



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Agronòmica i del Medi Natural

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica  
y del Medio Natural

DISEÑO DE UNA HAMBURGUESA VEGANA A BASE DE  
PROTEÍNA DE GUISANTE Y DIMENSIONAMIENTO DE  
UNA INSTALACIÓN DE REFRIGERACIÓN-  
CONGELACIÓN PARA SU CONSERVACIÓN

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural

AUTOR/A: Abellaneda Pividal, José Carlos

Tutor/a: Castelló Gómez, María Luisa

Cotutor/a: Ortolá Ortolá, M<sup>a</sup> Dolores

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

# DISEÑO DE UNA HAMBURGUESA VEGANA A BASE DE PROTEÍNA DE GUISANTE Y DIMENSIONAMIENTO DE UNA INSTALACIÓN DE REFRIGERACIÓN-CONGELACIÓN PARA SU CONSERVACIÓN

## RESUMEN

El creciente interés de la humanidad por cuidar el medio ambiente y su alimentación ha provocado que cada vez se estudien más alternativas a alimentos basados en carne, pues es bastante la evidencia científica que demuestra como su consumo en exceso perjudica la salud de las personas y del planeta. Por ello, en este trabajo se presenta una alternativa a las hamburguesas de carne basada en proteína de guisante texturizada. El objetivo ha sido optimizar una formulación que se ajuste a lo que el consumidor puede esperar de una hamburguesa convencional. Para ello, se ha medido el color, la actividad de agua, la variación de volumen, el contenido en proteínas, la dureza y la adhesividad; tras esto se ha llevado a cabo la optimización pertinente fijando un valor para cada una de estas variables obteniendo así la formulación óptima. Se ha realizado un análisis sensorial para comprobar si el color, el aspecto, el aroma, el sabor y la textura son los esperados por el consumidor. La formulación optimizada contendría: 49,93% de jugo de remolacha, 24,93% de proteína de guisante, 9,93% de harina de avena, 14,93% de grasa y 0,27% de sazonador. Por otra parte, se ha abordado el diseño de las instalaciones de refrigeración-congelación para la elaboración y almacenamiento de estas hamburguesas. Para ello, se ha tenido en cuenta la producción semanal de la industria y las etapas necesarias para su producción. El circuito propuesto es un circuito en cascada que utiliza para la zona de baja temperatura el gas R-1270 y para la zona de alta temperatura R-290, con una SCOP de 9,528 y por tanto con una alta eficiencia térmica.

**Palabras clave:** Hamburguesa vegana, proteína de guisante texturizada, instalación de refrigeración-congelación, propiedades ópticas, propiedades mecánicas.

**Autor:** José Carlos Abellaneda Pividal

**Tutoras:** M<sup>a</sup> Dolores Ortolá Ortolá

M<sup>a</sup> Luisa Castelló Gómez

Valencia, junio 2023

# DISSENY D'UNA HAMBURGUESA VEGANA A BASE DE PROTEÏNA DE PÈSOL I DIMENSIONAMENT D'UNA INSTAL·LACIÓ DE REFRIGERACIÓ-CONGELACIÓ PER A LA SEUA CONSERVACIÓ

## RESUM

El creixent interès de la humanitat per cuidar el medi ambient i la seua alimentació ha provocat que cada vegada s'estudien més alternatives a aliments basats en carn, perquè és molta la evidència científica que demostra com el seu consum en excés perjudica la salut de les persones i del planeta. Per això, en aquest treball es presenta una alternativa a les hamburgueses de carn basada en proteïna de pèsol texturada. L'objectiu ha sigut optimitzar una formulació que s'ajuste al que el consumidor pot esperar d'una hamburguesa convencional. Per a això, s'ha mesurat el color, l'activitat d'aigua, la variació de volum, el contingut en proteïnes, la duresa i l'adhesivitat; després s'ha dut a terme l'optimització pertinent fixant un valor per a cadascuna d'aquestes variables obtenint així la formulació òptima. S'ha realitzat una anàlisi sensorial per a comprovar si el color, l'aspecte, l'aroma, el sabor i la textura són els esperats pel consumidor. La formulació optimitzada contindria: 49,93% de suc de remolatxa, 24,93% de proteïna de pèsol, 9,93% de farina d'avena, 14,93% de greix i 0,27% de sazonador. D'altra banda, s'ha abordat el disseny de les instal·lacions de refrigeració-congelació per a l'elaboració i emmagatzematge d'aquestes hamburgueses. Per a això, s'ha tingut en compte la producció setmanal de la indústria i les etapes necessàries per a la seua producció. El circuit proposat és un circuit en cascà que utilitza per a la zona de baixa temperatura el gas R-1270 i per a la zona d'alta temperatura R-290, amb una SCOP de 9,528 i per tant amb una alta eficiència tèrmica.

**Paraules clau:** Hamburguesa vegana, proteïna de pèsol texturada, instal·lació de refrigeració-congelació, propietats òptiques, propietats mecàniques.

**Autor:** José Carlos Abellana Pividal

**Tutores:** M<sup>a</sup> Dolores Ortolá Ortolá

M<sup>a</sup> Luisa Castelló Gómez

Valencia, juny 2023

# DESIGN OF A VEGAN HAMBURGER BASED ON PEA PROTEIN AND DIMENSIONING OF A REFRIGERATION-FREEZING INSTALLATION FOR ITS PRESERVATION

## ABSTRACT

Humanity's growing interest in caring for the environment and its diet has led to the study of more and more alternatives to meat-based foods, as there is considerable scientific evidence that shows how excessive consumption of meat harms the health of people and the planet. For this reason, this study presents an alternative to meat burgers based on textured pea protein. The aim has been to optimise a formulation that matches what the consumer can expect from a conventional hamburger. To do this, colour, water activity, volume variation, protein content, hardness and stickiness were measured and then optimisation was carried out by setting a value for each of these variables to obtain the optimal formulation. A sensory analysis has been carried out to check if the colour, appearance, aroma, taste and texture are as expected by the consumer. The optimised formulation would contain: 49.93% beetroot juice, 24.93% pea protein, 9.93% oat flour, 14.93% fat and 0.27% seasoning. On the other hand, the design of the refrigeration-freezing facilities for the production and storage of these hamburgers has been addressed. For this purpose, the weekly production of the industry and the stages necessary for its production have been taken into account. The proposed circuit is a cascade circuit using R-1270 gas for the low temperature zone and R-290 for the high temperature zone, with a SCOP of 9.528 and therefore with a high thermal efficiency.

**Keywords:** Vegan burger, textured pea protein, chilling-freezing installation, optical properties, mechanical properties.

**Author:** José Carlos Abellaneda Pividal

**Supervisor:** M<sup>a</sup> Dolores Ortolá Ortolá

M<sup>a</sup> Luisa Castelló Gómez

Valencia, juny 2023

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1- NECESIDAD DE BÚSQUEDA DE ALTERNATIVAS A LA PROTEÍNA DE LA CARNE.....	1
1.2- DIFERENTES ALTERNATIVAS A LA CARNE.....	2
1.3- HAMBURGUESAS BASADAS EN VEGETALES.....	2
1.4- CONSERVACIÓN EN FRÍO DE PRODUCTOS CÁRNICOS .....	3
2. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO .....	4
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	5
3.1- DISEÑO Y FORMULACIÓN DE LAS HAMBURGUESAS .....	5
3.1.1- Materias primas.....	5
3.1.2- Preparación de las hamburguesas .....	5
3.1.3- Cocinado de las hamburguesas .....	6
3.2 - DETERMINACIONES ANALÍTICAS .....	6
3.2.1- Actividad de agua ( $a_w$ ).....	6
3.2.2- Variación de volumen .....	6
3.2.3- Propiedades ópticas.....	7
3.2.4- Textura .....	7
3.2.5- Proteínas.....	7
3.2.6- Análisis estadístico .....	7
3.2.7- Análisis sensorial.....	7
3.3 - DISEÑO DE UNA PLANTA DE REFRIGERACIÓN Y CONGELACIÓN .....	8
4. RESULTADOS .....	9
4.1- CARACTERIZACIÓN DE LAS FORMULACIONES DE HAMBURGUESAS .....	9
4.2- OPTIMIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN .....	17
4.3- ANÁLISIS SENSORIAL.....	18
5. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE REFRIGERACIÓN Y CONGELACIÓN .....	21
5.1- EMPLAZAMIENTO.....	21
5.2- DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS DEL PROCESO .....	22
5.3- DISEÑO DE LA PLANTA INDUSTRIAL .....	23
5.4- CARGAS TÉRMICAS.....	24
5.5- DISEÑO CIRCUITO .....	28
5.6- OPTIMIZACIÓN DEL CIRCUITO.....	31
5.7- SELECCIÓN DE EQUIPOS.....	32
6. CONCLUSIONES .....	34
7. BIBLIOGRAFÍA.....	35
8. ANEXOS.....	38

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Emisiones de gases de efecto invernadero en toda la cadena de suministro (Poore & Nemecek, 2018).....	1
<b>Figura 2:</b> Comparación del perfil nutricional de las hamburguesas veganas, con hamburguesas de ternera, pescado y ave (Boukid & Castellari, 2021). ....	3
<b>Figura 3:</b> Actividad de agua ( $a_w$ ) de las hamburguesas crudas y cocinadas en función de la formulación. Letras iguales indican los grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un $p$ -value<0,05 .....	9
<b>Figura 4:</b> Superficies de respuesta de la $a_w$ en función del porcentaje de los diferentes ingredientes utilizados en las hamburguesas crudas (A) y cocinadas (B). ....	10
<b>Figura 5:</b> Variación de volumen de las hamburguesas en función de la formulación. Letras iguales indican los grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un $p$ -value<0,05.....	11
<b>Figura 6:</b> Contenido de proteínas de las hamburguesas crudas en función de la formulación. Letras iguales indican los grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un $p$ -value<0,05.....	11
<b>Figura 7:</b> Superficie de respuesta de la variación del contenido de proteína en función del porcentaje de los diferentes ingredientes utilizados en las hamburguesas crudas. ....	12
<b>Figura 8:</b> Luminosidad de las formulaciones de hamburguesas crudas y cocinadas (A). Representación en el diagrama cromático $b^*$ - $a^*$ de las formulaciones crudas (●) y cocinadas (○) (B). ....	13
<b>Figura 9:</b> Superficie de respuesta de la variación de luminosidad en función del porcentaje de los diferentes ingredientes utilizados en las hamburguesas cocinadas. ....	13
<b>Figura 10:</b> Superficie de respuesta de la variación de la coordenada $b^*$ en función del porcentaje de los diferentes ingredientes utilizados en las hamburguesas crudas (A) y cocinadas (B).....	14
<b>Figura 11:</b> Dureza de las hamburguesas crudas y cocinadas en función de la formulación. Letras iguales indican los grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un $p$ -value<0,05.....	15
<b>Figura 12:</b> Superficie de respuesta de la variación de la dureza en función del porcentaje de los diferentes ingredientes utilizados en las hamburguesas crudas (A) y cocinadas (B).....	16
<b>Figura 13:</b> Adhesividad de las hamburguesas crudas y cocinadas en función de la formulación. Letras iguales indican los grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un $p$ -value<0,05.....	17
<b>Figura 14:</b> Superficie de respuesta de la optimización de los componentes que se ajustaban a un modelo lineal o cuadrático y deseabilidad de cada una de las formulaciones. ....	18
<b>Figura 15:</b> Gráfico de araña con las puntuaciones obtenidas en una escala hedónica de 9 puntos. Los valores de F-ratio se muestran entre paréntesis y las diferencias significativas entre muestras se indican con ** ( $p$ -value<0,01).....	19
<b>Figura 16:</b> Representación del porcentaje de jueces que seleccionaron los diferentes niveles en la escala JAR (Just-About-Right) para cada atributo.....	20
<b>Figura 17:</b> Gráfico de penalizaciones para las formulaciones evaluadas (F7:○, F9:△, F10:□). Atributos: textura (rojo), color (azul), aroma (amarillo), sabor (verde). Valores demasiado bajos (símbolos rellenos), valores demasiado altos (símbolos vacíos). ....	20
<b>Figura 18:</b> Ubicación de las instalaciones. ....	21

<b>Figura 19:</b> Diagrama de flujo para el proceso de elaboración y almacenamiento de hamburguesas veganas.....	22
<b>Figura 20:</b> Distribución en planta de la industria.....	24
<b>Figura 21:</b> Circuito de refrigeración-congelación.....	29
<b>Figura 22:</b> Circuito sin los compresores III y IV.....	32
<b>Figura 23:</b> Formulario Análisis Sensorial.....	50
<b>Figura 24:</b> Diagrama presión-entalpía R1270.....	51
<b>Figura 25:</b> Diagrama presión-entalpía R290.....	51

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Valores límite para las formulaciones.....	5
<b>Tabla 2:</b> Combinación de los diferentes componentes para cada formulación.....	6
<b>Tabla 3:</b> Parámetros del modelo lineal de la $a_w$ en función del porcentaje de componentes en la formulación.....	10
<b>Tabla 4:</b> Parámetros del modelo lineal del contenido de proteínas en función del porcentaje de componentes en la formulación.....	12
<b>Tabla 5:</b> Parámetros del modelo lineal de la variación de luminosidad en función del porcentaje de componentes en la formulación.....	14
<b>Tabla 6:</b> Parámetros del modelo lineal de la coordenada $b^*$ en función del porcentaje de componentes en la formulación.....	15
<b>Tabla 7:</b> Parámetros del modelo cuadrático para la dureza en función del porcentaje de componentes en la formulación.....	16
<b>Tabla 8:</b> Formulación optima.....	18
<b>Tabla 9:</b> Carga térmica Almacén de Materias Primas Refrigerado.....	25
<b>Tabla 10:</b> Carga térmica Sala de Procesado 1.....	25
<b>Tabla 11:</b> Carga térmica Sala de Procesado 2.....	26
<b>Tabla 12:</b> Carga térmica Sala de IQF-Envasado.....	26
<b>Tabla 13:</b> Carga térmica IQF.....	27
<b>Tabla 14:</b> Carga térmica Almacén de Producto Terminado.....	27
<b>Tabla 15:</b> Presión, temperatura y entalpía de cada punto del circuito.....	29
<b>Tabla 16:</b> Caudales en cada punto del circuito.....	30
<b>Tabla 17:</b> Cálculo de la COP y SCOP para el circuito.....	31
<b>Tabla 18:</b> Especificaciones y número de evaporadores y condensadores.....	32
<b>Tabla 19:</b> Especificaciones y número de compresores.....	33
<b>Tabla 20:</b> Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	38
<b>Tabla 21:</b> Comparación del color de las hamburguesas crudas y cocinadas.....	52

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1- NECESIDAD DE BÚSQUEDA DE ALTERNATIVAS A LA PROTEÍNA DE LA CARNE

La búsqueda de alternativas a la carne es un tema de creciente interés en el contexto actual. Hoy en día la preocupación por la sostenibilidad del medioambiente, el bienestar animal y mejorar nuestra salud es de vital importancia. La sociedad cada vez está más concienciada sobre la necesidad de buscar alternativas a la carne debido, entre otras cosas, a que su producción tiene un impacto significativo sobre el medio ambiente. Mantener a los animales de los que se extraerá a posteriori la carne requiere de muchos recursos naturales, además de la producción de grandes cantidades de gases de efecto invernadero.

La carne es una fuente importante de proteínas, grasas y nutrientes esenciales para la salud. No obstante, su consumo se ha relacionado con multitud de enfermedades, como la diabetes tipo 2 o algunos tipos de cáncer.

Mejorar la relación entre la elaboración de productos cárnicos y el bienestar animal es algo bastante complejo. En la industria es vital incrementar la eficiencia y la productividad de los procesos relacionados con la producción de la carne lo que dificulta mejorar las condiciones en las que se crían y se sacrifican a los animales.

A continuación, en la Figura 1 se muestra un gráfico donde se cuantifica en kg de CO<sub>2</sub> por kg de producto la huella de carbono de 29 productos alimentarios en función de la cadena de suministro (Poore & Nemecek, 2018).

