



ULL

Universidad  
de La Laguna

**Escuela Superior  
de Ingeniería y Tecnología**

## **TRABAJO DE FIN DE GRADO**

# **DISEÑO Y CÁLCULO DE SISTEMAS DE ASPIRACIÓN DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD EN ACTIVIDADES INDUSTRIALES**

Titulación: Grado en Ingeniería Mecánica

Autor: Jairo Samuel Santana Rodríguez

Tutor: Alejandro Molowny López-Peñalver

Junio 2015

a Dios por ser mi Salvador,

a mis padres Pablo y Ana Ester y mi hermana Eunica por su amor y paciencia. Por apoyarme moralmente y económicamente a lo largo de mi vida y mi carrera universitaria,

a mi mujer Mical por elegir a conciencia quererme desde que nos casamos,

a todos los compañeros de viaje que ha tenido esta carrera tanto profesores como alumnos. en especial, a Rubén que ha sido el más cercano de todos ellos.

ESCUELA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA  
Y TECNOLOGÍA

Grado en Ingeniería Mecánica

# Índice General

## TRABAJO FIN DE GRADO

TÍTULO:

DISEÑO Y CÁLCULO DE SISTEMAS DE ASPIRACIÓN DE  
POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD EN ACTIVIDADES INDUSTRIALES

AUTOR:

Jairo Samuel Santana Rodríguez

TUTOR:

Alejandro Molowny López-Peñalver

# Memoria

Índice de figuras .....	4
Índice de tablas .....	4
0. Hoja de identificación .....	5
1. Objeto .....	6
1.2. Español .....	6
1.3. English .....	6
2. Alcance .....	7
3. Antecedentes .....	8
4. Normas y referencia .....	9
4.1 Normas .....	9
4.2. Referencias .....	9
5. Definiciones y abreviaturas .....	10
5.1. Definiciones .....	10
5.2. Abreviaturas .....	10
6. Requisitos del diseño .....	12
6.1. Requisitos asociados al lugar .....	12
6.2. Requisitos técnicos .....	12
7. Análisis de soluciones .....	14
7.1. Introducción .....	14
7.2. Equipos en la instalación .....	14
7.2.1. Cinta transportadora .....	15
7.2.2. Conductos .....	16
7.2.3. Ventiladores .....	17
7.2.4. Prensa .....	20

7.2.5. Campanas extractoras .....	21
7.3. Hipótesis del fluido .....	22
7.4. Métodos de cálculo .....	22
7.5. Suposiciones realizadas .....	23
8. Resultados finales .....	25
8.1 Esquema de la instalación .....	25
8.2. Descripción de la instalación .....	26
8.3. Cálculo del esquema unifilar .....	29
8.4. Sistema de aspiración dentro de un sistema de gestión integral de residuos urbanos .....	30
9. Conclusiones .....	32
9.1. Español .....	32
9.2. English .....	32
10. Orden de prioridad de los documentos básicos .....	33

## Índice Anexo I: Cálculo de caudal

Índice de tablas .....	3
1. Selección de caudal .....	4
2. Selección de diámetro .....	7

## Anexo II: Cálculo de las pérdidas de carga

Índice de figuras .....	3
Índice de tablas .....	4
1. Las pérdidas de carga .....	5
1.1. Pérdidas de carga en conductos rectos .....	6
1.2. Pérdidas de carga en puntos singulares .....	8
2. Cálculo de pérdidas de carga .....	8
2.1. Cálculo de las pérdidas primarias .....	8
2.2. Cálculo de las pérdidas en accesorios .....	10
2.2.1. Cálculo codos .....	10
2.2.2. Cálculo empalmes .....	11
2.2.3. Cálculo de ensanchamientos .....	11
2.3. Resumen y resultados .....	14
3. Selección del ventilador .....	18
3.1. Punto de operación .....	18
3.2. Leyes de los ventiladores .....	19
3.3. Ventiladores en serie y en paralelo .....	20
3.4. Arranque de ventiladores .....	21
4. Cálculo de potencia .....	23

## Índice Anexo III: Informe de Cypelec

1. Objeto .....	4
2. Titular .....	4
3. Emplazamiento de la instalación .....	4
4. Legislación aplicable .....	4
5. Descripción de la instalación .....	4
6. Potencia total prevista para la instalación .....	5
7. Características de la instalación .....	5
7.1. Origen de la instalación .....	5
7.2. Línea general .....	5
7.3. Cuadro general de distribución .....	5
8. Instalación de puesta a tierra .....	7
9. Fórmulas utilizadas .....	8
9.1. Intensidad máxima admisible .....	8
9.2. Caída de tensión .....	8
9.3. Intensidad de cortocircuito .....	10
10. Cálculos .....	11
10.1. Sección de las líneas .....	11
10.2. Cálculo de las protecciones .....	12
11. Cálculos de puesta a tierra .....	15
11.1. Resistencia de la puesta a tierra de las masas .....	15
11.2. Resistencia de la puesta a tierra del neutro .....	15
11.3. Protección contra contactos indirectos .....	15
12. Pliegos de condiciones .....	16
12.1. Calidad de los materiales .....	16

12.1.1. Generalidades .....	16
12.1.2. Conductores eléctricos .....	16
12.1.3. Conductores de neutro .....	16
12.1.4. Conductores de protección .....	17
12.1.5. Identificación de los conductores .....	17
12.1.6. Tubos protectores .....	17
12.2. Normas de ejecución de las instalaciones .....	17
12.2.1. Colocación de tubos .....	17
12.2.2. Cajas de empalme y derivación .....	18
12.2.3. Aparatos de mando y maniobra .....	19
12.2.4. Aparatos de protección .....	19
12.2.5. Instalaciones en cuartos de baño y aseo .....	22
12.2.6. Red equipotencial .....	22
12.2.7. Instalación de puesta a tierra .....	22
12.2.8. Alumbrado .....	23
12.3. Pruebas reglamentarias .....	24
12.3.1. Comprobación de la puesta a tierra .....	24
12.3.2. Resistencia de aislamiento .....	24
12.4. Condiciones de uso, mantenimiento y seguridad .....	24
12.5. Certificados y documentación .....	24
12.6. Libro de órdenes .....	24
13. Mediciones .....	25

## Planos

Plano 1: Planta general .....	3
Plano 2: Alzado general .....	4
Plano 3: Detalle Entrada de material .....	5
Plano 4: Detalle Ventiladores .....	6
Plano 5: Detalle Fase Final .....	7
Plano 6: Esquema unifilar .....	8

## Pliego de condiciones

1. Objeto .....	5
2. Normativa de aplicación .....	6
3. Características, Calidades y Condiciones Generales de los Materiales .....	7
3.1. Ventiladores .....	8
3.2. Red de conductos .....	9
3.2.1. Conductos de chapa metálica .....	10
3.3. Cinta transportadora .....	11
3.4. Prensa .....	11
3.5. Control y aceptación de los elementos y equipos que conforman la instalación. .....	11
3.5.1. Controles a realizar en la recepción, sobre la documentación y de los distintivos de calidad de materiales y equipos .....	12
4. Condiciones de ejecución y montaje de la instalación .....	13
4.1. Condiciones generales .....	13
4.2. Comprobaciones iniciales .....	14
4.3. Control durante la ejecución de la instalación .....	14
4.4. Montaje de los elementos .....	14
4.4.1. Condiciones acústicas a satisfacer y contemplar en el montaje de los elementos.....	14
4.5. Señalización .....	15
5. Acabados, control y aceptación, mediciones y abonos .....	16
5.1. Acabados .....	16
5.2. Control y aceptación .....	16
Controles funcionales en los sistemas de ventilación .....	17
5.3. Medición y abono .....	18
6. Reconocimiento, pruebas y ensayos .....	18

6.1. Reconocimiento de las obras .....	18
6.2. Pruebas y ensayos .....	19
6.2.1. Pruebas generales en sistemas de climatización y ventilación .....	19
7. Condiciones de mantenimiento y uso .....	20
7.1. Conservación .....	21
7.2. Prevención de riesgos laborales .....	21
7.3. Reparación. Reposición .....	22
8. Condiciones de índole facultativo .....	23
8.1. Del titular de la instalación .....	23
8.2. De la dirección facultativa .....	23
8.3. De la empresa instaladora o contratista .....	23
8.4. De la empresa mantenedora .....	24
8.5. De los organismos de control autorizado .....	25
8.6. Daños materiales .....	25
8.7. Responsabilidad civil .....	26
9. Condiciones de índole administrativo .....	27
9.1. Documentación del proyecto .....	27
9.2. Planos .....	28
9.3. Especificaciones .....	28
9.4. Objeto de los planos y especificaciones .....	28
9.5. Divergencias entre los planos y especificaciones .....	28
9.6. Errores en los planos y especificaciones .....	29
9.7. Adecuación de planos y especificaciones .....	29
9.8. Instrucciones adicionales .....	29

9.9. Modificaciones y ampliaciones de las instalaciones y la documentación del proyecto .....	30
9.9.1. Modificaciones y ampliaciones no significativas de la instalación .....	30
9.9.2. Modificaciones y ampliaciones significativas de la instalación .....	30
9.10. Documentación final .....	30
9.11. Certificación de dirección y finalización de obra .....	31
9.12. Libro de órdenes .....	32
9.13. Incompatibilidades .....	32
9.14. Instalaciones ejecutadas por más de una empresa instaladora ...	33
9.15. Subcontratación .....	33
9.16. Trabajos durante una emergencia .....	33
9.17. Suspensión del trabajo por el propietario .....	33
9.18. Derecho del propietario a rescisión del contrato .....	34
9.19. Forma de rescisión del contrato por parte de la propiedad .....	34
9.20. Derechos del contratista para cancelar el contrato .....	34
9.21. Causas de rescisión del contrato .....	34
9.22. Devolución de la fianza .....	35
9.23. Plazo de entrega de las obras .....	35
9.24. Daños a terceros .....	36

# Presupuesto

Presupuesto ..... 3



ESCUELA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA  
Y TECNOLOGÍA

Grado en Ingeniería Mecánica

# Memoria

## TRABAJO FIN DE GRADO

TÍTULO:

DISEÑO Y CÁLCULO DE SISTEMAS DE ASPIRACIÓN DE  
POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD EN ACTIVIDADES INDUSTRIALES

AUTOR:

Jairo Samuel Santana Rodríguez

TUTOR:

Alejandro Molowny López-Peñalver

# Memoria

Índice de figuras .....	4
Índice de tablas .....	4
0. Hoja de identificación .....	5
1. Objeto .....	6
1.2. Español .....	6
1.3. English .....	6
2. Alcance .....	7
3. Antecedentes .....	8
4. Normas y referencia .....	9
4.1 Normas .....	9
4.2. Referencias .....	9
5. Definiciones y abreviaturas .....	10
5.1. Definiciones .....	10
5.2. Abreviaturas .....	10
6. Requisitos del diseño .....	12
6.1. Requisitos asociados al lugar .....	12
6.2. Requisitos técnicos .....	12
7. Análisis de soluciones .....	14
7.1. Introducción .....	14
7.2. Equipos en la instalación .....	14
7.2.1. Cinta transportadora .....	15
7.2.2. Conductos .....	16
7.2.3. Ventiladores .....	17
7.2.4. Prensa .....	20

7.2.5. Campanas extractoras .....	21
7.3. Hipótesis del fluido .....	22
7.4. Métodos de cálculo .....	22
7.5. Suposiciones realizadas .....	23
8. Resultados finales .....	25
8.1 Esquema de la instalación .....	25
8.2. Descripción de la instalación .....	26
8.3. Cálculo del esquema unifilar .....	29
8.4. Sistema de aspiración dentro de un sistema de gestión integral de residuos urbanos .....	30
9. Conclusiones .....	32
9.1. Español .....	32
9.2. English .....	32
10. Orden de prioridad de los documentos básicos .....	33

## Índice de figuras

Figura 1. Cinta transportadora. Good Year. ....	15
Figura 2. Conducto de chapa galvanizada. Caexven. ....	16
Figura 3. Ventilador axial. Brockgrain. ....	17
Figura 4. Ventiladores axiales vs centrífugos. Fireman - Navy Firefighter, Fireman training manual. ....	19
Figura 5. Funcionamiento prensa hidráulica. Wikipedia. ....	20
Figura 6. Prensa hidráulica. Imabe Ibérica. ....	21
Figura 7. Esquema de instalación (Planta). Elaboración propia ....	25
Figura 8. Esquema de planta clasificadora RSU. Agencia de residuos de Cataluña (GENCAT) .....	30

## Índice de tablas

Tabla 1. Velocidad de transporte. Soler & Palau, 2012 .....	12
Tabla 2. Propiedades del aire. Fluid Mechanics, Kundu .....	22
Tabla 3. Requisitos del sistema. Elaboración propia .....	26
Tabla 4. Diámetros de las conducciones aspiración. Elaboración propia .....	27
Tabla 5. Diámetros de las conducciones impulsión. Elaboración propia .....	27
Tabla 6. Características ventiladores aspiración. Elaboración propia .....	29
Tabla 7. Características ventiladores impulsión. Elaboración propia .....	29
Tabla 8. Características prensa. Elaboración propia .....	29

## **0. Hoja de identificación**

### **Título del proyecto:**

Diseño y cálculo de sistemas de aspiración de polietileno de baja densidad en actividades industriales

### **Promotor:**

El presente documento es el Trabajo de Fin de Grado asociado a los estudios del Grado en Ingeniería Mecánica ofertados en la Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología que forma parte de la Universidad de La Laguna, considerando la Escuela como promotora de este proyecto:

Dirección:

Avda Astrofísico Francisco Sánchez s/n Edificio Garoé 38200 La Laguna

Teléfono:

922 84 52 80

Email:

diresit@ull.es

Tutor proyecto: Alejandro Molowny López-Peñalver

### **Autor:**

Jairo Samuel Santana Rodríguez

DNI: 42 221 075 K

Alumno del Grado en Ingeniería Mecánica

Teléfono:

678 19 64 58

Email:

jairossr@gmail.com

# 1. Objeto

## 1.1 Español

El objeto de este proyecto es el estudio de los sistemas de aspiración de polietileno de baja densidad, con especial énfasis en el uso de los mismo dentro de un sistema de gestión de residuos sólidos urbanos.

El problema planteado es diseñar una instalación modular que permita separar el polietileno desde una masa heterogénea que lo contenga mediante una aspiración del plástico adecuándose en amplitud, potencia o uso.

Por último se procesará el plástico para su posterior reciclaje.

## 1.2 English

The main purpose of this work is the study of the suction systems of the low density polyethylene. We focus this project in the use of these systems in the municipal solid waste management.

This work is a modular instalation where the polyethylene is separated from a heterogeneous volume of waste. A mass of air sucks the plastic to a zone where the plastic is processed in order to recycle it.

## 2. Alcance

El plástico-film (polietileno de baja densidad, PEBD) es un material de un gran uso en nuestra sociedad. Según un estudio en Europa se demandan 46,3 millones de toneladas de plástico en Europa de las cuales un 17,5% son de PEBD<sup>1</sup>.

El PEBD se utiliza para elaborar juguetes, objetos de menaje o botellas. En este proyecto nos centraremos en otros usos como la fabricación de bolsas y sacos plásticos o, el plástico-film que envuelve productos alimenticios y de empaque en general.

Desde la perspectiva del reciclaje, un estudio profundo de la maquinaria que permita procesar y separar este tipo de plásticos de otros materiales, dentro de sus diferentes usos, es de gran utilidad ya que permite crear ciclos de vida completos y cerrados.

El ámbito de aplicación de este proyecto recoge las diferentes partes del ciclo de uso de este plástico film. Sobre todo, en su última etapa de reciclaje donde se puede incluso llegar a darle un nuevo uso.

El proyecto consistirá en un estudio de los equipos necesarios para aspirar el PEBD así como un estudio de los cálculos necesarios para poder dimensionar correctamente un sistema como el solicitado. Añadiremos la elaboración de un sistema concreto con sus cálculos, equipos y planos correspondientes.

---

<sup>1</sup>PlasticsEurope (2015) *Plastics – the Fact 2014/2015*. PlasticsEurope, Association of Plastic Manufacturers (<http://www.plasticseurope.org/Document/plastics-the-facts-20142015.aspx?FolIID=2>)

### **3. Antecedentes**

Este tipo de instalaciones se pueden utilizar en diversas situaciones, además de la que proyectaremos. Es posible, por ejemplo, instalarla en un sistema de desembalaje de productos defectuosos que hayan sido embalados con este plástico dentro de la industria alimentaria principalmente.

En la mayoría de las plantas de gestión de residuos existen máquinas que separan diferentes fracciones de residuos. En algunas de ellas podemos encontrar sistemas parecidos al nuestro tal como explicaremos a lo largo del trabajo.

## 4. Normas y referencia

### 4.1 Normas

**Normas UNE / EN / ISO / ANSI / DIN** de aplicación específica.

**Ley 21/1992, de 16 de julio**, de Industria.

**Ley 22/2022, de 28 de julio**, de residuos y suelos contaminados.

**La normativa ErP (Reglamento 206/2012 y 327/2011)**, que rige las calificaciones mínimas de eficiencia en ventiladores.

**UNE 100-230 95 Ventiladores**. Recomendaciones para el acoplamiento al sistema de distribución.

**Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo**, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

### 4.2 Referencias

[1] Soler&Palau, 2012. Manual práctico de ventilación.

Disponible en la URL:

[http://www.solerpalau.es/media/formacion/sp\\_ventilacion\\_TOTAL.pdf](http://www.solerpalau.es/media/formacion/sp_ventilacion_TOTAL.pdf)

[2] Salvador Escoda. Manual práctico de ventilación.

Disponible en la URL:

<http://www.salvadorescoda.com/tecnico/VE/tec-ve.htm>

[3] IDAE, 2012. Guía técnica. Selección de equipos de transporte de fluidos

Disponible en la URL:

[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_10\\_Guia\\_tecnica\\_seleccion\\_de\\_equipos\\_de\\_transporte\\_de\\_fluidos.\\_Bombas\\_y\\_ventiladores\\_758f070c.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10_Guia_tecnica_seleccion_de_equipos_de_transporte_de_fluidos._Bombas_y_ventiladores_758f070c.pdf)

[4] Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT), 2002.

[5] Pijush K. Kundu, Ira M. Cohen, David R. Dowling, 2012. Fluid Mechanics, 5ª edición.

[6] Claudio Mataix , 1986. Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas, 2ª edición.

[7] Mecánica de fluidos incompresibles y turbomáquinas hidráulicas, José Agüera Soriano

[8] Robert T. Hughes y colaboradores, 1992. Ventilación industrial, Manual de recomendaciones prácticas para la prevención de riesgos profesionales.

Aplicaciones informáticas utilizadas:

- Programa de cálculo Excel
- Programa de edición de texto Microsoft Word
- Generador de precios de CYPE Ingenieros
- Cypelec REBT

## 5. Definiciones y abreviaturas

### 5.1 Definiciones

- Velocidad de captación = Es la velocidad del aire en la boca de una campana o cabina necesaria para vencer las corrientes contrarias y recoger (arrastrar) aire, gases, polvo o humo, obligándoles a entrar en las mismas.
- Velocidad de transporte = Es la velocidad del aire dentro del conducto necesaria para evitar que las partículas sólidas en suspensión sedimenten y queden depositadas en el mismo.
- Pérdida de carga = Es la pérdida de presión que se origina al circular el aire por una canalización, a la entrada o por obstáculos en la misma, debido al rozamiento, al cambio de dirección o choques.
- Presión dinámica = se define como la presión necesaria para acelerar el aire desde velocidad cero hasta cierta velocidad.

### 5.2. Abreviaturas

A: área

$\rho$ : densidad

F: fuerza

f: factor de fricción

g: constante de gravedad = 9,807 (m/s<sup>2</sup>)

H<sub>f</sub>: pérdida de carga

K: coeficiente de pérdidas (en accesorios)

k: coeficiente de rugosidad absoluta

kg: kilogramo

m: metro

$\dot{m}_i$ : flujo (caudal) másico

N: Newton

$\gamma$ : peso específico (N/m<sup>3</sup>)

P: presión

PD: presión dinámica

PE: presión estática

PEBD: polietileno de baja densidad

PT: presión total

Q: caudal

$\eta$ : rendimiento

Re: n° de Reynolds

RSU: Residuos Sólidos Urbanos

s: segundo

ton: tonelada

tnf: tonelada de fuerza

u: energía interna

V: velocidad

ve: volumen específico

W: Potencia

$\omega$ : velocidad angular

z: altura

## 6. Requisitos del diseño

Para llevar a cabo el proyecto asignado “*Diseño y cálculo de sistemas de aspiración de polietileno de baja densidad en actividades industriales*”, contaremos con ciertos datos debidos al lugar donde debe ser emplazada la instalación que tenemos como ejemplo.

También técnicamente se imponen unos requisitos para poder aspirar el polietileno de baja densidad.

### 6.1 Requisitos asociados al lugar

El sistema de aspiración se alojará a lo largo de una nave industrial en la que quepan todas las conducciones y maquinaria diseñadas atendiendo a las normas competentes de seguridad y salud .

Los requisitos de la instalación prototipo son los siguientes:

- La instalación procesará 100,000 toneladas/año de material.
- 14 horas de trabajo de la máquina diarias (dos turnos de trabajo incluyendo la limpieza de la máquina).
- 1 rama principal de 125 metros, con tres derivaciones de entre 15 y 25 metros. En nuestro caso tendremos ramas de 15, 20 y 25 metros respectivamente. Éstas derivaciones recogerán el residuo repartido un 10, 20, 30 y 40 por ciento según la rama tal como se indica en la tabla 3 de esta memoria.
- El sistema se instalará en una nave a dos aguas con una altura de 12 metros, paredes de 8 metros de altura y con un puente grúa para mantenimiento.
- Anchura y velocidad de la cinta de partida y salida constante.

### 6.2 Requisitos técnicos

Además de los requisitos propios del lugar es necesario contar con un requisito técnico debido al material que va a ser recogido. Para transportar el polietileno a lo largo de los conductos hay que calcular su velocidad de transporte, definida en el punto 5. Esta información se obtiene de forma empírica y se recogen los datos gracias a tablas.

En ventilación industrial se ha investigado bastante sobre las velocidades necesarias para expulsar polvos y gases derivados de cualquier actividad industrial, separándolas en velocidad

de captación y velocidad de transporte. Sin embargo, según se aumenta la densidad del material y en la captación de sólidos como polvos pesados, finos de goma o polvos de algodón, la velocidad de captación y transporte es similar y se puede considerar constante.

Todos los vapores y gases	9 a 10
Polvos semillas, yute o goma	10
Soldadura eléctrica	10 a 13
Hilachas de algodón, harina de gramíneas y de madera, polvos de litografía	13 a 15
Polvo metálico de rectificado	16
Finos de goma, hilachas de yute, polvo de algodón, de jabón y bakelita, virutas ligeras de madera y cuero	15 a 20
Polvo de amolado, de yute, lana, granito y corte prod. cerámicos y barro de arcilla, de fundición y envasado prod. textiles, granos de café, harina de sílice, viruta fina metálica	18 a 20
Polvo pesado de aserrado, torneado metálico, vibrado y volcado en fundición, proyección de arena, cubitos de madera, polvo de plomo con partículas, de cemento, conductos, desperdicios pegajosos de lino, polvo de cal viva y finos de carbón	25 y +

Tabla 1. Velocidad de transporte. Soler & Palau, 2012

Interpretando la Tabla 1, vemos como los polvos pesado de aserrado, cubos de madera o productos similares al polietileno de baja densidad necesitan velocidades mayores a 25 m/s.

Por otro lado las velocidades de transporte en los conductos no deben superar los 30 m/s debido a que:

- Se incrementan las pérdidas de carga, aumentando la potencia requerida para la circulación del aire ya que el valor de la velocidad es proporcional al cuadrado respecto a las pérdidas
- Se incrementa la acción abrasiva de los polvos, que depende de sus características, aumentando el desgaste de los conductos y sus accesorios, incrementando los gastos de mantenimiento del sistema de ventilación.
- Se incrementa el ruido producido por el aire y los polvos o sólidos que éste transporta.
- Se incrementan las vibraciones de los conductos, obligando a una sujeción de los mismos más fuerte y debido a ello, costosa.

Por tanto se utilizará en sistemas de las características del proyectado una velocidad de 28 m/s.

## 7. Análisis de soluciones

### 7.1 Introducción

A lo largo de este análisis se procederá a estudiar las diferentes partes y elementos que componen este sistema, los cálculos que se necesitan para llevar a cabo su dimensionamiento y los diferentes métodos habituales para calcular las instalaciones.

La instalación está claramente diferenciada en dos líneas: la línea de residuo y la línea de plástico-film. La línea de residuo comienza desde un caudal de material heterogéneo de residuo llamado residuo base, éste se recoge y separa. Tras esto continúa su tratamiento por otros sistemas ajenos al estudio de este proyecto. La línea de plástico-film será la que iremos detallando a lo largo del estudio. Para mayor comodidad se dividirá la instalación en tres fases (fase de extracción, fase de transporte y fase de procesado):

- La primera fase (de ahora en adelante, fase de extracción) consistirá en la obtención del plástico film desde un residuo base. En esta fase se partirá desde una cinta transportadora, elevaremos el material y será soltado a una altura determinada. Aprovechando esa caída se impulsará aire mediante un ventilador para producir la aspiración del plástico film. Esta fase se puede multiplicar en varias ramas.
- Una segunda fase donde se recogerá el plástico film y se transportará mediante conductos de su lugar de extracción a su lugar de procesado, También en esta fase se recirculará el aire por la instalación y,
- Una tercera fase donde se descargará el plástico film en una tolva que forma parte de una prensa donde se empacará el PEBD recogido para tratamiento o gestión. En esta tercera fase también se colocarán los ventiladores unificando los aparatos que consumen electricidad.

### 7.2 Equipos en la instalación

Para poder abordar la solución de sistema como el propuesto en nuestro proyecto hay que, en primer lugar, realizar un cuidadoso estudio de los diferentes componentes necesarios. También estudiar el orden de los equipos a utilizar y la distribución de los mismos. A continuación se realizará una descripción de los equipos utilizados en las diferentes fases:

### 7.2.1. Cinta transportadora

La cinta transportadora o *transportador* solamente, es un sistema de transporte continuo formado por una banda que se mueve entre dos tambores. Un motor acciona uno de los tambores que impulsa la banda por fricción mientras que el otro tambor gira libre y hace la función de retorno para la banda. La banda habitualmente es soportada por rodillos entre los tambores. El material es depositado al inicio de la banda y es transportado en la dirección en la que gira el tambor al llegar al final de la misma donde es depositado por gravedad o inercia fuera al final de la banda.



Figura 1. Cinta transportadora. Good Year, web.

Son utilizadas en la industria en general para transportar infinidad de materiales ahorrando en mano de obra y pudiendo transportarlos largas distancias sin llegar a alterarlos.

Este equipo se utiliza desde hace décadas, su uso se inició a finales del siglo XIX y a lo largo de los años se ha ampliado en funcionalidad, materiales y tipos. Las transportadoras se pueden diferenciar por el material de que están hechas, si llevan materiales pesados o más ligero o por la tecnología utilizada en la banda. Así pues tenemos cintas transportadoras hechas de diferentes gomas sintéticas y con varias formas de deslizar el material como los transportadores de banda, de correa dentada, de cadena, de rodillos o de charnelas. Habiendo más ejemplos concretos para situaciones muy específicas.

Asimismo el material puede ser transportado en la cinta en un sistema abierto al exterior o cerrado añadiendo un armazón, y sobre la banda también es posible añadir guías laterales que impidan un desbordamiento del material.

En nuestra instalación inicialmente se instalará una cinta elevadora de pequeño tamaño para elevar el material y producir la caída y, otra horizontal que permita recoger el flujo de material sin el plástico film por cada rama que se proyecte.

En ambos casos el sistema más cómodo es un transportador de banda textil lisa ya que posee una gran estabilidad y permite transportar materiales de fondo irregular y no permite la caída de pequeños objetos, algo que sucedería en un transportador de rodillos. Dependiendo del ángulo de elevación una banda de este tipo produciría una caída de material a lo largo de la banda. Por tanto, para ángulos mayores de  $18^\circ$  se necesitarían bandas con perfil rugoso (espina de pescado, perfilada tipo Nasta, Nappula, Ripa o, bandas de tipo Grip Top o Ripro), bandas nervadas en forma de U y V o bandas de bordes corrugados.

### 7.2.2. Conductos

Permiten el paso del fluido, en este caso aire y ayudan a su distribución. Es utilizado en numerosas instalaciones tales como la climatización de locales y industrias, abastecimiento de aguas, alcantarillado, electricidad, etc,.



Figura 2. Conducto de chapa galvanizada. Caexven, web.

Con conductos ajustamos mejor las pérdidas de carga y controlamos las salidas y entradas del fluido. Son un elemento determinante a la hora de cuantificar la calidad de una instalación. Las diferencias entre conductos se producen debido a los materiales que están hechos. Según los materiales el fluido pasa con más facilidad y el costo o el peso de la instalación aumenta o disminuye. Entre los más utilizados están los conductos de chapa metálica (acero inoxidable o aluminio) o los conductos de plástico (polietileno o poliuretano). En nuestro caso se utilizarán

conductos de chapa metálica de acero ya que su gran demanda permite una buena relación prestaciones-precio.

Según la situación de la instalación se pueden hacer de conductos de sección rectangular o circular. En nuestro caso utilizaremos conductos circulares ya que presentan ciertas ventajas como las siguientes:

- Producen menos pérdidas por fricción pues presentan menor perímetro a igual área.
- No es necesario encajar el sistema ocupando espacios reducidos.
- Presentan mayor resistencia mecánica a la deformación cuando la presión interna es menor a la atmosférica, no existen aristas que puedan producir puntos de mayor o menor presión sobre el conducto.
- Poseen una distribución de velocidad más uniforme evitando que se quede material depositado produciendo obstrucciones.

### 7.2.3. Ventiladores

El ventilador es una turbomáquina que recibe energía mecánica para mantener un flujo constante de aire, u otro gas. En nuestro sistema será el elemento que permitirá el movimiento.

El ventilador, en el uso industrial, es una máquina rotativa capaz de mover una determinada masa de aire, a la que comunica una cierta presión, suficiente para que pueda vencer las pérdidas de carga que se producirán en la circulación por los conductos.



Figura 3. Ventilador axial. Brockgrain, web.

Un ventilador consiste en un elemento rotativo que gira en torno a un eje produciendo esa diferencia de presiones. Es una hélice si la dirección de salida del aire impulsado es paralela al eje del ventilador. En este caso se permite mover una gran cantidad de aire imprimiéndole una ligera presión. Es un rodete si la dirección de salida es perpendicular a ese eje. Los rodetes mueven una pequeña cantidad de fluido incrementando la presión un valor mucho mayor.

Normalmente el conjunto se compone también de una embocadura o una voluta en espiral, además de un motor que es el componente que acciona la hélice o el rodete.

Se utilizan para producir corrientes de aire, moviendo el aire y tienen usos muy variados. Entre ellos: ventilar zonas, refrescar ambientes, mover gases por un sistema de conducciones. También es posible absorber partículas como polvos o desperdicios (pequeños sólidos) en cualquier actividad industrial que los produzca.

Los ventiladores se clasifican según diferentes categorizaciones como su función, la trayectoria del aire o según la presión. En este trabajo nos centraremos en la separación atendiendo a la trayectoria del aire. En este sentido podemos dividir los ventiladores en:

- Ventiladores centrífugos, en los que el aire entra con una trayectoria axial y sale en una trayectoria perpendicular. Entrada y salida están en ángulo recto.
- Ventiladores axiales, la entrada de aire y su salida siguen trayectorias a lo largo de superficies cilíndricas coaxiales al ventilador. Es decir que siguen la misma dirección y sentido.
- Ventiladores heliocentrífugos, la trayectoria del aire es intermedia entre las del ventilador centrífugo y axial.
- Ventiladores tangenciales, la trayectoria es sensiblemente normal al eje, tanto la entrada como la salida.
- Ventiladores Side-Channel, la trayectoria del aire entra en la misma dirección que la de salida pero en sentido contrario.

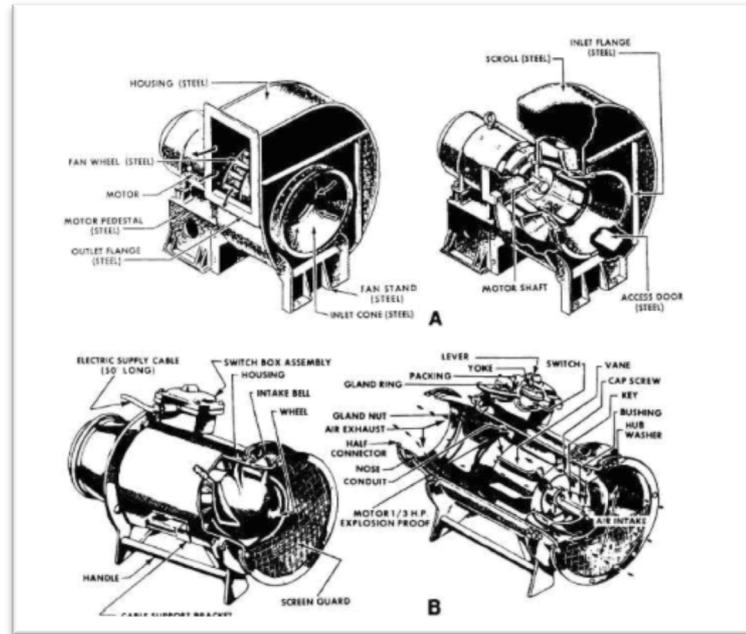


Figura 4. Ventiladores axiales vs centrífugos. Fireman - Navy Firefighter, Fireman training manual.

En este tipo de equipos se instalan como complemento válvulas de no retorno, de seguridad, filtros de aspiración, medidores de presión, silenciadores. Así como accesorios para limitar las vibraciones producidas, como bridas de conexión o brazos articulados. Es también destacable el uso de variadores de frecuencia que permiten variar la velocidad rotacional del eje permitiendo una mejor eficacia y optimización de sus usos.

Para nuestra instalación es posible utilizar dos tipos de ventiladores siendo cada uno mejor dependiendo del tipo de instalaciones. Para instalaciones de pequeño tamaño es muy útil la utilización de un ventilador centrífugo ya que permite crear fácilmente circuito cerrado de aire. El aire se impulsaría desde una dirección hacia la separación del plástico-film y el retorno se traería perpendicularmente hacia el ventilador de nuevo para su impulsión de nuevo. Sin embargo, cuando las necesidades del proyecto son mayores en cuanto a tamaño y flexibilidad del aire que circula, la opción a elegir es la colocación de varios ventiladores axiales que permitan un mayor caudal. Éste ejemplo será el desarrollado más adelante.

