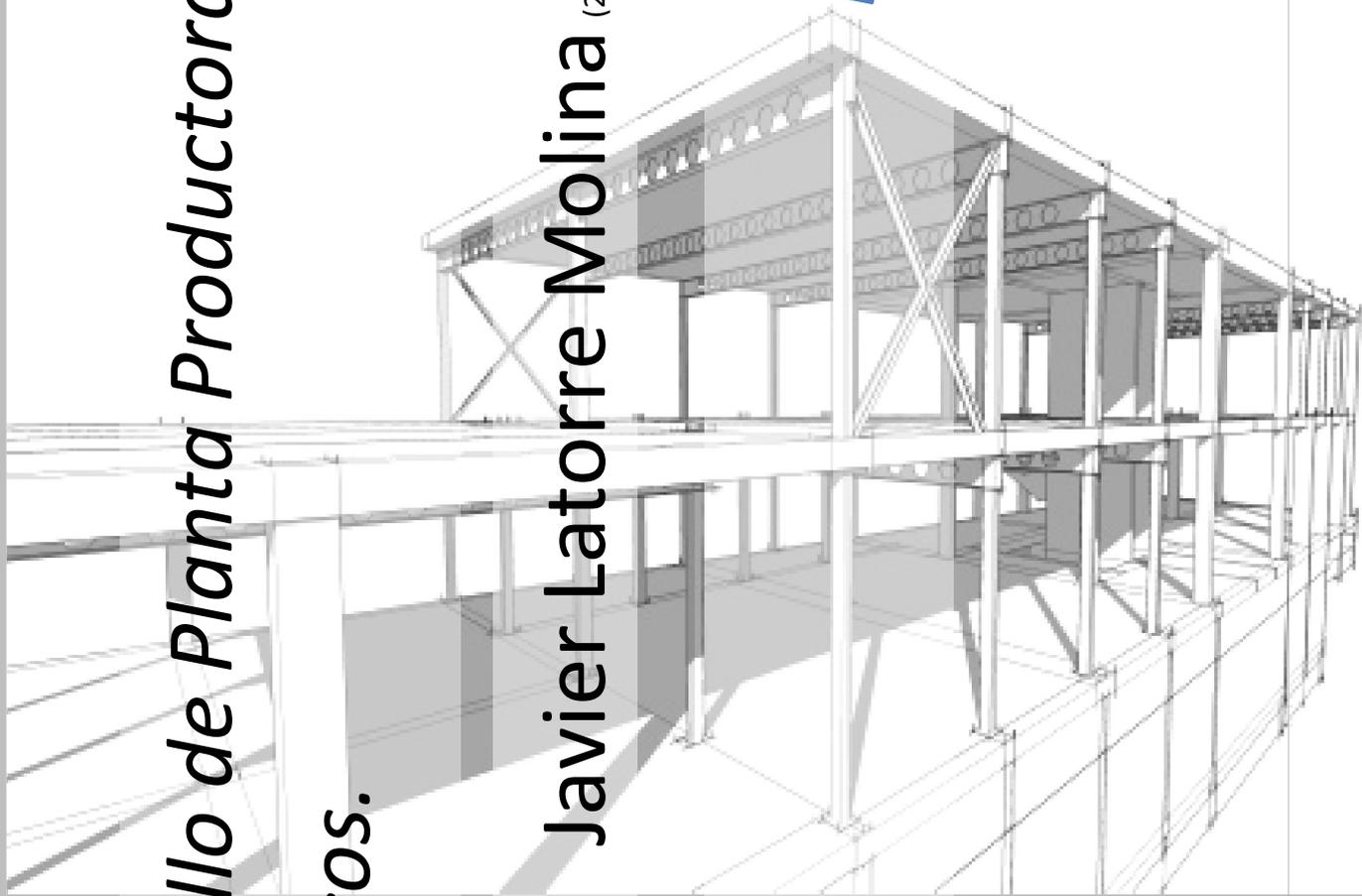


*Desarrollo de Planta Productora de Azulejos  
Cerámicos.*

**Javier Latorre Molina** (23.037.893-N)

**P.F.C 2013**





INDICE:

1.- OBJETIVO DEL PROYECTO

2.- DESCRIPCIÓN DE LAS PIEZAS CERÁMICAS Y SU MERCADO

2.1.- Definición del producto.

2.2.- Definición del mercado.

3.- ESTUDIO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN ESTANDAR

3.1- Preparación de las materias primas.

3.2.- Conformación y secado en crudo de la pieza

3.3.- Cocción o cocciones, con o sin esmaltado

3.4.- Tratamientos adicionales

3.5.- Clasificación y embalaje

4.- ESTUDIO Y CONDICIONES DE CALIDAD

5.- PROPOSICIÓN DE UNA PLANTA EN CONDICIONES REALES.

5.1.- Definir la producción (tipo y cantidad).

5.1.1.- Layout del sistema productivo. Opciones.

5.2.- Edificio (soluciones y disposición)

I.- Cimentación

II.- Estructura

III.- Cubierta y cerramiento

IV. Instalación de Agua y Saneamiento

V. Instalación eléctrica

VI. Calidad del aire interior

5.3- Maquinaria necesaria (justificación y posibilidades)

5.3.1.- Silos

5.3.2.- Horno(s) y sistema de enfriamiento/secado

5.3.3.- Cintas transportadoras

5.3.4.- Sistema de extrusión

5.3.5.- Sistema de prensado

5.3.6.- Sistema de embalaje-transporte



5.4.- Estudio energético.

5.4.1.- Condiciones energéticas básicas

5.4.1.1.- HORNO

5.4.1.2.- SECADERO

5.4.1.3.- INTERCAMBIADOR DE CALOR

5.4.1.4.- COMPRESOR

5.4.1.5.- VENTILADOR Y CALENTADOR DE AIRE

5.4.2.- Condiciones medioambientales de la planta.

5.4.3.- Impacto medio ambiental del sector cerámico

5.5.- Estudio económico y tiempo de construcción.

6.- Bibliografía y Anexos.

Este trabajo va dedicado a mi familia, y en especial en este momento tan difícil...



## 1.- OBJETIVO DEL PROYECTO

Con el fin de completar la titulación de ingeniería mecánica, donde se estudian tanto los distintos sistemas estructurales, sistemas mecánicos, tipos de instalaciones, sistemas térmicos, etc.. se va a realizar un estudio lo más completo posible de una planta industrial de producción de azulejos, desde el estudio previo de la misma hasta la ingeniería de detalle, haciendo previamente un desarrollo del sistema estándar de producción y aplicándolo posteriormente a una solución real, y siendo capaz de definir el complejo por completo (nave industrial e instalaciones).

El objetivo de éste proyecto es plasmar en un documento final todos los conocimientos obtenidos durante la carrera aplicados a un caso lo más real posible, y así tras esta experiencia directa con un caso real estar lo mejor preparado posible para los casos que nos aguardan en la vida laboral que tras acabar este estudio universitario nos espera.

## 2.- DESCRIPCIÓN DE LAS PIEZAS CERÁMICAS Y SU MERCADO.

### 2.1.- Definición del producto.

Al igual que en los conocimientos aprendidos en la carrera, será necesario definir en primer lugar el material con el que vamos a trabajar, y con ello que condiciones químicas y mecánicas el material tiene, y seguidamente el uso del material manufacturado además de en qué condiciones de calidad nos hemos de fijar para tener un producto de primera calidad.

Según la definición que podemos encontrar en la enciclopedia universal, *la cerámica* (palabra derivada del griego *keramikos*, que significa "sustancia quemada") es el arte de fabricar recipientes, vasijas y otros objetos de arcilla, u otro material cerámico y por acción del calor transformarlos en recipientes de terracota, loza o porcelana. Y, genéricamente es también el nombre de estos objetos.

El término se aplica de una forma tan amplia que ha perdido buena parte de su significado. No sólo se aplica a las industrias de silicatos (grupo de minerales de mayor abundancia, pues constituyen más del 95% de la corteza terrestre), sino también a artículos y recubrimientos aglutinados por medio del calor, con suficiente temperatura como para dar lugar al sinterizado. Este campo se está ampliando nuevamente incluyendo en él a cementos y esmaltes sobre material.

Una vez definido con que material vamos a trabajar y en qué condiciones estándar ese material se define, ahora vamos a definir químicamente la materia prima del producto:

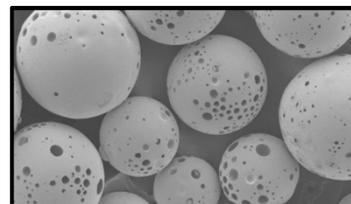
Los materiales cerámicos son compuestos químicos inorgánicos o soluciones complejas, constituidos por elementos metálicos y no metálicos unidos entre sí principalmente mediante enlaces de tipo iónico y/o covalente. Sus aplicaciones son la alfarería, la construcción, la manufactura de utensilios de cocina, e incluso dispositivos eléctricos...



Esta gran versatilidad de aplicaciones se deben a que poseen propiedades muy características que no pueden ser obtenidas con ningún otro material.

Son compuestos inorgánicos constituidos por elementos metálicos y no metálicos, que tienen una estructura cristalina característica.

Un gran número de materiales cerámicos poseen estructuras típicas como la estructura del NaCl, de blenda (ZnS) y de fluorita (CaF<sub>2</sub>). Sin embargo la mayoría de los cerámicos tienen estructuras cristalinas más complicadas y variadas. Entre estas estructuras podríamos destacar las más importantes como son:



Estructura **perovskita** (CaTiO<sub>3</sub>). Ejemplo: BaTiO<sub>3</sub>, en la cual los iones de bario y oxígeno forman una celda unidad cúbica centrada en las caras con los iones bario en los vértices de la celda unidad, y los iones oxígeno en el centro de las caras, el ión titanio se situará en el centro de la celda unidad coordinado a seis iones oxígeno.

Estructura del **corindón** (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Es similar a una estructura hexagonal compacta; sin embargo, a cada celda unidad están asociados 12 iones de metal y 18 de oxígeno.

Estructura de **espinela** (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>). Donde los iones oxígeno forman un retículo cúbico centrado en las caras y los iones metálicos ocupan las posiciones tetraédricas u octaédricas dependiendo del tipo de espinela en particular. Y también Estructura de **grafito**. Tiene una estructura hexagonal compacta.

## PROPIEDADES PRINCIPALES

### 1.- PROPIEDADES MECÁNICAS:

Son duros y a la misma vez frágiles, a temperatura ambiente debido a su enlace iónico/covalente, este hecho supone una gran limitación en su número de aplicaciones. Esta fragilidad se intensifica por la presencia de imperfecciones.

Son deformables a elevadas temperaturas ya que a esas temperaturas se permite el deslizamiento de bordes de grano.

### 2.- PROPIEDADES MAGNÉTICAS

No suelen presentar propiedades magnéticas, sin embargo podemos encontrar algunas cerámicas con propiedades magnéticas como ferritas y granates. Éstas son las llamadas cerámicas ferri-magnéticas. En estas cerámicas los diferentes iones tienen momentos magnéticos distintos, esto conduce a que al aplicar un campo magnético se produzca como resultado una imantación neta.



### 3.- PROPIEDADES ELÉCTRICAS

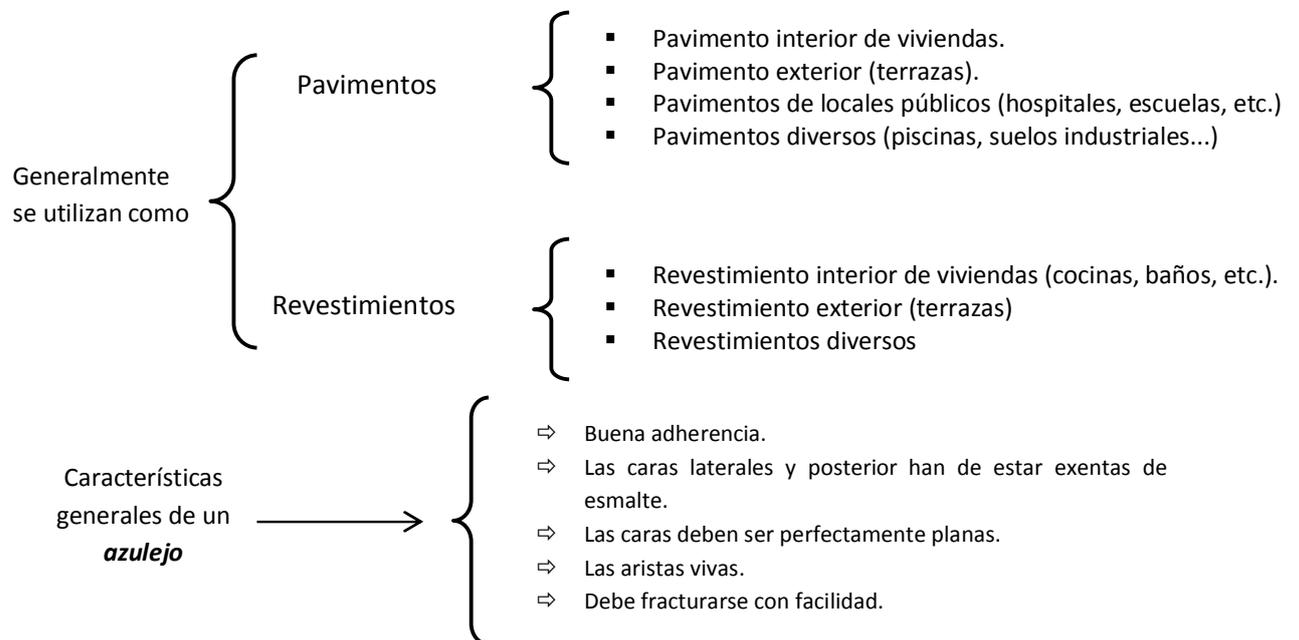
Son en su mayoría aislantes eléctricos debido a que tienen una alta resistencia dieléctrica y baja constante dieléctrica. Algunos de ellos presentan otras propiedades dieléctricas como la polarización.

### 4.- PROPIEDADES TÉRMICAS

La mayoría de los materiales cerámicos tienen bajas conductividades térmicas debido a sus fuertes enlaces iónico/covalentes. La diferencia de energía entre la banda de valencia y la banda de conducción en estos materiales es demasiado grande como para que se exciten muchos electrones hacia la banda de conducción, por este factor son buenos aislantes térmicos. Debido a su alta resistencia al calor son usados como materiales refractarios, y utilizados en las industrias metalúrgicas, químicas cerámicas y del vidrio.

Conocidas las características básicas del material, se va a definir el producto a desarrollar:

Los *azulejos o baldosas cerámicas* son piezas planas de poco espesor fabricadas con arcillas, sílice, fundentes, colorantes y otras materias primas.



Podemos destacar cómo características principales de las piezas cerámicas son:

Los pavimentos y revestimientos cerámicos son piezas impermeables constituidas por un soporte de naturaleza arcillosa, con o sin un recubrimiento esencialmente vítreo: *el esmalte cerámico*. Las materias primas que lo forman provienen de la tierra que, junto al agua y el fuego de cocción, componen un producto natural y de alta calidad. Gracias a la utilización de estos materiales y el alto desarrollo tecnológico, hoy día existe una amplia oferta de productos cerámicos que ofrecen muchas ventajas. Y todo ello, sólo con la utilización de tres elementos



básicos del medio ambiente: la tierra o la arcilla, el agua y el fuego.

La cerámica se caracteriza por su *alta facilidad de limpieza*, su capacidad de preservación de la suciedad y de cualquier tipo de contaminación.

La limpieza se realiza con facilidad simplemente con un paño húmedo y, si la superficie presenta suciedad o grasa, se pueden añadir agentes de limpieza como detergentes o lejías. La naturaleza de la superficie cerámica evita cualquier fenómeno de adherencia, y las grasas se pueden eliminar con gran facilidad. Gracias a ello, hoy en día se ha generalizado su uso en los baños, cocinas, hospitales, laboratorios, piscinas, instalaciones industriales..., donde su uso evita la generación de suciedad y olores.

Por otro lado, su capacidad de *aislante eléctrico*, repercute en que los recubrimientos cerámicos eviten la captación del polvo ambiental eléctricamente activo y, con ello contribuyen al bienestar.

La capacidad del recubrimiento cerámico de prevenir la humedad, evita *el desarrollo de colonias de gérmenes y hongos*, que se generan con facilidad en construcciones donde la permeabilización es deficiente.

La acción de estos organismos sobre algunos recubrimientos no cerámicos es progresiva y pueden ocasionar manchas en su superficie y deterioro de su interior. Por otra parte, por razones higiénicas, siempre hay que evitarse que estos agentes prosperen.

Por ello también se ha extendido su utilización en donde el uso del agua es continuado como en baños, cocinas, instalaciones industriales, laboratorios, piscinas, fachadas...

Los recubrimientos cerámicos no necesitan ningún mantenimiento después de su puesta en obra, excepto las normales operaciones de limpieza. Su resistencia a los cambios bruscos de temperatura, a los agentes químicos y biológicos, su dureza, resistencia al rozamiento..., repercute en su gran durabilidad en las edificaciones. Una nueva instalación de azulejos puede permanecer intocable en cualquier lugar. Por ello se ha proliferado su utilización en todos los lugares, destacando en las fachadas, en los espacios públicos, centros comerciales, paseos y avenidas... También su *incombustibilidad evita la propagación de incendios*.

Su *carácter inerte*, es decir, que repele cualquier posibilidad de vida biológica, evita la degradación del medio ambiente, pues el barro o la arcilla, una vez pasada la fase de cocción, adquiere la misma propiedad que la piedra o elementos de la naturaleza similares.

## 2.2.- Definición del mercado.

Una vez definido el producto, podemos hacer un pequeño análisis del mercado donde se va a desarrollar nuestra actividad empresarial.

En las empresas españolas tienen que competir con la entrada de nuevos suministradores en el mercado, con independencia de países y zonas, haciendo caso omiso a las fronteras (al igual que ocurre en otros sectores manufactureros). Para poder sobrevivir en el mercado tiene que



cambiar de una actividad basada en los recursos dirigida por la industria, a una actividad basada en el conocimiento, dirigida por el mercado. No significa centrarse únicamente en el diseño, sino poder dominar también todo el proceso y el ciclo de vida del producto. Se debe añadir valor a cada fase, a pesar de la incomodidad y tensiones que supone toda adaptación a nuevos cambios.

Estamos en una etapa de profundas transformaciones, estructurales que fundamentalmente afectan a la industria en general. La industria de la baldosa cerámica (azulejos y pavimentos) no es la excepción. Por un lado la industria de la baldosa cerámica ha tenido que enfrentarse a la invasión de productos de los países asiáticos en su propio mercado y por otro esos mismos productos dificultan la penetración en nuevos mercados.

### PRINCIPALES MAGNITUDES ECONÓMICAS DEL SECTOR DEL AZULEJO



En la nueva situación caracterizada por la apertura de los mercados, las empresas que producen bienes en los que la mano de obra es una parte sustancial del coste de producción tienen que decidir si subcontratan a otras empresas o no, toda o parte de la producción o utilizan un suministrador local. Todo ello con el objeto de servir al cliente al mejor precio, diseño y calidad posibles.

El avance de la productividad es comparativamente menor en España, lo que explica que la productividad/costes crezca en nuestro país a un ritmo muy inferior al de los países de nuestro



entorno. La industria española necesita adaptarse y alcanzar un aumento de la productividad para ser más competitiva, aplicando para conseguirlo ajustes estructurales, tales como: reducción de impuestos empresariales o facilitando a las empresas nuevos métodos productivos o a través de negociaciones entre las organizaciones empresariales y representantes de los trabajadores y/o gubernamentales, todo ello con el objetivo de alcanzar un acuerdo que permita elevar la tasa de productividad, manteniendo el beneficio empresarial sin recortar el bienestar alcanzado de los trabajadores. Hay que valorar negativamente el crecimiento de los costes laborales en España, que es superior al de la mayoría de los países de la Unión Europea. En los últimos cinco años, el coste medio/horario creció en España a un promedio anual del 4,4%, frente al 2,8% en la zona euro y el 3,2% en el conjunto de la Unión europea. Estas circunstancias, que vienen produciéndose en los últimos años agravan el deterioro de la competitividad exterior de las industrias y en definitiva de la economía española.

Tras el estancamiento económico de 2001, el incremento de la construcción de viviendas en España en el período comprendido entre los años 2003 y 2006, favoreció el consumo de baldosas cerámicas y el consumo aparente alcanzó un valor máximo en términos históricos. En 2007 el consumo se redujo en 155,93 millones de m<sup>2</sup>, sin embargo su valor alcanzó un importe de 2.027,81 millones de euros, lo que supone un aumento de 465,53 millones de euros.

La contracción de la demanda interna no ha beneficiado sin duda al sector, pero este hecho no ha tenido como consecuencia que diera la espalda al mercado exterior, por el contrario, los datos ponen de manifiesto un lento pero progresivo avance en su posicionamiento en un mercado internacional cada vez más globalizado y competitivo.

En la actualidad con la gran crisis económica que afecta a nuestro país, y especialmente afecta al sector de la construcción, se ve que en los 4 últimos años han sido de unas bajadas grandísimas en el sector, lo que produce pérdidas millonarias.

Esas pérdidas, que no solo son de ámbito nacional sino de toda la unión europea, han impulsado a los productores a buscar otras opciones de expansión en otros mercados, sobre todo en nuevas economías en plena expansión como son países de América latina y la zona asiática, y otras economías que pese a la crisis generalizada se han mantenido como es el caso de USA, la cual es promotora de muchas de las grandes infraestructuras que, por ejemplo en Brasil, Perú o Bolivia, se están llevando a cabo.

Las ventas al exterior del sector a cierre de 2011 alcanzaron los 1.892,1 millones de euros, un 8,3% más que el año anterior, tras una grandísima recesión por la caída de la construcción. La facturación global de esta industria alcanzó los 2.570 millones de euros, de los cuales, el 70% se destinó al exterior, a un total de 182 países.

Por zonas geográficas, sigue siendo la Unión Europea el mercado natural del sector y el principal destino para la industria azulejera española. La UE representa el 41% de las



exportaciones, aunque el crecimiento sigue siendo muy débil, alcanzando únicamente el 1,6% en 2011.

Oriente Próximo se consolida como el segundo destino de las ventas al exterior con un peso del 20,3% del total de las exportaciones y un notable crecimiento del 21% en 2011. Y también destacan las ventas a la Europa del Este que, con un crecimiento del 16%, suponen ya el 12,4% de las exportaciones totales.

Hay que matizar, que a pesar de la crisis europea, en la exportación por países, Francia encabeza el ranking de países receptores con 241 millones de euros y un crecimiento del 8 %. Le siguen Rusia con 126,5 millones, con un incremento cercano al 20%; Arabia Saudí con 122,6 millones y un 22% más; Reino Unido con 93 millones y un ligero retroceso del 2% y Alemania que alcanzó los 82,1 millones y registró un avance del casi el 9 %.

En el futuro, el sector gracias a los avances en la impresión digital, hoy en día se realizan en el sector piezas casi idénticas a estos materiales, con la ventaja de la mayor durabilidad del azulejo. El cemento de la serie Basilea o la pizarra de Namibia, ambos de *Grespania\**; el mármol de la serie Carrara de *Keraben\** y el aspecto metálico de Glasgow de *Porcelanosa\**, son algunos ejemplos.

*\*Los nombres marcados con este símbolo son las empresas que tienen un mayor índice de I+D+I del mercado nacional.*  
[http://www.interiorsfromspain.com/icex/cda/controller/paqeGen/0,3346,1559872\\_5596519\\_5849850\\_4574417\\_0,00.html](http://www.interiorsfromspain.com/icex/cda/controller/paqeGen/0,3346,1559872_5596519_5849850_4574417_0,00.html)



### 3.- ESTUDIO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN ESTANDAR

Tal y como se ha hecho al principio del primer capítulo, vamos a definir lo que es un sistema estándar de producción, y a continuación describiéremos el sistema de producción de nuestro producto en cuestión.

Un *sistema de producción, según la enciclopedia universal*, es aquel sistema que proporciona una estructura que agiliza la descripción, ejecución y el planteamiento de un proceso industrial. Estos sistemas son los responsables de la producción de bienes y servicios en las organizaciones. Los administradores de operaciones toman decisiones que se relacionan con la función de operaciones y los sistemas de transformación que se emplean. De la misma manera los sistemas de producción tienen la capacidad de involucrar las actividades y tareas diarias de adquisición y consumo de recursos. Estos son sistemas que utilizan los gerentes de primera línea dada la relevancia que tienen como factor de decisión empresarial. El análisis de este sistema permite familiarizarse de una forma más eficiente con las condiciones en que se encuentra la empresa en referencia al sistema productivo que se emplea.

En nuestro caso, la producción son piezas cerámicas, las cuales se fabrican a partir de arcillas de distintas calidades y colores, siendo una producción continua y completamente estándar en el catálogo de productos, por lo tanto nuestra producción será un *Sistemas continuo de producción*.

Dicho sistema tiene un flujo continuo son aquellos en los que las instalaciones se uniforman en cuanto a las rutas y los flujos en virtud de que los insumos son homogéneos, en consecuencia puede adoptarse un conjunto homogéneo de procesos y de secuencia de procesos. Cuando la demanda se refiere a un volumen grande de un productos estandarizado, las líneas de producción están diseñadas para producir artículos en masa. La producción a gran escala de artículos estándar es características de estos sistemas.

La materia prima serán las arcillas utilizadas en la composición del soporte pueden ser de cocción roja o bien de cocción blanca. Los azulejos, tanto de pavimento como de revestimiento de paredes, son piezas cerámicas impermeables que están constituidas normalmente por un soporte arcilloso y un recubrimiento vítreo: *el esmalte cerámico*.

Usando la definición podemos razonar el hecho de la arcilla usada será necesario tratarla y cocerla, y posteriormente tratarla superficialmente, y dependiendo de su uso, habrá distintos tipos de acabados y de formas.

La fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos ha experimentado cambios considerables y continuos en los últimos años. Los revestimientos cerámicos son normalmente porosos, lo que favorece la adherencia a la pared o al suelo. En cambio los pavimentos poseen una porosidad baja, inferior al 3% frente a la absorción de agua, con lo que se consiguen mejores características técnicas, que a diferencia de los adobes y los ladrillos no hace falta apenas humedecerlos previamente a su colocación debido a esa baja absorción de agua.

Tradicionalmente el azulejo ha sido fabricado siguiendo métodos diferentes y mediante un proceso prácticamente manual.



El proceso de fabricación de baldosas cerámicas se desarrolla en una serie de etapas sucesivas, que pueden resumirse del modo siguiente:

- A. *Preparación de las materias primas.*
- B. *Conformación y secado en crudo de la pieza*
- C. *Cocción o cocciones, con o sin esmaltado*
- D. *Tratamientos adicionales*
- E. *Clasificación y embalaje*

Dependiendo de que el producto a fabricar sea esmaltado o no, de que éste se fabrique por un procedimiento de *mono-cocción*, *bi-cocción* o *tercer fuego*, en un determinado proceso se realizará o no el esmaltado, o se modificará la secuencia de las etapas de esmaltado y de cocción en la forma adecuada.

Definimos cómo *proceso de bi-cocción* al que la pasta prensada se quema para formar el bizcocho y, posteriormente se aplica el esmalte sobre éste y se cuece nuevamente para dar el acabado final.

Y definimos *Proceso de mono-cocción* al que el esmalte se aplica directamente sobre la pasta prensada y cruda, ambas se queman simultáneamente para dar el acabado final.

El estudio de las distintas etapas son:

### 3.1.- Preparación de las materias primas (A).

El proceso cerámico comienza con la selección de las materias primas que deben formar parte de la composición de la pasta, que son fundamentalmente arcillas, feldespatos, arenas, carbonatos y caolines. El hecho de elegir la materia prima deberá hacerse atendiendo no sólo a sus propiedades físico-químicas, además de su comportamiento en las sucesivas etapas del proceso.

En la industria cerámica tradicional las materias primas se suelen utilizar, por lo general, tal y como se extraen de la mina o cantera o después de someterlas a un *mínimo tratamiento* (simplemente eliminar otros materiales que no sean las arcillas que necesitamos, así como la vegetación que pudiera haber).

Su procedencia natural exige, en la mayoría de los casos, una homogeneización previa que asegure la continuidad de sus características, tanto en propiedades físicas como en tamaño y textura.

Material	Uso Diario (tn)	Uso Mensual (tn)
<b>Feldespato</b>	0.4	12
<b>Caolín</b>	0.2	6
<b>Fritas**</b>	1.2	42
<b>Arcilla esquisto</b>	12	360
<b>Arcilla Roja</b>	20	600
<b>Arena</b>	0.4	12
<b>TOTAL</b>	<b>38</b>	<b>1140</b>



Las partículas de la *Arcilla* tienen unas dimensiones comprendidas entre 0,002 y 0,0001 mm. de diámetro y proceden de la descomposición de rocas de *Feldespato* procedentes en la mayoría de casos de la cantera antes comentada, y tiene la propiedad de que, puesta en contacto con agua, se hincha, pudiendo absorber hasta 200 veces su peso en *agua*.

Se caracteriza por adquirir *plasticidad*<sup>1</sup> al ser mezclada con agua\*, y también *tixotropía*<sup>3</sup> además de *dureza*<sup>2</sup> al calentarla por encima de 800 °C.

La *arena* a usar es el conjunto de partículas pequeñas de rocas que se acumulan en las orillas del mar o de los ríos, que se usan para elaborar morteros y hormigones, en este caso para la creación de la pasta-base de las baldosas, sirviendo como elemento de compactación de las partes las coquerías intermedias de aglomerante y aglomerado.

La arena se utiliza por su extraordinaria dureza y alto *punto de fusión*<sup>4</sup>.

Y por último tenemos el *caolín* que es una arcilla blanca muy pura que se utiliza para la fabricación de porcelanas, en este caso es la arcilla que le da dureza a la pasta y junto con los carbonatos dan la dureza ya que en la forma maciza como caliza, como mineral metamórfico en forma de mármol y es a menudo el cemento natural de las piedras areniscas.

Además necesitamos *agua* para preparación de pastas y esmaltes, además de la preparación de la pieza para la posterior aplicación de esmaltes.

El agua da a la mezcla la fluidez para tener una homogeneidad y facilidad de trabajo, necesarias para que la partida de producto sea lo establecido en las condiciones iniciales del mismo.

Para éste uso el agua debe cumplir con los siguientes criterios:

- ⇒ Ausencia de material flotante, disuelto y de espumas.
- ⇒ Ausencia de grasas y aceites que formen película visible.
- ⇒ Ausencia de sustancias que produzcan olor o coloren el agua.

La arcilla extraída de la mina se almacena en grandes patios adyacentes a la planta, donde se adiciona agua y en algunas ocasiones algunos agentes químicos que promueven su humectación y plastificación, dejándola en reposo durante varios días a fin de que adquiera la consistencia apropiada para realizar el moldeado.

Una vez conocidas las materias primas, es necesario *pesarlas* adecuadamente de tal modo que siempre se cumplan los estándares establecidos y de manera que la calidad del producto sea consistente. Por lo tanto, es esencial el uso de balanzas de precisión y que no haya fallos en la rutina de pesado, cómo estimación en la tabla de este apartado se ve reflejado el peso de cada elemento por toneladas.



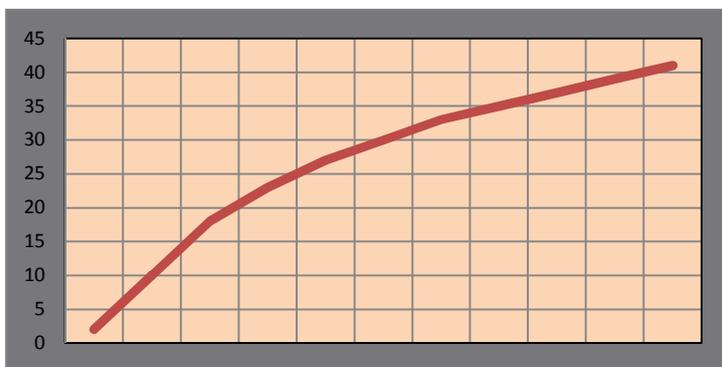
### LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

Antes de proceder a la fase conformación, es precisa una trituración para lograr la máxima compactación de la arcilla. Cuando el tamaño de todos los granos es semejante, entonces el volumen aparente que ocupa el conjunto es muy grande. Aunque si al contrario existe una cantidad de granos finos, el volumen aparente es menor y la superficie específica aumenta.

Los procesos cerámicos requieren una distribución granulométrica en la que la densidad de empaquetamiento sea máxima.

La figura representa la curva de distribución granulométrica que proporciona la mayor *compacidad*<sup>5</sup>. Una regla fácil que evita el trazado de toda curva consiste en lograr que la relación entre el porcentaje retenido por el tamiz mitad (2,5 mm) y décima parte (0,5 mm) se aproximadamente 70% / 30%.

Una distribución granulométrica *inadecuada* supondrá una cantidad mínima de contacto entre las partículas durante la cocción lo que con frecuencia conduce a serios problemas durante el secado, ya que al producirse la evaporación del agua se generan espacios vacíos que generan grietas, tal y como se ve en la gráfica donde a mayor evaporación tenemos un % porcentaje mayor de probabilidades de que las grietas se produzcan en zonas críticas de la pieza.



En la gráfica se ve que la posibilidad de rotura aumenta cuando hay una pérdida alta de agua rápidamente.

La presencia de *fisuras*<sup>6</sup> superficiales en los materiales tiene su origen en la incorrecta distribución granulométrica de las partículas, ya que una partícula de gran tamaño no queda recubierta por el líquido produciendo una discontinuidad en la pieza.

Con frecuencia se atribuye este defecto a la falta de plasticidad de la pasta, aunque esto sólo es cierto en parte. Estos defectos superficiales se suelen solventar modificando la distribución granulométrica de la pasta. Una práctica común consiste en aplicar árido desgrasante sólo en la periferia de la torta de arcilla al salir de la extrusora: “arenado”. De esta forma se consigue toda una gama de textura y colores sin mermar las propiedades plásticas del resto de la masa.

(1) **Plasticidad:** Propiedad mecánica de un material, biológico o de otro tipo, de deformarse permanentemente e irreversiblemente cuando se encuentra sometido a tensiones por encima de su rango elástico.  
(2) **Dureza:** Dificultad que oponen los cuerpos a ser rayados definidos en la *Escala de Mohs*. La dureza se mide con unos instrumentos llamados *durómetros* y existen diferentes escalas de dureza *Brinell*, *Rockwell*, *Vickers*, etc...  
(3) **Tixotropía:** La tixotropía se define como el fenómeno consistente en la pérdida de resistencia de un coloide, al amasarlo, y su posterior recuperación con el tiempo. Las arcillas tixotrópicas cuando son amasadas se convierten en un verdadero líquido. Si, a



continuación, se las deja en reposo recuperan la cohesión, así como el comportamiento sólido. Para que una arcilla tixotrópica muestre este especial comportamiento deberá poseer un contenido en agua próximo a su límite líquido. Por el contrario, en torno a su límite plástico no existe posibilidad de comportamiento tixotrópico.

(<http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/Arcillas.htm#aplicacc> / 16/Febrero/2010)

(\*) *Capacidad de absorción*: La capacidad de absorción está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad) y se puede hablar de dos tipos de procesos que difícilmente se dan de forma aislada: absorción (cuando se trata fundamentalmente de procesos físicos como la retención por capilaridad) y adsorción (cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y el líquido o gas adsorbido, denominado adsorbato). La capacidad de adsorción se expresa en porcentaje de absorción con respecto a la masa y depende, para una misma arcilla, de la sustancia de que se trate. La absorción de agua de arcillas absorbentes es mayor del 100% con respecto al peso.

(4) **Punto de fusión** es la temperatura a la cual se encuentra el equilibrio de fases sólido - líquido, es decir la materia pasa de estado sólido a estado líquido, se funde. Cabe destacar que el cambio de fase ocurre a temperatura constante. El punto de fusión es una propiedad intensiva. En la mayoría de las sustancias, el punto de fusión y de congelación, son iguales. A diferencia del punto de ebullición, el punto de fusión de una sustancia es poco afectado por la presión y, por lo tanto, pueden ser utilizado para caracterizar compuestos orgánicos y para comprobar su pureza.

(5) **Compacidad** es Calidad de compacto de un material. Un material es más compacto cuanto menor **porosidad** existe en su interior.

(6) La **Fisura, en el concepto de la Mecánica de fractura** es una rama de la mecánica de sólidos deformables ocupada del estudio de la estabilidad estructural de materiales, considerando la formación y propagación de grietas o defectos en materiales y analizando condiciones tensionales con la concentración de tensiones debida a dichos defectos.

Utiliza métodos analíticos derivados de otras ramas de la mecánica y la ciencia de materiales para estudiar los mecanismos que formación y propagación de defectos, y métodos experimentales relativos a la mecánica de sólidos para determinar las resistencias relativas del material a la fractura.

En materiales dúctiles e incluso en materiales que parecen frágiles, en el extremo de toda fisura se desarrolla una zona de plastificación. Cuando la carga aplicada aumenta, la zona plástica crece en tamaño hasta que la fisura progresa descargándose el material a ambos lados de la fisura ya progresada.



### 3.2.- Conformación y secado en crudo de la pieza (B)

Una vez realizada la primera mezcla de los distintos componentes de la pasta cerámica, ésta se somete por lo general a un proceso de molturación y homogeneización, que puede ser vía seca (molinos de martillos o pendulares) o vía húmeda (molinos de bolas continuos o discontinuos), lo que servirá para reducir aún más su tamaño y con ello la mezcla sea si cabe todavía más homogénea en tamaño y propiedades.

El material resultante de la molturación presenta unas características distintas si aquella se efectúa por vía seca o por vía húmeda.

En el primer caso se produce una fragmentación, manteniéndose tanto los agregados como los aglomerados de partículas, siendo el tamaño de partículas resultante (existen partículas mayores de 300 micras) superior al obtenido por vía húmeda (todas las partículas son menores de 200 micras). Al elegir el tipo de molturación a emplear, un factor decisivo lo constituye el coste de la inversión a realizar en cada caso, a menor tamaño más coste.

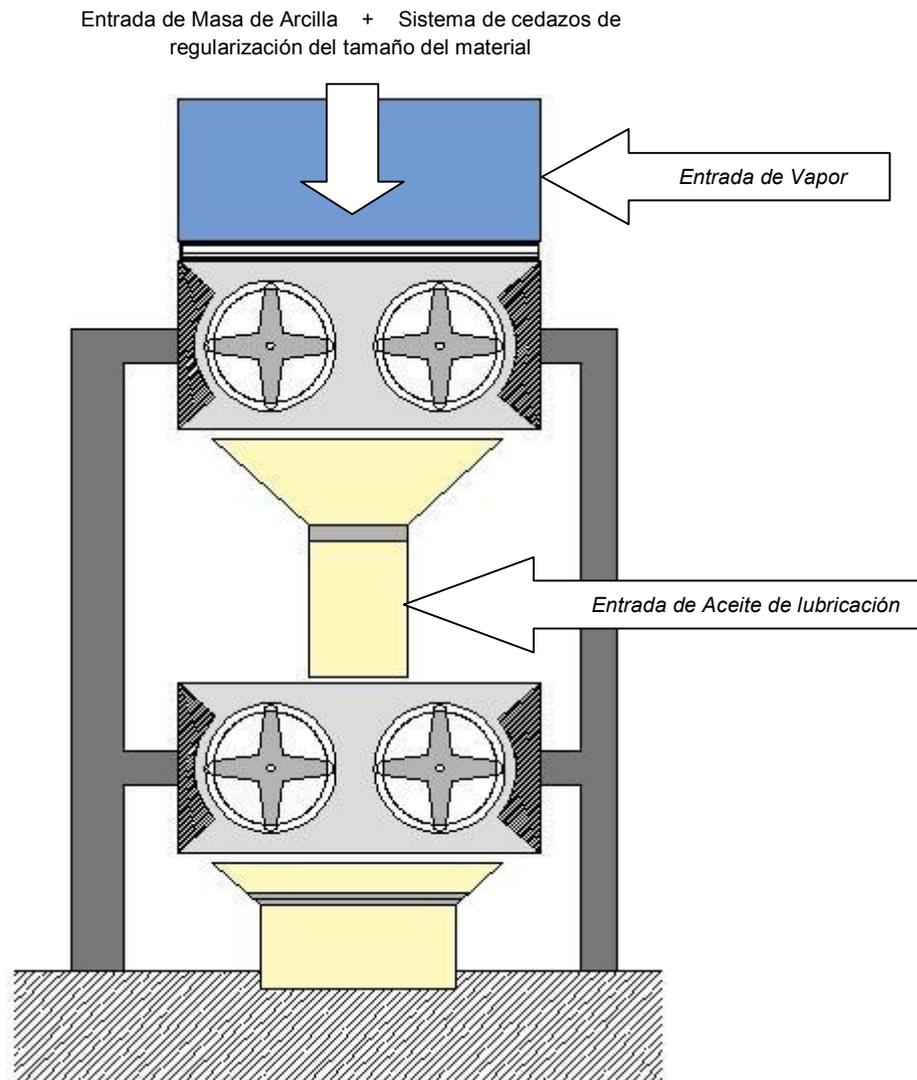
El *proceso de amasado* consiste en el mezclado íntimo con agua de las materias primas de la composición de la pasta, con esto se consigue una masa plástica fácilmente moldeable por extrusión.

Dicho amasado se realiza en una *amasadora industrial* especial para las tortas de arcilla donde se produce la regularización del tamaño de salida de la arcilla, y un mejor grado de refinamiento, teniendo un rango de entre 8 a 20 Toneladas/hora en función de la capacidad de la cuba de amasado.

En la amasadora de arcilla generalmente se efectúa el precalentamiento de la arcilla con vapor a temperaturas entre 50 y 80°C, en la cámara de vacío se reduce la cantidad de aire de la mezcla y las cintas delgadas y cordones de masa en parte se elimina el vapor de agua de, para lograr un volumen de aire en la masa de entre el 3 y el 5%, a fin de tener la mayor masa posible de torta de arcilla amasándose en la máquina y se oxide lo menos posible en contacto con el aire .

Posteriormente la masa se comprime en 2 etapas por acción de las hélices y es obligada a pasar a través del un cabezal y una boquilla con la forma de la pieza que queremos producir, con lo cual se eliminan algunos efectos plásticos perjudiciales en la masa, que pueden hacer que se deforme el perfil a la salida, es esta etapa es necesario lubricar la masa por lo que deberemos de suministrar aceite de lubricación de baja densidad dosificado en la segunda etapa de producción en la zona posterior a la primera mezcla con el fin de reducir la fricción entre la masa de arcilla y las paredes de la boquilla (0.3 l de aceite por cada 1000 piezas producidas).

En problema es que la irrigación con aceite lubricante retrasa relativamente el secado de las piezas, pero disminuye el agrietamiento de las mismas.



El *proceso de atomización* es un proceso de secado, por el cual una suspensión pulverizada en finas gotas, entra en contacto con aire caliente para producir un producto sólido de bajo contenido en agua. El contenido en humedad presente en la suspensión suele oscilar entorno a 0,30-0,45 kg. de agua / kg. de sólido seco, este contenido en agua tras el proceso de atomización se reduce a 0,05-0,07 kg. de agua / kg. de sólido seco.

El proceso de secado por atomización se desarrolla según una secuencia, que comprende las siguientes etapas:

- 1.- Bombeo y pulverización de la suspensión.
- 2.- Generación y alimentación de los gases calientes.
- 3.- Secado por contacto gas caliente-gota suspensión.
- 4.- Separación del polvo atomizado de los gases.

La homogeneidad del pulverizado y las altas velocidades de evaporación de humedad permiten una temperatura del producto menor que la del aire que sale de la cámara de secado. De este modo, el producto no se ve sometido a temperaturas altas y una vez separado



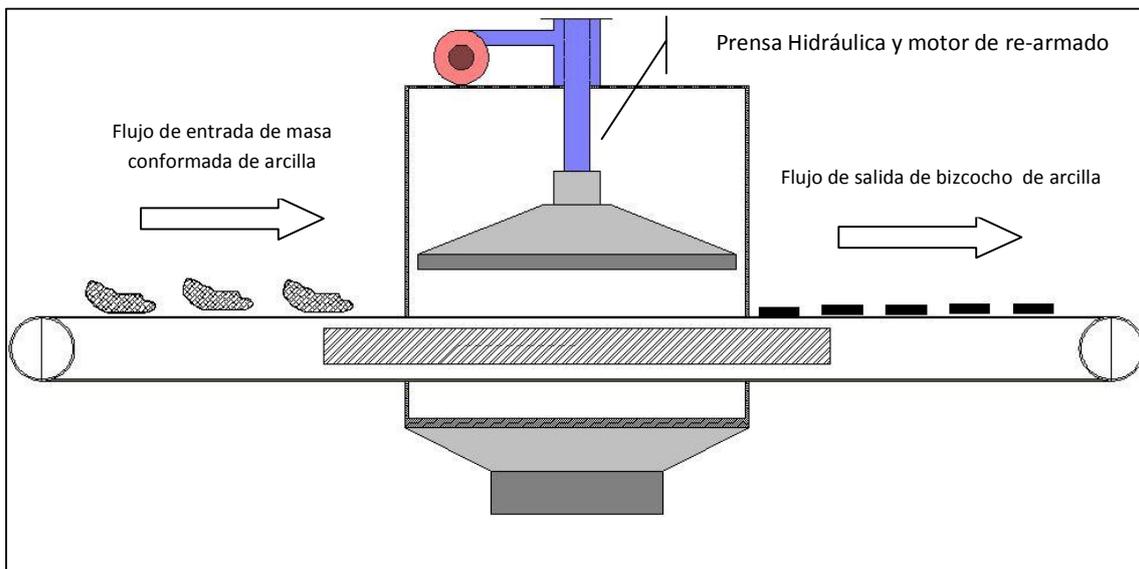
del aire de secado no presenta degradación térmica. El principio básico que dice "evaporación produce enfriamiento" es muy adecuado a esta operación.

### **Máquina de moldeado**

Después de almacenada, la arcilla es transportada a una máquina de moldeado que forma el bizcocho de arcilla.

#### ⇒ ***Prensado en seco.***

El procedimiento predominante de conformación de las piezas pieza es el prensado en seco (5-7% de humedad), mediante el uso de *prensas hidráulicas*. Este procedimiento de formación de pieza opera por acción de una compresión mecánica de la pasta en el molde y representa uno de los procedimientos más económicos de la fabricación de productos cerámicos de geometría regular, como es nuestro caso, ya que la producción que buscamos será completamente regular geométricamente.



Tiene lugar al compactar polvos finamente granulados de materias primas con pequeñas cantidades de agua o pegamentos de origen orgánicos en un troquel.

Se procede a un calentamiento del material con el fin de que la pieza adquiera las fuerzas y micro-estructura deseadas, buscando que sea lo más regular posible respecto a composición.

El proceso es la llamada "*Compactación isostática*", que consiste en:

- i. Los polvos cerámicos se cargan en una matriz flexible (normalmente de caucho).
- ii. La matriz se encuentra dentro de un fluido hidráulico al que se le aplica presión, con el fin de mejorar la compactación dándole fluidez y reduciendo fricción y calentamiento.
- iii. Las fuerzas compactan el polvo de manera uniforme *en todas las direcciones (60 a 80 Mpa)*.
- iv. Se somete al calentamiento para obtener una micro-estructura estable y homogénea.

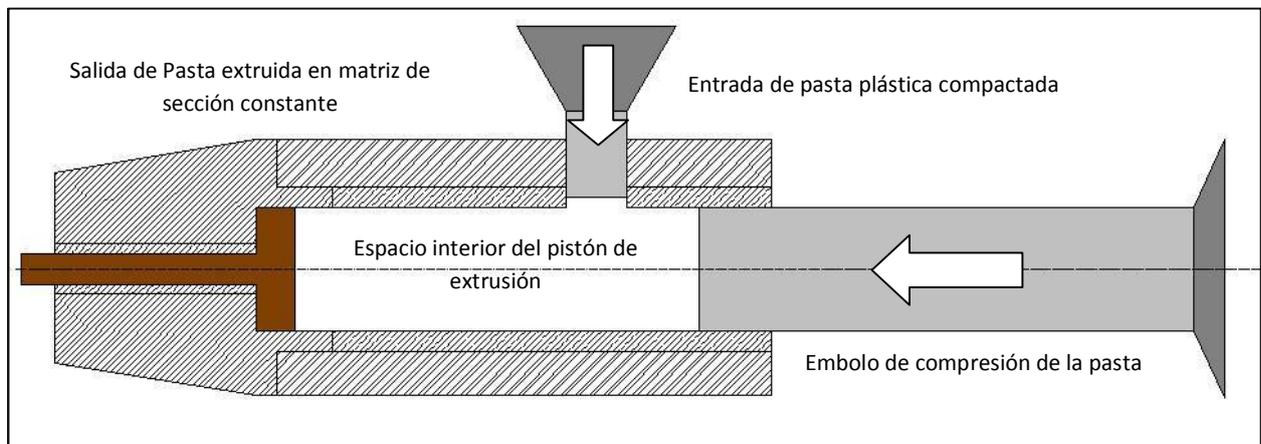


⇒ **Proceso de extrusión.**

Básicamente el procedimiento de conformación de pieza por extrusión consiste en hacer pasar una columna de pasta, en estado plástico bastante compactada, a través de una matriz o un molde de salida que forma una pieza de sección constante, a fin de conseguir la forma deseada, tal y cómo se ve en el diagrama.

El sistema de “Compresión previo en caliente”, se caracteriza por:

- i. Se obtienen piezas de alta densidad y propiedades mecánicas optimizadas.
- ii. Combinación de la presión (300 Mpa de presión) y los tratamientos térmicos (próximo a los 80°C), proporciona buenos resultados en las piezas de salida al alcanzar las propiedades de partida.
- iii. Utilización de presiones unidireccionales (en la dirección de extrusión) como isostáticas, de tal modo que el diagrama de esfuerzos se puede suponer lineal, siempre que la longitud de la pieza no sea excesiva.



Factor	Valores típicos
Rendimiento unidades/hr	10000 – 15000
Potencia del motor kW	40 – 130
Peso ton	3.6 – 13.7
Gasto específico energía kW/(1000 unid – h)	15 – 26.5

Características típicas de extrusoras de arcilla

Es necesario conocer la interacción pasta/máquina para el funcionamiento del conjunto. Así para favorecer la salida de la pasta por el molde deben reunirse unos cuantos factores:

-La pasta debe ser plástica para que permita su deslizamiento. (Una pasta muy rígida giraría con la hélice sin comprimirse y una muy fluida llenaría las hélices pero no avanzaría).

-El rozamiento interno de la pasta ha de ser superior al del conjunto pasta-acero, para mejorar el trabajo de la máquina y evitar que haya un deslizamiento excesivo de la pasta.



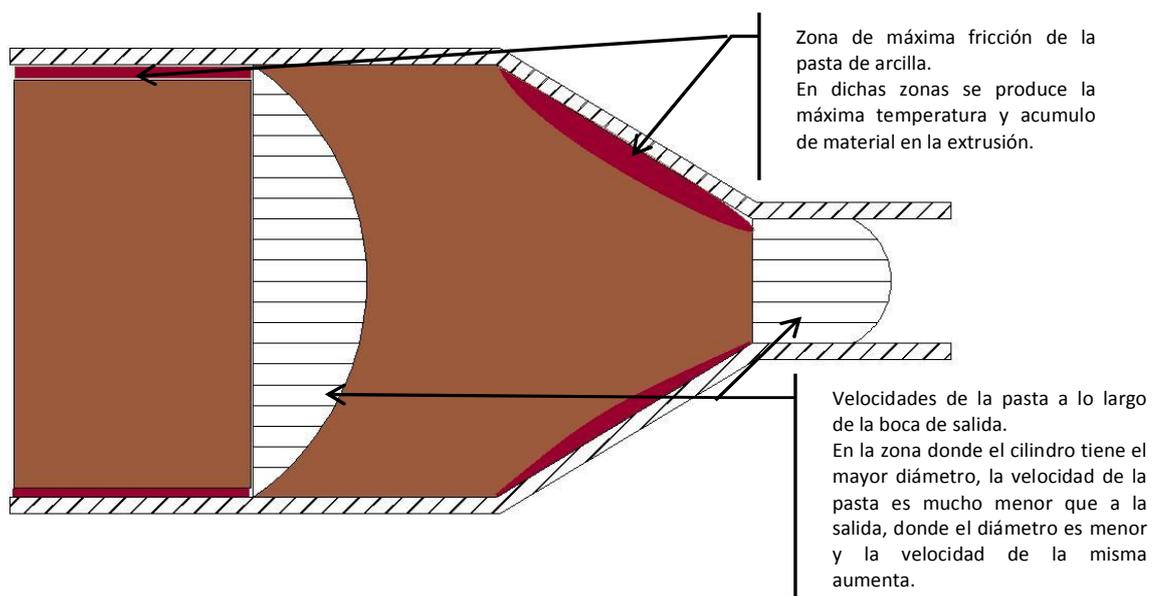
De hecho la formación de la presión es consecuencia de dos parámetros que necesariamente se deben conciliar:

-La *reología*<sup>6</sup> de la pasta. La viscosidad de la pasta es una fuerza pasiva y para conseguir el flujo ha de vencerse una resistencia.