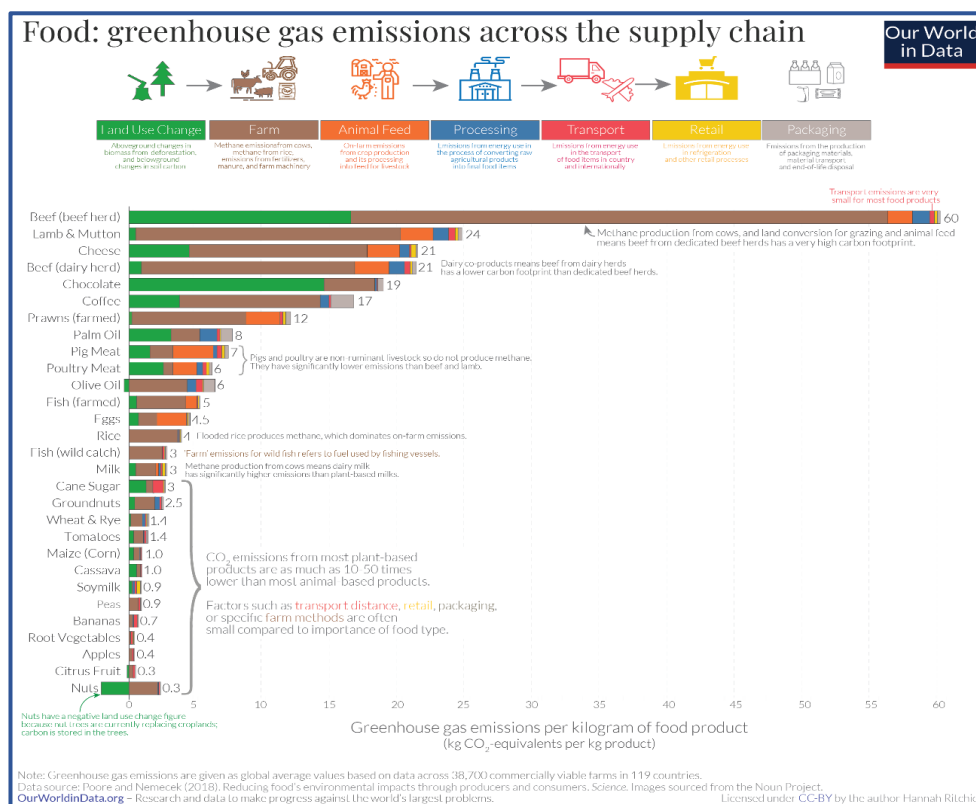


Figura 1: Emisiones de gases de efecto invernadero en toda la cadena de suministro (Poore & Nemecek, 2018).



Los alimentos de origen animal generan una mayor huella de carbono que los de origen vegetal. Producir carne de ternera, por ejemplo, conlleva la liberación a la atmósfera de unos 60 kg de CO<sub>2</sub> por kg de producto. Sin embargo, con productos vegetales como los guisantes esta cifra se reduce hasta unos 0,9 kg de CO<sub>2</sub> por kg de producto. Para determinar la cantidad de CO<sub>2</sub> que producen los alimentos, es necesario conocer el uso de la tierra y los procesos relacionados con la etapa agrícola para la elaboración de productos alimentarios. Una vez establecida esta relación, también es importante conocer el resto de las etapas de la cadena de suministro desde que los alimentos salen del campo hasta que llegan al consumidor (Poore & Nemecek, 2018).

## 1.2- DIFERENTES ALTERNATIVAS A LA CARNE

La industria alimentaria está llevando a cabo numerosos estudios para buscar alternativas a la carne, entre las que destacan:

- **Carne in vitro:** Se produce a partir del cultivo de células animales sin necesidad de sacrificar ni criar animales. Presenta una cantidad similar de proteínas a la de la carne tradicional (Post & Hocquette, 2017). Sin embargo, la carne de cultivo posee algunas deficiencias nutricionales como bajos niveles de vitamina B12 (Post & Hocquette, 2017), entre otras.
- **Insectos:** Presentan un alto valor nutricional, con proteínas de excelente calidad. La composición nutricional varía en función de la especie, de su estado y de su alimentación (Liceaga, 2022). Los insectos son una fuente de vitaminas y minerales esenciales (Payne & Van Itterbeeck, 2017). Son una alternativa interesante a la carne de origen animal además de por sus propiedades nutricionales por la baja huella de carbono que tienen.
- **Algas:** Tienen una elevada disponibilidad y muy buenas características nutricionales, con altos contenidos en proteína de alta calidad, minerales y vitaminas esenciales. Además, destacan por su baja huella de carbono. No obstante, el elevado contenido en celulosa de sus paredes celulares dificulta su digestión (Wells et al., 2017).
- **Análogos de la carne basados en plantas:** Están elaborados a base de proteínas vegetales que suponen un menor coste de producción que las de origen animal. Algunas proteínas vegetales poseen un elevado valor nutricional. No obstante, los productos elaborados a base de vegetales presentan dificultad a la hora de replicar propiedades físicas de la carne como la textura o el sabor (Ahmad et al., 2022).

## 1.3- HAMBURGUESAS BASADAS EN VEGETALES

Las hamburguesas basadas en vegetales o vegan burgers, constituyen una alternativa a las de carne animal. Como otros análogos de la carne elaborados a base de proteínas vegetales, son una fuente de proteínas de alta calidad (Ahmad et al., 2022). Las proteínas vegetales más utilizadas son las de soja y guisante, aunque también se utilizan proteínas procedentes de otras leguminosas (Kyriakopoulou et al., 2019). La

proteína de guisante es la más interesante cuando se trata de crear un análogo de la carne ya que mediante su extrusión se obtienen productos con una textura similar a la de las hamburguesas de origen animal (Osen et al., 2014).

Las hamburguesas basadas en vegetales se diseñan intentando replicar las propiedades fisicoquímicas de las hamburguesas de carne de origen animal. La textura, el sabor, el color o el valor nutricional han de ser semejantes. Por lo que no solo es decisivo estudiar qué fuente de proteínas se va a utilizar, también es necesario establecer qué agentes colorantes, aglutinantes, especias, aromas y fuentes de grasa habrá en estas hamburguesas. Normalmente, el jugo de remolacha junto con otros vegetales se utiliza para aportar color a las hamburguesas. Para el sabor, principalmente se utilizan aromas y combinaciones de especias como el pimentón, la pimienta o el ajo en polvo (He et al., 2021). Las fuentes de grasa utilizadas suelen ser, por un lado insaturadas, como el aceite de girasol o el de oliva, y por otro, saturadas como el aceite de coco o de palma (Domínguez et al., 2022).

A continuación, en la Figura 2 se muestra el perfil nutricional de las hamburguesas veganas que se comercializan en la UE en comparación con las de carne de vacuno, pescado y ave (Boukid & Castellari, 2021).

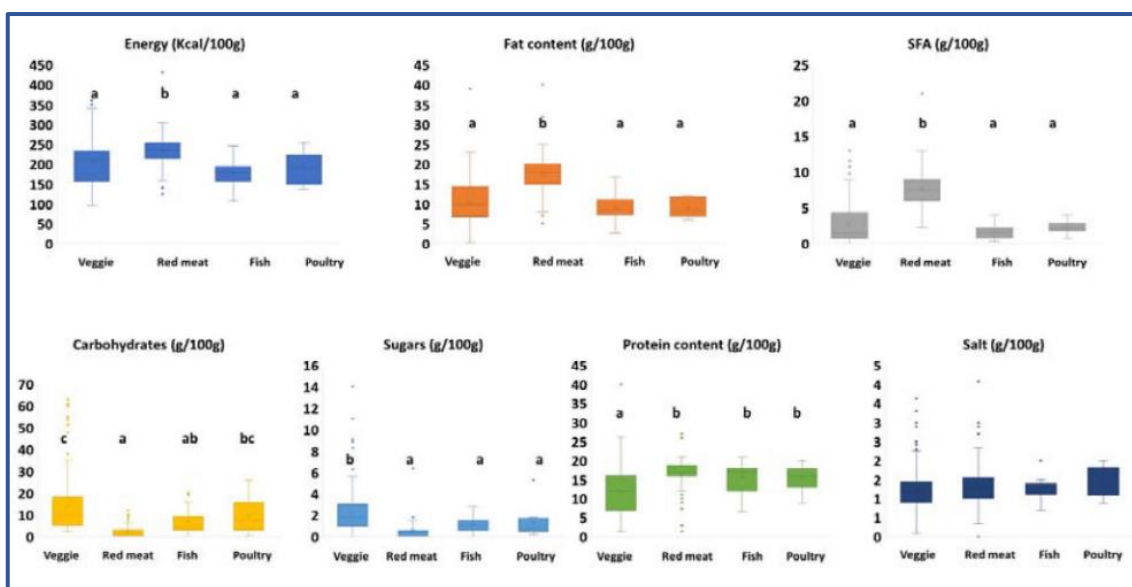


Figura 2: Comparación del perfil nutricional de las hamburguesas veganas, con hamburguesas de ternera, pescado y ave (Boukid & Castellari, 2021).

Se puede identificar como el contenido de proteínas de las hamburguesas veganas es mayor que en el resto de las hamburguesas, aunque el contenido de grasa, carbohidratos y azúcares también es mayor que en las hamburguesas de origen animal.

#### 1.4- CONSERVACIÓN EN FRÍO DE PRODUCTOS CÁRNICOS

La carne y sus derivados han de conservarse a una temperatura de 4°C o congelarse por debajo de los -18°C según el Real Decreto 1021/2022, del 13 de diciembre. Para congelar la carne es necesario alcanzar la temperatura de transición vítrea. Así, la carne no perderá sus propiedades ni tampoco se deteriorará. Esta

temperatura varía en función de su composición y del animal del que procede, estando próxima a  $-40^{\circ}\text{C}$  (Bazán & Mascheroni, 1984).

En el caso de los productos vegetales y sus derivados, según el Real Decreto 1021/2022, del 13 de diciembre, la temperatura de refrigeración y congelación es la misma que para la carne. Sin embargo, la temperatura de transición vítrea variará, principalmente por el incremento de la  $a_w$  y carbohidratos (Wang, 2017).

## 2. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

El principal objetivo de este trabajo ha sido estudiar la viabilidad del uso de la proteína de guisante texturizada para la elaboración de hamburguesas veganas, así como la optimización de una formulación considerando distintos ingredientes. También se ha abordado el diseño de las instalaciones de frío para su elaboración y conservación, teniendo en cuenta que el producto final va a ser congelado.

Para poder realizar este estudio se han llevado a cabo 12 formulaciones en las que se han variado las cantidades de los componentes de estas hamburguesas. Se han analizado algunas de sus propiedades fisicoquímicas antes y después de ser cocinadas.

Una vez concluido el análisis de los resultados obtenidos del diseño de mezclas, se ha procedido a la optimización permitiendo así seleccionar las formulaciones con una mayor deseabilidad. Estas formulaciones se han utilizado para realizar una evaluación sensorial en donde se ha valorado, entre otras cosas, la aceptación de las hamburguesas.

Este trabajo se alinea con diferentes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) ya que la elaboración de hamburguesas veganas a base de proteína texturizada de guisante influye en el clima reduciendo la huella de carbono. Además, los gases seleccionados para la instalación de refrigeración-congelación son respetuosos con la capa de ozono. Ambos aspectos están relacionados con el ODS 13 (Acción por el clima). Por otra parte, la incorporación a la dieta de alternativas a la carne puede contribuir a mejorar la salud debido a la relación de los productos cárnicos con enfermedades cardiovasculares o diabetes tipo 2 (ODS 3: Salud y bienestar). Asimismo, la producción de hamburguesas basadas en plantas supone un gran avance en la industria alimentaria (ODS 9: Industria, innovación e infraestructuras). Al consumir alternativas a la carne, mejoran las condiciones en las que se crían los animales (ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres). Por último, el uso de ingredientes vegetales contribuye con el desarrollo del sector agrícola (ODS 8: Industria, innovación e infraestructuras). En Tabla 20 del anexo se detalla el grado de relación de este TFG con los ODS.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1- DISEÑO Y FORMULACIÓN DE LAS HAMBURGUESAS

##### 3.1.1- Materias primas

Las hamburguesas fueron elaboradas con remolacha cocida (Hijos de Teodoro Muñoz, S.L.; Mercadona), proteína de guisante texturizada (Paño Fruits, S.L; Carrefour), harina de avena (Fortin Mühlenwerke & Co KG; Mercadona), aceite de coco virgen (Laboratorios Almond, S.L; Mercadona), aceite de oliva virgen extra (OLEOSTEPA, S.COOP; Mercadona), un sazónador (Jesús Navarro, S.A; Mercadona) que contenía algunas especias (ajo, cebolla, pimentón dulce, romero, tomillo, orégano y cúrcuma) y sal.

##### 3.1.2- Preparación de las hamburguesas

Para la elaboración de las formulaciones se estableció un valor límite para cada compuesto. Concretamente, se establece un contenido mínimo de agua de un 50% y un máximo de un 80%. En cuanto a las proteínas vegetales texturizadas se recomiendan cantidades de entre el 10% y el 25% y si son no texturizadas, entre el 4% y el 20%. La grasa ha de constituir un valor que oscile entre un 0% y un 15% y los condimentos un 1% y un 5% (Kyriakopoulou et al., 2019). Partiendo de esta base, en la Tabla 1 se establecieron unos valores límite para cada compuesto.

Tabla 1: Valores límite para las formulaciones.

<b>Componentes</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
<b>Jugo de remolacha</b>	50	80
<b>Proteína de guisante texturizada</b>	10	25
<b>Harina de avena</b>	4	20
<b>Grasa (aceite de coco y oliva a partes iguales)</b>	0	15
<b>Sazónador</b>	0,27	0,27

Las formulaciones que van a ser sometidas a estudio se eligieron a partir de un diseño de mezclas creado con el programa Statgraphics Centurion XVIII, donde se introdujeron los 5 componentes de las hamburguesas, teniendo en cuenta los valores límite establecidos. Finalmente, se obtuvieron 12 formulaciones distintas (Tabla 2).

Para la elaboración de cada formulación se pesaron todos los ingredientes secos en una báscula de precisión y se introdujeron en un recipiente donde fueron mezclados. A continuación, se trituró la remolacha en un procesador de alimentos (Thermomix TM31) a 10000 rpm durante 5 minutos. El jugo resultante se mezcló con el resto de los ingredientes. Acto seguido se añadió la grasa al recipiente con el resto de los ingredientes, esta grasa fue en todos los casos una mezcla a partes iguales de aceite de coco y aceite de oliva virgen extra. Para la correcta hidratación del preparado, se dejó reposar durante un tiempo de 30 minutos antes de proceder con la elaboración de las hamburguesas. Transcurrido este tiempo el amasado de la pasta resultante fue manual, durante un tiempo de 5 minutos. Todo este proceso se llevó a cabo a temperatura ambiente. Finalmente, se prepararon hamburguesas de 40 g con forma

cilíndrica mediante un molde de 6 cm de diámetro para su posterior estudio. Todas las muestras se almacenaron a 4°C hasta su cocinado un máximo de 24 horas.

**Tabla 2:** *Combinación de los diferentes componentes para cada formulación.*

<b>Formulación</b>	<b>Jugo de remolacha (%)</b>	<b>Proteína de guisante (%)</b>	<b>Harina de avena (%)</b>	<b>Grasa (%)</b>	<b>Sazonador (%)</b>
<b>1</b>	80	15,73	4	0	0,27
<b>2</b>	80	10	9,73	0	0,27
<b>3</b>	80	10	4	5,73	0,27
<b>4</b>	70,73	25	4	0	0,27
<b>5</b>	69,73	10	20	0	0,27
<b>6</b>	54,73	25	20	0	0,27
<b>7</b>	50	25	20	4,73	0,27
<b>8</b>	70,73	10	4	15	0,27
<b>9</b>	55,73	25	4	15	0,27
<b>10</b>	50	25	9,73	15	0,27
<b>11</b>	54,73	10	20	15	0,27
<b>12</b>	50	14,73	20	15	0,27

### 3.1.3- Cocinado de las hamburguesas

Para el cocinado de las hamburguesas se utilizó una sartén y se asaron durante 2 minutos por cada cara hasta que las hamburguesas alcanzaron la temperatura interna de 72°C. Posteriormente, para su estudio se dejaron atemperar hasta que alcanzaron la temperatura ambiente. Se hicieron de cada formulación unas 6 unidades.

## 3.2 - DETERMINACIONES ANALÍTICAS

### 3.2.1- Actividad de agua ( $a_w$ )

La actividad de agua se midió por triplicado con un higrómetro de rocío (Aqualab 4TE) en las hamburguesas crudas y cocinadas.

