

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la**  
**Producción**

“Modificación del Sistema de secado de Pintura en planta  
productora de accesorios para Automoción.”

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Examen Complexivo

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentado por:

Francisco Xavier Fuentes López

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2015

## AGRADECIMIENTO

A Dios, por sus bendiciones.

A mis padres, que hicieron posible mi educación y por sus consejos.

A mis amigos y ex compañeros de trabajo en España, que me abrieron sus puertas y compartieron conmigo su experiencia enriquecedora y que de una u otra manera colaboraron con la realización de este TFG.

# DEDICATORIA

A MAYRA, MI AMOR

A ADRIAN, MI HIJO

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

# TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

---

Ing. Jorge Silva León

---

Ing. Eduardo Donoso Pérez

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de examen complejo me corresponde exclusivamente; el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

---

Francisco X. Fuentes López

## RESUMEN

Un Grupo Internacional de automoción, decide realizar en una de sus plantas de España cambios y aumentos de producción de piezas plásticas para suministrarlas al resto de sus fábricas en toda España. Dentro de los cambios se incluye la optimización del consumo energético y como consecuencia, una mejora en los costos de operación y producción. El objetivo principal es crear un ahorro del consumo de energía en los sistemas existentes de suministro de aire caliente de los equipos de secado de piezas, que se calcula en 116k €/año usando gas natural y electricidad. Estos sistemas constan de un conjunto de ventiladores y resistencias eléctricas que generan un alto consumo de electricidad. El planteamiento de solución es cumplir dicho ahorro mediante un nuevo sistema que suministre el aire en las mismas condiciones y con menor consumo. Se realizó el diseño e instalación de un sistema de distribución de aire que incluyó el dimensionamiento y construcción de un generador de aire caliente, con características especiales de funcionamiento, respetando las directivas europeas 2009/142 y 90/396/CEE sobre aparatos de gas, que certifican su conformidad con el mercado "CE" en Europa. En este sistema, una vez instalado y funcionando, en dos meses de prueba se obtuvo un ahorro de 4,3k €/mes, o su proyección 51,9k €/año. La diferencia entre estos resultados puede deberse a que la calibración inicial del equipo no fue óptima, las condiciones

exteriores de temperatura, cambios en las jornadas de trabajo. No obstante, estos resultados están aprobados por el usuario final.

# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	II
ÍNDICE GENERAL	IV
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE PLANOS	XI
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	
1. GENERALIDADES	2
1.1 Descripción del Proceso de Pintura y secado.	2
1.2 Estado actual del proceso de secado en la planta.	2
1.3 Planteamiento del problema.	6
1.4 Recolección y toma de datos de condiciones del aire.	8
CAPÍTULO 2	
2. SOLUCIÓN PROPUESTA Y CÁLCULOS.	11
2.1 Método para optimización del consumo de electricidad de la Planta.	11
2.2 Selección y construcción del equipo generador de aire caliente.	14

	Pág.
2.3 Planteamiento del nuevo sistema de distribución de aire caliente en el proceso de secado.	16
CAPÍTULO 3	
3. EVALUACIÓN Y RESULTADOS.	21
3.1 Mediciones de consumo de gas natural del quemador.	21
3.2 Mediciones del consumo de energía eléctrica del equipo generador de aire caliente.	22
3.3 Evaluación final relación del estudio teórico inicial vs situación real final.	23
CAPÍTULO 4	
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	26
APÉNDICES	28
BIBLIOGRAFÍA	43

## ABREVIATURAS

AENOR	Asociación Española de Normalización y Certificación.
AISI	American Iron and Steel Institute. Normalización de la clasificación de los aceros.
B.O.E.	Boletín Oficial del Estado.
CEE	Comunidad de Estados Europeos.
CONAIF	Confederación Nacional de Asociaciones de Empresas de Fontanería, Gas, Calefacción, Climatización, Protección Contra Incendios, Electricidad y Afines.
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral.
RITE	Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.
TAE	Toma de Aire Exterior.

## SIMBOLOGÍA

$C$  = Caudal de aire a calentar en  $m^3/h$ .

€ = Euro – Unidad monetaria Europea.

k = kilo, prefijo para mil unidades.

Kcal = Kilo caloría, equivalente a 4,1868 Kilojoule.

Kcal/h = kilocaloría por hora.

Kcal/Kg-°C = Kilo caloría por Kilogramo por grado Celsius.

Kw = Kilowatt.

Kw-h = KiloWatt – hora.

Kw-h/m<sup>3</sup> = Kilowatt – hora por metro cúbico.

$\dot{m}$  = flujo másico.

mmc.a. = Milímetro de columna de agua.

m<sup>3</sup>/h = metro cúbico por hora.

m/s = metro por segundo.

Pa = Pascal.

$\dot{Q}$  = Potencia de calefacción.

T = Temperatura.

$\Delta T$  =Diferencial de temperatura del aire.

W/m-°K = Watt por metro por grado Kelvin.

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Foto 1.2-1. Equipo SILVER.	4
Foto 1.2-2. Equipo ILMBERGER.	4
Foto 1.2-3. Equipo SPRIMAG.	5
Foto 1.2-4. Equipo TAMBURO.	5
Foto 1.2-5. Línea de Secado en la Planta.	6
Figura 2.2-1. Esquema del Generador de Aire Caliente.	16
<b>Foto 1.1.</b> Módulo 1, Pantalla Antirradiación.	28
<b>Foto 1.2.</b> Módulo 1, Lado Aspiración y Filtros.	28
<b>Foto 1.3.</b> Detalle De Oscurecedor y Filtros.	29
<b>Foto 1.4.</b> Cámara De Combustión.	29
<b>Foto 1.5.</b> Intercambiador Calor.	30
<b>Foto 1.6.</b> Placa Quemador.	30
<b>Foto 1.7.</b> Detalle Entrada Quemador.	31
<b>Foto 1.8.</b> Modulo Ventilación.	31
<b>Foto 1.9.</b> Modulo Ventilación – Soporte Motor.	32
<b>Foto 1.10.</b> Ventilador.	32
<b>Foto 1.11.</b> Lado Aspiración Del Ventilador.	33
<b>Foto 1.12.</b> Pruebas Modulo Ventilación.	33
<b>Foto 3.1.</b> Detalle Conducto Circular.	38
<b>Foto 3.2.</b> Montaje Conducto Principal.	38

	Pág.
<b>Foto 3.3.</b> Ducto cercano a casa de máquinas.	39
<b>Foto 3.4.</b> Montaje Conducto Principal.	39
<b>Foto 3.5.</b> Detalle sondas de presión diferencial.	40
<b>Foto 3.6.</b> Tolva de conexión a Generador de Aire Caliente.	40
<b>Foto 3.7.</b> Conducto Principal.	41
<b>Foto 3.8.</b> Cuadro eléctrico Generador de aire caliente.	41
<b>Foto 3.9.</b> Equipos antes de la instalación.	42
<b>Foto 3.10.</b> Equipos con el nuevo conducto.	42

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 1.</b> Condiciones del aire a la descarga Interna del Equipo.	8
<b>Tabla 2.</b> Cálculo del Caudal de aire Requerido.	10
<b>Tabla 3.</b> Dimensionamiento del Conducto.	20
<b>Tabla 4.</b> Contabilización consumo y Gasto de Gas Natural.	21
<b>Tabla 5.</b> Contabilización consumo y gasto de Electricidad.	22

## ÍNDICE DE PLANOS

	Pág.
<b>Plano 2.1.</b> Instalación Sistema Ductos.	34
<b>Plano 2.2.</b> Casa de Máquinas del Generador de aire caliente.	35
<b>Plano 2.3.</b> Detalle de tramos de Conducto en Tabla 3.	35
<b>Plano 2.4.</b> Esquema de Generador de Aire Caliente.	36
<b>Plano 2.5.</b> Detalle de Ventilador.	36
<b>Plano 2.6.</b> Especificaciones Constructivas del Generador de aire Caliente.	37
<b>Plano 2.7.</b> Tabla Resumen de Pérdidas en el recorrido de Conductos.	37

## INTRODUCCIÓN

Conscientes con la globalización de las políticas de ahorro energético en la Industria a nivel mundial, una industria en España, filial de un grupo internacional con sede en Suecia, ha decidido realizar una apuesta por la innovación y diferenciación de sus productos de caucho-metal y dar un giro importante en su producción, tomando en consideración sus planes a futuro de desarrollo y progreso en su zona geográfica establecida. El objetivo principal que se plantea para este trabajo es la reducción del consumo de energía en la parte operativa del proceso de secado de piezas, mediante la sustitución de los sistemas individuales de calentamiento de aire existentes en cada uno de los equipos que forman parte de este proceso, y que usan energía eléctrica. Recolectando en sitio la información y datos necesarios de temperatura, velocidad y caudal de aire para poder evaluar y establecer, mediante conceptos de termodinámica, mecánica de fluidos, cálculos de potencia de calor y métodos para el dimensionamiento de ductos circulares, un sistema centralizado que genere un suministro de aire caliente, con la potencia de calor necesaria para que el aire sea calentado y entregado con las mismas condiciones en cada equipo independiente, tanto en temperatura como en caudal de aire y de esa forma cumplir el objetivo principal, incluyendo el uso de energías menos costosas, como lo es el gas natural; y al mismo tiempo, optimizar sus costos de operación y producción.

