trabajará sin comprobar que la instalación no posee tensión eléctrica.
- Se comprobará antes del inicio de la jornada laboral en estado de las bombonas de butano.
- No se manejarán productos tóxicos en lugares cerrados o sin ventilación.

Desmontaje de las instalaciones provisionales de la obra:

- Antes de la eliminación o retirada de los elementos auxiliares e instalaciones provisionales de la obra, se comprobará que los servicios están desconectados.

Se muestra un análisis y evaluación inicial de riesgos para las principales actividades de esta obra:

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN INICIAL DE RIESGOS	
Actividad: Limpieza y desbroce del terreno	Lugar de evaluación: Sobre planos

Nombre del peligro identificado	Probabilidad			Protección		Consecuencias			Estimación del riesgo				
	B	M	A	c	I	Ld	D	Ed	T	To	M	I	In
Los derivados de la actitud vecinal ante la obra: Protestas, rotura de vallas de cerramiento, paso a través, etc...	X						X			X			
Sobre esfuerzos, golpes y atrapamientos durante el montaje del cerramiento provisional de la obra.	X				X	X				X			
Caídas al mismo nivel por: Irregularidades del terreno, barro, escombros ...	X				X	X				X			
Los propios de la maquinaria y medios auxiliares a montar.	X						X			X			

MEDIDAS PREVENTIVAS.

1.- Se prohíbe cualquier trabajo de medición o estancia de personas en la zona de influencia donde se encuentren las máquinas que realizan labores de desarbolado, destocoado o desbroce.

2.- Se prohíbe realizar trabajos de este tipo en pendientes superiores a las establecidas por el fabricante.

3.- Las máquinas irán provistas de sus correspondientes cabinas.

4.- Se evitarán los periodos de trabajo en solitario, en la medida de lo posible, salvo circunstancias excepcionales o de emergencia.

5.- Cuando sea necesario realizar operaciones de mantenimiento en las máquinas habrán de realizarse siempre en áreas despejadas totalmente de vegetación.

6.- En las operaciones de desbroce en zonas con roca se evitará el golpeo de estas, pues causan chispas que podrían provocar incendio.

EQUIPOS DE PREVENCIÓN.

1.- Cascos de seguridad.

2.- Guantes de cuero.

3.- Guantes de goma o PVC.

4.- Calzado de seguridad.

5.- Botas de goma o PVC.

6.- Protectores auditivos.

7.- Cinturón antivibratorio.

8.- Mascarilla con filtro mecánico.

Interpretación de las abreviaturas

Probabilidad	Protección	Consecuencias	Estimación del riesgo	
B Baja	c Colectiva	Ld Ligeramente dañino	T trivial	Riesgo I importante
M Media	i Individual	D Dañino Ed Extremadamente dañino	To tolerable	Riesgo In intolerable
A Alta			M moderado	Riesgo

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN INICIAL DE RIESGOS

Actividad: Acometidas para servicios provisionales de obra

Lugar de evaluación: Sobre planos

Nombre del peligro identificado	Probabilidad			Protección		Consecuencias			Estimación del riesgo				
	B	M	A	c	i	Ld	D	Ed	T	To	M	I	I n
Caída a distinto nivel: Zanjas, barro, irregularidades del terreno, escombros ...	X				X	X			X				
Caída al mismo nivel: Barro, irregularidades de terreno, escombros ...	X				X	X			X				
Cortes por manejo de herramientas.	X				X	X			X				
Sobre esfuerzos por posturas forzadas o soportar cargas.	X				X	X			X				

MEDIDAS PREVENTIVAS.

1.-Se prohíbe cualquier trabajo o estancia de personas en la zona de influencia donde se encuentren máquinas.

2.- Las tareas serán efectuadas por personal especializado para cada tipo de acometida.

3.-Se evitarán los periodos de trabajo en solitario, en la medida de lo posible, salvo circunstancias excepcionales o de emergencia.

4.- Se mantendrán las especificaciones recogidas en los apartados de fontanería y taller de fontanería, instalaciones de tuberías de saneamiento e instalaciones provisionales de obra.

EQUIPOS DE PREVENCIÓN.

1.- Cascos de seguridad.

2.- Guantes de cuero.

3.- Guantes de goma o PVC.

4.- Calzado de seguridad.

5.- Botas de goma o PVC.

6.- Protectores auditivos.

7.- Cinturón antivibratorio.

8.- Mascarilla con filtro mecánico.

Interpretación de las abreviaturas

Probabilidad	Protección	Consecuencias	Estimación del riesgo	
B Baja	c Colectiva	Ld Ligeramente dañino	T trivial	Riesgo I importante
M Media	i Individual	D Dañino Ed Extremadamente dañino	To tolerable	Riesgo In intolerable
A Alta			M moderado	Riesgo

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN INICIAL DE RIESGOS

Actividad: Excavación de pozos y zanjas.						Lugar de evaluación: Sobre planos							
Nombre del peligro identificado	Probabilidad			Protección		Consecuencias			Estimación del riesgo				
	B	M	A	c	i	Ld	D	Ed	T	To	M	I	I n
Caídas de objetos.	X			X	X		X			X			
Desprendimientos de tierras.	X			X			X			X			
Caídas de personas al interior de la zanja.	X				X	X				X			
Atrapamiento de personas mediante maquinaria.	X				X	X				X			
Inundación.													
Golpes por objetos.	X							X		X			
Caídas de objetos.	X				X		X			X			
Estrés térmico, (generalmente por alta temperatura).	X				X	X				X			
Contactos eléctricos directos/indirectos.	X				X	X				X			
Sobre esfuerzos.	X				X	X				X			
Polvo ambiental.		X			X	X				X			
MEDIDAS PREVENTIVAS.													

1.- Quedan prohibidos los acopios en un círculo de 2 m. En torno a la bocana del pozo.
2.- Cuando la profundidad del pozo sea igual o inferior a 1.5 mts. Se entibaran las paredes del pozo.
3.- Alrededor del pozo se colocará cinta o cuerda de señalización formando una circunferencia de diámetro igual o superior al pozo mas 2 m.
4.- En caso de descubrir cualquier perforación subterránea serán suspendidos los trabajos avisando a la dirección de obra para dicte sobre los trabajos que debemos seguir.
5.- El acceso y salidas de zanjas se efectuará mediante escalera sólida y fijada por la parte superior y que además deberá sobrepasar 1 m. Del borde de la zanja.
6.- Quedan prohibidos los acopios a una distancia inferior a 2 mts. Del borde del material.
7.- Cuando una zanja tenga una profundidad superior a 1.5 mts serán entibados.
8.- Será colocada una línea de cuerda o cinta de señalización paralela a la zanja en caso de que la profundidad sea mayor de 1.5 mts.
EQUIPOS DE PREVENCIÓN.
1.- Ropa de trabajo.
2.- Casco de polietileno.
3.- Botas de seguridad.
4.- Botas de seguridad impermeables.
5.- Trajes impermeables en caso de ambiente lluvioso.
6.- Mascarilla antipolvo con filtro mecánico recambiable.
7.- Mascarillas filtrantes.
8.- Guantes de goma o PVC.

9.- Gafas antipartículas.							
10.- Protectores auditivos.							
11.- Guantes de cuero.							
Interpretación de las abreviaturas							
Probabilidad		Protección		Consecuencias		Estimación del riesgo	
Baja	Colectiva	Ligeramente dañino	Trivial	Riesgo	Importante	Riesgo	
Media	Individual	Dañino	Tolerable	Riesgo	Intolerable	Riesgo	
Alta		Extremadamente dañino	Moderado	Riesgo			

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN INICIAL DE RIESGOS													
Actividad: Vertido directo de hormigones.								Lugar de evaluación: Sobre planos					
Nombre del peligro identificado	Probabilidad			Protección		Consecuencias			Estimación del riesgo				
	B	M	A	c	i	Ld	D	Ed	T	To	M	I	I
Caída de personas/objetos al vacío.	X			X	X		X			X			

Atrapamiento de miembros.	X				X		X			X			
Caída de personas al mismo nivel	X				X	X				X			
Hundimiento de encofrados.	X				X	X				X			
Rotura o reventón de encofrados.		X			X	X					X		
Caída de encofrados.	X				X		X				X		
Pisadas sobre objetos punzantes.	X				X	X				X			
Las derivadas de trabajos sobre suelos o muros.	X				X		X				X		
Contactos con el hormigón (dermatitis por cementos)	X				X	X				X			
Fallo de entibaciones.	X				X	X				X			
Corrimiento de tierras.		X			X	X					X		
Los derivados de la ejecución de trabajos bajo condiciones meteorológicas adversas.	X				X		X				X		
Vibraciones por la manipulación de agujas vibrantes.	X				X	X				X			
Ruido ambiental	X				X	X				X			
Electrocución.	X				X		X				X		
Atrapaminetos.	X				X	X				X			
MEDIDAS PREVENTIVAS.													

1.- Se instalarán topes final de recorrido de los camiones hormigonera para evitar vuelcos.
2.- Se prohíbe acercar las ruedas de los camiones a menos de 1.5 mts del borde .
3.- Se prohíbe la circulación de operarios detrás de los camiones hormigonera durante el retroceso.
4.- Se instalará cable de seguridad amarrados a puntos sólidos en el caso de existir peligro por caídas desde altura.
5.- Se habilitarán puntos de permanencia seguros intermedios en vertidos de hormigón a media ladera.
6.-la maniobra de vertido será dirigida por el encargado de obra.
7.- En zonas con entibación estas serán revisadas por el encargado antes de proceder al hormigonado.
8.- Sera revisado el estado de los encofrados por parte del encargado antes de proceder al hormigonado
9.- La zona a hormigonar carecerá de restos de obra como maderas, redondos, alambres etc...
EQUIPOS DE PREVENCIÓN.
1.- Ropa de trabajo.
2.- Casco de polietileno.
3.- Botas de seguridad.
4.- Botas de seguridad con suela aislante.
5.- Trajes impermeables en caso de ambiente lluvioso.
6.- Mascarilla antipolvo con filtro mecánico recambiable.
7.- Mascarillas filtrantes.

