



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

Grado en Ingeniería Química

Proyecto de fin de grado:

Diseño de una cámara deshidratadora de merengue

Alumno: Miguel Mirambell Sabater

Tutor: Antonio Abad Sempere

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN A LA DESHIDRATACIÓN DE ALIMENTOS EN LA INDUSTRIA.....	4
2	INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA	5
2.1	ANTECEDENTES	5
2.2	MOTIVACIÓN	5
2.3	JUSTIFICACIÓN	6
2.4	GEOGRAFÍA	6
2.5	DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	6
2.6	PLANO DE LA CÁMARA	7
3	INTRODUCCIÓN AL DISEÑO	7
3.1	TIPO DE SECADO	7
3.2	OBTENCIÓN DE DATOS	8
3.3	DISEÑO DE LA HABITACIÓN	9
4	CÁLCULOS	10
4.1	CÁLCULOS PSICROMÉTRICOS	10
4.2	CÁLCULOS DEL AIRE A LA SALIDA DEL DESHUMIDIFICADOR	11
4.3	CÁLCULOS DEL AIRE A LA ENTRADA DEL DESHUMIDIFICADOR	13
4.4	CÁLCULOS DEL AIRE CUANDO COMIENZA A DESHUMIDIFICARSE	14
4.5	CÁLCULOS DEL AIRE DESHUMIDIFICADO	14
4.6	CÁLCULO DE LA TEMPERATURA A LA SALIDA DE LOS CARROS	15
4.7	CÁLCULO DEL CAUDAL DE AIRE SECO NECESARIO POR VENTILADOR	16
4.8	CÁLCULO DE LOS PROCESOS EN EL INTERIOR DE LA MÁQUINA FRIGORÍFICA	17
4.9	CÁLCULO DEL CALOR A APORTAR A LA CÁMARA	19
5	ESTUDIO DE LA MÁQUINA FRIGORÍFICA	22
5.1	EVAPORADOR	24
5.2	CONDENSADOR	24
5.3	TEMPERATURAS	25
5.4	PRESIONES	25
5.5	COMPRESOR	25
6	DISEÑO DEL CONTROL ELECTRÓNICO DE LOS VENTILADORES	26
7	EQUIPO	29
8	NORMAS DE HIGIENE Y SEGURIDAD	31
8.1	NORMAS DE HIGIENE	31
8.2	NORMAS DE SEGURIDAD	32
9	ESTUDIO ECONÓMICO	32

9.1	COSTES	33
9.2	BENEFICIOS.....	34
10	CONCLUSIONES	36
11	ANEXOS.....	37
12	PLANOS	38
13	FICHAS TÉCNICAS	41
14	PROGRAMAS INFORMÁTICOS.....	46
15	BIBLIOGRAFÍA	46

1 Introducción a la deshidratación de alimentos en la industria

La deshidratación de alimentos en las últimas décadas ha evolucionado de tal forma que ha conseguido revolucionar la conservación y el consumo de gran parte de ellos.

Debido a la exportación e importación internacional de alimentos, las empresas que se dedicaban al sector debían pensar en varias formas de conservar los mismos, pues al ser provenientes de, muchas veces, lugares con climas distintos, la comida perdía sabor, textura, frescura y se mantenían consumibles durante un menor período de tiempo. Hasta que hace relativamente pocos años se empezó a pensar en la eliminación del agua o gran parte de ella en el interior del producto que evitase su fácil descomposición.

Es decir, la idea era privar a microorganismos como hongos, bacterias o parásitos del propio alimento de la opción a desarrollarse en este. De esta forma la conservación de un alimento extranjero no solo podría durar más, si no que superaría con creces la que pudiera ser una conservación normal en su país de origen. Hoy en día podemos encontrar alimentos como frutas y verduras deshidratadas que tienen una fecha de conservación de hasta 5 años, pudiendo así consumir una gran variedad de alimentos fuera de temporada.

Posteriormente y para el consumo del alimento, el procedimiento es tan simple como meter el producto en agua caliente para que vuelva a hidratarse. Sin embargo, también pueden consumirse secos, es un formato que vemos día a día: carnes deshidratadas para acompañar las sopas, frutas para el yogurt, virutas de frutas en cereales integrales, etc.

Otras ventajas de la deshidratación de comida es que los alimentos frescos disminuyen en gran medida su tamaño y se vuelven más rígidos. Esto hace que su transporte sea más cómodo y quepa más comida en un mismo lote, por tanto se ahorra en compra de recipientes para la venta del producto. Uno de los pros a tener en cuenta en este punto es que podría eliminarse el excedente de alimentos frescos, que muchas veces resulta desperdiciado por su breve tiempo de vida, así, el producto sobrante podría almacenarse durante mucho más tiempo.

Como se ha nombrado anteriormente, uno de los efectos de la deshidratación en la comida es el cambio de estructura a un cuerpo más seco, rígido y menos dúctil. Esto se aprovecha en la industria de la pastelería para que muchos tipos de cremas se mantengan firmes y no queden como una pasta, aparte de mejorar las propiedades de conservación.

Según SOFOFA (Federación Gremial sin fines de lucro situada en Chile) el mercado de la deshidratación se encuentra ahora en un período de total expansión, pues las exportaciones alcanzan los 700 millones de dólares, creciendo en 5 años un 102,1%.

2 Introducción al problema

2.1 Antecedentes

Una empresa de pastelería, acaba de incorporar a su producción un nuevo tipo de galletas de chocolate decoradas con merengue, que mejora su estética, sabor y textura, tras el éxito en su comercialización, ha generado un aumento en la demanda de sus pedidos, difícil de cubrir en un tiempo mínimo. La etapa crítica es el tiempo de secado del merengue, actualmente es de una hora a temperatura ambiente en la nave industrial de producción. La empresa necesita aumentar su producción en el menor tiempo posible, para ello debe disminuir el tiempo de deshidratación. Esta empresa prevé que en un futuro próximo la demanda será del doble de la que puede cubrir actualmente.



2.2 Motivación

La motivación para la realización de este proyecto es poder resolver un problema real que existe en estos momentos en una empresa concreta. Esto me ayuda a acercarme a la realidad del mundo laboral y obtener experiencia en cuanto a la proyección y el diseño.

La cámara deshidratadora está pensada con la intención de secar un tipo concreto de alimento como es el merengue, pero mi intención es enfocar el diseño de forma que sea posible variar la temperatura y los flujos de aire, lo cual capacitaría a la deshidratadora para secar una gran variedad de alimentos. Este último concepto podría servir para abrir una puerta a esta empresa al mundo de la deshidratación de otros productos para su posterior venta o seguir ayudándola en el ámbito de la pastelería industrial, pues existen frutas como pueden ser los plátanos o las fresas que se usan cada vez de forma más frecuente en el mercado de la deshidratación, para ser añadidas posteriormente a una gran variedad de productos alimentarios.

Personalmente siempre me ha llamado la atención el campo de la alimentación y creo que este proyecto puede acercarme un poco más a él, proporcionarme algo de experiencia y abrirme puertas para el futuro, pues el mercado de los productos deshidratados está en alza y creo que me sería provechoso obtener conocimientos en este ámbito.

2.3 Justificación

El objetivo de este proyecto es el aumento de la producción de la empresa mediante la puesta en marcha del diseño de una cámara de secado, en cuyo interior se deshidrate el merengue decorativo que hay encima de las galletas.

Con esto se pretende alcanzar una disminución en el tiempo de secado de las galletas y como consecuencia un aumento de la producción para poder realizar pedidos de mayor magnitud en el tiempo establecido.

2.4 Geografía

La nave industrial en la que trabajará la cámara deshidratadora está situada en la población de Monforte del Cid (Alicante), en la calle Isidro Pastor Casas Nº 95.



2.5 Distribución en planta

La posición de la desecadora en el interior de la nave es la que se muestra en los planos del proyecto para la licencia de apertura:

Plano 1*

Se ha elegido esta posición porque está en una zona suficientemente grande para una cámara de estas dimensiones y es la más cercana a la sala de preparación, en la cual se aplica el merengue a las galletas recién horneadas, de esta forma el trayecto de los carros desde la sala

a la deshidratadora será el más corto posible. Una vez seco el merengue, se sacará el carro por la otra puerta, llevándolo a la zona de carga y descarga para su posterior empaquetado.

2.6 Plano de la cámara

A continuación se muestran los planos del diseño de la cámara frigorífica

*Plano 2**

*Plano 3**

3 Introducción al diseño

La habitación deshidratadora estará acondicionada de forma que tenga unas características parecidas a una cámara frigorífica comercial. La idea principal del diseño se basa en una habitación en la que quepan 6 carros, 3 en una pared y 3 en la de enfrente, los cuales contienen alrededor de 770 galletas por cada uno. Los carros entran por una puerta de esta habitación y se sacan por la opuesta. La máquina frigorífica que calienta el aire y el deshumidificador se encontrarán cada uno en una de las paredes con la función de coger el aire de la habitación, calentarlo y/o deshumidificarlo y volver a expulsarlo a la cámara.

Se colocarán 12 ventiladores, 2 por cada carro para que remuevan el aire desde las paredes originando corrientes perpendiculares directamente hacia los carros. De esta manera no se encontrarán con la oposición de las bandejas que soportan a las galletas. Estas mismas bandejas tendrán orificios para dejar fluir mejor el aire caliente.

El flujo en los ventiladores será el mismo que en el deshumidificador para evitar humedades en el interior de la cámara.

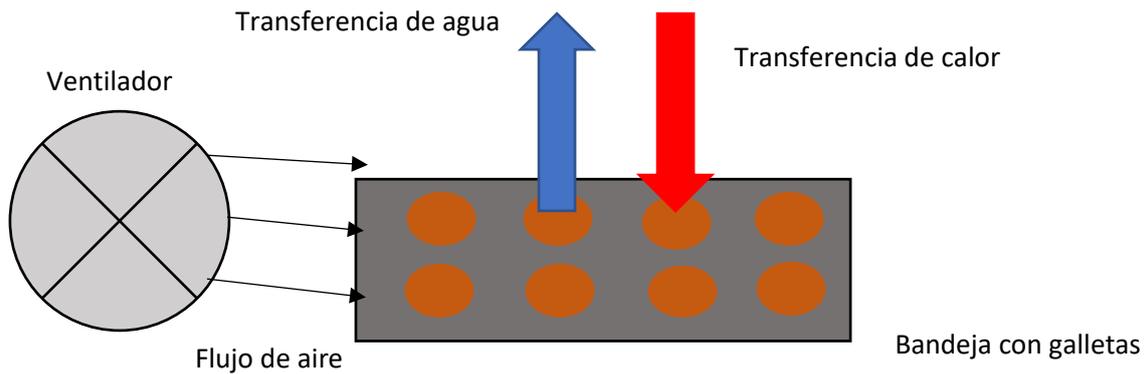
En medio de las dos filas de carros se dejará una especie de pasillo para que los trabajadores puedan mover los carros con comodidad a lo largo de la habitación.

Los cables en la instalación eléctrica saldrán fuera, irán pegados a la pared con cinta Kapton y estarán conectados a un panel al lado de una de las puertas en el exterior. Dicho panel ayudará a controlar los ventiladores de forma manual o automática.

3.1 Tipo de secado

Existen varios procedimientos para el secado, pero el de este diseño se trata del intercambio de materia entre un gas y un líquido mediante cambio de estado.

Este tipo de secado consiste en hacer pasar un flujo de aire caliente por el cuerpo húmedo para que el agua se transfiera al fluido y se produzca así la deshidratación.



Hay tres parámetros principales que se deben tener en cuenta a la hora del diseño de este tipo de secado:

-Caudal: Es importante tener un flujo de aire óptimo, ni demasiado lento ni demasiado rápido, que pase por la superficie a secar.