### 3.2.2- Variación de volumen

Para determinar la variación de volumen tras el cocinado de cada formulación se tomaron medidas de la altura (mm) y el diámetro (mm) de cada hamburguesa por triplicado tanto para las hamburguesas crudas como para las cocinadas mediante las ecuaciones 1 y 2.

$$\text{Volumen de un cilindro} = \pi \cdot h \cdot r^2 \quad (1)$$

$$\text{Variación de volumen} = \frac{V_f - V_i}{V_i} \quad (2)$$

### 3.2.3- Propiedades ópticas

Se utilizó un espectrocolorímetro (Konica Minolta, CM-3600d) con el que se obtuvieron las coordenadas CIE L\*a\*b de cada hamburguesa. Para cada formulación se tomaron medidas por sextuplicado tanto en crudo como en cocinado. Se usó un iluminante D65 y un observador de 10°.

### 3.2.4- Textura

Para el análisis de la textura, se utilizó un texturómetro (Stable Micro Systems, TA-XT2) con el que se llevó a cabo un ensayo de doble compresión o TPA. De este modo, se pudo determinar el nivel de dureza y la adhesividad de las hamburguesas. El ensayo se llevó a cabo por sextuplicado por formulación, tanto en crudo como después de estar cocinadas.

### 3.2.5- Proteínas

Para concretar la cantidad de proteínas de cada una de las formulaciones se pesó una cantidad aproximada a 1 gramo en cada caso. Seguidamente se llevó a cabo por duplicado el método Kjeldahl (García Martínez & Fernandez Segovia, 2012). Para ello, se utilizó un destilador automático (Velp Scientifica, UDK,129) con el que se pudo recoger sobre ácido bórico el producto resultante. Tras esto, se realizó la valoración de la cantidad de nitrógeno recogida con ácido sulfúrico 0,3N. Para los cálculos se multiplicó el porcentaje de nitrógeno resultante por el factor 6,25 (García Martínez & Fernandez Segovia, 2012).

### 3.2.6- Análisis estadístico

El efecto significativo de cada uno de los ingredientes sobre las formulaciones se determinó mediante los ANOVAs correspondientes con el programa Statgraphics Centurión XVIII. Además, con este software, se realizó un Diseño de Experimentos del que se pudieron obtener las formulaciones analizadas y con el que se representó cada una de las superficies de respuesta para cada variable objeto de estudio, siempre que se ajustasen a un modelo lineal o cuadrático. Finalmente, se optimizó el diseño.

### 3.2.7- Análisis sensorial

El análisis sensorial se utilizó como herramienta para recabar información sobre las formulaciones que mayor deseabilidad obtuvieron en el análisis estadístico. Las formulaciones en cuestión fueron la F7, F9 y F10. Este análisis se llevó a cabo en el Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos-FoodUPV de la Universidad Politécnica de Valencia. Se utilizó el software Microsoft Forms (Figura 23, Anexo) para la elaboración del formulario y recopilar todos los datos.

Para la cata acudieron 19 personas sin entrenar que probaron 3 hamburguesas codificadas con 3 dígitos cada una. Concretamente, los catadores puntuaron en una escala hedónica de 9 puntos los siguientes atributos: aspecto, color, aroma, sabor, textura, así como la aceptación. Además, el cuestionario incluía preguntas del tipo Just About Right (JAR) para el color, la textura, el aroma y el sabor con el fin de conocer el nivel de intensidad de estos atributos relacionado con la aceptación global.

### 3.3 - DISEÑO DE UNA PLANTA DE REFRIGERACIÓN Y CONGELACIÓN

Se ha abordado el diseño de las instalaciones de refrigeración-congelación necesarias para la elaboración y conservación de hamburguesas veganas. Se trata de un circuito en cascada en donde se han establecido cuatro niveles de frío teniendo en cuenta las necesidades del producto a la hora de la conservación de materias primas, elaboración y almacenamiento del producto ya terminado. Para el diseño de la instalación se ha utilizado el software Coolpack versión 1.5 y para el diseño de los planos el programa AutoCAD 2023.

La producción de esta industria será de 3000 kg a la semana, que corresponden con 37500 hamburguesas de 80 g a la semana. Diariamente se elaborarán 7500 hamburguesas.

La capacidad de almacenamiento de producto ya terminado es de 12000 kg, correspondiendo esta cantidad con la producción de hamburguesas durante un mes.

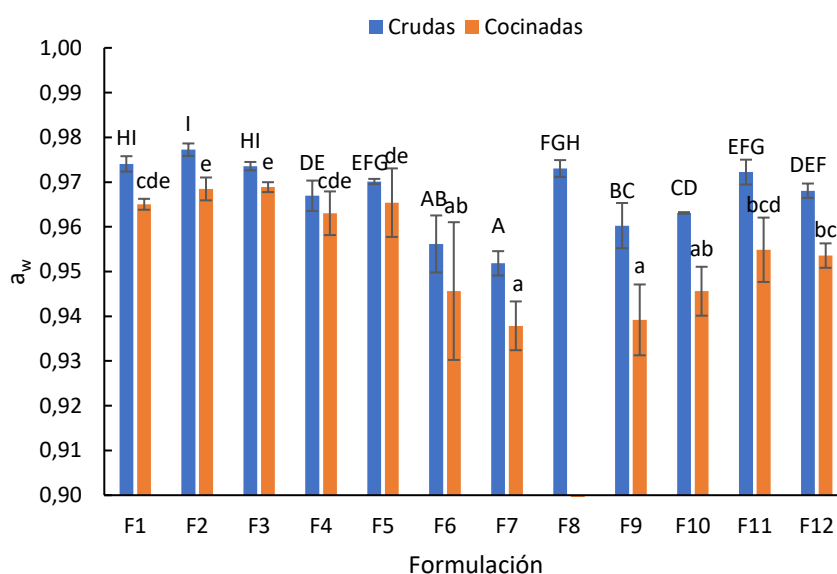
## 4. RESULTADOS

### 4.1- CARACTERIZACIÓN DE LAS FORMULACIONES DE HAMBURGUESAS

Como el diseño experimental planteado contempla 4 ingredientes variables en las formulaciones, y dado que la optimización de la formulación (que se detallará en el apartado 4.2) dio como resultado el máximo contenido en grasa, todas las superficies de respuesta que se presentan en los apartados siguientes corresponden a las hamburguesas con el 15% de grasa.

En todos los análisis efectuados se descartó la formulación F8 cocinada porque se desestructuró completamente durante el proceso.

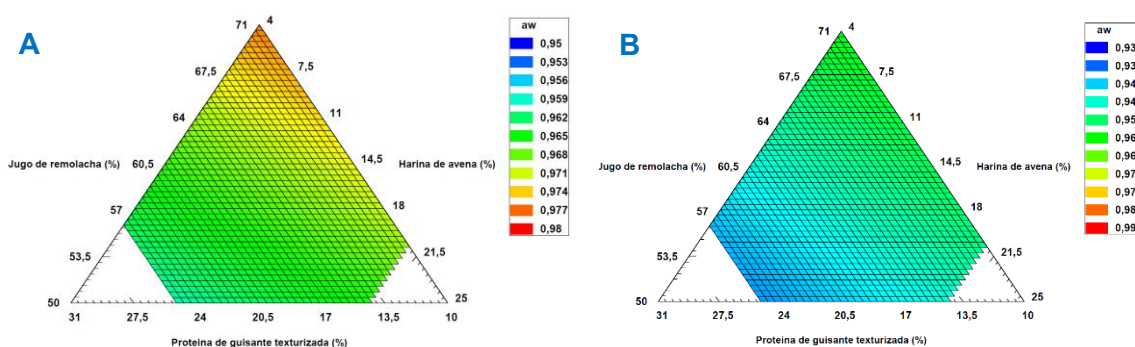
En la Figura 3 se muestran los resultados de actividad de agua de las hamburguesas crudas y cocinadas. Como era de esperar, en todos los casos la  $a_w$  de las hamburguesas después del cocinado se redujo, siendo mucho menor en las formulaciones F6, F7, F9 y F10 por su menor contenido en jugo de remolacha y mayor contenido en proteína de guisante. En otros estudios realizados en panes, la incorporación de proteína de guisante conlleva al aumento de la actividad de agua con respecto a la harina de trigo (Freire, 2019).



**Figura 3:** Actividad de agua ( $a_w$ ) de las hamburguesas crudas y cocinadas en función de la formulación. Letras iguales indican los grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un  $p$ -value < 0,05.

En la Figura 4 se muestra las superficies de respuesta de la variación de la actividad de agua de las diferentes formulaciones (crudas y después de la cocción) en función de la composición. Como puede observarse, a menor contenido en harina y mayor contenido en jugo de remolacha, este parámetro aumenta, alcanzando valores de aproximadamente 0,97. Como se ha comentado, la  $a_w$  desciende con el tratamiento térmico, con valores de 0,94 cuando el porcentaje de jugo es bajo (57%) y el de harina de avena elevado (25%).





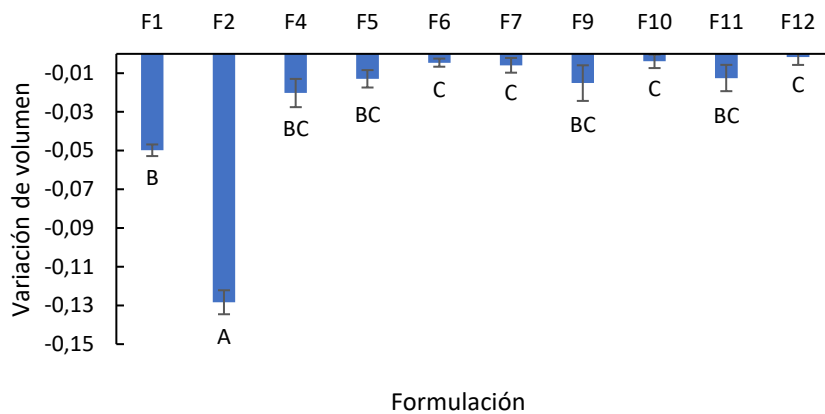
**Figura 4:** Superficies de respuesta de la  $a_w$  en función del porcentaje de los diferentes ingredientes utilizados en las hamburguesas crudas (A) y cocinadas (B).

Los parámetros del modelo lineal obtenidos se presentan en la Tabla 3. Tanto en las hamburguesas crudas como en las cocinadas el aumento de componentes supone una mayor  $a_w$  ya que todos los coeficientes son positivos y el ajuste es similar en ambos casos.

**Tabla 3:** Parámetros del modelo lineal de la  $a_w$  en función del porcentaje de componentes en la formulación.

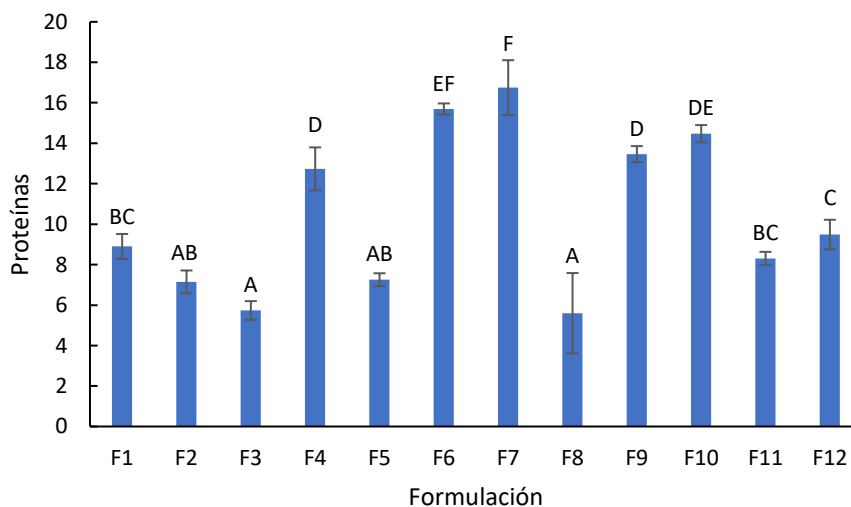
Componentes (%)	Cruda	Cocinada
	Coefficiente	Coefficiente
Jugo remolacha (A)	0,9775	0,9715
Proteína guisante (B)	0,9442	0,9331
Harina avena (C)	0,9630	0,9567
Grasa (D)	0,9743	0,9426
P-value	0,0008	0,0034
F-ratio	17,11	10,84
$R^2$	0,8641	0,8026

En la Figura 5 se muestran los resultados de la variación de volumen, para las formulaciones tras su cocinado. En el caso de las formulaciones F3 y F8 no se han podido recabar datos debido a la desestructuración de las muestras. Como es lógico, las formulaciones con una concentración mayor en jugo de remolacha presentan mayor variación de volumen tras su cocción. Este comportamiento está relacionado con la mayor facilidad de liberación de esta fase líquida con la temperatura. Esta variación es bastante significativa en la formulación 2 donde el contenido de jugo de remolacha constituye un 80% de su composición. No obstante, se ha constatado que la variación de volumen no se ajusta ni a un modelo cuadrático (p-value: 0,7306) ni a un modelo lineal (p-value: 0,0741).



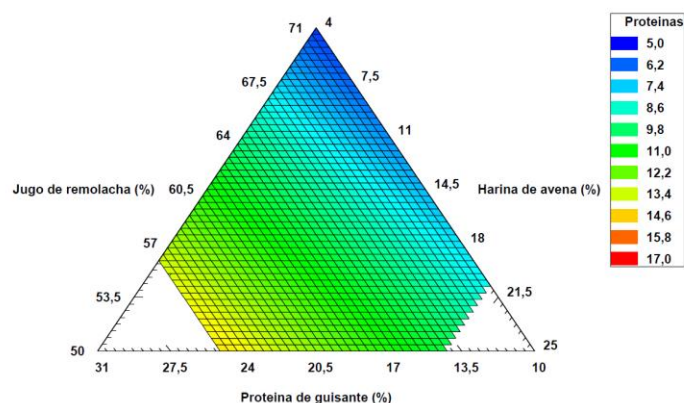
**Figura 5:** Variación de volumen de las hamburguesas en función de la formulación. Letras iguales indican los grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un  $p\text{-value} < 0,05$ .

En la Figura 6 se muestran los resultados del contenido de proteínas, para las hamburguesas crudas. Se puede comprobar como las formulaciones con una concentración mayor en proteína de guisante texturizada (F4, F6, F7, F9 y F10) presentan un contenido mayor de proteína. En estos casos, la composición en términos proteicos es del orden a algunas hamburguesas veganas disponibles en el mercado: Heura (15%), Beyond burger (19%) o Findus (14%) (Heura Foods, 2023),(Beyond Meat, 2023),(Findus, 2023).



**Figura 6:** Contenido de proteínas de las hamburguesas crudas en función de la formulación. Letras iguales indican los grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un  $p\text{-value} < 0,05$ .

En la Figura 7 se muestra las superficies de respuesta del contenido en proteína de las diferentes formulaciones crudas, en función de su composición. Como puede observarse, a menor contenido en jugo de remolacha, mayor contenido en proteína de guisante texturizada y harina de avena este parámetro aumenta, alcanzando valores de aproximadamente 16,2.



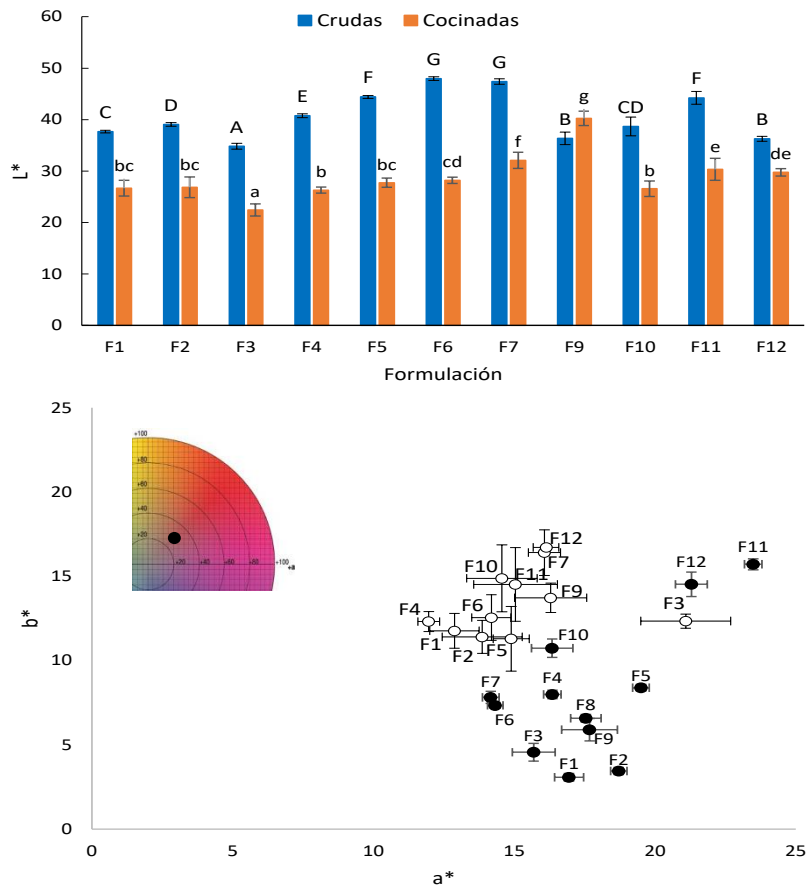
**Figura 7:** Superficie de respuesta de la variación del contenido de proteína en función del porcentaje de los diferentes ingredientes utilizados en las hamburguesas crudas.

