



ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL DE BILBAO



GADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO FIN DE GRADO

2013 / 2014

CONSTRUCCIÓN DE UNA NAVE INDUSTRIAL CON GRÚA PUENTE 6.3T, DESTINADA A LA PRODUCCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE BOMBAS HIDRÁULICAS.

DOCUMENTO 2: MEMORIA

DATOS DEL ALUMNO/A

NOMBRE: ESTER

APELLIDOS: LAZCANO BUSTO

FDO.:

FECHA: 19-06-2014

DATOS DEL DIRECTOR/A

NOMBRE: ERIK

APELLIDOS: MACHO MIER

DEPARTAMENTO: INGENIERÍA MECÁNICA

FDO.:

FECHA: 19-06-2014

ORIGINAL
 COPIA

2 MEMORIA

	<u>Pág.</u>
2.1. OBJETO DEL PROYECTO.....	1
2.2. ALCANCE DEL PROYECTO	3
2.3. ANTECEDENTES	5
2.4. MEMORIA CONSTRUCTIVA.....	9
2.4.1. Accionamiento del terreno, desbroce y limpieza	9
2.4.2. Explanación, refino y nivelación.....	9
2.4.3. Excavaciones	9
2.4.4. Cimentación.....	9
2.4.5. Red de saneamiento.....	10
2.4.6. Solera.....	10
2.4.7. Montaje estructura principal.....	11
2.4.8. Particiones interiores	18
2.4.9. Acabados	18
2.4.10. Instalaciones	19
2.4.11. Urbanización del entorno	19
2.4.12. Distribución en planta	19
2.5. NORMAS Y REFERENCIAS	21
2.5.1.- DISPOSICIONES LEGALES Y NORMAS APLICADAS.....	21
2.5.2.- BIBLIOGRAFÍA	25
2.5.3.- PROGRAMAS DE CÁLCULO.....	27

2.5.4- PLAN DE GESTIÓN DE CALIDAD	29
2.6. REQUISITOS DE DISEÑO	30
2.7. ANÁLISIS DE SOLUCIONES	31
2.7.1.- TIPO DE CUBIERTA	32
2.7.2.- CERRAMIENTOS DE FACHADA	32
2.7.3.- CORREAS	32
2.7.4.- PÓRTICOS	33
2.7.5.- OTROS ELEMENTOS ESTRUCTURALES	34
2.7.6.- UNIONES Y EMPALMES	35
2.7.7.- JUNTA DE DILATACIÓN	36
2.8.- RESULTADOS FINALES	36
2.8.1.- TIPO DE CUBIERTA	36
2.8.2.- CERRAMIENTOS DE FACHADA	38
2.8.3.- CORREAS	38
2.8.4.- PÓRTICOS	40
2.8.5.- OTROS ELEMENTOS ESTRUCTURALES	42
2.8.6.- UNIONES	44
2.9 –PRESUPUESTO.....	44
2.10 -DEFINICIONES Y ABREVIATURAS	44