8.- Guantes de goma o PVC.				
9.- Gafas antipartículas.				
10.- Protectores auditivos.				
11.- Guantes de cuero.				
Interpretación de las abreviaturas				
Probabilidad	Protección	Consecuencias	Estimación del riesgo	
B Baja	c Colectiva	Ld Ligeramente dañino	T Riesgo trivial	I Riesgo importante
M Media	i Individual	D Dañino	To Riesgo tolerable	In Riesgo intolerable
A Alta		Ed Extremadamente dañino	M Riesgo moderado	

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN INICIAL DE RIESGOS													
Actividad: Montaje de estructuras metálicas.							Lugar de evaluación: Sobre planos						
Nombre del peligro identificado	Probabilidad			Protección		Consecuencias			Estimación del riesgo				
	B	M	A	c	i	Ld	D	Ed	T	To	M	I	In

Vuelco de pilas por acopio de perfilería.	X			X	X	X		X		
Desprendimiento de cargas suspendidas.	X			X		X		X		
Derrumbamiento por golpes con cargas suspendidas de elementos punteados.	X			X	X	X		X		
Atrapamientos por objetos pesados.	X			X	X		X	X		
Golpes y/o cortes en manos y piernas por objetos y/o herramientas.	X				X	X		X		
Vuelcos de estructura.	X			X			X	X		
Quemaduras.	X						X	X		
Caídas de personal al mismo nivel.	X				X		X	X		
Pisadas sobre objetos punzantes.	X				X	X		X		
Electrocución por anulación de tomas de tierra de maquinaria eléctricas.	X				X	X		X		
Radiaciones por soldadura de arco.	X				X	X		X		
Partículas en los ojos.										
Contacto con la corriente eléctrica.	X				X	X		X		
Explosión de botellas de gases licuados.										
Incendios		X			X	X		X		
MEDIDAS PREVENTIVAS.										
1.- La perfilería será acopiada en el lugar designado en los planos.										

2.-la zona destinada al acopio de perfilería será previamente acopiada.
3.- Los perfiles será acopiados previamente teniendo en cuenta que en ningún caso será superada la altura de 1.50 mts.
4.- Los perfiles se apilarán en función de sus dimensiones.
5.- Los perfiles se apilarán por capas horizontales. Cada capa se apilará en sentido perpendicular a la inmediatamente inferior.
6.- Las maniobras de montaje de estructuras y cubiertas serán gobernadas por tres operarios. Dos de ellos guiarán el perfil mediante sogas siguiendo las directrices del primero.
7.- Entre pilares se tenderán cables de seguridad a los que amarrar el mosquetón del cinturón de seguridad que será utilizado en los desplazamientos sobre las alas de las vigas.
8.- Las tareas de soldadura en cubierta se realizarán por medio de andamios tubulares correctamente fijados a pilares y que poseerán plataformas de trabajo de 60 cms. De anchura, y de barandillas perimetrales de 90 cms.
9.- En las zonas donde no sea posible trabajar en cubierta por medio de andamios tubulares debidamente fijados, se colocarán redes de protección.
10.- Tras la conclusión de trabajos de soldadura se revisará el estado de las redes
11.- Se revisará diariamente la fijación de las redes
12.- Se prohíben los trabajos en altura sin fijación de los cinturones. A elementos fijos.
13.- Se prohíben los trabajos de soldadura sobre tajos donde en niveles inferiores se encuentren otros operarios.
14.- Se prohíbe la permanencia o paso de operarios bajo tajos de soldadura.
15.- Se prohíbe el tránsito o la realización de trabajos de soldadura bajo la circulación de cargas suspendidas.

16.-las botellas de gases en uso de la obra permanecerán dentro del carro portabotellas correspondientes.
17.- Se prohíbe tender las mangueras o cables eléctricos de forma desordenada.
18.- Se prohíbe dejar la pinza y el electrodo directamente en el suelo conectado al grupo. Se exige el uso recoge pinzas.
EQUIPOS DE PREVENCIÓN.
1.- Ropa de trabajo.
2.- Casco de polietileno.
3.- Botas de seguridad.
4.- Botas de seguridad con suela aislante.
5.- Guantes de cuero.
6.- Botas de goma o de PVC de seguridad
7.- Ropa de trabajo.
8.- Manoplas de soldador
9.- Mandil de soldador
10.- Polainas de soldador
11.- Yelmo de soldador
12.- Pantallas de mano para soldador
13.- Gafas de soldador
14.- Gafas de seguridad antiproyecciones
Interpretación de las abreviaturas

Probabilidad	Protección	Consecuencias	Estimación del riesgo			
Baja	Colectiva	Ld Ligeramente dañino	T trivial	Riesgo	I importante	Riesgo
Media	Individual	D Dañino	To tolerable	Riesgo	In intolerable	Riesgo
Alta		Ed Extremadamente dañino	M moderado	Riesgo		

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN INICIAL DE RIESGOS

Actividad: Montajes de paneles prefabricados.

Lugar de evaluación: Sobre planos

Nombre del peligro identificado	Probabilidad			Protección		Consecuencias			Estimación del riesgo				
	B	M	A	c	i	Ld	D	Ed	T	To	M	I	In
Golpes a las personas por el transporte de en suspensión de grandes piezas.	X			X	X		X			X			
Atrapamiento durante maniobras de ubicación.	X				X		X				X		
Caídas de personas a distinto nivel.	X			X			X				X		
Caídas de personas a mismo nivel.		X			X		X				X		
Vuelco de piezas prefabricadas.		X		X	X			X					X

Desplome de piezas prefabricadas.	X				X		X			X			
Cortes en el manejo de herramientas manuales.		X			X	X				X			
Cortes o golpes por manejo de herramientas-máquinas.		X			X	X				X			
Aplastamiento de manos o pies al recibir las piezas.		X		X	X		X			X			
Los derivados de la realización de trabajos bajo el régimen de fuertes vientos.		X		X	X			X			X		

MEDIDAS PREVENTIVAS

1.- Se tenderán cables de seguridad amarrados a elementos estructurales sólidos, en los que enganchar el mosquetón del cinturón de seguridad de los operarios encargados de recibir al borde de los andamios las piezas prefabricadas servidas mediante grúa.

2.- La pieza prefabricadas será izada del gancho de la grúa mediante el auxilio de balancines.

3.- El prefabricado en suspensión del balancín, se guiará mediante cabos sujetos a los laterales de la pieza mediante un equipo formado por tres hombres. Dos de ellos gobernarán las piezas mientras que un tercero dirigirá la maniobra.

4.- Una vez presentado en el sitio de instalación el prefabricado de hormigón, se procederá, sin descolgarlo del gancho de la grúa y sin descuidar la guía mediante los cabos, el montaje definitivo, concluido el cual, podrá desprenderse el balancín.

5.- No se soltará ninguno de los elementos de fijación de la cercha hasta que se haya visto concluida la tarea de fijación de la misma.

6.- Diariamente se realizará por parte del encargado de obra la revisión de sobre el estado de los elementos de elevación, así como de la maquinaria en general , haciendo anotación expresa en un libro de control que en todo momento estará a disposición de la Dirección Facultativa.

7.- Se prohíbe trabajar o permanecer en los lugares de tránsito de piezas suspendidas, en previsión de riesgo de desplome.

8.- Se instalarán señales de “peligro, paso de cargas suspendidas”, sobre los pies derechos bajo los lugares destinados a su paso.

9.- Se prepararán zonas de obra compactadas para la circulación de camiones con transporte de prefabricados.

10.- Los prefabricados se acopiarán en posición horizontal sobre durmientes dispuestos por capas de tal forma que no se dañen los elementos de enganchen para su izado.

11.- A los prefabricados en acopio antes de proceder a su izado para ponerlos en para ubicarlos en obra, se les amarrarán los cabos de la guía, para realizar las maniobras sin riesgos.

12.- Se paralizarán las tareas de colocación de prefabricados bajo régimen de vientos superiores a 60 Km/h.

13.- Si alguna pieza llegara a su sitio de instalación girando sobre sí misma, se la intentará detener utilizando exclusivamente los cabos de gobierno y nunca con las manos o con el cuerpo, en prevención del riesgo de caídas por oscilación del penduleo de las piezas en movimiento.

14.- la zona de trabajo permanecerá en todo momento libre de obstáculos o herramientas que puedan dificultar las maniobras de instalación.

EQUIPOS DE PREVENCIÓN

1.- Casco de polietileno.

2.- Guantes de PVC o de goma.

3.- Guantes de cuero.

4.- Botas de seguridad, clase A, o C.			
5.- Botas con puntera reforzada.			
6.- Ropa de trabajo.			
7.- Trajes par a tiempo lluvioso.			
LOS SOLDADORES UTILIZARÁN ADEMÁS			
1.- Yelmo Para soldaduras.			
2.- Pantalla de mano para soldaduras.			
3.- Gafas para soldador. (soldador y ayudante)			
4.- Mandil de cuero.			
5.- Polaina de cuero.			
6.- Manguitos de cuero.			
7.- Guantes de cuero.			
Interpretación de las abreviaturas			
Probabilidad	Protección	Consecuencias	Estimación del riesgo
B Baja	c Colectiva	Ld Ligeramente dañino	T Riesgo trivial
M Media	i Individual	D Dañino	To Riesgo tolerable
A Alta		Ed Extremadamente dañino	M Riesgo moderado
			I Riesgo importante
			In Riesgo intolerable

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN INICIAL DE RIESGOS

Actividad: Montaje de cubiertas.

Lugar de evaluación: Sobre planos

Nombre del peligro identificado	Probabilidad			Protección		Consecuencias			Estimación del riesgo				
	B	M	A	c	i	Ld	D	Ed	T	To	M	I	In
Cortes por uso de herramientas: Paletas, paletines, terrajas, miras, etc ...	X				X	X			X				
Golpes por uso de herramientas: Miras, reglas, terrajas, maestras ...	X				X	X			X				
Caídas desde altura.	X			X	X		X			X			
Proyección violenta de partículas, (cuerpos extraños en los ojos).	X				X	X			X				
Sobre esfuerzos, (permanecer durante largo tiempo en posturas forzadas u obligadas).		X			X	X				X			
Afecciones respiratorias por: Polvo, corrientes de viento, etc ...	X				X		X			X			
Hundimiento de la superficie de apoyo.	X				X	X			X				
Los derivados del uso de medios auxiliares, (borriquetas, escaleras, andamios, etc.).	X			X	X		X			X			

MEDIDAS PREVENTIVAS

1.- El personal encargado de la colocación de la cubierta será conocedor de este tipo de trabajos, en prevención de los riesgos por impericia.

