



UNIVERSIDAD DE SEVILLA
ESCUELA POLITÉCNICA
SUPERIOR DE SEVILLA



**Trabajo Fin de Grado en Ingeniería Química
Industrial**

PROCESO DE FABRICACIÓN DE BOTELLAS DE VIDRIO

Autor: Rubén Rosa Infantes

Tutor: Dr. Felipe Cordobés Carmona

Curso 2023/2024

*“A mi familia,
a todos los profesores que he tenido,
a todos los compañeros que se fueron al principio y a los que siguieron,
a todas las personas que me han ayudado a realizar mi TFG,
pero sobre todo a las personas que creyeron en mí.”*

Índice

Resumen.....	1
Abstract.....	1
Palabras clave.....	1
Keywords.....	1

DOCUMENTO I. MEMORIA DESCRIPTIVA

CAPITULO I.- PROPUESTA DE PROYECTO

1. <u>OBJETO Y ALCANCE DEL PPROYECTO</u>	2
2. <u>ANTECEDENTES</u>	5
3. <u>ESTUDIO DE MERCADO</u>	8
3.1 Productos.....	8
3.2 Demanda.....	10
3.3 Precios.....	11
3.4 Comercialización.....	11
4. <u>UBICACIÓN DE LA PLANTA</u>	12

CAPITULO II.- EL VIDRIO

1. <u>HISTORIA DEL VIDRIO</u>	14
2. <u>FUTURO DEL VIDRIO</u>	17
3. <u>MATERIA PRIMA</u>	19
4. <u>PROPIEDADES</u>	25
4.1 Estado vítreo.....	27
4.2 Estructura del vidrio.....	31
4.3 Aspectos fisicoquímicos.....	32
4.3.1 Mezcla vitrificable.....	32

4.3.2	Compuestos gaseosos dentro del horno.....	33
4.4	Viscosidad.....	34
4.5	Tensión Superficial.....	37
4.6	Densidad.....	37
4.7	Dilatación Térmica.....	38
4.8	Propiedades Térmicas.....	38
4.9	Defectos del vidrio.....	38
5.	<u>TIPOS DE VIDRIO</u>	40
5.1	Vidrio hueco.....	40
5.2	Vidrio plano.....	42
5.3	Fibra de vidrio.....	44
6.	<u>PRODUCCIÓN DEL VIDRIO HUECO</u>	45
6.1	Soplado-Soplado.....	46
6.2	Soplado tradicional.....	47
6.3	Succión-Soplado.....	47
6.4	Prensado-Soplado.....	48
6.5	Laminado-Soplado.....	49
6.6	Centrifugado.....	49
7.	<u>DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS. TÉCNICA SOPLADO-SOPLADO</u>	50
7.1	Horno.....	50
7.2	Canal.....	52
7.3	Máquina IS.....	53
7.4	Arca de recocido.....	54
7.5	Máquinas de inspección.....	55

7.6 Paletizadora.....	55
7.7 Retractiladora.....	57
8. <u>PRODUCTO Y PROCESO ELEGIDO</u>	56

DOCUMENTO II. MEMORIA DE CÁLCULO

1. <u>CONSUMO DE MATERIA PRIMA Y TIEMPO DE FUNDIDO</u>	63
2. <u>DISEÑO DEL HORNO DE GAS CON APOYO ELÉCTRICO</u>	63
2.1 Balance de materia.....	63
2.1.1 Horno T (vidrio transparente).....	65
2.1.2 Horno V (vidrio de color verde).....	67
2.1.3 Horno A (vidrio de color ámbar).....	69
2.2 Balance de energía.....	71

DOCUMENTO III. PLANOS

DOCUMENTO IV. MEDICIONES Y PRESUPUESTO

1. <u>CUADRO DE PRECIOS UNITARIOS</u>	101
2. <u>CUADRO DE PRECIOS DESCOMPUESTOS</u>	103
3. <u>RESUMEN DEL PRESUPUESTO</u>	105
3.1 Presupuesto de ejecución material simple (PEMS).....	105
3.2 Presupuesto de ejecución compuesto (PEC).....	105
3.3 Presupuesto de contrata.....	105

DOCUMENTO V. PLIEGO DE CONDICIONES

1. <u>DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO</u>	106
1.1 Naturaleza y objeto del pliego.....	106
1.2 Cuerpo normativo.....	106

1.3	Compatibilidad y relación entre documentos.....	106
2.	<u>CONDICIONES GENERALES DE ÍNDOLE FACULTATIVA.....</u>	107
2.1	Derechos y obligaciones del contratista.....	107
2.2	Facultades de la dirección técnica.....	108
3.	<u>CONDICIONES GENERALES DE ÍNDOLE ECONÓMICA.....</u>	111
3.1	Fianza.....	111
3.2	Composición de precios.....	112
3.3	Precio contradictorios.....	113
3.4	Revisión de precios y fórmulas polinómicas.....	113
3.5	Valoración, medición y abono de los trabajos.....	114
3.6	Condiciones de pago de maquinarias, equipo e instalaciones.....	115
3.7	Seguros y conservación de las obras, maquinaria e instalaciones.....	115
4.	<u>CONDICIONES GENERALES DE ÍNDOLE LEGAL.....</u>	116
5.	<u>CONDICIONES PARTICULARES.....</u>	118
5.1	Características de los materiales.....	118
5.2	Instalaciones de fontanería y saneamiento.....	120
5.3	Instalaciones eléctricas.....	121
	BIBLIOGRAFÍA.....	123

RESUMEN

El alcance de este trabajo de fin de grado, que trata sobre la **fabricación del vidrio**, es el diseño y desarrollo de la instalación industrial.

Primeramente, se da importancia a los envases de vidrio, haciendo hincapié en su extensa trayectoria histórica, propiedades, materia prima necesaria y el proceso de producción utilizado.

Por último, se realiza la memoria de cálculo correspondiente al diseño de los tres hornos empleados en el proceso, con un **balance de materia** y un **balance de energía**. Además, se elaboran los **planos, presupuesto y pliego de condiciones**.

ABSTRACT

The scope of this end-of-grade work which deals with the **manufacture of glass**. It is the design and development of the industrial facility.

Firstly, emphasis is placed on glass packaging, emphasising its long history, chemical properties, raw material and the production process used.

Finally, the calculation memory corresponding to the design of the three furnaces used in the process with a **matter balance** and an **energy balance**. In addition, the plans, the project **budget** and **product specifications** are prepared.

PALABRAS CLAVE

Mezcla vitrificante, técnica soplado-soplado, arena de sílice (SiO_2), envase de vidrio, vidrio reciclado, óxidos colorantes.

KEYWORDS

Vitrifying mixture, blowing-blowing technique, silica sand (SiO_2), glass bottle, recycled glass, oxide colourants.

MEMORIA DESCRIPTIVA

DOCUMENTO I



CAPITULO I.- PROPUESTA DE PROYECTO

1. OBJETO Y ALCANCE DEL PROYECTO

El presente trabajo de fin de grado, se centra en la **diseño y desarrollo de una instalación industrial**, la cual corresponde a la **fabricación de botellas de vidrio**.

La industria vidriera demanda conocimientos de todas las ramas de la ingeniería industrial, para poder llevarse a cabo, sin embargo, este proyecto se enfoca en definir y explicar los aspectos relevantes de la **“Ingeniería Química Industrial”**.

Los envases de vidrio se tratan de una combinación de sustancias químicas, que dan como resultado unos recipientes inertes, impermeables, versátiles y duraderos, entre otros. [1] Algunas de las ventajas del vidrio son:

→ Protege las cualidades de su contenido, al mantenerse inerte ante otras sustancias. [1]

→ Debido a su transparencia, se convierte un buen escaparate para ver el contenido del mismo. [1]

→ Gracias a su moldeabilidad, se puede crear cualquier recipiente imaginable. [1]

Estos artículos acompañan a las personas día a día en los alimentos y bebidas, sin embargo, esta función también la cumplen los envases de plástico.

En la actualidad, la **economía circular** y el **medioambiente** son temas de vital importancia para los tiempos venideros, puesto que cada vez existe más preocupación con respecto al cambio climático. Los envases de plástico son unos de los principales causantes de este fenómeno climático, dado que el plástico no se degrada de forma natural y requiere uno o varios tratamientos previos para la fabricación de nuevos productos. Sin embargo, la producción y el consumo no ha hecho sino aumentar en las últimas décadas, todo lo cual ha producido un enorme problema ecológico por la acumulación de plástico y desechos derivados de este material, los cuales no son tratados adecuadamente. [2]

En este punto, la producción de botellas de vidrio toma impulso como una alternativa total a las botellas de plástico; este proceso está consolidado y, además, sus productos pueden ser sometidos a un reciclaje infinito con un menor requerimiento energético.

La fabricación industrial de botellas comenzó en el siglo XIX, concretamente en el año 1821, **H. Ricketts & co. Glass Works Bristol** patentó una forma de elaborar mecánicamente botellas idénticas, dando lugar al nacimiento de la botella actual. [3] Desde ese momento, hasta nuestros días, el proceso se ha optimizado cada vez más, gracias a los nuevos avances industriales y la automatización, a día de hoy, un horno vidriero puede alcanzar una producción de 600 toneladas diarias. [4]

A pesar de la gran cantidad de producción que pueden soportar estas industrias, sigue siendo insuficiente para reemplazar en su totalidad a las botellas de plástico; necesitándose la construcción de nuevas industrias vidrieras, para satisfacer la demanda de los consumidores de forma satisfactoria.

Por consiguiente, este proyecto presenta una valiosa oportunidad para documentar toda la información pertinente para la implementación de dicha industria. A pesar de los tres siglos de historia que tiene el proceso industrial, no se dispone de ningún documento detallado exclusivamente a la producción de botellas de vidrio hueco.

Como se indica anteriormente, este proyecto contendrá información relevante a la ingeniería química industrial, y por consiguiente al **proceso industrial** necesario para la fabricación de un producto, con estándares de calidad, eficiencia y estética. A continuación, se indican los pasos a seguir:

1.- Mezcla de la materia prima en las proporciones adecuadas de vitrificantes, fundentes, estabilizantes, afinantes, colorantes y vidrio reciclado (calcín). [5]

2.- Fundente en el horno balsa, calentados con calefacción por llama y con el apoyo de electrodos eléctricos.

3.- Formación y corte de las gotas de forma idéntica.

4.- Proceso de soplado de la botella.

5.- Supervisión mecánica y humana, y transporte hasta el arca de recocido y su posterior enfriamiento hasta temperatura ambiente.

6.- Supervisión humana y mecánica final, apilamiento y empaquetado final.

Los **objetivos principales** de este proyecto son:

- Explicación clara y concisa del producto, proceso de fabricación, equipos requeridos y labor humana correspondiente.
- Ejecución de cálculos de balances de materia (BM) y balances de energía (BE), para conocer las dimensiones de los equipos, la cantidad de materia prima, energía de gas y eléctrica necesaria.
- Manufactura de planos, correspondiente al emplazamiento y a la distribución en planta general.
- Mediciones y presupuesto del proyecto.
- Elaboración del pliego de condiciones.

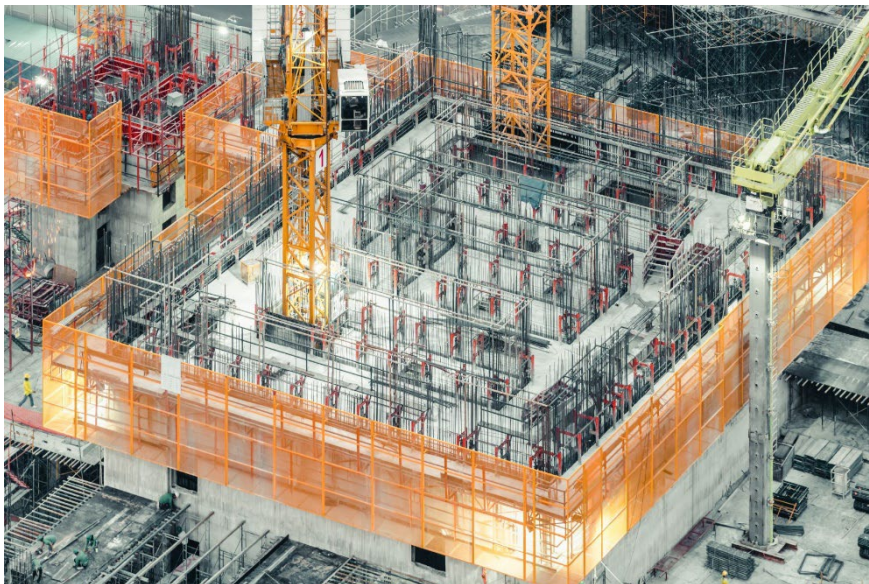


Ilustración 1. Diseño y montaje de una fábrica [6]

2. ANTECEDENTES

En el punto anterior se resalta la importancia de los envases de vidrio y del procedimiento que debe llevarse a cabo, conforme a la expansión industrial que se ha producido históricamente.

A continuación, se va a efectuar un análisis de producción mundial, europea, española y andaluza sobre la producción y consumo del vidrio.

A nivel mundial, la producción de envases de vidrio está distribuida por el mundo, teniendo una mayor influencia Europa, seguido de Asia y América.

Debido al incremento del consumo de bebidas y envases respetuosos con el medio ambiente, entre otros, el sector industrial se encuentra en una expansión considerable como se puede apreciar en el siguiente gráfico.

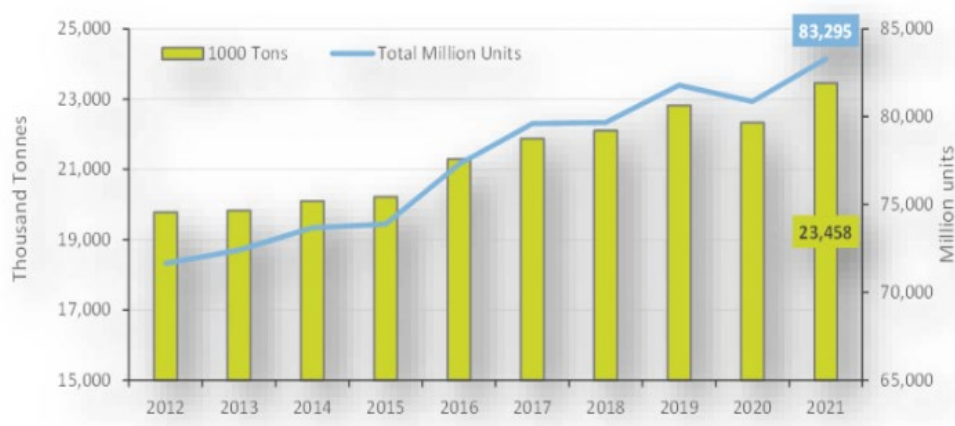


Ilustración 2. Producción de envases de vidrio a nivel mundial [7]

Bélgica el país que más envases de vidrio exporta en todo el mundo. El segundo distribuidor es Alemania, sin embargo, está bastante lejos de la producción anual de Bélgica, como se observa en la siguiente ilustración.



Ilustración 3. Principales exportadores de vidrio en el mundo [8]

Los demás países, además de tener una gran producción de vidrio hueco, producen vidrio plano y vidrio para construcción en mayor medida, sin embargo, ese dato no se ve reflejado en el gráfico. [8]

A nivel europeo, según los datos recogidos por la Federación Europea del Envase de Vidrio (FEVE), en el primer semestre de 2022, la producción y las ventas totales de envases de vidrio alcanzaron nuevos niveles récord, confirmando el ritmo ya registrado en el año 2021. En los seis primeros meses de 2022 la producción ha rozado los 11,7 millones de toneladas, produciéndose un aumento de un 3% tanto en toneladas como en unidades entre el primer semestre de 2021 y el de 2022. [9]

Gracias a estos datos se sabe que el sector en Europa está creciendo cada vez más, como ya se pronosticó a nivel mundial.

En España existe la Asociación Nacional de Empresas de Fabricación Automática de Envases de Vidrio, “**ANFEVI**” desde 1977, la cual cuenta con las principales compañías españolas dedicadas a la fabricación de envases de vidrio, vidrio hueco. [10]

Las principales empresas que conforman la asociación, son **BA Glass**, **O-I Europe**, **Verallia**, **VICSA** y **Vidrala**, las cuales se encuentran repartidas por el territorio nacional. Seguidamente se detallan sus ubicaciones y la producción anual de la asociación. [10]



Ilustración 4. Ubicación de las principales industrias de vidrio hueco. [10]

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Ventas														
interiores (toneladas)	2.887.115	2.952.077	2.945.847	2.828.668	2.741.942	2.796.335	2.817.297	2.848.785	3.018.250	3.069.987	3.142.198	2.980.110	3.266.041	3.442.438
Exportación (toneladas)														
	386.752	537.156	591.311	686.498	682.435	778.375	883.666	888.976	767.662	701.937	787.492	881.266	917.798	848.026
TOTAL MERCADO (toneladas)														
	3.273.867	3.489.233	3.537.158	3.515.166	3.424.377	3.574.710	3.700.963	3.737.760	3.785.911	3.771.923	3.929.690	3.861.376	4.183.838	4.290.464

Tabla 1. Producción de vidrio por año en España. [10]

Como puede observarse, se marca la tendencia europea para fabricar cada vez más envases de vidrio, para su posterior consumo a nivel nacional e internacional, con marca española.

Como se puede observar en la ilustración 4, **Andalucía**, es una comunidad autónoma crucial en la fabricación del vidrio, teniendo dos multinacionales en su territorio, concretamente en **Sevilla**.

3. ESTUDIO DE MERCADO

En este estudio de mercado, como en cualquier otro, se analiza la industria específica, con el objetivo de recopilar información detallada y relevante sobre consumo, competencia y tendencias de dicho mercado. Por lo tanto, este se convierte en una herramienta esencial para entender y mejorar la posición y las posibilidades de una empresa, proyecto y producto en el mercado. [11]



Ilustración 5. Esquema del estudio de mercado [12]

3.1 Productos

Este proyecto presenta como producto el vidrio hueco para envase de bebidas, concretamente las botellas, según su forma, **tipo Rhin de un 75 cl, de color incoloro para agua**, las de **tipo Bordelesa de 75 cl, de color verde para vino** y por último de **tipo Borgoña de 75 cl, de color ámbar para cava**. [3]



Ilustración 6. Botella Rhin [3]



Ilustración 7. Botella Bordelesa [3]



Ilustración 8. Botella Borgoña [3]

Lo primero que se debe analizar es el ciclo de vida de la botella, tomándose como referencia la siguiente imagen.

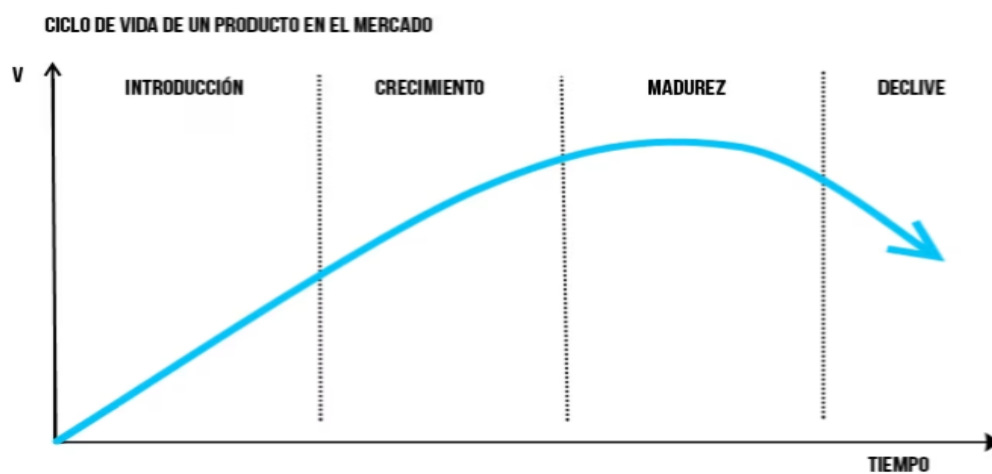


Ilustración 9. Ciclo de vida de un producto [13]

Sobre esta gráfica, se puede observar como el producto entra en la etapa de introducción, incorporándose al mercado. Dicho producto debe de ser lo más eficaz, visual y de calidad posible, aplicándole innovaciones como asas, fondos y todo lo relacionado con el diseño del molde que dará forma al producto.

En las etapas de crecimiento y madurez se seguirá innovando sobre el producto y la materia prima utilizada para el proceso de obtención evitando todo lo posible la fase declive.

3.2 Demanda

Como ya se ha mencionado, la producción cada vez es mayor y, por tanto, la demanda, de hecho, se prevé mucha más en los años venideros.

El tamaño del mercado mundial de vidrio para envases fue de 70559,69 millones de dólares en 2021 y se prevé que alcance los 99996,03 millones de dólares en 2031, exhibiendo una tasa compuesta anual del 3,55% durante el período de pronóstico. [14]

La demanda de envases de vidrio suele estar estrechamente ligada al consumo de bebidas, especialmente bebidas alcohólicas y no alcohólicas. A medida que el consumo mundial de bebidas sigue aumentando, también lo hace la demanda de envases de vidrio. Ante la creciente preocupación medioambiental, se ha producido un cambio hacia soluciones de embalaje sostenible. Los avances en las tecnologías de fabricación de vidrio y las innovaciones en diseño tienen el potencial de atraer nuevos clientes y mercados. [14]



Ilustración 10. Previsión de producción [14]

3.3 Precios

Los precios por unidad de las botellas de vidrio rondan entre **0,30 y 0,75 €/ud**, dependiendo del tipo de botella, el color usado y el precio de la materia prima en ese momento, debido a que esta última se rige por ciclos fluctuantes. Aquí un ejemplo del coste en México.

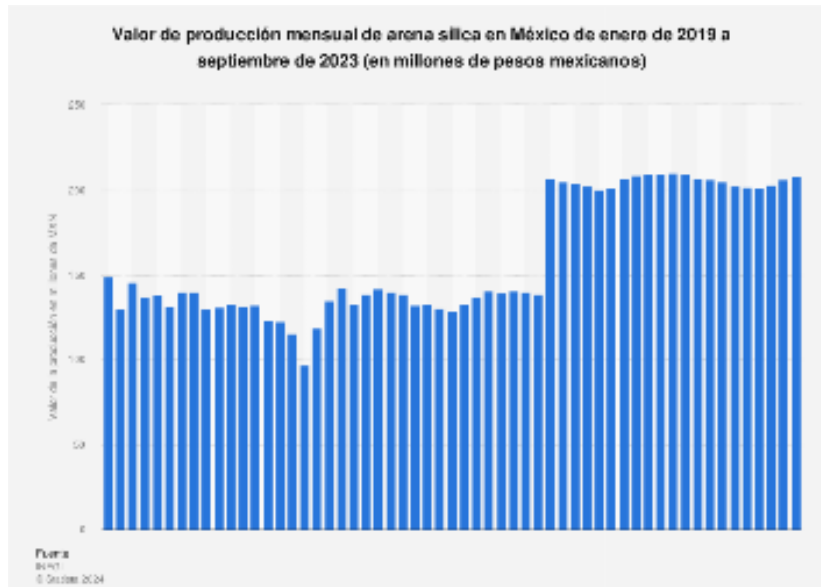


Ilustración 11. Valor de producción de la Arena de Sílice [15]

3.4 Comercialización

Este punto en cuestión es uno de los más importantes, porque dependiendo de cuales sean los compradores potenciales, se determinará la ubicación de la planta y las posibilidades de transporte.

La comercialización se centra en el **ámbito nacional**, dado que en España existen varias plantas de envasado que requieren de este tipo de artículos para su posterior venta. El transporte principal para distancias cortas se realiza mediante camiones, esto supone habilitar una zona de carga de este tipo de transporte. Esta infraestructura adicional representa un desembolso significativo para una gran superficie de suministro.

La comercialización en el **ámbito internacional** también genera un gran interés, sobre todo el transporte marítimo, ya que, es el transporte más viable para largas distancias. Sería interesante colocar la planta cerca de algún puerto español y suministrar a empresas extranjeras.

4. UBICACIÓN DE LA PLANTA

En este punto se exponen los motivos por los cuales, la planta de fabricación de vidrio hueco, se va a colocar en el **Polígono Industrial los Varales de Villafranca de los Barros, EX-360, 2, 06220 Villafranca de los Barros, Badajoz, España.**

A continuación, se indica la dirección correspondiente a Google Map y la parcela delineada.



Ilustración 12. Ubicación de la planta [16]

<https://maps.app.goo.gl/HwDAXbt3kNTLCGqW6>

Como se observa en la imagen satélite, la parcela se encuentra en cultivo, sin embargo, el ayuntamiento de la localidad tiene proyectada para 2025 la extensión de dicho polígono, debido a la alta demanda industrial que existe en la región.

La decisión de ubicarla en este punto del territorio español, en gran medida, se debe al fácil acceso que tiene la industria a la autovía A-66, siendo esta la más larga de España y teniendo una muy buena comunicación con Sevilla y su respectivo puerto, y en menor medida, pero no menos importante, con Madrid a través de la A-5.

Como se explica en el punto anterior, de estudio de mercado, el transporte de la producción es un factor esencial para cualquier industria y el sitio propuesto, en este aspecto, es idóneo para la comercialización nacional. Además, el puerto comercial de Sevilla está a tan solo una hora y media de la industria, facilitado de esta forma, la apertura de la empresa al mercado internacional.

Por otro lado, las empresas deben considerar ampliaciones cinco años después de su apertura. Por tanto, la extensión del polígono hacia el sur genera grandes posibilidades de extensión.