2 MEMORIA

2.1. OBJETO DEL PROYECTO

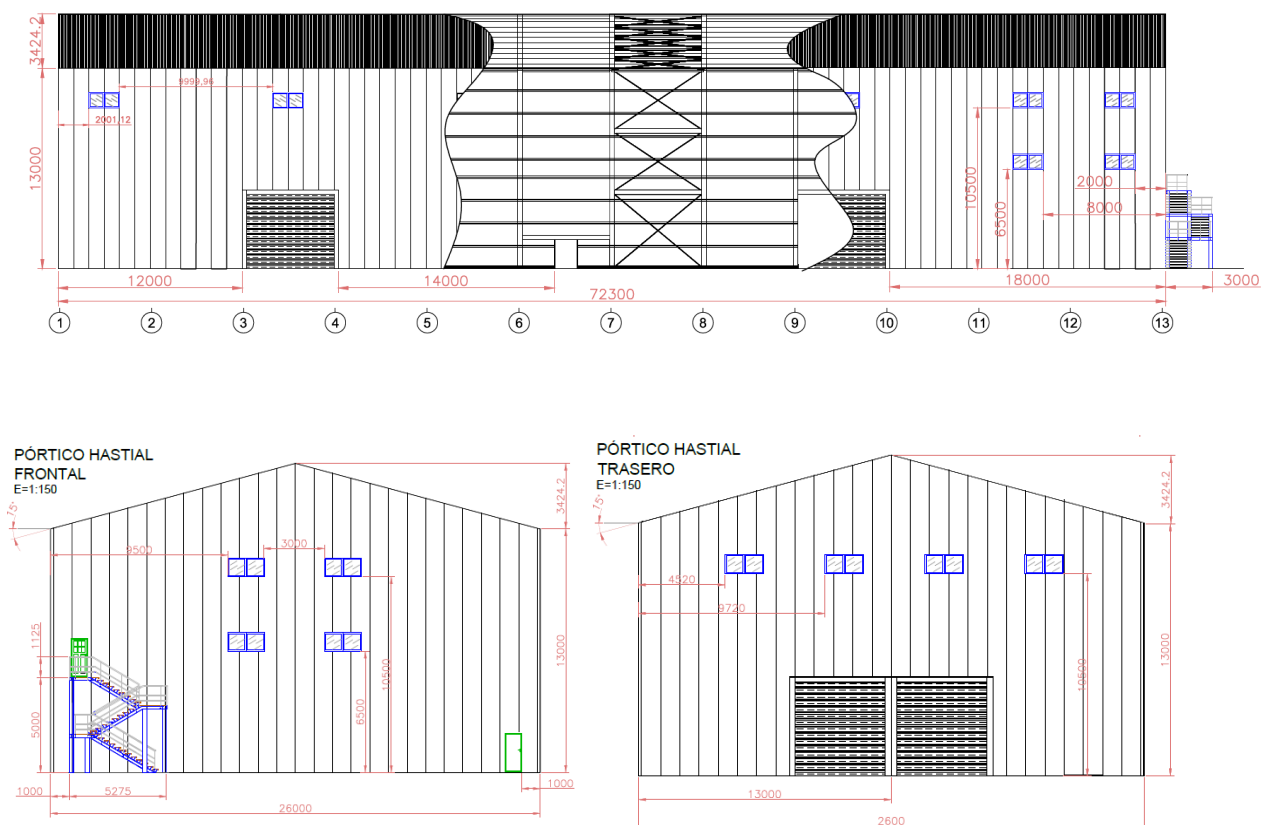
El proyecto que se presenta a continuación consiste en el diseño y cálculo de una nave industrial para la producción y almacenaje de bombas hidráulicas de pequeño y gran tamaño, con grúa puente de capacidad 6,3 Tn y una zona de oficinas donde se ubican los departamentos de: ingeniería, delineación, control y calidad, i+D y administración. La nave se sitúa en el Polígono Playabarri del municipio de Erandio, en las inmediaciones del río Asúa.

Se plantea el cálculo y diseño de dicho proyecto por petición del ayuntamiento de Erandio, para recuperar y promover el negocio industrial de la zona; habilitando una zona abandonada y fomentando el comercio, es decir, formando parte del Plan General de Ordenación Urbana (PGOU) mediante el cual se pretende dar respuesta a las nuevas necesidades derivadas de los cambios experimentados en el modelo de desarrollo social, económico y medioambiental del municipio.

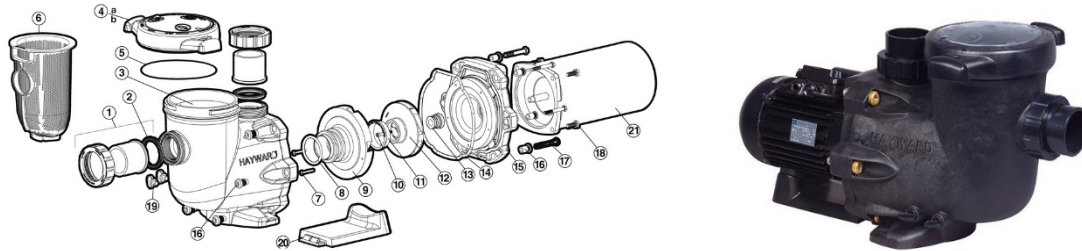


Se trata de una obra de edificación de nueva construcción, por lo que se aplica el Código Técnico de la Edificación (CTE), así como cada uno de sus Documentos Básicos, tanto en el proyecto, la construcción, el mantenimiento, como en la conservación del edificio y sus instalaciones.