2.- El riesgo de caídas al vacío se controlará colocando redes de protección fijadas a elementos estructurales.

3.- Se tenderá un cable de acero de seguridad fijado a dos puntos resistentes de las limatesas, para poder fijar los cinturones de seguridad.

4.- El acceso a los planos inclinados se realizará mediante escaleras que deberán sobrepasar 1 m la altura a salvar.

5.- Se suspenderán los trabajos en cubiertas cuando existan vientos superiores a 60 Km/h. , lluvia o nieve

6.- El extendido y recibido de cumbreras y baberos de plomo o similares, entre planos inclinados se realizarán siempre con cinturones de seguridad amarrados a cable de seguridad debidamente fijado a elementos fuertes de estructura.

7.- En los accesos a cubierta se instalarán letreros de” peligro, pise sobre las correas “

EQUIPOS DE PREVENCIÓN.

1.- Casco de polietileno.

2.- Guantes de PVC o de goma.

3.- Guantes de cuero.

4.- Botas de seguridad, clase A, B, C.

5.- Botas con puntera reforzada.

6.- Ropa de trabajo.

7.- Trajes para tiempo lluvioso.

8.- Cinturón de seguridad clases A,B,C.

Interpretación de las abreviaturas						
Probabilidad	Protección	Consecuencias	Estimación del riesgo			
B Baja	c Colectiva	Ld Ligeramente dañino	T trivial	Riesgo	I importante	Riesgo
M Media	i Individual	D Dañino	To tolerable	Riesgo	In intolerable	Riesgo
A Alta		Ed Extremadamente dañino	M moderado	Riesgo		

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN INICIAL DE RIESGOS													
Actividad: Carpintería metálica y cerrajería.								Lugar de evaluación: Sobre planos					
Nombre del peligro identificado	Probabilidad			Protección		Consecuencias			Estimación del riesgo				
	B	M	A	c	i	Ld	D	Ed	T	To	M	I	In
Desprendimiento de la carga suspendida a gancho grúa, (eslingado erróneo).	X				X		X			X			
Caídas al mismo nivel, (desorden de obra o del taller de obra).	X				X	X			X				
Caídas a distinto nivel.	X				X		X			X			

Caídas desde altura, (montaje de carpintería en fachadas)	X			X	X		X			X			
Cortes en las manos por el manejo de máquinas herramienta manuales.	X				X	X				X			
Golpes en miembros por objetos o herramientas.		X			X	X				X			
Atrapamiento de dedos entre objetos pesados en manutención a brazo.		X			X		X					X	
Pisadas sobre objetos punzantes, lacerantes o cortantes, (fragmentos).	X				X	X				X			
Caída de elementos de carpintería metálica sobre las personas o las cosas, (falta de apuntalamiento o apuntalamiento peligroso).	X			X			X			X			
Contactos con la energía eléctrica, (conexiones directas sin clavija; cables lacerados o rotos).		X		X			X					X	
Sobre esfuerzos por sustentación de elementos pesados.	X				X	X				X			

MEDIDAS PREVENTIVAS

1.- Los elementos de carpintería se descargarán en bloques perfectamente flejados o atados, pendientes mediante eslingas del gancho de la grúa.

2.- Los acopios de carpintería metálica se acopiarán en los lugares destinados a tal efecto para ello y que aparecen indicados en planos.

3.- En todo momento se mantendrán libres los pasos o caminos de intercomunicación interior y exterior de la obra para evitar posibles accidentes por tropiezos e interferencias.

4.- El capataz o encargado de obra vigilará que todos los elementos estén correctamente acopiados, para evitar posibles accidentes por desplomes.

5.- En todos los tajos se mantendrán las zonas de circulación libres de cascotes, recortes metálicos y elementos punzantes para evitar accidentes por pisadas sobre objetos punzantes.

6.- Antes de la utilización de una maquinaria herramienta, el operario deberá estar provisto del documento expreso de autorización de manejo de esa determinada máquina (radial, remachadora, lijadora, etc...)

7.- Antes de la utilización de cualquier máquina- herramienta se comprobará que está en perfectas condiciones y con los medios de protección en perfectas condiciones.

8.- Los cercos metálicos serán presentados por un mínimo de una cuadrilla, para evitar los riesgos de vuelcos, golpes o caídas.

9.- El cuelgue de las hojas de las carpinterías se efectuará como mínimo de una cuadrilla, para evitar el riesgo de vuelco o desplome

10.- Toda la maquinaria eléctrica a utilizar dispondrá de toma de tierra en combinación con los disyuntores diferenciales del cuadro general de la obra o de doble aislamiento.

11.- Se notificará a la Dirección Facultativa, las desconexiones habidas por funcionamiento de los disyuntores diferenciales.

12.- Los elementos metálicos que resulten inseguros en situaciones de consolidación de su recibido se mantendrán apuntalados para garantizar su perfecta ubicación definitiva y evitar desplomes.

13.- Los tramos metálicos longitudinales (postes) transportadas por un solo hombre, irán inclinadas hacia atrás, procurando que la punta que va por delante esté a una altura superior a la de una persona, para evitar golpes a otras personas.

EQUIPOS DE PREVENCIÓN.

1.- Casco de polietileno.

2.- Faja elástica de sujeción de cintura.			
3.- Guantes de cuero.			
4.- Botas de seguridad.			
5.- Botas con puntera reforzada.			
6.- Ropa de trabajo.			
7.- Trajes par a tiempo lluvioso.			
8.- Cinturón de seguridad clases A,B,C.			
Interpretación de las abreviaturas			
Probabilidad	Protección	Consecuencias	Estimación del riesgo
B Baja	c Colectiva	Ld Ligeramente dañino	T Riesgo trivial
M Media	i Individual	D Dañino Ed Extremadamente dañino	To Riesgo tolerable
A Alta			M Riesgo moderado
			I Riesgo importante
			In Riesgo intolerable

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN INICIAL DE RIESGOS													
Actividad: Instalación eléctrica Baja Tensión.										Lugar de evaluación: Sobre planos			
Nombre del peligro identificado	Probabilidad			Protección		Consecuencias			Estimación del riesgo				
	B	M	A	c	i	Ld	D	Ed	T	To	M	I	In
Caídas de personas a distinto nivel.	X			X	X		X			X			
Caídas de personas al mismo nivel.	X			X			X			X			
Cortes por manejo de herramientas manuales.	X			X	X	X			X				
Cortes por manejo de guías y conductores.	X			X	X		X			X			
Golpes por herramientas manuales..	X				X	X			X				
Sobreesfuerzos.	X			X			X			X			
Contactos eléctricos directos		X			X		X			X			
Contactos electricos indirectos		X			X		X			X			
Mal funcionamiento de los mecanismos y sistemas de protección		X		X			X			X			
Mal funcionamiento de las tomas de tierra (incorrecta instalación, picas que anulan el sistema de protección de tierras		X		X			X			X			
Quemaduras.	X							X		X			

MEDIDAS PREVENTIVAS

1.- El calibre y sección del cuadro será siempre el adecuado para la carga eléctrica que ha de soportar en función del cálculo realizado por la maquinaria e iluminación prevista

2.- Los hilos tendrán la funda aislante sin defectos despreciables.

3.- Las posibles derivaciones desde el cuadro general a los cuadros secundarios deberán siempre realizarse por medio de mangueras antihumedad.

4.- Los empalmes entre mangueras siempre estarán elevados, y nunca por el suelo.

5.- Los empalmes definitivos se realizarán utilizando cajas de empalmes normalizadas estancos de seguridad.

6.- En ningún caso el trazado de suministro eléctrico coincidirá con el de suministro de agua.

7.- Las mangueras de “alargaderas” provisionales y de corta distancia podrán llevarse por el suelo pero siempre aproximadas a paramentos verticales.

8.- Las mangueras de alargaderas provisionales, se empalmarán mediante conexiones normalizadas estancos antihumedad o fundas aislantes termorretráctiles.

9.- Los interruptores se ajustarán expresamente a lo recogido en el Reglamento de Baja Tensión.

10.- Los interruptores se instalarán en el interior de las cajas normalizadas, provistas de cerradura con cierre de seguridad.

11.- Las cajas de los interruptores permanecerán colgadas, bien a los paramentos verticales o bien a los pies derechos estables.

12.- Los cuadros eléctricos serán metálicos de tipo para la intemperie, y se protegerán del agua de lluvia mediante viseras eficaces como protección adicional.

13.- Los cuadros metálicos exteriores tendrán carcasa conectada a tierra.

14.- Los cuadros eléctricos se colgarán pendientes de tableros de madera recibidos a los paramentos verticales o bien a pies derechos firmes.
15.- Las maniobras a ejecutar en el cuadro eléctrico general se efectuarán subido a una banqueta de maniobra o alfombrilla aislante, calculados expresamente para realizar la maniobra con seguridad.
16.- Los cuadros eléctricos poseerán tomas de corriente para conexiones normalizadas blindadas para intemperie, en número determinado según cálculo realizado.
17.- Las tomas de corriente de los cuadros se efectuarán de los cuadros mediante clavijas normalizadas blindadas y siempre que sea posible con enclavamiento.
18.- Cada toma de corriente suministrará energía a un único aparato, máquina o herramienta.
19.- La tensión siempre estará en la clavija “hembra”, nunca en la clavija “macho”, para evitar contactos eléctricos directos.
20.- Los interruptores automáticos se instalarán en todas las líneas de toma de corriente de los cuadros de distribución y de alimentación a todas las máquinas, aparatos y máquinas – herramientas de funcionamiento eléctrico.
21.- Los circuitos generales estarán protegidos con interruptores.
22.- Toda la maquinaria eléctrica estará protegida por disyuntor general.
23.- Todas las líneas estarán protegidas por disyuntor general.
24.- Las partes metálicas de todo el equipo eléctrico dispondrá de toma de tierra.
25.- El neutro de la instalación estará puesto a tierra.
26.- La toma de tierra se efectuará a través de la pica o placa de cada cuadro general.
27.- El hilo de tierra siempre estará protegido con macarrón en colores amarillo y verde. Se prohíbe expresamente utilizarlo para otros usos.