Los ventiladores están determinados gracias a las curvas características. Mediante el ensayo de un ventilador se determina la capacidad que tiene para transferir potencia al aire que mueve. Se hace funcionar en un régimen de giro constante, tomando valores de diferentes caudales, según la pérdida de carga a vencer. La curva característica de cada ventilador se

dibuja relacionando la presión total o la presión estática asociada a la pérdida de carga con el caudal. También se incluyen en estas curvas, aunque no siempre, la relación del caudal con la potencia absorbida o su rendimiento. En el anexo II se ampliará la información de los ventiladores, ahondando en el aspecto matemático de su diseño.

#### 7.2.4. Prensa

La prensa es un mecanismo conformado por vasos comunicados impulsados por pistones de diferentes áreas que mediante pequeñas fuerzas permiten obtener otras mayores. Sirve para comprimir materiales mediante dos plataformas rígidas que se aproximan mediante ese mecanismo. Según el fluido que las acciona pueden ser hidráulicas (aceite) o neumáticas (aire comprimido).

Su funcionamiento se basa en el principio de Pascal:

$$P_1 = P_2 = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

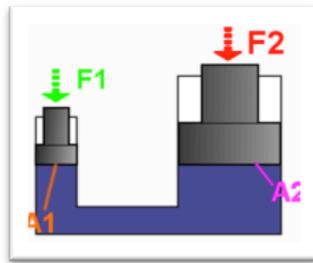


Figura 5. Funcionamiento prensa hidráulica. Wikipedia, web.

Al aplicar una fuerza sobre el pistón más pequeño la presión se transmite por todo el fluido y provoca la fuerza mayor correspondiente.

Además de la diferencia obvia del fluido de trabajo, hay más diferencias entre las prensas hidráulicas y neumáticas:

- Las prensas neumáticas son más rápidas que las prensas hidráulicas. Permiten también parar su uso. Permiten mayor versatilidad en su uso pudiendo ser colocadas en múltiples posiciones.
- Las prensa neumáticas son más fáciles de usar y requieren un menor mantenimiento.

- Las prensas hidráulicas son más potentes y permiten una gran cantidad de tonelaje de pesado. Las prensas neumáticas no llegan a ciertas aplicaciones de fuerza donde se necesitan las prensas hidráulicas.
- Las prensas hidráulicas poseen son más costosas y contaminan más.



Figura 6. Prensa hidráulica. Imabe Ibérica, web.

Atendiendo a estas diferencias se elegirá una prensa que se adecue a nuestra instalación en nuestro caso: una prensa hidráulica ya que permite mayores capacidades de prensado.

#### **7.2.5. Campanas extractoras**

Las campanas extractoras son el punto de entrada del PEBD en la instalación. Su función es recoger el flujo de aire expulsado por el ventilador junto con el PEBD.

Se pueden clasificar en dos grandes familias: las cabinas y las campanas exteriores.

- Las cabinas son campanas que encierran total o parcialmente el proceso. Es el tipo de campana a elegir siempre que sea posible.
- Las campanas exteriores, se encuentran situadas adyacentes al foco de recogida sin encerrarlo. Éstas campanas requieren un mayor estudio según el elemento a aspirar ya que existe la posibilidad de absorber elementos nocivos, inflamables, polvos o gases muy calientes. Cada caso con sus particularidades.

En nuestra instalación encerraremos el proceso de extracción en una cabina ya que así evitaremos la pérdida de material y controlaremos más el proceso.

### 7.3. Hipótesis del fluido

Se introducirá ahora los cálculos necesarios en esta instalación. Estos cálculos están directamente relacionados con la mecánica de fluidos ya que el aire es el elemento (fluido) impulsor del plástico film a lo largo de la mayor parte del sistema.

La mecánica de fluidos es la rama de la física que estudia las relaciones producidas con el movimiento de un fluido, sea gas o líquido y las fuerzas que éstos producen. En este proyecto utilizaremos el aire como fluido conductor bajo las siguientes hipótesis:

- Flujo unidimensional, el vector velocidad asociado al fluido sólo dependerá de una variable espacial paralela a la conducción.
- Flujo incompresible, consideraremos la densidad del fluido constante a lo largo de la instalación, por tanto la masa y el volumen también se mantienen inestables
- Se despreciará el efecto del intercambio térmico. Éste se produciría si la diferencia de temperaturas entre el interior del conducto y su exterior es significativamente distinta.
- Se supone que el aire es seco. La presencia de vapor de agua reduce la densidad del mismo.
- Las características del aire serán las siguientes tomadas como aire seco a 20°C

Densidad	1,200	kg/m <sup>3</sup>
Viscosidad cinemática	1,5x10 <sup>-5</sup>	m <sup>2</sup> /s
Peso específico	11,768	N/m <sup>3</sup>
Datos obtenidos del Kundu a 20°C y 1 atm. Tabla A-4		

Tabla 2. Propiedades del aire. Fluid Mechanics, Kundu

### 7.4 Métodos de cálculo

Los cálculos necesarios en los sistemas de aspiración, como el nuestro, poseen unas características similares entre ellos. Éstas instalaciones desde la más simple a la más compleja tienen una campana de extracción, una red de conductos asociada y uno o varios ventiladores.

El primer paso para abordar su cálculo es seleccionar o diseñar una campana de captación ajustándose a la operación. Cabe resaltar que en algunos casos esta operación puede ser compleja cuando se trata de sustancias nocivas o inflamables. Lo siguiente es obtener el

caudal de la instalación y hallar la velocidad de captación y las velocidades mínimas de transporte. Con éstos datos es posible calcular la sección de conducto. Ésta operación se debe repetir a lo largo de los tramos que compongan la instalación. Éste cálculo está detallado en el anexo I y en los requisitos del apartado 6 de esta memoria.

El siguiente paso es calcular las pérdidas de carga asociadas al sistema. Éstas pérdidas pueden ser calculadas de dos modos: por el método de la presión dinámica o por el método de la longitud equivalente. El método de la presión dinámica es preferible ya que es más rápido y permite reajustar los cálculos con mucha más facilidad. Tras esto se reajustan los diámetros y se selecciona el ventilador necesario tomando como datos el caudal final y las pérdidas de carga. Estos cálculos se recogen en el anexo II de este trabajo.

En el caso de que en la instalación haya un sólo ventilador se tratará de un sistema de extracción localizada y por tanto habrá que realizarse un cálculo posterior para equilibrar el sistema. El aire siempre circula por el camino de menor resistencia y por tanto, en estos sistemas la presión estática de los nudos debe ser la misma. Para llegar a este equilibrio el proyectista posee dos métodos: el método de diseño y método de compuertas. En el ejemplo propuesto a lo largo de este proyecto no se da esta circunstancia, en el caso de necesitarlo se puede obtener información de las referencias del proyecto.

## **7.5 Suposiciones realizadas**

En este último punto del análisis se hará un resumen de los diferentes datos tomados a partir de aproximaciones o estimaciones pero sin tener un dato concreto. La mayoría de ellos están asociados a rendimientos. Éstos datos pueden ser obtenidos mediante los catálogos de los equipos o mediante el estudio del sistema puesto en marcha.

Este resumen es de utilidad a la hora de instalar este sistema ya que recoge los datos que se pueden obtener empíricamente.

Supondremos una relación másica de 3, éste dato es inversamente proporcional a la densidad del material que se aspira. En los casos más comunes de aspiración de polvos las relaciones varían de 7 a 10 al ser el plástico-film un material más sólido y con un volumen mayor, el valor tomado es menor.

Supondremos un rendimiento del 75 por ciento del caudal de residuo a lo largo de la instalación ya que éste no se mantiene constante. También un rendimiento de recogida del plástico-film de un 95 por ciento.

Los ventiladores poseen un rendimiento entre el 80 y el 95 por ciento. En nuestra instalación utilizaremos teóricamente un rendimiento del 90 por ciento.

Por último al calcular las pérdidas de carga supusimos unas pérdidas secundarias asociadas a la cabina extractora y a pérdidas del conducto iguales al 12 por ciento de las principales.

## 8. Resultados finales

### 8.1. Esquema de la instalación

La solución propuesta inicial, basándonos en los requisitos del diseño, es una planta con el esquema de ubicación que aparece en la figura 7 en la que los conductos están conectados a una conducción principal. La altura de la mayor parte de la instalación quedará condicionada por la altura de la nave intentando, en la medida, de lo posible colocar las conducciones lo más alto posible para no entorpecer cualquier operación. Buscando las dimensiones de puentes grúas que pudieran ser de mantenimiento hay en el mercado puentes de 1,25 m. aproximadamente, por tanto la altura de nuestra instalación sería como máximo de unos 6,75 m. Recogiéndose el plástico-film a través de una cinta transportadora a una altura de 1 metro y continuando el residuo en otra cinta a la misma altura.

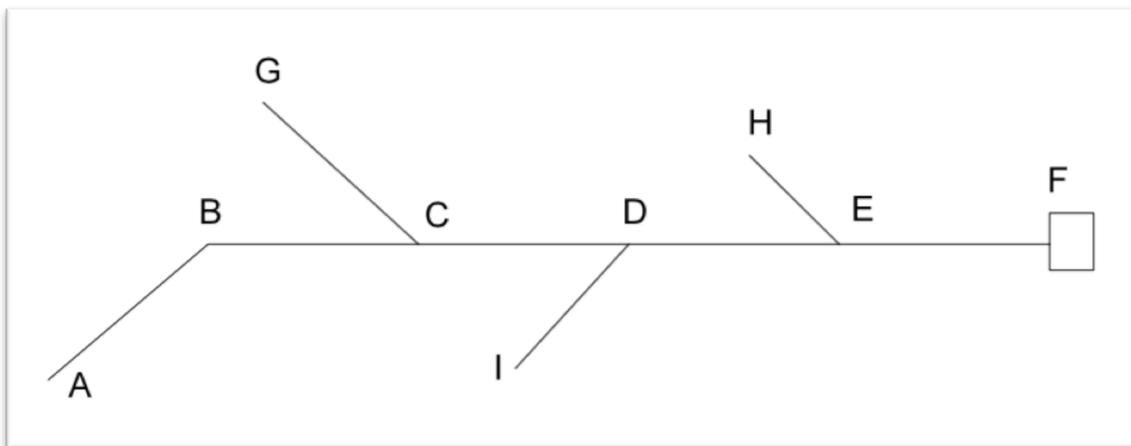


Figura 7. Esquema de instalación (Planta). Elaboración propia

En la siguiente tabla desarrollada de los requisitos pedidos en el sistema indicamos la longitud de los diferentes tramos y el porcentaje de residuo que transporta respecto al caudal de 100.000 toneladas/año.

Conducciones	Longitud (m)	% residuo
Tramo A-B	25	40%
Tramo B-C	25	40%
Tramo C-D	25	70%
Tramo D-E	25	90%
Tramo E-F	25	100%
Tramo A-F	125	-
Tramo G-C	25	30%
Tramo I-D	20	20%
Tramo H-E	15	10%

Tabla 3. Requisitos del sistema. Elaboración propia

## 8.2. Descripción detallada de la instalación

Esta instalación, como hemos indicado en el análisis de soluciones, posee tres fases diferenciadas. Nos dedicaremos a explicarlas con calma y a definir los parámetros de la instalación prototipo calculada.

Siguiendo los requisitos iniciales de cantidad de residuo a aspirar y utilizando los datos publicados por el Gobierno de Canarias en el año 2010 en el informe de “*Estudio de Composición y Caracterización de los residuos*”, el caudal calculado en el anexo I es el siguiente:

$$Q_{instalación} = 8,2108 \text{ m}^3/\text{s}$$

Este dato es necesario para obtener los diferentes diámetros de los conductos.

En la primera fase de extracción se recogerá el residuo mediante una cinta transportadora. Este proceso se da en los puntos A, G, H e I de nuestro esquema (figura 7). Tal como se indica en los planos de detalle la cinta con el residuo asciende hasta una cota de 2,5 metros mediante una cinta transportadora inclinada de 30 a 45° y después se introduce en una cabina cerrada. Dentro de la cabina el residuo base desciende por la acción de la y el plástico-film es absorbido hacia la segunda fase mediante uno o varios ventiladores de aspiración localizados al final de las conducciones. La extracción no se reparte de forma igualitaria por los puntos indicados sino que se procesa un porcentaje de residuos diferentes indicados en la tabla 3.

La segunda fase de transporte es algo más compleja ya que se trata de la distribución de PEBD junto con el aire. Esto se produce a lo largo de 9 conductos tanto de ida como de vuelta. En el recorrido de ida el aire será aspirado y en el de vuelta se impulsará el aire hasta el punto inicial, utilizaremos esa nomenclatura para diferenciar las dos direcciones. Mediante la ecuación que define el caudal y desarrollado en el anexo I, los diámetros de los diferentes conductos según su tramo serán los siguientes:

<b>Diámetros reales</b>	<b>Diámetro (m)</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>
<i>Tramo A-B</i>	0,400	3,519
<i>Tramo B-C</i>	0,400	3,519
<i>Tramo C-D</i>	0,500	5,498
<i>Tramo D-E</i>	0,600	7,917
<i>Tramo E-F</i>	0,600	7,917
<i>Tramo A-F</i>		
<i>Tramo G-C</i>	0,350	2,694
<i>Tramo I-D</i>	0,300	1,979
<i>Tramo H-E</i>	0,200	0,880

Tabla 4. Diámetros de las conducciones aspiración. Elaboración propia

<b>Diámetros reales</b>	<b>Diámetro (m)</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>
<i>Tramo B-A</i>	0,355	2,771
<i>Tramo C-B</i>	0,355	2,771
<i>Tramo D-C</i>	0,450	4,453
<i>Tramo E-D</i>	0,500	5,498
<i>Tramo F-E</i>	0,560	6,896
<i>Tramo F-A</i>		
<i>Tramo C-G</i>	0,300	1,979
<i>Tramo D-I</i>	0,250	1,374
<i>Tramo E-H</i>	0,175	0,673

Tabla 5. Diámetros de las conducciones impulsión. Elaboración propia

El polietileno de baja densidad se transportará por los diferentes tramos hasta el punto F, punto final donde se produce la tercera fase. Siguiendo el esquema de la figura 7 podemos describir el recorrido que realizaría una muestra a lo largo de la instalación:

- El recorrido se iniciará en el punto de extracción A. Tras salir de la cinta se incorporaría a los conductos. Ascenderá manteniéndose un ángulo de 45° entre el suelo y el conducto hasta llegar a la cota de 6,75 m.

- Una vez allí continuará su camino hasta llegar al punto B donde habría un codo de  $45^\circ$  que giraría la conducción en línea recta convirtiéndose en la conducción principal hasta el punto F (en el caso de las conducciones secundarias la unión se producirá en un empalme con un ángulo de  $30^\circ$  entre la conducción principal y la secundaria).
- En el punto C, así como en los dos siguientes (D y E), la conducción principal recoge el PEBD captado desde otro punto, en este caso del tramo G-C. Esta unión se produce mediante un empalme a  $30^\circ$  tal como se describe en la tabla 4 del anexo II. Tras esto se produce un ensanchamiento ya que los requerimientos de caudal van aumentando conforme llegamos al punto F si queremos mantener una velocidad constante.
- Por último llega al punto F donde se realiza su procesado.

Mientras el PEBD se descarga en una tolva para pasar a su prensado el aire es recirculado hacia los puntos de recogida A, G, H e I. La recirculación se produce en conductos paralelos al sistema de aspiración siguiendo el recorrido inverso:

- El fluido sale del punto F, se produce un estrechamiento en el diámetro del conducto, gira con dos codos de  $90^\circ$  para invertir su dirección y colocarse paralelo en la conducción principal.
- Según avanza el fluido se va separando mediante pantalones en los puntos E, D y C. En este proceso la conducción principal va perdiendo área por medio de estrechamientos
- Finalmente acaba en el punto de recogida donde gira nuevamente con dos codos de  $90^\circ$  y se ensancha para incorporarse al tramo A-B y separar nuevamente el PEBD.

Este proceso está esquematizado en los planos.

En la tercera y última fase (fase de procesado) se juntan todos los elementos que permiten el movimiento en la instalación. Se intentará por tanto, aunar los elementos que consumen electricidad para evitar un cableado extenso que dificultaría el mantenimiento de la misma.

Primeramente al final del tramo E-F se colocarán los ventiladores según los requisitos calculados. Se separarán los ventiladores de aspiración e impulsión mediante una trampa que impida que el PEBD pase al circuito de impulsión. Un ejemplo de estos cálculos se redacta en el anexo II donde se encuentra el cálculo de los ventiladores para la instalación prototipo. Este

cálculo desarrolla las pérdidas de carga que se producen a lo largo de los conductos y se calculan las caídas de presión que pueden ser relacionadas con la potencia necesaria para mover el aire y el PEBD a lo largo del sistema. En el caso calculado:

Ventiladores	
Caudal	29559 m <sup>3</sup> /hora
Potencia	24019 W

Tabla 6. Características ventiladores aspiración. Elaboración propia

Ventiladores	
Caudal	22169 m <sup>3</sup> /hora
Potencia	25149 W

Tabla 7. Características ventiladores impulsión. Elaboración propia

En el presupuesto se ha propuesto la colocación de 4 ventiladores en serie de 15 kW con una capacidad de 30.000 m<sup>3</sup>/hora, junto con algunos accesorios necesarios para su correcto montaje.

Por último el PEBD es prensado en una prensa hidráulica de 44 kW de potencia, similar a la de la figura 6. La prensa indicada posee una capacidad de procesamiento de 9,2 a 11 toneladas a la hora dato ligeramente inferior al caudal de residuo calculado en el anexo I. Al prensarse el PEBD quedará fijado en fardos para su siguiente tratamiento. La prensa producirá balas atadas mediante fuertes alambres que impedirán la dispersión del polietileno.

### 8.3. Cálculo del esquema unifilar

Para calcular el esquema unifilar hemos utilizado el programa Cypelec dentro de la suite de Cype Ingenieros. Los resultados están ampliados en el anexo III: Informe de Cypelec. El cuadro se instalará tal como se indica en los planos y siguiendo las indicaciones citadas en el anexo.

## 8.4. Sistema de aspiración dentro de un sistema de gestión integral de residuos sólidos urbanos

Es importante resaltar que un sistema como el proyectado es más común que forme parte de uno mayor que gestione los residuos sólidos urbanos de una población. Se explicará a continuación un esquema de procesado de una planta de selección de residuos sólidos urbanos.

La función de éstas plantas es recoger el material entrante de la recogida de basuras y seleccionarlo y separarlo en fracciones recuperables y prepararlas para la comercialización. Los materiales no separados se preparan para un tratamiento finalista.

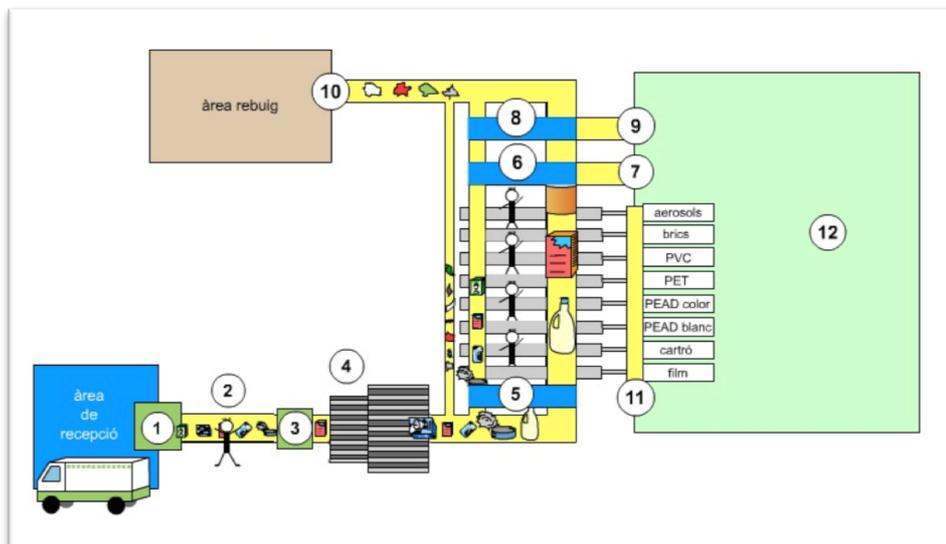


Figura 8. Esquema de planta clasificadora RSU. Agencia de residuos de Cataluña (GENCAT)

1. El residuo es recogido y recibido desde la recogida de basuras.
2. Se coloca en una cinta donde se separan manualmente los residuos más voluminosos.
3. Tras esto pasa por un mecanismo automático de apertura de bolsas mediante unas palas mecánicas para facilitar su separación posterior.
4. El siguiente paso es la separación en el área de selección granulométrica. Por medio de un trommel se separan en 3 fracciones según su tamaño: fracción ligera y plana, fracción pesada/rodante y fracción cernida.
5. El siguiente punto es el desarrollado a lo largo de este proyecto. Es un sistema de aspiración que consigue separar el PEBD (plástico-film, bolsas,...).

6. Una vez separado el film se produce una separación magnética, mediante electroimán que separa los materiales férricos.
7. Se prensan para compactar los envases metálicos férricos separados.
8. Continúa la línea con la separación por inducción, consiguiendo la separación de los envases metálicos no férricos con técnicas como las corrientes de Foucault.
9. Se vuelve a prensar para compactar en este caso los envases metálicos no férricos.
10. Los materiales que no son recogidos van a parar al área de rechazo, formado por los materiales no recuperables.
11. Se prensa para embalar los residuos recuperados.
12. Y por último se colocan en el área de almacenamiento, donde se depositan los materiales recuperados para optimizar su transporte, reciclado o tratamiento.

## **9. Conclusión**

### **9.1. Español**

El plástico-film forma parte importante de los residuos generados por un ciudadano, su reciclaje se realiza con un sistema de aspiración del plástico film como el diseñado.

Una instalación de aspiración de polietileno de baja densidad necesita de un sistema de conducciones así como unos ventiladores que separen mediante una corriente de aire y una caída el PEBD del compuesto a separar. También es posible para una mejor finalización dotar al sistema de una prensa que compacte el resultado para un mejor transporte.

La base de los sistemas como el proyectado es un buen cálculo de las caídas de presión producidas a lo largo del sistema y un buen dimensionado de los ventiladores que permita al aire ejercer como fluido conductor a lo largo de la instalación.

### **9.2 Inglés**

The plastic-film is an important part of the waste generated by a citizen. Recycling is carried out with a suction system of the plastic film as designed.

A suction system of low density polyethylene needs a piping system, also fan ventilators that separated an air stream and a drop of LDPE from a compound. It is also possible to provide a better finish to the system adding a press to compact the final PEBD for a better transportation.

The key of the systems like our projected system is a good calculation of the pressure drop produced across the system and a good sizing of fans allowing the air serves as conductive fluid along the installation.

## **10. Orden de prioridad de los documentos básicos**

El orden de prioridad de los diferentes documentos básicos que componen este proyecto será el establecido de la siguiente forma:

1. Planos
2. Pliego de condiciones
3. Memoria y sus anexos
4. Presupuesto



ESCUELA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA  
Y TECNOLOGÍA

Grado en Ingeniería Mecánica

# **Anexo I: Cálculo de caudal**

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

TÍTULO:

DISEÑO Y CÁLCULO DE SISTEMAS DE ASPIRACIÓN DE  
POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD EN ACTIVIDADES INDUSTRIALES

AUTOR:

Jairo Samuel Santana Rodríguez

TUTOR:

Alejandro Molowny López-Peñalver

## **Índice Anexo I: Cálculo de caudal**

Índice de tablas .....	3
1. Selección de caudal .....	4
2. Selección de diámetro .....	7

## Índice de tablas

Tabla 1. Características del residuo base .....	5
Tabla 2. Diámetros de cálculo aspiración. Elaboración propia .....	8
Tabla 3. Diámetros reales aspiración . Elaboración propia .....	8
Tabla 4. Diámetros de cálculo impulsión. Elaboración propia .....	9
Tabla 5. Diámetros reales impulsión. Elaboración propia .....	9

## 1. Selección de caudal

La ley de conservación de la masa exige que el balance neto del flujo másico debe ser nulo. Si se desprecian los efectos descritos, la densidad permanece constante y el balance neto del caudal es nulo. Esto quiere decir que el caudal que entra por las campanas es el mismo que sale al final del conducto.

$$\sum Q_{entradas} - \sum Q_{salidas} = 0$$

donde:

$$Q = \text{caudal, m}^3/\text{s}$$

El flujo volumétrico, denominado caudal se define como el volumen o cantidad de aire que atraviesa una sección durante un determinado espacio de tiempo.

$$Q = V \cdot A$$

donde:

$$V = \text{velocidad, m/s}$$

$$A = \text{área, m}^2$$

A lo largo de los conductos se irán modificando estas variables para obtener un funcionamiento óptimo del sistema.

Para ello se iniciará el cálculo con el dato indicado de 100.000 toneladas al año de caudal de residuo base. Este dato lo pasaremos a kg/hora para poder realizar con mayor comodidad los posteriores cálculos.

Al calcular las horas en un año se tienen que calcular los días de uso del sistema. Estos datos han sido contrastados con el calendario del año 2015 siendo una buena aproximación a cualquier año. En un año natural de 365 días hay que quitar unos 12 días festivos. Si fijamos una rutina semanal con dos turnos mañana y tarde de 7 horas de lunes a viernes, más un turno los sábados por la mañana obtenemos un total:

$$n^{\circ} \text{ domingos} + \frac{n^{\circ} \text{ de sábados}}{2} = 52 + \frac{52}{2} = 78 \text{ días libres fin de semana}$$

Restándole este dato a los días del año y multiplicándolos por las 14 horas de turno por días nos dan el total de horas de uso de la instalación durante el año.

$$\left(n^{\circ}\text{año} - \sum \text{días libres}\right) \cdot \frac{14 \text{ horas}}{1 \text{ día}} = (365 - 78 - 12) \cdot 14 = 275 \cdot 14 = 3850 \text{ horas}$$

Tras esto es sencillo calcular el caudal respecto a las horas. Se añadirá un rendimiento de un 75%, suponiendo que el caudal no sea exacto y que haya pequeñas diferencias en la cantidad de residuo que se procesa diariamente:

$$\begin{aligned} \frac{\text{caudal residuo}}{\text{horas de trabajo}} \cdot \frac{1 \text{ tonelada}}{1000 \text{ kg}} \cdot \eta &= \frac{100.000 \text{ toneladas/años}}{3.850 \text{ horas}} \cdot 0,001 \cdot 0,75 \\ &= 19.480,5 \text{ kg/hora} \end{aligned}$$

Para hallar el caudal orientativo estudiaremos las características del residuo base desde donde se obtiene el PEBD. Existen numerosas organizaciones que estudian la composición de los residuos y es habitual que desde los organismos de gobierno se realicen informes periódicos con estos datos. Un ejemplo es el informe “*Municipal Solid Waste in United States*” publicado por la EPA (Environmental Protection Agency). En nuestro proyecto se utilizará los datos publicados por el Gobierno de Canarias en el año 2010 en el informe de “*Estudio de Composición y Caracterización de los residuos*”. En estos datos, en referencia al total de Canarias describe el residuo sólido urbano con las siguientes características:

Densidad	158,4	kg/m <sup>3</sup>
% PEBD	11,0	%

Tabla 1. Características del residuo base

Por tanto el caudal de residuo será de:

$$\begin{aligned} Q_{\text{residuo}} &= \text{kg/hora} \cdot \frac{1 \text{ hora}}{\text{densidad} \cdot 3600 \text{ segundos}} = 19.480,5 \cdot \frac{1}{158,4 \cdot 3600} \\ &= 0,03416 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Y el caudal de residuo obtenido suponiendo que se capta un 95% del mismo.

$$Q_{PEBD} = Q_{residuo} \cdot (\% PEBD) \cdot \eta = 0,03416 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 0,110 \cdot 0,95 = 0,003570 \text{ m}^3/\text{s}$$

Este caudal se limita a la cantidad de plástico-film que se recogerá del caudal de residuo. Éste no es el total del caudal de la instalación. El caudal de la instalación debe ser un caudal con el volumen de aire a transportar junto con una carga de sólidos-aire en fase diluida. Para relacionar éstos dos caudales se tomará una relación másica de 3.

$$R_{\dot{m}} = \text{relación másica} = \frac{\dot{m}_{aire}}{\dot{m}_{PEBD}} = 3$$

Calcularemos primero el caudal másico de PEBD:

$$\dot{m}_{PEBD} = Q_{PEBD} \cdot \rho_{PEBD} = 0,003570 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 920 \text{ kg}/\text{m}^3 = 3,284 \text{ kg}/\text{s}$$

donde:

$\rho_{PEBD}$ : densidad del plástico film. Según la literatura varía entre 910 y 940 kg/m<sup>3</sup>.  
 $\dot{m}_{PEBD}$  = flujo másico de PEBD (kg/s)

Este dato pasado a ton/hora

$$3,2843 \text{ kg}/\text{s} = 3,2843 \text{ kg}/\text{s} \cdot \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hora}} = 11,8236 \text{ ton}/\text{h}$$

Despejando la ecuación podemos obtener un caudal operativo para la instalación sobre el cual podremos calcular los diámetros de las conducciones.

$$R_{\dot{m}} = \frac{\dot{m}_{aire}}{\dot{m}_{PEBD}} = \frac{\rho_{aire} \cdot Q_{instalación,1}}{\dot{m}_{PEBD}}$$

$$Q_{instalación,1} = \frac{\dot{m}_{PEBD} \cdot R_{\dot{m}}}{\rho_{aire}} = \frac{3,284 \text{ kg}/\text{s} \cdot 3}{1,200 \text{ kg}/\text{m}^3} = 8,2108 \text{ m}^3/\text{s}$$

En la segunda parte de las conducciones el aire retorna sin residuo por tanto habrá un segundo caudal de aire. Este caudal se calculará sabiendo que el flujo másico es de  $\frac{3}{4}$  partes del caudal de aire con residuo.

$$Q_{instalación,2} = \frac{Q_{instalación,1} \cdot R_{\dot{m}}}{R_{\dot{m}} + 1} = \frac{8,2108 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 3}{4} = 6,1581 \text{ m}^3/\text{s}$$

## 2. Selección de diámetros

Como se indicó en los requisitos del sistema la velocidad que mantendremos a lo largo del sistema será de 28 m/s. Junto con el caudal calculado en el apartado anterior podemos hallar una aproximación del diámetro de cada sección y utilizando la ecuación:

$$Q = V \cdot A$$

$$A = \pi \cdot \frac{D^2}{4} = \frac{Q}{V}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V}}$$

Desarrollaremos los cálculos realizado en el tramo A-B.

$$Q_{tramo A-B} = Q_{instalación,1} \cdot \%residuo = 8,2108 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \frac{40}{100} = 3,2843 \text{ m}^3/\text{s}$$

Obtenido el caudal podemos calcular un diámetro:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,2843 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \cdot 28 \text{ m}/\text{s}}} = 0,3865 \text{ m}$$

El cálculo de los demás tramos ha sido realizado gracias al programa Excel de la suite de Office. Queda resumido en la siguiente tabla:

<b>Diámetro calculado</b>	Longitud (m)	% residuo	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Diámetro (m)
<i>Tramo A-B</i>	25	40%	3,2843	0,3865
<i>Tramo B-C</i>	25	40%	3,2843	0,3865
<i>Tramo C-D</i>	25	70%	5,7476	0,5112
<i>Tramo D-E</i>	25	90%	7,3897	0,5797
<i>Tramo E-F</i>	25	100%	8,2108	0,6110
<i>Tramo A-F</i>	125	-		
<i>Tramo G-C</i>	25	30%	2,4632	0,3347
<i>Tramo I-D</i>	20	20%	1,6422	0,2733
<i>Tramo H-E</i>	15	10%	0,8211	0,1932

Tabla 2. Diámetros de cálculo aspiración. Elaboración propia

Conductos de este diámetro exacto no pueden encontrarse en el mercado a un bajo precio y por tanto hay que aproximarlos a los diámetros comerciales. Utilizando los diámetros comerciales más cercanos a nuestros datos obtenemos los siguientes caudales de trabajo:

<b>Diámetros reales</b>	Diámetro (m)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
<i>Tramo A-B</i>	0,400	3,519
<i>Tramo B-C</i>	0,400	3,519
<i>Tramo C-D</i>	0,500	5,498
<i>Tramo D-E</i>	0,600	7,917
<i>Tramo E-F</i>	0,600	7,917
<i>Tramo A-F</i>		
<i>Tramo G-C</i>	0,350	2,694
<i>Tramo I-D</i>	0,300	1,979
<i>Tramo H-E</i>	0,200	0,880

Tabla 3. Diámetros reales aspiración. Elaboración propia

De forma similar es posible calcular los diámetros necesarios para el recorrido de impulsión que serán ligeramente inferiores. Su redimensionado es necesario para abaratar costes.