El objeto del proyecto es la construcción de una nave industrial con capacidad suficiente como para albergar un proceso de producción de bombas hidráulicas, zona de almacenaje del producto, zona de oficina, vestuarios y contar además con la disposición de un puente grúa para facilitar el manejo de material en el interior de la nave. La nave cuenta con 72 m de longitud, 26 m de anchura, 16,42 m de altura hasta la cumbrera. Dispone además de una celosía especialmente diseñada para este proyecto, la cual juega un papel fundamental en esta estructura, no sólo por su funcionalidad sino por su innovación en lo que a la geometría se refiere, disminuyendo su habitabilidad y consiguiendo que las barras trabajen de manera similar a las de una celosía americana común. Se puede afirmar que dimensionalmente esta nave cumple las expectativas para las que ha sido proyectada.



El proceso de producción a desempeñar en la nave, consta única y exclusivamente de la parte de mecanizado, montaje, medición, ajuste y etiquetado de las bombas hidráulicas, es decir, no se realizará el proceso de fundición necesario para la fabricación de la carcasa, puesto que con dicho proceso se obtienen niveles de contaminación superiores a los establecidos en el PGOU del municipio de Erandio para el caso del Polígono Playabarri, cuyo principal objetivo es descontaminar la zona.



2.2. ALCANCE DEL PROYECTO

Este proyecto conlleva el diseño y el cálculo de todos los elementos necesarios para la construcción de un pabellón industrial, con puente grúa, entreplanta y un diseño exclusivo de la celosía. Todos los cálculos de la estructura se realizarán cumpliendo con todos los documentos básicos que conforman el Código Técnico de la Edificación (CTE). El CTE es el marco orientativo por el que se regulan las exigencias básicas de calidad que deben cumplir las edificaciones, incluidas sus instalaciones, para satisfacer los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad.

Por otro lado, los cálculos se realizarán con ayuda del programa de cálculo de estructuras metálicas Generador de Pórticos y Nuevo Metal 3D, de CYPE Ingenieros. Este programa se basa, como tantos otros, en el Método Matricial, el cual conduce a grandes sistemas de ecuaciones lineales mediante la idealización de la estructura real. Este método consiste en suponer desconocidos los desplazamientos y giros de los nudos de un modelo de cálculo y para ello se establecen dos tipos de relaciones: la relación entre los desplazamientos y los esfuerzos que éstos originan en los nudos de las barras, y el equilibrio de fuerzas entre las acciones exteriores a la estructura y los esfuerzos generados en los nudos, obtenidos anteriormente. Planteando las ecuaciones de

equilibrio se establece un sistema lineal de ecuaciones cuyas incógnitas son los desplazamientos que se resuelve matricialmente. Una vez conocidos dichos desplazamientos y su relación con los esfuerzos en los nudos, se calculan los esfuerzos en los extremos de las barras.

Sin embargo, al tratarse de una idealización de la estructura, el modelo de cálculo se aproxima lo máximo posible al comportamiento real de la estructura, pero existen factores que impiden que la fiabilidad ante dichos cálculos sea total. Por ejemplo, las acciones que actúen sobre la estructura pueden ser diferentes a las cargas supuestas o incluso durante la ejecución de la obra la estructura puede sufrir algún cambio. De todas maneras, estas diferencias entre la estructura real y el modelo de cálculo se salvan prácticamente en su totalidad mediante la aplicación estricta de la normativa existente y mediante la experiencia del técnico.

Una vez obtenidos los perfiles óptimos mediante el citado programa de cálculo, se comprobarán, analizarán y compararán, asegurándose de esta manera de obtener una solución correcta.

Este proyecto, además del documento de cálculos, también consta de una Memoria donde se describe el objeto del proyecto y se justifican las soluciones adoptadas. También se incluyen planos debidamente acotados que ayudan a completar la definición de lo proyectado en su aspecto constructivo, estableciendo dimensiones, materiales y otro tipo de datos. Para completar este proyecto existe un pliego de condiciones donde se incluyen condiciones técnicas, económicas, administrativas y legales necesarias para la materialización del proyecto, evitando posibles interpretaciones distintas de las deseadas. Además, este proyecto consta de un estado de mediciones y un presupuesto, donde se definen las unidades de cada partida que configuran la totalidad de la obra y el coste de cada una de ellas y de la totalidad del proyecto, respectivamente. Concretamente, el presupuesto se estructurará según los siguientes conceptos: Presupuesto de Ejecución Material, Presupuesto de Ejecución por Contrata y Presupuesto Total. Finalmente, en este proyecto también se recogen estudios con entidad propia, como un Estudio Básico de Seguridad y Salud y un Estudio de Protección contra Incendios, además de un Plan de Gestión de Residuos y un Estado de Impacto Medioambiental.