CAPITULO II.- EL VIDRIO

1. HISTORIA DEL VIDRIO

El vidrio no ha dado su nombre a ningún período histórico, sin embargo, ha estado presente en todos ellos. Es un material, que ya desde los albores de la Humanidad, le ha acompañado fielmente a su paso por el mundo, permitiéndole conjugar siempre la utilidad y la belleza. A lo largo de su milenaria historia, fue incorporándose a la cultura de los pueblos, entrando primero a formar parte de sus manifestaciones artísticas y contribuyendo más tarde a engrosar el acervo de sus conocimientos científicos y tecnológicos. [17]

El vidrio existe en la naturaleza desde que se consolidó la corteza terrestre y de él aprendió a servirse el hombre prehistórico varios milenios antes de que saliera de las manos del primer artesano. La mayor parte de los **vidrios naturales** son de origen volcánico y corresponden a otras tantas variedades de rocas eruptivas formadas a partir de magmas, los cuales, bajo las condiciones en que se produjo su enfriamiento, no llegaron a cristalizar en especies minerales definidas. Entre ellos destacan la **obsidiana**, brillante y compacta; la **plumita** o la **pedra pómez** siendo estas de consistencia ligera y porosa. [17]

La mayoría de los investigadores aseguran que el vidrio tuvo su origen en Mesopotamia, apoyándose para el caso en los vestigios encontrados en sitios como Tell al Rimah y Aqar Quf, que fueron elaborados, aproximadamente, en el 3500 a.C. No obstante, algunos investigadores sostienen que los primeros trabajos de vidrio se hicieron en Egipto, considerando la existencia de unas cuentas de esteatita, mineral compuesto de filosilicato, que pertenecen a la civilización predinástica Badarian, situada cronológicamente entre los 5500 y los 3500 años a.C. Su descubridor, Guy Brunton, sugiere que probablemente fueron fabricadas en el lugar en que se encontraron, ya que en zonas específicas del Valle del Nilo existía la materia prima necesaria para su elaboración. [18] Sin embargo, la técnica de vidrio soplado surgió en el siglo I a.C, a partir de la invención de la caña de soplado (Tubo hueco en el que se coloca una posta de vidrio en un extremo y se introduce aire por el otro orificio, mediante de vía oral). [19]

A través de los siglos, las diferentes civilizaciones existentes, han incluido en su cultura la fabricación de vidrio, desde la antigua Roma, hasta la Europa medieval, pasando por las civilizaciones islámicas y asiáticas. [17]

A pesar de la gran conmoción política y social que se produjo en la Europa medieval, como consecuencia de la invasión producida, por los pueblos barbaros del norte; no llegó a extinguir la fabricación de vidrio, y especialmente la técnica de soplado, ya que, subsistió en focos aislados, precariamente sustentada por pequeños grupos familiares, asentados dentro del bosque. Esta época de la historia supuso un antes y un después en la fabricación de vidrio, sobre todo por la influencia del vidrio soplado, en Venecia, vidrio germano y el vidrio español. [17]

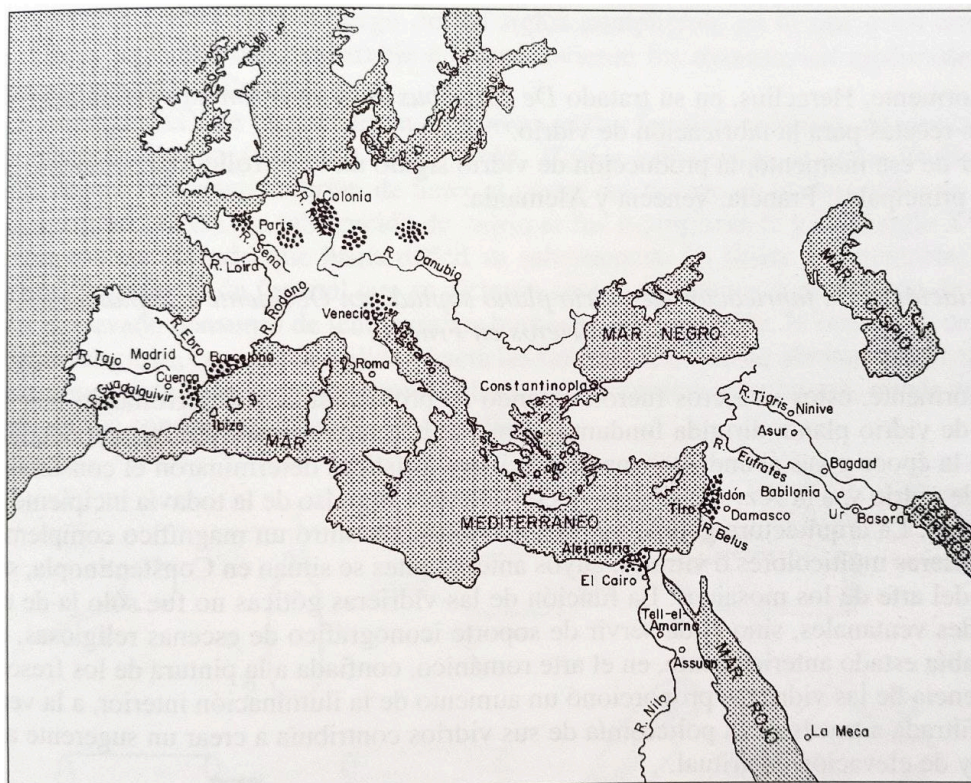


Ilustración 13. Principales regiones históricas de producción de vidrio en Oriente Próximo y Europa [17]

En la ilustración anterior se manifiestan los principales bosques que garantizaban el abastecimiento de la madera necesaria, no sólo como combustible para hornos, sino también, cuando la sosa empezó a escasear. [17]

Como se menciona anteriormente, el vidrio en España tuvo gran importancia para el futuro desarrollo del mismo. Ya durante la dominación romana funcionaron en la Península Ibérica numerosos talleres vidrieros. La mayor parte de los hornos y talleres de fabricación de vidrio se establecieron a lo largo de la costa mediterránea oriental dentro de las actuales provincias de Alicante, Valencia y principalmente Tarragona. Estos emplazamientos se debieron a la abundancia de plantas del género *Salsola soda*, que existía en aquella región, cuyas cenizas contienen una riqueza de hasta 40% de carbonato sódico. Estas constituían una de las más importantes materias primas para la fabricación de vidrio. [17]

Durante el siglo XIII, los centros españoles más importantes se establecieron en Barcelona. En pocos años experimentó un desarrollo tan intenso, que en 1324 el Consejo Municipal prohibió la instalación de hornos dentro del recinto de la ciudad, debido al riesgo de incendio que ello entrañaba. Tal y como había sucedido más de treinta años atrás en Venecia y anteriormente en la Roma imperial. Esta prohibición se mantuvo hasta el año 1345. De acuerdo con la organización gremial de aquella época, los vidrieros se agruparon formando el Gremio de vidrieros de soplo y horno (1362), que fue reconocido por el Consejo de Ciento en 1433. Entre los siglos XIV y XVII se fueron multiplicando los hornos vidrieros en Cataluña, aparte de los de la capital. A mediados del siglo XVII se inicia una decadencia del vidrio catalán y las piezas de más delicada factura y de mayor riqueza decorativa van perdiéndose, dejando paso a formas más sencillas, de ese grato estilo popular que ha llegado casi hasta nuestros días. [17]

Los siglos XVII y XVIII representan una época de afianzamiento de la industria del vidrio en el mundo. Este hecho se logró, en parte, a la divulgación de los conocimientos, que prácticamente monopolizaban los vidrieros venecianos. Sin embargo, el gran avance de la ciencia y de la técnica del vidrio, que conduciría hasta el elevado conocimiento actual, no se produjo hasta mediados del siglo XIX. Además de su natural participación en la evolución de todas las ciencias afines, hay que destacar dos factores que influyeron de un modo decisivo en el desarrollo de su industria. [17]

El principal responsable de este avance, fue la **óptica**, ya que precisaban de nuevos vidrios ópticos y conocimientos más rigurosos de sus propiedades. En este sentido, la contribución más valiosa se debió a Otto Schott, con quien puede decirse que empieza en Alemania la moderna era científica de este material. [17]

El otro factor a tener en cuenta es la **revolución industrial** que se produjo a finales del siglo XIX y principios del XX. La producción a gran escala exigida por las cada vez más numerosas aplicaciones de este material, obligó a emplear grandes hornos de balsa con capacidad para la fusión de centenares de toneladas de vidrio y a la mecanización de sus métodos de elaboración. Este tipo de hornos supuso el primer paso para la fabricación automática continua de productos de vidrio. La producción automática de botellas se inició en 1880, basada en la patente del inglés Ashley, si bien la primera máquina totalmente automática, inventada por Owens, no comenzó a funcionar hasta 1899. [17]

Por los mismos años comienza a institucionalizarse en varios países la investigación en el campo del vidrio. Alemania funda en 1922 la Deutsche Glastechnische Gesellschaft y en Gran Bretaña se crea en 1917 la Society of Glass Technology, que viene a sumarse a la American Ceramic Society fundada en los Estados Unidos en 1899. A principio de los años treinta se constituye por iniciativa del profesor WES Turner la International Commission on Glass. Los procesos continúan y siguen apareciendo nuevos productos especiales. Hacia 1939 surgen en el mercado los vidrios Vycor, de alto contenido en sílice. En Norteamérica, la Corning Glass Works anuncia en 1957 los primeros productos vitrocerámicos obtenidos por desvitrificación controlada. [17]

Todos estos sucesos dieron lugar a la fabricación del vidrio tal y como se conoce.

2. FUTURO DEL VIDRIO

A día de hoy, los envases de vidrio son la única alternativa real para la sustitución de los envases de plástico, por tanto, estos envases seguirán estando presentes y cada vez con más fuerza, en todos los ámbitos de la vida cotidiana. Según la “Asociación Nacional de Fabricantes de Envases de vidrio”, **ANFEVI**, el

86% de los españoles creen que el vidrio es el material idóneo para el futuro y el cuidado del medioambiente. [20]

Estos hechos, conllevan el entendimiento exhaustivo del proceso de fabricación de envases de vidrio y sus posteriores mejoras y optimizaciones.

En la actualidad, el proceso es económicamente rentable y está muy optimizado, debido a los años de experiencia del método empleado, sin embargo, aún puede mejorar la eficacia, gracias a las nuevas tecnologías emergentes.

Por un lado, el problema más reseñable viene de la mano del uso de la materia prima, ya que, la mayoría de las empresas no usan el 100% del vidrio reciclado, debido en gran medida a los distintos colores usados en la fabricación. Este problema se debe al procedimiento arcaico de España a nivel de reciclaje, puesto que, los contenedores de vidrio no se diferencian por colores, como si se hace en otros países de Europa. En consecuencia, a este problema gubernamental, los ingenieros han desarrollado una **inteligencia artificial** capaz de separar los trozos de vidrio rotos por colores, sin embargo, esta tecnología aún está en fase de desarrollo y supondría un desembolso considerable para la empresa.



Ilustración 14. Contenedor de España vs Contenedores de Alemania [21]

Por otro lado, el proceso seguirá automatizándose, consumirá menos energía, aumentará la calidad del producto y aumentará la velocidad de producción, entre otros avances.

Por último, el destino del proceso estará determinado por los aspectos mencionados previamente, en función de la contribución de todas las partes involucradas, con el fin de mejorar continuamente la **utilización de los recursos naturales** y preservar el **medio ambiente**.

3. MATERIA PRIMA

Las materias primas empleadas pueden considerarse como un conjunto de sustancias naturales, productos químicos y material reciclado. El conjunto de las mismas, se le conoce como **mezcla vitrificable**. [17]

El conocimiento de las disponibilidades de materias primas y la caracterización y control de éstas, han sido siempre objeto de atención preferente para la industria vidriera, ya que de su adecuada elección depende, en gran medida, la eficiencia del proceso de fusión, la vida de los materiales refractarios, la calidad del vidrio y, en definitiva, la economía del producto final. [17]

Cada materia prima debe seleccionarse atendiendo a distintos tipos de requerimientos que condicionan sus posibilidades de utilización. [17]

El primer factor a tener en cuenta, en la **elección de una materia prima**, es cumplir lo mejor posible la función para la que es requerida, a lo largo del proceso de elaboración del vidrio y/o durante la posterior utilización de éste. [17]

Otro factor determinante es el **contenido de las impurezas**, siendo sin duda, el factor que más afecta, tanto desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo, a todas las materias primas y constituye un criterio rigurosamente excluyente de su utilización. En este sentido, los productos preparados químicamente tienen la gran ventaja de presentar, además de una pureza mucho más elevada, una mayor constancia de composición que las materias primas naturales. La única contrapartida a estas ventajas es el precio, que suele ser también más elevado. Y es éste, el **factor económico**, es el que más peso tienen a la hora de elegir una materia prima. [17]

Los factores ambientales en este proceso no se ven gravemente afectados, ya que, la materia prima del vidrio es fácilmente reciclable y las empresas invierten tiempo y dinero para que pueda llevarse a cabo. [17]

Las materias primas empleadas para la fabricación de vidrios pueden clasificarse siguiendo un criterio empírico basado en la función que desempeñan durante la elaboración del vidrio, en cuanto grupos principales: vitrificantes, fundentes, estabilizantes y componentes secundarios. [17]

Cabe destacar que el modo de actuación de los óxidos y el papel estructural que ejercen en el vidrio existe un cierto paralelismo. Desde el punto de vista estructural, los vitrificantes corresponden a los óxidos formadores de red; los fundentes, a los óxidos modificadores, y los estabilizantes a aquellos óxidos que, bien porque pueden actuar de ambas maneras, o bien por su carácter intermedio, no son asimilables a ninguno de los grupos anteriores. Dentro de los componentes secundarios se incluyen las materias primas que se incorporan en proporciones generalmente minoritarias, con fines específicos, pero cuya intervención no es esencial en lo que a la formación del vidrio se refiere. Tales componentes pueden ser afinantes, colorantes, decolorantes, opalizantes, fluidificantes, y también, los grupos correctores, entre otros. [17]

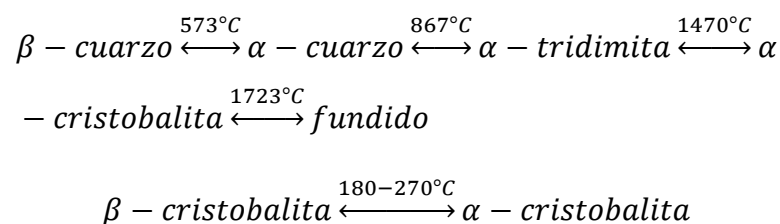
Los **vitrificantes** son sustancias formadoras de red. Son las que constituyen el esqueleto estructural de los vidrios y, por tanto, las que les proporcionan sus características principales y les prestan su denominación genérica. [17] Como pueden ser:

- Vidrios de silicatos (Emplean dióxido de silicio, SiO_2)
- Vidrios de fosfatos
- Vidrios de borosilicatos
- Vidrios de fluoruros

Este proyecto se verá reflejados los vidrios de silicatos, ya que, son el tipo de vidrios utilizando en la fabricación de botellas de vidrio. Dependiendo de los estándares de calidad y del tipo de vidrio, las empresas emplean entre un 60 y un 80% de SiO_2 . [17]

El dióxido de silicio, SiO₂ constituye la red vítrea de los vidrios de silicatos, formando una estructura continua de tetraedros [SiO₄] unidos entre sí por sus vértices oxigenados. Cuando mayor sea la proporción en que intervenga el SiO₂ en la composición de un vidrio, mayor será la cohesión de un retículo y mejores serán sus características a efecto de la mayoría de sus aplicaciones prácticas. Con el contenido en sílice aumenta la resistencia mecánica, la estabilidad química, la resistividad eléctrica, la resistencia choque térmico y la transparencia a la radiación ultravioleta. A cambio, el vidrio requiere temperaturas de fusión y de trabajo más elevadas. [17]

Se han llegado a identificar veintidós fases diferentes de sílice, siendo las más estudiadas y frecuentes, la fase de cuarzo y la fase de cristobalita. Su intervalo térmico de estabilidad y sus transformaciones enanciotropas, vienen definidas por los siguientes esquemas:



Su conocimiento resulta de especial interés por las fuertes variaciones dimensionales que estas fases registran en función de su temperatura, como consecuencia de las anomalías de su dilatación (Ilustración 15). El cuarzo experimenta una dilatación regularmente creciente hasta su temperatura de transformación enanciotropas a 573°C, a la que súbitamente se produce una expansión lineal del 0,2%. [17]

Estos cambios dimensionales desempeñan un papel especialmente importante y el intervalo térmico dentro del cual se producen resultados particularmente críticos durante el primer calentamiento de los hornos de fusión en que intervengan piezas de sílice, ya que la transformación del β-cuarzo (ρ=2,65 g cm⁻³) en α-cristobalita (ρ=2,21 g cm⁻³) transcurre con una fuerte disminución de densidad que corresponde a un aumento de volumen de aproximadamente un 16%. Exigiendo que el calentamiento se efectúe gradualmente. [17]

La formación de cristobalita también puede constituir un serio inconveniente durante el proceso de fusión de los vidrios. Los granos de cuarzo reaccionan fácilmente con los componentes de la mezcla vitrificable, pero, si eventualmente llegan a transformarse en cristobalita, su incorporación a la masa fundida resulta mucho más difícil, ya que al tener menor densidad que ésta, tienden a acumularse en su superficie. [17]

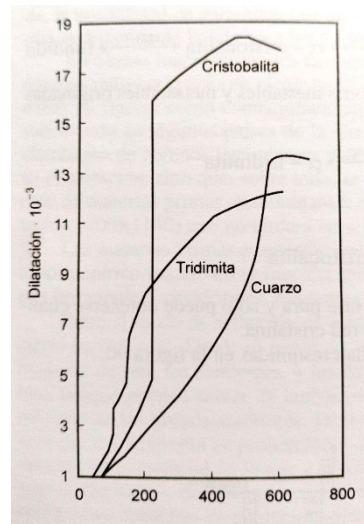


Ilustración 15. Curvas de dilatación térmica de las fases de cuarzo, cristobalita y tridimita. [17]

Las fuentes principales de esta materia prima son el cuarzo, las cuarcitas, las arenas y areniscas de cuarzo, de origen sedimentario, y la tierra de infusorios. [17]

Los focos más abundantes de esta materia prima, que cumplen con todos los requisitos, están ubicados en Alemania (Dörentrup y Hohenbocka), Francia (Nemours y Fontainebleau) y España (Burgos, Santander y Boñar). [17]

Los principales minerales pesados contaminantes de las arenas son las que presentan densidad superior a $2,9 \text{ g cm}^{-3}$, como las siguientes:

MINERAL	DENSIDAD [g cm^{-3}]
Antiboles	2,9-3,7
Arizonita	4,5
Casiterita	6,8-7,1
Circón	3,9-4,8
Corindón	3,9-4,1
Cromita	4,5-4,8
Distena	3,6-3,7
Epidota	3,3-3,5
Espinela	3,5
Goethita	3,8-4,3
Ilmenita	4,5-5,0
Magnetita	5,2
Olivino	3,2-4,2
Pirita	5,0-5,2
Piroxenos	3,1-3,5
Rutilo	4,2-4,3
Titanita	3,4-3,6
Topacio	3,5-3,6
Turmalina	3,0-3,3
Zoisita	3,2-3,4

Tabla 2. Densidad de los minerales empleados. [17]

El efecto nocivo de estos minerales se debe, por una parte, a los iones colorantes que contienen, tales como el cromo, hierro y manganeso, y por otra, a su difícil disolución en el vidrio fundido cuando rebasan el tamaño de 0,3 a 0,4 mm. [17]

El óxido de hierro es una impureza habitual de la arena de sílice, a la que en mayor o menor proporción siempre acompaña y que, por tanto, hay que aceptar como un mal inevitable. Las posibilidades de utilización de la arena vienen limitadas en la fabricación de cada tipo de vidrio por el porcentaje de óxido de hierro presente. [17]

A continuación, se cuantifican las cantidades de los óxidos para los vidrios fabricados:

Tipo de vidrio	Óxidos (% peso)		
	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃
Vidrio hueco incoloro	0,3	0,025	0,001
Vidrio hueco ámbar	2,0	0,1	0,02
Vidrio hueco verde	6,0	1,0	0,3

Tabla 3. Porcentaje de óxidos según el tipo de vidrio. [17]

La superficie específica de la arena es otro factor práctico de gran importancia. A igualdad de tamaño son siempre más reactivos los granos angulosos y rugosos que los redondeados, como corresponde a su mayor superficie específica. Este efecto se hace notar especialmente al acelerarse la velocidad de reacción durante las primeras etapas de la fusión. El valor de la superficie específica recomendable para una arena es de 40 a 60 cm² g⁻¹. [17]

La materia prima empleada en la fabricación del vidrio comúnmente es Arena de Sílice, Carbonato sódico y Piedra caliza, sin embargo, para reducir los efectos mencionados anteriormente, se necesitan más compuestos para la fabricación de las botellas, los cuales se exponen en la siguiente tabla.

COMPOSICIÓN EN ÓXIDOS			COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA VITRIFICANTE						
			Partes en peso de materia prima (C _i)						
			66,51 Arena de sílice (99,2%SiO ₂)	9,04 Feldespato (65,6%SiO ₂ , 17,8%Al ₂ O ₃ 10,3%Na ₂ O 6,3%K ₂ O)	19,82 Carbonato sódico (Na ₂ CO ₃)	1,86 Carbonato potásico (K ₂ CO ₃)	10,82 Dolomita (21,9% MgO 30,3% CaO)	11,55 Caliza (CaCO ₃)	
Óxido	%Mol a _{mí}	%Peso a _{pi}	% de óxidos incorporado con cada materia prima						
SiO ₂	71,81	71,91	65,98	5,93					Σ=71,91
Al ₂ O ₃	0,95	1,61		1,61					Σ=1,61
Na ₂ O	12,12	12,52		0,93	11,59				Σ=12,52
K ₂ O	1,17	1,84		0,57		1,27			Σ=1,84
MgO	3,52	2,37					2,37		Σ=2,37
CaO	10,43	9,75					3,28	6,47	Σ=9,75
Σ _i	100,00	100,00	Peso de materia prima con referencia a 100 partes de arena (C _i)						Σ=100,00
			100	13,59	29,80	2,80	16,27	17,37	

Tabla 4. Composición de la fabricación de vidrio hueco. [17]

4. PROPIEDADES

Las propiedades de los vidrios dependen de sus características estructurales. Y la estructura, a su vez, se halla condicionada principalmente por la composición química y, en menor escala, también por la historia térmica. [17]

A la hora de estudiar las propiedades de los vidrios desde el punto de vista químico hay que considerar, en primer lugar, la naturaleza química y la proporción de cada uno de sus constituyentes, así como el tipo y la intensidad del enlace que se establece entre ellos. Por esto, para interpretar su comportamiento en función de los cambios de composición introducidos, puede

tomarse como criterio general que la cohesión de la red vítrea y, por tanto, su rigidez estructural aumenta: [17]

- a) Al aumentar el índice de coordinación de los iones formadores.
- b) Al crecer la intensidad de campo de los iones formadores.
- c) Al disminuir la proporción molar de los iones modificadores.
- d) Al aumentar la intensidad de campo de los iones modificadores.

→Las **propiedades generales** de los vidrios son:

- Carecen de temperatura de *liquidus* o punto de fusión definido.
- Presentan una transición reversible del estado líquido al estado “rígido” sin la aparición de ninguna fase cristalina.
 - Se hallan subenfriados en condiciones de no equilibrio.
 - Poseen mayor energía interna que en estado cristalino.
 - Manifiestan fenómenos de relajación estructural.
 - Presentan un intervalo de transición característicos entre el estado subenfriado y el estado vítreo.
- Carecen de estructura cristalina.
- Presentan ordenación estructural de corto alcance y desorden estructural de retorno.
 - No presentan líneas netas en los espectros de difracción de rayos X.
 - Son macroscópicamente isótropos.
 - Poseen una estructura continua sin límites intergranulares.
 - Pueden presentar heterogeneidades microestructurales por inmiscibilidad líquido-líquido (separación de fases).
 - Presentan amplios intervalos de variación de su composición.
 - Sus componentes no guardan relaciones estequiométricas.

4.1 Estado vítreo

Un material puede obtenerse en estado vítreo a partir de sustancias que se hallen en cualquiera de los tres estados de agregación: sólido, líquido o gaseoso, siempre que el procedimiento empleado conduzca a la formación de una estructura desordenada que reúna las características de una fase vítrea. [17]

El procedimiento más común para la preparación de vidrios, parte de sistemas en estado líquido. En general, se trata de fundidos obtenidos por reacción a alta temperatura que han de enfriarse controladamente para evitar su cristalización. [17]

Bajo la amplia denominación genérica de vidrios o de materiales vítreos se incluye una gran diversidad de sustancias que, aunque a temperatura ambiente tienen la apariencia de sólidos que les proporcionan su rigidez mecánica y su fragilidad, no pueden considerarse estrictamente como tales, ya que carecen de la estructura cristalina que caracteriza y define al estado sólido. Si por su indeformabilidad a temperatura ambiente los vidrios podrían comportarse como sólidos, desde el punto de vista de su desorden estructural, son mucho más parecidos a los líquidos. Esta situación que impide estrictamente incluir a los vidrios entre los sólidos, resulta sin embargo insuficiente para autorizar a aceptarlos como líquidos, aunque explica la denominación de líquidos de viscosidad infinita que en muchas ocasiones se les ha aplicado. Por tanto, **se habla de estado vítreo**, sin embargo, este cuarto estado de la materia **no está aceptada por la comunidad científica** en su totalidad. [17]

Puesto que el procedimiento más comúnmente empleado para la preparación de vidrios consiste en hacer reaccionar sus componentes a alta temperatura hasta obtener una fase fundida homogénea, y a continuación enfriarla hasta la temperatura ambiente a una velocidad adecuada sin que se produzca su cristalización, parece conveniente considerar en primer lugar la variación que experimentan algunas de sus magnitudes de primer orden, como el volumen específico, la entalpía o la entropía al enfriar el fundido. [17]

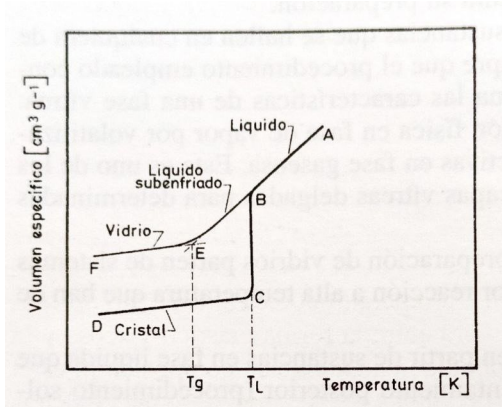


Ilustración 16. Volumen específico [17]

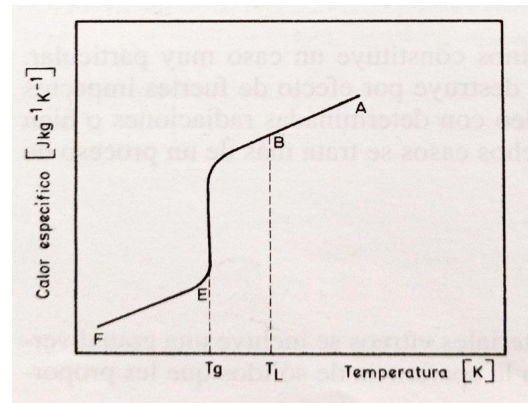


Ilustración 17. Calor específico [17]

Durante el enfriamiento de una especie fundida tiene lugar una disminución continua AB de su volumen. Si el fundido se halla en equilibrio interno, su volumen es una función de la presión y de la temperatura. Cuando se alcanza la temperatura de fusión T_L , se produce su cristalización, que se manifiesta por una discontinuidad en su curva de enfriamiento, caracterizada por una contracción B-C. A partir de ese momento, la fase cristalina se halla en equilibrio estable y, al proseguir su enfriamiento, continúa contrayendo, aunque en menor proporción que el fundido, debido a que su coeficiente de dilatación es más pequeño. [17]

Si aumenta aún más el grado de subenfriamiento sin que se produzca su cristalización, continúa disminuyendo el volumen del fluido hasta que al llegar a una temperatura determinada aparece un codo E en la curva, que coincide con un notable aumento de la viscosidad. La zona más o menos amplia de temperatura en que tiene lugar este cambio de pendiente se conoce con el nombre de intervalo de transición, que marca el límite entre el estado de subenfriamiento y el estado vítreo. Por debajo de este intervalo, el vidrio continúa contrayendo de una manera constante, con una pendiente EF que corresponde a su coeficiente de dilatación, aproximadamente paralela a la fase cristalina. El material resultante no posee, sin embargo, el volumen que debería tener con arreglo a sus condiciones de equilibrio estructural, sino que queda congelado con la dimensión que les correspondería a las condiciones de mayor temperatura en que alcanzó su rigidez dentro del intervalo de transición. A lo largo de la zona EF el material se encuentra en estado vítreo, en condiciones de no equilibrio y es termodinámicamente inestable. [17]

Por encima de la temperatura de transición, el material se hace deformable y por debajo adquiere la consistencia de un cuerpo mecánicamente rígido y frágil. Para $T > T_g$ se acostumbra a hablar de fundidos, reservándose la denominación de vidrio para $T < T_g$. [17]

La discontinuidad que se manifiesta en la variación de las magnitudes de primer orden en las especies cristalinas es análoga en su forma a la que se presentan los vidrios a la temperatura de transición para la variación de las magnitudes de segundo orden, tales como el coeficiente de dilatación térmica $\alpha = dV/VdT$ o el calor específico molar $C_p = dH/dT$, que resulta de derivar respectivamente el volumen y la entalpía con respecto a la temperatura. Este comportamiento constituye otra característica propia del estado vítreo (ilustración 18). El proceso de vitrificación es, pues, en cierto modo, comparable a una transformación de segundo orden, si bien es de advertir que esta semejanza entre las transformaciones de segundo orden en los cuerpos cristalinos y el fenómeno de congelación en los vidrios es puramente formal, ya que durante el subenfriamiento de un vidrio nunca se establece un equilibrio termodinámico. [17]

La causa que determina que una sustancia pueda congelarse en estado vítreo se debe al progresivo aumento de la viscosidad que se produce durante su enfriamiento y que impide la agrupación ordenada de sus elementos constituyentes para formar una red cristalina. [17]

Al no hallarse un vidrio en equilibrio a temperaturas inferiores a la de *liquidus*, sus propiedades no están determinadas únicamente por la temperatura, sino que dependen además de la velocidad con que se haya llevado a cabo su enfriamiento; es decir, el tiempo interviene como otra variable. Tomando como ejemplo la variación del volumen específico con la temperatura, puede comprobarse, en efecto, que una sustancia en estado vítreo posee un mayor volumen estructural, que es el que correspondería a las condiciones térmicas en las que tuvo lugar su congelación. [17]

Cuanto más lento sea el enfriamiento del vidrio o más largo sea el tiempo que se mantiene a una temperatura dentro del intervalo de transformación, mayor será la contracción que experimente. Este proceso de estabilización es

una consecuencia del fenómeno de relajación estructural y constituye otra característica propia del estado vítreo. El tiempo de relajación de un vidrio depende de la temperatura a la que se lleve a cabo y es tanto mayor cuanto más baja sea ésta. [17]

Se comprende, pues, que la temperatura de transición no se mantenga constante, sino que, dependiendo del tiempo de que haya dispuesto el vidrio para su relajación, se desplace hacia valores superiores o inferiores cuanto mayor o menor sea respectivamente la velocidad de enfriamiento. [17]

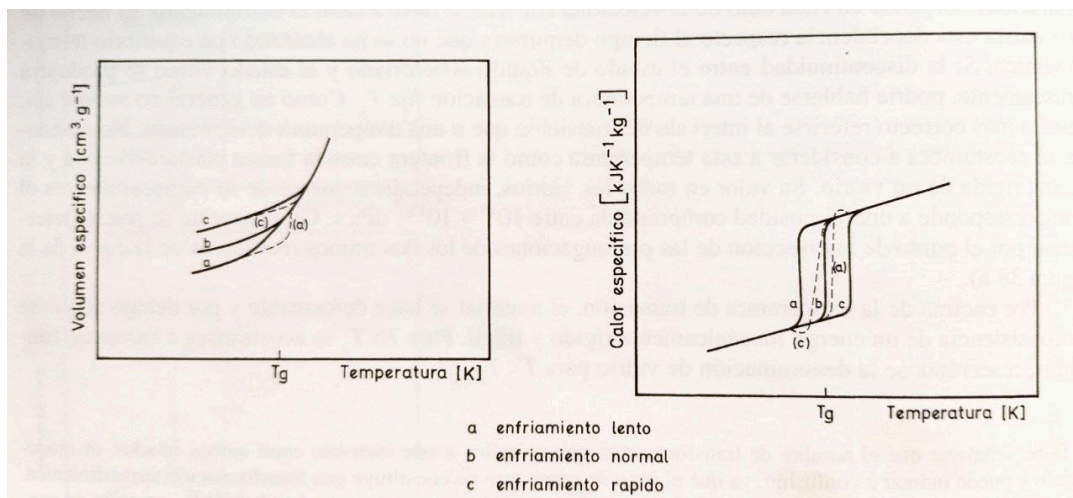


Ilustración 18. Variación de una magnitud de primer orden y de otra de segundo orden en función de la temperatura, en un mismo vidrio enfriado a diferentes velocidades. [17]

Las curvas a, b y c muestran la variación general de una magnitud de primero y de segundo orden en un mismo vidrio enfriado con velocidades diferentes. Los puntos de encuentro de las curvas a, b y c con la línea de líquido subenfriado han sido definidos por Tool (1109) como *temperatura ficticia* que en cada caso corresponde a un determinado estado estructural de congelación del vidrio. Cuando el vidrio vuelve a calentarse con la misma velocidad que se enfrió, su comportamiento es reversible y viene representado por la misma línea. En cambio, si la velocidad de calentamiento fuera superior a la de su enfriamiento, la variación seguiría el curso de la curva de trazos a; por el contrario, si se calienta con un régimen más lento, discurriría según la curva c. [17]

Como consecuencia de su estado de desequilibrio termodinámico, una sustancia en estado vítreo posee una energía interna más elevada que la que le correspondería en estado cristalino. Por eso **la cristalización del vidrio es siempre un fenómeno exotérmico**. El hecho de que, sin embargo, los vidrios puedan mantenerse indefinidamente a temperatura ambiente sin que cristalicen se debe a que su **viscosidad, prácticamente infinita, impide su desvitrificación**. [17]

4.2 Estructura del vidrio

Las propiedades de los materiales están condicionadas por la **naturaleza química** de sus componentes y por la **ordenación** que guardan entre sí sus elementos constituyentes. Por lo tanto, del conocimiento que se posea acerca de su estructura dependerán en gran parte las posibilidades de aplicación y, en definitiva, la utilidad de un material. [17]

La mayor parte de los **modelos estructurales** se han basado en los vidrios de silicatos, ya que, por ser éstos los más comúnmente empleados, han sido tradicionalmente también los más estudiados. [17]

-Modelo del retículo al azar.