-La geometría de salida de la extrusora. Es obvio que cuantos menos agujeros tenga el molde y de menor diámetro sean, mayor será la pérdida de carga, o más elevada deberá ser la presión de extrusión.

### LA CONICIDAD DE LA BOCA

La regla básica aconseja que la máxima dimensión de la pieza no sobrepase el diámetro de la hélice extrusora. Pero por lo general cuando se adquiere una galletera, se pretende fabricar una serie de formatos de *geometría variable*. Esto supone que el fabricante de la extrusora facilite una boquilla estándar, parte superior de la figura. Sin embargo cuando, con la misma máquina se intenta fabricar formatos de dimensión inferior al diámetro de la hélice se producen unas zonas muertas en la boquilla que provoca un rozamiento no deseado. Si la situación se debe prolongar es preferible colocar una de estructura boquilla cónica.



(6) La *reología* es la parte de la física que estudia la relación entre el esfuerzo y la deformación en los materiales que son capaces de fluir y encontrar las ecuaciones constitutivas para modelar el comportamiento de los materiales. Las propiedades mecánicas estudiadas por la reología se pueden medir mediante reómetros, aparatos que permiten someter al material a diferentes tipos de deformaciones controladas y medir los esfuerzos o viceversa. Algunas de las propiedades reológicas más importantes son:

- Viscosidad aparente (relación entre esfuerzo de corte y velocidad de corte)
- Coeficientes de esfuerzos normales
- Viscosidad compleja (respuesta ante esfuerzos de corte oscilatorio)
- Módulo de almacenamiento y módulo de pérdidas (comportamiento visco-elástico lineal)
- Funciones complejas de visco-elasticidad no lineal



### **- DEFECTOS EN LA EXTRUSION**

Tras la extrusión, las diversas texturas de la pasta o defectos en la misma, pueden atribuirse a:

- a. Insuficiente llenado de la zona del pistón y rotación de la barra (A).
- b. Diferentes valores de la fricción en diversas zonas, lo que conlleva que no sea homogéneo y la pieza tenga distintos niveles de calidad en el acabado (B).
- c. Diversas velocidades de salida que producen ondulaciones en las caras (C).

Si la operación de extrusión no se realiza adecuadamente, se pueden presentar un incremento significativo de costos por las fisuras que genera, tanto en el secado como en la cocción y aún luego de la cocción.

Una extrusión defectuosa se traduce en tensiones que muchas veces se ponen de manifiesto largo tiempo después del conformado.

Los resultados de la extrusión dependen de dos grupos de factores: de las materias primas y de su historia de elaboración en primer lugar y de la calidad de las maquinas de conformado/extrusión en segundo.

Como factor fundamental para evitar problemas en la extrusión, se debe asegurar su homogeneidad de composición (plasticidad), de humedad y de alimentación.

#### **Secado de piezas conformadas.**

En esa operación se busca transferir calor y reducir masa a las piezas moldeadas, para reducir su humedad, con las mínimas pérdidas y en los plazos más cortos que garanticen su integridad en las posteriores operaciones de calentamiento y cocción.

El secado de las arcillas y de las pastas cerámicas tiene una importancia considerable para la calidad del producto. Cuando una arcilla se seca, se presenta una contracción, la cual, si el secado es demasiado rápido y desigual puede dar lugar a la formación de grietas en el producto.

El porcentaje de humedad residual depende de las operaciones posteriores que han de realizarse en fases posteriores de la producción del producto. En los casos que el objeto es barnizado en crudo, deberá desecarse hasta un grado de humedad final de 0.2 a 1.0%, mientras que si se trata de cerámica ordinaria de construcción, conviene desecar el producto hasta que el porcentaje de humedad final quede por debajo del de la humedad higroscópica de la arcilla, lo cual ocurre aproximadamente a un 10%.

Si se deja mucho tiempo fuera del secadero a las piezas éstas volverán a absorber humedad del aire hasta lograr el equilibrio con la presión de vapor de agua del aire ambiente, este fenómeno resulta antieconómico, por lo cual si el objeto ha de ser secado hasta grados de humedad muy bajos, es preciso enviarlo de inmediato a cocción. De lo contrario se necesitará energía adicional para su desecado durante la cocción



La pieza cerámica una vez conformada se somete a una etapa de secado, con el fin de reducir el contenido en humedad de las piezas tras su conformado hasta niveles lo suficientemente bajos (0,2-0,5 %), para que las fases de cocción y, en su caso, esmaltado se desarrollen adecuadamente. Secado y eliminación de aglutinante:

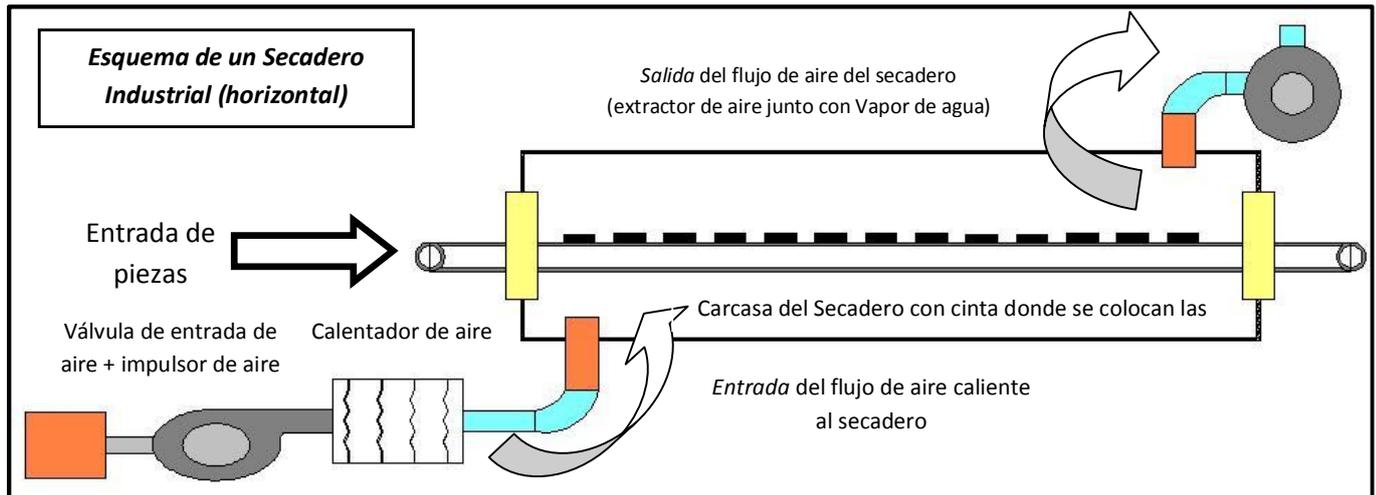
- i. Es necesario eliminar el agua antes de someter el cuerpo a altas temperaturas (en el secadero que comentamos a continuación), dicha humedad se elimina calentando las piezas a 100°C.
- ii. Y los aglutinantes orgánicos se eliminan a partir de los 200°C hasta los 300°C.

En los secaderos que normalmente se utilizan en la industria cerámica, el calor se transmite mayoritariamente por convección, desde gases calientes a la superficie de la pieza, participando ligeramente el mecanismo de radiación desde dichos gases y desde las paredes del secadero a dicha superficie.

Por lo tanto, durante el secado de piezas cerámicas, tiene lugar simultánea y consecutivamente un desplazamiento de agua a través del sólido húmedo y a través del gas. El aire que se utiliza debe ser lo suficientemente seco y caliente, pues se utiliza, no sólo para eliminar el agua procedente del sólido sino también para suministrar la energía en forma de calor, que necesita esa agua para evaporarse.

Actualmente el secado de las piezas se realiza en secaderos verticales u horizontales.

Tipo	Características
<b>Natural</b>	Al aire libre o bajo techo, los productos obtenidos son de calidad variable y no se puede controlar la humedad final de los mismos antes de la cocción, dado que ésta depende fundamentalmente de la humedad del ambiente.
<b>Intermitente</b>	El material se ubica en cámaras en las que se hace circular aire caliente, proveniente del horno de cocción, el control del proceso es deficiente, pero la calidad de los productos aumenta.
<b>Continuo</b>	Se realiza en túneles o cámaras con longitudes superiores a 40 m de longitud, anchuras de 1.15 a 1.40 m y alturas de hasta 2 m, donde el material circula en vagonetas. Se impulsa el aire caliente a temperaturas de hasta 150°C, en sentido inverso al avance del material logrando así un aumento progresivo en la temperatura del material y una disminución en su contenido de humedad, facilitando el control de las condiciones del proceso. La duración del secado en tales condiciones está entre 121 y 48 horas, la temperatura de salida del aire es de 25 – 30°C a una humedad relativa del 75 – 95%, la humedad final de la masa es de un 6 – 8%.



### 3.3.- Cocción o cocciones, con o sin esmaltado (C)

La cocción es tal vez la fase más importante del proceso de fabricación de una pieza cerámica siempre y cuando las etapas anteriores de preparación de materias primas, moldeo y secado se hayan hecho correctamente.

Una cocción eficiente y eficaz es aquella que evita todos los defectos que pudieran presentarse en la pieza, obteniendo así una pieza de buena calidad apta para el mercado. Para llegar a sacar el mejor provecho de una cocción, sin importar la técnica que estemos usando (bizcochado con una segunda cocción ó simplemente una mono-cocción) es necesario conocer las reacciones que tienen lugar en la pieza durante la cocción.

En los productos no esmaltados, tras la etapa de secado se realiza la cocción. Asimismo, en el caso de productos esmaltados fabricados por bi-cocción, tras el secado de las piezas en crudo se realiza la primera cocción.

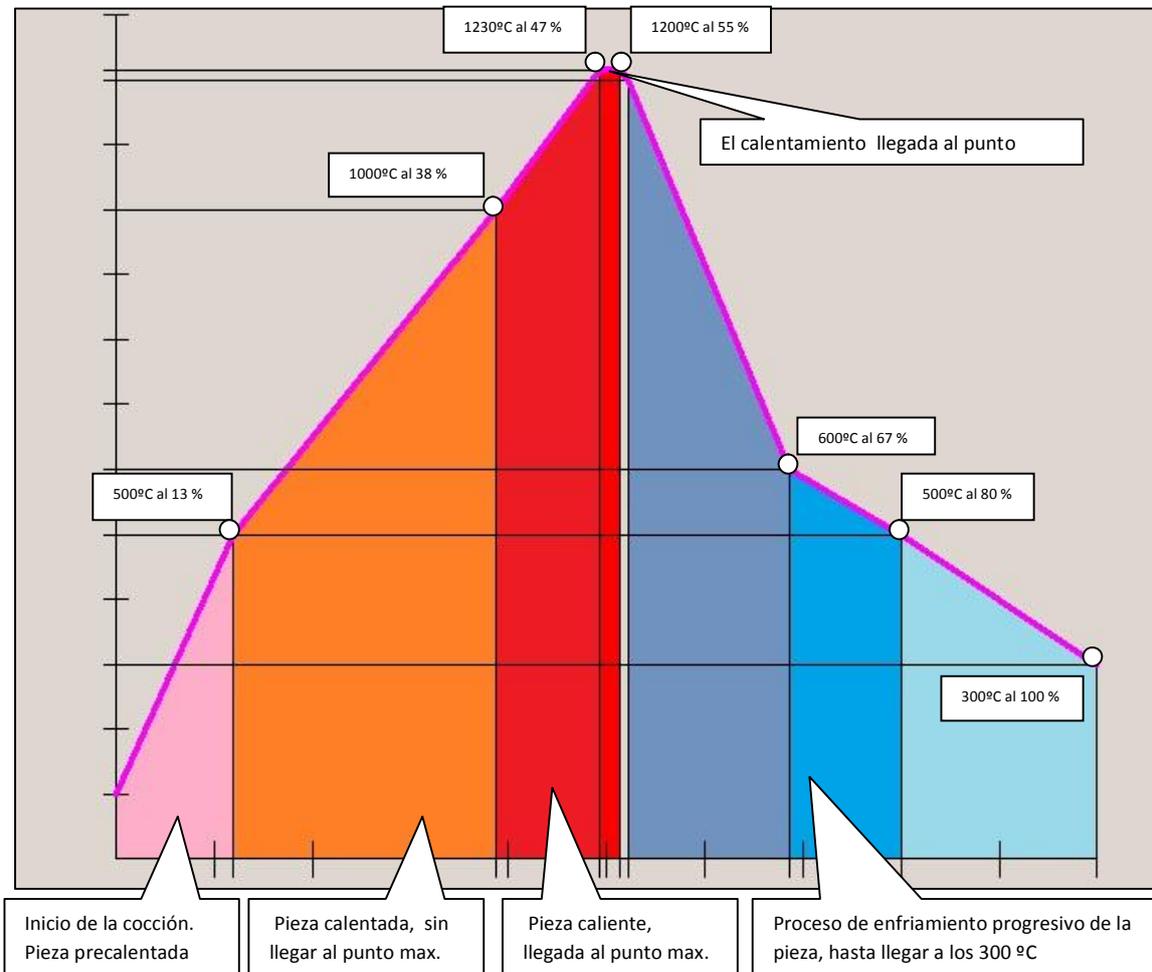
La operación de cocción consiste en someter a las piezas a un ciclo térmico de cuatro etapas distintas, durante el cual tienen lugar una serie de reacciones en la pieza que provocan cambios en su micro-estructura y les confieren las propiedades físicas y químicas finales deseadas.

Durante las citadas etapas de cocción se descomponen sustancias para dar lugar a otras, este tipo de reacciones llamadas de descomposición son reacciones que absorben calor *reacción endotérmica*<sup>1</sup>; existen otras reacciones como las de oxidación y la que permiten la formación de otras fases cristalinas, las cuales emiten calor, *Reacción exotérmica*<sup>2</sup>.

La cocción de los productos cerámicos es una de las etapas más importantes del proceso de fabricación, ya que de ella dependen gran parte de las características del producto cerámico: resistencia mecánica, estabilidad dimensional, resistencia a los agentes químicos, facilidad de limpieza, resistencia al fuego, etc.



Las variables fundamentales a considerar en la etapa de cocción son, el ciclo térmico y la atmósfera del horno, que deben adaptarse a cada composición y tecnología de fabricación, dependiendo del producto cerámico que se desee obtener, el producto se debe de precalentar, se ha de cocer y debe haber un enfriamiento progresivo tal y como se muestra en el gráfico.



Otras condiciones para una buena cocción son:

- (1).- Uniformidad de la temperatura en el horno lo más perfecta posible, evitando el contacto directo de la llama con el producto cerámico, ya que la pérdida tan rápida del agua de la pieza producirá una fragilidad excesiva de la pieza e incluso fisuras en la superficie, y en el caso de que la exposición sea muy prolongada, incluso quemado/perdida de color del material.
- (2).- Control de la curva de cocción (véase gráfico superior) incluso durante el calentamiento y enfriamiento, ya que pueden presentarse tensiones que produzcan roturas.
- (3).- Atmósfera del horno controlada, de tal manera que la curva de cocción deberá de establecerse en función de las características de los materiales atendiendo a su forma.



Explicando someramente el diagrama podemos decir que durante esta fase se produce un conjunto de reacciones y transformaciones después de las cuales se pierde irreversiblemente la plasticidad de la masa y se forma el cuerpo cerámico con su estructura y sus características definitivas.

Este proceso se realiza en cuatro fases que son:

1. Precalentamiento de la arcilla hasta unos 190°C produciéndose la desecación y eliminación del agua unida físicamente a la arcilla, especialmente del amasado (lo que en la gráfica es el área de color rosa).
2. Calentamiento posterior hasta 500-700°C, en el cual se da la eliminación del agua ligada químicamente a la arcilla, es decir de su composición interna. La temperatura en este estadio dependerá del espesor de la pieza.
3. Cochura que se da entre 980-1000°C y 1200°C (zonas naranja y roja).
4. Temple donde existe un enfriamiento lento de los productos cocidos hasta unos 500°C y enfriamiento rápido desde 500 hasta 50°C por medios artificiales de enfriamiento.

Esta división del proceso en fases no puede revelar la naturaleza de las reacciones que tienen lugar en la pasta durante la cocción, no obstante, se pueden señalar siete tipos principales de reacciones que se desarrollan en la cocción de las arcillas comunes, a saber:

1. Desprendimiento de sustancias volátiles
2. Oxidación de impurezas orgánicas
3. Desprendimiento del agua de constitución
4. Reacciones en fase sólida
5. Reacciones en fase líquida
6. Formación de nuevas fases cristalinas
7. Des-carbonización y desulfuración

El primer grupo de reacciones se caracteriza por el efecto endotérmico, lo que da lugar a la formación de vapor de agua, cuya presión puede destrozar el producto, en caso de un rápido incremento en la temperatura, dada la pérdida de agua y el aumento en la porosidad de la masa, se produce un descenso en la conductividad térmica de la arcilla.

El segundo grupo de reacciones (oxidación de impurezas orgánicas), es de carácter exotérmico que se producen entre los 300 – 400°C, donde una parte de dichas impurezas puede no llegar a quemarse, si la temperatura se incrementa rápidamente y la afluencia y difusión de oxígeno en el grosor del objeto es insuficiente, lo que puede observarse en el color oscuro del núcleo de la torta de la arcilla cocida cuando esta sufre una fractura. Si la combustión es lenta, puede producirse la grafitización de una parte del carbono. Simultáneamente, puede producirse la

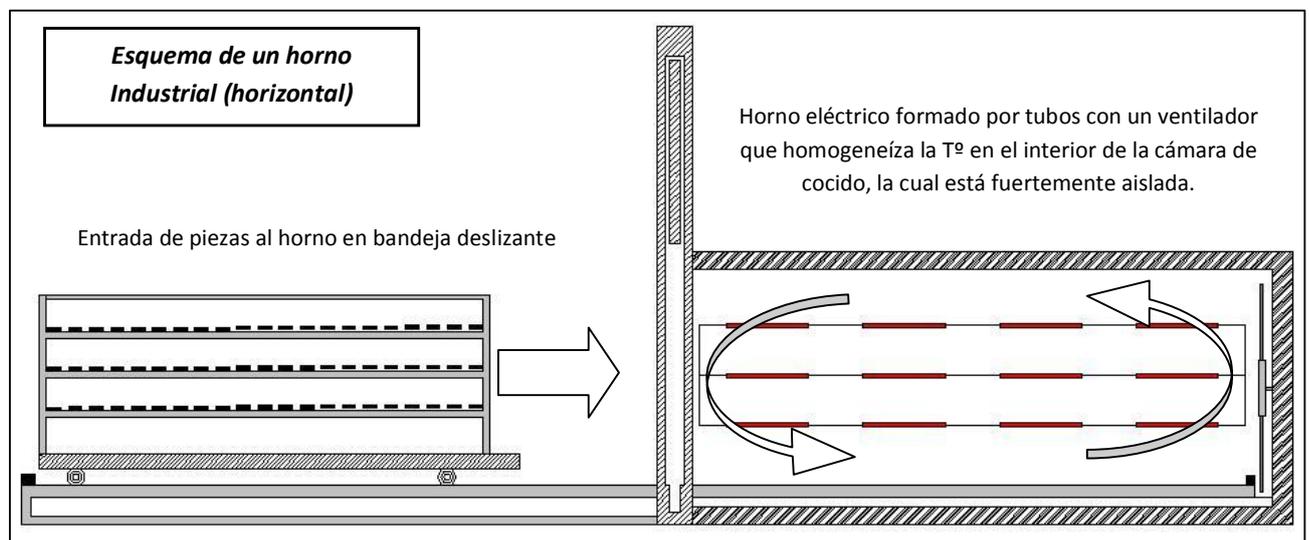


deposición en la arcilla de carbono procedente del medio gaseoso que contiene 1 – 3% de CO a 400º y a más de 1000º.

La velocidad de combustión se eleva a medida que aumenta la temperatura, pero solo hasta la aparición de la fase líquida en la arcilla cocida, después de lo cual la velocidad disminuye momentáneamente a causa del empeoramiento de la difusión del oxígeno del aire. El valor máximo de la velocidad de combustión tiene lugar, aproximadamente a los 800ºC. Por ello se recomienda mantener dicha etapa de cocción durante algún tiempo, hasta que se establezca la reacción.

El tercer grupo de reacciones o deshidratación de minerales arcillosos, se caracteriza por el efecto endotérmico, el cual se extiende desde 500 hasta 700º, y en algunas arcillas caolínicas hasta 900ºC, acompañado asimismo de una reducción de la conductividad térmica.

La duración de la cocción se encuentra relacionada con el tipo de pieza a producir y con las velocidades de deshidratación y de formación de fases en las arcillas. La práctica muestra que el ladrillo normal puede cocerse en 7 – 8 horas y el bloque hueco en 6 – 6.5 horas sin tener en cuenta el tiempo de enfriamiento.



(1) Se denomina **reacción endotérmica** a cualquier reacción química que absorbe energía. Si hablamos en términos de balance energético, es decir **entalpía (H)**, una reacción endotérmica es aquella que tiene un incremento de entalpía o  $\Delta H$  positivo. Es decir, la energía que poseen los productos es mayor a la de los reactivos.

(2) Se denomina **reacción exotérmica** a cualquier reacción química que desprenda energía, ya sea como luz o como calor, o lo que es lo mismo: con una variación negativa de la entalpía; es decir:  $-\Delta H$ . El prefijo exo significa «hacia fuera». Por lo tanto se entiende que las reacciones exotérmicas liberan energía. Considerando que A, B, C y D representen sustancias genéricas, el esquema general de una reacción exotérmica se puede escribir de la manera siguiente:  **$A + B \rightarrow C + D + \text{calor}$**

Ocurre principalmente en las reacciones de oxidación. Cuando éstas son intensas pueden generar fuego. Si dos átomos de hidrógeno reaccionan entre sí e integran una molécula, el proceso es exotérmico.



### Principales tipo de hornos

<i>Tipo</i>	<i>Características</i>
<b>Fuego dormido</b>	<i>Horno de construcción artesanal de bajo rendimiento y calidad de las piezas, se emplea principalmente en la elaboración de ladrillo. Presenta algunas variaciones en su construcción que aumentan ligeramente la eficiencia, a la vez que reducen las emisiones.</i>
<b>Llama invertida</b>	<i>Hornos cerrados de construcción generalmente circular y dotados de una bóveda que impide la salida directa de los gases de combustión hacia la atmósfera. El aire recircula hacia abajo por acción del tiro de la chimenea lo que permite la obtención de temperaturas elevadas.</i>
<b>Hoffman</b>	<i>Horno dotado de galerías paralelas, donde el aire circula de las zonas de cocción hacia las de precalentamiento, no permite la obtención de materiales vitrificados, pues no logra temperaturas elevadas.</i>
<b>Túnel</b>	<i>Aquí el material se desplaza en vagones o rodillos a través de una galería. Los productos se desplazan de zonas de baja temperatura hacia zonas de alta temperatura, siguiendo los termogramas necesarios para cada tipo de pasta optimizando así la calidad de los productos. El aire circula en sentido contrario, generando economías de combustible en las etapas de precalentamiento y secado. Presenta diversas variantes que reducen aun más los consumos de combustible y mejoran el control térmico.</i>

En el caso que nos ocupa tenemos **un horno de aire circulante de carga por vagoneta**

Especialmente para la desaglomerado de construcciones pesadas y/o la carga fuera del horno, se recomiendan los hornos de carga por vagoneta. Los hornos estándar ya logran una distribución de la temperatura particularmente buena hasta  $\Delta T$  14 K.

La instalación es capaz de trabajar a temperaturas de 650 °C o 850 °C con tamaños especiales de cámara de horno hasta más de 20 m<sup>3</sup>, usando una vagoneta totalmente desplazable con rodillos de teflón. La carga se calentará por tres lados, los dos laterales y la vagoneta, junto con circulación vertical de aire con ventiladores en el techo del horno, además de una regulación por varias zonas para la optimización de la distribución de la temperatura hasta  $\Delta T$  6 K según la norma DIN 17052.

El sistema irá equipado con una caja de atmósfera para el funcionamiento con gas de protección con sistema de aire adicional y de aire de escape, y puerta de elevación electrohidráulica además de un control de la tapa del aire de escape para un rápido enfriamiento como sistema de refrigeración.

El aire de los ventiladores se calienta al circular entre el material cocido y alcanza la zona de cocción, recuperando así el calor; en la zona de cocción el aire se mezcla con los productos de



combustión y, en parte, sirve de aire de combustión. Además, las paredes, en la zona de enfriamiento, presentan unos intersticios por los que circula el aire frío. Parte del aire caliente se recupera en los secaderos.

Para graduar el enfriamiento y tener la posibilidad de modificar la curva de cocción, en la zona descendiente se tiene el aire de enfriamiento directo, que ha pasado desde la entrada por las vagonetas que van a salir del horno y circula en sentido contrario, y una acción de enfriamiento indirecto obtenido haciendo pasar parte de este aire por los canales situados entre dos paredes del horno.

Las vagonetas están constituidas por una parte metálica inferior, con ruedas, que sostiene una capa de material aislante y refractario; la parte superior del refractario, que sostiene el material que se cuece, tiene espacios a través de los cuales pasan las llamas y productos de combustión. Las vagonetas forman un diafragma horizontal que aísla del calor todo lo que está situado por debajo y en particular las partes metálicas de la vagoneta.

Con objeto de conseguir un *aislamiento sea lo más perfecto posible*, los bordes de la vagoneta están prolongados y tienen una forma curva, de modo que estos lados curvos están colocados en dos canales laterales rellenos de arena. Las vagonetas circulan por la acción de un mecanismo de empuje, generalmente hidráulico, que permite el empuje en ambos sentidos. El proceso suele estar comprendido entre 40 y 90 minutos.

#### ***Fritas\*\*:* Naturaleza, ventajas, composición y fabricación.**

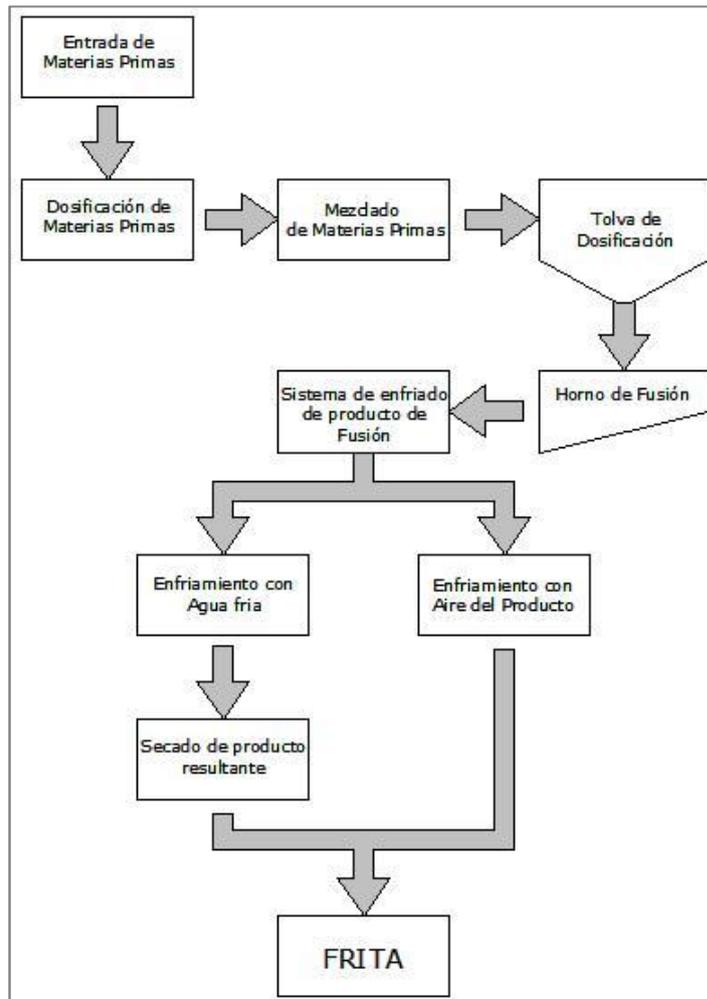
Las fritas son compuestos vítreos, insolubles en agua, que se obtienen por fusión a temperatura elevada (1500°C) y posterior enfriamiento rápido de mezclas predeterminadas de materias primas. La gran mayoría de los esmaltes que se utilizan en la fabricación industrial de pavimentos y revestimientos cerámicos tienen una parte fritada en mayor o menor proporción en su composición, pudiéndose tratar en algunos casos de una sola frita o de mezclas de diferentes tipos de fritas.

La utilización de fritas presenta los siguientes ciertas ventajas frente al empleo de materias primas sin fritar, para una composición química dada:

- ⇒ Insolubilización de algunos elementos químicos.
- ⇒ Disminución de la toxicidad, el material vítreo obtenido, por su tamaño y estructura, tiene menor tendencia a la formación de polvo ambiental que las materias primas de las que proviene, disminuyendo de esta forma el peligro asociado a su toxicidad.
- ⇒ Ampliación del intervalo de temperaturas de trabajo del esmalte, debido a que no poseen puntos definidos de fusión.



El proceso de fabricación de fritas, comúnmente llamado *fritado*, tiene como objetivo la obtención de un material vítreo insoluble en agua, mediante fusión y posterior enfriamiento de mezclas diferentes materiales.



### ***Enfriamiento de las Piezas.***

El régimen de enfriamiento de los productos depende fundamentalmente de sus dimensiones, ya que la conductividad térmica a temperaturas próximas a los 900° es prácticamente la misma para las distintas arcillas. El descenso de la temperatura hasta 750° puede efectuarse paulatinamente (pero no más de 150°C por hora) debido a la transición de la fase vítrea viscosa a la sólida y a la aparición de tensiones peligrosas.

Después de los 750° y hasta los 500°C puede producirse una demora a causa de la peligrosidad de las tensiones térmicas, relacionadas con el efecto del cuarzo. A continuación, la velocidad de enfriamiento puede ser muy alta. Para algunas arcillas la duración total de la cocción y el enfriamiento puede llegar a 7-8h para el ladrillo macizo y a 5-6 h para los bloques. La principal



dificultad para la realización de estas velocidades es el diseño de los hornos y la baja calidad de los refractarios.

#### **Esmaltes: Preparación y aplicación. Decoración.**

El proceso de preparación de los esmaltes consiste normalmente en someter a la frita y aditivos a una fase de molienda, en molino de bolas de alúmina, hasta obtener un rechazo prefijado. A continuación se ajustan las condiciones de la suspensión acuosa cuyas características dependen del método de aplicación que se vaya a utilizar.

El esmaltado de las piezas cerámicas se realiza en continuo y los métodos de aplicación más usuales en la fabricación de estos productos cerámicos son: En cortina, por pulverización, en seco o las decoraciones.

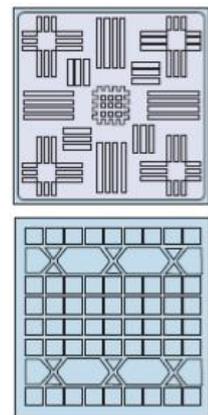
La serigrafía es la técnica mayoritariamente utilizada para la decoración de baldosas cerámicas, debido a su facilidad de aplicación en las líneas de esmaltado. Esta técnica se utiliza tanto en mono-cocción como en bi-cocción y tercer fuego, y consiste en la consecución de un determinado diseño que se reproduce por aplicación de una o varias pantallas superpuestas (telas tensadas de una luz de malla determinada).

Estas pantallas presentan la totalidad de su superficie cerrada por un producto endurecedor, dejando libre de paso únicamente el dibujo que se va a reproducir. Al pasar sobre la pantalla un elemento que ejerce presión (rasqueta), se obliga a la pasta serigráfica a atravesarla, quedando la impresión sobre la pieza.

#### **3.4.- Tratamientos adicionales (D)**

Una vez realizada la etapa de esmaltado y decoración de las piezas se introducen en un horno para su cocción en ciclos más o menos rápido y temperaturas altas según el tipo de productos a fabricar. Las temperaturas máximas dependen del tipo de producto que se desee conseguir.

El esmalte cerámico y la decoración dan a los azulejos su belleza y las características técnicas superficiales deseadas. En el caso de los revestimientos cerámicos la impermeabilidad, resistencia a los detergentes, etc., y en el caso de los pavimentos cerámicos su resistencia a la abrasión, resistencia a los ácidos, resistencia al rayado, etc.



La tecnificación, la exigencia del control de proceso, el cuidadoso diseño adecuado para las necesidades de cada ambiente y el esmero en la clasificación, dan como resultado un producto de características homogéneas y de acuerdo con las exigencias de uso.

Es necesario realizar una operación de pulido superficial de las piezas cocidas con lo que se obtienen baldosas homogéneas brillantes no esmaltadas, según lo establecido en la norma *ISO 13006* y *UNE 67-087*, que es la que regula el gres porcelánico, que está comprendido dentro de grupo 'B1a' (Baldosas cerámicas prensadas en seco con absorción de agua < 0,5% ) de dichas normas.



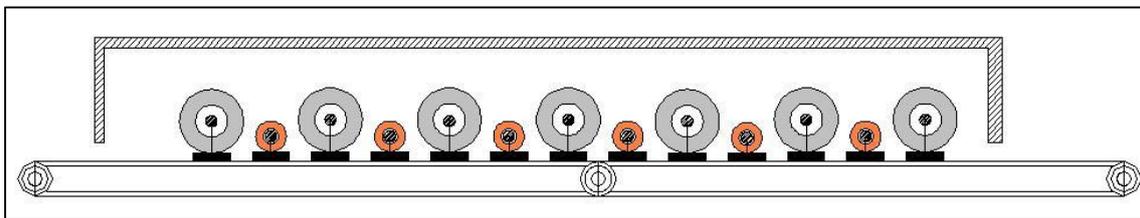
Acabado mediante el cual la cara vista queda perfectamente lisa, con el empleo en fábrica de pulidoras industriales, pudiéndose suministrar con diversos grados de pulido.

La operación de pulido en fábrica conlleva un perfecto control de calidad, ya que se detecta cualquier defecto estructural y visual que pueda presentar la baldosa.

Se usarán cuerpos de plástico para el desbaste de gran calidad se caracterizan por su alta capacidad de arrastre y fina configuración superficial, será necesario combinar abrasivos en la superficie a desbastar para aumentar la eficiencia del pulido.

Su blanda composición impide que la superficie de las piezas se endurezca y aparezca la "piel de naranja", y un buen acabado superficial de la pieza.

Calidad	Color	Efecto de desbaste	K esfera tamaño a	P pirámide tamaño a/b
<b>G*</b>	<i>naranja</i>	abrasión fina	10, 12, 18	10, 15, 12
<b>X*</b>	<i>Blanco/gris</i>	abrasión fina, hasta el pulido alto	10, 12, 18	10, 12, 15
<b>O</b>	<i>azul</i>	abrasión fuerte aspereza media	10, 12, 18	10, 12, 15
<b>T</b>	<i>lila</i>	abrasión muy fuerte aspereza fuerte	10, 12, 18	10, 12, 15



En el diagrama se ven 2 tipos de rodillos, los de color gris son los rodillos de desbaste, y los de color naranja son que imprimen abrasivo en la pieza de tal manera que se potencie el efecto de pulido.

Los rodillos están contenidos en una carcasa de tal manera que las partes que pudieran saltar no lo hagan y que los gases de las sustancias de desbaste no afecten a la atmosfera de trabajo.

### 3.5.- Clasificación y embalaje (E)

Por último con la etapa de clasificación y embalado finaliza el proceso de fabricación del producto cerámico, haciéndose distintos acopios con los distintos productos terminados.

La clasificación se realiza mediante sistemas automáticos con equipos mecánicos y visión superficial de las piezas donde se colocan en el mismo grupo las de características iguales clasificando las piezas en pallets y cajas de entre 25 a 50 unidades por caja en función de las medidas, ya que a más superficie más peso.

El resultado es un producto controlado en cuanto a su regularidad dimensional y superficial, aspecto superficial y características mecánicas y químicas (color, regularidad y forma), siendo



los de mejor acabado los de primera calidad, y conforme la calidad disminuye son los de menor calidad.

Una vez acabado el proceso de clasificación se empaqueta y embala en pales de madera, tal y como se ve en la fotografía adjunta, y se almacena en estructuras auxiliares (estanterías) para su posterior preparación de los distintos pedidos de producto.

Aunque en el caso que nos ocupa podremos usar un tipo de embalaje más perfeccionado para piezas cerámicas, que se caracteriza por estar constituido en **base a un enrejillado metálico**, sobre el cual se colocan apiladas las piezas cerámicas a transportar, que se va adaptando a la superficie del bloque o paquete de piezas, envolviéndolas totalmente evitando caídas o pérdidas laterales, y formando un conjunto que por su parte superior va dotado de un dispositivo de soporte a modo de barra sitio adecuado en todo su perímetro separando la parte que la varilla entrelazada y sujeta adecuadamente en el citado enrejillado, cuya función es la de colgarse a una grúa u otro medio adecuado para el transporte del bloque, mientras que por su parte inferior o también en una zona intermedia presenta unas cavidades longitudinales para el alojamiento de pinzas o uñas de carretillas mecánicas que lo trasladen utilizándose las cavidades en la zona intermedia cuando el peso del paquete sea elevado aliviándose el esfuerzo que debe desarrollar el dispositivo de soporte superior, viéndose reducido a la mitad, ya que las pinzas soportarán todo el peso del material que están por encima de ellas con lo que se elimina el riesgo de rotura del embalaje.



#### 4.- ESTUDIO Y CONDICIONES DE CALIDAD

Como definición, la *Calidad* es herramienta básica para una propiedad inherente de cualquier cosa que permite que esta sea comparada con cualquier otra de su misma especie.

Modelo de calidad de producto usando *la norma ISO 9000*, podemos decir que el objetivo no es necesariamente alcanzar una calidad perfecta, sino la necesaria y suficiente para cada contexto de uso a la hora de la entrega y del uso por parte de los clientes.

Como queremos que nuestro producto se pueda vender como un primera calidad, es decir, que tenga unas características superiores a las que los competidores ofrecen, será necesario controlar de manera muy exhaustiva que las características que definen a nuestro producto se cumplen de manera inequívoca en todas y cada una de las piezas, lo que conlleva hacer un control del 100% de las piezas producidas ya que si el control fuera estadístico (control de solo una parte de las partidas producidas) nos arriesgamos a la heterogeneidad de las piezas producidas, y a pesar de que dicho control es relativamente caro, para ello tenemos un método rápido y bastante fiable para ello.

El método para la determinación de la densidad aparente mediante el método de inmersión en mercurio, un sistema industrial conocido, rápido y fiable.

En la fabricación de azulejos y pavimento se impone cada vez más el método de medir la distribución de la densidad aparente para supervisar la calidad de azulejos recién prensados. Como se sabe, la densidad es inversamente proporcional a la contracción de cocción (o sea una variable del volumen según la *Ley de Arquímedes\*\**, provocando un empuje proporcional a la cantidad de volumen desplazado, tal y cómo se en la ecuación abajo escrita), de manera que con los valores de densidad de un azulejo se puede predecir su comportamiento dimensional en cocido de forma exacta, ya que el volumen debe ser el mismo. Para un control de producción (no de laboratorio), es imprescindible realizar esta tarea con una máquina específica para obtener los valores deseados de forma rápida y fiable.

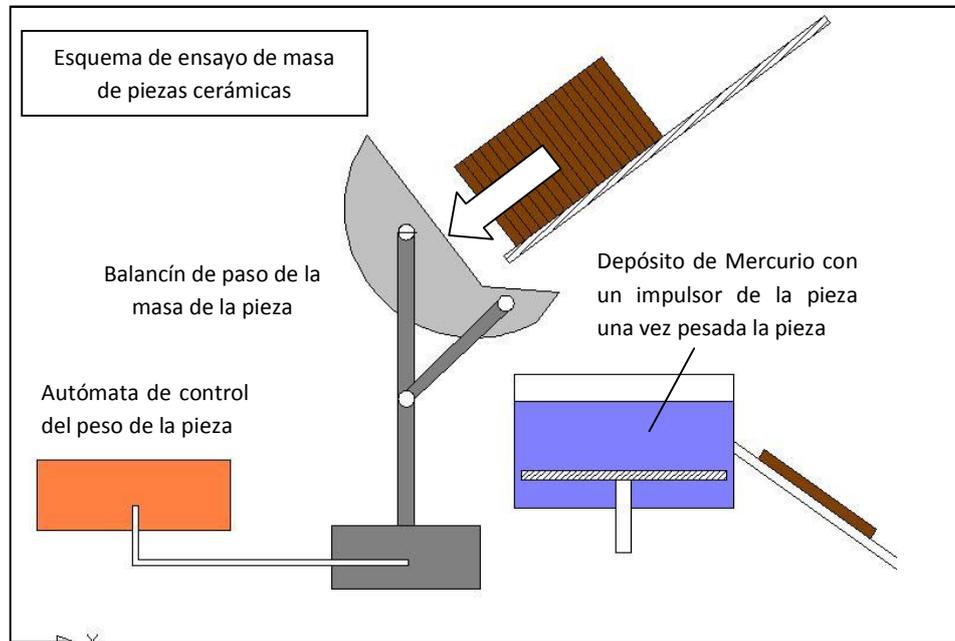
$$\frac{\text{Peso}}{\text{Empuje}} * 13,54 = \text{Densidad}$$

Un sistema neumático de inmersión baja las probetas en un depósito con mercurio que se encuentra encima de una balanza. El desplazamiento del mercurio por la probeta es medido por el empuje (esfuerzo ascensional) directamente mediante la balanza y con la fórmula antes indicada, se calcula la densidad aparente del azulejo, siendo *el factor 13,54 el peso específico del mercurio a 20º C* (tablas de densidad estándar).

La máquina es bastante simple y robusta hecha de acero inoxidable permitiendo un ensayo rápido con un mecanismo del mismo material, lo que significa un mínimo de piezas mecánicas, reduciendo el error y la complejidad de la misma, y con esto garantiza larga vida de la máquina, prácticamente sin mantenimiento.



En la industria azulejera, como en otras actividades industriales, las exigencias de calidad y tolerancias son cada vez más estrictas, no sólo dimensionales sino en acabado lo más homogéneo posible.



Por la aplicación de las normas de calidad en producción como la normativa estándar *ISO 9000*<sup>5</sup> se hace necesaria la documentación de la producción en todas, así que el método de determinación de la densidad aparente, para la supervisión de la calidad del crudo, resulta cada vez más importante documentar las distintas actualizaciones y acciones correctivas.

Otro factor importante a tener en cuenta son los equipos y utillajes, sus tolerancias y su precisión, y que tipo de información se manejará, si son o no aproximaciones precisas de la densidad real para ver si cumple con las especificaciones, para corregir de forma automática la carga en el molde, y así ser capaces de tener producciones lo más homogéneas posibles. Ya no existirán entonces por fallos de carga conforme la maquinaria sea más precisa, piezas deformadas se reducirán aunque el personal no sea de una alta cualificación profesional.

(\*\*)El **principio/ley de Arquímedes** es un principio físico que afirma que un cuerpo total o parcialmente sumergido en un **fluido** estático, será empujado con una **fuerza** vertical ascendente igual al **peso** del volumen de fluido desplazado por dicho cuerpo. Esta fuerza recibe el nombre de **empuje hidrostático**. La flotabilidad de un cuerpo dentro de un fluido estará determinada por las diferentes fuerzas que actúen sobre el mismo y el sentido de las mismas. La **flotabilidad** es **positiva** cuando el cuerpo tienda a ascender dentro del fluido, es **negativa** cuando el cuerpo tiene a descender dentro del fluido, y es **neutra** cuando se mantiene en suspensión dentro del fluido.

(5) **ISO 9000** designa un conjunto de normas sobre calidad y gestión continua de calidad, establecidas por la **Organización Internacional para la Estandarización (ISO)**. Se pueden aplicar en cualquier tipo de **organización** o actividad orientada a la producción de bienes o servicios. El ISO 9000 especifica la manera en que una organización opera, sus estándares de calidad, tiempos de entrega y niveles de servicio.



Condiciones a controlar en las piezas acabadas, con control de calidad estadístico (según lo establecido en la normativa específica de este tipo de materiales -UNI-EN-ISO 10545-1 *Muestreo y criterios de aceptación*- el muestreo estándar será de 5 piezas de cada 120 unidades producidas):

- ✓ Dimensiones
- ✓ Tolerancias dimensionales (no aplicable a las piezas especiales)
- ✓ Resistencia al hielo/deshielo
- ✓ Carga de rotura transversal
- ✓ Resistencia a la abrasión
- ✓ Valor de la resistencia al deslizamiento/derrape sin pulido
- ✓ Resistencia a los ácidos

*No todos estos ensayos deben ser realizados para todos los productos sujetos a la norma UNE-EN 1344: 2002, sino que dependerá del tipo de uso del producto.*

Además del control de las piezas acabadas, será necesario controlar el del proceso de producción, y principalmente los siguientes aspectos:

### **Materias primas**

Debe existir documentación actualizada sobre la naturaleza de las materias primas disponibles. Deben establecerse los criterios de aceptación de las materias primas y los procedimientos de verificación de los requisitos, que han de incluir, además de criterios de control en laboratorio, controles visuales de los materiales a aceptar.

Un ejemplo de los criterios y la rutina de aceptación serían:

- Se comprueba, **antes de la descarga**, que el material suministrado se corresponde con los albaranes de entrada y con las órdenes de compra, donde se especificará que tipo de material se está recibiendo, las características físicas y químicas además de la cantidad exacta.
- Los materiales se descargan directamente en los silos, evitando su contaminación. en dichas condiciones y procedimientos de almacenaje de las materias primas, se garantiza su conservación, acceso e inventario.
- Se controlan las existencias de materias primas comprobando que garanticen el stock de seguridad para la producción, y que la planificación de la producción será suficientemente buena como para garantizar que las materias primas no se vean afectadas en su calidad.
- Se toman muestras para remitir al laboratorio de control de acuerdo con los procedimientos de muestreo especificados por el equipo técnico. Dicho muestro se



realiza, mediante aparatos calibrados, los controles periódicos establecidos interpretando los resultados y decidiendo su aceptación o rechazo de acuerdo con los criterios establecidos, anotando los resultados e informando al responsable jerárquico en tiempo y forma adecuados en caso de presentarse contingencias.

- Los materiales que no cumplen las especificaciones son identificados correctamente y siguen el proceso y tratamiento indicado.
- Se respetan las normas de seguridad e higiene y medioambientales, sobre todo en lo que respecta a los deshechos de la producción y de las materias primas que no valen.

### **Procesos de producción**

Deben programarse las inspecciones, los controles del desarrollo del proceso y las mediciones del equipamiento.

Se deberán fijar los valores y criterios requeridos, tanto en cantidad como en calidad, así como la frecuencia y naturaleza de las inspecciones, y además deberá establecerse la frecuencia de los muestreos y ensayos a realizar para la determinación de las características exigibles.

Un ejemplo de los criterios y la rutina de producción serían:

- Se verifica el buen funcionamiento de los sistemas de dosificación con la frecuencia establecida.
- Se dosifican los materiales en las proporciones y orden indicados en las fichas de composición e instrucciones técnicas, y la mezcla obtenida tiene el grado de homogeneidad establecido.
- La cantidad de mezcla dosificada se adecua a las especificaciones del programa de fabricación.
- Se suministra la mezcla de materias primas, agua y en las proporciones y orden indicados en las fichas de carga e instrucciones técnicas
- Los filtros, tamices y otros separadores son los adecuados del producto que se va a fabricar y funcionan correctamente.
- Las operaciones de fabricación se llevan a cabo con el máximo provecho de los recursos y en el tiempo previsto en el programa de fabricación.
- Se realizan controles periódicos sobre el producto obtenido, utilizando aparatos calibrados y siguiendo las instrucciones técnicas.
- Se intentará detectar posibles anomalías en el funcionamiento de máquinas y equipos, solucionando las de su ámbito de competencia, avisando, en su caso, al taller de mantenimiento. Realizando un control preventivo cada varias semanas, más exhaustivamente cuando la producción se aleje peligrosamente de los estándares establecidos.
- La limpieza, engrase y reglaje de los medios de producción y control permiten mantenerlos en las condiciones idóneas de funcionamiento y conservación.



### Equipos de inspección y ensayo

Deben utilizarse los equipos establecidos en los procedimientos de ensayo, que estarán identificados de forma inequívoca.

Los equipos de medida utilizados deben estar calibrados, debiendo incluirse en el sistema los criterios para la programación de las calibraciones y los procedimientos de calibración y de inspección. Se deberán conservar los registros de las calibraciones.

Entre los ensayos no destructivos más comunes se encuentran los siguientes:

- **Ensayo de durezas** (en algunos casos no se considera como ensayo no destructivo, especialmente cuando puede comprometer la resistencia de la pieza a cargas estáticas o a fatiga) en el cual se comprueba si la pieza aguanta impactos moderados, a los que serán sometidas en su colocación.
- **Inspección visual, microscopía y análisis de acabado superficial**
- **Ensayos por líquidos penetrantes**, para encontrar posibles fisuras.

En este caso no será necesarios ensayos destructivos (dichos ensayos son pruebas que se les hacen a algunos materiales como el acero por ejemplo. Algunas de ellas son ensayo de tensión, flexión, compresión, etc. Se les llama destructivos porque deforman al material) ya que las piezas no tienen ningún tipo de responsabilidad estructural.

Los procesos de control de calidad se realizarán directamente en nuestra factoría, ya que habrá una sala de control de calidad y 2 especialistas para esa tarea.



## 5.- Proposición de una planta en condiciones reales.

### 5.1.- Definir la producción (tipo y cantidad).

La capacidad de producción media de esta planta será de 2,000 m<sup>2</sup>/día de baldosas cerámicas, que según los datos encontrados del sector en una producción bastante estándar.

El tamaño y el tipo de las baldosas (tipo de acabado, color y textura) pueden variar según los pedidos, de tal forma que buscaremos la producción más flexible posible.

Algunos de los tamaños más usuales de producción de baldosas para alicatados y solados incluyen los siguientes tamaños que variarán en función del color y acabado:

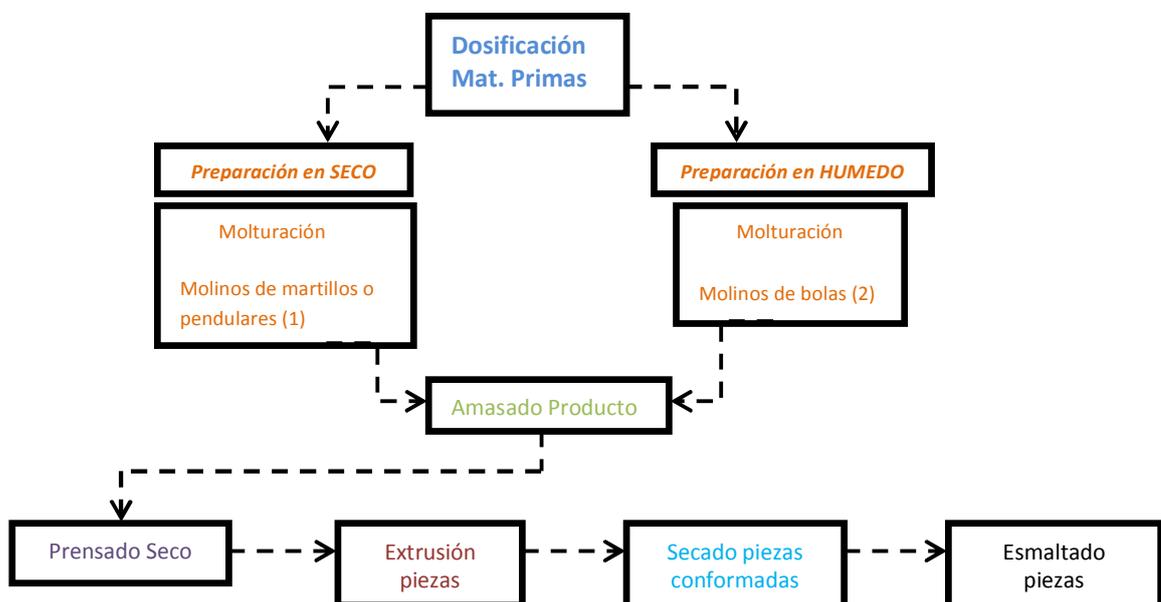
10cm x 20cm / 20cm x 20cm / 20cm x 30cm / 30cm x 30cm / 30cm x 40cm / 30cm x 50cm...