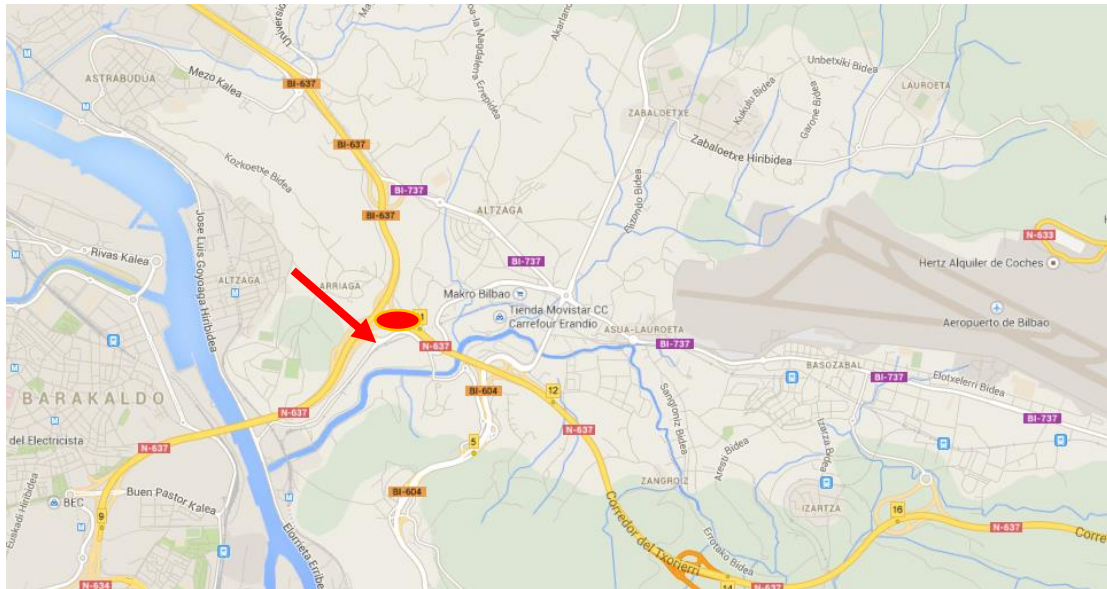
2.3. ANTECEDENTES

La nave industrial a la que se refiere este proyecto forma parte del Plan General de Ordenación Urbana (PGOU) propuesto por el ayuntamiento de Erandio. El emplazamiento está situado, en una zona abandonada, en un entorno industrializado y bien ubicado y comunicado.



Los vestigios del pasado industrial de Erandio, dominado por fábricas abandonadas y solares yermos de actividad, dejarán paso a un moderno polígono empresarial en la zona conocida como Playabarri. Un complejo de 60.332 m², según desvelan responsables del Ayuntamiento.

El proyecto verá la luz tras la aprobación del Plan Especial por parte del Consistorio. El documento permitirá actuar sobre un solar de 60.322 m² entre la carretera BI-735 y el río Asua hasta la altura de la rotonda hacia Rontegi. Su buena ubicación ha despertado el interés de diversas empresas, ya que dispone de conexiones con las principales infraestructuras viarias.



La urbanización consistirá en habilitar viales, aparcamientos y dos 'pinchazos' para conectar el polígono con las carreteras de titularidad foral. También están proyectadas zonas verdes y un paseo peatonal de tres metros y medio paralelo al cauce del río Asúa «destinado a recuperar este espacio para su disfrute por los vecinos».

Los trámites administrativos previos hasta llegar a este punto no han sido fáciles. El proyecto original de Playabarra comenzó en 1993. El primer problema surgió con la descontaminación de los terrenos, que «ahora cuentan con el certificado de calidad de suelo».

Otro contratiempo fue la necesidad de modificar el cauce del Asúa. El río atravesaba el solar con varios meandros que hacían que la zona fuera inundable. Se optó por transformar el laberíntico recorrido en un trazado recto, lo que permitió liberar, además, una importante cantidad de terreno. Este proyecto es el primer paso de uno más ambicioso para recuperar toda la zona industrial en desuso a ambos márgenes del río. En un futuro aún por determinar, el solar de la antigua empresa Aceriber, colindante a la nueva área de actuación, albergará otro polígono industrial, una vez derribado el inmueble.

