



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

ADAPTACIÓN DE EQUIPOS DE PRODUCCIÓN DE
HIELO PARA LA SUSTITUCIÓN DEL
REFRIGERANTE R452A POR R290

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

AUTOR/A: Grau Salvador, Carlos

Tutor/a: Sarabia Escrivà, Emilio José

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Escuela técnica superior de Ingeniería del diseño
Universidad Politécnica de Valencia

Adaptación de equipos de producción de hielo para la sustitución del refrigerante

R452A por R290

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería Mecánica
2022-2023

Autor: Carlos Grau Salvador

Tutor: Emilio José Sarabia Escrivà



ÍNDICE

MEMORIA

1.Objetivos y alcance.....	3
2.Introducción	4
2.1 Antecedentes	4
2.2 Normativa F-Gas.....	5
2.3. Descripción del equipo y sus características.....	7
3. Adaptación del equipo	14
3.1. Refrigerante R290	14
3.2. Elemento de expansión.....	15
3.3. Evaporador	16
3.4. Compresor.....	18
3.5. Condensador	23
3.6. Diseño previo al desarrollo	25
4.Pruebas.....	29
4.1. Descripción de los ensayos realizados	31
4.2 Resultados.....	34
4.2.1 R452A	34
4.2.2 R290.....	38
4.3. Análisis de resultados.....	40
5.Conclusiones	45

PRESUPUESTO

6.1.Presupuesto del nuevo equipo.....	46
6.2.Presupuesto del estudio de adaptación	49

PLANOS	51
---------------------	----



MEMORIA

1. Objetivos y alcance

El objetivo del presente trabajo es estudiar la viabilidad del refrigerante R290 en máquinas de producción de hielo, frente al refrigerante actual empleado, el R452. Además, veremos las principales diferencias y las ventajas o inconvenientes que presentan cada uno de los refrigerantes.

El estudio de esta viabilidad tiene como principal finalidad la resolución de los problemas causados por el refrigerante anterior, así como la mejora continua de las máquinas trabajadas.

Para todo ello deberemos responder a algunas cuestiones; ¿Qué queremos valorar?, ¿Qué mejoras estamos buscando?, ¿Qué coste nos supone realizar estos cambios? Para resolver todas estas cuestiones deberemos estudiar los distintos tipos de refrigerante, conocer al máximo la máquina con la que vamos a trabajar y posicionarnos en la situación actual de este tipo de máquinas.

Para ello tendremos que valorar todas las opciones de componentes que tenemos, escoger cual va a ser el orden para realizar el cambio de refrigerante y estudiar las ventajas e inconvenientes que tienen entre ellos. Además, vamos a ver la normativa que debemos cumplir según el grupo de producto al que ITV pertenece.

2. Introducción

2.1 Antecedentes

Para ponernos en situación vamos a conocer la empresa donde he podido realizar este trabajo. ITV ICE MAKERS es una empresa valenciana que se fundó en el año 1982. Desde su fundación la empresa ha ido creciendo y creando nuevas gamas de hielo, así como nuevas máquinas. Hoy en día cuenta con 180 trabajadores y 6 cadenas de montaje, además de filiales en Francia y en Estados Unidos y una delegación comercial exclusiva en Portugal.



Figura 1: Logo de itv ice makers.

Además, utilizaremos el programa de gestión de ERPs NEXOGES. Nexo es una empresa de Ingeniería Informática fundada en 1991. Llevan más de 30 años de experiencia implantando soluciones de gestión empresarial y servicios informáticos. Programa que utilizaremos para el control de los componentes de las máquinas, la preparación de los planos para producción y los procesos de fabricación.

Los tipos de hielo que se producen en ITV son hielo en cubitos, escama, triturado y nugget.

Vamos a realizar la adaptación del cambio sobre una máquina de hielos Quasar de ITV ICE MAKERS. La gama es Quasar y el modelo será la Quasar 130 (NGQ 130). He tenido la oportunidad de realizar mis prácticas en esta empresa donde he tenido la libertad de elegir el tema a desarrollar en este trabajo y he podido dedicarme al seguimiento de los cambios en esta máquina durante el paso de R452 a R290.

Para empezar a trabajar en el cambio de refrigerante debemos estudiar la máquina con su refrigerante anterior. Es por ello por lo que creo conveniente empezar este trabajo hablando sobre el refrigerante R452.

El R452A es un gas que proviene de la unión de dos hidruros: El HFC, hidrurofluorocarbono, y el HFO, hidrurofluoroolefina. Sus características principales son:

- Sustituto directo del R404A y R507 en equipos de transporte frigorífico y de refrigeración comercial e industrial.
- Potencial de calentamiento atmosférico es un 45,41% inferior al del R404A. PCA del R404A ES 3922, frente al PCA del R452a que es 2140.
- Es compatible con aceites sintéticos POE.

Es una sustancia que tiene poca toxicidad y no es inflamable. Por lo que vemos en sus características es el mejor sustituto del R404A, este es el anterior refrigerante que utilizamos en las máquinas de ITV ICE MAKERS.

Pertenece a la familia de los hidrofluorocarbonos. Son gases que se emplean en aires acondicionados y sistemas refrigerantes. Su gran desventaja es el potencial de calentamiento (GWP), no obstante, su PCA se encuentra muy por debajo del R404A. Una de las mayores desventajas de estos refrigerantes es que su PCA tiene un grave impacto en el efecto invernadero. En el punto de normativa F-Gas veremos la comparativa entre los refrigerantes y la normativa a seguir.

2.2 Normativa F-Gas

Uno de los temas más importantes a tratar en las industrias es el cumplimiento de la normativa. En el apartado de los refrigerantes deberemos cumplir con la normativa F-GAS (Reglamento 517/2014 del Parlamento Europeo y del consejo sobre gases fluorados de efecto invernadero). El motivo de la adaptación de el equipo que estamos estudiando en este trabajo es el cumplimiento de esta normativa.

Citando la norma podemos definir que objetivos tiene la normativa F-gas:

“El objetivo del presente Reglamento es proteger el medio ambiente mediante la reducción de las emisiones de gases fluorados de efecto invernadero. En consecuencia, el presente Reglamento:

- *Establece normas sobre contención, uso y destrucción de gases fluorados de efecto invernadero...*
- ***Establece condiciones a la comercialización de productos y aparatos específicos que contengan gases fluorados de efecto invernadero o cuyo funcionamiento dependa de ellos;***
- *Establece condiciones a usos específicos de gases fluorados de efecto invernadero, y*
- *Fija límites cuantitativos para la comercialización de hidrofluorocarbonos.”*

Así pues, nuestro caso es el citado en el segundo apartado, como productores de máquinas y productos a la venta con gases fluorados. Es entonces cuando se estudian las condiciones a cumplir para la comercialización de nuestros productos.

Según el artículo 11 de la normativa, apartado 1 : “La comercialización de productos y aparatos enumerados en el anexo III, a excepción de los equipos militares, estará prohibida a partir de la fecha especificada en dicho anexo, diferenciando, cuando proceda, según el tipo o el potencial de calentamiento atmosférico de los gases fluorados de efecto invernadero que contengan.”

Y una vez acudimos al Anexo III, sabiendo que nuestros productos pertenecen al grupo 12; aparatos que contienen HFC, o cuyo funcionamiento depende de ellos. Si tenemos un PCA (Potencial de calentamiento atmosférico) mayor o igual a 2500, excepto aparatos para diseñar aplicaciones que refrigeren productos a $T^a < -50^{\circ}\text{C}$, esta prohibida la venta de estos productos.

12. Aparatos fijos de refrigeración que contengan HFC, o cuyo funcionamiento dependa de ellos, con un PCA igual o superior a 2 500, excepto los aparatos diseñados para aplicaciones destinadas a refrigerar productos a temperaturas inferiores a $- 50^{\circ}\text{C}$	1 de enero de 2020
---	--------------------

Figura 2: Extracto de Reglamento 517/2014

El cumplimiento de esta normativa obliga a realizar trabajos de adaptación de los equipos y la utilización de nuevos refrigerantes. Veamos una tabla de los principales gases utilizados en las máquinas de ITV.

GAS	TIPO	PCA	USO PCA<2500
R-404a	HFC	3922	NOK
R-134a	HFC	1430	OK
R-452a	HFC	2140	OK
R-449a	HFC	1397	OK
R-290	HC	3	OK

Tabla 1. Tabla niveles PCA principales gases. OK<2500. NOK>2500

Durante los años previos a la fecha máxima impuesta por la normativa F-Gas, gran cantidad de máquinas utilizaban R-404a. Los motivos eran que era un refrigerante más económico y se podían obtener grandes beneficios de la producción de máquinas con este refrigerante.

Como vemos en la tabla anterior, el R-404a tiene un gran PCA, mayor de 2500, por lo que a partir del 1 de Enero de 2020 se prohíbe la utilización de máquinas con este refrigerante.

El paso de R404a a R452a es directa sin tener que adaptar la máquina a el nuevo refrigerante. Es por ello por lo que es la mejor opción para el cumplimiento de la normativa. No se tiene que realizar ninguna adaptación de la máquina. Es una gran opción para la adaptación de las máquinas a la normativa

En cambio, para el paso de R452a a R290 si que existe una adaptación de la máquina y una selección diferente de componentes. Entonces ¿Por qué decidimos adaptar las máquinas de R452a a R290? Son varios los motivos que responden esta pregunta:

- La normativa no es estanca. Hoy en día la normativa marca que el PCA debe ser menor de 2500, pero no tenemos la seguridad de que en unos años exista una nueva normativa y se reduzca este valor. De hecho, la utilización de refrigerantes con PCA

alto es uno de los motivos del calentamiento global, por lo que el objetivo es reducir la utilización de estos refrigerantes.

- Utilización de refrigerante naturales. El R290, conocido como propano, es un refrigerante que proviene de recursos naturales.
- Nueva imagen para la venta de máquinas. El cambio a gases naturales proyecta una imagen de empresa que está interesada en el calentamiento global y en reducir al máximo las emisiones y poner solución a los problemas existentes.

Otra norma que tenemos que nombrar que afecta a los productos que estamos estudiando, es la normativa técnica de producto EN 60335-2-24. Esta norma nos indica que las cargas máximas de refrigerante inflamable por circuito pueden ser de hasta 150 gr.

2.3. Descripción del equipo y sus características


Para la realización de este trabajo hemos utilizado una de las máquinas con más experiencia en ITV Ice Makers. Es de la familia QUASAR, que recibe su nombre del tipo de cubito que realiza. Es un cubito semihueco en forma de tubo. Los cubitos se forman en un evaporador en forma de dedo que hace que la forma de sus cubitos sea como en la imagen.



Figura 3: Cubitos QUASAR

La carrocería es toda de acero inoxidable AISI304 fácilmente desmontable, y tiene una puerta abatible hacia el interior. Existen muchos tamaños de máquinas, de las cuales podemos ver versiones condensadas por aire o agua y versiones en 220/50. 220/60 o 115/60.

Nosotros vamos a trabajar con la máquina Quasar 130, la más grande de la gama, condensada por aire de 220/50. Esta es la tabla de especificaciones de la máquina:

QUASAR 130C								
CONDENSATION CONDENSACIÓN	CODE REF.	PRODUCTION PRODUCCIÓN (Kg./24h.)	VOLTAGE VOLTAGE (V/Hz/N)	STORAGE ALMACÉN (Kg.)	CYCLE CICLO (Cubes/Cubitos)	NET WEIGHT PESO NETO (Kg.)	WIDTH x DEPTH x HEIGHT LARGO x PROF. x ALTO (mm)	SPEC.SHEET F. TÉCNICA
AIR AIRE	11310	122	230 / 50 / 1	50	80	80	844 x 557 x 984*	
WATER AGUA	11311	130	230 / 50 / 1	50	80	80	844 x 557 x 984*	

Packed shipping info. / Info. de expedición embalada: Dim.(WxDxH): 925 x 637 x 1125 mm. Weight/Peso: 86 Kg. Volume: 0,66 m³. *With extra feet / Con patas +105/155 mm

Figura 4: Ficha técnica NGQ 130

Como vemos recibe su nombre de la producción de kilogramos que produce la máquina al día a las temperaturas estándar de 20 grados temperatura ambiente y 15 grados temperatura del agua. La máquina está diseñada para producir 130 kg de hielo Quasar en 24 horas.



Figura 5:QUASAR 130

¿QUÉ FORMA UNA QUASAR 130?

Para entender como es la fabricación de la máquina Quasar vamos a repasar todo el proceso de fabricación. Las partes más importantes de la máquina son las siguientes:

- **Unidad condensadora.** Es una de las partes más importantes de la máquina. Está formado por el compresor, el condensador, presostatos, deshidratador y los tubos que unen todo el circuito. Todo se crea en una sección de ITV, a partir del diseño y la elección de componentes del laboratorio.



Figura 6:UC aire.

- **Cabezal.** Se trata del conjunto de piezas que se sitúan en la parte superior de la máquina. Se monta la bandeja con la cubeta y el evaporador. Es el sitio de la máquina donde se crean los cubitos, que una vez formados y con el paso de gas caliente por el evaporador caerán en dirección hacia la Cuba stock.



Figura 7: Cabezal NGQ130

- **Cuadro y cableado.** A partir del diseño de la máquina en el laboratorio definiremos el cableado de nuestra máquina. Este lo podremos fabricar en la sección de CUADROS de la empresa o pedirlo a proveedores externos.

Con la migración de las máquinas a R290 se presenta una oportunidad interesante para otros cambios. Gran cantidad de máquinas que están formadas por cuadros eléctricos se deciden pasar a electrónica. El objeto de este paso a electrónica es la modernización de los componentes, la seguridad en los procesos y por último, una máquina con placa electrónica puede permitir una mayor precisión y automatización en las funciones y procesos de la máquina.

Este cambio no es objeto de estudio en este trabajo.

- **Cuba STOCK.** Parte de la máquina donde se acumulan los hielos para su utilización. Está fabricada en una sección llamada CUBAS. Se crea por termo conformado y luego se introduce en un molde donde se aísla con poliuretano. De ahí pasa a un centro de mecanizado que realiza los cortes necesarios para tener la cuba acabada.

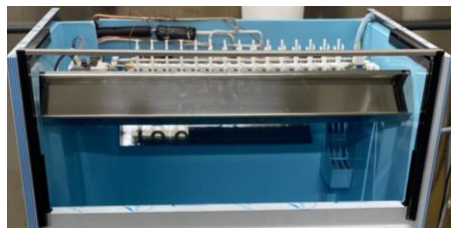


Figura 8: NGQ130 sin embalaje.

¿Cómo se fabrica?

Una vez conocemos las partes más importantes de la máquina y como se crean, vamos a ver como se montan todas para fabricar una máquina nueva. En ITV las máquinas se montan en cadenas de montaje.

En una de las cadenas la máquina seguirá el siguiente orden.

1. PUESTO 1. Se empieza desde la unidad condensadora. A partir de las órdenes creadas por el previo diseño de la máquina y de la experiencia de los operarios, se empieza a conectar el cableado. Se añaden las piezas que indicadas y la máquina pasa al puesto 2.
2. PUESTO 2. En este puesto se añaden la cuba stock, el cabezal, la aspiración y el tubo de gas caliente y se sueldan todas para tener el circuito de refrigeración creado y cerrado ya en la máquina.
3. PUESTO 3. Se recoge gran parte del cableado y se añaden piezas como las guías de la puerta y algunos pilares.
4. TEST Y PRUEBA. Las máquinas pasan la prueba de fugas y son cargadas con la carga del refrigerante que utilicen., en nuestro caso R290. Es en ese momento donde pasan a Test. Se encienden las máquinas y se prueba que todo funcione bien y fabriquen cubitos.
5. EMBALAJE 1. Se añaden las últimas piezas de chapa, como las traseras y la cubierta para dejar la máquina finalizada.
6. EMBALAJE 2. La máquina terminada se embolsa y se coloca en la caja de venta.



Figura 9: Cadena de montaje

Vamos a ver ahora como funciona una Quasar 130.

Consiste en una máquina formada por un equipo de refrigeración de ciclo simple. El compresor comprime el refrigerante en estado gaseoso, lo que provoca que aumente su presión y por tanto su temperatura. El refrigerante pasa al condensador donde se produce un intercambio con el aire exterior del equipo. El refrigerante cede calor al medio, con el objetivo de producir un cambio de estado, de gaseoso pasa a líquido.

Una vez se encuentra en estado líquido se utilizan los capilares, haciendo la función de válvula de expansión. El objetivo del capilar es encerrar el fluido en una superficie cada vez menor, buscando la expansión a la salida del refrigerante y por tanto la reducción de la presión.

Al salir del capilar, las partículas del refrigerante se expanden, ya que se encuentran muy separadas entre sí. Así es como vuelve a ocurrir un intercambio entre el fluido y el ambiente. El refrigerante absorberá el calor del medio y es cuando producirá frío. En este punto de la máquina es donde producirá el hielo, en el evaporador.

En la máquina que estamos estudiando, el evaporador es el más grande de la gama. El evaporador se coloca en una cubeta de agua, y el flujo recorre por todo el evaporador. Al estar en contacto con el agua el hielo se empieza a crear pegado a las paredes de los dedos del evaporador.

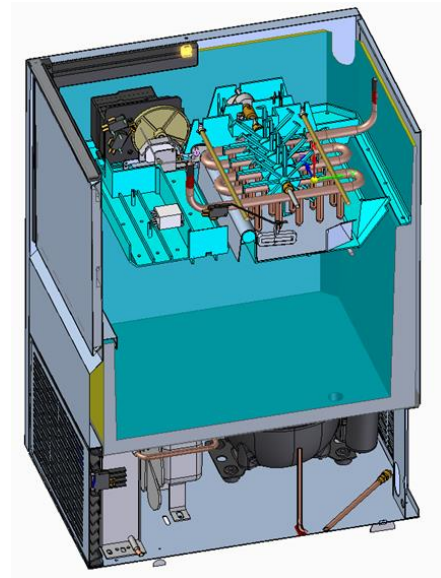


Figura 10: Vista corte Quasar 130

Una de las principales problemáticas en este tipo de máquinas consiste en el despegue del hielo del evaporador. Como este se encuentra pegado al evaporador, necesitaremos alguna ayuda externa. Esta ayuda se producirá mediante una válvula de gas caliente.