Los parámetros del modelo lineal obtenidos se presentan en la Tabla 4. El coeficiente que mayor repercusión tiene en el modelo es el asociado a la proteína de guisante, seguido del de la harina de avena sin diferencias en los del jugo de remolacha y la grasa.

**Tabla 4:** Parámetros del modelo lineal del contenido de proteínas en función del porcentaje de componentes en la formulación.

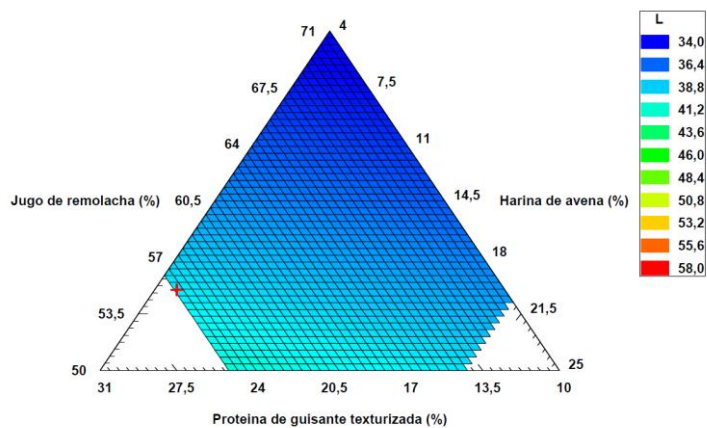
Componentes (%)	Cruda
	Coefficiente
Jugo remolacha (A)	5,632
Proteína guisante (B)	24,527
Harina avena (C)	10,746
Grasa (D)	5,5216
P-value	0,0000
F-ratio	121,82
R <sup>2</sup>	0,9786

En la Figura 8 se muestran los resultados de las coordenadas CIEL\*a\*b de las hamburguesas crudas y cocinadas. Se puede observar como en todas las formulaciones, excepto en la F9, la luminosidad de las hamburguesas desciende tras el cocinado. Esto podría ser debida al mayor contenido en grasa y menor de harina de avena de esta formulación. En cuanto a las coordenadas a\* y b\* se ve como para las hamburguesas crudas la diferencia de estos parámetros según cada formulación es más notable. No obstante, tras su cocinado parece que los valores son más similares para todas las formulaciones, destacando un aumento significativo de la coordenada b\* y un descenso de la coordenada a\*. Estas variaciones en el color se deben, entre otras cosas, a la reacción de Maillard que se da durante el cocinado (Damodaran et al., 2017)



**Figura 8:** Luminosidad de las formulaciones de hamburguesas crudas y cocinadas (A). Representación en el diagrama cromático  $b^*-a^*$  de las formulaciones crudas ( $\bullet$ ) y cocinadas ( $\circ$ ) (B).

El ajuste de la luminosidad en el análisis de la superficie de respuesta sólo fue significativo para las hamburguesas crudas (Figura 9). Tal y como se puede apreciar, a medida que se incrementa el contenido en proteína de guisante texturizada, de harina de avena y disminuye el contenido en jugo de remolacha, este parámetro se intensifica alcanzando valores de aproximadamente 43,17.



**Figura 9:** Superficie de respuesta de la variación de luminosidad en función del porcentaje de los diferentes ingredientes utilizados en las hamburguesas cocinadas.

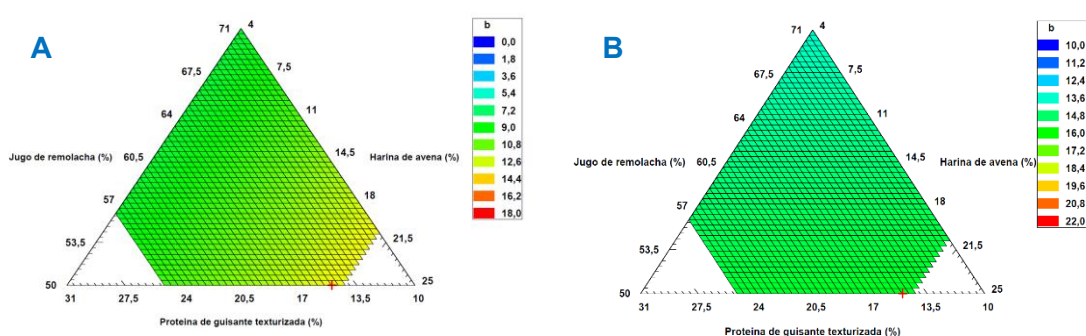
Esta superficie se ajusta a un modelo lineal (Tabla 5) en el que, de nuevo todos los coeficientes son positivos poniendo de manifiesto una relación directa de la cantidad de cada uno de los componentes en el aumento de la luminosidad.

**Tabla 5:** *Parámetros del modelo lineal de la variación de luminosidad en función del porcentaje de componentes en la formulación.*

Componentes (%)	Cruda
	Coeficiente
Jugo remolacha (A)	37,1937
Proteína guisante (B)	51,5561
Harina avena (C)	46,7321
Grasa (D)	27,6032
p-value	0,0138
F-ratio	6,76
R <sup>2</sup>	0,7172

Del análisis de las superficies de respuesta de las formulaciones para la coordenada a\* tanto antes como después de la cocción se ha observado que no se ajusta ni a un modelo lineal (p-value crudas: 0,0550; p-value cocinadas: 0,6356) ni a un modelo cuadrático (p-value crudas: 0,0923; p-value cocinadas: 0,40045).

En la Figura 10 se muestra la superficie de respuesta de la variación de la coordenada b\* teniendo en cuenta la composición de cada una de las formulaciones. De forma evidente, se puede identificar que, si el contenido de proteína de guisante texturizada disminuye y aumenta el de harina de avena, se produce un incremento en el valor de esta variable para las hamburguesas crudas, obteniéndose valores aproximados a 15,7. Esto estaría relacionado con la coloración más blanquecina de la harina de avena respecto a la de la proteína de guisante que es más marrón. Además, se puede apreciar como tras la cocción de las hamburguesas este parámetro aumenta hasta un valor aproximado de 16,7 siempre que la formulación esté constituida por una mezcla en la que se cumpla lo mismo que en las hamburguesas crudas.



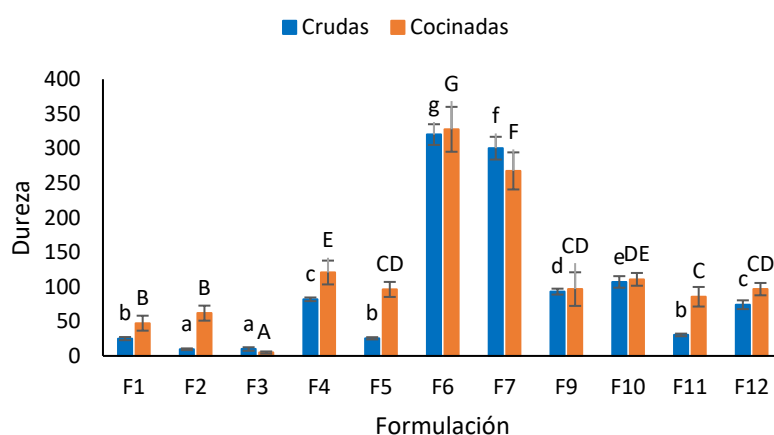
**Figura 10:** *Superficie de respuesta de la variación de la coordenada b\* en función del porcentaje de los diferentes ingredientes utilizados en las hamburguesas crudas (A) y cocinadas (B).*

La modelización de los valores de  $b^*$  en función del porcentaje de los diferentes componentes de la formulación se muestra en la Tabla 6. Como puede observarse, tanto las variaciones en las hamburguesas crudas como en las cocinadas se ajustan a un modelo lineal. En coherencia con lo observado en la Figura 10, los coeficientes del modelo de las hamburguesas cocinadas para la coordenada  $b^*$  fueron más similares que en las crudas. En la Tabla 21 en el anexo se pueden ver las diferencias de color entre las hamburguesas crudas y cocinadas.

**Tabla 6:** *Parámetros del modelo lineal de la coordenada  $b^*$  en función del porcentaje de componentes en la formulación.*

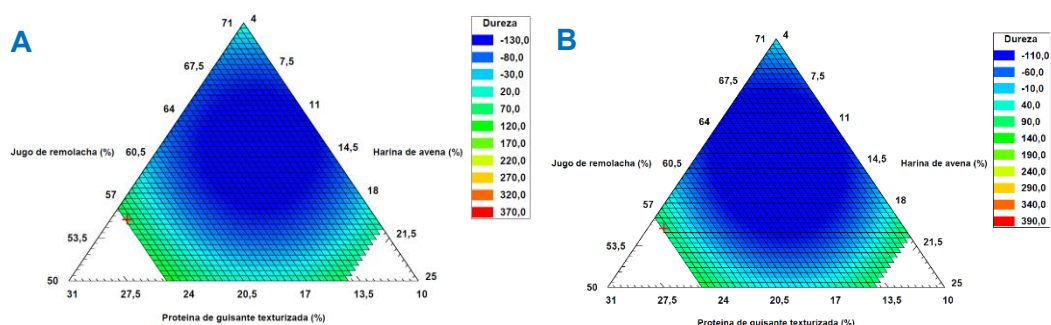
<b>Componentes (%)</b>	<b>Cruda</b>	<b>Cocinada</b>
	Coeficiente	Coeficiente
<i>Jugo remolacha (A)</i>	3,14191	10,8254
<i>Proteína guisante (B)</i>	3,53029	13,8042
<i>Harina avena (C)</i>	14,8726	14,3777
<i>Grasa (D)</i>	14,6497	17,398
<i>P-value</i>	0,0121	0,0087
<i>F-ratio</i>	7,10	7,97
<i>R<sup>2</sup></i>	0,7269	0,7494

En la Figura 11 se muestran los resultados de la dureza de las hamburguesas crudas y cocinadas. Lo más destacable es que las formulaciones F6 y F7 son las más duras debido a su mayor contenido en proteína de guisante y harina de avena y, por tanto, menos jugo de remolacha. En estudios previos se ha reportado que cuando aumenta el contenido en agua, disminuye la dureza (Wi et al., 2020). Por otra parte, se puede observar como la dureza de las hamburguesas aumenta tras el cocinado para casi todas las formulaciones. Esto es consecuencia de la eliminación del agua tras el tratamiento térmico, que de nuevo aumentó la dureza como se ha comentado anteriormente.



**Figura 11:** *Dureza de las hamburguesas crudas y cocinadas en función de la formulación. Letras iguales indican los grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un  $p$ -value < 0,05.*

En la Figura 12 se muestran las superficies de respuesta de la variación de la dureza para cada formulación según su composición. Se puede identificar con claridad que, si el contenido de proteína de guisante texturizada aumenta y disminuye el de jugo de remolacha, se produce un incremento en el valor de esta variable tanto antes como después de cocinar las muestras, obteniendo valores que se aproximan a 320 N y 328 N. También se puede apreciar cómo tras el cocinado, el valor máximo de la dureza aumenta.



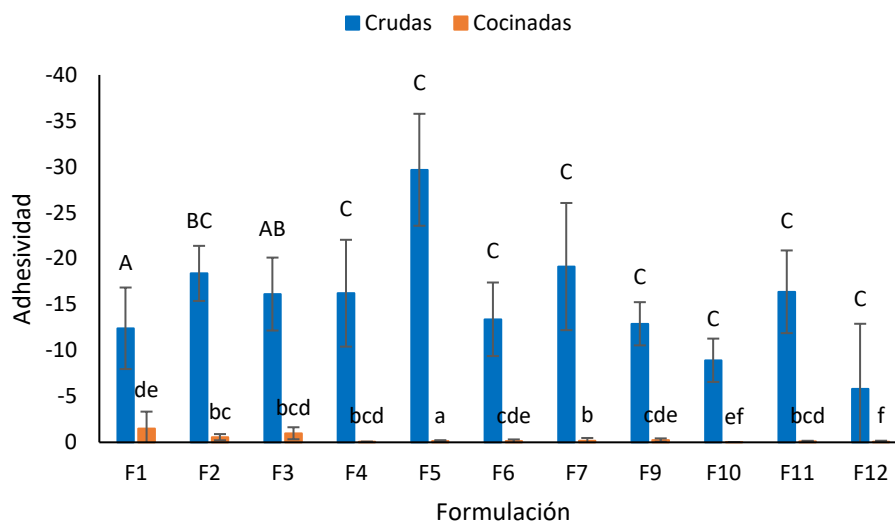
**Figura 12:** Superficie de respuesta de la variación de la dureza en función del porcentaje de los diferentes ingredientes utilizados en las hamburguesas crudas (A) y cocinadas (B).

La modelización de los valores de la dureza en función del porcentaje de los diferentes componentes de la formulación se muestra en la Tabla 7. Como puede observarse en ambos casos las variaciones en la dureza de las hamburguesas se ajusta un modelo cuadrático.

**Tabla 7:** Parámetros del modelo cuadrático para la dureza en función del porcentaje de componentes en la formulación.

Componentes (%)	Cruda	Cocinada
	Coficiente	Coficiente
Jugo remolacha (A)	206,673	257,244
Proteína guisante (B)	1753,41	2075,68
Harina avena (C)	1463,65	1607,68
Grasa (D)	1286,59	1755,67
AB	- 3164,82	- 3682,15
AC	- 2984,39	- 3073,53
AD	- 2651,09	- 3578,17
BC	- 3868,38	- 4757,56
BD	- 4661,3	- 6004,66
CD	- 4575,91	- 5390,83
P-value	0,0398	0,0493
F-ratio	24,44	21,34
R <sup>2</sup>	0,9977	0,9981

En la Figura 13 se muestran los resultados de la adhesividad de las hamburguesas crudas y cocinadas. Se puede observar como la adhesividad de las hamburguesas tras el cocinado es prácticamente nula por el frente seco que aparece en el producto por el tratamiento térmico.



**Figura 13:** Adhesividad de las hamburguesas crudas y cocinadas en función de la formulación. Letras iguales indican los grupos homogéneos obtenidos en el ANOVA con un  $p$ -value < 0,05.

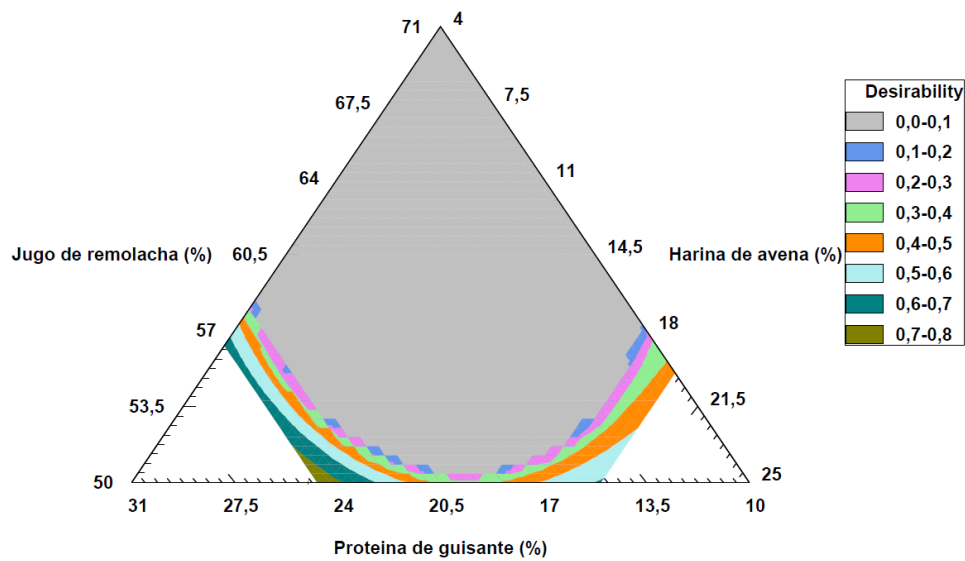
Del análisis de superficies de respuesta de la adhesividad (tanto antes como después de la cocción) se ha observado que este parámetro no se ajusta ni a un modelo lineal ( $p$ -value crudas: 0,2097;  $p$ -value cocinadas: 0,0955) ni a un modelo cuadrático ( $p$ -value crudas: 0,350;  $p$ -value cocinadas: 0,3721).