# CAPÍTULO 1

## 1. GENERALIDADES

### **1.1 Descripción del Proceso de Pintura y secado.**

Entre los diferentes procesos de la planta tenemos el de secado de pintura de piezas plásticas. Este proceso, se lo realiza por medio de una línea de producción en donde las piezas son ingresadas a un equipo especial y es secada en un periodo de tiempo corto con aire a 70°C, con una velocidad de aire determinada que no permite que la pintura sea removida y que su secado sea óptimo, evitando un descascaramiento posterior.

Dependiendo de la forma y el tamaño de las piezas, o del tipo de proceso de secado que requiera, las mismas son destinadas a diferentes tipos de equipos de secado en la planta.

### **1.2 Estado actual del proceso de secado en la planta.**

La planta de producción cuenta en la actualidad, para el proceso de secado, con equipos alemanes con medio uso en su vida útil. Estos equipos utilizan una recirculación de aire caliente, por medio de un ventilador centrífugo de media presión, el cual impulsa el aire a través

de resistencias eléctricas, para incrementar la temperatura y mantenerla a 70°C.

La planta al tener diferentes tipos y tamaños de piezas para el sector de automoción, mantiene en su línea cuatro diferentes tipos de equipos especiales de secado.

Entre estos equipos la planta cuenta con:

- 8 unidades de secado para piezas pequeñas y medianas, denominadas "SILVER".
- 1 unidad de secado para piezas medianas y grandes, denominada "ILMBERGER".
- 2 unidades de secado para piezas medianas denominadas "SPRIMAG".
- 3 unidades de secado para piezas pequeñas denominadas "TAMBURO".

Todas estas unidades tienen en su estructura de funcionamiento el sistema de recirculación y calentamiento de aire por medio de resistencias eléctricas con una potencia de 25 Kw cada una. Estos equipos ya tienen en su haber más de cinco años de funcionamiento en buenas condiciones. No obstante, la demanda de consumo de energía de cada uno de estos equipos es de aproximadamente 18Kw y el costo de la planilla de energía eléctrica es considerablemente alta.

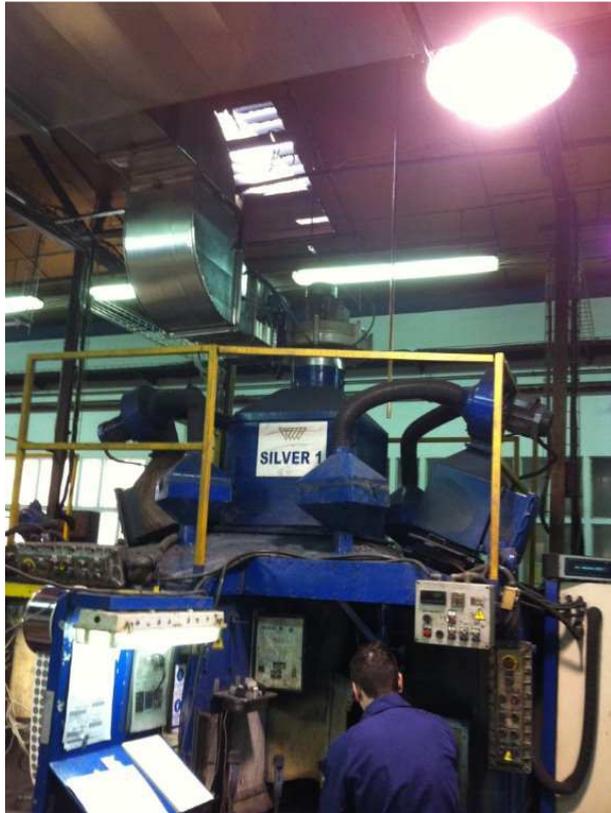


Foto 1.2-1. Equipo SILVER.



Foto 1.2-2. Equipo ILMBERGER.



Foto 1.2-3. Equipo PRIMAG.



Foto 1.2-4. Equipo TAMBURO.

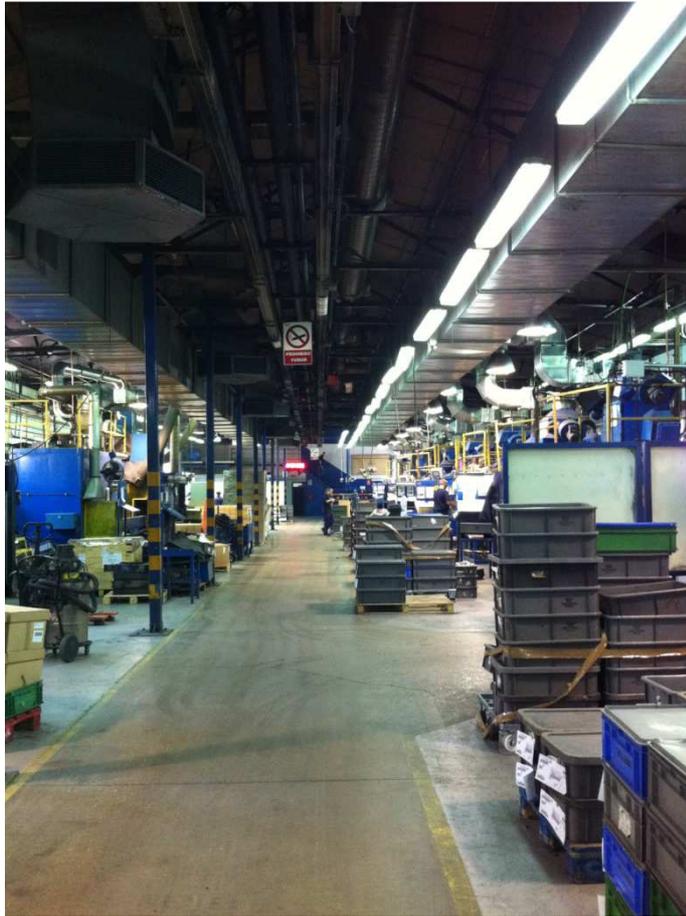


Foto 1.2-5. Línea de Secado en la Planta.

### **1.3 Planteamiento del problema.**

Esta empresa, como se lo mencionó anteriormente, se dedicaba a fabricar piezas antivibratorias de caucho para vehículos que vendía a los clientes finales, pero se decidió dar un giro a la actividad para mantener la planta. Desde ese momento entonces se ha convertido en suministradora del resto de fábricas del grupo en España, ya que ha dejado de montar las piezas finales para dedicarse sólo al tratamiento de parte las mismas.

El cambio que se quiere realizar en la actividad de la empresa, requiere de una inversión muy grande para mejoramiento de la maquinaria y optimización de los consumos de energía y costos de operación.

Adicionalmente, también se requiere un incremento de producción de las piezas tratadas, debido a que la demanda del producto preparado en esta planta se suministrará a todo el País. Parte de estos cambios incluye el incremento de 6 unidades de medio uso, denominadas "SILVER", compradas a una empresa alemana. La proyección plantea adicionalmente el incremento de la capacidad de trabajo en la planta a tres turnos de 8 horas diarias, por 289 días al año.