### 5.1.1.- Layout del sistema productivo. Opciones.

Los conceptos principales:

- I. Flujo lógico y suave del proceso de producción
- II. Disminución del trabajo en proceso lo que disminuye las pérdidas
- III. Disminución del tiempo de producción, más producción en el mismo tiempo.
- IV. Líneas de flujo menores lo que precisa menor manejo de materiales
- V. No precisa operarios especializados, lo que conlleva una posible rotación.
- VI. Planificación de la producción y sistemas de control más simples.
- VII. Rotura de una máquina parada de línea, se deberían de tener 2 líneas de producción.
- VIII. Un cambio en el producto grandes alteraciones ya que conlleva cambio de la línea.
- IX. Ciclo de producción determinado por el cuello de botella a la entrada de maquinarias muy caras y que sólo hay una.
- X. Supervisión no especializada, pero se podría buscar un supervisor cualificado.
- XI. Mayores inversiones en maquinaria, ya que necesitaremos más de una línea.

Vamos a realizar un flujograma del proceso productivo, ya que los distintos tipos de producción posibles van a ser las distintas posibilidades del layout de la planta.





Ahora previa a la distribución final es necesario ver cuáles son las relaciones directas de las distintas partes de la planta, y las partes relacionadas deberán estar próximas entre si y así deberán tener las zonas de transito menores, y con ello reducir el tiempo muerto de las distintas tareas, y optimizar en la medida de lo posible la producción (una buena medida de ahorro de energía sería colocar las zonas de trabajo de los operarios y del personal de oficina cerca de las ventanas y en una orientación que reciba la mayor cantidad de luz posible durante el día).

Las condiciones serán:

1. Importancia de los contactos directos
2. Importancia de los contactos administrativos y de información
3. Utilización de las mismas maquinarias y equipos de trabajo
4. Uso de impresos/dossiers comunes.
5. Por deseo expreso de la dirección o departamento de ingeniería
6. Por condiciones de control e inspección
7. Ruidos, polvos, condiciones químicas, humos y peligros.
8. Distracciones o interrupciones
9. Recorrido de productos
10. Necesidades de espacio, en función del espacio disponible.
11. Personal y maquinaria disponible.
12. Reducir recorridos innecesarios y potenciar los accesos de las zonas donde sea interesante que el transito sea fluido.

La leyenda de relaciones es:

*A = Absolutamente importante ; E = Especialmente importante; I = Importante; O= Importancia ordinaria; U = Sin importancia; X = No aconsejable.*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	-	A	I	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	E	U	A
2	A	-	A	I	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	E	U	U
3	E	A	-	A	E	U	U	U	U	U	U	U	U	U	E	U	U
4	U	E	A	-	A	E	U	U	U	U	U	U	U	U	E	U	U
5	U	I	E	A	-	A	I	U	U	U	U	U	U	U	E	U	U
6	U	U	U	E	A	-	A	A	E	U	U	U	U	U	E	U	U
7	U	U	U	U	I	A	-	A	A	E	U	U	U	U	E	U	U
8	U	U	U	U	U	A	A	-	A	E	U	U	U	U	E	U	U
9	U	U	U	U	U	E	A	A	-	A	E	U	U	U	E	U	U
10	U	U	U	U	U	U	E	E	A	-	A	E	U	X	E	U	U
11	U	U	U	U	U	U	U	U	E	A	-	A	E	X	E	U	U
12	U	U	U	U	U	U	U	U	U	E	A	-	A	E	E	U	U
13	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	E	A	-	A	E	U	U
14	U	U	U	U	U	U	U	U	U	X	X	E	A	-	E	A	A
15	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	-	A	A
16	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	A	A	-	E
17	A	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	A	A	E	-



Las distintas áreas que vamos a estudiar su relación van a ser las siguientes:

1. Silos de materias primas
2. Pesadora/dosificadora de Materias primas
3. Mezcladora de materias primas
4. Molienda (Molino de bolas)
5. Amasado de producto
6. Secado por atomización del producto resultante de amasado
7. Moldeado por prensado
8. Moldeado por extrusión
9. Secadero de aire caliente
10. Horno de cocción
11. Esmaltado y pulido
12. Clasificación de producto resultante
13. Embalaje/ Almacenaje
14. Zona administrativa
15. Zona de control de producto (Calidad)
16. Vestuarios / Aseos
17. Acceso a planta / aparcamiento

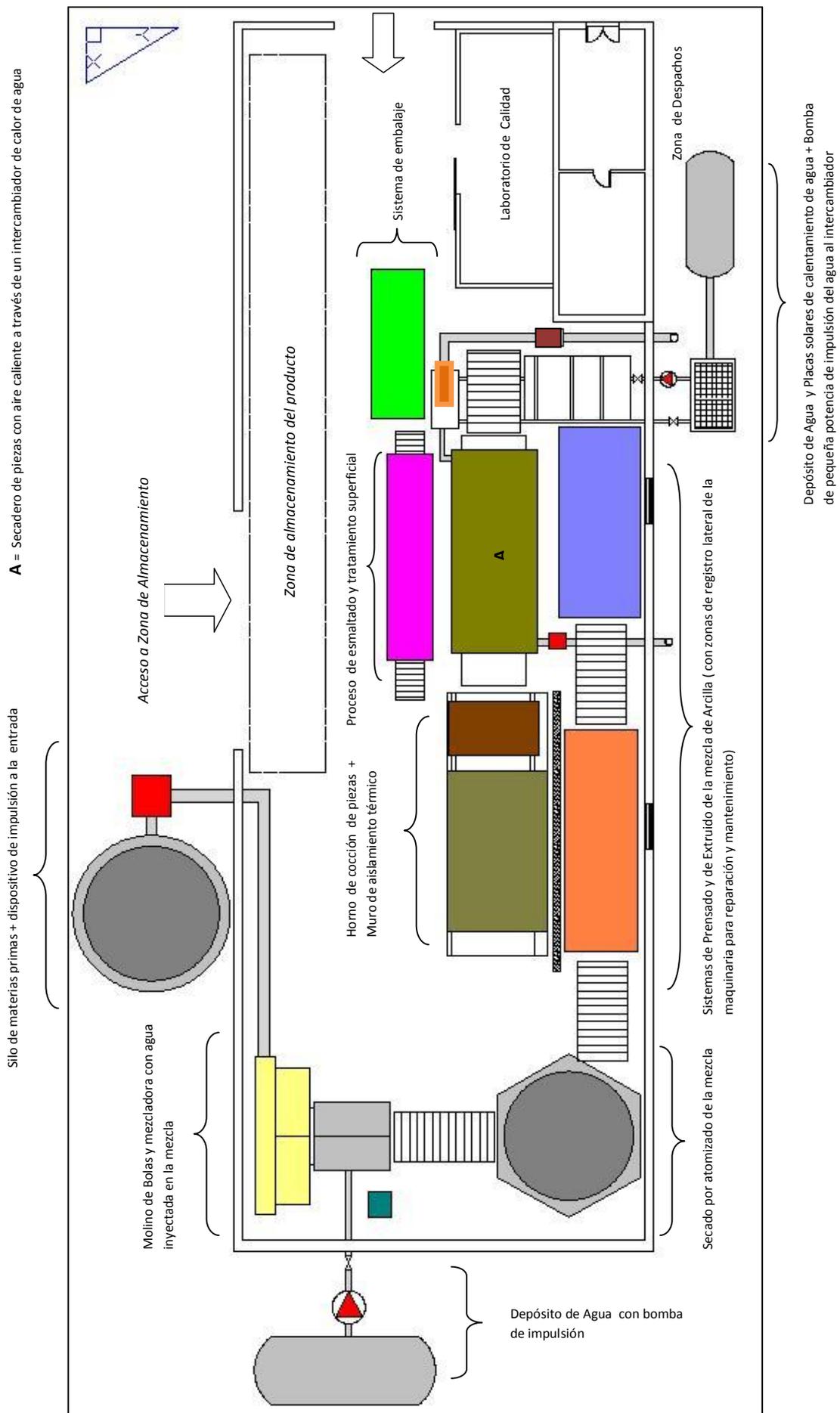
Conclusiones de la matriz de importancias:

Las relaciones directas con importancia A se dan entre los distintos procesos que siguen la línea de producción, de tal modo los elementos antecedentes y consecuentes a dicha línea deberán estar lo más cerca posible. De tal modo que el sentido de las tareas de las marcadas por el flujograma anteriormente definido son las que deben estar consecutivas y por tanto lo más cerca posible. Es interesante tener la mayor cercanía también a las zonas siguientes a la consecuente directa (relación tipo E), de tal modo que se pueden hacer grupos de distribución en planta y así hacer más fácil el layout.

Dichos grupos podrían ser:

- ⇒ Tratamiento y mezclado de Materias primas (1, 2, 3)
- ⇒ Molido y amasado/secado parcial (4, 5 y 6)
- ⇒ Moldeado y secado total (7/8 y 9)
- ⇒ Cocido (10)
- ⇒ Acabado superficial y embalaje (11, 12 y 13)
- ⇒ Administración y control (14 y 15)
- ⇒ Acceso (17)

La zona de control de calidad (15) es muy interesante que tenga fácil acceso a todas las partes de la producción, así como alejar al máximo de la zona de administración (14) el horno por las altas temperaturas y la zona de esmaltado por los productos químicos que se usan. Habiendo realizado varias pruebas en función de las distintas zonas propuestas y de las condiciones establecidas la combinación que cumplía más condiciones es la del diagrama expuesto a continuación:





Podemos decir como características principales de este Layout:

- ⇒ Mejor utilización y menor tiempo de uso de las máquinas, ya que se requiere menos carga de producción y por lo tanto con una reducción de los costes de inversión además de reducir los costes y el tiempo de producción, se reduce la cantidad de trabajo en proceso (lo que en los libros indican como 'Work In Process') que tiene decremento también en costes y en tiempo buscando menos materiales.
- ⇒ Aumento de la flexibilidad de la producción, ya que el proceso de puede modificar el orden en algunas partes del proceso sin necesidad de duplicación de equipos, ya que las zonas relacionadas directamente están cerca entre sí.
- ⇒ Aunque se deben evitar planificaciones complejas de producción ya que con ello es más sencillo que hayan fallos, ya que serán necesarios más puntos de control. Pero de todos modos, en nuestro caso el layout permite la supervisión fácil y rápida del proceso completo y de las distintas partes del mismo.

Nuestro sistema de producción es un **Layout de Producto**, es decir, el sistema de producción está adaptado a la secuencia lógica de la producción (en este caso de las piezas), donde la producción (número de unidades) es más importante que la flexibilidad del sistema a distintos productos.

<b>Ventajas</b>	<b>Inconvenientes</b>
Flujo lógico y suave	En caso de rotura --> Parada de planta
Disminución del Work in Process	Si hay cambio de producto: Grandes alteraciones
Disminución del tiempo de producción	Ciclo de producción con cuello de botella
Menor manejo de materiales	-
No operarios especializados	Supervisión no especializada
Planificación más simple	Mayores inversiones en maquinaria



## 5.2.- Edificio (soluciones y disposición)

El área de la planta/parcela es de 15.000 m<sup>2</sup>, y el área del edificio es de 5,500 m<sup>2</sup>.

### I. Cimentación:

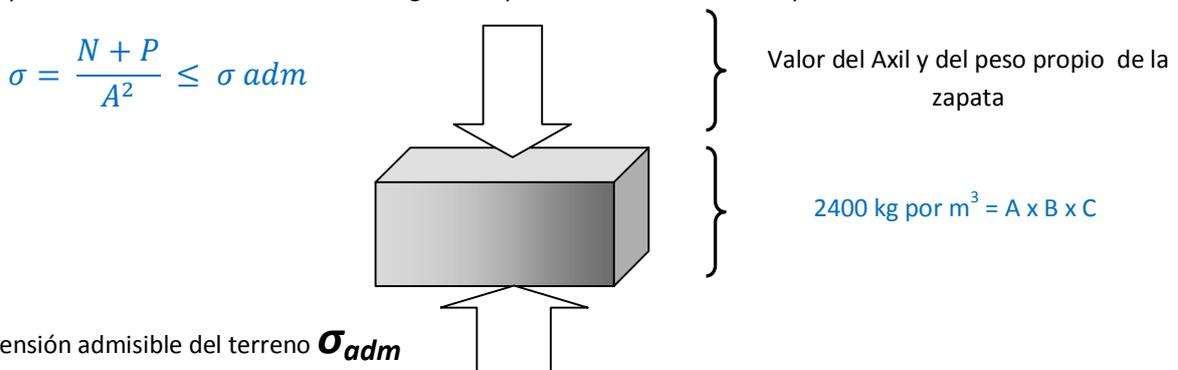
La cimentación de la estructura está realizada sobre zapatas aisladas de hormigón armado para cada pilar y una losa de hormigón armado que será el solado de la planta, junto con los soportes de maquinaria anclados a sus propias zapatas.

El cálculo estimativo para poder dimensionar la cimentación es el siguiente:

Suponiendo una tensión admisible del terreno se determina en función de los parámetros que definen la resistencia a la rotura de los suelos para las cargas principales tales como el peso propio y sobrecargas;

En las fórmulas que usaremos la capacidad de carga quedan afectadas por un coeficiente de seguridad igual o mayor de 3.

Cómo en este caso no tenemos ensayo geotécnico, el coeficiente de trabajo para suelos aptos para cimentar no excederá de 5 Kg/cm<sup>2</sup>, que es el valor de la comprobación de la cimentación.



Siendo **P** el valor del peso propio de la cimentación, **N** el valor del axil de la carga de ejercida sobre la zapata, no excéntrica por tanto centrada y **A** es el área de la zapata. Si el peso del hormigón es de 2.400 kg/m<sup>3</sup>, podemos especificar el volumen de la zapata, dando las dimensiones de la misma. El valor del axil lo estimaremos en función del peso del perfil y del peso de la cercha:

$$HEB-360: 142 \text{ Kg/m} * 3 \text{ m} = 430 \text{ kg} + 1500 \text{ kg} = 1930 \text{ kg} + (2.400 \text{ kg/m}^3 * 1.5 \text{ m}^3) = 5500 \text{ kg} = P+N$$

Tipo de Cemento	Tipo de Árido	Resistencia característica en Obra	Consistencia adecuada para vibrar			
Cemento Portland CEM I/A 42.5 R	Árido Rodado de 40 mm de tamaño max	175 Kp/cm <sup>2</sup>	325 kg de Cemento por m <sup>3</sup>	160 litros de Agua por m <sup>3</sup>	670 kg de Grava por m <sup>3</sup>	1340 kg de Arena por m <sup>3</sup>



Partiendo de los valores estudiados en función de lo especificado tenemos en la siguiente tabla las dimensiones de las zapatas

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>Armado</b>
<b>Tipo A</b>	1,5 m	1,5 m	0,7 m	Φ12 cada 15 cm
<b>Tipo B</b>	1,8 m	1,8 m	0,7 m	Φ12 cada 15 cm
<b>Tipo C</b>	1,2 m	1,2 m	0,7 m	Φ12 cada 12 cm

Los estados límite últimos que siempre habrán de verificarse para las cimentaciones directas, son:

- hundimiento;
- deslizamiento;
- vuelco;
- estabilidad global;
- capacidad estructural del cimiento.

Condición de hundimiento:  $Rd = R_k / \gamma_r$

Donde  $R_k$  es el valor característico de la presión de hundimiento, (qh) y  $\gamma_r$  es el coeficiente parcial de resistencia de la tabla 2.1 del prontuario de cálculo.

El hundimiento de una zapata se produce cuando la tensión máxima en algún punto sobre el terreno supera la capacidad portante del mismo. Dicha tensión máxima depende del momento flector (M) y el esfuerzo axial (N) existentes en la base del pilar al que sirve de apoyo la zapata, y transmite a ésta sus esfuerzos. Dicha tensión máxima para el caso de *flexión no esviada* puede calcularse mediante las siguientes fórmulas:

$$\sigma_{max} \begin{cases} (1 + 6\eta) * \frac{N}{A} & \text{siendo } \eta < 1/6 \\ \frac{4}{3*(1-2\eta)} * \frac{N}{A} & \text{siendo } \frac{1}{6} < \eta < \frac{1}{2} \end{cases}$$

Siendo  $\eta$  es la excentricidad de la carga vertical.

Ahora comprobando la condición de hundimiento:

$$\sigma_{max} = \frac{5500}{1.5 * 1.5} * \left(1 + 6 * \frac{1}{5}\right) = 5380 \frac{kg}{m^2} \rightarrow Rd = 4500 / 3.1 = 1451 \frac{kg}{m^2} < \sigma_{max}$$

Tal y como se ve cumple la condición y **no se produce hundimiento**.

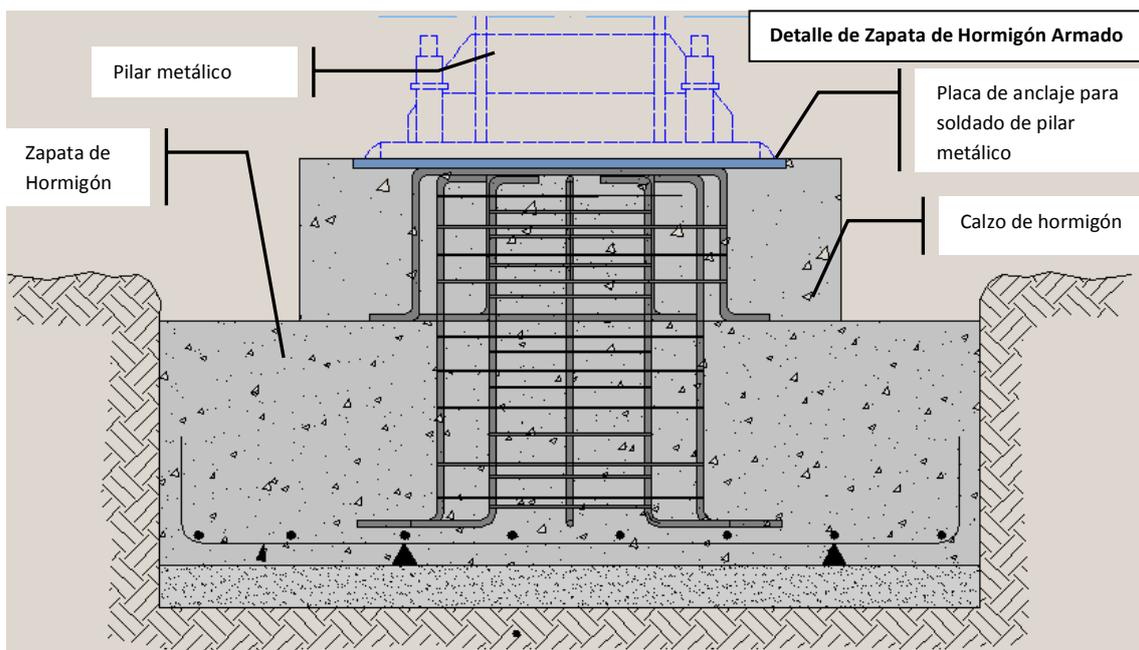
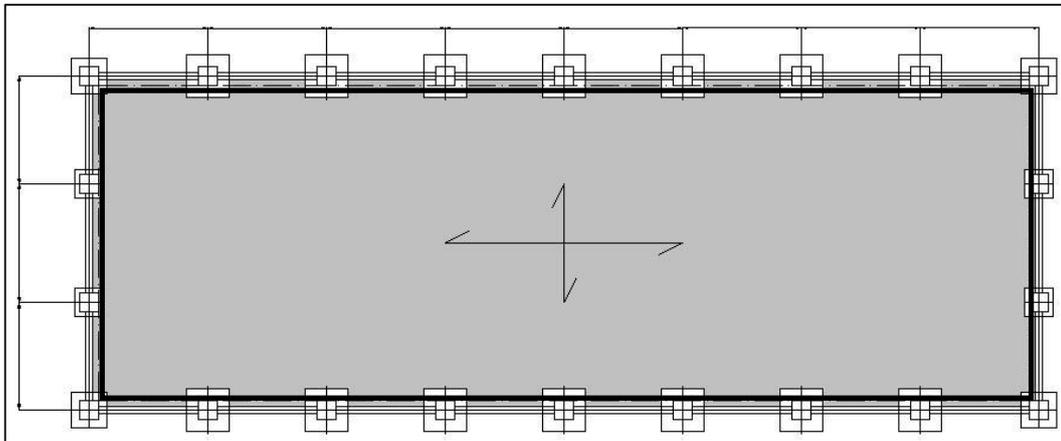
El tipo de hormigón a usar es **HA/25/B/15/IIa**, con una relación máxima agua/cemento de 0,55 un contenido mínimo de 300 kilogramos cemento por cada metro cúbico de hormigón, con un recubrimiento mínimo será de 5 cm de las armaduras que se alojan en el interior del mismo y dichas armaduras serán barras corrugadas de calidad **B-400-S**.



Cuando  $a_g > 0,16 g$  es necesario colocar vigas de atado de hormigón armado, cómo es nuestro caso.

Respecto a los criterios de la norma sismo-resistente, podemos ver en la planta de cimentación adjunta que se trata de un conjunto de zapatas aisladas unidas entre sí por correas de atado de 40 x 60 cm, y además hay una losa de hormigón armado para rigidizar aún más el bloque estructural. Además la planta es simétrica completamente. Por tanto el diseño cumple.

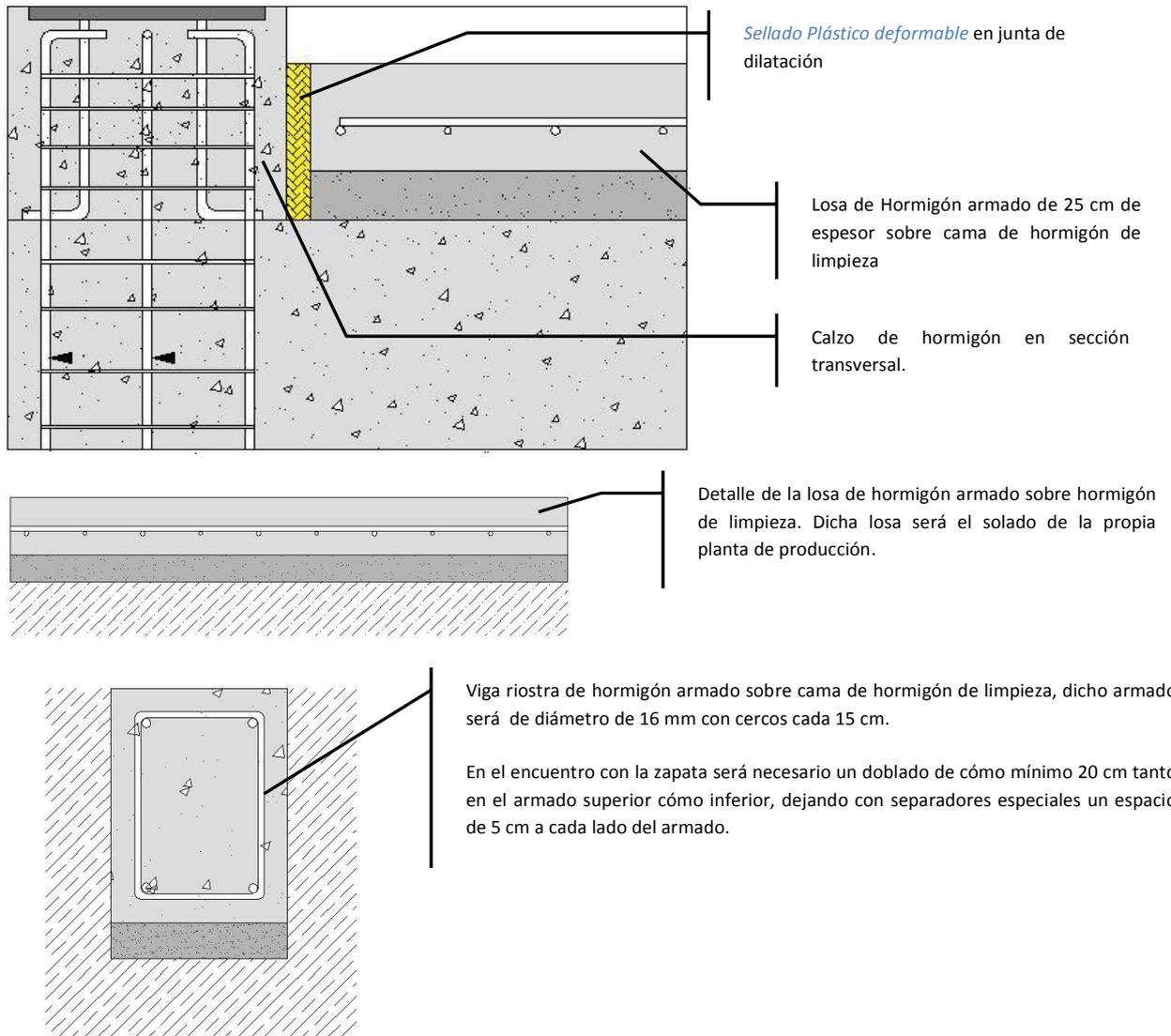
Según la norma NCSE-02, la zona de Cartagena tiene un coeficiente de  $a_b/g$  de 0.05 y  $k$  vale 1.



El armado de la pieza será de redondos metálicos corrugados de diámetro 12 mm, en la parrilla a inferior con un doblado de cómo mínimo 20 cm, dejando con separadores especiales un espacio de 5 cm. Los diámetros de las esperas del calzo de hormigón será de 16 mm, serán 8 unidades y las de la placa de anclaje (de espesor 80 mm) serán 6 esperas soldadas de diámetro 20 mm.



Y tal como se ve en el detalle inferior entre la losa de hormigón y los calzos de hormigón existen piezas de sellado plástico que han de ser deformables para absorción de los movimientos de la losa (dilatación y compresión).



El sellante es el material empleado para sellar la junta mediante su propiedad de **adherencia** a las superficies interiores de la misma. El sellante puede ser:

- **Sellante Elástico:** el movimiento de la junta provoca tensiones remanentes proporcionales al esfuerzo producido.
- **Sellante Plástico:** el movimiento de la junta produce tensiones remanentes que desaparecen con rapidez.

Para cumplir su función de manera óptima, el sellante requiere:

- Adhesión a la superficie: al adherirse firmemente impide filtraciones.
- Tener en cuenta su envejecimiento, ya que con el tiempo va perdiendo propiedades.
- Tiempo de aplicación y de servicio.
- Cohesión: es la propiedad de mantenerse unido por atracción molecular al ser sometido a esfuerzos de tracción.
- Compatibilidad con otros materiales de diferente naturaleza y Factor de acomodación del movimiento
- Curado: transformación irreversible.
- Recuperación elástica.
- Extrusionabilidad: propiedad de ser forzado a través de una boquilla.



### Tensión admisible del terreno y asientos admisibles.

Partiendo del análisis de zapatas rectangulares, al ser las más utilizadas por sus características geométricas, se realizará así mediante la condición de que no hay no de tracciones en el terreno y un análisis de momentos separados en las dos direcciones principales.

Para disponer de una idea orientativa tanto de las tensiones admisibles de los distintos tipos de terrenos, como de los asientos generales admisibles y las cargas a considerar en el proyecto de la cimentación que se puede consultar en el Código Técnico de la Edificación, donde se establecen los criterios para la elección de la presión admisible en el terreno. En cualquier caso, y dada la complejidad del problema de los asientos, cuando por las características de la estructura o la naturaleza del terreno sean de temer asientos superiores a los admisibles, el proyectista debe acudir a un especialista en cimentaciones, aunque al ser un caso hipotético hemos tenido en cuenta los valores usuales que van entre los **1 y 2  $kp/cm^2$** .

### Comprobación al vuelco.

La primera comprobación que debe efectuarse en zapatas sometidas a momentos o fuerzas horizontales es la seguridad/comprobación al vuelco. El problema se reduce a comprobar que el llamado momento de vuelco afectado por un coeficiente de seguridad (por norma será de 1.5) es inferior al momento estabilizador de la pieza, para ello se toma momentos respecto al eje "O".

$$(N + P) * b/2 > (M + V * h) * \gamma_s$$

Siendo:

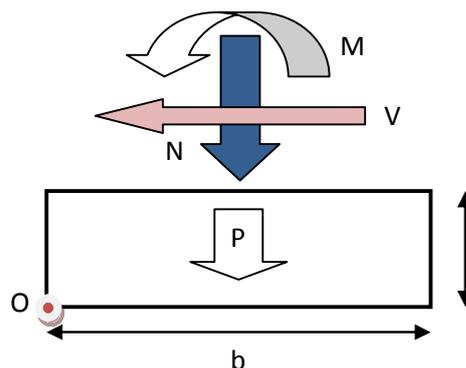
N, M, V → Esfuerzos en base de pilar.

P → Peso propio de la zapata.

b → ancho de la zapata.

h → altura o canto de la zapata

$\gamma_s$  → coeficiente de seguridad de valor 1.5



En esta ecuación no está incluido el peso del suelo que gravita sobre la zapata, cuyo efecto es estabilizador.

$$142 \text{ Kg/m} * 3 \text{ m} = 430 \text{ kg} + 1500 \text{ kg} = 1930 \text{ kg} + (2.400 \text{ kg/m}^3 * 1.5 \text{ m}^3) = 5500 \text{ kg} * 1.5 \text{ m}/2 = 4215 \text{ kg} / \text{m} > (200 * 3 + 500) * 1.5 = 1650 \text{ kg} / \text{m}$$

**Cómo se ve en el cálculo preliminar, cumple sin problemas.**



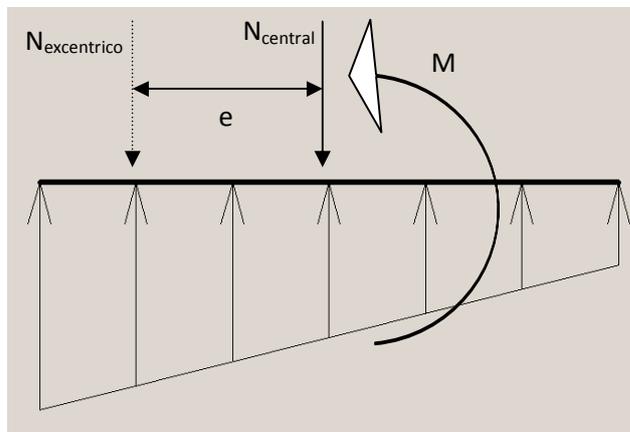
### Comprobación al deslizamiento.

En el caso de que las zapatas de la cimentación estén sometidas a acciones horizontales y que no estén debidamente arriostradas, deberá comprobarse la seguridad al deslizamiento.

En nuestro caso las zapatas están bien arriostradas, haciéndolas solidarias entre sí y además de estar proyectada una losa de hormigón, que será el solado de la factoría, la cual hace que no se produzcan deslizamientos independientes de las zapatas que además queda aún más minimizado por la acción de las cerchas de la estructura.

Hay que tener en cuenta la fuerza de rozamiento entre la base de la zapata y el terreno o la cohesión de éste se tomará como única fuerza estabilizante, despreciándose generalmente el empuje sobre la superficie lateral de la zapata, tal y como se ve en el diagrama a continuación:

El axil del pilar estará centrado en la zapata, por lo tanto no hay excentricidad de carga.



Cuando el valor de la excentricidad de la carga ("e") es prácticamente nula, quiere decir que no hay momento de vuelco y no desliza la zapata.

$$\sigma_1 = \frac{N}{a * b} * \left(1 + \frac{6 * e}{b}\right)$$

$$\sigma_2 = \frac{N}{a * b} * \left(1 - \frac{6 * e}{b}\right)$$

Cuando el valor de "e" es cero, tendremos:

$$\sigma_1 = \frac{N}{a * b} * \left(1 + \frac{6 * e}{b}\right) = \frac{5500}{1.5^2} * (1 + 0) = 250 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{N}{a * b} * \left(1 - \frac{6 * e}{b}\right) = \frac{5500}{1.5^2} * (1 - 0) = 250 \text{ N/m}^2$$

$$\frac{3 * \sigma_1 + \sigma_2}{4} \leq \sigma_{adm} \rightarrow 250 \leq \sigma_{adm}$$

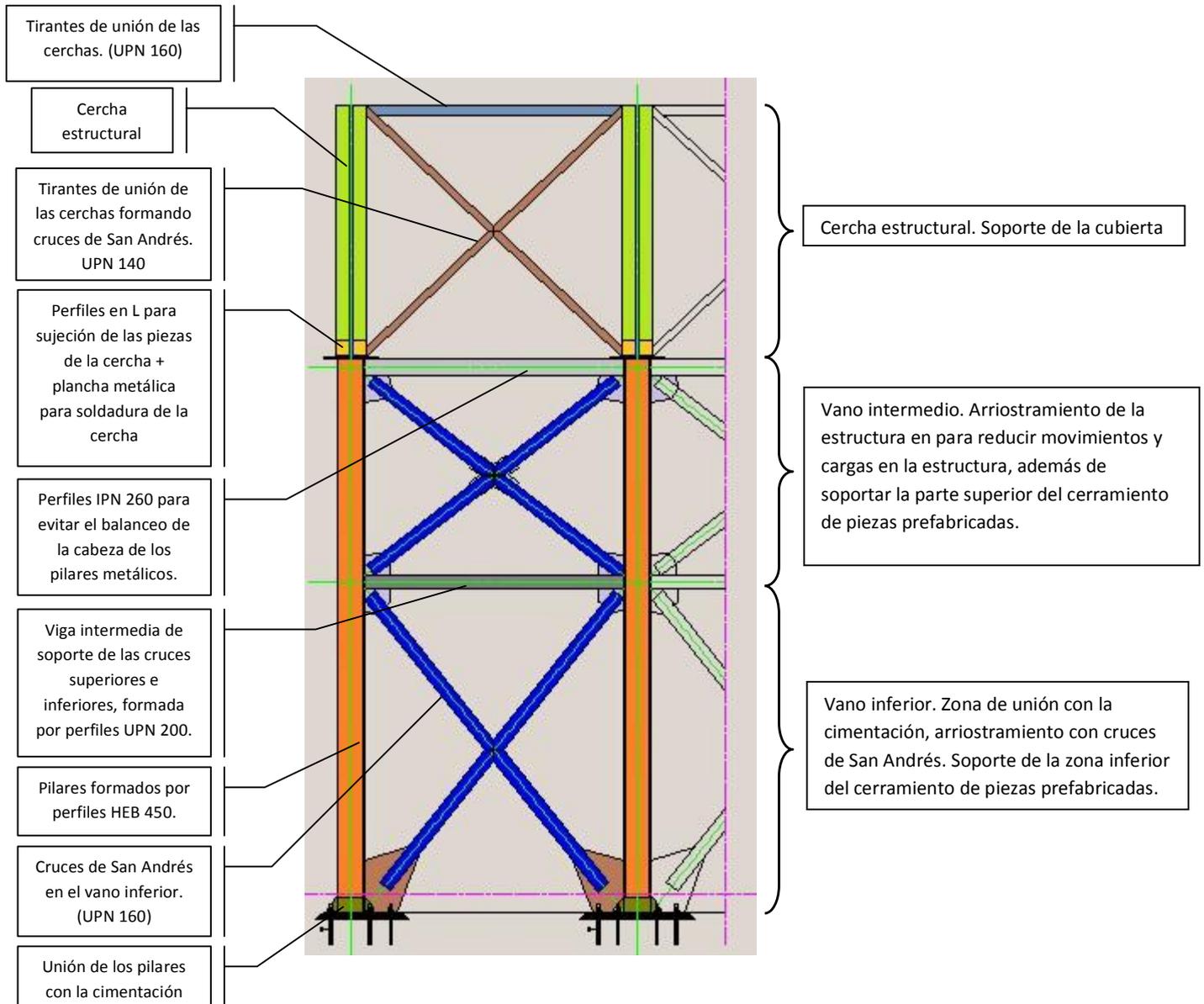
El cálculo demuestra que la tensión admisible definida es notablemente mayor a la tensión que la zapata ejerce sobre el terreno, por lo tanto no hay deslizamiento.



## II. Estructura:

La estructura del edificio está realizada en estructura metálica de perfiles normalizados con soldadura de unión entre perfiles usando casquillos metálicos para refuerzo, todo realizado en taller (según las condiciones del código técnico estructural).

La estructura está compuesta por pilares (HEB), vigas (UPN e IPN) y las partes de la estructura que sean auxiliares tales como las cruces de San Andrés (UPN con cartelas metálicas), las cartelas de la cercha, perfiles conformados como correas.



La estructura está caracterizada por pilares metálicos **HEB 360**, soldados sobre placa metálica con cartelas de rigidización para evitar el movimiento en la base del pilar. Y para tener los perfiles a nivel se colocará una pasta de homogeneización (mortero de nivelación) en la base de dicha placa a fin de que estén todas horizontales.



La condición para decidir la posición de los pilares es que el perfil lo colocaremos siempre con el modulo resistente mayor ( $W_x$ ) perpendicular a la carga de viento mayor (la cual suponemos que es donde mayor superficie en contacto con el viento el cerramiento tiene), en este caso será el eje xy en dirección norte.

Los pilares deberán estar diseñados con carga centrada (no esviada) para que no tengan apenas ni momento torsor ni momento flector. Conocidas las condiciones geométricas del perfil y la carga sometida, podemos calcular si aguanta o no:

$$\sigma_{max} = \frac{N}{A} * w \leq \sigma_{adm}$$

Suponemos que la longitud equivalente de pandeo en el plano vertical y paralelo al eje longitudinal de la nave, es la de un pilar empotrado en la base y semi-articulado en la cabeza. Por lo tanto en el eje YY, tendremos:

$$\lambda_y = \frac{\beta * l_g}{i_y} = \frac{0.7 * 450}{2.05} \approx 154 \rightarrow \omega = 4.15$$

La longitud equivalente de pandeo en el plano vertical y paralelo al eje longitudinal de la nave, es la de un pilar empotrado en la base y articulado en la cabeza. Por lo tanto en el eje XX, tendremos:

$$\lambda_x = \frac{\beta * l_g}{i_y} = \frac{2 * 450}{7.42} \approx 122 < \lambda_y$$

Valor de " $\omega$ " sale de la tabla del pandeo del acero A42.

Conocido por tanto el valor de " $\omega$ " correspondiente al eje YY, podremos decir que:

Valor de A  $\rightarrow$  Área de un perfil HEB 360 = 1.85 m<sup>2</sup>

Valor de N  $\rightarrow$  El valor del axil de compresión será de 1650 kg (tal y como se ve en la tabla inferior) + 500 kg de peso propio.

$$\sigma_{max} = \frac{N}{A} * w \leq \sigma_{adm} \rightarrow \sigma_{max} = \frac{2150}{1850} * 4.15 = 48.5 \frac{kg}{cm^2} < 2335 \frac{kg}{cm^2}$$

	Unidades/Cercha	Longitud (total)	Peso(kg/m)	Total
UPN-180 Amarillo	8	46,88 m	22 Kg/m	1030 kg
UPN-120 Rosa	8	11,76 m	13,4 Kg/m	155 kg
UPN-140 Naranja	4	9,44 m	16 Kg/m	150 kg
UPN-120 Morado	4	4,84 m	13,4 Kg/m	65 kg
UPN-180 Verde	1	2,7 m	22 Kg/m	60 kg
Cartelas Aux.	11	9,3 m	9 Kg/m	85 kg
Cruces de S. A Sup	2	~1,75	16 Kg/m	28 kg
Viga Superior	1	~2,2 m	20 Kg/m	44 kg
Cruces de S. A Inf	2	~2,5 m	16 Kg/m	40 kg
Viga Inferior	1	~2,2 m	20 Kg/m	44 kg

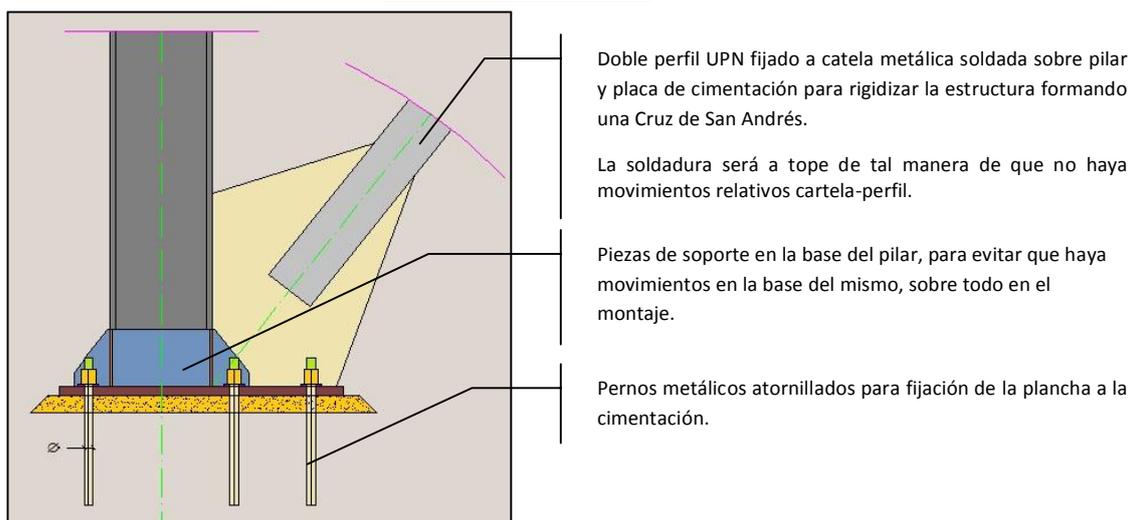
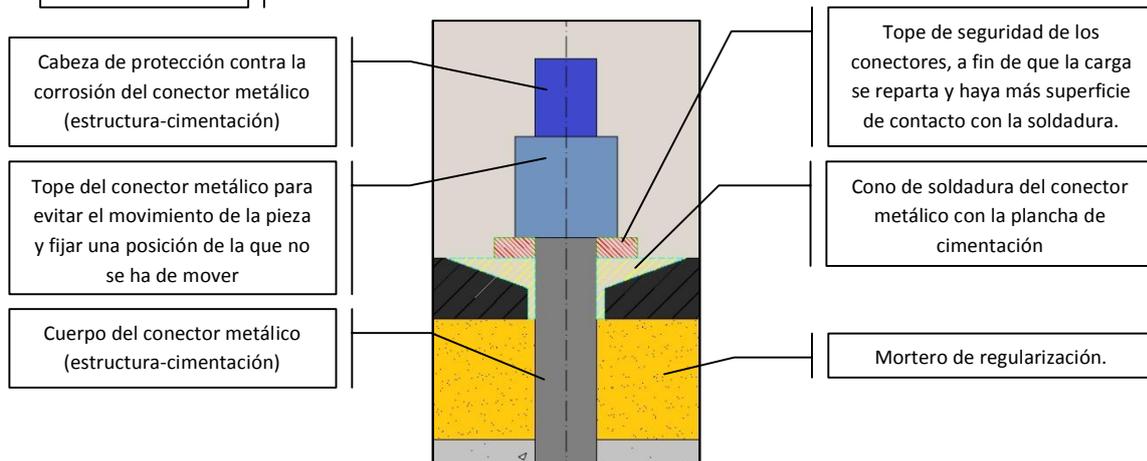
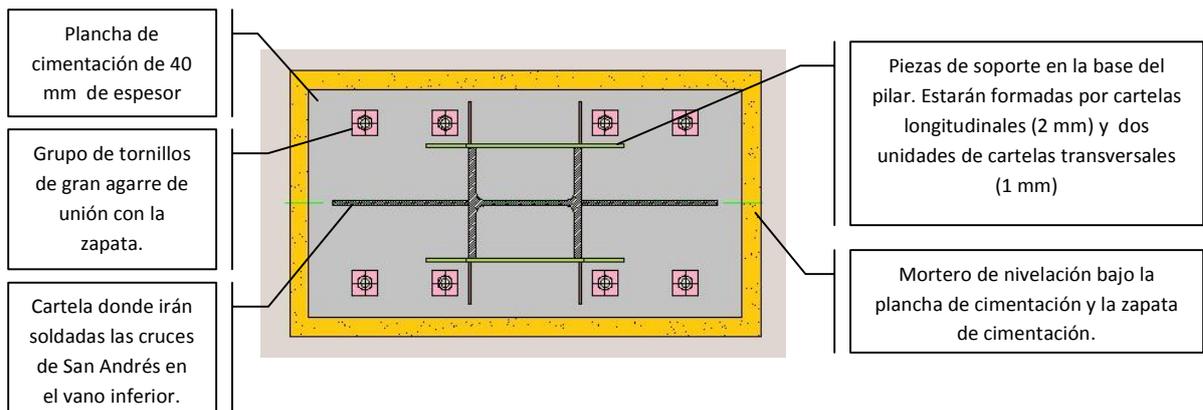
Y para el cálculo de los pernos de anclaje:

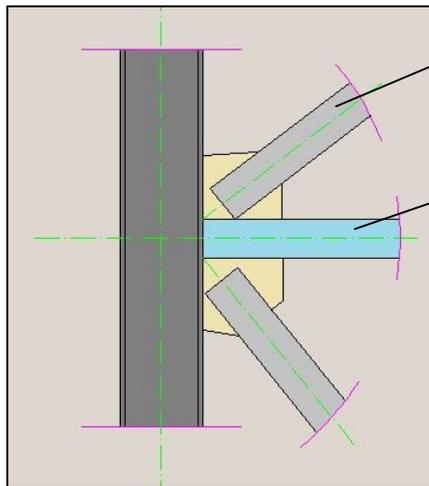


Calculamos la longitud de anclaje ( $l_b$ ), pues a simple vista y sabiendo que la separación máx. entre perno es 30 cm aproximadamente y como tenemos una placa rectangular de más de 40 cm. Colocaremos 6 u 8 redondos de 25  $\phi$  por placa y con una profundidad de 75 cm.

Nuestra condición es de buena adherencia al utilizar barras corrugadas con terminación en patilla y demás circunstancias que hacen que las barras se encuentren en la posición I según lo estipulado en el Código técnico y en la EHE.

La fijación de la placa con la cimentación se realizará con pernos metálicos fijados con tuercas de alta resistencia soldadas a la placa de cimentación y con piezas metálicas que harán de tope para evitar que los tornillos "se escurran" de la chapa.

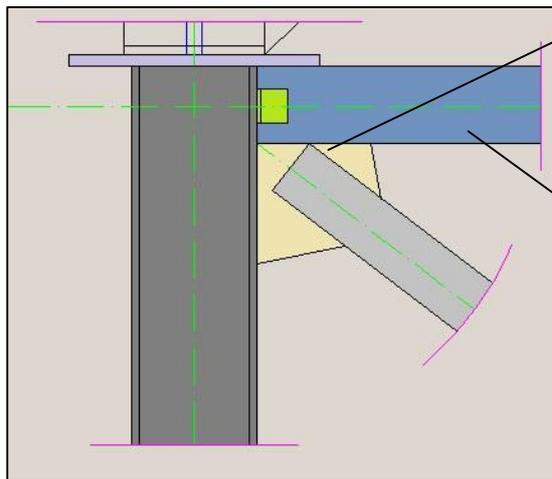




Doble perfil UPN fijado a catela metálica soldada sobre la viga intermedia para rigidizar la estructura formando una Cruz de San Andrés en la parte superior de la estructura.

Viga intermedia de la estructura que sirve de apoyo a las cruces de San Andrés, tanto a las superiores como a las inferiores, además de ser un punto de apoyo de las piezas de cerramiento de la estructura.

Las piezas de las cruces están sujetas al pilar con cartelas, y la viga, la cual también son dos perfiles UPN soldados al pilar directamente.



En la parte superior de las cartelas de unión con la viga se colocará una plancha auxiliar para ayuda al montaje de las cruces de San Andrés a fin de tener suficiente superficie para poder soldar las piezas.

Viga superior de la estructura que sirve de apoyo a las cruces de San Andrés de la parte superior, además de ser un punto de apoyo de las planchas sobre las que apoyan las cerchas la estructura.

Dicha viga es un perfil IPN 260 en cuyos extremos, para anclaje a los pilares, irá soldada a perfiles en L de 210.

Para el cálculo de la Placa de anclaje de los pilares de los pórticos de la propia nave industrial será necesario el estudio de las acciones que sobre éste se dan donde se aplicará una mayoración para el cálculo de las distintas piezas de la estructura, según lo especificado en apartado 3.1.5 de la NBE EA-95, así como en la SE-AE del Código Técnico de la Edificación en los artículos 2 y 3, y en la SE-A de dicho C. Técnico donde tenemos:

Se requieren dos tipos de verificaciones de acuerdo a DB SE 3.2, las relativas a:

- a) La estabilidad y la resistencia (*estados límite últimos*).
- b) La aptitud para el servicio (*estados límite de servicio*).

En el art. 2.3 de la SE-A se estudian los *Estados límite últimos*, en donde es necesario verificar las siguientes condiciones:

Para la *verificación de la capacidad portante* se consideran los estados límite últimos de *estabilidad y resistencia*, de acuerdo a DB SE 4.2, además del *Efecto de las acciones* donde se estudiarán las acciones combinadas según el art. 4.2 de la DB-SE.

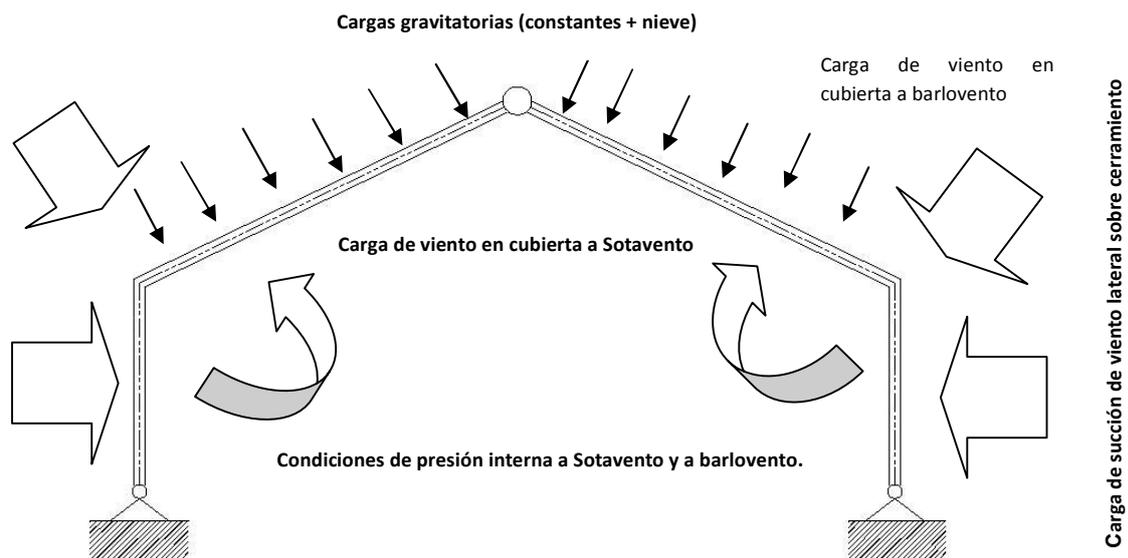


Y además será necesario usar los Coeficientes parciales de seguridad para determinar la resistencia de la estructura según lo establecido en el art. 2.3.3 de la SE-A.

Para los coeficientes parciales para la resistencia se adoptarán, normalmente, los siguientes valores:

Coeficiente Parcial	Valor	Uso	(Art.2.3.3 de SE-A)
$\gamma_{M0}$	1,05	coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material	
$\gamma_{M1}$	1,05	coeficiente parcial de seguridad relativo a los fenómenos de inestabilidad	
$\gamma_{M2}$	1,25	coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión	
	1,1	coeficiente parcial para la resistencia al deslizamiento de uniones con tornillos pretensados en Estado Límite de Servicio.	
$\gamma_{M3}$	1,25	coeficiente parcial para la resistencia al deslizamiento de uniones con tornillos pretensados en Estado Límite de Último.	
	1,4	coeficiente parcial para la resistencia al deslizamiento de uniones con tornillos pretensados y agujeros rasgados o con sobremedida.	