El compresor a su salida tendrá 2 caminos:

1. Condensador. Ciclo simple de producción frigorífica para la formación de los cubitos. El ciclo durante el cual se formarán los cubitos en el evaporador.
2. Válvula de gas caliente. Una vez se abra la válvula, parte del fluido no pasará por el condensador, sino que irá directo hacia el evaporador. Se abre la válvula, el fluido sale en dirección al evaporador, y durante el tiempo donde la válvula de gas caliente deja pasar al fluido se producirá el despegue de los hielos.

Una vez terminada la formación de cubitos para el despegue de los mismos del evaporador se realizará la maniobra de calentamiento del evaporador, al estilo desescarche por gas caliente.

Con ayuda del siguiente esquema podremos entender mejor el funcionamiento del ciclo de refrigeración:

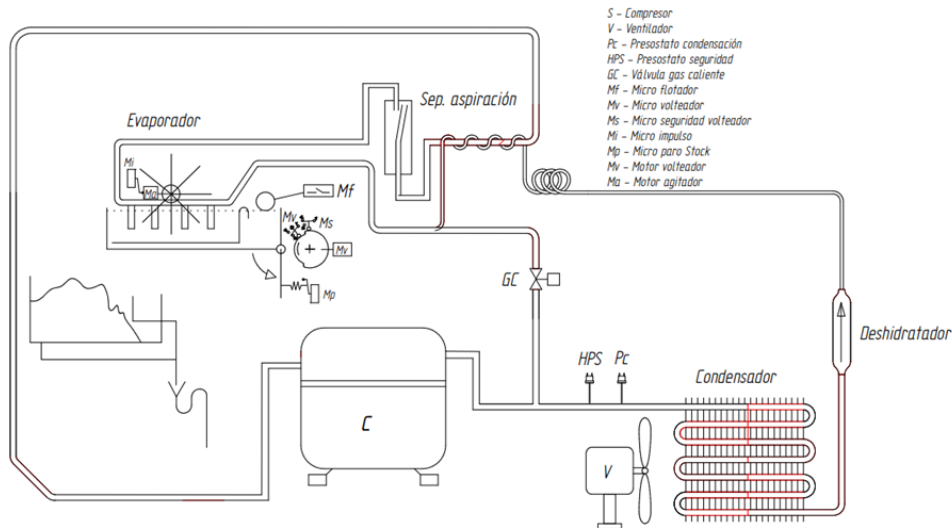


Figura 11: ciclo trabajo quasar

Cuando el refrigerante pase por el evaporador caliente, los cubitos formados caerán sobre la cuba de agua, y esta mediante el accionamiento de un microrruptor que activa un motor, girará sobre su eje para dejar caer en la cuba stock los hielos y expulsar el agua hacia el desagüe.

La Quasar 130 es la más grande de su gama, por lo que cuando se desarrolló la máquina encontraron problemas con el evaporador. El refrigerante necesario para cubrir todo el evaporador si se producía uno entero tenía que ser muy grande. Esto se debe a que es un evaporador muy largo y el caudal no era el mismo al principio del evaporador que al final. Esto producía tipos de hielo muy dispares, debido a que el hielo al principio se formaba mucho más pronto que en las partes finales. Es por ello por lo que se optó por partir el evaporador en 2 partes.

Esto provoca unos cambios, se deben añadir 2 capilares nuevos. Los 2 expandiendo a la misma presión y con la misma salida en dirección a la aspiración.

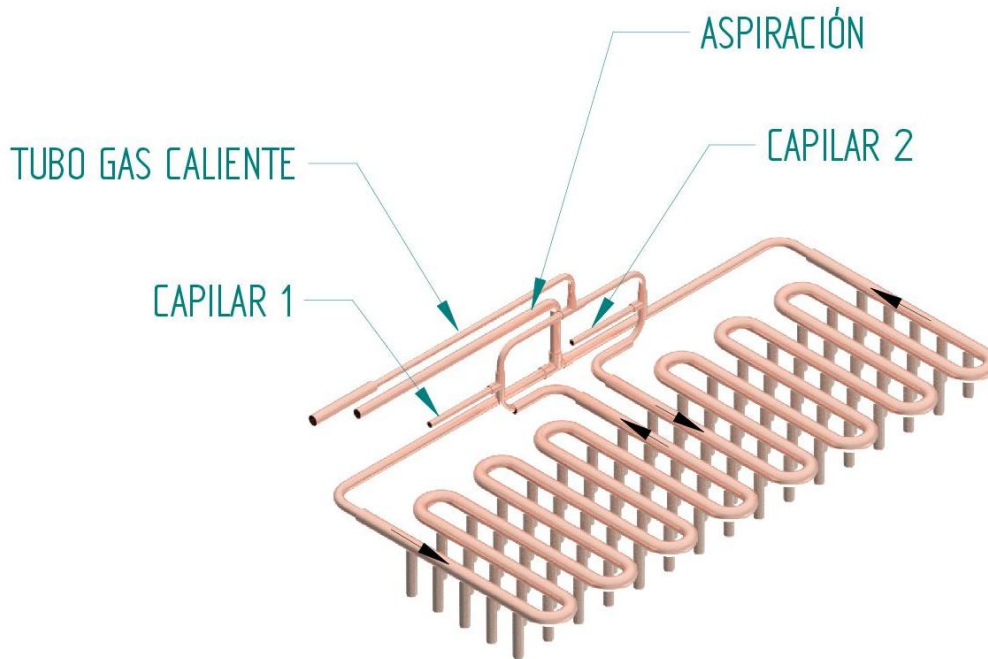


Figura 12: evaporador Q130

Pero ¿Cómo se forma el hielo en el cabezal?

Una vez empiece el ciclo, la máquina funcionará como un ciclo de refrigeración estándar. El cabezal donde encontramos la cuba es donde se formará el hielo.

El evaporador se encuentra en contacto con el agua estanca de la cuba. Una vez en contacto con el agua de la cuba el hielo se irá formando por capas adherido a los dedos del evaporador. Un agitador con aspas estará conectado a un motor, moverá el agua con el objetivo de evitar la estanqueidad del agua, y con el objetivo de activar un microrruptor cuando el hielo llegue al grosor adecuado.

Así mediante la carga adecuada y la distancia de los cubitos con las aspas del agitador definimos el tiempo de ciclo de la máquina.

Cuando las aspas del agitador activen el microrruptor, se abrirá la válvula de gas caliente dejando pasar gas desde el compresor hacia el evaporador empezando entonces el tiempo de despegue. Este tiempo será definido durante las pruebas de la máquina en el laboratorio, como veremos más adelante. La cubeta de agua rotará librando el agua sobrante y dejando caer los hielos dentro de la cuba de stock.

Una vez este tiempo termine la cubeta volverá a su posición, se llenará de agua y empezará de nuevo el ciclo de formación de hielos.

3. Adaptación del equipo

3.1. Refrigerante R290

El objetivo de este proyecto es la utilización del propano en las máquinas de creación de hielo. Como hemos visto el R290 presenta propiedades que nos facilitan el uso de este refrigerante con cargas mucho menores, cumpliendo con la normativa F-GAS.

Si estudiamos las características podemos ver que no todo son ventajas al trabajar propano, también encontramos algunos inconvenientes.

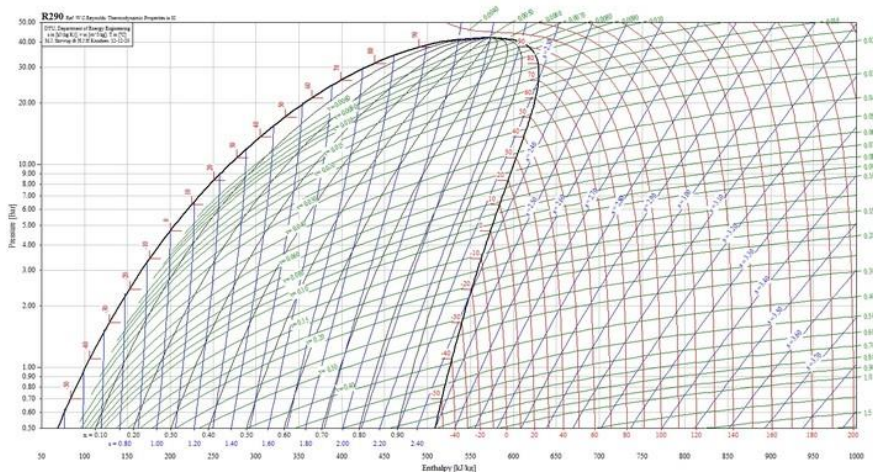


Figura 13: Diagrama mollier R290

Uno de los principales inconvenientes de trabajar con R290 es su alta inflamabilidad. El propano es inflamable y debe manipularse con precaución debido a su naturaleza combustible. Se requieren medidas de seguridad adicionales en el diseño y mantenimiento de máquinas que utilizan R290 como refrigerante.

La inflamabilidad que presenta el propano hace necesario para la comercialización de las máquinas en la Union Europea llevar el marcado CE ATEX, pero **¿que significa ATEX ?**

ATEX significa "Atmospheres Explosibles". Es una normativa europea que regula los equipos que se utilizan en atmosferas potencialmente explosivas. La directiva principal que define la normativa es la **Directiva 2013/34/UE**, conocida como ATEX114 O ATEX de equipos.

El objetivo de la normativa ATEX es el de prevenir y minimizar el peligro de explosiones en entornos donde se pueda acumular el refrigerante y formar una atmósfera potencialmente explosiva. Gran parte de los componentes eléctrico deberán cumplir la normativa ATEX.

Hay 2 maneras de certificar la normativa ATEX:

1. **Certificación en laboratorio.** En máquinas que no cuenten con todos los componentes ATEX, la parte eléctrica (que pueda crear chispas) deberá estar separada de la parte frigorífica. Es decir, el refrigerante en caso de fugas no puede estar en contacto directo con las partes eléctricas, por el peligro que esto puede suponer. Una vez se defina la

posición de los componentes la máquina deberá ser certificada por un laboratorio que pueda demostrar que no supone un peligro.

2. **Montar componentes con certificado ATEX.** En caso de que todos los componentes de la máquina tengan el previo certificado ATEX, la máquina no necesitará ser certificada por un laboratorio.



Figura 14: Certificado ATEX

El segundo caso supone una solución mejor para las máquinas de cubitos. Aunque los componentes ATEX hagan que el presupuesto de la máquina sea mayor, el valor de una certificación en laboratorio puede llegar a ser mucho más elevada.

En el caso de la QUASAR 130 en R290 decidimos contar con componentes con certificado ATEX. Con la utilización de la electrónica supone una facilidad mayor para la certificación de la máquina con el certificado CE ATEX.

3.2. Elemento de expansión

Los elementos de expansión en los circuitos refrigerantes son unos de los componentes más importantes. Tienen como objetivo regular el flujo del refrigerante a la entrada del evaporador.

El flujo del refrigerante a la salida del condensador se dirige hacia la válvula de expansión, como hemos visto en la descripción del funcionamiento de la máquina, utilizamos capilares como válvulas de expansión.

El funcionamiento de una válvula de expansión es encerrar el fluido en una sección menor con el objetivo de su expansión una vez salga de la válvula. Por otra parte, el capilar consiste en un tubo de cobre de diámetro muy pequeño por el que el flujo debe de pasar. Según las necesidades de la máquina la distancia del capilar será mayor o menor.

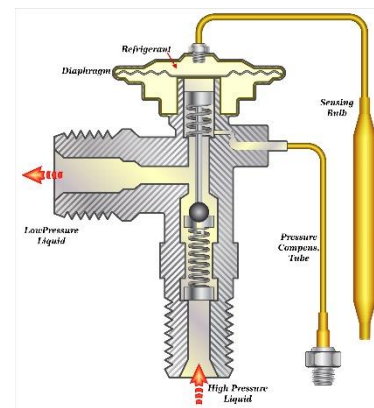


Figura 15: Válvula de expansión

En las dos opciones el objetivo es el mismo: concentrar el flujo en secciones muy pequeñas con el objetivo de su expansión a la salida. Al expandirse en la válvula, o capilar, el flujo sufre una caída de presión, esto hace por tanto que se reduzca la temperatura y el estado pase a de líquido a gaseoso.

Pero **¿en qué casos utilizar válvula de expansión y en cuales capilar?** Bien, la respuesta es muy sencilla.

La principal diferencia que existe entre el funcionamiento de una válvula o un capilar es el control de flujo del refrigerante. Mientras que la válvula permite controlar el flujo en función de las necesidades de la máquina el capilar tiene una restricción fija que no puede ser ajustable. Además, las válvulas de expansión se pueden utilizar en sistemas de refrigeración de mayor capacidad.

Otra diferencia muy importante es el coste. Un capilar es muy económico y simple, frente a válvulas de expansión que tienen un precio más elevado y que están formadas por diferentes piezas.



Figura 16: Tubo capilar

Es por ello, que en la mayoría de las máquinas de ITV que trabajan con R290 se utilizan tubos capilares como elementos de expansión. Existen máquinas de mayor capacidad de CO2 como las máquinas SCALA de hasta 5T que cuentan con mayores cargas de refrigerante, y si necesitan utilizar válvulas de expansión.

3.3. Evaporador

El evaporador en una máquina de hacer hielo es el componente encargado de enfriar y congelar el agua para convertirla en hielo.

Cuando el fluido sale del elemento de expansión las partículas del fluido expandidas tienen el objetivo de absorber el calor del medio. El evaporador de la Quasar con los dedos sumergidos en una cuba de agua empieza a crear las capas de hielo. Con el paso del fluido por los dedos del evaporador, estos absorben el calor del agua en contacto y bajan la temperatura del agua hasta producir hielo. Es en ese punto cuando se empiezan a producir las capas de hielo sobre los dedos del evaporador.

Una vez el hielo se ha formado con el grosor adecuado pasará gas caliente por el evaporador forzando el desescarche y el despegue de los hielos para su consumo.

Para entender el fluido del gas dentro del evaporador, debemos entender las partes que lo forman:

- **Tubos.** Tubos auxiliares que definen la entrada del gas al evaporador, la entrada de los capilares, y las salidas.
- **Serpentines.** Son los tubos plegados que le dan la forma al evaporador. En el caso del evaporador de la NGQ 130 se utilizan 2. *Plano: P-001444/A*
- **Dedos.** Son los tubos cerrados que entran en contacto con el agua dentro de la cubeta. Sobre su área exterior es donde se crean los hielos. Se utilizan 40 en cada serpentín; 80 en total. Esta máquina hará ciclos de 80 hielos. *Plano: P-000933/A*

- **Separadores.** Son pequeñas piezas de chapa soldadas en el interior de los dedos. Sirven para definir la dirección del flujo del gas en el evaporador.

Veamos el proceso de montaje de los evaporadores:

1. Los serpentines son plegados en la sección de tubos de ITV. En una máquina BLM salen con la forma definida. Una vez están listos se envían a una empresa externa para su troquelado. Preparan todos los agujeros donde más tarde se soldarán los dedos y los separadores. Cuando vuelven los serpentines troquelados a ITV se envían a la sección de evaporadores donde en primer lugar y con ayuda de útiles preparados se sueldan los dedos y separadores al serpentín.



Figura 17: plegadora tubos BLM



Figura 18: util soldar evaporadores

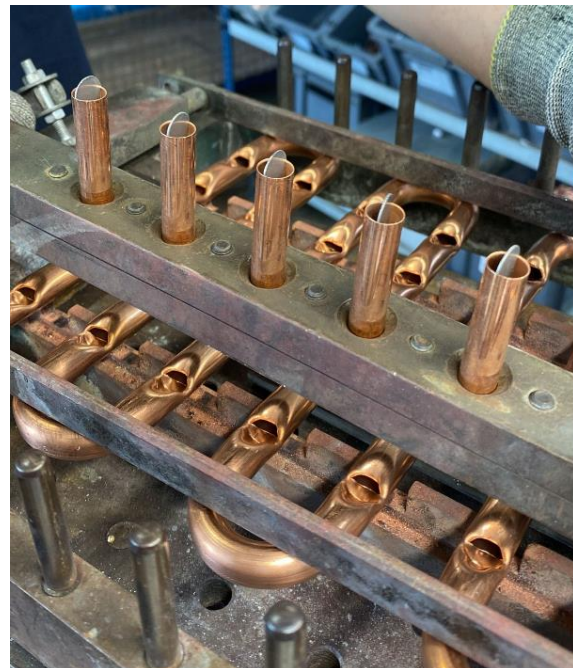


Figura 19: dedos y separadores evaporador



Figura 20: evaporador soldado

2. Cuando los dedos ya están soldados al serpentín, con ayuda de otro útil diferente, se sueldan las varillas de soporte y demás tubos al evaporador.

Una vez el evaporador está terminado y se ha comprobado que no tiene fugas, se envía a una empresa externa para suministrarle un baño en níquel. Al volver a ITV tras ser niquelado, estará listo para montarse en un cabezal. *Plano: A-000296/A.*

Algo importante para definir la carga que necesitaremos es saber el volumen del evaporador.

Para ello vamos a obtener:

$$v_{total} = v_{dedos} + v_{tserpentin}$$

$$v_{dedos} = v_{dedo} * N_{dedos} = (\pi r^2 d) * 80$$

$$v_{tserpentin} = v_{Serpentin} * N_{serpentina} = v_{serp} * 2$$

$$v_{dedo} = (\pi r^2 d) * 80 = (\pi 4,75^2 * 54) * 80 = 306,21 * 10^3 mm^3$$

v_{serp} lo definiremos como 8 rectas y 7 semicírculos

$$v_{serp} = \pi 4,75^2 (160 * 8 + 7 * (\pi 35)) = 145,28 * 10^3 mm^3$$

$$v_{total} = v_{dedos} + v_{tserpentin} = 306,21 * 10^3 + 2 * 145,28 * 10^3 = 596,77 * 10^3 mm^3$$

3.4. Compresor

El compresor es una de las partes más importantes de las unidades condensadoras y de las máquinas. Debe ser el adecuado para comprimir el caudal de gas necesario en cada máquina y sin sobrepasarse en el diseño, ya que podría aumentar considerablemente el coste de la máquina.

El objetivo de la definición del compresor es la definición del tiempo de ciclo. Si tenemos clara la carga que vamos a necesitar en una máquina, carga que deberá comprimir el compresor, y tenemos claros los kilos que tenemos que producir, podremos elegir compresor.