Este incremento sustancial en la producción, repercute también en un incremento del consumo de energía eléctrica y por ende en los gastos de operación de la planta.

Tomando en consideración que además de la energía eléctrica, la planta también utiliza gas natural para otros procesos y tienen capacidad de aumentar el uso del mismo a un precio de tarifa mucho menor que el de la energía eléctrica, se plantea resolver de alguna manera la sustitución de las resistencias eléctricas de estos equipos por un medio más eficiente y con menor consumo de energía.

#### 1.4 Recolección y toma de datos de condiciones del aire.

Una de las condiciones requeridas para la optimización del consumo de energía es el suministro de aire en las mismas condiciones de funcionamiento de los equipos actualmente instalados con un sistema alterno de calentamiento de aire.

Para esto, se realizó una visita a la planta para realizar mediciones del flujo de aire y temperaturas de todos los equipos.

En la tabla detallada a continuación se establecen los parámetros recogidos en sitio:

**Tabla 1.** Condiciones del aire a la descarga Interna del Equipo.

EQUIPO	TEMPERATURA °C	VELOCIDAD m/s	Diám. Salida mm	Cant. Salidas
SILVER 1	71	16.5	50	12
SILVER 2	72.5	16.9	50	12
SILVER 3	69.8	16.8	50	12
SILVER 4	70.2	17.1	50	12
SILVER 5	69.7	17.2	50	12
SILVER 6	69.8	17.5	50	12
SILVER 7	71	16.9	50	12
SILVER 8	72.3	17.2	50	12
ILMBERGER 1	70.2	17.3	80	10
SPRIMAG 1	68.5	17.5	80	8
SPRIMAG 2	70.5	17	80	10
TAMBURO 1	71.9	17	55	8
TAMBURO 2	72.2	16.9	55	8
TAMBURO 3	71.5	15	55	8

De acuerdo a los datos de la Tabla 1, se realizó un cálculo del caudal requerido para cada equipo de pintura tomando en consideración la sección de cada boquilla y la velocidad del aire en cada una de ellas. Es de recalcar que en cada boquilla se presentaron velocidades diferentes, pero la diferencia era mínima y por lo tanto el dato tomado es un promedio de todas las boquillas en cada equipo.

Se presenta como ejemplo de cálculo el caudal requerido para el equipo “SILVER 1”:

La velocidad promedio de este equipo es de 16.5 m/s

El diámetro de la boquilla es de 50 mm.

Teóricamente el caudal de un fluido se determina por la siguiente ecuación:

$$Q = 3600 \cdot V \cdot A \quad [1]$$

Donde:

$Q$  es el caudal de aire o fluido ( $m^3/h$ );

$V$  es la velocidad de paso del fluido ( $m/s$ ); y,

$A$  es la sección transversal por donde circula el fluido ( $m^2$ ).

La constante 3600 es el factor de conversión de segundos a hora.

Tomando los datos anteriores y considerando la boquilla como una sección circular:

$$A = \pi r^2$$

En este caso,

$$A = \pi (0.050/2)^2 \text{ m}^2 = \mathbf{0.00196 \text{ m}^2}$$

Entonces en la primera Fórmula tenemos:

$$Q = 3600 \text{ s/h} \times 16.5 \text{ m/s} \times 0.00196 \text{ m}^2 = \mathbf{116.64 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Como el equipo tiene 12 boquillas de salida, el equipo necesitará entonces:

$$Q = 116.64 \text{ m}^3/\text{h} \times 12 = \mathbf{1,399.68 \text{ m}^3/\text{h}}$$

En el caso práctico, se ha establecido un porcentaje adicional para el caudal de aire requerido como factor de seguridad ante cualquier pérdida de caudal en el sistema de conductos, tomando como valor final requerido para este equipo el de 1,500 m<sup>3</sup>/h.

Al realizar el cálculo similar para los demás equipos, obtenemos los resultados detallados en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Cálculo del Caudal de aire Requerido.

Equipo	Caudal Boquilla m <sup>3</sup> /h	Pérd. Presión /Boquilla		Caudal Equipo m <sup>3</sup> /h	Para Diseño m <sup>3</sup> /h
		mmc.a.	Pa		
SILVER 1	116.64	9.1	91	1,399.68	1,500
SILVER 2	119.46	9.1	91	1,433.52	1,500
SILVER 3	118.76	9.1	91	1,425.12	1,500
SILVER 4	120.88	9.1	91	1,450.56	1,500
SILVER 5	121.58	9.1	91	1,458.96	1,500
SILVER 6	123.71	9.1	91	1,484.52	1,500
SILVER 7	119.46	9.1	91	1,433.52	1,500
SILVER 8	121.58	9.1	91	1,458.96	1,500
SILVER 9 (Proyectado)					1,500
SILVER 10 (Proyectado)					1,500
SILVER 11 (Proyectado)					1,500
SILVER 12 (Proyectado)					1,500
SILVER 13 (Proyectado)					1,500
SILVER 14 (Proyectado)					1,500
ILMBERGER 1	313.06	5.4	54	3,130.60	3,400
SPRIMAG 1	316.68	5.4	54	2,533.44	2,600
SPRIMAG 2	307.63	5.4	54	3,076.30	3,400
TAMBURO 1	145.41	8.5	85	1,163.28	1,200
TAMBURO 2	144.55	8.5	85	1,156.40	1,200
TAMBURO 3	128.30	7.0	70	1,026.40	1,200
<b>TOTAL</b>					<b>34,000</b>

# CAPÍTULO 2

## 2. SOLUCIÓN PROPUESTA Y CÁLCULOS.

### **2.1 Método para optimización del consumo de electricidad de la Planta.**

Para la selección del sistema de calentamiento de aire para la planta, se ha considerado el uso de un equipo generador de aire caliente de combustión indirecta con quemador a gas natural, aprovechando que la planta cuenta con este servicio de red pública y tiene capacidad de expansión para la alimentación requerida por el nuevo sistema.

Tomando en consideración esta ventaja, se decide el uso de gas natural como energía para el calentamiento del aire. Primero, se debe establecer la capacidad calorífica que se requiere para poder sustituir las resistencias eléctricas de los equipos existentes.

La premisa de esta parte del estudio es la impulsión de un caudal de aire de 34.000 m<sup>3</sup>/h, a una temperatura de 70°C, sumando a esto el aprovechamiento de las energías residuales de calor generadas en la nave; esto es, realizar una mezcla de aire aprovechando el aire de expulsión de unos compresores de aire que utiliza la planta y de aire del exterior.

Adicionalmente, para el calentamiento del aire solo consideraremos la carga térmica sensible del aire a tratar.

El cálculo de esta potencia de calor se da por la fórmula:

$$\dot{Q} = 0.29 \cdot C \cdot \Delta T \quad [2]$$

Donde:

$\dot{Q}$  Potencia de calefacción en Kcal/h.

$C$  Caudal de aire a calentar en m<sup>3</sup>/h.

$\Delta T$  Diferencial de temperatura del aire (Temp. final – Temp. inicial) en °C.

0.29 es el valor resultante de multiplicar el calor específico del aire (0.24 Kcal/Kg-°C) por la densidad del aire (1,2 Kg/m<sup>3</sup>).

Considerando que existe mezcla de aire a la entrada del equipo, debemos calcular la temperatura inicial para este cálculo. Utilizando la siguiente fórmula:

$$\dot{m}_f \cdot T_f = \dot{m}_1 \cdot T_1 + \dot{m}_2 \cdot T_2 \quad [3]$$

Donde

$\dot{m}_f \cdot T_f$  Es el flujo másico total por la temperatura de mezcla.

$\dot{m}_1 \cdot T_1$  Es el flujo másico del aire de descarga de los compresores por la temperatura correspondiente.

$\dot{m}_2 \cdot T_2$  Es el flujo másico del aire del almacén por la temperatura correspondiente.

El flujo másico de un fluido es el producto del caudal por la densidad del mismo. Se asume que la densidad es constante, por lo tanto el flujo

másico podremos decir que es muy aproximado al caudal de aire para efectos de cálculo.