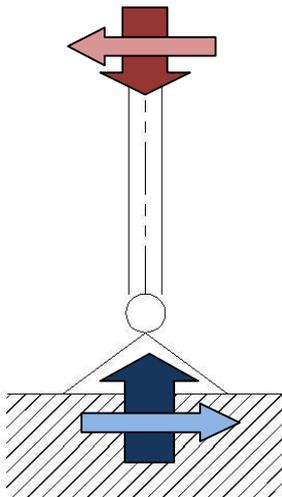
Haciendo una ponderación del pórtico de mayores cargas que actúan en la base de los pilares son las proporcionadas por los *listados de CYPE*, estando mayoradas según las hipótesis de carga expuestas anteriormente, ahora viendo el esquema simplificado de un bloque cercha-pilares donde los apoyos son fijos y la clave de la cercha será articulada, y los esfuerzos serán los que se reflejan en el diagrama.



Cómo la base del pilar está articulada no existe momento aplicado sobre la base y sólo es necesario calcular los esfuerzos a compresión y a cortante sobre la pieza y el apoyo.

Sumatorio de fuerzas en X:  $F_{\text{viento}} = F_1 + F_2$

Sumatorio de fuerzas en Y:  $F_1 = F_2$



El sistema estará calculado con las siguientes premisas:

Desponderamos las acciones mediante un coeficiente intermedio,  $\gamma = 1,4$ .

El hormigón que utilizaremos para las zapatas corresponde a una resistencia característica de  $f_{ck} = 25$  MPa según la EHE-08. Utilizaremos además los valores de los coeficientes de minoración de la resistencia del hormigón ( $\gamma_c = 1,5$ ) y del acero ( $\gamma_s = 1,15$ ), así como el coeficiente de mayoración de acciones ( $\gamma_f = 1,6$ ), ya que según dicha norma son los más usuales pajo condiciones estándar.

Los dos primeros son función del material y de la situación del proyecto, ya sea persistente o accidental, mientras que el tercero lo será del tipo de acción, así como del nivel del control de la ejecución del proyecto.

Considerando estos coeficientes, la tensión admisible del hormigón a la compresión será:

$$\sigma_{adm,hgon} = f_{cd} ; \sigma_{adm,hgon} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{255.1}{1.5} = 170.07 \text{ kg/cm}^2$$

Para los pernos de anclaje se utilizará un acero normalizado de tipo B-400-S con una resistencia característica  $f_{yk} = 400$  MPa, siendo su resistencia de cálculo:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{4081.63}{1.15} = 3549.24 \text{ kg/cm}^2$$

El valor de cálculo es notablemente inferior al de la resistencia de la pieza, por lo tanto es una elección acertada la de ese elemento constructivo.

Los pilares irán directamente unidos a la cubierta, la cual a alojar sobre cerchas metálicas de tipo **Plant**, la cual se definirá más adelante. El diseño se ha hecho calculando las distintas piezas a las sollicitaciones básicas de cálculo, tales como la resistencia a tracción y a compresión, en función de la carga estimada que tendrá la cubierta (según el código técnico y la NBE de acciones de la edificación).

Suponemos una carga de cubierta de

- ⇒ **Acción gravitatoria.** Es la producida por el peso de los elementos constructivos, de los objetos que puedan actuar por razón de uso, y de la nieve en las cubiertas, e incluso puede ir acompañada de impactos o vibraciones.

**La fachada/cerramiento tiene un peso por metro lineal de 250 kg**, pero apoya directamente al terreno y una pieza sobra la siguiente, por lo que el peso en sobre la cubierta es en realidad únicamente el de estabilización de las piezas.

**Concarga.** Es la carga cuya magnitud y posición es constante a lo largo del tiempo, salvo el caso de reforma del edificio. Se descompone en peso propio y carga permanente.



⇒ **Peso propio:** Es la carga debida al peso del elemento resistente. Constituye parte de la concarga.

⇒ Si suponemos que en la cubierta vamos a tener un cerramiento de tipo sándwich (deck), formado por 2 chapas y un aislante térmico de 6 cm de espesor de tipo fibra de vidrio, y una chapa de acero zincado con piezas auxiliares de regularización.

El peso por  $m^2$  es de 15 kg de chapa de aluminio, el peso del aislamiento es de  $600 \text{ kg/m}^3$ , lo que supone un peso de  $80 \text{ kg/m}^2$ .

⇒ **Carga permanente:** Es la carga debida a los pesos de todos los elementos constructivos, instalaciones fijas, etc., que soporta el elemento. Constituye parte de la concarga. Suponemos un valor de peso de estructura de la cercha es de **1550 kg/cercha** en función del despiece de las cerchas.

### Diseño de cerchas metálicas:

Se puede definir una cercha como uno de los principales tipos de estructuras empleadas en ingeniería. Proporciona una solución práctica y económica a muchas situaciones de ingeniería, especialmente en el diseño de puentes y edificios. una armadura consta de barras rectas unidas mediante juntas o nodos. Los elementos de una cercha se unen sólo en los extremos por medio de pasadores sin fricción para formar armazón rígida; por lo tanto ningún elemento continúa más allá de un nodo. Cada cercha se diseña para que soporte las cargas que actúan en su plano y, en consecuencia, pueden considerarse como una estructura bidimensional. Todas las cargas deben aplicarse en las uniones y no en los mismos elementos. Por ello cada cercha es un elemento sometido a fuerzas axiales directas (tracción o compresión).

Una armadura simple se obtiene de adicionar barras a la armadura básica triangular. Debe observarse que una armadura simple no está necesariamente formada por triángulos. En una armadura simple el número total de barras es  $b=2n-3$ , donde n es el número total de nodos.

Cuando varias barras se unen entre sí por sus extremos para formar una configuración en tres dimensiones, la estructura obtenida se llama cercha espacial. Las condiciones de equilibrio para cada nodo se expresarán por las tres ecuaciones  $\Sigma F_x=0$ ,  $\Sigma F_y=0$  y  $\Sigma F_z=0$ , para evitar la resolución de muchas ecuaciones simultáneas, los nodos deberán seleccionarse cuidadosamente para descartar aquellos que contengan más de tres fuerzas desconocidas.

En un sistema estructural conformado por cerchas, se dispone de un sistema de arriostramiento lateral a fin de contrarrestar el desplazamiento longitudinal de la edificación debido a las fuerzas transversales.

Una cercha está formada por los siguientes elementos:

- 1. **Cordón superior** (Los miembros de arriba)
- 2. **Cordón inferior** (Los miembros de abajo)
- 3. **Diagonales.**
- 4. **Verticales** Montantes o pendolones dependiendo del tipo de esfuerzo.



La forma más sistemática de calcular las solicitaciones en una cercha isostática es el método de **cremona**, que no es más que una forma ordenada de comprobar el equilibrio de los nudos.

Los nudos de la estructura deben ser recorridos buscando siempre nudos con dos solicitaciones de barra desconocidas. Dentro de cada nudo las barras y las fuerzas deben a su vez ser recorridos de forma sistemática.

En este texto realizaremos el cálculo con un programa específico para ello, aunque también se hará un despiece de los nudos para estudiar las cargas de axiles de tracción y compresión.

Tal y como indica el *código técnico* en su apartado de 5.2 de *Modelos del comportamiento estructural* de **Seguridad Estructural** (DB SE):

Partimos de una hipótesis de cálculo de la pieza (un modelo, tal y como se ve en el diagrama de ésta página) en nuestro caso se utilizarán modelos elásticos y lineales en las comprobaciones frente a estados límite de servicio. Solo la rigidez en torsión de las piezas puede ser ignorada en el análisis en los casos en que no resulte imprescindible para el equilibrio de las mismas, cómo es nuestro caso ya que las piezas están calculadas para que eso no suceda.

En función de la resistencia las uniones pueden ser articulaciones, de resistencia total o de resistencia parcial. Y dependiendo de la rigidez las uniones pueden ser articuladas, rígidas o semirrígidas, según su rigidez a rotación sea nula, total o intermedia.

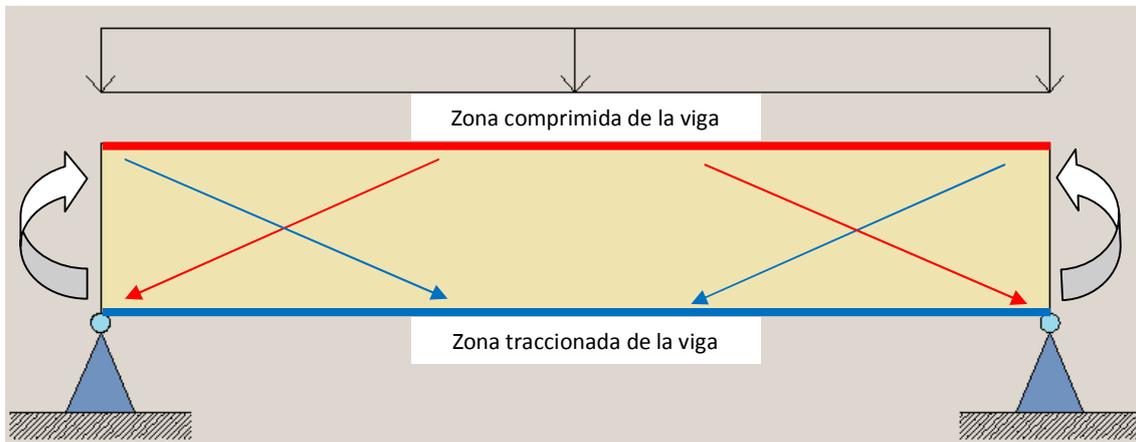
Y por último, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección solicitada por un momento flector, esta se clasifica en una de las cuatro clases siguientes:

Clase 1: Plástica	Permiten la formación de la rótula plástica con la capacidad de rotación suficiente para la redistribución de momentos
Clase 2: Compacta	Permiten el desarrollo del momento plástico con una capacidad de rotación limitada.
Clase 3: Elástica	En la fibra comprimida se puede alcanzar el límite elástico del acero pero la abolladura impide el desarrollo del momento plástico.
Clase 4: Esbelta	Los elementos total o parcialmente comprimidos de las secciones esbeltas se abollan antes de alcanzar el límite elástico en la fibra más comprimida

→ **Nuestras piezas serán de resistencia total, con uniones rígidas de rotación nula (clase 1).**



En el caso de piezas cargadas por la parte superior, donde el sistema trabajará como un todo a flexión, se pueden construir los diagramas de momento y cortante comparándolos con los de una viga de alma llena. Encontramos que los momentos internos que producen esfuerzos de compresión y tracción en la viga, se descomponen en un par de fuerzas en la cercha produciendo esfuerzos de compresión en el cordón superior y esfuerzos de tracción en el cordón inferior; las diagonales resisten esfuerzos cortantes como también parte de los momentos y sirven de unión entre el elemento superior y el inferior.



Tal y como se ve en el diagrama la cercha se puede asimilar a una viga de alma no continua (y tal y como se aprendió en las clases de teoría de estructuras), en las vigas / piezas de la parte superior de la cercha están sometidas a cargas de compresión, al igual que las diagonales que van en dirección al exterior de la cercha.

Y en el caso contrario tenemos las piezas de color azul, que son piezas traccionadas.

Respecto a los momentos de la pieza, son los indicados en el diagrama igualmente, de tal manera que el eje de simetría intermedio es el que soportará la mayor carga.

Una vez conocidos los esfuerzos a los que estarán sometidos las piezas, podremos realizar un estudio más exhaustivo de las piezas y comprobar si realmente soportan las cargas.

- **Diseño por Tracción**

Ciertos miembros de la cercha esta sometidos a fuerzas axiales de tracción (por lo general el cordón inferior) y la sección transversal puede tener varias formas, ya que para cualquier material, el único factor que determina la resistencia es el área transversal. El diseño por tracción es la manera más eficiente de usar el acero estructural mediante barras.

El diseño consiste en seleccionar un elemento con área transversal suficiente para que la carga de factor  $P_u$  no exceda la resistencia de diseño  $\phi_t F_y A_{req}$ . En general el diseño es un procedimiento directo y las secciones formadas por perfiles o perfiles combinados y placas típicos se indican en la siguiente figura donde la más común es el ángulo doble.

$$A_{req} \geq \frac{P_u}{\phi_t * F_y}$$



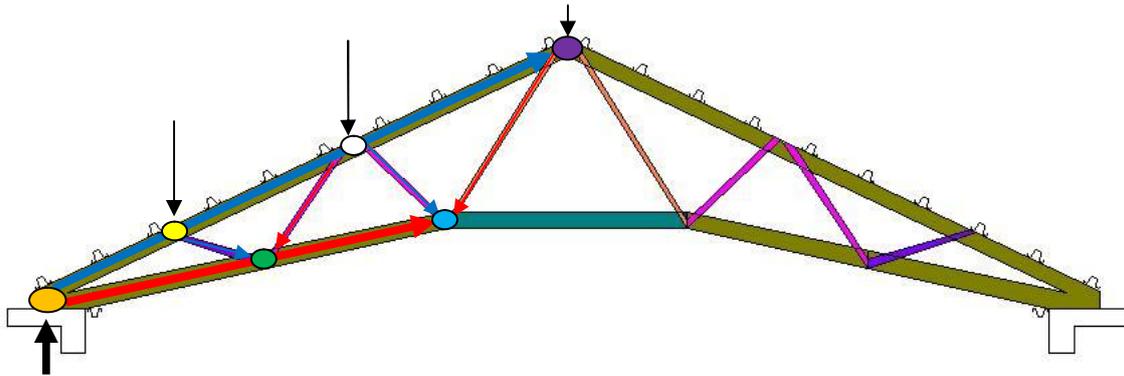
$$\phi_t = 0.9; P_u = \text{Carga axial de tracción};$$

$$f_y = \text{Esfuerzo de cedencia del acero}$$

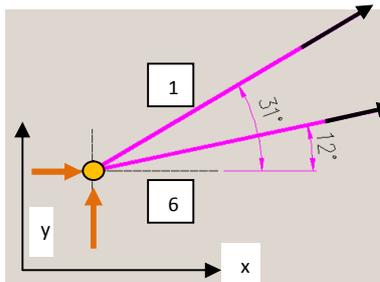
Para conocer la carga axial a tracción será necesario hacer los cálculos previos.

Como más adelante se calculará detalladamente, la carga del viento será de  $26 \text{ Kg/m}^2$  y la carga por sobre carga de nieve  $20 \text{ Kg/m}^2$  y junto con el peso propio de los perfiles de la cercha tendremos un valor aproximado de **1725 kg** . Cuyo valor lineal será de:  $1725 \text{ kg} / 12,5 \text{ m} = 145 \text{ kg / m}$ .

Estudiando el valor de las piezas que inicialmente se han supuesto que estarán traccionadas, tendremos los siguientes valores de la carga axil de tracción:



En el nudo de color naranja podemos descomponer las fuerzas de la siguiente manera:

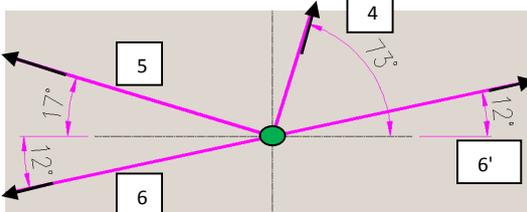


$$F_x = F_{1x} * \cos(31^\circ) + F_{6x} * \cos(12^\circ)$$

$$F_y = F_{1y} * \sin(31^\circ) + F_{6y} * \sin(12^\circ)$$

Conocidos los valores de  $F_x$  y de  $F_y$  podremos calcular los valores de  $F_1$  y de  $F_6$ .

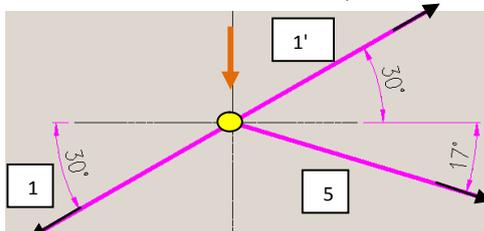
En el nudo de color verde podemos descomponer las fuerzas de la siguiente manera:



$$F_x = F_{4x} * \cos(73^\circ) + F_{6'x} * \cos(12^\circ) - F_{6x} * \cos(12^\circ) - F_{5x} * \cos(17^\circ)$$

$$F_y = F_{4y} * \sin(73^\circ) + F_{6'y} * \sin(12^\circ) - F_{6y} * \sin(12^\circ) + F_{5y} * \sin(17^\circ)$$

En el nudo de color amarillo podemos descomponer las fuerzas de la siguiente manera:

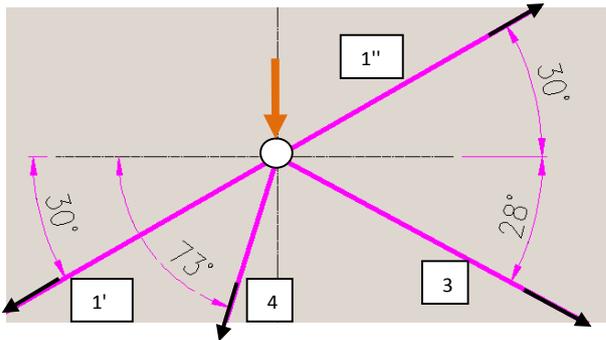


$$F_x = -F_{1x} * \cos(30^\circ) + F_{1'x} * \cos(30^\circ) + F_{5x} * \cos(17^\circ)$$

$$F_y = -F_{1y} * \sin(30^\circ) + F_{1'y} * \sin(30^\circ) - F_{5y} * \sin(17^\circ)$$



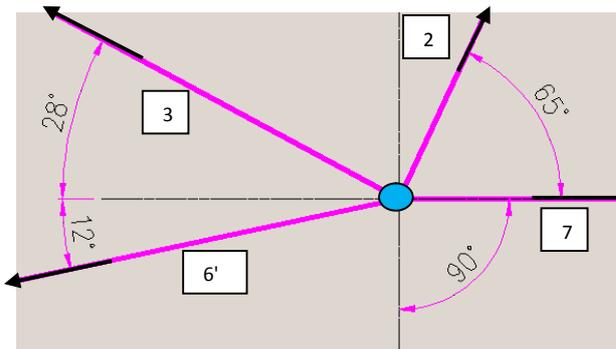
En el nudo de color blanco podemos descomponer las fuerzas de la siguiente manera:



$$F_x = -F_{1'x} * \cos(30^\circ) + F_{1''x} * \cos(30^\circ) - F_{4x} * \cos(73^\circ) + F_{3x} * \cos(28^\circ)$$

$$F_y = -F_{1'y} * \sin(30^\circ) + F_{1''y} * \sin(30^\circ) - F_{4y} * \sin(73^\circ) - F_{3y} * \sin(28^\circ)$$

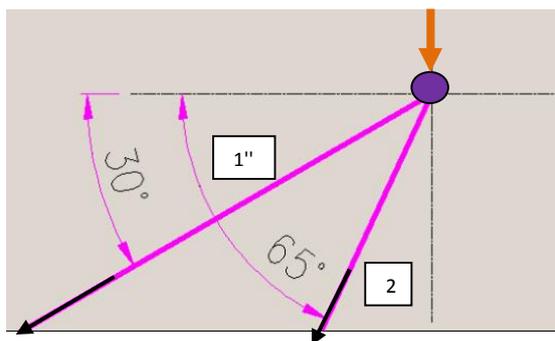
En el nudo de color blanco podemos descomponer las fuerzas de la siguiente manera:



$$F_x = -F_{3x} * \cos(28^\circ) - F_{6'x} * \cos(12^\circ) - F_{2x} * \cos(65^\circ) + F_{7x}$$

$$F_y = -F_{6'y} * \sin(12^\circ) + F_{3y} * \sin(28^\circ) - F_{4y} * \sin(73^\circ) - F_{3y} * \sin(28^\circ)$$

En el nudo de color blanco podemos descomponer las fuerzas de la siguiente manera:



$$F_x = -F_{2x} * \cos(65^\circ) - F_{1''x} * \cos(30^\circ)$$

$$F_y = -F_{1''y} * \sin(30^\circ) - F_{2y} * \sin(65^\circ)$$

Una vez descompuestas las fuerzas que en cada nudo se pueden calcular los esfuerzos a los que están sometidos los perfiles de la cercha.

Sobre cada nudo tendremos una carga (flecha de color naranja) la cual será el valor representativo de la carga de la cubierta, donde los valores de la misma son un tercio del valor total de la carga por metro cuadrado sobre la cubierta.

$$Q = \frac{1725 \text{ kg}}{3} = 575 \text{ kg/nudo}$$



También es conocido el valor de la carga horizontal sobre la fachada del viento:

El valor de acción del viento sobre la estructura y paredes será en función de la ubicación de la estructura, su situación, zona eólica, etc... (los cálculos en detalle se harán más adelante, en el apartado de la cubierta):

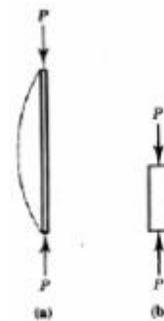
Viento en dirección transversal generará una presión dinámica de valor:  $q = 45 \text{ Kg/m}^2$ .

Pieza	Tipo de Axil	Carga	Área req.	Área real Perfil
1	Compresión	9126 N	276 cm <sup>2</sup>	358 cm <sup>2</sup>
1'	Compresión	8700 N	265 cm <sup>2</sup>	358 cm <sup>2</sup>
1''	Compresión	4150 N	125 cm <sup>2</sup>	358 cm <sup>2</sup>
2	Tracción	-8520 N	260 cm <sup>2</sup>	206 cm <sup>2</sup>
3	Tracción/neutra	≈ 720 N	25 cm <sup>2</sup>	145 cm <sup>2</sup>
4	Compresión	4150 N	125 cm <sup>2</sup>	145 cm <sup>2</sup>
5	Tracción /neutra	≈ 850 N	25 cm <sup>2</sup>	145 cm <sup>2</sup>
6	Tracción	-6870 N	210 cm <sup>2</sup>	358 cm <sup>2</sup>
6'	Tracción	-7560 N	230 cm <sup>2</sup>	358 cm <sup>2</sup>
7	Tracción	-6530 N	195 cm <sup>2</sup>	358 cm <sup>2</sup>

Las barras que se indican con el valor neutro, tienen un valor relativamente bajo de axil, de tal manera que se puede decir que tienen función más de montaje que de aguate de carga.

#### • Diseño por Compresión

Si la carga axial  $P$  es *aplicada lentamente*, el miembro se acorta o se comprime en la dirección de la carga y al alcanzar un valor dado cesa la deformación por acortamiento, ocurre entonces una deformación lateral y el miembro se vuelve inestable limitando así la capacidad por carga axial y toma la forma indicada por la línea punteada de la figura (a). Esta condición indica que el miembro se ha pandeado y la carga correspondiente a esta situación se llama carga crítica de pandeo. Si el miembro es robusto, como se muestra en la figura (b), se requerirá una carga mayor para que el miembro se vuelva inestable.



Para miembros sumamente robustos, la falla puede ocurrir por *cedencia compresiva* en vez de por pandeo. La carga bajo la cual ocurre el pandeo es una función de la esbeltez y para miembros muy esbeltos, esta carga puede ser muy pequeña. Por ello, la resistencia al pandeo de una columna disminuye con una longitud creciente. Si el miembro es muy esbelto el miembro es aún elástico justo antes del pandeo. La carga crítica de pandeo está dada por

$$P_{cr} = \pi^2 * \frac{A * E}{\left(\frac{L}{r}\right)^2}$$

donde  $E$  es el módulo de elasticidad del material,  $A$  es el área de la sección transversal,  $r$  es el radio de giro con respecto al eje de pandeo y  $L$  es la longitud del miembro entre puntos de soporte.



Según los artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 (tabla 6.3) de la CTE DB SE-A, L/r se denomina coeficiente de esbeltez y usada como un parámetro para determinar la resistencia de la columna. El pandeo del elemento de compresión es según la relación de esbeltez más grande, de los dos ejes de la sección L/r<sub>x</sub> y L/r<sub>y</sub>.

	A (cm <sup>2</sup> )	E (Kp/cm <sup>2</sup> )	L (cm)	r	P <sub>cr</sub>
UPN-180 Amarillo	22	<b>2100</b>	4688	7,83	1,27
UPN-120 Rosa	17		1176	4,63	5,46
UPN-140 Naranja	20,4		944	5,45	14,07
UPN-120 Morado	17		484	4,63	32,21
UPN-180 Verde	22		2700	7,83	3,84

Tal y como vemos el perfil de menor valor será el de mayor sección, y el de mayor valor el de menor sección en consonancia.

Parámetro de esbeltez

$$\lambda_c = \frac{L}{r * \pi} * \sqrt{\frac{F_y}{E}}; \frac{L}{r_{min}} \leq 200$$

$$\lambda_c \leq 1.5 \rightarrow F_{cr} = 0.658 \lambda_c^2 * F_y$$

$$\lambda_c > 1.5 \rightarrow F_{cr} = \frac{0.877}{\lambda_c^2} * F_y$$

Formula de Interacción

$$\frac{P_u}{\phi_c * P_n} \leq 1 \rightarrow P_u = \text{Carga de compresión}; \phi_c = 0.85 \text{ y } P_n = F_{cr} * A$$

Tal y como se ve en la tabla siguiente, los valores serán relativamente menores a la unidad, lo que supone que las piezas no pandean con los esfuerzos de compresión a los que están sometidos.

Pieza	Tipo de Axil	Carga	Área req.	Área real Perfil	Valor de iteración
1	Compresión	9126 N	276 cm <sup>2</sup>	358 cm <sup>2</sup>	0.85
1'	Compresión	8700 N	265 cm <sup>2</sup>	358 cm <sup>2</sup>	0.73
1''	Compresión	4150 N	125 cm <sup>2</sup>	358 cm <sup>2</sup>	0.65
4	Compresión	4150 N	125 cm <sup>2</sup>	145 cm <sup>2</sup>	0.65

Para perfiles que no se encuentren en las tablas de cargas para columnas debe usarse un procedimiento de tanteo, o lo que es lo mismo prueba y error (aunque este no es nuestro

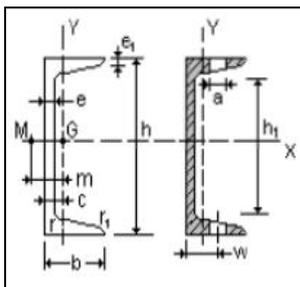


caso, ya que todos los perfiles son estándar y se han calculado manualmente y comprobado con un programa de cálculo específico).

El procedimiento general es suponer un perfil y luego calcular su resistencia de diseño. Si la resistencia es muy pequeña (insegura) o demasiado grande (antieconómica), deberá hacerse otro tanteo. Un enfoque sistemático para hacer la selección de tanteo es como sigue

1. Se seleccionará un perfil de tanteo.
2. Se calcularán los valores  $F_{cr}$  y  $\phi_c \cdot P_n$  para dicho perfil de tanteo.
3. Y se revisará con la formula de interacción, si la resistencia de diseño es muy cercana al valor requerido puede ensayarse el siguiente tamaño normalizado. De otra manera, se repetirá todo el procedimiento hasta encontrar el perfil que cumpla.

Una vez hecho dicho proceso varias veces se ha llegado a la siguiente conclusión:



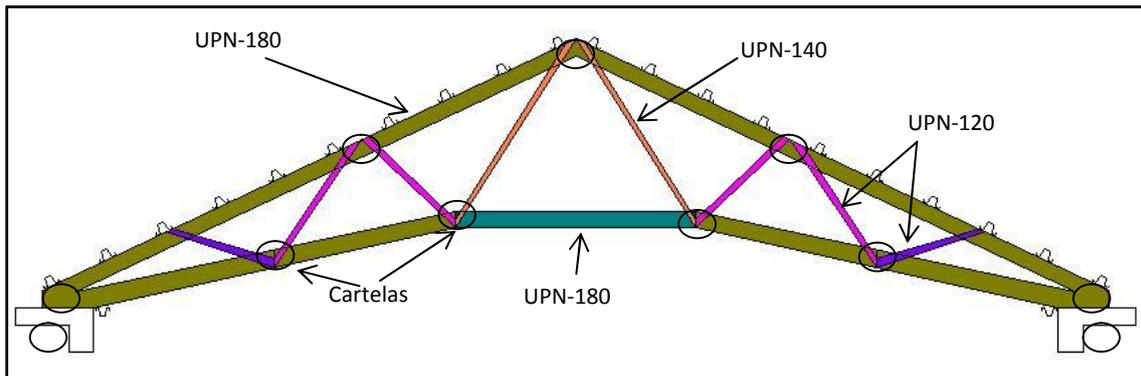
El tipo de perfil elegido para la disposición de las cerchas son perfiles tipo UPN (tal y como se ve en la figura), soldados a ambos lados de cartelas metálicas, según los resultados obtenidos en nuestros cálculos.

Las características de dicho perfil son las que se ven en la tabla anexa, y usando las características mecánicas son las que usaremos para hacer el cálculo de los perfiles de las cerchas.

Perfil	Dimensiones							Términos de la sección											Agujeros		Peso $P_{kp/m}$
	h m	b m	e m	$e_1 = r$ m	$r_1$ m	$h_1$ m	u m	A cm	$S_x$ cm <sup>3</sup>	$I_x$ cm <sup>4</sup>	$W_x$ cm <sup>3</sup>	$i_x$ cm	$I_y$ cm <sup>4</sup>	$W_y$ cm <sup>3</sup>	$i_y$ cm	$I_i$ cm <sup>4</sup>	c cm	m cm	w m	a m	
UPN 80	80	45	6,0	8,0	4,0	46	312	11,0	15,9	106	26,5	3,10	19,4	6,36	1,33	2,24	1,45	2,67	25	13	8,64
UPN 100	100	50	6,0	8,5	4,5	64	372	13,5	24,5	206	41,2	3,91	29,3	8,49	1,47	2,96	1,55	2,93	30	13	10,60
UPN 120	120	55	7,0	9,0	4,5	82	434	17,0	36,3	364	60,7	4,62	43,2	11,1	1,59	4,3	1,60	3,03	30	17	13,40
UPN 140	140	60	7,0	10,0	5,0	98	489	20,4	51,4	605	86,4	5,45	62,7	14,8	1,75	6,02	1,75	3,37	35	17	16,00
UPN 160	160	65	7,5	10,5	5,5	115	546	24,0	68,8	925	116	6,21	85,3	18,3	1,89	7,81	1,84	3,56	35	21	18,80
UPN 180	180	70	8,0	11,0	5,5	133	611	28,0	89,6	1350	150	6,95	114	22,4	2,02	9,98	1,92	3,75	40	21	22,00

	Unidades/Cercha	Longitud (total)	Peso(kg/m)	Total
UPN-180 Amarillo	8	46,88 m	22 Kg/m	1030 kg
UPN-120 Rosa	8	11,76 m	13,4 Kg/m	155 kg
UPN-140 Naranja	4	9,44 m	16 Kg/m	150 kg
UPN-120 Morado	4	4,84 m	13,4 Kg/m	65 kg
UPN-180 Verde	1	2,7 m	22 Kg/m	60 kg
Cartelas Aux.	11	9,3 m	9 Kg/m	85 kg

Y se ve el peso específico por cercha, según los pesos por metro lineal que se pueden encontrar en los prontuarios oficiales, cosa que ya habíamos calculado antes.



Las bases de nuestro cálculo general comprenderán los siguientes valores:

⇒ Acción del viento. Es la producida por las presiones y succiones que el viento origina sobre las superficies.

Usando la *Código técnico de la Edificación (SE-AE, Acciones de la edificación)* en la podemos incrementar hace una estimación de la acción eólica sobre la estructura:

$$Q_e = Q_b * C_p * C_e$$

Siendo cada término:

- ⇒  $Q_b$  es la presión dinámica del viento. Será de **0.5 kN/m<sup>2</sup>**.
- ⇒  $C_e$  es el coeficiente de exposición, variable con la altura del punto considerado, según el apartado 3.3.3 del CTE-SE-AE, tomando que la altura máxima del edificio es de 5 metros y está ubicado en zona tipo IV, Zona urbana en general, industrial o forestal.  
 **$C_e = 1,35$**
- ⇒  $C_p$  es el coeficiente eólico o de presión, dependiente de la forma y orientación de la superficie respecto al viento, en función de la esbeltez, en nuestro caso tenemos una esbeltez de 1, lo que conlleva un valor de éste coeficiente de 0,8.
- ⇒ El valor de  $Q_e$  es de **0,54**.

$$Q_e = Q_b * C_p * C_e = 0.5 * 1.35 * 0.54 = 0.364 \text{ kN/m}^2$$

El coeficiente eólico de presión interior,  $C_{pi}$ , se considera único en todos los en todos los paramentos interiores del edificio que delimitan la zona afectada por la fachada o cubierta que presenta grandes huecos.

Cuando el área de las aberturas de una fachada sea el doble de las aberturas en el resto de las fachadas del edificio, se tomará  $C_{pi} = 0,75 * C_{pe}$ ; si es el triple  $C_{pi} = 0,9 * C_{pe}$  siendo  $C_{pe}$  el coeficiente eólico de presión exterior.

- ⇒ Suponiendo un área del 30% de huecos respecto al total de la fachada y con una esbeltez de 1 el valor de  $C_{pe}$  es 0,4, y por tanto el  $C_{pi}$  es de 0,3.



- ⇒ Acción térmica. Es la producida por las deformaciones debidas a los cambios de temperatura.
- ⇒ Como temperatura de los elementos protegidos en el interior del edificio puede tomarse, durante todo el año, una temperatura de 20°C aproximadamente de media, la estructura es interior por tanto podemos tomar, teniendo en cuenta que la fachada es de color claro, según el artículo 3.4.2.
  - ⇒ En este caso hay que tener en cuenta la variación del acero por dilatación/contracción ( $12 \cdot 10^{-6}$  metros/metro de perfil metálico), lo que conllevará incrementar un 2% el coeficiente de seguridad.
- ⇒ Acción reológica. Es la producida por las deformaciones que experimentan los materiales en el transcurso del tiempo por retracción, fluencia bajo las cargas u otras causas. **Despreciable en materiales metálicos protegidos para la corrosión**, por tanto no se aplicará en nuestro caso.
- ⇒ Acción sísmica. Es la producida por las aceleraciones de las sacudidas sísmicas. De ella se trata en la vigente *Norma Sismo-resistente*.

La estructura está arriostrada por cruces de San Andrés para dar así una mayor rigidez al edificio, tanto en cubierta cómo entre los pilares de la nave, por tanto las condiciones de estabilidad comentadas en la NCSE, aunque nuestra edificación está exenta de otro tipo de restricciones ya que no está incluida en los casos de calculo exhaustivo de dicha norma, tal y como se recoge en el siguiente comentario:

*“En el caso de edificios la normativa se aplica según la importancia del edificio. Son considerados edificios de importancia especial diferentes tipos como hospitales, parques de bomberos, comunicaciones, transportes, o grandes centros comerciales. En el caso de los edificios de importancia normal, la norma es obligatoria en zonas con una aceleración sísmica superior o igual a 0,08g, lo que sucede en las provincias de Huelva, Málaga, Granada, parte de Jaén, Almería, Región de Murcia, Alicante, Lérida y parte norte de Huesca. En el caso de construcciones de importancia normal, el ámbito se extiende a las zonas con una aceleración sísmica igual o superior a 0,04g, lo que sucede en Andalucía, Región de Murcia, sur de la Comunidad Valenciana, costa y Pirineo de Cataluña, norte de Aragón, norte de Navarra, este del País Vasco, este de Galicia y pequeñas zonas limítrofes de Albacete y Badajoz.”*

Dichas piezas de rigidización, estarán formadas por perfiles metálicos UPN-160 soldados a cartelas alojadas en la estructura (ver detalles en planos adjuntos). Todas las uniones de los distintos perfiles se realizarán colocando elementos que rigidicen la unión cómo rigidizadores y angulares metálicos, tal y cómo se indica en el artículo 4.5.2 de la NCSE-02 y en el código técnico.

Según la tabla de 3.1 de la NCSE-02 tenemos un valor de comportamiento dúctil de 3 ( $\mu$ ) y de la respuesta del coeficiente  $\beta$  es de 0.33.

$$\beta = \nu / \mu$$



**Según dicha normativa, con dicho valor, la compacidad del edificio es capaz de soportar las posibles sacudidas de una onda sísmica.**

Otras acciones a tener cuenta son:

⇒ Acción del terreno. Es la producida por el empuje activo o el empuje pasivo del terreno sobre las partes del edificio en contacto con él. **Nuestro edificio estará construido sin edificaciones adyacentes de importancia, por lo tanto no es relevante.**

⇒ Sobrecarga de Nieve. (Artículo 3.5 de CTE-SE-AE) La distribución y la intensidad de la carga de nieve sobre un edificio, o en particular sobre una cubierta, depende del clima del lugar, del tipo de precipitación, del relieve del entorno, de la forma del edificio o de la cubierta, de los efectos del viento, y de los intercambios térmicos en los paramentos exteriores.

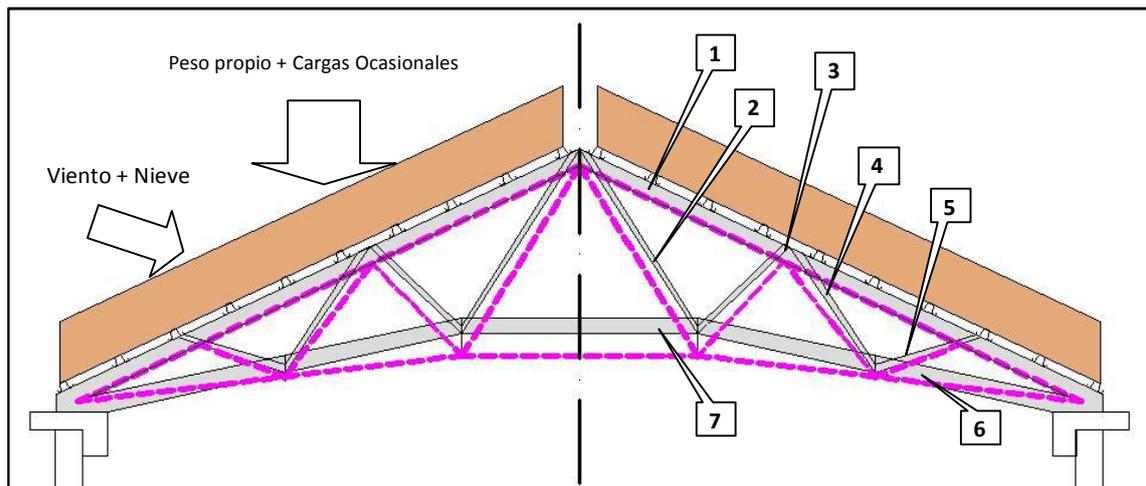
$$Q_n = \mu * S_k$$

$\mu$  es el coeficiente de forma de la cubierta según 3.5.3 de la CTE-SE-AE que es 1 por las condiciones de la geometría de la cubierta.

$S_k$  el valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal según 3.5.2 de la CTE-SE-AE, para un 0,2 de kN/m<sup>2</sup>.

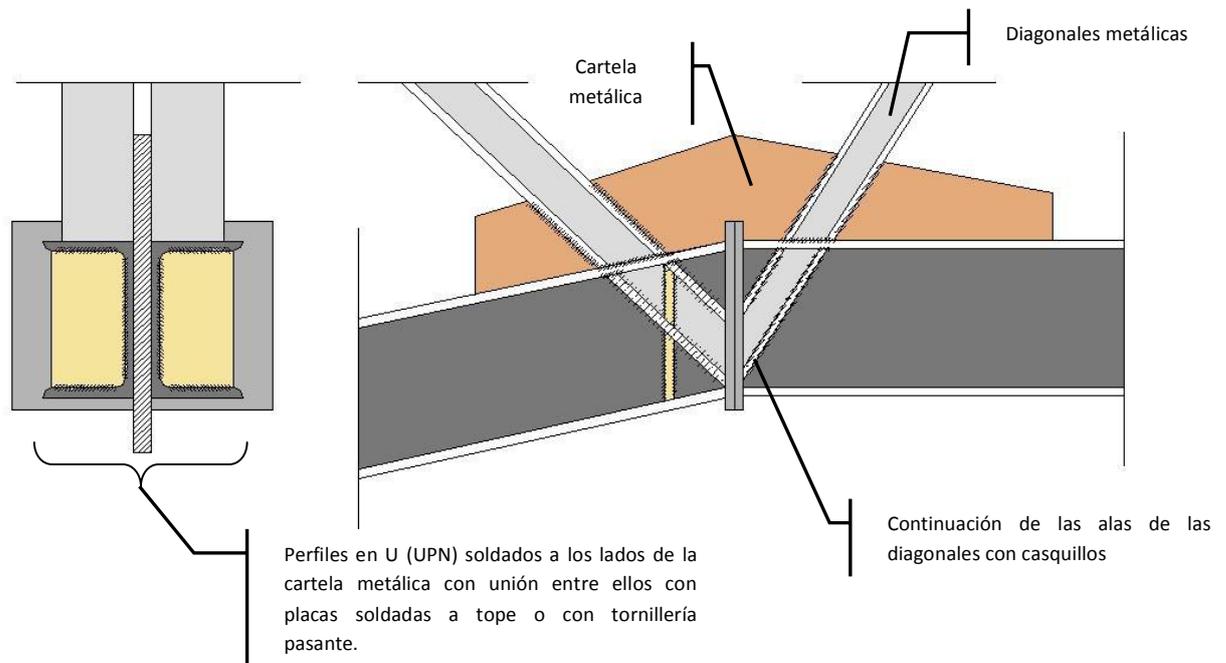
En Cartagena no es relevante, aunque se tomará en el cálculo de la estructura.

⇒ El Valor de la Sobrecarga de nieve es de 20 Kg/m<sup>2</sup>.



Suponiendo la carga total permanente (que en este caso será el peso de los propios perfiles, de la tornillería, de las cartelas además de las planchas de la cubierta con todo su acabado...) y la carga de viento y nieve, que según lo calculado antes tenemos un incremento de 70 kg/m<sup>2</sup> y con ello tenemos un peso de 1800 kg en una parte de la cercha (cómo es simétrica y en teoría en ambos lados tendremos los mismos valores, tomamos solo una mitad de la cercha para facilitar el estudio).

Como todas las piezas cumplen tal y como se ve en las tablas de cálculo de los apartados anteriores, podemos decir que nuestras hipótesis son ciertas y el cálculo, y por lo tanto nuestro diseño, son válidos.



Respecto a la construcción hay que indicar que una barra articulada requiere una unión en el extremo que permita una "completa" libertad de giro.

Las estructuras trianguladas reales se construyen de la forma más sencilla posible, lo que implica que generalmente los nudos distan de permitir giros en un valor determinado por el diseño de la pieza y con frecuencia son completamente rígidos.

Como condición de rigidez tenemos que en una estructura triangulada, las barras traccionadas se alargan y las comprimidas se acortan, dando lugar a un cambio de forma de la estructura.

No obstante los momentos de extremo que aparecen serán pequeños ya que sólo pueden existir en la medida en que el cambio de geometría debido a la deformación requiere la modificación de los ángulos relativos de las barras, y en la práctica se demuestra que el análisis de una viga triangulada con un modelo de nudos articulados conduce a un diseño suficientemente seguro para cualquier solución de nudo.

Mientras la resistencia resulta de un criterio objetivo (sirve para comprobar si la estructura se rompe o no se rompe) los criterios de rigidez son más fluidos y dependen no sólo de la estructura sino de otros factores tal como la compatibilidad de deformación de la estructura con sistemas estructurales, normalmente cerramientos o compartimentación.

El criterio más usual es el de la limitación de la flecha relativa.

$$\delta/L \leq k * 10^{-3}$$

siendo  $\delta$  el desplazamiento del punto medio (extremo en los voladizos) en la dirección de las fuerzas y  $L$  la luz entre apoyos (longitud total en los voladizos). Dicho criterio está reflejado en el cálculo de las piezas.



## CÁLCULO DE CORREAS

La inclinación de la cubierta será el 15% y el material son placas, tal como se ha comentado, siendo su misma distancia entre piezas que la misma es chapa galvanizada.

### Separación entre correas (sc)

Para calcular separación entre correas hay que tener en cuenta la máxima separación posible para chapa galvanizada que es de 0,7 m.

Condición geométrica de altura de la cercha (hc)

$$\alpha = 12.5^\circ$$

$$hc = \operatorname{tg} \alpha \cdot \text{luz}/2 = 0,46 \cdot 4,75 = 2.185 \text{ m.}$$

- ⇒ Longitud del faldón:  $\Rightarrow f = \text{luz}/2 / \cos \alpha = 4.75 / \cos 25^\circ = 5.25 \text{ m.}$
- ⇒ Número de vanos:  $5.25 / 0.7 = 7.5 \Rightarrow 7 \text{ vanos.}$
- ⇒ Número de correas:  $N^\circ \text{ de vanos} + 1 = 8 \text{ correas.}$
- ⇒ **Separación entre correas:**  $\Rightarrow sc = f / N^\circ \text{ de vanos} = 5.25 / 7 = 0.75 \text{ m}$

### 2.2.1.- Acción de la nieve

El valor de la sobrecarga de nieve sobre terreno horizontal, se obtiene de la tabla 3.7 del DB.SE.EA (anexo 3).

Cartagena (Murcia) altitud: 0 m (nivel del Mar)  $\Rightarrow 20 \text{ Kg/m}^2$ .

Como  $\alpha < 60^\circ \Rightarrow$  La carga de nieve será:  $P = 20 \cdot \cos 12.5^\circ = 21.15 \text{ Kg/m}^2$

### 2.2.2.- Acción del viento sobre la estructura y paredes

Cartagena (Murcia): Altura máxima de la nave **15,43 m**

\* Situación: **normal** // Zona eólica: **X** //  $\alpha = 12.5^\circ$

Los valores a tener en cuenta son:

- A. Viento en dirección transversal a la nave (presión dinámica)  $q = 45 \text{ Kg/m}^2$
- B. Viento en la dirección transversal de nave (succión)  $p = 2/3q = 30 \text{ Kg/m}^2$
- C. Viento en la dirección en dirección longitudinal.  $p = 1/3q = 14.85 \text{ Kg/m}^2$

Según lo especificado en el código técnico: Cuando el área de las aberturas de una fachada sea el doble de las aberturas en el resto de las fachadas del edificio, se tomará  $c_{pi} = 0,75c_{pe}$ ; si es el triple  $c_{pi} = 0,9 \cdot c_{pe}$  siendo  $c_{pe}$  el coeficiente eólico de presión exterior. En casos intermedios se interpolará linealmente. En otro caso se tomarán los valores de la tabla 3.6. del propio código.

Se ha de predominar el efecto de la presión exterior sobre la succión exterior, poniendo coeficientes de mayoración de 1,5 y de 1,7 sucesivamente.



Haciendo una interpolación de los valores obtenidos:

Hipótesis A →  $m = +26$   $n = 0$

Hipótesis B →  $m = -51$   $n = -77$

Por lo tanto la carga de viento será:  $m = 26 \text{ Kg/m}^2$

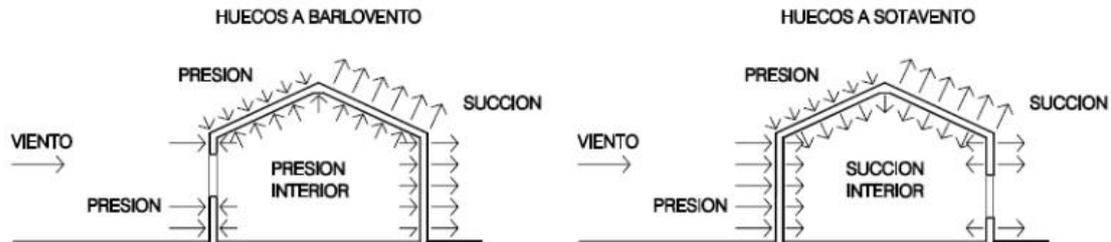
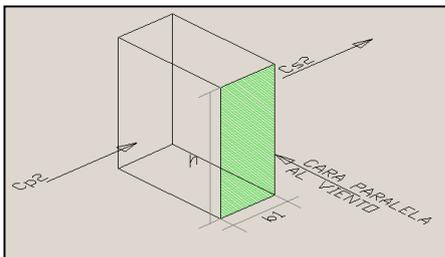


Diagrama de la C.T.E. SE-AE de las Presiones ejercidas por el viento en una construcción diáfana. El cálculo de las correas se realizará con el valor máximo en el faldón frontal y dorsal, que será el 5% de la zona total a cubrir.



Y tal y como se ve en el diagrama, tendremos presiones en la cara paralela al viento, donde tendremos una carga superficial ( $C_s$ ), que estará repartida sobre toda la superficie de la pared, y otra puntual ( $C_p$ ) que será tratada como una carga producida por un elemento mecánico.

Será necesario estudiar la esbeltez de la estructura, conocidos los parámetros de altura y anchura (12.5 m y 49.5 m):

Parámetros	Valores
Zona eólica de la construcción	B (Región de Murcia, Cartagena)
Presión dinámica	0.46 KN/m <sup>2</sup>
Velocidad básica del viento	27 m/s
Altura del edificio	12.5 m

Esbeltez	$C_p$	$C_s$
0,25	0,7	-0,3
0,5	0,7	-0,4
0,75	0,8	-0,4
1	0,8	-0,5
1,25	0,8	-0,6
5	0,8	-0,7

**Calculo de la esbeltez:**  
 La esbeltez mecánica es una característica mecánica de las barras estructurales que relaciona la rigidez de la sección transversal con su longitud total.  
 Se caracteriza por un parámetro **adimensional** que interviene en el cálculo de las tensiones y predice las inestabilidades elásticas de las barras.

Altura del edificio h (m)	12,50
Ancho del edificio b1 (m)	54,00
<b>Esbeltez</b>	<b>0,23</b>

Los coeficientes de esbeltez de las caras del edificio podremos indicar que sí, **que nuestra estructura soporta los valores de carga eólica, ya que la esbeltez es menor a la unidad.**



Este valor general está aceptado según las condiciones de la normativa específica antes citada, de tal manera que el edificio está dentro de los parámetros de seguridad.

Se puede añadir, que generalmente, y en muchas construcciones, los pilares de la planta baja poseen mayor longitud por tener más altura estos locales que en dicha planta habitan, en nuestro caso todo es planta baja, lo que buscamos con la altura es que haya un volumen mayor en el interior de la nave.

Por esta razón, los pilares poseen un mayor riesgo de pandeo, tengamos en cuenta que son los más cargados a compresión y por tanto su esbeltez los vuelve más susceptibles a pandear.

Los pilares trabajan normalmente a la compresión, en el caso de pilares de acero, su resistencia a este esfuerzo es elevada, por ello se determinan secciones más pequeñas que en el caso de hormigón.

En edificios de altura, de grandes luces y cargas importantes, es determinante el riesgo de pandeo. Por lo general los pilares metálicos son muy esbeltos, pero sus secciones resistentes han de ser superiores a las requeridas por el esfuerzo axial a que está sometida.

Estas secciones se determinan por su esbeltez y condiciones de enlace.

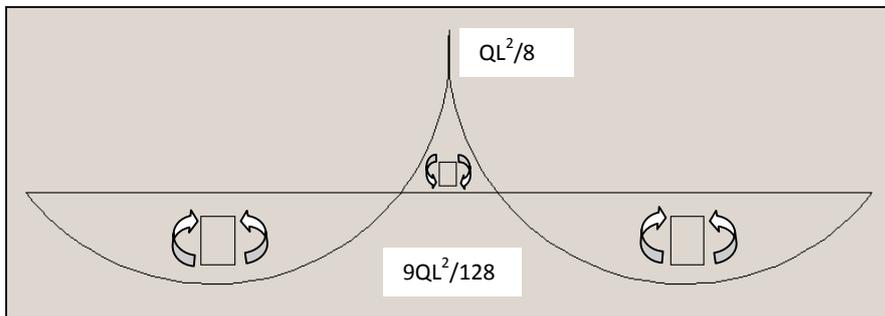
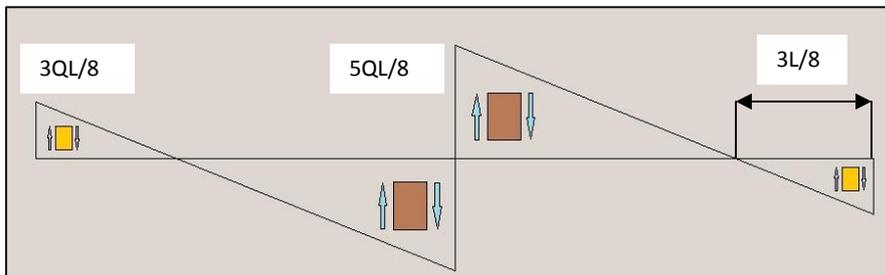
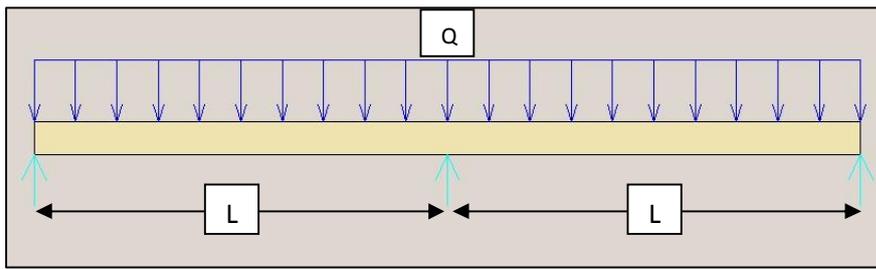
Resulta de gran importancia en la ejecución de los nudos entre jácena y pilar, el riguroso control, pues una mínima variación de la condición de enlace, si es de menor hiperestaticismo al calculado, se modificará peligrosamente por pandeo con el riesgo consecuente de la barra comprimida.