-Temperatura: Que el aire tenga una alta temperatura es un factor determinante en el proceso, pues una diferencia grande de temperatura entre el sólido y el fluido favorece el intercambio de calor entre los cuerpos, esto hace que el agua cambie de fase líquida a gas más rápidamente y por tanto sea favorable a la deshidratación.

-Humedad: Cuanto menor sea la humedad relativa en el aire, mayor cantidad de masa de agua podrá absorber por unidad de volumen.

3.2 Obtención de datos

En este apartado se obtendrán datos que reflejen las condiciones en las que debe trabajar la cámara deshidratadora y por tanto las referencias que servirán de guía para el desarrollo del diseño.

En primer lugar se deben conocer las condiciones en el interior de la nave donde se construirá el proyecto, por tanto será conveniente saber la temperatura y condiciones del aire. Para ello se hará uso de un higrómetro que medirá los máximos y mínimos de temperatura y humedad del aire y de cuyos datos se realizará una media.

Los datos aportados por el higrómetro se encuentran en la siguiente tabla:

Temperatura (°C)	ω ($\frac{kg \text{ de agua}}{kg \text{ de aire seco}}$)
20	0,014

El siguiente paso será obtener la receta del merengue utilizado para conocer la cantidad de agua que contiene:

COMPONENTE	PORCENTAJE
Azúcar	71,1
Agua	26,5
Vinagre	1
Gelatina	0,7
Albúmina	0,7

A continuación se estudiarán los datos de producción para averiguar la masa de agua que se debe eliminar del merengue.

La empresa produce 18.000 galletas en 8 horas de trabajo al día, en el cual se hacen unos 300 kg de merengue, de los cuales un 26,5% en masa es de agua. Al aplicarse el merengue a las galletas de forma manual, la masa de merengue en cada galleta varía, así que haciendo varias medidas con la balanza se ha sacado una media de 17 gramos de merengue por cada galleta.

Por tanto, cada galleta tendrá unos 4,4 gramos de agua a secar. Teniendo en cuenta esto la masa de agua que se seca en un día laboral es de 80 kg al día. Como el cliente quiere aumentar la producción de galletas se diseñará la cámara con la intención de secar al menos el doble de rápido que en condiciones normales, es decir, la habitación deshidratadora secará 36.000 galletas en 8 horas.

Como último punto en la obtención de datos, se deberá saber las medidas de cada carro para al menos tener una referencia a la hora de establecer las dimensiones de la cámara.

Las medidas de cada carro son las siguientes:

Altura (m)	Anchura (m)	Longitud (m)
1,8	0,7	1

3.3 Diseño de la habitación

Sabiendo las medidas de los carros, se procede al diseño de la deshidratadora.

Se deben tener en cuenta los siguientes factores para las dimensiones de la habitación:

- Cantidad máxima de carros que puede haber
- Maquinaria en el interior
- El espacio que se debe dejar para el cómodo transporte de los carros por los trabajadores
- Ya que se debe mantener la habitación a una temperatura concreta, el incremento de las dimensiones de esta supondría el aumento de gasto energético.

Conociendo estos parámetros, se decide que las medidas que tendrá la habitación serán las siguientes:

Altura (m): 2

Anchura (m): 3,8

Longitud (m): 7

Volumen (m^3): 53,2

Altura (m)	Anchura (m)	Longitud (m)	Volumen (m^3)
2	3,8	7	53,2

4 Cálculos

4.1 Cálculos psicrométricos

Escogemos los datos de una tabla de propiedades de mezclas de aire seco y vapor de agua saturado para averiguar la cantidad de humedad que tiene el aire dependiendo de la temperatura a presión atmosférica:

TEMP. °C	Volumen Específico m^3/kg	Densidad kg/m^3	Contenido de Humedad		Entalpía (cont. de calor) kcal/kg		
			g/kg	granos/lb	aire seco (sensible)	humedad (latente)	Total
-10	0.7472	1.3383	0.725	11.19	1.8778	0.9613	2.8391
-9	0.7501	1.3332	0.793	12.24	2.1179	1.0512	3.1691
-8	0.7515	1.3307	0.841	12.98	2.3580	1.1467	3.5047
-7	0.7561	1.3226	0.945	14.58	2.5980	1.2522	3.8502
-6	0.7595	1.3167	1.026	15.83	2.8391	1.3623	4.2014
-5	0.7628	1.3110	1.124	17.35	3.0835	1.4835	4.5670
-4	0.7656	1.3062	1.224	18.89	3.3235	1.6124	4.9359
-3	0.7690	1.3004	1.333	20.57	3.5636	1.7556	5.3192
-2	0.7720	1.2953	1.450	22.38	3.8035	1.9102	5.7137
-1	0.7751	1.2902	1.577	24.34	4.0447	2.0757	6.1204
0	0.7785	1.2845	1.716	26.48	4.2892	2.2557	6.5449
1	0.7812	1.2801	1.845	28.47	4.5292	2.4246	6.9538
2	0.7846	1.2745	1.983	30.60	4.7692	2.4879	7.2571
3	0.7880	1.2690	2.13	32.87	5.0148	2.7890	7.8038
4	0.7913	1.2637	2.287	35.29	5.2548	2.9957	8.2505
5	0.7947	1.2583	2.454	37.87	5.4948	3.2113	8.7061
6	0.7981	1.253	2.632	40.62	5.7404	3.4402	9.1806
7	0.8014	1.2478	2.823	43.56	5.9804	3.6832	9.6639
8	0.8048	1.2425	3.024	46.67	6.2204	3.9436	10.1640
9	0.8082	1.2373	3.239	49.98	6.4615	4.2203	10.6818
10	0.8116	1.2321	3.467	53.50	6.7060	4.5114	11.2174
11	0.8154	1.2264	3.708	57.22	6.9460	5.1414	12.0874
12	0.8189	1.2212	3.967	61.22	7.1860	5.1581	12.3441
13	0.8250	1.2121	4.237	65.38	7.3983	5.5359	12.9342
14	0.8263	1.2102	4.529	69.89	7.6716	5.8715	13.5431
15	0.8303	1.2044	4.835	74.61	7.9116	6.2671	14.1787
16	0.8336	1.1996	5.161	79.64	8.1183	6.7204	14.8387
17	0.8376	1.1939	5.408	83.45	8.3972	7.1260	15.5232
18	0.8416	1.1882	5.873	90.63	8.6372	7.5961	16.2333
19	0.8458	1.1823	6.260	96.60	8.8772	8.0917	16.9689
20	0.8496	1.1770	6.672	102.96	9.1228	8.6117	17.7345
21	0.8541	1.1708	7.109	109.71	9.3628	9.1662	18.5290
22	0.8583	1.1651	7.438	114.78	9.6028	9.7507	19.3535
23	0.8625	1.1594	8.055	124.30	9.8484	10.3651	20.2135
24	0.8670	1.1534	8.573	132.30	10.0706	11.0385	21.1091
25	0.8715	1.1474	9.117	140.69	10.3284	11.7119	22.0403

Tabla 13.5
Propiedades de
mezclas de aire
seco y vapor de
agua saturado,
a la presión
atmosférica
(101.3 kPa).

En Excel representamos los datos, hallamos la ecuación de la recta patrón y extrapolamos para conocer el contenido de humedad a cualquier temperatura.

El siguiente paso será la aplicación de fórmulas para conocer los datos de nuestro caso punto por punto:

Se ha calculado el diagrama del proceso de la siguiente forma:

Información para la comprensión de los cálculos

Nomenclatura	Explicación	Unidades
$\omega, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_{absor}$	Humedad absoluta en cada uno de los puntos y humedad que absorbe el aire del merengue	$\frac{kg \text{ de vapor}}{kg \text{ de aire seco}}$
p	Presión atmosférica	atm
$p_{vs}, p_{vs2}, p_{vs3}, p_{vs4}$	Presión de saturación del vapor de agua en cada uno de los puntos	bar
$p_v, p_{v2}, p_{v3}, p_{v4}$	Presión parcial del vapor de agua en cada uno de los puntos	bar
$\Phi, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4$	Humedad relativa en cada uno de los puntos	%
$T_r, T_{r2}, T_{r3}, T_{r4}$	Temperatura de rocío en cada uno de los puntos	°C
$T_p, T_{p2}, T_{p3}, T_{p4}$	Temperatura en cada uno de los puntos	°C
h, h_2, h_3, h_4	Entalpía específica del aire húmedo en cada uno de los puntos	$\frac{kJ}{kg \text{ de aire seco}}$
$T_{bh}, T_{bh2}, T_{bh3}, T_{bh4}$	Temperatura de bulbo húmedo en cada uno de los puntos	°C
t_{hab}	La temperatura de la habitación	°C
m_a, m_g, m_{ag}	Flujo másico de aire seco, galleta y agua	$\frac{kg}{s}$
$C_{p\text{aire}}, C_{p\text{pan}}, C_{p\text{agua}}$	Calor específico del aire, la masa de pan y el agua	$\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$
m_{ag}	La masa de agua que se debe secar en un día laboral	$\frac{kg}{día}$
m_g	Flujo de galletas que pasa por la cámara	$\frac{kg}{h}$
t_{secado}, t_{ext}	Temperatura del aire al haber secado el merengue y temperatura en el exterior	°C

El primer paso para realizar los cálculos es tener claros varios datos principales que se han hallado utilizando la aplicación "AirLite:PsychrometricCalculator". Conociendo las condiciones internas y externas:

$$t_{hab} = 50$$

$$t_{ext} = 20$$

$$t_p = 50$$

$$\Phi_4 = 0,05$$

$$\omega = 0,014$$

4.2 Cálculos del aire a la salida del deshumidificador

Se quiere trabajar con un aire caliente a una temperatura de 50 °C y una humedad relativa lo más baja posible (5%).

Con estos datos se calcula la presión de saturación del vapor de agua en bares:

$$p_{vs4} = 0,0061 \cdot 10^{\frac{7,5 \cdot t_{p4}}{237+t_{p4}}} = 0,1236$$

Donde t_{p4} es la temperatura del aire de entrada a la habitación.

Multiplicando la presión de saturación del vapor de agua por la humedad relativa se obtiene la presión parcial del vapor de agua:

$$p_{v4} = \Phi_4 \cdot p_{vs4} = 0,0062$$

El siguiente paso es el cálculo de la humedad absoluta del aire húmedo:

$$\omega_4 = 0,622 \cdot \frac{p_{v4}}{p - p_{v4}} = 0,0039$$

Donde p es la presión dentro de la habitación (1 atmósfera).

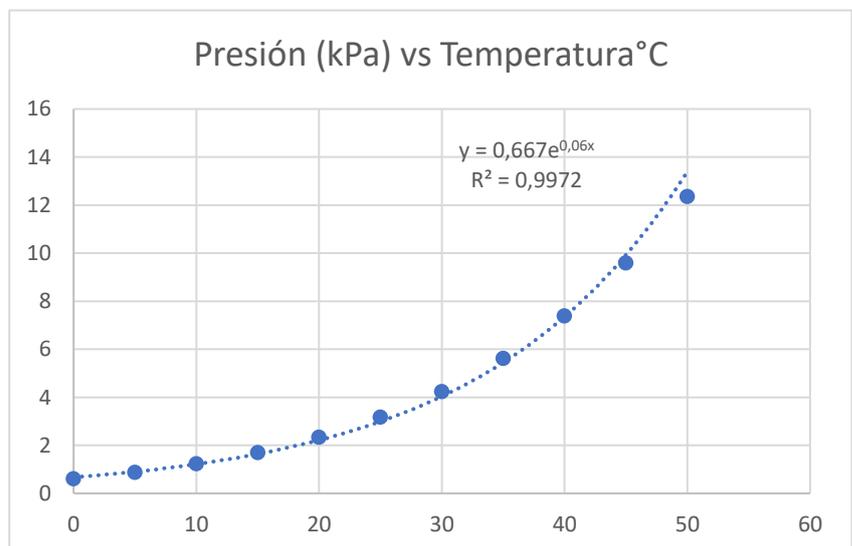
Conociendo la humedad del aire antes y después de haber desecado el merengue, se puede saber la cantidad de agua que ha absorbido:

$$\omega_{absor} = \omega - \omega_5 = 0,0101$$

Esta cantidad de agua será la misma que absorba el deshumidificador para evitar humedades en la cámara.