Los datos obtenidos quedan resumidos en la siguiente tabla:

<b>Diámetros calculados</b>	Longitud (m)	% aire recirc	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Diámetro (m)
<i>Tramo B-A</i>	25	40%	2,4632	0,3347
<i>Tramo C-B</i>	25	40%	2,4632	0,3347
<i>Tramo D-C</i>	25	70%	4,3107	0,4427
<i>Tramo E-D</i>	25	90%	5,5423	0,5020
<i>Tramo F-E</i>	25	100%	6,1581	0,5292
<i>Tramo F-A</i>	125	-		
<i>Tramo C-G</i>	25	30%	1,8474	0,2898
<i>Tramo D-I</i>	20	20%	1,2316	0,2367
<i>Tramo E-H</i>	15	10%	0,6158	0,1673

Tabla 4. Diámetros de cálculo impulsión. Elaboración propia

Y tal como se realizó en los tramos de aspiración se calcula su aproximación a diámetros comerciales:

<b>Diámetros reales</b>	Diámetro (m)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
<i>Tramo B-A</i>	0,355	2,771
<i>Tramo C-B</i>	0,355	2,771
<i>Tramo D-C</i>	0,450	4,453
<i>Tramo E-D</i>	0,500	5,498
<i>Tramo F-E</i>	0,560	6,896
<i>Tramo F-A</i>		
<i>Tramo C-G</i>	0,300	1,979
<i>Tramo D-I</i>	0,250	1,374
<i>Tramo E-H</i>	0,175	0,673

Tabla 5. Diámetros reales impulsión. Elaboración propia



ESCUELA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA  
Y TECNOLOGÍA

Grado en Ingeniería Mecánica

# **Anexo II: Cálculo de pérdidas de carga**

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

TÍTULO:

DISEÑO Y CÁLCULO DE SISTEMAS DE ASPIRACIÓN DE  
POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD EN ACTIVIDADES INDUSTRIALES

AUTOR:

Jairo Samuel Santana Rodríguez

TUTOR:

Alejandro Molowny López-Peñalver

## Anexo II: Cálculo de las pérdidas de carga

Índice de figuras .....	3
Índice de tablas .....	4
1. Las pérdidas de carga .....	5
1.1. Pérdidas de carga en conductos rectos .....	6
1.2. Pérdidas de carga en puntos singulares .....	8
2. Cálculo de pérdidas de carga .....	8
2.1. Cálculo de las pérdidas primarias .....	8
2.2. Cálculo de las pérdidas en accesorios .....	10
2.2.1. Cálculo codos .....	10
2.2.2. Cálculo empalmes .....	11
2.2.3. Cálculo de ensanchamientos .....	11
2.3. Resumen y resultados .....	14
3. Selección del ventilador .....	18
3.1. Punto de operación .....	18
3.2. Leyes de los ventiladores .....	19
3.3. Ventiladores en serie y en paralelo .....	20
3.4. Arranque de ventiladores .....	21
4. Cálculo de potencia .....	23

## Índice de figuras

Figura 1. PE, PD y PT en un punto. (Robert T. Hughes y colaboradores, 1992) .....	5
Figura 2. Fuerzas que actúan en un ensanchamiento (Agüera-Soriano, 2002) .....	12
Figura 3. Ensanchamiento gradual. Agüera-Soriano, 2002 .....	13
Figura 4. Ventiladores en serie. Hojas técnica de acoplamiento de ventiladores, Sodeca .....	20
Figura 5. Ventiladores en paralelo. Hojas técnica de acoplamiento de ventiladores, Sodeca .....	21
Figura 6. Arranque de ZVN 1-25-500/6. Diseño de ventiladores axiales de alto rendimiento para el BY-PASS de M-30 .....	22

## Índice de tablas

Tabla 1. Pérdidas de carga principales aspiración. Elaboración propia .....	9
Tabla 2. Pérdidas de carga principales impulsión. Elaboración propia .....	9
Tabla 3. Coeficientes de pérdidas para tuberías compuestas. (Sotelo A.G., 1982) ....	10
Tabla 4. Datos para diseño de conductos. (Robert T. Hughes y colaboradores, 1992) .	11
Tabla 5. Valores del coeficiente $\alpha$ . Agüera-Soriano, 2002 .....	14
Tabla 6. Valores de K para los ensanchamientos. Elaboración propia .....	14
Tabla 7. Cálculo de pérdidas totales aspiración. Elaboración propia .....	15
Tabla 8. Cálculo de pérdidas totales impulsión. Elaboración propia .....	17
Tabla 9. Caudales finales aspiración. Elaboración propia .....	23
Tabla 10. Caudales finales impulsión. Elaboración propia .....	23
Tabla 11. Potencia final de los ventiladores aspiración .....	24
Tabla 12. Potencia final de los ventiladores impulsión .....	25

## 1. Las pérdidas de carga

En el sistema el aire circulará desde las regiones de mayor presión a las de menor presión en ausencia del aporte de energía obtenido gracias a los ventiladores. Una masa de aire tiene asociada tres presiones:

- La presión estática (PE), que tiende a hinchar o colapsar el conducto. Puede ser positiva o negativa con respecto a la presión atmosférica local. Puede ser medida mediante un tubo de Pinot.
- La presión dinámica (PD), se define como la presión necesaria para acelerar el aire desde velocidad cero hasta cierta velocidad.
- La presión total (PT) que no es más que la suma algebraica de las presiones estática y dinámica.

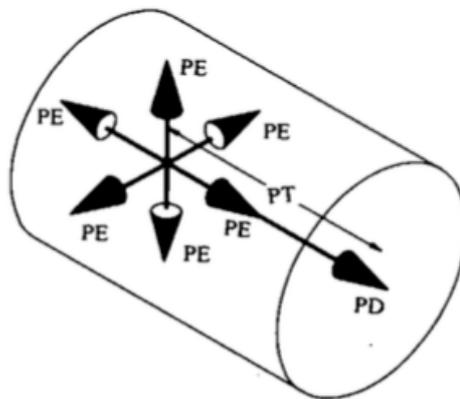


Figura 1. PE, PD y PT en un punto. (Robert T. Hughes y colaboradores, 1992)

La conservación de la energía exige tener en cuenta todos los cambios de ésta que se producen a medida que el fluido es impulsado. Expresado en función de las presiones:

$$PT_1 = PT_2 + H_{p,1-2}$$

donde:

el subíndice 1, indica un punto cualesquiera.

el subíndice 2, indica un punto posterior.

$H_{p,1-2}$  = pérdidas de energía sufrida por el fluido a lo largo del trayecto entre esos dos puntos.

Este principio nos muestra que la presión total debe disminuir en la dirección por la que transcurre el flujo.

Para ampliar este concepto de pérdida de energía se estudiará la diferencia de energía entre dos puntos de un fluido a lo largo de una corriente. La energía total por unidad de tiempo es la suma de su energía interna, su flujo de trabajo, su energía potencial y su energía cinética, por el flujo másico circulante:

$$E = \dot{m}_i \cdot \left( u_i + P_i \cdot v_{e_i} + \frac{v_i^2}{2} + g \cdot z_i \right) = \dot{m}_i \cdot \left( u_i + \frac{P_i}{\rho_i} + \frac{v_i^2}{2} + g \cdot z_i \right)$$

donde:

$E_i$  = energía por unidad de tiempo de la corriente "i" (J/s = W)

$\dot{m}_i$  = flujo másico de la corriente "i" (kg/s)

$u_i$  = energía interna de la corriente "i" (J/Kg)

$P_i$  = presión de la corriente "i" (Pa)

$v_{e_i}$  = volumen específico de la corriente "i" (m<sup>3</sup>/Kg)

$v_i$  = velocidad de la corriente "i" (m/s)

$z_i$  = altura o elevación sobre un plano arbitrario de la corriente "i" (m)

$g$  = constante de gravedad = 9,807 (m/s<sup>2</sup>)

$\rho_i$  = densidad de la corriente "i" (Kg/m<sup>3</sup>)

Como vimos con anterioridad esta energía sufre unas pérdidas de energía denominadas pérdidas de carga (en forma de presión). Separaremos su estudio en dos tipos: pérdidas de carga en tramos rectos y pérdidas de carga en puntos singulares (codos, uniones, empalmes,...).

### 1.1 Pérdidas de carga en conductos rectos

Las pérdidas de carga en conductos rectos es una función compleja que relaciona la velocidad del aire, las propiedades del aire, las propiedades del conducto y sus dimensiones. Se necesita un adimensional que unifique estas propiedades para llegar a su definición llamado número de Reynolds:

$$Re = \frac{D \cdot V}{\nu} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D \cdot \nu}$$

donde:

D = Diámetro

$\nu$  = viscosidad cinemática

El efecto de la rugosidad del conducto se cuantifica gracias al valor de rugosidad absoluta k (mm), que es el cociente entre el valor de rugosidad absoluta y el diámetro equivalente del conducto que en el caso de tubos circulares es igual al diámetro. Una vez obtenidos estos valores es posible hallar el factor de fricción (f). Este factor es característico de cada instalación y su resultado es aproximado. Se puede calcular mediante tablas gracias al trabajo de L.F. Moody (diagrama de Moody). Hay también, numerosas ecuaciones que aproximan su cálculo. Una de las más conocida es la Colebrook-White. En este proyecto sin embargo se utilizará la ecuación de Swamme-Jaine ya que nos permite obtener este factor sin necesidad de ninguna iteración.

$$f = 0,25 \cdot \left[ \log \left( \frac{k/D}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^{-2}$$

donde:

f = factor de fricción (adimensional)

k = coeficiente de rugosidad absoluta (mm)

Re = n° de Reynolds (adim)

Finalmente, una vez calculado el factor de f, es posible obtener mediante la ecuación de Darcy-Weissbach las pérdidas de carga del tramo a estudiar:

$$H_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

donde:

L: longitud del tramo (m)

g: constante de gravedad (m/s<sup>2</sup>)

## 1.2. Pérdidas de carga en puntos singulares

Las pérdidas de carga en puntos singulares se calculan mediante dos métodos. El de longitud equivalente y el método de la presión dinámica. El primero consiste en equiparar un punto singular a una longitud equivalente de conducto recto que produciría la misma pérdida de carga.

El segundo es el método que se utilizará debido a las ventajas indicadas en el análisis de soluciones. Se basa en el hecho de que todas las pérdidas de carga por rozamiento en los accesorios son función de la presión dinámica multiplicada por un coeficiente de pérdidas (F):

$$H_r = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

donde:

K: coeficiente de pérdidas (adim)

## 2. Cálculo de pérdidas de carga

### 2.1. Cálculo de pérdidas primarias

Volviendo al sistema proyectado, una vez obtenido los diámetros a utilizar es posible calcular las pérdidas producidas en cada sección del conducto utilizando las ecuaciones explicadas en el punto 1. Primero el n° de Reynolds y su factor de fricción. Tras esto se puede calcular las pérdidas de carga asociadas a los tramos rectos de conducción. El cálculo con el tramo A-B sería el siguiente. Primero se calcula del n° de Reynolds:

$$Re = \frac{D \cdot V}{\nu} = \frac{0,400 \text{ m} \cdot 28 \text{ m/s}}{1,50 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}} = 7,47 \cdot 10^5 \text{ (adim)}$$

Tras esto el coeficiente de fricción f con la aproximación de Swamme-Jaine:

$$f = 0,25 \cdot \left[ \log \left( \frac{k/D}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^{-2} = 0,25 \cdot \left[ \log \left( \frac{0,09 \text{ mm} / 400 \text{ mm}}{3,7} + \frac{5,74}{(7,47 \cdot 10^5)^{0,9}} \right) \right]^{-2}$$

$$= 0,01529$$

donde:

k: coeficiente de rugosidad absoluta = 0,09 mm tal como indica la Guía técnica de selección de equipos de transporte de fluidos para conducto de chapa metálica.

Por último simplemente se despejan las pérdidas de carga:

$$H_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} = 0,01529 \cdot \frac{25 \text{ m} \cdot 28^2 \text{ m/s}}{0,400 \text{ m} \cdot 2 \cdot 9,807 \text{ m/s}^2} = 38,205 \text{ m}$$

Este proceso se ha repetido a lo largo de los tramos de la instalación dando lugar a la tabla 1:

<b>Pérdidas</b>	<b>Re</b>	<b>f</b>	<b>Hf, principal (m)</b>
<i>Tramo A-B</i>	7,47E+05	0,01529	38,205
<i>Tramo B-C</i>	7,47E+05	0,01529	38,205
<i>Tramo C-D</i>	9,33E+05	0,01509	30,164
<i>Tramo D-E</i>	1,12E+06	0,01495	24,901
<i>Tramo E-F</i>	1,12E+06	0,01495	24,901
<i>Tramo A-F</i>			
<i>Tramo G-C</i>	6,53E+05	0,01543	44,051
<i>Tramo I-D</i>	5,60E+05	0,01560	41,575
<i>Tramo H-E</i>	3,73E+05	0,01615	48,414

Tabla 1. Pérdidas de carga principales aspiración. Elaboración propia

También en el caso de las conducciones de impulsión:

<b>Pérdidas</b>	<b>Re</b>	<b>f</b>	<b>Hf, principal</b>
<i>Tramo B-A</i>	6,63E+05	0,01568	44,136
<i>Tramo C-B</i>	6,63E+05	0,01568	44,136
<i>Tramo D-C</i>	8,40E+05	0,01546	34,334
<i>Tramo E-D</i>	9,33E+05	0,01538	30,730
<i>Tramo F-E</i>	1,05E+06	0,01529	27,286
<i>Tramo F-A</i>			
<i>Tramo C-G</i>	5,60E+05	0,01586	52,822
<i>Tramo D-I</i>	4,67E+05	0,01608	51,406
<i>Tramo E-H</i>	3,27E+05	0,01659	56,822

Tabla 2. Pérdidas de carga principales impulsión. Elaboración propia

Estas pérdidas de carga son sólo una parte de las pérdidas totales. Además de las producidas en los conductos rectos, asumiremos unas pérdidas secundarias del 12% asociadas a las entradas de los conductos en las campanas o cabinas y, a las producidas por la sujeción de las bridas y cualquier otro tipo de conexión entre tramos rectos de la instalación.

## 2.2. Cálculo de accesorios

El cálculo de las pérdidas producidas en puntos singulares por los accesorios viene dada por el factor K a calcular. En la instalación tenemos tres tipos de accesorio: Los codos, los empalmes y los ensanchamientos. Primero se detallará el proceso de cálculo añadiendo ejemplos para más tarde resumir los valores obtenidos.

### 2.2.1. Cálculo de codos

Los codos de la instalación en el sentido de ida serán de 45°, separando el giro en dos tramos tal como indica la tabla siguiente:

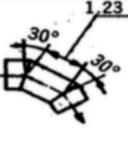
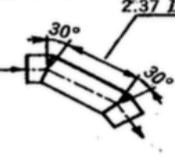
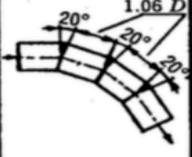
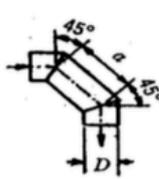
 $K_s = 0.016$ $K_r = 0.024$	 $K_s = 0.034$ $K_r = 0.044$	 $K_s = 0.042$ $K_r = 0.062$	 $K_s = 0.066$ $K_r = 0.154$																																																																											
 $K_s = 0.112$ $K_r = 0.284$	 $K_s = 0.150$ $K_r = 0.268$	 $K_s = 0.143$ $K_r = 0.227$	 $K_s = 0.108$ $K_r = 0.236$																																																																											
	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\alpha/D</math></th> <th><math>K_s</math></th> <th><math>K_r</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.71</td><td>0.507</td><td>0.510</td></tr> <tr><td>0.943</td><td>0.350</td><td>0.417</td></tr> <tr><td>1.174</td><td>0.333</td><td>0.374</td></tr> <tr><td>1.42</td><td>0.261</td><td>0.377</td></tr> <tr><td>1.50*</td><td>0.280</td><td>0.376</td></tr> <tr><td>1.86</td><td>0.289</td><td>0.390</td></tr> <tr><td>2.56</td><td>0.356</td><td>0.429</td></tr> <tr><td>3.14</td><td>0.346</td><td>0.426</td></tr> <tr><td>3.72</td><td>0.356</td><td>0.440</td></tr> <tr><td>4.89</td><td>0.389</td><td>0.455</td></tr> <tr><td>5.59</td><td>0.392</td><td>0.444</td></tr> <tr><td>6.28</td><td>0.399</td><td>0.444</td></tr> </tbody> </table>	$\alpha/D$	$K_s$	$K_r$	0.71	0.507	0.510	0.943	0.350	0.417	1.174	0.333	0.374	1.42	0.261	0.377	1.50*	0.280	0.376	1.86	0.289	0.390	2.56	0.356	0.429	3.14	0.346	0.426	3.72	0.356	0.440	4.89	0.389	0.455	5.59	0.392	0.444	6.28	0.399	0.444		<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\alpha/D</math></th> <th><math>K_s</math></th> <th><math>K_r</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1.186</td><td>0.120</td><td>0.294</td></tr> <tr><td>1.40</td><td>0.125</td><td>0.252</td></tr> <tr><td>1.50*</td><td>—</td><td>0.260</td></tr> <tr><td>1.63</td><td>0.124</td><td>0.266</td></tr> <tr><td>1.86</td><td>0.117</td><td>0.272</td></tr> <tr><td>2.325</td><td>0.096</td><td>0.317</td></tr> <tr><td>2.40*</td><td>0.095</td><td>—</td></tr> <tr><td>2.91</td><td>0.108</td><td>0.317</td></tr> <tr><td>3.49</td><td>0.130</td><td>0.318</td></tr> <tr><td>4.65</td><td>0.148</td><td>0.310</td></tr> <tr><td>6.05</td><td>0.142</td><td>0.313</td></tr> </tbody> </table>	$\alpha/D$	$K_s$	$K_r$	1.186	0.120	0.294	1.40	0.125	0.252	1.50*	—	0.260	1.63	0.124	0.266	1.86	0.117	0.272	2.325	0.096	0.317	2.40*	0.095	—	2.91	0.108	0.317	3.49	0.130	0.318	4.65	0.148	0.310	6.05	0.142	0.313
$\alpha/D$	$K_s$	$K_r$																																																																												
0.71	0.507	0.510																																																																												
0.943	0.350	0.417																																																																												
1.174	0.333	0.374																																																																												
1.42	0.261	0.377																																																																												
1.50*	0.280	0.376																																																																												
1.86	0.289	0.390																																																																												
2.56	0.356	0.429																																																																												
3.14	0.346	0.426																																																																												
3.72	0.356	0.440																																																																												
4.89	0.389	0.455																																																																												
5.59	0.392	0.444																																																																												
6.28	0.399	0.444																																																																												
$\alpha/D$	$K_s$	$K_r$																																																																												
1.186	0.120	0.294																																																																												
1.40	0.125	0.252																																																																												
1.50*	—	0.260																																																																												
1.63	0.124	0.266																																																																												
1.86	0.117	0.272																																																																												
2.325	0.096	0.317																																																																												
2.40*	0.095	—																																																																												
2.91	0.108	0.317																																																																												
3.49	0.130	0.318																																																																												
4.65	0.148	0.310																																																																												
6.05	0.142	0.313																																																																												
*Valor óptimo de $\alpha$ , interpolado																																																																														

Tabla 3. Coeficientes de pérdidas para tuberías compuestas. (Sotelo A.G., 1982).

donde:

$K_s$ : coeficiente de pérdida para una superficie lisa

$K_r$ : coeficiente de pérdida para una superficie rugosa  $\frac{k}{D}$  = rugosidad relativa = 0,022

En nuestro caso consideraremos una superficie lisa ya que los valores de la rugosidad relativa son mucho menores de 0,022. El valor de  $K_s$  por tanto será de 0,112.

Si tomamos como ejemplo el tramo A-B, el cálculo de las pérdidas secundarias sería el siguiente:

$$H_r = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0,112 \cdot \frac{28^2}{2 \cdot 9,807} = 4,477 \text{ m}$$

En el caso de los giros de 180° se realizarán sumando dos giros de 90° utilizando con la forma de giros de 22,5° con un a/D=1,86. Por tanto el coeficiente a utilizar en el caso de los giros de 180° Ks será igual a 0,117, tal como vemos en la tabla 3.

Para comprender con más facilidad se desarrollará el giro producido al final del tramo B-A para volver a la aspiración:

$$H_r = 2 \cdot K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 2 \cdot 0,117 \cdot \frac{28^2}{2 \cdot 9,807} = 9,3533 \text{ m}$$

### 2.2.2. Cálculo de empalmes

En los empalmes también nos apoyaremos en la utilización de una tabla:

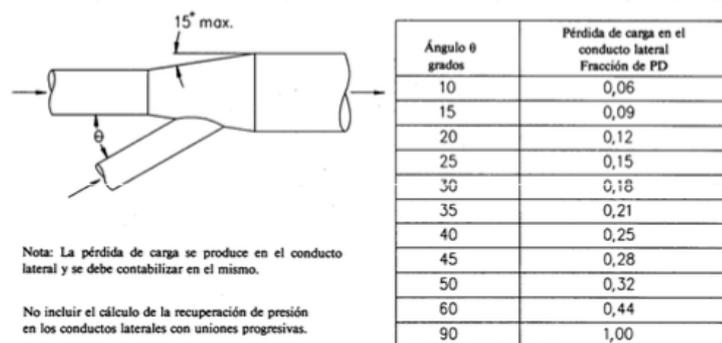


Tabla 4. Datos para diseño de conductos. (Robert T. Hughes y colaboradores, 1992)

Según la literatura es recomendable un ángulo  $\theta$  de 30° para minimizar las pérdidas sin diseñar empalmes de difícil construcción. Por tanto en el sistema se utilizará un factor K de 0,18. Tal como se indica en la descripción de la tabla la pérdida de carga se produce en el conducto lateral y se contabiliza en el mismo. Sustituyendo este valor podemos obtener la pérdida de carga producida en cualquiera de los instalados:

$$H_r = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0,18 \cdot \frac{28^2}{2 \cdot 9,807} = 7,195 \text{ m}$$

### 2.2.3. Cálculo de ensanchamientos

Para obtener el coeficiente de los ensanchamientos se debe realizar un estudio de las fuerzas.

La ecuación de cantidad de movimiento entre las secciones 1 y 2 es igual a:

$$\sum \vec{F} = \rho \cdot Q \cdot (\vec{V}_2 - \vec{V}_1) = \rho \cdot V_2 \cdot A_2 \cdot (\vec{V}_2 - \vec{V}_1)$$

Esta es una de las fuerzas que actúan sobre el volumen de control de la figura.

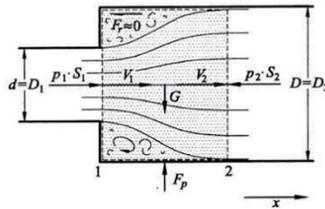


Figura 2. Fuerzas que actúan en un ensanchamiento (Agüera-Soriano, 2002)

Calculando las demás, más la gravedad:

$$\sum \vec{F} = \overrightarrow{P_1 \cdot A_1} + \overrightarrow{P_2 \cdot A_2} + \vec{F}_p + \vec{F}_r + \vec{G}$$

donde:

$F_p$  = Fuerza de presión

$F_r$  = Fuerza de rozamiento

Si se proyectan las dos ecuaciones sobre la dirección x, igualando sus segundos miembros y despejando la diferencia de presiones:

$$\rho \cdot V_2 \cdot A_2 \cdot (\vec{V}_2 - \vec{V}_1) = P_1 \cdot S_1 - P_2 \cdot S_2$$

$$\frac{P_2 - P_1}{\rho} = V_2 \cdot (V_1 - V_2)$$

La pérdida de carga entre las secciones entre los dos puntos sería:

$$H_f = \left( \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + \frac{P_1}{\gamma} \right) - \left( \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + \frac{P_2}{\gamma} \right) = \left( \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + \frac{P_1}{\rho \cdot g} \right) - \left( \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + \frac{P_2}{\rho \cdot g} \right)$$

Sustituyendo en la anterior:

$$H_f = \left( \frac{V_1^2}{2 \cdot g} - \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \right) - \left( \frac{V_2 \cdot (V_1 - V_2)}{g} \right) = \left( \frac{V_1^2 + V_2^2 - 2 \cdot (V_1 - V_2)}{2 \cdot g} \right) = \frac{V_1^2}{2 \cdot g} \cdot \left( 1 - \frac{V_2}{V_1} \right)^2$$

Sabemos que en un flujo continuo la conservación de la masa es la misma por tanto:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$$

Esto es igual a:

$$\rho \cdot Q_1 = \rho \cdot Q_2$$

Tomando la densidad constante como ya se ha indicado en las suposiciones iniciales:

$$Q = V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{4 \cdot \pi \cdot d^2}{4 \cdot \pi \cdot D^2}$$

donde:

d: diámetro inicial

D: diámetro final

Por tanto podemos despejar K como coeficiente a utilizar:

$$K = \left( 1 - \frac{d^2}{D^2} \right)^2$$

Este valor tal como indica en la figura 2 sería el producido por un ensanchamiento brusco.

Para evitar mayores consumos en los ventiladores se construirán ensanchamientos graduales de 15°.

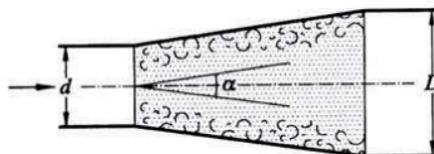


Figura 3. Ensanchamiento gradual. Agüera-Soriano, 2002

Estos ensanchamientos permiten minimizar un porcentaje gracias al coeficiente  $\alpha$  que se multiplica por K. Tal como indica la tabla 5. En el caso de 15° el coeficiente  $\alpha$  es de un valor de 0,30.

Valores del coeficiente $\alpha$ en un ensanchamiento gradual											
$\alpha =$	4°	6°	8°	10°	15°	20°	30°	40°	50°	60°	180°
$\alpha =$	0,15	0,13	0,14	0,17	0,30	0,40	0,70	0,95	1,1	1,2	1

Tabla 5. Valores del coeficiente  $\alpha$ . Agüera-Soriano, 2002

En nuestra instalación será necesario aumentar el diámetro en el punto C, D y E. El valor de las pérdidas de carga en el punto C sería el siguiente:

$$K = 0,30 \cdot \left( 1 - \frac{0,400^2 \text{ m}}{0,500^2 \text{ m}} \right) = 0,03888$$

Los demás ensanchamientos seguirán los mismo cálculos dando los siguientes valores:

Ensanchamiento C	0,03888
Ensanchamiento D	0,02800
Ensanchamiento E	0
Ensanchamiento C impulsión	0,04278
Ensanchamiento D impulsión	0,01083
Ensanchamiento E impulsión	0,01233
Ensanchamiento F impulsión	0,00656
Ensanchamiento A	0,01352
Ensanchamiento G	0,02111
Ensanchamiento I	0,05808
Ensanchamiento H	0,02811

Tabla 6. Valores de K para los ensanchamientos. Elaboración propia

### 2.3. Resumen y resultados

Resumiendo, se ha calculado las pérdidas de carga principales, más las secundarias y por último hemos calculado las pérdidas asociadas al uso de diferentes accesorios. Éstos accesorios varían según el tramo, en la dirección de ida:

- En el tramo A-B, primeramente el conducto asciende hasta la altura de las conducciones principales girando gracias a un codo de 45° y se mantiene recto hasta llegar a la conducción principal recta encajando en la misma mediante otro codo de 45°.

- Tramo B-C, es un tramo recto sin accesorios.
- Tramo C-D, es un tramo recto sin accesorios.
- Tramo D-E, es un tramo recto sin accesorios.
- Tramo E-F, se produce una bajada mediante un codo de 45° hasta la fase de procesado.
- Tramo G-C, en este tramo se necesita un codo que lleve a la conducción principal de 45°, una vez llegado al conducto se produce el empalme entre los conductos y un ensanchamiento del conducto principal (punto C).
- Tramo I-D, en este tramo se necesita un codo que lleve a la conducción principal de 45°, una vez llegado al conducto se produce el empalme entre los conductos y un ensanchamiento del conducto principal (punto D).
- Tramo H-E, en este tramo se necesita un codo que lleve a la conducción principal de 45°, una vez llegado al conducto se produce el empalme entre los conductos y un ensanchamiento del conducto principal (punto E).

Las pérdidas de los accesorios serán calculadas mediante la ecuación ya escrita, ajustando el valor de K según el tramo:

$$H_r = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Se suman todas las pérdidas de carga de los diferentes tramos:

$$H_{ftotales} (m) = H_{fprincipales} + H_{fsecundarias} + H_{faccesorios}$$

<b>Pérdidas</b>	Hf, principal	Hf, secund	Hf, accesor	Hf, total (m)	Hf,total (Pa)
<i>Tramo A-B</i>	38,205	4,585	8,954	51,743	608,937
<i>Tramo B-C</i>	38,205	4,585	0	42,790	503,567
<i>Tramo C-D</i>	30,164	3,620	0	33,783	397,576
<i>Tramo D-E</i>	24,901	2,988	0	27,889	328,211
<i>Tramo E-F</i>	24,901	2,988	4,477	32,366	380,895
<i>Tramo A-F</i>				188,572	2219,186
<i>Tramo G-C</i>	44,051	5,286	13,226	62,563	736,263
<i>Tramo I-D</i>	41,575	4,989	12,791	59,355	698,518
<i>Tramo H-E</i>	48,414	5,810	11,672	65,895	775,482
		<b>Pérdidas</b>	<b>totales</b>	<b>376,385</b>	<b>4429,449</b>

Tabla 7. Cálculo de pérdidas totales aspiración. Elaboración propia

En la dirección de impulsión varían algunos accesorios, según el tramo:

- En el tramo B-A, se vuelve desde el punto B girando con un codo de 45°. Tras esto y con otro codo de 45° se desciende hasta la recogida de PEBD. Justo al final del conducto se produce un giro de 180° para ensamblarse con un ensanchamiento al tramo A-B.
- Tramo C-B, es un tramo recto sin accesorios.
- Tramo D-C, es un tramo recto sin accesorios.
- Tramo E-D, es un tramo recto sin accesorios.
- Tramo F-E, se produce un giro de 180° mediante dos codos de 90° tal como se explica en el punto 2.2.1.
- Tramo C-G, este tramo empieza en el punto C donde hay un ensanchamiento (ensanchamiento C impulsión) junto con el pantalón C, que sería el inverso del empalme que supondremos con el mismo coeficiente K. A continuación continúa en línea recta hasta un codo de 45° que inicia el descenso hasta la recogida de PEBD. Justo al final del conducto se produce un giro de 180° para ensamblarse con un ensanchamiento al tramo G-C.
- Tramo D-I, este tramo empieza en el punto D donde hay un ensanchamiento (ensanchamiento D impulsión) junto con el pantalón D, que sería el inverso del empalme que supondremos con el mismo coeficiente K. A continuación continúa en línea recta hasta un codo de 45° que inicia el descenso hasta la recogida de PEBD. Justo al final del conducto se produce un giro de 180° para ensamblarse con un ensanchamiento al tramo I-D.
- Tramo E-H, este tramo empieza en el punto E donde hay un ensanchamiento (ensanchamiento E impulsión) junto con el pantalón E, que sería el inverso del empalme que supondremos con el mismo coeficiente K. A continuación continúa en línea recta hasta un codo de 45° que inicia el descenso hasta la recogida de PEBD. Justo al final del conducto se produce un giro de 180° para ensamblarse con un ensanchamiento al tramo H-E.

Sumando todas las pérdidas de carga de los diferentes tramos nuevamente:

$$H_f \text{ totales (m)} = H_f \text{ principales} + H_f \text{ secundarias} + H_f \text{ accesorios}$$

<b>Pérdidas</b>	Hf, principal	Hf, secund	Hf, accesor	Hf, total (m)	Hf,total (Pa)
<i>Tramo B-A</i>	44,136	5,296	18,848	68,280	803,544
<i>Tramo C-B</i>	44,136	5,296	0	49,432	581,738
<i>Tramo D-C</i>	34,334	4,120	0	38,454	452,542
<i>Tramo E-D</i>	30,730	3,688	0	34,417	405,034
<i>Tramo F-E</i>	27,286	3,274	9,353	39,913	469,716
<i>Tramo F-A</i>				230,496	2712,573
<i>Tramo C-G</i>	52,822	6,339	23,579	82,740	973,719
<i>Tramo D-I</i>	51,406	6,169	23,779	81,354	957,411
<i>Tramo E-H</i>	56,822	6,819	22,642	86,283	1015,413
		<b>Pérdidas</b>	<b>totales</b>	<b>480,874</b>	<b>5659,116</b>

Tabla 8. Cálculo de pérdidas totales impulsión. Elaboración propia

En las tablas 6 y 7 se ha indicado el valor en Pascales ya que nos permitirá más adelante calcular con facilidad la capacidad necesaria de los ventiladores.

$$H_f \text{ totales (Pa)} = H_f \text{ totales (m)} \cdot \gamma_{\text{aire}}$$

donde:

$$\gamma: \text{ peso específico del aire} = \rho \cdot g \text{ (N/m}^3\text{)}$$

Ejemplificándolo en el cálculo de las pérdidas totales de la tabla 8:

$$H_f \text{ totales (Pa)} = 480,874 \text{ m} \cdot 1,200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,807 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 5659,116 \text{ Pa}$$

El valor de las pérdidas en la impulsión (vuelta) es mayor debido a que en el cálculo de las pérdidas de carga, el valor de las mismas es inversamente proporcional a la quinta al diámetro escogido. Esto producirá requerimientos energéticos mayores, sin embargo, el costo inicial y de mantenimiento disminuirá. El costo inicial disminuirá ya que se requerirá menos material en las conducciones. Al mover el aire desde el mismo punto de forma cerrada y centralizar las máquinas que consumen electricidad evitaremos un sistema eléctrico extenso y complejo difícil de mantener.

### 3. Selección de ventilador

A continuación y tras obtener las pérdidas de carga de cada tramo se pueden conocer los parámetros que definen los ventiladores de la instalación. Estos dos parámetros son principalmente el caudal y la potencia. En general las consideraciones a tener en cuenta a la hora de seleccionar un ventilador son las siguientes:

- Caudal (Q): Cada sistema necesitará un caudal concreto que se defina según las características del mismo.
- Presión (P): Vendrá dada en presión estática del ventilador o en presión total para una densidad del aire a condiciones estándar. En caso de poseer una densidad diferente el aire o tratarse de un fluido diferente habría que aplicar cierto factor de densidad.
- Corriente de aire: El material que es transportado tiene propiedades que pueden condicionantes en su transporte. Es un ejemplo el caso de materiales inflamables y explosivos o, los materiales corrosivos.
- Limitaciones de espacio, cuanto más grande mejor rendimiento poseerá y un espacio reducido podría limitar la colocación de un ventilador de un rendimiento óptimo.
- Disposiciones de la transmisión, en el caso de unidades pequeña el motor eléctrico necesario para accionar el ventilador va en la misma unidad. Conforme aumente el tamaño de la instalación el ventilador podría necesitar un motor ajeno al mismo que se disponga mediante un acoplamiento directo o mediante una transmisión por correas.
- También según la aplicación el ruido generado por las turbulencias puede llegar a ser audible y debe ser estudiado.

En nuestro sistema poseemos una corriente de aire sin ninguna propiedad peligrosa ya que el polietileno no es un material de complejo tratamiento. Al estar situados en una nave las limitaciones de espacio y de ruido no son aplicables.

#### 3.1. Punto de operación

Un ventilador se selecciona para trabajar en unas condiciones concretas. Éstas condiciones se denomina punto de operación. El ventilador y el sistema poseen unas diferentes características que son representadas gráficamente. La unión de estas dos gráficas nos da este punto de operación.

La curva característica del ventilador relaciona linealmente algunas variables propias de mismo. Habitualmente se relacionan potencia y caudal o, presión (tanto presión total como estática del ventilador) y caudal. Es necesario recordar que estas curvas se realizan para unas revoluciones y tamaño concreto y la variación de estos parámetros puede variar ligeramente estas gráficas.

La curva característica de la instalación relaciona el caudal con la presión en el sistema de conductos. Cada conducto presentará unas características que alterará esta curva. La curva global del sistema será la resultante de los efectos combinados de cada componente.

En cada instalación se debe hallar el punto de operación sin embargo, en muchas ocasiones el punto de funcionamiento real difiere del previsto. Cuando esto ocurre es necesario modificar el sistema o hacer uso de un nuevo ventilador. Si el ventilador posee una transmisión por correas se puede, mediante un cambio en la velocidad de giro, cambiar la curva característica del ventilador. Para ello es necesario utilizar las leyes de los ventiladores

### 3.2. Leyes de los ventiladores

Al igual que otras turbomáquinas como las bombas hidráulicas los ventiladores poseen unas reglas que permiten variar las prestaciones en una serie homóloga. Una serie homóloga posee ventiladores de diferentes tamaños que tienen características proporcionales.