El caudal total a calentar es 34.000 m<sup>3</sup>/h; se tiene el dato de planta que el caudal de aire de descarga generado por los compresores de aire de la planta es de 12.700 m<sup>3</sup>/h a 50°C, temperatura medida in situ, y el caudal de aire necesario para completar lo tendremos que aspirar del exterior el cual se considera que está a 5°C.

Con estos datos despejamos la  $T_f$  de la ecuación anterior y nos queda:

$$T_f = \frac{12700 \cdot 50 + 21300 \cdot 5}{34000} = 21.8^\circ\text{C}$$

Entonces la potencia calórica necesaria será:

$$Q = 0.29 \times 34000 \times (70^\circ\text{C} - 21.8^\circ\text{C}) = \mathbf{522,240 \text{ kcal/h}}$$

o su equivalencia, **607 Kw**.

Se establece con esta potencia, el uso de un quemador a gas natural modulante o uno de tres etapas con una potencia nominal similar a la calculada.

## **2.2 Selección y construcción del equipo generador de aire caliente.**

Para la selección y construcción del generador de aire caliente se tiene que considerar los siguientes parámetros de diseño:

Caudal de aire: 34.000 m<sup>3</sup>/h ± 5%.

Capacidad Calorífica del Generador: 522.000 Kcal/hr ±10%.

Temperatura de Entrada de aire (Mezcla): 21°C ± 10%.

Temperatura de Salida de aire: 70°C ± 4%.

Presión Estática Disponible: 1800 Pa ± 10%.

El generador de aire caliente se plantea con la siguiente configuración:

Módulo 1: Aspiración de aire con sistema de filtración de partículas gruesas con eficacia G4 correspondiente a la Norma Europea EN-779, más un oscurecedor o pantalla anti radiación que evita que el calor radiado de la cámara de combustión afecte la vida útil de los filtros.

Módulo 2: Cámara de combustión indirecta para alta temperatura, fabricada en su totalidad de chapa de acero inoxidable AISI 310 de 1,5 mm de espesor. Incorpora en un solo cuerpo la cámara de combustión y el intercambiador de calor, con su correspondiente caja de humos y descarga de la chimenea de 350mm de diámetro. Incorpora tres

termostatos para una protección adecuada del equipo y para asegurar una distribución adecuada de la temperatura de consigna requerida en la impulsión de aire. El quemador de gas natural seleccionado es del tipo modulante y cumple con los requisitos mínimos establecidos en la directiva europea 90/396/CEE<sup>[4]</sup> sobre aparatos a gas.

Módulo 3: Sección de ventilación especial, con ventilador radial para proceso industrial de fabricante reconocido a nivel mundial. Ventilador tipo “Plug Fan” de proceso para alta temperatura y media presión, con marco de montaje aislado con fibra de vidrio tipo “Lana de roca” con terminación en pintura especial; estática y dinámicamente balanceado. Motor trifásico que cumple con eficiencia IE2<sup>[5]</sup> (motores de alta eficiencia) con protección IP55. El motor será controlado por medio de un variador de frecuencia. Incorpora en este módulo compuertas de regulación con servomotores controlados por un cuadro eléctrico central.

En base a estos requerimientos se ha dimensionado el equipo y se presenta el plano de construcción en la Figura 2.2-1.

Adicionalmente, se incorpora en la sección de apéndices todos los planos y detalles constructivos del mismo.

Finalmente el equipo en conjunto, cumple con los requisitos mínimos de la directiva europea 2009/142<sup>[6]</sup> relativa a los aparatos de gas; y, físicamente

quedó constituido como lo muestra la siguiente figura y sus correspondientes fotos en el Apéndice.

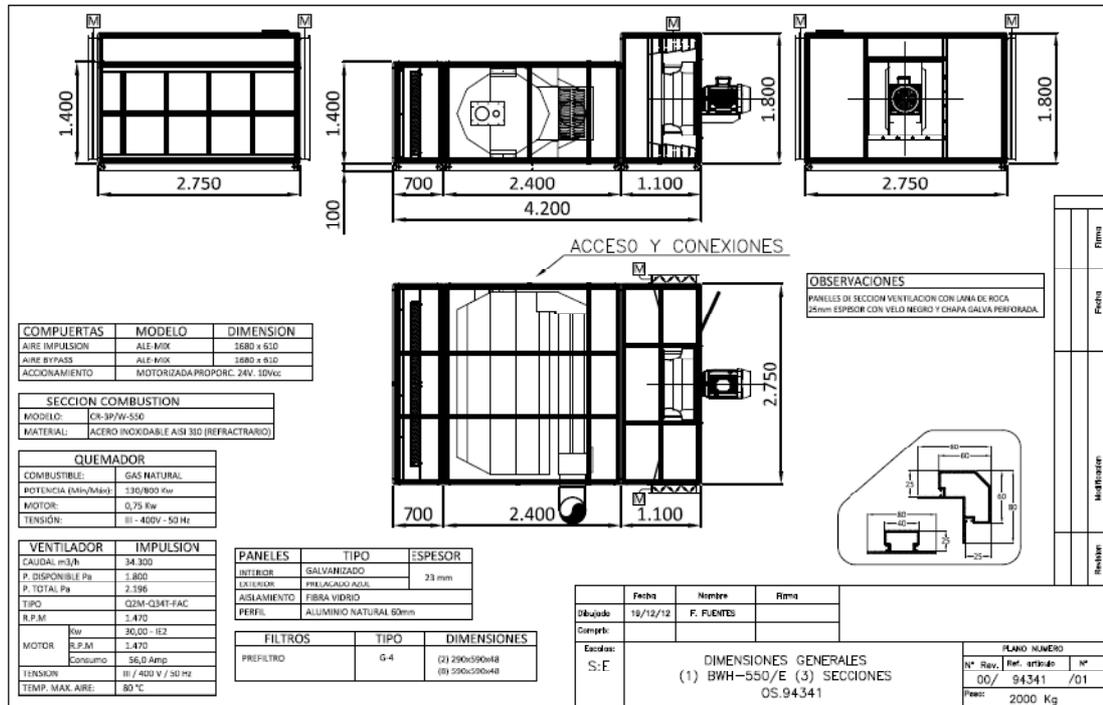


Figura 2.2-1. Esquema del Generador de Aire Caliente.

### 2.3 Planteamiento del nuevo sistema de distribución de aire caliente en el proceso de secado.

El sistema planteado consta del Generador de aire caliente especial descrito anteriormente que suministrará el aire caliente a 70°C y con una velocidad de salida en las boquillas de los equipos de secado entre 17 y 18 m/s.

Este generador, que llevará un quemador a gas modulante según la Instrucción Técnica IT1.2.4.1.2.3 del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios RITE<sup>[7]</sup>, estará ubicado dentro de un habitáculo a construirse sobre el cuarto de compresores, para poder aprovechar la temperatura del aire de descarga de estos. El aire caliente será impulsado a cada equipo de pintura por medio de un conducto circular fabricado en chapa de acero galvanizada y aislado térmicamente, para evitar pérdidas innecesarias debidas al largo recorrido de los conductos. Estos conductos fueron construidos con una configuración de doble tubo helicoidal, con una lámina de acero galvanizado interior de 0,5mm de espesor, aislamiento intermedio de lana de roca (fibra de vidrio) de 25 mm de espesor y conductividad térmica de 0.041W/m-°K, y lamina de acero galvanizada exterior de 0,5mm de espesor. El espesor y la conductividad térmica del aislamiento se seleccionó respetando los parámetros mínimos especificados en la Instrucción Técnica IT1.2.4.2.2 del RITE<sup>[8]</sup>.

La aspiración del aire del generador se realizará con una mezcla de aire exterior a través de una TAE (Toma de Aire Exterior – incluye malla anti-pájaros) con una compuerta de regulación manual; a su vez, se tomará también aire del almacén a través de una TAE y del aire de descarga de los compresores de la nave. Este aire pasará a través un

módulo de aspiración con filtros fácilmente desmontables de eficiencia G-4 y pantalla anti radiación térmica para protección de los filtros antes de pasar a la cámara de intercambio de calor. De esta manera se evita la entrada de impurezas y se alarga la durabilidad de los elementos filtrantes.

Este sistema será controlado por una serie de tres termostatos para asegurar que la temperatura de impulsión sea uniforme a unos 73°C, inclusive en el inicio de la jornada.