28.- La toma de tierra de la máquina que no esté dotada de doble aislamiento, se efectuará mediante hilo neutro en combinación con el cuadro de distribución correspondiente y el cuadro de obra.
29.- Las tomas de tierra calculadas estarán situadas en el terreno de tal forma que su funcionamiento y eficacia sea el requerido por la instalación.
30.- La conductividad del terreno se efectuará vertiendo periódicamente en la pica, (placa o conductor) agua de forma periódica.
31.- El punto de conexión de la pica estará protegido en arqueta de tapa practicable.
32.- No s efectuará el transito de carretillas y personas sobre mangueras eléctricas.
33.- Junto al cuadro general se instalará un extintor de polvo químico.
34.- Los cables de obra estarán protegidos como mínimo de 1000V de tensión de aislamiento.
35.- No se permitirán empalmes mal ejecutados.
36.-Cuadro de protección IP-55
37.- El cuadro será ubicado en sitio seco.
38.-El cuadro de obra no será manipulado en ambiente mojado.
39.- Cualquier manipulación sobre la instalación o elementos eléctricos será llevada a cabo por personal cualificado para ello, y siempre con la instalación fuera de servicio.
EQUIPOS DE PREVENCIÓN.
1.- Casco de polietileno.
2.- Botas aislantes de electricidad.
3.- Guantes aislantes de electricidad.
4.- Plantillas anticlavos

5.- Comprobadores de tensión.			
6.- Ropa de trabajo.			
7.- Trajes par a tiempo lluvioso.			
8.- Cinturón de seguridad clase C.			
Interpretación de las abreviaturas			
Probabilidad	Protección	Consecuencias	Estimación del riesgo
B M Media A	Baja Colectiva Individual Alta	Ld Ligeramente dañino D Dañino Ed Extremadamente dañino	T Riesgo trivial To Riesgo tolerable M Riesgo moderado
			I Riesgo importante In Riesgo intolerable

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN INICIAL DE RIESGOS

Actividad: Instalación de fontanería.

Lugar de evaluación: Sobre planos

Nombre del peligro identificado	Probabilidad			Protección		Consecuencias			Estimación del riesgo				
	B	M	A	c	i	Ld	D	Ed	T	To	M	I	In
Caídas de personas a distinto nivel.	X			X	X		X			X			
Caídas de personas al mismo nivel.	X			X			X			X			
Cortes por manejo de herramientas manuales y objetos	X			X	X	X				X			
Atrapamientos entre piezas pesadas.	X			X	X		X			X			
Explosión (de soplete, botellas de gases licuados, bombonas)	X				X	X				X			
Sobreesfuerzos.	X			X			X			X			
Pisadas sobre objetos punzantes.													
Los inherentes al uso de la soldadura autógena.	X			X			X			X			
Explosión, (botellas de gases licuados tumbadas; vertido de acetona; bombonas de propano; impericia).		X			X		X				X		
Incendio, (impericia; fumar; desorden del taller con material inflamable).		X		X	X	X				X			

Pisadas sobre objetos punzantes o materiales.		X			X	X				X			
Ruido, (amolado).	X			X		X				X			
Contacto con la energía eléctrica, (anular o puntear protecciones, conexiones directas sin clavija).		X		X	X		X					X	
Radiaciones por arco voltaico.		X			X		X					X	
Intoxicación por vapores metálicos, (ausencia de captación localizada).		X			X		X					X	
Proyección violenta de partículas, (picado del cordón de soldadura; amolado con radial).	X				X	X				X			
Quemaduras.	X							X		X			

MEDIDAS PREVENTIVAS

1.- El almacén para acopio de material de fontanería será ubicado en el sitio indicado en planos

2.- El transporte de tramos de tubería a hombro por un solo hombre se realizará inclinando la carga hacia atrás, de tal forma que, el extremo que va por delante supere la altura de un hombre en un hombre, para evitar posibles golpes y tropiezos con otros operarios.

3.- Los bancos de trabajo estarán limpios de material sobrante, manteniéndose la buenas condiciones de uso.

4.- Las bombonas o botellas de gas permanecerán almacenadas bajo llave en el lugar indicado en planos, existirá un extintor de polvo químico seco prohíbe además fumar en esta zona.

5.- Se prohíbe el uso de mecheros y sopletes junto a material inflamable.

6.- Se prohíbe abandonar los mecheros y sopletes encendidos.

7.- Se controlará la dirección de la llama durante las operaciones de soldadura, para evitar incendios.			
8.- Se evitará soldar con las botellas o bombonas de gases licuados expuestos al sol.			
EQUIPOS DE PREVENCIÓN.			
1.- Casco de polietileno.			
2.- Mandil de cuero			
3.- Guantes de cuero.			
4.- Botas de seguridad.			
5.- Botas con puntera reforzada.			
6.- Ropa de trabajo.			
7.- Trajes par a tiempo lluvioso.			
8.- Cinturón de seguridad clases A,B,C.			
El tajo de soldadura utilizará los elementos propios de estas tareas que aparecen recogidos en los apartados correspondientes.			
Interpretación de las abreviaturas			
Probabilidad	Protección	Consecuencias	Estimación del riesgo

B M Media A	Baja Alta	c Colectiva i Individual	Ld Ligeramente dañino D Dañino Ed Extremadamente dañino	T Riesgo trivial To Riesgo tolerable M Riesgo moderado	I Riesgo importante In Riesgo intolerable
----------------------	------------------	---------------------------------------	--	--	--

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN INICIAL DE RIESGOS														
Actividad: Instalación de tuberías de saneamiento.										Lugar de evaluación: Sobre planos				
Nombre del peligro identificado	Probabilidad			Protección		Consecuencias			Estimación del riesgo					
	B	M	A	c	i	Ld	D	Ed	T	To	M	I	In	
Los riesgos propios del lugar, factores de forma y ubicación del tajo de instalación de tuberías.	X			X		X			X					
Caídas de objetos, (piedras, materiales, etc.).	X				X	X			X					
Golpes por objetos desprendidos en manipulación manual.	X				X	X			X					

Caídas de personas al entrar y al salir de zanjas por; (utilización de elementos inseguros para la maniobra: módulos de andamios metálicos, el gancho de un torno, el de un maquinillo, etc.).	X				X		X			X			
Caídas de personas al caminar por las proximidades de una zanja, (ausencia de iluminación, de señalización o de oclusión).	X				X		X			X			
Derrumbamiento de las paredes de la zanja, (ausencia de blindajes, utilización de entibaciones artesanales de madera).	X				X		X					X	
Interferencias con conducciones subterráneas, (inundación súbita, electrocución).	X				X		X			X			
Sobre esfuerzos, (permanecer en posturas forzadas, sobrecargas).	X				X	X				X			
Estrés térmico, (por lo general por temperatura alta).	X				X	X				X			
Pisadas sobre terrenos irregulares o sobre materiales.	X				X	X				X			
Cortes por manejo de piezas cerámicas y herramientas de albañilería.	X				X	X				X			
Dermatitis por contacto con el cemento.	X				X	X				X			
Atrapamiento entre objetos, (ajustes de tuberías y sellados).	X				X		X			X			

Caída de tuberías sobre personas por: (eslingado incorrecto; rotura por fatiga o golpe recibido por el tubo, durante el transporte a gancho de grúa o durante su instalación; uña u horquilla de suspensión e instalación corta o descompensada; rodar el tubo con caída en la zanja -acopio al borde sin freno o freno incorrecto-).	X						X				X
Atrapamientos por: (recepción de tubos a mano; freno a brazo, de la carga en suspensión a gancho de grúa; rodar el tubo -acopio sin freno o freno incorrecto-).	X			X			X				X
Polvo, (corte de tuberías en vía seca).	X			X	X			X			
Proyección violenta de partículas, (corte de tuberías en vía seca).	X			X		X			X		
Sobre esfuerzos, (parar el penduleo de la carga a brazo; cargar tubos a hombro).	X			X	X			X			
MEDIDAS PREVENTIVAS											
1.- El almacén para tuberías y elementos de fontanería será ubicado en el sitio indicado en planos y destinado para ello.											
2.- El transporte de tramos de tubería a hombro por un solo hombre se realizará inclinando la carga hacia atrás, de tal forma que, el extremo que va por delante supere la altura de un hombre en un hombre, para evitar posibles golpes y tropiezos con otros operarios.											
3.- Los bancos de trabajo estarán limpios de material sobrante, manteniéndose la buenas condiciones de uso.											
EQUIPOS DE PREVENCIÓN.											

1.- Casco de polietileno.			
2.- Guantes de cuero.			
3.- Botas de seguridad.			
4.- Botas con puntera reforzada.			
5.- Ropa de trabajo.			
6.- Trajes par a tiempo lluvioso.			
7.- Cinturón de seguridad clases A,B,C.			
Interpretación de las abreviaturas			
Probabilidad	Protección	Consecuencias	Estimación del riesgo
B M Media A	Baja Colectiva Individual Alta	Ld Ligeramente dañino D Dañino Ed Extremadamente dañino	T Riesgo trivial To Riesgo tolerable M Riesgo moderado
			I Riesgo importante In Riesgo intolerable

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN INICIAL DE RIESGOS

Actividad: Pintura y barnizados.

Lugar de evaluación: Sobre
planos

Nombre del peligro identificado	Probabilidad			Protección	Consecuencias			Estimación del riesgo						
	B	M	A		c	i	Ld	D	Ed	T	To	M	I	In
Caídas al mismo nivel, (desorden de obra o del taller de obra).	X				X	X			X					
Caídas a distinto nivel.	X			X	X		X			X				
Higiénicos originados por las pinturas y barnices.	X				X	X			X					
Golpes en miembros por objetos o herramientas.		X			X	X				X				
Cuerpos extraños en ojos.		X			X		X					X		
Contacto con productos tóxicos o peligrosos	X				X	X			X					
Rotura de herramientas de aire comprimido.	X				X		X			X				
Contactos con la energía eléctrica, (conexiones directas sin clavija; cables lacerados o rotos).		X			X		X					X		
Sobre esfuerzos por sustentación de elementos pesados.	X				X	X			X					
MEDIDAS PREVENTIVAS														
1.- Las pinturas se almacenarán en los lugares indicados en los planos bajo el título de “ almacén de pinturas” manteniéndose siempre la ventilación por tiro de aire para evitar los riesgos de incendios e intoxicaciones.														

2.- Se instalará un extintor de polvo químico seco al lado de la zona de acceso al almacén de pinturas.