Los compresores están diseñados específicamente para cada refrigerante para garantizar un rendimiento óptimo del sistema de refrigeración, asegurar la seguridad y eficiencia, y cumplir con las regulaciones y estándares aplicables. El uso de un compresor inadecuado para un refrigerante específico puede resultar en un rendimiento deficiente del sistema de refrigeración, problemas de seguridad y daño al equipo. Por lo tanto, es esencial utilizar el compresor recomendado por el fabricante para el refrigerante particular que se utilizará en el sistema de refrigeración.

Veamos en el caso del R452A que compresor utilizábamos:

- **COMPRESOR NEK6217GK 14.3cc 220/240-50Hz R404(6007)**

Especificaciones técnicas			
Refrigerantes	R-404 A - R-507 A	Tecnología de compresión	Hermético a pistón
Rango de trabajo	Media - Alta	Intervalo Aplicación	-20°C à +10°C
Tipo Tensión	Monofásico	Tensión	240 / 1 / 50
Cilindrada	14.3cm ³	Potencia Frigorífica -10°C	1102W
Int. Max. Amp.	5.32A	Tipo de Motor	CSR
Aplicación	Capilar/Válvula	Conex. aspir. ODF	5/16"
Conex. descar. ODF	1/4"	Puntos de fijación	170 x 70mm
Altura (mm)	206mm	Carga Aceite	0.35l

Figura 21: especificaciones técnicas compresor

Como vemos el compresor que utilizamos para R452A no es único para este refrigerante, de hecho, está definido para utilizarse con R404A. Lo podemos utilizar con el refrigerante R452, ya que estos 2 refrigerantes tienen características similares y trabajan muy parecido.

Tabla 2: comparativas especificaciones R452A/R404A

PROPIEDADES FÍSICAS	UNIDADES	R-452A	R-404A
Peso molecular	g/mol	103,5	97,61
Punto de ebullición (a 1,013 bar)	°C	-47	-46,45
Temperatura crítica	°C	74,9	72,07
Presión crítica	bar	40,02	37,31
Presión de vapor (25°C)	bar	13,16	12,42
Densidad de líquido (21,1 °C)	Kg/m ³	1148,8	1048
Temperatura de deslizamiento o glide	K	-3	0,7
ODP		0	0
PCA		2140	3922

Como vemos las propiedades físicas son la gran mayoría iguales, a diferencia de la PCA. Esto nos sirve para utilizar un compresor utilizado en otras máquinas en R404A en la NGQ130 con R452A.

En el caso de refrigerante R290 el compresor que decidimos utilizar es:

- **COMPRESOR NEU6220U (16.8CC) CSR 220-240/50 R290**

DATOS

DATOS GENERALES	
Modelo	NEU6220U
Tipo	Hermetic Reciprocating
Tecnología	ON/OFF
Aplicación del Compresor	MBP
Dispositivo de Expansión	Capillary Tube or Expansion Valve
Enfriamiento del Compresor	Fan/220
HP	3/4
Torque de Arranque	HST
Sítio de Fabricación	SLOVAKIA

Figura 22: especificaciones compresor R290

Los 2 compresores son Embraco y presentan algunas similitudes en la manera de trabajar:

1. **Expansión.** Ambos compresores pueden trabajar tanto con válvula de expansión como con capilar.
2. **Compresión.** Ambos son compresores de pistón.

El objetivo al producir una máquina nueva es siempre crearla con el menor presupuesto posible, es por ello por lo que en ITV a partir de la experiencia de los ingenieros de desarrollo en laboratorio y conociendo modelos de máquinas homólogos a la NGQ130 se decide el nuevo compresor para R290.

Vamos a comprobar que el compresor escogido cumple con los requisitos que nuestra máquina necesita. Para ello obtendremos la potencia de refrigeración del compresor y la compararemos con la curva de trabajo de la ficha técnica.

La potencia de refrigeración la podemos obtener con la siguiente fórmula:

$$P = m1(kg) * Cpw \left(\frac{kJ}{kg * K} \right) * \Delta t1(K) + m2(kg) * Cph \left(\frac{kJ}{kg * K} \right) * \Delta t2(K) + m2(kg) * Cl \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

- m 1= Peso total del agua que se utiliza en un ciclo
- m 2= Peso total del agua que se transforma en hielo.
- Cpa= Calor específico del agua líquida.
- Cph=Calor específico del agua congelada.
- Δt1=Diferencia de temperaturas entre el estado inicial y el estado final, temperatura ambiente y temperatura de congelación
- Δt2 = Diferencia de temperaturas desde estado de congelación hasta temperatura de trabajo del evaporador
- Calor latente=Calor latente asociado con la fusión o solidificación del material (AGUA)

Como tenemos los datos de los ciclos obtenidos con el refrigerante R452A y queremos que se cumplan las mismas condiciones, vamos a utilizarlos para guiarnos.

CICLO	1	2	3	4	MEDIA
TIEMPO CICLO (min)	22'12"	22'00"	22'22"	22'12"	
TIEMPO CICLO SEG. EN 100	22,2	22	22,36667	22,2	22,19167
PESADA (gr)	1610	1610	1610	1610	1610
Nº CUBITOS	80	80	80	80	80
P.U. (gr)	20,1	20,1	20,1	20,1	20,125
PRODUCCIÓN (kg/24h)	104,4	105,4	103,7	104,4	104,4752
PRIMER CUBITO (min)					
DESPEGUE (min)					
DESPEGUE TOTAL (min)	01'30"	01'30"	01'30"	01'30"	
DESPEGUE TOTAL EN 100	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
AGUA SOBRANTE (gr)	2550	2610	2660	2620	2610
AGUA CONDENSACIÓN (gr)					#iDIV/0!
GASTO (L/kg)	2,583851	2,621118	2,652174	2,627329	2,621118
PPM FIN					#iDIV/0!
PPM INICIO					#iDIV/0!

Figura 23: Tabla resultado ciclos R452A

La formula la esta formada por 3 sumas. La primera operación nos da el trabajo necesario para convertir la cantidad de agua que tenemos de temperatura ambiente a temperatura de congelación. El segundo término consiste en el trabajo que realizamos para formar los cubitos, una vez nos encontramos a temperatura de congelación. Por último, el tercer término es el trabajo que necesitamos superar para la formación de hielos.

$$P = m1(kg) * Cpw \left(\frac{kJ}{kg * K} \right) * \Delta t1(K) + m2(kg) * Cph \left(\frac{kJ}{kg * K} \right) * \Delta t2(K) + m2(kg) * Cl \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

$$P = 4,160kg * 4,18 \left(\frac{kJ}{kg * K} \right) * (15 - 0) + 1,61kg * 2,090 \left(\frac{kJ}{kg * K} \right) * (0 - -15) + 1,61kg * 334,4 \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

$$P = 4,160 * 4,18(kj) * 15 + 1,61 * 2,090kj * 15 + 1,61 * 334,4kj$$

$$P = 849,376 kJ = 0,2368 kWh$$

Como podemos obtener el tiempo de ciclo, debido al objetivo de la máquina (130 kg en 24 horas) podemos resolver la potencia por ciclo. El resultado del ciclo son 18 minutos, como veremos más adelante en el apartado de pruebas.

$$P = 0,2368 kWh * 60 \frac{min}{1 h} = 14,208kwm$$

$$P = \frac{14,208kwm}{18min} = 0,7893 kw \cong 0,8 kw$$

CURVA DE PERFORMANCE			Temperatura Condensación 35°C		
Temperatura Evaporación °C	Capacidad Refrigeración W	Eficiencia W/W	Consumo Potencia W	Corriente A	Flujo Masa kg/h
-20	1065	2.18	489	2.29	10.25
-15	1308	2.48	528	2.47	12.64
-10	1591	2.78	573	2.64	15.44
-5	1915	3.11	617	2.82	18.68
0	2282	3.49	654	3.00	22.38
5	2691	3.96	680	3.17	26.56
10	3144	4.58	687	3.34	31.27

Condición de prueba: Sub-resfriamiento 8.3 K, Retorno 35 °C. Datos echos de acuerdo con las equaciones polinomiais y guías de tolerancia de EN 12900:2013.

Figura 24: condiciones trabajo compresor

La potencia de refrigeración calculada es menor a la potencia del compresor, aún así creemos asumible la diferencia y decidimos montar el compresor elegido por motivos de disponibilidad y por trabajos similares.

Como vemos la potencia obtenida en los cálculos nos permite llevar la temperatura del evaporador hasta -15°C, temperatura aproximada de trabajo a la que con refrigerante R452A se estaban formando los cubitos y a la que queremos que trabaje la máquina.

3.5. Condensador

El condensador es otra de las partes fundamentales de la máquina refrigerante.

Su función principal es intercambiar el calor absorbido por el refrigerante en el compresor cediendo calor al medio. La máquina que estamos estudiando en este proyecto es de aire, por lo que su condensador es de aire.

Un condensador de aire consiste en un serpentín, donde circula el refrigerante en estado gaseoso, en forma de radiados y rodeados por aletas de metal para aumentar el intercambio de calor. Con ayuda de un ventilador con el flujo de aire contrario a la dirección colocada podremos ceder calor al medio y cambiar el estado del fluido. A la entrada del condensador el refrigerante se encuentra en forma gaseosa, y a la salida el refrigerante se encontrará en forma líquida.

El tamaño del condensador está definido por la capacidad de enfriamiento de la máquina frigorífica. Según las temperaturas a las que queremos trabajar podemos definir un tamaño específico de condensador.

Veamos entonces los diferentes condensadores utilizados para cada gas:

- **CONDENSADOR STFT 18227.** Este es el condensador utilizado para R452. Es un condensador creado por una empresa italiana que consiste en un condensador de aire sin tubos. Tienen una particularidad, el refrigerante no circula por tubos separados por aletas, sino que las mismas aletas forman el tubo por medio de largos collares de forma circular insertados unos en otros y soldados.

Tienen grandes ventajas, ya que esta estructura permite mayor área de intercambio de calor, mejorando la eficiencia del condensador, y además no existen riesgos de problemas con el montaje de los tubos ni las soldaduras.

Sus principales características son:

Conexión:	Válvula de globo de 180 °
Contenido:	1,00 piezas.
Dimensiones:	275 x 274 x 60
Fabricante:	LU-VE, LU-VE Contardo
Flujo de aire:	570
Número de ventiladores / aspas del ventilador:	1 x 254 mm
Potencia de la compuerta en W:	1935
Rango de potencia (W):	1,5 - 2 kW
Serie:	STFT
Tamaño de la conexión:	8 x 8 mm
con/sin ventilador:	Sin ventilador

Figura 25: especificaciones condensador sin tubos

Lamentablemente, la disponibilidad en el mercado no es alta. Durante el desarrollo de una máquina, se valora en gran parte la facilidad de encontrar posibles recambios en caso de no tener el proveedor habitual. Por ello se decide montar la máquina con otro condensador.

- **CONDENSADOR 10X3 2V P230 T1/4.** Consiste en un condensador de tubos con 2 ventiladores. Tiene una mayor área de superficie comparada al utilizado anteriormente, y esto se transforma en mayor capacidad de enfriamiento del refrigerante y mejor eficiencia energética. Plano: P-000749/A.

A partir de la experiencia de los técnicos de laboratorio se decide utilizar este condensador. Es un condensador que se utilizaba en otras máquinas de ITV y que FRICOLD nos fabrica. Vamos a verificar que es apto para montarse en nuestra instalación.

De la tabla X, aparecida en el punto anterior compresores podemos deducir que:

$$P_{cond} = P_{refrigeración} + P_{compresión}$$

La potencia necesaria para estos ciclos en el condensador será igual a la capacidad refrigerante en el punto + la potencia compresión en ese punto. Luego:

$$P_{cond} = 1308 + 528 = 1836 \text{ W} = 1,836 \text{ W}.$$

Con ayuda del software de luvasa THEST, vamos a calcular la potencia del condensador:

Parameter	Value
Fin type	0722 corrugated
Fin material	A = Aluminium
Type of tube	Smooth
Number of tubes in height	12
Length of finned pack (mm)	515
Fin spacing (mm)	3
Number of rows	3
Number of circuits	1
Air entering temperature (C)	35
Relative humidity (%)	50
Frontal velocity (m/sec)	2.5
Gas superheating (C)	25
Condensing temperature (C)	45
Liquid subcooling (C)	2
Refrigerant selection	R290
Exchange configuration	Countercurrent
Altitude (m)	0
Corrective factor	1
Additional equivalent length (m)	0
Position of input	Same side
Number of non utilized tubes	None
Number of in/out connections	1

Figura 26: requisitos programa THEST

Donde debemos rellenar:

Numero tubos por fila	12
Anchura(mm)	515
Separación aletas (mm)	3
Numero filas	3
Velocidad frontal (m/s)	2,5

Tabla 3: datos condensador R290

Además, añadiremos las temperaturas del refrigerante, que utilizaremos las del ciclo en R452, y el tipo de refrigerante. Calculamos:

Output Video			
ECCO code	0722A1203051530CXX01		
Fin type	25 X 21.65 Staggered	0722 corrugated	0722c (STD)
Type of tube	7.05 Smooth C		
Fluid	R290		
Utilized tubes	36	HxLxP [mm]	300 x 515 x 65
Non utilized tubes	0	Outer area [m2]	6,54
Inner volume [l]	0,777	Frontal area [m2]	0,155
Headers		Inner area [m2]	0,411
Tubes per circuit	36		
AIR SIDE		SIDE -R290	
Entering temp. [°C]	35	Delta superheating [°C]	25
U.R. entering [%]	50	T. condensing gas [°C]	45
Outlet temp. [°C]	39,6	T. condensing liq. [°C]	44
U.R. outlet [%]	39	Delta subcooling [°C]	2
Flow [m3/h]	1390,5		
Flow [kg/s]	0,43		
Frontal velocity [m/s]	2,5	Total flow [kg/h]	20,2
Pressure drop [Pa]	20,2		
Barometric pres. [kPa]	101,325	Coil pressure drop [kPa]	32,1
Altitude [m]	0	Pressure sat [bar]	15,3
Type of calculation	Countercurrent	Total capacity [kW]	2,04
Corrective factor	1		
Additional equivalent length	0		

Figura 27: resultados THEST

Obtenemos una capacidad de condensador de 2,04Kw > 1,836Kw. Vemos que el condensador definido para el cambio de refrigerante cumple con la potencia del condensador.

3.6. Diseño previo al desarrollo

El primer paso para el desarrollo de la máquina en un nuevo refrigerante es la elección de componentes, como hemos visto en los puntos anteriores.

Una vez hemos encontrado los componentes que satisfacen la función y que nos cuadran en nuestro presupuesto continuaremos con los siguientes pasos:

1. **Colocación de los componentes en la unidad condensadora.** Estudiaremos todas las posibilidades de posicionamiento, verificando las principales ventajas de posición: reutilización en otras máquinas, comodidad para la soldadura de los circuitos, funcionamiento, utilización de tubos existentes



Figura 28: unidad condensadora NGQ130

Con el objetivo de definir las partes de la máquina que utilizaremos y reducir al máximo los costes. Prepararemos la unidad condensadora utilizando los máximos componentes reutilizables de otras unidades y creando el mínimo posible de piezas obsoletas o descatalogadas

2. Una vez decididas las posiciones de los componentes, haremos el **diseño de la UC en 3D**. Es decir, crearemos la primera unidad condensadora. En el laboratorio crearemos esta primera unidad que utilizaremos en la primera máquina de prueba. *PLANO: A-000234/A*

El objetivo de preparar el 3D cuando tenemos ya preparada y validada la unidad condensadora es preparar las ayudas visuales que los operarios en la fábrica utilizarán para su montaje. Mediante Nexo y con el código de la unidad condensadora ya tendríamos ya la UC validada y preparada para su creación en producción.

3. **Diseño de la aspiración.** Con la UC terminada y con los tubos soldados estudiaremos la posición de succión del compresor y la posición del evaporador. En caso de que no tengamos una aspiración que nos cumpla este recorrido deberemos diseñar una nueva. *PLANO: A-000241/A*

Así como la UC, una vez terminada la primera aspiración que se va a utilizar se preparará su plano para que con su código se puedan crear pedidos a producción y se pueda empezar a montar la máquina en la fábrica.

4. **Estudio montaje de la máquina.** Antes de montar la máquina en las cadenas verificaremos que el montaje con los nuevos componentes no va a dificultar el montaje o no va a influir en el trabajo de la máquina.

Así pues, una vez hemos llegado a este punto la definición de la máquina en producción estará definida. Solo quedará probar la máquina en el laboratorio para definir los switches de la placa electrónica, la carga, y la toma de datos.

5. **Diseño cableado y pruebas laboratorio.** Una vez la parte física de la máquina ya está montada, diseñaremos el nuevo cableado sobre la máquina. En caso de cambios como máquinas con diferente condensación se suele utilizar el mismo cableado y no es necesario definirlo.

Plano: P-001236/A



Figura 29: montaje ngq130

La definición del cableado hoy en día es importante debido a la escasez de proveedores y los grandes tiempos de producción que dan las empresas para preparar nuevos cableados. Debemos prevenir esto para la definición de la máquina en entrada en producción.

DIFICULTADES

Una vez montada la máquina en el laboratorio y durante el verificado del montaje de la máquina nos damos cuenta de que la disposición del frente y la rejilla utilizado en las máquinas de R452 no es viable para la máquina con R290.

Con el cambio de condensador a uno doble y más grande si utilizamos la misma carrocería para R290 parte del condensador queda tapado por el frente fijo superior.



Figura 30: comparativa ngq R342 vs ngq R290

Es por ello por lo que decidimos cambiar la carrocería de la máquina en R290. Reducimos el frente superior y cambiamos la rejilla con el objetivo de no perder efectividad en el trabajo del condensador.

El orden de trabajo puede ser un error, ya que si dibujáramos primero toda la máquina en 3D podríamos haber visto este problema antes de su montaje en el laboratorio. No obstante, el tiempo de desarrollo en 3D es más largo y costoso que el montaje de la máquina en el laboratorio.

4.Pruebas

Una vez tenemos la máquina terminada empezamos las pruebas en el laboratorio. El objetivo de estas pruebas es verificar el correcto funcionamiento de la máquina en R290 y escoger la carga de refrigerante ideal.

Con la máquina montada en el laboratorio el primer paso será preparar las sondas para registrar el funcionamiento de la máquina en los ordenadores.