Para ello el equipo está dotado de un sistema de by-pass con compuertas motorizadas que recirculará el aire hasta alcanzar la temperatura deseada. Tanto tiempos como temperaturas se programarán con un termostato programable.

Se ha incorporado un variador de frecuencia en el motor del ventilador controlado por una sonda de presión diferencial para asegurar un caudal de aire y presión adecuados, en función de la cantidad de equipos de secado en operación.

El sistema de by-pass antes mencionado, será controlado adicionalmente por una segunda sonda de presión para evitar una sobrepresión en el conducto cuando la demanda de aire sea mínima.

El arranque y paro del sistema estará gobernado por un cuadro eléctrico externo al equipo, ubicado dentro del cuarto de compresores de aire de la planta y que se encuentra adyacente a la nueva sala de máquinas planteada.

En cada equipo de secado, dependiendo si se encuentra en operación o no, se controlará el ingreso de aire caliente por medio de una compuerta de regulación Todo-Nada accionada desde una sonda de temperatura instalada junto a cada equipo.

Para el dimensionamiento de los conductos antes mencionados se establecen los siguientes criterios de diseño:

Velocidad en conductos principal: 15m/s.

Velocidad en conductos secundarios o ramales: 9,5m/s Máximo.

Los diámetros utilizados en los conductos de aire están resumidos en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Dimensionamiento del Conducto.

TRAMO	Caudal m <sup>3</sup> /h	Diám. Equiv. mm	Velocidad m/s	Pérdida Presión mm c.a./m
TRAMO A	34000	900	15.0	0.23
TRAMO B1	27000	800	14.2	0.23
TRAMO B2	24400	800	13.0	0.19
TRAMO B3	21400	800	11.4	0.15
TRAMO C1	18400	700	13.0	0.23
TRAMO C2	13500	700	9.6	0.13
TRAMO D1	12000	600	11.8	0.23
TRAMO D2	9000	600	8.8	0.13
TRAMO E1	6000	500	8.4	0.15
TRAMO E2	3000	500	4.3	0.04
RAMAL ILMBERGER	3400	400	7.4	0.15
RAMAL TAMBURO	3600	400	7.8	0.17
RAMAL TAMBURO IND	1200	300	4.7	0.09
RAMAL SPRIMAG 3	2600	355	7.0	0.15
RAMAL SILVER	1500	300	6.0	0.15
RAMAL SPRIMAG 2	3400	400	7.4	0.15

Para la referencia de los tramos de ductos hay que referirse al plano de la instalación incluida en los apéndices.

Para la selección del Ventilador se debe tomar en cuenta la pérdida de presión estática generada en el interior del generador y la pérdida generada por el recorrido de los conductos. El cálculo para la pérdida de presión en conductos se realizó por el método de recuperación estática tomando en consideración el recorrido más largo del conducto. En el apéndice se muestra la tabla resumen con los valores obtenidos para la presión estática que el ventilador del generador requiere.

# CAPÍTULO 3

## 3. EVALUACIÓN Y RESULTADOS.

Una vez instalado el nuevo sistema y luego de las calibraciones correspondientes de temperaturas y caudal de aire, se realizaron mediciones de consumo cada 21 días, considerando 2 meses de operación. Se instalaron medidores de gas y de electricidad independientes del resto de la planta, de acuerdo a la instrucción IT1.2.4.4 del RITE<sup>[10]</sup> referente a contabilización de consumos.

### 3.1 Mediciones de consumo de gas natural del quemador.

En la tabla siguiente se resumen los datos obtenidos con el consumo de gas con el sistema trabajando con 9 equipos de secado. Se realizó el monitoreo del consumo con esta cantidad de equipos como prueba inicial de los costos generales de la planta remodelada y por indicaciones del cliente final.

**Tabla 4.** Contabilización consumo y Gasto de Gas Natural.

Fecha de Lectura	Lectura medidor m <sup>3</sup>	Consumo m <sup>3</sup>	Pago Gas €
02 junio 2014 (inicial)	350		
23 junio 2014	5,945	5,595	3,176.85
14 julio 2014	11,431	5,486	3,114.96
<b>promedio de consumo</b>		<b>5,541</b>	<b>3,146.18</b>

A este gasto se debe incrementar el costo de la electricidad del equipo.

### 3.2 Mediciones del consumo de energía eléctrica del equipo generador de aire caliente.

En la tabla siguiente se resumen los datos obtenidos con el consumo de gas con el sistema trabajando con 9 equipos.

**Tabla 5.** Contabilización consumo y gasto de Electricidad.

Fecha de Lectura	Lectura medidor Kw-h	Consumo Kw-h	Pago elec. €
02 junio 2014 (inicial)	748		
23 junio 2014	7,679	6,931	693.10
14 julio 2014	14,583	6,904	690.40
<b>promedio de consumo</b>		<b>6,918</b>	<b>691.80</b>

El costo total de la nueva instalación tomando en consideración el promedio de los dos meses de operación en pruebas es de:

$$3.146,18 + 691,80 \text{ €/mes} = \mathbf{3.837,98\text{€/mes}}$$

Calculando el costo teórico de los 9 equipos a 100% de operación de los mismos obtenemos:

$$18 \text{ Kw/un} \times 9 \text{ un} \times 24\text{h/día} \times 1,00 \text{ rdto} \times 21 \text{ días} = 81.648 \text{ Kw-h}$$

$$\text{Costo electricidad: } 0,1\text{€/Kw-h (Tarifa local)}$$

$$81.648 \text{ Kw-h} \times 0,1\text{€/Kw-h} = \mathbf{8.165\text{€/mes}}$$

Con estos valores tenemos un ahorro de 4.327,02 €/mes y proyectado a un año obtendríamos 51.924,24 euros, que porcentualmente representa un 53% de ahorro.

### **3.3 Evaluación final relación del estudio teórico inicial vs situación real final.**

El estudio teórico del ahorro de energía se los resume de la siguiente manera:

#### **Consumo esperado con el sistema actual:**

Debemos tener presente que al instalar el nuevo sistema, tendremos una reducción del consumo eléctrico al eliminar las resistencias de los equipos actuales, que consideramos es de 18 Kw por máquina aproximadamente.

Tomando en consideración un funcionamiento al 80% de producción, 24 horas al día por 289 días por año, traducimos esto a cifras, obteniendo el costo energético estimado de la siguiente manera:

Costo electricidad: 0,1€/Kw-h (Tarifa local)

Consumo electricidad es:

$18 \text{ Kw/un} \times 20 \text{ un} \times 24\text{h/día} \times 0,80 \text{ rdto} \times 289 \text{ días} = 1'997.568 \text{ Kw-h}$

Factura de Electricidad =  $1'997.568 \text{ Kw-h} \times 0,1 \text{ €/ Kw-h} = 199.757 \text{ €/año}$

**Gasto total del consumo energético proyectado: 199.757 €/año.**

#### **Consumo esperado con el sistema nuevo:**

##### **Consumo de Gas del nuevo sistema:**

Equipo trabaja con 522.000 Kcal/h, el poder calorífico del gas natural es 11.500 Kcal/h-m<sup>3</sup> [9], Entonces el gasto de gas estimado es de 45,39m<sup>3</sup>/h.

Suponiendo que la planta trabajará a un 80% de su capacidad de producción (paradas técnicas, averías, limpieza...), con un uso de 24 horas diarias del equipo y un uso del quemador del 50% del tiempo. El consumo de gas es de:

$$45,39 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,50 \text{ funcionamiento quemador} \times 24\text{h/día} \times 0,80\text{rdto} \times 289 \text{ dd} \\ = 125.930 \text{ m}^3 / \text{año}$$

Factor consumo (Tarifación) 11,356 Kw-h/m<sup>3</sup>

Costo de Facturación (Tarifa local)= 0,05€/Kw-h

$$\text{Factura gas} = 125.930 \times 11,356 \times 0,05\text{€/Kw-h} = 71.503 \text{ €} / \text{año}$$

#### **Consumo de luz del nuevo sistema:**

El equipo trabaja con un motor del ventilador de 30Kw y el motor del quemador de 0,75Kw. Respecto al motor eléctrico del ventilador, al incorporar un variador de frecuencia, estimamos un consumo medio del 70% de la potencia máxima, es decir, 21Kw.