Las variables relacionadas son el tamaño del ventilador, la velocidad de giro, la densidad del gas, el caudal, la presión, la potencia consumida y el rendimiento.

En el mismo punto de operación relativo de dos ventiladores de una serie homóloga, el rendimiento será el mismo. Las leyes de los ventiladores son relaciones matemáticas que se fijan gracias a este hecho. Son las siguientes:

$$Q_2 = Q_1 \cdot \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3 \cdot \frac{\omega_2}{\omega_1}$$

donde:

$\omega$ : velocidad angular (en rpm)

W: potencia (en W)

$$P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \cdot \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2 \cdot \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

Y:

$$W_2 = W_1 \cdot \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^5 \cdot \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^3 \cdot \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

Cabe resaltar que en el caso de que la densidad o la velocidad angular sean constante no afectan en la relación. Mediante estas relaciones se puede corregir un ventilador para hallar el punto de funcionamiento óptimo.

### 3.3. Ventiladores en serie y en paralelo

En el caso de utilizar ventiladores en serie o en paralelo se explicará brevemente los cambios producidos en las curvas características.

El acoplamiento de ventiladores tanto en serie como en paralelo permiten cierta variabilidad en la instalación ya que unos ventiladores trabajando en conjunto o por separado pueden dar dos etapas en la instalación. Cuando las variaciones son pequeñas se pueden utilizar reguladores.

El acoplamiento en serie consiste en conectar varios ventiladores uno detrás del otro o bien en un conducto que se mantenga el flujo de aire tal como ocurre análogamente en un circuito eléctrico. El resultado es el aumento de la presión comunicada al fluido sin variar el caudal tal cómo se muestra en la gráfica siguiente:

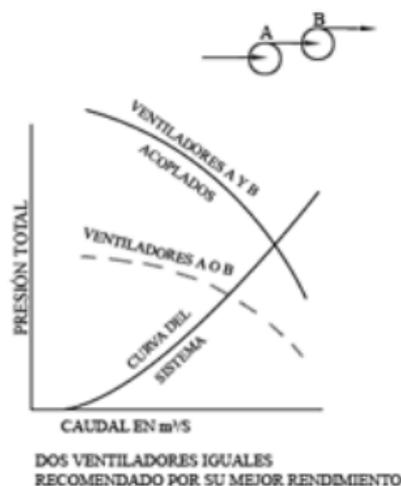


Figura 4. Ventiladores en serie. Hojas técnica de acoplamiento de ventiladores, Sodeca

En el acoplamiento de ventiladores en paralelo, dos o más ventiladores aspiran en el mismo lugar y descargan hacia el mismo sentido de la canalización. En este caso se mantiene la presión sumándose los caudales de cada uno de los ventiladores. Nuevamente se adjunta una gráfica que muestra este hecho:

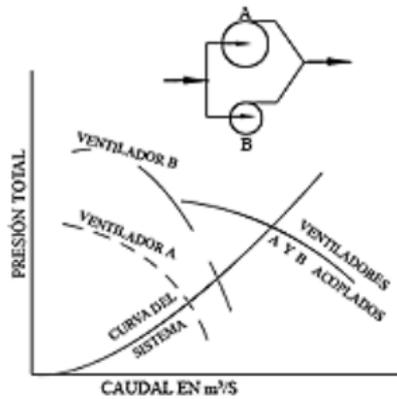


Figura 5. Ventiladores en paralelo. Hojas técnica de acoplamiento de ventiladores, Sodeca

### 3.4. Arranque de ventilador

Hemos visto ya que un ventilador es posible caracterizarlo gracias a su curva y que en cada instalación hay que encontrar un punto óptimo de funcionamiento. Es más este punto se alcanza tras un proceso, no inmediatamente. Un ventilador que trabaje a una resistencia muy elevada (suministre al fluido un valor alto de presión) trabajará en régimen inestable, es decir en bombeo.

Este efecto es negativo para el ventilador y produce cavitación en los álabes del mismo. Esto es especialmente cierto para ventiladores axiales que tienen álabes largos, como es el caso de nuestro proyecto en que los ventiladores entregan un alto caudal a presiones moderadas.

También producirá un grave incremento de ruido.

Un buen diseño evitará que se produzca este régimen inestable pero un ventilador puede estar en bombeo por más motivos como durante el arranque del mismo.

Durante el arranque, un ventilador axial trabajará en bombeo durante un periodo corto, sin embargo este periodo del bombeo aumenta significativamente si ha de acelerarse una masa grande de aire, con una inercia importante, sobre todo cuando se tiene un circuito muy resistente.

En el caso que vemos en la figura 6, se observa que hasta que no transcurre un tiempo de

aproximadamente 30 segundos, el ventilador no sale del bombeo. Hasta entonces, el caudal que mueve el ventilador no se corresponde con el teórico que debería dar el ventilador a la velocidad de rotación correspondiente debido, entre otras cosas, a que se produce una diferencia entre la presión del sistema y la de ventilador, que será la que acelerará la masa del aire a través del circuito. Una vez que el ventilador llega a su velocidad de funcionamiento, el caudal de aire comienza a estabilizarse.

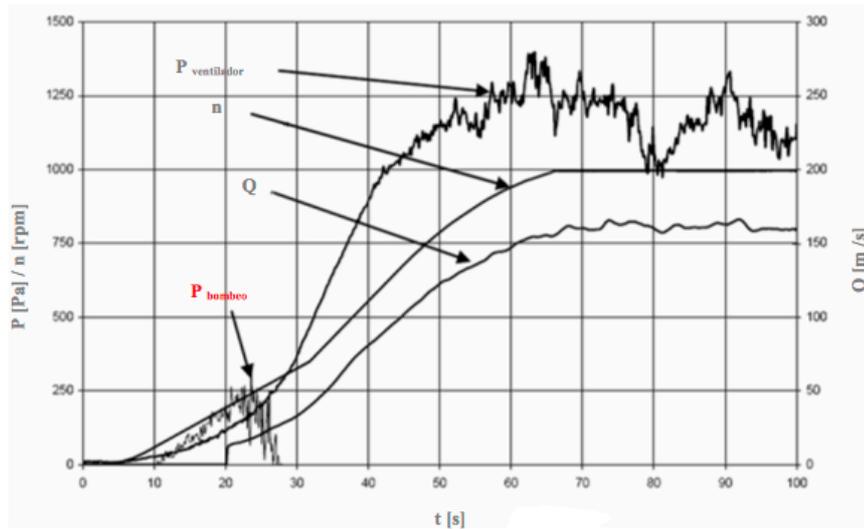


Figura 6. Arranque de ZVN 1-25-500/6. Diseño de ventiladores axiales de alto rendimiento para el BY-PASS de M-30

Una vez que pasa la fase de funcionamiento inestable, es decir el bombeo, el ventilador comienza a tener ya más presión disponible, ya que ha acelerado la masa de aire, con lo que el caudal que moviliza el ventilador se incrementa con más celeridad. Es a partir de ese momento cuando se empieza a mantener una proporcionalidad entre la velocidad de rotación del rodete y del caudal que está moviendo.

## 4. Cálculo de potencia

Se ha calculado en el anexo I los caudales derivados de los tramos en la instalación, son los siguientes:

<b>Tramo</b>	Longitud (m)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Caudal (m <sup>3</sup> /hora)
<i>Tramo A-F</i>	125	7,917	28500
<i>Tramo G-C</i>	25	2,694	9700
<i>Tramo I-D</i>	20	1,979	7125
<i>Tramo H-E</i>	15	0,880	3165

Tabla 9. Caudales finales aspiración. Elaboración propia

<b>Tramo</b>	Longitud (m)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Caudal (m <sup>3</sup> /hora)
<i>Tramo F-A</i>	125	6,896	24825
<i>Tramo C-G</i>	25	1,979	7125
<i>Tramo D-I</i>	20	1,374	4950
<i>Tramo E-H</i>	15	0,673	2425

Tabla 10. Caudales finales impulsión. Elaboración propia

El caudal habitualmente se tabula en m<sup>3</sup>/hora en las curvas características de los ventiladores.

Se observa como la mayor exigencia está en los tramos A-F y su inverso F-A. Por tanto se colocarán en ese tramo, concretamente al final del tramo F ambos ventiladores.

Para hallar la potencia del ventilador es necesario multiplicar:

$$W = Q \cdot PE = m^3/s \cdot Pa = W$$

donde:

W: potencia del ventilador (en W)

Junto con lo datos de la tabla 8 podemos calcular para la conducción principal (Tramo A-F) la potencia necesaria del ventilador o ventiladores será de:

$$W_1 = 7,917 \text{ m}^3/\text{s} \cdot (2219,2) \text{ Pa} = 17569 \text{ W}$$

Como se trata de una instalación con un sistema de ventilación cerrado la presión a multiplicar es la presión estática. La presión dinámica, producto de elevar la velocidad, se produce en el arranque, explicado en el punto 3.4. de este mismo anexo.

En el caso de la primera conducción secundaria (Tramo G-C):

$$W_2 = 2,694 \text{ m}^3/\text{s} \cdot (736,3) \text{ Pa} = 1983 \text{ W}$$

La potencia necesaria del ventilador de la segunda conducción (Tramo I-D):

$$W_3 = 1,979 \text{ m}^3/\text{s} \cdot (698,5) \text{ Pa} = 1383 \text{ W}$$

Y por último en la tercera conducción (Tramo H-E):

$$W_4 = 0,880 \text{ m}^3/\text{s} \cdot (775,5) \text{ Pa} = 682 \text{ W}$$

En nuestro sistema no se elegirá un ventilador concreto por tanto a efectos de rendimientos supondremos un rendimiento del 90% dando el valor de la potencia necesaria en los diferentes ventiladores del sistema.

El resultado tabulado sería el siguiente:

Ventiladores	Conducción 1	Cond 2	Cond 3	Cond 4	
$W_{\text{cálculo}}$	17569	1983	1383	682	W
$\eta=0,90$	19521	2204	1536	758	W
			Total aspiración	<b>24019</b>	W

Tabla 11. Potencia final de los ventiladores aspiración

Si se trasladan los cálculos al sistema de impulsión se obtienen los resultados siguientes:

En la conducción primaria:

$$W_{1,v} = 6,896 \text{ m}^3/\text{s} \cdot (2712,6) \text{ Pa} = 18707 \text{ W}$$

En el caso de la primera conducción secundaria (Tramo G-C):

$$W_{2,v} = 1,979 \text{ m}^3/\text{s} \cdot (973,7) \text{ Pa} = 1927 \text{ W}$$

La potencia necesaria del ventilador de la segunda conducción (Tramo I-D):

$$W_{3,v} = 1,374 \text{ m}^3/\text{s} \cdot (957,4) \text{ Pa} = 1316 \text{ W}$$

Y por último en la tercera conducción (Tramo H-E):

$$W_{4,v} = 0,673 \text{ m}^3/\text{s} \cdot (1015,4) \text{ Pa} = 684 \text{ W}$$

En nuestro sistema no se elegirá un ventilador concreto por tanto a efectos de rendimientos supondremos un rendimiento del 90% dando el valor de la potencia necesaria en los diferentes ventiladores del sistema.

El resultado tabulado sería el siguiente:

Ventiladores	Conducción 1	Cond 2	Cond 3	Cond 4	
$W_{\text{cálculo}}$	18707	1927	1316	684	W
$\eta=0,90$	207856	2141	1462	760	W
			Total impulsión	<b>25149</b>	W

Tabla 12. Potencia final de los ventiladores impulsión.



ESCUELA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA  
Y TECNOLOGÍA

Grado en Ingeniería Mecánica

# **Anexo III: Informe de Cypelec**

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

**TÍTULO:**

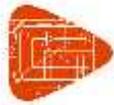
**DISEÑO Y CÁLCULO DE SISTEMAS DE ASPIRACIÓN DE POLIETILENO DE  
BAJA DENSIDAD EN ACTIVIDADES INDUSTRIALES**

**AUTOR:**

Jairo Samuel Santana Rodríguez

**TUTOR:**

Alejandro Molowny López-Peñalver

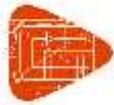


## Índice Anexo III: Informe de Cypelec

1. Objeto .....	4
2. Titular .....	4
3. Emplazamiento de la instalación .....	4
4. Legislación aplicable .....	4
5. Descripción de la instalación .....	4
6. Potencia total prevista para la instalación .....	5
7. Características de la instalación .....	5
7.1. Origen de la instalación .....	5
7.2. Línea general .....	5
7.3. Cuadro general de distribución .....	5
8. Instalación de puesta a tierra .....	7
9. Fórmulas utilizadas .....	8
9.1. Intensidad máxima admisible .....	8
9.2. Caída de tensión .....	8
9.3. Intensidad de cortocircuito .....	10
10. Cálculos .....	11
10.1. Sección de las líneas .....	11
10.2. Cálculo de las protecciones .....	12
11. Cálculos de puesta a tierra .....	15
11.1. Resistencia de la puesta a tierra de las masas .....	15
11.2. Resistencia de la puesta a tierra del neutro .....	15
11.3. Protección contra contactos indirectos .....	15
12. Pliegos de condiciones .....	16
12.1. Calidad de los materiales .....	16



12.1.1. Generalidades .....	16
12.1.2. Conductores eléctricos .....	16
12.1.3. Conductores de neutro .....	16
12.1.4. Conductores de protección .....	17
12.1.5. Identificación de los conductores .....	17
12.1.6. Tubos protectores .....	17
12.2. Normas de ejecución de las instalaciones .....	17
12.2.1. Colocación de tubos .....	17
12.2.2. Cajas de empalme y derivación .....	18
12.2.3. Aparatos de mando y maniobra .....	19
12.2.4. Aparatos de protección .....	19
12.2.5. Instalaciones en cuartos de baño y aseo .....	22
12.2.6. Red equipotencial .....	22
12.2.7. Instalación de puesta a tierra .....	22
12.2.8. Alumbrado .....	23
12.3. Pruebas reglamentarias .....	24
12.3.1. Comprobación de la puesta a tierra .....	24
12.3.2. Resistencia de aislamiento .....	24
12.4. Condiciones de uso, mantenimiento y seguridad .....	24
12.5. Certificados y documentación .....	24
12.6. Libro de órdenes .....	24
13. Mediciones .....	25



## 1.- OBJETO DEL PROYECTO

Estudiar cómo se realiza el cálculo de esquemas unifilares. Concretamente aplicado al trabajo de fin de grado realizado.

## 2.- TITULAR

Nombre: Jairo Samuel Santana Rodríguez

## 3.- EMPLAZAMIENTO DE LA INSTALACIÓN

El cuadro formará parte de un sistema de aspiración de polietileno de baja densidad.

## 4.- LEGISLACIÓN APLICABLE

En la realización del proyecto se han tenido en cuenta las siguientes normas y reglamentos:

- RBT-2002: Reglamento electrotécnico de baja tensión e Instrucciones técnicas complementarias.
- UNE 20-460-94 Parte 5-523: Intensidades admisibles en los cables y conductores aislados.
- UNE 20-434-90: Sistema de designación de cables.
- UNE 20-435-90 Parte 2: Cables de transporte de energía aislados con dieléctricos secos extruidos para tensiones de 1 a 30kV.
- UNE 20-460-90 Parte 4-43: Instalaciones eléctricas en edificios. Protección contra las sobreintensidades.
- UNE 20-460-90 Parte 5-54: Instalaciones eléctricas en edificios. Puesta a tierra y conductores de protección.
- UNE-EN 60947-2: Aparamenta de baja tensión. Interruptores automáticos.
- Anexo B: Interruptores automáticos con protección incorporada por intensidad diferencial residual.
- UNE-EN 60947-3: Aparamenta de baja tensión. Interruptores, seccionadores, interruptores-seccionadores y combinados fusibles.
- UNE-EN 60269-1: Fusibles de baja tensión.
- UNE-EN 60898: Interruptores automáticos para instalaciones domésticas y análogas para la protección contra sobreintensidades.

## 5.- DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

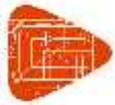
La instalación consta de un cuadro general de distribución, con una protección general y protecciones en los circuitos derivados.

Su composición queda reflejada en el esquema unifilar correspondiente, en el documento de planos contando, al menos, con los siguientes dispositivos de protección:

- Un interruptor automático magnetotérmico general y para la protección contra sobreintensidades.
- Interruptores diferenciales para la protección contra contactos indirectos.
- Interruptores automáticos magnetotérmicos para la protección de los circuitos derivados.

La obra cuenta con: 1 cuadro

Tipo de esquema	Número de esquemas
Cuadros	1
Total	1



## 6.- POTENCIA TOTAL PREVISTA PARA LA INSTALACIÓN

La potencia total demandada por la instalación será:

Esquemas	P Demandada (kW)
E-1	85.60
Potencia total demandada	85.60

Dadas las características de la obra y los consumos previstos, se tiene la siguiente relación de receptores de fuerza, alumbrado y otros usos con indicación de su potencia eléctrica:

Cargas	Denominación	P. Unitaria (kW)	Número	P. Instalada (kW)	P. Demandada (kW)
Motores	PH	44.000	1	107.00	85.60
	varios	15.000	4		
	varios	1.000	3		
Alumbrado descarga	-	-	-	-	-
Alumbrado	-	-	-	-	-
Otros usos	-	-	-	-	-

## 7.- CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN

### 7.1.- Origen de la instalación

El origen de la instalación vendrá determinado por una intensidad de cortocircuito en cabecera de: 12 kA

El tipo de línea de alimentación será: RZ1 0.6/1 kV 4 x 70 + 1 G 35

### 7.2.- Línea general

Esquemas	Tipo	P Dem (kW)	f.d.p	Longitud (m)	Protecciones Línea
DERIVACIÓN INDIVIDUAL	T	85.60	0.80	10.0	IEC60269 gL/gG In: 200 A; Un: 400 V; Icu: 100 kA; Tipo gL/gG Contadores Contador de activa RZ1 0.6/1 kV RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible 3 x 70 mm <sup>2</sup> N: RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible 70 mm <sup>2</sup> P: RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible 35 mm <sup>2</sup>

Canalizaciones

La ejecución de las canalizaciones y su tendido se harán de acuerdo con lo expresado en los documentos del presente proyecto.

Esquemas	Tipo de instalación
DERIVACIÓN INDIVIDUAL	Instalación enterrada - Bajo tubo. DN: 180 mm - T <sup>a</sup> : 25 °C Resistividad térmica del terreno: 1.0 °C-cm/W

### 7.3.- Cuadro general de distribución

Esquemas	Tipo	P Dem (kW)	f.d.p	Longitud (m)	Protecciones Línea
CUADRO GENERAL	T	85.60	0.80	Puente	M-G Compact NS250H - TM.xD In: 200 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 10 ÷ 100 kA; Curva I - t (Ptos.) RZ1 0.6/1 kV RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible 3 x 70 mm <sup>2</sup> N: RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible 70 mm <sup>2</sup> P: RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible 35 mm <sup>2</sup>



Esquemas	Tipo	P Dem (kW)	f.d.p	Longitud (m)	Protecciones Línea
VENTILADOR AXIAL 1 IMP	T	15.00	0.80	20.0	IEC60947-2 Instantáneos In: 40 A; Un: 400 V; Id: 30 mA; (I) M-G Compact NS160N - TM.xD In: 40 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.) RZ1 0,6/1 kV RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible 3 x 6 mm <sup>2</sup> N: RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible 6 mm <sup>2</sup> P: RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible 6 mm <sup>2</sup>
VENTILADOR AXIAL 2 IMP	T	15.00	0.80	20.0	IEC60947-2 Instantáneos In: 40 A; Un: 400 V; Id: 30 mA; (I) M-G Compact NS160N - TM.xD In: 40 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.) RZ1 0,6/1 kV RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible 3 x 6 mm <sup>2</sup> N: RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible 6 mm <sup>2</sup> P: RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible 6 mm <sup>2</sup>
PRENSA HIDRAULICA	T	44.00	0.80	35.0	M-G Vigicompact NSA125/160 I In: 125 A; Un: 440 V; Id: 30 mA; (I) M-G Compact NS160N - TM.xD In: 100 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.) RZ1 0,6/1 kV RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible 3 x 25 mm <sup>2</sup> N: RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible 25 mm <sup>2</sup> P: RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible 16 mm <sup>2</sup>
RESERVA 1	T	1.00	0.80	35.0	IEC60947-2 Instantáneos In: 40 A; Un: 400 V; Id: 30 mA; (I) M-G Compact NS160N - TM.xD In: 40 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.) RZ1 0,6/1 kV RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible 3 x 6 mm <sup>2</sup> N: RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible 6 mm <sup>2</sup> P: RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible 6 mm <sup>2</sup>
RESERVA 2	T	1.00	0.80	35.0	IEC60947-2 Instantáneos In: 40 A; Un: 400 V; Id: 30 mA; (I) M-G Compact NS160N - TM.xD In: 40 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.) RZ1 0,6/1 kV RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible 3 x 6 mm <sup>2</sup> N: RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible 6 mm <sup>2</sup> P: RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible 6 mm <sup>2</sup>
RESERVA 3	T	1.00	0.80	35.0	IEC60947-2 Instantáneos In: 40 A; Un: 400 V; Id: 30 mA; (I) M-G Compact NS160N - TM.xD In: 40 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.) RZ1 0,6/1 kV RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible 3 x 6 mm <sup>2</sup> N: RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible 6 mm <sup>2</sup> P: RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible 6 mm <sup>2</sup>
VENTILADOR AXIAL 1 ASP	T	15.00	0.80	20.0	IEC60947-2 Instantáneos In: 40 A; Un: 400 V; Id: 30 mA; (I) M-G Compact NS160N - TM.xD In: 40 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.) RZ1 0,6/1 kV RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible 3 x 6 mm <sup>2</sup> N: RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible 6 mm <sup>2</sup> P: RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible 6 mm <sup>2</sup>
VENTILADOR AXIAL 1 ASP	T	15.00	0.80	20.0	IEC60947-2 Instantáneos In: 40 A; Un: 400 V; Id: 30 mA; (I) M-G Compact NS160N - TM.xD In: 40 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.)



Esquemas	Tipo	P Dem (kW)	f.d.p	Longitud (m)	Protecciones Línea
					RZ1 0.6/1 kV RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible 3 x 6 mm <sup>2</sup> N: RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible 6 mm <sup>2</sup> P: RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible 6 mm <sup>2</sup>

#### Canalizaciones

La ejecución de las canalizaciones y su tendido se harán de acuerdo con lo expresado en los documentos del presente proyecto.

Esquemas	Tipo de instalación
CUADRO GENERAL	Temperatura: 40 °C Caso F- En contacto mutuo a 1Ø de la pared, en bandeja perforada
VENTILADOR AXIAL 1 IMP	Temperatura: 40 °C Caso F- En contacto mutuo a 1Ø de la pared, en bandeja perforada
VENTILADOR AXIAL 2 IMP	Temperatura: 40 °C Caso F- En contacto mutuo a 1Ø de la pared, en bandeja perforada
PRENSA HIDRAULICA	Temperatura: 40 °C Caso F- En contacto mutuo a 1Ø de la pared, en bandeja perforada
RESERVA 1	Temperatura: 40 °C Caso F- En contacto mutuo a 1Ø de la pared, en bandeja perforada
RESERVA 2	Temperatura: 40 °C Caso F- En contacto mutuo a 1Ø de la pared, en bandeja perforada
RESERVA 3	Temperatura: 40 °C Caso F- En contacto mutuo a 1Ø de la pared, en bandeja perforada
VENTILADOR AXIAL 1 ASP	Temperatura: 40 °C Caso F- En contacto mutuo a 1Ø de la pared, en bandeja perforada
VENTILADOR AXIAL 1 ASP	Temperatura: 40 °C Caso F- En contacto mutuo a 1Ø de la pared, en bandeja perforada

## 8.- INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA

La instalación de puesta a tierra de la obra se efectuará de acuerdo con la reglamentación vigente, concretamente lo especificado en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión en su Instrucción 18, quedando sujeta a la misma las tomas de tierra y los conductores de protección.

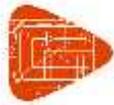
Tipo de electrodo	Geometría	Resistividad del terreno
Conductor enterrado horizontal	l = 20 m	50 Ohm·m

El conductor enterrado horizontal puede ser:

- cable de cobre desnudo de 35 mm<sup>2</sup> de sección,
- pletina de cobre de 35 mm<sup>2</sup> de sección y 2 mm de espesor,
- pletina de acero dulce galvanizado de 100 mm<sup>2</sup> de sección y 3 mm de espesor,
- cable de acero galvanizado de 95 mm<sup>2</sup> de sección,
- alambre de acero de 20 mm<sup>2</sup> de sección, cubierto con una capa de cobre de 6 mm<sup>2</sup> como mínimo.

#### CONDUCTORES DE PROTECCIÓN

Los conductores de protección discurrirán por la misma canalización sus correspondientes circuitos y presentarán las secciones exigidas por la Instrucción ITC-BT 18 del REBT.



## 9.- FÓRMULAS UTILIZADAS

### 9.1.- Intensidad máxima admisible

En el cálculo de las instalaciones se comprobará que las intensidades máximas de las líneas son inferiores a las admitidas por el Reglamento de Baja Tensión, teniendo en cuenta los factores de corrección según el tipo de instalación y sus condiciones particulares.

#### 1. Intensidad nominal en servicio monofásico:

$$I_n = \frac{P}{U_f \cdot \cos \varphi}$$

#### 2. Intensidad nominal en servicio trifásico:

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_l \cdot \cos \varphi}$$

En las fórmulas se han empleado los siguientes términos:

- In: Intensidad nominal del circuito en A
- P: Potencia en W
- U<sub>f</sub>: Tensión simple en V
- U<sub>l</sub>: Tensión compuesta en V
- cos(phi): Factor de potencia

### 9.2.- Caída de tensión

Tipo de instalación: Instalación general.

Tipo de esquema: Desde acometida.

La caída de tensión no superará el siguiente valor:

- Derivación individual: 1,5%

En circuitos interiores de la instalación, la caída de tensión no superará un porcentaje del 3% de la tensión nominal para circuitos de alumbrado y del 5% para el resto de circuitos, siendo admisible la compensación de caída de tensión junto con las correspondientes derivaciones individuales, de manera que conjuntamente no se supere un porcentaje del 4,5% de la tensión nominal para los circuitos de alumbrado y del 6,5% para el resto de circuitos.

Las fórmulas empleadas serán las siguientes:

#### 1. C.d.t. en servicio monofásico

Despreciando el término de reactancia, dado el elevado valor de R/X, la caída de tensión viene dada por:

$$\Delta U = 2 \cdot R \cdot I_n \cdot \cos \varphi$$

Siendo:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

#### 2. C.d.t en servicio trifásico

Despreciando también en este caso el término de reactancia, la caída de tensión viene dada por:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot R \cdot I_n \cdot \cos \varphi$$



Siendo:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

Los valores conocidos de resistencia de los conductores están referidos a una temperatura de 20°C.

Los conductores empleados serán de cobre o aluminio, siendo los coeficientes de variación con la temperatura y las resistividades a 20°C los siguientes:

– Cobre

$$r = 0.00393^{\circ}C^{-1} \quad \dots_{20^{\circ}C} = \frac{1}{56} \Omega \cdot mm^2 / m$$

– Aluminio

$$r = 0.00403^{\circ}C^{-1} \quad \dots_{20^{\circ}C} = \frac{1}{35} \Omega \cdot mm^2 / m$$

Se establecen tres criterios para la corrección de la resistencia de los conductores y por tanto del cálculo de la caída de tensión, en función de la temperatura a considerar.

Los tres criterios son los siguientes:

a) Considerando la máxima temperatura que soporta el conductor en condiciones de régimen permanente.

En este caso, para calcular la resistencia real del cable se considerará la máxima temperatura que soporta el conductor en condiciones de régimen permanente.

Se aplicará la fórmula siguiente:

$$R_{T_{\max}} = R_{20^{\circ}C} \cdot [1 + r (T_{\max} - 20)]$$

La temperatura 'Tmax' depende de los materiales aislantes y corresponderá con un valor de 90°C para conductores con aislamiento XLPE y EPR y de 70°C para conductores de PVC según tabla 2 de la ITC BT-07 (Reglamento electrotécnico de baja tensión).

b) Considerando la temperatura máxima prevista de servicio del cable.

Para calcular la temperatura máxima prevista de servicio se considerará que su incremento de temperatura (T) respecto a la temperatura ambiente To (25 °C para cables enterrados y 40°C para cables al aire) es proporcional al cuadrado del valor eficaz de la intensidad, por lo que:

$$T = T_0 + \left[ (T_{\max} - T_0) \cdot \left( \frac{I_n}{I_z} \right)^2 \right]$$

En este caso la resistencia corregida a la temperatura máxima prevista de servicio será:

$$R_T = R_{20^{\circ}C} \cdot [1 + r (T - 20)]$$

c) Considerando la temperatura ambiente según el tipo de instalación.

En este caso, para calcular la resistencia del cable se considerará la temperatura ambiente To, que corresponderá con 25°C para cables enterrados y 40°C para cables al aire, de acuerdo con la fórmula:

$$R_{T_0} = R_{20^{\circ}C} \cdot [1 + r (T_0 - 20)]$$

En las tablas de resultados de cálculo se especifica el criterio empleado para las diferentes líneas.

En las fórmulas se han empleado los siguientes términos:

– In: Intensidad nominal del circuito en A



- Iz: Intensidad admisible del cable en A.
- P: Potencia en W
- cos(phi): Factor de potencia
- S: Sección en mm<sup>2</sup>
- L: Longitud en m
- ro: Resistividad del conductor en ohm-mm<sup>2</sup>/m
- alpha: Coeficiente de variación con la temperatura

### 9.3.- Intensidad de cortocircuito

Entre Fases:

$$I_{\alpha} = \frac{U_f}{\sqrt{3} \cdot Z_t}$$

Fase y Neutro:

$$I_{f,c} = \frac{U_f}{2 \cdot Z_t}$$

En las fórmulas se han empleado los siguientes términos:

- U<sub>f</sub>: Tensión compuesta en V
- U<sub>f</sub>: Tensión simple en V
- Z<sub>t</sub>: Impedancia total en el punto de cortocircuito en mohm
- I<sub>cc</sub>: Intensidad de cortocircuito en kA

La impedancia total en el punto de cortocircuito se obtendrá a partir de la resistencia total y de la reactancia total de los elementos de la red hasta el punto de cortocircuito:

$$Z_t = \sqrt{R_t^2 + X_t^2}$$

Siendo:

- R<sub>t</sub> = R<sub>1</sub> + R<sub>2</sub> + ... + R<sub>n</sub>: Resistencia total en el punto de cortocircuito.
- X<sub>t</sub> = X<sub>1</sub> + X<sub>2</sub> + ... + X<sub>n</sub>: Reactancia total en el punto de cortocircuito.

Los dispositivos de protección deberán tener un poder de corte mayor o igual a la intensidad de cortocircuito prevista en el punto de su instalación, y deberán actuar en un tiempo tal que la temperatura alcanzada por los cables no supere la máxima permitida por el conductor.

Para que se cumpla esta última condición, la curva de actuación de los interruptores automáticos debe estar por debajo de la curva térmica del conductor, por lo que debe cumplirse la siguiente condición:

$$I^2 \cdot t \leq C \cdot \Delta T \cdot S^2$$

para 0,01 ≤ t ≤ 0,1 s, y donde:

- I: Intensidad permanente de cortocircuito en A.
- t: Tiempo de desconexión en s.
- C: Constante que depende del tipo de material.
- incremento T: Sobretemperatura máxima del cable en °C.
- S: Sección en mm<sup>2</sup>



Se tendrá también en cuenta la intensidad mínima de cortocircuito determinada por un cortocircuito fase - neutro y al final de la línea o circuito en estudio.

Dicho valor se necesita para determinar si un conductor queda protegido en toda su longitud a cortocircuito, ya que es condición imprescindible que dicha intensidad sea mayor o igual que la intensidad del disparador electromagnético. En el caso de usar fusibles para la protección del cortocircuito, su intensidad de fusión debe ser menor que la intensidad soportada por el cable sin dañarse, en el tiempo que tarde en saltar. En todo caso, este tiempo siempre será inferior a 5 seg.

## 10.- CÁLCULOS

### 10.1.- Sección de las líneas

Para el cálculo de los circuitos se han tenido en cuenta los siguientes factores:

- Caída de tensión
  - Circuitos interiores de la instalación:
    - 3% para circuitos de alumbrado.
    - 5% para el resto de circuitos.
- Caída de tensión acumulada
  - Circuitos interiores de la instalación:
    - 4,5% para circuitos de alumbrado.
    - 6,5% para el resto de circuitos.
- I<sub>max</sub>: La intensidad que circula por la línea (I) no debe superar el valor de intensidad máxima admisible (I<sub>z</sub>).

Los resultados obtenidos para la caída de tensión se resumen en las siguientes tablas:

Línea general

Esquemas	Tipo	P Calc (kW)	f.d.p	Longitud (m)	Línea	I <sub>z</sub> (A)	I (A)	c.d.t (%)	c.d.t Acum (%)
DERIVACIÓN INDIVIDUAL	T	94.40	0.80	10.0	RZ1 0.6/1 kV 4 x 70 + 1 G 35	224.0	170.3	0.2	0.20

Cálculos de factores de corrección por canalización

Los siguientes factores de corrección calculados según el tipo de instalación ya están contemplados en los valores de intensidad máxima admisible (I<sub>z</sub>) de la tabla anterior.