#### 4.2- OPTIMIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN

Con todos los resultados anteriores y utilizando un Software estadístico se ha llevado a cabo la optimización de la formulación en base a las variables que se ajustaban a un modelo lineal o cuadrático ( $a_w$ , cantidad de proteínas, coordenada  $b^*$  y dureza) para las hamburguesas cocinadas. A estas variables se les ha asignado una serie de condiciones que permiten determinar cuál es la mejor formulación de las 12 propuestas. Estas condiciones han sido; para la coordenada  $b^*$  encontrar el valor máximo posible, para la dureza un valor medio, para la actividad de agua el valor más bajo posible y para la proteína el valor más alto.

En la Figura 14 se muestra el resultado de esta optimización para un contenido en grasa del 15% por ser el valor óptimo obtenido donde se aprecia el nivel de deseabilidad en función del contenido en los diferentes ingredientes. En general, las más deseables son las que presentan un menor contenido en jugo de remolacha y un mayor contenido en harina de avena y proteína de guisante.





**Figura 14:** Superficie de respuesta de la optimización de los componentes que se ajustaban a un modelo lineal o cuadrático y deseabilidad de cada una de las formulaciones.

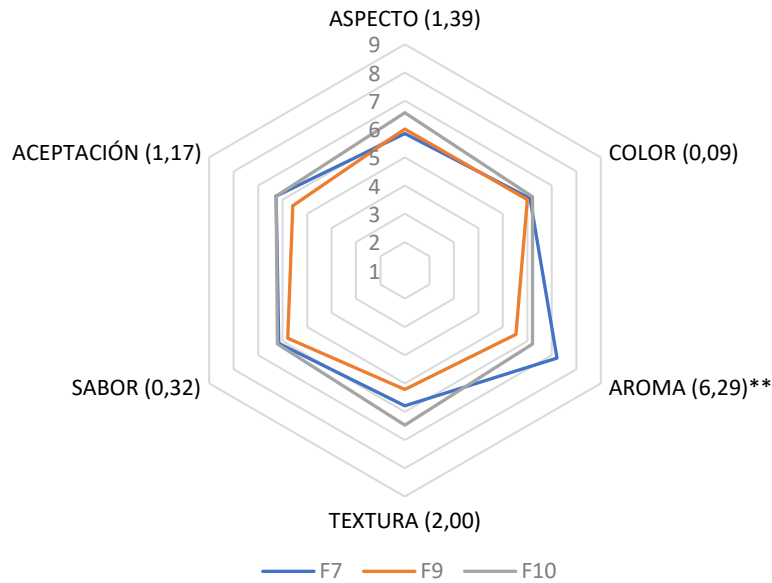
La formulación óptima según esta modelización se muestra en la Tabla 8.

**Tabla 8:** Formulación óptima.

<b>Formulación</b>	<b>Jugo de remolacha (%)</b>	<b>Proteína de guisante (%)</b>	<b>Harina de avena (%)</b>	<b>Grasa (%)</b>	<b>Sazonador (%)</b>
<b>Óptima</b>	49,93	24,93	9,93	14,93	0,27

#### 4.3- ANÁLISIS SENSORIAL

El análisis sensorial se ha llevado a cabo con las formulaciones F10, F9 y F7 ya que son las más próximas a la formulación óptima obtenida. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 15.



**Figura 15:** Gráfico de araña con las puntuaciones obtenidas en una escala hedónica de 9 puntos. Los valores de F-ratio se muestran entre paréntesis y las diferencias significativas entre muestras se indican con \*\* (p-value < 0,01).

En general, la puntuación de todos los atributos superó los 5 puntos. Cabe destacar que los jueces sólo encontraron diferencias significativas entre las muestras en el atributo del aroma.

A continuación, se presentan los resultados del análisis del punto óptimo (Figura 16). Como puede verse, el color de las hamburguesas fue percibido por aproximadamente la mitad de los jueces como adecuado o como demasiado alto por la otra mitad. El aroma de la F7 fue el que se ajustó mejor a las preferencias de los jueces y en las otras 2 formulaciones una mayoría de ellos lo percibió como demasiado bajo. La textura de la F10 fue la que mejor se ajustó al gusto de los jueces quedando las otras 2 formulaciones para las que la puntuación fue demasiado bajo. En cuanto al sabor, aproximadamente la mitad de los jueces lo percibieron como adecuado para las 3 formulaciones, la otra mitad lo percibió demasiado alto o bajo.

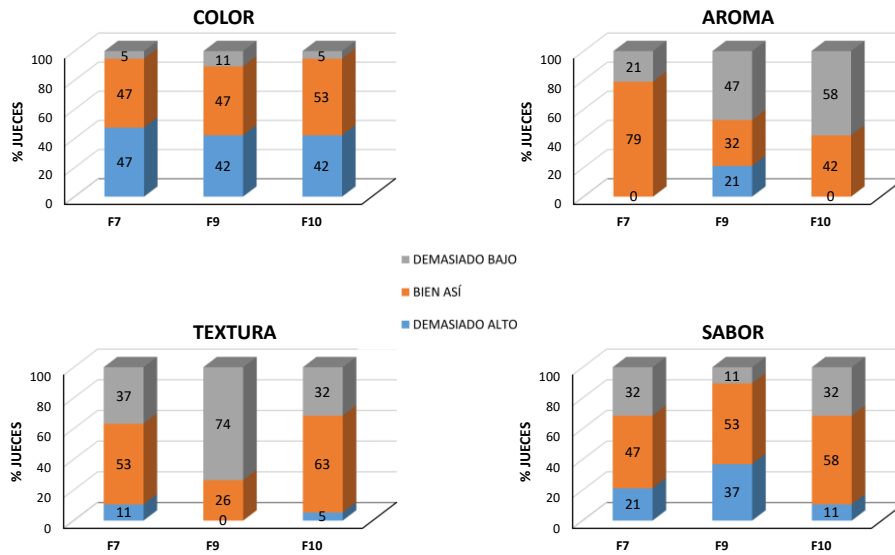


Figura 16: Representación del porcentaje de jueces que seleccionaron los diferentes niveles en la escala JAR (Just-About-Right) para cada atributo.

El gráfico de penalizaciones se muestra en la Figura 17. Se puede observar que los parámetros que han condicionado la aceptabilidad global de las formulaciones han sido la textura demasiado baja en las F7 y F9 y el sabor demasiado intenso de la F9.

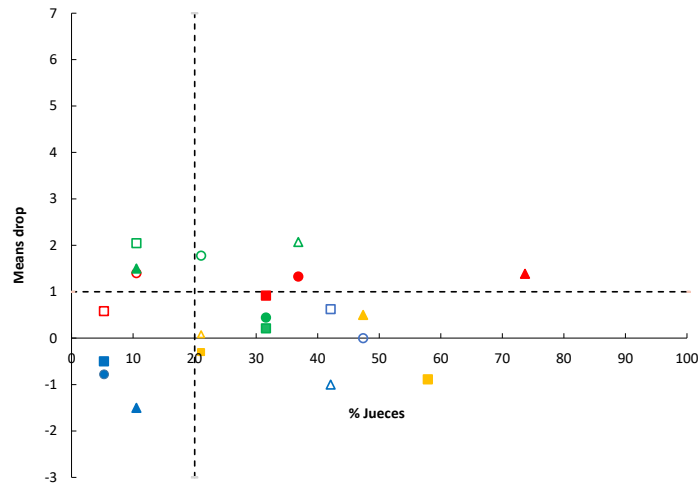


Figura 17: Gráfico de penalizaciones para las formulaciones evaluadas (F7:○, F9:△, F10:□). Atributos: textura (rojo), color (azul), aroma (amarillo), sabor (verde). Valores demasiado bajos (símbolos rellenos), valores demasiado altos (símbolos vacíos).

## 5. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE REFRIGERACIÓN Y CONGELACIÓN

### 5.1- EMPLAZAMIENTO

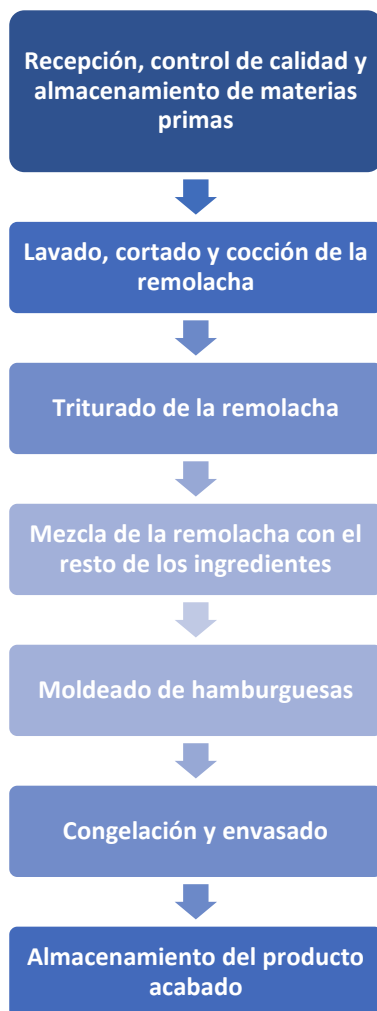
Las instalaciones se han diseñado teniendo en cuenta que estarán ubicadas en la localidad de Lorca en la Región de Murcia. La nave se encuentra ubicada en las coordenadas EPSG:25830: 624.103,283; 4.173.656,379 y cuenta con unos 840 m<sup>2</sup> (Figura 18) (ver plano en Anexo). La temperatura máxima del mes más cálido en esta ubicación es de unos 35,52°C y la temperatura media en el exterior es de unos 15,92°C.



Figura 18: Ubicación de las instalaciones.

## 5.2- DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS DEL PROCESO

A continuación, se muestra el diagrama de flujo donde se recogen todas las operaciones unitarias relacionadas con la elaboración de estas hamburguesas.



**Figura 19:** Diagrama de flujo para el proceso de elaboración y almacenamiento de hamburguesas veganas.

La descripción de estas operaciones es la siguiente:

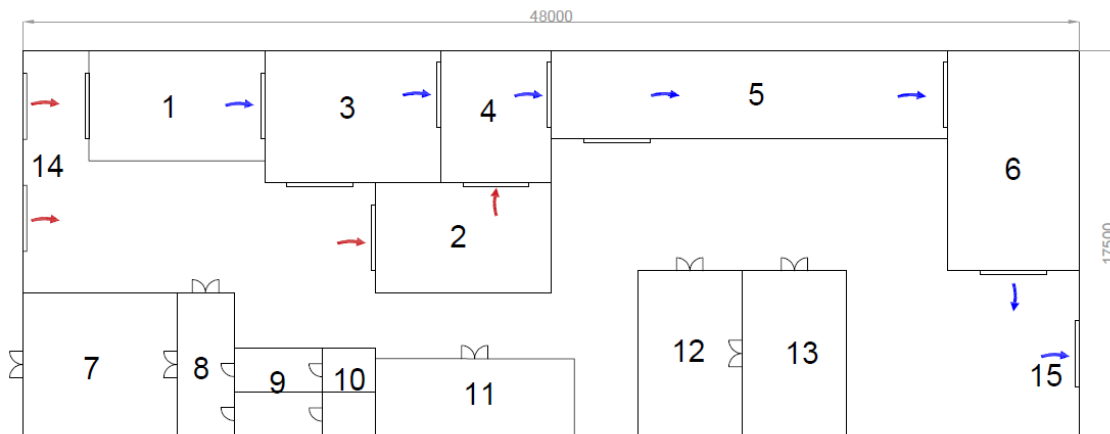
1. Recepción, control de calidad y almacenamiento de materias primas: la remolacha llega a la planta industrial directamente desde el campo, un operario realiza un control calidad en donde se verifica el tamaño y el estado de las remolachas. Seguidamente se almacenan en una cámara refrigerada a unos 4°C. El resto de los ingredientes también pasan un control de calidad, donde además de su estado se verifica la ausencia de metales y se almacenan en una cámara distinta a temperatura ambiente.
2. Lavado, cortado y cocción de la remolacha: la remolacha pasa por una línea automatizada donde se lava y se seca para eliminar restos de tierra,

fitosanitarios e insectos. Seguidamente la remolacha ya seca pasa por una cortadora. De esta forma se cocerá en menos tiempo y será más fácil de triturar en la siguiente etapa del proceso.

3. Triturado de la remolacha: una vez cocida, la remolacha es triturada en la misma marmita donde se ha tenido lugar el proceso de cocción, seguidamente pasa a un depósito en donde el puré resultante se enfriará.
4. Mezcla de la remolacha con el resto de los ingredientes: este puré pasa a un mezclador horizontal de bandas y en este equipo se mezclará junto con el resto de los ingredientes.
5. Moldeado de hamburguesas: la pasta resultante del mezclador es introducida en una moldeadora, las hamburguesas obtenidas serán de unos 80gr, 1,5cm de altura y un diámetro de 12cm.
6. Congelación y envasado: las hamburguesas pasan por un detector de metales antes de llegar al túnel de congelación por abatimiento y una vez congeladas son envasadas en bandejas de 2 hamburguesas.
7. Almacenamiento del producto acabado: las bandejas con el producto ya acabado se almacenan en cajas de cartón plastificado de 40x60cm, y se colocan y apilan sobre pallet europeo. Se almacenan a una temperatura de -50°C.

### 5.3- DISEÑO DE LA PLANTA INDUSTRIAL

En el siguiente plano se puede ver la distribución de la planta industrial donde la disposición de cada sala se ha estudiado para agilizar y economizar al máximo el proceso. El flujo de materias primas, de las etapas del proceso por las que pasan los componentes de las hamburguesas y del producto ya acabado se puede seguir fácilmente mediante las flechas que se ven sobre el plano. Se ha tenido especial cuidado para diferenciar las zonas limpias de las zonas sucias. El tamaño de salas y pasillos permite perfectamente el paso de carretillas motorizadas. También se han dejado zonas que permiten agilizar las maniobras durante las labores de carga y descarga de materias primas y producto acabado. En la leyenda se pueden identificar con claridad las instalaciones (Ver plano a escala en el Anexo).



1 Almacén Materias Primas Refrigerado	8 Pasillo Vestuarios
2 Almacén Materias Primas Sin Refrigerar	9 Vestuarios
3 Sala de Procesado 1	10 Baño
4 Sala de Procesado 2	11 Sala de Máquinas
5 Sala de IQF y Envasado	12 Laboratorio I+D
6 Almacén Producto Terminado	13 Laboratorio Control de Calidad
7 Oficinas	14 Entrada de Materias Primas
	15 Salida de Producto Terminado

**Figura 20:** Distribución en planta de la industria.

#### 5.4- CARGAS TÉRMICAS

El cálculo de las cargas térmicas para las salas que requieren de refrigeración es el siguiente:

1. Almacén de Materias Primas Refrigerado (Tabla 9): Este almacén cuenta con una capacidad de unos 1680kg, correspondiente con la cantidad de remolacha necesaria para una semana de producción. La remolacha se almacena en bins de tamaño europeo y para esta cantidad solo se necesitan 3 pallets de este tipo. La humedad relativa de la sala será del 96%, que corresponde con la humedad de la remolacha. La temperatura en este almacén será de 4°C y tendrá unas dimensiones de 40m<sup>2</sup>.