En el proceso de validación de la máquina en el laboratorio el sondeo o registro de temperaturas es una de las partes fundamentales para resolver los problemas. Con ayuda del sondeo podemos verificar el rendimiento de la máquina, tener un seguimiento con exactitud de lo que está pasando en todo momento en la máquina, y nos puede servir para la búsqueda de problemas y su siguiente solución.

Sondaremos las máquinas en los siguientes puntos:

1. Salida del evaporador (inicio aspiración)
2. Filtro deshidratador. Representa la temperatura a la salida del condensador.
3. Carter compresor. Se situará en la parte del centro inferior para obtener la temperatura del refrigerante en el compresor.
4. Descarga del compresor. Salida del compresor, que obtendremos la temperatura de gas caliente.
5. Aspiración. Situada a la entrada del compresor.



Figura 31: máquina sondada

Antes de empezar la prueba comprobamos que las sondas funcionan bien, con los valores que nos muestra el cuadro de la cámara comprobamos con ayuda de un termómetro y las sondas que vamos a utilizar dentro de la cámara, que todo está OK. En ITV durante el desarrollo de máquinas en R290 se preparan las unidades condensadoras con obuses y se cargan con una carga orientativa. A partir de la máquina en otro refrigerante y de máquinas de tamaño similares se presupone una carga preprueba. Esta se utiliza solo como orientación, y a partir de las primeras pruebas y utilizando los obuses se aumenta o de disminuye la carga.



Figura 32: comprobación temperaturas

Además, otros de los objetivos que obtenemos de estudiar la máquina es la obtención de los parámetros con los que saldrá la placa electrónica.



Figura 33: placa electronica QUASAR

La placa electrónica de la gama QUASAR cuenta con 8 switches, que según su definición corresponde a:

DIP	DESCRIPCIÓN (* ajuste de fábrica)
1-3	Tiempo de gas caliente. Ver tabla
4	Presostato de alta ON(*)= rearme automático
5-8	No se utiliza

Hot gas time				
Nº valor	SW1-3			Sec.
	1	2	3	
1	off	off	off	10
2	on	off	off	15
3	off	on	off	20
4	on	on	off	30
5	off	off	on	40
6	on	off	on	40
7	off	on	on	40
8	on	on	on	40

Figura 34: tabla posición switches

El switch 4 siempre será ON para que siempre trabaje con el presostato de seguridad activo, a partir de las pruebas definiremos la posición de los switches 1-2-3 para obtener el objetivo buscado, el tiempo de despegue. Veamos ahora la explicación de los tiempos de ciclo.

El tiempo total de ciclo lo podemos definir como:

$$T_{CICLO} = t_{fabricacion} + t_{despegue}$$

- **$t_{\text{fabricación}}$:** Definimos el tiempo de fabricación como el tiempo de ciclo en el que la máquina está formando los hielos. La máquina funciona con el ciclo de refrigerante estándar. La válvula de gas caliente estará cerrada.

Este tiempo no podremos definirlo según la posición de los switches, sino que vendrá dada por los componentes que forman la máquina y las condiciones. En condiciones frías el tiempo de fabricación será menor y en condiciones más calurosas la formación de hielo será más larga. El objetivo se define según la producción que buscamos en la máquina.

Nosotros tenemos como objetivo crear alrededor de 130 kilos de hielo en 24 horas, por lo que a temperatura estándar 20 ambiente/15 agua debemos conseguir ciclos que nos den estos valores.

Por lo que, sabiendo el peso de un ciclo, calculamos el tiempo de este. El peso de un cubito de Quasar está en torno a 20 gr.

Un ciclo de hielos de quasar pesa:

$$p_{\text{total}} = p_{\text{cubito}} * n_{\text{cubitos}} = 20\text{gr} * 80 = 1,6 \text{ kg}$$

Si buscamos 130 kg y cada ciclo pesa 1,6 kg

$$\frac{130}{1,6} = 81,25 \text{ ciclos}$$

Luego necesitaremos 81,25 ciclos en 24 horas

$$\frac{24 * 60}{81,25} = 18 \text{ minutos aproximadamente por ciclo}$$

Así obtenemos el tiempo de fabricación previo a ensayos para empezar a trabajar

- **t_{despegue} :** Este tiempo será el que vamos a definir durante las pruebas de laboratorio. Será el que más tarde podremos definir con la posición de los switches, por lo que depende de la máquina puede ser diferente.

El objetivo de esta definición es marcar el tiempo en el que tiene que estar la válvula de gas caliente abierta dejando paso al gas al evaporador con el objetivo del desescarche y el despegue de los hielos pegados a los dedos del evaporador.

Se define según las pruebas visuales de la calidad del despegue y con el objetivo de que el tiempo termine cuando la cubeta del cabezal se encuentre volviendo a su posición después de haber liberado los hielos a la cuba stock. Por lo que hasta que la máquina no esta en el laboratorio este tiempo no se puede definir.

4.1. Descripción de los ensayos realizados

Una vez con la máquina sondada y en la cámara del laboratorio proseguiremos realizando los ensayos necesarios.

Encenderemos la máquina con la carga predefinida, dejaremos algunos ciclos para que la máquina entre en régimen y a partir de ahí tomaremos datos durante varios ciclos seguidos. Los principales objetivos que tenemos en nuestras pruebas son:

- **Numero de cubitos.** Con ayuda de una bandeja recogeremos los cubitos que creará la máquina por ciclo. Los contaremos para verificar que todos los dedos del evaporador funcionan correctamente.



Figura 35: recogida de hielos en ensayo

- **Peso de los cubitos.** Mediante una báscula y una vez verificamos la cantidad de cubitos vamos a verificar el peso total del ciclo y por tanto estimaremos el peso de cada cubito.



Figura 36: pesada de ciclo

- **Agua sobrante.** Pesaremos el agua sobrante de la cuba stock con el objetivo de verificar la cantidad de agua que estamos utilizando por ciclo. El gasto total de agua será la suma entre la pesada del ciclo y el agua sobrante.



Figura 37: recogida de agua sobrante

- **Verificación visual.** Una vez sacamos los cubitos del ciclo verificaremos visualmente el tamaño, la forma y el color de los cubitos. Esto es uno de los grandes inconvenientes de este evaporador, como hemos comentado en el punto 2.3. El objetivo es que con la carga adecuada y con el funcionamiento en régimen la gran mayoría de hielos se aproximen lo máximo a un color transparente y una forma gorda y sin fisuras.

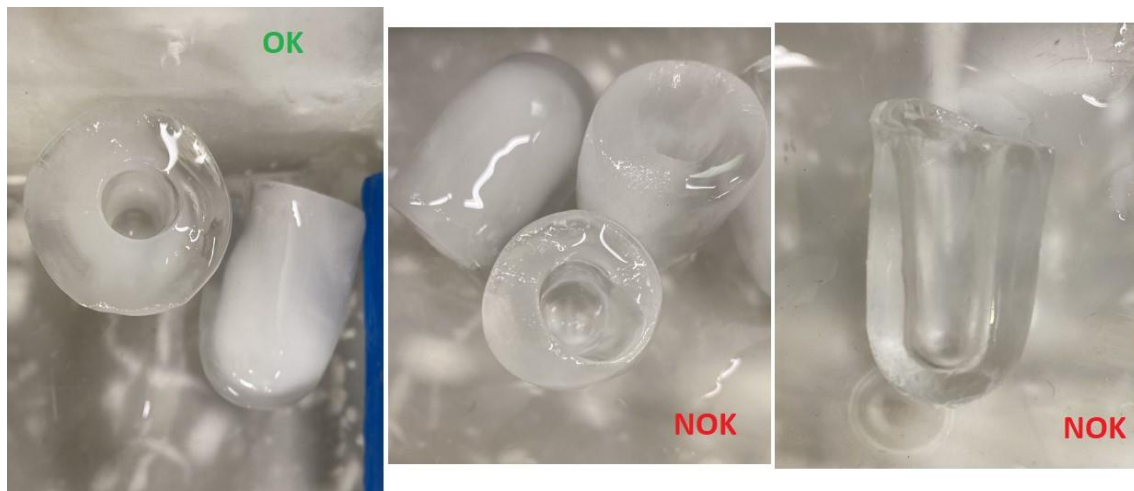


Figura 38: verificación de hielos

Como vemos en la figura --, mientras que el hielo OK está formado entero, con el grosor adecuado uniforme en todos los lados del cubito, debemos verificar y desechar ciclos que nos den ciclos como los NOK. Como vemos tienen grosor diferente por algunos lados, o roturas en la formación del hielo.

Estos ensayos los repetiremos a 4 temperaturas de cámara y agua respectivamente: 20/15, 32-21, 43/30 y 10/5 grados centígrados. El objetivo de realizar en 4 condiciones distintas es probar la máquina en condiciones adversas y dar el visto bueno en esos casos. Una vez fuera del laboratorio no sabemos dónde va a ser instalada una máquina de ITV.

4.2 Resultados

Como hemos visto anteriormente los mismos ensayos se realizan a 4 rangos de temperaturas diferentes. En el punto de resultados vamos a estudiar a fondo la temperatura más aproximada a la habitual de trabajo de la máquina. El rango de 20/15.

Primero expondré los resultados registrados con máquinas con R452A. Veremos los valores obtenidos y el diagrama del ciclo a esta temperatura.

4.2.1 R452A

Todos estos valores son previos a mi llegada a ITV ICE MAKERS. La máquina NGQ130 fue desarrollada en el año 2015, pero en 2023 cuando hemos desarrollado la máquina en R290 hemos decidido volver a tomar los datos sobre R452.

De la descarga de los puntos de sondeo podemos obtener un Excel con los resultados medidos cada 5 segundos.

Fecha	C2: ENERGIA F2: FRECUEN	G1: T_AMB	G3: T_W_Cli	i6: CORRIENTO2: COSENO	P5: BAJA	P7: ALTA	T11: SAL EVA	T12: FILTRO	T13: CARTER	T14: DESCAR	T15: ASP	COI	T16: SAL EVA	T6: SAL	EVA	VS: TENSION	X6: POTENCI	X8: POTENCIA	III
13/04/2023 16:47	298,348	50	20,2	15,3	3,44	0,92	2,3	15,9	-14,6	35,6	38,9	80,9	-14,5	-15,3	-16	222,2	0,69	0,675	
13/04/2023 16:48	298,349	50	20,2	15,3	2,86	0,94	2,2	16,2	-14,5	34,3	38,9	80,8	-14,7	-15,4	-15,9	222	0,58	0,58	
13/04/2023 16:48	298,35	50	20,2	15,3	2,8	0,94	2,2	17,3	-14	35,1	39	80,7	-15,1	-15	-15,7	221,8	0,57	0,57	
13/04/2023 16:48	298,35	50	20,1	15,3	2,8	0,94	2,3	18	-13,5	36,3	39	80,7	-15,1	-14,2	-14,8	221,8	0,57	0,57	
13/04/2023 16:48	298,352	50	20,1	15,4	3,38	0,92	2,4	15,5	-14,5	37	39,1	80,9	-14,7	-14,6	-15,9	221,6	0,68	0,67	
13/04/2023 16:48	298,353	50	20,1	15,4	3,08	0,95	3,5	11,7	-13,4	30,5	39,1	80,7	-12,7	-14,4	-15,1	221,1	0,63	0,645	
13/04/2023 16:48	298,353	50	20,1	15,4	3,08	0,95	4,8	10,5	-3,8	24,9	38,2	78,2	-4,2	-5,9	-5,1	221,1	0,63	0,645	
13/04/2023 16:48	298,355	50	20,1	15,4	3,43	0,95	5,1	10,6	-1,2	24,7	36,9	73,8	-1,6	-2,3	-2	221,5	0,705	0,71	
13/04/2023 16:48	298,355	50	20,1	15,4	3,43	0,95	5,3	10,6	0,2	24,5	36	70,4	0	-1	-0,9	221,5	0,705	0,71	
13/04/2023 16:48	298,356	50	20,1	15,4	3,5	0,95	5,5	10,8	1,4	23,1	34,9	66,3	1,1	-0,4	0,5	221,9	0,725	0,73	
13/04/2023 16:48	298,357	50	20,1	15,4	0,28	0,5	6,3	10,4	2,6	22,9	33,8	64,2	2,4	0,1	1,8	221,9	0,02	0,02	
13/04/2023 16:48	298,357	50	20,1	15,4	0,28	0,5	6,6	9,2	3,9	20,8	32,5	63	4,9	2,3	3,4	221,9	0,02	0,02	
13/04/2023 16:48	298,357	50	20,1	15,4	0	0,5	6,8	8,1	4,8	19,8	31,4	61,7	5,9	3,7	4,1	221,9	0	0	
13/04/2023 16:49	298,357	50	20,1	15,4	0	0	6,9	7,4	5,3	19,5	30,9	60,1	6,7	4,5	4,6	222,3	0	0	
13/04/2023 16:49	298,357	50	20,1	15,4	0	0	6,9	7,1	5,5	19,3	30,5	58,8	7,7	4,6	4,6	222,3	0	0	
13/04/2023 16:49	298,357	50	20,1	15,4	0	0,57	6,9	7	5,4	18,9	30,3	57,2	9	4,8	4,4	222,2	0	0,02	
13/04/2023 16:49	298,357	50	20,1	15,4	0	0,57	6,9	6,9	5,4	18,8	29,9	56,1	9,7	4,7	4,3	222,2	0	0,02	
13/04/2023 16:49	298,357	50	20,1	15,4	0	1	6,9	6,9	5,2	18,8	29,6	54,7	11	4,6	4,1	222,5	0	0,02	
13/04/2023 16:49	298,357	50	20,1	15,4	0,31	0	6,9	6,9	5,2	18,8	29,5	53,9	11,2	4,7	4,2	221,6	0,02	0,02	
13/04/2023 16:49	298,357	50	20,1	15,4	0,31	0	6,9	6,9	5,2	18,7	29,2	52,6	11	4,7	4,2	221,6	0,02	0,02	
13/04/2023 16:49	298,357	50	20,1	15,4	0	0	6,9	6,9	5,1	19	29,2	51,8	11	4,8	4,2	222,2	0	0,01	
13/04/2023 16:49	298,357	50	20,1	15,4	0,27	0,5	6,8	6,9	5,2	18,9	29	50,7	11,1	4,9	4,4	221,3	0,02	0	
13/04/2023 16:49	298,357	50	20,1	15,4	0,27	0,5	6,8	6,9	5,2	19	28,9	50	11,3	5	4,6	221,3	0,02	0	
13/04/2023 16:49	298,357	50	20,1	15,4	0,25	0,96	6,8	6,9	5,1	19,1	28,8	49,4	11,4	5	4,6	221,6	0	0	
13/04/2023 16:49	298,357	50	20,1	15,4	0,25	0,96	4,3	13,9	3,6	23,7	28,8	51,5	4	3,4	2,1	221,6	0	0	
13/04/2023 16:50	298,359	50	20,1	15,4	3,42	0,95	3	15,3	2,5	28,4	28,9	57,7	-0,3	1,3	-0,1	221,3	0,685	0,665	
13/04/2023 16:50	298,36	50	20,1	15,4	2,86	0,94	2,4	16	2,2	30,9	29,1	62,1	-0,9	0,7	-0,2	221,6	0,575	0,57	

Figura 39: recogida de datos de ciclo

La línea subrayada en verde es el inicio de ciclo, mientras que la línea subrayada en amarillo es el inicio del ciclo de despegue.

La máquina QUASAR, como hemos visto, no es una máquina continua. Es una máquina que funciona con ciclos de fabricación donde la presión varía en cada punto. En cambio, las máquinas continuas, como el modelo ICE QUEEN, son máquinas que no necesitan despegue. Se crea hielo sobre un evaporador y un husillo por fricción arranca el hielo y lo expulsa en la cuba de stock.

Estos para definir el ciclo en el diagrama de mollier presenta un inconveniente, ya que el ciclo nunca será continuo.

Como vemos también en la figura X, la presión una vez empieza el ciclo de despegue sube considerablemente. Esto es debido a la válvula abierta de gas caliente. Entra el gas con una mayor presión al evaporador y por tanto con una temperatura mayor.

Vamos a definir por tanto un punto del ciclo de fabricación en el diagrama de mollier del refrigerante R452A.

13/04/2023 17:39	298,873	49,9	20,5	15,3	3,08	0,96	2,9	17,5	-5,7	35,1	35,7	78,2	-2,8	-1,8	-5,2	221	0,63	0,64
13/04/2023 17:40	298,873	49,9	20,5	15,3	3,08	0,96	3,1	18,3	-7,2	36,1	35,8	78,4	-2,4	-1,5	-5,3	221	0,63	0,64
13/04/2023 17:40	298,874	50	20,6	15,3	3,68	0,93	3,2	16,8	-8,6	37,1	35,8	78,8	-2,9	-6	-9,5	221,5	0,745	0,745
13/04/2023 17:40	298,876	50	20,6	15,3	3,53	0,93	3	16,4	-8,6	36,7	35,9	78,8	-3,8	-6,9	-9,5	221,5	0,71	0,705
13/04/2023 17:40	298,876	50	20,6	15,3	3,53	0,93	2,7	16,1	-8	35,4	35,9	78,5	-4,1	-5,5	-8,5	221,5	0,71	0,705

Figura 40: punto de ensayo

Del punto obtenemos:

Palta (bar)	16,8
Pbaja (bar)	3,2
T salida evap (°C)	-9,5
T filtro (°C)	37,1
T carter (°C)	35,8
T descarga (°C)	78,8
T asp (°C)	-2,9

Tabla 4: Puntos ciclo R452A

Y con ayuda del software FRIO donde podemos obtener:

$$\text{Según diagrama mollier a } P_{\text{alta}} - T_{\text{condensacion}} = 35,91 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Según diagrama mollier a } P_{\text{baja}} - T_{\text{evaporacion}} = -12,83 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Rec. util} = T_{\text{evap}} - T_{\text{salida evap}} = -12,83 - 9,5 = 3,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Rec. NO util} = T_{\text{salid.evap}} - T_{\text{asp}} = -9,5 - 2,9 = 6,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{SUB ENFRIAMIENTO} = T_{\text{condensacion}} - T_{\text{filtro}} = 35,91 - 37,1 = -1,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Además calculamos el caudal volumétrico del refrigerante R452A a partir del caudal másico obtenido en las tablas de datos del compresor.