Manteniendo las mismas condiciones de trabajo 80% de capacidad por 24h durante 289 días al año.

Costo electricidad: 0,1€/Kw-hr (Tarifa local)

Consumo de electricidad es:

$$(0,75+21) \text{ Kw} \times 24\text{h/día} \times 0,80 \text{ rdto} \times 289 \text{ dd} = 120.686 \text{ Kw-hr.}$$

$$\text{Factura de electricidad} = 120.686 \text{ Kw-hr} \times 0,1 \text{ €/Kw-hr} = 12.068 \text{ €} / \text{año.}$$

**Gasto total estimado con el nuevo sistema = 83.571 €/año.**

La diferencia de gastos del sistema actual contra el sistema nuevo, sería de:

$199.757 \text{ €/año} - 83.571 \text{ €/año} = \mathbf{116.186 \text{ euros anuales}}$ .

Esto representa el 58,2% de ahorro en los costos de energía.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Después de la evaluación realizada a los resultados, podemos tener las siguientes conclusiones:

Tenemos una diferencia en cuanto al porcentaje de ahorro entre lo que se cálculo teóricamente antes de la instalación y el consumo aproximado con la instalación ya realizada. Esta desviación es de aproximadamente 9%.

Hay factores que influyen en esta diferencia, principalmente se encuentra el hecho de que el sistema fue probado solo con 9 equipos de secado y por un periodo de 21 días por mes, cuando lo correcto hubiera sido realizar pruebas con un 80% de los equipos y trabajando 24 días por mes para aproximarnos más a los 289 días por año del cálculo teórico.

También podemos incluir entre estos factores, la calibración realizada al sistema de calefacción, esta no pudo ser la óptima debido a que recién se estaban realizando las pruebas de funcionamiento. Puede incluirse también a las condiciones exteriores del aire que pudieron afectar a la temperatura de mezcla ingresada al equipo.

El ahorro inicial del 53% en consumo de energía, establece un buen parámetro de optimización en los costos de operación de la planta, teniendo la aprobación final del cliente.

Entre las recomendaciones podemos mencionar:

Se deberían realizar nuevas pruebas de consumo con mayores periodos de tiempo y un mayor número de equipos funcionando para acercarse a las condiciones establecidas en el cálculo teórico.

Realizar una medición de consumos y cálculos de gasto energético a la finalización del primer año de funcionamiento del equipo, para hacer una evaluación y compararla con el cálculo teórico.

Se recomienda adicionalmente, que el personal técnico de la planta tenga especial cuidado en la programación del mantenimiento del equipo y los componentes del sistema instalado, para que el rendimiento de funcionamiento del generador de aire sea el más óptimo.