A continuación, para calcular las temperaturas de rocío del proceso, se ha representado en Excel una gráfica a partir de una tabla que muestra una lista de presiones con sus correspondientes temperaturas de rocío:

P (kPa)	T °C
0,61	0
0,87	5
1,23	10
1,7	15
2,33	20
3,17	25
4,24	30
5,62	35
7,38	40
9,59	45
12,35	50
1,9	0



Una vez obtenida la ecuación de la recta y conociendo la presión de saturación del vapor de agua, se puede hallar la temperatura de rocío (teniendo en cuenta que la presión debe estar en kPa):

$$T_{r4} = \log\left(\frac{p_{v4}}{0,667}\right) \cdot \frac{1}{0,06} = -1,14$$

La entalpía específica del aire húmedo será:

$$h_4 = t_{p4} + \omega_4 \cdot (2501 + 1,82 \cdot t_{p4}) = 60,11$$

El último paso es el cálculo de la temperatura de bulbo húmedo:

$$\begin{aligned} t_{bh4} &= (0,6334 \cdot \Phi_4^3 - 1,5164 \cdot \Phi_4^2 + 1,5181 \cdot \Phi_4 + 0,3652) \cdot t_{p4} \\ &+ (31,063 \cdot \Phi_4^4 - 85,009 \cdot \Phi_4^3 + 84,459 \cdot \Phi_4^2 - 29,956 \cdot \Phi_4 - 0,5194) \\ &= 20,07 \end{aligned}$$

Para calcular el estado del aire en los diferentes cambios que sufre a lo largo del recorrido que lleva a cabo, los pasos y las ecuaciones a seguir son los mismos, ya que es un circuito cerrado y el proceso acaba y empieza en el mismo punto.

4.3 Cálculos del aire a la entrada del deshumidificador

Este caso es el de la llegada del aire al deshumidificador una vez ha absorbido el agua de las galletas y perdido calor en el transcurso, aunque vuelve a recuperar la temperatura de 50 °C gracias al calor que aporta la máquina frigorífica a la habitación.

En este caso, como se sabe la humedad absoluta, se calcula la humedad relativa de la siguiente forma:

$$\Phi = \frac{p_v}{p_{vs}} = 0,178$$

$$\omega = 0,014$$

$$p_{vs} = 0,124$$

$$p_v = 0,022$$

$$T_r = 19,9$$

$$T_p = 50$$

$$h = 86,29$$

$$T_{bh} = 25,9$$

4.4 Cálculos del aire cuando comienza a deshumidificarse

La temperatura en este punto es igual a la temperatura de rocío en el punto anterior, ya que en el paso de estos dos puntos se produce un enfriamiento del aire hasta el punto en el que la bomba de calor empieza a deshumidificarlo. Como no todo el aire entra en contacto con la batería del deshumidificador, no se llega a obtener una humedad relativa del 100%, si no que se suele llegar a un máximo de entre 95%-97% (Bypass). Para no forzar el evaporador, se decide que lo óptimo es llevar al aire en este punto hasta una humedad relativa del 95%. Teniendo en cuenta estos datos podemos realizar los demás cálculos.

$$\omega_2 = 0,014$$

$$p_{vs2} = 0,023$$

$$p_{v2} = 0,022$$

$$\Phi_2 = 0,95$$

$$T_{r2} = 19,9$$

$$T_{p2} = 19,9$$

$$h_2 = 55,5$$

$$T_{bh2} = 19,2$$

4.5 Cálculos del aire deshumidificado

En este punto el que el aire ya ha sido deshumidificado y mantiene un humedad relativa del 95%, por tanto su temperatura es cercana a la temperatura de rocío del aire a la salida del deshumidificador, la cual hemos calculado anteriormente.

Con estos datos podemos calcular todos los demás parámetros.

$$\omega_3 = 0,0033$$

$$p_{vs3} = 0,0056$$

$$p_{v3} = 0,0053$$

$$\Phi_3 = 0,95$$

$$T_{r3} = -1,135$$

$$T_{p3} = -1,135$$

$$h_3 = 7,2$$

$$T_{bh3} = -1,451$$

4.6 Cálculo de la temperatura a la salida de los carros

Cuando el aire seco a una temperatura mayor que la del merengue pasa por este se produce un intercambio de materia y de energía: la galleta absorbe parte del calor del aire por convección, una parte es absorbida por la masa y el merengue y otra por el agua que contiene. La velocidad del aire y la transmisión de calor ayudan al cambio de fase del agua líquida a vapor y como consecuencia la transferencia de agua de la galleta hacia el aire.

Para calcular la temperatura del aire una vez realizada la transferencia se debe tener en cuenta el calor que es absorbido y el flujo del aire. Sabiendo también que el calor que absorbe la galleta es igual al que cede el aire se puede igualar estos dos términos y despejar la temperatura a la salida del aire:

$$t_{ext} = 20$$

$$C_{ppan}=1,96$$

$$C_{pagua}=4,19$$

$$C_{paire}=1,01$$

$$\omega_{absor} = \omega - \omega_5 = 0,0101$$

$$m_{ag} = 160$$

$$m_g = 174$$

$$m_a = \frac{m_{ag}}{\omega_{absor} \cdot 8 \cdot 3600} = 0,5471$$

Calor absorbido por la masa de la galleta $\rightarrow m_g \cdot C_{ppan} \cdot (t_{secado} - t_{ext})$

Calor absorbido por el agua $\rightarrow C_{pagua} \cdot (t_{secado} - t_{ext})$

Calor cedido por el aire $\rightarrow m_a \cdot (h_5 - (C_{paire} \cdot (t_2 - t_{p5}) + h_5))$

$$m_g \cdot C_{ppan} \cdot (t_{secado} - t_{ext}) + m_{ag} \cdot C_{pagua} \cdot (t_{secado} - t_{ext}) - m_a \cdot (h_5 - (C_{paire} \cdot (t_{secado} - t_{p5}) + h_5)) = 0$$

Al despejar t_{secado} de la ecuación hallamos la temperatura del flujo del aire después de haber desecado el merengue.

$$t_{secado} = 45,15$$

4.7 Cálculo del caudal de aire seco necesario por ventilador

Información para la comprensión de los cálculos

Nomenclatura	Explicación	Unidades
$\rho_{airehumedo}$	Densidad del aire húmedo	$\frac{kg}{m^3}$
R_a, R_v	Constante específica del gas para el aire seco y para el vapor de agua	$\frac{J}{kg \cdot K}$
p_{new}	Presión atmosférica	Newtons
V_{aire}, V_v	Caudal de aire a aportar en total y por cada ventilador	$\frac{m^3}{h}$
<i>Carros</i>	Número de carros que portan galletas	Carros
Ventiladores	Número de ventiladores a usar	Ventiladores

$$\rho_{airehumedo} = \frac{p_{new}}{tp + 273,15} \cdot \frac{1 + \omega_5}{R_a + \omega_5 \cdot R_v} = 1,09$$

$$V_{aire} = \frac{m_a}{\rho_{airehumedo}} \cdot 3600 = 1,81 \cdot 10^3$$

$$Carros = 6$$

$$Ventiladores = 2 \cdot Carros = 12$$

$$V_v = \frac{V_{aire}}{Ventiladores} = 150,62$$

4.8 Cálculo de los procesos en el interior de la máquina frigorífica

Dentro de la cámara deberá haber una máquina frigorífica que aporte un flujo de aire caliente para contrarrestar las distintas pérdidas de calor generadas y mantener el interior de la habitación a la temperatura deseada. Para ello se deberá hacer un balance de energía igualando las ganancias a las pérdidas.

Información para la comprensión de los cálculos

Nomenclatura	Explicación	Unidades
h_{31}, h_{ext}	Entalpía específica del agua líquida	$\frac{kJ}{kg}$
$q_{eyd}, q_{eyh}, q_{cal}$	Calor transmitido cuando el aire sufre el enfriamiento y deshumidificación, el enfriamiento y humidificación y el calentamiento	$\frac{kJ}{s}$
ω_{ext}	Humedad absoluta en el exterior	$\frac{kg \text{ de vapor}}{kg \text{ de aire seco}}$
kp_{pure}, kp_{poli}	Conductividad del poliuretano expandido y el poliestireno en planchas	Newtons
$h_{ip}, h_{it}, h_{is}, h_e$	Coefficiente de película interior en las paredes, techo y suelo y coeficiente de película exterior en el techo	$\frac{W}{m^2 \cdot K}$
alto, ancho, largo	La altura, la anchura y la longitud de la cámara	m
S_p, S_t, S_s	Superficie de las paredes, techo y suelo	m^2
q_p, q_t, q_s	Calor transmitido por las paredes, el techo y el suelo	$\frac{kJ}{día}$
<i>volumen</i>	Volumen total de la habitación	m^3
h_{ext}	Entalpía específica del aire húmedo en el exterior	$\frac{kJ}{kg}$
t_{suelo}	Temperatura en el suelo del recinto	°C
<i>esp</i>	Espesor del aislante	m
n_{ren}, n_{horas}, n_c	Número de renovaciones de aire, de horas de trabajo al día y de horas de trabajo del condensador	Renovaciones y horas
$q_{ren}, q_{ilum}, q_{motores}$	Calor transferido por las renovaciones, la iluminación y los motores	$\frac{kJ}{día}$
$p_{ilum}, p_{motores}, p_{ventiladores}$	Potencia ejercida por la iluminación, los motores y los ventiladores	W

$$\omega_{ext} = 0,014$$

$$hip = 8,3$$

$$kp_{pure} = 0,028$$

$$esp = 0,1$$

$$h_e = 23$$

$$his = 9,3$$

$$kp_{poli} = 0,036$$

$$hit = 6,1$$

$$n_{ren} = 47$$

$$volumen = 53,2$$

$$n_c = 8$$

-Enfriamiento y deshumidificación:

$$h_{31} = 4,18 \cdot t_{p3} = -4,74$$

$$q_{eyd} = -(m_a \cdot (h_3 - h) - m_{ag} \cdot h_{31}) = 43,24$$

-Calentamiento:

$$q_{cal} = m_a \cdot (h_5 - h_3) = 28,9$$

-Enfriamiento y humidificación:

$$q_{eyh} = m_a \cdot (h - h_5) = 14,3$$

-Cálculo de las pérdidas de calor por paredes, suelo y techo:

$$\text{alto}=2$$

$$\text{ancho}=3,8$$

$$\text{largo}=7$$

4.9 Cálculo del calor a aportar a la cámara

En este apartado se calculará el calor necesario que se debe aportar para mantener la cámara isotérmica:

Paredes:

$$h_{ext} = t_{ext} + \omega_{ext} \cdot (2501 + 1,82 \cdot t_{ext}) = 55,6$$

$$q_p = \frac{t_{hab} - t_{ext}}{\frac{1}{h_{ext} \cdot Sp}} + \frac{1}{h_{ip} \cdot Sp} + \frac{esp}{kp_{pure} \cdot Sp} = 34,78$$

Techo:

$$q_t = \frac{t_{hab} - t_{ext}}{\frac{1}{h_e \cdot St}} + \frac{1}{h_{it} \cdot St} + \frac{esp}{kp_{pure} \cdot St} = 23,11$$