Temperatura Evaporación °C	Capacidad Refrigeración W	Eficiencia W/W	Consumo Potencia W	Corriente A	Flujo Masa kg/h
-20	1005	1.89	533	2.69	21.81
-15	1236	2.13	580	2.91	27.02
-10	1510	2.38	636	3.14	33.20
-5	1828	2.63	694	3.39	40.46
0	2190	2.93	749	3.65	48.91
5	2599	3.27	794	3.92	58.65
10	3055	3.71	824	4.20	69.77

Condición de prueba: Sub-resfriamiento 8.3 K, Retorno 35 °C. Datos echos de acuerdo con las ecuaciones polinomial y guías de tolerancia de EN 12900:2013.

Figura 41: valores de trabajo compresor R452A

La densidad promedio del refrigerante R452A es aproximadamente 1,01 kg/m³, a partir de la cual podemos resolver:

$$m_{vol} = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{27,02 \left(\frac{kg}{h}\right)}{1,01 \left(\frac{kg}{m^3}\right)} = 28,465 \text{ m}^3/h$$

Una vez que hemos obtenido todos los puntos del ciclo utilizamos la herramienta de ciclos en FRIIO para dibujar el ciclo en el diagrama de mollier:

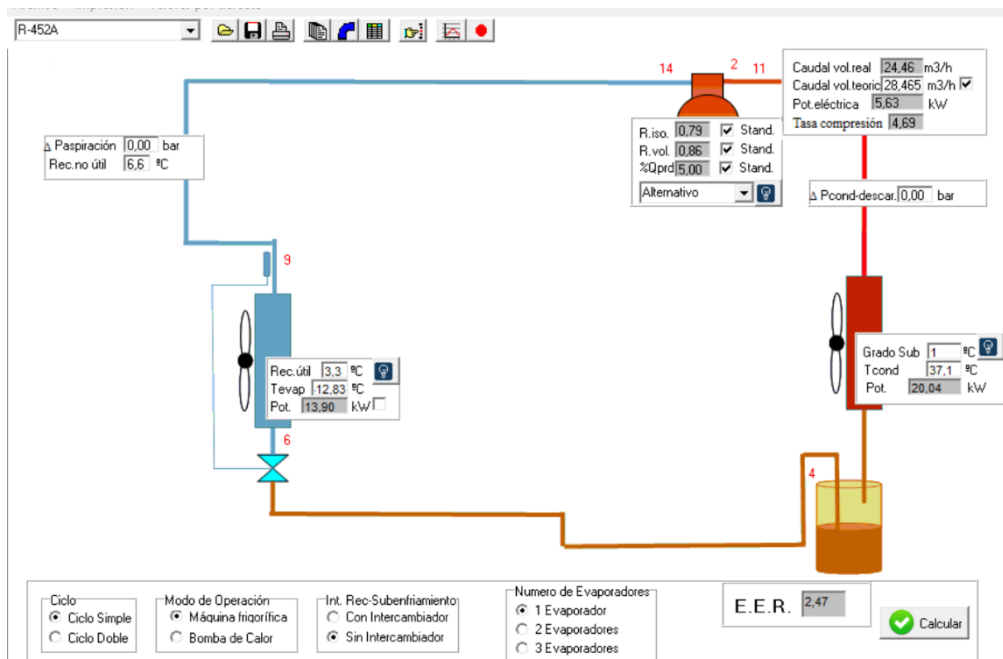


Figura 42: ciclo R452A

El ciclo en el diagrama de Mollier será representado como:ç

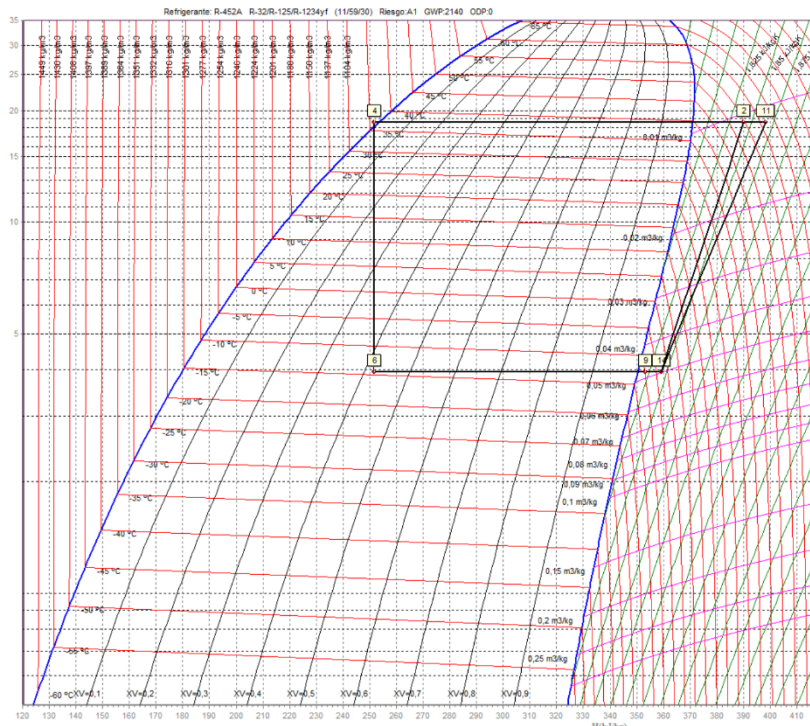


Figura 43: ciclo en diagrama R452A

Una vez tenemos definidos los puntos y el diagrama de mollier vamos a resolver algunas cuestiones. Los puntos que obtenemos son:

Ciclo de compresión simple trabajando con R-452A

Descripción	Punto	Estado	P(bar)	T(°C)	h(kJ/kg)	s(kJ/kgK)	Ex(kJ/kg)	ve(m ³ /kg)	m(kg/h)	XV	den(kg/m ³)
Entrada al compresor	14	Vapor	3,9590	-2,93	359,11	1,617	33,51	0,0497	492,280	1,00	20,12
Salida isentrópica del compresor	2	Vapor	18,5600	54,65	390,12	1,617	64,53	0,0107	492,280	1,00	93,39
Salida real del compresor	11	Vapor	18,5600	61,69	398,24	1,641	65,33	0,0113	492,280	1,00	88,62
Salida del condensador	4	Líquido	18,5600	36,10	251,69	1,174	58,18	0,0010	492,280	0,00	1043,21
Entrada evaporador de baja temperatura	6	Saturación	3,9590	-12,83	251,69	1,202	49,64	0,0203	492,280	0,42	49,30
Salida evaporador de baja temperatura	9	Vapor	3,9590	-9,53	353,36	1,595	34,19	0,0479	492,280	1,00	20,86

Figura 44: puntos del ciclo en frío

Con ayuda de los valores de trabajo del compresor obtenemos el valor del caudal y podemos resolver las condiciones de trabajo:

$$W_{comp} = \dot{m}(\Delta h)$$

$$W_{comp} = 28,75 * (398,24 - 359,11) = 35,407 * 39,13 = 1118,087 W$$

$$Q_{cond} = \dot{m}(\Delta h) = 28,75 * (398,24 - 251,69) = 4213,31W$$

$$Q_{evap} = \dot{m}(\Delta h) = 28,75 * (359,11 - 251,69) = 3088,32w$$

$$COP = \frac{Q_{absorbido}}{(Q_{rechazado} - Q_{absorbido})} = \frac{Q_{absorbido}}{W_{neto}} = \frac{3088,325}{1118,087} = 2,76$$

4.2.2 R290

Vamos a repetir el proceso con el refrigerante R290. Si cogemos un punto de los resultados a 20/15 podemos obtener los siguientes puntos:

Palta (bar)	13,7
Pbaja (bar)	2,9
T salida evap (°C)	-9,4
T filtro (°C)	35,2
T carter (°C)	46,1
T descarga (°C)	76
T asp (°C)	-5,1

Tabla 5: valores putnso R290

Y obtenemos:

$$\text{Según diagrama mollier a } P_{alta} - T_{condensacion} = 40,13 \text{ } ^\circ C$$

$$\text{Según diagrama mollier a } P_{baja} - T_{evaporacion} = -15,03 \text{ } ^\circ C$$

$$Rec. util = T_{evap} - T_{salida evap} = -15,03 - 9,4 = 5,63 \text{ } ^\circ C$$

$$Rec. NO util = T_{salid.evap} - T_{asp} = -9,4 - 5,63 = 3,87 \text{ } ^\circ C$$

$$SUB ENFRIAMIENTO = T_{condensacion} - T_{filtro} = 40,13 - 35,2 = 4,93$$

De la figura 24 vemos que el caudal de refrigerante en los puntos de trabajo =12,64 kg/h.

La densidad promedio del refrigerante R452A es aproximadamente 493 kg/m³, a partir de la cual podemos resolver:

$$m_{vol} = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{12,64 \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}}\right)}{493 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)} = 0,0256 \text{ m}^3/\text{h}$$

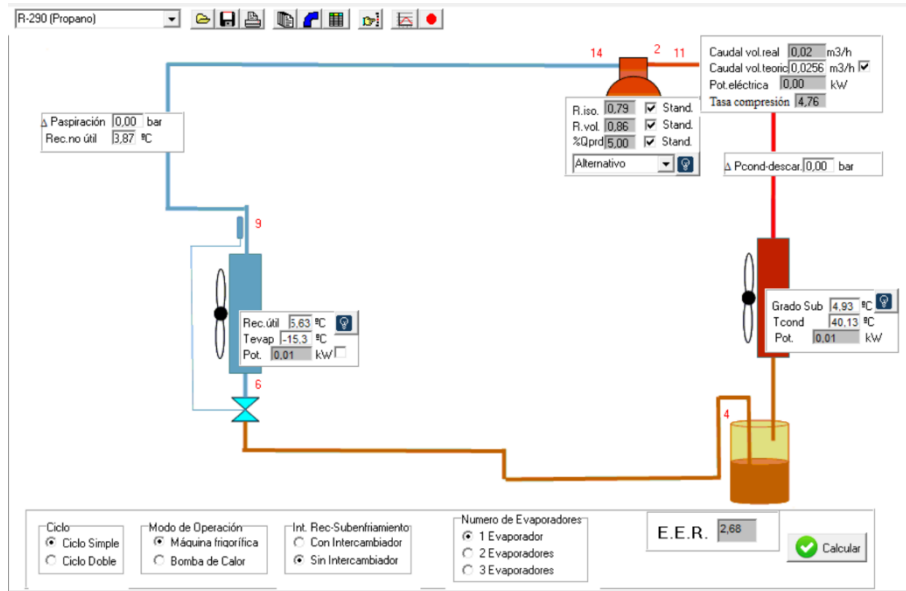


Figura 45: ciclo R290 frio

Y el ciclo será definido en el diagrama de mollier :

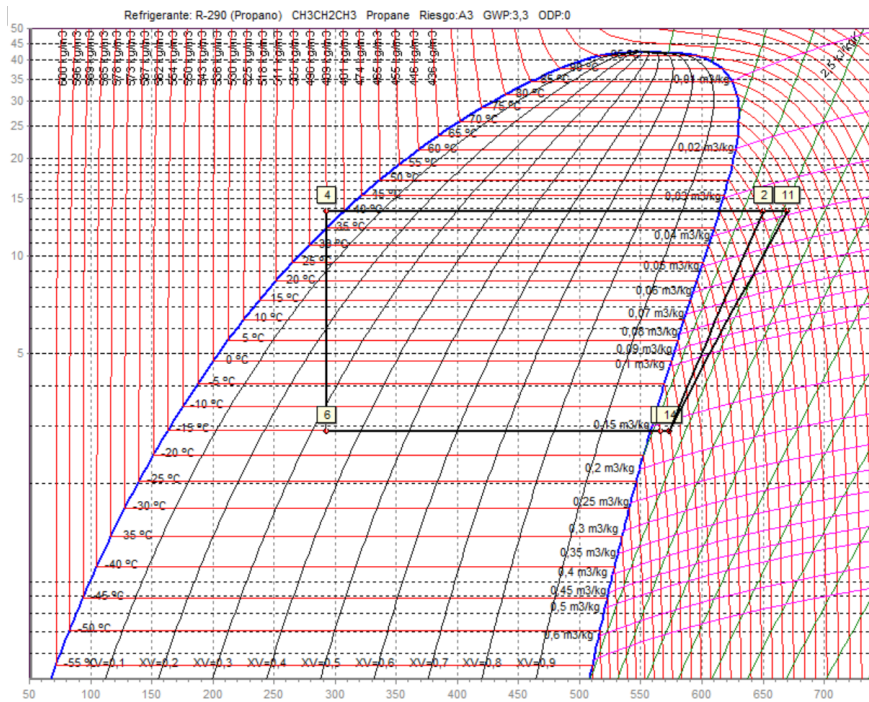


Figura 46: ciclo R290 en diagrama mollier

Ciclo de compresión simple trabajando con R-290 (Propano)

Descripción	Punto	Estado	P(bar)	T(°C)	h(kJ/kg)	s(kJ/kgK)	Ex(kJ/kg)	ve(m³/kg)	m(kg/h)	XV	den(kg/m³)
Entrada al compresor	14	Vapor	2,9130	-5,53	573,35	2,451	62,28	0,1612	13,155	1,00	6,20
Salida isentrópica del compresor	2	Vapor	13,7349	56,28	649,90	2,451	138,84	0,0368	13,155	1,00	27,18
Salida real del compresor	11	Vapor	13,7349	65,54	669,85	2,510	140,96	0,0387	13,155	1,00	25,81
Salida del condensador	4	Líquido	13,7349	35,20	293,37	1,315	120,89	0,0021	13,155	0,00	476,16
Entrada evaporador de baja temperatura	6	Saturación	2,9130	-15,03	293,37	1,367	105,36	0,0520	13,155	0,33	19,23
Salida evaporador de baja temperatura	9	Vapor	2,9130	-9,40	567,03	2,427	63,06	0,1583	13,155	1,00	6,32

Figura 47: puntos ciclo en R290

$$W_{comp} = \dot{m}(\Delta h)$$

$$W_{comp} = 12,64 * (669,96 - 573,02) = 12,64 * 96,94 = 1225,32 \text{ W}$$

$$Q_{cond} = \dot{m}(\Delta h) = 12,64 * (669,96 - 293,37) = 4760,09 \text{ W}$$

$$Q_{evap} = \dot{m}(\Delta h) = 12,64 * (566,71 - 293,37) = 3455,01 \text{ W}$$

$$COP = \frac{Q_{absorbido}}{(Q_{rechazado} - Q_{absorbido})} = \frac{Q_{absorbido}}{W_{neto}} = \frac{3455,01}{1225,32} = 2,81$$

4.3. Análisis de resultados

Uno de los puntos que más podemos destacar es la diferencia de flujo de los 2 refrigerantes. El refrigerante R452A es mucho menos denso que el propano, requerirá entonces un mayor volumen para transportar la misma cantidad de masa. Esto nos proporciona un caudal volumétrico mucho mayor.

Por otro lado, de los resultados medidos durante los ensayos, vemos que la presión en el evaporador cambia durante todo el ciclo. Esto es debido a que al ser un ciclo no lineal, según avanza el momento del ciclo y según se van formando los hielos la necesidad de absorber calor del medio será mayor. Es muy difícil obtener los resultados ideales supuestos en este trabajo de una máquina no cíclica.

También debemos estudiar los resultados obtenidos del ciclo de refrigeración. Mientras que en los 2 casos el trabajo de compresión cumple con los seleccionados durante la elección de componentes. Vemos que los demás resultados son mayores a los obtenidos teóricamente.

Si comparamos los valores de COP, podemos ver una ligera superioridad en el ciclo con R290. El COP refleja la eficiencia del sistema. Cuanto mayor sea más eficiente será el sistema de refrigeración.

A partir de los cálculos y la experiencia de los técnicos de laboratorio se decide la carga de la máquina en R290. La máquina en R452A estaba cargado con 420 gramos. El objetivo de la adaptación a propano es reducir la carga de refrigerante por debajo de 150 gramos.

Se decide carga la máquina con 125 gramos de refrigerante a la espera de realizar los ensayos próximos y ver las pesadas primeras.

Vamos a analizar las pruebas realizadas en el laboratorio. En este trabajo vamos a estudiar los valores obtenidos para el refrigerante R290, ya que analizar los resultados que se obtuvieron con R452 no son necesarios en este proyecto.

Una vez sabemos la carga para el ciclo, dejamos la máquina entrar en régimen y tomamos datos de los ensayos. Vamos a comparar 2 temperaturas, 20/15 y 43/30.

- 20/15

Una de las principales características de estas temperaturas es el tiempo de ciclo, se reduce del supuesto durante este trabajo de 30 minutos, lo que supone una ventaja para los componentes.

CICLO	1	2	3	4	MEDIA
TIEMPO CICLO (min)	19'45"	19'30"	19'42"	19'32"	
TIEMPO CICLO SEG. EN 100	19,75	19,5	19,7	19,53333	19,62083
PESADA (gr)	1620	1610	1620	1610	1615
Nº CUBITOS	80	80	80	80	80
P.U. (gr)	20,3	20,1	20,3	20,1	20,1875
PRODUCCIÓN (kg/24h)	118,1	118,9	118,4	118,7	118,5286
PRIMER CUBITO (min)					
DESPEGUE (min)					
DESPEGUE TOTAL (min)	01'30"	01'30"	01'30"	01'30"	
DESPEGUE TOTAL EN 100	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
AGUA SOBRANTE (gr)	2780	2740	2750	2780	2762,5
AGUA CONDENSACIÓN (gr)					
GASTO (L/kg)	2,716049	2,701863354	2,69753	2,726708	2,710538
PPM FIN					
PPM INICIO					

Tabla 6: resultados de ensayo

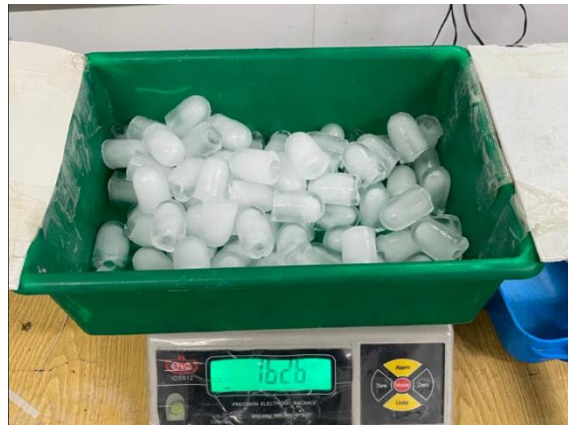


Figura 48: pesadas ciclo

Empezamos las pruebas con marcando Tdespegue en 20 segundos. Realizamos varios ciclos y obtenemos algunos hielos por formar, sobre todo los que se sitúan a la salida del evaporador.