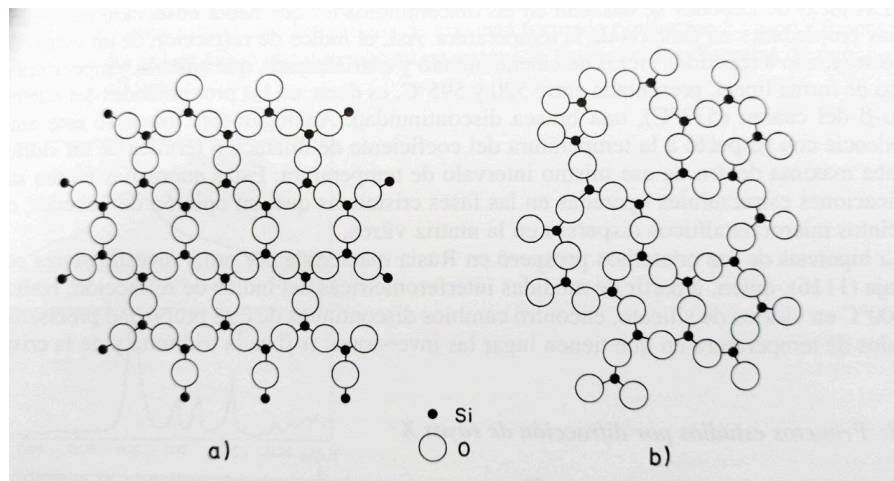


Ilustración 19. Representación plana esquemática de la estructura del SiO_2 : a) Red con una ordenación periódica, correspondiente a una fase cristalina. b) retículo al azar de la sílice vítrea. [17]

-Hipótesis de los cristalinos.

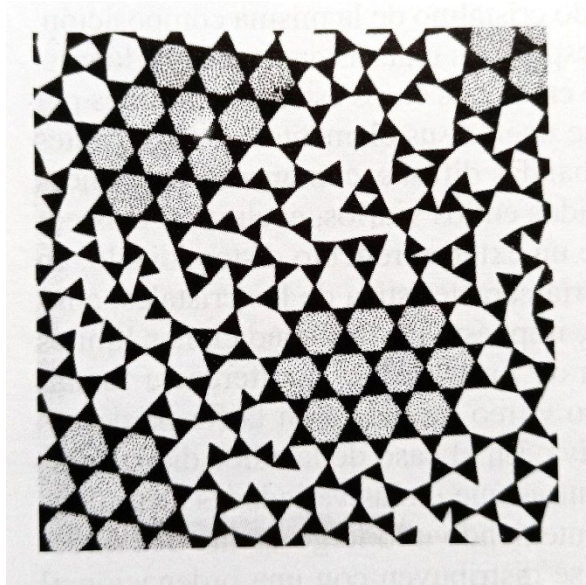


Ilustración 20. Modelo de un retículo vítreo de SiO_2 mostrando áreas de ordenación cristalina. [17]

Hay varias teorías, pero se ha optado por incluir estas dos.

4.3 Aspectos fisicoquímicos

4.3.1 Mezcla vitrificable

La formación de vidrio comprende una serie de transformaciones físicas y reacciones químicas a alta temperatura, en virtud de las cuales la mezcla vitrificable se convierte en una masa vítrea. Durante este proceso, los componentes de la mezcla experimentan múltiples modificaciones que incluyen transformaciones cristalinas, la evaporación del agua de humedad, la deshidratación de las sales hidratadas, la disociación de los carbonatos y sulfatos, las reacciones entre las distintas especies químicas, su fusión y la de los productos de reacción, y su disolución en el fundido que se va formando. [17]

Temperatura [°C]	Transformación
≈600	$\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2$
<760	$3[\text{Na}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)_2] + 10[\text{SiO}_2] \rightarrow 2[\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2] + [\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2] + 6(\text{CO}_2)$
≈760	Fusión peritética $[\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2] + [\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2] \rightarrow [\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2] + \text{liquidus}$
785	Fusión del eutéctico $2\text{CaO} \cdot 3\text{Na}_2\text{CO}_3$
790	Fusión del eutéctico $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2 - \text{SiO}_2$
827-834	Fusión peritética $2\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2 + \text{liquidus}$
1045	Fusión incongruente del $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2$
1125	Fusión incongruente del $4\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{CaO} \cdot 5\text{SiO}_2$
1141	Fusión incongruente del $2\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2$
1284	Fusión congruente del $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2$
≈1450	Fusión congruente del $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$

Tabla 5. Transformaciones térmicas producidas en el sistema $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{CO}_2$ [17]

4.3.2 Compuestos gaseosos dentro del horno

A lo largo de todas las etapas del proceso de elaboración del vidrio y mientras éste se mantenga fundido o en estado plástico-viscoso, se halla continuamente sometido a la influencia de diferentes gases, unos, los que constituyen la atmósfera exterior en contacto con su superficie libre, y otros, los que se encuentran aprisionados en el exterior de su masa. [17]

A continuación, se indican las principales fuentes de aportación gaseosa al vidrio:

-Atmosfera del horno.

-Mezcla vitrificable.

-Aire intergranular (N_2 , O_2 , CO_2 , H_2O , Ar).

-Productos de evaporación, deshidratación y disociación (H_2O , CO_2 , SO_3).

-Reacciones redox (O_2 , NO_n , SO_n , SH_2).

-Refractarios.

-Poros (N_2 , O_2 , CO_2).

-Reacciones vidrio-refractario (CO_2 , SO_2 , O_2).

-Interfase de nucleación heterogénea.

-Contaminaciones

-Materia orgánica (CO_n , CH_4 , H_2).

-Metales (CO_n , SO_n , N_2).

-Fenómenos galvánicos (O_2).

-Sustancias volátiles (S, As, Sb, NaF, NaCl, Na_2S).

4.4 Viscosidad

La viscosidad de un fluido se entiende por el rozamiento interno o la resistencia al desplazamiento que existe entre sus moléculas. En el caso de líquidos o de gases ideales la movilidad de sus moléculas se supone absoluta, es decir, no se engendran fuerzas tangenciales en su movimiento, y su viscosidad es nula. [17]

1. Puntos fijos de viscosidad.

Dada la gran importancia práctica que tiene el conocimiento de la viscosidad en el estudio de los vidrios y las dificultades que encierra esta medida, se establecen a continuación los puntos más relevantes. [17]

1.1. Punto inferior y superior de recocido.

El comportamiento viscoso de los vidrios, en el intervalo de transformación, se definen como punto inferior de recocido "*strain point*" y punto superior de recocido "*annealing point*", las temperaturas que limitan la zona de enfriamiento o de recocido de los vidrios. A la temperatura correspondiente al punto inferior de recocido se requiere un tiempo de 16 horas para relajar las tensiones, y a la temperatura del punto superior de recocido este tiempo se reduce a 15 minutos. A la viscosidad correspondiente al punto inferior y al punto superior de

recocido y obtuvo los valores $10^{14,5}$ y $10^{13,0}$ dPa s, respectivamente. La viscosidad en el intervalo de recocido o de relajación también es en función del tiempo, si se emplea un método dinámico de medida, es preciso fijar la velocidad del ensayo. Así los valores anteriores sólo son ciertos cuando su determinación se lleve a cabo bajo un régimen de enfriamiento de $4 \pm 1^\circ\text{C min}^{-1}$ entre 25°C por encima y 15°C por debajo del punto que se vaya a determinar. [17]

1.2. Punto de transición o de transformación.

Se define como la temperatura correspondiente al punto de intersección de los dos tramos rectilíneos de la curva de dilatación térmica se halla situado entre los dos puntos anteriores. Su valor depende asimismo del método que se emplee para su determinación. Si bien se suele asignar a este punto una viscosidad de $10^{13,0}$ dPa s, su valor puede variar entre $10^{13,0}$ y $10^{13,5}$ dPa s, según las condiciones en que se realice el ensayo. [17]

2. Factores que influyen sobre la viscosidad.

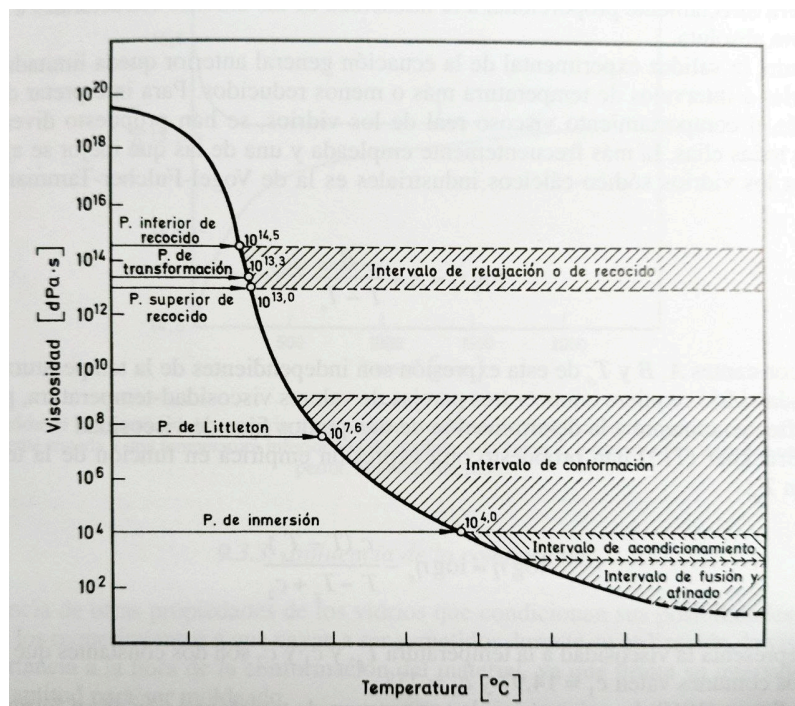


Ilustración 21. Curva característica de viscosidad-temperatura con indicación de los principales puntos fijos e intervalos de viscosidad. [17]

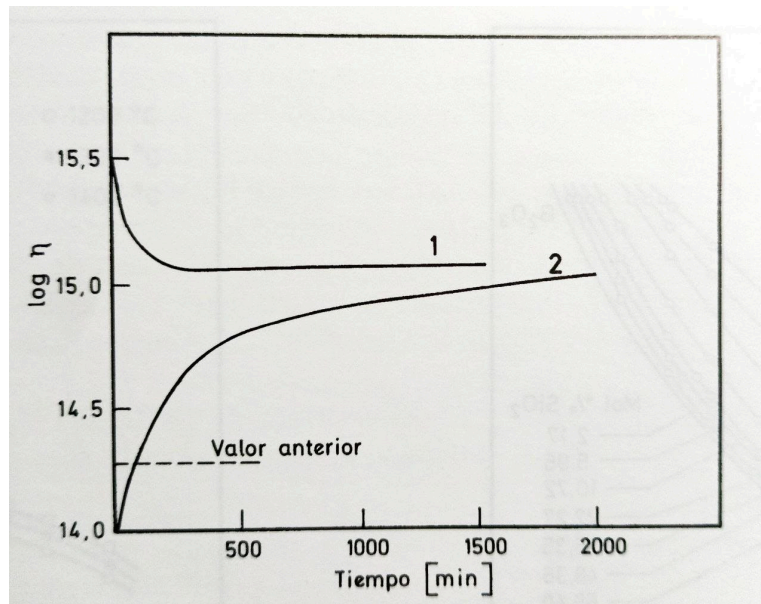


Ilustración 22. Variación de la viscosidad de un vidrio a temperatura constante en función del tiempo. La curva 1 corresponde a una muestra previamente tratada a una temperatura inferior a la de medida, y la curva 2, a una muestra tratada a una temperatura superior. [17]

La viscosidad cobra toda su importancia a la hora de la **conformación del material**, ya que limita su intercalo de trabajo y determina su aptitud para ser moldeado. [17]

Pequeños cambios en la composición se traducen generalmente en variaciones apreciables de viscosidad, lo que hace del máximo interés conocer del modo más preciso posible la relación que existe entre ambas variables. La influencia que ejercen los distintos componentes del vidrio sobre su viscosidad no suele ser uniforme ni, a veces, del mismo signo a lo largo de toda la curva de temperatura. Por eso, para sintetizar su estudio, es conveniente considerar por separado el comportamiento viscoso del vidrio a temperaturas por encima de su intervalo de relajación y por debajo de éste. [17]

4.5 Tensión Superficial

Las moléculas situadas en la superficie están sometidas a las fuerzas de cohesión de las moléculas que las rodean parcialmente. La resultante de tales fuerzas está dirigida hacia el interior de un líquido perpendicularmente a su superficie. Por esta razón, las moléculas de la superficie poseen mayor energía que las del interior. Como consecuencia, la disminución de la superficie de un líquido lleva consigo un trabajo de las fuerzas de cohesión y, contrariamente, el aumento de esta superficie requiere una aportación de energía exterior. El aumento de energía ΔW necesaria para la creación de una nueva superficie unitaria S se denomina energía superficial específica o tensión superficial. [17]

Esta distribución dinámica en los líquidos determina que su superficie se comporte como una membrana tensa y que, debido al efecto de tensión, el volumen de líquido tienda a distribuirse en la menor extensión superficial posible. Por eso, las pequeñas porciones libres de líquido adoptan la forma de gotas esféricas, ya que, para un volumen dado, es la esfera la forma geométrica de menor superficie. [17]

La tensión que se produce en la superficie de contacto del vidrio con una fase no gaseosa se denomina tensión interfacial. [17]

Los vidrios ordinarios presentan en estado fundido una tensión superficial comprendida entre 0,2 y 0,4 N m⁻¹, que es considerablemente elevada en comparación con la de la mayoría de los líquidos, aunque más baja que la de los metales fundidos. [17]

4.6 Densidad

No se puede decir que la densidad figure entre las principales propiedades del vidrio, ya que, para la mayoría de las aplicaciones de éste, su importancia es pequeña. No obstante, aunque por sí misma reviste escaso interés, la densidad puede ser un medio muy útil de control de la homogeneidad del vidrio, pues constituye un índice muy sensible capaz de detectar pequeñas variaciones de composición. [17]

Por otra parte, dado que la densidad es una medida del grado de compactación estructural, de su valor pueden deducirse conclusiones acerca de

las modificaciones de la configuración geométrica del retículo vítreo, del cambio de coordinación de los iones formadores. [17]

4.7 Dilatación Térmica

La dilatación es una consecuencia del incremento de su energía interna, que determina una mayor amplitud de las vibraciones térmicas moleculares y, por lo tanto, un mayor distanciamiento entre sus constituyentes estructurales. Este aumento dimensional viene dado para cada material por un factor característico dependiente de la temperatura, denominado coeficiente de dilatación. Este puede referirse al volumen (coeficiente de dilatación cúbica, β), a la superficie (coeficiente de dilatación superficial, γ) o a una sola dimensión (coeficiente de dilatación lineal, α). [17]

4.8 Propiedades Térmicas

El **calor específico** es la cantidad de calor dQ necesaria para producir una elevación de temperatura dT en un cuerpo dado. Además, es directamente proporcional a la masa del cuerpo y depende de la naturaleza de éste, del intercalo de temperatura y de las condiciones de presión. [17]

La **capacidad calorífica isostérica** de los sólidos depende de las vibraciones atómicas, y su valor aumenta con la temperatura a medida que aumenta la amplitud de éstas, de acuerdo con la conocida ley de Debye aplicable a vibraciones armónicas. [17]

La **transmisión calorífica** en los vidrios hay que distinguir dos formas de transmisión de calor. Una es por conducción térmica, cuando se propaga sucesivamente a través de las partículas que se hallan en contacto, y otra es por radiación térmica, ya que el vidrio se comporta como un medio más o menos transparente a la energía radiante. [17]

4.9 Defectos del vidrio

En el vidrio pueden considerarse como defectos todas aquellas manifestaciones que, surgidas de manera accidental e indeseable, alteren su naturaleza o vayan en detrimento de sus propiedades. [17]

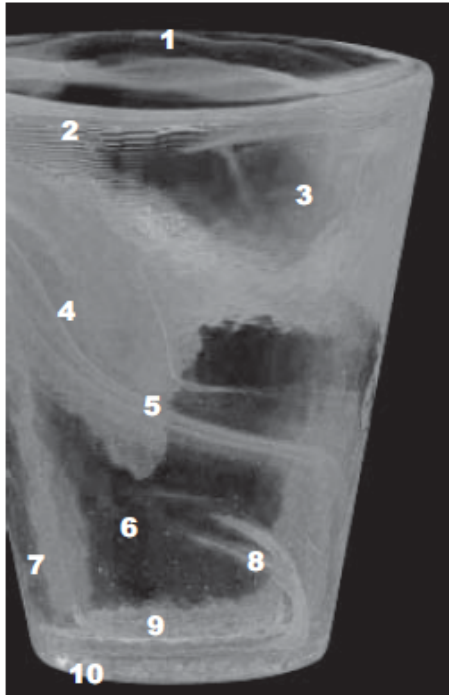
La transferencia y la fragilidad, que constituyen las características más peculiares del vidrio, son también las que resultan más afectas por tales imperfecciones, ya que casi todos los defectos son causa de una disminución de la transparencia y de un aumento de la fragilidad. La transparencia, por otra parte, delata inmediatamente cualquier irregularidad del vidrio, por lo que éstas resultan mucho más ostensibles y, por lo tanto, más graves que en otros materiales. [17]

En términos generales, los defectos del vidrio pueden considerarse en su mayoría como faltas de homogeneidad, bien de la naturaleza química, bien de carácter físico. [17]

A continuación, se muestran los principales tipos de defectos del vidrio.

Entre los defectos de masa o de fusión (defectos de homogeneidad química), se encuentran con:

- Inclusiones sólidas, como pueden ser infundido, desvitrificación, inclusión de sulfato, piedra de refractario, piedra negra y piedra metálica.
- Inclusiones vítreas, como pueden ser nódulo, lágrima, cuerda, estría, hilo, onda y goma.
- Inclusiones gaseosas, como pueden ser burbujas, punto brillante, punto fino, picado y picado cerrado o espuma.
- Coloración, como pueden ser mal olor, color, ala de mosca y ahumado.
- De recocido o de templado, como pueden ser el tensionado, chapa, barco y marca de pinza.
- De almacenamiento, como pueden ser la impresión, marca de papel, pegado, irisación, capa hidratada y moho.
- Defectos producidos durante el uso, como pueden ser de hidratación, alteración química, alteración atmosférica, condensación, alteración de color, tela de araña, moho, irisación, arañado, rotura, desconchado, estrella o marca de golpe.



Vista bajo luz polarizada de un artículo de vidrio defectuoso:

- 1- Deformación
- 2- Inhomogeneidad física
- 3- Superficie irregular
- 4- Composición infundida
- 5- Cuerda térmica
- 6- Inclusiones gaseosas
- 7- Mala distribución interna: pared delgada
- 8- Cuerda química
- 9- Vidrio pegado: Púas
- 10- Devitrificación o piedra refractaria.

Ilustración 23. Defectos del vidrio bajo luz polarizada. [22]

5. TIPOS DE VIDRIO

En la industria existe una gran variedad de productos de vidrio, puesto que al tratarse de un material fácilmente moldeable puede adquirir diversas formas y en consecuencia multitud de usos. En este documento se exponen los tipos más fabricados e importantes de la industria.

5.1 Vidrio hueco

El vidrio hueco se usa en la fabricación de botellas y envases, debido a que es un material inerte y poco poroso, lo que lo convierte en una opción versátil para el envasado de diversos productos.

Comúnmente el vidrio hueco se usa para el envasado de bebidas, como pueden ser vino, cerveza, refrescos o zumos, entre otros.



Ilustración 24. Vidrio hueco en botellas. [1]

De igual forma, el vidrio hueco se usa en envases de alimentos, como los que se muestran a continuación.



Ilustración 25. Envases de vidrio para alimentos. [23]

Debido a que forman parte de un bien de primera necesidad como es la alimentación, este tipo de vidrio es uno de los más fabricados y usados en el mundo, superando a los tipos de vidrios que se mencionan a continuación.

Para finalizar, cabe mencionar que la fabricación de cualquier objeto de vidrio hueco moderno se realiza por soplado, bien sea por soplado tradicional o por soplado mecánico, por prensado o por una combinación de ambos procedimientos, como se resume en la siguiente tabla.

Procedimiento de fabricación	Sistema de alimentación	Forma de movimiento	Tipo de piezas	Sistemas principales
Soplado a boca	Manual		Diverso	
Succión-soplado	Succión Succión	Rotación continua Rotación intermitente	Botellas Botellas	Owens, Hillmann, O'Neill Roirant AG
Soplado-soplado	Gota Gota Gota	Rotación intermitente Rotación continua Fija	Botellas Botellas Botellas	Lynch, O'Neill Roirant M-8 y R-7 Hartford IS Windmill
Prensado-soplado	Gota	Rotación continua	Envases diversos	Arbogast
Laminado-soplado	Colado continuo	Cinta sin fin	Bombillas	Corning

Tabla 6. Procedimientos de Fabricación de vidrio hueco [17]

5.2 Vidrio plano

El vidrio plano es uno de los materiales más utilizados en la industria de la construcción y la arquitectura, debido a sus propiedades y a la gran cantidad de opciones que ofrece. También se utiliza en la producción y generación de energía como es el caso de los paneles solares. [24]

Este tipo de vidrio es un material inorgánico de composición dura. Dependiendo de la variedad del vidrio y su finalidad, la composición de elementos químicos y sus propiedades pueden cambiar. [24]

Entre sus utilidades más comunes se encuentran: [24]

- La construcción y la arquitectura moderna, utilizando unidades aislantes para conseguir grandes beneficios energéticos.
- Utilización en la industria automovilística en parabrisas, espejos, ventanas, techos solares, etc.
- En la elaboración de puertas para armarios, recubrimientos de mesas, muebles y otros elementos decorativos.
- Industria óptica, sector fotovoltaico y electrónico, etc.



Ilustración 26. Vidrio plano [25]

Finalmente, se exponen los diferentes tipos de procedimiento de fabricación del vidrio plano:

Procedimiento	Tipo de vidrio	Sistema
Soplado a boca	Coronas, manchones	
Soplado-estirado mecánico	Manchones	Lubber, Sievert
Estirado mecánico	Lámina continua	Colburn-Libbey-Owens, Fourcault
Laminado discontinuo	Láminas discontinuas	Pittsburgh
Laminado continuo	Lámina continua, impresa, armada o (pulida)	Boudin, Ford, (DPC) (twin), (Delloye), (Duplex), (Jusant)
Flotado	Lámina continúa pulida	Pilkington

Tabla 7. Procedimientos de fabricación de vidrio plano [17]

Vidrio óptico

Los vidrios para aplicaciones ópticas forman el conjunto más numeroso y científicamente más importante de todas las clases de vidrios, tanto por su variedad como por sus rigurosas y precisas especificaciones que se ven obligados a cumplir. [17]

Las dos propiedades principales que caracterizan a los vidrios ópticos, además de una estricta homogeneidad química que garantice una constancia del índice de refracción con una precisión de $\pm 1 \cdot 10^{-6}$, son su índice de refracción y su dispersión óptica. [17]

Los vidrios ópticos convencionales se dividen en dos grandes grupos: los vidrios <crow>, de base sódico-cálcica y los vidrios <flint>. Estos dos grupos principales se subdividen, a su vez, en diversas clases: vidrios crown ligeros, vidrios crown pesados, vidrios crown fluoruros, vidrios de boratos, de borosilicatos, etc. y vidrios Flint ligeros y pesados, según su contenido de óxido de plomo y de óxido de bario. [17]



Ilustración 27. Vidrio óptico [26]

5.3 Fibra de vidrio

La fibra de vidrio son hebras muy finas de vidrio tejidas en distintas configuraciones o formas diferentes para una tela o malla. Se adquiere así un material flexible, muy resistente al calor, ligero, resistente a muchos productos químicos, buen aislante eléctrico y barato. [27]

La fibra de vidrio es un material muy usado actualmente en distintos productos industriales, los cuales van desde el cableado telefónico, de internet o televisión por cable, hasta los de aislamiento térmico y acústico, elaboración de tanques, recipientes industriales de almacenamiento, entre muchos más. [28]

Las fibras de vidrio pueden clasificarse con arreglo a dos criterios principales: el de sus aplicaciones y el de su longitud. De acuerdo con ésta, se dividen en fibras continuas o sin fin, fibras largas y fibras cortas. Y atendiendo a sus aplicaciones se acostumbran a encuadrar en dos grandes grupos, el de las fibras textiles, más amplio de lo que ese nombre pueda hacer pensar, y el de las fibras aislantes. [17]

A continuación, se indican los procesos de fabricación de fibra de vidrio.

Procedimiento	Tipo de fibra	Sistema
Estirado a partir de varilla	Discontinua larga	Schuller, Gossler, Roibul
Estirado a través de hileras	Continua	Owens-Corning
Soplado	Discontinua corta	Owens
Estirado-soplado	Continua y discontinua larga	Owens, St. Gobain
Estirado-soplado	Discontinua corta superfina	Owens-Corning
Centrifugado	Discontinua corta	Hager
Centrifugado soplado	Discontinua corta superfina	TEL (St. Gobain)

Tabla 8. Procedimientos de fabricación de fibra de vidrio [17]



Ilustración 28. Fibra de vidrio [27]

6. PRODUCCIÓN DEL VIDRIO HUECO

La denominación genérica de vidrio hueco se incluyen todos los objetos de vidrio que disponen de una cavidad, abierta o cerrada, destinada a servir de envase o recipiente o a confinar y proteger un espacio interior. Este tipo de vidrio se destaca por su importancia industrial, debido a que representa el mayor tonelaje de producción de vidrio en el mundo. Este sector productivo, representa uno de los más tradicionales de la industria vidriera, ha experimentado importantes avances técnicos en los procesos de conformación de las piezas, en los rendimientos de fabricación y en la garantía de sus rigurosos controles de calidad. [17]

A continuación, se explica los posibles procesos, una vez que salen las gotas del horno:

6.1 Soplado-Soplado

Este tipo de procedimiento, consiste en realizar un primer soplado, en un premolde, que da forma a la boca de la botella y un segundo soplado, en el molde final, que da forma a la botella completa.

La gota cae por gravedad en el primer molde y con la ayuda de una aguja forma el vidrio hueco y la prepara para el siguiente soplado. La gota rota 180° y se coloca en el molde final lubricado para darle la forma final a la botella. Por último, se introducen todas las botellas en una cinta transportadora para pasar al siguiente proceso, antes de poder empaquetar todas las botellas.

Este proceso es uno de lo más usados en la industria vidriera, junto al proceso de prensado-soplado, sin embargo, debido a su gran facilidad y sus grandes rendimientos, respecto al prensado-soplado, el **proceso empleado será el Soplado-Soplado**.