A fecha 28/12/2008 se publica en el CORREO el siguiente reportaje:



O.J.D.: 125800
E.G.M.: 352000

EL CORREO
ESPANOL

EL CORREO

Fecha: 28/12/2008
Sección: CIUDADANOS
Páginas: 13

Margen Derecha

El derribo de dos ruinas industriales oxigenará el paisaje urbano de Erandio



JUNTO AL RÍO ASUA. Han empezado a descontaminar los suelos de la antigua Aceriber. / P.URRESTI

Erandio pasó en apenas 30 años de ser uno de los pueblos más contaminados de Europa a recibir, en 2005, el premio internacional LivCom Award, que avaló su reconversión en un municipio más amable para los vecinos. Aquel fue un gran paso pero la anteiglesia está a punto de dar otro, y de gigante. A la recuperación del frente de la ría a su paso por el barrio de Alzaga

se sumará una nueva operación de cirugía urbana que permitirá al Ayuntamiento transformar dos pastillas de terreno degradado -Playabarri y las antiguas instalaciones de Kösler Ibérica de Astrabudua- en un polígono empresarial y en una zona residencial.

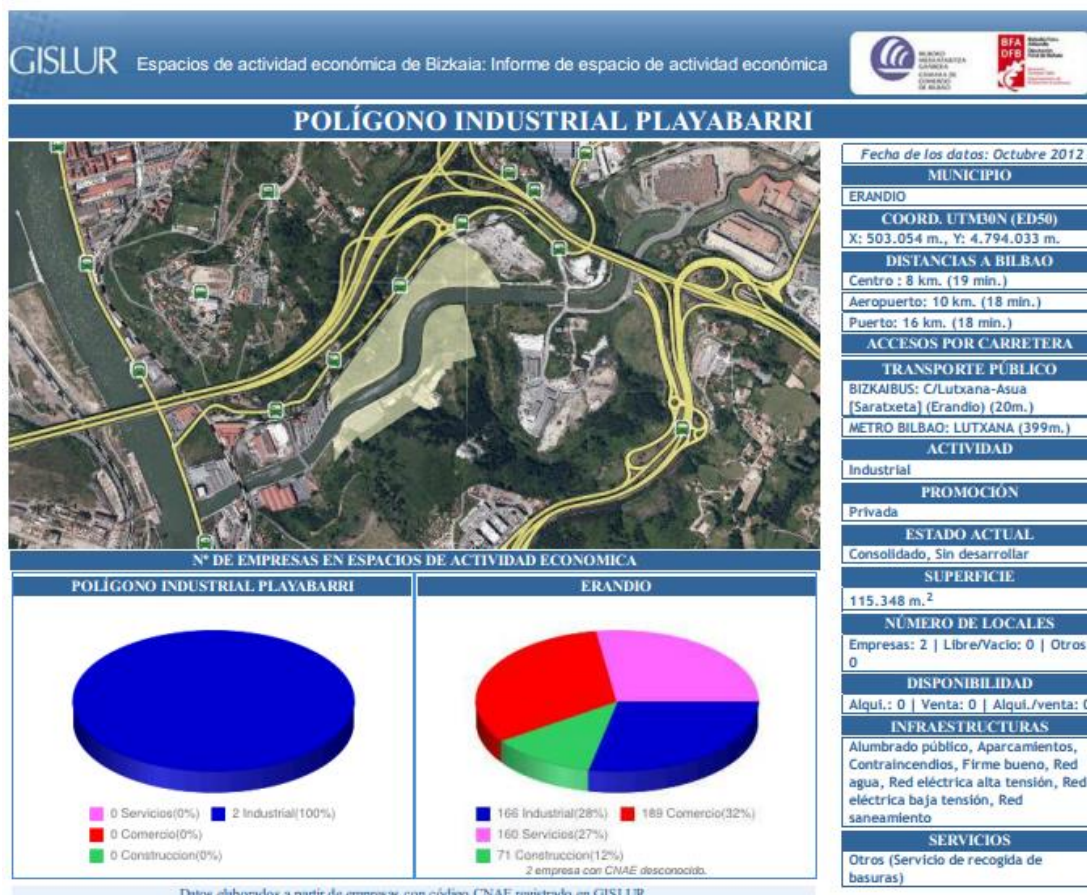
El lavado de cara de Playabarri, una zona de 70.000 m² entre la BI-735 y el río Asúa hasta la altura de la rotonda hacia Rontegi, ha comenzado con la descontaminación del suelo en las instalaciones de la antigua Aceriber, que iba camino de convertirse en pasto de ruina. Desde comienzos de los años 90 las instalaciones han sido desvalijadas hasta convertir el