Se decide aumentar Tdespegue a 30 segundos, y empezamos a obtener todos los hielos formados.

La tabla se realiza después de realizar unos ensayos previos con la carga que habíamos preestablecido. Con 125 gramos de refrigerante, vemos que los ciclos se alargan más de la cuenta, llegando a realizar ciclos de 19 minutos.

Esto reduce la producción de la máquina, por lo que valoramos aumentar la carga. De este ensayo deducimos uno de los principales problemas en cuanto a la carga de refrigerante.

MAYOR CARGA → CICLOS MENORES

Esto se presenta como un reto con la normativa F-GAS, ya que la solución para reducir ciclos siempre sería aumentar la carga. Con la limitación de 150 gramos debemos probar la carga, por ello decidimos subir la carga a 135 gramos.

La producción de Kg en 24 horas vemos en la *tabla 3* que es de 120 Kg, que la damos por válida. Aunque la máquina reciba el nombre de 130 kilos este modelo condensado por aire no llega a producir el máximo, pero así esta reflejado en la ficha técnica. La máquina condensada por agua en cambio aumenta parcialmente el total producido.

La carga la definimos en 135 gramos de propano.

Vamos a comparar los resultados con los obtenidos a 43/30

CICLO	1	2	3	4	MEDIA
TIEMPO CICLO (min)	30'45"	30'15"	30'00"	30'15"	
TIEMPO CICLO SEG. EN 100	30,75	30,25	30	30,25	30,3125
PESADA (gr)	1575	1585	1585	1590	1583,75
Nº CUBITOS	80	80	80	80	80
P.U. (gr)	19,7	19,8	19,8	19,9	19,79688
PRODUCCIÓN (kg/24h)	73,8	75,5	76,1	75,7	75,24415
PRIMER CUBITO (min)					
DESPEGUE (min)					
DESPEGUE TOTAL (min)	-	01'29"	01'29"	01'29"	
DESPEGUE TOTAL EN 100		1,483333333	1,48333	1,483333	1,483333
AGUA SOBRANTE (gr)	2830	2740	2770	2820	2790
AGUA CONDENSACIÓN (gr)					#¡DIV/0!
GASTO (L/kg)	2,796825	2,728706625	2,74763	2,773585	2,761688
PPM FIN					#¡DIV/0!
PPM INICIO					#¡DIV/0!

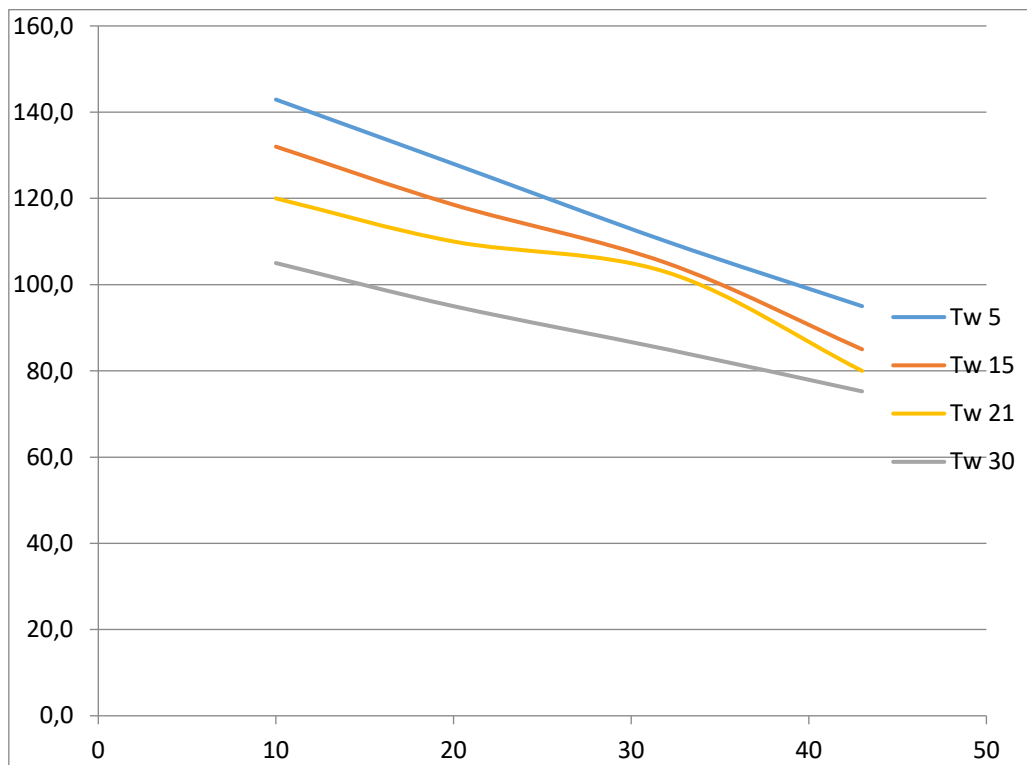
Tabla 7: resultados ciclo a 43/30

El ciclo llega a los 30 minutos y la producción en 24 horas baja considerablemente. Nos encontramos en condiciones muy difíciles para la máquina de terminar un ciclo. En cambio decidimos dejar Tdespegue en 30 segundos también, ya que el despegue es el mismo para todas las máquinas. Aunque el ciclo aumente el despegue del hielo una vez llegue a su grosor debe ser el mismo.

Con los resultados obtenidos en las 4 temperaturas vamos a estimar una tabla de temperaturas.

		Ta			
		10	20	32	43
Tw	5	142,9	128	110	95
	15	132	118,5286	105	85
	21	120	110	102,874	80
	30	105	95	85	75,244

Tabla 8: tabla estimaciones de trabajo R290



Gráfica 1: Relación temperaturas agua y ambiente

Algo interesante que deducimos de estos resultados es que la temperatura del ambiente influye más que la temperatura del agua. Es normal, ya que el ciclo de refrigeración funciona con intercambio de temperaturas con el medio. Si la temperatura del ambiente es muy elevada, la potencia necesaria para crear los hielos será mayor, y por tanto será más difícil crear los hielos.

5. Conclusiones

Habiendo estudiado la viabilidad y los resultados de los ensayos podemos valorar la adaptación de la Quasar 130 a R290.

En primer lugar, el primer punto que debemos tener en cuenta tras el ensayo es el cumplimiento de la normativa. Una normativa marca los tiempos de producción y los cambios en las máquinas. El cambio a R290 supone quitar una limitación establecida por la ley, por lo que supone un gran beneficio para ITV.

Además, creo oportuno hablar de la importancia de utilizar recursos naturales como el propano en vista del impacto de los refrigerantes en el calentamiento global. El propano es un refrigerante respetuoso con el medio ambiente porque no contiene cloro ni flúor, lo que significa que no contribuye al agotamiento de la capa de ozono.

En segundo lugar, la modernización de la máquina en cuanto al sistema eléctrico. Supone un gran avance en cuanto al funcionamiento de la máquina y una ventaja de cara a la venta al público y su salida al mercado.

Una facilidad en cuanto al cambio, ya que la utilización de grandes partes utilizadas con anterioridad y basándonos en la máquina anterior para presuponer temperaturas de trabajo y potencias simplifica el trabajo.

Por otro lado, un cambio de una máquina supone una gestión de componentes obsoletos que suponen un gasto para la empresa a valorar. En el caso de la máquina NGQ130 no se ha podido valorar todo el gasto.

Como opinión, creo que el desarrollo de equipos en funcionamiento a refrigerantes naturales, como he podido comprobar, no supone un gran trabajo ni un desarrollo extenso de presupuesto. Se debe valor la gestión del cambio, en caso de que se pueda y no sean los componentes los que marquen el cambio, y así reducir si cabe los gastos.

PRESUPUESTO

6.1 Presupuesto del nuevo equipo

El objetivo principal de la migración de equipos a gases no fluorados es cumplir la normativa F-GAS, utilizando el menor presupuesto necesario y tratando de reducir al máximo el precio de producción de las máquinas.

Para valorar estos aspectos vamos a utilizar el programa de gestión de componentes ERP que utilizamos en ITV ice MAKERS. Aquí utilizamos Nexoges. Creamos códigos que se asocian a todas las piezas, conjuntos y máquinas con el objetivo de crear órdenes de trabajo y de tener una transparencia del presupuesto y de los componentes de cada conjunto.

Es por ello por lo que cada máquina, unidad condensadora, condensado, etc, tendrán un código creado en el programa Nexoges, y dentro de todos los códigos de conjunto crearemos un flujo para definir todas las piezas que lo forman, el tiempo de fabricación, los materiales y los proveedores.

Así pues, vamos a revisar el presupuesto de la máquina en R452A.:

Artículo / Flujo / Puesto	Artículo	Descripción	Tipo art. prod.	Coste mat.	Coste m. obra	Cantidad	Coste total
Artículo: 11310 - NGQ QUASAR 130A	11310	NGQ QUASAR 130A R452A	MQ	626,55 €	----	1	626,55 €
Flujo por defecto: C5 - Cadena 5							

Tabla 9: precio QUASAR 130 R452A

Por motivos de privacidad de los presupuestos de ITV veo conveniente no añadir los costes de mano de obra, despreciando el coste final de producción de una máquina en ITV. Además que el tiempo de montaje para estas 2 máquinas es el mismo para R452 y para R290, por lo que el coste de mano de obra para las 2 máquinas será muy similar. Los gatos asociados al cambio de refrigerante los veremos en el siguiente punto. Para este trabajo supondremos el coste material como el precio final de la máquina.

Como vemos el precio de la maquina QUASAR 130 AIRE en R452 es de 626,55€.

Veamos ahora el coste de producción de la máquina en R290:

Artículo / Flujo / Puesto	Artículo	Descripción	Tipo art. prod.	Coste mat.	Coste m. obra	Cantidad	Coste total
Artículo: 11310U - NGQ QUASAR 130A R290	11310U	NGQ QUASAR 130 A R290	MQ	634,40 €	----	1	634,40 €
Flujo por defecto: C5 - Cadena 5							

Tabla 10: precio QUASAR R290

El coste de producción de la maquina en R290 es de 634,40€. Como vemos el presupuesto en el nuevo refrigerante sigue siendo muy parejo. Con ayuda de otra herramienta de Nexo ges vamos a comparar los 2 flujos y a estudiar las diferencias entre el flujo de R452 y el flujo de R290.

REFRIGERANTE	Referencia	Descripción	Cantidad art. 1	Coste aplicado	COSTE TOTAL
R452	8550	CABEZAL NGQ130	1	220,36 €	453,54 €
	8683	R452A U/C NGQ 130 AIRE 220/50	1	171,74 €	
	8973	ASP. NGQ130 AIRE	1	9,55 €	
	30689	CABLEADO NGQ 130 CON MICROS	1	15,49 €	
	31276	REFRIGERANTE R452A (XP44)	0,42	36,40 €	
R290	31277	REFRIGERANTE R290 (Botella de 27L carga 10 kgs).	0,1485	4,00 €	447,36 €
	8683U	U/C NGQ 130 AIRE 220/50 R290	1	170,42 €	
	8550U	CABEZAL NGQ130 R290	1	212,94 €	
	34021	ASP. NGQ130 AIRE R290	1	9,41 €	
	34046	CUADRO Y CABLEADO 220V ELECTRONICA ATEX NGQ130	1	50,59 €	

Tabla 11: comparativa maquinas R452A VS R290

El precio de los refrigerantes es aproximadamente la carga en porcentaje sobre el total de las bombonas de cada gas.

Como vemos en la comparativa de flujos, las diferencias por tanto de estos flujos en presupuesto total no son elevadas. Como vemos en la tabla las partes que más encarecen la diferencia son:

- **Cuadro y cableado.** El cambio de cuadro eléctrico a placa electrónica supone un incremento en el precio de estos componentes, pero las ventajas que presenta son muy elevadas.
- **Cabezal.** Este cambio va asociado al paso a electrónica del cuadro. El funcionamiento de los microrruptores pasará a ser electrónico.
- **Unidad condensadora.** Este es el principal cambio que estamos estudiando en este trabajo. Con el paso de la máquina a R290 vemos principales cambios en la unidad. Comparamos entonces los dos flujos y veamos cuales son los cambios.

REFRIGERANTE	Referencia	Descripción	Coste aplicado	Cantidad art	Coste total
R452	334	PRESOST. ACB-2UB62 (30.3-21.7KG) 02AC0076	4,27 €	1	154,70 €
	1473	VALV.PARKER 127CLS 2.5 360146	8,71 €	1	
	4157	CONDENSADOR STFT 18227 ECO80	32,36 €	1	
	6007	COMPRESOR NEK6217GK 14.3cc 220/240-50Hz R404	80,16 €	1	
	8572	BANCADA NGQ130	5,79 €	1	
	8609	PALA VENT. 275X34 F 4-012-365	2,90 €	1	
	8610	MOTOR VENT.34W+PIE H90 220-50/60 VDE VNT 34-45/1089 CON SOPORTE 1-038-061G	16,84 €	1	
	7476E	MINI PRESOSTATO NSDHF-EW15001 16-18 BAR (NSDHF10A00101)	3,67 €	1	
R290	1473	VALV.PARKER 127CLS 2.5 360146	8,71 €	1	153,65 €
	7896	DESHIDRATADOR 20 GR 1E 1S 1/4" C/CURVA (ITVGR20CT SM220S909CT)	1,31 €	1	
	31307	COMPRESOR NEU6220U (16.8CC) CSR 220-240/50 R290	78,44 €	1	
	31444	DISTRIBUIDOR DES-GC C/PRESOST. 1/4"X1/4"	2,98 €	1	
	31660E	PRESOSTATO NSDHA 12B00300 (25-20 BAR) R290 (NSDHA12B00300)	4,05 €	1	
	31160E	PRESOSTATO NSDHF12B00100 (11.5-13.5 BAR) R290 (NSDHF12B00100)	4,05 €	1	
	32730	CONDENSADOR 10X3 2V P230 T1/4	40,04 €	1	
	8572U	BANCADA NGQ130 R290	5,22 €	1	
	445	MOTOR VENT.10W+PIE H84 220/50 M4Q045-CA03-49	7,22 €	2	
	4231	PALA VENT. 230X28º ALUM.73811-2-3634	1,47 €	2	

Tabla 12: comparativa UC R452A vs R290

Como vemos en las diferencias entre la unidad condensadora, despreciando los componentes que no suponen un gasto elevado, no sufre un encarecimiento por la utilización de gas R290.

Como vemos la utilización del nuevo compresor nos hace aumentar el consumo de motores de 1 a 2. Pero si comparamos los 2 motores no supone un incremento en el presupuesto de la máquina.

6.2 Presupuesto del estudio de adaptación

En segundo lugar, debemos valorar el precio de la adaptación de nuevos componentes en la migración entre 2 gases diferentes. Qué precio nos supone desarrollar este proyecto.

En primer lugar, vamos a realizar un cálculo de los componentes que una vez se realice el cambio se dejarán de utilizar y pasarán a obsoletos o descatalogados.

El cabezal con micros tendrá varias piezas que se dejarán de utilizar.

Artículo	Descripción	Tipo art. prod.	Coste mat.
8550	CABEZAL NGQ130	TA	
388	MICRO BOYA 831604 IW3 ACC.75600175 (X0222031)	PZ	2,22 €
1483	RELE OMRON MY2F 5 A 220 V	PZ	3,27 €
8075	BOYA NGQ MONTADA	TA	0,81 €
8079	MICRO 83160366 IW3 (2N)+PALANCA 153F R=24.3	PZ	2,00 €
8528	CABEZAL FABRIC. NGQ130 (CH)	CH	28,48 €

Tabla 13: piezas obsoletas cabezal

Y veamos el stock actual y hagamos un calculo del total de obsoletos que tendremos que rechazar:

Artículo	Descripción	Tipo art. prod.	Coste mat.	STOCK	TOTAL
8550	CABEZAL NGQ130	TA			
388	MICRO BOYA 831604 IW3 ACC.75600175 (X0222031)	PZ	2,22 €	192	426,24 €
1483	RELE OMRON MY2F 5 A 220 V	PZ	3,27 €	144	470,30 €
8075	BOYA NGQ MONTADA	TA	0,81 €	51	41,12 €
8079	MICRO 83160366 IW3 (2N)+PALANCA 153F R=24.3	PZ	2,00 €	90	180,00 €
8528	CABEZAL FABRIC. NGQ130 (CH)	CH	28,48 €	15	427,22 €
TOTAL					1.544,88 €

Tabla 14: precios obsoletos

El cambio a R290 de la QUASAR 130 supone un gasto directo de 1544€ en componentes. Es una cifra elevada, podemos asumir que al ser la última máquina de la gama no se ha valorado en ninguna máquina anterior (porque los componentes se suelen utilizar para toda la gama), por lo que, aunque sea elevado no es un precio real.

Además, la boya montada y el rele son repuestos para vender a cliente. En caso de necesitar sustituto se pueden comprar.