Suelo:

$$t_{suelo} = \frac{(t_{ext} + 15)}{2} = 17,5$$

$$q_s = \frac{t_{hab} - t_{suelo}}{\frac{1}{h_e \cdot St}} + \frac{1}{h_{is} \cdot Ss} + \frac{esp}{kp_{poli} \cdot Ss} = 25,7$$

$$q_{ren} = -n_{ren} \cdot \frac{volumen}{0,83} \cdot (h_{ext} - h_5) = 5,28 \cdot 10^4$$

$$p_{ilum} = 10 \cdot Ss = 266$$

$$q_{ilum} = p_{ilum} \cdot n_{horas} \cdot 3,6 = 7,66 \cdot 10^3$$

$$p_{ventiladores} = 60$$

$$p_{motores} = p_{ventiladores} \cdot ventiladores = 720$$

$$q_{motores} = p_{motores} \cdot n_c \cdot 3,6 = 20736$$

Información para la comprensión de los cálculos

Nomenclatura	Explicación	Unidades
$t_{eva}, t_{con}, \Delta tc, DT, \Delta su$	Temperatura en el evaporador, en el condensador, salto térmico en el condensador, en el evaporador y subenfriamiento	$^{\circ}C$
fs	Factor de seguridad	
q_{cam}, q_{aiga}	Calor a aportar a la cámara por los calefactores para que la temperatura interior sea de $50^{\circ}C$ y calor que pierde el aire al absorber el agua del merengue	$\frac{kJ}{día}$
p_{cam}	Potencia de la máquina calefactora en el interior de la cámara	W
peq	Potencia de la máquina calefactora en el interior de la cámara teniendo en cuenta el factor de seguridad	W
Q_c, Q_0, q_0, q_c	Potencia del condensador, potencia del evaporador, calor intercambiado en el evaporador y en el condensador	kW y $\frac{kJ}{kg}$
mr	Flujo del refrigerante que recorre la máquina frigorífica	$\frac{kg}{s}$
$h_{punto1}, h_{punto2s}, h_{punto2}, h_{punto3}, h_{punto4}, h_{punto5}$	Entalpía específica del aire húmedo en el exterior en los puntos del diagrama psicrométrico de la máquina frigorífica	$\frac{kJ}{kg}$
ω_{des}	Agua que absorbe el deshumidificador	$\frac{kg \text{ de agua}}{kg \text{ de aire}}$
cp_{inox}	Calor específico del acero inoxidable de los carros, las bandejas y la estructura que soporta los ventiladores	$\frac{kJ}{kg \cdot ^{\circ}C}$
m_{inox}	Flujo del acero inoxidable en la cámara	$\frac{kg}{s}$

Para este apartado se debe realizar un análisis psicrométrico de la máquina frigorífica, cuyo objetivo será conocer las entalpías, temperaturas y presiones en su interior.

El primer paso será conocer la temperatura del evaporador, el condensador, el salto térmico de ambos, el recalentamiento total y el subenfriamiento:

$$t_{hab} = 50$$

$$DT = 5,6$$

$$\Delta tc = 14$$

$$t_{eva} = t_{hab} - DT$$

$$t_{con} = t_{hab} + \Delta tc$$

A continuación y utilizando el programa informático CoolPack se introducen dichos datos para que dibuje el diagrama de Mollier correspondiente al refrigerante R134a, CH₂FCF₃, 1,1,1,2-Tetrafluoretano, el cual utiliza la bomba de calor.

Anexo 1*

Para saber el flujo de calor que se debe aportar a la cámara para mantenerla a 50 °C, se debe igualar las ganancias de calor a las pérdidas y despejar el término que representa el calor aportado por la máquina frigorífica:

$$cp_{inox} = 0,51$$

$$m_{inox} = 0,12$$

$$q_{inox} = m_{inox} \cdot cp_{inox} \cdot (t_{hab} - t_{ext}) = 1,83$$

$$q_{aiga} = \frac{m_a \cdot c_{pag} \cdot (t_{p5} - t_2)}{3600} + \frac{m_a \cdot c_{ppan} \cdot (t_{p5} - t_2)}{3600}$$

Balance

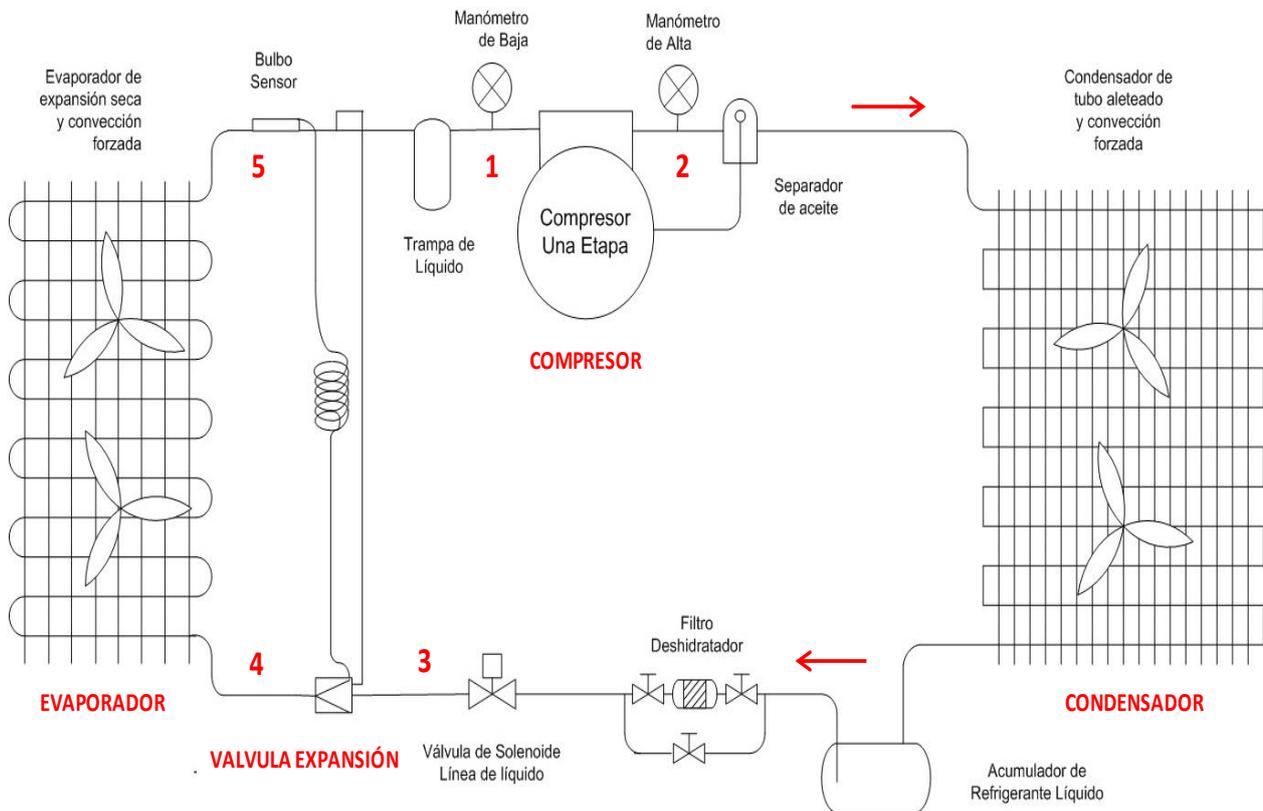
$$q_{motores} + q_{ilum} + q_{cam} = q_p + q_t + q_s + q_{ren} + (q_{aiga} + q_{inox}) \cdot 3600 \cdot 8$$

Al despejar q_{cam} se halla el valor del calor que debemos aportar a la cámara y por tanto la potencia que debe tener la bomba de calor.

$$q_{cam} = 5,47 \cdot 10^5$$

5 Estudio de la máquina frigorífica

Los conocimientos principales sobre un equipo frigorífico que se debe tener para la realización de este apartado son el funcionamiento y la existencia de varios mecanismos en su interior.



El equipo frigorífico dispone de un evaporador y un condensador, lugares donde el refrigerante cambia de estado. El aire pasará por estas dos zonas y sufrirá cambios en su temperatura como consecuencia de ello. Por tanto, si se quiere calentar el aire, se debe introducir primero por la parte del evaporador para encontrarse a la salida con el condensador. Como el condensador enfría al refrigerante, el calor que pierde es aprovechado por el aire, así saldrá más caliente al exterior.

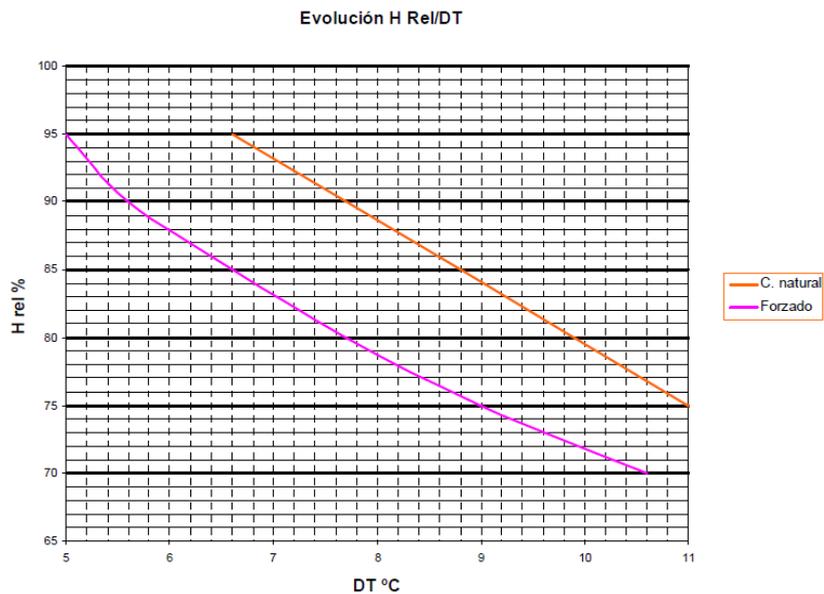
También dispone de un compresor y una válvula de expansión, los cuales sirven para variar el volumen y la presión del refrigerante y facilitar su calentamiento o enfriamiento.

Información para la comprensión de los cálculos

Nomenclatura	Explicación	Unidades
$t_1, t_3, t_4, t_5,$	Temperatura en cada uno de los puntos	°C
$p_{eva}, p_{con}, p_{com}$	Presión en el evaporador, en el condensador y en el compresor	bar
rec_{total}, rec_{util}	Recalentamiento total y útil	°C
$p_1, p_{2s}, p_2, p_3, p_4, p_5$	Presión en cada uno de los puntos	bar
nv	Rendimiento volumétrico	
V_a, V_b	Caudal aspirado y caudal barrido	$\frac{m^3}{h}$
v_1	Volumen de aire por masa de refrigerante	$\frac{m^3}{kg}$
W_t, W_c	Potencia teórica y real de compresión	kW
N_e	Potencia mecánica	kW
nmc, nme	Rendimiento mecánico del compresor y del motor eléctrico	
P_{elec}	Potencia del motor eléctrico	kW
COP	Coficiente de prestación	
fs	Factor de seguridad	
q_{cam}, q_{aiga}	Calor a aportar a la cámara por los calefactores para que la temperatura interior sea de 50 °C y calor que pierde el aire al absorber el agua del merengue	$\frac{kJ}{día}$
p_{cam}	Potencia de la máquina calefactora en el interior de la cámara	W
peq	Potencia de la máquina calefactora en el interior de la cámara teniendo en cuenta el factor de seguridad	W
Q_c, Q_0, q_0, q_c	Potencia del condensador, potencia del evaporador, calor intercambiado en el evaporador y en el condensador	kW $\frac{kJ}{kg}$
mr	Flujo del refrigerante que recorre la máquina frigorífica	$\frac{kg}{s}$

5.1 Evaporador

Como la humedad relativa del merengue es del 90%, el salto térmico en el evaporador será de 5,6 °C.