**Tabla 9:** Carga térmica Almacén de Materias Primas Refrigerado.

<b>Necesidades totales</b>	<b>Carga térmica (kcal/día)</b>
<b>Q<sub>1</sub></b>	12202,932
<b>Q<sub>2</sub></b>	42822,919
<b>Q<sub>3</sub></b>	866,880
<b>Q<sub>4</sub></b>	21143,530
<b>Q<sub>5</sub></b>	497,954
<b>Q<sub>6</sub></b>	212,896
<b>Q<sub>7</sub></b>	137,7990
<b>Q<sub>8</sub></b>	8383,910
<b>Q<sub>0</sub></b>	86268,78
<b>Q<sub>0</sub></b>	3594,533 (kcal/hora)

2. Sala de Procesado 1 (Tabla 10): En esta sala, se tendrán lugar las operaciones unitarias relacionadas con la preparación de la remolacha para ser mezclada con el resto de los ingredientes. La humedad ha de ser igual a la de la sala anterior, un 96%, la temperatura también será de 4°C y tendrá un área de 48m<sup>2</sup>.

**Tabla 10:** Carga térmica Sala de Procesado 1.

<b>Necesidades totales</b>	<b>Carga térmica (kcal/día)</b>
<b>Q<sub>1</sub></b>	12187,42056
<b>Q<sub>2</sub></b>	0
<b>Q<sub>3</sub></b>	0
<b>Q<sub>4</sub></b>	6084,309
<b>Q<sub>5</sub></b>	497,954
<b>Q<sub>6</sub></b>	3406,330
<b>Q<sub>7</sub></b>	2645,742
<b>Q<sub>8</sub></b>	1828,113
<b>Q<sub>0</sub></b>	26649,868
<b>Q<sub>0</sub></b>	1110,411 (kcal/hora)

3. Sala de Procesado 2 (Tabla 11): Aquí se mezclarán todos los ingredientes y se dará forma a las hamburguesas. En esta sala la temperatura será de 4°C, la humedad de un 60% y tendrá unas dimensiones de 30m<sup>2</sup>.



**Tabla 11:** Carga térmica Sala de Procesado 2.

Necesidades totales	Carga térmica (kcal/día)
Q <sub>1</sub>	7617,138
Q <sub>2</sub>	4902,857
Q <sub>3</sub>	0
Q <sub>4</sub>	8059,563
Q <sub>5</sub>	497,954
Q <sub>6</sub>	3406,330
Q <sub>7</sub>	1653,589
Q <sub>8</sub>	1877,999
Q <sub>0</sub>	28015,428
Q <sub>0</sub>	1167,310 (kcal/hora)

4. Sala de IQF-Envasado (Tabla 12): Esta sala albergará el túnel de congelación por abatimiento, la temperatura de la sala será de 2°C y la humedad de un 60%. Posteriormente, las hamburguesas serán envasadas en paquetes de 2 en 2. La sala tendrá un tamaño de 72 m<sup>2</sup>.

**Tabla 12:** Carga térmica Sala de IQF-Envasado.

Necesidades totales	Carga térmica (kcal/día)
Q <sub>1</sub>	24672,702
Q <sub>2</sub>	980,017
Q <sub>3</sub>	0
Q <sub>4</sub>	14817,701
Q <sub>5</sub>	608,348
Q <sub>6</sub>	3573,645
Q <sub>7</sub>	1653,589
Q <sub>8</sub>	3847,908
Q <sub>0</sub>	50153,909
Q <sub>0</sub>	2089,746 (kcal/hora)

5. IQF (Tabla 13): Para determinar la temperatura de congelación de las hamburguesas es necesario conocer su temperatura de vitrificación. Para esta labor, lo idóneo habría sido realizar un estudio de calorimetría DSC y determinar con una mayor precisión el calor específico de las hamburguesas tanto frescas como congeladas, además de su temperatura de transición vítrea. Sin embargo, debido a la falta de recursos, se ha tenido que estimar

el calor específico de otra manera. Se estudió minuciosamente el calor específico de congelación de cada uno de los ingredientes que conforman las hamburguesas. De esta forma y junto a los porcentajes de cada uno de ellos, se determinó el calor específico de congelación para la formulación. En cuanto a la temperatura de transición vítrea, se decidió escoger la de la remolacha debido a que es el ingrediente mayoritario en la formulación. La temperatura de vitrificación de esta es de  $-48^{\circ}\text{C}$  (Rui Wang, 2016). Las hamburguesas se congelarán a una humedad relativa del 96%. El IQF trabajará a una temperatura de  $-52^{\circ}\text{C}$ .

**Tabla 13:** *Carga térmica IQF.*

<b>Necesidades totales</b>	<b>Carga térmica (kcal/día)</b>
<b>Q<sub>1</sub></b>	13795,889
<b>Q<sub>2</sub></b>	24633,885
<b>Q<sub>3</sub></b>	18709,097
<b>Q<sub>4</sub></b>	15060,945
<b>Q<sub>5</sub></b>	1216,696
<b>Q<sub>8</sub></b>	4875,748
<b>Q<sub>0</sub></b>	78292,259
<b>Q<sub>0</sub></b>	3262,177 (kcal/hora)

- Almacén de Producto Terminado (Tabla 14): Este almacén albergará la producción correspondiente a un mes de trabajo, las hamburguesas se almacenarán en cajas de cartón dentro de sus correspondientes envases. Tendrá una capacidad de 12000kg, a una temperatura de  $-50^{\circ}\text{C}$ , un área de  $60\text{m}^2$  y una humedad del 48,9%.

**Tabla 14:** *Carga térmica Almacén de Producto Terminado.*

<b>Necesidades totales</b>	<b>Carga térmica (kcal/día)</b>
<b>Q<sub>1</sub></b>	44021,398
<b>Q<sub>2</sub></b>	793,224
<b>Q<sub>3</sub></b>	0
<b>Q<sub>4</sub></b>	42851,151
<b>Q<sub>5</sub></b>	802,128
<b>Q<sub>6</sub></b>	495,240
<b>Q<sub>7</sub></b>	220,478
<b>Q<sub>8</sub></b>	6722,193
<b>Q<sub>0</sub></b>	95905,812
<b>Q<sub>0</sub></b>	3996,076 (kcal/hora)

## 5.5- DISEÑO CIRCUITO

Para el diseño del circuito (Figura 21), lo primero a tener en cuenta ha sido respetar el Reglamento Europeo F-Gas 517/2014 para la selección de los gases refrigerantes. Por ello se han seleccionado el propileno o R1270 y el propano o R290. Ambos gases son respetuosos con la capa de ozono y el medio ambiente, su ODP es 0.

Seguidamente, analizando el diagrama presión entalpía de cada uno y las temperaturas a las que trabajará el circuito, se pudo deducir qué gas se utilizaría tanto para la zona de baja temperatura como para la zona de alta temperatura.

En la zona de baja temperatura, se ha seleccionado el propileno (R1270), el gas pertenece al grupo de gases PB2L, lo cual nos indica que es ligeramente inflamable y presenta alta toxicidad. En esta zona, tenemos dos niveles de frío, uno a  $-52^{\circ}\text{C}$  y otro a  $-50^{\circ}\text{C}$ . Teniendo en cuenta un salto térmico de  $8^{\circ}\text{C}$ , se deduce la temperatura a la que trabajarán los evaporadores,  $-60^{\circ}\text{C}$  y  $-58^{\circ}\text{C}$  respectivamente. Para optimizar el rendimiento de la instalación se han dispuesto evaporadores inundados.

Para la zona de alta temperatura se ha escogido el propano (R290). Este gas pertenece al grupo de gases refrigerantes A3, pues es altamente inflamable y presenta baja toxicidad. En esta zona encontramos dos niveles de frío, uno a  $2^{\circ}\text{C}$  y otro a  $4^{\circ}\text{C}$ . Teniendo en cuenta el salto térmico ( $8^{\circ}\text{C}$ ) se puede deducir a qué temperatura trabajarán los evaporadores,  $-6^{\circ}\text{C}$  y  $-4^{\circ}\text{C}$  respectivamente. Se ha instalado una cámara isobárica, siendo necesario para esta zona el uso de 4 compresores.

Finalmente, ambas zonas convergen en un intercambiador en el cual el diferencial térmico es de unos  $8^{\circ}\text{C}$ . El aerocondensador trabajará a una temperatura de  $40^{\circ}\text{C}$  y para determinarla se ha tenido en cuenta la media de las temperaturas más altas del mes más cálido en Lorca (ver plano del circuito en Anexo).

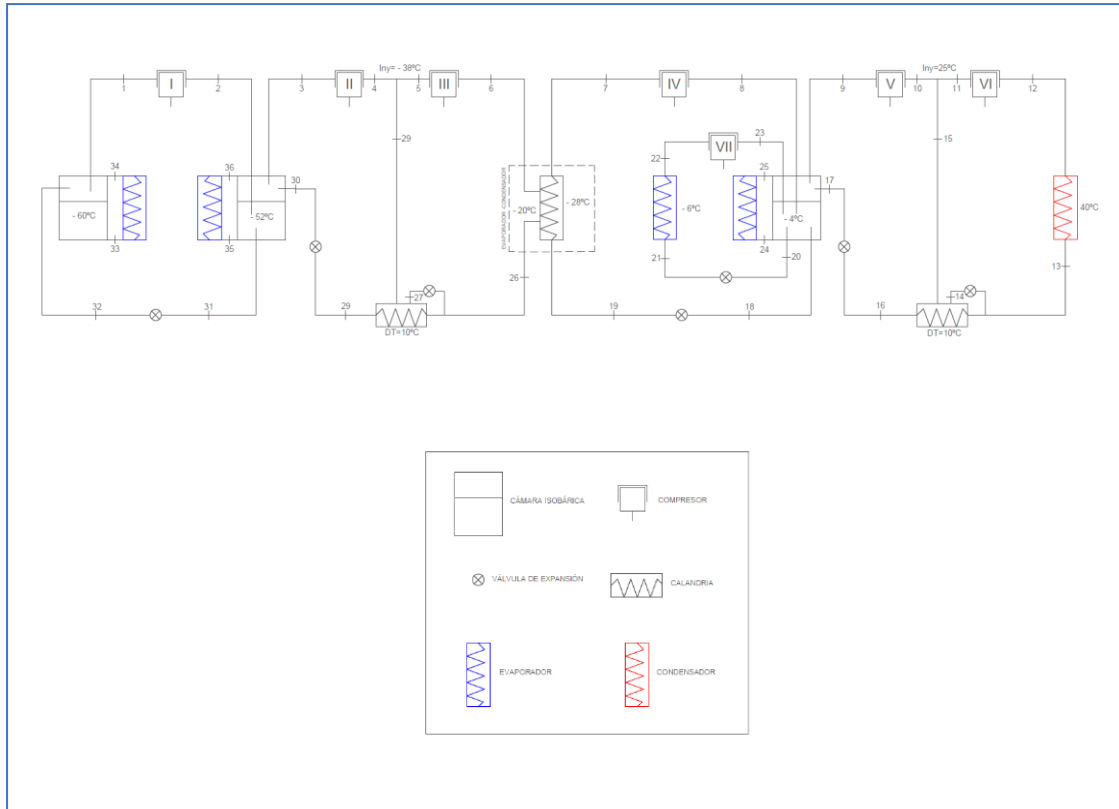


Figura 21: Circuito de refrigeración-congelación.

Para las propiedades termodinámicas de ambos fluidos se ha consultado en el Coolpack todo lo necesario (Figuras 24 y 25 del Anexo), elaborando así la Tabla 15. En ella se puede diferenciar para cada punto del circuito la presión, temperatura y entalpía a la que está sometida el fluido.

Tabla 15: Presión, temperatura y entalpía de cada punto del circuito.

Puntos	Fluido	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	v (m3/kg)
1	R1270	0,559	-60	515,270	0,73722
2	R1270	0,619	-56,407	519,524	
3	R1270	0,619	-58	517,510	0,67057
4	R1270	1,545	-32,488	548,234	
5	R1270	1,545	-38	539,610	0,28709
6	R1270	3,064	-11,315	571,347	
7	R290	1,798	-28	542,180	0,24141
8	R290	4,159	2,3	580,093	
9	R290	4,159	-4	569,060	0,10899
10	R290	9,478	21,4	598,651	
11	R290	9,478	25	598,820	0,04839
12	R290	13,659	41,472	615,563	

13	R290	13,659	40	304,960	
14	R290	9,478	25	304,960	
15	R290	9,478	25	600,622	
16	R290	10,749	30	277,230	
17	R290	4,159	-4	277,230	
18	R290	4,159	-4	190,260	
19	R290	2,424	-20	190,260	
20	R290	4,159	-4	190,260	
21	R290	3,902	-6	190,260	
22	R290	3,902	-6	566,880	0,11586
23	R290	4,159	-3,597	569,768	
24	R290	4,159	-4	190,260	
25	R290	4,159	-4	569,060	
26	R1270	3,064	-20	152,480	
27	R1270	1,545	-38	152,480	
28	R1270	1,545	-38	371,362	
29	R1270	1,545	-38	111,440	
30	R1270	0,619	-58	111,440	
31	R1270	0,619	-58	66,280	
32	R1270	0,559	-60	66,280	
33	R1270	0,559	-60	61,700	
34	R1270	0,559	-60	515,270	
35	R1270	0,619	-58	66,280	
36	R1270	0,619	-58	517,510	

Una vez se conocen las entalpías en cada punto y las cargas térmicas, mediante balances de energía, se ha podido determinar el caudal en cada punto de nuestra instalación (Tabla 16).

**Tabla 16:** Caudales en cada punto del circuito.

Caudales	Kg/h
$M_{E1} = M_{34} = M_{33}$	30,1
$M_{E2} = M_{35} = M_{36}$	37,0
$M_{E3} = M_{20} = M_{21} = M_{22} = M_{23}$	23,2
$M_{E4} = M_{24} = M_{25}$	64,8

$M_1 = M_2 = M_{31} = M_{32}$	30,4
$M_3 = M_4 = M_{29} = M_{30}$	33,9
$M_{27} = M_{28}$	4,3
$M_5 = M_6 = M_{26}$	38,2
$M_7 = M_8 = M_{18} = M_{19}$	45,5
$M_9 = M_{10} = M_{16} = M_{17}$	60,8
$M_{15} = M_{14}$	5,7
$M_{11} = M_{12} = M_{13}$	66,5

Para medir el rendimiento del circuito se calculó la COP. Teniendo en cuenta los trabajos de los compresores y cargas de los evaporadores, se obtuvo como resultado una COP de 10,092. Seguidamente, se calculó la SCOP tras establecer los diferentes porcentajes de carga de la instalación (0%, 15%, 75%, 100%). Este valor es más realista. La SCOP de nuestra instalación es de 9,528 (Tabla 17).

**Tabla 17:** Cálculo de la COP y SCOP para el circuito.

Carga Instalación	0%	15%	75%	100%
<b>COP</b>	10,092	9,864	9,182	8,973
<b>SCOP</b>	9,528			

## 5.6- OPTIMIZACIÓN DEL CIRCUITO

La elección de los gases y del diseño del circuito se ha estudiado minuciosamente en pro de la mejora del rendimiento. Se probaron otras formulaciones como propileno para la zona de baja temperatura e isobutano para la zona de alta temperatura, pero la COP obtenida era menor (COP: 6,123). También se planteó el uso de propileno para ambas zonas de temperatura, pero tampoco se obtenía el mismo rendimiento (COP:8,302).

Finalmente, se planteó reducir el número de compresores (eliminando los compresores III y VI, Figura 22) intentando minimizar al máximo el trabajo total de la instalación. No obstante, el salto térmico no se suavizaba, por lo que la COP (COP: 7,729) seguía siendo menor a la que se ha obtenido con los gases y el diseño final ya planteado anteriormente.