Aunque no sucede esto ni en los pilares, ni en las jácenas de rigidización, ni en las piezas de la cercha. En el siguiente paso calcularemos en qué condiciones han de diseñarse las correas para que no tengan pandeo.

### CARGAS VERTICALES

	Kp / m <sup>2</sup>	Sc (m)	Kp / m
Peso de la correa (IPN120)	-	-	11,20
Peso propio de la cubierta	10	1,31	13,10
Peso accesorios	2	1,31	2,62
Carga de nieve		$77,61 \times 1,24 \cos \alpha$	96,23
TOTAL			122,79

Respecto a la sobrecarga de uso, respecto a lo que indica la tabla 3.1 del DB SE-AE (anexo 4) se considera una carga de mantenimiento de 0.4 kN/m<sup>2</sup> repartida uniformemente sobre la superficie horizontal. Consideraremos las correas como vigas de tres apoyos, es decir que tienen una longitud de 9 m que es el doble de la distancia entre 2 cerchas. Cargamos la correa con una carga distribuida (Q) que será la debida al viento, nieve y sobrecarga de uso. Una vez calculados los diagramas de esfuerzos, combinaremos los efectos debidos a las cargas de las diferentes acciones para así obtener la combinación más desfavorable y dimensionar el perfil.



Según las graficas de momentos y cortantes sección más desfavorable será la central, donde los valores son:

$$M = QL^2/8 \quad V = 5QL/8$$

Calculamos los efectos que producen las diferentes acciones sobre la sección central de la correa. Para ello, obtendremos la carga lineal "Q", multiplicando la carga superficial calculada para cada una de las acciones por la separación entre correas (aprox. 0.65 metros). Una vez obtenida la carga lineal, calcularemos el momento y el cortante sustituyendo los valores en las expresiones anteriores.

Para el viento  $V_2$  se adoptará como valor de la carga superficial una media ponderada de los valores de las cargas de viento de las zonas F y H, ya que el error es mínimo y simplifica el cálculo. Despreciamos el peso propio de la correa (ya que será aproximadamente de 1.2 kg/m) y si el cálculo es muy ajustado, recalcularemos el perfil teniéndolo en cuenta.

	$Q_{sup}(kN/m^2)$	$Q (kN/m)$	$M (kN/m)$	$V(kN)$
<i>Peso de la cubierta</i>	0.07	0.12	0.375	0.375
<i>Peso nieve</i>	0.6	1	3.125	3.125
<i>Viento en dirección 1</i>	-0.8	-1.32	-4.125	-4.125
<i>Viento en dirección 2</i>	0.157	0.26	0.82	0.82
<i>Viento en dirección 3</i>	-0.605	-1	-3.125	-3.125
<i>Sección de uso</i>	0.4	0.66	2.07	2.07
	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>



Según los datos del fabricante, los valores de la sección son suficientes para poder aguantar la carga especificada, incluso en condiciones de combinación de las mismas.

Ahora pasamos a definir la cubierta en sí.

Para una **plancha de tipo sándwich**, tenemos los siguientes valores:

El Panel Sándwich de tapajuntas está formado por dos chapas de acero con tres grecas conformadas y un perfilado en la zona baja, confiriéndole una resistencia mecánica para ser auto portante y seguro con correas o puntos de apoyo a 1,75 ó 2 metros, o incluso a más distancia. Además el panel tiene en su interior poliuretano inyectado con una densidad de 40 Kg/m<sup>3</sup> y un espesor mínimo de 30 mm, proporcionando el aislamiento térmico y acústico que es característico de estos paneles.

Este tipo de panel está recomendado para cubiertas con una inclinación mínima del 5%, tal y como es el caso que nos atañe, y como estándar por su resultado estético y de seguridad con el extra contra filtraciones y humedades.

<i>Espesor del panel</i>	<i>Peso del panel</i>	<i>Transmitancia térmica (U)</i>	<i>Distancia entre apoyos en cm</i>
80 mm	11.30 Kg / m <sup>2</sup>	0.26 Watt / m <sup>2</sup> °C	250 mm

*Sobrecargas admisibles, uniformemente distribuidas en kg/m<sup>2</sup> (Ratio de conversión 1kg/m<sup>2</sup> = 0,00981 kN/m<sup>2</sup>). Las piezas se han desarrollado con deformación: Flecha f=1/200l. Coeficiente de seguridad: 2.5*

Los paneles se fijan a la estructura mediante elementos mecánicos como tornillos, clips, pletinas, etc. Otra de las características específicas de estos sistemas constructivos es la existencia de juntas perimetrales que permiten a cada panel unirse con el resto de paneles vecinos, manteniendo las propiedades del conjunto (aislamiento térmico, estanqueidad, etc.).

El diseño de las juntas es muy diverso según los diferentes fabricantes y usos para los que se va a destinar el panel. Así, por ejemplo, las juntas de cubierta intentan conseguir estanqueidad y protección, mientras que en las salas blancas además interesa la facilidad de limpieza e higiene.

Como características propias de los paneles sándwich se pueden citar las siguientes:

- Ligereza frente a otros sistemas, tales como teja, chapas de onduline etc...
- Modularidad e Instalación estandarizada.
- Prefabricación.
- Capacidad mecánica mejorada, principalmente rigidez, de tal manera que no se produce ningún tipo de alabeos en el caso de cargas pronunciadas en un punto del panel.
- Mejora de las características mecánicas a partir del refuerzo de las caras exteriores de la pieza con chapa metálica, siendo las más comunes son las de acero galvanizado, aunque también se pueden encontrar de otros materiales como el acero inoxidable, el aluminio e



incluso el cobre. Los espesores varían según el fabricante, siendo frecuente encontrar grosores de 0,5 y 0,6 mm, en chapas lisas, nervadas en mayor o menor medida o micro-perfiladas. *En nuestro caso son chapas metálicas grecadas de acero galvanizado de 0.6 mm.*

■ Flexibilidad de uso, provocando la incorporación en un único producto de productos con funciones diversas.

■ Gran Resistencia al fuego

Ahora, una vez conocidas las características del producto de cubierta, podremos seguir calculando las piezas de cubierta.

Tal y como se ve en los esfuerzos sometidos a las piezas de cubierta, los axiles son relativamente pequeños ya que irán distribuidos sobre toda la superficie de la fachada provocando un movimiento compartido de toda la cercha junto con las vigas laterales de sujeción/apoyo.

El valor aproximado de ese axil será el del reparto de la carga de viento teórica por la superficie de la fachada:

$$A = \frac{b \cdot h}{2} = \frac{3.890 \cdot 6.680}{2} = 13 \text{ m}^2 \rightarrow Q = \frac{14.85 \text{ kg/m}^2}{13 \text{ m}^2} = 1.15 \text{ Kg} \rightarrow \mathbf{11.27 \text{ N} < 141.3 \text{ N}}$$

Según el prontuario de perfiles que de la asignatura de cálculo de estructuras metálicas la resistencia de un perfil de la geometría específica (120 x 80 x 3 mm) es de 141.3 N, muy superior a lo que la pieza será sometida.

Y tal como se ve en los cálculos todas las piezas que hay para verificar si cumplen, por tanto las piezas de la cercha cumplen con las especificaciones de calidad y seguridad del *Código Técnico de la Edificación*.



### ESTUDIO DE LA SOLDADURA

La mayor parte de procesos de soldadura se pueden separar en dos categorías:

**soldadura por presión**, que se realiza sin la aportación de otro material mediante la aplicación de la presión suficiente y normalmente ayudada con calor, y **soldadura por fusión**, realizada mediante la aplicación de calor a las superficies, que se funden en la zona de contacto, con o sin aportación de otro metal.

En cuanto a la utilización de metal de aportación se distingue entre soldadura ordinaria y soldadura autógena. Esta última se realiza sin añadir ningún material. La soldadura ordinaria o de aleación se lleva a cabo añadiendo un metal de aportación que se funde y adhiere a las piezas base, por lo que realmente estas no participan por fusionen la soldadura. Se distingue también entre soldadura blanda y soldadura dura, según sea la temperatura de fusión del metal de aportación empleado; la soldadura blanda utiliza metales de aportación cuyo punto de fusión es inferior a los 450 °C, y la dura metales con temperaturas superiores.

El tipo de soldadura más adecuado para unir dos piezas de metal depende de las propiedades físicas de los metales, de la utilización a la que está destinada la pieza y de las instalaciones disponibles. Los procesos de soldadura se clasifican según las fuentes de presión y calor utilizadas.

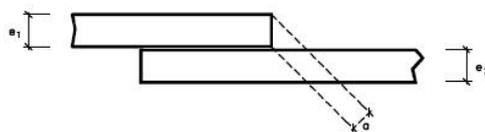
Genéricamente existen 2 posiciones estándar, que por supuesto están patentes en nuestro proyecto:

### SOLDADURAS A TOPE

- Deben ser continuas en toda la longitud y de penetración completa.
- Debe sanearse la raíz antes de depositar el primer cordón de la cara posterior y el cordón de cierre.
- Cuando no sea posible el acceso por la cara posterior debe conseguirse penetración completa.
- Cuando se unan piezas de distinta sección debe adelgazarse la mayor con pendientes inferiores al 25%.

### SOLDADURAS EN ANGULO

La garganta de una soldadura en ángulo que une dos perfiles de espesores  $e_1 \leq e_2$ , no debe sobrepasar el valor máximo de la garganta en función del espesor de la pieza, que corresponde al valor  $e_1$  y no debe ser menor que el mínimo correspondiente al espesor  $e_2$ , y siempre que este valor mínimo no sea mayor que el valor máximo para  $e_1$ .



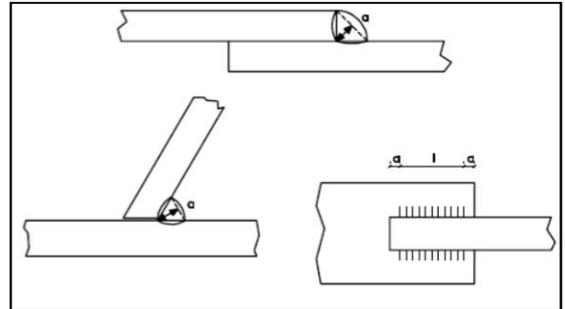


$$L_{eficaz} = L_{geométrica} - 2 * a$$

Las dimensiones fundamentales que sirven para determinar un cordón de soldadura son la garganta y la longitud.

La garganta (a) es la altura del máximo triángulo isósceles cuyos lados iguales están contenidos en las caras de las dos piezas a unir y es inscribible en la sección transversal de la soldadura.

Se llama longitud eficaz (l) a la longitud real de la soldadura menos los cráteres extremos y se admite que la longitud de cada cráter es igual a la garganta, ya que no afecta a la calidad.



#### RECOMENDACIONES PARA LA EJECUCION DE CORDONES.

Durante el soldeo proporcionamos calor que se propaga a lo largo y ancho de las piezas, produciéndose:

- a) Un enfriamiento más o menos rápido de las partes de las piezas en las que la temperatura ha superado la del punto crítico del acero.
- b) Contracciones de las zonas calentadas al enfriarse posteriormente, donde la velocidad de enfriamiento de la pieza tiene un efecto importante sobre la modificación de la estructura cristalina del metal, lo cual se traduce en una modificación de sus características mecánicas y, en especial, en un aumento de su fragilidad.

Las contracciones, si operasen sobre piezas con libertad de movimiento, sólo proporcionarían deformaciones, pero como las piezas tendrán ligaduras, nos aparecerán, además, tensiones internas, que serán mayores a medida que la producción de calor sea mayor o, lo que es equivalente, a medida que las piezas sean más gruesas.

Las deformaciones que nos aparecen pueden dividirse en deformaciones lineales y deformaciones angulares.

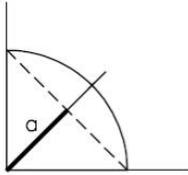
#### **CALCULO DE LOS CORDONES DE SOLDADURA**

Cómo ya se ha definido antes las soldaduras tipo son a **TOPE** y en **ANGULO**, y el cálculo de los cordones son:

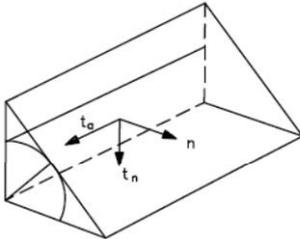
##### · Soldaduras a tope

Según la norma NBE EA-95 especifica que las soldaduras a tope realizadas correctamente no requieren cálculo alguno, ya que normalmente son simplemente una forma de dar continuidad a piezas sin responsabilidad de carga, en caso de ser necesario se tomará el cálculo de soldadura en ángulo con sollicitación a tracción.

· Soldaduras en ángulo

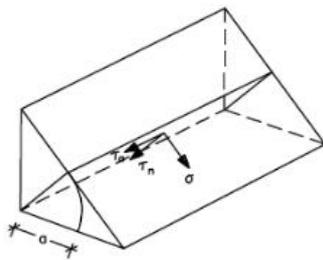


Se asimila el cordón de soldadura a un triángulo isósceles tal y como se ve en la figura, tomándose como sección de cálculo la definida por la altura 'a' del triángulo isósceles, por ser la sección menor.



También se acepta que las tensiones son constantes a lo largo del plano definido por la altura 'a' y cuya superficie es a \* l, siendo 'l' la longitud del cordón de soldadura, y tal como se ve en la figura anexa tenemos tensiones en 3 dimensiones, donde

sobre este plano las componentes de las tensiones serán, una tensión normal  $\sigma$  y dos componentes sobre el plano de referencia, que llamamos  $\tau_a$  y  $\tau_n$ .



Con una base experimental, la anterior norma NBE EA-95 y el vigente Código Técnico de la Edificación definen como condición de seguridad de una soldadura de ángulo la que la tensión de comparación obtenida de las acciones ponderadas sea inferior a la resistencia de cálculo del acero.

$$\sigma_c^* = \sqrt{(\tau_n^2 + \tau_a^2) * 1.8 + \sigma^2} \leq \sigma_y$$

Siendo la resistencia de cálculo del acero  $\sigma_u$

$$\sigma_u = \frac{\sigma_e}{\gamma}$$

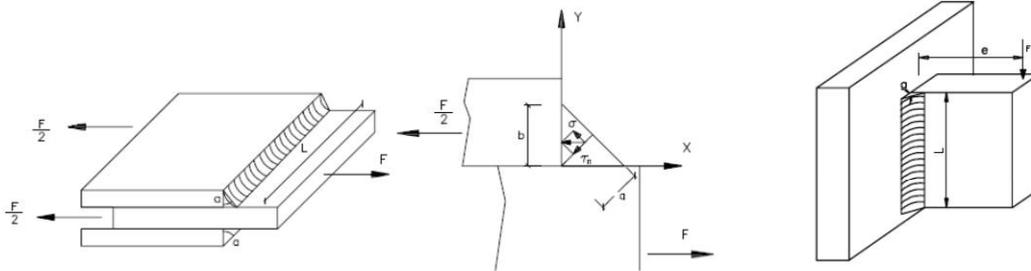
Donde  $\gamma$  puede valer 1 en aceros garantizados y 1.1 aceros no garantizados laminados en frío, en nuestro caso vamos a dar una mayor seguridad dando un valor de 1.17. Aunque la tensión de comparación está referida al plano de garganta de la soldadura, en general resulta más sencillo para el cálculo abatir la sección de garganta sobre una de las caras del cordón, donde la relación entre las tensiones unitarias es la siguiente:

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{2}} * (n + t_n) ; \tau_n = \frac{1}{\sqrt{2}} * (n - t_n) ; \tau_a = t_a$$



## SOLICITACIONES A TRACCION

### A.- UNION CON SOLO CORDONES FRONTALES.



La sección de garganta se considera abatida sobre el plano de uno cualquiera de los lados del cordón, donde en este plano abatido:

$$n = \frac{F}{2 * l * a} ; t_n = 0 ; t_a = 0$$

Las relaciones entre las tensiones del plano abatido y el de la garganta son:

$$\sigma = n * \cos(45) = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{F}{2 * l * a} ; \tau_n = n * \sin(45) = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{F}{2 * l * a} ; t_a = \tau_a = 0$$

$$\text{donde } \frac{F}{2 * l * a} \leq \sigma_u$$

→ *Este tipo de soldadura no la podremos encontrar en este proyecto.*

### B.- UNION CON SOLO CORDONES LATERALES.

La sección de garganta se considerará abatida sobre el plano de la superficie de contacto entre las dos piezas. Las dos secciones quedarán así contenidas en el mismo plano y sometidas a la tensión  $\tau_a$ . Esta tensión puede considerarse como uniforme a lo largo del cordón, siempre que la longitud de ésta no exceda de cincuenta veces el espesor de garganta, ni de doce veces el ancho del perfil unido.

$$n = 0 ; \tau_n = 0 ; t_a = \frac{F}{2 * l * a} = \tau_a \rightarrow \sigma_c = 1.34 * \frac{F}{2 * l * a} \leq \sigma_u$$

→ Este tipo de soldadura la podremos encontrar en las **soldaduras de las cartelas y de las piezas auxiliares**, donde dicha soldadura estará realizada por cordones laterales. Dichas piezas estarán sometidas prácticamente a una tensión de montaje que podemos asumir de un valor aproximado de 25 kg por metro lineal. Lo que supone una carga por centímetro de 0.25 kg (valor de F), y tomando un valor medio de 35 cm, podemos decir que:

$$\tau_a = \frac{0.25}{2 * 0.035 * 1} = 3.57 \text{ kg / cm} < \sigma_u (4.5 \text{ kg/cm}) \rightarrow \text{Cumple la condición, soldadura de 1 cm de lados del triángulo.}$$



## SOLICITACIONES A FLEXION

### A.- UNION CON SOLO CORDONES FRONTALES LONGITUDINALES

La tensión máxima producida por el momento flector puede calcularse abatiendo la sección de garganta sobre el plano del lado del cordón paralelo al eje de momento:

$$n = \frac{M}{W} = \frac{F}{2} * e * \frac{6}{a * L^2} ; t_n = 0 \rightarrow \sigma = \frac{1}{\sqrt{2}} * n = \tau_n = \frac{3}{\sqrt{2}} * \frac{F * e}{a * L^2}$$

La tensión tangencial originada por el esfuerzo cortante puede suponerse uniforme:

$$t_a = \tau_a = \frac{F}{2 * L * a}$$

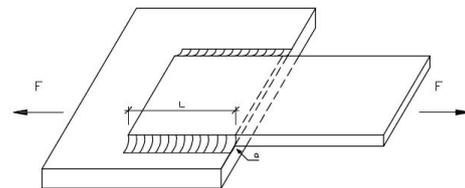
Combinando las tensiones obtenidas se obtendrá:

$$\sigma_c = \sqrt{(\tau_n^2 + \tau_a^2) * 1.8 + \sigma^2} \leq \sigma_y$$

Si  $e \gg L$ , es decir, si el momento flector es grande comparado con el esfuerzo cortante, puede utilizarse la fórmula simplificada:

$$\sigma_c = 3.55 * \frac{F * e}{a * L^2} \leq \sigma_u$$

→ Este tipo de soldadura la podremos encontrar en **las soldaduras de las cartelas y de las piezas auxiliares así como de las vigas soldadas a los pilares**, donde dicha soldadura estará realizada parcialmente por cordones frontales longitudinales. Dichas piezas estarán sometidas prácticamente a una tensión de montaje que podemos asumir de un valor aproximado de 25 kg por metro lineal.



Las piezas estarán sometidas al peso de las piezas de cerramiento, al empuje del viento y las piezas superiores de además de la carga de la cubierta.

Lo que supone una carga por centímetro es de 15.8 kg (valor de F), y tomando un valor medio de 35 cm, podemos decir que:

$$n = \frac{16}{2} * 0.3 * \frac{6}{5 * 160^2} = 1,05 ; t_n = 0 \rightarrow \sigma = \frac{1}{\sqrt{2}} * n = 1.41 = \tau_n$$

$$\sigma_c = \sqrt{(\tau_n^2 + \tau_a^2) * 1.8 + \sigma^2} \leq \sigma_y \rightarrow \sqrt{3.6 * 1.41^2 + 1.05^2} = 2.87$$



$$\sigma_c = 3.55 * \frac{F * e}{a * L^2} \leq \sigma_u \rightarrow \sigma_c = 3.55 * \frac{16 * 0.03}{0.005 * 0.16^2} = 1.36 < \sigma_u$$

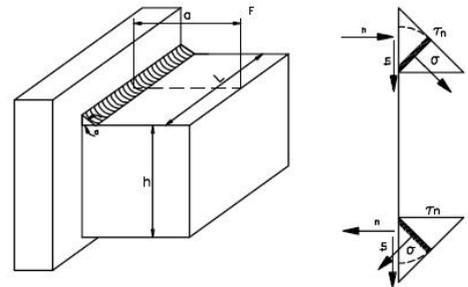
→ Por tanto, cómo este tipo de soldadura encontraremos en **las soldaduras de las cartelas y de las piezas auxiliares así como de las vigas soldadas a los pilares**, y se cumplen los valores de las piezas podemos decir que con 2 cm en los lados del triangulo es suficiente.

**B.- UNION CON SOLO CORDONES FRONTALES TRANSVERSALES**

Considerando primero sólo el momento flector, la tensión máxima puede calcularse abatiendo la sección de garganta sobre el plano de unión de las piezas.

$$n = \frac{F * e}{W}$$

En la mayor parte de los casos prácticos, 'h' será grande con respecto a 'a', y se puede tomar:



$$W = \frac{I}{h} = \frac{a * L * h^2}{h} = a * L * h; n = \frac{F * e}{a * L * h}; t_n = \frac{F}{2 * L * a}; t_a = 0$$

$$\sigma_n = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{F}{a * L * h} * \left( e + \frac{h}{2} \right); \tau_n = \frac{1}{\sqrt{2}} * \frac{F}{a * L * h} * \left( e - \frac{h}{2} \right); \tau_a = 0$$

$$\sigma_c = \sqrt{(\tau_n^2 + \tau_a^2) * 1.8 + \sigma^2} \leq \sigma_y$$

Conocida dicha relación podemos hacer una tabla con las solicitaciones principales de la estructura de tal manera que se pueda calcular el valor del cordón de soldadura:

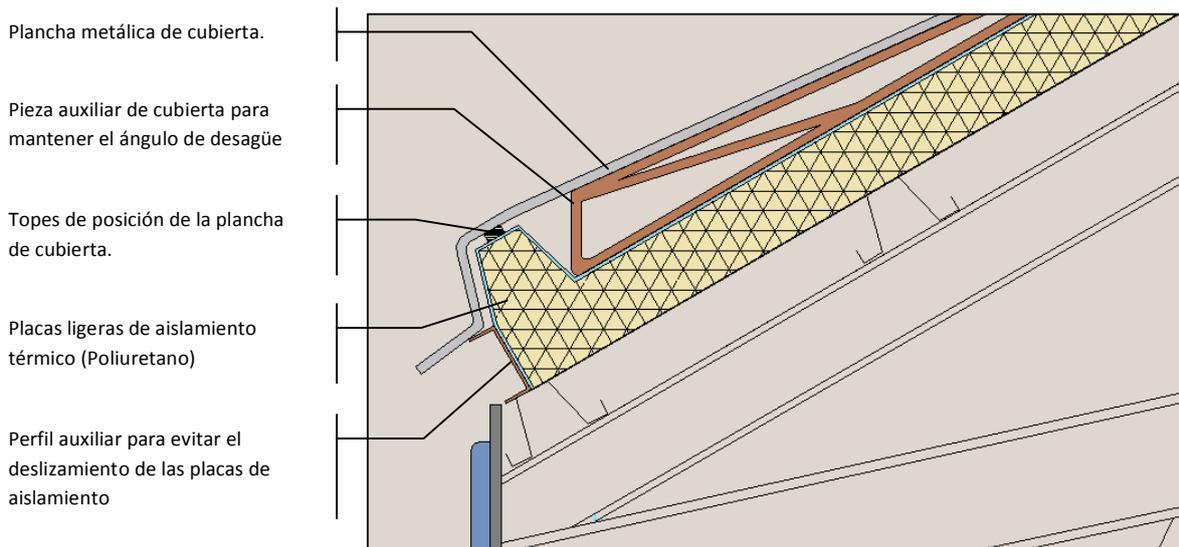
	Perfil	Tipo Soldadura	Tipo construcción	a
<b>Unión tipo 1</b>	Perfil UPN	Soldadura a tope a 45º	Cruces de San Andrés (Peg)	27.5 mm
<b>Unión tipo 2</b>	Perfil UPN	Soldadura a tope a 35º	Cercha Piezas 2, 3, 4 y 5	29.5 mm
<b>Unión tipo 3</b>	Perfil UPN	Soldadura a tope a 15º	Cercha Piezas 1 y 6	35.8 mm
<b>Unión tipo 4</b>	-	-	-	-
<b>Unión tipo 5</b>	-	-	-	-



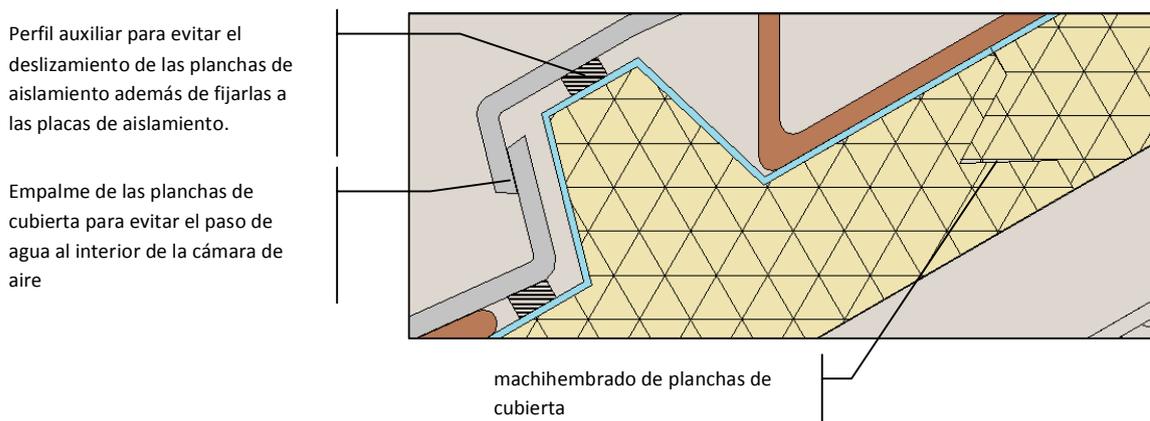
### III. Cubierta y cerramiento:

La cubierta es inclinada a dos aguas y está formada por chapas metálicas con placas ligeras de aislamiento térmico bajo estas, que apoyan directamente sobre las correas, las cuales a su vez se apoyan en las cerchas o dinteles de los pórticos.

Tal y como se puede ver en la imagen, habrá una serie de piezas auxiliares bajo las chapas de tal manera que se mantenga un determinado ángulo para la evacuación de lluvia. De otro modo con los nervios de las piezas de aislamiento el agua se estancaría en la cubierta provocando un sobrepeso importante en el caso de una lluvia cuantiosa, como es frecuente en el litoral mediterráneo español.



El Poliuretano es uno de los materiales más aislantes y puede conseguir niveles muy altos de prestaciones térmicas con un espesor mínimo. De hecho, con valores de conductividad térmica que empiezan desde  $0,022 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ , se pueden conseguir prestaciones de aislamiento equivalentes con mucho menos espesor que con otros materiales aislantes habitualmente utilizados. Los productos aislantes de se pueden utilizar sobre el faldón, entre las correas o debajo de éstas. La instalación de Poliuretano sobre el faldón tiene muchas ventajas, entre ellas se encuentra el aislamiento sobre las correas reduce los puentes térmicos y, en caso de usar además una membrana, proporciona estanqueidad total al aire, además de por supuesto ser completamente estancos de agua.



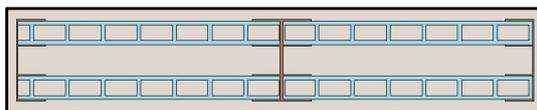
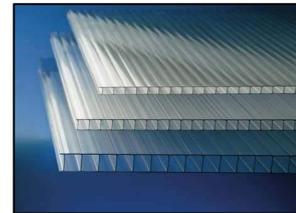


Tal y como se puede ver las placas de aislamiento tienen un machihembrado para su unión y entre las planchas y las placas hay una cámara de aire soportada por piezas auxiliares con una doble función: Aireación de la cubierta y así reducir el impacto de la temperatura en el interior de la nave y la segunda función es mantener un determinado ángulo para la evacuación de lluvia.

Dichas piezas serán de polietileno compactado (plástico con alta resistencia a la temperatura), e irán ancladas a las placas de aislamiento, y a su vez las planchas metálicas irán unidas mediante tornillería especial a las estas piezas especiales.

Para mejorar la entrada de luz, en la cubierta habrá también un par de hiladas de planchas transparentes/translucidas, de tal manera que se pueda reducir el consumo eléctrico para iluminar la nave por dentro.

Son **placas dobles de Policarbonato** son ampliamente utilizadas en la construcción y la edificación de gran variedad de estructuras con aplicación práctica para techos, construcción invernaderos, protección en cierres de terraza y cobertizos, aislamiento y gran variedad de revestimientos.



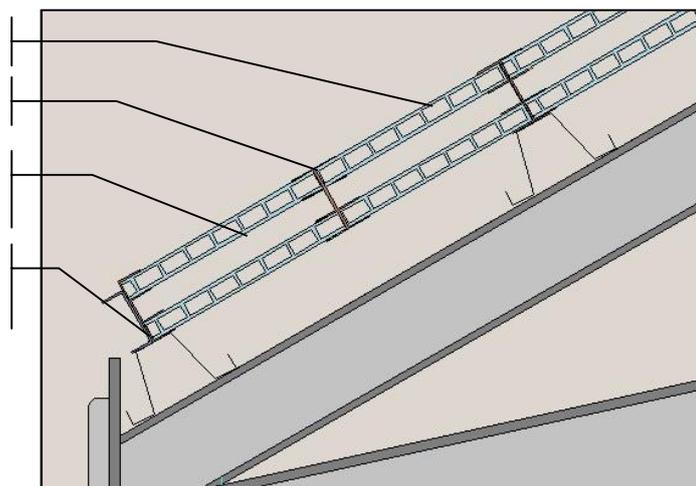
El policarbonato es un polímero, un material aislante traslúcido o transparente, muy maleable en frío y muy resistente a los impactos y, sin embargo, muy ligero, lo que lo hace perfecto para su transporte. Además el policarbonato aguanta en perfectas condiciones el paso del tiempo a lo largo de los años (más de diez años), ya que resiste muy bien la erosión natural y la que provocan los rayos ultravioletas. Otras de las características más interesantes de este material y que hacen que el mismo sea muy utilizado en la construcción son su transparencia, como ya hemos dicho, derivada de las propiedades ópticas del vidrio, es decir, que las placas de policarbonato aprovechan muy bien la luz natural del sol, reduciendo el gasto de energía y luz artificial, y su comportamiento ante el fuego, ya que el policarbonato no es ignífugo, aguanta bien las temperaturas extremas y tiene propiedades termo-aislantes. Asimismo, también es un material muy útil a la hora de aislar ruidos ya sean del interior como del exterior.

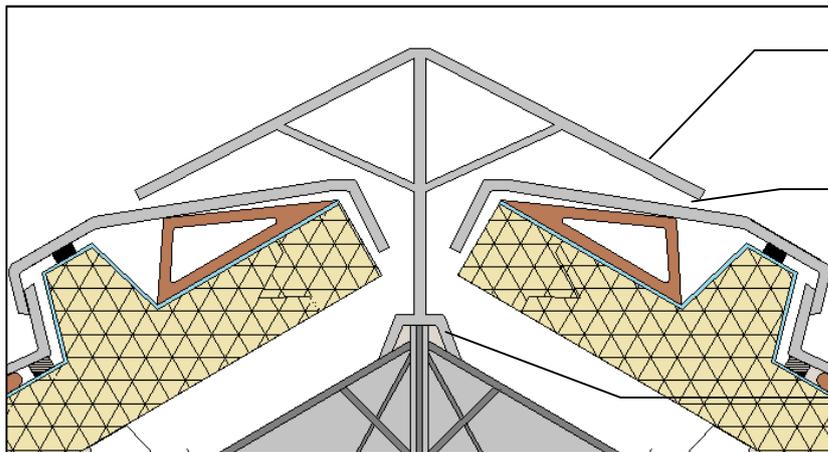
Placas dobles de Policarbonato traslucido.

Piezas auxiliares de unión de las placas.

Cámara de aire entre las placas de Policarbonato

Punto de unión de las planchas con las correas de cubierta.

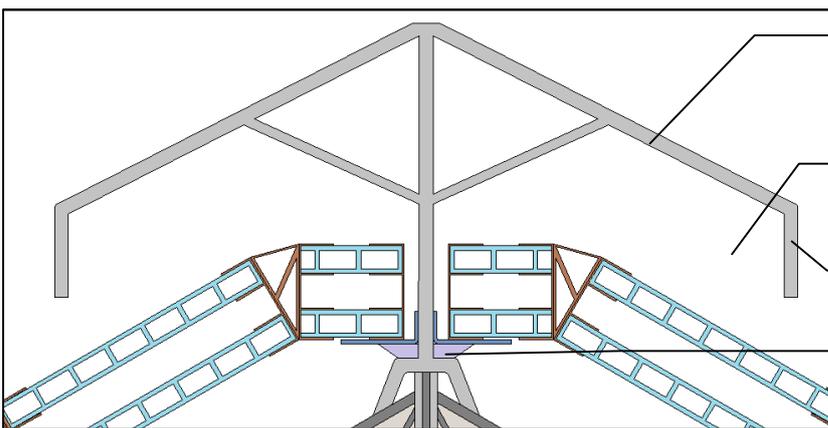




Cumbrera de cubierta, formada por chapas soldadas con un refuerzo inferior .

Zona libre de cumbrera para ventilación de la cubierta.

Pieza especial de unión cumbrera - cercha



Cumbrera de cubierta, formada por chapas soldadas con un refuerzo inferior .

Zona libre de cumbrera para ventilación de la cubierta.

Suplemento lateral de cumbrera.

Pieza especial de unión cumbrera - cercha + piezas auxiliares de apoyo

Las piezas de cumbrera son piezas prefabricadas, no estándar, realizadas con chapas de acero soldadas (y posteriormente galvanizadas/cincadas como protección contra el óxido). Al tener unas alas tan amplias, será necesario usar piezas auxiliares de refuerzo y un apoyo/unión con la estructura bastante rígido, para evitar que la presión negativa del viento pueda romper la unión con la estructura.

En el caso de la cubierta de placas ligeras de aislamiento térmico (Poliuretano), la pieza de cumbrera deberá solaparse en superficie con la cubierta para que cuando haya lluvia, el agua no entre en la zona interna de la cubierta y por tanto en el interior del edificio.

Y en el caso de placas dobles de policarbonato la pieza de cumbrera deberá solaparse en superficie con la cubierta para que cuando haya lluvia pero además, como la configuración de las placas son un poco más baja que las otras, la posibilidad de que entre agua al interior es mayor. Por esa razón se colocarán dos suplementos, uno a cada lado de la cumbrera, para que la posible superficie de entrada de agua se reduzca.

*¿Por qué usar este tipo de cubierta?*

Toda energía natural es gratis y no es necesario reutilizarla, son energías limpias y hasta dentro de millones de años no se agotarán. Nuestro objetivo como formas de vida dependientes del entorno es saber aprovecharlo lo mejor posible, y con ese fin se ha ideado esta solución para tener energía solar la mayor cantidad de horas al día.



El sistema está formado por una serie de **placas dobles de policarbonato transparente en el tejado**, dicho grupo de planchas estará repartido a lo en 2 grandes grupos en la cubierta y gracias a estos materiales de alta calidad, la luz **puede transportarse sin reducir su intensidad**, hasta 12 metros.

#### **Ventajas**

- ✓ Aprovechamiento de la luz solar.
- ✓ Energía gratuita.
- ✓ Bajo coste de la instalación.
- ✓ Bajo coste de mantenimiento.

#### **Inconvenientes**

- ❖ Pérdidas de energía calorífica en invierno.
- ❖ Aportaciones excesivas de energía calorífica en verano.
- ❖ Necesidad de buena estanqueidad para evitar filtraciones de agua.



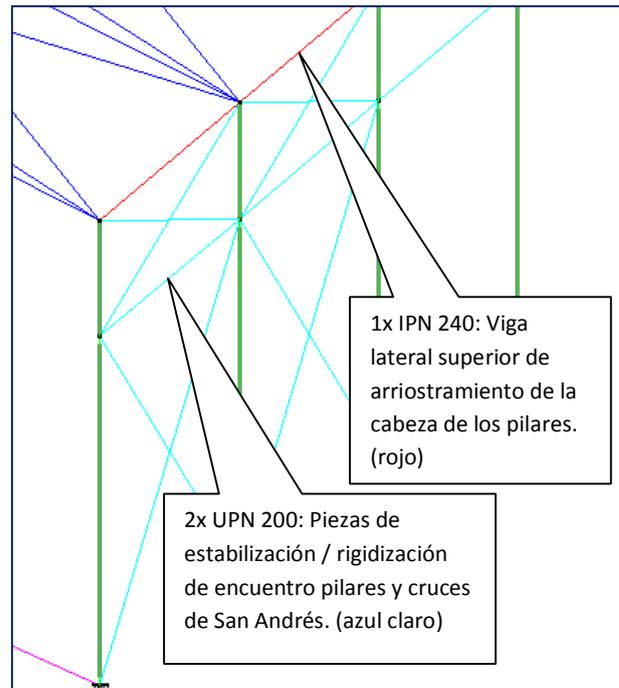
Ahora vamos a estudiar los cerramientos laterales.

Los pilares y las vigas de la estructural han de garantizar la estabilidad longitudinal de la nave, las luces de pandeo de los dinteles, se colocan arriostramientos entre las cerchas que conforman junto con las correas, vigas de celosía en las cubiertas.

En las zonas laterales de la estructura se han colocado vigas de rigidización, tanto en la cabeza de los pilares (unión con la viga en celosía) como en la unión de los pilares con las cruces de San Andrés.

Dichas vigas han de ser comprobadas bajo las diversas condiciones:

- I. Comprobación a Flexión.
- II. Comprobación a esfuerzo cortante.
- III. Comprobación combinada de I y II.



La flexión será provocada sobre las vigas cuando las piezas de la fachada puedan ejercer una carga de tipo puntual, cuyo efecto sería una torsión y una flexión combinadas.

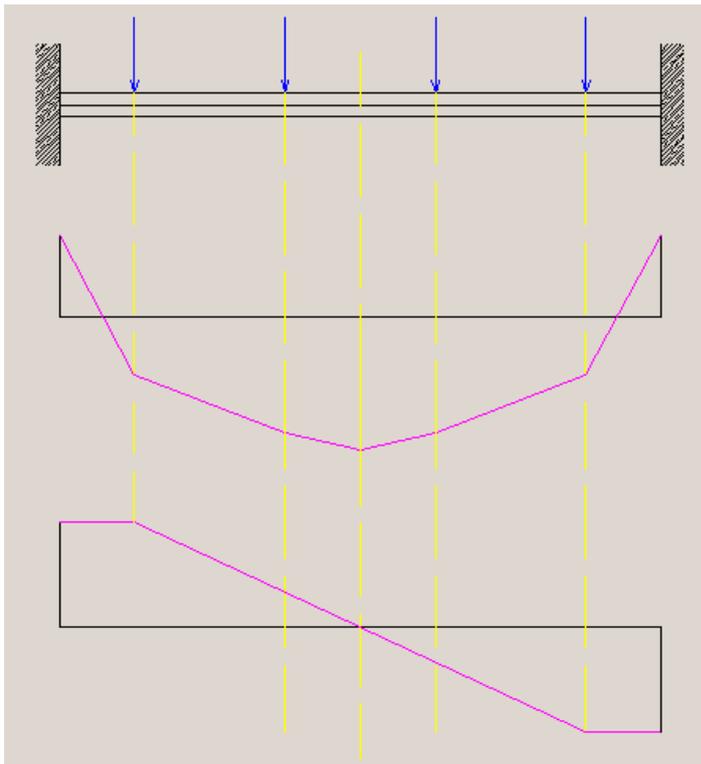
Según la geometría de la edificación, las piezas de fachada apoyan directamente sobre las piezas prefabricadas del suelo, de tal manera que las piezas auxiliares son solo y exclusivamente de sujeción, es decir, para mantener la posición y evitar el balanceo.

de tal manera que podemos decir que el valor de la carga podría ser aproximadamente de un dieciseisavo de la fuerza/carga de la pieza de cerramiento.

El peso estándar de un metro cúbico de hormigón armado es de 2400 - 2500 Kg / m<sup>3</sup>, y sabiendo que la geometría de una pieza de fachada (la cual es de 2.2 x 5.3 x 0.45 m) tendremos un volumen de 4.5 m<sup>3</sup>.

$$Q = 4.5 * 2500 = 11250 \text{ Kg} \frac{1}{16} = \frac{700 \text{ kg}}{7 \text{ puntos}} = 100 \text{ Kg por punto}$$

Conocido el valor de cada punto a estudiar, y habiendo hecho ya un ejemplo de cálculo de esfuerzos en el apartado de la cubierta, ahora se realizará el mismo procedimiento sobre una barra bi-empotrada (soldada en ambos lados de la viga, lo cual proporciona mayor rigidez a la pieza y reduce su flecha máxima.), y con cargas puntuales repartidas a lo largo de la misma.



Las fuerzas aplicadas en los apoyos tendrán un valor de:

$$R_A = R_B = \frac{4 * F}{2} = 2 * F$$

$$R_A = R_B = 1965 \text{ N}$$

Los momentos en el empotramiento serán:

$$\mu_A = \mu_B = \frac{l * F}{12} = \frac{l * F}{3}$$

$$\mu_A = \mu_B = \frac{l * F}{3} = \frac{4 * 100 * 9.81}{3} = 1310 \text{ N/m}$$

El valor de los cortantes será:

$$Q_A = Q_B = \frac{a^2 * F}{l^3} * (l + 2 * a) = \frac{1^2 * 100 * 9.81 * 4}{4^3} * (4 + 2 * 1) = 370 \text{ N}$$

Cuando se comparan los valores de la pieza con los de la resistencia que ha sido calculada con el estudio de los valores últimos de servicio en condiciones de combinación del euro código.

Los valores son mucho menores a los de la resistencia de la sección, ya que la comparación se realizará entre cual es la carga a la que está sometida la pieza y cuál es la resistencia del área de la sección en función del esfuerzo en ambos casos (flexión y cortante).

En el caso del perfil UPN de cabeza de los pilares, la carga de las piezas de fachada será notablemente menor ya que las piezas son menores (2.2 x 3.3 x 0.45 m) y por tanto generan una carga esfuerzo (8170 Kg y 75 Kg por punto de apoyo).

Las fuerzas aplicadas en los apoyos tendrán un valor de:

$$R_A = R_B = \frac{4 * F}{2} = 2 * F$$

$$R_A = R_B = 1475 \text{ N}$$

Los momentos en el empotramiento serán:

$$\mu_A = \mu_B = \frac{l * F}{12} = \frac{l * F}{3}$$



$$\mu_A = \mu_B = \frac{l * F}{3} = \frac{4 * 75 * 9.81}{3} = 980 \text{ N/m}$$

El valor de los cortantes será:

$$Q_A = Q_B = \frac{a^2 * F}{l^3} * (l + 2 * a) = \frac{1^2 * 75 * 9.81 * 4}{4^3} * (4 + 2 * 1) = 275 \text{ N}$$

Si se aplica el **DB SE-A** el valor de cálculo del esfuerzo cortante sollicitación  $V_{sd}$  debe ser menor que la resistencia de de las sección a cortante  $V_{c,RD}$ . Así la resistencia de la secciones a cortante en ausencia de torsión será igual a la resistencia plástica  $V_{pl,Rd}$ :

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma * M_0} ; V_{sd} \leq V_{pl,Rd}$$

Siendo el valor de  $A_v$  el área eficaz a cortante, que se obtendrá a partir de las siguientes expresiones en función del tipo de sección transversal, las dos ecuaciones que nos interesan serán:

$$A_v = 1.04 * h * t_w ; A_v = A - 2 * b * t_f + (t_f + r) * t_f$$

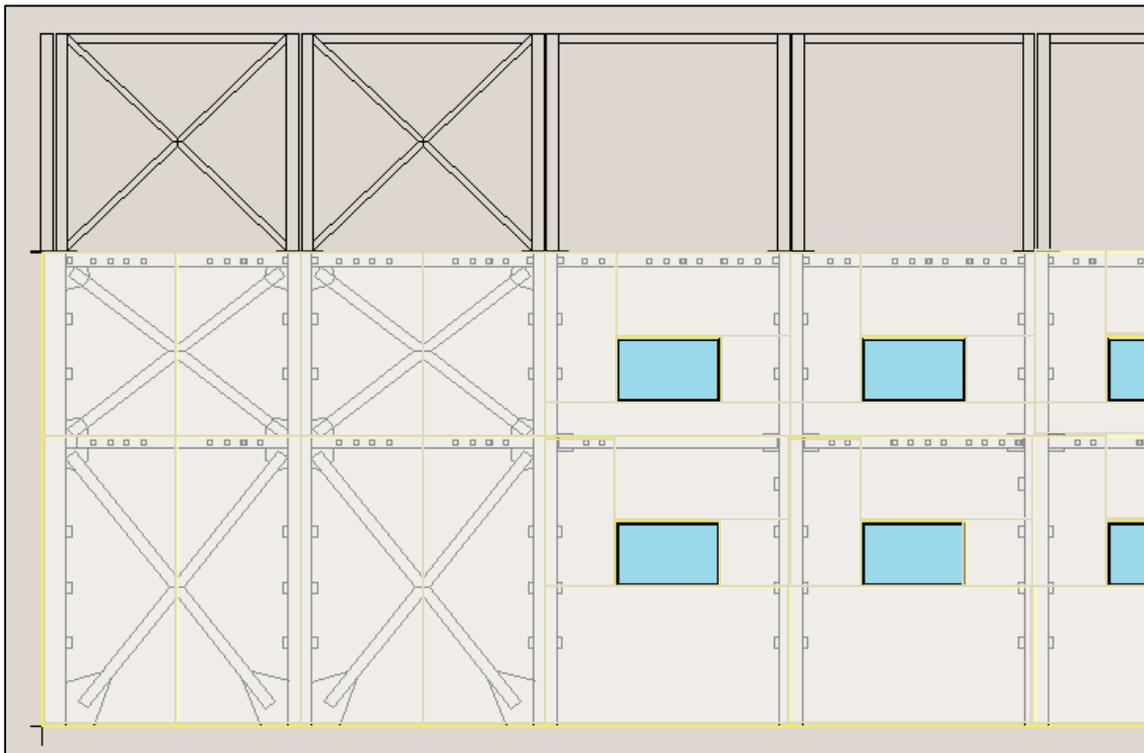
Sabiendo que el valor de  $t_w$  es el espesor de la pieza (valor que de media será de 2,8 mm).

En ambos casos los diagramas de esfuerzos serán iguales aunque con distintos valores de pico tal y como se han calculado y conocidos los valores de resistencia de la pieza (según el prontuario de cálculo usado a lo largo de todo el documento) y el esfuerzo podemos **decir que las piezas soportan sin problemas dichos esfuerzos.**

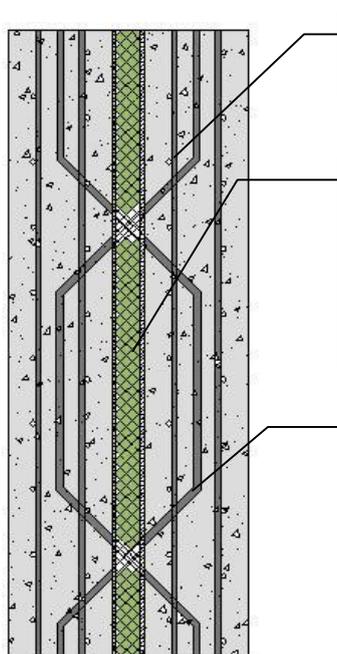
Los valores del axil serán los calculados en el estudio de los apoyos de la cubierta para el perfil IPN y el de los perfiles de tipo UPN será el valor del esfuerzo del viento anteriormente calculado, y las ecuaciones son las desarrolladas en los cálculos de las piezas de cubierta.

Tipo de perfil	2x UPN 200 (A=0.064 m <sup>2</sup> )	1x IPN 240 (A=0.0391 m <sup>2</sup> )	$\gamma$	Carga permisible UPN / IPN	Cumple?
Flexión	1310 N/m	980 N/m	1.06	2950 N/m / 2200 N/m	SI
Cortante	370 N	275 N	1.08	1150 N / 910 N	SI
Axil	230 N	350 N	1.03	2950 N / 2200 N	SI

Los puntos de apoyo que en los pilares se han preparado la mantener la posición de las piezas de cerramiento no serán calculados ya que no generan apenas esfuerzo, y la herramienta de cálculo indica que el valor del esfuerzo será muy pequeño.



Los cerramientos de la nave industrial serán de piezas prefabricadas con aislamiento térmico adosado en el interior, realizadas en taller y listas para colocar en obra según la disposición estudiada previamente en los planos de despiece donde también las ventanas y entradas están previstas, y se anclan a la estructura por perfiles metálicos soldados a la misma estructura de la nave, y el apoyo inferior se realizará con piezas especiales auxiliares de cimentación, serán piezas prefabricadas especiales con la forma y la geometría específica para alojar al cerramiento prefabricado. La unión se realizará con una tira de **teflon** de gran espesor a fin que soporte todo el peso de los bloques.



Doble malla de Armado de las placas de hormigón armado formado por barras de acero corrugado de diámetro 16 mm

Aislamiento térmico formado por *lana de vidrio*<sup>N</sup> (la conductividad varía de 0,032 a 0,045 W/m °C a 10 °C) recortada para dejar pasar el trenzado de barras metálicas.

Además lleva una lámina anti-punzonamiento en ambas caras de dicho aislamiento para su protección.

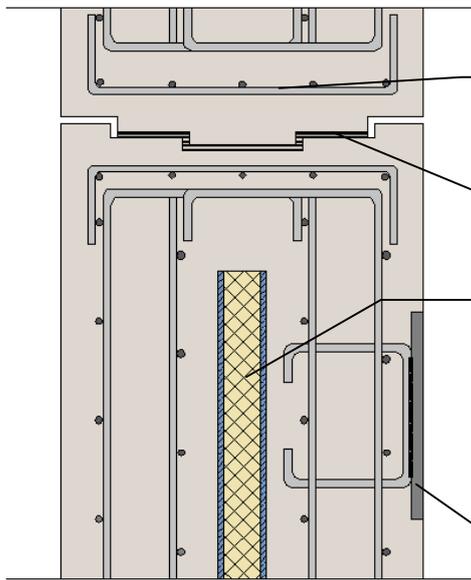
Armado de unión de las 2 placas de armado formado por un trenzado de barras corrugadas longitudinalmente separadas cada 20 cm.



(N) LANA DE VIDRIO: Un material aislante se caracteriza por el valor de su conductividad térmica; su poder aislante es tanto más elevado cuanto más pequeña es su conductividad.