$$p_{eva} = 0,0025 \cdot t_{eva}^2 + 0,1048 \cdot t_{eva} + 2,1567 = 11,74$$

$$fs=1,2$$

$$p_{cam} = \frac{q_{cam}}{n_c \cdot 3,6} = 1,9 \cdot 10^4$$

$$p_{eq} = p_{cam} \cdot fs = 2,28 \cdot 10^4$$

$$Q_0 = p_{eq}$$

$$q_0 = h_{punto5} - h_{punto4} = 139,32$$

5.2 Condensador

$$q_c = h_{punto2} - h_{punto3} = 171,3$$

$$mr = \frac{Q_0}{q_0} = 0,16$$

$$Q_c = mr \cdot (h_{punto2} - h_{punto3}) = 28,04$$

$$p_{con} = 0,0025 \cdot t_{con}^2 + 0,1048 \cdot t_{con} + 2,1567 = 19,1$$

Como la caída de presión en el evaporador, en la línea de aspiración y en la línea líquido + condensador es igual a 0, podemos calcular las presiones y las temperaturas en cada uno de los puntos:

5.3 Temperaturas

$$rec_{total} = 15$$

$$rec_{util} = 5$$

$$t_1 = t_{eva} + rec_{total} = 59,4$$

$$t_2 = 82,2$$

$$t_{2s} = 79,2$$

$$t_3 = t_{con} - \Delta sub = 56$$

$$t_4 = t_{eva} = 44,4$$

$$t_5 = t_{eva} + rec_{util} = 49,4$$

5.4 Presiones

$$p_5 = p_1 = p_4 = p_{eva}$$

$$p_2 = p_{s2} = p_3 = p_{cond}$$

5.5 Compresor

$$p_{com} = \frac{p_{con}}{p_{eva}} = 1,63$$

$$nv = 1 - 0,05 \cdot p_{com} = 0,92$$

$$V_a = mr \cdot v_1 = 0,032$$

$$V_b = \frac{V_a}{nv} = 0,035$$

$$W_t = mr \cdot (h_{punto2s} - h_{punto1}) = 1,73$$

$$W_c = mr \cdot (h_{punto2} - h_{punto1}) = 2,34$$

$$nmc = 0,82$$

$$nme = 0,93$$

$$N_e = \frac{W_c}{nmc} = 2,85$$

$$P_{elec} = \frac{N_e}{nme} = 3,1$$

$$COP = \frac{Q_0}{P_{elec}} = 7,41$$

6 Diseño del control electrónico de los ventiladores

La idea principal es la programación de un panel para controlar los ventiladores de forma manual o automática:

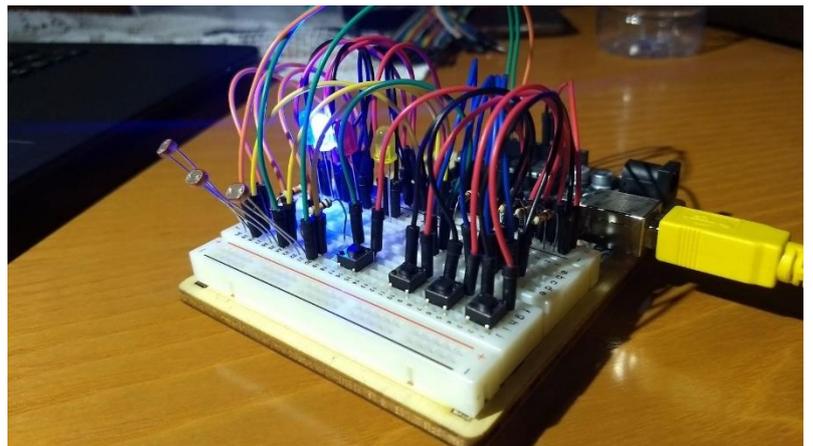
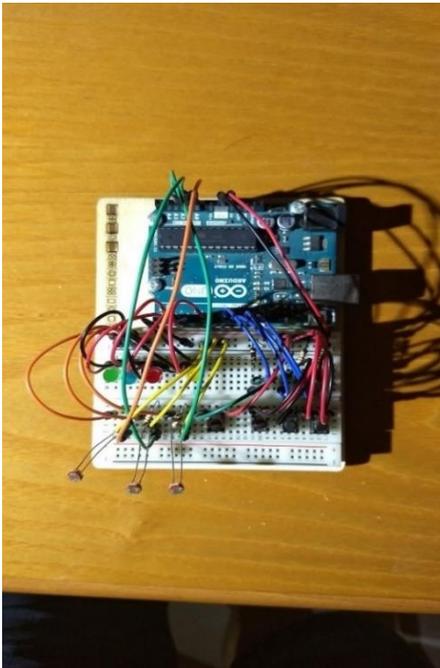
-Manual:

Permitirá al trabajador encender o apagar los ventiladores mediante un botón.

-Automática:

Una célula fotosensible estará acoplada al techo encima de cada una de las posiciones de los carros y lanzará una señal de luz hasta el suelo. Cuando se coloque un carro, el Arduino recibirá la señal y dejará pasar corriente hacia los ventiladores para que estos funcionen.

Como el Arduino solo es capaz de aportar 5 V, se instalará una fuente de alimentación externa para poder suministrar potencia a todos los ventiladores. Entre el Arduino y la fuente se instalará una especie de interruptor llamado MOSFET que abre el circuito de la fuente de alimentación cuando el Arduino le da la señal.



Para comprobar que funcione, se ha realizado un pequeño ensayo con material eléctrico, una placa y un Arduino. El ensayo representa 3 de las 6 secciones totales de los carros para simplificar el procedimiento.

En la placa de ensayo se han colocado 4 botones negros, el que está a la izquierda representaría el botón con el que seleccionamos el modo automático o el modo manual, los otros 3 que hay a la derecha serían los interruptores para los ventiladores. Los sensores que hay a la izquierda serían los sensores fotosensibles y los leds serían los ventiladores, encendiéndose o apagándose para indicar el estado de los mismos.

A continuación se muestra el código que se ha aplicado al Arduino para la programación del ensayo:

```
const int FAN_SECTION_01_OUTPUT = 2;
const int FAN_SECTION_02_OUTPUT = 3;
const int FAN_SECTION_03_OUTPUT = 4;
bool manualMode = true;
const int MANUAL_MODE_LIGHT = 7;
bool stateFanSection01 = false;
bool stateFanSection02 = false;
bool stateFanSection03 = false;
const int CONTROL_BUTTON_FAN_SECTION_01 = 11;
const int CONTROL_BUTTON_FAN_SECTION_02 = 12;
const int CONTROL_BUTTON_FAN_SECTION_03 = 13;
const int CONTROL_PANEL_BUTTON = 9;
const int LIGHT_SENSOR_SECTION_01 = A0;
const int LIGHT_SENSOR_SECTION_02 = A1;
const int LIGHT_SENSOR_SECTION_03 = A2;

void setup()
{
  pinMode(FAN_SECTION_01_OUTPUT, OUTPUT);
  pinMode(FAN_SECTION_02_OUTPUT, OUTPUT);
  pinMode(FAN_SECTION_03_OUTPUT, OUTPUT);
}
```

```
void loop()
{
  if(digitalRead(CONTROL_PANEL_BUTTON))
    manualMode = !manualMode;
  if(manualMode)
  {
    if(digitalRead(CONTROL_BUTTON_FAN_SECTION_01))
      stateFanSection01 = !stateFanSection01;
    if(digitalRead(CONTROL_BUTTON_FAN_SECTION_02))
      stateFanSection02 = !stateFanSection02;
    if(digitalRead(CONTROL_BUTTON_FAN_SECTION_03))
      stateFanSection03 = !stateFanSection03;
  }
  else
  {
    if(analogRead(LIGHT_SENSOR_SECTION_01) < 511)
      stateFanSection01 = false;
    else
      stateFanSection01 = true;
    delay(5);

    if(analogRead(LIGHT_SENSOR_SECTION_02) < 511)
      stateFanSection02 = false;
    else
      stateFanSection02 = true;
    delay(5);

    if(analogRead(LIGHT_SENSOR_SECTION_03) < 511)
      stateFanSection03 = false;
```

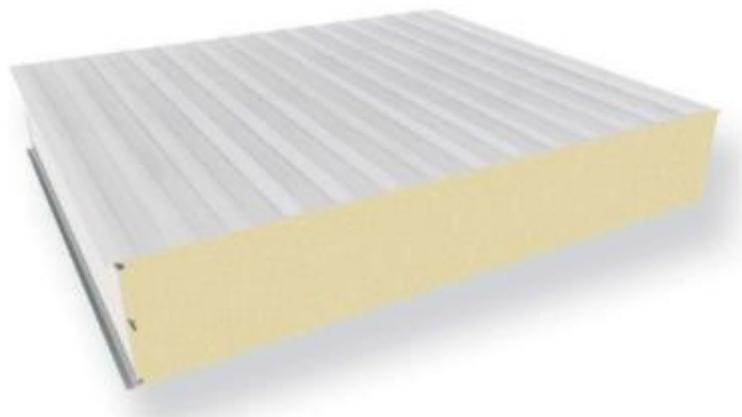
```
else
    stateFanSection03 = true;
delay(5);
}
digitalWrite(MANUAL_MODE_LIGHT, manualMode);
digitalWrite(FAN_SECTION_01_OUTPUT, stateFanSection01);
digitalWrite(FAN_SECTION_02_OUTPUT, stateFanSection02);
digitalWrite(FAN_SECTION_03_OUTPUT, stateFanSection03);
}
```

7 Equipo

El equipo escogido para las instalaciones de la cámara deshidratadora es el siguiente:

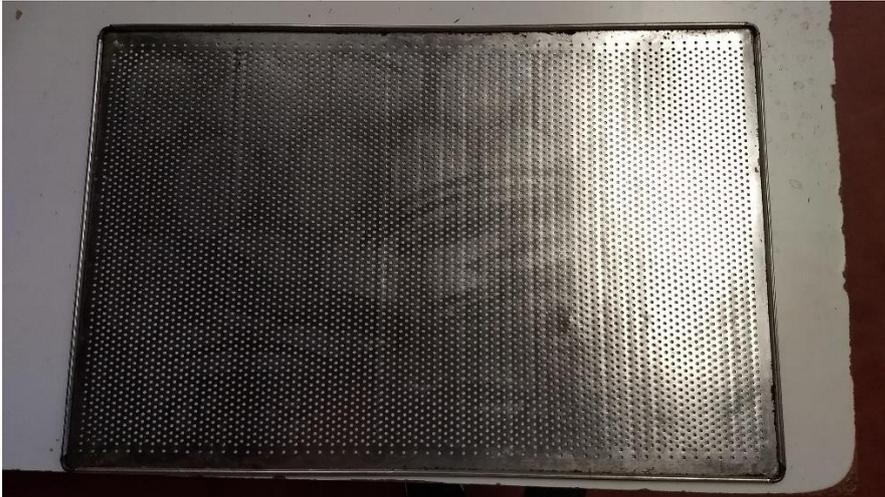
- **Paredes, suelo y techo:**

La estructura de la cámara estará compuesta por paneles tipo sándwich de chapas de acero prelacado y rellenos de poliuretano (en el caso de las paredes y el techo) y de poliestireno (en el caso del suelo).



- **Bandejas:**

También llamadas llandas, es donde se colocan las galletas. Están hechas de acero inoxidable y pueden soportar temperaturas mayores de 300 °C. Además, disponen de agujeros de 2 milímetros de diámetro para dejar fluir por ellos el aire caliente y facilitar el contacto entre este y el alimento.



- **Carros:**

Los carros utilizados para transportar las bandejas que lleven las galletas son también de acero inoxidable. En estos carros cabe un total de 32 bandejas.