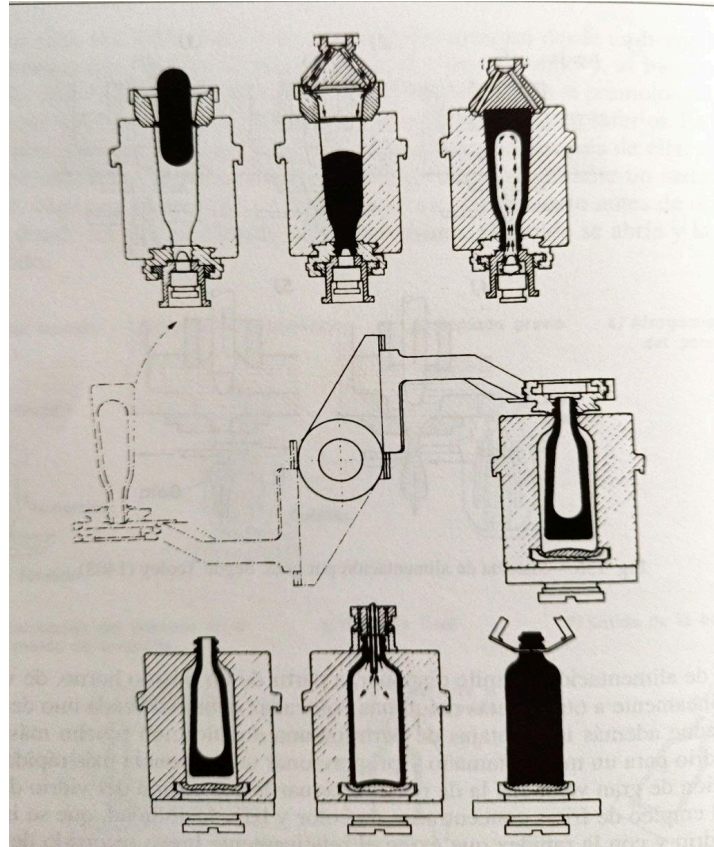


Ilustración 29. Etapas de trabajo de una antigua máquina Hartford IS [17]

6.2 Soplado tradicional

Este tipo de procedimiento de soplado tradicional, también conocido como soplado a boca, es posible gracias a la invención de la caña de soplar de vidrio, la cual supuso una de las innovaciones más revolucionarias de todos los sistemas de conformación del vidrio. La caña consiste en un tubo metálico de aproximadamente 1,50 m de longitud con una embocadura para soplar en un extremo y con un ensanchamiento en el otro. [17]

En la fase inicial, llamada “levantamiento del vidrio”, la caña se introduce ligeramente por su extremo ensanchado, el vidrio fundido y se toma una pequeña cantidad de éste, denominada pasta. A continuación, se le da forma dentro de un premolde y se sopla en su interior una pequeña cantidad de aire para configurar el paresón o forma preliminar de la pieza. El paresón, por efecto de la gravedad y por calentamiento sucesivos, va experimentando un alargamiento, seguidamente se introduce en un molde y a medida que se sopla se va girando con el fin de conseguir un espesor lo más uniforme posible. [17]

El soplado a boca ha quedado reservado en la actualidad sólo para piezas de artesanía o para la fabricación de series cortas.



Ilustración 30. Soplado tradicional [29]

6.3 Succión-Soplado

Este fue el primer procedimiento empleado para la fabricación automática de botellas, la cual creó Owens en 1899, supuso un importantísimo avance para la industria del vidrio hueco. El proceso se efectúa con la toma del vidrio por succión

directa de la masa fundida a través de la base del premolde y su posterior soplado final, idéntico al del proceso de soplado-soplado.

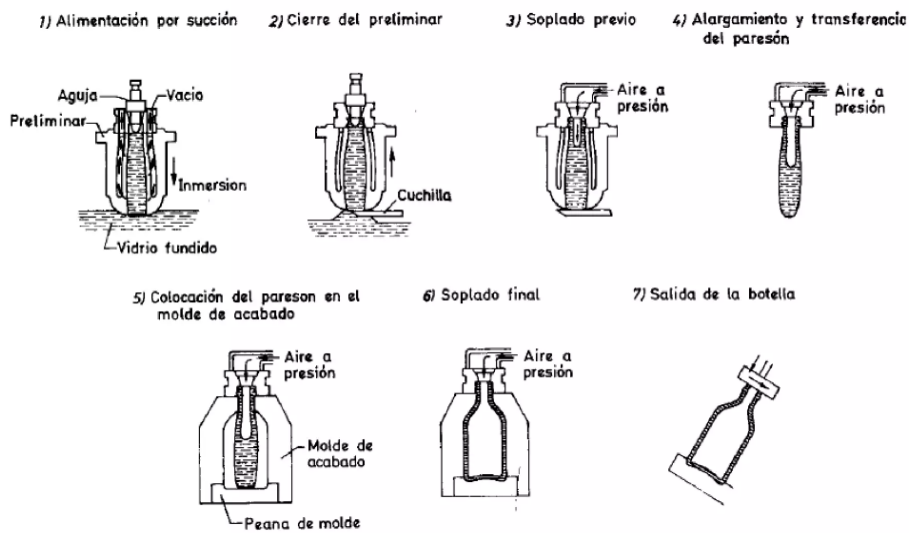


Ilustración 31. Proceso de succión-soplado [30]

6.4 Prensado-Soplado

Este procedimiento se emplea para la fabricación de envases de boca ancha y de paredes relativamente delgadas, tales como tarros, vasos, etc. Se diferencia de los procedimientos de soplado-soplado en que la primera fase de conformación de la pieza en el molde preliminar se realiza por prensado en lugar de por soplado.

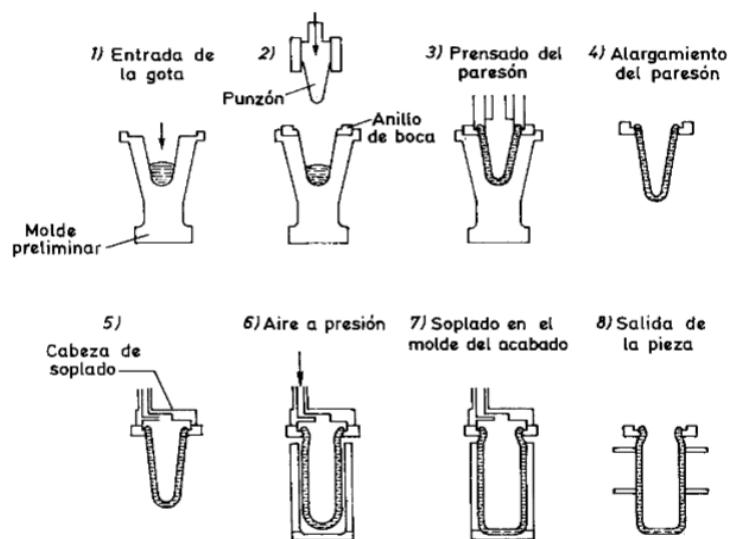


Ilustración 32. Etapas del trabajo del proceso de prensado-soplado [31]

6.5 Laminado-Soplado

Este proceso, empleado por Corning para la fabricación de bombillas, consiste en la alimentación de un pequeño orificio del canal de alimentación, un chorro continuo de vidrio de cierto diámetro. Este chorro incide directamente entre dos pequeños rodillos laminadores que le transforman en una banda continua de vidrio. El rodillo derecho cuenta con unos pequeños moldes que forman alternativamente, sobre la banda de vidrio, unas protuberancias. Esta banda cae sobre una cadena sin fin horizontal constituida por una serie de placas que llevan en su centro un orificio. Por encima de esta cadena y sincronizada con ella discurre paralelamente otra cinta sin fin con las cabezas sopladoras, y por debajo se desliza, manteniendo también su sincronismo y paralelismo con las otras dos, una tercera cinta sobre la que van colocados los correspondientes moldes. [17]

Cuando la banda premoldeada de vidrio es recogida por la cadena de placas perforadas, queda colocada de tal forma que queden dispuestos para ser soplados. Una vez soplados, los moldes se abren y las piezas son llevadas a la cadena de recocido. [17]

6.6 Centrifugado

De concepción elemental y de ejecución relativamente simple, la conformación por este procedimiento se realiza recogiendo la gota de vidrio fundido procedente del canal de alimentación, sobre un molde en movimiento giratorio. El vidrio fluido se proyecta por acción de la fuerza centrífuga contra las paredes del molde. [17]

El empleo de esta técnica de fabricación resulta especialmente recomendable para la conformación de piezas de gran tamaño y de forma preferentemente cónica o cilíndrica, como los cuellos de las pantallas de televisión y algunos tubos para condiciones químicas industriales. [17]

7. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS. TÉCNICA SOPLADO-SOPLADO

En este punto se encuentran los equipos más importantes, para conseguir un correcto funcionamiento del proceso finalmente elegido, **soplado-soplado**.

ZONA CALIENTE [ZC]			ZC/ZF	ZONA FRÍA [ZF]			
Horno	Canal	Máquina IS	Arca de recocido	Máquinas de inspección	Paletizadora	Retractiladora	Almacén

Tabla 9. Equipos y zonas [32]

7.1 Horno

Los hornos son los reactores en los que transcurre a alta temperatura el proceso de formación de vidrio. Atendiendo a su régimen de funcionamiento se pueden dividir en hornos de trabajo intermitente y de trabajo continuo. Desde el punto de vista de su capacidad de producción se dividen en dos tipos: hornos crisoles y hornos balsa o de cuba. [17]

En este proyecto se empleará **hornos longitudinales de balsa de gran capacidad de producción calentados con calefacción por llama, con el apoyo de electrodos eléctricos**, ya que, al tener este apoyo, se producirá una gran uniformidad de temperatura en las distintas zonas. La fabricación es en régimen continuo y, además, se aplican procesos automáticos de conformación en sus distintas modalidades. El sistema de generación térmica se basa en el empleo de dos cámaras que funcionan alternativamente como intercambiadores de calor. Cada una de ellas alberga en su interior un complejo emparrillado de material refractario que actúa como un acumulador térmico. Mientras los gases de combustión se hacen pasar a su salida por una de las cámaras cediéndole su calor, el aire de combustión entra a través de la otra cámara precalentándose en su recorrido. Periódicamente se invierte el sentido de circulación de los gases y del aire. [17]

Partes de los hornos de balsa de gran capacidad: La cuba es una balsa cuya superficie de calentamiento por llama puede variar entre 20 y 120 m² y su capacidad entre 100 y 600 toneladas de vidrio según la fabricación para la que se destine. La profundidad de la cuba es una magnitud crítica de los hornos de llama que hay que fijar según el tipo y el color del vidrio que se desee fabricar.

Sin embargo, a escala industrial, son todos del mismo tamaño. Además, suelen estar divididos en dos partes: una de mayor extensión que corresponde a las zonas de fusión y de afinado, diferenciadas, a su vez, por su distinta distribución de temperatura, y otra, más reducida, junto al extremo de salida del horno, en la que tiene lugar el reposo del vidrio y su acondicionamiento térmico previo a su conformación. Ambas partes están parcialmente separadas, mediante diferentes sistemas, cuya finalidad es la de impedir que pueda pasar vidrio sin terminar de afinar desde la superficie del baño a la cámara de trabajo; la de contribuir a crear corrientes de vidrio en distinto sentido para conseguir una mayor homogeneidad, y la de obligarle a circular a mayor profundidad y, por tanto, a menor temperatura antes de entrar en la zona de trabajo. [17]

La solera y las paredes laterales de los hornos balsa están construidas con grandes bloques de material refractario electrofundido, cuyos principales tipos están formados por alúmina, mullita, mullita-corindón, óxido de circonio-corindón y circón. La elección de un tipo u otro depende del lugar de colocación y de la clase de vidrio que se vaya a fundir. La cuba va cubierta por una bóveda construida con ladrillos de sílice y sustentada por los pies derechos que, en su conjunto, componen la superestructura. [17]

Las variables más importantes a tener en cuenta son: la temperatura de bóveda, temperatura del *Working End* (de control de salida del horno), caudales y aperturas de gas, potencia de los electrodos y nivel de vidrio. [32]



Ilustración 33. Horno de balsa en funcionamiento [33]

7.2 Canal

Se trata de un conducto inclinado hecho de material refractario, de aproximadamente 25 metros de largo, que permite la fluencia por gravedad del vidrio fundido hasta el premolde de la máquina IS. El canal está dotado de unos quemadores de gas y unos ventiladores que permiten mantener la temperatura deseada a lo largo de este. [32]

Las variables más importantes a tener en cuenta son la temperatura (de control de canal y cubeta), caudales y aperturas de gas y homogeneidad. [32]

En la siguiente imagen se muestra el brazo direccional que dirige las diferentes gotas a los diferentes moldes.

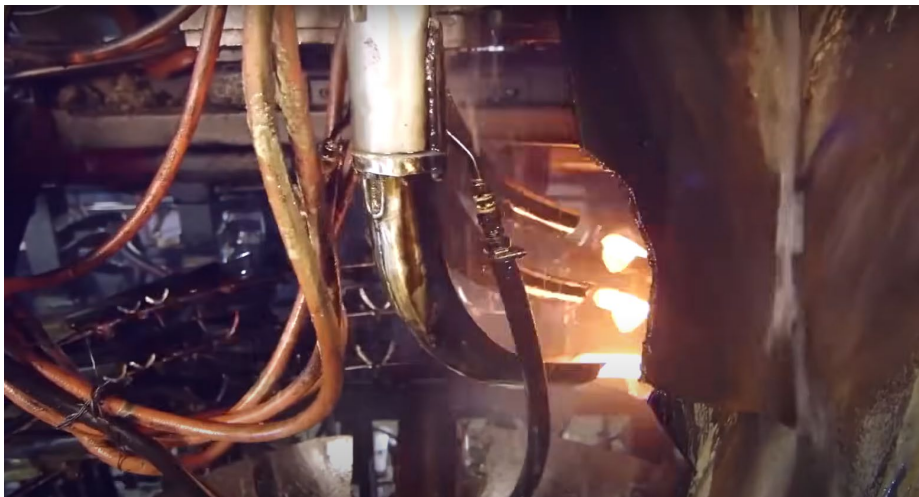


Ilustración 34. Brazo direccional [34]



Ilustración 35. Canales de gotas [34]

Además, al lado de los canales justo debajo de las tijeras se encuentra la *GobScan*, cámara térmica acoplada, que toma datos de las gotas y las muestra en un programa interfaz, accesible para los trabajadores.



Ilustración 36. Interfaz de imagen de cámara térmica *GobScan* [32]

Las variables más importantes a tener en cuenta de la *GobScan* es la altura, anchura, peso, inclinación, huesicidad (diferencia entre la anchura máxima y la anchura mínima de la gota), retraso (demora en el tiempo de la gota).

7.3 Máquina IS

Se trata de una máquina de grandes dimensiones encargada de fabricar las botellas de vidrio, mediante movimientos cíclicos comandados por un programa de máquina. Está constituida por varias secciones, abarcando desde los punzones, tubo giratorio, bloque de tijeras, distribuidor de gota, máquina de producción y cinta transportadora. Dentro de la máquina se encuentran los punzones que inyectan el aire para la formación de la boca de la botella, en el caso del premolde y de la formación de la botella, en el caso del molde final. Por último, las botellas pasan a la cinta transportadora calentada y con estrías para que exista el mínimo contacto con las mismas y no estallen. [32]



Ilustración 37. Máquina IS [35]

7.4 Arca de recocido

Horno continuo con forma de túnel, donde se produce un proceso de recocido a las botellas, para reducir tensiones internas del vidrio y mejorar sus características. [32]

El funcionamiento del mismo implica un nuevo calentamiento de las botellas hasta alcanzar la temperatura óptima y así garantizar un enfriamiento uniforme hasta llegar a la temperatura ambiente, lo que permite la formación de la estructura deseada.

Es una infraestructura de unión entre ZC (Zona Caliente) y ZF (Zona Fría), donde las botellas entran a alrededor de 500°C y salen alrededor de 90-50°C. [32]



Ilustración 38. Archa o arca de recocido [36]

7.5 Máquinas de inspección

Se trata de un conjunto de máquinas que realizan distintas comprobaciones en las botellas, para determinar si presentan defectos o no. Poseen unas cintas de rechazo por donde se redirigen aquellas botellas que presentan algún defecto, hasta el principio del proceso.

A continuación, se muestra una de las máquinas de inspección, sin embargo, dependiendo de la industria hay más y además también se encuentran los operarios revisando.



Ilustración 39. Máquina de inspección. [37]

7.6 Paletizadora

Máquina encargada de conformar los palés de botellas.

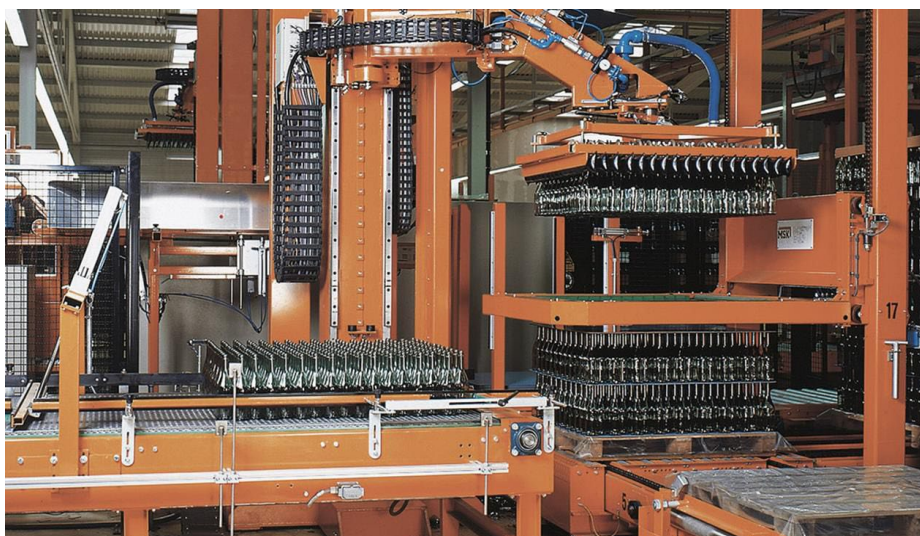


Ilustración 40. Paletizadora [38]

7.7 Retractora

Máquina encargada de embalar con plástico los palés.



Ilustración 41. Retractora [39]

8. PRODUCTO Y PROCESO ELEGIDO

El producto finalmente elegido es el vidrio hueco de sílice.

Los vidrios de sílice, denominado impropriamente vidrio de cuarzo, está constituido sólo por SiO_2 en estado vítreo. Según el procedimiento industrialmente empleado, se diferencia dos grandes grupos, **sílice vítrea opaca o translúcida** y sílice vítrea transparente. [17]

En este proyecto se sigue el grupo de sílice vítrea opaca o translúcida el cual se obtiene por fusión del cuarzo (1723°C) hace inviable la fabricación de objetos de este tipo de vidrio por los procedimientos convencionales, y obliga a realizar su fusión en hornos eléctricos y a utilizar crisoles de metales refractarios. [17]

Los vidrios de sílice se caracterizan principalmente por su amplio intervalo de transmisión espectral que, en el caso más favorable, puede abarcar desde unos 160 nm hasta unos 400 nm; por su estabilidad a altas temperaturas; por su bajo coeficiente de dilatación y alta resistencia al choque térmico, y por su durabilidad química frente a todos los ácidos excepto al fluorhídrico y al fosfórico por encima de unos 150°C . [17]

Seguidamente, en la siguiente tabla, se indican las propiedades principales de los vidrios SiO₂.

Densidad	2,197-2,203
Índice de refracción n _D	1,4584-1,4586
Temperatura superior de recocido	1082-1190°C
Temperatura inferior de recocido	987-1108°C
Coeficiente de dilatación lineal α _{20-600°C}	0,51 · 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Módulo de Young	70-74 GPa
Resistencia a la tracción	50 MPa
Resistencia a la flexión	67 MPa
Resistividad eléctrica (a 800°C)	6,3 · 10 ⁶ Ω cm

Tabla 10. Intervalo de variación de las propiedades principales de los vidrios de SiO₂ [17]

Como se indicó en el estudio de mercado, los productos elegidos son **tipo Rhin de un 75 cl, de color incoloro para agua embotellada**, las de **tipo Bordelesa de 75 cl, de color verde para vino** y por último de **tipo Borgoña de 75 cl, de color ámbar para cava**. Los cuales deben llevar una composición de óxidos diferentes. En el caso del vidrio incoloro es de 0,3% Al₂O₃, 0,025% Fe₂O₃ y 0,01% Cr₂O₃, en el caso del vidrio verde es de 2,0% Al₂O₃, 0,1% Fe₂O₃ y 0,3% Cr₂O₃ y en el caso del vidrio ámbar es de 6,0% Al₂O₃, 1,0% Fe₂O₃ y 0,3% Cr₂O₃. [17]

Con respecto al proceso elegido, se fabrica mediante soplado-soplado automatizado.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo, PFD.

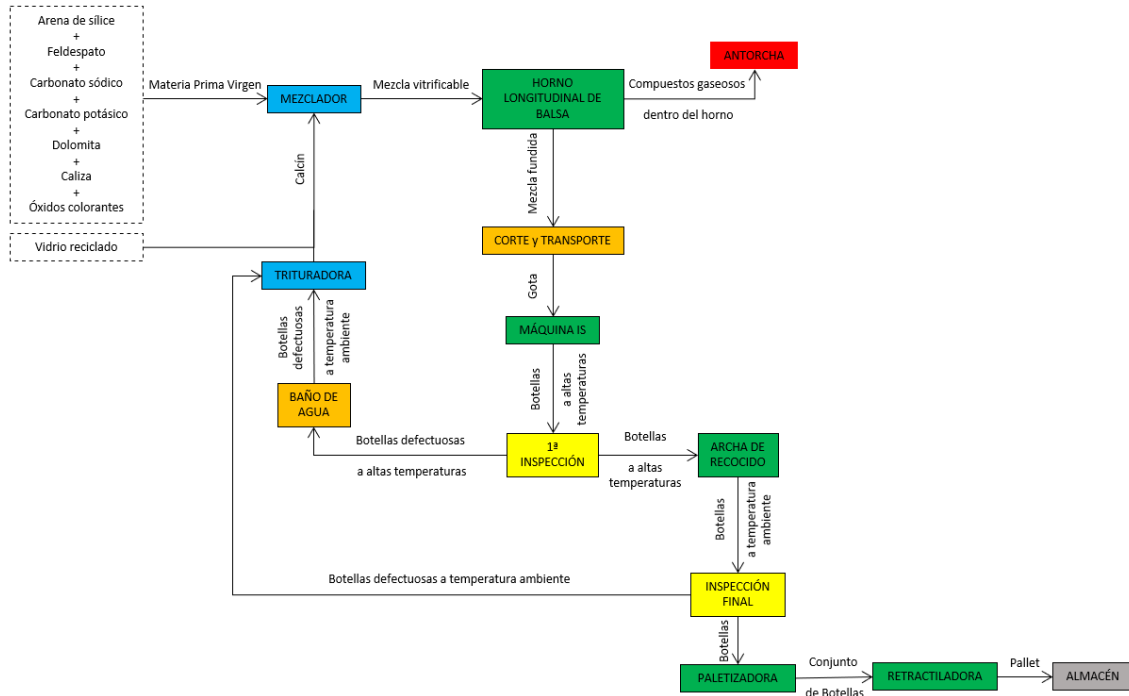


Ilustración 42. Diagrama de flujo del proceso de fabricación

Seguidamente, se explica todo el proceso, tomando como base el PFD.

En primer lugar, la materia prima llega a la fábrica desde distintos lugares y se mezcla, en un mismo silo, para dar lugar a la materia prima virgen. Procediendo de igual forma con los vidrios reciclados, los cuales llegan en camiones y se depositan en silos separados de la materia prima virgen. En este proceso puede perderse parte de ambos reactivos, ya sea en suspensión con el aire o vertiéndose fuera de la entrada al horno.

La boca de carga de los hornos consiste en una estrecha abertura formada por un arco rebajado. La mezcla, de ambos reactivos, cae sobre la base del sistema de alimentación a través de una tolva, a la que llega transportada por una cinta sin fin desde los silos de almacenamiento. La alimentación del horno transcurre de forma continua, regulándose su cadencia en función de la extracción de vidrio, de modo que se mantenga constante el nivel de la cuba, el cual es controlado por un sensor o una aguja palpadora. El sistema mecánico de

carga puede ser por empuje horizontal mediante una pala en movimiento de vaivén, por desplazamiento impulsado por vibración sobre una pequeña rampa inclinada o mediante un tornillo sin fin. [17]

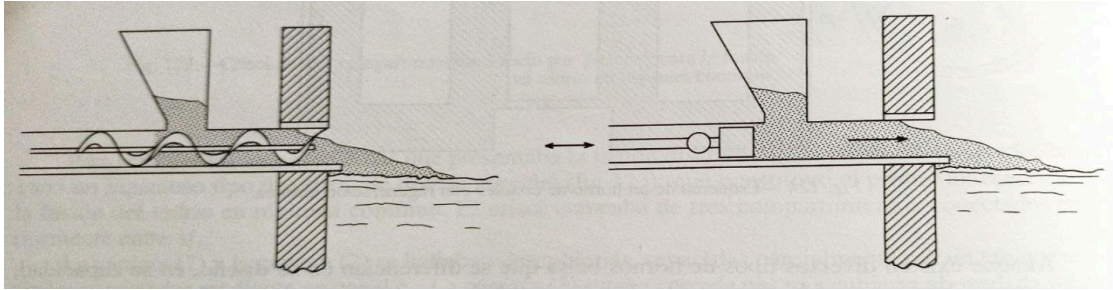


Ilustración 43. Representación esquemática de dos sistemas diferentes de alimentación de un horno. [17]

La mezcla vitrificable se va extendiendo horizontalmente sobre la superficie del vidrio en el proceso de fusión, el cual se produce a 1634°C , formado una delgada capa denominada manta o tapiz de composición. Debe procurarse que no se produzca acumulaciones y que su espesor se mantenga bajo a fin de asegurar su rápida fusión, ya que, de lo contrario, su baja conductividad térmica determinada por su estructura granular y por el aire ocluido, podría actuar como una capa aislante y disminuir el rendimiento térmico. [17]

Este proceso cuenta con tres hornos, los cuales tienen distintos colores, el **Horno T** cuenta con la mezcla transparente, el **Horno V** cuenta con la mezcla verde y el **Horno A** cuenta con la mezcla de color ámbar. Los tres hornos cuentan con 3 líneas de producción cada uno, abriendo la puerta a distintos diseños requeridos por el mercado a lo largo de la vida útil de la fábrica.

Posteriormente, se procede al conformado de la pieza, dando indicaciones para el corte de la gota y marcando las bases del proceso de soplado-soplado.

El comportamiento plástico-viscoso que presentan todos los vidrios a alta temperatura, entre $1500-1300^{\circ}\text{C}$, permite conformados a lo largo de un intervalo térmico más o menos amplio. El vidrio debe acondicionarse térmicamente en la zona de trabajo con objeto de estabilizar su viscosidad, ya que el valor de ésta condiciona no sólo la utilización de los distintos procedimientos de conformación,

sino también la cadencia y el rendimiento de fabricación en los sistemas automáticos. El intervalo de moldeabilidad del “vidrio soplado” está comprendido entre $10^{4.8}$ y 10^6 dPa s. [17]

Además de un valor determinado de la viscosidad, el procedimiento requiere que el vidrio presente una cierta variación de esta magnitud en función de la temperatura. En el proceso de fabricación automática, el vidrio sólo debe permanecer en estado plástico durante los pocos segundos que dura su conformación. Una vez que aquél haya tomado su forma final, debe alcanzar el estado rígido con toda la rapidez que exija su cadencia de fabricación. [17]

De acuerdo con la amplitud del intervalo térmico de moldeabilidad delimitado entre las temperaturas correspondientes a 10^3 y 10^6 dPa s, se acostumbra, según la terminología vidriera, a clasificar a los vidrios en largos y cortos. Si este intervalo es superior a unos 400°C , el vidrio se considera largo y, si es menor, se considera corto. [17]

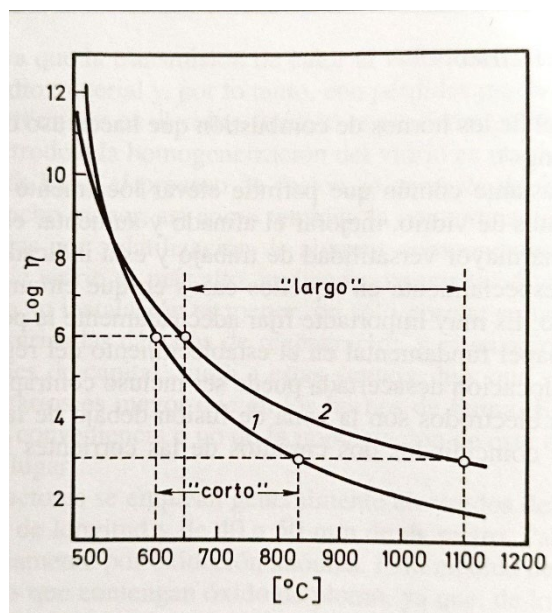


Ilustración 44. Curvas de viscosidad-temperatura de un vidrio corto (1) y un vidrio largo (2) [17]

En las instalaciones se corta el vidrio largo, para poder seguir manipulándolo durante el procedimiento de fabricación elegido, el cual es **vidrio**

huevo soplado-soplado de alimentación por gota, rotación intermitente, Lynch, O'Neill. [17]

El procedimiento transcurre en la "Máquina IS". Las gotas de vidrio caen por gravedad al canal de alimentación y son recogidas por los canales móviles que siguen un orden determinado, conduciendo sucesivamente hacia cada uno de los moldes preliminares cada una de las máquinas (las gotas se encuentran a 1180°C). Estos, colocados en posición invertida, reciben la gota y, a continuación, son obturados por una cabeza sopladora que inyecta un breve golpe de aire a presión para facilitar la penetración de la gota hasta el fondo del premolde, al mismo tiempo que un punzón situado en la parte inferior forma la boca de la botella. En la fase siguiente se retira el punzón y se efectúa una segunda inyección de aire a presión, por la parte inferior del premolde para proyectar el vidrio contra las paredes de aquél formando el preliminar. Un momento después se abre el premolde y un brazo mecánico toma al preliminar por su boca y lo transfiere invirtiendo su posición al molde de acabado. En éste vuelve a calentarse el vidrio aprovechando su propio calor, recibe un nuevo soplado, que le da su forma definitiva, y experimenta un enfriamiento suficiente para evitar cualquier deformación de la pieza que pudiera producirse a su salida del molde. Finalmente, la botella terminada es colocada sobre la cinta transportadora que la conduce al arca de recocido. [17]

La transferencia térmica del vidrio durante su conformación requiere especial atención, si se refiere a la fabricación automática del vidrio hueco, ya que, la tensión superficial llega incluso a constituir un factor limitativo en máquinas de elevada cadencia de producción, ya que, en los escasos segundos en el que el vidrio se halla en contacto con el molde, su temperatura debe descender desde unos 1100°C hasta unos 500°C. [17] Debido a esto último los moldes deben lubricarse periódicamente.