3.- En la zona de acceso al almacén de pinturas se colocará cartel de prohibido fumar y otra de peligro de incendios.

4.- Se prohíbe almacenar pintura susceptibles de emanar vapores inflamables con los recipientes mal o incompletamente cerrados.

5.- Se evitará la formación de ambientes con atmósferas nocivas.

6.- Se tenderán cables de seguridad amarrados a los puntos fuertes según planos, de los que amarrar el fijador del cinturón de seguridad en las actuaciones de riesgo de caída.

7.- Los andamios para pintar tendrán un ancho mínimo de 60 cms. para evitar los accidentes por trabajos realizados en superficies angostas.

8.- Se prohíbe la formación de andamios con bidones, pilas de materiales o asimilables, para evitar la realización de trabajos sobre superficies inseguras.

9.- Se prohíbe la formación de andamios con tabloncillos apoyados en escaleras de mano tanto de los de apoyo libre como de tijera, para evitar riesgo de caída a distinto nivel.

10.- Las zonas de trabajo tendrán una iluminación mínima de 100 lux. Medidos a una altura de pavimento de 2 m.

11.- Las escaleras de mano a utilizar serán del tipo tijera, dotadas con zapatas antideslizante y cadenilla limitadora de apertura.

12.- Las operaciones de lijado mediante lijadora eléctrica se realizarán siempre en lugares ventilados.

13.- El vertido de pigmento se realizará siempre desde la menor altura posible, evitando salpicaduras y atmósferas pulvulentas.

14.-Se prohíbe realizar trabajos de soldadura y oxicorte en lugares próximos a los tajos en los que se empleen pinturas inflamables, para evitar el riesgo de explosión o de incendio.

15.- La pintura de las cerchas de la obra se ejecutará desde superficies de trabajo adecuadas y con el fijador del cinturón de seguridad amarrado a un punto firme de la propia cercha.

16.- Se tenderán redes de protección horizontales, sujetas a puntos firmes de la estructura según detalles de planos, bajo el tajo de pinturas de cerchas como medio de protección frente al riesgo de caídas de altura.

EQUIPOS DE PREVENCIÓN.

1.- Casco de polietileno.

2.- Faja elástica de sujeción de cintura y cinturón de seguridad.

3.- Guantes de PVC largos

4.- Mascarilla con filtro mecánico.

5.- Mascarilla con filtro específico

6.- Ropa de trabajo.

7.- Gafas de seguridad

8.- Calzado de seguridad

Interpretación de las abreviaturas

Probabilidad	Protección	Consecuencias	Estimación del riesgo
--------------	------------	---------------	-----------------------

B Baja	c Colectiva	Ld Ligeramente dañino	T trivial	Riesgo	I importante	Riesgo
M Media	i Individual	D Dañino Ed Extremadamente dañino	To tolerable	Riesgo	In intolerable	Riesgo
A Alta			M moderado	Riesgo		

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN INICIAL DE RIESGOS													
Actividad: Ferrallistas.										Lugar de evaluación: Sobre planos			
Nombre del peligro identificado	Probabilidad			Protección		Consecuencias			Estimación del riesgo				
	B	M	A	c	i	Ld	D	Ed	T	To	M	I	In
Caídas al mismo nivel, (desorden de obra; superficies embarradas).	X				X	X			X				
Aplastamiento de dedos, (manutención de ferralla para montaje de armaduras, recepción de paquetes de ferralla a gancho de grúa).	X				X		X			X			
Golpes en los pies, (caída de armaduras desde las borriquetas de montaje).	X				X		X			X			
Cortes en las manos, (montaje de armaduras; inmovilización de armaduras con alambre).	X				X	X			X				

Caída de cargas en suspensión a gancho de grúa por: (eslingado incorrecto; piezas de cuelgue de diseño peligroso, mal ejecutadas; cuelgue directo a los estribos; choque de la armadura contra elementos sólidos).	X					X			X				
Contacto con la energía eléctrica, (conexiones punteando la toma de tierra o los interruptores diferenciales; conexiones directas sin clavija; cables lacerados o rotos).		X		X		X					X		
Contacto continuado con el óxido de hierro, (dermatitis).	X			X	X				X				
Erosiones en miembros, (roce con las corrugas de los redondos).	X			X	X				X				
Sobre esfuerzos, (sustentación de cargas pesadas, manejo de la grifa, etc.).	X			X	X				X				
Fatiga muscular, (manejo de rodillos).	X			X	X				X				
Ruido, (compresores para pistolas de pintar).		X		X	X				X				
Pisadas sobre objetos punzantes, (redondos de acero, alambres).	X			X	X				X				
Golpes por las barras de ferralla: (durante la fase de doblado; caída de barras sobre los pies).	X			X	X				X				
MEDIDAS PREVENTIVAS													

1.- Los redondos de ferralla permanecerán en la zona destinada a acopio de este material y que aparece especificada en planos.

2.- Los paquetes de redondos se almacenarán en posición horizontal sobre durmientes de madera sin superar una altura de acopio mayor de 1.50 m

3.-El transporte aéreo de paquetes se de armadura mediante grúa se ejecutará suspendiendo la carga de dos puntos separados mediante eslingas.

4.-La ferralla montada se almacenará en sitios destinados a tal efecto separado del lugar de montaje, señalados en planos.

5.-Los desperdicios o recortes de hierro y acero se recogerán acopiándose en el lugar determinado en los para su posterior carga y transporte al vertedero.

6.- Se efectuará barrido diario de los desperdicios de puntas, alambres, y recortes de ferralla en torno al banco de trabajo.

7.- La ferralla montada se transportará al punto de ubicación suspendida al gancho de la grúa mediante eslingas que la sujetarán de dos puntos distantes para evitar deformaciones y desplazamientos no deseados.

8.- Queda prohibido el transporte aéreo de armaduras de pilares en posición vertical. Se transportarán suspendidos de dos puntos mediante eslingas (o balancín) que la sujetarán de dos puntos distantes para evitar deformaciones y desplazamientos no deseados.

9.- Se prohíbe trepar por las armaduras en cualquier caso.

EQUIPOS DE PREVENCIÓN.

1.- Casco de polietileno.

2.-Trajes para tiempo lluvioso.

3.- Guantes de cuero.

4.- Botas de seguridad

5.- Ropa de trabajo			
6.- Trajes para tiempo lluvioso.			
7.- Cinturón para herramientas			
Interpretación de las abreviaturas			
Probabilidad	Protección	Consecuencias	Estimación del riesgo
Baja	Colectiva	Ld Ligeramente dañino	T trivial Riesgo
Media	Individual	D Dañino	To Riesgo tolerable
Alta		Ed Extremadamente dañino	M Riesgo moderado
			I importante Riesgo
			In intolerable Riesgo

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN INICIAL DE RIESGOS													
Actividad: Andamios en general.									Lugar de evaluación: Sobre planos				
Nombre del peligro identificado	Probabilidad			Protección		Consecuencias			Estimación del riesgo				
	B	M	A	c	I	Ld	D	Ed	T	To	M	I	In
Caídas a distinto nivel	X			X			X			X			

3.- Los tramos verticales de los andamios deberán estar apoyados sobre tablonces de reparto de cargas.
4.- Los pies derechos de los andamios en las zonas de reparto de terreno inclinado, se suplementarán mediante tacos o porciones de tablón.
5.- Las plataformas de trabajo tendrán un mínimo de 60 cms. De anchura y estarán firmemente ancladas a los apoyos de manera que se eviten los movimientos innecesarios provocando deslizamientos o vuelcos.
6.- Se prohíbe arrojar desde los andamios escombros.
7.- La distancia máxima entre el andamio y el paramento vertical no será superior a 30 cms.
8- Se establecerá a lo largo y ancho de los paramentos verticales puntos fuertes de seguridad en los que se arriestren los andamios.
9.- Los andamios se inspeccionarán diariamente por el encargado de obra antes del inicio de los trabajos para prevenir fallos o faltas de medida de seguridad.
10.- Los elementos que denoten algún fallo técnico o mal comportamiento se desmontarán de inmediato para su reparación.
EQUIPOS DE PREVENCIÓN.
1.- Casco de polietileno.
2.-Botas de seguridad (según casos)
3.- Calzado de seguridad (según caso)
4.- Calzado antideslizante
5.- Cinturón de seguridad clase A,C
6.- Ropa de trabajo
7.- Trajes para ambientes lluviosos.

Interpretación de las abreviaturas					
Probabilidad	Protección	Consecuencias		Estimación del riesgo	
B Baja	c Colectiva	Ld Ligeramente dañino	T Trivial	Riesgo	I Riesgo importante
M Media	i Individual	D Dañino	To Tolerable	Riesgo	In Riesgo intolerable
A Alta		Ed Extremadamente dañino	M Moderado	Riesgo	

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN INICIAL DE RIESGOS													
Actividad: Máquinas herramienta eléctricas en general.								Lugar de evaluación: Sobre planos					
Nombre del peligro identificado	Probabilidad			Protección		Consecuencias			Estimación del riesgo				
	B	M	A	c	i	Ld	D	Ed	T	To	M	I	In
Cortes por: (el disco de corte; proyección de objetos; voluntarismo; impericia).		X			X		X					X	
Quemaduras por: (el disco de corte; tocar objetos calientes; voluntarismo; impericia).		X			X	X				X			
Golpes por: (objetos móviles; proyección de objetos).		X			X		X					X	

Proyección violenta de fragmentos, (materiales o rotura de piezas móviles).	X			X		X				X		
Caída de objetos a lugares inferiores.	X					X				X		
Contacto con la energía eléctrica, (anulación de protecciones; conexiones directas sin clavija; cables lacerados o rotos).	X					X				X		
Vibraciones.	X			X		X				X		
Ruido.	X			X	X					X		
Polvo.	X			X	X					X		
Sobre esfuerzos, (trabajar largo tiempo en posturas obligadas).	X			X	X					X		
MEDIDAS PREVENTIVAS												
1.- Las máquinas-herramientas eléctricas a utilizar en obra estarán protegidas eléctricamente mediante doble aislamiento.												
2.- Los motores eléctricos de las máquinas –herramientas estarán protegidos por la carcasa y resguardos propios de cada aparato, para evitar los riesgos de atrapamientos, o de contacto con la energía eléctrica.												
3.-Se prohíbe realizar reparaciones o manipulaciones con la máquinas accionada por transmisiones por correas en marcha. Las reparaciones, ajustes etc se harán a motor parado, para evitar accidentes.												
4.- El montaje y ajuste de transmisiones por correas se realizará mediante montacorreas, nunca con destornilladores, las manos etc..., par evitar riesgo de atrapamiento.												