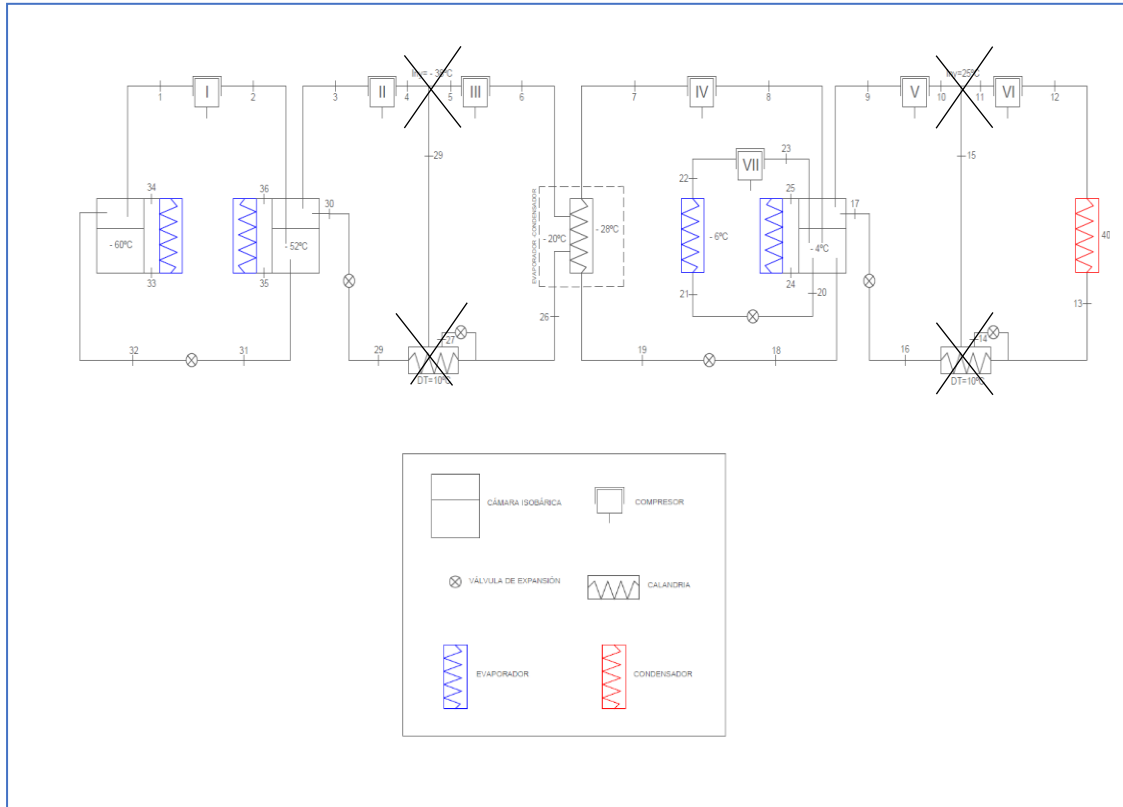


Figura 22: Circuito sin los compresores III y IV.

## 5.7- SELECCIÓN DE EQUIPOS

Para la selección de los evaporadores y el condensador es necesario calcular el coeficiente de transmisión térmica de cada equipo. Una vez conocido este coeficiente, se pueden buscar los equipos que más se ajusten a nuestras necesidades en los catálogos de diversas casas comerciales. Se calculó el número de equipos necesarios por sala, teniendo en cuenta la carga térmica de cada una de ellas (Tabla 18).

Tabla 18: Especificaciones y número de evaporadores y condensadores.

Sala	Modelo	Referencia comercial	Q (fr/h)	A (m <sup>2</sup> )	Número de equipos
Almacén materias primas	3C-A3143-R	(Friga Bohn, 2022)	3594,533	43,841	3
Sala procesado 1	3C-A3143-R	(Friga Bohn, 2022)	1110,411	13,543	1
Sala procesado 2	3C-A3143-R	(Friga Bohn, 2022)	1167,310	14,237	1
Sala IQF-Envasado	3C-A3165-R	(Friga Bohn, 2022)	2089,746	15,215	3
IQF	3C-A4166-L	(Friga Bohn, 2022)	3262,177	22,219	2

<b>Almacén producto final</b>	3C-A4263-L	(Friga Bohn, 2022)	3996,076	54,435	3
<b>Condensador</b>	A31-GCHC050.2	(Grupo disco, 2022)	4642,833	40,443	1

En cuanto a los compresores, la elección de los equipos se basó en criterios técnicos relacionados con el trabajo útil de cada compresor y el volumen de gas aspirado. Además, los compresores se han seleccionado respetando el rango de presiones a las que funciona la instalación adecuadamente (Tabla 19).

**Tabla 19:** *Especificaciones y número de compresores.*

<b>Compresores</b>	<b>Modelo</b>	<b>Referencias</b>	<b>Pu (w/h)</b>	<b>V (l/h)</b>	<b>Equipos</b>
<b>I</b>	AC0401A	(Nitto Kohki, 2023)	38	2100	11
<b>II</b>	SR110 Z	(Secop,2023)	273	5000	5
<b>III</b>	NL7CLX	(Secop,2023)	236	3125	4
<b>IV</b>	SR110 Z	(Secop,2023)	273	5000	2
<b>V</b>	GS26CLX	(Secop,2023)	458	6321	1
<b>VI</b>	SR110 Z	(Secop,2023)	273	5000	1
<b>VII</b>	AC0102	(Secop,2023)	20	300	9



## 6. CONCLUSIONES

- La variación de la actividad de agua en las hamburguesas depende principalmente del % de jugo de remolacha en las hamburguesas. Además, tras la cocción, la mayor variación de volumen se produjo a mayor contenido en jugo.
- El contenido en proteínas de las formulaciones se ve afectado principalmente por la cantidad de harina de avena y proteína texturizada de guisante
- El cocinado dio lugar a una reducción de la coordenada  $a^*$  y un aumento de la  $b^*$ , relacionado con las reacciones de Maillard característica de los procesos térmicos cuando se combinan aminoácidos y azúcares.
- La adhesividad en las hamburguesas cocinadas fue casi nula, principalmente por la formación de un frente seco en la superficie de las muestras durante el tratamiento térmico.
- La dureza de las hamburguesas aumentó cuando las formulaciones contenían más proteína de guisante y harina de avena.
- El aroma fue el único atributo que los catadores diferenciaron significativamente en las muestras evaluadas sensorialmente. Además, según el análisis de penalizaciones, sería conveniente endurecer las hamburguesas F7 y F9 y reducir la intensidad del sabor de la F9.
- La composición de la formulación óptima sería: 49,93% de jugo de remolacha, 24,93% de proteína de guisante, 9,93% de harina de avena, 14,93% de grasa y 0,27% de sazonador.
- Para el diseño de las instalaciones de refrigeración congelación se ha utilizado para la zona de baja temperatura R1270 y para la zona de alta temperatura R290. Se ha diseñado un circuito en cascada en el que el principal objetivo ha sido obtener la mejor SCOP, lo que significa un mejor rendimiento energético. El valor obtenido ha sido de 9,528, que es bastante alto.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- AC0401A AC Series 10 Kilopascal (kPa) Rated Pressure Alternating Current (AC) Linear Free Piston Air Compressor from Nitto Kohki. (s. f.). Thomasnet. <https://www.thomasnet.com/catalogs/item/455800-20573-1002-1017/nitto-kohki/ac-series-10-kilopascal-kpa-rated-pressure-alternating-current-ac-linear-free-piston-air-compressor>
- Ahmad, M., Qureshi, S., Akbar, M. H., Siddiqui, S. A., Gani, A., Mushtaq, M., Hassan, I., & Dhull, S. B. (2022). Plant-based meat alternatives: Compositional analysis, current development and challenges. *Applied Food Research*, 2(2), 100154. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2022.100154>
- Bazán, H. C., & Mascheroni, R. H. (1984). Heat transfer with simultaneous change of phase in freezing boned mutton. *Revista Lationamericana de Transferencia de Calor y Materia*, 8, 55–76. <https://www.researchgate.net/publication/328813050>
- Beyond Meat. (2023). *Beyond Burger*. <https://www.beyondmeat.com/en-GB/products/the-beyond-burger>
- Boukid, F., & Castellari, M. (2021). Veggie burgers in the EU market: a nutritional challenge? *European Food Research and Technology*, 247(10), 2445–2453. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03808-9>
- Condensadores 6. (s. f.). grupodisco. <https://www.grupodisco.com/wp-content/uploads/2022/09/6-Condensadores-1.pdf>
- Condensadores Güntner - Sistemas de refrigeración comercial (s. f.). <https://www.guntner.es/productos/condensadores>
- Condensers. (s. f.-a). thermofin GmbH - Condensers. <https://www.thermofin.de/en/condensers.php>
- Compresor SECOP GS26CLX | Compresores (s. f.). Pecomark. <https://www.pecomark.com/es/c/p/104147>
- Compresor SECOP NL7CLX | Compresores (s. f.). Pecomark. <https://www.pecomark.com/es/c/p/104077>
- Compresor SECOP SR110 Z | Compresores (s. f.). Pecomark. <https://www.pecomark.com/es/c/p/108120>
- Compresor de aire - AC 0102. (s. f.). Nitto Kohki Europe <https://www.medicalexpo.es/prod/nitto-kohki-europe-gmbh/product-111555-969794.html>
- Damodaran, S., Kirk, L., & Parkin. (2017). *Fennema's Food Chemistry* (5th ed., Vol. 1).
- Domínguez, R., Lorenzo, J. M., Pateiro, M., Munekata, P. E. S., Alves dos Santos, B., Basso Pinton, M., Cichoski, A. J., & Bastianello Campagnol, P. C. (2022). Main animal fat replacers for the manufacture of healthy processed meat products. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2124397>

- De Meteorología, A. E.* (s. f.-b). Valores climatológicos normales - Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España. Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. <https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos>
- Equipos y servicios de refrigeración comercial.* (s. f.). Friga-Bohn > Lennox EMEA. <https://friga-bohn.lennoxemea.com/es/>
- Evaporadores Productos Pecomark.* (s.f.). [https://www.pecomark.com/es/Productos/Evaporadores/c/W\\_030?q=%3ApageLetter%3Abrand%3AM0039](https://www.pecomark.com/es/Productos/Evaporadores/c/W_030?q=%3ApageLetter%3Abrand%3AM0039)
- Evaporators.* (s. f.). thermofin GmbH <https://www.thermofin.de/en/evaporators.php>
- Findus. (2023). *Burgers Vegetales Sin Carne 200 g.* <https://www.findus.es/productos-congelados/green-cuisine/proteina-vegetal-congelada/burgers-vegetales#3>
- Freire, M. V. (2019). *Elaboración de panes con sustitución parcial de harina de trigo con fuentes alternativas de proteínas.* Universitat Politècnica de València.
- García Martínez, E., & Fernandez Segovia, I. (2012). *Determinación de proteínas de un alimento por el método kjeldahl. Valoración con ácido fuerte.*
- Goedhart Evaporator – SAGO SOLUTIONS CO., LTD.* (s. f.). <https://sago-solutions.com/index.php/goedhart-evaporator/>
- He, J., Liu, H., Balamurugan, S., & Shao, S. (2021). Fatty acids and volatile flavor compounds in commercial plant-based burgers. *Journal of Food Science*, 86(2), 293–305. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15594>
- Heura Foods. (2023). *Burgers Originales.* <https://heurafoods.com/es/productos/hamburguesa-original>
- Intersam.* (2021). *Fluidos refrigerantes. Características y clasificación.* Intersam. <https://intersam.es/fluidos-refrigerantes-caracteristicas-y-clasificacion/>
- Información para empresas y usuarios de SAO y gases fluorados.* (s. f.). [https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/act-emis/informacion\\_empresas\\_usuarios.aspx](https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/act-emis/informacion_empresas_usuarios.aspx)
- Kyriakopoulou, K., Dekkers, B., & van der Goot, A. J. (2019). Plant-Based Meat Analogues. In *Sustainable Meat Production and Processing* (pp. 103–126). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814874-7.00006-7>
- Liceaga, A. M. (2022). Edible insects, a valuable protein source from ancient to modern times. *Advances in Food and Nutrition Research*, 101, 129–152. <https://doi.org/10.1016/BS.AFNR.2022.04.002>
- Osen, R., Toelstede, S., Wild, F., Eisner, P., & Schweiggert-Weisz, U. (2014). High moisture extrusion cooking of pea protein isolates: Raw material characteristics, extruder responses, and texture properties. *Journal of Food Engineering*, 127, 67–74. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2013.11.023>

- Payne, C. L. R., & Van Itterbeeck, J. (2017). Ecosystem Services from Edible Insects in Agricultural Systems: A Review. *Insects 2017*, Vol. 8, Page 24, 8(1), 24. <https://doi.org/10.3390/INSECTS8010024>
- Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987–992. [https://doi.org/10.1126/SCIENCE.AAQ0216/SUPPL\\_FILE/AAQ0216\\_DATAS2.XLS](https://doi.org/10.1126/SCIENCE.AAQ0216/SUPPL_FILE/AAQ0216_DATAS2.XLS)
- Post, M. J., & Hocquette, J. F. (2017). New Sources of Animal Proteins: Cultured Meat. *New Aspects of Meat Quality: From Genes to Ethics*, 425–441. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100593-4.00017-5>.
- Real Decreto 1021/2022, de 13 de diciembre, por el que se regulan determinados requisitos en materia de higiene de la producción y comercialización de los productos alimenticios en establecimientos de comercio al por menor. BOE-A-2022-21681
- Wang, R. (2017). *Freezing and freeze-drying highly concentrated carbohydrate systems*.
- Wells, M. L., Potin, P., Craigie, J. S., Raven, J. A., Merchant, S. S., Helliwell, K. E., Smith, A. G., Camire, M. E., & Brawley, S. H. (2017). Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. *Journal of Applied Phycology*, 29(2), 949–982. <https://doi.org/10.1007/S10811-016-0974-5>
- Wi, G., Bae, J., Kim, H., Cho, Y., & Choi, M.-J. (2020). *Evaluation of the Physicochemical and Structural Properties and the Sensory Characteristics of Meat Analogues Prepared with Various Non-Animal Based Liquid Additives*. <https://doi.org/10.3390/foods9040461>

## 8. ANEXOS

Tabla 20: Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Objetivos de Desarrollo Sostenibles		Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1.	Fin de la pobreza.				X
ODS 2.	Hambre cero.				X
ODS 3.	Salud y bienestar.	X			
ODS 4.	Educación de calidad.				X
ODS 5.	Igualdad de género.				X
ODS 6.	Agua limpia y saneamiento.				X
ODS 7.	Energía asequible y no contaminante.				X
ODS 8.	Trabajo decente y crecimiento económico.		X		
ODS 9.	Industria, innovación e infraestructuras.	X			
ODS 10.	Reducción de las desigualdades.				X
ODS 11.	Ciudades y comunidades sostenibles.				X
ODS 12.	Producción y consumo responsables.				X
ODS 13.	Acción por el clima.	X			
ODS 14.	Vida submarina.				X
ODS 15.	Vida de ecosistemas terrestres.	X			
ODS 16.	Paz, justicia e instituciones sólidas.				X
ODS 17.	Alianzas para lograr objetivos.				X

### Descripción de la alineación del TFG con los ODS con un grado de relación más alto.

Este trabajo se alinea con diferentes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) ya que la elaboración de hamburguesas veganas a base de proteína texturizada de guisante influye en el clima reduciendo la huella de carbono. Además, los gases seleccionados para la instalación de refrigeración-congelación son respetuosos con la capa de ozono. Ambos aspectos están relacionados con el ODS 13 (Acción por el clima). Por otra parte, la incorporación a la dieta de alternativas a la carne puede contribuir a mejorar la salud debido a la relación de los productos cárnicos con enfermedades cardiovasculares o diabetes tipo 2 (ODS 3: Salud y bienestar). Asimismo, la producción de hamburguesas basadas en plantas supone un gran avance en la industria alimentaria (ODS 9: Industria, innovación e infraestructuras). Al consumir alternativas a la carne, mejoran las condiciones en las que se crían los animales (ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres). Por último, el uso de ingredientes vegetales contribuye con el desarrollo del sector agrícola (ODS 8: Industria, innovación e infraestructuras).