Esquemas	Tipo de instalación	Factor de corrección
DERIVACIÓN INDIVIDUAL	Instalación enterrada - Bajo tubo. DN: 180 mm - T <sup>a</sup> : 25 °C Resistividad térmica del terreno: 1.0 °C-cm/W	0.80

Cuadro general de distribución

Esquemas	Tipo	P Calc (kW)	f.d.p	Longitud (m)	Línea	I <sub>z</sub> (A)	I (A)	c.d.t (%)	c.d.t Acum (%)
CUADRO GENERAL	T	94.40	0.80	Puente	RZ1 0.6/1 kV 4 x 70 + 1 G 35	224.0	170.3	0.01	0.21
VENTILADOR AXIAL 1 IMP	T	18.75	0.80	20.0	RZ1 0.6/1 kV 5 G 6	49.0	33.8	0.92	1.13
VENTILADOR AXIAL 2 IMP	T	18.75	0.80	20.0	RZ1 0.6/1 kV 5 G 6	49.0	33.8	0.92	1.13
PRENSA HIDRAULICA	T	55.00	0.80	35.0	RZ1 0.6/1 kV 4 x 25 + 1 G 16	116.0	99.2	1.12	1.33
RESERVA 1	T	1.25	0.80	35.0	RZ1 0.6/1 kV 5 G 6	49.0	2.3	0.11	0.32
RESERVA 2	T	1.25	0.80	35.0	RZ1 0.6/1 kV 5 G 6	49.0	2.3	0.11	0.32
RESERVA 3	T	1.25	0.80	35.0	RZ1 0.6/1 kV 5 G 6	49.0	2.3	0.11	0.32
VENTILADOR AXIAL 1 ASP	T	18.75	0.80	20.0	RZ1 0.6/1 kV 5 G 6	49.0	33.8	0.92	1.13



Esquemas	Tipo	P Calc (kW)	f.d.p	Longitud (m)	Línea	Iz (A)	I (A)	c.d.t (%)	c.d.t Acum (%)
VENTILADOR AXIAL 1 ASP	T	18.75	0.80	20.0	RZ1 0.6/1 kV 5 G 6	49.0	33.8	0.92	1.13

#### Cálculos de factores de corrección por canalización

Los siguientes factores de corrección calculados según el tipo de instalación ya están contemplados en los valores de intensidad máxima admisible (Iz) de la tabla anterior.

Esquemas	Tipo de instalación	Factor de corrección
CUADRO GENERAL	Temperatura: 40 °C Caso F- En contacto mutuo a 1Ø de la pared, en bandeja perforada	1.00
VENTILADOR AXIAL 1 IMP	Temperatura: 40 °C Caso F- En contacto mutuo a 1Ø de la pared, en bandeja perforada	1.00
VENTILADOR AXIAL 2 IMP	Temperatura: 40 °C Caso F- En contacto mutuo a 1Ø de la pared, en bandeja perforada	1.00
PRENSA HIDRAULICA	Temperatura: 40 °C Caso F- En contacto mutuo a 1Ø de la pared, en bandeja perforada	1.00
RESERVA 1	Temperatura: 40 °C Caso F- En contacto mutuo a 1Ø de la pared, en bandeja perforada	1.00
RESERVA 2	Temperatura: 40 °C Caso F- En contacto mutuo a 1Ø de la pared, en bandeja perforada	1.00
RESERVA 3	Temperatura: 40 °C Caso F- En contacto mutuo a 1Ø de la pared, en bandeja perforada	1.00
VENTILADOR AXIAL 1 ASP	Temperatura: 40 °C Caso F- En contacto mutuo a 1Ø de la pared, en bandeja perforada	1.00
VENTILADOR AXIAL 1 ASP	Temperatura: 40 °C Caso F- En contacto mutuo a 1Ø de la pared, en bandeja perforada	1.00

## 10.2.- Cálculo de las protecciones

### Sobrecarga

Para que la línea quede protegida a sobrecarga, la protección debe cumplir simultáneamente las siguientes condiciones:

$$I_{uso} \leq I_n \leq I_z \text{ cable}$$

$$I_{tc} \leq 1.45 \times I_z \text{ cable}$$

Estando presentadas en la tabla de comprobaciones de la siguiente manera:

- I<sub>uso</sub> = Intensidad de uso prevista en el circuito.
- I<sub>n</sub> = Intensidad nominal del fusible o magnetotérmico.
- I<sub>z</sub> = Intensidad admisible del conductor o del cable.
- I<sub>tc</sub> = Intensidad disparo del dispositivo a tiempo convencional.

Otros datos de la tabla son:

- P Calc = Potencia calculada.
- Tipo = (T) Trifásica, (M) Monofásica.

### Cortocircuito

Para que la línea quede protegida a cortocircuito, el poder de corte de la protección debe ser mayor al valor de la intensidad máxima de cortocircuito:

$$I_{cu} \geq I_{cc \text{ máx}}$$



Además, la protección debe ser capaz de disparar en un tiempo menor al tiempo que tardan los aislamientos del conductor en dañarse por la elevación de la temperatura. Esto debe suceder tanto en el caso del cortocircuito máximo, como en el caso del cortocircuito mínimo:

$$\text{Para } I_{cc} \text{ máx: } T_p \text{ CC máx} < T_{\text{cable}} \text{ CC máx}$$

$$\text{Para } I_{cc} \text{ mín: } T_p \text{ CC mín} < T_{\text{cable}} \text{ CC mín}$$

Estando presentadas en la tabla de comprobaciones de la siguiente manera:

- $I_{cu}$  = Intensidad de corte último del dispositivo.
- $I_{cs}$  = Intensidad de corte en servicio. Se recomienda que supere la  $I_{cc}$  en protecciones instaladas en acometida del circuito.
- $T_p$  = Tiempo de disparo del dispositivo a la intensidad de cortocircuito.
- $T_{\text{cable}}$  = Valor de tiempo admisible para los aislamientos del cable a la intensidad de cortocircuito.

El resultado de los cálculos de las protecciones de sobrecarga y cortocircuito de la instalación se resumen en las siguientes tablas:

Línea general

Sobrecarga

Esquemas	P Calc (kW)	Tipo	Iuso (A)	Protecciones	Iz (A)	Itc (A)	1.45 x Iz (A)
DERIVACIÓN INDIVIDUAL	94.40	T	170.3	IEC60269 gL/gG In: 200 A; Un: 400 V; Icu: 100 kA; Tipo gL/gG	224.0	320.0	324.8

Cortocircuito

Esquemas	Tipo	Protecciones	Icu (kA)	Ics (kA)	Icc máx mín (kA)	Tcable CC máx CC mín (s)	Tp CC máx CC mín (s)
DERIVACIÓN INDIVIDUAL	T	IEC60269 gL/gG In: 200 A; Un: 400 V; Icu: 100 kA; Tipo gL/gG	100.0	100.0	12.0 5.1	0.70 3.84	0.02 0.02

Cuadro general de distribución

Sobrecarga

Esquemas	P Calc (kW)	Tipo	Iuso (A)	Protecciones	Iz (A)	Itc (A)	1.45 x Iz (A)
CUADRO GENERAL	94.40	T	170.3	M-G Compact NS250H - TM.xD In: 200 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 10 ÷ 100 kA; Curva I - t (Ptos.)	224.0	260.0	324.8
VENTILADOR AXIAL 1 IMP	18.75	T	33.8	M-G Compact NS160N - TM.xD In: 40 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.)	49.0	52.0	71.1
VENTILADOR AXIAL 2 IMP	18.75	T	33.8	M-G Compact NS160N - TM.xD In: 40 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.)	49.0	52.0	71.1
PRENSA HIDRAULICA	55.00	T	99.2	M-G Compact NS160N - TM.xD In: 100 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.)	116.0	130.0	168.2
RESERVA 1	1.25	T	2.3	M-G Compact NS160N - TM.xD In: 40 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.)	49.0	52.0	71.1
RESERVA 2	1.25	T	2.3	M-G Compact NS160N - TM.xD In: 40 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.)	49.0	52.0	71.1
RESERVA 3	1.25	T	2.3	M-G Compact NS160N - TM.xD In: 40 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.)	49.0	52.0	71.1
VENTILADOR AXIAL 1 ASP	18.75	T	33.8	M-G Compact NS160N - TM.xD In: 40 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.)	49.0	52.0	71.1
VENTILADOR AXIAL 1 ASP	18.75	T	33.8	M-G Compact NS160N - TM.xD In: 40 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.)	49.0	52.0	71.1

Cortocircuito

Esquemas	Tipo	Protecciones	Icu (kA)	Ics (kA)	Icc máx mín (kA)	Tcable CC máx CC mín (s)	Tp CC máx CC mín (s)



Esquemas	Tipo	Protecciones	Icu (kA)	Ics (kA)	Icc máx mín (kA)	Tcable CC máx CC mín (s)	Tp CC máx CC mín (s)
CUADRO GENERAL	T	M-G Compact NS250H - TM.xD In: 200 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 10 ÷ 100 kA; Curva I - t (Ptos.)	70.0	70.0	10.2 5.1	0.96 3.89	0.02 0.02
VENTILADOR AXIAL 1 IMP	T	M-G Compact NS160N - TM.xD In: 40 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.)	36.0	36.0	10.1 1.2	< 0.1 0.55	- 0.02
VENTILADOR AXIAL 2 IMP	T	M-G Compact NS160N - TM.xD In: 40 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.)	36.0	36.0	10.1 1.2	< 0.1 0.55	- 0.02
PRENSA HIDRAULICA	T	M-G Compact NS160N - TM.xD In: 100 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.)	36.0	36.0	10.1 2.1	0.12 2.85	0.02 0.02
RESERVA 1	T	M-G Compact NS160N - TM.xD In: 40 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.)	36.0	36.0	10.1 0.7	< 0.1 1.37	- 0.02
RESERVA 2	T	M-G Compact NS160N - TM.xD In: 40 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.)	36.0	36.0	10.1 0.7	< 0.1 1.37	- 0.02
RESERVA 3	T	M-G Compact NS160N - TM.xD In: 40 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.)	36.0	36.0	10.1 0.7	< 0.1 1.37	- 0.02
VENTILADOR AXIAL 1 ASP	T	M-G Compact NS160N - TM.xD In: 40 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.)	36.0	36.0	10.1 1.2	< 0.1 0.55	- 0.02
VENTILADOR AXIAL 1 ASP	T	M-G Compact NS160N - TM.xD In: 40 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.)	36.0	36.0	10.1 1.2	< 0.1 0.55	- 0.02

#### Sobretensiones

Se relacionan a continuación las protecciones de sistema interno, tanto en cuadros principales como secundarios, frente a las sobretensiones transitorias que se transmiten por las redes de distribución:

Esquemas	Sobretensiones
CUADRO GENERAL	Limitador de sobretensiones Descargadores combinados tipo I y II (Clase B+C) Int. imp./máx.:50 kA Nivel de protección:1.5 kV

#### REGULACIÓN DE LAS PROTECCIONES

Las siguientes protecciones tendrán que ser reguladas a las posiciones indicadas a continuación para cumplir las condiciones de sobrecarga y cortocircuito ya establecidas:

Esquemas	Tipo	Protecciones	Regulaciones
CUADRO GENERAL	T	M-G Compact NS250H - TM.xD In: 200 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 10 ÷ 100 kA; Curva I - t (Ptos.)	Ir = 1 x In Iccr = 10 x In
VENTILADOR AXIAL 1 IMP	T	M-G Compact NS160N - TM.xD In: 40 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.)	Ir = 1 x In
VENTILADOR AXIAL 2 IMP	T	M-G Compact NS160N - TM.xD In: 40 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.)	Ir = 1 x In
PRENSA HIDRAULICA	T	M-G Compact NS160N - TM.xD In: 100 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.)	Ir = 1 x In
RESERVA 1	T	M-G Compact NS160N - TM.xD In: 40 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.)	Ir = 1 x In
RESERVA 2	T	M-G Compact NS160N - TM.xD In: 40 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.)	Ir = 1 x In
RESERVA 3	T	M-G Compact NS160N - TM.xD In: 40 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.)	Ir = 1 x In
VENTILADOR AXIAL 1 ASP	T	M-G Compact NS160N - TM.xD In: 40 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.)	Ir = 1 x In
VENTILADOR AXIAL 1 ASP	T	M-G Compact NS160N - TM.xD In: 40 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.)	Ir = 1 x In

siendo:

- Ir = intensidad regulada de disparo en sobrecarga.
- Iccr = intensidad regulada de disparo en cortocircuito.



## 11.- CÁLCULOS DE PUESTA A TIERRA

### 11.1.- Resistencia de la puesta a tierra de las masas

El cálculo de la resistencia de puesta a tierra de la instalación se realiza según la Instrucción 18 de Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.

Se instalará un conductor de cobre desnudo de 35 milímetros cuadrados de sección en anillo perimetral, embebido en la cimentación del edificio, con una longitud(L) de 20 m, por lo que la resistencia de puesta a tierra tendrá un valor de:

$$R = \frac{2 \cdot \rho}{L} = \frac{2 \cdot 50}{20} = 5 \text{ Ohm}$$

El valor de resistividad del terreno supuesta para el cálculo es estimativo y no homogéneo. Deberá comprobarse el valor real de la resistencia de puesta a tierra una vez realizada la instalación y proceder a las correcciones necesarias para obtener un valor aceptable si fuera preciso.

### 11.2.- Resistencia de la puesta a tierra del neutro

El cálculo de la resistencia de puesta a tierra de la instalación se realiza según la Instrucción 18 de Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.

La resistencia de puesta a tierra es de: 3.00 Ohm

### 11.3.- Protección contra contactos indirectos

La intensidad diferencial residual o sensibilidad de los diferenciales debe ser tal que garantice el funcionamiento del dispositivo para la intensidad de defecto del esquema eléctrico.

La intensidad de defecto se calcula según los valores definidos de resistencia de las puestas a tierra, como:

$$I_{def} = \frac{U_{fn}}{(R_{masas} + R_{neutro})}$$

Esquemas	Tipo	I (A)	Protecciones	Idef (A)	Sensibilidad (A)
VENTILADOR AXIAL 1 IMP	T	33.8	IEC60947-2 Instantáneos In: 40 A; Un: 400 V; Id: 30 mA; (I)	28.868	0.030
VENTILADOR AXIAL 2 IMP	T	33.8	IEC60947-2 Instantáneos In: 40 A; Un: 400 V; Id: 30 mA; (I)	28.868	0.030
PRENSA HIDRAULICA	T	99.2	M-G Vigicompact NSA125/160 I In: 125 A; Un: 440 V; Id: 30 mA; (I)	28.868	0.030
RESERVA 1	T	2.3	IEC60947-2 Instantáneos In: 40 A; Un: 400 V; Id: 30 mA; (I)	28.868	0.030
RESERVA 2	T	2.3	IEC60947-2 Instantáneos In: 40 A; Un: 400 V; Id: 30 mA; (I)	28.868	0.030
RESERVA 3	T	2.3	IEC60947-2 Instantáneos In: 40 A; Un: 400 V; Id: 30 mA; (I)	28.868	0.030
VENTILADOR AXIAL 1 ASP	T	33.8	IEC60947-2 Instantáneos In: 40 A; Un: 400 V; Id: 30 mA; (I)	28.868	0.030
VENTILADOR AXIAL 1 ASP	T	33.8	IEC60947-2 Instantáneos In: 40 A; Un: 400 V; Id: 30 mA; (I)	28.868	0.030

siendo:

- Tipo = (T)Trifásica, (M)Monofásica.
- I = Intensidad de uso prevista en la línea.
- Idef = Intensidad de defecto calculada.
- Sensibilidad = Intensidad diferencial residual de la protección.



Por otro lado, esta sensibilidad debe permitir la circulación de la intensidad de fugas de la instalación debida a las capacidades parásitas de los cables. Así, la intensidad de no disparo del diferencial debe tener un valor superior a la intensidad de fugas en el punto de instalación. La norma indica como intensidad mínima de no disparo la mitad de la sensibilidad.

Esquemas	Tipo	I (A)	Protecciones	Inodisparo (A)	Ifugas (A)
VENTILADOR AXIAL 1 IMP	T	33.8	IEC60947-2 Instantáneos In: 40 A; Un: 400 V; Id: 30 mA; (I)	0.015	0.001
VENTILADOR AXIAL 2 IMP	T	33.8	IEC60947-2 Instantáneos In: 40 A; Un: 400 V; Id: 30 mA; (I)	0.015	0.001
PRENSA HIDRAULICA	T	99.2	M-G Vigicompact NSA125/160 I In: 125 A; Un: 440 V; Id: 30 mA; (I)	0.015	0.001
RESERVA 1	T	2.3	IEC60947-2 Instantáneos In: 40 A; Un: 400 V; Id: 30 mA; (I)	0.015	0.001
RESERVA 2	T	2.3	IEC60947-2 Instantáneos In: 40 A; Un: 400 V; Id: 30 mA; (I)	0.015	0.001
RESERVA 3	T	2.3	IEC60947-2 Instantáneos In: 40 A; Un: 400 V; Id: 30 mA; (I)	0.015	0.001
VENTILADOR AXIAL 1 ASP	T	33.8	IEC60947-2 Instantáneos In: 40 A; Un: 400 V; Id: 30 mA; (I)	0.015	0.001
VENTILADOR AXIAL 1 ASP	T	33.8	IEC60947-2 Instantáneos In: 40 A; Un: 400 V; Id: 30 mA; (I)	0.015	0.001

## 12.- PLIEGO DE CONDICIONES

### 12.1.- Calidad de los materiales

#### 12.1.1.- Generalidades

Todos los materiales empleados en la ejecución de la instalación tendrán, como mínimo, las características especificadas en este Pliego de Condiciones, empleándose siempre materiales homologados según las normas UNE citadas en la instrucción ITC-BT-02 que les sean de aplicación.

#### 12.1.2.- Conductores eléctricos

Las líneas de alimentación a cuadros de distribución estarán constituidas por conductores unipolares de cobre aislados de 0,6/1 kV.

Las líneas de alimentación a puntos de luz y tomas de corriente de otros usos estarán constituidas por conductores de cobre unipolares aislados del tipo H07V-R.

Las líneas de alumbrado de urbanización estarán constituidas por conductores de cobre aislados de 0,6/1 kV.

#### 12.1.3.- Conductores de neutro

La sección mínima del conductor de neutro para distribuciones monofásicas, trifásicas y de corriente continua, será la que a continuación se especifica:

Según la Instrucción ITC BT 19 en su apartado 2.2.2, en instalaciones interiores, para tener en cuenta las corrientes armónicas debidas a cargas no lineales y posibles desequilibrios, la sección del conductor del neutro será como mínimo igual a la de las fases.

Para el caso de redes aéreas o subterráneas de distribución en baja tensión, las secciones a considerar serán las siguientes:

- Con dos o tres conductores: igual a la de los conductores de fase.
- Con cuatro conductores: mitad de la sección de los conductores de fase, con un mínimo de 10 mm<sup>2</sup> para cobre y de 16 mm<sup>2</sup> para aluminio.



#### **12.1.4.- Conductores de protección**

Los conductores de protección desnudos no estarán en contacto con elementos combustibles. En los pasos a través de paredes o techos estarán protegidos por un tubo de adecuada resistencia, que será, además, no conductor y difícilmente combustible cuando atraviese partes combustibles del edificio.

Los conductores de protección estarán convenientemente protegidos contra el deterioro mecánico y químico, especialmente en los pasos a través de elementos de la construcción.

Las conexiones en estos conductores se realizarán por medio de empalmes soldados sin empleo de ácido, o por piezas de conexión de apriete por rosca. Estas piezas serán de material inoxidable, y los tornillos de apriete estarán provistos de un dispositivo que evite su desapriete.

Se tomarán las precauciones necesarias para evitar el deterioro causado por efectos electroquímicos cuando las conexiones sean entre metales diferentes.

#### **12.1.5.- Identificación de los conductores**

Los conductores de la instalación se identificarán por los colores de su aislamiento:

- Negro, gris, marrón para los conductores de fase o polares.
- Azul claro para el conductor neutro.
- Amarillo - verde para el conductor de protección.
- Rojo para el conductor de los circuitos de mando y control.

#### **12.1.6.- Tubos protectores**

##### Clases de tubos a emplear

Los tubos deberán soportar, como mínimo, sin deformación alguna, las siguientes temperaturas:

- 60 °C para los tubos aislantes constituidos por policloruro de vinilo o polietileno.
- 70 °C para los tubos metálicos con forros aislantes de papel impregnado.

##### Diámetro de los tubos y número de conductores por cada uno de ellos

Los diámetros exteriores mínimos y las características mínimas para los tubos en función del tipo de instalación y del número y sección de los cables a conducir, se indican en la Instrucción ITC BT 21, en su apartado 1.2. El diámetro interior mínimo de los tubos deberá ser declarado por el fabricante.

## **12.2.- Normas de ejecución de las instalaciones**

### **12.2.1.- Colocación de tubos**

Se tendrán en cuenta las prescripciones generales siguientes, tal y como indica la ITC BT 21.

#### Prescripciones generales

El trazado de las canalizaciones se hará siguiendo preferentemente líneas paralelas a las verticales y horizontales que limitan el local donde se efectúa la instalación.

Los tubos se unirán entre sí mediante accesorios adecuados a su clase que aseguren la continuidad que proporcionan a los conductores.

Los tubos aislantes rígidos curvables en caliente podrán ser ensamblados entre sí en caliente, recubriendo el empalme con una cola especial cuando se desee una unión estanca.

Las curvas practicadas en los tubos serán continuas y no originarán reducciones de sección inadmisibles. Los radios mínimos de curvatura para cada clase de tubo serán los indicados en la norma UNE EN 5086 -2-2

Será posible la fácil introducción y retirada de los conductores en los tubos después de colocados y fijados éstos y sus accesorios, disponiendo para ello los registros que se consideren convenientes, y que en tramos rectos no estarán separados entre sí más de 15 m. El número de curvas en ángulo recto situadas entre dos registros consecutivos no será superior a tres. Los conductores se alojarán en los tubos después de colocados éstos.

Los registros podrán estar destinados únicamente a facilitar la introducción y retirada de los conductores en los tubos, o servir al mismo tiempo como cajas de empalme o derivación.



Cuando los tubos estén constituidos por materias susceptibles de oxidación, y cuando hayan recibido durante el curso de su montaje algún trabajo de mecanización, se aplicará a las partes mecanizadas pintura antioxidante.

Igualmente, en el caso de utilizar tubos metálicos sin aislamiento interior, se tendrá en cuenta la posibilidad de que se produzcan condensaciones de agua en el interior de los mismos, para lo cual se elegirá convenientemente el trazado de su instalación, previendo la evacuación de agua en los puntos más bajos de ella y, si fuera necesario, estableciendo una ventilación apropiada en el interior de los tubos mediante el sistema adecuado, como puede ser, por ejemplo, el empleo de una "te" dejando uno de los brazos sin utilizar.

Cuando los tubos metálicos deban ponerse a tierra, su continuidad eléctrica quedará convenientemente asegurada. En el caso de utilizar tubos metálicos flexibles, es necesario que la distancia entre dos puestas a tierra consecutivas de los tubos no exceda de 10 m.

No podrán utilizarse los tubos metálicos como conductores de protección o de neutro.

#### Tubos en montaje superficial

Cuando los tubos se coloquen en montaje superficial se tendrán en cuenta además las siguientes prescripciones:

Los tubos se fijarán a las paredes o techos por medio de bridas o abrazaderas protegidas contra la corrosión y sólidamente sujetas. La distancia entre éstas será, como máximo, 0.50 metros. Se dispondrán fijaciones de una y otra parte en los cambios de dirección, en los empalmes y en la proximidad inmediata de las entradas en cajas o aparatos.

Los tubos se colocarán adaptándolos a la superficie sobre la que se instalan, curvándolos o usando los accesorios necesarios.

En alineaciones rectas, las desviaciones del eje del tubo con respecto a la línea que une los puntos extremos no será superior al 2%.

Es conveniente disponer los tubos normales, siempre que sea posible, a una altura mínima de 2.5 m sobre el suelo, con objeto de protegerlos de eventuales daños mecánicos.

En los cruces de tubos rígidos con juntas de dilatación de un edificio deberán interrumpirse los tubos, quedando los extremos del mismo separados entre sí 5 cm aproximadamente, y empalmándose posteriormente mediante manguitos deslizantes que tengan una longitud mínima de 20 cm.

#### Tubos empotrados

Cuando los tubos se coloquen empotrados se tendrán en cuenta, además, las siguientes prescripciones:

La instalación de tubos empotrados será admisible cuando su puesta en obra se efectúe después de terminados los trabajos de construcción y de enfoscado de paredes y techos, pudiendo el enlucido de los mismos aplicarse posteriormente.

Las dimensiones de las rozas serán suficientes para que los tubos queden recubiertos por una capa de 1 cm de espesor, como mínimo, del revestimiento de las paredes o techos. En los ángulos el espesor puede reducirse a 0.5 cm.

En los cambios de dirección, los tubos estarán convenientemente curvados, o bien provistos de codos o "tes" apropiados, pero en este último caso sólo se admitirán los provistos de tapas de registro.

Las tapas de los registros y de las cajas de conexión quedarán accesibles y desmontables una vez finalizada la obra. Los registros y cajas quedarán enrasados con la superficie exterior del revestimiento de la pared o techo cuando no se instalen en el interior de un alojamiento cerrado y practicable. Igualmente, en el caso de utilizar tubos normales empotrados en paredes, es conveniente disponer los recorridos horizontales a 50 cm, como máximo, del suelo o techo, y los verticales a una distancia de los ángulos o esquinas no superior a 20 cm.

#### Tubos en montaje al aire

Solamente está permitido su uso para la alimentación de máquinas o elementos de movilidad restringida desde canalizaciones prefabricadas y cajas de derivación fijadas al techo. Se tendrán en cuenta las siguientes prescripciones:

La longitud total de la conducción en el aire no será superior a 4 metros y no empezará a una altura inferior a 2 metros.

Se prestará especial atención para que se conserven en todo el sistema, especialmente en las conexiones, las características mínimas para canalizaciones de tubos al aire, establecidas en la tabla 6 de la instrucción ITC BT 21.

#### **12.2.2.- Cajas de empalme y derivación**

Las conexiones entre conductores se realizarán en el interior de cajas apropiadas de material aislante o, si son metálicas, protegidas contra la corrosión.

Sus dimensiones serán tales que permitan alojar holgadamente todos los conductores que deban contener, y su profundidad equivaldrá, cuanto menos, al diámetro del tubo mayor más un 50 % del mismo, con un mínimo de 40 mm para su profundidad y 80 mm para el diámetro o lado interior.

Cuando se quieran hacer estancas las entradas de los tubos en las cajas de conexión, deberán emplearse prensaestopas adecuados.

En ningún caso se permitirá la unión de conductores por simple retorcimiento o arrollamiento entre sí de los mismos, sino que deberá realizarse siempre utilizando bornes de conexión montados individualmente o constituyendo bloques o regletas de conexión. Puede permitirse, asimismo, la utilización de bridas de conexión. Las uniones deberán realizarse siempre en el interior de cajas de empalme o de derivación.



Si se trata de cables deberá cuidarse al hacer las conexiones que la corriente se reparta por todos los alambres componentes, y si el sistema adoptado es de tornillo de apriete entre una arandela metálica bajo su cabeza y una superficie metálica, los conductores de sección superior a 6 mm<sup>2</sup> deberán conectarse por medio de terminales adecuados, comprobando siempre que las conexiones, de cualquier sistema que sean, no queden sometidas a esfuerzos mecánicos.

Para que no pueda ser destruido el aislamiento de los conductores por su roce con los bordes libres de los tubos, los extremos de éstos, cuando sean metálicos y penetren en una caja de conexión o aparato, estarán provistos de boquillas con bordes redondeados o dispositivos equivalentes, o bien convenientemente mecanizados, y si se trata de tubos metálicos con aislamiento interior, este último sobresaldrá unos milímetros de su cubierta metálica.

### **12.2.3.- Aparatos de mando y maniobra**

Los aparatos de mando y maniobra (interruptores y conmutadores) serán de tipo cerrado y material aislante, cortarían la corriente máxima del circuito en que están colocados sin dar lugar a la formación de arcos permanentes, y no podrán tomar una posición intermedia.

Las piezas de contacto tendrán unas dimensiones tales que la temperatura no pueda exceder de 65°C en ninguna de ellas.

Deben poder realizarse del orden de 10.000 maniobras de apertura y cierre a la intensidad y tensión nominales, que estarán marcadas en lugar visible.

### **12.2.4.- Aparatos de protección**

#### Protección contra sobrecargas

Los conductores activos deben estar protegidos por uno o varios dispositivos de corte automático contra las sobrecargas y contra los cortocircuitos.

#### Aplicación

Excepto los conductores de protección, todos los conductores que forman parte de un circuito, incluido el conductor neutro, estarán protegidos contra las sobrecargas (sobrecargas y cortocircuitos).

#### Protección contra sobrecargas

Los dispositivos de protección deben estar previstos para interrumpir toda corriente de sobrecarga en los conductores del circuito antes de que pueda provocar un calentamiento perjudicial al aislamiento, a las conexiones, a las extremidades o al medio ambiente en las canalizaciones.

El límite de intensidad de corriente admisible en un conductor ha de quedar en todo caso garantizado por el dispositivo de protección utilizado.

Como dispositivos de protección contra sobrecargas serán utilizados los fusibles calibrados de características de funcionamiento adecuadas o los interruptores automáticos con curva térmica de corte.

#### Protección contra cortocircuitos

Deben preverse dispositivos de protección para interrumpir toda corriente de cortocircuito antes de que esta pueda resultar peligrosa debido a los efectos térmicos y mecánicos producidos en los conductores y en las conexiones.

En el origen de todo circuito se establecerá un dispositivo de protección contra cortocircuitos cuya capacidad de corte estará de acuerdo con la intensidad de cortocircuito que pueda presentarse en el punto de su instalación.

Se admiten como dispositivos de protección contra cortocircuitos los fusibles de características de funcionamiento adecuadas y los interruptores automáticos con sistema de corte electromagnético.

#### Situación y composición

En general, los dispositivos destinados a la protección de los circuitos se instalarán en el origen de éstos, así como en los puntos en que la intensidad admisible disminuya por cambios debidos a sección, condiciones de instalación, sistema de ejecución, o tipo de conductores utilizados.

#### Normas aplicables

#### Pequeños interruptores automáticos (PIA)

Los interruptores automáticos para instalaciones domésticas y análogas para la protección contra sobrecargas se ajustarán a la norma UNE-EN 60-898. Esta norma se aplica a los interruptores automáticos con corte al aire, de tensión asignada hasta 440 V (entre fases), intensidad asignada hasta 125 A y poder de corte nominal no superior a 25000 A.

Los valores normalizados de las tensiones asignadas son:

- 230 V Para los interruptores automáticos unipolares y bipolares.
- 230/400 V Para los interruptores automáticos unipolares.



- 400 V Para los interruptores automáticos bipolares, tripolares y tetrapolares.

Los valores 240 V, 240/415 V y 415 V respectivamente, son también valores normalizados.

Los valores preferenciales de las intensidades asignadas son: 6, 10, 13, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100 y 125 A.

El poder de corte asignado será: 1500, 3000, 4500, 6000, 10000 y por encima 15000, 20000 y 25000 A.

La característica de disparo instantáneo de los interruptores automáticos vendrá determinada por su curva: B, C o D.

Cada interruptor debe llevar visible, de forma indeleble, las siguientes indicaciones:

- La corriente asignada sin el símbolo A precedido del símbolo de la característica de disparo instantáneo (B,C o D) por ejemplo B16.
- Poder de corte asignado en amperios, dentro de un rectángulo, sin indicación del símbolo de las unidades.
- Clase de limitación de energía, si es aplicable.

Los bornes destinados exclusivamente al neutro, deben estar marcados con la letra "N".

#### Interruptores automáticos de baja tensión

Los interruptores automáticos de baja tensión se ajustarán a la norma UNE-EN 60-947-2: 1996.

Esta norma se aplica a los interruptores automáticos cuyos contactos principales están destinados a ser conectados a circuitos cuya tensión asignada no sobrepasa 1000 V en corriente alterna o 1500 V en corriente continua. Se aplica cualesquiera que sean las intensidades asignadas, los métodos de fabricación y el empleo previsto de los interruptores automáticos.

Cada interruptor automático debe estar marcado de forma indeleble en lugar visible con las siguientes indicaciones:

- Intensidad asignada ( $I_n$ ).
- Capacidad para el seccionamiento, si ha lugar.
- Indicaciones de las posiciones de apertura y de cierre respectivamente por O y | si se emplean símbolos.

También llevarán marcado aunque no sea visible en su posición de montaje, el símbolo de la naturaleza de corriente en que hayan de emplearse, y el símbolo que indique las características de desconexión, o en su defecto, irán acompañados de las curvas de desconexión.

#### Fusibles

Los fusibles de baja tensión se ajustarán a la norma UNE-EN 60-269-1:1998.

Esta norma se aplica a los fusibles con cartuchos fusibles limitadores de corriente, de fusión encerrada y que tengan un poder de corte igual o superior a 6 kA. Destinados a asegurar la protección de circuitos, de corriente alterna y frecuencia industrial, en los que la tensión asignada no sobrepase 1000 V, o los circuitos de corriente continua cuya tensión asignada no sobrepase los 1500 V.

Los valores de intensidad para los fusibles expresados en amperios deben ser: 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250.

Deberán llevar marcada la intensidad y tensión nominales de trabajo para las que han sido construidos.

#### Interruptores con protección incorporada por intensidad diferencial residual

Los interruptores automáticos de baja tensión con dispositivos reaccionantes bajo el efecto de intensidades residuales se ajustarán al anexo B de la norma UNE-EN 60-947-2: 1996.

Esta norma se aplica a los interruptores automáticos cuyos contactos principales están destinados a ser conectados a circuitos cuya tensión asignada no sobrepasa 1000 V en corriente alterna o 1500 V en corriente continua. Se aplica cualesquiera que sean las intensidades asignadas.

Los valores preferentes de intensidad diferencial residual de funcionamiento asignada son: 0.006A, 0.01A, 0.03A, 0.1A, 0.3A, 0.5A, 1A, 3A, 10A, 30A.

#### Características principales de los dispositivos de protección

Los dispositivos de protección cumplirán las condiciones generales siguientes:

- Deberán poder soportar la influencia de los agentes exteriores a que estén sometidos, presentando el grado de protección que les corresponda de acuerdo con sus condiciones de instalación.



- Los fusibles irán colocados sobre material aislante incombustible y estarán contruidos de forma que no puedan proyectar metal al fundirse. Permitirán su recambio de la instalación bajo tensión sin peligro alguno.
- Los interruptores automáticos serán los apropiados a los circuitos a proteger, respondiendo en su funcionamiento a las curvas intensidad - tiempo adecuadas. Deberán cortar la corriente máxima del circuito en que estén colocadas, sin dar lugar a la formación de arco permanente, abriendo o cerrando los circuitos, sin posibilidad de tomar una posición intermedia entre las correspondientes a las de apertura y cierre. Cuando se utilicen para la protección contra cortocircuitos, su capacidad de corte estará de acuerdo con la intensidad de cortocircuito que pueda presentarse en el punto de su instalación, salvo que vayan asociados con fusibles adecuados que cumplan este requisito, y que sean de características coordinadas con las del interruptor automático.
- Los interruptores diferenciales deberán resistir las corrientes de cortocircuito que puedan presentarse en el punto de su instalación, y de lo contrario deberán estar protegidos por fusibles de características adecuadas.

#### Protección contra sobretensiones de origen atmosférico

Según lo indicado en la Instrucción ITC BT 23 en su apartado 3.2:

Cuando una instalación se alimenta por, o incluye, una línea aérea con conductores desnudos o aislados, se considera necesaria una protección contra sobretensiones de origen atmosférico en el origen de la instalación.