Acto seguido, las botellas entran en el "Arca de recocido" sometiéndose a un proceso de enfriamiento y recocido. En este proceso, las botellas se vuelven a calentar y se enfría lentamente a temperatura ambiente, ya que, el vidrio ha de pasar desde un estado plástico a un estado rígido con la suficiente lentitud para que su estructura se relaje lo más uniformemente posible y adquiera en todos

sus puntos el mismo volumen específico. Si el enfriamiento se conduce inadecuadamente, se producen en su seno tensiones mecánicas que le hacen inservible para casi todas sus aplicaciones, pues no sólo alteran su homogeneidad física y, con ello, muchas de sus propiedades, sino que además constituyen un grave riesgo de rotura. Para las aplicaciones más comunes no se requiere una relajación tan controlada y son tolerables ciertas tensiones residuales, siempre que éstas no excedan y de unos $0,4 \cdot 10^7$ N/m² en las piezas de vidrio hueco. [17]

Además, cuando las botellas están a temperatura ambiente, se les realiza una inspección final, tanto manual como mecánica, siendo esta última la más importante, comprobando que la boca de la botella es correcta y realizando una medida de las tensiones en envases de vidrio utilizando como patrones de referencia una serie de discos de vidrio calibrados, cada uno de los cuales tiene una tensión conocida correspondiente a un retardo óptico de aproximadamente 22,8 nm. [17]

Finalmente, se procede al paletizado y retractilado de los tres tipos de envases por separado. Se apilan los diferentes pallets por orden y se transportan todas las botellas hasta los diferentes puntos de envasados que se tengan acordado con las empresas.

MEMORÍA DE CÁLCULO

DOCUMENTO II



1. CONSUMO DE MATERIA PRIMA Y TIEMPO DE FUNDIDO

El proceso fusión del material, que requiere el presente proyecto, se desarrolla en los **hornos longitudinales de balsa de gran capacidad de producción con calefacción por llama, con el apoyo de electrodos eléctricos.**

El proceso productivo cuenta con tres hornos de diferentes composiciones de colores los cuales tienen capacidad, cada uno, para 400 Tn/día de mezcla. Por tanto, la fábrica necesita 1.200 Tn/día ⇔ **1.200.000 kg/día** de materia prima para poder llevar a cabo la actividad industrial.

Dentro del horno se encuentran diferentes fases, las cuales corresponden a materia prima no fundida y fundida. Cada una de las partes está separada, para que se pueda añadir materia prima sin que afecte al vidrio fundido listo para moldearlo, ya que, el proceso de fundido tarda **32 horas** de media en completarse completamente.

2. DISEÑO DEL HORNO DE GAS CON APOYO ELÉCTRICO

2.1 Balance de materia

En el proceso **no se produce reacción química**, ya que, se trata de una **fusión congruente del $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$** . Además, la industria cuenta con tres hornos de diferentes colores, por tanto, estos deben tener diferente composición de los siguientes compuestos Al_2O_3 , Fe_2O_3 y Cr_2O_3 .

Se toma como referencia de las proporciones de cada compuesto, que influye en la mezcla, de las siguientes tablas.

COMPOSICIÓN EN ÓXIDOS			COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA VITRIFICANTE						
			Partes en peso de materia prima (C _i)						
			66,51 Arena (99,2%SiO ₂)	9,04 Feldespato (65,6%SiO ₂ , 17,8%Oxidos colorantes (Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ y Cr ₂ O ₃) 10,3%Na ₂ O 6,3%K ₂ O)	19,82 Carbonato sódico (Na ₂ CO ₃)	1,86 Carbonato potásico (K ₂ CO ₃)	10,82 Dolomita (21,9% MgO 30,3% CaO)	11,55 Caliza (CaCO ₃)	
Óxido	%Mol a _{mí}	%Peso a _{pi}	% de óxidos incorporado con cada materia prima						
SiO ₂	71,81	71,91	65,98	5,93					Σ=71,91
Al ₂ O ₃	0,95	1,61		1,61					Σ=1,61
Na ₂ O	12,12	12,52		0,93	11,59				Σ=12,52
K ₂ O	1,17	1,84		0,57		1,27			Σ=1,84
MgO	3,52	2,37					2,37		Σ=2,37
CaO	10,43	9,75					3,28	6,47	Σ=9,75
Σ _i	100,00	100,00	Peso de materia prima con referencia a 100 partes de arena (C _i)						Σ=100,00
			100	13,59	29,80	2,80	16,27	17,37	

Tabla 1. Composición de la fabricación de vidrio hueco. [17]

Tipo de vidrio	Óxidos (% peso)		
	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃
Vidrio hueco incoloro	0,3	0,025	0,001
Vidrio hueco ámbar	2,0	0,1	0,02
Vidrio hueco verde	6,0	1,0	0,3

Tabla 2. Porcentaje de óxidos según el tipo de vidrio. [17]

A continuación, se muestran los cálculos de la cantidad suministrada y producida para cada uno de ellos, efectuando de esta manera el balance de materia.

2.1.1 Horno T (vidrio transparente)

En este horno se calcula tanto el % peso de cada uno de los componentes como los kg/día **a la entrada**, teniendo en cuenta, la proporción de los óxidos colorantes, para este tipo de vidrio, siendo de 0,3% Al₂O₃, 0,025% Fe₂O₃ y 0,01% Cr₂O₃.

COMPUESTOS	PESO TOTAL (%)	PESO PURO sobre 100 (%)	MASA PURA (kg/día)	MASA TOTAL (kg/día)
Vidrio reciclado (calcín)	60	99	237.600	240.000
Arena de sílice (SiO ₂)	22,06	99,2	87.534,08	88.240
Feldespatos	3,0	100	12.000	12.000
SiO ₂	1,97	100	7.880	7.880
Al ₂ O ₃	0,53	100	2.120	2.120
Na ₂ O	0,31	100	1.240	1.240
K ₂ O	0,19	100	760	760
Carbonato sódico (Na ₂ CO ₃)	6,57	58,47	15.365,92	26.280
Carbonato potásico (K ₂ CO ₃)	0,61	68,28	1.666,03	2.440
Dolomita (MgO + CaO)	3,60	52,2	7.516,8	14.400
Caliza (CaCO ₃)	3,83	56,02	8.582,26	15.320
Óxidos Colorantes	0,326	100	1.304	1.304
Al ₂ O ₃	0,3	100	1.200	1.200
Fe ₂ O ₃	0,025	100	100	100
Cr ₂ O ₃	0,001	100	4	4
MEZCLA VITRIFICABLE	100	-	370.266,40	400.000

Tabla 3. Compuestos del vidrio transparente.

Como se puede observar el proceso contiene $\frac{370.266,40}{400.000} \cdot 100 = 92,57\%$ de compuesto puro y en consecuente un $100 - 92,57 = 7,43\%$ de impurezas, de las cuales, el 6,43% se forman en estado gaseoso y se queman en la antorcha, y el 1% restante se funde con la mezcla vitrificable.

Por tanto, la mezcla total **a la salida** del horno para la formación de botellas es de $400.000 - 400.000 \cdot 0,0743 = 370.280$ kg/día \Leftrightarrow **135.152.200 kg/año.**

Finalmente, teniendo en cuenta que un 1% de las botellas fabricadas, que no cumplen los estándares de calidad, son recirculadas de nuevo al horno, nos da como resultado una producción de $135.152.200 - 135.152.200 \cdot 0,01 = 133.800.678$ kg/año. Además, la media del peso de las botellas es de 650 g/botella; dando como resultado $\frac{133.800.678}{0,650} =$ **205.847.196 botellas transparentes al año.**

2.1.2 Horno V (vidrio de color verde)

En este horno se calcula tanto el % peso de cada uno de los componentes como los kg/día **a la entrada**, teniendo en cuenta, la proporción de los óxidos colorantes, para este tipo de vidrio, siendo de 2,0% Al_2O_3 , 0,1% Fe_2O_3 y 0,3% Cr_2O_3 .

COMPUESTOS	PESO TOTAL (%)	PESO PURO sobre 100 (%)	MASA PURA (kg/día)	MASA TOTAL (kg/día)
Vidrio reciclado (calcín)	60	99	237.600	240.000
Arena de sílice (SiO_2)	18,18	99,2	72.138,24	72.720
Feldespatos	2,47	100	9.880	9.880
SiO_2	1,62	100	6.480	6.480
Al_2O_3	0,44	100	1.760	1.760
Na_2O	0,25	100	1.000	1.000
K_2O	0,16	100	640	640
Carbonato sódico (Na_2CO_3)	5,42	58,47	12.676,30	21.680
Carbonato potásico (K_2CO_3)	0,51	68,28	1.392,91	2.040
Dolomita ($\text{MgO} + \text{CaO}$)	2,96	52,2	6.180,48	11.840
Caliza (CaCO_3)	3,16	56,02	7.080,93	12.640
Óxidos Colorantes	7,3	100	29.200	29.200
Al_2O_3	6,0	100	24.000	24.000
Fe_2O_3	1,0	100	4.000	4.000
Cr_2O_3	0,3	100	1.200	1.200
MEZCLA VITRIFICABLE	100	-	376.148,86	400.000

Tabla 4. Compuestos del vidrio de color verde.

Como se puede observar el proceso contiene $\frac{376.148,86}{400.000} \cdot 100 = 94,04\%$ de compuesto puro y en consecuente un $100 - 94,04 = 5,96\%$ de impurezas, de las cuales, el $5,10\%$ se forman en estado gaseoso y se queman en la antorcha, y el $0,86\%$ restante se funde con la mezcla vitrificable.

Por tanto, la mezcla total **a la salida** del horno para la formación de botellas es de $400.000 - 400.000 \cdot 0,051 = 379.600$ kg/día \Leftrightarrow **138.554.000 kg/año.**

Finalmente, teniendo en cuenta que un 1% de las botellas fabricadas, que no cumplen los estándares de calidad, son recirculadas de nuevo al horno, nos da como resultado una producción de $138.554.000 - 138.554.000 \cdot 0,01 = 137.168.460$ kg/año. Además, la media del peso de las botellas es de 650 g/botella; dando como resultado $\frac{137.168.460}{0,650} =$ **211.028.400 botellas de color verde al año.**

2.1.3 Horno A (vidrio de color ámbar)

En este horno se calcula tanto el % peso de cada uno de los componentes como los kg/día **a la entrada**, teniendo en cuenta, la proporción de los óxidos colorantes, para este tipo de vidrio, siendo de 6,0% Al_2O_3 , 1,0% Fe_2O_3 y 0,3% Cr_2O_3 .

COMPUESTOS	PESO TOTAL (%)	PESO PURO sobre 100 (%)	MASA PURA (kg/día)	MASA TOTAL (kg/día)
Vidrio reciclado (calcín)	60	99	239.760	240.000
Arena de sílice (SiO_2)	21,06	99,2	83.566,08	84.240
Feldespatos	2,86	100	11.440	11.440
SiO_2	1,88	100	7.520	7.520
Al_2O_3	0,51	100	2.040	2.040
Na_2O	0,29	100	1.160	1.160
K_2O	0,18	100	720	720
Carbonato sódico (Na_2CO_3)	6,28	58,47	14.687,66	25.120
Carbonato potásico (K_2CO_3)	0,59	68,28	1.611,41	2.360
Dolomita ($\text{MgO} + \text{CaO}$)	3,43	52,2	7.161,84	13.720
Caliza (CaCO_3)	3,66	56,02	8.201,33	14.640
Óxidos Colorantes	2,12	100	8.480	8.480
Al_2O_3	2,0	100	8.000	8.000
Fe_2O_3	0,1	100	400	400
Cr_2O_3	0,02	100	80	80
MEZCLA VITRIFICABLE	100	-	374.908,32	400.000

Tabla 5. Compuestos del vidrio de color ámbar.

Como se puede observar el proceso contiene $\frac{374.908,32}{400.000} \cdot 100 = 93,73\%$ de compuesto puro y en consecuente un $100 - 93,73 = 6,27\%$ de impurezas, de las cuales, el 5,27% se forman en estado gaseoso y se queman en la antorcha, y el 1% restante se funde con la mezcla vitrificable.

Por tanto, la mezcla total **a la salida** del horno para la formación de botellas es de $400.000 - 400.000 \cdot 0,0527 = 378.920$ kg/día \Leftrightarrow **138.305.800 kg/año.**

Finalmente, teniendo en cuenta que un 1% de las botellas fabricadas, que no cumplen los estándares de calidad, son recirculadas de nuevo al horno, nos da como resultado una producción de $138.305.800 - 138.305.800 \cdot 0,01 = 136.922.742$ kg/año. Además, la media del peso de las botellas es de 650 g/botella; dando como resultado $\frac{136.922.742}{0,650} =$ **210.650.372 botellas de color ámbar al año.**

2.2 Balance de energía

Se parte de la base de que los tres hornos son alimentados por el mismo combustible y que tienen el mismo tonelaje de material vitrificantes, además de que, tienen las mismas dimensiones. Sin embargo, como se observa en el balance de materia la cantidad de reactivo cambia, por tanto, la cantidad de energía necesaria no es la misma para todos los hornos.

Como se indicó en apartados anteriores, los hornos longitudinales de balsa son calentados a partir de una reacción de combustión con apoyo de energía eléctrica, por tanto, la energía requerida por el sistema será compartida entre ambas fuentes. Dado que, la energía eléctrica sirve para un calentamiento más uniforme de la mezcla, está demandará únicamente un 20% de la energía total, dejando el 80% restante a la fuente principal, la **reacción de combustión con gas natural**.

La expresión general del balance de energía es **Acumulación = Entrada – Salida**. No existe el término de generación, puesto que, como enuncia el “*Principio de Conservación de la Energía*”, la energía ni se crea ni se destruye, solo se transforma.

La expresión descrita anteriormente se aplica en el proyecto de la siguiente forma: **Acumulación (Q Útil) = Entrada (Q Alimentación) - Salida (Q Pérdidas)**. Como se observa, el proceso no es adiabático y se necesita que la energía se mantenga en el interior del horno, por este motivo la salida son perdidas.

Expresión empleada:

$$Q_{ALIMENTACIÓN} = Q_{ÚTIL} + Q_{PÉRDIDAS} [1]$$

Siendo:

- $Q_{ALIMENTACIÓN}$: Calor necesario aportado por las diferentes fuentes que intervienen en el proceso.
- $Q_{ÚTIL}$: Calor necesario para que se dé lugar la fusión congruente de la materia prima.
- $Q_{PÉRDIDAS}$: Calor que se pierde en las paredes del horno.

La guía para la resolución del balance de materia es la siguiente:

- 1.- Cálculo del calor sensible y el calor latente, para obtener el calor útil.
- 2.- Obtención de las pérdidas de calor producidas por las paredes del horno.
- 3.- Una vez obtenido el calor de alimentación, se estimará la energía necesaria para cada una de las fuentes y finalmente.

HORNO T

Q ÚTIL

El calor útil corresponde al sumatorio del calor sensible y el calor latente:

$$Q_{\text{ÚTIL}} = \Sigma Q_{\text{SENSIBLE}} + \Sigma Q_{\text{LATENTE}} [2]$$

Por un lado, se tiene el calor sensible (calor absorbido por las sustancias para que incrementen su temperatura):

$$Q_{\text{SENSIBLE}} = m \cdot C_p \cdot \Delta T [3]$$

Siendo:

- m: masa de la mezcla.
- C_p : calor específico medio de las sustancias.
- ΔT : Diferencia de temperatura final e inicial. $\Delta T = T_2 - T_1$

Por otro lado, se tiene el calor latente (calor necesario para que se efectuó un cambio de estado):

$$Q_{\text{LATENTE}} = m \cdot L [4]$$

Siendo:

- m: masa de la mezcla.
- L: calor latente de las sustancias.

MATERIA PRIMA EN LA Balsa	Peso (%)	Masa [kg/día]	T ₁ [K]	T ₂ [K]	T ₃ [K]	C _p [kJ/(kg/K)]	L [kJ/kg]	Q _{S1} [kJ/día]	Q _{S2} [kJ/día]	Q _L [kJ/día]	Q _{TOTAL} [kJ/día]
Vidrio reciclado (calcín)	60	240.000	298,15	1.673,15	1.907,15	0,84	90	277.200.000	47.174.400,00	21600000	345.974.400,00
Arena de sílice (SiO ₂)	22,06	88.240	298,15	1.996,15	1.907,15	0,75	109	112.373.640	-	9618160	121.991.800,00
Feldespato	3,00	12.000	-	-	-	-	-	16.110.925,20	1.134.910,00	889920	18.135.755,20
SiO ₂	1,97	7.880	298,15	1.996,15	1.907,15	0,75	109	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	0,53	2.120	298,15	2.345,15	1.907,15	0,88	1.091	-	-	-	-
Na ₂ O	0,31	1.240	298,15	1.548,15	1.907,15	1,13	505	-	-	-	-
K ₂ O	0,19	760	298,15	1.013,15	1.907,15	0,93	347	-	-	-	-
Carbonato sódico (Na ₂ CO ₃)	6,57	26.280	298,15	1.124,15	1.907,15	1,06	277	23.009.716,80	21.811.874,40	7279560	52.101.151,20
Carbonato potásico (K ₂ CO ₃)	0,61	2.440	298,15	1.164,15	1.907,15	1,34	235	2.831.473,60	2.429.312,80	573400	5.834.186,40
Dolomita (MgO + CaO)	3,60	14.400	298,15	1.841,15	1.907,15	0,85	819	18.886.320	807.840,00	11793600	31.487.760,00
Caliza (CaCO ₃)	3,83	15.320	298,15	1.612,15	1.907,15	0,84	726	16.909.603,20	3.796.296,00	11122320	31.828.219,20
Óxidos Colorantes	0,326	1.304	-	-	-	-	-	2.235.270	3.105,00	84700	2.323.075,00
Al ₂ O ₃	0,300	1.200	298,15	2.345,15	1.907,15	0,88	1.091	-	-	-	-
Fe ₂ O ₃	0,025	100	298,15	1.838,15	1.907,15	0,45	847	-	-	-	-
Cr ₂ O ₃	0,001	4	298,15	2.708,15	1.907,15	0,45	1.367	-	-	-	-
AIRE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aire	100	133.333,33	298,15	54,35	1.907,15	1,01	-	-	248.275.193,79	-	248.275.193,79
HORNO T									SUMA [kJ/día] = 857.951.540,79		
									Calor útil para 24 horas [kW] = 9.929,99		

Los parámetros de la tabla significan lo siguiente:

- T_1 : Temperatura de los diferentes compuestos a la entrada del horno.
- T_2 : Temperatura de fusión de cada uno de los compuestos.
- T_3 : Temperatura a la salida del horno.
- C_p : Capacidad calorífica de cada uno de los compuestos.
- L : Calor latente, por unidad de masa, de cada uno de los compuestos.
- Q_{s1} : Calor sensible hasta que los compuestos alcanzan la temperatura de fusión.
- Q_{s2} : Calor sensible desde la temperatura de fusión, hasta que los compuestos salen del horno.
- Q_L : Calor latente de cada uno de los compuestos.
- Q_T : Suma de los calores sensibles y del calor latente de cada compuesto.

Q PÉRDIDAS

Para calcular las pérdidas de energía dentro del horno, debemos conocer las pérdidas producidas por conducción, convección y radiación que puedan sufrir cada una de las paredes de material refractario recubierta por ladrillos de sílice que tiene el horno. Atendiendo a la siguiente ecuación genérica:

$$Q_{PÉRDIDAS\ TOTALES} = Q_{PÉRDIDAS\ SUELO} + Q_{PÉRDIDAS\ CUBIERTA} \quad [5]$$

El suelo, se considera toda la parte en contacto con la mezcla vitrificante, está recubierta por material refractario de trabajo, material refractario de seguridad; ambos son diferentes tipos de ladrillos de sílice y recubiertos por una carcasa (chapa metálica de acero). La cubierta, se considera toda la parte en contacto con la bolsa de aire y compuestos gaseosos, está recubierta por material refractario de seguridad y carcasa (chapa metálica de acero).

En todo el apartado de pérdidas se usa las “*Tablas, Gráficas y Ecuaciones de Transmisión de Calor*”. [40]

Datos a tener en cuenta

➔ Dimensiones del **horno cilíndrico**.

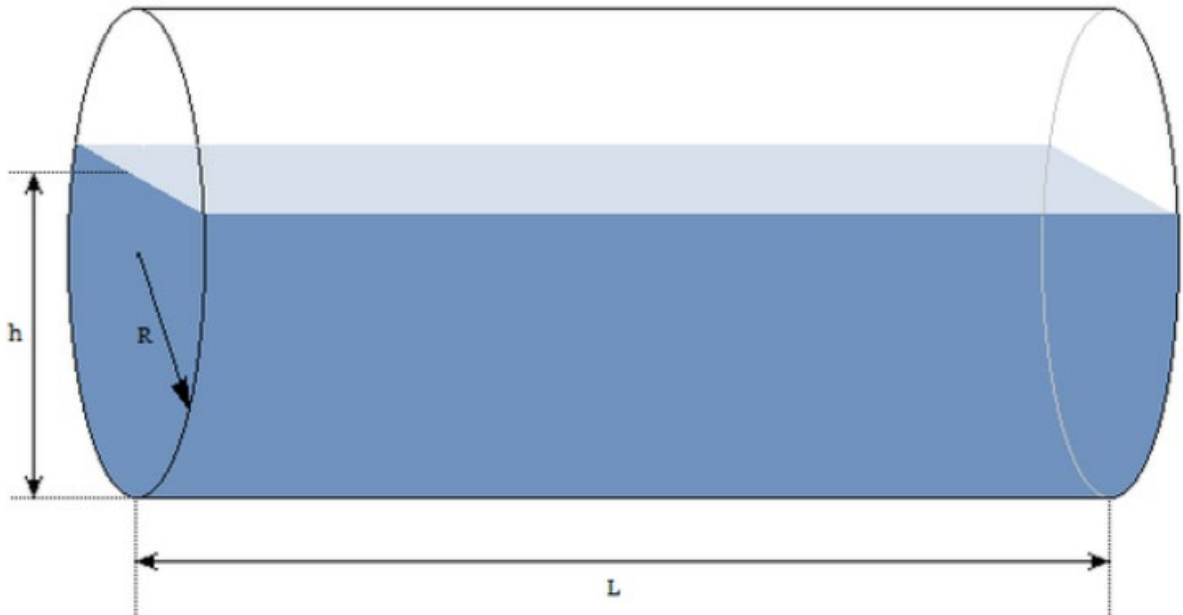


Ilustración 1. Horno cilíndrico

Siendo L (Largo) = 10m || R (Radio) = 3m || h (altura de llenado) = 4,3 m.

Cálculos previos para la obtención de estas dimensiones:

-Dimensiones totales: Volumen necesario, para un llenado del 75%,
 $400\text{tn}/1.55\text{tn}/\text{m}^3 = 258,06 \text{ m}^3 \rightarrow \text{Largo (10m)} \times \text{Radio (3m)} \rightarrow 282,74 \text{ m}^3$.

-Dimensiones de llenado: Largo (10m) x Altura de llenado (4,3m). Estas dimensiones son el 75% del total.

→ 216,70 m³

⇒ Nota: Todos los datos de temperatura necesarios para el cálculo, han sido suministrados por una empresa, líder en el sector, de fabricación de botellas de vidrio.

→ Temperaturas y materiales del suelo.

Parámetros	Descripción	Temperatura [K]	Material	ESPESOR [m]	Coefficiente de conductividad térmica [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
T ₁	Temperatura de la mezcla	1.907,15	-	-	-
T ₂	Temperatura del refractario de trabajo	1.407,15	Refractario de trabajo	0,30	1,07
T ₃	Temperatura del refractario de seguridad	407,15	Refractario de seguridad	0,50	1,9
T ₄	Temperatura de la carcasa de acero	410,15	Chapa de acero	0,10	15
T ₅	Temperatura ambiente	313,15	-	-	-

Tabla 6. Temperatura y materiales del suelo y paredes laterales

→ Temperaturas y materiales de la cubierta.

Parámetros	Descripción	Temperatura [K]	Material	ESPESOR [m]	Coefficiente de conductividad térmica [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]
T ₁	Temperatura de la mezcla vitrificante	1.907,15	-	-	-
T ₂	Temperatura dentro del horno	1.807,15	-	-	-
T ₃	Temperatura del refractario de seguridad	357,15	Refractario de seguridad	0,80	1,9
T ₄	Temperatura de la carcasa	360,15	Chapa de acero	0,10	15
T ₅	Temperatura ambiente	313,15	-	-	-

Tabla 7. Temperatura y materiales de la cubierta

→ Pérdidas de calor en el suelo del horno.

En esta parte del horno, se tienen en cuenta las pérdidas por conducción y convección.

Conducción en ambas secciones de las bases

Para determinar las pérdidas por conducción, se usa la siguiente expresión algebraica:

$$Q_{\text{CONDUCCIÓN}} = \frac{T_1 - T_4}{\sum \frac{e_i}{K_i \cdot A}} [6]$$

Siendo:

- T_1 : Temperatura en la cara interior de la pared del suelo.
- T_4 : Temperatura de la cara exterior correspondiente a la carcasa metálica.
- e_i : Espesor de cada una de las capas que forman la pared del suelo.
- K_i : Coeficiente de conductividad térmica
- A : Área del suelo del horno.

El resultado de esta ecuación es la pérdida de carga en una de las caras, por tanto, al final del cálculo, se multiplica por 2.

Cálculo de la sección llena en la cara del horno cilíndrico.

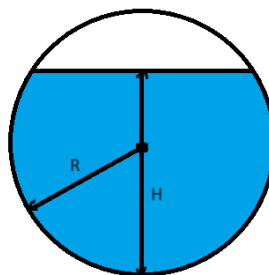


Ilustración 2. Sección de una de las caras del horno.

Área de la circunferencia completa:

$$A_1 = \pi \cdot R^2 = \pi \cdot 3^2 = 28,27 \text{ m}^2$$

Área de la sección no coloreada en la ilustración 2:

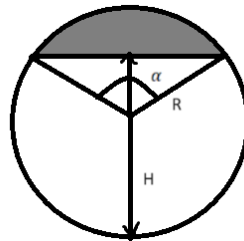


Ilustración 3. Sección de una de las caras del horno.

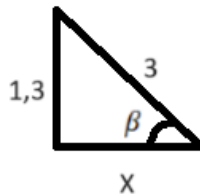


Ilustración 4. Triángulo rectángulo debajo de la sección.

$$3^2 = x^2 + 1,3^2 \rightarrow x = 2,70 \text{ m}$$

$$\beta = \arcsen\left(\frac{1,30}{3}\right) = 25,68^\circ$$

$$\alpha = 180 - 25,68 - 25,68 = 128,64^\circ$$

$$A_2 = \frac{\pi \cdot R^2 \cdot \alpha}{360^\circ} - \frac{2x \cdot (H - R)}{2} = \frac{\pi \cdot 3^2 \cdot 128,64^\circ}{360^\circ} - \frac{2 \cdot 2,7 \cdot 1,3}{2}$$

$$\rightarrow A_2 = 6,60 \text{ m}^2$$

El área de llenado es de $A_{\text{llenado}} = A_1 - A_2 = 21,67 \text{ m}^2$.