- **Ventiladores:**

Los escogidos son uno ventiladores helicoidales para montar en muro o cristal, más concretamente el modelo MURO-CRISTAL 230M. Una de sus características es que delante de la hélice dispone de una persiana móvil para regular el caudal de aire manual o automáticamente. Esto permitirá regular la velocidad a la que se sequen las galletas. Dispone de un caudal máximo de $750 \frac{m^3}{h}$, flujo que es más que suficiente y que podría permitir secar otros productos alimentarios con mayor cantidad de agua.

Cada uno de ellos tiene una longitud y un grosor de 286 y 137 milímetros respectivamente. Debido a su pequeña medida se colocarán dos ventiladores por cada carro, haciendo un total de 12 ventiladores.

Los ventiladores estarán instalados en una estructura de acero inoxidable para que el flujo de aire pueda abarcar la mayor cantidad de área de merengue posible.

- **Bomba de calor:**

La bomba de calor es la maquina frigorífica encargada de aportar calor a la cámara para que el interior de esta se mantenga a 50 °C. Teniendo en cuenta las pérdidas de calor se necesita una máquina potente, por eso se ha escogido un modelo de bomba de calor de Mitsubishi Electric: Serie Multi S (Pumy). El cual dispone de un bajo consumo y un alto rendimiento energético.

- **Deshumidificador:**

El modelo de deshumidificador es el DESHUMIDIFICADOR INDUSTRIAL DH 300 BH. Se ha escogido este modelo por distintas razones:

Porque puede soportar hasta una temperatura de 70 °C. Tiene una salida de desagüe externa, cosa que evita tener que vaciar el depósito de agua cada vez que se llene. Dispone de un caudal de aire máximo de $5800 \frac{m^3}{h}$ y es regulable. El deshumidificador estará colocado en una de las esquinas de la cámara.

- **Salida del agua del deshumidificador:**

El depósito del deshumidificador estará conectado mediante una manguera al desagüe más cercano para evitar perder tiempo en vaciar el agua del interior cada vez que esté lleno.

8 Normas de higiene y seguridad

Las normas de higiene y seguridad son las normas que debe seguir cualquiera de los trabajadores que vaya a manipular la cámara deshidratadora por el bien del producto, las instalaciones y de uno mismo.

8.1 Normas de higiene

Según la organización mundial de la salud, la correcta ejecución de estas normas supondrá evitar cualquier tipo de contaminación en las galletas y en las instalaciones, algo extremadamente importante en la industria de la alimentación, ya que podría provocar enfermedades graves en los consumidores.

Cada trabajador deberá llevar una bata blanca y un gorro para evitar la caída del pelo en el producto o el recipiente. Si el trabajador tiene barba también debe tapársela con un gorro.

Se debe tener una higiene personal correcta. Esto supone lavarse frecuentemente las manos con agua caliente y jabón, además de secarse las manos con toallitas desechables. Acciones como estornudar o recoger algo del suelo requieren de un lavado inmediato.

Dentro de la cámara el manipulador no se podrá realizar actividades como fumar o masticar chicle. Tampoco se podrá estornudar ni toser, si siente la necesidad deberá salir de inmediato al exterior.

Las bandejas que soportan las galletas deberán ser esterilizadas una vez han realizado su función, ya que es poco higiénico y un lote de galletas contaminadas podría contaminar al siguiente.

Una vez acabada la jornada se debe higienizar el interior de la cámara con productos de limpieza por las razones nombradas en el párrafo anterior.

8.2 Normas de seguridad

Las normas de seguridad evitarán poner en peligro el equipo de la cámara y la integridad de los trabajadores.

Es conveniente que el trabajador no se acerque demasiado al ventilador de la bomba de calor, pues tiene mucha potencia y el aire sale de ahí a altas temperaturas. También deberá permanecer en la cámara el menor tiempo posible, pues en el interior hay una temperatura de 50 °C y no es conveniente prolongar la estancia más de lo estrictamente necesario, pues podría provocar mareos y malestares.

Para avisar de este peligro se colocará en cada una de las puertas el siguiente cartel:



El trabajador no podrá introducir ningún tipo de líquido en el interior a no ser que sea un producto de limpieza para la esterilización, pues un simple derrame podría dañar el equipo y/o provocar un incendio.

Si se provoca un incendio se desconectará la instalación de la corriente y se apagará el fuego con uno de los extintores de los que dispone la nave, además de avisar al cuerpo de bomberos.

Para el transporte de los carros se utilizará una barra metálica para evitar el contacto directo con el acero y así posibles quemaduras.

9 Estudio económico

En este apartado se hará un análisis global de las ganancias económicas que conllevan la realización de este diseño. Partiendo de los costes diarios, de inversión y mantenimiento, de la amortización y los beneficios.

9.1 Costes

Se ha llamado y contactado con distintas empresas del sector, como por ejemplo: Trotec, Diaterm, ReformasIntegrales10, Mitsubishi, Cablematic... etc. Estas empresas se dedican en su mayoría a instalaciones de calefacción, deshumidificación y construcción de paneles sándwich.

Se ha explicado mi diseño y se ha pedido varios presupuestos, pudiendo recopilar en las tablas siguientes los mejores en cuanto a relación calidad precio.

Costes de equipo

	Coste del equipo por unidad (€)	Número de unidades	Coste real (€)
Ventilador	163,42	6	980,52
Estructura ventilador	300	1	300
Célula fotosensible	7	6	42
Deshumidificador	30855	1	30855
Bomba de calor	5600	1	5600
Iluminación	20	2	40
Panel sandwich de poliuretano	30	67,6	2028
Panel sandwich de poliestireno	20,3	25,2	511,56
Rampas	50	2	100
Fuente eterna de alimentación	19,36	1	19,36
Transistor	5	1	5
Arduino	5	1	5
Cables	10	1	10
		Coste total	40496,44

Costes de instalación

	Coste real (€)
Estructura cámara	120
Instalación eléctrica	100
Coste total	220

La empresa dispone de dinero suficiente para pagar los costes de equipo y de instalación, por tanto no será necesario realizar ningún tipo de préstamo bancario.

Costes de energía

	Energía que gastan todas las unidades(kW)	Tiempo en funcionamiento (h)	Coste energía (€/kWh)	Coste real (€/día)	Coste real (€/año)
Ventilador	0,72	8	0,14	0,78	158,99
Célula fotosensible	0,1	8	0,14	0,11	22,08
Deshumidificador	5,1	8	0,14	5,55	1126,21
Bomba de calor	2,34	8	0,14	2,54	515,63
Iluminación	0,25	8	0,14	0,27	55,65
			Coste total	9,25	1878,56

Costes de mantención

	Coste (€/día)	Coste (€/año)
Esterilización de la cámara	2	406
Reparación del equipo	2,96	600
Cambio de filtros del deshumidificador	1,97	400
Coste total	6,93	1406

9.2 Beneficios

En la tabla de abajo se le aplica al beneficio por galleta anterior el coste del secado:

Beneficio por galleta (€/galleta)	Coste de energía por galleta (€/galleta)	Beneficio real por galleta (€/galleta)
0,06	0,00045	0,0596

El deseo del cliente es el de continuar con este nuevo beneficio por galleta, ya que la diferencia es muy pequeña y no desea aumentar el precio de venta.

La siguiente tabla de beneficios se ha realizado teniendo en cuenta que con la cámara deshidratadora se vendería el doble de galletas que sin ella:

	Antes de la instalación de la cámara	Después de la instalación de la cámara
Producción (galletas/día)	18000	36000
Beneficio por galleta (€/galleta)	0,0596	0,0596
Beneficio real (€/día)	1071,91	2143,82
Beneficio real (€/año)	217597,72	435195,44
Beneficio neto (€/día)	1071,91	
Beneficio neto (€/año)	217597,72	

	Balance económico	Balance económico de media al día
Año 1	173596,72	855,16
Año 2	214313,16	1055,73
Año 3	214313,16	1055,73
Año 4	214313,16	1055,73
Año 5	214313,16	1055,73
Año 6	214313,16	1055,73
Año 7	214313,16	1055,73
Año 8	214313,16	1055,73
Año 9	214313,16	1055,73
Beneficio total (€)	1888102,02	9301,00

	Balance económico	Balance económico de media al día
Mes 1	-16903,87	-768,36
Mes 2	6908,71	314,03
Mes 3	23812,57	1082,39
Mes 4	23812,57	1082,39
Mes 5	23812,57	1082,39
Mes 6	23812,57	1082,39
Mes 7	23812,57	1082,39
Mes 8	23812,57	1082,39
Mes 9	23812,57	1082,39

	Balance económico	Balance económico de media al día
Semana 1	-34763,30	-6952,66
Semana 2	-28810,15	-5762,03
Semana 3	-22857,01	-4571,40
Semana 4	-16903,87	-3380,77

	Balance económico	Balance económico de media al día
Semana 5	-10950,72	-2190,14
Semana 6	-4997,58	-999,52
Semana 7	955,56	191,11
Semana 8	5953,14	1190,63

Realizando un estudio anual, mensual y semanal se puede observar que la amortización de la cámara llegara entre la sexta y la séptima semana posterior a la instalación.

10 Conclusiones

Este proyecto me ha acercado un poco al mundo laboral, pues he podido relacionarme con empresas de verdad, tanto con mi cliente como con las que he contactado para explicarles mi caso, pedir algún consejo que otro y solicitar presupuestos.

Creo que el diseño me ha exigido poner en práctica los conocimientos de varios campos estudiados en el grado como pueden ser la termodinámica, instalaciones térmicas y el uso de varios programas informáticos como MatLab, Excel y AutoCad. Todo eso me ha servido para refrescar la memoria y saber de que manera aplicar conjuntamente las competencias adquiridas.

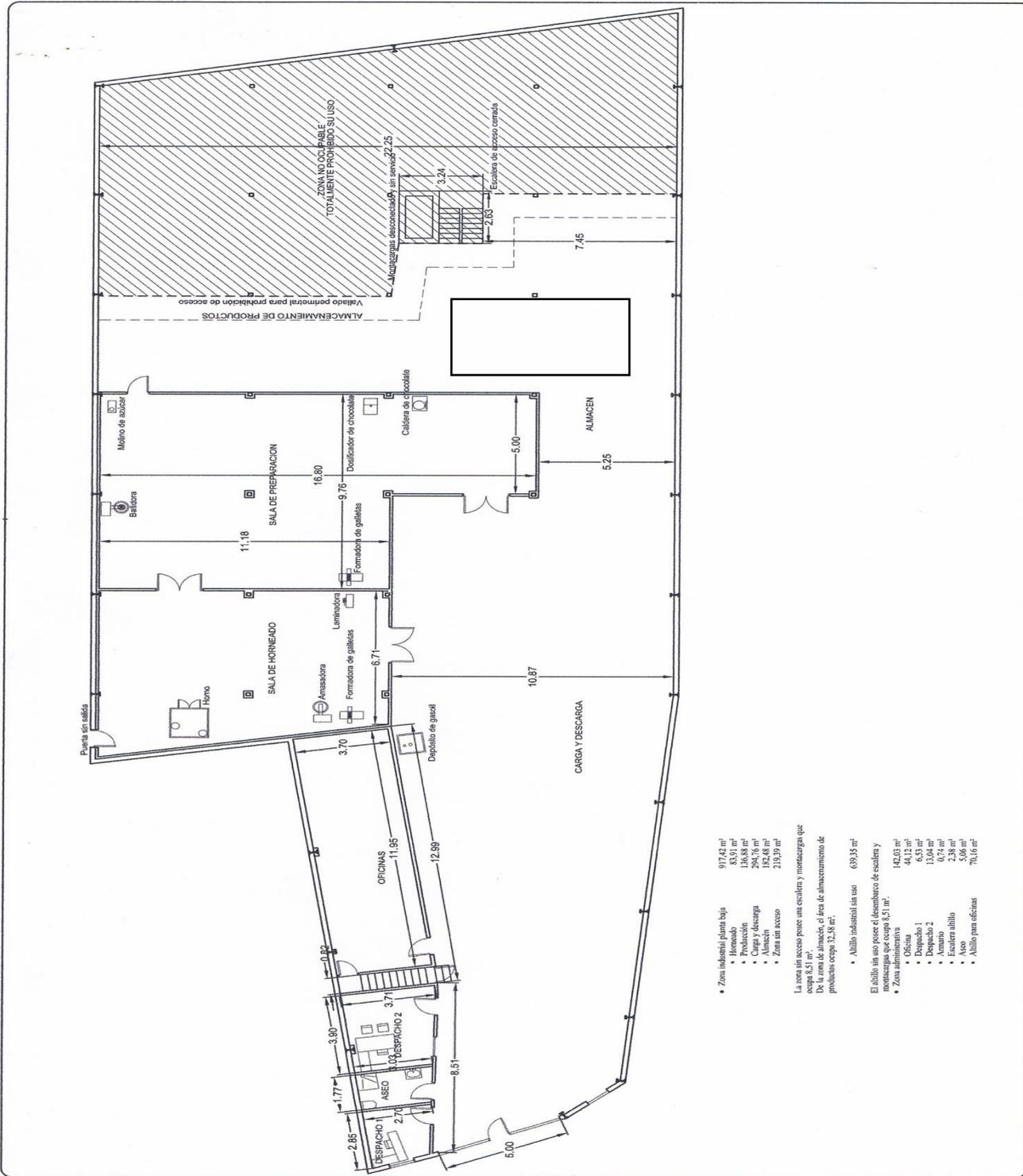
El hecho de no disponer de muchos ejemplos ni de ninguna guía me ha hecho aplicarme al máximo en cuanto a la realización del diseño y la búsqueda de información, algo que realmente creo que me ha curtido y servido de experiencia.