5.- Las transmisiones mediante engranajes accionados mecánicamente, estarán protegidos mediante bastidor soporte de cerramiento a base de malla metálica que permitiendo la observación del buen funcionamiento de la transmisión impida el atrapamiento de personas y objetos.

6.- Se prohíbe la manipulación o ajuste de maquinaria por parte de personal no especializado específicamente en la máquina a reparar.

7.- Como medida adicional para evitar la puesta en servicio de la máquina averiada serán bloqueados los arranques o, en su caso se extraerán ,los fusible.

8.- Sólo el personal autorizado con la pertinente documentación escrita será el encargado de la utilización de una determinada máquina o máquina herramienta.

9.- Las máquinas que no sean de sustentación manual apoyarán sobre elementos nivelados y firmes.

10.- La elevación o descenso a máquina de objetos se efectuará lentamente, izándolos en directriz vertical. Se prohíbe que sean inclinados.

11.- Se prohíbe la permanencia en zonas bajo trabajos de carga suspendida.

12.- Los aparatos de izado y sustentación a emplear estarán provistos de limitadores de recorrido del carro y ganchos.

13.- Los cables de izado y sustentación a emplear estarán calculados expresamente para las tareas que se encargan.

14.- La sustitución de cables estará siempre efectuada por mano de obra especializada, siguiendo siempre las especificaciones del fabricante.

15.- Los ganchos de sujeción será siempre de acero provistos de pestillos de seguridad.

16.- Se prohíbe en esta obra la utilización de ganchos artesanales de seguridad contruidos a base de redondos doblados o material similar.

17.- Los contadores tendrán siempre en sitio visible la carga máxima admisible y el nivel de llenado.

18.- Todos los aparatos de izado tendrán siempre en sitio visible, la carga máxima que pueden transportar.

19.- Se prohíbe en esta obra el izado o transporte de personas en el interior de jaulones, bateas, cubilotes y asimilables.

20.- Se prohíbe engrasar cables en movimiento.

21.- Los trabajos de izado y transporte se suspenderán para vientos mayores de 60 km/h.

22.- Las máquinas-herramientas de corte tendrán disco protegido mediante carcasa antiproyecciones.

23.- Las máquinas-herramientas a utilizar en lugares en los que existen productos inflamables o explosivos estarán protegidos mediante carcasa antideflagrantes.

24.- Se prohíbe en esta obra la utilización de herramientas accionadas mediante combustibles líquidos en lugares cerrados o con ventilación insuficiente.

25.- En prevención de los riesgos por inhalación de polvo ambiental, las máquinas-herramientas con producción de polvo se utilizarán en vía húmeda y a sotavento en la medida de lo posible.

26.- Se prohíbe la utilización de máquinas –herramientas por personal no especializado.

27.- El encargado de obra revisará el estado de la maquinaria así como las fijaciones, cables instalación etc... de las mismas.

EQUIPOS DE PREVENCIÓN.

1.- Guantes de seguridad, goma y PVC

2.- Botas de seguridad (según casos)

3.- Casco de polietileno.

4.- Botas de goma
5.- Ropa de trabajo.
6.- Mandil, polainas y muñequeras. (en caso de soldadura)
7.- Gafas de seguridad antiproyecciones.
8.- Gafas de seguridad antipolvo.
9.- Gafas de seguridad anti-impactos.
10.- Protectores auditivos.
11.-Mascarilla filtrante y mascarilla antipolvo con filtro mecánico específico recambiable.
12.- Cinturón de seguridad.

Interpretación de las abreviaturas

Probabilidad	Protección	Consecuencias	Estimación del riesgo			
B Baja	c Colectiva	Ld Ligeramente dañino	T trivial	Riesgo	I importante	Riesgo
M Media	i Individual	D Dañino Ed Extremadamente dañino	To tolerable	Riesgo	In intolerable	Riesgo
A Alta			M moderado	Riesgo		

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN INICIAL DE RIESGOS

Actividad: Soldadura por arco eléctrico, (soldadura eléctrica).						Lugar de evaluación: Sobre planos								
Nombre del peligro identificado	Probabilidad			Protección		Consecuencias			Estimación del riesgo					
	B	M	A	c	i	Ld	D	Ed	T	To	M	I	In	
Caída desde altura, (estructura metálica; trabajos en el borde de forjados, balcones aleros; estructuras de obra civil; uso de guindolas artesanales; caminar sobre perfilería).		X		X	X		X					X		
Caídas al mismo nivel, (tropezar con objetos o mangueras).		X			X	X				X				
Atrapamiento entre objetos, (piezas pesadas en fase de soldadura).	X				X		X			X				
Aplastamiento de manos por objetos pesados, (piezas pesadas en fase de recibido y soldadura).	X				X		X			X				
Sobre esfuerzos, ((permanecer en posturas obligadas; sustentar por objetos pesados).	X				X	X				X				
Radiaciones por arco voltaico, (ceguera).		X			X		X					X		
Inhalación de vapores metálicos, (soldadura en lugares cerrados sin extracción localizada).		X			X		X					X		
Quemaduras, (despiste; impericia; caída de gotas incandescentes sobre otros trabajadores).		X			X	X				X				

Incendio, (soldar junto a materias inflamables).	X			X			X			X			
Proyección violenta de fragmentos, (picar cordones de soldadura; amolar).		X			X	X				X			
Contacto con la energía eléctrica, (circuito mal cerrado; tierra mal conectada; bornes sin protección; cables lacerados o rotos).		X		X	X		X					X	
Heridas en los ojos por cuerpos extraños, (picado del cordón de soldadura; (esmerilado).		X			X		X					X	
Pisadas sobre objetos punzantes.		X			X	X				X			

MEDIDAS PREVENTIVAS

1.- El área de trabajo estará libre de obstáculos, productos deslizantes y restos de grasa.

2.- No se realizarán trabajos cuando a menos de 6 metros existan productos inflamables o combustibles.

3.- Las zonas donde existan peligros de "lluvia de chispas", deberá señalizarse de forma bien visible y acotarse para evitar el paso de operarios bajo la misma.

4.- Se cuidará el recorrer los cables para evitar su deterioro.

5.- La masa metálica de cada aparato estará conectada a la puesta a tierra.

6.- Las bornas de conexión eléctrica estarán aisladas

7.- Los cables de alimentación eléctrica estarán aislados en toda su longitud. El aislamiento será suficiente para una tensión nominal > 1.000V.

8.- La superficie exterior de los portaelectrodos a mano y sus mandíbulas estarán siempre bien aislados

9.- No se emplearán con tensiones superiores a 50 V. Y la tensión en vacío entre el electrodo y la pieza a soldar no superará los 90V. En corriente alterna y 150 v. En caso de corriente continua.

EQUIPOS DE PREVENCION.

1.- Casco de Polietileno.

2.- Ropa de trabajo.

3.- Guantes de soldador

4.- Manguitos de soldador

5.- Guantes de cuero.

6.- Cinturón de seguridad.

7.- Botas de seguridad.

8.- Pantallas y gafas de soldador.

Interpretación de las abreviaturas

Probabilidad	Protección	Consecuencias	Estimación del riesgo	
B Baja	c Colectiva	Ld Ligeramente dañino	T trivial	Riesgo I importante
M Media	i Individual	D Dañino Ed Extremadamente dañino	To tolerable	Riesgo In intolerable
A Alta			M moderado	Riesgo

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN INICIAL DE RIESGOS

Actividad: Camión de transporte de materiales. Lugar de evaluación: Sobre planos

Nombre del peligro identificado	Probabilidad			Protección	Consecuencias			Estimación del riesgo				
	B	M	A		Ld	D	Ed	T	To	M	I	In
Riesgos de accidentes de circulación, (impericia; somnolencia; caos circulatorio).	X					X			X			
Riesgos inherentes a los trabajos realizados en su proximidad.	X					X			X			
Atropello de personas por: (maniobras en retroceso; ausencia de señalistas; errores de planificación; falta de señalización; ausencia de semáforos).		X				X				X		
Choques al entrar y salir de la obra por: (maniobras en retroceso; falta de visibilidad; ausencia de señalista; ausencia de señalización; ausencia de semáforos).	X					X			X			
Vuelco del camión por: (superar obstáculos; fuertes pendientes; medias laderas; desplazamiento de la carga).	X					X			X			
Caídas desde la caja al suelo por: (caminar sobre la carga; subir y bajar por lugares imprevistos para ello).	X					X			X			

Proyección de partículas por: (viento; movimiento de la carga).	X							X			X		
Atrapamiento entre objetos, (permanecer entre la carga en los desplazamientos del camión).		X			X		X				X		
Atrapamientos, (labores de mantenimiento).		X					X				X		
Contacto con la corriente eléctrica, (caja izada bajo líneas eléctricas).	X							X		X			

MEDIDAS PREVENTIVAS

1.-El acceso y circulación interna de camiones se efectuará siguiendo los recorridos que aparecen en planos.

2.- Las operaciones de carga y descarga del material se realizarán en los lugares señalados en planos para tal efecto.

3.- Todos los camiones dedicados al transporte de materiales para esta obra estarán en perfectas condiciones de mantenimiento y conservación.

4.- Antes de las operaciones de descarga de material se colocará el freno de mano a la cabina y serán calzados las ruedas en prevención de deslizamientos del camión.

5.- Las maniobras de posicionamiento y salida serán dirigidas por un señalista.

6.- El ascenso y descenso de las cajas será efectuado a través de escalerillas metálicas dotadas de ganchos inmovilizados para tal menester.

7.- El colma máximo para materiales sueltos no superará la pendiente ideal del 5% y se cubrirá con una lona en previsión de desplomes.

8.- Las cargas se instalarán sobre la caja de forma uniforme compensando los pesos, de la manera más uniformemente repartida.

EQUIPOS DE PREVENCIÓN.

1.- Casco de polietileno

2.- Cinturón de seguridad clase A o C

3.- Botas de seguridad.

4.- Ropa de trabajo.

5.- Manoplas de cuero.

6.- Guantes de cuero.