Resolución:

$$Q_{\text{CONDUCCIÓN}} = \frac{1907,15 - 410,15}{\frac{0,30}{1,07 \cdot 21,67} + \frac{0,50}{1,9 \cdot 21,67} + \frac{0,10}{15 \cdot 21,67}} = 58.960,53 \text{ W}$$

$$Q_{\text{CONDUCCIÓN}} \text{ de ambas caras} = 58.960,53 \cdot 2 = 117.921,06 \text{ W}$$

Conducción del cuerpo del reactor, sin tener en cuenta las bases

El cuerpo del horno, presenta la peculiaridad de que el calor fluye desde el interior de la mezcla, hacia el cuerpo en una dirección radial, pudiéndose considerar como paredes planas.

$$Q_{\text{CONDUCCIÓN}} = \frac{2\pi L \cdot (T_1 - T_4)}{\frac{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}{K_A} + \frac{\ln\left(\frac{R_3}{R_2}\right)}{K_B} + \frac{\ln\left(\frac{R_4}{R_3}\right)}{K_C}} \quad [7]$$

Siendo:

- T_1 : Temperatura de la mezcla vitrificante.
- T_4 : Temperatura de la carcasa metálica.
- L : Longitud del horno.
- R_1 : Radio del horno hasta la superficie de la primera capa.
- R_2 : Radio del horno hasta la superficie de la segunda capa.
- R_3 : Radio del horno hasta la superficie de la tercera capa.
- R_4 : Radio del horno hasta la superficie final.
- K_A : Coeficiente de conductividad térmica de la primera capa.
- K_B : Coeficiente de conductividad térmica de la segunda capa.
- K_C : Coeficiente de conductividad térmica de la tercera capa.

Resolución:

$$Q_{\text{CONDUCCIÓN}} = \frac{2\pi \cdot 10 \cdot (1907,15 - 410,15)}{\frac{\ln\left(\frac{3,3}{3}\right)}{1,07} + \frac{\ln\left(\frac{3,8}{3,3}\right)}{1,9} + \frac{\ln\left(\frac{3,9}{3,8}\right)}{15}} = 569.854,13 \text{ W}$$

Convección en ambas secciones de las bases

La convección se produce en el seno del fluido, debido a los movimientos de masa que se desarrollan en el mismo.

Siguiendo la ecuación:

$$Q_{\text{CONVECCIÓN}} = h_{CV} \cdot A \cdot (T_4 - T_5) \quad [8]$$

Siendo:

- h_{CV} : coeficiente de película convectivo.
- A : Área de llenado.

- T_4 : Temperatura de la carcasa metálica.
- T_5 : Temperatura ambiente.

Para resolver esta ecuación, necesitamos calcular el coeficiente de película convectivo.

En el caso del suelo del horno, atendiendo a la colección de “*Tablas, Gráficas y Ecuaciones de Transmisión de Calor*”. Se considera correlaciones convección libre y flujo externo, correspondiente a la correlación número 34 de McAdams.

$$\overline{N_{uL}} = C Ra_L^n \quad [9]$$

Siendo:

- C: Coeficiente propio de la correlación de McAdams.
- N: Coeficiente propio de la correlación de McAdams.
- Ra es el número de Rayleigh.

Expresión del número de Rayleigh:

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot T_{mp} \cdot L_c^3}{\alpha \cdot \nu} \quad [10]$$

Siendo:

- g: Gravedad.
- β : Coeficiente de expansión volumétrica.
- T_{mp} : Temperatura media de película.
- L_c : Longitud característica.
- α : Difusividad térmica.
- ν : Viscosidad cinemática.

Parámetro	Descripción	Temperatura [K]
T ₄	Temperatura de la carcasa	410,15
T ₅	Temperatura del ambiente	313,15
T _{mp}	Temperatura media de película	361,65

Tabla 8. Temperatura

De igual forma es necesario el número de Nusselt:

$$N_{uL} = \frac{h_{cv} \cdot L_c}{K_f} \quad [11]$$

Siendo:

- h: Coeficiente de película convectivo.
- L_c: Longitud característica.
- K_f: Conductividad térmica del aire.

Datos necesarios para la resolución del conjunto de ecuaciones:

Parámetros del aire a una temperatura de 60°C	
α [m ² ·s ⁻¹]	2,72e-05
ν [m ² ·s ⁻¹]	1,92e-05
K _f [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	0,0264
β [K ⁻¹]	0,0031
g [m·s ⁻²]	9,81
L _c [m]	4,3

Tabla 9. Condiciones del aire 60°C

Sustituyendo en la ecuación del número de Rayleigh:

$$Ra = \frac{9,81 \cdot 0,0031 \cdot 361,65 \cdot 4,3^3}{2,7e-05 \cdot 1,94e-05} = 1,70e12 \rightarrow \text{Flujo Turbulento}$$

TIPO DE FLUJO	Ra _L	C	n
LAMINAR	10 ⁴ -10 ⁹	0,59	1/4
TURBULENTO	10 ⁹ -10 ¹³	0,10	1/3

Tabla 10. Ra_L según el tipo de flujo

Finalmente, se halla el coeficiente de película convectivo y el calor de convección correspondiente con las diferentes ecuaciones:

$$\overline{N_{uL}} = 0,1 \cdot 1,70e12^{\frac{1}{3}} [9] \leftrightarrow N_{uL} = \frac{h_{CV} \cdot 3}{0,0264} [11]$$

$$h_{CV} = 10,50$$

$$Q_{CONVECCIÓN} = 10,50 \cdot 21,67 \cdot (410,15 - 313,15) [8]$$

$$Q_{CONVECCIÓN} = 2(caras) \cdot 22.070,90 = 44.141,79 W$$

Convección del cuerpo del reactor, sin tener en cuenta las bases

Por un lado, se ha de comprobar si el mecanismo de convección se puede considerar como paredes laterales. Para ello, debe cumplirse la siguiente condición:

$$D \geq \frac{35L}{Gr_L^{\frac{1}{4}}} [12]$$

Siendo:

- D: Diámetro.
- L: Longitud.
- Gr_L : Número de Grashof

Asimismo, la ecuación del cálculo del número de Grashof es:

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_4 - T_5) \cdot Lc^3}{\nu^2} [13]$$

Siendo:

- G: Gravedad.
- β : Coeficiente de expansión volumétrica.
- T_4 : Temperatura de la carcasa.
- T_5 : Temperatura ambiente.
- Lc: Longitud característica.
- ν : Viscosidad cinemática.

En el caso de cumplirse la ecuación planteada, las paredes laterales del cilindro, pueden considerarse como planas.

$$Gr = \frac{9,8 \cdot 0,0031 \cdot (410,15 - 313,15) \cdot 10^3}{1,94e-5^2} [13]$$

$$Gr = 7,83e12$$

$$6 = D \geq \frac{35 \cdot 10}{7,83e12^{\frac{1}{4}}} = 0,21 [12]$$

Se cumple la desigualdad, por tanto, las paredes del cilindro pueden ser consideradas como paredes planas.

Consecuentemente, atendiendo a la colección de “*Tablas, Gráficas y Ecuaciones de Transmisión de Calor*”. La correlación número 38 de convección libre y flujo externo es la más apropiada.

$$\overline{N_{uL}} = C Ra_L^n [14]$$

Siendo:

- C: Coeficiente propio de la correlación de McAdams.
- N: Coeficiente propio de la correlación de McAdams.
- Ra es el número de Rayleigh.

Expresión del número de Rayleigh:

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot T_{mp} \cdot L_c^3}{\alpha \cdot \nu} [10]$$

Siendo:

- g: Gravedad.
- β : Coeficiente de expansión volumétrica.
- T_{mp} : Temperatura media de película.
- L_c : Longitud característica.
- α : Difusividad térmica.
- ν : Viscosidad cinemática.

Parámetro	Descripción	Temperatura [K]
T ₄	Temperatura de la carcasa	410,15
T ₅	Temperatura del ambiente	313,15
T _{mp}	Temperatura media de película	361,65

Tabla 8. Temperatura

De igual forma es necesario el número de Nusselt:

$$N_{uL} = \frac{h_{cv} \cdot L_c}{K_f} \quad [11]$$

Siendo:

- h: Coeficiente de película convectivo.
- L_c: Longitud característica.
- K_f: Conductividad térmica del aire.

Datos necesarios para la resolución del conjunto de ecuaciones:

Parámetros del aire a una temperatura de 60°C	
α [m ² ·s ⁻¹]	2,72e-05
ν [m ² ·s ⁻¹]	1,92e-05
K _f [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	0,0264
β [K ⁻¹]	0,0031
g [m·s ⁻²]	9,81
L _c [m]	L _c =A _s /P=121,10/44,22=2,73 m

Tabla 11. Condiciones del aire 60°C

Dado que la longitud característica es diferente en este caso y que solo se calcula la superficie y perímetro de llenado. Se calcula el arco de la circunferencia correspondiente, que da lugar al ancho del cilindro y se calcula de la siguiente forma:

$$L = \frac{2\pi \cdot R \cdot \alpha}{360} = \frac{2\pi \cdot 3 \cdot (360 - 128,64)}{360} = 12,11 \text{ m} \quad [15]$$

$$A_s = 12,11 \cdot 10 = 121,10 \text{ m}^2 \quad || \quad P = 12,11 \cdot 2 + 10 \cdot 2 = 44,22 \text{ m}$$

Sustituyendo en la ecuación del número de Rayleigh:

$$Ra = \frac{9,81 \cdot 0,0031 \cdot 361,65 \cdot 2,73^3}{2,7e-05 \cdot 1,94e-05} = 4,27e11 \rightarrow \text{Flujo Turbulento}$$

TIPO DE FLUJO	Ra _L	C	n
LAMINAR	10 ⁴ -10 ⁷	0,54	1/4
TURBULENTO	10 ⁷ -10 ¹¹	0,15	1/3

Tabla 12. Ra_L según el tipo de flujo

Finalmente, se halla el coeficiente de película convectivo y el calor de convección correspondiente con las diferentes ecuaciones:

$$\overline{N_{uL}} = 0,15 \cdot 4,27e11^{\frac{1}{3}} [9] \leftrightarrow N_{uL} = \frac{h_{CV} \cdot 2,73}{0,0264} [11]$$

$$h_{CV} = 10,92$$

$$Q_{\text{CONVECCIÓN}} = 10,92 \cdot 121,10 \cdot (410,15 - 313,15) [8]$$

$$Q_{\text{CONVECCIÓN}} = 128.273,96 \text{ W}$$

Después de todos los cálculos realizados, se puede cuantificar todas las pérdidas de calor del suelo.

Q _{CONDUCCIÓN}	117.921,06 + 569.854,13 W
Q _{CONVECCIÓN}	44.141,79 + 128.273,96 W
Q _{SUELO}	860.190,94 W

Tabla 13. Sumatorio de pérdidas del suelo

→ Pérdidas de calor en la cubierta del horno.

En esta parte del horno, se tienen en cuenta las pérdidas por conducción, convección y radiación

Radiación en toda la cubierta

Para determinar las pérdidas por radiación, se usa la siguiente expresión algebraica:

$$Q_{\text{RADIACIÓN}} = J_1 - F_{12} \cdot J_2 \quad [16]$$

Siendo:

- J_1 : Radiosidad del cuerpo 1.
- F_{12} : Factor de forma del cuerpo 2 sobre el 1.
- J_2 : Radiosidad del cuerpo 2

Ecuaciones para el cálculo de las radiosidades de cada cuerpo:

$$J_1 = \varepsilon_1 \cdot \sigma \cdot T_1^4 + (1 - \varepsilon_1) \cdot J_2 \cdot F_{21} \quad [17]$$

$$J_2 = \varepsilon_2 \cdot \sigma \cdot T_2^4 + (1 - \varepsilon_2) \cdot J_1 \cdot F_{12} \quad [18]$$

Siendo:

- σ : Constante de Stefan-Boltzmann.
- ε_1 : Emisividad del cuerpo 1.
- ε_2 : Emisividad del cuerpo 2.
- T_1 : Temperatura del cuerpo 1.
- T_2 : Temperatura del cuerpo 2.
- F_{21} : Factor de forma del cuerpo 2 sobre el 1.
- F_{12} : Factor de forma del cuerpo 1 sobre el 2.

El estudio de la pérdida de calor por radiación se efectúa entre la superficie de la mezcla vitrificante, denominándose cuerpo 1, y la superficie de la cubierta (ladrillos de sílice), denominándose cuerpo 2.

Parámetros	Cuerpo 1	Cuerpo 2
Constante de Stefan-Boltzman [W/m ² K ⁴]	5,67e-8	
Temperatura [K]	1.907,15	1.807,15
Emisividad	0,97	0,8
Factor de forma 1 sobre 2 (F ₁₂)	0,75	
Factor de forma 2 sobre 1 (F ₂₁)	0,75	
J ₁ [WK ³ /m ²]	740.988,46	
J ₂ [WK ³ /m ²]	594.930,43	

Tabla 14. Tabla de datos necesarios para el calor perdido por radiación.

$$Q_{\text{RADIACIÓN}} = 740.988,46 - 0,75 \cdot 594.930,43 \quad [16]$$

$$Q_{\text{RADIACIÓN}} = 294.790,64 \text{ W}$$

Conducción en una sección de las bases

Se considera que una de las caras no conlleva pérdidas de calor de ningún tipo, puesto que, en esa zona se disponen los quemadores.

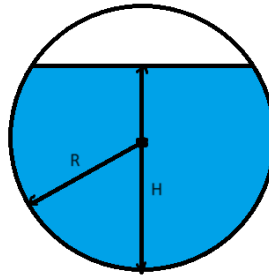
Para determinar las pérdidas por conducción, se usa la siguiente expresión algebraica:

$$Q_{\text{CONDUCCIÓN}} = \frac{T_2 - T_4}{\sum \frac{e_i}{K_i \cdot A}} \quad [6]$$

Siendo:

- T₂: Temperatura dentro del horno.
- T₄: Temperatura de la cara exterior correspondiente a la carcasa metálica.
- e_i: Espesor de cada una de las capas que forman la pared de la cubierta.
- K_i: Coeficiente de conductividad térmica
- A: Área de la cubierta del horno.

Cálculo de la sección sin mezcla vitrificante en la cara del horno cilíndrico.



Área de la sección no coloreada:

Como se indica en las pérdidas del suelo $\rightarrow A = 6,60 \text{ m}^2$

Resolución:

$$Q_{\text{CONDUCCIÓN}} = \frac{1807,15 - 360,15}{\frac{0,80}{1,9 \cdot 6,60} + \frac{0,10}{15 \cdot 6,60}} = 22.328,19 \text{ W}$$

Conducción del cuerpo del reactor, sin tener en cuenta las bases

El cuerpo del horno, presenta la peculiaridad de que el calor fluye desde la bolsa de aire caliente, hacia el cuerpo en una dirección radial, pudiéndose considerar como paredes planas.

$$Q_{\text{CONDUCCIÓN}} = \frac{2\pi L \cdot (T_2 - T_4)}{\frac{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}{K_A} + \frac{\ln\left(\frac{R_3}{R_2}\right)}{K_B}} \quad [7]$$

Siendo:

- T_2 : Temperatura dentro del horno.
- T_4 : Temperatura de la carcasa metálica.
- L : Longitud del horno.
- R_1 : Radio desde la superficie de la mezcla hasta la superficie de la primera capa.
- R_2 : Radio desde la superficie de la mezcla hasta la superficie de la segunda capa.
- R_3 : Radio desde la superficie de la mezcla hasta la superficie final.

- K_A : Coeficiente de conductividad térmica de la primera capa.
- K_B : Coeficiente de conductividad térmica de la segunda capa.

Resolución:

$$Q_{\text{CONDUCCIÓN}} = \frac{2\pi \cdot 10 \cdot (1807,15 - 360,15)}{\frac{\ln\left(\frac{3,1}{2,3}\right)}{1,9} + \frac{\ln\left(\frac{3,2}{3,1}\right)}{15}} = 571.025,91 \text{ W}$$

Convección en ambas secciones de las bases

Siguiendo la ecuación:

$$Q_{\text{CONVECCIÓN}} = h_{\text{CV}} \cdot A \cdot (T_4 - T_5) \quad [8]$$

Siendo:

- h_{CV} : coeficiente de película convectivo.
- A : Área de la bolsa de aire.
- T_4 : Temperatura de la carcasa metálica.
- T_5 : Temperatura ambiente.

Para resolver esta ecuación, necesitamos calcular el coeficiente de película convectivo.

En el caso del suelo del horno, atendiendo a la colección de “*Tablas, Gráficas y Ecuaciones de Transmisión de Calor*”. Se considera correlaciones convección libre y flujo externo, correspondiente a la correlación número 34 de McAdams.

$$\overline{N_{uL}} = C Ra_L^n \quad [9]$$

Siendo:

- C : Coeficiente propio de la correlación de McAdams.
- N : Coeficiente propio de la correlación de McAdams.
- Ra es el número de Rayleigh.

Expresión del número de Rayleigh:

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot T_{mp} \cdot L_c^3}{\alpha \cdot \nu} [10]$$

Siendo:

- g: Gravedad.
- β : Coeficiente de expansión volumétrica.
- T_{mp} : Temperatura media de película.
- L_c : Longitud característica.
- α : Difusividad térmica.
- ν : Viscosidad cinemática.

Parámetro	Descripción	Temperatura [K]
T_4	Temperatura de la carcasa	360,15
T_5	Temperatura del ambiente	313,15
T_{mp}	Temperatura media de película	336,65

Tabla 15. Temperatura

De igual forma es necesario el número de Nusselt:

$$Nu_L = \frac{h_{cv} \cdot L_c}{K_f} [11]$$

Siendo:

- h: Coeficiente de película convectivo.
- L_c : Longitud característica.
- K_f : Conductividad térmica del aire.

Datos necesarios para la resolución del conjunto de ecuaciones:

Parámetros del aire a una temperatura de 60°C	
α [$m^2 \cdot s^{-1}$]	2,72e-05
ν [$m^2 \cdot s^{-1}$]	1,92e-05
K_f [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	0,0264

β [K ⁻¹]	0,0031
g [m·s ⁻²]	9,81
L_c [m]	2,3

Tabla 16. Condiciones del aire 60°C

Sustituyendo en la ecuación del número de Rayleigh:

$$Ra = \frac{9,81 \cdot 0,0031 \cdot 336,65 \cdot 2,3^3}{2,72e-05 \cdot 1,94e-05} = 2,38e11 \rightarrow \text{Flujo Turbulento}$$

TIPO DE FLUJO	Ra_L	C	n
LAMINAR	10 ⁴ -10 ⁹	0,59	1/4
TURBULENTO	10 ⁹ -10 ¹³	0,10	1/3

Tabla 10. Ra_L según el tipo de flujo

Finalmente, se halla el coeficiente de película convectivo y el calor de convección correspondiente con las diferentes ecuaciones:

$$\overline{N_{uL}} = 0,10 \cdot 2,38e11^{\frac{1}{3}} [9] \leftrightarrow N_{uL} = \frac{h_{CV}^3}{0,0264} [11]$$

$$h_{CV} = 5,45$$

$$Q_{\text{CONVECCIÓN}} = 5,45 \cdot 6,60 \cdot (360,15 - 313,15) [8]$$

$$Q_{\text{CONVECCIÓN}} = 1.690,59 \text{ W}$$

Convección del cuerpo del reactor, sin tener en cuenta las bases

Por un lado, se ha de comprobar si el mecanismo de convección se puede considerar como paredes laterales. Para ello, debe cumplirse la siguiente condición:

$$D \geq \frac{35L}{Gr_L^{\frac{1}{4}}} [12]$$

Siendo:

- D: Diámetro.
- L: Longitud.

- Gr_L : Número de Grashof

Asimismo, la ecuación del cálculo del número de Grashof es:

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_4 - T_5) \cdot L_c^3}{\nu^2} \quad [13]$$

Siendo:

- G: Gravedad.
- β : Coeficiente de expansión volumétrica.
- T_4 : Temperatura de la carcasa.
- T_5 : Temperatura ambiente.
- L_c : Longitud característica.
- ν : Viscosidad cinemática.

En el caso de cumplirse la ecuación planteada, las paredes laterales del cilindro, pueden considerarse como planas.

$$Gr = \frac{9,81 \cdot 0,0031 \cdot (360,15 - 313,15) \cdot 10^3}{1,94e-5^2} \quad [13]$$

$$Gr = 3,79e12$$

$$6 = D \geq \frac{35 \cdot 10}{3,79e12^{\frac{1}{4}}} = 0,25 \quad [12]$$

Se cumple la desigualdad, por tanto, las paredes del cilindro pueden ser consideradas como paredes planas.

Consecuentemente, atendiendo a la colección de “*Tablas, Gráficas y Ecuaciones de Transmisión de Calor*”. La correlación número 38 de convección libre y flujo externo es la más apropiada.

$$\overline{Nu}_L = C Ra_L^n \quad [14]$$

Siendo:

- C: Coeficiente propio de la correlación de McAdams.
- N: Coeficiente propio de la correlación de McAdams.

- Ra es el número de Rayleigh.

Expresión del número de Rayleigh:

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot T_{mp} \cdot L_c^3}{\alpha \cdot \nu} [10]$$

Siendo:

- g: Gravedad.
- β : Coeficiente de expansión volumétrica.
- T_{mp} : Temperatura media de película.
- L_c : Longitud característica.
- α : Difusividad térmica.
- ν : Viscosidad cinemática.

Parámetro	Descripción	Temperatura [K]
T_4	Temperatura de la carcasa	360,15
T_5	Temperatura del ambiente	313,15
T_{mp}	Temperatura media de película	336,65

Tabla 15. Temperatura

De igual forma es necesario el número de Nusselt:

$$N_{uL} = \frac{h_{cv} \cdot L_c}{K_f} [11]$$

Siendo:

- h: Coeficiente de película convectivo.
- L_c : Longitud característica.
- K_f : Conductividad térmica del aire.

Datos necesarios para la resolución del conjunto de ecuaciones:

Parámetros del aire a una temperatura de 60°C	
α [$m^2 \cdot s^{-1}$]	2,72e-05
ν [$m^2 \cdot s^{-1}$]	1,92e-05

Kf [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	0,0264
β [K ⁻¹]	0,0031
g [m·s ⁻²]	9,81
L _c [m]	L _c =A _s /P=67,30/33,46= 2,01 m

Tabla 17. Condiciones del aire 60°C

Dado que la longitud característica es diferente en este caso y que solo se calcula la superficie y perímetro de la bolsa de aire. Se calcula el arco de la circunferencia correspondiente, que da lugar al ancho del cilindro y se calcula de la siguiente forma:

$$L = \frac{2\pi \cdot R \cdot \alpha}{360} = \frac{2\pi \cdot 3 \cdot 128,64}{360} = 6,73 \text{ m [15]}$$

$$A_s = 6,73 \cdot 10 = 67,30 \text{ m}^2 \quad || \quad P = 6,73 \cdot 2 + 10 \cdot 2 = 33,46 \text{ m}$$

Sustituyendo en la ecuación del número de Rayleigh:

$$Ra = \frac{9,81 \cdot 0,0031 \cdot 336,65 \cdot 2,01^3}{2,72e-05 \cdot 1,94e-05} = 1,59e11 \rightarrow \text{Flujo Turbulento}$$

TIPO DE FLUJO	Ra _L	C	n
LAMINAR	10 ⁴ -10 ⁷	0,54	1/4
TURBULENTO	10 ⁷ -10 ¹¹	0,15	1/3

Tabla 12. Ra_L según el tipo de flujo

Finalmente, se halla el coeficiente de película convectivo y el calor de convección correspondiente con las diferentes ecuaciones:

$$\overline{N_{uL}} = 0,15 \cdot 1,59e11^{\frac{1}{3}} \text{ [14]} \leftrightarrow N_{uL} = \frac{h_{CV} \cdot 2,73}{0,0264} \text{ [11]}$$

$$h_{CV} = 7,86$$

$$Q_{\text{CONVECCIÓN}} = 7,86 \cdot 67,30 \cdot (360,15 - 313,15) \text{ [8]}$$

$$Q_{\text{CONVECCIÓN}} = 24.861,97 \text{ W}$$

Después de todos los cálculos realizados, se puede cuantificar todas las pérdidas de calor de la cubierta.

$Q_{\text{RADIACIÓN}}$	294.790,64 W
$Q_{\text{CONDUCCIÓN}}$	22.358,19 + 571.025,91 W
$Q_{\text{CONVECCIÓN}}$	1960,59 + 24.861,97 W
Q_{CUBIERTA}	914.697,30 W

Tabla 18. Sumatorio de pérdidas de la cubierta

Se cuantifica el calor que se pierde.

$$Q_{\text{PÉRDIDAS TOTALES}} = Q_{\text{PÉRDIDAS SUELO}} + Q_{\text{PÉRDIDAS CUBIERTA}} \quad [5]$$

$$Q_{\text{PÉRDIDAS TOTALES}} = 860.190,94 + 914.697,30 = 1.774.888,14 \text{ W}$$

-Nota: Dado que, los tres hornos tienen las mismas dimensiones y están contruidos con los mismos materiales, el calor producido por las pérdidas totales es el mismo para todos.

Por último, se utiliza la ecuación principal, para cuantificar la cantidad necesaria que requiere el reactor.

$$Q_{\text{ALIMENTACIÓN}} = Q_{\text{ÚTIL}} + Q_{\text{PÉRDIDAS}} \quad [1]$$

$$Q_{\text{ALIMENTACIÓN}} = 9.929.990 + 1.774.888,14 = 11.704.878,14 \text{ W}$$

$$Q_{\text{ALIMENTACIÓN POR COMBUSTIÓN}} = 11.704.878,14 \cdot 0,80 = 9.363.902,51 \text{ W}$$

$$Q_{\text{ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA}} = 11.704.878,14 \cdot 0,20 = 2.340.975,63 \text{ W}$$

HORNO V

Q ÚTIL

El calor útil corresponde al sumatorio del calor sensible y el calor latente:

$$Q_{\text{ÚTIL}} = \Sigma Q_{\text{SENSIBLE}} + \Sigma Q_{\text{LATENTE}} [2]$$

Por un lado, se tiene el calor sensible (calor absorbido por las sustancias para que incrementen su temperatura):

$$Q_{\text{SENSIBLE}} = m \cdot C_p \cdot \Delta T [3]$$

Siendo:

- m: masa de la mezcla.
- C_p : calor específico medio de las sustancias.
- ΔT : Diferencia de temperatura final e inicial. $\Delta T = T_2 - T_1$

Por otro lado, se tiene el calor latente (calor necesario para que se efectúe un cambio de estado):

$$Q_{\text{LATENTE}} = m \cdot L [4]$$

Siendo:

- m: masa de la mezcla.
- L: calor latente de las sustancias.

MATERIA PRIMA EN LA Balsa	Peso (%)	Masa [kg/día]	T ₁ [K]	T ₂ [K]	T ₃ [K]	C _p [kJ/(kg/K)]	L [kJ/kg]	Q _{s1} [kJ/día]	Q _{s2} [kJ/día]	Q _L [kJ/día]	Q _{TOTAL} [kJ/día]	
Vidrio reciclado (calcin)	60	240.000	298,15	1.673,15	1.907,15	0,84	90	277.200.000	47.174.400,00	21600000	345.974.400,00	
Arena de sílice (SiO ₂)	18,18	72.720	298,15	1.996,15	1.907,15	0,75	109	92.608.920	-	7926480	100.535.400,00	
Feldespatos	2,47	9.880	-	-	-	-	-	13.260.741,60	937.778,80	727080	14.925.600,40	
SiO ₂	1,62	6.480	298,15	1.996,15	1.907,15	0,75	109	-	-	-	-	
Al ₂ O ₃	0,44	1.760	298,15	2.345,15	1.907,15	0,88	1.091	-	-	-	-	
Na ₂ O	0,25	1.000	298,15	1.548,15	1.907,15	1,13	505	-	-	-	-	
K ₂ O	0,16	640	298,15	1.013,15	1.907,15	0,93	347	-	-	-	-	
Carbonato sódico (Na ₂ CO ₃)	5,42	21.680	298,15	1.124,15	1.907,15	1,06	277	18.982.140,80	17.993.966,40	6005360	42.981.467,20	
Carbonato potásico (K ₂ CO ₃)	0,51	2.040	298,15	1.164,15	1.907,15	1,34	235	2.367.297,60	2.031.064,80	479400	4.877.762,40	
Dolomita (MgO + CaO)	2,96	11.840	298,15	1.841,15	1.907,15	0,85	819	15.528.752	664.224,00	9696960	25.889.936,00	
Caliza (CaCO ₃)	3,16	12.640	298,15	1.612,15	1.907,15	0,84	726	13.951.526,40	3.132.192,00	9176640	26.260.358,40	
Óxidos Colorantes	7,3	29.200	-	-	-	-	-	47.306.040	124.200,00	3388000	50.818.240,00	
Al ₂ O ₃	6	24.000	298,15	2.345,15	1.907,15	0,88	1.091	-	-	-	-	
Fe ₂ O ₃	1	4.000	298,15	1.838,15	1.907,15	0,45	847	-	-	-	-	
Cr ₂ O ₃	0,3	1.200	298,15	2.708,15	1.907,15	0,45	1.367	-	-	-	-	
AIRE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Aire	100	133.333,33	298,15	54,35	1.907,15	1,01	-	-	248.275.193,79	-	248.275.193,79	
HORNO V									SUMA [kJ/día] = 860.538.358,19			
									Calor útil para 24 horas [kW] = 9.959,93			

Los parámetros de la tabla significan lo siguiente:

- T_1 : Temperatura de los diferentes compuestos a la entrada del horno.
- T_2 : Temperatura de fusión de cada uno de los compuestos.
- T_3 : Temperatura a la salida del horno.
- C_p : Capacidad calorífica de cada uno de los compuestos.
- L : Calor latente, por unidad de masa, de cada uno de los compuestos.
- Q_{s1} : Calor sensible hasta que los compuestos alcanzan la temperatura de fusión.
- Q_{s2} : Calor sensible desde la temperatura de fusión, hasta que los compuestos salen del horno.
- Q_L : Calor latente de cada uno de los compuestos.
- Q_T : Suma de los calores sensibles y del calor latente de cada compuesto.