## APÉNDICES

### APÉNDICE 1 – FOTOS DE EQUIPO.



**Foto 1.1.** Módulo 1, Pantalla Antirradiación.



**Foto 1.2.** Módulo 1, Lado Aspiración y Filtros.



**Foto 1.3.** Detalle De Oscurecedor y Filtros.



**Foto 1.4.** Cámara De Combustión.



**Foto 1.5.** Intercambiador Calor.



**Foto 1.6.** Placa Quemador.



**Foto 1.7.** Detalle Entrada Quemador.



**Foto 1.8.** Módulo Ventilación.



**Foto 1.9.** Módulo Ventilación – Soporte Motor.



**Foto 1.10.** Ventilador.

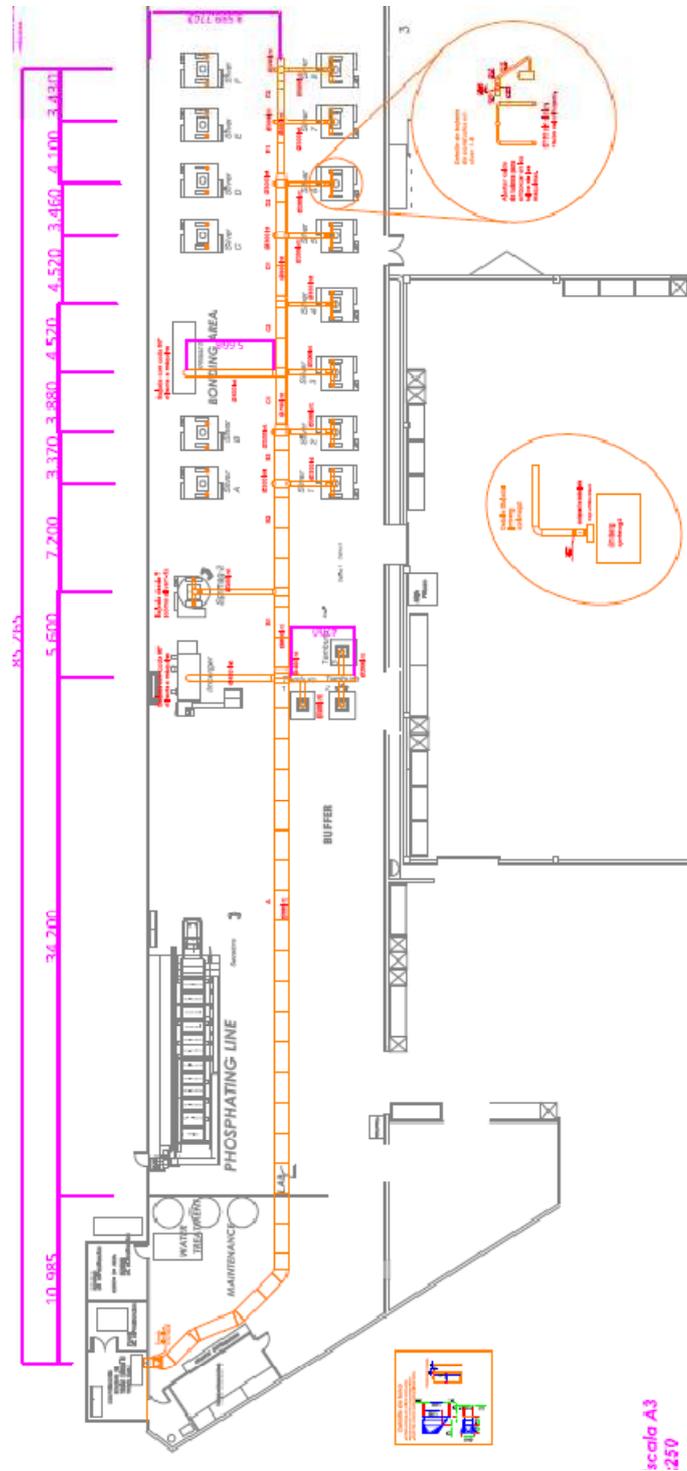


**Foto 1.11.** Lado Aspiración Del Ventilador.

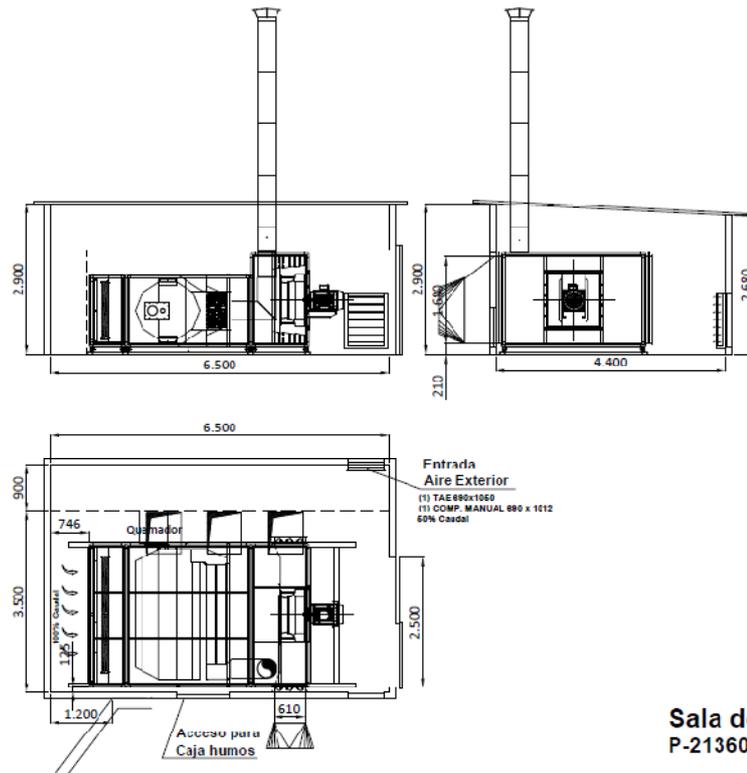


**Foto 1.12.** Pruebas Módulo Ventilación.

## APÉNDICE 2 – PLANOS DE LA INSTALACIÓN

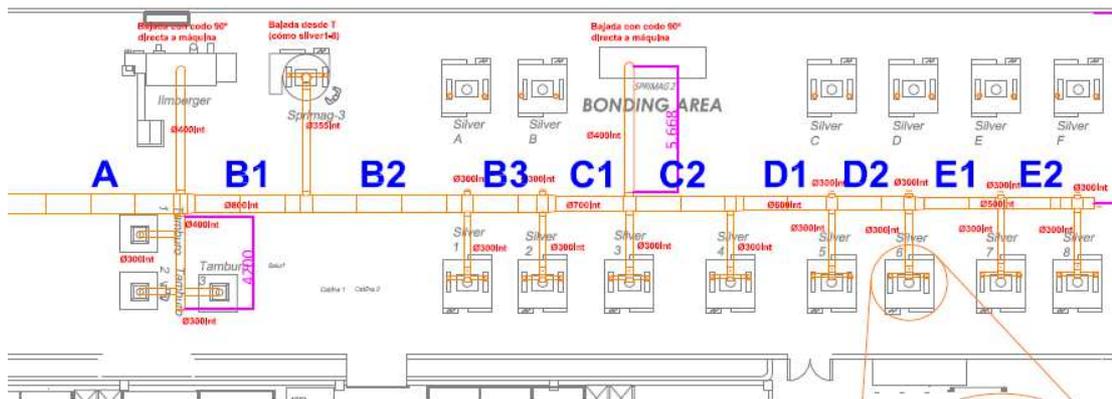


**Plano 2.1.** Instalación Sistema Ductos.

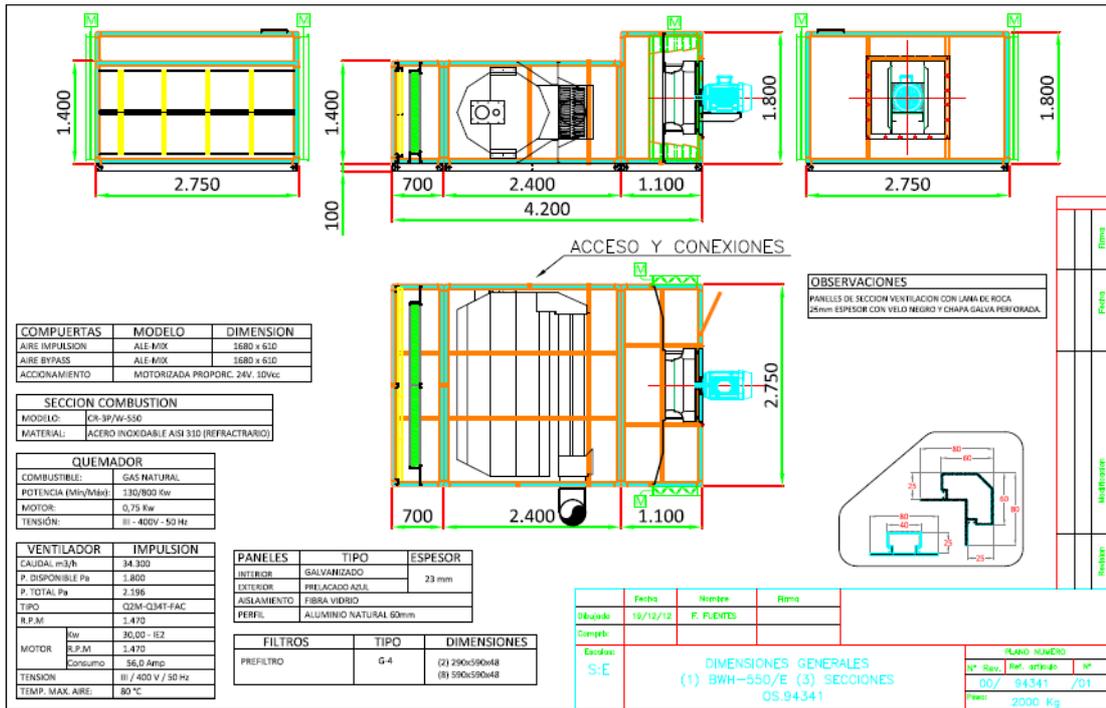


**Sala de Máquinas**  
P-21360-V11/11

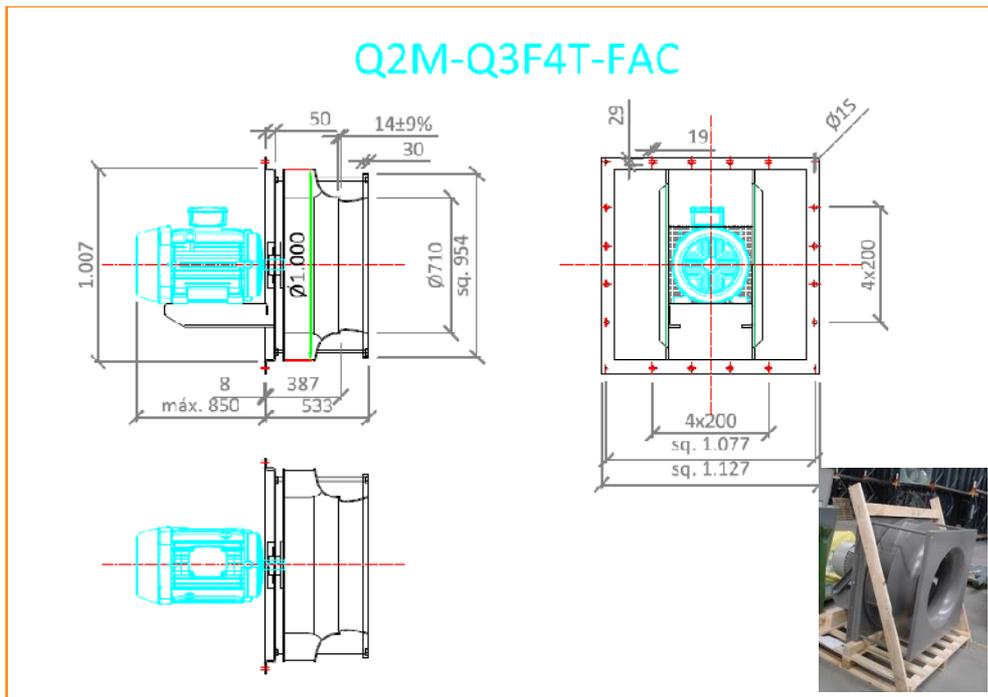
**Plano 2.2.** Casa de Máquinas del Generador de aire caliente.



**Plano 2.3.** Detalle de tramos de Conducto en Tabla 3.



Plano 2.4. Esquema de Generador de Aire Caliente.



Plano 2.5. Detalle de Ventilador.

COMPUERTAS	MODELO	DIMENSION
AIRE IMPULSION	ALE-MIX	1680 x 610
AIRE BYPASS	ALE-MIX	1680 x 610
ACCIONAMIENTO	MOTORIZADA PROPORC. 24V. 10Vcc	

SECCION COMBUSTION	
MODELO:	CR-3P/W-550
MATERIAL:	ACERO INOXIDABLE AISI 310 (REFRACTARIO)

QUEMADOR	
COMBUSTIBLE:	GAS NATURAL
POTENCIA (Mín/Máx):	130/800 Kw
MOTOR:	0,75 Kw
TENSION:	III - 400V - 50 Hz

VENTILADOR	IMPULSION	
CAUDAL m <sup>3</sup> /h	34.300	
P. DISPONIBLE Pa	1.800	
P. TOTAL Pa	2.196	
TIPC	Q2M-Q34T-FAC	
R.P.M	1.470	
MOTOR	Kw	30,00 - E2
	R.P.M	1.470
	Consumo	56,0 Amp
TENSION	III / 400 V / 50 Hz	
TEMP. MAX. AIRE:	80 °C	

PERFIL DE ALUMINIO BASTIDOR

PANELES	TIPO	ESPESOR
INTERIOR	GALVANIZADO	23 mm
EXTERIOR	PRELACADO AZUL	
AISLAMIENTO	FIBRA VIDRIO	
PERFIL	ALUMINIO NATURAL 60mm	

**OBSERVACIONES**

PANELES DE SECCION VENTILACION CON LANA DE ROCA 25mm ESPESOR CON VELO NEGRO Y CHAPA GALVA PERFORADA.