Observando con atención las cifras obtenidas, considero que al menos en la teoría he realizado un buen diseño, pues he podido aportar a una empresa con un problema grave una solución eficiente, pues podría al menos duplicar la producción de galletas y servir para otros productos de pastelería o alimenticios en general. También creo que es una solución bastante económica, pues, como he mostrado anteriormente en los costes, la empresa amortizaría la cámara en la séptima semana y comenzaría a ver cifras bastante positivas, pues la diferencia monetaria anual entre la aplicación o no aplicación de esta solución es de 216000 €.

Por tanto, creo que hice bien aventurándome a hacer un proyecto como este, ha sido gratificante y desde luego me ha servido de gran experiencia.

12 Planos

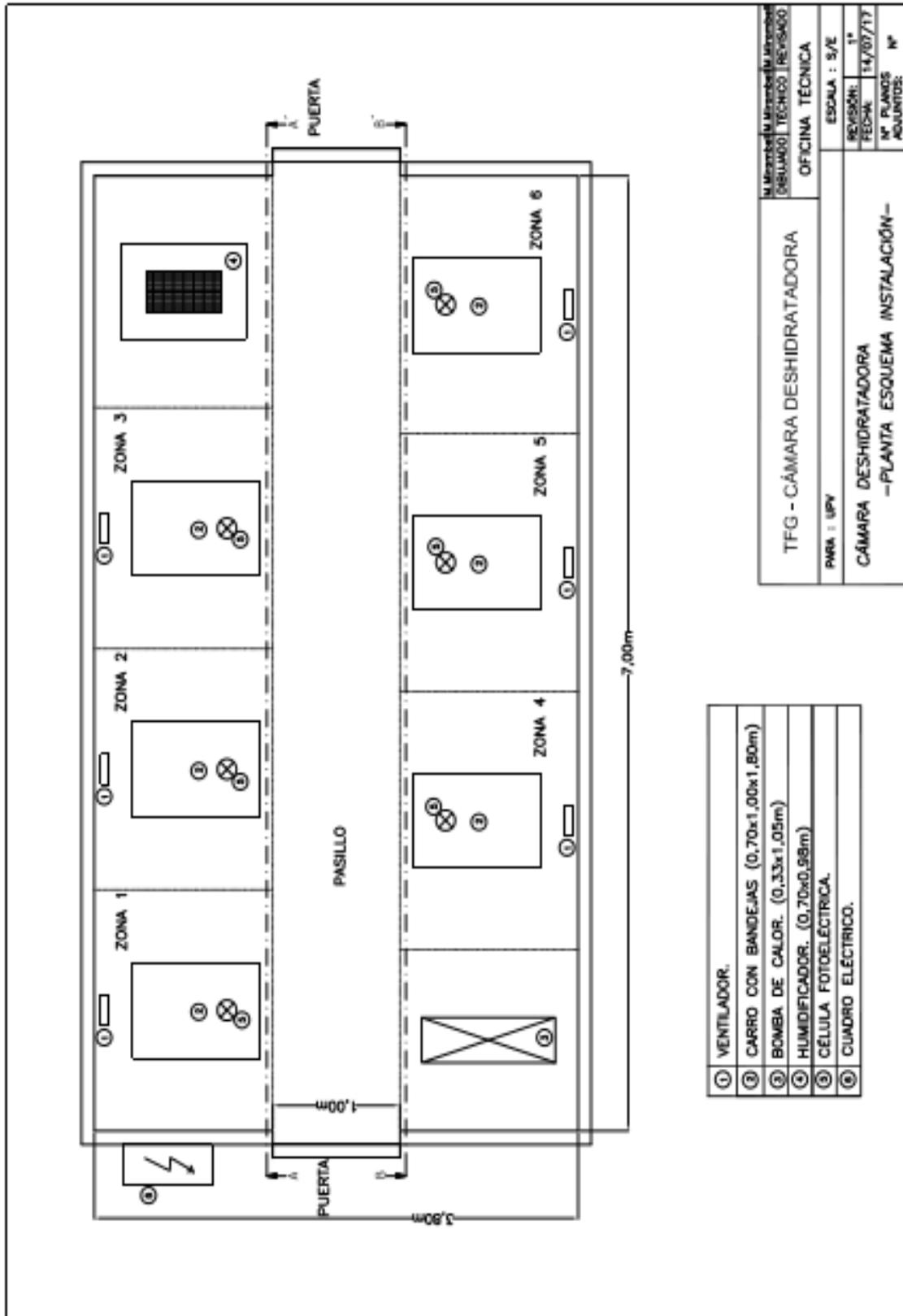
Plano 1*



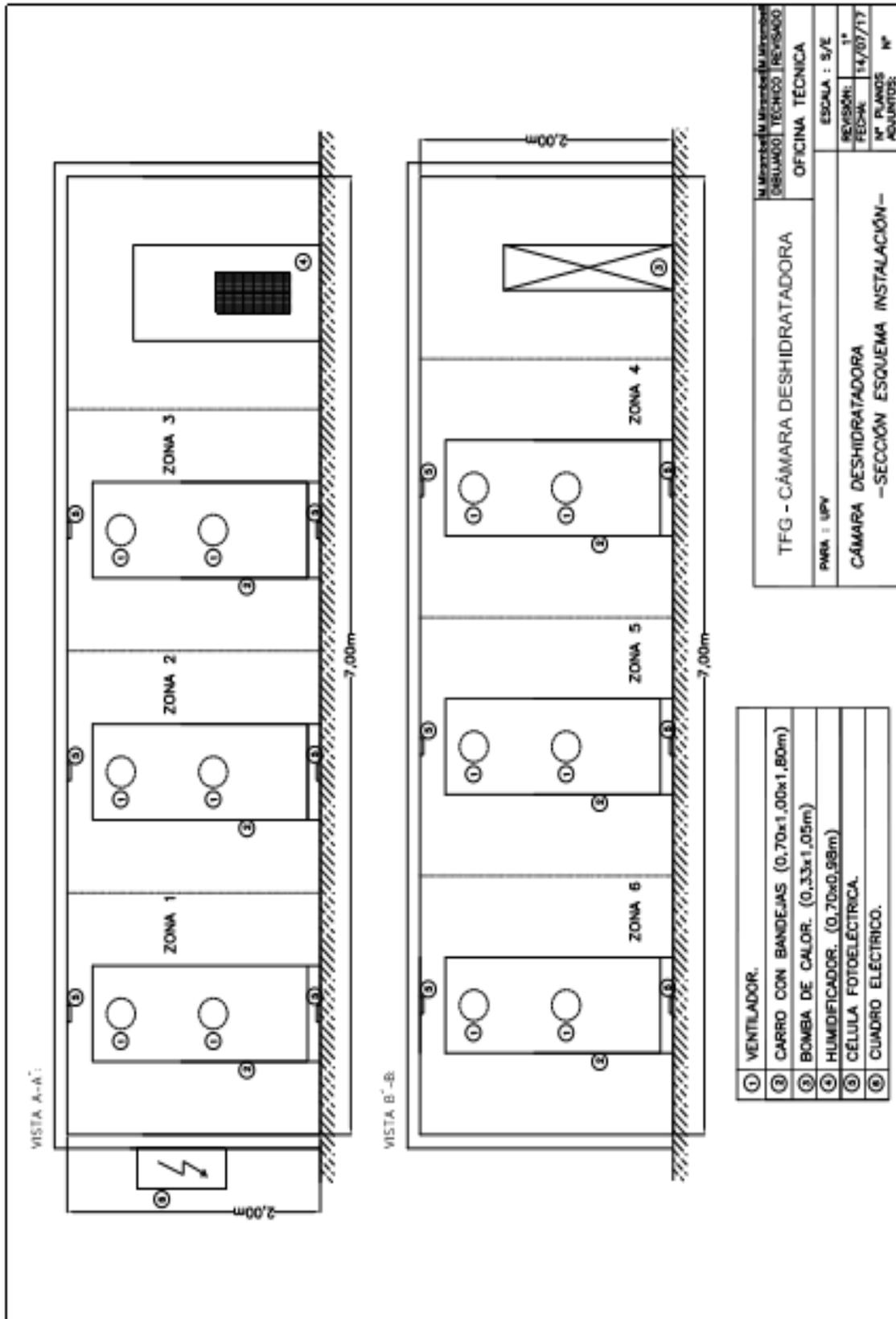
- Zona industrial planta baja
 - Armario 18,59 m²
 - Pasillo 204,76 m²
 - Carga y descarga 182,48 m²
 - Almacén 213,39 m²
 - Zona sin acceso
- Zona sin acceso posee una escalera y rampa que ocupa 8,51 m². De esta zona, únicamente el área de almacenamiento de productos ocupa 32,58 m².
- Altillo industrial sin uso 639,35 m²
- El altillo aún no posee el desembarco de escaleras y rampa que ocupa 8,51 m².
- Zona de oficinas
 - Oficina 44,12 m²
 - Despacho 1 6,53 m²
 - Despacho 2 13,04 m²
 - Armario 0,74 m²
 - Escalera altillo 2,38 m²
 - Aseo 5,06 m²
 - Altillo para oficinas 70,0 m²

	Proyecto Licencia de apertura para pastelería industrial	Titular Panabell S.L.	Situación Calle Isidro Pastor Casas 95 Montforte del Cid (Alicante)	Plano Cotas y superficies planta baja. Distribución de maquinaria.	Escala 1/150	Plano nº 2	Elaborado por El Ingeniero Industrial Ismael Sánchez Marnesa
					Fecha 11-2-015	Revisión nº 0	

Plano 2*



Plano 3*



13 Fichas técnicas

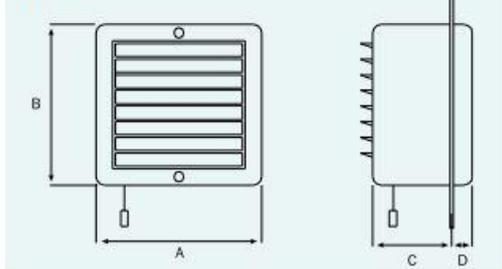
Ventiladores



Imagen del modelo de ventilador

DIMENSIONES / DIMENSIONS / DIMENSIONS / ABMESSUNGEN (mm)