La lana de vidrio es un material compuesto. El fieltro, que se forma en la cadena, está constituido por fibras entrecruzadas desordenadamente, que impiden las corrientes de convección del aire. El valor de dicha conductividad varía de 0,032 a 0,045 W/m °C (a 10 °C) y son productos fabricados son ligeros (de 10 a 110 kg/m<sup>3</sup>) y fáciles de cortar y de manejar.

La lana de vidrio es incombustible, inatacable por los agentes exteriores: aire, vapor de agua, ácidos (excepto de fluorhídrico) y bases no concentradas. El pH de la composición, 7 aproximadamente, asegura a la fibra una estabilidad total, incluso en medio húmedo, y garantiza al usuario la no existencia de corrosión de los metales en contacto con ella.



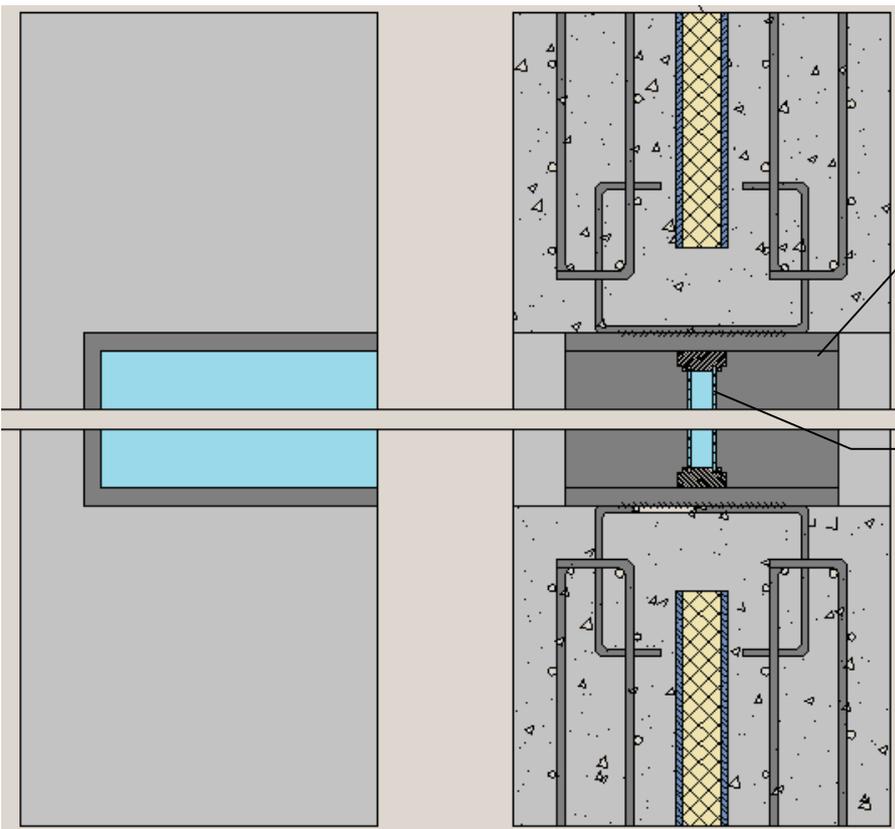
Armado en la cabeza de la placas de hormigón armado formado por barras de acero corrugado de diámetro 16 mm

Machihembrado de las planchas de hormigón con láminas de teflón entre las planchas.

Aislamiento térmico formado por *lana de vidrio*<sup>N</sup> (la conductividad varía de 0,032 a 0,045 W/m °C a 10 °C) recortada para dejar pasar el trenzado de barras metálicas.

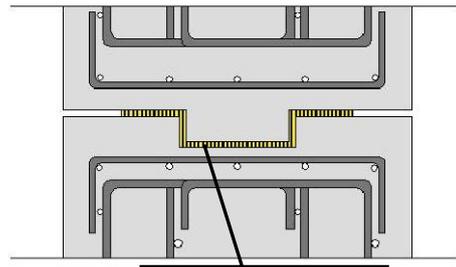
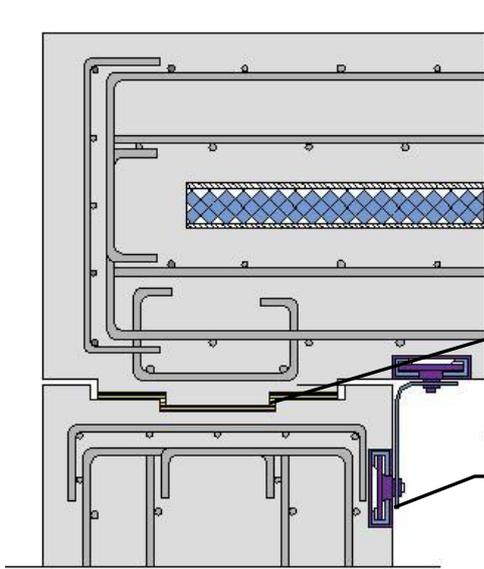
Además lleva una lámina anti-punzonamiento en ambas caras de dicho aislamiento para su protección.

Plancha metálica auxiliar unida a las planchas de hormigón y a donde irán soldadas perfiles auxiliares (Perfil cuadrado cerrado de 90 x 90 x 5 mm)



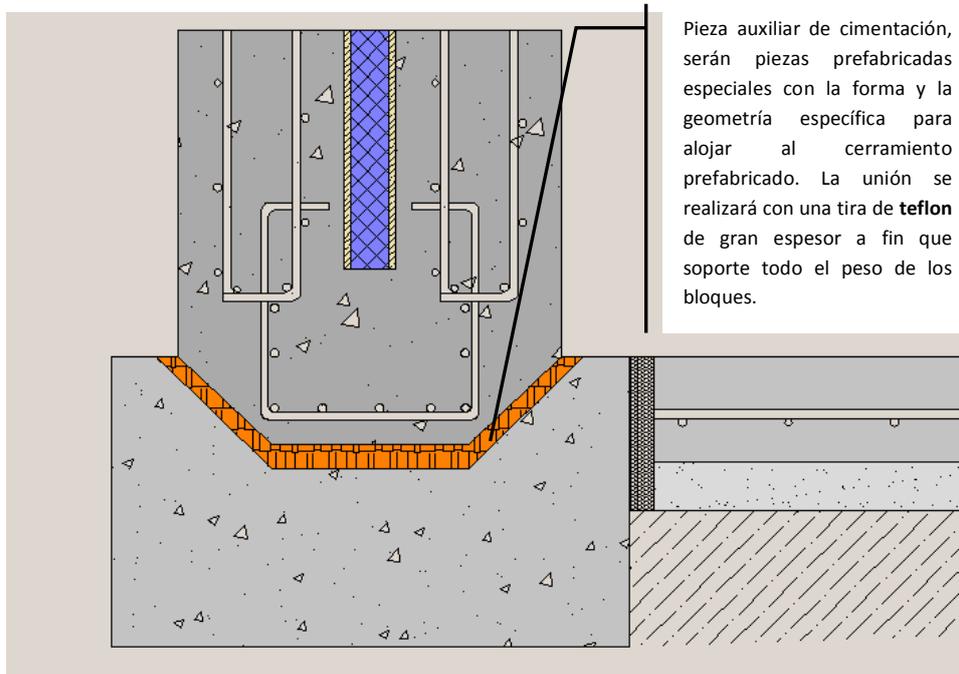
Plancha metálica auxiliar unida a las planchas de hormigón y a donde irá atornillada la perfilera de PVC de los ventanales de la nave industrial.

Ventana corredera de doble cristal con cámara de aire / gas (5/8/5) sobre marco de PVC.

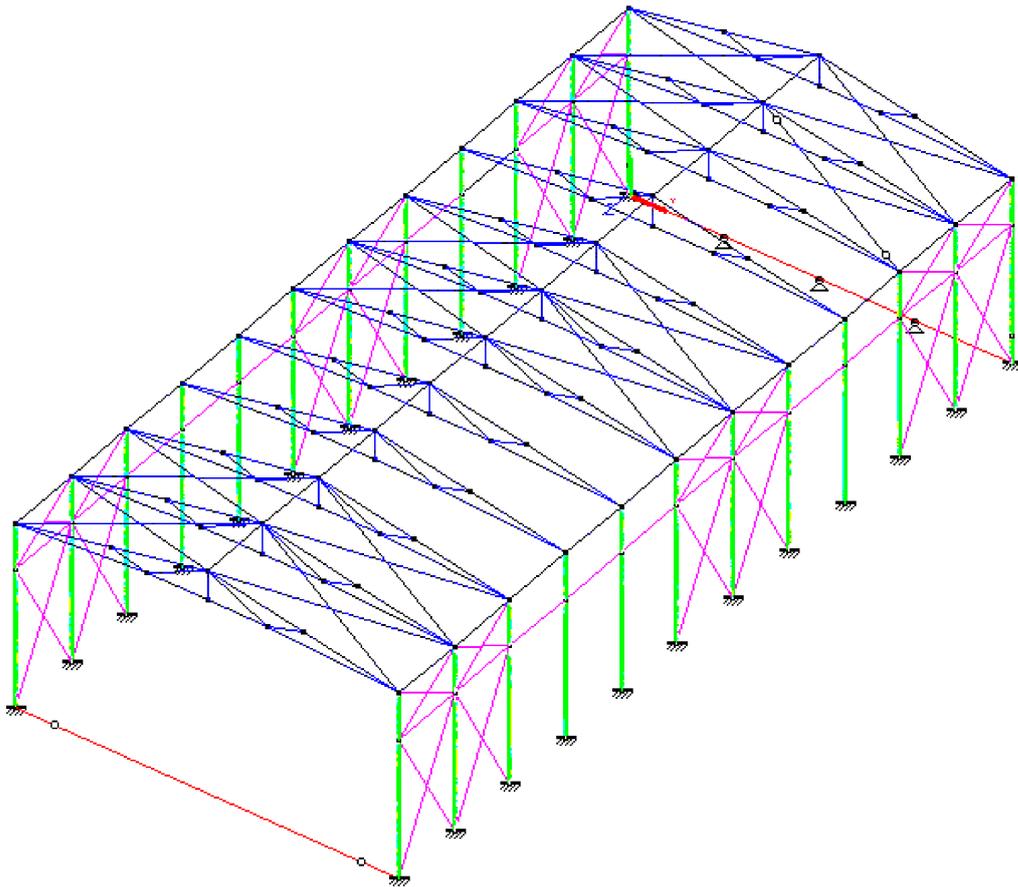


La unión de piezas en la esquina con un machi-hembrado con refuerzos de armado en el interior y elastómero en el exterior para evitar el contacto directo entre las piezas de hormigón.

Pieza auxiliares de unión de las piezas de cerramiento para asegurar la posición correcta, formadas por herrajes metálicos anclados en el plano principal.



Pieza auxiliar de cimentación, serán piezas prefabricadas especiales con la forma y la geometría específica para alojar al cerramiento prefabricado. La unión se realizará con una tira de **teflon** de gran espesor a fin que soporte todo el peso de los bloques.



Tal y como se ven en el croquis, tenemos las siguientes partes:

- I. **Piezas de color verde:** Son los pilares de la estructura, directamente anclados a las zapatas (tal y como se ha explicado en el apartado de Estructura). Las piezas son perfiles metálicos HEB 360 reforzadas con cartelas metálicas a fin de tener una unión rígida.
- II. **Piezas de color rosa:** Son piezas de refuerzo de la estructura formadas por vigas de doble perfil UPN 200 colocado simétricamente a ambos lados de la cartela y fijado a esta con tornillos de alta resistencia, y dicha cartela estará soldada sobre pilar y placa de cimentación para rigidizar la estructura formando una Cruz de San Andrés, o una viga continua a lo largo de toda la estructura.
- III. **Piezas de color azul:** Son las propias cerchas y las cruces de San Andrés de la estructura, la descripción de las piezas se ha estudiado en el apartado propio de las mismas anteriormente.
- IV. **Piezas de color negro:** Son perfiles de rigidizaran los nudos superiores de los pilares en unión con las cerchas a fin de hacer toda la estructura un bloque lo más estable posible, sobre todo a la acción del viento, que tanto cuando éste incide en el cerramiento como cuando entra en el habitáculo y desde dentro crea presión a la estructura. Dichas piezas son IPN 250. *(En el esquema no se han dibujado las correas de la cubierta ya que sería difícil ver el conjunto de la estructura.)*



#### **IV. Instalación de Agua y Saneamiento**

Partiendo de la siguiente normativa específica se realizará el diseño de la instalación de saneamiento:

- Código Técnico de la Edificación. ( HS 4 )
- Normas UNE.
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (R.I.T.E.) y sus Instrucciones
- Técnicas Complementarias (I.T.E.).
- Normativa tratamiento anti-legionela.
- Normas Municipales y Autonómicas.

Se dispondrá de una red de saneamiento para la recogida de aguas pluviales (en este caso en la cubierta de la nave que desaguan en canalones laterales) y de las aguas negras de los aparatos sanitarios del interior de la nave industrial.

Para las recogidas de aguas se dispondrá de arquetas de diferentes dimensiones, realizándose en fábrica de ladrillo macizo ordinario, enfoscado y bruñido posteriormente conectado a tubería de PVC de diferentes diámetros tanto a las zonas de desagüe como a la acometida de saneamiento general de la comunidad, todos los tubos irán apoyados sobre cama de arena o similar.

##### **Acometida**

Desde la red existente, se acometerá el suministro de agua hasta el aljibe almacenador. El armario de contador contendrá contador homologado, válvula de corte, filtro, válvula de retención y grifo de comprobación.

##### **Aljibe y Equipo de Presión**

Se implantará un aljibe almacenador de agua potable de 4 m<sup>3</sup> de capacidad, con equipo de tratamiento, del que aspiraran las dos bombas del equipo de presión, que trabajan en cascada, dotadas de variador de frecuencia, quedando la segunda en reserva e instalando secuenciador automático de su entrada en funcionamiento.

##### **Distribución general de agua**

Desde el cuarto de grupo de presión partirán las tuberías de distribución de agua a:

- Red general de agua fría
- Red general de agua caliente
- Sistema de llenado de instalaciones.

Desde las que se alimentarán las griferías de aparatos sanitarios y las duchas, los acumuladores de agua caliente sanitaria, etc... además de abastecer de agua a los equipos /instalaciones que lo precisen, como por ejemplo la mezcladora.

Proyectando una distribución general de agua fría, caliente y retorno para suministro de los aseos de vestuarios y de personal administrativo.



Los criterios de diseño de esta instalación irán en base a las siguientes condiciones detalladas:

- Buscar el mínimo del impacto ambiental
- Reducir los costes de uso de las instalaciones.
- Máxima accesibilidad de los elementos de la instalación.
- Máxima durabilidad de los equipos y materiales.
- Dar la mayor flexibilidad al uso de las instalaciones.

Según lo establecido en el Código técnico, la presión hidráulica establecida deberá ser como mínimo de **150 kPa** en los puntos más desfavorables de consumo.

Y en función al uso del edificio (producción industrial) se establece la siguiente dotación de agua:

- Agua fría y caliente: 40 litros/día por ocupante
- Velocidad máxima en Acometida, alimentación y suministros: 1.50 m/s

Además se prevé un acumulador de agua (depósito), de acuerdo a lo que la norma **UNE 100030:2005** indica en apartado del volumen de acumulación exigible, que en nuestro caso sería:

$$V = Q * t * 60 = 3.9 * 20 * 60 = 4680 \text{ litros}$$

V es el volumen del depósito (litros)

Q es el caudal máximo simultáneo ( $\text{dm}^3/\text{s}$ ) =  $3.8 \text{ dm}^3$  (equipos) +  $0.1 \text{ dm}^3 = 3.9 \text{ dm}^3$

t es el tiempo estimado (de 15 a 20 minutos) (min.).

Cómo en los catálogos comerciales no hay ninguno de ese volumen, tomaremos uno de mayor capacidad (en este caso de **6 dm<sup>3</sup>**), estando por encima del requisito de la norma.

#### Dimensionamiento de conducciones:

Los caudales unitarios de los aparatos sanitarios y los diámetros de las canalizaciones se definen, cumpliendo los mínimos exigidos por el Código Técnico de la Edificación, en tabla adjunta:

Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo de agua fría ( $\text{dm}^3/\text{s}$ )	Caudal instantáneo mínimo de ACS ( $\text{dm}^3/\text{s}$ )	Tubo de cobre o plástico (mm)
Lavabo	0.1	0.065	12
Ducha	0.2	0.1	12
Inodoro con fluxor	1.25	--	12
Urinarios con grifo temporizado	0.15	--	12
Grifo racor manguera	0.15	0.1	12
Vertedero	0.2	--	20

La distribución general agua potable se ha dimensionado en base a los caudales unitarios y punta, en función al coeficiente de simultaneidad definido a continuación y según las características de uso del edificio, o en este caso nave industrial, con una velocidad de circulación no superior a 2 m/seg.

$$C_s = \frac{1}{\sqrt{n-1}} = \frac{1}{\sqrt{(2+4+4+3)-1}} = 0.28$$

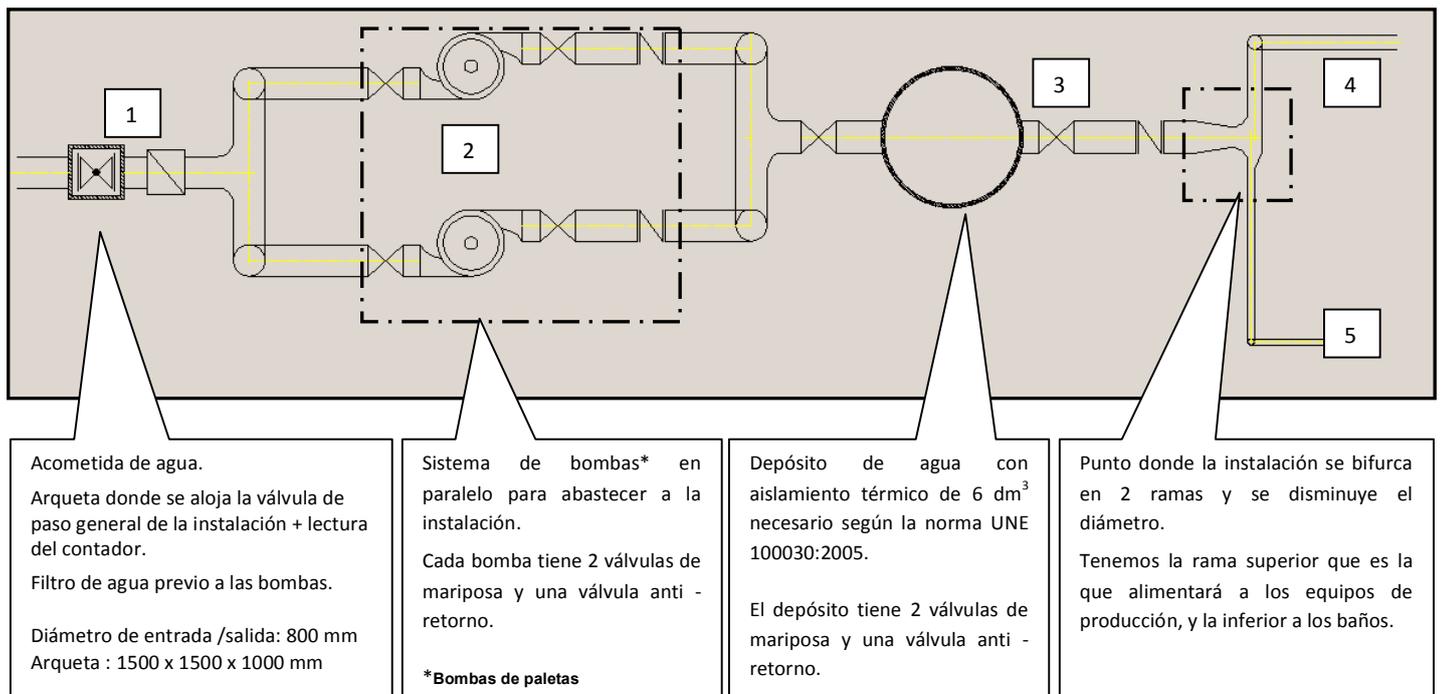


donde  $n$  es el número de aparatos sanitarios conectados a la red de distribución de agua y donde  $C_s$  no puede ser inferior a 0.2.

En nuestro caso, tenemos: **2 Lavabos, 4 Inodoros y 4 duchas + Servicio a los equipos de producción (3 equipos).**

El consumo de agua instantáneo máximo estándar para instalaciones de éste tipo es de 14 l/s para la simultaneidad del número de aparatos en funcionamiento (aparatos sanitarios indicados y los equipos de producción).

Tal y como se ve en este diagrama:



Acometida de agua.  
Arqueta donde se aloja la válvula de paso general de la instalación + lectura del contador.  
Filtro de agua previo a las bombas.  
Diámetro de entrada /salida: 800 mm  
Arqueta : 1500 x 1500 x 1000 mm

Sistema de bombas\* en paralelo para abastecer a la instalación.  
Cada bomba tiene 2 válvulas de mariposa y una válvula anti-retorno.  
**\*Bombas de paletas**

Depósito de agua con aislamiento térmico de 6 dm<sup>3</sup> necesario según la norma UNE 100030:2005.  
El depósito tiene 2 válvulas de mariposa y una válvula anti-retorno.

Punto donde la instalación se bifurca en 2 ramas y se disminuye el diámetro.  
Tenemos la rama superior que es la que alimentará a los equipos de producción, y la inferior a los baños.

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5
<b>Diámetro</b>	800 mm	800 mm	800 mm	400 mm	250 mm
<b>Longitud</b>	2500 mm	8000mm	12000 mm	5000 mm	7500 mm
<b>Descripción</b>	Acometida de agua.	Bombas en paralelo	Tramo de salida del deposito	Rama a instalaciones	Rama de baños
<b>Simultaneidad</b>	0.7	0.7	0.7	0.5	0.2
<b>Volumen (l/s)</b>	35	35	35	29.8	5.2

Conocidos los caudales y la velocidad, podemos calcular la sección:

$$S = \frac{Q \left(\frac{l}{s}\right) * 1000}{V \left(\frac{m}{s}\right)} ; D = \sqrt{4 * S / \pi}$$

**\*Bombas de émbolo alternativo**, en las que existe uno o varios compartimentos fijos, pero de volumen variable, por la acción de un émbolo o de una membrana. En estas máquinas, el movimiento del fluido es discontinuo y los procesos de carga y descarga se realizan por válvulas que abren y cierran alternativamente. Algunos ejemplos de este tipo de bombas son la bomba alternativa de pistón, la bomba rotativa de pistones o la bomba pistones de accionamiento axial.

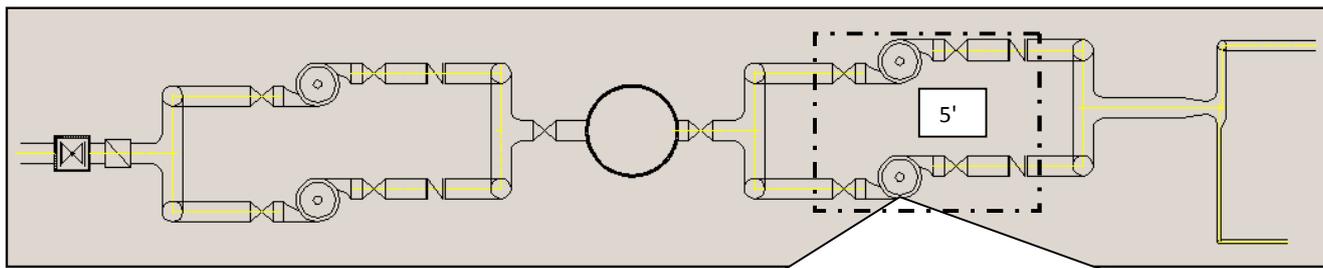
**\*\*Caudal de las Bombas :**

Conocidos los caudales instantáneos necesarios que debe alimentar el grupo, podemos determinar el caudal de las bombas.

- Altura manométrica de las Bombas : Altura manométrica = Altura geométrica + Pérdida de carga + Presión residual + Margen diferencial mínimo y máximo colchón de aire. **Al no tener valores específicos del terreno, de donde están colocada la acometida y de los equipos, se ha calculado con hipótesis. Y no es posible dar el valor específico de los diámetros de las instalaciones de producción.**



Tenemos otra opción, en caso de que la entrada a los ramales no tenga suficiente presión:



En el caso de que la presión no sea suficiente bien porque hay un gran desnivel o porque el depósito no tenga suficiente carga (columna de agua), se colocará un segundo sistema de bombas\* en paralelo para abastecer a la instalación. Como la primera instalación en paralelo, cada bomba tiene 2 válvulas de mariposa y una válvula anti-retorno.

En este segundo caso, las bombas serán del mismo tipo, pero ambos grupos de menor tamaño, al estar duplicado. El diámetro de la tubería también será menor, en este caso 600 mm.

Red de saneamiento de los aparatos sanitarios discurrirá colgada bajo suelo técnico, acometiendo a una arqueta principal a través de las llaves de corte correspondientes. Dotando asimismo a cada aparato de llave de corte unitaria.

Se aplica un proceso de cálculo para un sistema separativo, es decir, se dimensiona la red de aguas residuales por un lado y la red de aguas pluviales por otro, de forma separada e independiente, para finalmente, mediante las oportunas conversiones, dimensionar un sistema común, unitario o mixto.

Se ha utilizado el método de adjudicación de un número de Unidades de Desagüe a cada aparato sanitario y se considerará la aplicación del criterio de simultaneidad estimando el que su uso es público en este caso.

Los diámetros utilizados responden a una seriación teórica que puede ser válida de forma aproximada para todos los posibles materiales a instalar.

Para el dimensionado de la red de saneamiento tendremos en cuenta las siguientes premisas y en función a lo establecido en la instrucción HS-5 del Código técnico.

El caudal asignado a cada uno de los aparatos a efectos de cálculo se da a continuación en unidades de descarga (UD) para el sistema :

Aparato sanitario (UD)	L/s
Lavabo	0.3
Urinario con válvula de descarga de agua	0.3
Vertedero	0.6
Sumidero de suelo DN 50	0.9
Sumidero de suelo DN 100	1.2
Inodoro	2.0

Los aparatos sanitarios que vamos a tener en nuestra nave serán: **2 Lavabos, 4 Inodoros y 4 duchas.**



El sistema está pensado para que sea posible que todos los aparatos trabajen simultáneamente y a máxima carga, y las salidas de los aparatos van todas conectadas a los botes sifónicos de los Inodoros de tal manera que **cada aparato tenga un diámetro nominal de desagüe de 60 mm y el bote sifónico de 120 mm.**

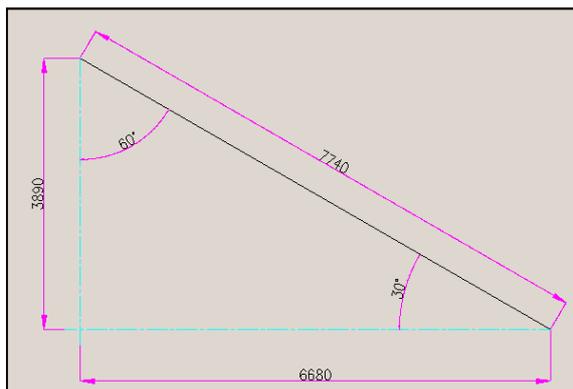
La pendiente será como mínimo del 2% para las tuberías de diámetros de hasta 75 mm, para mantener una velocidad mínima de 0,6 m/s, así como no se rebasará el 4% de pendiente máxima en los colectores grandes. Según normativa, el número de unidades será menor a 10 por tanto es suficiente con las pendientes y con los diámetros indicados.

En lo que respecta a la evacuación de agua de la cubierta, ésta va en función de la superficie de cubierta a desaguar (en proyección horizontal), de tal manera que el número mínimo de sumideros a instalar sea el indicado por la siguiente tabla:

Superficie de cubierta en proyección horizontal	Número de sumideros
<b>S &lt; 100</b>	2
<b>100 ≤ S &lt; 200</b>	3
<b>200 ≤ S &lt; 500</b>	4
<b>S &gt; 500</b>	1 cada 150 m <sup>2</sup>

El número de puntos de recogida deberán ser, en cualquier caso, suficientes para no disponer de desniveles superiores a 150 mm, pendientes máximas del 0,5 %, y evitar una sobrecarga excesiva de la cubierta.

la pendiente de la cubierta será:



**Distancia en vertical · 100 / Distancia en horizontal = Pendiente en valor porcentual**

$$3890 * 100 / 6680 = 58.23 \%$$

**Tangente A = Altura / Distancia**

$$\text{Tan } A = \frac{3890}{6680} = 0.583$$

**Superficie de cubierta: 760 m<sup>2</sup>**

En nuestro caso tenemos una pendiente del 58 %, por lo tanto el desagüe será muy rápido incluso en el caso de lluvias muy abundantes como en la zona del levante español son frecuentes, de tal manera que los puntos de salida de los canalones deberán ser 5 por cada lado de la cubierta.

Díámetro nominal (mm)	bajante	Superficie en proyección horizontal (m <sup>2</sup> )
50		65
65		120
80		205
100		430
125		805
150		1255
200		2700



Y según esta tabla, tendrán un diámetro nominal de 125 mm.

Al igual que las bajantes, **los colectores** se calculan a sección llena en régimen permanente.

Para una superficie de aproximadamente de 800 m<sup>2</sup> y un diámetro de cada bajante de 125 mm, se relaciona la superficie máxima proyectada admisible con el diámetro y la pendiente del colector, que en nuestro caso será del 2 % debido a la limitación de espacio. Con estos datos podemos decir que nuestro colector deberá de tener un diámetro nominal de 200 mm.

### Arquetas

En la tabla siguiente se dan las dimensiones mínimas necesarias (longitud L y anchura A mínimas, profundidad h máxima) de cada arqueta según el diámetro del colector de entrada de ésta, el diámetro de salida deberá ser un poco mayor para evitar que haya una

	Diámetro del colector de salida [mm]								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
<b>L x A (cm)</b>	40 x 40	50 x 50	60 x 60	70 x 70	70 x 80	80 x 80	80 x 90	80 x 90	90 x 90
<b>H (cm)</b>	80	80	80	--	--	--	--	--	--

Para un diámetro de entrada de 200 mm, tendremos una arqueta de 60 x 60 x 80 cm y con un diámetro de salida de 250 mm.

Para la salida de los aguas negras será necesario, según lo especificado, una arqueta con un tubo de 200 mm de diámetro, con lo que tendremos igualmente una arqueta de 60 x 60 x 80 cm y con un diámetro de salida de 250 mm.

En el caso de tener la salida/conjunción de las aguas negras y de las aguas pluviales en un mismo sistema, la salida será de 450 mm con una arqueta de 80 x 90 x 80 cm.



## V. Instalación eléctrica

La nave industrial está formada por una planta, aunque en el futuro, si fuera necesario se podría hacer una segunda planta para el uso que fuera necesario.

El cuadro general estará situado lo más próximo a la acometida, por lo tanto queda situada en la planta baja, y podemos intuir que a la izquierda de la puerta principal podría ser el mejor lugar.

Subdividimos todo el circuito en dos cuadros secundarios y son los siguientes:

- Cuadro 1: Iluminación de la planta y fuerza para enchufes de las oficinas, exposición, baños y vestuarios (**aproximadamente 54 Kw de potencia**)
- Cuadro 2: Fuerza para maquinaria del taller/producción. (**aproximadamente 98 Kw de potencia**)

Los dos cuadros estarán situados en la zona central de la nave, se han elegido dicha disposición, ya que son las más adecuadas tanto para la comodidad de los trabajadores del taller como para evitar caídas de tensiones innecesarias.

### Previsión de potencia de los cuadros.

Dentro del cuadro I tendremos los distintos alumbrados de las estancias, tanto despachos, recepción, baños y vestuarios además de la zona de producción.

El numero de líneas de alumbrado son 12 con unos valores de entre 600 W hasta los 2000 W, y las líneas de fuerza son también 12 con valor único de 3200 W

En el cuadro II tendremos la instalación de fuerza de las distintas maquinas, entre las que tendremos entre 18 y 20 puntos distintos entre 3500 W y 39000 W.

### Medidas de protección

Se instalarán diversas protecciones para garantizar la seguridad de los usuarios y las instalaciones.

#### I.- *Magnetotérmicos-Automáticos*

Se utilizan para evitar los cortocircuitos y las sobrecargas, por lo tanto cuando se eleva la intensidad a un valor más alto de lo permitido abren el circuito, protegiendo la instalación. En este caso se instalará un magneto-térmico general para toda la instalación, un magneto-térmico general para cada uno de los dos cuadros secundarios, otros para subdividir los circuitos correspondientes a cada cuadro y por ultimo uno en cada máquina, fuerza o luces de cada espacio común.

Así garantizamos que si se produce un corto o una sobrecarga en una parte de la instalación, pues solo afecte a dicha parte y no a toda la instalación.

#### II.- *Diferenciales*

Se instalarán diferenciales para garantizar la seguridad de las personas. Para ello se instalará un diferencial general y luego varios diferenciales secundarios en todos los distintos sub-circuitos por si llega a producirse un fallo, no se caiga abajo toda la instalación.



Una vez vistos los dos elementos de protección pasaremos a hacer un cálculo preliminar de las secciones de los cables de la instalación. Para calcular la sección de los cables debemos tener en cuenta **el criterio de máxima intensidad y el criterio de máxima caída de tensión**.

Según el criterio de máxima caída de tensión, la sección se calcula de la siguiente forma:

$$S = \frac{(P * L)}{(\gamma * e * U)}$$

Donde P es la potencia, L es la longitud del cables,  $\gamma$  es la conductividad del cable, e la caída de tensión y U la tensión.

Partiendo de una caída de tensión que el código técnico y el reglamento electrotécnico de baja tensión es de 4,5% para circuitos de alumbrado y 6% para demás usos.

Y podemos decir que los cables que serán utilizaremos tendrán una tensión nominal de 750V y estarán instalados en regletas y éstas estarán fijadas a la pared, y con esa premisa podremos sacar el valor de la conductividad del reglamento técnico de baja tensión (Tabla 1. Intensidades admisibles al aire 40°C. Nº de conductores con carga y naturaleza del aislamiento)

	Potencia (W)	Longitud (mm)	Conductividad (s/mm)	Caída tensión (%)	Tensión (V)	Sección (mm <sup>2</sup> )	Sección comercial
Cuadro I	600	4000	3,15E+04	0,045	750	2,26	3 mm <sup>2</sup>
	1000	4000	3,15E+04	0,045	750	3,76	4 mm <sup>2</sup>
	1500	4000	3,15E+04	0,045	750	5,64	6 mm <sup>2</sup>
	2000	4000	3,15E+04	0,045	750	7,52	8 mm <sup>2</sup>
	3500	5500	3,15E+04	0,06	750	13,58	14 mm <sup>2</sup>
Cuadro II	8000	5500	3,15E+04	0,06	750	31,04	32 mm <sup>2</sup>
	15000	5500	3,15E+04	0,06	750	58,20	60 mm <sup>2</sup>
	25000	5500	3,15E+04	0,06	750	97,00	100 mm <sup>2</sup>
	30000	5500	3,15E+04	0,06	750	116,40	120 mm <sup>2</sup>
	39000	5500	3,15E+04	0,06	750	151,32	160 mm <sup>2</sup>

En esta tabla se pueden ver los valores de las secciones de los cables que se usarán en la instalación ya que los valores de potencia son los estándares con los que se ha trabajado para hacer los cálculos preliminares, según los catálogos y libros de Siemens que se han usado como consulta.

Las longitudes han sido estimadas con los planos del edificio, son valores que pueden variar.

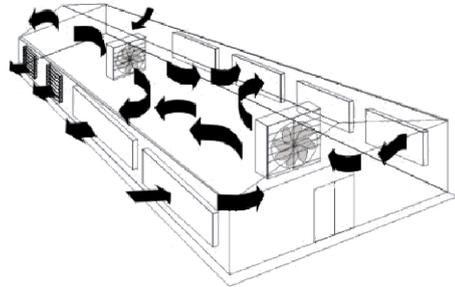


## VI. Calidad del aire interior

Según las exigencias básica del CT-HS 3:

*1.- Los edificios dispondrán de medios para que sus recintos se puedan ventilar adecuadamente, eliminando los contaminantes que se produzcan de forma habitual durante el uso normal de los edificios, de forma que se aporte un caudal suficiente de aire exterior y se garantice la extracción y expulsión del aire viciado por los contaminantes.*

Tal y como se en la figura la solución es incorporar una serie de ventiladores que proporcionen una ventilación forzada sobre todo en las zonas donde se acumulen mayor cantidad de gases con carga química procedentes del proceso de producción.



En el mercado se encuentran varios tipos de componentes, pudiendo ser ventiladores tanto de tipo axial cómo centrífugo y de distinta carga. Ahora bien, la elección irá caracterizada por la necesidad de cada zona, es decir, puede bien ser la extracción de los gases o el aumento del aire en la zona de servicio.

En nuestro caso deberemos elegir una de cada tipo, ya que tenemos (tal y como podemos ver en la distribución de la planta) 2 zonas un tanto peligrosas, desde el punto de vista de acumulación de gases, que son los "pasillos" donde todas las máquinas que trabajan a alto rango de temperatura y en verano será necesario refrigerar para que no haya un exceso de temperatura y la otra zona donde se deberán retirar los gases es la del esmaltado, aunque esta zona es más por seguridad que por necesidad.

2.- Para limitar el riesgo de contaminación del aire interior de los edificios y del entorno exterior en fachadas y patios, la evacuación de productos de combustión de las instalaciones térmicas se producirá, con carácter general, por la cubierta del edificio, con independencia del tipo de combustible y del aparato que se utilice, de acuerdo con la reglamentación específica sobre instalaciones térmicas.

### MEDIDAS DE EFICIENCIA

Mejorar las condiciones de los elementos constructivos empleados en los cerramientos de los locales para evitar la ganancia térmica (obtención-perdida de calor) tanto interior como exterior, dotándolos de ventilación inducida natural mediante la ubicación de rejillas de admisión en las fachadas y con extracción forzadas. En nuestro caso así será, están previstos 2 extractores de gran volumen en la fachada norte a fin de reducir la

Las carpinterías metálicas cada día incrementan más su estanqueidad, por tanto no es lógico asegurar la ventilación a través de las infiltraciones. Respecto al tiro forzado empleado para la extracción es necesario que se encuentre asistido por un ventilador.

El aislamiento en las paredes, el ajuste de puertas y ventanas, la utilización de doble acristalamiento son medidas que ayudan a evitar el despilfarro de energía debidas a infiltraciones descontroladas, que es exactamente buscamos nosotros con nuestras ventanas de 5 + 10 + 5.

Solamente en los espacios habitados, es necesario mantener las condiciones de bienestar, manteniendo estos criterios fuera de las zonas ocupadas conduce a un despilfarro de energía.



### 5.3- Maquinaria necesaria (justificación y posibilidades)

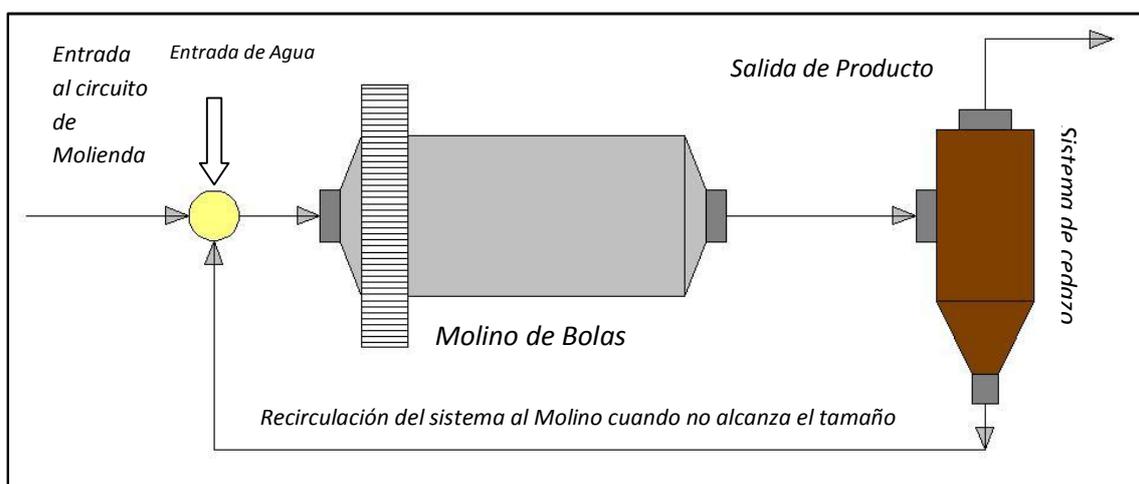
#### 5.3.1.- Silos y sistema de molienda

En el apartado 2 del éste texto se han descrito varios procesos, y al final el proceso elegido es el de vía húmeda, es decir, *molino de bolas*. Después del proceso de pesado, las materias primas son transferidas al molino de bola, donde se añadirá *agua a la mezcla*, la cual variará en cantidad en función de la cantidad de producto a moler, pero la proporción será de 0.5 a 0.6 l / kg de producto a moler.

Después de molida y agitada, la arcilla es pasada por un tamizador de 80 mallas de distintos cedazos, de tal manera que el producto sea lo más homogéneo evitando las grandes masas y grumos mayores y siendo todo del mismo tamaño.

El tipo de molino de bola más eficiente es el producido por el insertado de una bola de piedra en el interior del cilindro del molino equipado con un revestido de porcelana y caucho tipo W. Si la capacidad de producción de la planta es de 2,000 m<sup>2</sup> o menos, sólo se requerirá un molino de bola. Dicho molino consiste de un recipiente cónico o cilíndrico dispuesto en forma horizontal cuya longitud nunca debe exceder en 1,5 veces su anchura. El cilindro se llena parcialmente con bolas de acero inoxidable, de acero o piedras duras. La conminación ocurre principalmente por los mecanismos de impacto y atrición. Cuando el cilindro empieza a rotar, las bolas son empujadas por la fuerza centrífuga hacia la pared superior del cilindro. Las bolas que están más arriba viajan más rápido que las que están abajo, y por tanto la velocidad óptima ocurre cuando las bolas forman un movimiento de cascada.

Durante el movimiento, se produce un mecanismo de fricción entre las bolas, y éstas, al caer impactan y fragmentan el material. La velocidad crítica es aquella en que las bolas no forman el movimiento de cascada sino que rotan a la misma velocidad que el cilindro. La velocidad óptima varía entre el 50 y 75% de la velocidad crítica. Entre más grande sea el molino, menor será la velocidad crítica y viceversa, ya que la velocidad decrece al aumentar el radio. La molienda es más eficiente si las bolas ocupan entre el 30 - 50% del volumen del molino.





El material a pulverizar debe colocarse de forma tal que cubra todas las bolas, nunca más porque siempre debe haber algo de contacto total entre las bolas. Por tal razón, se logrará una mayor eficiencia si se disminuye la cantidad de espacios muertos entre éstas. La duración de la conminación puede variar desde horas hasta días dependiendo de la dureza del material y del tamaño que se quiera conseguir (aproximadamente entre 2 y 0.5 pulgadas en nuestro caso según la bibliografía consultada).

Sin embargo, el equipo tiene la opción de recolectar el material a ciertos intervalos de tiempo. Para conseguir una molienda eficaz no se debe de exceder la velocidad crítica, que se define como la velocidad a la cual una bola pequeña esférica dentro del molino empieza a centrifugar, y por tanto sólo gira y no impacta contra el material.

El método más utilizado en la fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos es el **secado por atomización**.

### 5.3.2.- Horno(s) y sistema de enfriamiento/secado

Cómo se ha comentado en el apartado 2, el propósito de secado de cerámicas es eliminar agua del cuerpo plástico antes de ser sometido a elevadas temperaturas, por tanto buscamos el secado y la eliminación del aglutinante.

El proceso comienza con una dosificación de las materias primas, que previamente hemos molido, seleccionado y controlado en la proporción establecida. Mediante transporte neumático (cinta) se trasladan las diferentes materias primas a una *mezcladora*, donde se conjugan perfectamente los materiales previos a la cocción.

Existen gran variedad de fritas cerámicas, que difieren en su composición química y en las características físicas relacionadas con ésta. Como se ha explicado previamente, los componentes que por sí son solubles o tóxicos se aportan siempre en forma fritada para reducir considerablemente su solubilidad; así sucede con el plomo, el boro, los alcalinos y algunos otros elementos minoritarios. El resto de componentes pueden ser utilizados en forma fritada o como materia prima cristalina, dependiendo del efecto que se busca.

Las fritas pueden clasificarse atendiendo a muy diversos criterios: en función de su composición química (plúmbicas, borácicas, etc.), de sus características físicas (opacas, transparentes, etc.), de su intervalo de fusión (fundentes, duras), etc. En la actualidad se han desarrollado una serie de fritas, destinadas a determinados procesos de producción, que engloban varias de las características buscadas, y que hacen todavía más difícil la clasificación de las fritas cerámicas.

La mezcla de materias primas pasa a *una tolva de alimentación*, desde la que entra al horno, donde tiene lugar *el fritado* antes comentado.

La alimentación del horno se lleva a cabo mediante un tornillo sin fin, cuya velocidad controla el flujo másico de material alimentado al horno. El tiempo de permanencia del material en el



interior del horno viene definido por la velocidad de fusión de las materias primas y por la fluidez del material fundido.

El horno está dotado de un sistema de generadores eléctricos de calor, los cuales permiten alcanzar temperaturas comprendidas entre 1400-1600°C, necesarias para llevar a cabo este tipo de procesos.

El aire caliente de salida del antes de ser expulsado al exterior a través de una chimenea se les hace pasar por un intercambiador de calor, con el fin de recuperar energía para precalentar el aire de entrada al secadero del sistema.

El proceso de fritado puede desarrollarse en continuo, empleándose hornos continuos de gas, produciendo una combustión del mismo, con enfriamiento del fundido con agua o con aire y en discontinuo, con hornos rotatorios y enfriamiento por agua.

Los hornos continuos tienen su base está inclinada con el fin de facilitar el descenso de la masa fundida. En la salida se sitúa un rebosadero y un quemador que actúa directamente sobre el líquido viscoso en que se ha convertido la frita a la salida, evitando su brusco enfriamiento al contacto con el aire y facilitando el vaciado en continuo del horno.

El enfriamiento puede realizarse:

- ⇒ *Con agua.* El material fundido cae directamente sobre agua, lo cual provoca su inmediato enfriamiento. Al mismo tiempo, y debido al choque térmico, se produce la rotura del vidrio en pequeños fragmentos de forma irregular. Estos se suelen extraer del agua mediante un tornillo sin fin, posteriormente transportándolos a un secadero para eliminarles la humedad del tratamiento anterior.
- ⇒ *Con aire.* En este caso la masa fundida se hace pasar a través de dos cilindros, enfriados en su interior por aire, obteniendo un sólido laminado muy frágil, que se rompe con facilidad en pequeñas escamas.

El proceso intermitente se lleva a cabo en el caso que se desee fabricar fritas de menor demanda. En este caso el proceso de fusión se realiza en un horno rotatorio y normalmente el enfriamiento de la frita se realiza por agua, siendo éstas las únicas diferencias con respecto al proceso continuo. El horno rotatorio consiste en un cilindro de acero revestido interiormente con refractario y dotado de un sistema de movimiento que permite la homogeneización de la masa fundida. En un extremo del horno se sitúa un quemador que dirige la llama hacia el interior del horno.

Tanto en el proceso continuo como en el intermitente, los humos procedentes de la fusión, contienen compuestos gaseosos procedentes de la combustión, gases procedentes de las volatilizaciones de las materias primas alimentadas y partículas arrastradas por los gases de combustión en su salida del horno. Es importante destacar que la composición de estas partículas es parecida a la de la frita que se está produciendo en cada momento.



Tras el conformado de las piezas éstas se introducen en el interior del secadero, en donde se ponen en contacto en contracorriente con gases calientes. Estos gases calientes son aportados por un quemador aire-gas natural o por gases calientes procedentes de la chimenea de enfriamiento del horno. El principal mecanismo de transmisión de calor entre el aire y las piezas es el de convección.

En los secaderos verticales las piezas se colocan en planos metálicos, formando entre varios planos diferentes unidades denominadas habitualmente “cestones”. El conjunto de cestones se mueve por el interior del secadero verticalmente, entrando el conjunto cestón-pieza en contacto con los gases calientes. Normalmente la temperatura en este tipo de secaderos es inferior a 200°C y los ciclos de secado suelen estar entre los 35 y 50 minutos.

La concepción de los secaderos horizontales es del tipo horno mono-estrato de rodillos.

Las piezas se introducen en diversos planos en el interior del secadero y se mueven horizontalmente en su interior por encima de los rodillos. El aire caliente, que entra en contacto en contracorriente con las piezas, es aportado por quemadores situados en los laterales del horno. La temperatura máxima en este tipo de instalaciones suele ser mayor que en el caso de los secaderos verticales (alrededor de los 350°C) y los ciclos de secado son menores, entre 15 y 25 minutos.

En general los secaderos horizontales tienen un consumo menor que los verticales, debido a la mejor disposición de las piezas dentro del secadero y a la menor masa térmica.

La emisión resultante de la operación de secado es una corriente de gases a temperatura del orden de los 110°C y con muy baja concentración de partículas en suspensión arrastradas de la superficie de las piezas por esta corriente.

#### ***Cocción única, mono-cocción y bi-cocción.***

Los materiales cerámicos pueden someterse a una, dos o más cocciones. Las baldosas no esmaltadas reciben una única cocción; en el caso de baldosas esmaltadas, pueden someterse a una cocción tras la aplicación del esmalte sobre las piezas crudas (proceso de mono-cocción), o someterse a una primera cocción para obtener el soporte, al que se aplica el esmalte para someterlo luego a una segunda cocción (proceso de bi-cocción).

En algunos materiales decorados se aplica un ciclo de una tercera cocción a menor temperatura.

En ocasiones puede haber un secado adicional tras la etapa de esmaltado. Esta se lleva a cabo inmediatamente antes de introducir el material en el horno, con el fin de reducir el contenido en humedad de las piezas hasta niveles suficientemente bajos para que la etapa de cocción se desarrolle adecuadamente.

#### ***Cocción rápida***

Los materiales cerámicos pueden someterse a una, dos o más cocciones. Las baldosas no esmaltadas reciben una única cocción; en el caso de baldosas esmaltadas, pueden someterse a



una cocción tras la aplicación del esmalte sobre las piezas crudas (proceso de mono-cocción), o someterse a una primera cocción para obtener el soporte, al que se aplica el esmalte para someterlo luego a una segunda cocción (proceso de bi-cocción).

En algunos materiales decorados se aplica una tercera cocción a menor temperatura.

En ocasiones puede haber un secado adicional tras la etapa de esmaltado. Esta se lleva a cabo inmediatamente antes de introducir el material en el horno, con el fin de reducir el contenido en humedad de las piezas hasta niveles suficientemente bajos para que la etapa de cocción se desarrolle adecuadamente.

Al tratarse de hornos no *muflados* el contacto de los gases con el producto es directo, lo cual mejora los coeficientes de transporte de calor, disminuyendo la duración del ciclo de cocción, reduciendo el consumo energético y aumentando la flexibilidad de éstos hornos respecto a los anteriormente empleados para este proceso.

Los gases calientes resultantes de la operación de cocción se emiten a la atmósfera por dos focos emisores. Por una parte los humos procedentes de la zona de precalentamiento y cocción, se emiten al exterior por una chimenea que se encuentra a la entrada del horno y los humos de la zona de enfriamiento se emiten por una chimenea que se encuentra a la salida del horno.

Los humos procedentes del proceso de precalentamiento y cocción se componen principalmente de sustancias procedentes de la combustión y compuestos gaseosos de carácter contaminante procedentes de la descomposición de las materias primas y partículas de polvo en suspensión. En cuanto a los humos de la etapa de enfriamiento se trata de aire caliente, pudiendo contener partículas de polvo.

Si la capacidad de producción de baldosas de cerámico es de 2,000 m<sup>2</sup>/día, sólo se requerirá de un secador por atomizado con un volumen de 1,500 litros cúbicos. Después de este proceso, el contenido de agua de la masa de arcilla es reducido entre 35 y 40%.

La masa es conservada en un depósito de almacenamiento por unos pocos días, así su composición se hará más homogénea al asentarse y no decantar ya que es una masa no líquida. Este proceso hace que la arcilla sea más flexible y menos propensa a fijarse en el molde, a pesar de colocar películas contra esa fijación.

El tamaño del depósito de almacenamiento estará en función de la capacidad de producción de la planta. Generalmente, el tamaño del depósito de almacenamiento más adecuado es el de una capacidad de 90-150 toneladas de masa.