Q PÉRDIDAS

Como se indica en el Horno T y en la nota, la cual dice que las pérdidas totales son iguales en los 3 hornos:

$$Q_{PÉRDIDAS\ TOTALES} = Q_{PÉRDIDAS\ SUELO} + Q_{PÉRDIDAS\ CUBIERTA} \quad [5]$$

$$Q_{PÉRDIDAS\ TOTALES} = 9.959.930 + 914.697,30 = 1.774.888,14 \text{ W}$$

Por último, se utiliza la ecuación principal, para cuantificar la cantidad necesaria que requiere el reactor.

$$Q_{ALIMENTACIÓN} = Q_{ÚTIL} + Q_{PÉRDIDAS} \quad [1]$$

$$Q_{ALIMENTACIÓN} = 9.959.993 + 1.774.888,14 = 11.734.881,14 \text{ W}$$

$$Q_{ALIMENTACIÓN\ POR\ COMBUSTIÓN} = 11.734.881,14 \cdot 0,80 = 9.387.904,91 \text{ W}$$

$$Q_{ALIMENTACIÓN\ ELÉCTRICA} = 11.734.881,14 \cdot 0,20 = 2.346.976,23 \text{ W}$$

HORNO A

Q ÚTIL

El calor útil corresponde al sumatorio del calor sensible y el calor latente:

$$Q_{\text{ÚTIL}} = \Sigma Q_{\text{SENSIBLE}} + \Sigma Q_{\text{LATENTE}} [2]$$

Por un lado, se tiene el calor sensible (calor absorbido por las sustancias para que incrementen su temperatura):

$$Q_{\text{SENSIBLE}} = m \cdot C_p \cdot \Delta T [3]$$

Siendo:

- m: masa de la mezcla.
- C_p : calor específico medio de las sustancias.
- ΔT : Diferencia de temperatura final e inicial. $\Delta T = T_2 - T_1$

Por otro lado, se tiene el calor latente (calor necesario para que se efectuó un cambio de estado):

$$Q_{\text{LATENTE}} = m \cdot L [4]$$

Siendo:

- m: masa de la mezcla.
- L: calor latente de las sustancias.

MATERIA PRIMA EN LA BALSA	Peso (%)	Masa [kg/día]	T ₁ [K]	T ₂ [K]	T ₃ [K]	C _p [kJ/(kg/K)]	L [kJ/kg]	Q _{S1} [kJ/día]	Q _{S2} [kJ/día]	Q _L [kJ/día]	Q _{TOTAL} [kJ/día]
Vidrio reciclado (calcín)	60	240.000	298,15	1.673,15	1.907,15	0,84	90	277.200.000	47.174.400,00	21600000	345.974.400,00
Arena de sílice (SiO ₂)	21,06	84.240	298,15	1.996,15	1.907,15	0,75	109	107.279.640	-	9182160	116.461.800,00
Feldespatos	2,86	11.440	-	-	-	-	-	15.368.758,40	1.069.199,60	835640	17.273.598,00
SiO ₂	1,88	7.520	298,15	1.996,15	1.907,15	0,75	109	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	0,51	2.040	298,15	2.345,15	1.907,15	0,88	1.091	-	-	-	-
Na ₂ O	0,29	1.160	298,15	1.548,15	1.907,15	1,13	505	-	-	-	-
K ₂ O	0,18	720	298,15	1.013,15	1.907,15	0,93	347	-	-	-	-
Carbonato sódico (Na ₂ CO ₃)	6,28	25.120	298,15	1.124,15	1.907,15	1,06	277	21.994.067,20	20.849.097,60	6958240	49.801.404,80
Carbonato potásico (K ₂ CO ₃)	0,59	2.360	298,15	1.164,15	1.907,15	1,34	235	2.738.638,40	2.349.663,20	554600	5.642.901,60
Dolomita (MgO + CaO)	3,43	13.720	298,15	1.841,15	1.907,15	0,85	819	17.994.466	769.692,00	11236680	30.000.838,00
Caliza (CaCO ₃)	3,66	14.640	298,15	1.612,15	1.907,15	0,84	726	16.159.046,40	3.627.792,00	10628640	30.415.478,40
Óxidos Colorantes	2,12	8.480	-	-	-	-	-	14.774.840	12.420,00	338800	15.126.060,00
Al ₂ O ₃	2	8.000	298,15	2.345,15	1.907,15	0,88	1.091	-	-	-	-
Fe ₂ O ₃	0,1	400	298,15	1.838,15	1.907,15	0,45	847	-	-	-	-
Cr ₂ O ₃	0,02	80	298,15	2.708,15	1.907,15	0,45	1.367	-	-	-	-
AIRE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aire	100	133.333,33	298,15	54,35	1.907,15	1,01	-	-	248.275.193,79	-	248.275.193,79
HORNO A									SUMA [kJ/día] = 858.971.674,59		
									Calor útil para 24 horas [kW] = 9.941,80		

Los parámetros de la tabla significan lo siguiente:

- T_1 : Temperatura de los diferentes compuestos a la entrada del horno.
- T_2 : Temperatura de fusión de cada uno de los compuestos.
- T_3 : Temperatura a la salida del horno.
- C_p : Capacidad calorífica de cada uno de los compuestos.
- L : Calor latente, por unidad de masa, de cada uno de los compuestos.
- Q_{s1} : Calor sensible hasta que los compuestos alcanzan la temperatura de fusión.
- Q_{s2} : Calor sensible desde la temperatura de fusión, hasta que los compuestos salen del horno.
- Q_L : Calor latente de cada uno de los compuestos.
- Q_T : Suma de los calores sensibles y del calor latente de cada compuesto.

Q PÉRDIDAS

Como se indica en el Horno T y en la nota, la cual dice que las pérdidas totales son iguales en los 3 hornos:

$$Q_{PÉRDIDAS\ TOTALES} = Q_{PÉRDIDAS\ SUELO} + Q_{PÉRDIDAS\ CUBIERTA} \quad [5]$$

$$Q_{PÉRDIDAS\ TOTALES} = 9.959.930 + 914.697,30 = 1.774.888,14 \text{ W}$$

Por último, se utiliza la ecuación principal, para cuantificar la cantidad necesaria que requiere el reactor.

$$Q_{ALIMENTACIÓN} = Q_{ÚTIL} + Q_{PÉRDIDAS} \quad [1]$$

$$Q_{ALIMENTACIÓN} = 9.941.800 + 1.774.888,14 = 11.716.688,14 \text{ W}$$

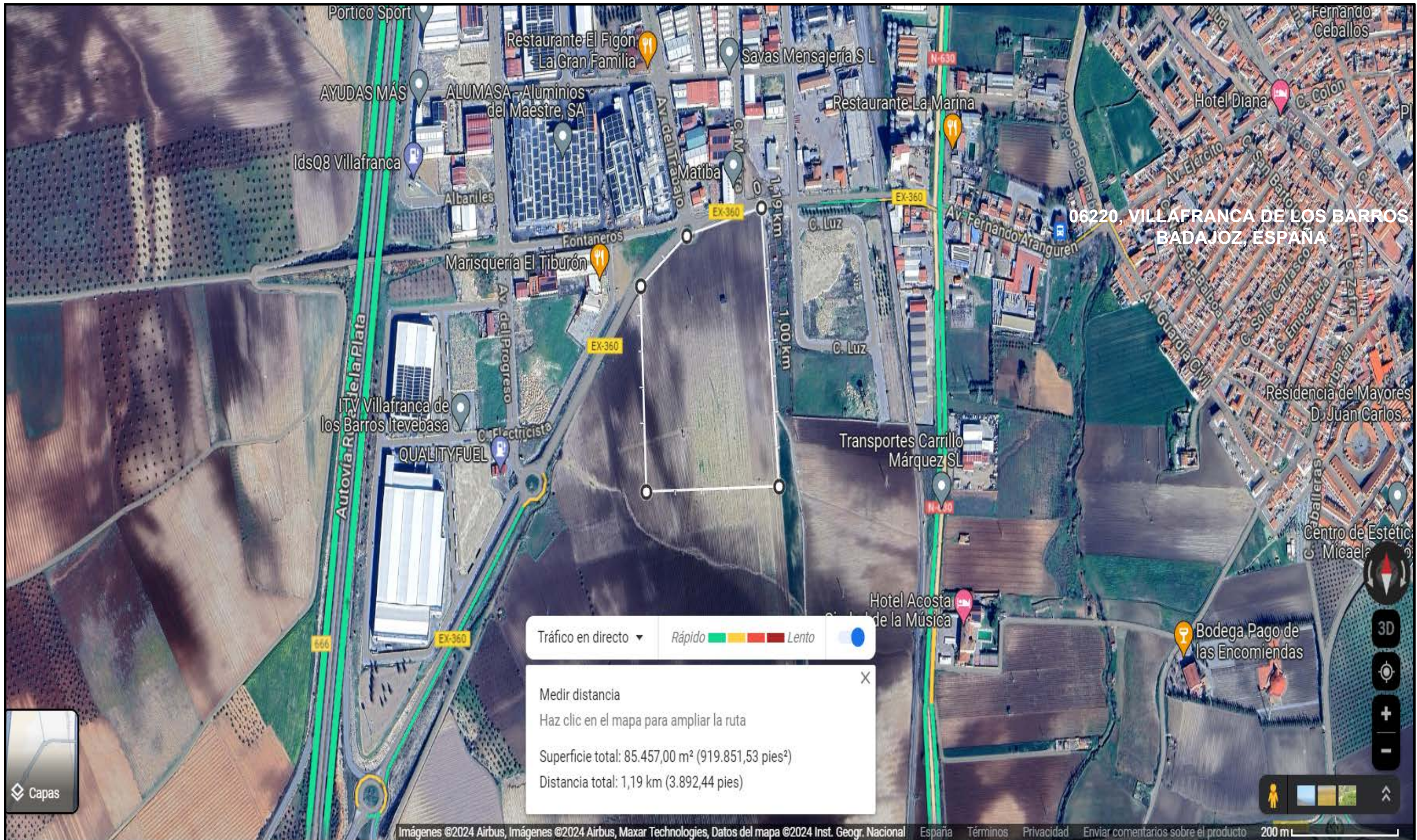
$$Q_{ALIMENTACIÓN\ POR\ COMBUSTIÓN} = 11.716.688,14 \cdot 0,80 = 9.373.350,51 \text{ W}$$

$$Q_{ALIMENTACIÓN\ ELÉCTRICA} = 11.716.688,14 \cdot 0,20 = 2.343.337,63 \text{ W}$$

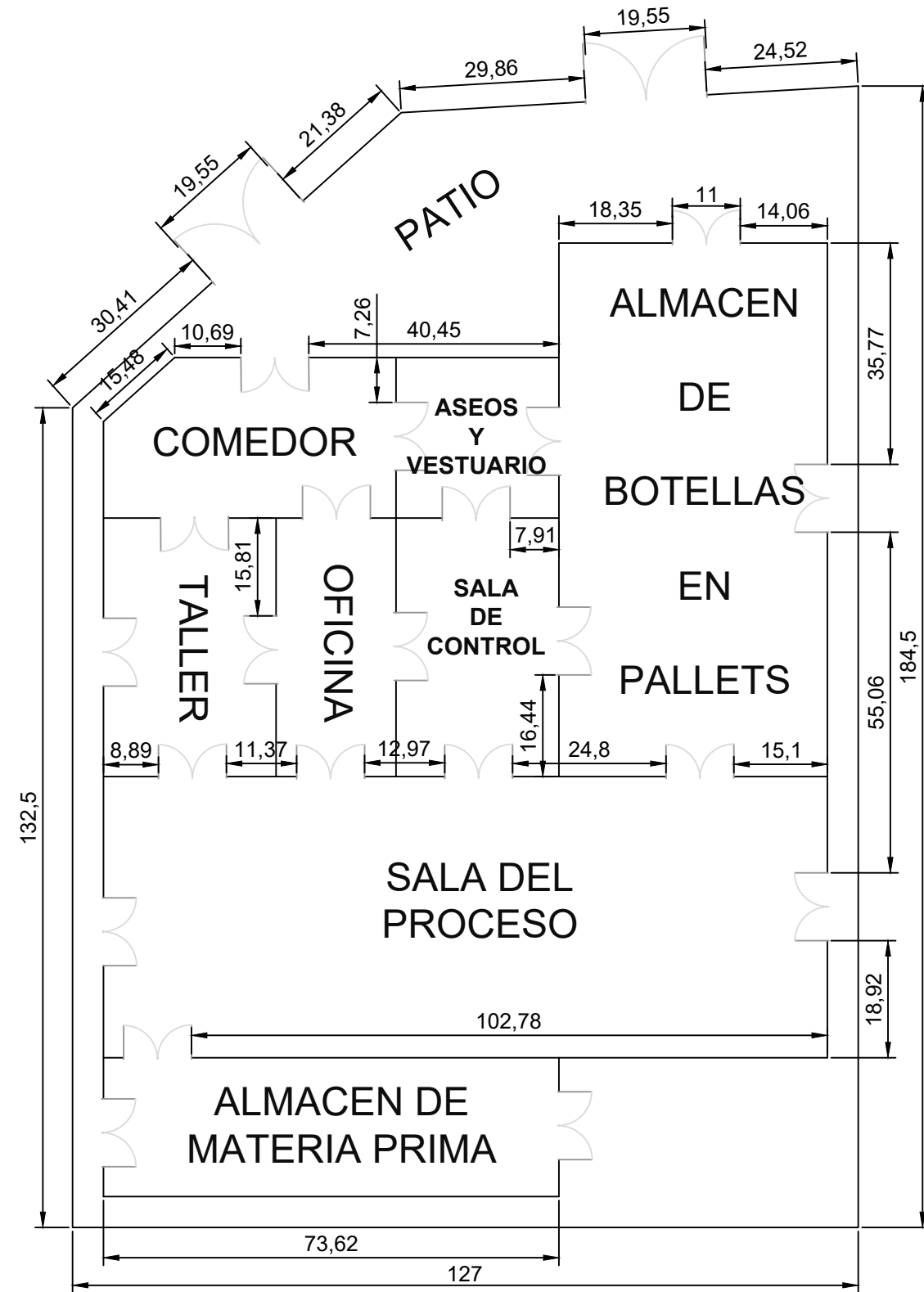
PLANOS

DOCUMENTO III





FECHA	NOMBRE Y APELLIDOS	UNIVERSIDAD DE SEVILLA ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR	
2024	RUBÉN ROSA INFANTES		
ESCALA	PLANO DE EMPLAZAMIENTO		NÚMERO DE PLANO
1:1000			1



FECHA	NOMBRE Y APELLIDOS	UNIVERSIDAD DE SEVILLA ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR	
2024	RUBÉN ROSA INFANTES		
ESCALA	PLANO DE DISTRIBUCIÓN EN PLANTA		NÚMERO DE PLANO
1:2000			2

MEDICIONES Y PRESUPUESTO

DOCUMENTO IV



1. CUADRO DE PERCIOS UNITARIOS

Capítulo 1. EQUIPOS INDUSTRIALES		
UNIDAD DE MEDIDA	UNIDAD DE OBRA	PRECIO [€]
ud	1.01.HORNO LONGITUDINAL de Balsa de gran capacidad calentados por llama, con apoyo eléctricos Coste directo...20.000.000€ Coste indirecto (10,62%)...2.124.000€	TOTAL...22.124.000€
ml	1.02. CANALES de material refractario de transporte hasta la máquina IS Coste directo...350€ Coste indirecto (10,62%)...37,17€	TOTAL...387,17€
ud	1.03. MÁQUINA IS Coste directo...6.000.000€ Coste indirecto (10,62%)...637.200€	TOTAL...6.637.200€
ud	1.04. ARCA DE RECOCIDO Coste directo...7.000.000€ Coste indirecto (10,62%)...743.400€	TOTAL...7.743.400€
ud	1.05. MÁQUINAS DE INSPECCIÓN Coste directo...3.000.000€ Coste indirecto (10,62%)...318.600€	TOTAL...3.318.600€
ud	1.06. PALETIZADORA Coste directo...1.000.000€ Coste indirecto (10,62%)...106.200€	TOTAL...1.106.200€
ud	1.07. RETRACTILADORA Coste directo...1.000.000€ Coste indirecto (10,62%)...106.200€	TOTAL...1.106.200€
ud	1.08. TURBOCOMPRESORES de 6 bares y 200 kW Coste directo...150.000€ Coste indirecto (10,62%)...15.930€	TOTAL...165.930€

Capítulo 2. MATERIA PRIMA		
UNIDAD DE MEDIDA	UNIDAD DE OBRA	PRECIO [€]
Tn	2.01. Vidrio reciclado Coste directo...70€ Coste indirecto (10,62%)...7,43€	TOTAL...77,43€
Tn	2.02. Arena de sílice (SiO ₂) Coste directo...100€ Coste indirecto (10,62%)...10,62€	TOTAL...110,62€
Tn	2.03. Feldespato (SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Na ₂ O + K ₂ O) Coste directo...150€ Coste indirecto (10,62%)...15,93€	TOTAL...165,93€

Tn	2.04. Carbonato sódico (Na ₂ CO ₃) Coste directo...300€ Coste indirecto (10,62%)...31,86€	TOTAL...331,86€
Tn	2.05. Carbonato potásico (K ₂ CO ₃) Coste directo...1.000€ Coste indirecto (10,62%)...106,20€	TOTAL...1.106,20€
Tn	2.06. Dolomita (MgO + CaO) Coste directo...500€ Coste indirecto (10,62%)...53,10€	TOTAL...553,10€
Tn	2.07. Al ₂ O ₃ (óxido colorante) Coste directo...800€ Coste indirecto (10,62%)...84,96€	TOTAL...884,96€
Tn	2.08. Fe ₂ O ₃ (óxido colorante) Coste directo...1000€ Coste indirecto (10,62%)...106,20€	TOTAL...1.106,20€
Tn	2.09. Cr ₂ O ₃ (óxido colorante) Coste directo...2000€ Coste indirecto (10,62%)...212,40€	TOTAL...2.212,40€

Capítulo 3. SEGURIDAD E HIGIENE		
UNIDAD DE MEDIDA	UNIDAD DE OBRA	PRECIO [€]
ud	3.01. GUANTE KEVLAR aluminizado de 14" con palma de descarnes con lanilla retardante del calor. Coste directo...20€ Coste indirecto (10,62%)...2,12€	TOTAL...22,12€
ud	3.02. GUANTE BEST NITRILO 7700PF resistente a químicos, grasa y aceites. Caja de 100 unidades. Coste directo...25€ Coste indirecto (10,62%)...2,65€	TOTAL...27,65€
ud	3.03. RESPIRADOR 3M 7501 KEYSTONE SMALL, de medio rostros. Material de silicona. Thermoset resistente a altas temperaturas. Coste directo...17€ Coste indirecto (10,62%)...1,80€	TOTAL...18,80€
ud	3.04. GAFAS DE SEGURIDAD B-LINE con ocular transparente. Montura y ocular fabricados en policarbonato transparente antiabrasión. Incluye ajustable. Coste directo...4€ Coste indirecto (10,62%)...0,42€	TOTAL...4,42€

ud	3.05. CASCO TOP GARD fabricado en policarbonato. Resistente hasta 30.000 Volts. Coste directo...20€ Coste indirecto (10,62%)...2,12€	TOTAL...22,12€
ud	3.06. FONO PELTROR H10A DB de plástico negro que resguardan del ruido, polvo, grasa u otro tipo de sustancias. Coste directo...20€ Coste indirecto (10,62%)...2,12€	TOTAL...22,12€
ud	3.07. TAPÓN AUDITIVO MAX 1S/Cordon 33 db H.Leight de poliuretano de color naranja. Coste directo...23€ Coste indirecto (10,62%)...2,44€	TOTAL...25,44€
ud	3.08. OVEROL CANVAS azul con cintas reflectantes UVA/UVB. 20% algodón, 80% poliester. Con costuras de nylon. Coste directo...15€ Coste indirecto (10,62%)...1,59€	TOTAL...16,59€

2. CUADRO DE PRECIOS DESCOMPUESTOS

Capítulo 1. EQUIPOS INDUSTRIALES				
UNIDAD	UNIDAD DE OBRA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO [€]	TOTAL [€]
ud	1.01. HORNO LONGITUDINAL de BALSA	3	22.124.000€	66.372.000€
ml	1.02. CANALES	75	387,17€	29.037,75€
ud	1.03. MÁQUINA IS	9	6.637.200€	59.734.800€
ud	1.04. ARCA DE RECOCIDO	3	7.743.400€	23.230.200€
ud	1.05. MÁQUINAS DE INSPECCIÓN	6	3.318.600€	19.911.600€
ud	1.06. PALETIZADORA	3	1.106.200€	3.318.600€
ud	1.07. RETRACTILADORA	3	1.106.200€	3.318.600€
ud	1.08. TURBOCOMPRESORES	8	165.930€	1.327.440€
TOTAL CAPITULO 1. EQUIPOS INDUSTRIALES				177.242.277,8€

Capítulo 2. MATERIA PRIMA				
UNIDAD	UNIDAD DE OBRA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO [€/Tn]	TOTAL [€]
Tn	2.01. Vidrio reciclado	720	77,43€/Tn	55.749,60
Tn	2.02. Arena de sílice (SiO ₂)	245,20	110,62€/Tn	27.124,02
Tn	2.03. Feldespato (SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Na ₂ O + K ₂ O)	33,32	165,93€/Tn	5.528,79
Tn	2.04. Carbonato sódico (Na ₂ CO ₃)	73,08	331,86€/Tn	24.252,33
Tn	2.05. Carbonato potásico (K ₂ CO ₃)	6,84	1.106,20€/Tn	7.566,41
Tn	2.06. Dolomita (MgO + CaO)	39,96	553,10€/Tn	22.101,88
Tn	2.07. Al ₂ O ₃ (óxido colorante)	33,20	884,96€/Tn	29.380,67
Tn	2.08. Fe ₂ O ₃ (óxido colorante)	5,60	1.106,20€/Tn	6.194,72
Tn	2.09. Cr ₂ O ₃ (óxido colorante)	1,28	2.212,40€/Tn	2.831,87
TOTAL CAPITULO 2. MATERIA PRIMA				180.730,29

Capítulo 3. SEGURIDAD E HIGIENE				
UNIDAD	UNIDAD DE OBRA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO [€]	TOTAL [€]
ud	3.01. GUANTE KEVLAR	50	22,12€	1.106€
ud	3.02. GUANTE BEST NITRILO 7700PF	25	27,65€	691,25€
ud	3.03. RESPIRADOR 3M 7501 KEYSTONE SMALL	50	18,80€	940€
ud	3.04. GAFAS DE SEGURIDAD B-LINE	50	4,42€	221€
ud	3.05. CASCO TOP GARD	50	22,12€	1.106€
ud	3.06. FONO PELTROR H10A	50	22,12€	1.106€
ud	3.07. TAPÓN AUDITIVO MAX 1S	100	25,44€	2.544€
ud	3.08. OVEROL CANVAS	50	16,59€	829,50€
TOTAL CAPITULO 3. SEGURIDAD E HIGIENE				8.363,75€

3. RESUMEN DEL PRESUPUESTO

3.1 Presupuesto de ejecución material simple (PEMS)

- Total ejecución material.....189.094,04€

- Gastos generales (13%).....24.582,22€

TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL SIMPLE...213.676,26€

3.2 Presupuesto de ejecución compuesto (PEC)

- Total PEMS.....213.676,26€

- Beneficio industrial (6%).....12.820,58€

TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN COMPUESTO...226.496,84€

3.3 Presupuesto de contrata

- Total PEC.....226.496,84€

- Honorarios proyectista (10%).....22.649,68€

- 21% IVA.....4.756,43€

TOTAL PRESUPUESTO DE CONTRATA...253.902,95€

El montante total del presente proyecto asciende a una cuantía de DOSCIENTOS CINCUENTA Y TRES MIL NOVECIENTOS DOS EUROS con NOVENTA Y CINCO CENTIMOS.

PLIEGO DE CONDICIONES

DOCUMENTO V



1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.1 Naturaleza y objeto del pliego

El presente pliego regula la unión de las disposiciones con carácter general y particular del proyecto en su totalidad, teniendo por objeto la organización de las condiciones técnicas, facultativas, económicas y legales que rijan en la ejecución de las obras del proyecto de construcción de la planta de fabricación de vidrio hueco, ubicada en el Polígono Industrial Los Varales en Villafranca de los Barros.

1.2 Cuerpo normativo

El cuerpo normativo de aplicación en la ejecución de las obras del presente proyecto será el descrito por toda la legislación de obligado cumplimiento desde la fecha inicial del Contrato de adjudicación de las obras.

En el caso de que existan discrepancias en la normativa, se aplicarán las más restrictivas. Excepto si se manifiesta, por escrito, lo contrario en el Libro de Órdenes.

El contratista es la persona física o jurídica que bajo contrato ante el promotor asume el compromiso de ejecutar parte o todas las obras con sujeción a proyecto y contrato. Por tanto, estará obligado a asumir las consecuencias que deriven de las órdenes que tome la Dirección Facultativa.

1.3 Compatibilidad y relación entre documentos

Deberá ser ejecutado lo reflejado en el pliego de condiciones, aunque no conste en los planos y viceversa. En el caso de existir contradicción entre ambos documentos, prevalecerá lo reflejado en los planos. Todos estos detalles deben ser supervisados por el contratista, puesto que, no le eximen de la obligación de ejecutar los detalles de obra omitidos o erróneamente descritos.

2. CONDICIONES GENERALES DE ÍNDOLE FACULTATIVA

2.1 Derechos y obligaciones del contratista

▪ Art 1. Condiciones técnicas.

Las presentes condiciones técnicas se declaran de obligada observación por parte del contratista a quien se adjudique la obra, además del conocimiento y entendimiento indispensable de cada una de ellas.

▪ Art 2. Marcha de los trabajos.

Para proceder al correcto desarrollo de la obra, el contratista deberá contar con un número de obreros proporcionados, para cumplir las tareas programadas en el tiempo estipulado.

▪ Art 3. Personal.

Todas las tareas deben realizarse por operarios cualificados para poder finalizarla eficientemente y en sintonía con las demás tareas que conlleva el proyecto en cuestión.

El contratista permanecerá en la obra durante toda la jornada de trabajo, pudiendo delegar obligaciones en un encargado apto y autorizado por escrito.

▪ Art 4. Precauciones a adoptar durante la construcción.

Las cautelas adoptadas serán previstas en la prevención de riesgos laborales y en el reglamento sobre seguridad e higiene del trabajo.

El contratista se apoyará en todas las leyes, ordenanzas y reglamentos que estime necesarios durante la ejecución de las obras de principio a fin.

▪ Art 5. Responsabilidades del contratista.

Sobre el contratista recaen todas las responsabilidades, no teniendo derecho a ningún tipo de indemnización que pudiera ocurrir debido a producirse algún error en cualesquiera de sus obligaciones. De igual forma, será responsable ante un tribunal.

- Art 6. Desperfecto en propiedades colindantes.

En el caso de ocurrir el contratista tiene la obligación de la reparación de las mismas por cuenta propia y dejarlo tal y como estaba anteriormente. Además, velara por la seguridad ante la caída de algún operario, equipo o herramienta que pueda dañar las propiedades colindantes.

- Art 7. Seguros.

El contratista contratara a una aseguradora solvente, que solucione los problemas que puedan ocurrir durante el transcurso de la obra. Dicha entidad tiene que estar inscrita en el Registro del Ministerio de Hacienda en virtud de la vigente Ley de Seguros.

El seguro contratado deberá contar con una cláusula, la cual diga que *“En caso de siniestro se bonificará el importe íntegro de la indemnización a la entidad propietaria”*, para poder seguir con los pagos pertinentes.

- Art 8. Obligaciones no especificadas.

El contratista debe ejecutar lo mejor posible el proyecto añadiendo terminaciones que considere oportunas para una correcta realización del mismo.

En el caso de plantearse dudas sobre las condiciones y dentro de los documentos del contrato, serán resueltas por el directo de los trabajos.

2.2 Facultades de la dirección técnica

- Art 10. Replanteo y preparación de las obras.

En el caso de existir dudas sobre la interpretación de los documentos o posteriormente en su ejecución, por parte del contratista, deberán ser resueltos por la dirección facultativa.

Las indicaciones que no consten en el pliego de condiciones, pero tengan relación con el proyecto, se consideran como datos a tener en cuenta en la formulación del presupuesto por parte de la empresa.

- Art 11. Libro de Órdenes, Asistencia e Incidencias.

Libro esencial para que se pueda tener en todo momento el conocimiento exacto de la ejecución e incidencias de la obra.

El Libro de Órdenes Asistencia e Incidencias se reflejan las vistas facultativas realizadas por la dirección de obra, incidencias surgidas y todos los datos que colaboren que la contrata a cumplido los plazos y fases de ejecución marcados por el proyecto.

- Art 12. Comienzo, ritmo, plazos y condiciones de ejecución.