El nivel de sobretensiones puede controlarse mediante dispositivos de protección contra las sobretensiones colocados en las líneas aéreas (siempre que estén suficientemente próximos al origen de la instalación) o en la instalación eléctrica del edificio.

Los dispositivos de protección contra sobretensiones de origen atmosférico deben seleccionarse de forma que su nivel de protección sea inferior a la tensión soportada a impulso de la categoría de los equipos y materiales que se prevé que se vayan a instalar.

En redes TT, los descargadores se conectarán entre cada uno de los conductores, incluyendo el neutro o compensador y la tierra de la instalación.

#### Protección contra contactos directos e indirectos

Los medios de protección contra contactos directos e indirectos en instalación se ejecutarán siguiendo las indicaciones detalladas en la Instrucción ITC BT 24, y en la Norma UNE 20.460 -4-41.

La protección contra contactos directos consiste en tomar las medidas destinadas a proteger las personas contra los peligros que pueden derivarse de un contacto con las partes activas de los materiales eléctricos. Los medios a utilizar son los siguientes:

- Protección por aislamiento de las partes activas.
- Protección por medio de barreras o envolventes.
- Protección por medio de obstáculos.
- Protección por puesta fuera de alcance por alejamiento.
- Protección complementaria por dispositivos de corriente diferencial residual.

Se utilizará el método de protección contra contactos indirectos por corte de la alimentación en caso de fallo, mediante el uso de interruptores diferenciales.

La corriente a tierra producida por un solo defecto franco debe hacer actuar el dispositivo de corte en un tiempo no superior a 5 s.

Una masa cualquiera no puede permanecer en relación a una toma de tierra eléctricamente distinta, a un potencial superior, en valor eficaz, a:

- 24 V en los locales o emplazamientos húmedos o mojados.
- 50 V en los demás casos.

Todas las masas de una misma instalación deben estar unidas a la misma toma de tierra.

Como dispositivos de corte por intensidad de defecto se emplearán los interruptores diferenciales.

Debe cumplirse la siguiente condición:

$$R \leq \frac{V_c}{I_s}$$



Donde:

- R: Resistencia de puesta a tierra (Ohm).
- Vc: Tensión de contacto máxima (24 V en locales húmedos y 50 V en los demás casos).
- Is: Sensibilidad del interruptor diferencial (valor mínimo de la corriente de defecto, en A, a partir del cual el interruptor diferencial debe abrir automáticamente, en un tiempo conveniente, la instalación a proteger).

#### 12.2.5.- Instalaciones en cuartos de baño o aseo

La instalación se ejecutará según lo especificado en la Instrucción ITC BT 27.

Para las instalaciones en cuartos de baño o aseo se tendrán en cuenta los siguientes volúmenes y prescripciones:

- VOLUMEN 0: Comprende el interior de la bañera o ducha. En un lugar que contenga una ducha sin plato, el volumen 0 está delimitado por el suelo y por un plano horizontal a 0.05 m por encima del suelo.
- VOLUMEN 1: Está limitado por el plano horizontal superior al volumen 0, es decir, por encima de la bañera, y el plano horizontal situado a 2,25 metros por encima del suelo. El plano vertical que limita al volumen 1 es el plano vertical alrededor de la bañera o ducha.
- VOLUMEN 2: Está limitado por el plano vertical tangente a los bordes exteriores de la bañera y el plano vertical paralelo situado a una distancia de 0,6 m; y entre el suelo y plano horizontal situado a 2,25 m por encima del suelo.
- VOLUMEN 3: Esta limitado por el plano vertical límite exterior del volumen 2 y el plano vertical paralelo situado a una distancia de éste de 2,4 metros. El volumen 3 está comprendido entre el suelo y una altura de 2,25 m.

Para el volumen 0 el grado de protección necesario será el IPX7, y no está permitida la instalación de mecanismos.

En el volumen 1, el grado de protección habitual será IPX4, se utilizará el grado IPX2 por encima del nivel más alto de un difusor fijo, y el IPX5 en los equipos de bañeras de hidromasaje y en baños comunes en los que se puedan producir chorros de agua durante su limpieza. Podrán ser instalados aparatos fijos como calentadores de agua, bombas de ducha y equipo eléctrico para bañeras de hidromasaje que cumplan con su norma aplicable, si su alimentación está protegida adicionalmente con un dispositivo de corriente diferencial de valor no superior a 30 mA.

En el volumen 2, el grado de protección habitual será IPX4, se utilizará el grado IPX2 por encima del nivel más alto de un difusor fijo, y el IPX5 en los baños comunes en los que se puedan producir chorros durante su limpieza. Se permite la instalación de bloques de alimentación de afeitadoras que cumplan con la UNE EN 60.742 o UNE EN 61558-2-5. Se podrán instalar también todos los aparatos permitidos en el volumen 1, luminarias, ventiladores, calefactores, y unidades móviles de hidromasaje que cumplan con su normativa aplicable, y que además estén protegidos con un diferencial de valor no superior a 30 mA.

En el volumen 3 el grado de protección necesario será el IPX5, en los baños comunes cuando se puedan producir chorros de agua durante su limpieza. Se podrán instalar bases y aparatos protegidos por dispositivo de corriente diferencial de valor no superior a 30 mA.

#### 12.2.6.- Red equipotencial

Se realizará una conexión equipotencial entre las canalizaciones metálicas existentes (agua fría, caliente, desagüe, calefacción, gas, etc.) y las masas de los aparatos sanitarios metálicos y todos los demás elementos conductores accesibles, tales como marcos metálicos de puertas, radiadores, etc. El conductor que asegure esta protección deberá estar preferentemente soldado a las canalizaciones o a los otros elementos conductores, o si no, fijado solidariamente a los mismos por collares u otro tipo de sujeción apropiado a base de metales no féreos, estableciendo los contactos sobre partes metálicas sin pintura. Los conductores de protección de puesta a tierra, cuando existan, y de conexión equipotencial deben estar conectados entre sí. La sección mínima de este último estará de acuerdo con lo dispuesto en la Instrucción ITC-BT-19 para los conductores de protección.

#### 12.2.7.- Instalación de puesta a tierra

Estará compuesta de toma de tierra, conductores de tierra, borne principal de tierra y conductores de protección. Se llevarán a cabo según lo especificado en la Instrucción ITC-BT-18.

##### Naturaleza y secciones mínimas

Los materiales que aseguren la puesta a tierra serán tales que:

El valor de la resistencia de puesta a tierra esté conforme con las normas de protección y de funcionamiento de la instalación, teniendo en cuenta los requisitos generales indicados en la ITC-BT-24 y los requisitos particulares de las Instrucciones Técnicas aplicables a cada instalación.

Las corrientes de defecto a tierra y las corrientes de fuga puedan circular sin peligro, particularmente desde el punto de vista de sollicitaciones térmicas, mecánicas y eléctricas.



En todos los casos los conductores de protección que no formen parte de la canalización de alimentación serán de cobre con una sección al menos de: 2,5 mm<sup>2</sup> si disponen de protección mecánica y de 4 mm<sup>2</sup> si no disponen de ella.

Las secciones de los conductores de protección, y de los conductores de tierra están definidas en la Instrucción ITC-BT-18.

#### Tendido de los conductores

Los conductores de tierra enterrados tendidos en el suelo se considera que forman parte del electrodo.

El recorrido de los conductores de la línea principal de tierra, sus derivaciones y los conductores de protección, será lo más corto posible y sin cambios bruscos de dirección. No estarán sometidos a esfuerzos mecánicos y estarán protegidos contra la corrosión y el desgaste mecánico.

#### Conexiones de los conductores de los circuitos de tierra con las partes metálicas y masas y con los electrodos

Los conductores de los circuitos de tierra tendrán un buen contacto eléctrico tanto con las partes metálicas y masas que se desea poner a tierra como con el electrodo. A estos efectos, las conexiones deberán efectuarse por medio de piezas de empalme adecuadas, asegurando las superficies de contacto de forma que la conexión sea efectiva por medio de tornillos, elementos de compresión, remaches o soldadura de alto punto de fusión. Se prohíbe el empleo de soldaduras de bajo punto de fusión tales como estaño, plata, etc.

Los circuitos de puesta a tierra formarán una línea eléctricamente continua en la que no podrán incluirse en serie ni masas ni elementos metálicos cualquiera que sean éstos. La conexión de las masas y los elementos metálicos al circuito de puesta a tierra se efectuará siempre por medio del borne de puesta a tierra. Los contactos deben disponerse limpios, sin humedad y en forma tal que no sea fácil que la acción del tiempo destruya por efectos electroquímicos las conexiones efectuadas.

Deberá preverse la instalación de un borne principal de tierra, al que irán unidos los conductores de tierra, de protección, de unión equipotencial principal y en caso de que fuesen necesarios, también los de puesta a tierra funcional.

#### Prohibición de interrumpir los circuitos de tierra

Se prohíbe intercalar en circuitos de tierra seccionadores, fusibles o interruptores. Sólo se permite disponer un dispositivo de corte en los puntos de puesta a tierra, de forma que permita medir la resistencia de la toma de tierra.

### **12.2.8.- Alumbrado**

#### Alumbrados especiales

Los puntos de luz del alumbrado especial deberán repartirse entre, al menos, dos líneas diferentes, con un número máximo de 12 puntos de luz por línea, estando protegidos dichos circuitos por interruptores automáticos de 10 A de intensidad nominal como máximo.

Las canalizaciones que alimenten los alumbrados especiales se dispondrán a 5 cm como mínimo de otras canalizaciones eléctricas cuando se instalen sobre paredes o empotradas en ellas, y cuando se instalen en huecos de la construcción estarán separadas de ésta por tabiques incombustibles no metálicos.

Deberán ser provistos de alumbrados especiales los siguientes locales:

- Con alumbrado de emergencia: Los locales de reunión que puedan albergar a 100 personas o más, los locales de espectáculos y los establecimientos sanitarios, los establecimientos cerrados y cubiertos para más de 5 vehículos, incluidos los pasillos y escaleras que conduzcan al exterior o hasta las zonas generales del edificio.
- Con alumbrado de señalización: Los estacionamientos subterráneos de vehículos, teatros y cines en sala oscura, grandes establecimientos comerciales, casinos, hoteles, establecimientos sanitarios y cualquier otro local donde puedan producirse aglomeraciones de público en horas o lugares en que la iluminación natural de luz solar no sea suficiente para proporcionar en el eje de los pasos principales una iluminación mínima de 1 lux.
- Con alumbrado de reemplazamiento: En quirófanos, salas de cura y unidades de vigilancia intensiva de establecimientos sanitarios.

#### Alumbrado general

Las redes de alimentación para puntos de luz con lámparas o tubos de descarga deberán estar previstas para transportar una carga en voltamperios al menos igual a 1.8 veces la potencia en vatios de las lámparas o tubos de descarga que alimenta. El conductor neutro tendrá la misma sección que los de fase.

Si se alimentan con una misma instalación lámparas de descarga y de incandescencia, la potencia a considerar en voltamperios será la de las lámparas de incandescencia más 1.8 veces la de las lámparas de descarga.

Deberá corregirse el factor de potencia de cada punto de luz hasta un valor mayor o igual a 0.90, y la caída máxima de tensión entre el origen de la instalación y cualquier otro punto de la instalación de alumbrado, será menor o igual que 3%.

Los receptores consistentes en lámparas de descarga serán accionados por interruptores previstos para cargas inductivas, o en su defecto, tendrán una capacidad de corte no inferior al doble de la intensidad del receptor. Si el interruptor acciona a la vez lámparas de



incandescencia, su capacidad de corte será, como mínimo, la correspondiente a la intensidad de éstas más el doble de la intensidad de las lámparas de descarga.

En instalaciones para alumbrado de locales donde se reuna público, el número de líneas deberá ser tal que el corte de corriente en una cualquiera de ellas no afecte a más de la tercera parte del total de lámparas instaladas en dicho local.

### **12.3.- Pruebas reglamentarias**

#### **12.3.1.- Comprobación de la puesta a tierra**

La instalación de toma de tierra será comprobada por los servicios oficiales en el momento de dar de alta la instalación. Se dispondrá de al menos un punto de puesta a tierra accesible para poder realizar la medición de la puesta a tierra.

#### **12.3.2.- Resistencia de aislamiento**

Las instalaciones eléctricas deberán presentar una resistencia de aislamiento, expresada en ohmios, por lo menos igual a  $1000xU$ , siendo  $U$  la tensión máxima de servicio expresada en voltios, con un mínimo de 250.000 ohmios.

El aislamiento de la instalación eléctrica se medirá con relación a tierra y entre conductores, mediante la aplicación de una tensión continua suministrada por un generador que proporcione en vacío una tensión comprendida entre 500 y 1000 V y, como mínimo, 250 V con una carga externa de 100.000 ohmios.

### **12.4.- Condiciones de uso, mantenimiento y seguridad**

La propiedad recibirá a la entrega de la instalación, planos definitivos del montaje de la instalación, valores de la resistencia a tierra obtenidos en las mediciones, y referencia del domicilio social de la empresa instaladora.

No se podrá modificar la instalación sin la intervención de un Instalador Autorizado o Técnico Competente, según corresponda.

Cada cinco años se comprobarán los dispositivos de protección contra cortocircuitos, contactos directos e indirectos, así como sus intensidades nominales en relación con la sección de los conductores que protegen.

Las instalaciones del garaje serán revisadas anualmente por instaladores autorizados libremente elegidos por los propietarios o usuarios de la instalación. El instalador extenderá un boletín de reconocimiento de la indicada revisión, que será entregado al propietario de la instalación, así como a la delegación correspondiente del Ministerio de Industria y Energía.

Personal técnicamente competente comprobará la instalación de toma de tierra en la época en que el terreno esté más seco, reparando inmediatamente los defectos que pudieran encontrarse.

### **12.5.- Certificados y documentación**

Al finalizar la ejecución, se entregará en la Delegación del Ministerio de Industria correspondiente el Certificado de Fin de Obra firmado por un técnico competente y visado por el Colegio profesional correspondiente, acompañado del boletín o boletines de instalación firmados por un Instalador Autorizado.

### **12.6.- Libro de órdenes**

La dirección de la ejecución de los trabajos de instalación será llevada a cabo por un técnico competente, que deberá cumplimentar el Libro de Órdenes y Asistencia, en el que reseñará las incidencias, órdenes y asistencias que se produzcan en el desarrollo de la obra.

**13.- MEDICIONES**

## Medición de líneas

Material	Longitud (m)
RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible, 70 mm <sup>2</sup> . Unipolar	42.0
RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible, 35 mm <sup>2</sup> . Unipolar	10.5
RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible, 6 mm <sup>2</sup> . Unipolar	925.0
RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible, 25 mm <sup>2</sup> . Unipolar	140.0
RZ1 0,6/1 kV Cobre Flexible, 16 mm <sup>2</sup> . Unipolar	35.0

## Medición de canalizaciones

Material	Longitud (m)
Tubo canalización enterrada(EN/UNE 50086). DN: 180 mm	10

## Medición de protecciones

Fusibles	Cantidad
IEC60269 gL/gG In: 200 A; Un: 400 V; Icu: 100 kA; Tipo gL/gG	3
Magnetotérmicos	Cantidad
M-G Compact NS250H - TM.xD In: 200 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 10 ÷ 100 kA; Curva I - t (Ptos.) Tripolar	1
M-G Compact NS160N - TM.xD In: 40 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.) Tripolar	7
M-G Compact NS160N - TM.xD In: 100 A; Un: 240 ÷ 690 V; Icu: 8 ÷ 85 kA; Curva I - t (Ptos.) Tripolar	1
Diferenciales	Cantidad
IEC60947-2 Instantáneos In: 40 A; Un: 400 V; Id: 30 mA; (I) Tripolar-Tetrapolar	7
M-G Vigicompact NSA125/160 I In: 125 A; Un: 440 V; Id: 30 mA; (I) Tripolar-Tetrapolar	1
Aparatos de medida	Cantidad
Contadores Contador de activa	1
Sobretensiones	Cantidad
Descargadores combinados tipo I y II (Clase B+C) Modo común; Int. imp./máx.:50 kA; Nivel de protección:1.5 kV	1



ESCUELA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA  
Y TECNOLOGÍA

Grado en Ingeniería Mecánica

# Planos

## TRABAJO FIN DE GRADO

TÍTULO:

DISEÑO Y CÁLCULO DE SISTEMAS DE ASPIRACIÓN DE  
POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD EN ACTIVIDADES INDUSTRIALES

AUTOR:

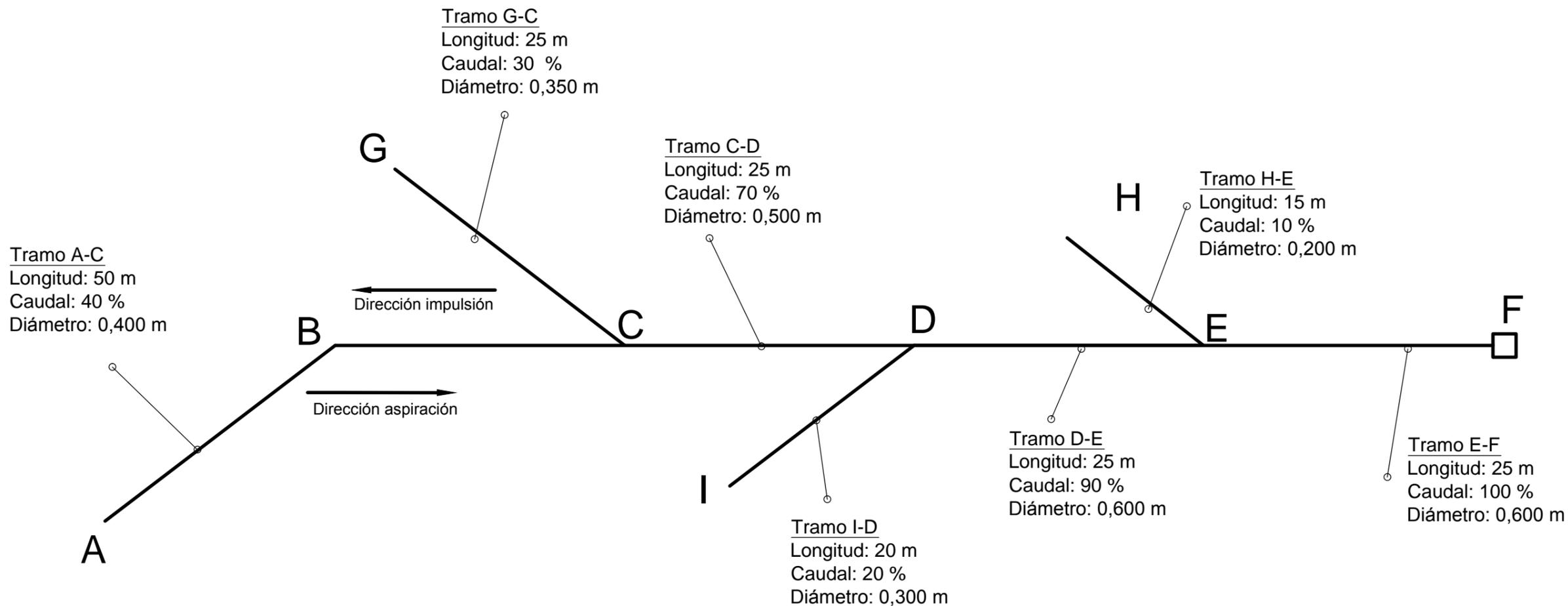
Jairo Samuel Santana Rodríguez

TUTOR:

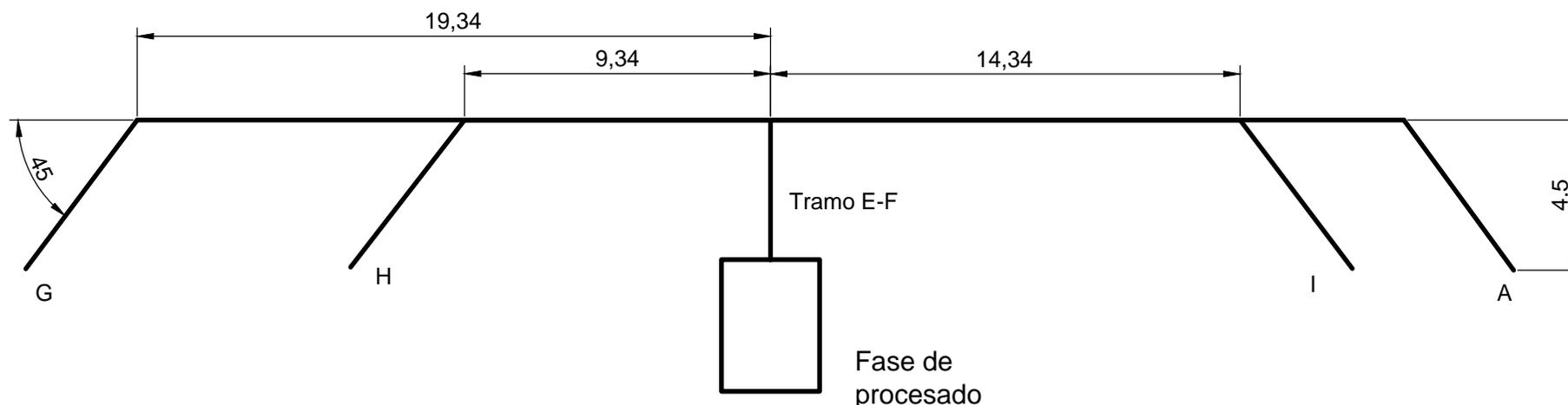
Alejandro Molowny López-Peñalver

## Planos

Plano 1: Planta general .....	3
Plano 2: Alzado general .....	4
Plano 3: Detalle Entrada de material .....	5
Plano 4: Detalle Ventiladores .....	6
Plano 5: Detalle Fase Final .....	7
Plano 6: Esquema unifilar .....	8

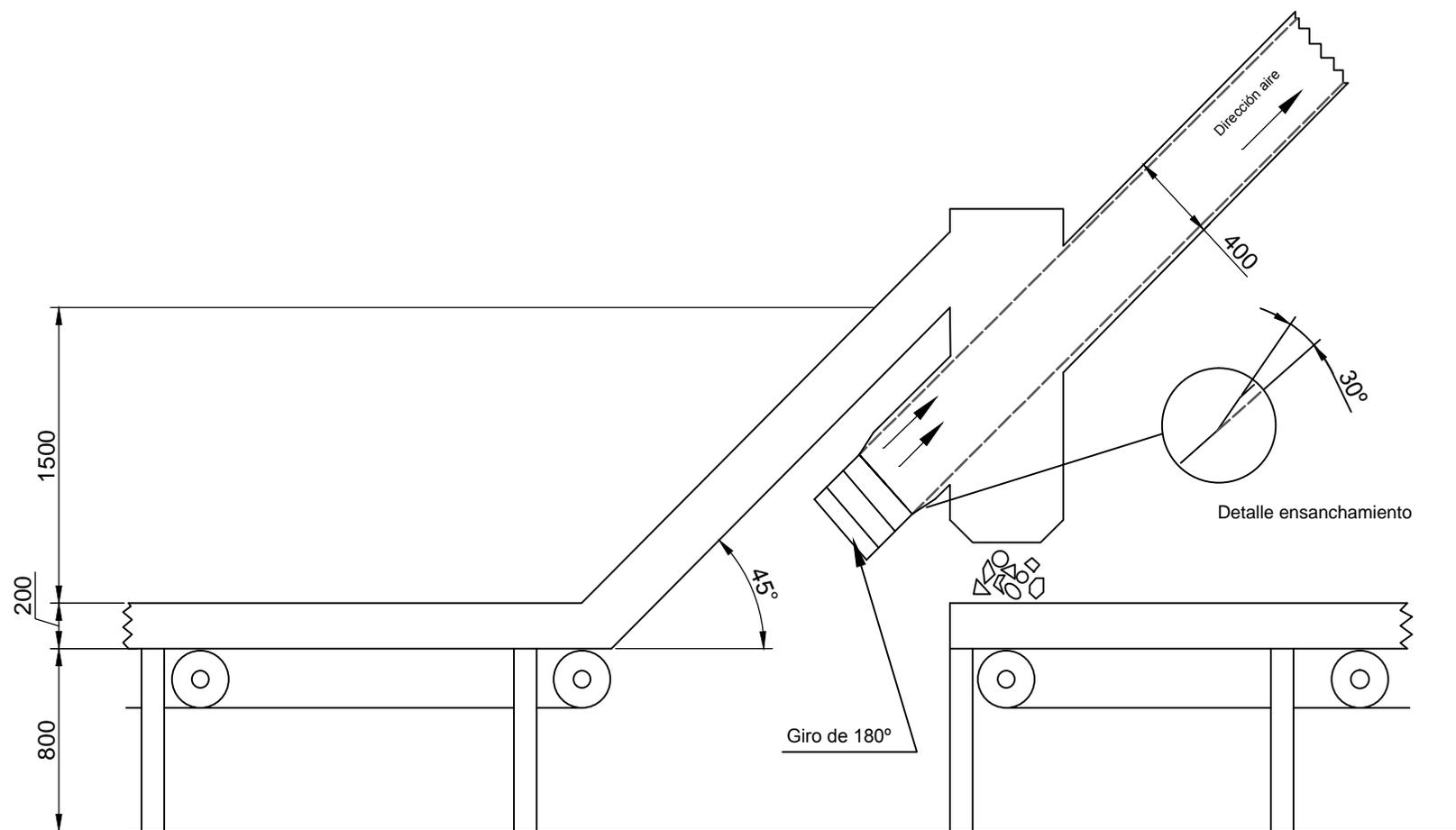


DISEÑO Y CÁLCULO DE SISTEMAS DE ASPIRACIÓN DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD				
Fecha	Fecha	Autor		 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
<i>Dibujado</i>	05-2015	Jairo Samuel Santana Rodríguez		
<i>Comprobado</i>	06-2015	Alejandro Molowny López-Peñalver		
<i>Id. s. normas</i>	UNE-EN-DIN			
ESCALA: 1:40	PLANTA GENERAL			Nº P. : 1 Nom.Arch: Planos generales.dwg

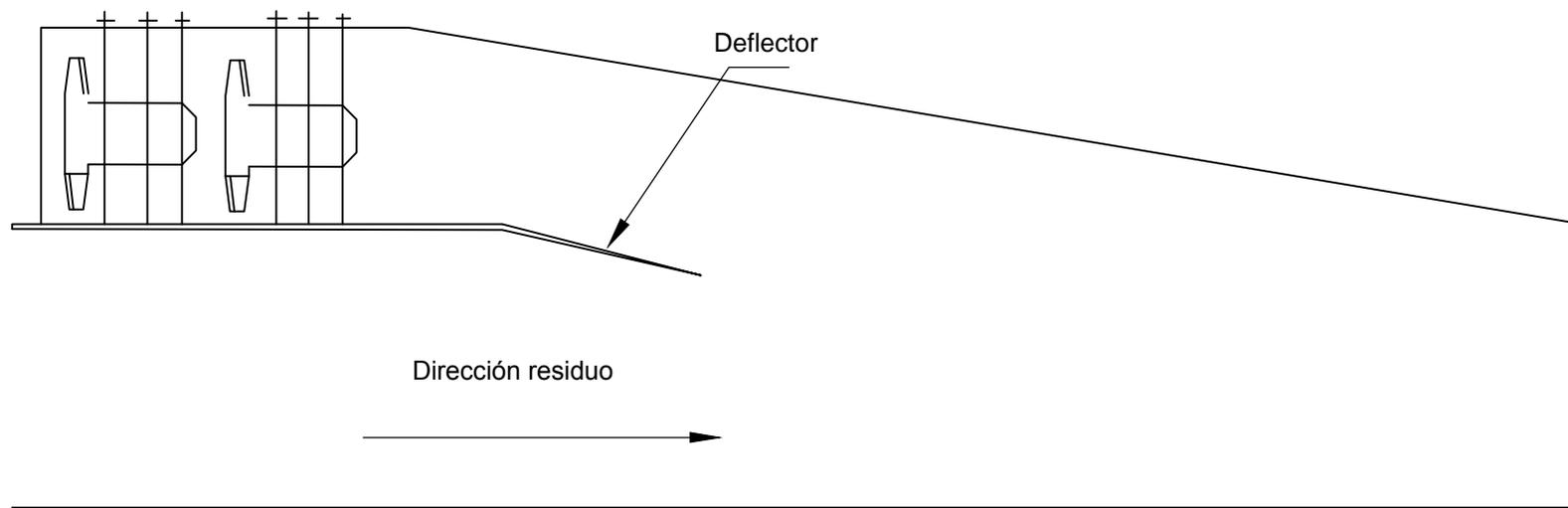


DISEÑO Y CÁLCULO DE SISTEMAS DE ASPIRACIÓN DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD			
Fecha	Fecha	Autor	 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
<i>Dibujado</i>	05-2015	Jairo Samuel Santana Rodríguez	
<i>Comprobado</i>	06-2015	Alejandro Molowny López-Peñalver	
<i>Id. s. normas</i>	UNE-EN-DIN		
ESCALA: 1:20	Alzado general		Nº P.: 2 Nom.Arch: Planos generales.dwg

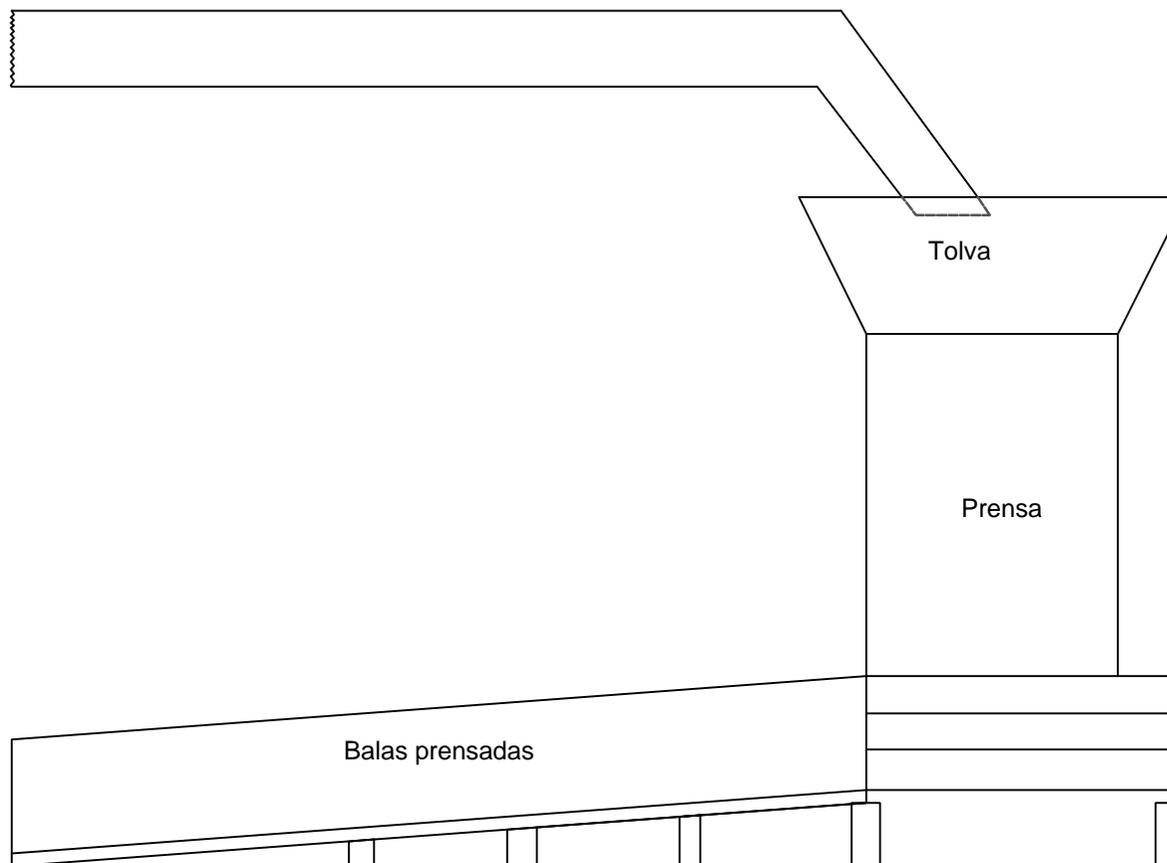
Dimensiones en metros



DISEÑO Y CÁLCULO DE SISTEMAS DE ASPIRACIÓN DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD			
Fecha	Fecha	Autor	 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
<i>Dibujado</i>	05-2015	<i>Jairo Samuel Santana Rodríguez</i>	
<i>Comprobado</i>	06-2015	<i>Alejandro Molowny López-Peñalver</i>	
<i>Id. s. normas</i>	UNE-EN-DIN		
ESCALA: 1:30	Entrada de material A		Nº P.: 3 Nom.Arch: Planos detalle.dwg