FILTROS	TIPO	DIMENSIONES
PREFILTRO	G-4	(2) 290x590x48 (8) 590x590x48

## Plano 2.6. Especificaciones Constructivas del Generador de aire Caliente.

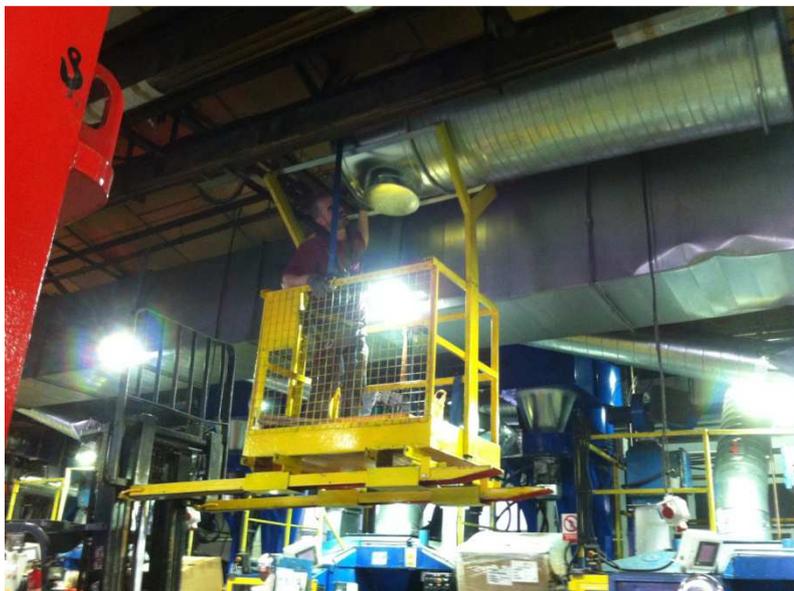
TRAMO	CAUDAL [m <sup>3</sup> /h]	DIAMETRO [mm]	VELOC. [m/s]	PERDIDA UNIT (mmc.a.)/ m ducto	CONDICION	LONG EQUIV. [m]	PERDIDA PRESION [Pa]	RECUP ESTATICA [Pa]	PERDIDA PARCIAL [Pa]	PERDIDA TOTAL [Pa]
Salida Equipo	34000	1680x610	9.2							
Tolva Red.	34000				reduccion a 30°; p=0.311(hv <sup>2</sup> -hv <sup>1</sup> )		27	0	27	27
TRAMO A	34000	900	15.0	0.23		55				
4 codos 45°					R/D=1,5; L/D=6	21.6				
					long equiv total	76.6	176.18	0	176.18	203.18
TRAMO B1	27000	800	14.2	0.23		6	13.8	-14.016	-0.216	202.964
TRAMO B2	24400	800	13.0	0.19		7.5	14.25	-19.584	-5.334	197.63
TRAMO B3	21400	800	11.4	0.15		4	6	-23.424	-17.424	180.206
TRAMO C1	18400	700	13.0	0.23		4	9.2	23.424	32.624	212.83
TRAMO C2	13500	700	9.6	0.13		5	6.5	-46.104	-39.604	173.226
TRAMO D1	12000	600	11.8	0.23		5	11.5	28.248	39.748	212.974
TRAMO D2	9000	600	8.8	0.13		4	5.2	-37.08	-31.88	181.094
TRAMO E1	6000	500	8.4	0.15		5	7.5	-4.128	3.372	184.466
TRAMO E2	3000	500	4.3	0.04		5	2	-31.4985	-29.4985	154.968
RAMAL Silver	1500	300	6.0	0.15		20	30		30	184.968
SALIDA Silver	1500	12ux50	17		12 Boquillas 91		1092		1092	1276.97
<b>Pérdida Conductos a través del Recorrido más largo</b>										<b>1276.97</b>
Pérdida Presión interna Generador										450
<b>Presión Estática Disponible para selección de Ventilador</b>										<b>1726.97</b>

## Plano 2.7. Tabla Resumen de Pérdidas en el recorrido de Conductos.

## APÉNDICE 3 – FOTOS DE LA INSTALACION



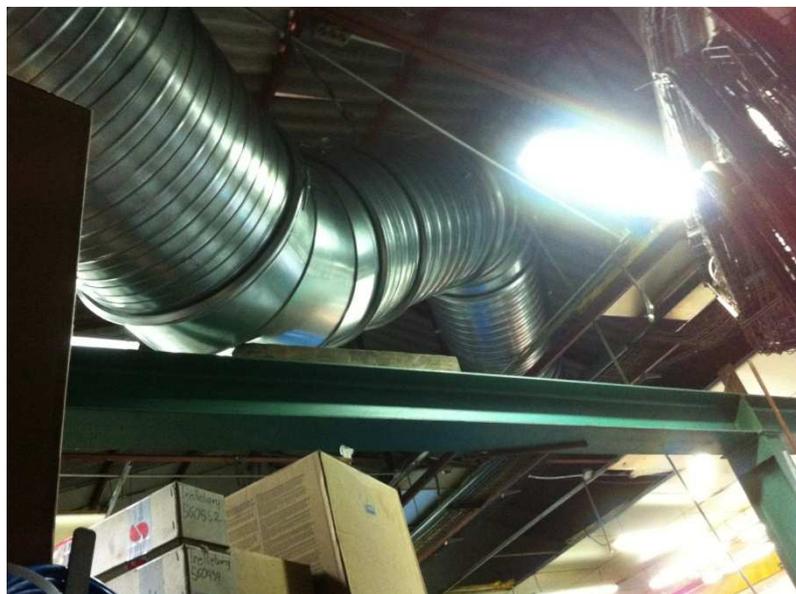
**Foto 3.1.** Detalle Conducto Circular.



**Foto 3.2.** Montaje Conducto Principal.



**Foto 3.3.** Ducto cercano a casa de máquinas.



**Foto 3.4.** Montaje Conducto Principal.



**Foto 3.5.** Detalle sondas de presión diferencial.



**Foto 3.6.** Tolva de conexión a Generador de Aire Caliente.



**Foto 3.7.** Conducto Principal.



**Foto 3.8.** Cuadro eléctrico Generador de aire caliente.



**Foto 3.9.** Equipos antes de la instalación.



**Foto 3.10.** Equipos con el nuevo conducto.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Curso de Instalador de Calefacción, Climatización y Agua Caliente Sanitaria – 3ra edición – Francisco Galdón Trujillo – CONAIF – pág. 549.
- [2];[3] Manual de Aire Acondicionado – CARRIER – Versión Española de Handbook of Air Conditioning System Design, Ed. 2012 – págs. I-91/ I-81.
- [4] Real Decreto 1428/1992, Aplicación de la Directiva del Consejo de las Comunidades Europeas 90/396/CEE, sobre aparatos de gas (B.O.E. 02/12/1992).
- [5] Nueva Norma IEC/EN 60034-30 de Clasificación de motores por eficiencia – Comisión Electrotécnica Internacional (IEC).
- [6] Directiva 2009/142/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de noviembre de 2009 sobre los aparatos de gas.
- [7];[8];[10] Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios RITE, Instrucciones Técnicas – AENOR – Texto del RITE extraído y adaptado del B.O.E. Nº 207 del 29/Ago/2007 y corregido según B.O.E. Nº54 del 28/Feb/2008 – págs. 78, 85 y 93.
- [9] Real Decreto 919/2006. Reglamento técnico de distribución y utilización de combustibles gaseosos.