El comienzo de las obras lo marcara el constructor, apoyándose en el "*Pliego de Condiciones Particulares*". Las obras se desarrollarán de tal manera que se cumplan los plazos exigidos por el contrato. Es de obligatorio cumplimiento que el contratista le deje por escrito la fecha de inicio de las obras, para dejárselo en constancia al Directo de Obra, para dar comienzo a los trabajos con al menos tres días de antelación.

Por norma general, la determinación del orden de los trabajos sería compatible con los plazos contratados, siempre que los estime conveniente la Dirección Facultativa.

- Art 13. Control de calidad y ensayo de materiales.

La dirección facultativa verificará la calidad y todos los ensayos pertinentes de los materiales antes de su disposición en obra. Para llevar a cabo esta tarea, la contrata proporcionara al menos dos muestras para someterlas a un examen, por parte de la dirección facultativa.

La dirección facultativa se reserva el derecho de desechar los materiales que no considere aptos para su disposición en obra.

- Art 14. Obras defectuosas y modificaciones en caso de causa mayor.

En el caso de que la dirección facultativa interprete que exista una mala ejecución de la construcción o exista algún elemento defectuoso, el contratista se encontrará en la obligación de demoler dicho desperfecto y volverlo a construir, sea cual sea el defecto y el coste de la misma. Estos ajustes no contarán con ningún tipo de indemnización.

- Art 15. Prórroga por causa mayor.

Las obras pueden retrasar su inicio, pararse indefinidamente o no finalizarse en los plazos acordados, siempre y cuando los motivos del constructor sean por causa de fuerza mayor o independientemente de su voluntad, produciéndose, a resumidas cuentas, una prórroga proporcionada para el cumplimiento de la contrata.

El director de obra deberá realizar un informe favorable, para autorizar la prórroga.

- Art 16. Reformas en el proyecto.

El director de obras cuenta la potestad de introducir modificaciones en el proyecto si lo estimase necesario y el contratista esta obligado a realizarlas, siempre y cuando la cantidad de la obra no sobrepase una décima parte de las de igual índole, consignadas en el presupuesto.

- Art 17. Recepción provisional de las obras e instalaciones.

El director de obra deberá comunicar treinta días antes de dar fin a las obras la proximidad de su terminación; la cual conllevará el acto de recepción provisional, realizada con la intervención de la propiedad del constructor y del director de obra.

Además, se extenderá un acta firmada por todos los integrantes. Desde este mismo instante, comenzará el plazo de garantía, haciendo entrega del "*Certificado final de obra*" que será extendido por la dirección facultativa.

Si en la entrega de las obras, el estado de la misma no es el apropiado, se debe reflejar en el acta y consecuentemente, ser subsanado por el constructor de la misma. En el caso de que el constructor no responda, se le privaría de la fianza y se daría por finalizado la responsabilidad de terminar la obra.

- Art 18. Período de prueba o plazo de garantía.

El plazo de garantía siempre se reflejará en el "*Pliego de Condiciones Particulares*" y, en cualquier caso, deberá ser superior a nueve meses.

- Art 19. Recepción definitiva.

Se comprueba cuando finaliza el plazo de garantía con las mismas condiciones que la recepción provisional. Consecuentemente, al vencer el plazo de garantía, el constructor no se hace responsable de ningún desperfecto o deterioro de la construcción.

3. CONDICIONES GENERALES DE ÍNDOLE ECONÓMICA

3.1 Fianza

- Art 20. Fianza.

El contratista prestara fianza con arreglo a algunos de los siguientes procedimientos, según se estipule los siguientes:

- i. Depósito previo, en metálico o aval bancario, por importe entre el 3% y 10% del precio total de la contrata.
- ii. Mediante retención en las certificaciones parciales o pagos a cuenta en igual proporción.

- Art 21. Ejecución de trabajos con cargo a la fianza.

Por razones externas al cliente, el contratista puede negarse a finalizar las obras proyectadas. En este caso, el director de obra esta en su pleno de derecho de contratar a terceros para ultimar los preparativos y finalizar la obra.

Estos trabajos también los pueden realizar directamente la organización, abonando su importe con la fianza depositada. También se hará cargo, en el caso de que la fianza no sea suficiente para costear los respectivos gastos.

- Art 22. Devolución.

Desde el momento en el que se firme el “*Acta de Recepción Definitiva*”, la propiedad cuenta con 30 días para devolver la fianza al contratista. Sin embargo, la propiedad podría exigir al contratista que le acredite la liquidación y finiquito de sus deudas correspondientes a la ejecución de la obra, antes de devolver la fianza.

3.2 Composición de precios

▪ Art 23. Composición de precios unitarios

Los precios unitarios de las unidades de obra están formados por la suma de los costes directos, costes indirectos, gastos generales y el beneficio industrial. Considerándose dichos gastos como:

Costes directos

i. Mano de obra, incluyendo pluses y cargas y seguros sociales, que interviene directamente en la ejecución de la unidad de obra.

ii. Los materiales, a los precios resultantes a pie de obra, que queden integrados en la unidad de que se trate o que sean necesarios para su ejecución.

iii. Los equipos y sistemas técnicos de seguridad e higiene para la prevención y protección de accidentes y enfermedades profesionales.

iv. Los gastos de personal, combustible, energía, etc., que tengan lugar por el accionamiento o funcionamiento de la maquinaria e instalaciones utilizadas en la ejecución de la unidad de obra.

v. Los gastos de amortización y conservación de la maquinaria, instalaciones, sistemas y equipos anteriormente citados.

Costes indirectos

i. Los gastos de instalación de oficinas a pie de obra, comunicaciones, edificación de almacenes, talleres, pabellones temporales para obreros, laboratorios, seguros, etc.

ii. Los del personal técnico y administrativo adscrito exclusivamente a la obra y los imprevistos.

Gastos generales

Los gastos generales asociados a la empresa son los gastos financieros, cargas fiscales y tasas de la Administración, legalmente establecidos. Se cifrarán como un porcentaje de la suma de los costes directos e indirectos (en los contratos de obras de la Administración pública este porcentaje se establece entre un 13 y un 17%).

Beneficio industrial

El beneficio industrial del contratista se establece en el 6% sobre la suma de las anteriores partidas.

Precio de Ejecución Material

Se denomina precio de ejecución material al resultado obtenido por la suma de los anteriores gastos indicados.

Precio de contrata

El precio de Contrata es la suma de los costes directos, costes indirectos, gastos generales y beneficio industrial. El IVA se contempla en esta suma, sin embargo, no integra el precio.

3.3 Precio contradictorios

▪ Art 24. Precios contradictorios.

Los precios contradictorios se deben a introducir unidades distintas, cambios de calidad en alguna de las previstas o si fuera necesario afrontar alguna circunstancia imprevista, entre otras, por parte de la propiedad, teniendo constancia el director de obra.

De producirse este hecho, el contratista estará obligado a efectuar los cambios oportunos. En caso de estar en desacuerdo, el conflicto lo resolverán entre el director de obra y el contratista antes de comenzar y la ejecución de los trabajos en el plazo marcado por el “*Pliego de Condiciones Particulares*”.

En el caso de que exista diferencia de precios, se acudirá, en primera instancia, al banco de precios de uso más frecuente en la localidad. Los precios contradictorios siempre se referirán a los precios unitarios de la fecha de contrato.

3.4 Revisión de precios y fórmulas polinómicas

▪ Art 25. Revisión de precios.

No se admitirá una hipotética revisión de precios, hasta que el montaje no supere el 3% del importe del presupuesto del contrato.

Si nos encontramos en el escenario apropiado para realizar la revisión de precios, esta misma se realizará con la fórmula establecida en el “*Pliego de Condiciones Particulares*”.

No se realizará una revisión de precios si se solicita fuera de los plazos fijados en las fechas estimadas por contrato.

3.5 Valoración, medición y abono de los trabajos

▪ Art 26. Valoración, medición y abono de los trabajos.

Siempre que no se indique lo contrario en el “*Pliego de Condiciones Económicas*”; según el tipo de modalidad de la contratación de obras, el pago de los trabajos se efectuara de la siguiente forma:

i. Tipo fijo o tanto alzado total. Se abonará la cifra previamente fijada como base de la adjudicación, disminuida en su caso en el importe de baja efectuada por el adjudicatario.

ii. Tipo fijo o tanto alzado por unidad de obra, cuyo precio invariable se haya fijado previamente, pudiendo verse afectado solo por variar el número de unidades ejecutadas. Previa medición y aplicando al total de las diversas unidades de obra ejecutadas, del precio invariable estipulado de antemano para cada una de ellas se abonará al contratista, el importe de las comprendidas en los trabajos ejecutados y ultimados con arreglo y sujeción a los documentos que constituyen el proyecto, los que servirán de base para la medición y valoración de las diversas unidades de obra.

iii. Tanto varíe por unidad de obra, según las condiciones realizadas y los materiales autorizados en la forma que el presente “*Pliego de Condiciones Económicas*” se determina. Se abonará al contratista en idénticas condiciones al caso anterior.

iv. Por listas de jornales y recibos de materiales, autorizados en la forma que el presente “*Pliego de Condiciones Económicas*” determina.

v. Por horas de trabajo, ejecutado en las condiciones determinadas en el contrato.

3.6 Condiciones de pago de maquinarias, equipo e instalaciones

- Art 27. Normas para adquisición de materiales y equipos.

La administración delegada se reserva al propietario para la adquisición de los materiales y aparatos. Del mismo modo el constructor puede gestionarlos y adquirirlos, siempre que se presente al propietario o al director de obra los precios, las muestras de los materiales y los aparatos ofrecidos.

3.7 Seguros y conservación de las obras, maquinaria e instalaciones

- Art 28. Seguro de las obras.

El contratista tiene la obligación de contratar un seguro durante todo el tiempo que dure la ejecución de la obra, hasta la recepción definitiva; la cuantía del seguro coincidirá en cada momento con el valor que tengan por contrata los objetos asegurados.

El importe abonado por la Sociedad Aseguradora, en el caso de siniestro, se ingresará a nombre del Propietario, para que con cargo a ella se abone la obra que se construya, y a medida que ésta se vaya realizando. El reintegro de dicha cantidad al contratista se efectuará por certificaciones, como el resto de los trabajos de la construcción.

En ningún caso, salvo por conformidad expresa del contratista, hecho en documentos público, el propietario podrá disponer de dicho importe para menesteres distintos del de reconstrucción de la parte siniestrada, aunque por motivo de la infracción del anteriormente expuesto puede ser motivo suficiente para que el contratista pueda resolver el contrato, con devolución de fianza, abono completo de gastos, materiales acopiados, etc. y una indemnización equivalente al importe de los daños causados al contratista por el siniestro y que no se les hubiesen abonado, pero solo en proporción equivalente a lo que suponga la indemnización abonada por la compañía aseguradora, respecto al importe de daños causados por el siniestro, que serán tasados a estos efectos por el director de obra.

En las obras de reforma o reparación, se debe fijar previamente la porción del edificio que se debe asegurar y la cuantía de lo que va a costar, y si todo

queda claro, la aseguradora se debe hacer cargo de la parte del edificio afectada por la obra.

Los riesgos asegurados y las condiciones que figuren en la póliza o pólizas de seguros, los pondrá el contratista, antes de contratarlos, en conocimiento del propietario, al objeto de recabar de este su previa conformidad o reparos.

▪ Art 29. Conservación de la obra.

Si el contratista, aun estando obligado, no entiende a la conservación de la obra durante el plazo de garantía, en el caso de que el edificio no haya sido ocupado por el propietario antes de la recepción definitiva, el director de obra, en representación del propietario, podrá disponer todo lo que considere para que atienda a la limpieza y todo lo que fuese menester para su buena conservación, abonándose todo ello por cuenta de la contrata.

Al abandonar el contratista el edificio, tanto por buena terminación de las obras, como en el caso de resolución del contrato, está obligado a dejarlo desocupado y limpio en el plazo que el director de obra señale. Después de la recepción provisional del edificio y en el caso de que la conservación del edificio corra a cargo del contratista, no deberá haber en él más herramientas, útiles, materiales, muebles, etc., que los indispensables para su limpieza y para los trabajos que fuese preciso ejecutar. En todo caso, ocupado o no el edificio, el contratista está obligado a revisar y reparar la obra, durante el plazo expresado, procediendo en la forma prevista para el presente *“Pliego de Condiciones Económicas”*

4. CONDICIONES GENERALES DE ÍNDOLE LEGAL

▪ Art 30. Contrato.

La formalización del contrato se verificará como un documento privado, con el compromiso del contratista y la propiedad de elevarlo a documento público a petición de cualesquiera de las partes. Además, los planos y demás documentos complementarios serán firmados por ambos.

▪ Art 31. Responsabilidades del contratista.

El responsable de la calidad y correcta ejecución de las obras contratadas es siempre el contratista. Además, este no tiene ninguna retribución de ningún tipo del precio de la obra, ni por las incorrectas fases de ejecución de las mismas.

El contratista debe inspeccionar el trabajo realizado por el técnico director de obra.

Las vigentes medidas de seguridad dictaminan, que el contratista esta en la obligación de supervisar que no suceda ningún accidente propio, debido a una mala puesta en marcha de las medidas de seguridad, y además de, evitar zonas de peligro. Según lo descrito anteriormente, ante un tribunal, el responsable de los accidentes producidos por inexperiencia o por descuido de las obras, será el contratista.

▪ Art 32. Leyes laborales de accidente de trabajo.

El contratista está obligado a cumplir rigurosamente todas las legislaciones vigentes, al igual que a tener a todo el personal a sus órdenes debidamente asegurado. La dirección técnica y la propiedad, podrán solicitar la documentación correspondiente a lo antes citado, si fuera requerido por una o ambas partes.

▪ Art 33. Causas de rescisión del contrato.

En el caso de producirse rescisión, se regirá por el “*Reglamento General de Contratación para Aplicación de la Ley de Contratos de Estado*”, y además por el “*Pliego de Cláusulas Administrativas Generales*”. Los siguientes casos pueden ser considerados para la rescisión:

i. Muerte o incapacitación del contratista.

ii. Quiebra del contratista.

iii. Alteraciones del contrato por las siguientes causas:

- Modificación del proyecto en forma tal que represente alteraciones fundamentales a juicio del director de obra, y siempre que la variación del presupuesto sea del $\pm 25\%$ como mínimo de su importe.

- Variaciones en las unidades de obra en $\pm 40\%$.

iv. Suspensión de la obra comenzada.

v. Incumplimiento de las condiciones del contrato, cuando implique descuido o mala fe con perjuicio de los intereses de las obras.

vi. Abandono de la obra sin causa justificada por parte del contratista.

5. CONDICIONES PARTICULARES

5.1 Características de los materiales

▪ Art 1. Cemento.

El cemento deberá cumplir las condiciones exigidas por el “*Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para la recepción del cemento*” (RC-97). Y normas EHIB. Será de una acreditada marca, debiendo recibirse en obra en los mismos envases en que fue expendido en fábrica y se almacenara en sitio donde no haya humedad, de forma que permita el fácil acceso para la adecuada inspección o identificación de cada remesa. Se emplearán los tipos P-250 y P-350, siempre que las características del terreno y del agua de hormigonado lo permitan. En caso contrario se emplearán cementos adecuados para cada ambiente, que proporcionen resistencias similares, y que deberán ser aprobados

para cada ambiente, que proporcionen resistencias similares, y que deberán ser aprobados por el director de las obras, previa realización de las series completas o reducidas de ensayos que prescriba.

▪ Art 2. Agua.

El agua empleada en la confección y curado de los morteros será potable, no admitiéndose aguas que no cumplan las siguientes condiciones:

- i. pH comprendido entre 5 y 8.
- ii. Sustancias solubles en cantidad inferior a quince gramos por litro.
- iii. Contenido en sulfatos, expresados en $(SO_4)^{2-}$ inferior a un gramo por litro.
- iv. No haya existencia de hidratos de carbono, ni siquiera en cantidades mínimas.
- v. Grasas y aceites en cantidad inferior a quince gramos por litro.

▪ Art 3. Áridos.

Los áridos a emplear en morteros y hormigones serán productos obtenidos por clasificación de arenas y granos existentes en yacimientos naturales. En todo caso, el árido se compondrá de elementos limpios, sólidos y resistentes, de uniformidad razonable, sin exceso de piezas planas. Alargadas, blandas, polvo, suciedad, arcilla y otras materias extrañas.

▪ Art 4. Hormigones.

Se definen como hormigones los materiales formados por la mezcla de cemento, agua, árido fino y árido grueso y, eventualmente, productos de adición que al fraguar y endurecer proporciona una notable resistencia.

La dosificación de áridos, cemento y agua será tal que la masa tenga consistencia blanda y que la resistencia característica a compresión a los 28 días en probeta cilíndrica sea de 25 N/mm².

En el caso de que los ensayos de control, dieran como resultado una resistencia características deducida menor que la exigida y que los ensayos de información y/o pruebas de carga ofreciesen resultados satisfactorios que

permitiesen aceptar la obra realizada, el contratista sufrirá una penalización económica consistente en una disminución del precio del m³ de hormigón del 2% al 1% de disminución de la resistencia característica exigida. La disminución del precio no podrá sobrepasar en ningún caso del 50%.

▪ Art 5. Aceros.

Los aceros laminados empleados en la estructura, así como chapas unión, cartelas, redondos, etc., serán de primer uso, del tipo A-42b, claramente definido en la norma MV-102, y cuya resistencia característica será superior a 3700 kg/cm², sin exceder de 4500kg/cm².

Las superficies de los redondos no presentaran asperezas que puedan herir a los operarios.

Estarán exentos de pelos, grietas, sopladuras, mermas de sección y otros defectos perjudiciales a la resistencia de la barra.

Los elementos en los que aprecien defectos de laminación, falta de homogeneidad, machas debidas a impurezas, grietas a cualquier otro defecto, serán desechados sin ser sometido a ningún tipo de prueba.

Las armaduras de acero ordinario se almacenarán de forma que no estén expuestos a oxidación excesiva.

▪ Art 6. Ladrillos.

Serán fabricados con arcillas que no contengan más de un 8% de arena. Su cocción será perfecta, tendrá sonido campanil, buenos frentes y aristas vivas y su factura se presentará uniforme. La forma estará perfectamente moldeada y cortada, no presentará grietas y tendrá las dimensiones usuales.

5.2 Instalaciones de fontanería y saneamiento

▪ Art 7. Instalaciones de fontanería.

Todas las instalaciones se realizarán con el material que se señala en el presupuesto y en su defecto con el que a juicio de la dirección técnica reúna las debidas condiciones de calidad y garantía. Se obedecerá siempre en el material a las secciones y espesores que figuran en el correspondiente documento.

- Art 8. Red horizontal de saneamiento.

Las tuberías enterradas irán sobre la cama de hormigón, vertido en el fondo, adaptada a la mitad inferior del colector. Se autorizará así mismo su colocación sobre la solera de hormigón con calzas de ladrillo, no admitiéndose en ningún caso el asiento directo de la tubería sobre la tierra apisonada. Las arquetas serán ejecutadas en fábrica de ladrillo macizo normal de ½ pies de espesor enfocados y bruñidos en su interior y dándoles en su fondo la forma de canal más apropiada para favorecer la reunión y circulación de las aguas de los tubos que en cada una de ellas concurren.

5.3 Instalaciones eléctricas

- Art 9. Condiciones generales de instalación eléctrica.

En la realización de este proyecto, se tendrá en cuenta, ante todo, lo estipulado por el Ministerio e Industria en su “*Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión*”. Se prestará principal atención a aquellos aparatos y dispositivos destinados a la protección y seguridad, tanto del usuario como de la propia instalación.

- Art 10. Acometida.

Se dispondrá tal y como lo indiquen el resto de los documentos del Proyecto. La sección mínima del conductor neutro deberá ser igual a la de los conductores de fase. Los empalmes y conexiones de los conductores deberán de efectuarse siguiendo métodos o sistemas que garanticen una perfecta continuidad del conducto y de su aislamiento.

- Art 11. Caja general.

Se deberá colocar en un lugar de tránsito general de fácil y libre acceso, lo más alejada posible de la red general de distribución y de otras instalaciones.

Deberá estar precintada, constatar de cortacircuitos de fusibles en todos los conductores de fase, con poder de corte igual a la corriente de cortocircuito posible en el punto de su instalación y tener un borde de conexión de puesta a tierra si la caja es metálica.

▪ Art 12. Cuadro de contadores.

Enlazará la caja general con el lugar donde se hallen los conductores. Deberá terminar en un embarrado o en uno de los bordes que deberán quedar protegidos contra cualquier manipulación indebida.

La línea de enlace deberá discurrir por lugares de uso común y está constituida por:

- i. Conductores aislados en el interior de los tubos, según proyecto.
- ii. Los conductores utilizados serán de material especificado en Proyecto.

Los contadores se instalarán sobre bases constituidas al efecto por materiales adecuados y no inflamables y sus medidas serán las dispuestas por la compañía suministradora.

La zona donde estén situados será de fácil y libre acceso.

La altura mínima del suelo será de 1,5m y la máxima de 1,8m.

Los conductores estarán protegidos contra toda la manipulación indebida en ellos.

Cada contador y fusible de seguridad tendrá un rotulo del circuito o desviación individual al que pertenece.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Envases de vidrio: ventajas y retos de su uso en la industria de bebidas.” Accessed: May 13, 2024. [Online]. Available: <https://thefoodtech.com/historico/ventajas-del-envase-de-vidrio/>
- [2] “Envases de plástico: ¿Son el problema realmente?” Accessed: Apr. 24, 2024. [Online]. Available: <https://dealdos.com/blog/envases-de-plastico/>
- [3] “Botellas de vidrio, tres siglos de historia ligada al mundo del vino – Bodegas Alcasor.” Accessed: Apr. 24, 2024. [Online]. Available: <https://www.bodegasalcasor.com/botellas-vidrio-tres-siglos-historia-ligada-al-mundo-del-vino/>
- [4] “Aplicacion-Medidas-Secundarias-Reduccion-NOx_ANFEVI”.
- [5] “Fabricación de vidrio hueco - mercedes morcillo.” Accessed: Apr. 27, 2024. [Online]. Available: <https://mercedesmorcillo.com/fabricacion-de-vidrio-hueco/>
- [6] “Productividad en el sector de la construcción - ALTERTECNIA.” Accessed: Apr. 24, 2024. [Online]. Available: <https://altertecnica.com/productividad-en-el-sector-de-la-construccion/>
- [7] “2021: año récord para envases de vidrio.” Accessed: May 08, 2024. [Online]. Available: <https://vitrumlife.it/es/2021-a%C3%B1o-r%C3%A9cord-para-envases-de-vidrio/>
- [8] “Principales Países Productores De Vidrio A Nivel Mundial | Cristalizando.” Accessed: May 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.cristalizando.com.ar/paises-productores-de-vidrio-a-nivel-mundial/?shared=false>
- [9] “La producción europea de envases de vidrio alcanza su nivel más alto | La Semana Vitivinícola - Noticias del vino.” Accessed: May 08, 2024. [Online]. Available: <http://www.sevi.net/es/3632/16/19061/La-producci%C3%B3n-europea-de-envases-de-vidrio-alcanza-su-nivel-m%C3%A1s-alto.htm>
- [10] “La asociacion | Anfevi.” Accessed: May 08, 2024. [Online]. Available: <http://www.anfevi.com/la-asociacion/>
- [11] “Qué es un estudio de mercado y cómo hacerlo.” Accessed: May 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.doofinder.com/es/blog/estudio-de-mercado>
- [12] “Ejemplo power point estudio de mercado | PPT.” Accessed: May 08, 2024. [Online]. Available: <https://es.slideshare.net/kmiraldaunah/ejemplo-power-point-estudio-de-mercado>
- [13] “Ciclo de vida del producto - ¿Qué es el ciclo de vida del producto? | SumUp Facturas.” Accessed: May 08, 2024. [Online]. Available: <https://www.sumup.com/es-es/facturas/glosario/cvp/>
- [14] “Tamaño del mercado de Envases de vidrio: pronóstico hasta 2031.” Accessed: May 08, 2024. [Online]. Available:

- <https://www.businessresearchinsights.com/es/market-reports/container-glass-market-109760>
- [15] “Valor de producción mensual de arena sílica México 2023 | Statista.” Accessed: May 08, 2024. [Online]. Available: <https://es.statista.com/estadisticas/598220/valor-de-la-produccion-de-arena-silica-por-mes-mexico/>
- [16] “38°33'32.5"N 6°21'19.9"W - Google Maps.” Accessed: May 19, 2024. [Online]. Available: <https://www.google.com/maps/place/38%C2%B033'32.5%22N+6%C2%B021'19.9%22W/@38.559013,-6.355537,17z/data=!3m1!4b1!4m4!3m3!8m2!3d38.559013!4d-6.355537?entry=ttu>
- [17] J. M. Fernández Navarro, *El vidrio*, 3ª ed. in Textos Universitarios / Consejo Superior de Investigaciones Científicas ; 6. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas [etc.], 2003.
- [18] “El vidrio en el Antiguo Egipto. Amuleto mágico (1) - Amigos de la Egiptología.” Accessed: May 02, 2024. [Online]. Available: <https://egiptologia.com/vidrio-antiguo-egipto-amuleto-magico-1/4/>
- [19] “Molde variable para el termomodelado de vidrio a altas temperaturas de fabricación y uso local.”
- [20] “Vidrio: españoles creen que será el material del futuro.” Accessed: May 07, 2024. [Online]. Available: <https://thefoodtech.com/insumos-para-empaque/para-los-espanoles-el-vidrio-sera-el-envase-del-futuro/>
- [21] “El reciclaje de vidrio en España y Alemania. Artículo para REVIndustrial - Desenchufados.” Accessed: May 20, 2024. [Online]. Available: <https://desenchufados.net/el-reciclaje-de-vidrio-en-espana-y-alemania-articulo-para-revindustrial/>
- [22] G. Adrián Borsella, “Defectos Frecuentes del Vidrio. Definición, Clasificación y Caracterización.” [Online]. Available: www.ceramicaycristal.com.ar
- [23] “Envases de vidrio para uso alimentario de diversos tamaños.” Accessed: May 13, 2024. [Online]. Available: <https://www.berlinpackaging.eu/es/51/envases-de-vidrio-alimentacion>
- [24] “¿Qué es el Vidrio Plano y que usos tiene? - Vidrioservice.” Accessed: May 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.vidrioservice.com/que-es-el-vidrio-plano-y-que-usos-tiene/>
- [25] “Vidrios – Carpeal.” Accessed: May 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.carpeal.com/vidrios/>
- [26] “Vidrio óptico aplicado en ciencia y educación.” Accessed: May 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.glass-product.com/es/glassproducts/optical-glass.html>

- [27] “La fibra de vidrio: características y formas de uso - Blog Aislamientos Diansa.” Accessed: May 14, 2024. [Online]. Available: <https://diansa.com/blog/2019/03/20/fibra-de-vidrio/>
- [28] “APLICACIONES DEL HILO DE FIBRA DE VIDRIO QUE NO CONOCÍAS Y PROBABLEMENTE USAS | Saint-Gobain Mexico.” Accessed: May 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.saint-gobain.com.mx/aplicaciones-del-hilo-de-fibra-de-vidrio-que-no-conocias-y-probablemente-usas>
- [29] “Vidrio soplado - Wikipedia, la enciclopedia libre.” Accessed: May 13, 2024. [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Vidrio_soplado
- [30] “Proceso de vidrio | PPT.” Accessed: May 13, 2024. [Online]. Available: <https://es.slideshare.net/slideshow/proceso-de-vidrio/47832972>
- [31] “LECCION 14.- VIDRIO / PROCEDIMIENTOS DE CONFORMACIÓN DEL VIDRIO. PROCESO FLOTADO. - PDF Descargar libre.” Accessed: May 13, 2024. [Online]. Available: <https://docplayer.es/11863841-Leccion-14-vidrio-procedimientos-de-conformacion-del-vidrio-proceso-flotado.html>
- [32] “Base de datos (Horno, canales...)”.
- [33] “Un proyecto español permite fabricar vidrios de menor impacto medioambiental - CIRCE - Centro Tecnológico.” Accessed: May 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.fcirce.es/noticias/un-proyecto-espanol-permite-fabricar-vidrios-de-menor-impacto-medioambiental>
- [34] “O-I Fuego y arena HD 2016 - ¿Cómo se hacen los envases de Vidrio? - YouTube.” Accessed: May 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=qF9hVyA58xg&list=LL&index=14&t=93s>
- [35] “Formadora para vidrio - E-IS - Bottero - de botellas.” Accessed: May 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.directindustry.es/prod/bottero/product-111863-2448229.html>
- [36] “Archa de Recocido | VIDROMECAÁNICA.” Accessed: May 14, 2024. [Online]. Available: <https://vidromecanica.com/es/equipos/archa-de-recocido>
- [37] “Logics & Controls | Loginspect.” Accessed: May 14, 2024. [Online]. Available: <http://www.logicscontrols.it/es/products/Loginspect>
- [38] “Paletizador-despaletizador por capas - tech series - MSK - para botellas / para recipientes de cristal / para la industria del embotellado.” Accessed: May 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.directindustry.es/prod/msk/product-18627-1764286.html>
- [39] “Retractilado para vidrio, todo lo que debes saber | OMS España.” Accessed: May 14, 2024. [Online]. Available: <https://omsespana.com/blog/retractilado-vidrio/>
- [40] Y. A. Cengel and J. Hernán Pérez, *Transferencia de calor*. McGraw-Hill, 2004.