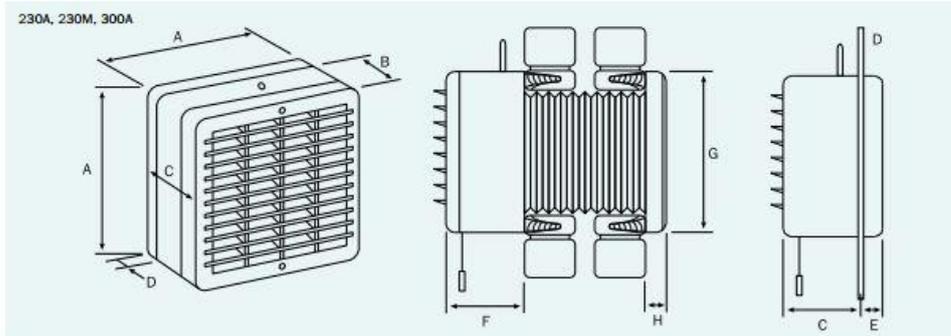
150A, 150M



	A	B	C	D
MURO-CRISTAL 150A	203	203	95	23
MURO-CRISTAL 150M	203	203	95	23

Orificio en cristal
Orifice in the glass
Orifice en verre
Öffnung im Glas / Glasausschnitt

230A, 230M, 300A



	A	B	C	D	E	F	G	H
MURO-CRISTAL 230A	286	286	112	4-32	25	112	286	25
MURO-CRISTAL 230M	286	286	112	4-32	25	112	286	25
MURO-CRISTAL 300A	362	362	133	4-32	29	133	362	29

Orificio en cristal
Orifice in the glass
Orifice en verre
Öffnung im Glas / Glasausschnitt

Dimensiones de los ventiladores

CARACTERÍSTICAS / CHARACTERISTICS / CARACTERISTIQUES / EIGENSCHAFTEN

- Fabricados en termoplástico ABS.
- Motor monofásico, lubricado para alargar su vida útil.
- The units are manufactured using high impact ABS thermoplastic.
- Power is provided by a single phase induction motor with pre-oiled bearing for a long maintenance-free life.
- Matériaux résistant aux chocs (ABS thermoplastique).
- Moteur à induction monophasé à roulement huilé ne nécessitant aucun entretien.
- Hergestellt aus schlagfestem ABS Thermoplastik.
- Die Leistung wird von einem einphasigen Induktionsmotor mit vorgeölten Lagern für lange wartungsfreie Lebensdauer geliefert.

Versión básica / Standard version / Version basique / Standardausführung

		m ³ /h	220 - 240 V W AC 50 Hz	r.p.m.	dB (A)	1	2	3	ACCESORIOS / ACCESSORIES ACCESSOIRES / ZUBEHÖR
MURO-CRISTAL 150M	MC0016M	250	17	2.400	40	•			•
MURO-CRISTAL 150A	MC0016A	250	20	2.400	40		•		•
MURO-CRISTAL 230M	MC0024M	750	41	1.250	50	•			•
MURO-CRISTAL 230A	MC0024A	750	41	1.250	50		•	•	•
MURO-CRISTAL 300A	MC0031A	1.400	82	1.300	60		•	•	•

1 = Apertura de la persiana manual / Manual shutter opening / Overture manuelle persienne / Manuelle Klappenöffnung

2 = Apertura de la persiana automática / Automatic shutter opening / Overture automatique persienne / Elektrischer Klappenverschluss

3 = Posible funcionamiento reversible / Optional reversible function / possibilite fonctionnement reversible / Wahlweise Be-und Entlüftung

Características de los ventiladoresDeshumidificador:**Imagen del modelo de deshumidificador escogido**

DATOS TÉCNICOS		
Información general		
número de artículo		T.125.000.174
Capacidad de deshumidificación		
para 20 °C / 60 % h.r. [l/24h]		220
para 30 °C / 80 % h.r. [l/24h]		520
Caudal de aire		
fluj. máx. [m ³ /h]		5,800
Gama de trabajo		
temperatura mín. [°C]		-15
temperatura máx. [°C]		70
humedad del aire mín. [% r.F.]		30
humedad del aire máx. [% r.F.]		90
valores eléctricos		
conexión a la red eléctrica		400 V/50 Hz
consumo de potencia nominal [A]		9
consumo de potencia [kW]		5,1
corriente requerida para la prueba en funcionamiento [A]		22
fuente recomendada [A]		25
Conexión eléctrica		
conector		CEE 16 A rojo
emisión de calor		
kW		10
eficiencia (COP)		2,7
compresor		
tipo de refrigerante		R-134a
Cantidad de refrigerante [g]		9.500
factor GWP		1.433
CO ₂ -equivalente [t]		13,585
Presión del lado de succión [MPa]		0,7
Presión del lado de descarga [MPa]		2,7
valores de sonido		
separación 3 m [dB(A)]		63
medidas		
longitud (sin embalaje) [mm]		700
ancho (sin embalaje) [mm]		985
altura (sin embalaje) [mm]		1.476
peso		
(sin embalaje) [kg]		170

Datos técnicos

INSTALACIONES, CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONES		
descongelación automática		
gas caliente		—
higrostat		
externa		■
Salida de agua condensada		
se puede conectar la manguera		■
manguera suministrada		□
tamaño recomendado de la manguera [mm]		45
bomba de agua condensada		
predeterminado		□
movilidad		
montacargas		■
ruedas neumáticas de metal		—

Instalaciones y funciones

Bombas de calor:**Serie Multi S (PUMY-P112VKM)**

MODELO		PUMY-P112VKM	
Capacidad Nominal	Refrigeración	kCal/h(1)	11,200
	Refrigeración	kW(2)	12.5
	Calefacción	kW(3)	14.0
Consumo Nominal	Refrigeración	kW	2.79
	Calefacción	kW	3.04
Coeficiente Energético	EER		4.48
	COP		4.61
Interiores Conectables	Capacidad Total		50 ~ 130% de la capacidad de la unidad exterior
	Modelo / Cantidad		P16 ~ P126 / 1~9
Alimentación		Fases, V/Hz	1 Fase, 230V / 50Hz
Intensidad nominal refr. 380V-50Hz		A	12.87
Diam. Tuberías líquido/gas		mm	9,52/15,88
Long. Máx tubería vert. total		m	50/300
Nivel Sonoro		dB(A)	49
Ventilador	Caudal de aire	m ³ /min	110
	Potencia	kW	0,06 x 2
Compresor	Potencia	kW	--
	Refrigerante	Ø	R-410A / 4,8kg
Dimensiones (Ancho x Alto x Fondo)		mm	1.050 x 1.338 x 330
Peso		kg	123
Rango de operación (refr/calef)		°C	-5 Ts a 46 Ts** / -15 Th a 15 Th
PVR			6,600 €

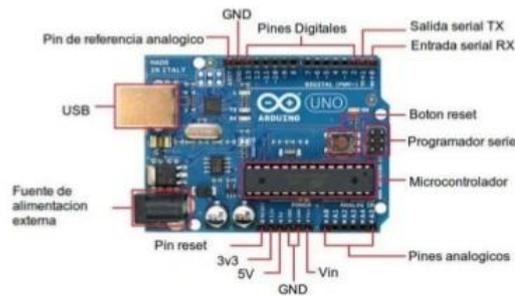
Ficha técnica

Instalación eléctrica:

COMPONENTES UTILIZADOS 1/5

ARDUINO UNO

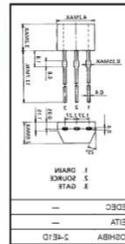
“Es un dispositivo de hardware libre, que se basa principalmente en un microcontrolador que permite ser utilizado en diferentes disciplinas o proyectos de electrónica” (Arduino, 2015)



Arduino-UNO



En las hojas de características de los fabricantes de FETs encontrarás los siguientes parámetros (los más importantes): VGS y VGD.- son las tensiones inversas máximas soportables por la unión PN. IG.- corriente máxima que puede circular por la unión puerta - surtidor cuando se polariza directamente. PD.- potencia total disipable por el componente. IDSS.- Corriente de saturación cuando VGS=0. IGSS.- Corriente que circula por el circuito de puerta cuando la unión puerta - surtidor se encuentra polarizado en sentido inverso.



- Low noise figure: NF = 2.5dB (typ.) (f = 100 MHz)
- High forward transfer admittance: $|Y_{fs}| = 9 \text{ mS}$ (typ.)
- Extremely low reverse transfer capacitance: $C_{rss} = 0.1 \text{ pF}$ (typ.)

Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Characteristics	Symbol	Rating	Unit
Gate-drain voltage	V _{GD0}	-18	V
Gate current	I _G	10	mA
Drain power dissipation	P _D	200	mW
Junction temperature	T _J	125	°C
Storage temperature range	T _{stg}	-55-125	°C

Transistor MOSFET



Descripción fuente de alimentación de 12 VDC a 3000 mA

Fuente de alimentación AC/DC lineal regulada tipo sobremesa compacta con potencia de 3000mA. Voltaje de entrada de 250VAC y voltaje de salida de 12VDC. Dispone de salida DC de tipo bornes desenroscables. Además se suministra con cable adaptador de mechero de coche (hembra). Tamaño de la fuente de 174x122x96mm.

Tamaños



Peso: 2.44 Kg.

Fuente externa de alimentación

14 Programas informáticos

Los programas informáticos que se han utilizado para la realización de este proyecto han sido:

AirLite:PsychrometricCalculator

Excel

MatLab

CoolPack

AutoCad

15 Bibliografía

[https://es.trotec.com/productos/maquinas-](https://es.trotec.com/productos/maquinas-highperformance/deshumidificacion/deshumidificadores-de-condensacion-estacionarios/deshumidificadores-industriales-de-la-serie-dh/dh-300-bh/)

[highperformance/deshumidificacion/deshumidificadores-de-condensacion-estacionarios/deshumidificadores-industriales-de-la-serie-dh/dh-300-bh/](https://es.trotec.com/productos/maquinas-highperformance/deshumidificacion/deshumidificadores-de-condensacion-estacionarios/deshumidificadores-industriales-de-la-serie-dh/dh-300-bh/)

<http://reformasintegrales10.com/aislamiento/poliuretano/poliuretano-proyectado-precio-m2/>

<http://www.diaterm.com/es/catalog:Cos/0/aislamiento-termico-construccion/poliestireno-expandido>

http://www.efectoled.com/es/comprar-detectores-presencia-luminicos/1095-detector-de-presencia-pir-120-mini.html?gclid=CjwKCAjw16HLBRBFEiwAEIREqP4Lep0spbWJQ7Hw_erwWwjBZy7yr3OBkLEAOBZWwnFSFbAyXWanIRoCZpoQAvD_BwE

<http://www.valvias.com/prontuario-propiedades-materiales-calor-especifico.php>

https://www.wellindal.es/jardin/gre/bomba-de-calor-3-8-kw?r=8412081264639&gclid=Cj0KCQjwTjzLBRC7ARIsAGMkOAn7EKAxmNISVs_vdhFECE9ST9PHm6o6ZRqyZK-N-uQtPZR-EI9TCkwaAjn-EALw_wcB

<http://www.mitsubishielectric.es/aire-acondicionado/productos/serie-multi-s-pumy>

<http://www.mitsubishielectric.es/aire-acondicionado/productos/serie-multi-s-pumy/datos-tecnicos>

<http://902castillosergio.blogspot.com.es/2013/02/norma-de-higiene-y-manipulacion-de.html>

<http://www.cablematic.es/Fuente-de-alimentacion-externa/Fuente-de-alimentacion-de-12-VDC-a-3000-mA/FA12/?pag=14>