\* Obligatoria

### Consentimiento y Datos

1 ¿Da su consentimiento para utilizar los resultados de esta encuesta en el Trabajo Fin de Grado de José Carlos Abellaneda Pividal para optar al Título Grado Universitario en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural?  
Los resultados se presentarán siempre de forma anónima \*

Sí

No

2. Nombre:

3. Edad:

- Entre 18-30
- Entre 31-45
- Entre 46-60
- Mayor de 60

4. Indique la fecha:



Muestra 743

5. ¿Cómo valora el **ASPECTO** de este producto? \*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Me disgusta mucho

Me gusta mucho

6. ¿Cómo valora el **COLOR** de este producto? \*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Me disgusta mucho

Me gusta mucho

7. En cuanto al **color**, en su opinión el producto **debería ser:** \*

Menos intenso

Está bien así

Más intenso

8. ¿Cómo valora el **AROMA** de este producto? \*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Me disgusta mucho

Me gusta mucho

9. En cuanto al **aroma**, en su opinión el producto **debería ser:** \*

Menos intenso

Está bien así

Más intenso



10. ¿Cómo valora la **TEXTURA**? \*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Me disgusta mucho

Me gusta mucho

11. En cuanto a la **textura**, en su opinión el producto **debería ser**: \*

- Más blando
- Está bien así
- Más duro

12. ¿Cómo valora el **SABOR** de este producto? \*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Me disgusta mucho

Me gusta mucho

13. En cuanto al **sabor**, en su opinión el producto **debería ser**: \*

- Menos intenso
- Está bien así
- Más intenso

14. ¿Cuál es su **aceptación global** del producto? \*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Me disgusta mucho

Me gusta mucho

15. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones describe mejor la **PROBABILIDAD DE COMPRA** de este producto si el precio fuera adecuado? \*

- Definitivamente no lo compraría
- Probablemente no lo compraría
- Tal vez sí, tal vez no lo compraría
- Probablemente lo compraría
- Definitivamente lo compraría

16 Indique si quiere hacer algún comentario adicional sobre el producto:

Muestra 935

17. ¿Cómo valora el **ASPECTO** de este producto? \*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Me disgusta mucho

Me gusta mucho

18. ¿Cómo valora el **COLOR** de este producto? \*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Me disgusta mucho

Me gusta mucho

19. En cuanto al **color**, en su opinión el producto **debería ser**: \*

- Menos intenso
- Está bien así
- Más intenso

20. ¿Cómo valora el **AROMA** de este producto? \*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Me disgusta mucho

Me gusta mucho

1. En cuanto al **aroma**, en su opinión el producto **debería ser:** \*

Menos intenso

Está bien así

Más intenso

22. ¿Cómo valora la **TEXTURA**? \*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Me disgusta mucho

Me gusta mucho

23. En cuanto a la **textura**, en su opinión el producto **debería ser:** \*

Más blando

Está bien así

Más duro

24. ¿Cómo valora el **SABOR** de este producto? \*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Me disgusta mucho

Me gusta mucho

5. En cuanto al **sabor**, en su opinión el producto **debería ser**: \*

- Menos intenso
- Está bien así
- Más intenso

26. ¿Cuál es su **aceptación global** del producto? \*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Me disgusta mucho

Me gusta mucho

27. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones describe mejor la **PROBABILIDAD DE COMPRA** de este producto si el precio fuera adecuado? \*

- Definitivamente no lo compraría
- Probablemente no lo compraría
- Tal vez sí, tal vez no lo compraría
- Probablemente lo compraría
- Definitivamente lo compraría

8. Indique si quiere hacer algún comentario adicional sobre el producto:

Muestra 107

29. ¿Cómo valora el **ASPECTO** de este producto? \*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Me disgusta mucho

Me gusta mucho

30. ¿Cómo valora el **COLOR** de este producto? \*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Me disgusta mucho

Me gusta mucho

31. En cuanto al **color**, en su opinión el producto **debería ser:** \*

- Menos intenso
- Está bien así
- Más intenso

32. ¿Cómo valora el **AROMA** de este producto? \*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Me disgusta mucho

Me gusta mucho

33. En cuanto al **aroma**, en su opinión el producto **debería ser:** \*

Menos intenso

Está bien así

Más intenso

34. ¿Cómo valora la **TEXTURA**? \*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Me disgusta mucho

Me gusta mucho

35. En cuanto a la **textura**, en su opinión el producto **debería ser:** \*

Más blando

Está bien así

Más duro

36. ¿Cómo valora el **SABOR** de este producto? \*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Me disgusta mucho

Me gusta mucho

37 En cuanto al **sabor**, en su opinión el producto **debería ser:** \*

- Menos intenso
- Está bien así
- Más intenso

38. ¿Cuál es su **aceptación global** del producto? \*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Me disgusta mucho

Me gusta mucho

39. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones describe mejor la **PROBABILIDAD DE COMPRA** de este producto si el precio fuera adecuado? \*

- Definitivamente no lo compraría
- Probablemente no lo compraría
- Tal vez sí, tal vez no lo compraría
- Probablemente lo compraría
- Definitivamente lo compraría

40 Indique si quiere hacer algún comentario adicional sobre el producto:



---

Este contenido no está creado ni respaldado por Microsoft. Los datos que envíe se enviarán al propietario del formulario.



**Figura 23:** *Formulario Análisis Sensorial.*

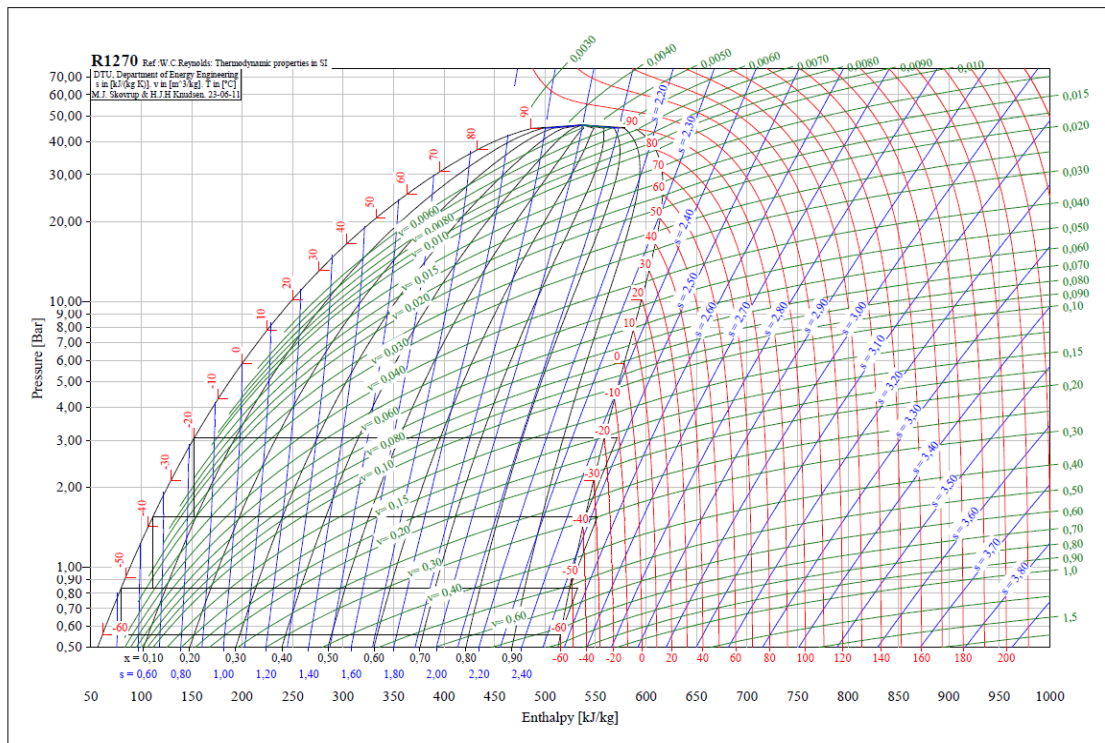


Figura 24: Diagrama presión-entalpía R1270.

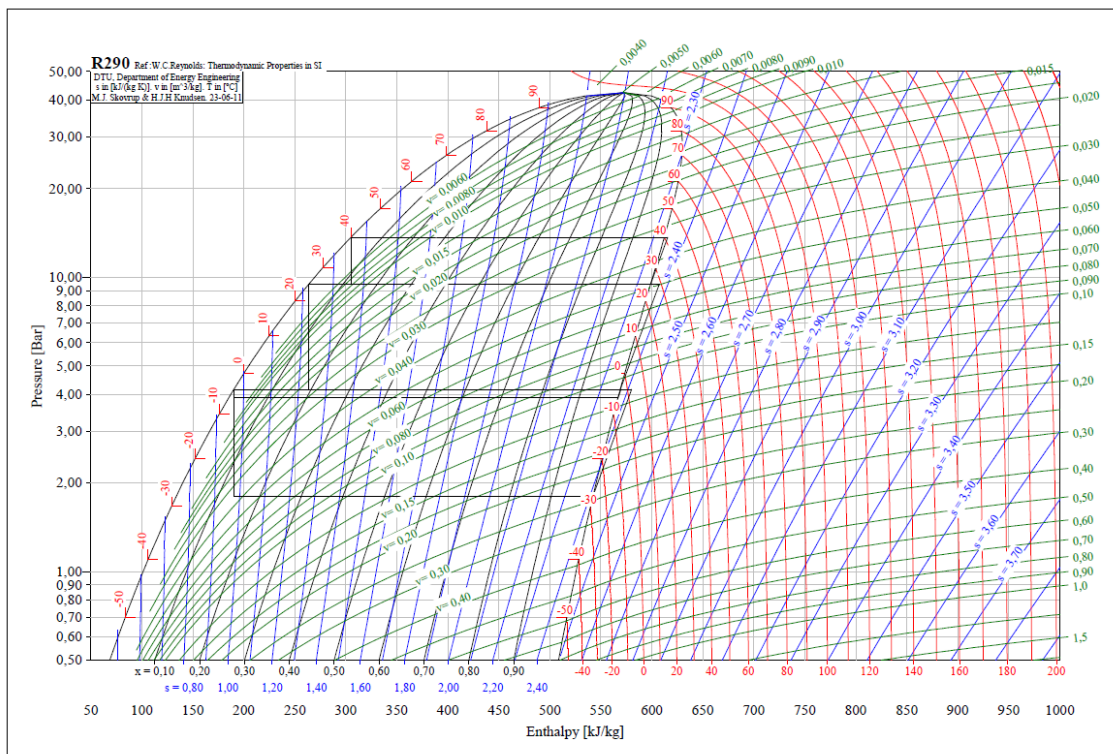
























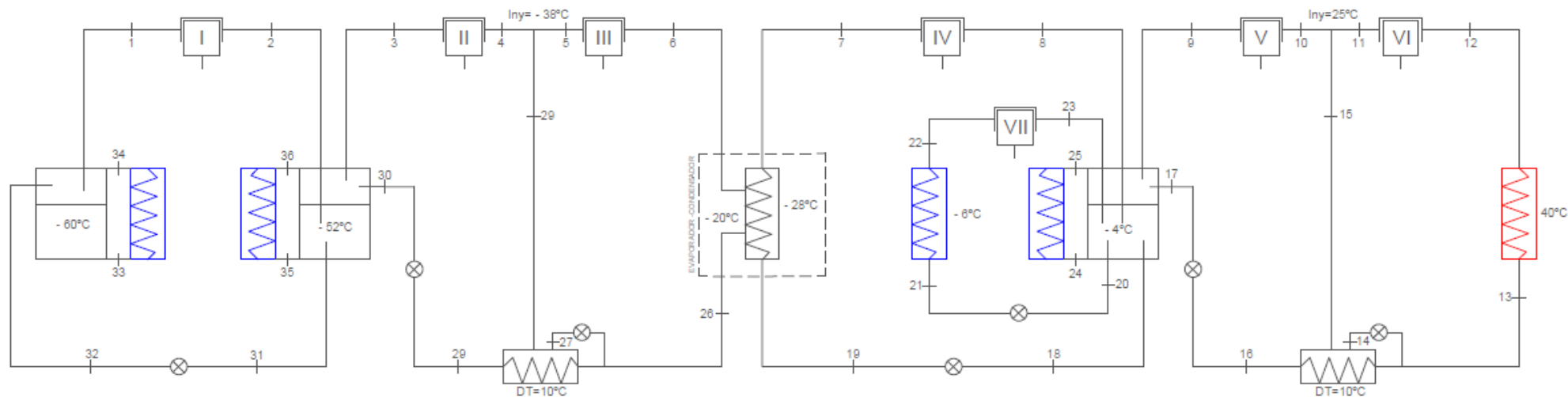


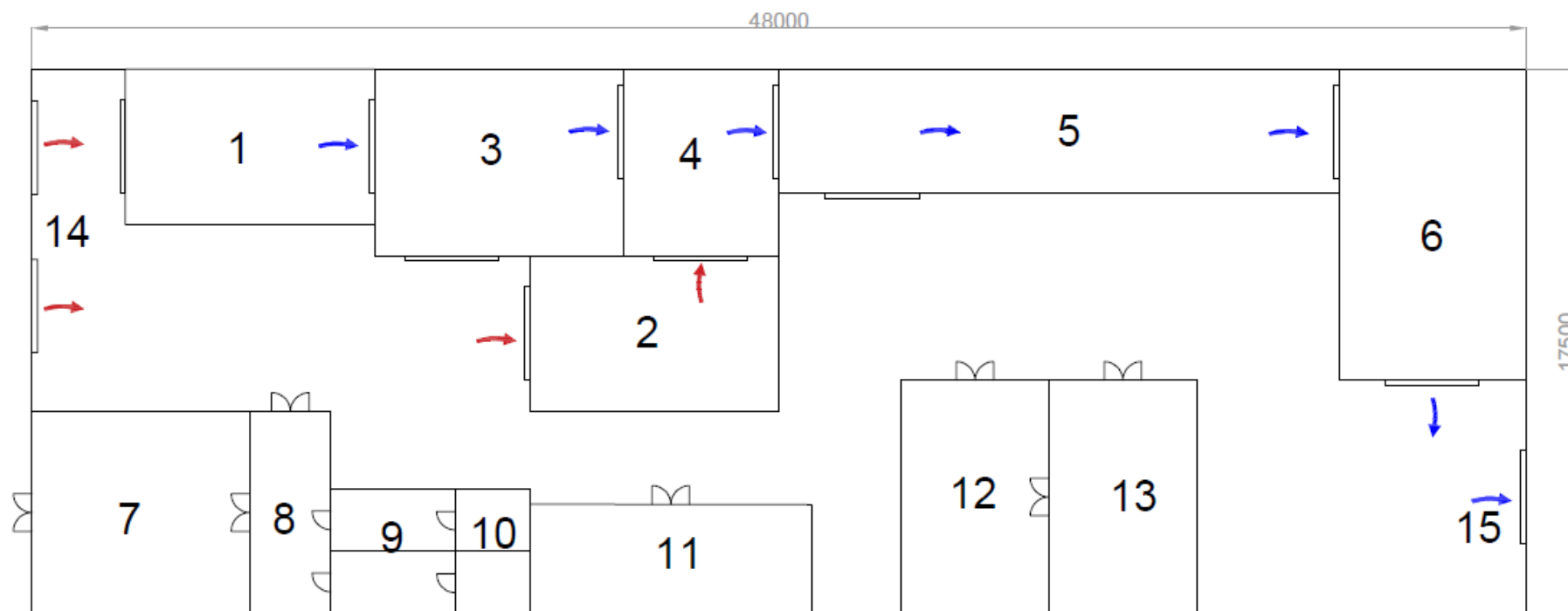
Figura 25: Diagrama presión-entalpía R290.

**Tabla 21:** Comparación del color de las hamburguesas crudas y cocinadas.

<b>HAMBURGUESAS CRUDAS</b>					
					
<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>	<b>F5</b>	<b>F6</b>
					
<b>F7</b>	<b>F8</b>	<b>F9</b>	<b>F10</b>	<b>F11</b>	<b>F12</b>
<b>HAMBURGUESAS COCINADAS</b>					
					
<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>	<b>F5</b>	<b>F6</b>
					
<b>F7</b>	<b>F8</b>	<b>F9</b>	<b>F10</b>	<b>F11</b>	<b>F12</b>



TITULO:			
<b>ESQUEMA DISEÑO CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN</b>			
PETICIONARIO:			FIRMADO
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA			
NOMBRE:		ESCALA:	PLANO:
FECHA:	11/05/2023		
Nº DEL PLANO:	Nº 1		



1 Almacén Materias Primas Refrigerado	8 Pasillo Vestuarios
2 Almacén Materias Primas Sin Refrigerar	9 Vestuarios
3 Sala de Procesado 1	10 Baño
4 Sala de Procesado 2	11 Sala de Máquinas
5 Sala de IQF y Envasado	12 Laboratorio I+D
6 Almacén Producto Terminado	13 Laboratorio Control de Calidad
7 Oficinas	14 Entrada de Materias Primas
	15 Salida de Producto Terminado

TITULO:			
<b>PLANTA INDUSTRIAL HAMBURGUESAS VEGANAS</b>			
PETICIONARIO:			FIRMADO
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA			
NOMBRE:		ESCALA:	PLANO:
FECHA:	17/4/2023	1/200	
Nº DEL PLANO:	Nº 1		

# Planta Industrial Hamburguesas Veganas

Lorca (MURCIA)



**iderm:**  
Infraestructura de Datos Espaciales de la Región de Murcia

INFRAESTRUCTURA DE DATOS ESPACIALES DE LA REGIÓN DE MURCIA



14/04/2023