En los solares que queden en Playabarri y la antigua Kösler se levantarán un polígono empresarial y 320 pisos

EVA MOLANO FRANDIÓ

pabellón en un esqueleto industrial. El Ayuntamiento dice que el edificio «da mala imagen» y por ello se inició un expediente de ruina. Una vez derribado el inmueble y logrado el certificado de calidad del suelo, la zona podrá albergar un polígono industrial. Esta operación se suma a la que el Consistorio tramita para la parcela colindante ubicada entre esta empresa y el puente junto a los talleres de Euskotren, presupuestada en 6 millones de euros. El área se ha recalificado y los trabajos comenzarán tras la aprobación definitiva del proyecto de urbanización. La zona, de 55.000 m², albergará un polígono empresarial. Además, se habilitará un paseo de tres metros y medio de anchura colindante al río Asúa, «por lo que el recinto dejará de ser territorio vedado para los transeúntes».

A continuación se presenta un estudio realizado por la Diputación Foral de Bizkaia:



2.4. MEMORIA CONSTRUCTIVA

La construcción de este edificio seguirá los siguientes pasos:

2.4.1. Accionamiento del terreno, desbroce y limpieza

Debido a que el solar se encuentra repleto de vegetación, el arreglo de la parcela se efectúa desmontando y desbrozando el terreno por medios mecánicos, con retirada de la vegetación y demás residuos al vertedero. Posteriormente se realiza un relleno de zahorra natural, la cual debe cumplir los requisitos técnicos necesarios, que faciliten su puesta en obra y compactación adecuadas.

2.4.2. Explanación, refino y nivelación

Tras la limpieza del terreno, se procederá a la explanación, refino y nivelación de este solar de 32.425,10 m², por medios mecánicos.

2.4.3. Excavaciones

Se procederá a la excavación de las zapatas, vigas de atado, conductos de saneamientos y arquetas, mediante retroexcavadora, con extracción de tierras a bordes, para su posterior transporte a vertedero. La excavación de pozos y zanjas se realiza por medios mecánicos, entibando si fuera necesario o incluso realizando el agotamiento de agua que pudiera existir en la excavación.

2.4.4. Cimentación

Toda la cimentación se realiza con hormigón de resistencia característica de valor 250 kp/cm², que será vertido previa eliminación de todo tipo de obstáculos que se encuentren dentro de los límites de la excavación así como de todo tipo de elementos contaminadores de la zona y previa colocación de las armaduras sobre una solera de hormigón de limpieza de 10 cm de espesor. Se construirán las zapatas y las vigas de arriostramiento que unen estas entre sí. En las zapatas se dejarán embebidos los pernos para la colocación de las placas base para los pilares metálicos.

En el remoto caso de que al excavar no se encontrase firme, se continuará el vaciado hasta encontrarlo, debiendo rellenarse dicha excavación con grava compactada de origen prefabricado hasta la cota considerada en donde vaya a ir colocado el mallazo de la zapata. Dicha cota deberá coincidir con el resto de mallazos de cada una de las zapatas que sustentarán los pórticos.

A continuación se indican las recomendaciones constructivas que pueden resultar de utilidad para el cálculo de las zapatas:

- Bajo la zapata deben disponerse 10 cm de hormigón de limpieza. La excavación de los 20-25 cm inferiores de terreno no debe llevarse a cabo hasta momentos inmediatamente anteriores a verter el hormigón de limpieza para impedir el acceso a todo tipo de elementos contaminantes a la zona de cimentación.
- Salvo grandes zapatas en las que no es de gran relevancia, es muy conveniente disponer de canto constante.

En las zapatas se dejarán embebidos los pernos para la colocación de las placas base para los pilares metálicos.

2.4.5. Red de saneamiento

Se construirán las arquetas previstas y se colocarán los conductos que componen la red de saneamiento.

2.4.6. Solera

Se nivelará el solar a base de compactación de todo uno mediante medios mecánicos. Se colocarán la lámina de polietileno y el mallazo de reparto y se procederá a su hormigonado, se realizarán las juntas de contracción.