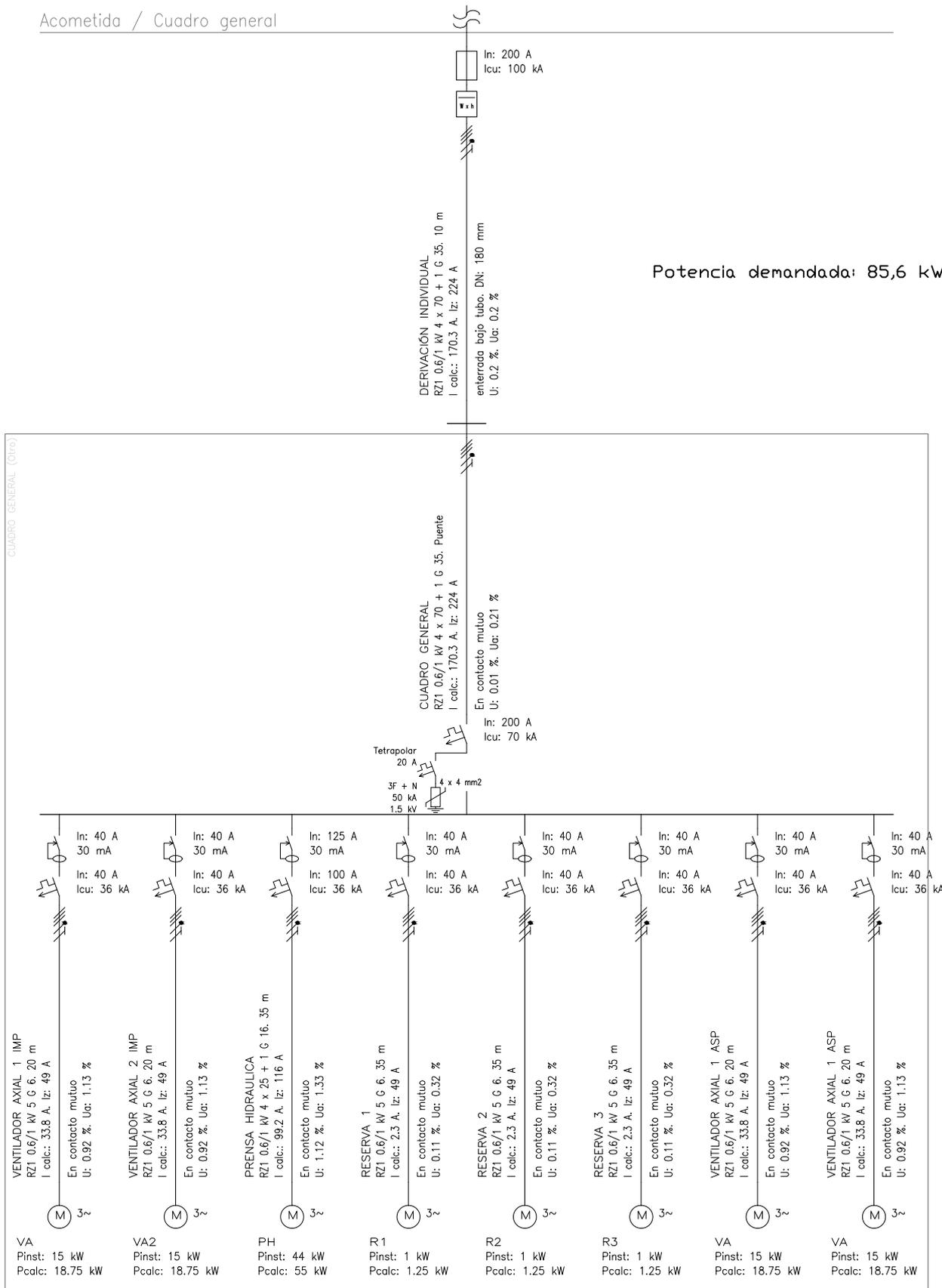


DISEÑO Y CÁLCULO DE SISTEMAS DE ASPIRACIÓN DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD			
Fecha	Fecha	Autor	 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL <i>Grado en Ingeniería Mecánica</i> <i>Universidad de La Laguna</i>
<i>Dibujado</i>	<i>05-2015</i>	<i>Jairo Samuel Santana Rodríguez</i>	
<i>Comprobado</i>	<i>06-2015</i>	<i>Alejandro Molowny López-Peñalver</i>	
<i>Id. s. normas</i>	<i>UNE-EN-DIN</i>		
ESCALA: 1:16	Ventiladores de aspiración		Nº P.: 4 Nom.Arch: Planos detalle.dwg



DISEÑO Y CÁLCULO DE SISTEMAS DE ASPIRACIÓN DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD			
Fecha	Fecha	Autor	 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
<i>Dibujado</i>	05-2015	Jairo Samuel Santana Rodríguez	
<i>Comprobado</i>	06-2015	Alejandro Molowny López-Peñalver	
<i>Id. s. normas</i>	UNE-EN-DIN		
ESCALA: 1:60	Fase final		Nº P.: 5 Nom.Arch: Planos detalle.dwg

Acometida / Cuadro general



DISEÑO Y CÁLCULO DE SISTEMAS DE ASPIRACIÓN DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD			
Fecha	Fecha	Autor	 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA CIVIL E INDUSTRIAL Grado en Ingeniería Mecánica Universidad de La Laguna
<i>Dibujado</i>	05-2015	Jairo Samuel Santana Rodríguez	
<i>Comprobado</i>	06-2015	Alejandro Molowny López-Peñalver	
<i>Id. s. normas</i>	UNE-EN-DIN		
ESCALA:	Esquema unifilar		Nº P.: 6 Nom.Arch: Unifilar.dwg

ESCUELA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA  
Y TECNOLOGÍA

Grado en Ingeniería Mecánica

# **Pliego de condiciones**

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

TÍTULO:

DISEÑO Y CÁLCULO DE SISTEMAS DE ASPIRACIÓN DE  
POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD EN ACTIVIDADES INDUSTRIALES

AUTOR:

Jairo Samuel Santana Rodríguez

TUTOR:

Alejandro Molowny López-Peñalver

## Pliego de condiciones

1. Objeto .....	5
2. Normativa de aplicación .....	6
3. Características, Calidades y Condiciones Generales de los Materiales .....	7
3.1. Ventiladores .....	8
3.2. Red de conductos .....	9
3.2.1. Conductos de chapa metálica .....	10
3.3. Cinta transportadora .....	11
3.4. Prensa .....	11
3.5. Control y aceptación de los elementos y equipos que conforman la instalación. .....	11
3.5.1. Controles a realizar en la recepción, sobre la documentación y de los distintivos de calidad de materiales y equipos .....	12
4. Condiciones de ejecución y montaje de la instalación .....	13
4.1. Condiciones generales .....	13
4.2. Comprobaciones iniciales .....	14
4.3. Control durante la ejecución de la instalación .....	14
4.4. Montaje de los elementos .....	14
4.4.1. Condiciones acústicas a satisfacer y contemplar en el montaje de los elementos.....	14
4.5. Señalización .....	15
5. Acabados, control y aceptación, mediciones y abonos .....	16
5.1. Acabados .....	16
5.2. Control y aceptación .....	16
Controles funcionales en los sistemas de ventilación .....	17
5.3. Medición y abono .....	18
6. Reconocimiento, pruebas y ensayos .....	18

6.1. Reconocimiento de las obras .....	18
6.2. Pruebas y ensayos .....	19
6.2.1. Pruebas generales en sistemas de climatización y ventilación .....	19
7. Condiciones de mantenimiento y uso .....	20
7.1. Conservación .....	21
7.2. Prevención de riesgos laborales .....	21
7.3. Reparación. Reposición .....	22
8. Condiciones de índole facultativo .....	23
8.1. Del titular de la instalación .....	23
8.2. De la dirección facultativa .....	23
8.3. De la empresa instaladora o contratista .....	23
8.4. De la empresa mantenedora .....	24
8.5. De los organismos de control autorizado .....	25
8.6. Daños materiales .....	25
8.7. Responsabilidad civil .....	26
9. Condiciones de índole administrativo .....	27
9.1. Documentación del proyecto .....	27
9.2. Planos .....	28
9.3. Especificaciones .....	28
9.4. Objeto de los planos y especificaciones .....	28
9.5. Divergencias entre los planos y especificaciones .....	28
9.6. Errores en los planos y especificaciones .....	29
9.7. Adecuación de planos y especificaciones .....	29
9.8. Instrucciones adicionales .....	29

9.9. Modificaciones y ampliaciones de las instalaciones y la documentación del proyecto .....	30
9.9.1. Modificaciones y ampliaciones no significativas de la instalación	30
9.9.2. Modificaciones y ampliaciones significativas de la instalación .	30
9.10. Documentación final .....	30
9.11. Certificación de dirección y finalización de obra .....	31
9.12. Libro de órdenes .....	32
9.13. Incompatibilidades .....	32
9.14. Instalaciones ejecutadas por más de una empresa instaladora .....	33
9.15. Subcontratación .....	33
9.16. Trabajos durante una emergencia .....	33
9.17. Suspensión del trabajo por el propietario .....	33
9.18. Derecho del propietario a rescisión del contrato .....	34
9.19. Forma de rescisión del contrato por parte de la propiedad .....	34
9.20. Derechos del contratista para cancelar el contrato .....	34
9.21. Causas de rescisión del contrato .....	34
9.22. Devolución de la fianza .....	35
9.23. Plazo de entrega de las obras .....	35
9.24. Daños a terceros .....	36

## 1. Objeto

Este Pliego de Condiciones Técnicas Particulares, el cual forma parte de la documentación del presente proyecto, tiene por objeto determinar las condiciones mínimas aceptables para la ejecución de la Instalación de Aspiración de PEBD, así como definir las características y calidad de los materiales y equipos a emplear, considerándose dichas instalaciones como aquellas diseñadas y ejecutadas que se encuentra sometidas al RD 1644/2006, el reglamento ErP y a los Reales Decretos relativos a Equipos de Trabajo, así como el conjunto de normas UNE de aplicación.

En el caso de proyectarse una instalación de este tipo es necesario seguir las condiciones aplicadas en este Pliego de Condiciones Técnicas.

Las dudas que se planteasen en su aplicación o interpretación serán dilucidadas por el Ingeniero-Director de la obra. Por el mero hecho de intervenir en la obra, se presupone que la empresa instaladora y las subcontratas conocen y admiten el presente Pliego de Condiciones.

Asimismo y con la finalidad de garantizar la seguridad de las personas, el bienestar social y la protección del medio ambiente, se hace necesario que dichas instalaciones se proyecten, construyan, mantengan y conserven de tal forma que se satisfagan los fines básicos de la funcionalidad, es decir de la utilización o adecuación al uso, y de la seguridad, concepto que incluye la seguridad estructural, la seguridad en caso de incendio y la seguridad de utilización, de tal forma que el uso normal de la instalación no suponga ningún riesgo de accidente para las personas y cumpla la finalidad para la cual es diseñada y construida.

## **2. Normativa de aplicación**

Además de las condiciones técnicas particulares contenidas en el presente pliego, serán de aplicación, y se observarán en todo momento durante la instalación, las siguientes normas y reglamentos:

**Real Decreto 1075/1986, de 2 de mayo**, del Miner, por el que se establecen Normas sobre las condiciones de los suministros de energía eléctrica y la calidad de este servicio.

**Ley 21/1992, de 16 de julio**, de Industria.

**Ley 22/2022, de 28 de julio**, de residuos y suelos contaminados.

**Reglamento 327/2011**, relativo a los requisitos de diseño ecológico para los ventiladores de motor.

**Real Decreto 2200/1995, de 28 de diciembre** el que se aprueba el Reglamento de la Infraestructura para la Calidad y Seguridad Industrial.

**Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre**, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.

**Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto de 2002** por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, Instrucciones Técnicas Complementarias.

**Guía Técnica** de aplicación al Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

**Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo**, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

**Normas UNE / EN / ISO / ANSI / DIN** de aplicación específica que determine el Ingeniero proyectista.

### **Normativa autonómica:**

**Ley 11/1990 de 13 de julio**, de Prevención del Impacto Ecológico.

**ORDEN de 25 de mayo de 2007**, por la que se regula el procedimiento telemático para la puesta en servicio de instalaciones eléctricas de baja tensión.

**Decreto 161/2006, 8 noviembre**, por el que se regulan la autorización, conexión y mantenimiento de las instalaciones eléctricas en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Canarias.

**Ordenanzas Municipales** del lugar donde se ubique la instalación.

Y cuantas normas de la Compañía Suministradora y otras normas y leyes de obligado cumplimiento relacionadas con este Pliego de Condiciones Técnicas le sean aplicables.

Salvo que se trate de prescripciones cuyo cumplimiento esté obligado por la vigente legislación, en caso de discrepancia entre el contenido de los documentos anteriormente mencionados se aplicará el criterio correspondiente al que tenga una fecha de aplicación posterior. Con idéntica salvedad, será de aplicación preferente, respecto de los anteriores documentos, lo expresado en este Pliego de Condiciones Técnicas Particulares.

### **3. Características, Calidades y Condiciones Generales de los Materiales**

Todos los materiales serán de marcas de calidad, y sus características se ajustarán a lo especificado por la reglamentación vigente, a lo especificado en los documentos del proyecto, en el presente Pliego de Condiciones Particulares y a las indicaciones que en su caso exprese la Dirección Facultativa.

Los reconocimientos, ensayos y pruebas de los materiales que se consideren oportunos para comprobar si reúnen las condiciones de calidad fijadas en el presente Pliego tendrán que determinarlos el Ingeniero-Director quién podrá rechazar los materiales defectuosos y ordenar su sustitución.

El instalador autorizado deberá presentar, para su examen y aprobación por el Ingeniero-Director, modelos de los diferentes elementos y accesorios a emplear en la instalación, que deberán ajustarse a las condiciones y a las especificaciones del presente proyecto y a las calidades exigidas.

Los modelos quedarán almacenados como muestras y durante la ejecución de las obras no se emplearán bajo ningún concepto materiales de distinta calidad a las muestras sin la aprobación del Ingeniero-Director.

### 3.1. Ventiladores

Generan una corriente de aire y normalmente son de accionamiento eléctrico, estando caracterizados y definidos por su curva de presión (mm.c.a.) - caudal ( $m^3/h$ ) para cada velocidad, facilitándose otros parámetros (potencia, nivel sonoro, régimen de giro, etc.).

Están compuesto por: Motor de accionamiento (generalmente eléctrico, monofásico o trifásico), Rotor con forma de hélice o de rodete con álabes o palas (de chapa de acero, aluminio, poliéster, o plástico) y Envoltente o carcasa, de tipo caracol o tubular.

Los ventiladores se pueden acoplar en serie o en paralelo.

Por su configuración, los ventiladores pueden ser de tres tipos:

- ***Axiales o helicoidales:*** El flujo se induce en la dirección del eje por presión de las palas.
- ***Centrífugos:*** El flujo se induce dentro del rodete, y sale perpendicular al eje, por centrifugación.
- ***Tangenciales:*** El flujo atraviesa el rodete perpendicular al eje.

Los *ventiladores axiales*, a su vez se clasifican en:

- ***De pala libre.***
- ***Ventiladores murales o de pared.*** Trabajan a descarga libre, sin ningún conducto. Se denominan de acuerdo con su diámetro (300, 400, 600), con presiones de 10 a 30 mm.c.a.
- ***Ventiladores tubulares.*** Dotados con una envoltente tubular, que canaliza el flujo. Producen una mayor presión con grandes caudales, utilizados principalmente en garajes y extracciones localizadas con un pequeño conducto. Su presión disponible va de 10 a 25 mm.c.a.

Por su presión los ventiladores, a su vez, se clasifican en:

- ***Baja presión:*** presión de 10 a 100 mm.c.a. Dan un gran caudal. Se denominan de acuerdo con las medidas del rodete, ancho por diámetro (20/20 = 20 cm ancho y 20 cm

de rodete). Pueden construirse envueltos por una caja, denominándose “cajas de ventilación”.

- **Media presión:** de 100 a 800 mm.c.a. Tienen un rodete de mayor diámetro y son más estrechos. Se utilizan en extracciones localizadas y para aspirar o arrastrar partículas.
- **Alta presión:** presiones hasta 1500 mm.c.a. Se utilizan en aplicaciones de transporte de polvos y otras aplicaciones industriales.

Por sus condiciones de funcionamiento:

- **Ambientes normales:** Cuando el aire a mover es el normal.
- **Ambientes agresivos:** Construidos con materiales capaces de resistir el gas a mover, como vapores ácidos, corrosivos, partículas, etc.
- **Ambientes de alta temperatura:** Para mover humos y gases a alta temperatura. Empleados en garajes y túneles, deben de soportar una temperatura en caso de incendio de 400° C durante 2 horas.

Por su accionamiento:

- **Accionamiento directo:** llevan el motor eléctrico acoplado al eje de rotación del ventilador.
- **Transmisión por correas:** el motor eléctrico está desplazado, y mediante dos poleas, transmite su potencia al ventilador.

Los ventiladores cumplirán la normativa ErP (Reglamento 206/2012 y 327/2011). Poseerán también un valor de FEG superior a 75 tal como estipula la norma AMCA 205-10. Se acoplarán los ventiladores a la distribución tal como indica la norma UNE 100-230.

### 3.2. Red de conductos

Son los elementos de la instalación a través de los cuales se distribuye el aire por todo el sistema; aspiración, unidades de tratamiento de aire, locales de uso, retorno, extracción de aire, etc. Pueden ser de chapa metálica, de lana de vidrio o de tipo flexible.

Normalmente la red de conductos está compuesta por tramos rectos, donde la velocidad y dirección del aire son constantes y por tramos curvos donde el aire cambia de velocidad y/o dirección. Los conductos se realizan a base de paneles sujetos con perfiles, montándose con

distintos métodos y herramientas, siendo posteriormente sellados interna y externamente con colas y cintas homologadas. Las uniones entre tramos se realizan con las correspondientes piezas (codos, té, derivaciones, reducciones, etc.).

De acuerdo con lo estipulado por el CTE-DB-SI, los conductos y sus aislamientos deben de ser Euroclase B-s3, d0 como mínimo, certificada mediante ensayo normalizado en laboratorios acreditados por la administración.

### **3.2.1 Conductos de chapa metálica**

Son los realizados a partir de planchas de chapa metálica (acero galvanizado o inoxidable, cobre, aluminio, etc.), las cuales se cortan y se conforman para dar al conducto la geometría necesaria para la distribución de aire.

Los conductos de chapa metálica deben aislarse térmicamente, empleándose habitualmente, mantas de lana de vidrio para colocar en el lado exterior del conducto. Estas mantas incorporan un revestimiento de aluminio que actúa como barrera de vapor (generalmente con protección asfáltica). También pueden colocarse, en el interior del conducto, mantas de lana de vidrio con un tejido de vidrio que permita la absorción acústica por parte de la lana y refuerce el interior del conducto.

Los conductos de chapa se clasifican en función de la máxima presión que pueden soportar y de su grado de estanqueidad.

Las pruebas de recepción de conductos metálicos se realizarán bajo la norma UNE-EN 1507. Se verificarán el tipo de material suministrado en los conductos, así como la comprobación de la inexistencia de materiales sueltos dentro de los conductos y la comprobación de inexistencia de rugosidades en las superficies internas de los conductos.

Las canalizaciones de aire y accesorios cumplirán lo establecido en las normas UNE que les sean de aplicación. También cumplirán lo establecido en la normativa de protección contra incendios que les sea aplicable.

El mantenimiento será realizado según lo estipulado en la norma UNE-EN 12097 y su instalación estará supervisada bajo la norma UNE-EN 12237.

### **3.3. Cinta transportadora**

Las cintas transportadoras serán instaladas y mantenidas bajo los cánones del conjunto de la normativa UNE y DIN, tal cómo se realizará en todo el proyecto. En especial las normas UNE 18 052, UNE 58 204 / 92 y DIN 22101.

### **3.4. Prensa hidráulica**

La prensa estará se colocará bien sujeta a la superficie de la nave y su instalación atenderá a la normativa de seguridad vigente así como lo estipulados en cualquier norma que tenga vigencia para las prensas hidráulicas horizontales.

En todo momento se seguirá lo estipulado por el Manual de Instrucciones de Operación y Mantenimiento atendiendo especialmente a sus apartados de seguridad.

La prensa será manejada en todo momento por personal capacitado y autorizado.

### **3.5. Control y aceptación de los elementos y equipos que conforman la instalación**

Todos los conductos, uniones y piezas deberán estar perfectamente terminados, sin defectos superficiales. Los conductos serán rectos y cilíndricos dentro de las tolerancias admitidas.

Sus bordes extremos estarán perfectamente limpios y a escuadra con el eje del conductos y la superficie interior perfectamente lisa. Los conductos o piezas cuyos defectos sean corregibles, sólo podrán repararse con la previa aprobación del Ingeniero- Director.

Los conductos se presentarán limpios y brillantes con las superficies exterior e interior exentas de rayas, hojas, picaduras, burbujas, grietas, trazas de estirado, etc., que puedan afectar desfavorablemente su servicio.

Se tolerarán, no obstante, defectos puramente locales de profundidad menor de la décima parte del espesor de pared, y decoloraciones propias del proceso de fabricación.

### **3.5.1. Controles a realizar en la recepción, sobre la documentación y de los distintivos de calidad de materiales y equipos**

#### ***RECEPCIÓN DE MATERIALES Y EQUIPOS EN OBRA***

Por parte del Ingeniero-Director de las obras y en el momento de acopiar los materiales y equipos, se comprobarán que las características técnicas de los suministrados, satisfacen lo exigido en el presente proyecto (o memoria técnica) mediante control de la documentación de los suministros, control mediante distintivos de calidad y control mediante ensayos y pruebas.

Asimismo se comprobará que los equipos y materiales recibidos corresponden a los especificados en el presente pliego de condiciones del proyecto o en la memoria técnica, disponen de la documentación exigida, cumplen con las propiedades exigidas en el proyecto o memoria técnica y han sido sometidos a los ensayos y pruebas exigidos por la normativa en vigor o cuando así se establezca en el pliego de condiciones.

Se utilizarán materiales, en contacto con el agua de consumo humano, capaces de resistir una desinfección mediante elevadas concentraciones de cloro u otros desinfectantes o por elevación de temperaturas, evitando aquellos que favorezcan el crecimiento microbiano y la formación de biocapa en el interior de la instalación.

#### ***VERIFICACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN DE MATERIALES Y EQUIPOS***

El instalador autorizado o el Ingeniero-Director de la obra, cuando la participación de este último sea preceptiva, *verificará la documentación* facilitada por los suministradores de los equipos y materiales, los cuales entregarán los documentos de identificación exigidos por las disposiciones de obligado cumplimiento y por el proyecto o memoria técnica. En cualquier caso, esta documentación comprenderá al menos los siguientes documentos:

- a) Documentos de origen, hoja de suministro y etiquetado.
- b) Copia del certificado de garantía del fabricante, de acuerdo con la Ley 23/2003, de 10 de julio, de garantías en la venta de bienes de consumo.
- c) Documentos de conformidad o autorizaciones administrativas exigidas reglamentariamente, incluida la documentación correspondiente al mercado CE, cuando sea pertinente, de acuerdo con las disposiciones que sean transposición de las Directivas Europeas que afecten a los productos suministrados.

Además, se incluirán las fotocopias de las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante de todos los componentes que integran la instalación.

Por motivos de seguridad y operación de los equipos, las indicaciones, instrucciones, etiquetas, etc. de los mismos estarán en idioma español.

## **4. Condiciones de ejecución y montaje de la instalación**

### **4.1. Condiciones generales**

La ejecución de la instalación Térmicas se realizará por empresas instaladoras autorizadas y se llevará a cabo con sujeción al proyecto o memoria técnica, según corresponda, y se ajustará a la normativa vigente. Esta documentación deberá estar disponible al momento de completarse la instalación.

Las modificaciones que se pudieran realizar al proyecto (o memoria técnica) deberán ser autorizadas y documentadas por el Ingeniero-Director de la obra, cuando la participación de este último sea preceptivo, previa conformidad de La Propiedad o titular de la instalación.

El instalador autorizado o el Ingeniero-Director de la obra, cuando la participación de este último sea preceptiva, realizarán los controles de recepción en obra de equipos y materiales, el control de la ejecución de la instalación y el control de la instalación terminada.

Asimismo, el funcionamiento de estas instalaciones no podrá dar origen a condiciones peligrosas de trabajo para el personal de mantenimiento y explotación de la misma

El transporte, manipulación y empleo de los materiales se hará de forma que no queden alteradas sus características ni sufran deterioro sus formas o dimensiones.

Los materiales situados en intemperie se protegerán contra los agentes ambientales, en particular contra el efecto de la radiación solar y la humedad.

Se incluirán todos los elementos necesarios de seguridad y protecciones propias de las personas, asegurando incluso la protección frente a contactos directos e indirectos, cortocircuitos, sobrecargas, así como otros elementos y protecciones que resulten de la aplicación de la legislación vigente.

Todos los componentes que sean suministrados con aislamiento de fábrica cumplirán su normativa específica en materia de aislamiento

## **4.2. Comprobaciones iniciales**

Se comprobará que todos los elementos y componentes de la instalación coinciden con su desarrollo en el proyecto, y en caso contrario se redefinirá en presencia de la Dirección Facultativa. Se marcará por Instalador autorizado y en presencia de la Dirección Facultativa el lugar de montaje los diversos componentes de la instalación.

## **4.3. Control durante la ejecución de la instalación**

Éste se realizará de acuerdo con las especificaciones técnicas del proyecto (o de la memoria técnica sustitutiva), y las modificaciones autorizadas por el instalador autorizado o el Ingeniero-Director de la obra, cuando la participación de este último sea preceptiva.

Se comprobará que la ejecución de la obra se realiza de acuerdo con los controles establecidos en el presente Pliego de Condiciones Técnicas.

Cualquier modificación o replanteo a la instalación que pudiera introducirse durante la ejecución de su obra, debe ser reflejada en la documentación de la obra.

Todas las pruebas se efectuarán en presencia del instalador autorizado o del Ingeniero-Director de la instalación cuando la participación de este último sea preceptiva, quien debe dar su conformidad tanto al procedimiento seguido como a los resultados obtenidos.

Los resultados de las distintas pruebas realizadas a cada uno de los equipos, aparatos o subsistemas, pasarán a formar parte de la documentación final de la instalación.

## **4.4. Montaje de los elementos**

### **4.4.1. Condiciones acústicas a satisfacer y contemplar en el montaje de los elementos**

Los equipos se instalarán sobre soportes elásticos antivibratorios cuando se trate de equipos pequeños y compactos. Cuando se trate de equipos que no posean una base propia y necesiten la alineación de sus componentes (por ejemplo, motor y ventilador o bomba), se necesitará una bancada suficientemente rígida para soportar los esfuerzos causados por el movimiento y de masa e inercia suficiente para evitar el paso de vibraciones al edificio.

Los equipos se conectarán a las conducciones mediante conexiones flexibles.

Se evitará el paso de las vibraciones de las conducciones a los elementos constructivos mediante sistemas antivibratorios como pasamuros, coquillas, manguitos elásticos, abrazaderas y suspensiones elásticas.

Para las tuberías empotradas se emplearán siempre envolturas elásticas.

Las tuberías vistas estarán recubiertas por un material que proporcione un aislamiento acústico a ruido aéreo mayor que 25 dB.

El anclaje de tubería se realizará a elementos constructivos de masa unitaria mayor que 150 kg/m<sup>2</sup>.

En conductos vistos se amortiguará adecuadamente la transmisión de ruido aéreo.

Los sistemas de conductos para el transporte de aire de ventilación y de acondicionamiento estarán aislados del ruido generado por los ventiladores y la misma circulación de aire mediante revestimientos interiores de material absorbente y/o atenuadores acústicos, dimensionados de manera que la atenuación sea mayor que 50 dB a la llegada a los elementos de difusión y retorno de aire.

Se evitará el empleo de revestimientos interiores en conductos de chapa por las siguientes razones:

- Dificultad que presentan para la instalación de registros de inspección, según la norma UNE-EN 12097
- Dificultad para efectuar las operaciones de limpieza interior

La difusión y el retorno de aire en los locales se harán mediante unidades terminales diseñadas de manera que el nivel generado de potencia sonora no supere los valores indicado en la ecuación (3.36) del apartado 3.4.3.2 del CTE.

#### **4.5. Señalización**

Toda la instalación térmica deberá estar correctamente señalizada y deberán disponerse las advertencias e instrucciones necesarias que impidan los errores de interpretación, maniobras incorrectas y contactos accidentales con puntos calientes, superficies frías y elementos en tensión o cualquier otro tipo de accidentes.

A este fin se tendrá en cuenta que todas las máquinas y aparatos principales, paneles de cuadros y circuitos, deben estar diferenciados entre sí con marcas claramente establecidas, señalizados mediante rótulos de dimensiones y estructura apropiadas para su fácil lectura y

comprensión. Particularmente deben estar claramente señalizados todos los elementos de accionamiento de los aparatos de maniobra y de los propios aparatos, incluyendo la identificación de las posiciones de apertura y cierre, salvo en el caso en el que su identificación pueda hacerse a simple vista.

## **5. Acabados, control y aceptación, medición y abono**

Para la **recepción provisional** de las obras una vez terminadas, el Ingeniero Director procederá, en presencia de los representantes del Contratista o empresa instaladora autorizada, a efectuar los reconocimientos y ensayos precisos para comprobar que las obras han sido ejecutadas con sujeción al presente proyecto y cumplen las condiciones técnicas exigidas.

### **5.1. Acabados**

Terminada la instalación térmica, se vigilará especialmente los siguientes apartados:

- Todos los materiales de la instalación quedarán protegidos frente a impactos, materiales agresivos, humedades y suciedad.
- Adecuada fijación a los paramentos-soporte, de los elementos de la instalación, evitándose ruidos y vibraciones, y comprobación de la correcta conexión a las redes.
- Inexistencia de interferencias con otros elementos constructivos, pudiendo deteriorar éstos últimos.
- Corrosión de las tuberías por falta de protección exterior, empleo de materiales no adecuados o por trabajar a temperaturas excesivas.
- Desprendimientos, por la sujeción inadecuada de los tubos.
- Daños en elementos estructurales, por apertura de huecos en vigas, ábacos, etc. por el paso de instalaciones a través de elementos o en zonas no previstas debido a un mal replanteo o improvisaciones de última hora.

### **5.2. Control y aceptación**

Controles durante la ejecución:

### **5.2.1. Controles funcionales en los sistemas de ventilación**

Comprobación que los equipos de la instalación cumple las exigencias de funcionamiento de las especificaciones del proyecto.

#### ***Trabajos preliminares.***

- Comprobación de la terminación de todos los trabajos de montaje e instalación.
- Puesta en marcha de los equipos.
- Efectuar ajustes y regulación de la instalación.
- Ensayo y funcionamiento del sistema completo.
- Ajuste y registro del equipo de seguridad.
- Ajuste de mandos automáticos.
- Determinación del aire impulsado en cada elemento terminal, con regulación eventual.
- Ajuste de la alimentación eléctrica según condiciones de diseño.
- Documento en el que se recogen los resultados de las pruebas realizados.
- Instrucciones para formar el personal encargado del manejo de la instalación.

#### ***Modo operativo de los controles funcionales (si procede).***

- Establecimiento de listado de verificaciones sobre todos los equipos.
- Extensión de los controles funcionales.
- Localización de los controles, acordándose previamente entre las partes interesadas.
- Instrucciones relativas al modo operar y lista de controles funcionales corrientes.

#### ***Dispositivos centrales, ventiladores.***

- Sentido de rotación de ventiladores.
- Regulación de velocidad o de caudal de aire de los ventiladores.
- Conmutador de puesta a cero.
- Puesta en marcha y parada de sistemas de regulación y mando de las compuertas.
- Sentido de movimiento de compuertas de hojas múltiples.
- Sentido de funcionamiento y de regulación de los dispositivos de mando.
- Dispositivos de seguridad de los motores de accionamiento.

#### ***Red de conductos.***

- Accesibilidad de la red de conductos.

### **5.3. Medición y abono**

Las conducciones se medirán y valorarán por metro lineal de longitud de iguales características, todo ello completamente colocado incluyendo el tubo, aislamientos, piezas de sujeción, bridas, acoplamientos elásticos, piezas especiales, etc., incluidas ayudas de albañilería cuando existan..

Los sistemas de conductos de aire, se medirán y valorarán por unidad instalada en cuanto a ventiladores centrífugos, piezas de conductos circulares, rejillas de impulsión, rejillas para fan-coils de techo, difusores, silenciadores, bocas de ventilación, toberas, unidades de tratamiento de aire, compuertas, registros. Por metro lineal, el conducto circular, los tubos flexibles. Por metro cuadrado, los conductos de chapa galvanizada, los conductos de lana mineral.

Los demás elementos de la instalación térmicas, por unidad totalmente colocada y comprobada incluyendo todos los accesorios y conexiones necesarios para su correcto funcionamiento.

## **6. Reconocimientos, pruebas y ensayos**

### **6.1. Reconocimiento de las obras**

Previamente al reconocimiento de las obras, el Contratista habrá retirado todos los materiales sobrantes, restos (a vertedero autorizado), embalajes, etc., hasta dejarlas completamente limpias y despejadas.

En este reconocimiento se comprobará que todos los materiales instalados coinciden con los admitidos por la Dirección Facultativa en el control previo efectuado antes de su instalación y que corresponden exactamente a las muestras que tenga en su poder, si las hubiera y, finalmente comprobará que no sufren deterioro alguno ni en su aspecto ni en su funcionamiento.

Análogamente se comprobará que la realización de la instalación ha sido llevada a cabo y terminadas, rematadas correcta y completamente.

## **6.2. Pruebas y ensayos**

Las pruebas de la instalación se efectuarán por la empresa instaladora, que dispondrá de los medios humanos y materiales necesarios para efectuar las pruebas parciales y finales de la instalación.

Todas las pruebas se efectuarán en presencia del instalador autorizado o del Ingeniero-Director de la instalación, cuando la participación de este último sea preceptiva, quien otorgará su conformidad tanto al procedimiento seguido como a los resultados obtenidos.

Los resultados de las distintas pruebas realizadas a cada uno de los equipos, aparatos o subsistemas, pasarán a formar parte de la documentación final de la instalación.

Si para extender el certificado de la instalación fuese necesaria disponer de energía para realizar pruebas, se solicitará, a la empresa suministradora de energía un suministro provisional para pruebas por el instalador autorizado o por el Ingeniero-Director de la instalación a los que se refiere este reglamento, y bajo su responsabilidad.

Después de efectuado el reconocimiento, se procederá a realizar las pruebas y ensayos por parte del Contratista que se indican a continuación con independencia de lo indicado con anterioridad en este Pliego de Condiciones Técnicas.

Se comprobará que los componentes del sistema instalados corresponden a las especificaciones técnicas de los fabricantes de los equipos.

Asimismo se comprobará que los componentes del sistema instalados coinciden con los que contempla el proyecto de ejecución.

Se controlará la conformidad con las reglas técnicas y reglamentos en vigor así como la accesibilidad del sistema en lo relativo al funcionamiento, la limpieza y el mantenimiento.

Se revisará la limpieza del sistema.

Se revisará que estén todos los documentos necesarios para realiza la puesta en funcionamiento del sistema.

### **6.2.1. Pruebas generales en sistemas de climatización y ventilación**

De forma genérica las pruebas serán las siguientes:

- Accesibilidad de los componentes para el funcionamiento y el mantenimiento.
- Estado de limpieza de los aparatos.
- Disposición de accesibilidad de las aberturas para la limpieza de los dispositivos y de

las redes de conductos.

- Protección prevista contra la corrosión de la estructura de montaje y de los apoyos.
- Dispositivos antivibratorios, sujeción de conductos, etc.
- Medidas tomadas de puerta a tierra de los componentes y del sistema de conductos.

#### ***Aparatos centrales, ventiladores.***

- Comprobación de la disposición lógica o no de los diversos elementos.
- Control de la placa de características. (Identificación de las prestaciones)
- Construcción.
- Instalación de los amortiguadores de vibraciones.
- Fijación del motor.
- Número de correas trapeciales.(incluyendo repuestos)
- Protección de la transmisión..
- Prueba de la velocidad del ventilador y del motor de acuerdo con las características de la placa de identificación.

#### ***Red de conductos.***

- Verificación de la calidad de los accesorios de conformidad con el contrato.
- Control del sellado del material del filtro.

## **7. Condiciones de mantenimiento y uso**

Las actuaciones de mantenimiento sobre la instalación serán independientes de las inspecciones periódicas que preceptivamente se tengan que realizar.