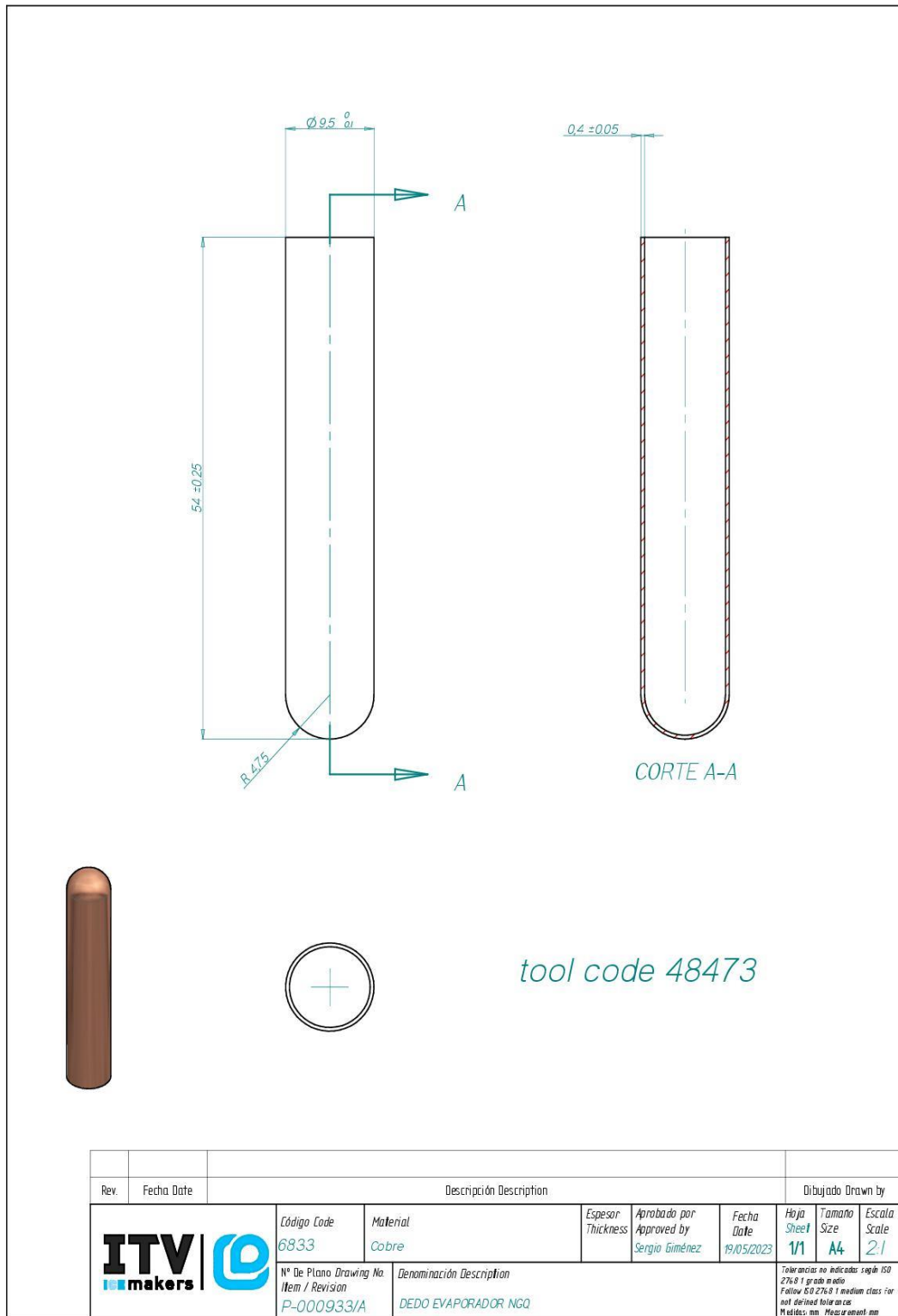
Otra parte del presupuesto del estudio de adaptación debe contemplar las horas de desarrollo por el equipo de ingeniería.



El desarrollo de este proyecto se suele a llevar a cabo mediante 2 personas. Un ingeniero de producto, que diseña los 3D de las piezas y gestiona el cambio en el ERP, y un técnico de laboratorio, que prepara las UCs, carga la máquina y realiza las pruebas en el laboratorio.

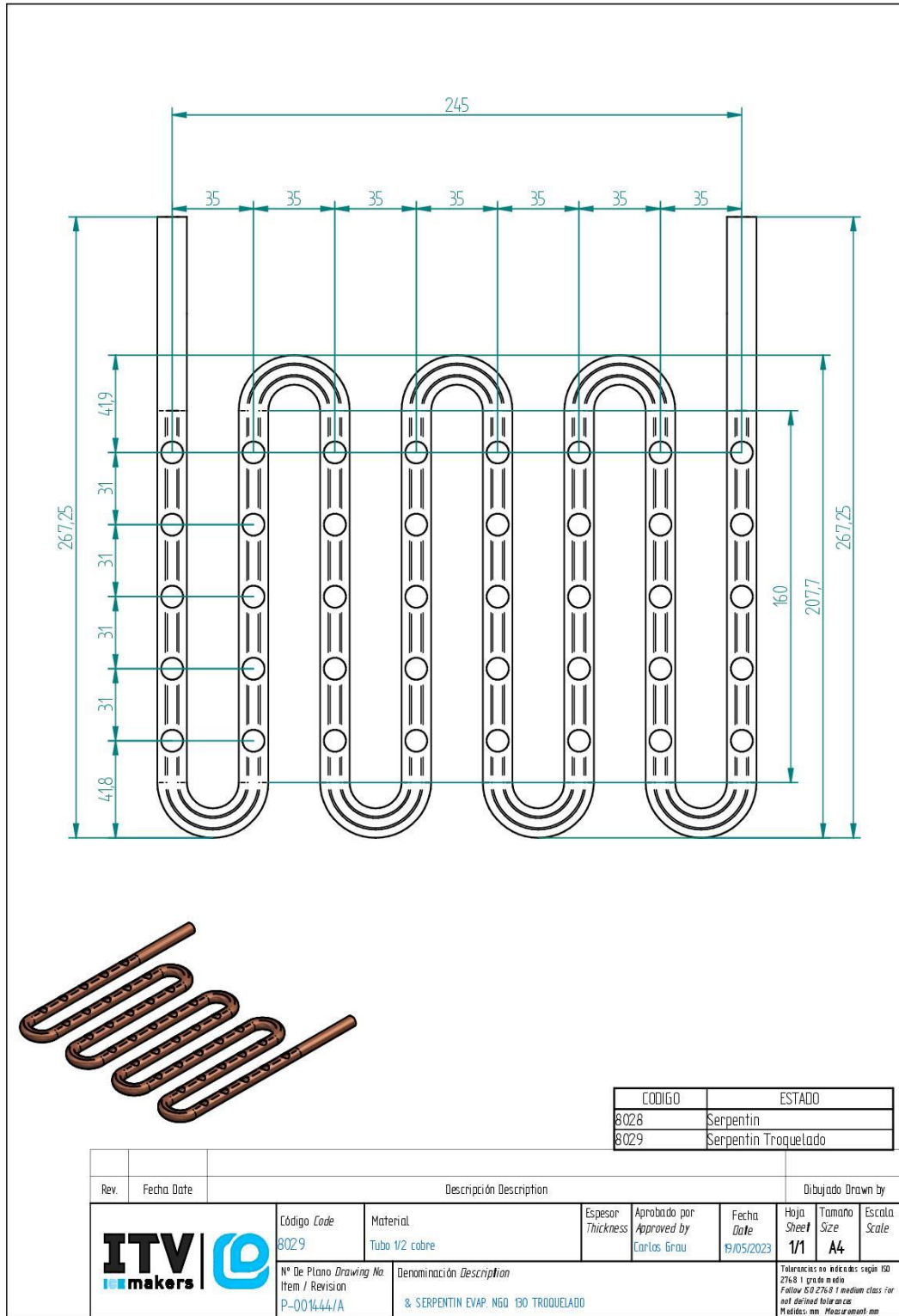
En nuestro caso, no podemos añadir estos valores, ya que el presupuesto del personal varía según el convenio acordado entre el trabajador y la empresa.

PLANOS

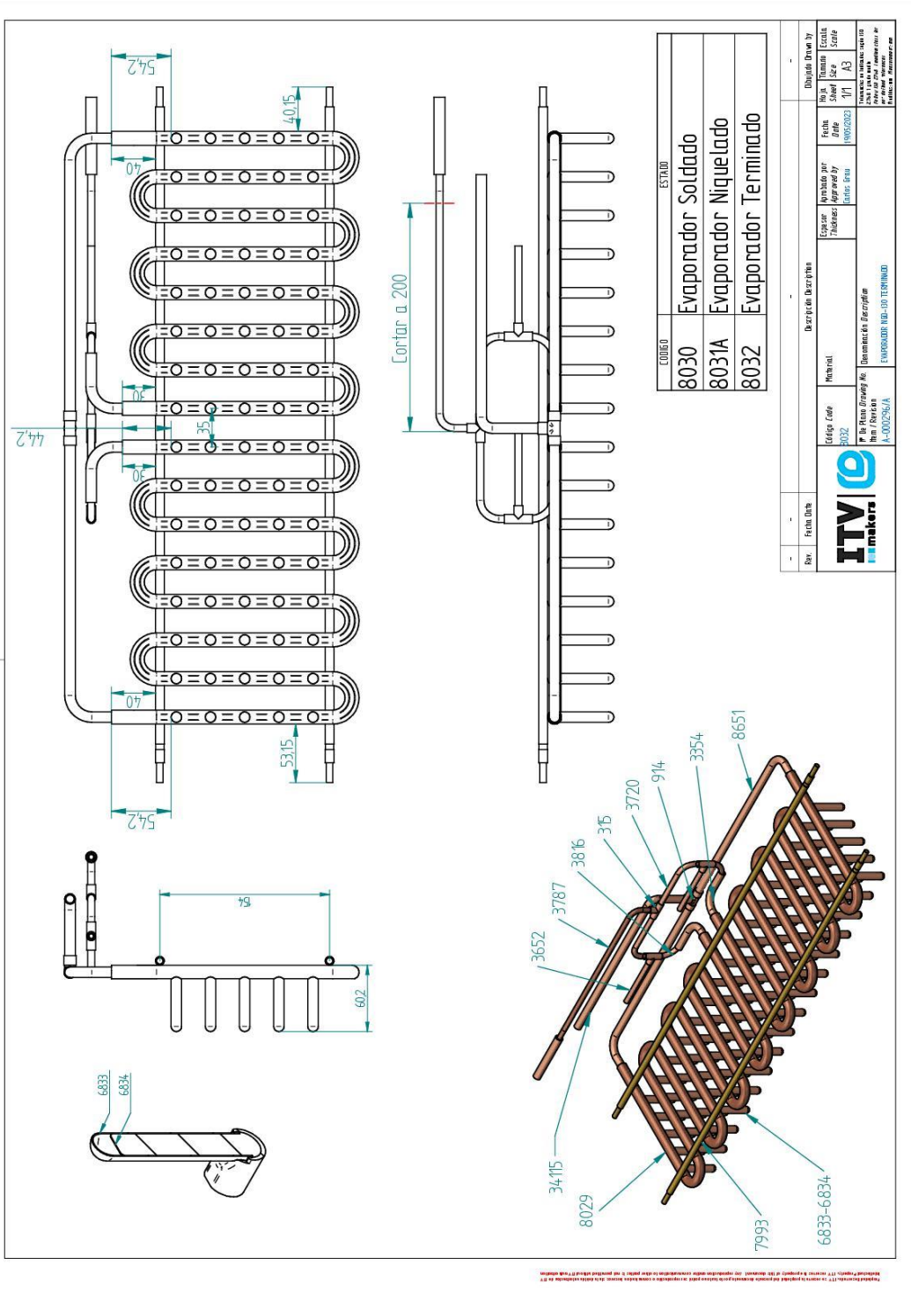


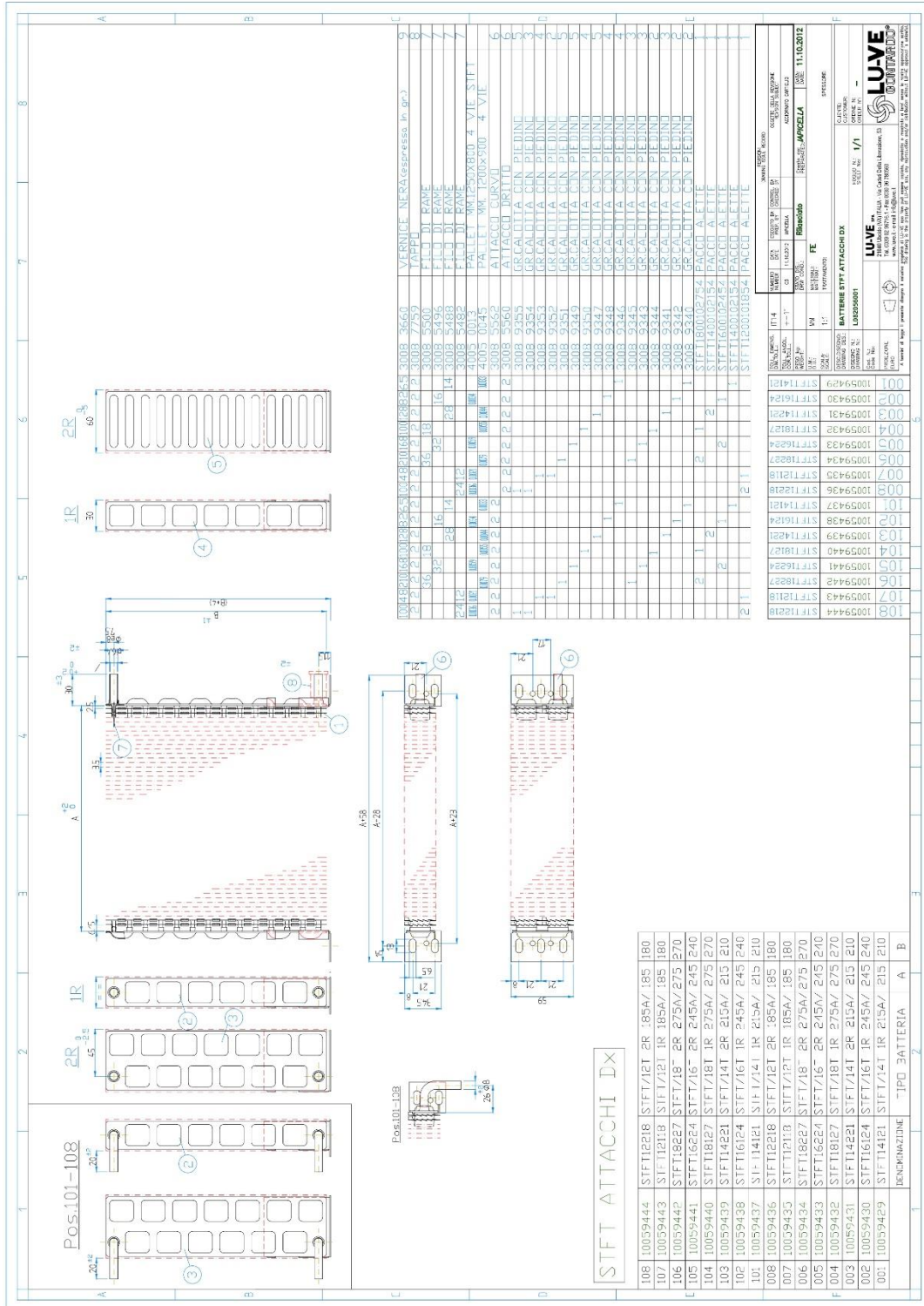
Propiedad de ITV. ITV es una marca registrada de ITV. ITV no se permite su reproducción o comunicación pública, ni su explotación económica ni su uso en Internet. ITV no se permite su reproducción o comunicación pública, ni su explotación económica ni su uso en Internet. ITV no se permite su reproducción o comunicación pública, ni su explotación económica ni su uso en Internet.

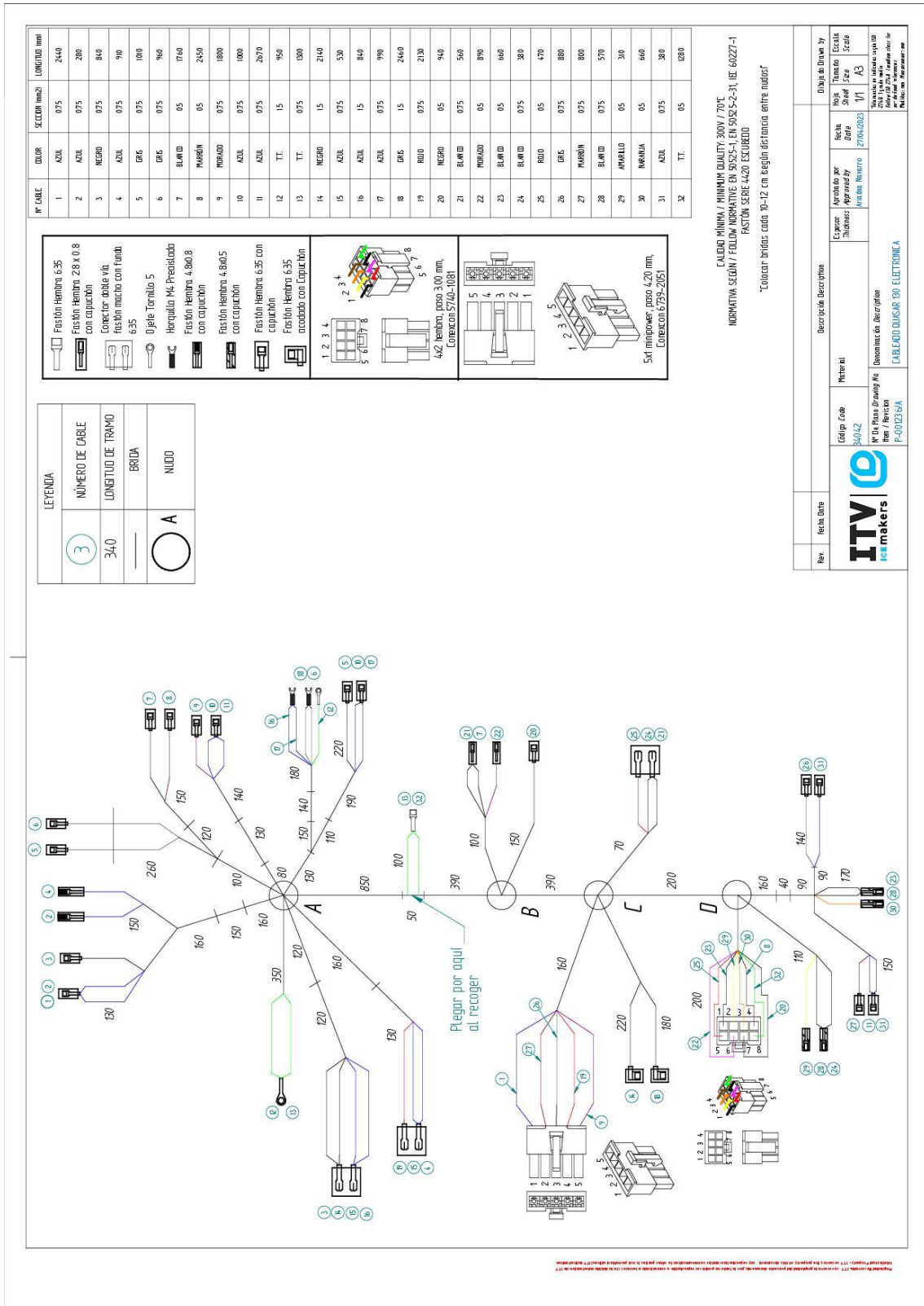
Rev.	Fecha Date	Descripción Description						Dibujado Drawn by		
		ITV makers	Código Code 6833	Material Cobre	Espesor Thickness	Aprobado por Approved by Sergio Giménez	Fecha Date 19/05/2023	Hoja Sheet 1/1	Tamaño Size A4	Escala Scale 2:1
		Nº De Plano Drawing No Item / Revision P-000933/A		Denominación Description DEDO EVAPORADOR NGQ			Tolerancias no indicadas según ISO 2768 M Follow ISO 2768 M medium class for not defined tolerances Medidas: mm Measurement: mm			