2.4.7. Montaje estructura principal

Vendrá de fábrica prácticamente preparada para que su montaje en obra se realice lo más sencillo posible. El montaje de esta se realizará pòrtico a pòrtico. Acto seguido, se colocarán los arriostramientos de la nave en Cruz de San Andrés, y las vigas de arriostramiento que unen las cabezas de los pilares. Una vez colocados todos los pòrticos y los arriostramientos, se colocarán las correas conformadas tanto de fachada como de cubierta, así como perfiles de puerta exterior de incendios. Con las correas colocadas, se procederá a la colocación de la viga carril y puente grúa.

En la organización constructiva de una nave industrial se distinguen los siguientes elementos:

- *Correas*: son vigas formadas en general por perfiles metálicos laminados o conformados en frío que reciben directamente la cubierta propiamente dicha, transmitiendo su peso y cargas (nieve, viento, etc.) a los pòrticos transversales. También se pueden disponer correas en los paramentos de la nave, las cuales recibirán las cargas horizontales transmitidas mediante los paneles de cerramiento y las transmitirán a los pilares de los pòrticos transversales.
- *Pòrticos transversales*: están formados por un sistema de vigas de celosía y pilares, o por pòrticos a dos aguas construidos con piezas de alma llena de sección constante o variable. Resisten las cargas transmitidas por las correas y también las cargas de viento perpendiculares al eje longitudinal de la nave, recogidas por los pilares.
- *Vigas contraviento*: se organizan añadiendo una celosía en cruz de San Andrés o en forma de K que enlaza los cordones superiores de las cerchas o de las vigas que forman los dinteles de los pòrticos. Se disponen en los vanos extremos o intermedios de la nave.
- *Vigas de arriostramiento o de compresión*: generalmente son perfiles similares a los de los pòrticos principales, pero de menores dimensiones, que se colocan cerca de la unión viga-pilar de los pòrticos transversales y unen estos pòrticos entre sí transmitiendo así las cargas longitudinales hasta los entramados laterales. En el caso de que la nave disponga de junta de dilatación, las vigas de

arriostramiento serán algunos de los elementos longitudinales que deberán ser discontinuos en dicho punto.

- *Entramados hastiales:* reciben las acciones debidas al viento de dirección longitudinal y forman una estructura que soporta el cerramiento frontal de la nave. Estas acciones horizontales se concentran en los pilares que las transmiten a las vigas a contraviento y también directamente a la cimentación.
- *Entramados laterales:* constituidos por los pilares de los pórticos principales a los que se les añade también una celosía en cruz de San Andrés o en K, en uno o más vanos. Aquellos que forman parte de los entramados laterales reciben, además, las cargas horizontales dirigidas en el sentido longitudinal de la nave por las vigas a contraviento.
- *Vigas carril:* para naves que disponen de puente-grúa para transportar elementos de gran peso o dimensiones dentro de ellas. En ese caso, las vigas carril reciben las cargas de la viga puente, transmitiéndolas a los pórticos principales y a los entramados laterales.

2.4.7.1. Cerramiento de fachada y cubierta

El cierre de una nave industrial se basa en los cerramientos tanto de cubierta como de fachada; los primeros tienen una mayor repercusión en la estructura principal ya que su peso propio debe ser resistido por la cubierta de una manera más directa que los cerramientos de fachada, que incluso en algunos casos pueden apoyarse sobre la cimentación.

Hoy en día existe una tendencia a utilizar soluciones prefabricadas de fácil y rápido montaje, y a la mejora de su durabilidad y posibilidades de creatividad para el proyectista.

- *Durabilidad:* no sólo de la estructura, sino también de los materiales de recubrimiento que constituyen la cubierta. Este concepto debe entenderse en sentido amplio y en consecuencia deben considerarse razones de mantenimiento y recuperación, así como los factores económicos y relacionados con el período de vida de la cubierta.