Las instalaciones mantendrán sus características originales. Si son necesarias reformas, éstas deben ser efectuadas por empresas autorizadas para ello de acuerdo a la normativa que proceda.

Los equipos que necesiten operaciones periódicas de mantenimiento, tales como elementos de medida, control, protección y maniobra, así como válvulas, compuertas, unidades terminales, que deban quedar ocultos, se situarán en espacios que permitan la accesibilidad.

Los conductos se emplazarán en lugares que permitan la accesibilidad a lo largo de su recorrido para facilitar la inspección de las mismas y de sus accesorios.

Si fuese necesario interrumpir el funcionamiento de un generador, por desarrollar operaciones de mantenimiento o reparación, por razones de seguridad o explotación, etc., también deberá interrumpirse el funcionamiento de todos los equipos accesorios y/o auxiliares directamente relacionados con el mismo.

En caso de contabilización del consumo mediante batería de contadores, los montantes, hasta cada derivación particular, se considerarán formando parte de la instalación general, a efectos de conservación y mantenimiento puesto que discurren por zonas comunes del edificio.

Los elementos y equipos de la instalación tales como el grupo de presión, los sistemas de tratamiento de agua o los contadores, se instalarán en locales cuyas dimensiones sean suficientes para que pueda llevarse a cabo su mantenimiento adecuadamente.

### **7.1. Conservación**

Se realizarán operaciones de mantenimiento de todos los equipos instalados y de los sistemas de control y regulación.

Será responsabilidad de la empresa mantenedora el suministro de los productos, material y herramientas necesarias para el mantenimiento. Asimismo será responsable del tratamiento de los residuos que se generen y de su traslado a vertedero autorizado o entrega a gestor autorizado.

### **7.2. Prevención de riesgos laborales**

Con el fin de prevenir los accidentes de trabajo y los riesgos para la salud de los operarios de las instalaciones y del personal de mantenimiento, limpieza y desinfección, la exposición a productos químicos y agentes físicos utilizados en el tratamiento de las instalaciones deben tomarse las siguientes precauciones.

Planificar y diseñar las tareas de revisión, mantenimiento, limpieza y desinfección de forma que los riesgos para los trabajadores sean mínimos, mediante procedimientos de trabajo escritos. Aquellas tareas en las cuales el riesgo pueda ser importante, como, por ejemplo, las que se realicen en espacios confinados, o las que impliquen la utilización de agentes químicos o la exposición a agentes físicos, no deben realizarse nunca en solitario. Aunque sean llevadas a cabo por un solo trabajador, siempre debe haber en las inmediaciones otra persona con los equipos de protección individual (EPI) y medios apropiados para que, en caso de producirse un accidente o una exposición excesiva, pueda socorrer al afectado sin que ella misma se exponga al riesgo.

Informar a los trabajadores sobre los riesgos a los que pueden verse expuestos y sobre los medios y medidas preventivas establecidas y adiestrarles en la ejecución segura de sus tareas y la observancia de las medidas de prevención.

Guardar los productos químicos en un almacén a ellos dedicado y deben existir normas escritas sobre su almacenamiento y manipulación, redactadas de acuerdo a las fichas de seguridad suministradas por los fabricantes.

Suministrar a los trabajadores equipos de protección individual acordes al riesgo al que puedan estar expuestos en la realización de sus tareas, que no supongan un riesgo o esfuerzo añadido o sean penosos de llevar.

Los trabajadores deben ser adiestrados en su uso, limpieza, descontaminación, mantenimiento y conservación adecuados. Es recomendable que existan procedimientos escritos para ello. De acuerdo a la tarea que se realice y a los riesgos derivados de la exposición a agentes químicos y biológicos, se recomienda la utilización de los equipos de protección individual que se señalan en la siguiente tabla.

TAREA	FACTOR DE RIESGO	EPI	
		Protección respiratoria	Ropa de protección
Revisión	Aerosol	Mascarilla autofiltrante contra partículas	No es necesaria
Limpieza y tratamiento químico en espacio bien ventilado	Aerosol y concentración baja de cloro u otros agentes químicos	Mascarilla con filtro contra partículas, gases y vapores	Traje completo resistente a agentes químicos, con protección de la cabeza, guantes, botas y gafas
Limpieza y tratamiento químico en espacio ventilado, sin movimiento de aire	Aerosol y concentración no muy alta de cloro u otros agentes químicos	Mascarilla completa con filtro contra partículas, gases y vapores	Traje completo resistente a agentes químicos, con protección de la cabeza, guantes, botas y gafas
Limpieza y tratamiento químico en espacio confinado	Aerosol y concentración alta de cloro u otros agentes químicos; posible falta de oxígeno	Equipo de protección respiratoria aislante autónomo, con adaptador facial tipo máscara completa	Traje completo resistente a agentes químicos, con protección de la cabeza, guantes, botas y gafas

### 7.3. Reparación. Reposición

Siempre que se revisen las instalaciones, se repararán los defectos encontrados y, en el caso que sea necesario, se repondrán las piezas que lo precisen.

Las averías de las instalaciones se repararán en su lugar de ubicación por el suministrador. Si la avería de algún componente no pudiera ser reparada en el domicilio del usuario, el componente deberá ser enviado al taller oficial designado por el fabricante por cuenta y a cargo del suministrador.

El suministrador realizará las reparaciones o reposiciones de piezas a la mayor brevedad posible una vez recibido el aviso de avería, pero no se responsabilizará de los perjuicios causados por la demora en dichas reparaciones siempre que sea inferior a 15 días naturales.

## **8. Condiciones de Índole facultativo**

### **8.1. Del titular de la instalación**

El titular, con la documentación justificativa que le fuere requerida por la Administración competente, deberá demostrar la disponibilidad de los terrenos o, en su caso, formular una declaración jurada en la que manifieste disponer de los permisos de paso y servidumbre de los particulares afectados en la realización de la instalación eléctrica, identificando a los mismos e incluyendo también a aquellos con los que no ha convenido tales permisos, en los términos definidos en el Anexo I del Decreto 161/2006.

El titular o Propiedad de una instalación eléctrica podrá actuar mediante representante, el cual deberá acreditar, para su actuación frente a la Administración, la representación con que actúa, de acuerdo con lo establecido en el artículo 32.3 de la Ley 30/1992, de 26 de noviembre, de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y del Procedimiento Administrativo Común.

### **8.2. De la dirección facultativa**

La Dirección Facultativa es la máxima autoridad en la obra o instalación. Con independencia de las responsabilidades y obligaciones que le asisten legalmente, será el único con capacidad legal para adoptar o introducir las modificaciones de diseño, constructivas o cambio de materiales que considere justificadas y sean necesarias en virtud del desarrollo de la obra. En el caso de que la dirección de obra sea compartida por varios técnicos competentes, se estará a lo dispuesto en la normativa vigente.

### **8.3. De la empresa instaladora o contratista**

La empresa instaladora o Contratista es la persona física o jurídica legalmente establecida e inscrita en el Registro Industrial correspondiente del órgano competente en materia de energía, que usando sus medios y organización y bajo la dirección técnica de un profesional realiza las actividades industriales relacionadas con la ejecución, montaje, reforma, ampliación, revisión, reparación, mantenimiento y desmantelamiento de las instalaciones eléctricas que se le encomiende y esté autorizada para ello.

Además de poseer la correspondiente autorización del órgano competente en materia de energía, contará con la debida solvencia reconocida por la Dirección Facultativa.

Tendrá obligación de extender un Certificado de Instalación (según modelo oficial) y un anexo de información (o manual de información e instrucciones) por cada instalación que ejecute, ya sea nueva o reforma de una existente.

#### **8.4. De la empresa mantenedora**

La empresa instaladora autorizada que haya formalizado un contrato de mantenimiento con el titular o Propietario de una instalación eléctrica, o el responsable del mantenimiento en una empresa que ha acreditado disponer de medios propios de automantenimiento, tendrá las siguientes obligaciones, sin perjuicio de las que establezcan otras legislaciones:

Mantener permanentemente las instalaciones en adecuado estado de seguridad y funcionamiento.

- a) Interrumpir el servicio a la instalación, total o parcialmente, en los casos en que se observe el inminente peligro para las personas o las cosas, o exista un grave riesgo medioambiental inminente. Sin perjuicio de otras actuaciones que correspondan respecto a la jurisdicción civil o penal, en caso de accidente deberán comunicarlo al Centro Directivo competente en materia de energía, manteniendo interrumpido el funcionamiento de la instalación, hasta que se subsanen los defectos que han causado dicho accidente.
- b) Atender con diligencia los requerimientos del titular para prevenir o corregir las averías que se produzcan en la instalación eléctrica.
- c) Poner en conocimiento del titular, por escrito, las deficiencias observadas en la instalación, que afecten a la seguridad de las personas o de las cosas, a fin de que sean subsanadas.
- d) Tener a disposición del órgano competente en materia de energía un listado actualizado de los contratos de mantenimiento al menos durante los CINCO (5) AÑOS inmediatamente posteriores a la finalización de los mismos.
- e) Comunicar al titular de la instalación, con una antelación mínima de UN (1) MES, la fecha en que corresponde realizar la revisión periódica a efectuar por un Organismo OCA, cuando fuese preceptivo.
- f) Comunicar al órgano competente en materia de energía, la relación de las instalaciones eléctricas en las que tiene contratado el mantenimiento que hayan superado en tres meses el plazo de inspección periódica oficial exigible.

- g) Asistir a las inspecciones derivadas del cumplimiento de la reglamentación vigente, y a las que solicite extraordinariamente el titular.
- h) Tener suscrito un seguro de responsabilidad civil que cubra los riesgos que puedan derivarse de sus actuaciones, mediante póliza por una cuantía mínima de 600.000 euros, cantidad que se actualizará anualmente según el IPC certificado por el Instituto Canario de Estadística (INSTAC).
- i) Dimensionar suficientemente tanto sus recursos técnicos y humanos, como su organización en función del tipo, tensión, localización y número de instalaciones bajo su responsabilidad.

### **8.5. De los organismos de control autorizado**

Un OCA es aquella entidad que realiza el ámbito reglamentario, en materia de seguridad industrial, actividades de certificación, ensayo, inspección o auditoria, en base a lo definido en el artículo 41 del Reglamento de las Infraestructuras para la Calidad y la Seguridad Industrial aprobado por Real Decreto 2.200/1995, de 28 de diciembre, autorizada en el campo de las instalaciones eléctricas e inscrita en el Registro Especial de esta Comunidad Autónoma.

### **8.6. Daños materiales**

Las personas físicas o jurídicas que intervienen en el proceso edificatorio responderán frente a la Propiedad y los terceros adquirentes de las obras o partes de las mismas, en el caso de que sean objeto de división, de los siguientes daños materiales ocasionados dentro de los plazos indicados, contados desde la fecha de recepción de la obra, sin reservas o desde la subsanación de éstas:

- a) Durante diez años, de los daños materiales causados en la edificación por vicios o defectos que afecten a la cimentación, los soportes, las vigas, los forjados, los muros de carga u otros elementos estructurales, y que comprometan directamente la resistencia mecánica y la estabilidad del mismo.
- b) Durante tres años, de los daños materiales causados en el edificio por vicios o defectos de los elementos constructivos o de las instalaciones que ocasionen el incumplimiento de los requisitos de habitabilidad del art. 3 de la L.O.E.

El Contratista también responderá de los daños materiales por vicios o defectos de ejecución que afecten a elementos de terminación o acabado de las obras dentro del plazo de un año.

## **8.7. Responsabilidad civil**

La responsabilidad civil será exigible en forma personal e individualizada, tanto por actos u omisiones de propios, como por actos u omisiones de personas por las que se deba responder. No obstante, cuando pudiera individualizarse la causa de los daños materiales o quedase debidamente probada la concurrencia de culpas sin que pudiera precisarse el grado de intervención de cada agente en el daño producido, la responsabilidad se exigirá solidariamente.

En todo caso, la Propiedad responderá solidariamente con los demás agentes intervinientes ante los posibles adquirentes de los daños materiales en la edificación ocasionados por vicios o defectos de construcción.

Sin perjuicio de las medidas de intervención administrativas que en cada caso procedan, la responsabilidad de la Propiedad que se establece en la Ley de Ordenación de la Edificación se extenderá a las personas físicas o jurídicas que, a tenor del contrato o de su intervención decisoria en la promoción, actúen como tales promotores bajo la forma de promotor o gestor de cooperativas o de comunidades de propietarios u otras figuras análogas.

Cuando el proyecto haya sido contratado conjuntamente con más de un ingeniero proyectista, los mismos responderán solidariamente. Los ingenieros proyectistas que contraten los cálculos, estudios, dictámenes o informes de otros profesionales, serán directamente responsables de los daños que puedan derivarse de su insuficiencia, incorrección o inexactitud, sin perjuicio de la repetición que pudieran ejercer contra sus autores.

El Contratista responderá directamente de los daños materiales causados en la obra por vicios o defectos derivados de la impericia, falta de capacidad profesional o técnica, negligencia o incumplimiento de las obligaciones atribuidas al Jefe de obra y demás personas físicas o jurídicas que de él dependan.

Cuando el Contratista subcontrate con otras personas físicas o jurídicas la ejecución de determinadas partes o instalaciones de la obra, será directamente responsable de los daños materiales por vicios o defectos de su ejecución, sin perjuicio de la repetición a que hubiere lugar.

El Contratista y el Ingeniero-Director de la ejecución de la obra que suscriban el certificado final de obra serán responsables de la veracidad y exactitud de dicho documento.

Quien acepte la Dirección Facultativa de una obra cuyo proyecto no haya elaborado él mismo, asumirá las responsabilidades derivadas de las omisiones, deficiencias o imperfecciones del proyecto, sin perjuicio de la repetición que pudiere corresponderle frente al ingeniero proyectista.

Cuando la Dirección Facultativa de obra se contrate de manera conjunta a más de un técnico, los mismos responderán solidariamente sin perjuicio de la distribución que entre ellos corresponda.

Las responsabilidades por daños no serán exigibles a los agentes que intervengan en el proceso edificatorio, si se prueba que aquellos fueron ocasionados fortuitamente, por fuerza mayor, acto de tercero o por el propio perjudicado por el daño.

Las responsabilidades a que se refiere este artículo se entienden sin perjuicio de las que alcanzan al vendedor de los edificios o partes edificadas frente al comprador conforme al contrato de compraventa suscrito entre ellos, a los artículos 1.484 y siguientes del Código Civil y demás legislación aplicable a la compraventa.

## **9. Condiciones de índole administrativo**

### **9.1. Documentación del proyecto**

El presente proyecto consta de los documentos y contenidos preceptivamente establecidos en las normativas específicas que le son de aplicación, y como mínimo contempla la documentación descriptiva, en textos y representación gráfica, de la instalación, de los materiales y demás elementos y actividades considerados necesarios para la ejecución de una instalación con la calidad, funcionalidad y seguridad requerida.

Estará integrado por el denominado “Trabajo de Fin de Grado”, que en el caso que nos ocupa tiene categoría de Proyecto.

El proyecto debe contener la siguiente documentación:

- a) Memoria descriptiva (titular, emplazamiento, tipo de industria o actividad, uso o destino del local y su clasificación, programa de necesidades, descripción pormenorizada de la instalación, presupuesto total).
- b) Memoria de cálculos justificativos.
- c) Estudio de Impacto Ambiental en la categoría correspondiente, si procede.

- d) Estudio de Seguridad y Salud o Estudio Básico de Seguridad y Salud (según corresponda de acuerdo con la normativa de seguridad laboral vigente).
- e) Planos a escalas adecuadas (situación, emplazamiento, alzados, plantas, distribución, secciones, detalles, croquis de trazados, etc.).
- f) Pliego de Condiciones Técnicas, Económicas, Administrativas y Legales.
- g) Estado de Mediciones y Presupuesto (mediciones, presupuestos parciales y presupuesto general).
- h) Separatas para Organismos, Administraciones o empresas de servicio afectadas.
- i) Otros documentos que la normativa específica considere preceptivos.

## **9.2. Planos**

Son los citados en la lista de Planos del presente proyecto, y los que se suministrarán durante el transcurso de la obra por la Dirección Técnica y Facultativa, que tendrán la misma consideración.

## **9.3. Especificaciones**

Son las que figuran en la Memoria Descriptiva y en los Pliegos de Condiciones Técnicas, así como las condiciones generales del contrato, juntamente con las modificaciones del mismo y los apéndices adosados a ellas, como conjunto de documentos legales.

## **9.4. Objeto de los planos y especificaciones**

Es el objeto de los planos y especificaciones mostrar al Contratista el tipo, calidad y cuantía del trabajo a realizar y que fundamentalmente consistirá en el suministro de toda la mano de obra, material fungible, equipos y medios de montaje necesarios para la apropiada ejecución del trabajo, mientras específicamente no se indique lo contrario. El Contratista realizará todo el trabajo indicado en los planos y descrito en las especificaciones así como todos los trabajos considerados como necesarios para completar la realización de las obras de manera aceptable, con la calidad que le fuere exigida y consistente, y a los precios ofertados.

## **9.5. Divergencias entre los planos y especificaciones**

Si existieran divergencias entre los planos y las especificaciones, regirán los requerimientos de éstas últimas y en todo caso, la aclaración que al respecto facilite el Ingeniero-Director.

## **9.6. Errores en los planos y especificaciones**

Cualquier error u omisión de importancia en los planos y especificaciones será comunicado inmediatamente al Ingeniero-Director que lo corregirá o aclarará con la mayor brevedad y por escrito, si fuese necesario. Cualquier trabajo hecho por el Contratista, tras el descubrimiento de tales discrepancias, errores u omisiones, se hará por cuenta y riesgo de éste.

## **9.7. Adecuación de planos y especificaciones**

La responsabilidad por la adecuación del diseño y por la insuficiencia de los planos y especificaciones se establecerá a cargo del Propietario. Entre los planos y especificaciones se establecerán todos los requisitos necesarios para la realización de los trabajos objeto del Contrato.

## **9.8. Instrucciones adicionales**

Durante el proceso de realización de las obras y montaje de las instalaciones, el Ingeniero-Director podrá dar instrucciones adicionales por medio de dibujos, esquemas o notas que aclaren con detalle cualquier dato confuso de los planos y especificaciones. Podrá facilitar, de igual modo, instrucciones adicionales necesarias para explicar o ilustrar los cambios en el trabajo que tuvieran que realizarse.

Asimismo el Ingeniero-Director, o la Propiedad a través del Ingeniero-Director, podrán remitir al Contratista notificaciones escritas ordenando modificaciones, plazos de ejecución, cambios en el trabajo, etc. El Contratista deberá ceñirse estrictamente a lo indicado en dichas órdenes. En ningún caso el Contratista podrá negarse a firmar el enterado de una orden o notificación. Si estimara oportuno efectuar alguna reclamación contra ella, deberá formularla por escrito al Ingeniero-Director, o a la Propiedad a través de escrito al Ingeniero-Director; dentro del plazo de diez (10) días de haber recibido la orden o notificación. Dicha reclamación no lo exime de la obligación de cumplir lo indicado en la orden, aunque al ser estudiada por el Ingeniero-Director pudiera dar lugar a alguna compensación económica o a una prolongación del tiempo de finalización.

## **9.9. Modificaciones y ampliaciones de las instalaciones y la documentación del proyecto**

### **9.9.1. Modificaciones y ampliaciones no significativas de la instalación**

En el caso de modificaciones o ampliaciones no sustanciales, quedarán reflejadas en la documentación técnica adscrita a la instalación correspondiente, tal que se mantenga permanentemente actualizada la información técnica. Dichas actualizaciones serán responsabilidad de la empresa instaladora autorizada, autora de las mismas.

### **9.9.2. Modificaciones y ampliaciones significativas de la instalación**

Cuando se trata de modificaciones o ampliaciones significativas supondrán la presentación de un nuevo Proyecto además de los otros documentos que sean preceptivos.

El técnico modificará o reformará el proyecto original correspondiente, justificando las modificaciones introducidas. En cualquier caso será necesario su legalización o autorización, según el procedimiento que proceda, en los términos que establece la normativa que le sea de aplicación.

Cuando se hayan ejecutado reformas sustanciales no recogidas en el Proyecto, la Administración o en su caso el OCA que intervenga, dictará Acta o Certificado de Inspección, según proceda, con la calificación de "negativo". Ello implicará que no se autorizará la puesta en servicio de la instalación o se declarará la ilegalidad de aquélla si ya estaba en servicio, todo ello sin perjuicio de las infracciones en que habrán incurrido los sujetos responsables, conforme a la Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria, y demás leyes de aplicación.

## **9.10. Documentación final**

Concluidas las obras, éstas deberán quedar perfectamente documentadas y a disposición de todos sus usuarios, incluyendo sus características técnicas, el nivel de calidad alcanzado, así como las instrucciones de uso y mantenimiento adecuadas a la misma, la cual contendrá como mínimo lo siguiente:

- a) *Documentación administrativa y jurídica*: datos de identificación de los profesionales y empresas intervinientes en la obra, acta de recepción de obra o documento equivalente, autorizaciones administrativas y cuantos otros documentos se determinen en la legislación.

- b) *Documentación técnica*: el Proyecto correspondiente, los certificados técnicos y de instalación, así como otra información técnica sobre la instalación, equipos y materiales instalados.
- c) *Instrucciones de uso y mantenimiento*: información sobre las condiciones de utilización de la instalación así como las instrucciones para el mantenimiento adecuado, que se plasmará en un "Manual de Instrucciones o anexo de Información al usuario". Dicho manual contendrá las instrucciones generales y específicas de uso (actuación), de seguridad (preventivas, prohibiciones) y de mantenimiento (cuáles, periodicidad, cómo, quién) necesarias e imprescindibles para operar y mantener, correctamente y con seguridad, la instalación, teniendo en cuenta el nivel de cualificación previsible del usuario final.

El reparto de responsabilidades en la elaboración de la citada documentación informativa, es el siguiente:

- El apartado a) será responsabilidad del Propietario o peticionario de la citada instalación, cuando sea distinto del usuario final.
- El apartado b) será responsabilidad del profesional que haya llevado la dirección de obra de la instalación y de la empresa instaladora autorizada.
- El apartado c) será responsabilidad de la empresa instaladora autorizada.

### **9.11. Certificado de dirección y finalización de obra**

Es el documento emitido por la Dirección Facultativa como Técnico competente, en el que certifica que ha dirigido personal y eficazmente los trabajos de la instalación proyectada, asistiendo con la frecuencia que su deber de vigilancia del desarrollo de los trabajos ha estimado necesario, comprobando finalmente que la obra está completamente terminada y que se ha realizado de acuerdo con las especificaciones contenidas en el proyecto de ejecución presentado, con las modificaciones de escasa importancia que se indiquen, cumpliendo, así mismo, con la legislación vigente relativa a los Reglamentos de Seguridad que le sean de aplicación.

Si durante la tramitación o ejecución del proyecto se procede al cambio del ingeniero-proyectista o de la Dirección Facultativa, este hecho deberá quedar expresamente reflejado en la documentación presentada por el peticionario ante la Administración, designando al nuevo técnico facultativo correspondiente. En el caso de que ello conlleve cambios en el proyecto

original, se acreditará la conformidad del autor del proyecto o en su defecto se aportará un nuevo proyecto.

El Certificado, una vez emitido, fechado y firmado por el técnico facultativo, perderá su validez ante la Administración si su presentación excede el plazo de UN (1) MES, contado desde dicha fecha. En tal caso se deberá expedir una nueva Certificación actualizada, suscrita por el mismo autor.

### **9.12. Libro de órdenes**

Si es necesario una Dirección Facultativa, ésta tendrá la obligación de contar con la existencia de un Libro de Órdenes donde queden reflejadas todas las incidencias y actuaciones relevantes en la obra y sus hitos, junto con las instrucciones, modificaciones, órdenes u otras informaciones dirigidas al Contratista por la Dirección Facultativa.

Dicho libro de órdenes estará en la oficina de la obra y será diligenciado y fechado, antes del comienzo de las mismas, por el Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Canarias (COIIC) y el mismo podrá ser requerido por la Administración en cualquier momento, durante y después de la ejecución de la instalación, y será considerado como documento esencial en aquellos casos de discrepancia entre la dirección técnica y las empresas instaladoras intervinientes.

El cumplimiento de las órdenes expresadas en dicho Libro es de carácter obligatorio para el Contratista así como aquellas que recoge el presente Pliego de Condiciones.

El contratista o empresa instaladora autorizada, estará obligado a transcribir en dicho Libro cuantas órdenes o instrucciones reciba por escrito de la Dirección Facultativa, y a firmar el oportuno acuse de recibo, sin perjuicio de la autorización de tales transcripciones por la Dirección en el Libro indicado.

El citado Libro de Órdenes y Asistencias se registrará según el Decreto 462/1971 y la Orden de 9 de Junio de 1971.

### **9.13. Incompatibilidades**

En una misma instalación u obra, no podrán coincidir en la misma persona física o jurídica, las figuras del Ingeniero-proyectista o Director de obra con la de instalador o empresa instaladora que esté ejecutando la misma.

#### **9.14. Instalaciones ejecutadas por más de una empresa instaladora**

En aquellas instalaciones donde intervengan, de manera coordinada, más de una empresa instaladora autorizada, deberá quedar nítidamente definida la actuación de cada una y en qué grado de subordinación. Cada una de las empresas intervinientes emitirá su propio Certificado de Instalación, para la parte de la instalación que ha ejecutado. La Dirección Facultativa recogerá expresamente tal circunstancia en el Certificado de Dirección y Finalización de obra correspondiente, indicando con precisión el reparto de tareas y responsabilidades.

#### **9.15. Subcontratación**

La subcontratación se podrá realizar pero siempre y de forma obligatoria entre empresas instaladoras autorizadas, exigiéndosele la autorización previa del Propietario.

Los subcontratistas responderán directamente ante la empresa instaladora principal, pero tendrán que someterse a las mismas exigencias de profesionalidad, calidad y seguridad en la obra que éste.

#### **9.16. Trabajos durante una emergencia**

En caso de una emergencia el Contratista realizará cualquier trabajo o instalará los materiales y equipos necesarios.

Tan pronto como sea posible, comunicará al Ingeniero-Director cualquier tipo de emergencia, pero no esperará instrucciones para proceder a proteger adecuadamente vidas y propiedades.

#### **9.17. Suspensión del trabajo por el propietario**

El trabajo o cualquier parte del mismo podrán ser suspendidos por el Propietario en cualquier momento previa notificación por escrito con cinco (5) días de antelación a la fecha prevista de reanudación del trabajo.

El Contratista reanudará el trabajo según notificación por escrito del Propietario, a través del Ingeniero-Director, y dentro de los diez (10) días siguientes a la fecha de la notificación escrita de reanudación de los trabajos.

Si el Propietario notificase la suspensión definitiva de una parte del trabajo, el Contratista podrá abandonar la porción del trabajo así suspendida y tendrá derecho a la indemnización correspondiente.

### **9.18. Derecho del propietario a rescisión del contrato**

El Propietario podrá rescindir el Contrato de ejecución en los casos escogidos en el capítulo correspondiente a las Condiciones de Índole Económica. y en cualquiera de los siguientes:

- Se declare en bancarrota o insolvencia.
- Desestime o viole cláusulas importantes de los documentos del contrato o instrucciones del Ingeniero-Director, o deje proseguir el trabajo de acuerdo con lo convenido en el Plan de obra.
- Deje de proveer un representante cualificado, trabajadores o subcontratistas competentes, o materiales apropiados, o deje de efectuar el pago de sus obligaciones con ello.

### **9.19. Forma de rescisión del contrato por parte de la propiedad**

Después de diez (10) días de haber enviado notificación escrita al Contratista de su intención de rescindir el contrato, el Propietario tomará posesión del trabajo, de todos los materiales, herramientas y equipos aunque sea propiedad de la Contrata y podrá finalizar el trabajo por cualquier medio y método que elija.

### **9.20. Derechos del contratista para cancelar el contrato**

El Contratista podrá suspender el trabajo o cancelar el contrato después de diez (10) días de la notificación al Propietario y al Ingeniero-Director de su intención, en el caso de que por orden de cualquier tribunal u otra autoridad se produzca una parada o suspensión del trabajo por un período de noventa (90) días seguidos y por causas no imputables al Contratista o a sus empleados.

### **9.21. Causas de rescisión del contrato**

Se considerarán causas suficientes de rescisión de contrato, las que a continuación se detallan:

- La muerte o incapacitación del Contratista.
- La quiebra del Contratista.

En estos dos casos, si los herederos o síndicos ofrecieran llevar a cabo las obras bajo las mismas condiciones estipuladas en el contrato, el Propietario puede admitir o rechazar el ofrecimiento, sin que este último caso tengan derecho aquellos a indemnización alguna.

- Alteraciones del contrato por las siguientes causas:
  1. La modificación del proyecto en forma tal que represente alteraciones fundamentales del mismo, a juicio del Ingeniero-Director, y en cualquier caso, siempre que la variación del presupuesto de ejecución, como consecuencia de estas modificaciones represente en más o menos el veinticinco por ciento (25%), como mínimo, del importe de aquel.
  2. La modificación de unidades de obra. Siempre que estas modificaciones representen variaciones, en más o menos, del cuarenta por ciento (40%) como mínimo de alguna de las unidades que figuren en las mediciones del proyecto, o más del cincuenta por ciento (50%) de unidades del proyecto modificadas.
- La suspensión de obra comenzada, y en todo caso, siempre que por causas ajenas a la Contrata no se de comienzo a la obra adjudicada dentro del plazo de tres meses a partir de la adjudicación; en este caso, la devolución de fianza será automática.
- La suspensión de obra comenzada, siempre que el plazo de suspensión haya excedido de un año.
- El no dar comienzo la Contrata a los trabajos dentro del plazo señalado en las condiciones particulares del proyecto.
- El incumplimiento de las condiciones del contrato, cuando implique descuido a mala fe, con perjuicio de los intereses de las obras.
- La terminación del plazo de la obra sin causa justificada.
- El abandono de la obra sin causa justificada.
- La mala fe en la ejecución de los trabajos.

### **9.22. Devolución de la fianza**

La retención del porcentaje que deberá descontarse del importe de cada certificación parcial, no será devuelta hasta pasado los doce meses del plazo de garantía fijados y en las condiciones detalladas en artículos anteriores.

### **9.23. Plazo de entrega de las obras**

El plazo de ejecución de las obras será el estipulado en el Contrato firmado a tal efecto entre el Propietario y el Contratista. En caso contrario será el especificado en el documento de la memoria descriptiva del presente proyecto.

#### **9.24. Daños a terceros**

El Contratista será responsable de todos los accidentes por inexperiencia o descuidos que sobrevinieran, tanto en las edificaciones e instalaciones, como en las parcelas contiguas en donde se ejecuten las obras. Será, por tanto, por cuenta suya el abono de las indemnizaciones a quien corresponda cuando ello hubiera lugar de todos los daños y perjuicios que puedan causarse en las operaciones de ejecución de dichas obras.

ESCUELA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA  
Y TECNOLOGÍA

Grado en Ingeniería Mecánica

# Presupuesto

## TRABAJO FIN DE GRADO

TÍTULO:

DISEÑO Y CÁLCULO DE SISTEMAS DE ASPIRACIÓN DE  
POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD EN ACTIVIDADES INDUSTRIALES

AUTOR:

Jairo Samuel Santana Rodríguez

TUTOR:

Alejandro Molowny López-Peñalver

# Presupuesto

Presupuesto ..... 3

## Presupuesto

El objeto de este documento es realizar una valoración económica para el estudio de un “Sistema de aspiración de polietileno de baja densidad en actividades industriales”. Se ha aproximado un presupuesto en el que se recoge una lista de los precios unitarios utilizados de los diferentes equipos necesarios para instalar un sistema similar al proyectado en el apartado de “Resultados finales” dentro de la memoria.

En este presupuesto tanto las medidas como los precios son cálculos aproximados.

En cada precio de partida está incluida la mano de obra, el material adicional necesario, los costes indirectos y un mantenimiento decenal.

PRESUPUESTO				
	Unidad	Medición	Precio Unitario	Total (€)
ml	Cinta transportadora horizontal e inclinada que eleve el residuo base 1,5 metros	26	880,00 €	22.880,00 €
UD	Campana cerrada de chapa de acero galvanizado que encierre todo el proceso de separación	4	137,13 €	548,52 €
ml	Conducto circular de pared simple helicoidal de acero galvanizado, de 175 mm de diámetro y 0,5 mm de espesor.	15	9,70 €	145,50 €
ml	Conducto circular de pared simple helicoidal de acero galvanizado, de 200 mm de diámetro y 0,5 mm de espesor.	15	10,95 €	164,25 €
ml	Conducto circular de pared simple helicoidal de acero galvanizado, de 250 mm de diámetro y 0,5 mm de espesor.	20	13,15 €	263,00 €
ml	Conducto circular de pared simple helicoidal de acero galvanizado, de 300 mm de diámetro y 0,5 mm de espesor.	45	15,83 €	712,35 €
ml	Conducto circular de pared simple helicoidal de acero galvanizado, de 355 mm de diámetro y 0,5 mm de espesor.	75	19,12 €	1.434,00 €
ml	Conducto circular de pared simple helicoidal de acero galvanizado, de 400 mm de diámetro y 0,5 mm de espesor.	50	21,72 €	1.086,00 €

ml	Conducto circular de pared simple helicoidal de acero galvanizado, de 450 mm de diámetro y 0,5 mm de espesor.	25	30,75 €	768,75 €
ml	Conducto circular de pared simple helicoidal de acero galvanizado, de 500 mm de diámetro y 0,5 mm de espesor.	50	33,07 €	1.653,50 €
ml	Conducto circular de pared simple helicoidal de acero galvanizado, de 560 mm de diámetro y 0,5 mm de espesor.	25	36,41 €	910,25 €
ml	Conducto circular de pared simple helicoidal de acero galvanizado, de 600 mm de diámetro y 0,5 mm de espesor.	50	39,87 €	1.993,50 €
Añadiendo un incremento del 15% en concepto de accesorios				
UD	Ventilador industrial axial 15kW junto con motor para su funcionamiento	4	7.665,69 €	30.662,76 €
UD	Prensa hidráulica horizontal que procesa 10 ton/h produciendo fardos de 1800mm x 1000	1	165.000,00 €	165.000,00 €
<b>TOTAL</b>				<b>228.222,38 €</b>

Presupuesto de ejecución material	228.222,38 €
Gastos Generales de Instalación (9%)	20.540,01 €
Beneficio industrial (6%)	13.693,34 €
Total parcial	262.455,74 €
IGIC (7%)	18.371,90 €
Presupuesto final	280.827,64 €

Por tanto, el presupuesto de instalación ascenderá a **doscientos ochenta mil ochocientos veintisiete euros con sesenta y cuatro céntimos** (280.827,64 €).