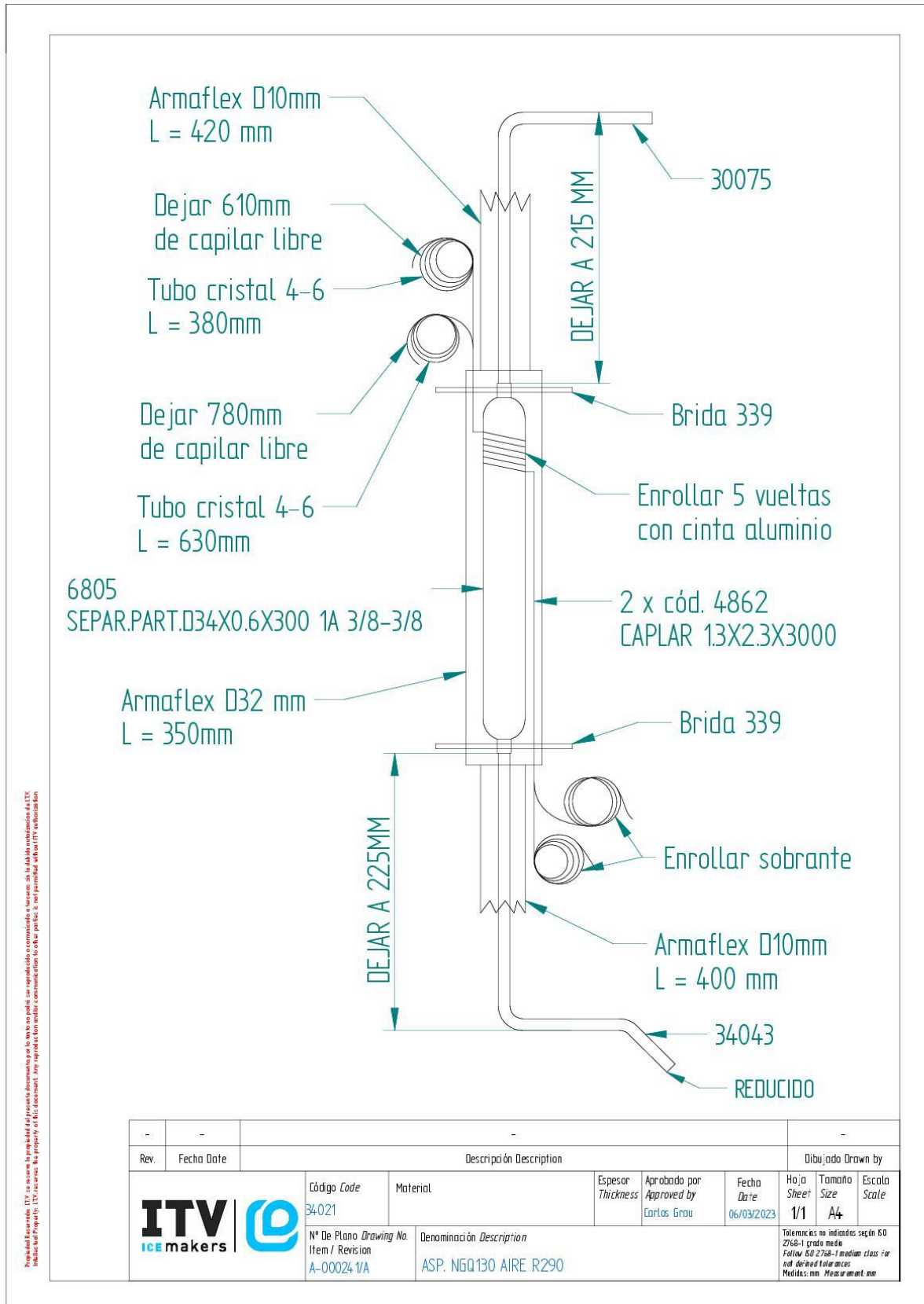
Propiedad reservada ITV. No se permite la explotación económica ni la transformación de esta obra. Queda permitida la impresión en su totalidad. Reservados todos los derechos. No se permite la explotación económica ni la transformación de esta obra. Queda permitida la impresión en su totalidad. Reservados todos los derechos. No se permite la explotación económica ni la transformación de esta obra. Queda permitida la impresión en su totalidad. Reservados todos los derechos.



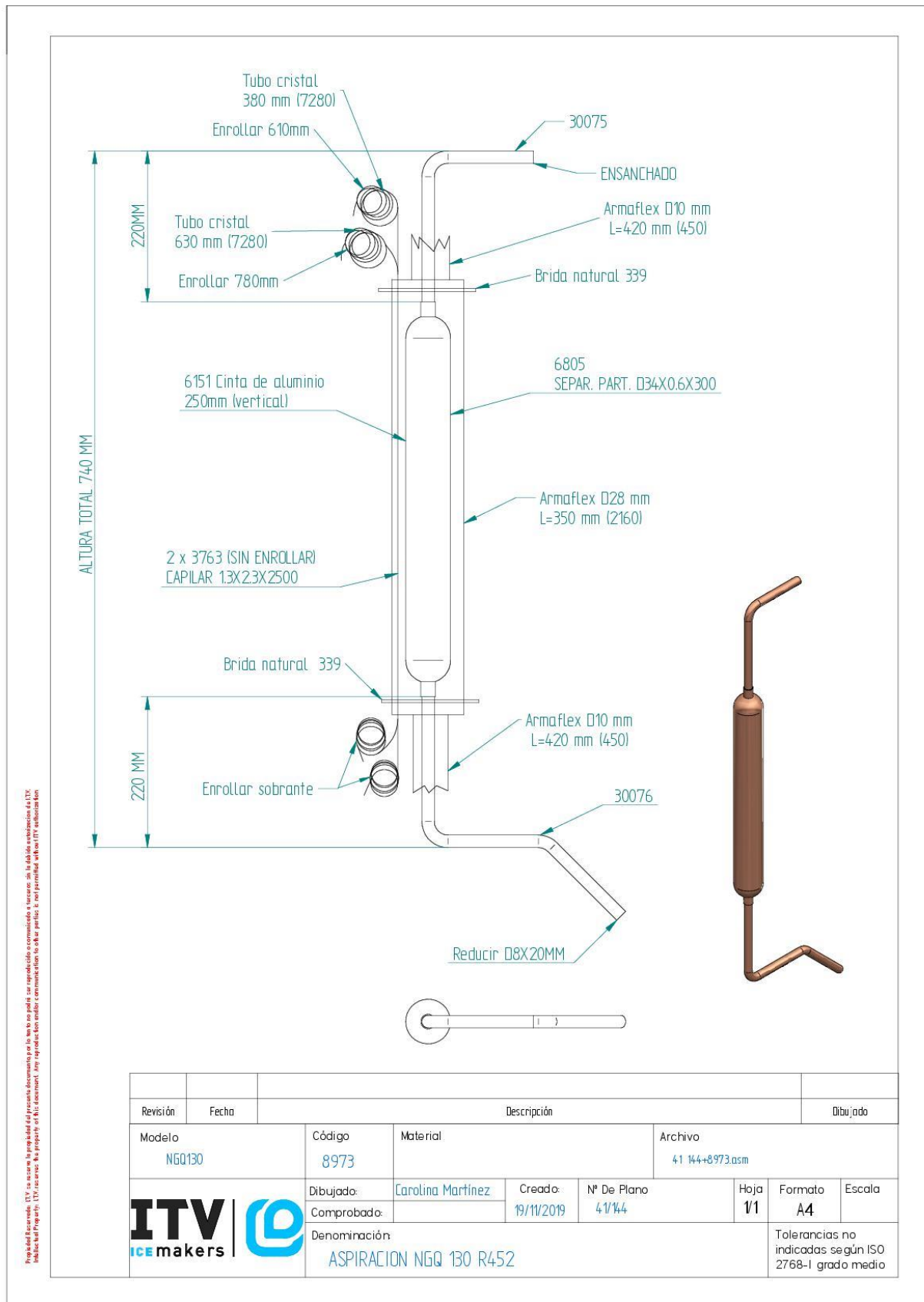


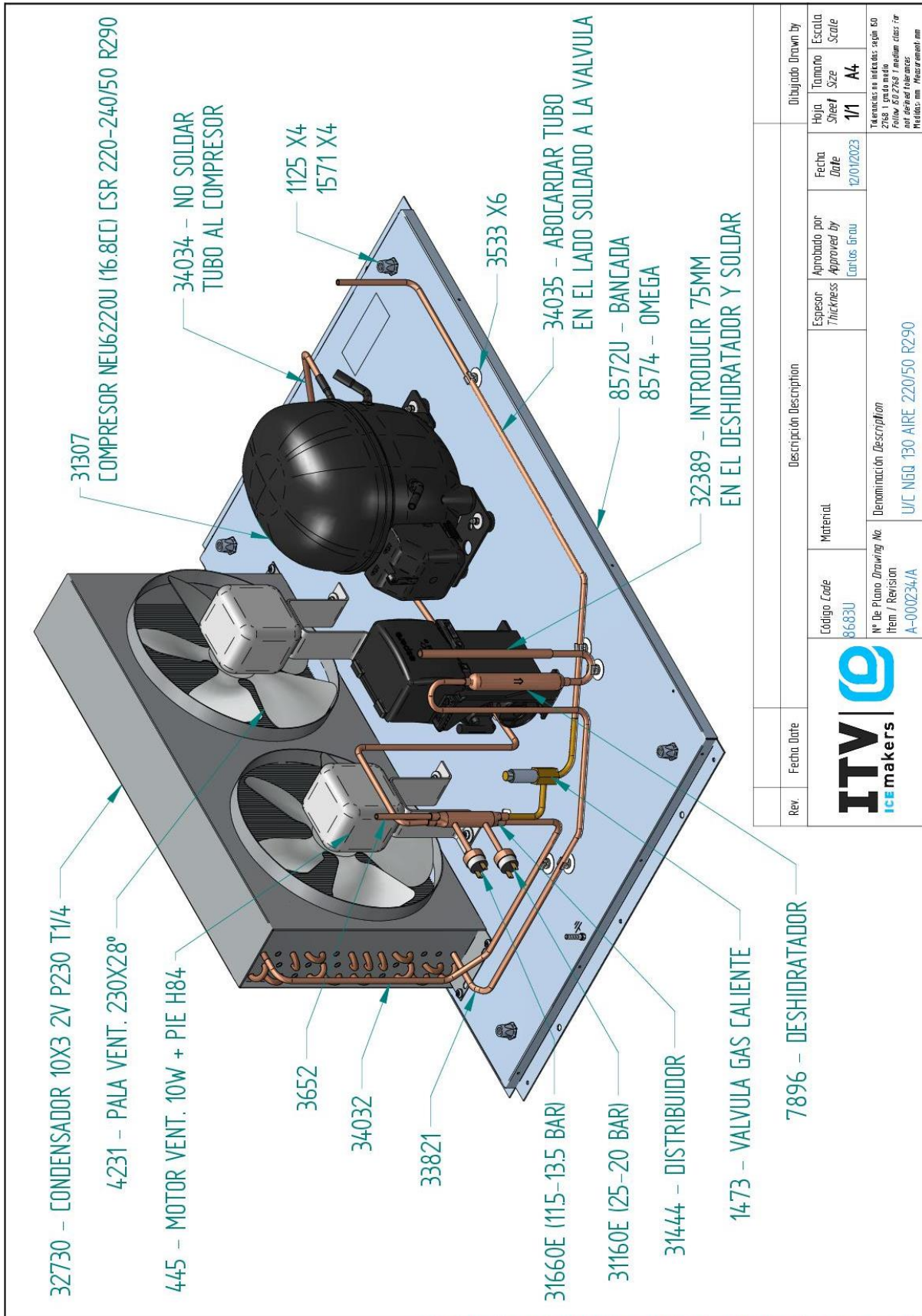


Rev.	Fecha Dite	Descripción / Description		Dibujado Drawn by	
		Editor / Editor	Material	Revisado por / Approved by	Revisado / Revisado
		34042		Fecha / Date	Escala / Scale
				27/04/2023	A3
				Área de Número	
				*Indicador de calidad según IEC 60227-1 *Quality indicator according to IEC 60227-1 *Indicador de calidad según IEC 60227-1 *Quality indicator according to IEC 60227-1	
				ITV ICEmakers	
				P-001235/A CARGADOR CUSCAR 130 ELECTRONICA	



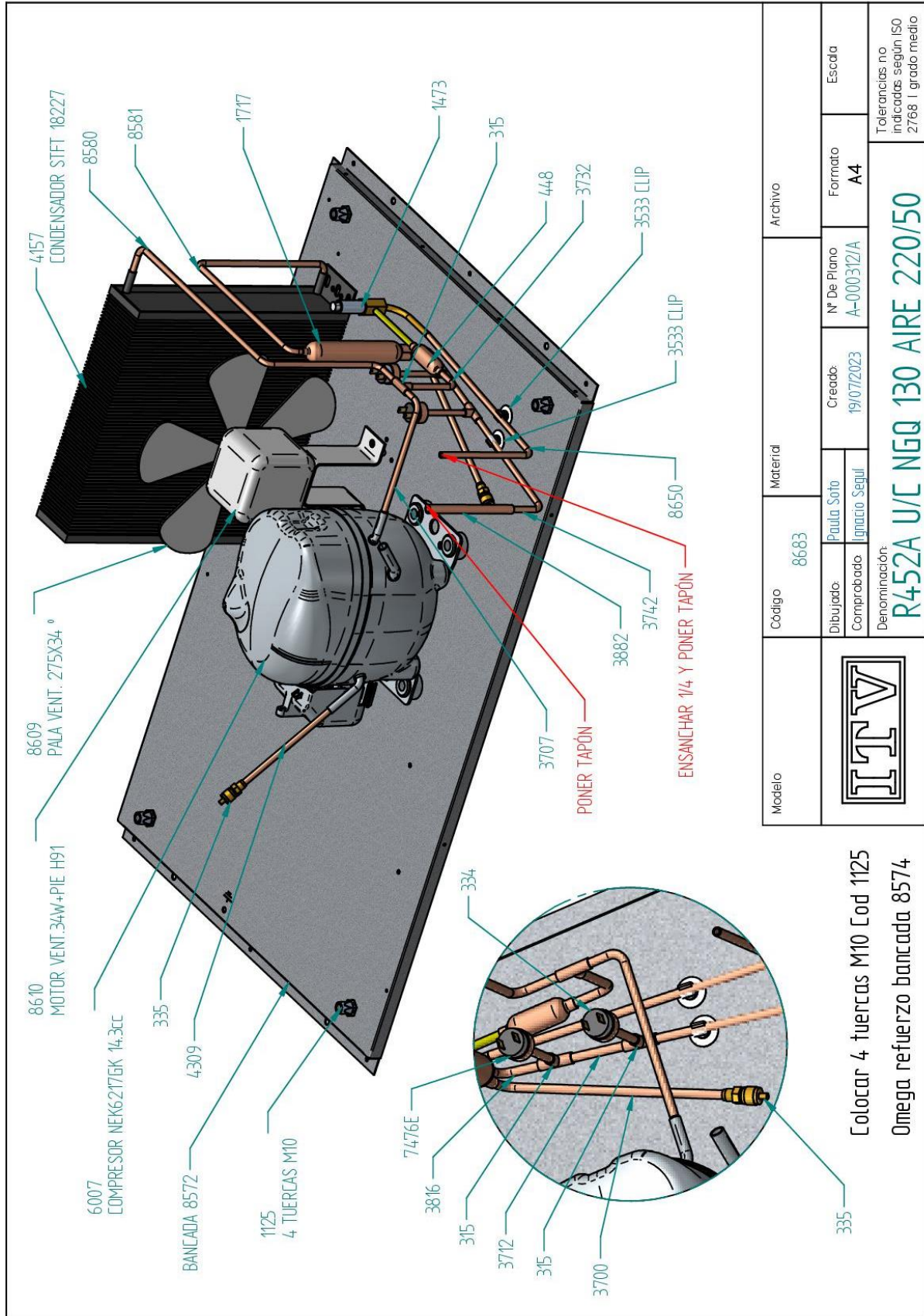
Propiedad Intelectual: ITV se reserva la propiedad del presente documento por lo que no podrá ser reproducido o comunicado e terceros sin la autorización de ITV.
 Intellectual Property: ITV reserves the property of this document. Any reproduction or communication to other parties is not permitted without ITV authorization.





Rev.	Fecha/Date	Descripción/Description		Dibujado/Drawn by	
		Código Code	Material	Espeesor/Thickness	Aprobado por/Approved by
		8683U			Contr. Inco
		Nº De Plano Drawing No		Fecha/Date	
		Item / Revision		12/01/2023	
		Denominación/Description		Escala/Scale	
		UVC NEG 130 AIRE 220/50 R290		1/1 A4	
				Tolerancias en indicadas según ISO 2768 - J grado medio	
				Folios 6/2768 / medium class for not defined tolerance	
				Papel: mm / Paper: mm	

Reservados todos los derechos. No se permite la explotación económica ni la transformación de esta obra. Queda permitida la impresión en su totalidad.



Colocar 4 tuercas M10 Cod 1125
Omega refuerzo bancada 8574

Modelo	Código	Material	Archivo
	8683		
Dibujado:	Comprobado:	Paulla Soto	Ignacio Seguí
		19/07/2023	
Denominación:		Nº De Plano	Formato
R452A U/C NGQ 130 AIRE 220/50		A-000312/A	A4
		Escala	
		Tolerancias no indicadas según ISO 2768 grado medio	