### ***Optimización del proceso de secado.***

Lo que se pretende con esta operación es lograr el secado de las piezas con el *mínimo consumo térmico y eléctrico, en el mínimo tiempo y sin que se produzcan roturas*. Si se seca una pieza a temperatura ambiente, la evaporación del agua producirá un ligero descenso de temperatura en la superficie. Al descender la temperatura, la energía de enlace será mayor en



la superficie que en el interior, lo cual dará lugar a un desplazamiento o flujo del agua hacia la superficie de la pieza, facilitando el proceso.

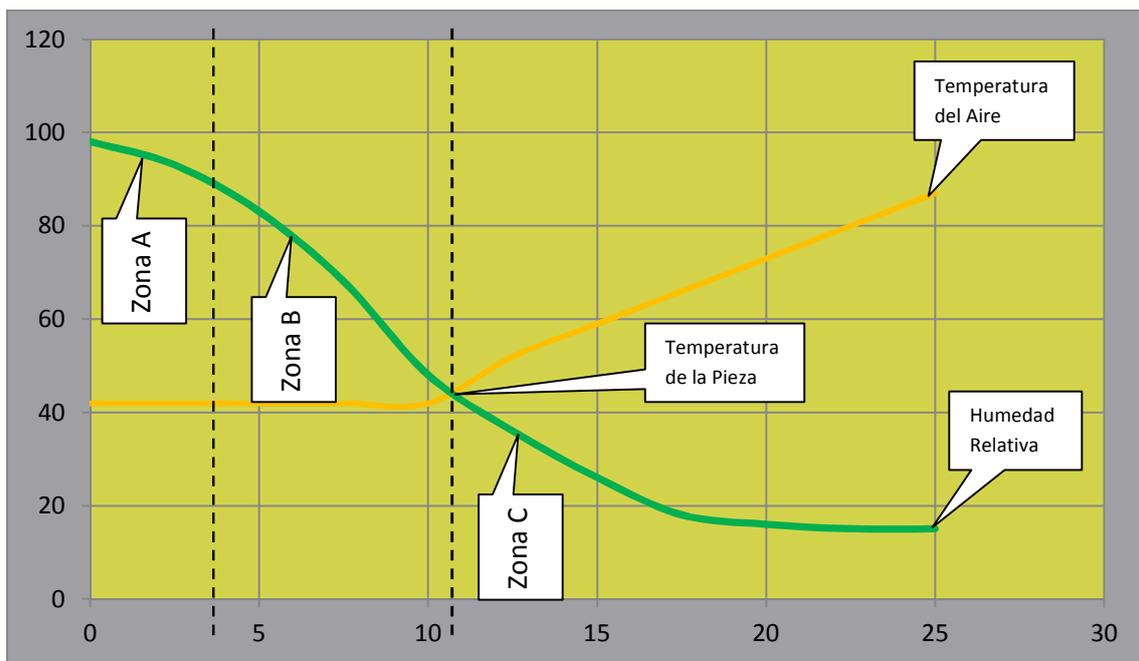
Si en lugar de secarse a temperatura ambiente, la pieza fría se introduce en un secadero caliente, la superficie se calentará antes que el interior, con lo cual el flujo del agua irá de la superficie al interior, acrecentándose las diferencias de humedad que durante el secado tienen lugar entre dichas zonas de las piezas.

Para evitar este fenómeno, el secado no debe comenzar hasta que toda la pieza haya alcanzado la misma temperatura, cosa que sucede pasados pocos minutos. Esto se consigue manteniendo una humedad relativa alta dentro del secadero, muy próxima al punto de rocío, pero manteniendo el ambiente a la máxima temperatura, para calentar el material.

Una vez igualadas las temperaturas, aunque sea muy pequeña la cantidad de agua evaporada en la superficie, se producirá un ligero descenso de la temperatura en dicho punto, dando lugar al flujo correcto.

Una vez conocidos los parámetros básicos de la arcilla, como son el porcentaje de humedad de moldeo, la humedad de contracción o humedad crítica, la humedad de porosidad, etc, se divide el ciclo de secado en tres zonas(A, B y C), tal como se expresa en la figura de abajo.

La duración de estas zonas se determina experimentalmente.



	% H <sub>2</sub> O de la Pieza	Tiempo de Secado
<b>Zona A</b>	Va desde el 100 hasta el 94 %	Desde la entrada al horno hasta 2.5 h.
<b>Zona B</b>	Va desde el 94 hasta el 55 %	Desde la entrada al horno hasta 2.5 h.
<b>Zona C</b>	Va desde el 55 hasta el 15 %	Desde la entrada al horno hasta 2.5 h.



### 1.- Calentamiento de la pieza (Zona A).

En el ejemplo de la figura anterior, a la zona A le hemos dado a priori una duración de 2.5 horas, que es el tiempo que se considera necesario para **el calentamiento del material**. Durante esta fase la alta humedad relativa del secadero (alrededor del 95 %) evita el secado de la pieza. Incluso la humedad condensada sobre las superficies frías puede dar lugar a un ligero incremento del contenido de agua de la pieza, tal como puede verse en la curva.

Si hay mucha diferencia entre la temperatura del material al entrar al secadero y la temperatura de salida de los gases en chimenea, puede generarse una condensación excesiva, mojándose la pieza. Lo ideal es que la temperatura de la pieza al entrar al secadero coincida con la temperatura de saturación de los gases en la zona de entrada.

Para lograr esto, lo recomendable es trabajar con vapor en la amasadora de la extrusora y si esto no es posible por el alto contenido de humedad de la arcilla, disponer de un precalentador o presecadero.

Esto es muy útil en invierno, cuando el tiempo es frío y la temperatura del producto está muy por debajo de la temperatura de los gases que salen del secadero.

Además del problema de la condensación, sacar el aire del secadero a menor temperatura implica trabajar con caudales mayores de aire y disminuye la eficiencia térmica de la instalación, de tal manera que lo importante es no permitir que en el pre-secadero no se produzca secado, para evitar la posible generación de fisuras.

### 2.- Eliminación del agua de contracción o crítica.

El secado propiamente dicho comienza en la zona B. En esta zona el peligro de roturas es máximo ya que en ella tiene lugar **la contracción de la pieza** y son las diferencias de contracción las que dan lugar a tensiones y roturas en el material seco. Es preciso lograr una gran uniformidad de secado, lo cual se consigue estableciendo una buena recirculación de aire a través de la pieza.

De la uniformidad de ventilación a través de la pieza dependerá la velocidad a la que se pueda llevar a cabo el secado en esta zona. La velocidad a la que realmente se produce el secado viene determinada por la humedad relativa del aire, por lo tanto el secadero debe disponer en la zona B de sondas de humedad relativa. La diferencia de humedad relativa entre la sonda colocada al comienzo y la situada al final de la zona B nos da la velocidad con la que realmente se producirá el secado. Las piezas tienen una velocidad límite de secado, la que si se sobrepasa, produce roturas. Y la velocidad límite depende de la naturaleza de las arcillas y de los procesos previos antes de entrar al secadero.

Las condiciones del interior del secadero deberán regularse para que acompañen la curva de secado de las piezas, a la máxima velocidad de secado admisible.

Es imprescindible una óptima agitación del aire en cada sección transversal del secadero, para evitar que haya demoras en el secado de las piezas de determinados lugares, por falta de



circulación del aire. El retraso del secado de las piezas de un determinado sector, se hace a costa de la aceleración del secado en otro sector, con lo cual en ambos se generan fisuras a la corta o a la larga.

Respecto a las velocidades del aire de secado, se puede decir que la velocidad de secado se duplica por cada 1.2 m/seg que aumenta la velocidad del aire, pero hasta cierto límite a partir del cual la velocidad de secado se mantiene constante.

La presión del aire no es un factor que influya para el secado, aunque si la presión interna es muy alta, se generan fugas del secadero con una consecuente pérdida de rendimiento térmico. Si por el contrario la presión es negativa en exceso, se producen entradas de aire frío que pueden inducir fisuras u otros inconvenientes similares.

### **3.- Eliminación del agua de porosidad.**

El paso de la zona B a la C tiene lugar en el momento en que la pieza ha alcanzado el punto crítico, muy próximo al final de la contracción.

Al no producirse contracciones en la pieza, se pueden forzar las condiciones de secado elevando la temperatura y reduciendo la humedad relativa del aire, y en esta zona el agente principal del secado es el efecto de la temperatura, dejando de ser la velocidad del aire el factor principal en la velocidad de secado. Aunque, para lograr una buena transferencia térmica uniforme, sigue siendo factor importante la velocidad del aire.

En esta etapa el factor determinante del secado es lograr la separación de las moléculas de agua unidas por fuertes uniones eléctricas a las partículas de arcilla. Esta separación se logra básicamente por la temperatura.

La duración de esta etapa depende del tiempo necesario para que el contenido de humedad de la pieza se sitúe entre el 2 y 3 %. Si después está prevista una cocción rápida, dicho porcentaje debe ser inferior al 1 %.

### ***Rehidratación.***

Un fenómeno muy importante que guarda estrecha relación con la humedad de equilibrio es la rehidratación del material seco. Esto ocurre generalmente cuando el material que sale del secadero queda expuesto a las condiciones ambientales. Al descender la temperatura, aumenta la energía del enlace arcilla - agua y por lo tanto la humedad de equilibrio se desplaza hacia valores más altos, iniciándose un proceso de reabsorción de agua del medio ambiente.

En la figura de la página 68, se puede observar el desarrollo de la rehidratación que tiene lugar en distintas arcillas, cuando después de haberlas secado totalmente, quedan expuestas a la acción de una atmósfera cargada de humedad cuando el sistema está a temperatura ambiente.

La rehidratación es muy rápida durante los dos primeros días después de la cocción, en los cuales la pieza puede absorber entre el 50 y 60% de la humedad de equilibrio en las condiciones antes citadas.

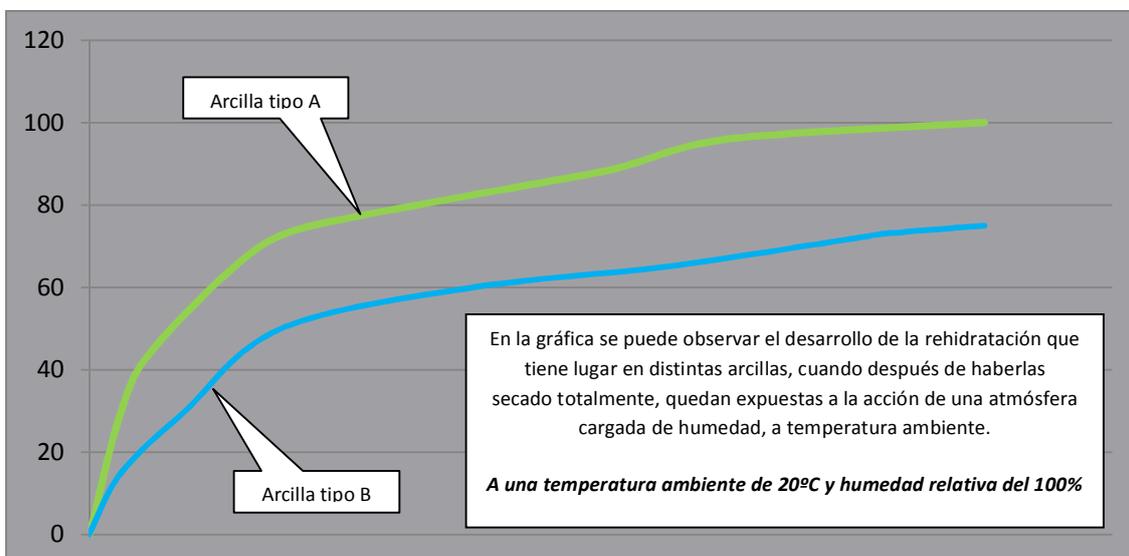


Las moléculas de agua que la arcilla pierde con más dificultad, las más próximas a la superficie de los cristales arcillosos, son las que recupera con mayor rapidez.

El porcentaje final de agua de revenido o de rehidratación después del secado coincide con la humedad de equilibrio en condiciones ambientales y constituye también una información precisa acerca de la naturaleza de la arcilla, riqueza en minerales arcillosos, granulometría, plasticidad, facilidad o dificultad de secado, etc. Conociendo la humedad de equilibrio de las piezas en producción, el ceramista deberá evitar secar por debajo de dicho punto cuando las mismas queden expuestas al aire ambiente por tiempos significativamente largos.

La rehidratación, especialmente en arcillas plásticas de baja porosidad en crudo, no se produce simultáneamente en todo el cuerpo, sino que se inicia en la superficie de la pieza y continúa hacia el interior de la misma.

Esta rehidratación va acompañada de un significativo cambio de volumen de la pieza. Al rehidratarse de manera desigual en el espesor, estos cambios de volumen generan tensiones que llevan a la deformación o incluso a la rotura de la pieza.



### **Contracción.**

Otro parámetro muy significativo a la hora de evaluar el comportamiento de una arcilla durante su secado es la contracción. La contracción de secado constituye un problema importante en la industria de la cerámica roja, ya que son las diferencias de contracción en los cuerpos cerámicos, los que dan lugar a la rotura en las mismas. En una misma arcilla, la contracción de secado aumenta con el porcentaje de humedad de moldeo, tal como se representa en la tabla a continuación:

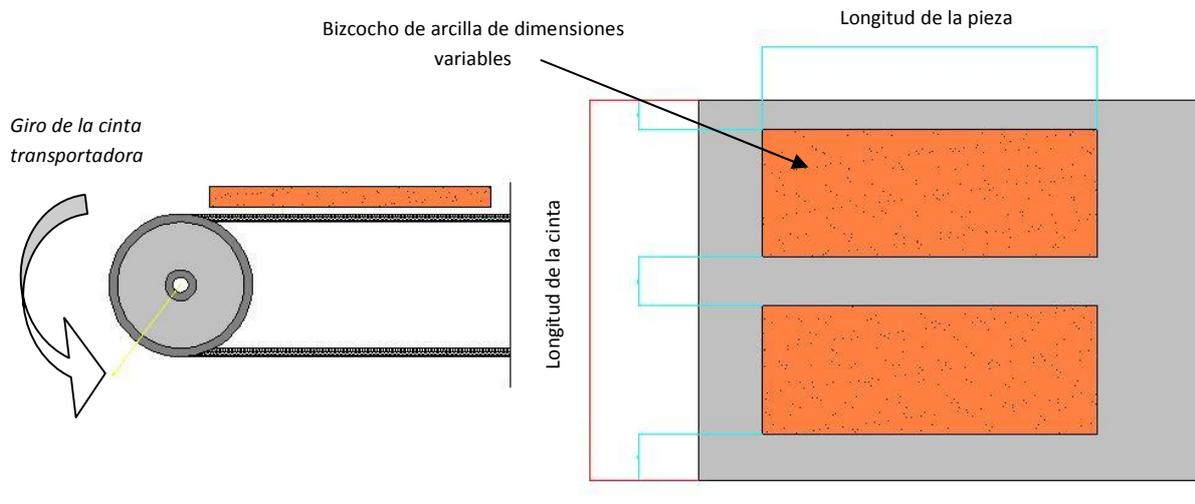
Presión de Extrusión (kgf/cm <sup>2</sup> )	Agua de moldeo (%)	Contracción de secado (%)
7	21.66	8.22
12	18.13	5.74
17	15.75	4.74
22	14.91	3.91



Estos datos nos muestran la relación entre el % de humedad de moldeo, la presión de extrusión y la contracción de secado, de una arcilla utilizada en la fabricación de una baldosa cerámica.

### 5.3.3.- Cintas transportadoras

Para mover las distintas piezas dentro de la planta se usarán cintas transportadoras, tal y cómo se ve en la figura, serán de tipo plano con un ancho útil que deberá ser de 60 cm de tal manera que según el tipo de piezas a (dimensiones) producir podremos hacer diversas configuraciones dependiendo de la cantidad a producir, además de aumentan la capacidad de transporte de las piezas en la factoría, e irán desde los distintos puntos de trabajo dentro de la cadena de producción.



La banda, que es el elemento esencial, el que transmite el movimiento al producto. Normalmente están hechas con un tejido base de poliéster/nylon (EP), nylon (NN), algodón, PVC o acero, cubierto con goma sintética. Tejido y cubiertas deben escogerse en base a la resistencia a la tracción, a los cortes, a los aceites y al fuego.

En nuestro caso la denominación de la cinta es *EP 200* significa tensión de trabajo de 200 N/mm/capa para una banda de poliéster y nylon, las cuales tendrán 5 capas con una resistencia total de 1000 N/mm de ancho.

En nuestra producción se usará la una cinta específica para este tipo de productos (de carga/peso ligero), la cual tendrá un armazón sintético flexible con capas de alta fuerza y tiene una superficie de alta resistencia a la abrasión, moldeada en un diseño diagonal de costillas con un coeficiente de fricción extraordinariamente alto para transportar artículos empacados y embolsados en los inclinados mas empinados.



#### 5.3.4.- Sistema de extrusión

En nuestra producción se realizará por extrusión directa con empuje hidráulico, de tipo prensa empuje-directo de aceite.

Este tipo de prensa de empuje-directo de aceite son las más comunes porque son fiables y robustas. Estas pueden producir sobre 5000 psi (34,5 MPa). Suple una presión constante a lo largo de toda la barra. La desventaja es que son lentas, entre 2 y 8 ips (51 a 203 mm/s).

Empuje por acumulador de agua son más caras y más grandes que la prensa de empuje directo de aceite, esta pierde sobre el 10% de su presión sobre el golpe, pero son más rápidas, sobre los 15 ips (381 mm/s). Por esto son usadas en la extrusión del acero. También son usadas en materiales que tienen que ser calentados a altas temperaturas por razones de seguridad, decir para evitar roturas o fisuras del producto.

Las prensas de extrusión hidrostática usualmente usan aceite ricino con presiones por encima de 200 ksi (1380 MPa). El aceite de ricino es usado por su buena lubricación y sus buenas propiedades cuando se trabaja a altas presiones.

Dichos equipos que se utilizan constan de tres partes principales: el sistema propulsor, la matriz y la cortadora. El sistema propulsor más habitual es el sistema de hélice, la cual generará la presión a la salida del molde a fin de conseguir las dimensiones específicas de cada tipo de producción, variando las dimensiones en alto y ancho en la salida del molde.

La producción será continua, de tal manera que se necesitará una cortadora para poder obtener la longitud de la pieza en función de la partida establecida, tal y como se ve en el diagrama.

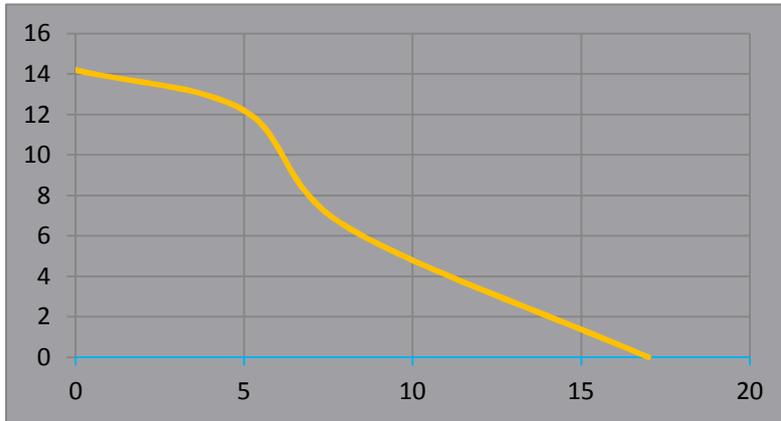
En función del tamaño de la pieza podremos sacar de una extrusión un mayor número de piezas. Podemos comentar que se puede obtener en una extrusión cómo media unas 20 piezas de un tamaño de 30 x 30 cm.

Las presiones que se alcanzan en este tipo de industria varían desde los 4 MPa para productos de porcelana hasta los 15 MPa para algunos materiales plastificados con productos orgánicos. La capacidad de producción varía en función del tamaño de la pieza a fabricar, aproximándose a las 100 t/h para piezas de gran tamaño y grosor.

La velocidad de extrusión medida en términos de la velocidad de salida del material de la máquina, también varía ampliamente y estará controlada por la velocidad de corte y del sistema de transporte. Una velocidad de  $1 \text{ m/minuto}$  es común en la extrusión de piezas de gran tamaño, que estará en los parámetros estándar antes comentados.



Durante la extrusión, la fuerza motriz producida por el tornillo o el pistón debe de exceder la fuerza resistente del material plástico y la fricción con las paredes. La presión causante del flujo es más alta en la camisa de la maquina y disminuye a lo largo del eje de la máquina de extrusión tal y como se muestra en la figura siguiente:



Perfil de la presión axial media calculada durante la extrusión y caída de presión en la camisa, en la entrada del dado y en el dado de sección transversal constante.

De tal manera que la posición variará Flujo laminar dentro del propio material a extruir y el deslizamiento en las paredes. Este tipo de flujo ocurre, en la camisa y en la región de entrada al dado.

### 5.3.5.- Sistema de prensado

El sistema de prensado se basa en una prensa oleodinámica del **tipo PN** (sistema hidráulico con cizalla incluida) que realizan el movimiento del pistón contra la matriz por medio de la compresión de aceite y presentan una serie de características como son:

1. elevada fuerza de compactación gracias al sistema del pistón.
2. alta productividad, ya que se compactan varias piezas de un impacto
3. facilidad de regulación, por la exactitud dimensional de la matriz
4. constancia en el tiempo del ciclo de prensado establecido, lo que facilita la planificación del tiempo de producción.

El pistón regularizará las piezas obtenidas de tal manera que físicamente tengan las mismas dimensiones (en función de la matriz que se coloque) y planeidad necesaria según las especificaciones de la pieza.

La fuerza para conformar las piezas la proporciona un cilindro neumático impulsado por aceite. Este tipo de maquinaria no necesita un gran consumo eléctrico ya que no existen motores ni otros elementos alimentados por corriente eléctrica, las únicas necesidades de energía serán las neumáticas, siendo suficiente con un compresor capaz de suministrar 200 litros por minuto de mezcla aire seco/aceite y filtrado a una presión de 10 bar.

Características técnicas de la maquina elegida:

Modelo	Dimensiones de la pieza	Producción por min	Dimensiones exteriores	Dimensiones del plato	Carrera
<b>PN - 3000</b>	<b>10 x 10 x 3</b>	<b>200 – 250</b>	<b>60 x 160 x 60</b>	<b>300 x 300</b>	<b>200</b>



Podemos tener las siguientes opciones:

### **Máquina de moldeado**

Después de almacenada, la arcilla es transportada a una máquina de moldeado que forma el bizcocho de arcilla. Sólo se requiere de una máquina, la cual es montada con un equipo de cuatro piezas separadas, con una capacidad de producción de 2,000 m<sup>2</sup>/día de baldosas.

#### ⇒ **Prensado en seco.**

El procedimiento predominante de conformación de las piezas pieza es el prensado en seco (5-7% de humedad), mediante el uso de prensas hidráulicas. Este procedimiento de formación de pieza opera por acción de una compresión mecánica de la pasta en el molde y representa uno de los procedimientos más económicos de la fabricación de productos cerámicos de geometría regular.

#### ⇒ **Extrusión.**

Básicamente el procedimiento de con formación de pieza por extrusión consiste en hacer pasar una columna de pasta, en estado plástico, a través de una matriz que forma una pieza de sección constante.

### 3.3.6.- Sistema de embalaje-transporte

#### ⇒ Embalaje de baldosas

En el caso de baldosas, la superficie de cada losa / azulejo está protegido mediante el uso de un paño de papel de gran espesor o de 2 mm de espuma mientras estrechamente apilados en un cajón de madera para que sirva de amortiguación. Esto protege la superficie pulida de las piedras de rascarse debido a la abrasión de las partículas de polvo entre dos baldosas y así evitar rayados.

#### ⇒ Envasado de los azulejos más delgados

En el caso de cuadros (baldosas de gran superficie y poco espesor) de 10mm o 15mm, que son muy delgadas para romper, 6-10 de esas baldosas son los primeros en cajas de cartón. Estas cajas son entonces estrechamente apilados en la caja de madera. Cajas de cartón dar una amortiguación adicional a los cuadros y evitar que se rompan, incluso dichas baldosas son envasadas en espuma de poliestireno (thermocol) cajas y luego estrechamente apilados en una caja de madera.



#### 5.4.- Estudio energético.

Según el artículo 15 de la CTE-DB-HE las exigencias básicas de ahorro de energía son:

1. El objetivo del requisito básico "Ahorro de energía" consiste en conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo a límites sostenibles su consumo y conseguir asimismo que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovable, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento.
2. Para satisfacer este objetivo, los edificios se proyectarán, construirán, utilizarán y mantendrán de forma que se cumplan las exigencias básicas que se establecen en los apartados siguientes.
3. El Documento Básico "DB HE Ahorro de energía" especifica parámetros objetivos y procedimientos cuyo cumplimiento asegura la satisfacción de las exigencias básicas y la superación de los niveles mínimos de calidad propios del requisito básico de ahorro de energía.

Aunque según el ámbito de aplicación de dicha reglamentación **NO APLICA** a éste tipo de construcciones.

##### 5.4.1.- Condiciones energéticas básicas:

- I. Potencia eléctrica necesaria: 500 / 650 Mw.  
Es necesario instalar un generador de 100 KVA para las operaciones continuas de la planta, en caso de una emergencia, cuando la alimentación de la acometida eléctrica este fuera de servicio.
- II. Gas natural podría ser utilizado si está disponible. Si no se dispone de gas natural, será necesario instalar una estación de bombeo y inyección de gas líquido. La planta de producción de 2,000-2800 m<sup>2</sup>/día de baldosas utilizará tres ton/día de gas líquido.
- III. Consumo de agua: 30-40 KL/día.
- IV. Se deberá reutilizar en la medida de lo posible la energía acumulada en los fluidos de la instalación así como vapor, aire a alta temperatura, etc...

##### 5.4.1.1.- HORNO:

La energía calorífica utilizada para alimentar un horno puede ser obtenida directamente por combustión (leña, gas u otro comburente), radiación (luz solar), o indirectamente por medio de electricidad (horno eléctrico), que es nuestro caso.

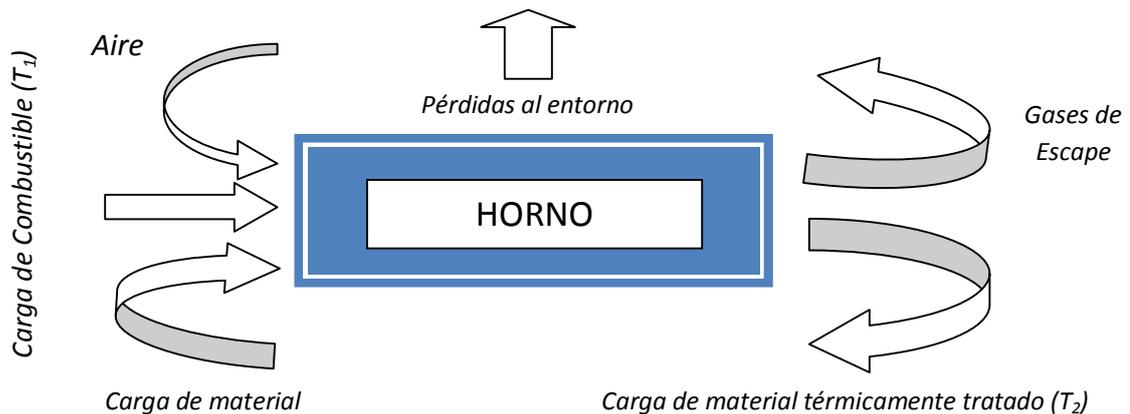
Cómo dato técnico podemos decir que para una carga de entre 150 a 180 toneladas métricas se usan aproximadamente **40 MW**.



El rendimiento energético de un horno se define como el cociente entre el incremento de entalpia experimentado por la carga durante el calentamiento para obtener las transformaciones fisicoquímicas y el combustible introducido por su poder calorífico. Los valores permanecen en rangos del 20 al 50 % . Tan bajos valores se deben a que el objetivo del horno es un elemento que sirve para dar el tratamiento térmico que la pieza necesita.

Incluso deberíamos buscar un mayor aprovechamiento, tras la fase de calentamiento, la carga se someten a fases de mantenimiento de temperatura, enfriamiento o en general un ciclo térmico, donde si es interesante hablar de rendimiento energético.

$$\eta = \frac{M_{carga} * C_{pcarga} * (T_{salida} - T_{entrada})}{M_f * H_p}$$



Los porcentajes de la energía útil en un horno de tipo intermitente son:

Energía útil a la carga	$q_u = 50\%$
Energía a los contenedores	$q_{ct} = 20\%$
Pérdidas por las paredes	$q_p = 26,8\%$
Perdidas por radiación en desplazamiento	$q_r = 2\%$
Perdidas adicionales	$q_{in} = 1,2\%$
Consumo total	$ct = 100\%$

- ⇒ Calor de vaporización de los líquidos que se introduzcan en el horno por requerimientos del proceso y de la posterior disociación del líquido en componentes químicos más elementales.
- ⇒ Calor de vaporización del agua o líquido arrastrado por las piezas de un proceso anterior.

### AISLAMIENTO

Las condiciones básicas de aislamiento deberán ser:



- I. Utilizar un buen material aislante, adecuado a las condiciones de operación que evite en gran medida las pérdidas de calor a través de las paredes del horno por conducción térmica y que no se deteriore con los ciclos de calor.
- II. Usar materiales de baja inercia térmica porque garantizan menores pérdidas del calor almacenado en el revestimiento.
- III. Reducir al máximo posible el número de aperturas del horno y mantener abiertas las puertas el menor tiempo posible en las operaciones de carga y descarga.
- IV. Operar con una ligera presión positiva cuando sea posible, para evitar infiltraciones de aire exterior.
- V. Comprobar periódicamente su buen estado para evitar pérdidas innecesarias

#### BALANCE ENERGÉTICO EN FUNCIONAMIENTO REAL

El balance energético en los hornos continuos interviene la producción en kg/h o en t/h, mientras que en los intermitentes es más importante la carga introducida en cada operación en kg o en t, en nuestro caso tendremos calculo de carga en toneladas ya que los hornos serán de tipo discontinuos.

El balance energético en funcionamiento estable (producción nominal del horno sin variar las condiciones de trabajo) es aplicable a unos periodos no muy extendidos en el tiempo, ya que en su funcionamiento real es frecuente:

- ⇒ Un cambio en las condiciones del proceso, sobre todo en las distintas partidas de piezas producidas.
- ⇒ Operar con diferentes cargas o producciones de trabajo.
- ⇒ Adaptación a nuevos productos con nuevos ciclos de calor a distintas temperaturas y tiempos de producción.
- ⇒ Realizar paradas por modificaciones en los procesos posteriores al horno, exigencias de mantenimiento, paradas en las que el horno se desconecta o se mantiene a temperaturas reducidas por debajo de la de producción, etc.

Un cambio de los parámetros de funcionamiento del horno puede suponer un considerable aumento de la energía consumida. Si es preciso elevar las temperaturas de regulación de las distintas zonas que componen el horno, es necesario, por una parte calentar el horno a las mayores temperaturas, lo que requiere energía, y además parar la producción del horno hasta que se alcance el nuevo régimen, lo que da lugar a *pérdidas de calor sin producción*. La energía requerida para calentar el horno y las pérdidas de calor, durante el tiempo de calentamiento sin producción, pueden elevar considerablemente el consumo medio.

Si el horno va a operar a un régimen de temperaturas inferior al anterior, es preciso destinar un tiempo de enfriamiento sin producción, durante el que las pérdidas de calor se mantienen prácticamente constantes y que deberán tenerse en cuenta en el balance energético correspondiente.

Los hornos eléctricos tienen grandes ventajas, siendo las más destacadas las siguientes:



- Pueden obtenerse temperaturas muy elevadas (hasta de 1500°C), condición que en nuestro caso no será necesaria ya que las piezas cerámicas necesitan una temperatura mucho menor para su cocción/secado.
- Puede controlarse la velocidad de elevación de temperatura, y mantener esta entre límites muy precisos, con regulaciones completamente automáticas. De tal modo que se puede reducir el personal en esta parte de la producción.
- La carga queda por completo libre de contaminación del gas combustible además de reducir mucho las pérdidas de calor ya que las paredes tienen un aislamiento térmico excelente, y tienen mayor duración los revestimientos que en los demás tipos de hornos
- Puede controlarse perfectamente la atmósfera en contacto con el producto, haciéndola oxidante o reductora a voluntad, e incluso en algún tipo de horno puede operarse en vacío.



#### 5.4.1.2.- SECADERO

La eficiencia energética de un secadero refleja la relación entre el calor que es necesario aportar para conseguir la eliminación de agua contenida en la pieza y el calor liberado por el combustible consumido, ahí que en la ecuación del rendimiento aparecen los incrementos de entalpia de la carga seca, del agua eliminada y la entalpia de formación de ésta.

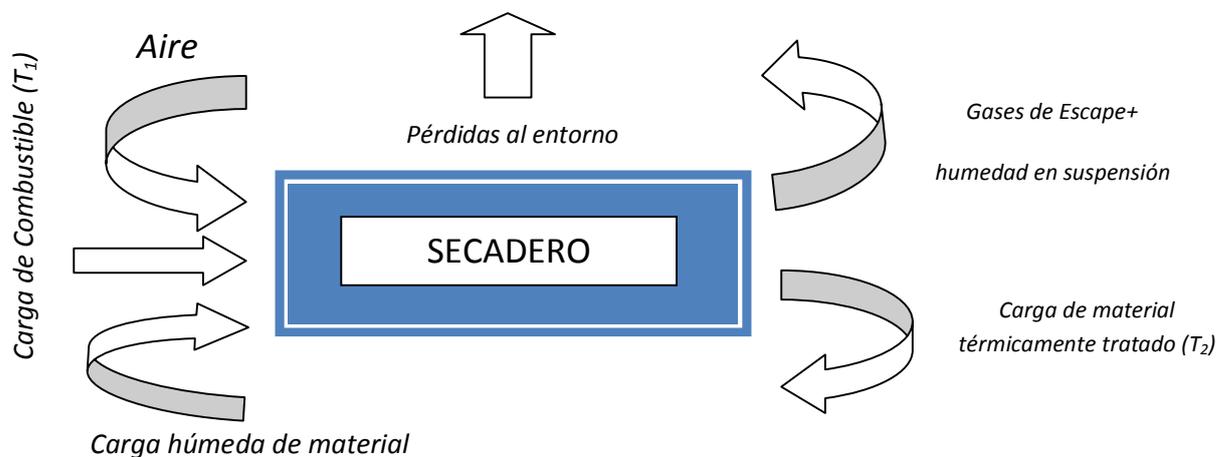
Los valores del rendimiento son notablemente bajos (aproximadamente menores del 25%) ya que al igual que el horno, este dispositivo se usa para un tratamiento térmico (en este caso hablamos del adecuado secado y la velocidad de secado adecuada).

Es indispensable **minimizar las pérdidas tanto a través de las paredes y del techo** del secadero para tener la mayor eficiencia en el proceso de secado, tanto en el propio proceso propiamente dicho como en la recirculación del aire caliente de salida que se usará para .

Pero aún así sería bueno buscar un sistema de aprovechamiento térmico para mejorar los rendimientos, tales cómo:

- I. Recirculación de los gases de escape, aunque no se puede hacer de manera directa al mismo dispositivo, ya que éstos gases llevan incluido humedad (agua en suspensión) que es lo que buscamos eliminar.
- II. Buscar un precalentamiento de los gases de entrada (aire de entrada) usando parte de la energía térmica de los gases de escape (intercambiador gas –gas).

$$\eta = \frac{M_{cs} * C_{pcs} * (T_s - T_e) + M_{aret} * [C_{p\text{agua}} * (T_{eb} - T_1) + H_v]}{M_f * H_p}$$



$$\dot{m}_{\text{Carga húmeda}} = \dot{m}_{\text{carga seca}} + \dot{m}_{\text{Agua retenida}}$$

Respecto al funcionamiento de los intercambiadores en la realidad pueden destacarse los siguientes:



- Existencia de pérdidas hacia los alrededores. Esto modifica el planteamiento termodinámico, pudiendo afectar a la distribución de temperaturas de los fluidos y a la eficacia del intercambiador.
- Acumulación de depósitos en las paredes a través de las que se intercambia calor. Ello tiene como consecuencia una variación en el coeficiente global de transmisión de calor e incluso en la disposición geométrica del intercambiador.
- Transmisión de calor por conducción a lo largo de la pared del intercambiador, desde las zonas calientes hasta las frías. Este fenómeno tiende a uniformizar la distribución de temperaturas en el metal, distorsionando los perfiles de temperaturas, y reduciendo la eficacia. Tal y cómo se ven en los diagramas de un intercambiador a contracorriente, cómo es el de la instalación que estamos estudiando.

#### RECONVERSION EN EL PROCESO DE SECADO

1. **Modificación de la forma de secado.** Se trata de, en cada caso, buscar el tipo de secadero con consumo energético mínimo, y realizar un estudio económico para valorar la sustitución de éste por el actual.

2. **Modificación de las condiciones de funcionamiento del secadero.** Incluye varias medidas de ahorro:

- Calentar al máximo posible el aire o los gases de secado, siempre evitando una temperatura donde la masa de arcilla se seque demasiado rápido o en su defecto, demasiado lento.
- Saturar de humedad al máximo el aire o los gases de salida, a fin de que la atmosfera interior del secadero esté "lo más seca posible" y con la menor cantidad de agua posible.
- Utilizar los calores sensible y latente de los vahos de salida para precalentar el aire comburente, con un intercambiador de calor tal y como veremos en el siguiente punto. Además de recuperar el calor residual sensible del producto secado
- Hacer un pre-secado del producto, en el estado previo al secado con corrientes naturales o forzadas de aire atmosférico a temperatura no superior a 40º.
- Recuperar otros calores residuales de la fábrica para calentamiento del aire de entrada al secadero (tales como utilizar gases de calderas u hornos además de reutilizar gases de escape de máquinas térmicas en el pre-secado o en el secado...), con un intercambiador de calor de contracorriente.

3. **Mínimo secado posible.** Se debe entender este punto en dos aspectos diferentes:

Secar el mínimo posible en términos absolutos. Esto implica que no hay que reducir la humedad del producto por debajo del contenido en humedad de equilibrio con el ambiente en el que se va a dejar posteriormente, ya que recuperaría nuevamente parte de la humedad perdida, cosa que hemos de evitar para optimizar al máximo la producción.



Secar el mínimo posible en secadero, lo cual implica que el producto debe secarse por otros medios antes de introducirlo en el secadero. Para ello se deben evitar humedecimientos previos de cualquier tipo, y en el caso de productos agrícolas, deben recolectarse los productos cuando están lo más secos posible. No es nuestro caso.

#### 5.4.1.3.- INTERCAMBIADOR DE CALOR:

Tomando la definición de la enciclopedia universal, podemos decir que un *intercambiador de calor* es un dispositivo diseñado para transferir calor/energía entre dos medios físicos, que estén separados por una barrera o que se encuentren en contacto.

Este dispositivo será muy útil ya que con muchos productos no es posible funcionar con temperaturas altas del aire a la entrada del secadero, o bien porque se deteriorarían los dispositivos o simplemente la producción sería no óptima. En estos casos, la eficiencia térmica se puede incrementar volviendo a calentar parte del aire y recirculándolo a través del secadero, con el consiguiente ahorro energético que esto supone.

Un intercambiador de calor es un dispositivo donde se ponen en contacto 2 fluidos a distintas temperaturas de tal manera que haya un intercambio energético de los mismos, a fin de enfriar o calentar, de tal manera que sea la entalpía intercambiada (Kj/kg) el factor a estudiar para ver la eficiencia, además dependerá de cómo es el intercambio (flujo equi-corriente o contracorriente). Cómo los fluidos en contacto están en contacto directamente, las pérdidas térmicas son muy pequeñas, de tal manera que la eficiencia es muy alta, aproximadamente del 95%.

$$\eta = \frac{M_{ca} * C_{pa} * (T_3 - T_1)}{M_{cb} * C_{pcb} * (T_2 - T_4)}$$

En la mayoría de los procesos de transmisión de calor se combinan varias formas de transmisión y, en concreto, en casi todo proceso de conducción hay también convección, y viceversa.

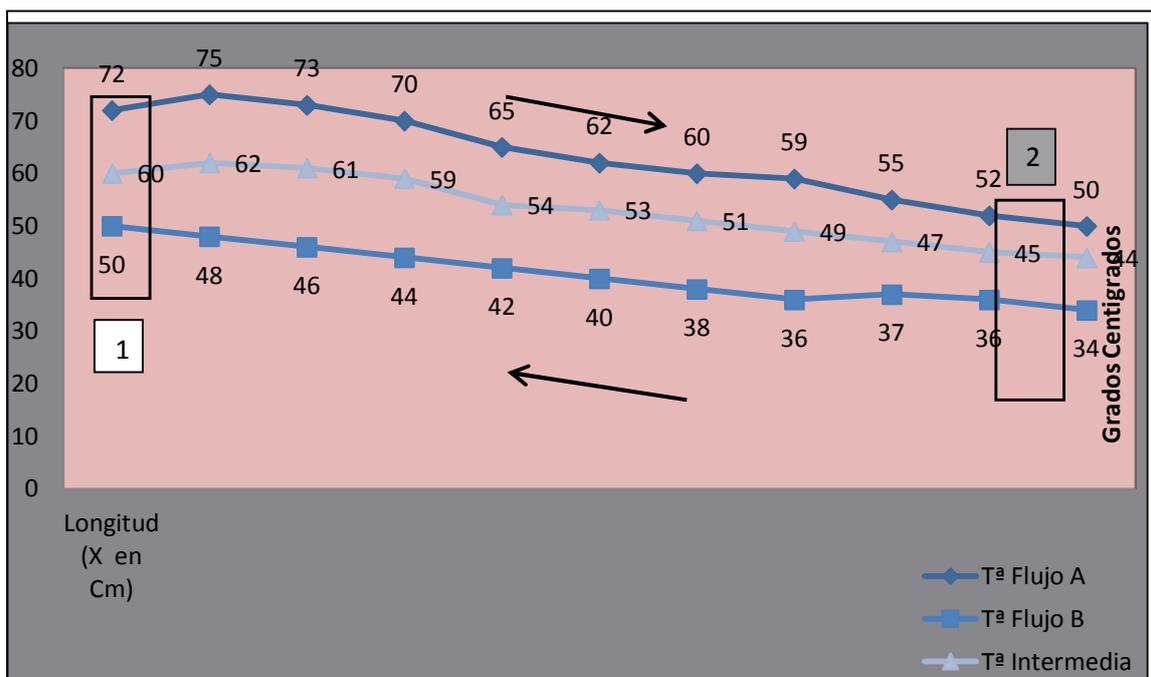
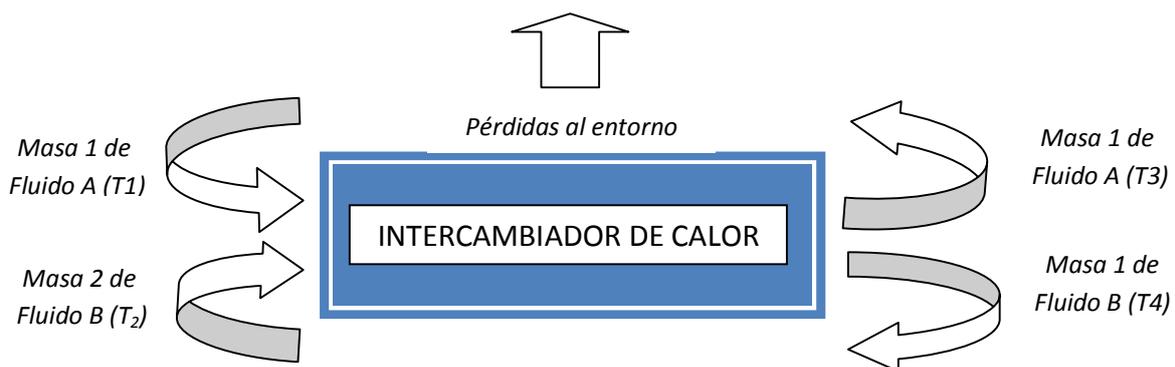
Los intercambiadores de calor son una aplicación en la que la transmisión es siempre una combinación de conducción y convección, y las condiciones de contorno las constituyen generalmente las temperaturas de los fluidos circulantes que intercambian calor. Ello conduce a la necesidad de plantear métodos iterativos, ya que las temperaturas de las paredes en contacto con los fluidos dependen (salvo en contados casos como el de flujo turbulento interno en tuberías) de sus coeficientes de película, y estos a su vez de las temperaturas en la pared. El parámetro más importante en intercambiadores de calor es **su eficacia** (la cual como se ha comentado es del 95 % aproximadamente). Esta se define como el cociente entre el calor intercambiado y el máximo calor que se podría intercambiar. La eficacia es el parámetro más usualmente utilizado al manejar intercambiadores. Sin embargo, con dicha definición, la eficacia podría ser muy reducida incluso en el caso de que un intercambiador no tuviese pérdidas a su entorno.

Por ello es habitual definir otro factor: la disposición es un haz de tubos corrugados realizado en diversos materiales. El haz de tubos se ubica dentro de una carcasa para permitir el



intercambio con el fluido térmico a calentar o enfriar. El calentamiento y enfriamiento de gases y líquidos son los ejemplos más habituales de transmisión de calor por convección, producido además el movimiento del fluido de manera natural o forzado artificialmente, se distinguen dos tipos: convección libre y convección forzada. La convección forzada implica el uso de algún medio mecánico, como una bomba o un ventilador, para provocar el movimiento del fluido.

Cómo se ve en el gráfico hay un intercambio de energía entre 2 gases a contracorriente de tal manera que la eficiencia de dicho intercambio será mayor y así tener un uso residual del fluido caliente para incrementar la temperatura del fluido frío, y dicho intercambio será aún mayor cuanto mayor sea la pérdida de calor en las paredes del dispositivo.



1 entrada de A salida de B / 2 entrada de B salida de A



Despreciando las pérdidas de calor al exterior y suponiendo que no hay cambios de fase, un balance térmico en cualquier sección del intercambiador permite calcular la tasa de calor intercambiado, según la siguiente ecuación:

$$d\dot{Q} = -\dot{m}_A * c_{p,B} * dT_A = \dot{m}_B * c_{p,B} * dT_B \rightarrow \dot{m}_A * c_{p,A} * dT_A + \dot{m}_B * c_{p,B} * dT_B = 0$$

En un intercambiador recuperador en equi-corriente:  $\dot{m}_A * c_{p,A} < \dot{m}_B * c_{p,B}$

Por tanto, se deduce que la eficacia de un recuperador no depende de las temperaturas de las corrientes, sino de su relación de capacidades y del número de unidades de transferencia.

Debemos tener en cuenta con que actualmente es fundamental de la gestión energética, y ésta tiene como objetivo sacar el mayor rendimiento posible a las cantidades de energía necesarias.

Dentro de esta idea general, los objetivos a plantearse pueden ser:

- I. Optimizar la calidad de las energías disponibles, en este caso son la energía eléctrica y los combustibles como el gasóleo. No siempre es más idóneo adquirir las energías de mejor calidad. Para cada parte del sistema de producción habrá una calidad de energía óptima y en la cantidad necesaria, sobre todo distinguiendo las partes principales de producción donde los sistemas energéticos han de ser los de mayor eficiencia, mientras que los secundarios pueden tener una menor cantidad de contenido energético.
- II. Mantener e incluso aumentar la producción, reduciendo el consumo de energía. Es necesario demostrar que la producción de los procesos y servicios puede mantenerse, e incluso aumentarse reduciendo el consumo y el coste de energía, para ello debemos de encontrar la maquinaria óptima para el layout estudiado de distribución de la planta, que permita tener más producción.
- III. Conseguir, de modo inmediato, los ahorros que no requieran inversión apreciable. Demostrar que existen importantes posibilidades, tales como apagar las luces cuando no sean necesarias, no usar maquinaria de manera innecesaria y apagarla cuando no sea necesario, intentar re-utilizar el material de exceso de tal manera que se aproveche al máximo el acopio de material, procurar re-circular los flujos energéticos en la medida de lo posible tales como los calores resultantes de las distintas maquinarias haciéndolos pasar por intercambiador o derivándolos a otra maquinaria, usar combustibles de mayor poder energético de tal modo que se use menor cantidad y que tenga una intercambiabilidad útil...
- IV. Lograr los ahorros posibles con inversiones rentables. Demostrar que se pueden acometer importantes mejoras, que se paguen con el ahorro que ellas consiguen.
- V. Demostrar que se puede ahorrar energía, sin necesidad de culpar a ineficiencias o incapacidades de situaciones anteriores. Si no se cuida permanentemente este



aspecto, puede fracasar cualquier plan de ahorro de energía. Para ello es necesario desarrollar un plan eficaz, que no sea estático, si no totalmente dinámico y cambiante cuando periódicamente se comprueben los parámetros y se vea o no que las condiciones establecidas se cumplen o no. Este último objetivo es más bien una actitud permanente que una meta material, pero que puede tener categoría de tal por su extraordinaria importancia.

Para poder alcanzar los objetivos anteriormente establecidos, el sistema de gestión habrá de responder a unas determinadas funciones, que tendrán que implantarse en relación con los servicios de la empresa.

En un sentido amplio pueden ser:

⇒ El aprovisionamiento comprende la elección de:

- fuentes de energía:
  - I. Energía eléctrica para maquinaria (trifásica) y para el resto de usos (bifásica)
  - II. Gasóleo A para maquinaria
  - III. Gas Natural para maquinaria
  
- las negociaciones con los suministradores
  - I. Suministros de Gasóleo en depósito específico en función de la autonomía y del consumo unitario de cada maquinaria
  - II. Suministro por compañía suministradora a nuestra instalación, a precio medio de 0.88€/litro incluido el transporte.
  - III. El suministro eléctrico se realizará enganchando al transformador de la zona del polígono industrial a la instalación, previa colocación de un cuadro de registro a la entrada de la parcela, proporcionado por la propia empresa suministradora.
  - IV. El precio del kilovatio será el establecido por la empresa suministradora, dando reducciones por horas llano (según su periodo horario establecido por la compañía suministradora) siendo el precio de 0,09€/kw.
  - V. Según el B.O.E. indica que el precio de un consumidor industrial, cómo es nuestro caso (entre 5.000 y 50.000 kWh/año), está acogido a la tarifa T.2 de tal modo que el precio es de 4,657 cent de €/ kWh.
  
- el control de los suministros  
Control por entrega por cada suministro de Gasóleo, mientras que la energía eléctrica será por lo la lectura del contador, al igual que el Gas Natural necesario.
  
- almacenamiento  
El almacenamiento de gasóleo se realizará en un tanque específico para ese tipo de producto proporcionado por la empresa suministradora, el volumen de dicho



tanque dependerá de la autonomía que se le requiera y esta va directamente ligada a la cantidad de producción.

Deberá estar construido según los criterios generales del *Reglamento de Instalaciones Petrolíferas y las ITC MI-IP03 y MI-IP04*.

Cómo estimación podemos ver la siguiente estimación:

$$\text{Caudal} \left( \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right) = \frac{\text{Potencia útil} \left( \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} \right)}{\text{PCI} \left( \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}} \right)} * \text{rendimiento} * \text{densidad}$$

Suponiendo:

1. Una potencia útil de 21.500 Kcal/H.
2. Un Poder calorífico inferior de 10.200 Kcal/Kg del Gasóleo A.
3. Un rendimiento del 90 % (perdidas de distribución)
4. Y una densidad de 0,86.

El Caudal será de 1,7 kg/h.

Si buscamos que la autonomía de la instalación sea de 30 días laborables y el uso diario es de 6 horas (estimado), necesitaremos un depósito de *una capacidad mayor de 350 litros*.

El depósito deberá de ser superficie ya que es más fácil la limpieza, el mantenimiento y el retimbrado. Y será necesaria *una bomba* de trasiego del combustible al punto de consumo.

- Distribución

La distribución de la carga de Gasóleo se realiza con un camión cisterna de tal manera que se haga con las condiciones establecidas, la carga del depósito se realizará directamente en el depósito.

⇒ análisis energético: cabe establecer dos tipos de análisis energético, uno de control de consumo y otro de auditoría o diagnóstico. Lo primero que se necesita para establecer un plan de ahorro de energía, es saber que, como y cuanto se consume.