Interpretación de las abreviaturas

Probabilidad	Protección	Consecuencias	Estimación del riesgo	
B Baja	c Colectiva	Ld Ligeramente dañino	T trivial	Riesgo I importante
M Media	i Individual	D Dañino Ed Extremadamente dañino	To tolerable	Riesgo In intolerable
A Alta			M moderado	Riesgo

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN INICIAL DE RIESGOS

Actividad: Camión cuba hormigonera. Lugar de evaluación: Sobre planos

Nombre del peligro identificado	Probabilidad			Protección	Consecuencias			Estimación del riesgo					
	B	M	A		Ld	D	Ed	T	To	M	I	In	
Atropello de personas por: (maniobras en retroceso; ausencia de señalista; falta de visibilidad; espacio angosto).		X				X					X		
Colisión con otras máquinas de movimiento de tierras, camiones, etc., por: (ausencia de señalista; falta de visibilidad; señalización insuficiente o ausencia de señalización).	X					X			X				
Vuelco del camión hormigonera por: (terrenos irregulares; embarrados; pasos próximos a zanjas o a vaciados).	X					X			X				
Caída en el interior de una zanja, (cortes de taludes, media ladera).	X					X			X				
Caída de personas desde el camión, (subir o bajar por lugares imprevistos).		X				X					X		
Golpes por el manejo de las canaletas, (empujones a los trabajadores guía y puedan caer).		X				X					X		

Caída de objetos sobre el conductor durante las operaciones de vertido o limpieza, (riesgo por trabajos en proximidad).	X							X			X		
Golpes por el cubilote del hormigón durante las maniobras de servicio.		X					X				X		
Atrapamientos durante el despliegue, montaje y desmontaje de las canaletas.		X					X				X		
Riesgo de accidente por estacionamiento en arcenes.	X			X			X			X			
MEDIDAS PREVENTIVAS													
1.-El acceso y circulación interna de camiones se efectuará siguiendo los recorridos que aparecen en planos.													
2.- Las rampas de acceso a los viarios no superarán la pendiente del 20% en prevención de atoramientos o vuelco de los camiones.													
3.- La limpieza de cuba y canaletas se efectuará en los lugares plasmados en planos para ello.													
4.- La puesta en estación y los movimientos del camión hormigonera durante las tareas de vertido serán dirigidas por un señalista en prevención de los riesgos por maniobras incorrectas.													
5.- Las operaciones de vertido a lo largo de cortes en el terreno se efectuarán sin que las ruedas sobrepasen la línea blanca del terreno.													
EQUIPOS DE PREVENCIÓN.													
1.- Casco de polietileno.													
2.- Gafas de seguridad antipolvo.													
3.- Ropa de trabajo.													

4.- Guantes de goma o PVC			
5.- Guantes impermeabilizados.			
6.- Botas de seguridad de goma o de PVC			
7.- Trajes impermeables.			
8.- Mascarilla con filtro metálico recambiable.			
Interpretación de las abreviaturas			
Probabilidad	Protección	Consecuencias	Estimación del riesgo
B Baja	c Colectiva	Ld Ligeramente dañino	T Riesgo trivial
M Media	i Individual	D Dañino Ed Extremadamente dañino	To Riesgo tolerable M Riesgo moderado
A Alta			I Riesgo importante In Riesgo intolerable

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN INICIAL DE RIESGOS

Actividad: Camión grúa. Lugar de evaluación: Sobre planos

Nombre del peligro identificado	Probabilidad			Protección		Consecuencias			Estimación del riesgo				
	B	M	A	c	i	Ld	D	Ed	T	To	M	I	In
Atropello de personas por: (maniobras en retroceso; ausencia de señalista; falta de visibilidad; espacio angosto).		X					X					X	
Colisión con otras máquinas de movimiento de tierras, camiones, etc., por: (ausencia de señalista; falta de visibilidad; señalización insuficiente o ausencia de señalización).	X						X			X			
Vuelco del camión por: (terrenos irregulares; embarrados; pasos próximos a zanjas o a vaciados).	X						X			X			
Caída en el interior de una zanja, (cortes de taludes, media ladera).	X						X			X			
Caída de personas desde el camión, (subir o bajar por lugares imprevistos).		X					X					X	
Desplome de las cargas.		X					X					X	
Caída de objetos sobre el conductor durante las operaciones de vertido o limpieza, (riesgo por trabajos en proximidad).	X							X				X	

Riesgo de accidente por estacionamiento en arcenes.	X			X			X		X				
MEDIDAS PREVENTIVAS													
1.- Antes de iniciar las maniobras de carga se instalarán calzos inmovilizadores en las cuatro ruedas y gatos estabilizadores.													
2.- Las maniobras de carga y descarga serán dirigidas por un especialista en prevención de riesgos por maniobras incorrectas.													
3.- Los ganchos de cuelge estarán provistos de pestillos de seguridad.													
4.- Se prohíbe expresamente sobrepasar la carga máxima admisible fijada por el fabricante del camión en función de la extensión de la grúa.													
5.- El gruista tendrá en todo momento al carga suspendida a la vista. En caso de que esto no fuera posible, las maniobras serían dirigidas por un señalista en previsión de os riesgos por maniobras incorrectas.													
6.-Las rampas para acceso del camión grúa no superarán inclinaciones del 20% como norma general en prevención de riesgos por vuelco.													
7.- Se prohíbe realizar suspensión de cargas de forma lateral cuando la superficie de apoyo del camión está inclinada hacia el lado de la carga en prevención de accidentes por vuelco.													
8.- Se prohíbe estaciona el camión a distancias inferiores a 2 m del borde de talud en previsión de accidentes por vuelco.													
9.- Se prohíbe realizar tirones sesgados de la carga.													
10.- Se prohíbe arrastrar cargas con camión grúa.													
11.- Las cargas de suspensión para evitar golpes y balanceos se guiarán mediante cabos de gobierno.													

12.- Se prohíbe la permanencia de personas en torno al camión grúa en distancias inferiores 5 mts.

13.- Se prohíbe la circulación de personas por debajo de cargas suspendidas.

14.- El conductor del camión grúa estará en posesión del certificado que le acredite como conductor especializado de este vehículo.

EQUIPOS DE PREVENCIÓN.

1.- Casco de polietileno.

2.- Ropa de trabajo.

3.- Guantes de cuero

4.- Botas de seguridad

Interpretación de las abreviaturas

Probabilidad	Protección	Consecuencias	Estimación del riesgo	
B Baja	c Colectiva	Ld Ligeramente dañino	T trivial	Riesgo I importante
M Media	i Individual	D Dañino Ed Extremadamente dañino	To tolerable	Riesgo In intolerable
A Alta			M moderado	Riesgo

6. SEÑALIZACIÓN DE LOS RIESGOS

6.1 Señalización de los riesgos del trabajo

Como complemento de la protección colectiva y de los equipos de protección individual anteriormente indicados, se ha previsto el empleo de una señalización normalizada, que recuerde en todo momento los riesgos existentes a todos los que trabajan en la obra. La señalización prevista es la del listado que se ofrece a continuación, a modo informativo.

- Riesgo en el trab. BANDA DE ADVERTENCIA DE PELIGRO.
- Riesgo en el trab. PROHIBIDO PASO A PEATONES. Tamaño mediano.
- Riesgo en el trabajo PROTECCIÓN OBLIGATORIA CABEZA. Tamaño mediano.
- Riesgo en el trabajo PROTECCIÓN OBLIGATORIA MANOS. Tamaño mediano.
- Riesgo en el trabajo PROTECCIÓN OBLIGATORIA OIDOS. Tamaño mediano.
- Riesgo en el trabajo PROTECCIÓN OBLIGATORIA PIES. Tamaño mediano.
- Riesgo en el trabajo PROTECCIÓN VIAS RESPIRATORIAS. Tamaño mediano.
- Señal salvamento. EQUIPO PRIMEROS AUXILIOS. Tamaño mediano.

6.2 Señalización vial

Los trabajos a realizar, no originan riesgos importantes para los operarios por la presencia de la vecindad o del tráfico rodado. Es necesario, por lo tanto, que en los momentos en los que así se requiera se organice la circulación de vehículos de la manera más segura, mediante la instalación de la oportuna señalización vial.

La señalización prevista es la del listado que se ofrece, a modo de información:

- Señalización vial (manual) DISCO DE STOP O PROHIBIDO EL PASO.TM-3.

- Señalización vial PROHIBIDO EL ESTACIONAMIENTO. TR-308. 60 cm de diámetro.
- Señalización vial TRIANGULAR PELIGRO. TP-18 "Obras" 60 cm de lado.

7. INSTALACIONES PROVISIONALES PARA LOS TRABAJADORES

Las instalaciones provisionales para los trabajadores se alojarán en el interior de locales distribuidos a tal fin, que podrán ser prefabricados o ejecutados in situ. Deberán reunir las adecuadas condiciones higiénico-sanitarias, y disponer de las correspondientes acometidas de servicios (Electricidad, agua y saneamiento).

<i>CUADRO INFORMATIVO DE EXIGENCIAS LEGALES VIGENTES</i>	
Superficie de vestuario aseo:	10 trab. x 2 m2. = 20 m2.
Nº de retretes:	10 trab. : 25 trab. = 1 und.
Nº de lavabos:	10 trab. : 10 trab. = 1 und.
Nº de duchas:	10 trab. : 10 trab. = 1 und.

8. PREVENCIÓN ASISTENCIAL EN CASO DE ACCIDENTE LABORAL

8.1 Primeros auxilios

Será necesario disponer de un local con botiquín de primeros auxilios, en el que se den las primeras atenciones sanitarias a los posibles accidentados. El botiquín contendrá como mínimo:

- Un frasco conteniendo agua oxigenada.
- Un frasco conteniendo alcohol de 96 grados.
- Un frasco conteniendo tintura de yodo.
- Un frasco conteniendo mercurio cromo.
- Un frasco conteniendo amoníaco.
- Una caja de gasa estéril.
- Una caja de algodón hidrófilo estéril.
- Un rollo de esparadrapo.
- Un torniquete.

- Una bolsa para agua o hielo.
- Una bolsa conteniendo guantes esterilizados.
- Un termómetro clínico.
- Una caja de apósitos autoadhesivos.
- Una caja de analgésicos.
- Un tubo de pomada para quemaduras

8.2 Medicina preventiva

Con el fin de lograr evitar en lo posible las enfermedades profesionales en esta obra, así como los accidentes derivados de trastornos físicos, psíquicos, alcoholismo y resto de las toxicomanías peligrosas, en cumplimiento de la legislación laboral vigente, se realizarán los reconocimientos médicos previos a la contratación de los trabajadores de la obra, y los preceptivos de ser realizados al año de su contratación.

8.3 Evacuación de accidentados

La evacuación de accidentados se realizará siempre por personal sanitario especializado, bajo ningún concepto el accidentado será movilizado por personal inexperto con el fin de evitar posibles lesiones o agravar las ya producidas. En la zona de vestuarios existirá cartel donde quede recogido el Centro de Salud más próximo, así como el teléfono y dirección del mismo.

9. OBLIGACIONES DEL PROMOTOR

Antes del inicio de los trabajos, el promotor designará un Coordinador en materia de Seguridad y Salud, cuando en la ejecución de las obras intervengan más de una empresa, o una empresa y trabajadores autónomos o diversos trabajadores autónomos.

La designación del Coordinador en materia de Seguridad y Salud no eximirá al promotor de las responsabilidades.

El promotor deberá efectuar un aviso a la autoridad laboral competente antes del comienzo de las obras, que se redactará con arreglo a lo dispuesto en el Anexo III del Real Decreto 1627/1.997 debiendo exponerse en la obra de forma visible y actualizándose si fuera necesario.

10. COORDINADOR EN MATERIA DE SEGURIDAD Y SALUD

La designación del Coordinador en la elaboración del proyecto y en la ejecución de la obra podrá recaer en la misma persona.

El Coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra, deberá desarrollar las siguientes funciones:

Coordinar la aplicación de los principios generales de prevención y seguridad.

Coordinar las actividades de la obra para garantizar que las empresas y personal actuante apliquen de manera coherente y responsable los principios de acción preventiva que se recogen en el Artículo 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales durante la ejecución de la obra, y en particular, en las actividades a que se refiere el Artículo 10 del Real Decreto 1627/1.997.

Aprobar el Plan de Seguridad y Salud elaborado por el contratista y, en su caso, las modificaciones introducidas en el mismo.

Organizar la coordinación de actividades empresariales previstas en el Artículo 24 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

Coordinar las acciones y funciones de control de la aplicación correcta de los métodos de trabajo.

Adoptar las medidas necesarias para que solo las personas autorizadas puedan acceder a la obra.

La Dirección Facultativa asumirá estas funciones cuando no fuera necesario la designación del Coordinador.

11. PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO

En aplicación de este Estudio de Seguridad y Salud, el contratista, antes del inicio de la obra, elaborará un Plan de Seguridad y Salud en el que se analicen, estudien, desarrollen y complementen las previsiones contenidas en este Estudio en función de su propio sistema de ejecución de obra. En dicho Plan se incluirán, en su caso, las propuestas de medidas alternativas de prevención que el contratista proponga con la correspondiente justificación técnica, y que no podrán implicar disminución de los niveles de protección previstos en este Estudio.

El Plan de Seguridad y Salud deberá ser aprobado, antes del inicio de la obra, por el Coordinador en materia de Seguridad y Salud durante la ejecución de la obra. Este podrá ser modificado por el contratista en función del proceso de ejecución de la misma, de la evolución de los trabajos y de las posibles incidencias o modificaciones que puedan surgir a lo largo de la obra, pero que siempre con la aprobación expresa del Coordinador. Cuando no fuera necesaria la designación del Coordinador, las funciones que se le atribuyen serán asumidas por la Dirección Facultativa.

Quienes intervengan en la ejecución de la obra, así como las personas u órganos con responsabilidades en materia de prevención en las empresas intervinientes en la misma y los representantes de los trabajadores, podrán presentar por escrito y de manera razonada, las sugerencias y alternativas que estimen oportunas. El Plan estará en la obra a disposición de la Dirección Facultativa.

12. OBLIGACIONES DE CONTRATISTAS Y SUBCONTRATISTAS

El contratista y subcontratistas estarán obligados a:

Aplicar los principios de acción preventiva que se recogen en el Artículo 15 de la Ley de Prevención de Riesgos laborales y en particular:

El mantenimiento de la obra en buen estado de limpieza.

La elección del emplazamiento de los puestos y áreas de trabajo, teniendo en cuenta sus condiciones de acceso y la determinación de las vías o zonas de desplazamiento o circulación.

La manipulación de distintos materiales y la utilización de medios auxiliares.

El mantenimiento, el control previo a la puesta en servicio y control periódico de las instalaciones y dispositivos necesarios para la ejecución de las obras, con objeto de corregir los defectos que pudieran afectar a la seguridad y salud de los trabajadores.

La delimitación y acondicionamiento de las zonas de almacenamiento y depósito de materiales, en particular si se trata de materias peligrosas.

El almacenamiento y evacuación de residuos y escombros.

La recogida de materiales peligrosos utilizados.

La adaptación del período de tiempo efectivo que habrá de dedicarse a los distintos trabajos o fases de trabajo.

La cooperación entre todos los intervinientes en la obra.

Las interacciones o incompatibilidades con cualquier otro trabajo o actividad.

Cumplir y hacer cumplir a su personal lo establecido en el Plan de Seguridad y Salud.

Cumplir la normativa en materia de prevención de riesgos laborales, teniendo en cuenta las obligaciones sobre coordinación de las actividades empresariales previstas en el Artículo 24 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, así como cumplir las disposiciones mínimas establecidas en el Anexo IV del Real Decreto 1627/1.997.

Informar y proporcionar las instrucciones adecuadas a los trabajadores autónomos sobre todas las medidas que hayan de adoptarse en lo que se refiera a seguridad y salud.

Atender las indicaciones y cumplir las instrucciones del Coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra.

Serán responsables de la ejecución correcta de las medidas preventivas fijadas en el Plan y en lo relativo a las obligaciones que le correspondan directamente o, en su caso, a los trabajos autónomos por ellos contratados. Además responderán solidariamente de las consecuencias que se deriven del incumplimiento de las medidas previstas en el Plan.

Las responsabilidades del Coordinador, Dirección Facultativa y el Promotor no eximirán de sus responsabilidades a los contratistas y a los subcontratistas.

13. OBLIGACIONES DE LOS TRABAJADORES AUTÓNOMOS

Los trabajadores autónomos están obligados a:

- Aplicar los principios de la acción preventiva que se recoge en el Artículo 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, y en particular:
- El mantenimiento de la obra en buen estado de orden y limpieza.
- El almacenamiento y evacuación de residuos y escombros.
- La recogida de materiales peligrosos utilizados.
- La adaptación del período de tiempo efectivo que habrá de dedicarse a los distintos trabajos o fases de trabajo.
- La cooperación entre todos los intervinientes en la obra.
- Las interacciones o incompatibilidades con cualquier otro trabajo o actividad.
- Cumplir las disposiciones mínimas establecidas en el Anexo IV del Real Decreto 1627/1.997.
- Ajustar su actuación conforme a los deberes sobre coordinación de las actividades empresariales previstas en el Artículo 24 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, participando en particular en cualquier medida de su actuación coordinada que se hubiera establecido.
- Cumplir con las obligaciones establecidas para los trabajadores en el Artículo 29, apartados 1 y 2 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.
- Utilizar equipos de trabajo que se ajusten a lo dispuesto en el Real Decreto 1215/ 1.997.
- Elegir y utilizar equipos de protección individual en los términos previstos en el Real Decreto 773/1.997.
- Atender las indicaciones y cumplir las instrucciones del Coordinador en materia de seguridad y salud.
- Los trabajadores autónomos deberán cumplir lo establecido en el Plan de Seguridad y Salud.

14. LIBRO DE INCIDENCIAS

En cada centro de trabajo existirá, con fines de control y seguimiento del Plan de Seguridad y Salud, un Libro de Incidencias que constará de hojas por duplicado y que será facilitado por el Colegio profesional al que pertenezca el técnico que haya aprobado el Plan de Seguridad y Salud.

Deberá mantenerse siempre en obra y en poder del Coordinador. Tendrán acceso al Libro, la Dirección Facultativa, los contratistas y subcontratistas, los trabajadores autónomos, las personas con responsabilidades en materia de prevención de las empresas intervinientes, los representantes de los trabajadores, y los técnicos especializados de las Administraciones públicas competentes en esta materia, quienes podrán hacer anotaciones en el mismo.

Efectuada una anotación en el Libro de Incidencias, el Coordinador estará obligado a remitir en el plazo de veinticuatro horas una copia a la Inspección de Trabajo y Seguridad Social de la provincia en que se realiza la obra. Igualmente notificará dichas anotaciones al contratista y a los representantes de los trabajadores.

15. PARALIZACIÓN DE LOS TRABAJOS

Cuando el Coordinador y durante la ejecución de las obras, observase incumplimiento de las medidas de seguridad y salud, advertirá al contratista y dejará constancia de tal incumplimiento en el Libro de Incidencias, quedando facultado para, en circunstancias de riesgo grave e inminente para la seguridad y salud de los trabajadores, disponer la paralización de tajos o, en su caso, de la totalidad de la obra.

Dará cuenta de este hecho a los efectos oportunos, a la Inspección de Trabajo y Seguridad Social de la provincia en que se realiza la obra. Igualmente notificará al contratista, y en su caso a los subcontratistas y/o autónomos afectados de la paralización y a los representantes de los trabajadores.

16. DERECHOS DE LOS TRABAJADORES

Los contratistas y subcontratistas deberán garantizar que los trabajadores reciban una información adecuada y comprensible de todas las medidas que hayan de adoptarse en lo que se refiere a su seguridad y salud en la obra.

Una copia del Plan de Seguridad y Salud y de sus posibles modificaciones, a los efectos de su conocimiento y seguimiento, será facilitada por el contratista a los representantes de los trabajadores en el centro de trabajo.

17. DISPOSICIONES MÍNIMAS DE SEGURIDAD Y SALUD QUE DEBEN APLICARSE EN LAS OBRAS

Las obligaciones previstas en las tres partes del Anexo IV del Real Decreto 1627/1.997, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción, se aplicarán siempre que lo exijan las características de la obra o de la actividad, las circunstancias o cualquier riesgo.

Sevilla, Septiembre de 2016

Fdo. Daniel Enrique Martínez Coza