Para ello es necesario implantar un sistema de contabilidad energética que permita conocer los consumos de cada fuente de energía en cada uno de los centros de consumo

Para conocer la situación energética de los diferentes equipos y operaciones básicas, es necesario realizar una auditoría energética en profundidad, que nos permita conocer los



consumos instantáneos, pérdidas por radiación, pérdidas por efluentes, rendimientos energéticos, estado de los quipos y las posibles medidas para mejorarlas.

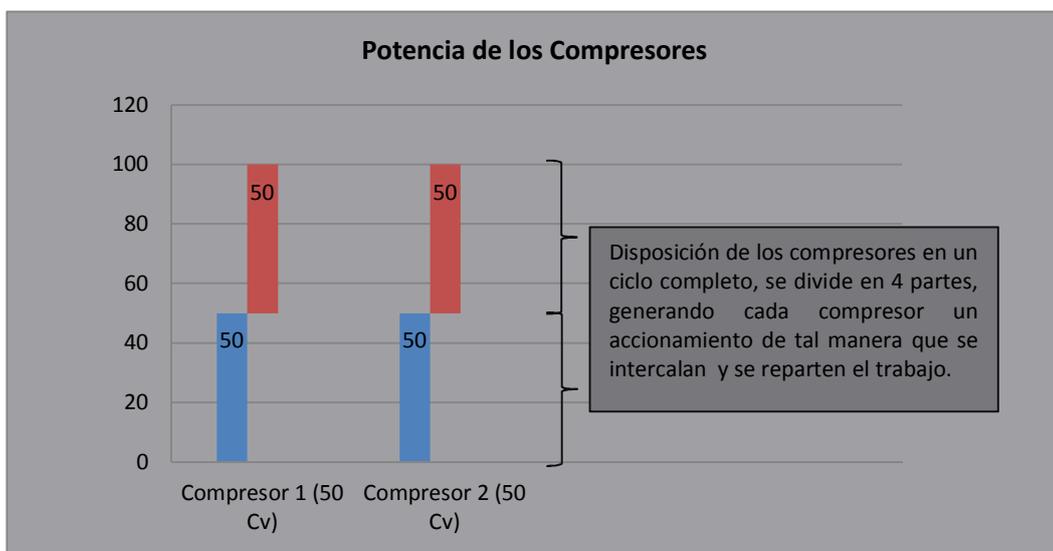
- ⇒ Programa de ahorro de energía: a partir de los datos obtenidos por el análisis anterior, sería posible establecer un amplio plan de ahorro que considere en primer lugar las mejoras que no requieren apreciable inversión: mentalización del personal, mantenimientos de mejoras de operaciones y organización. En segundo lugar, aquellos que necesitan inversiones: modificación de equipos, innovaciones tecnológicas que cambien los procesos y la optimización e integraciones de los mismos.

#### 5.4.1.4.- COMPRESOR:

Por definición sabemos que un compresor es una máquina que necesita de un fluido incompresible como gases y vapores, y sirve para aumentar la presión y desplazarlos. Esto se realiza a través de un intercambio de energía entre la máquina y el fluido en el cual el trabajo ejercido por el compresor es transferido a la sustancia que pasa por él convirtiéndose en energía de flujo, aumentando su presión y energía cinética impulsándola a fluir.

Dicho compresor lo vamos a usar para el movimiento del sistema neumático de accionamiento de la prensa, de tal modo que siempre sea necesaria la misma cantidad de energía, es decir, no va a ser necesario seleccionar la cantidad de carga ya que va a funcionar al 100% en cada accionamiento.

Para nuestro sistema de compresión vamos a usar 2 compresores de la misma potencia, de tal manera que la carga no recaiga sobre un único dispositivo.





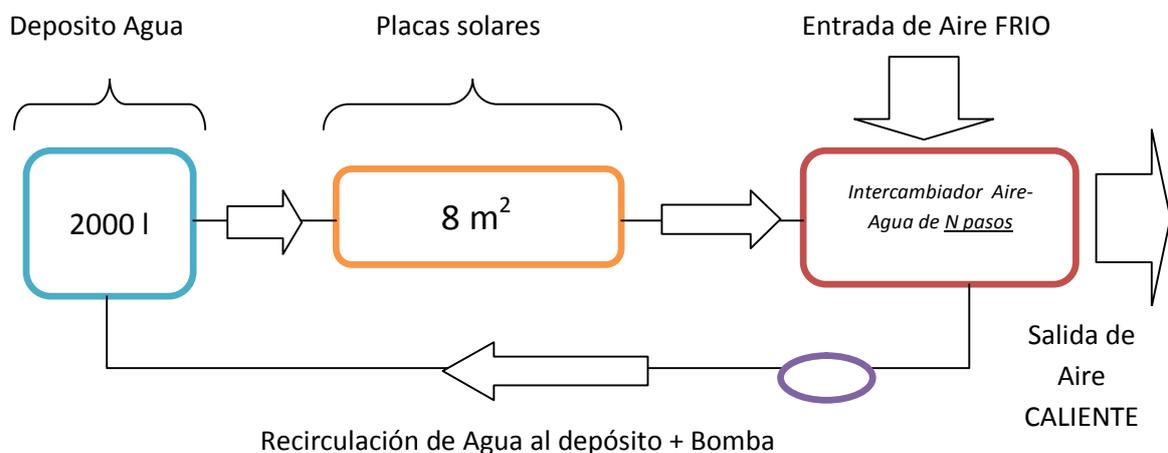
#### 5.4.1.5.- VENTILADOR Y CALENTADOR DE AIRE:

A la entrada del secadero se colocará un calentador y un impulsor de aire de tal manera que el aire de entrada al dispositivo tenga una temperatura alta y usando el impulsor se genera una entrada turbulenta del aire de tal modo que la turbulencia provoca un mayor efecto de secado y con ello una mayor eficacia.

El calentador de aire debe provocar la subida de la temperatura del aire de entrada de tal modo que la entalpia (kj/kg) de aire sube, dando así una mayor carga térmica al aire de entrada, ya que el agua a la salida estará entorno a los 70°C, lo que conlleva 350 kj/kg.

La instalación será un circuito de agua que se calentará por placas solares, provocando la entrada al calentador de aire una serie de tubos de agua a alta temperatura.

La superficie de calentamiento deberá de ser suficiente para calentar todo el flujo de agua necesario que entrará al intercambiador de calor, y con ello los tubos deberán de estar en la mayor proporción posible en contacto con el aire de entrada. Será necesario más de un paso para poder calentar por completo todo el aire de entrada.



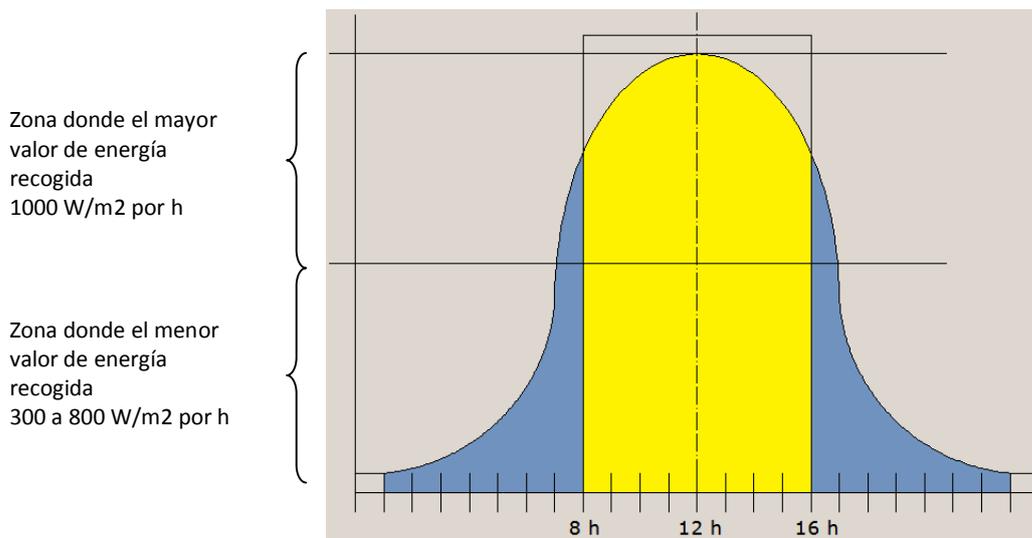
(\*) Para una ampliación del contenido de este apartado, ver el libro "Depuración de los gases de combustión en la Industria Cerámica", elaborado por el Instituto de Tecnología Cerámica, con la colaboración de Gas Natural, Enagas y ASCER. Castellón, 2001.

Y una vez que hemos hablado de energía solar, podemos hacer un pequeño estudio de la viabilidad de dicha energía para producción eléctrica en nuestro sistema de producción.

Primeramente habrá que definir las condiciones de funcionamiento de un módulo fotovoltaico dependen, las cuales dependen de algunas variables externas como la radiación solar y la temperatura de funcionamiento, en nuestro caso serán de media 22°C y una radiación de más de 1000 W/m<sup>2</sup>, con ese fin, para medir y comparar correctamente los diferentes módulos fotovoltaicos, se definen unas condiciones de trabajo nominales o estándar.



Por otro lado, la energía producida por los sistemas fotovoltaicos es el resultado de multiplicar su potencia nominal, por el número de horas pico, las cuales vemos en el gráfico:



La suma total de la energía que produce el Sol durante un día medio en España es del orden de 4 h pico, lo que supone en verano entre 6 h y 8 h dependiendo de la zona y entre 2 h y 4 h durante el invierno según la región. En la comarca de Cartagena tendremos en invierno de media 5 h por día (una media de 3000 horas al año).

La radiación varía según el momento del día, y dicha radiación fluctúa entre un promedio de 1.900 kWh/m al año, en nuestra zona con un clima privilegiado y muchas horas de sol.

Estas variaciones se deben a las condiciones climáticas y a la diferencia con respecto a la posición relativa del sol en el cielo (elevación solar), la cual depende de la latitud de cada lugar (orientación y ángulo de inclinación), en el caso de donde está proyectado edificar la nave industrial no hay ninguna edificación alrededor que nos pueda hacer sombra.

En el caso de una producción de esta tipo, es decir, que necesita un alto consumo de energía eléctrica, no estaría de más además usar las placas electro voltaicas junto con una instalación de condensadores para no depender al 100% de la red eléctrica, e incluso en el caso de que la producción sea muy alta poder vender el exceso y obtener beneficios extraordinarios.

El coste inicial será relativamente alto (aproximadamente 25.000 € para un volumen de tipo industrial), pero el gasto posterior (mantenimiento y coste energético) es prácticamente nulo.



#### 5.4.2.- CONDICIONES MEDIO AMBIENTALES de la planta.

Las Directivas europeas en materia de protección ambiental conceden una creciente importancia a las Mejoras Técnicas Disponibles.

- **MEJOR** supone la consideración de los criterios económicos que hagan compatible la técnica empleada con el proceso productivo.
- **TÉCNICA** tiene una amplia concepción. Incluye las instalaciones, modos de operación, materias primas empleadas y, por supuesto, en aquellos procesos que requieran tratamientos térmicos, la fuente energética empleada.
- **DISPONIBLE** añade el mercado: la mejor técnica, además, debe estar desarrollada, lista y accesible para ser aplicada en el proceso productivo.

En este contexto, se comprende la existencia de un "MEJOR COMBUSTIBLE DISPONIBLE" para cada proceso industrial de producción.

El caso del mejor combustible disponible en la fabricación de baldosas cerámicas tradicionalmente, en la fabricación de baldosas cerámicas se han utilizado dos familias de combustibles: líquidos y gaseosos.

Hasta finales de los años 70 los combustibles utilizados eran líquidos, con dominio del fuelóleo. Las mejoras ambientales derivadas del empleo del gas natural frente al fuelóleo son:

<b>Mejoras ambientales derivadas del uso del gas natural</b>		
<b>DIRECTAS</b> (Directamente relacionadas con el proceso de producción y, por tanto, son particulares de cada sector industrial)	Cambio en la <b>tecnología de secado</b> y cocción de baldosas cerámicas: - Reducción del número y duración de los ciclos necesarios para procesar las baldosas. - Disminución del consumo energético.	Utilización de instalaciones de <b>cogeneración</b> - <b>Disminución del consumo</b> de energía primaria. - <b>Reducción de las emisiones</b> de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )
	<b>INDIRECTAS</b> (Asociadas a la naturaleza del combustible e independientes del proceso industrial)	Reducción de las emisiones de dióxido y monóxido carbono (CO <sub>2</sub> y CO). Reducción de las emisiones de dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )

#### 1) Reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> y CO

La utilización del gas natural permite reducir de forma muy relevante las emisiones a la atmósfera del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el principal gas que contribuye al efecto invernadero, ya que la emisión específica de dióxido de carbono es menor que en los combustibles líquidos (tal y cómo se puede ver en la tabla ).

Proceso de Cocción	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Partículas
Fuelóleo	378	5.990	0.98	0.09
Gas Natural	262	0.08	0.29	0.00
Reducción (%)	30	>99	70	100



Asimismo, el uso de combustibles gaseosos mejora el contacto entre el comburente y el combustible, al tratarse de la misma fase (gas). Por tanto se eliminan prácticamente las emisiones de monóxido de carbono (CO) a la atmósfera.

### **2) Reducción de las emisiones de SO<sub>2</sub>**

La sustitución de los combustibles líquidos por combustibles gaseosos, ha supuesto la reducción de las emisiones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). El gas natural presenta un contenido insignificante de azufre en su composición, por lo que la emisión de SO<sub>2</sub> a la atmósfera con este combustible es prácticamente nula.

### **3) Reducción de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)**

La eliminación de los combustibles líquidos en la industria cerámica y su sustitución por gas natural, disminuye la emisión de los óxidos de nitrógeno a la atmósfera.

La reducción de las emisiones de óxidos de nitrógeno es especialmente interesante, debido a la dificultad de los métodos para su depuración y a la elevada inversión de los sistemas necesarios para la misma.

### **4) Reducción de las partículas en suspensión**

Los humos resultantes de la combustión del gas natural están prácticamente exentos de partículas en suspensión, facilitando así su depuración. La eliminación de estas partículas contribuye a reducir un riesgo para la salud, puesto que su pequeño tamaño las hace fácilmente respirables por el hombre.

Respecto al último punto del uso de paneles fotovoltaicos para la producción de energía eléctrica, cuando dicha producción eléctrica sea aproximadamente de 10.000 kW/h anuales y calculamos cuáles son los Gases de Efecto Invernadero que han dejado de emitirse.

Suponiendo un factor de conversión por cada kWh producido de 0,34 kg de CO<sub>2</sub>, 0,6 g de NO<sub>x</sub> y 0,9 g de SO<sub>2</sub> tendremos aproximadamente un resultado neto de unos 3.400 kg de CO<sub>2</sub>, 6 kg de NO<sub>x</sub> y 9 kg de SO<sub>2</sub> durante el primer año. Pasados 30 años el ahorro de emisiones será aproximadamente un 80% de esta cantidad (3.060 kg de CO<sub>2</sub>, 5,4 kg de NO<sub>x</sub> y 8,1 kg de SO<sub>2</sub>).

Por lo tanto, a lo largo de los treinta años de vida de la instalación el ahorro total de emisiones esperado de CO<sub>2</sub> es de unos 90.000 kg, 160 kg de NO<sub>x</sub> y 240 kg de SO<sub>2</sub>.



## Cambio en la tecnología de secado y cocción de las baldosas cerámicas

En los últimos 30 años se han producido importantes cambios en el proceso de producción de baldosas cerámicas. Hasta finales de los años 70 el proceso de producción más utilizado era el de bi-cocción tradicional. En este proceso se empleaba fuelóleo como combustible y era necesario cocer dos veces el producto. Actualmente el proceso más extendido es el de mono-cocción. La confluencia de una serie de factores hizo posible el empleo del gas natural como combustible y redujo a la mitad el número de cocciones necesarias para el procesado de las baldosas cerámicas.

<i>Factores de cambio de la tecnología de secado y cocción</i>	<i>Ventajas</i>
La disponibilidad de un combustible más limpio (gas natural)	Reduce la masa térmica de los elementos empleados en los hornos. Aumenta la temperatura máxima alcanzable y favorece la transmisión de calor.
La madurez de la tecnología (secaderos verticales, hornos de rodillos -en sustitución de los canales-)	Reduce la masa térmica de los elementos empleados en los hornos.
Mayor conocimiento de las variables producción humedad, ...) y del comportamiento de los materiales (desarrollo formulación de las composiciones de los soportes, etc.)	Facilita la mejora de las operaciones de secado y cocción.

El efecto conjunto de estos factores forjó un cambio en las tecnologías de secado y cocción que revolucionó el proceso de producción:

Mejoras ambientales que aporta el gas natural

<i>EFECTOS DE LAS MEJORAS</i>	
• Reducción drástica de la duración de los ciclos de secado y cocción.	• Reducción del número de ciclos de cocción necesarios para procesar el producto.
• Reducción drástica del consumo energético del proceso.	• Aumento directo de la productividad de las instalaciones por la adopción de la nueva tecnología (mono-cocción frente a la bi-cocción tradicional).

### Posibles mejoras indirectas

Adicionalmente, desde el punto de vista de la depuración de las emisiones gaseosas calientes, la reducción del consumo energético supone una disminución del caudal de gases a tratar, reduciéndose al mismo tiempo las inversiones y los costes derivados de su depuración.

El efecto conjunto de las acciones directas e indirectas, ha provocado una reducción importante de la emisión específica de los principales gases contaminantes a la atmósfera.

La reducción del factor de emisión del combustible (medida directa), junto con la disminución del consumo de energía propiciado por el cambio tecnológico (medida indirecta), han provocado la reducción de la emisión específica de CO<sub>2</sub> y de SO<sub>2</sub>, tal y cómo se ve en las tablas adjuntas al final de la página.

La disminución de los ciclos de cocción reduce las emisiones de aquellas sustancias cuya conversión a fase gas depende del tiempo de permanencia a una temperatura determinada,



como por ejemplo el ácido fluorhídrico (FH). Con el empleo de gas natural se redujo de forma importante la emisión de FH, al disminuirse el número y la duración de los ciclos térmicos.

Proceso de cocción	Nº de cocciones	Duración 1ª cocción (h)	Duración 2ª cocción (h)
<b>Bi-cocción tradicional con fuelóleo</b>	1	30-40	8-11
<b>Mono-cocción con gas natural</b>	1	0	0.6-1

Proceso de cocción	Consumo Energético (Te/m <sup>2</sup> )	% de Reducción
<b>Bi-cocción tradicional con fuelóleo</b>	25 a 45	-
<b>Mono-cocción con gas natural</b>	15 a 25	50 %

Proceso de Cocción	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	FH
<b>Bi-cocción tradicional con fuelóleo</b>	9500 a 17000	150 a 270	3 a 5
<b>Mono-cocción con gas natural</b>	3900 a 6600	1.2 a 1.6 (*)	0.5 a 2.5
<b>Reducción (%)</b>	50	>99	~50

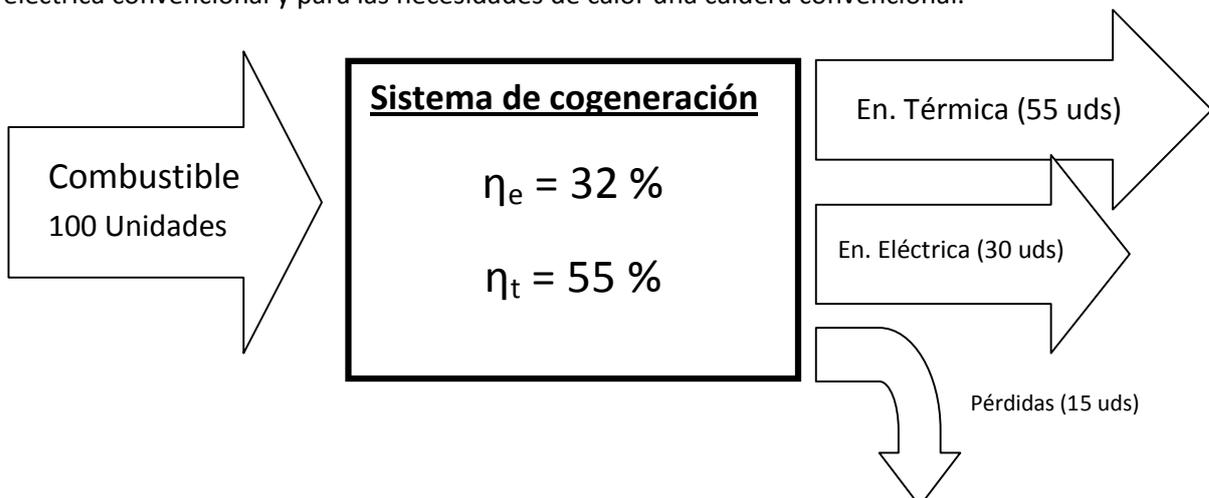
(\*) La emisión de SO<sub>2</sub> está fuertemente influenciada por el tipo de producto que se procesa. En la tabla se indican los valores correspondientes a pasta roja. En pasta blanca el factor de emisión de SO<sub>2</sub> se sitúa entre 2 y 30 g/m<sup>2</sup>.

### Utilización de sistemas de cogeneración eléctrica

Como hemos venido haciendo todo el documento, primeramente se definirá que es un sistema de cogeneración.

La cogeneración, según la enciclopedia universal, es el procedimiento mediante el cual se obtiene simultáneamente energía eléctrica y energía térmica útil (vapor, agua caliente sanitaria). Si además se produce frío (hielo, agua fría, aire frío, por ejemplo) se llama *trigeneración*.

La ventaja de la cogeneración es su *mayor eficiencia energética* ya que se aprovecha tanto el calor como la energía mecánica o eléctrica de un único proceso, en vez de utilizar una central eléctrica convencional y para las necesidades de calor una caldera convencional.





Otra ventaja, y no pequeña, es que al producir la electricidad cerca del punto de consumo, se evitan cambios de tensión y transporte a larga distancia, que representan una pérdida notable de energía por efecto Joule (se calcula que en las grandes redes esta pérdida está entre un 25 y un 30%).

El sistema de producción comienza al generar electricidad mediante una dinamo o alternador, movidos por un motor térmico o una turbina, el aprovechamiento de la energía química del combustible es del 25% al 46% (sobre el poder calorífico inferior PCI), y el resto debe disiparse en forma de calor. Con la cogeneración se aprovecha una parte importante de la energía térmica que normalmente se disiparía a la atmósfera o a una masa de agua y evita volver a generarla con una caldera. Además evita los posibles problemas generados por el calor no aprovechado.

El empleo del gas natural como combustible ha propiciado la implantación progresiva, desde finales de la década de los 80, de sistemas de cogeneración eléctrica auxiliares al proceso de producción de baldosas cerámicas.

Fundamentalmente se utilizan dos sistemas de cogeneración: motores de combustión interna y turbinas de gas. Los gases de escape de los motores de combustión interna se usan en el proceso de secado de baldosas cerámicas y los de las turbinas de gas en la operación de secado de suspensiones por atomización. Ambos utilizan gas natural como combustible.

El grado de implantación de estas instalaciones ha sido progresivo y en la actualidad, el sector español de fabricación de baldosas cerámicas, considerado en su globalidad, es exportador de energía eléctrica, ya que produce más energía eléctrica de la que consume.

### **Ahorro de energía primaria**

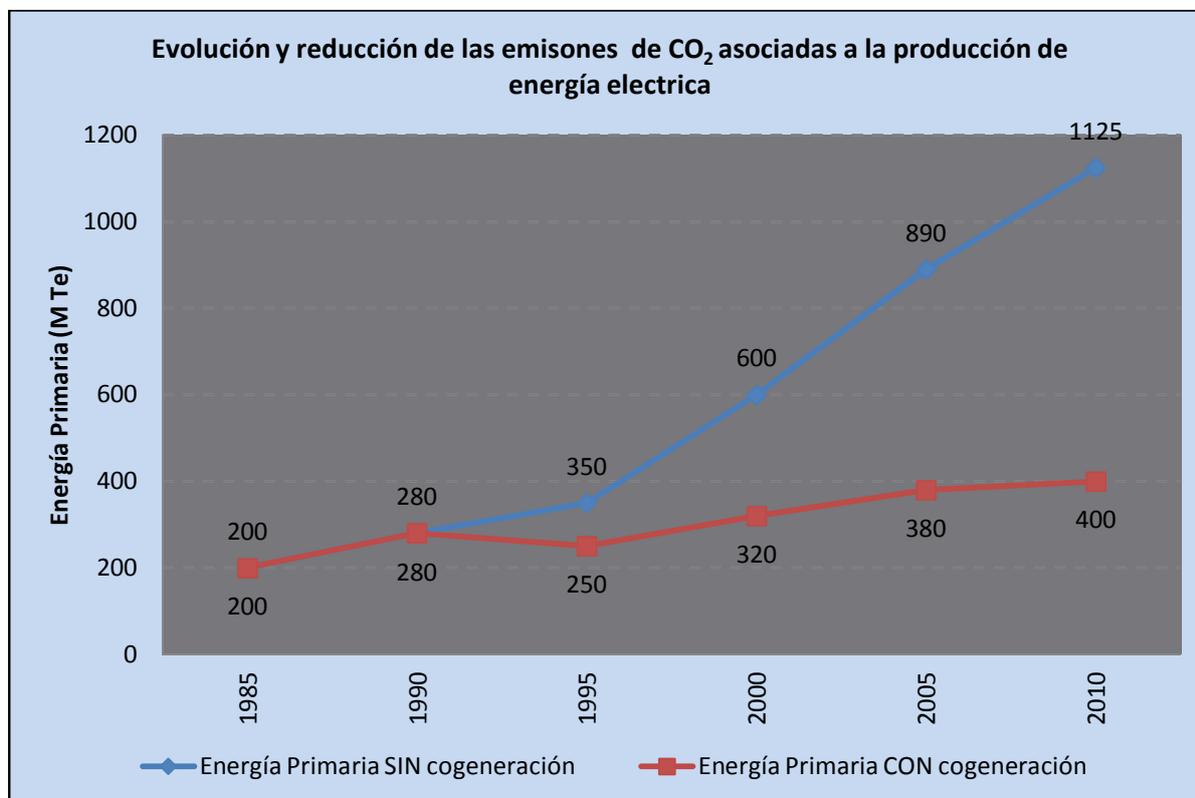
El uso de sistemas de cogeneración permite un mayor aprovechamiento de la energía primaria necesaria para producir energía eléctrica. Si esta energía se produce en centrales eléctricas convencionales el calor generado en el proceso de producción no se aprovecha y, además, se producen importantes pérdidas durante el transporte de la energía. Sin embargo, el empleo de sistemas de cogeneración en el sector cerámico permite aprovechar el calor residual de las turbinas de gas o de los motores de combustión interna en los procesos de secado de las suspensiones y de los soportes de las baldosas, generándose además la energía eléctrica muy cerca del lugar de consumo y reduciéndose drásticamente las pérdidas por transporte de la misma.

En la actualidad, si no se empleasen sistemas de cogeneración, para producir la energía eléctrica que se genera en el sector cerámico, sería necesario utilizar un 50% más de energía primaria. Esto supuso, en el año 1999, un ahorro de 1800 Mte de energía primaria, aproximadamente un 10% del consumo total de gas natural en dicho sector para ese año.



## Disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub>

Al reducirse muy notablemente el consumo de energía primaria en el empleo de sistemas de cogeneración, disminuye la cantidad de dióxido de carbono con respecto a la que se hubiese emitido en el caso de no emplear estos sistemas, tal y como vemos en la gráfica siguiente:





#### 5.4.3.- EL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DEL SECTOR CERÁMICO

El principal impacto medioambiental del sector se centra en las emisiones atmosféricas, generadas fundamentalmente en los procesos de fusión de las fritas, cocción y esmaltado, elevado consumo energía y generación de residuos.

En el presente epígrafe se efectúa un breve análisis del impacto medioambiental de la actividad del sector cerámico. Para ello se han analizado los aspectos medioambientales del sector.

##### **I. Consumo de materias primas en el sector cerámico**

Las baldosas cerámicas son piezas que están constituidas normalmente por un soporte de naturaleza arcillosa y porosidad variable con o sin un recubrimiento de naturaleza esencialmente vítrea, tal y como hemos ido definiendo en toda la tipología de piezas que hemos ido estudiando a lo largo de todo el dossier.

Atendiendo a la constitución de dichos productos, las materias primas utilizadas en el proceso de fabricación de baldosas cerámicas se pueden dividir en dos grandes grupos:

- Materias primas del soporte cerámico, de donde se parte de una mezcla de materias primas, denominadas comúnmente pasta, la cual sufre diversas transformaciones físico-químicas hasta alcanzar las propiedades requeridas para el producto acabado.
- Materias primas del esmalte

##### **II. Consumo de agua en el sector cerámico**

El consumo de agua es un aspecto medioambiental importante en el sector cerámico, ya que el agua es un elemento indispensable que puede tener funciones tecnológicas como materia prima o funciones auxiliares de líquido de lavado o refrigerante.

Las necesidades de agua son muy variables y dependen de cada tipo de instalación en particular, aunque podemos clasificar sus usos principales en:

- Como materia prima se usa en la etapa de preparación de pastas y esmaltes y preparación de la pieza para la posterior aplicación de esmaltes.
- Como fluido intercambiador de calor para las etapas de conformado de la pieza, refrigeración del aceite de prensas hidráulicas, etapa de pulido y biselado, fabricación de gres...
- Como agente de limpieza de las instalaciones en la preparación de pastas (vía húmeda), preparación y aplicación de esmaltes.



### III. Consumo energético en el sector cerámico

El consumo de energía en el sector cerámico está considerado como un aspecto significativo, tanto desde un punto de vista económico como medioambiental.

Desde el punto de vista económico, el consumo de energía (térmica y eléctrica) es uno de los principales costes de producción en el sector de fabricación de baldosas cerámicas. Desde el punto de vista medioambiental, el consumo de energía térmica se considera significativo, ya que uno de los principales compuestos que se genera en cualquier proceso de combustión es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), siendo éste uno de los principales responsables del conocido “efecto invernadero”.

La energía térmica en el sector de las baldosas cerámicas es consumida fundamentalmente en tres etapas de proceso:

- Cocción (50-60% del total)
- Secado por atomización (30-40%)
- Secado de pieza compactada (5-10%)

Esta energía térmica puede obtenerse por la combustión de combustibles fósiles procedentes del petróleo como son el fuelóleo, gasóleo, propano y el gas natural. Históricamente se han venido utilizando como combustibles el fuelóleo y el gasóleo.

En cuanto a la energía eléctrica las empresas se abastecen de ésta directamente de red o en el caso de empresas con sistemas de cogeneración existe la posibilidad de autoconsumo. Cabe destacar que el consumo de energía eléctrica ha aumentado en los últimos años debido a los cambios tecnológicos, al aumento de la automatización del proceso de producción y al incremento de la producción. A pesar de ello la energía primaria consumida para obtener esta energía eléctrica se mantiene prácticamente constante debido a la contribución de las instalaciones de cogeneración.

Una solución aplicable para la mejora del rendimiento energético de este tipo de instalaciones sería la combinación con un ciclo de cogeneración, que permiten la producción de energía térmica y eléctrica mediante el aprovechamiento de los gases calientes de escape de los procesos de atomización y secado y utilizando gas natural como combustible, reutilizando parte de la energía del sistema y permite un importante ahorro de energía primaria y una reducción en a las emisiones de CO<sub>2</sub>.

### IV. Emisiones a la atmósfera en el sector cerámico

Las emisiones atmosféricas es uno de los aspectos medioambientales más importantes en la producción de baldosas cerámicas, debido principalmente al elevado número de actividades desarrolladas dentro de una misma empresa que dan lugar a la generación de emisiones a la atmósfera.

Cada una de las emisiones generadas tienen unas características más o menos definidas en función de la etapa de proceso donde se generan.

Si atendemos a la temperatura de emisión de las mismas, las emisiones generadas se pueden clasificar en:



- *Emisiones gaseosas a temperatura ambiente* (emisiones frías), las cuales pueden estar canalizadas (a través chimeneas o ventilaciones/extracciones forzadas) o bien tratarse de emisiones de carácter disperso, normalmente estas últimas se generan en actividades de manipulación y almacenamiento de materiales de naturaleza pulverulento (cómo es el caso cerámico).
- *Emisiones gaseosas procedentes de procesos de combustión* (emisiones de gases calientes de los hornos principalmente), donde una buena práctica podría ser la recirculación de dichos gases en un intercambiador de calor y precalentar así el aire de entrada las zonas donde sea necesario (cómo puede ser al aire seco de entrada al horno, al sistema de secado, etc...)

#### **V. La generación de aguas residuales en el sector cerámico**

La generación de aguas residuales es un aspecto medioambiental significativo en el sector de fabricación de baldosas cerámicas.

La generación de aguas residuales en la industria cerámica es debida principalmente a las operaciones de limpieza de las instalaciones de preparación y aplicación de esmaltes. Las características de este agua residual pueden ser variables, ya que las operaciones de limpieza se realizan de forma intermitente y existe una amplia gama de aplicaciones de esmaltes.

Las aguas residuales presentan turbidez y color debido a las finísimas partículas de esmalte y mineral arcilloso en suspensión. Desde el punto de vista químico las aguas residuales producidas en el sector cerámico se caracterizan por la presencia de:

sólidos en suspensión, aniones en soluciones (sulfatos, cloruros, fluoruros...), metales pesados en solución y/o suspensión (principalmente Pb y Zn), compuestos de boro y trazas de materia orgánica (vehículo serigráficos y colas utilizados en las operaciones de esmaltado).

La concentración de estas especies dependerá del tipo y composición de los esmaltes utilizados y del caudal de agua.

El tratamiento más adecuado para la depuración de las aguas residuales procedentes de la industria cerámica es un tratamiento físico-químico, que consiste en una serie de etapas en las que se desarrollan los procesos de sedimentación, homogeneización, neutralización, coagulación y floculación. Las plantas de tratamiento físico-químico se adecuan a la naturaleza del agua a tratar, al tipo de proceso que genera dicho vertido y al caudal del mismo.

Actualmente, el boro es la sustancia química presente en las aguas residuales que más difícil es su eliminación, debido a la elevada solubilidad del boro y de los compuestos que forma. Para conseguir separar dicho elemento no es suficiente con un tratamiento físico-químico, sino que es necesario aplicar un tratamiento terciario como: ósmosis inversa, intercambio iónico, etc.

#### **VI. La generación de residuos en el sector cerámico**

La generación de residuos es uno de los aspectos medioambientales más importantes en el proceso de producción de baldosas cerámicas. Cabe destacar que la gestión de residuos en el sector de fabricación de baldosas cerámicas ha mejorado notablemente en los últimos años, debido fundamentalmente a la extensa normativa de reciente aprobación que regula este aspecto.



Estudio sobre las tendencias del empleo y las necesidades formativas en medio ambiente en los sectores cerámico, agroalimentario, madera y mueble y metal mecánico Instituto Mediterráneo por el Desarrollo Sostenible (Imedes)

La tipología de residuos que se generan en una industria de baldosas cerámicas es muy amplia debido a la gran variedad de materias primas, productos, aditivos, etc., que se utilizan en el propio proceso de fabricación como en el resto de actividades paralelas (depuración de aguas, mantenimiento de la maquinaria, etc.).

En función de su clasificación según la normativa vigente en materia de residuos se identifican residuos asimilables a urbanos, residuos inertes, residuos no peligrosos y residuos peligrosos.

- Los **residuos asimilables a urbanos** generados son cuantitativamente poco importantes.

- Los **residuos inertes** constituyen la tipología de residuos más numerosos.

Algunos de los residuos inertes generados son: restos de materias no peligrosas, residuos de producto acabado, residuos de servicios generales y mantenimiento, etc.

- Los **residuos no peligrosos** incluyen los lodos cerámicos generados como consecuencia de las operaciones de limpieza de las secciones de preparación y aplicación de esmaltes y los retos de piezas crudas esmaltadas.

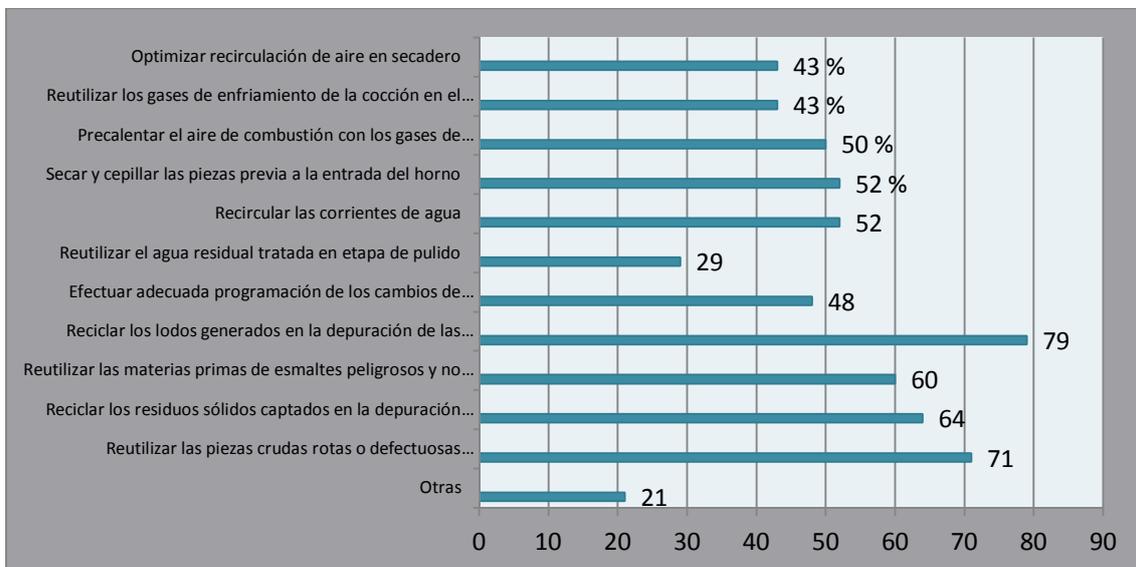
- Los **residuos peligrosos** se obtienen en aquellas etapas del proceso que utilizan materias primas que contienen sustancias o elementos que les pueden conferir este carácter. Entre los diferentes residuos peligrosos que se generan, se encuentran restos de materias primas peligrosas, aditivos que posean carácter de residuo peligroso, aceites usados, etc.

Actividades	Aplicación	Razones
<i>Reutilizar las piezas crudas rotas o defectuosas esmaltadas</i>	Fácil Aplicación	Son piezas ya creadas, sólo hay que reciclar su uso.
<i>Reciclar los residuos sólidos captados en la depuración de gases y de la aspiración de limpieza</i>	Relativamente fácil	Dependerá de que tipo de residuos son los que se han de reciclar y el costo de su transporte
<i>Reutilizar las materias primas de esmaltes peligrosos y no peligrosos</i>	Fácil Aplicación	Son materiales a medio usar que se pueden atomizar y re-usar
<i>Reciclar los lodos generados en la depuración de las aguas</i>	Relativamente fácil	Dependerá de los lodos que haya que decantar y cómo de grande sea la instalación, ya que económicamente es una importante inversión. Aunque siempre se puede hacer una instalación común para varias empresas cómo hay en varios polígonos industriales.
<i>Efectuar adecuada programación de los cambios de modelo en línea</i>	Notablemente difícil	En los casos en que la empresa no tenga la posibilidad de tener grandes cambios de la línea de producción tendrá grandes problemas, la versatilidad de las líneas de producción está muy limitada en la medida de ser flexible tanto en variedad cómo en volumen de producción.
<i>Optimizar recirculación de aire en secadero</i>	Fácil Aplicación	Uso del aire caliente para precalentar del aire de entrada al mismo evitando el <i>paso de la humedad, ya que buscamos reducir la cantidad de humedad de las piezas.</i>
<i>Reutilizar los gases de enfriamiento de la cocción en el secadero</i>	Fácil Aplicación	Uso del aire caliente para precalentar del aire de entrada
<i>Precalentar el aire de combustión con los gases de enfriamiento en cocción</i>	Fácil Aplicación	Uso un intercambiador de calor del aire caliente para precalentar del aire de entrada y no necesitar tanto combustible para la cocción de las piezas en el horno, sea cual sea el combustible.
<i>Secar y cepillar las piezas previa a la entrada del horno</i>	Fácil Aplicación	Sirve para minimizar las emisiones de polvo a la atmósfera, fijando las partículas y eliminando las que no lo están.
	Fácil Aplicación	Usando de nuevo el agua sobrante del amasado, de las



<i>Recircular las corrientes de agua</i>		limpiezas de las piezas, etc... tanto para la misma operación de la que proceden o para ser usada en una nueva, todo ello reduce mucho el consumo de agua
<i>Reutilizar el agua residual tratada en etapa de pulido</i>	Relativamente fácil	Previo tratamiento para retirar las sustancias químicas disueltas se puede reutilizar dicho volumen de agua.
<i>Aplicación de automatismos/autómatas que reduzcan el consumo de agua</i>	Relativamente fácil	Uso de autómatas que reduzcan el consumo de agua usando inyecciones de agua o riegos con el agua lo más exacta posible, además automatismos que cierren los sistemas de consumo de agua de cualquier índole. El desembolso económico es importante.
<i>Medios de separación de residuos</i>	Relativamente fácil	Bien sea de tipo manual para los residuos defectuosos de la producción o de las aguas procedentes de la producción. Sobre todo es importante el reciclaje del papel que no se usa, en la trazabilidad de los procesos, de tipo administrativo, etc...

Después de haber definido las posibles mejoras, en la siguiente gráfica se puede ver cada posible optimización del proceso cuanto mejoraría el proceso completo en valor porcentual, si se realizara correctamente (la estimación va en función del volumen de producción de la planta) y de manera continua:





## 5.5.- Estudio económico y tiempo de construcción.

### ACTIVIDADES INICIALES:

Previamente a la construcción propiamente, y como en todo inicio de un proyecto, será indispensable asentar las bases y el objetivo.

Se deberá elegir una empresa de ingeniería, la cual realizará:

I. Un pre-proyecto para poder hacer todos los trámites burocráticos previos.

II. Un proyecto "llave en mano":

II.a. Proyecto de detalle

II.b. Proyecto de ejecución

III.c. Dirección facultativa

IV.d. Petición de equipos

**Coste y duración: Aprox. 65.000 € y según el gráfico Gantt aprox. 9 meses.**

### MOVIMIENTO DE TIERRAS

Primeramente se procederá a realizar una limpieza/desbroce del terreno, para posteriormente realizar un relleno de tierras y el replanteo de cimentación bajo la supervisión de la Dirección Técnica.

Se realizará la excavación con medios mecánicos de los elementos de cimentación y de saneamiento, con las cotas y dimensiones especificadas en este documento, refinando manualmente los bordes de dichos elementos.

-desbroce y limpieza del terreno a máquina: 0,75 €/m<sup>2</sup>

→ 765 m<sup>2</sup> x 0.75 €/m<sup>2</sup> = 575 €

-excavación y vaciado de terrenos compactos con maquina: 5 €/m<sup>3</sup>

→ 22 zapatas x 4 m<sup>3</sup>/zapata = 88 m<sup>3</sup> x 5 €/m<sup>3</sup> = 440 €

-excavación de zanja terreno compacto a máquina: 17 €/m<sup>3</sup>

→ 22 correas x 0.95 m<sup>3</sup>/correa = 22 m<sup>3</sup> x 17 €/m<sup>3</sup> = 375 €

→ 12 arquetas x 1 m<sup>3</sup>/ arquetas = 12 m<sup>3</sup> x 17 €/m<sup>3</sup> = 205 €

-transporte estándar a vertedero a 20 km con carga mecánica 8.65€/m<sup>3</sup>

→ 122 m<sup>3</sup> x 8.65 €/m<sup>3</sup> = 1055 €

**Coste y duración: Aprox. 2650 € y según el gráfico Gantt aprox. 10 días.**

### CIMENTACIÓN

La cimentación estará compuesta por zapatas aisladas para apoyo de pilares metálicos, dichas zapatas irán arriostradas entre sí con correas de cimentación. Además tendremos zapatas corridas que sirven de apoyo del cerramiento prefabricado.

Para todas las piezas de cimentación se empleará hormigón **HA/25/B/15/IIa**, estando armado con acero **B-400-S** y con la armadura indicada en este documento. Las zapatas llevarán embutidas pernos y placas de anclaje para unión con los pilares metálicos.

Bajo todos los elementos de cimentación se dispondrá de 10 cm de hormigón de limpieza.

La placa de solado (solera) del pabellón industrial poseerá unas dimensiones de 0.25 m de espesor de hormigón de la misma calidad que el de las zapatas, armado con mallazo de reparto de 20 x 20 x 12 cm, con y acabada con un ligero fratasado.



-Precio por Kg de barras de acero **B-400-S incluido** trabajo de doblado, trabajo auxiliar y colocación en obra según lo especificado en la normativa específica: 3.60 €/Kg

→ 90 Kg/zapata x 22 zapatas = 1980 Kg x 3.6 €/Kg = 7130 €

-Precio por m<sup>3</sup> de hormigón **HA/25/B/15/IIa incluido** colocación y acabado en obra: 190 €/m<sup>3</sup>

→ 110 m<sup>3</sup> x 190 €/m<sup>3</sup> = 20900 €

**Coste y duración: Aprox. 28030 € y según el gráfico Gantt aprox. 5 días.**

#### SANEAMIENTO

Se dispondrá de una red de saneamiento para la recogida de aguas pluviales y de aguas negras/sucias.

Para las recogidas de aguas se dispondrá de arquetas de diferentes dimensiones, realizándose en fábrica de ladrillo macizo ordinario, enfoscado y bruñido posteriormente conectado a tubería de PVC de diferentes diámetros, apoyada sobre cama de arena o similar.

-Precio por unidad de arqueta de ladrillo macizo ordinario, enfoscado y bruñido posteriormente conectado a tubería de PVC de diferentes diámetros, incluida mano de obra y material auxiliar: 210 €/ud

→ 12 ud x 210 €/ud = 2600 €

**Coste y duración: Aprox. 2600 € y según el gráfico Gantt aprox. 2 días.**

#### ESTRUCTURA

La estructura de la nave estará formada por pórticos a dos aguas con un 20 % de pendiente y 4.5 m de separación entre ejes. Los pórticos serán empotrados en sus bases con una luz total de 12.5 m a ejes compuestos por pilares de 8.52 m de altura, con las características especificadas en este documento.

Las piezas que componen el pórtico son:

Pilar: HEB-350 + Piezas auxiliares

Arriostramiento:

- Cruces de San Andrés (Perfil doble UPN 200) .
- Viga inferior (Perfil doble UPN 220)
- Viga superior (Viga simple IPN 240)

Cercha (12):

- 5 x UPN 180
- 6 x UPN 120
- 2 x UPN 140

-Precio por kg perfiles de acero **de distintas dimensiones** preparados en taller para colocación en obra, incluidas piezas auxiliares para montaje in situ. En el precio irán incluidos la hora de seis operarios (2 soldadores expertos y 4 peones), maquinaria auxiliar y grúa: 8,65 €/Kg

→ 22530 kg x 8 €/Kg = 195000 €

**Coste y duración: Aprox. 195000 € y según el gráfico Gantt aprox. 6 días.**



### FACHADA

La fachada estará formada por paneles de prefabricados de hormigón armado con alma de aislante térmico, tal y como se describe en la forma en el apartado específico de este documento.

La carpintería metálica irá pre-instalada en las piezas prefabricadas.

Dichos paneles irán unidos a la estructura, únicamente para sujeción de los mismos con casquillos de perfiles cuadrados.

- m<sup>2</sup> de Panel prefabricado, liso, de hormigón armado de 45 cm de espesor con aislamiento térmico, 3.5 m de anchura media y 5 m de longitud máxima (según despiece suministrado por el fabricante), acabado liso de color gris a una cara, para formación de cerramiento. En el precio irá incluido el alquiler de una grúa y de un oficial y un ayudante montador: 70 €/m<sup>2</sup>

$$\rightarrow 850 \text{ m}^2 \times 70 \text{ €/m}^2 = 59500 \text{ €}$$

**Coste y duración: Aprox. 59500 € y según el gráfico Gantt aprox. 7 días.**

### CUBIERTA

#### **Cubierta tipo I:**

La cubierta se realizará con placas tipo sándwich, formadas por aislamiento térmico recubierto por chapas de acero cincado, sobre las que colocarán piezas auxiliares para mantener la pendiente de desalojo del agua.

Para la recogida de agua se colocarán pesebrones de chapa galvanizada conectados a bajantes de PVC.

#### **Cubierta tipo II:**

La cubierta se realizará con placas dobles de policarbonato translucido.

Las piezas de ambos tipos de cubierta irán ancladas directamente a las correas de cubierta.

- m<sup>2</sup> de panel prefabricado tipo sándwich sobre correa de cubierta incluido material auxiliar y pieza de cumbrera. En el precio irá incluido el alquiler de una grúa y de un oficial y un ayudante montador: 95 €

$$\rightarrow 205 \text{ m}^2 \times 65 \text{ €/m}^2 = 19.500 \text{ €}$$

- m<sup>2</sup> de placas dobles de policarbonato translucido sobre correa de cubierta incluido material auxiliar y pieza de cumbrera. En el precio irá incluido el alquiler de una grúa y de un oficial y un ayudante montador: 65 €

$$\rightarrow 170 \text{ m}^2 \times 65 \text{ €/m}^2 = 11050 \text{ €}$$

**Coste y duración: Aprox. 30550 € y según el gráfico Gantt aprox. 6 días.**

### INSTALACION ELECTRICA

Las instalaciones eléctricas de Fuerza, Alumbrado y Puesta a Tierra tienen que cumplir con el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, Decreto 2413/1973 de 20/09/73, B.O.E. nº242 del 9/10/73 y Real Decreto 2295/1985 de 9/10/85, B.O.E. nº297 del 12/12/85, así como las diferentes Ordenes Ministeriales que los complementan. Y con las Normas Técnicas particulares de IBERDROLA, S. A. ya que éste será nuestro proveedor.

**Coste y duración: Aprox. 75500 € y según el gráfico Gantt aprox. 18 días.**



### INSTALACION DE AGUA Y SANEAMIENTO

La parcela en la que se ubicará la nave industrial cuenta con red de distribución de agua a partir de la acometida general de la zona industrial donde ésta se ubica. Por tanto, se tomará ésta directamente de la red, encontrándose, por tanto, perfectamente tratada y potable para el consumo humano. El cálculo de la instalación de la red a lo largo de la nave será objeto de otro documento independiente del actual, aunque se ha hecho una definición de la instalación en este documento.

La nave deberá contar con una red de saneamiento para la evacuación de aguas pluviales y otra independiente para la evacuación de aguas negras. Bajo ningún concepto se podrán juntar las aguas pertenecientes a ninguna de estas dos redes, del mismo modo que no puede haber contacto entre aguas de la red de alcantarillado o saneamiento con el agua de la red de distribución.

***Coste y duración: Aprox. 35500 € y según el gráfico Gantt aprox. 15 días.***

Con el resto de instalaciones se deberá de calcular su coste tras haberse definido completamente tanto la instalación como la maquinaria, pidiendo presupuesto a los distintos proveedores y haciendo una comparativa de los precios.



Bibliografía usada en este documento:

- Documentación de la titulación de Arquitectura técnica
- Documentación de la titulación de Ingeniería industrial esp. Organización Industrial
- Documentación de la titulación de Ingeniería técnica industrial esp. Mecánica
- Código técnico de la edificación. ISBN: 8430957391
- Guía práctica de aplicación del Código Técnico de la Edificación. ISBN: 8481436070
  - DB SE: Seguridad Estructural
  - DB-SUA: Seguridad de Utilización y Accesibilidad
  - DB HS: Salubridad
  - DB HE: Ahorro de energía
- Prontuario oficial del ministerio de fomento
- Enciclopedia universal Encarta.
- Construcción de estructuras de hormigón armado adaptado a las instrucciones EME, EFHE, NCSE y CTE. ISBN: 848454818X
- Manual de construcción de edificios. ISBN: 842522005X
- Análisis de instalaciones industriales. 2002. ISBN: 84-8301-272-8
- La cocción de productos cerámicos. 1995. ISBN: 8428208417
- Texto de la web oficial de Endesa, Iberdrola y Repsol.
- Detalles constructivos de CYPE.
- Página web oficial del ICEX. [www.ICEX.com](http://www.ICEX.com)
- Catálogos de diversos suministradores de maquinaria industrial
- Control económico de La Calidad de Productos Manufacturados. ISBN: 8479783044
- Documentación técnica de ENAGAS.
- Diseño avanzado de procesos y plantas de producción flexible. 2009. ISBN: 8496998878



## ANEXOS Y PLANOS

---