- *Resistencia y estabilidad:* los elementos y componentes estructurales de la cubierta se diseñarán con la resistencia adecuada para que se mantenga intacta, estable y con una deformación limitada y controlada bajo las tensiones que operan a consecuencia de los pesos propios y las sobrecargas.
- *Impermeabilidad:* la cubierta debe ser adecuada a los condicionantes climáticos y, por consiguiente, debe asegurar la estanqueidad al agua de lluvia o nieve. La resistencia que presenta una cubierta en su conjunto a las condiciones atmosféricas es función principalmente de su recubrimiento exterior, cuya eficacia depende de la capacidad que tenga la estructura para proporcionar la inclinación adecuada para que el agua discurra y no quede estancada.
- *Aislamiento térmico:* con el fin de contribuir al logro de unas temperaturas razonablemente estables y que resulten confortables para la actividad eficaz de los ocupantes del edificio, o bien al logro de la temperatura que sea necesaria para un determinado proceso.
- *Aislamiento acústico:* para la reducción del sonido aéreo y del proveniente de la caída de la lluvia y del granizo. En muchos edificios industriales los niveles de ruido interior son tan altos que hacen innecesaria la reducción del ruido exterior.
- *Protección contra el riesgo de incendio:* no sólo de los que se produzcan en el interior del edificio, sino también de los posibles incendios que se produzcan en el exterior, ya que las cubiertas se pueden incendiar en su parte exterior por la exposición a un calor intenso y a las llamas de los fuegos de las edificaciones adyacentes.
- *Adaptabilidad:* los sistemas estructurales de cubiertas difieren en gran manera en sus exigencias de apoyo, de ahí que en el diseño y elección del tipo de cubierta se deban prever posibles alteraciones o ampliaciones en la construcción, siendo este aspecto bastante normal en edificación industrial debido a las necesidades del proceso.

En lo que respecta a los cerramientos de fachada, de forma general se pueden clasificar en dos grandes grupos: los tradicionales y los prefabricados. Los tradicionales suelen ser los cerramientos de fábrica de ladrillo y los bloques de hormigón. En los

cerramientos verticales prefabricados existe una gama más amplia y principalmente se clasifican en pesados o ligeros (PVC, chapa metálica, muro cortina, fibrocemento,...).

En general, los paramentos verticales deben cumplir tres exigencias principales:

- *Exigencias estructurales:* el cerramiento de fachada debe ser capaz de soportar las acciones horizontales del viento que incide sobre él, las debidas a su propio peso, los esfuerzos debidos a su dilatación y de la estructura a la que está adosado, así como contar con una resistencia al fuego adecuada a lo exigido según normativa.
- *Exigencias ambientales:* el cerramiento debe asegurar la estanqueidad frente al agua y la nieve, así como la ausencia de humedades debidas a la condensación, atenuación de las condiciones acústicas desfavorables o establecimiento de la protección térmica adecuada.
- *Exigencias de durabilidad:* el cerramiento debe contar con la capacidad suficiente para resistir agentes agresivos o abrasivos, así como resultar fácil su mantenimiento y conservación.

2.4.7.2. Correas de cubierta y laterales

Las correas son elementos constructivos que se colocan tanto en la cubierta (correas de cubierta) como en la fachada (correas laterales) cuando el material de cerramiento es ligero, por ejemplo, paneles de acero nervado. Las correas son el primer elemento estructural, sin tener en cuenta los cerramientos, que absorben las sobrecargas y el peso propio y se lo transmiten a los pórticos, para que éstos a su vez transmitan las cargas a la cimentación y de ahí al terreno. Apoyan directamente sobre los cordones de las vigas de celosía o sobre los dinteles de los pórticos, disponiendo ejiones que faciliten el montaje e impidan su vuelco.

Como correas se utilizan generalmente perfiles de acero conformado o perfiles de acero laminado, según estime el proyectista en función de la capacidad de cada perfil y de las necesidades estructurales. El uso de perfiles IPN, IPE o UPN, por ejemplo, es muy común ya que las correas trabajan principalmente a flexión y este tipo de perfiles

tienen muy buen comportamiento en uno de sus planos. En el otro plano, que es normalmente el paralelo a la cubierta o a la fachada, donde se contiene el denominado eje débil del perfil, se pueden disponer tirantillas para reducir la flecha y el momento flector. A veces incluso se opta por doblar la sección de perfil adosando dos perfiles iguales que trabajan como si fueran una sola correa, debido a que pueden sufrir un esfuerzo de compresión axial y resultan excesivamente esbeltas en dirección transversal (eje débil). De todas maneras, últimamente se está potenciando la utilización de perfiles conformados en frío con forma de C, Z o Ω debido a que estos perfiles presentan un buen comportamiento a la flexión en ambos planos. Aunque las correas también sufren un esfuerzo cortante, éste apenas influye en su comportamiento y a veces incluso se desprecia frente al momento flector.

Respecto al cálculo, las correas se calculan generalmente como vigas continuas cuyos apoyos coinciden directamente con los pórticos transversales o con las armaduras, según el caso. De esta manera se aprovecha mejor el material tanto por las tensiones como por las deformaciones originadas por la flexión frente a las vigas isostáticas. Sin embargo, es posible realizar también el cálculo como si se tratara de vigas biapoyadas. Además, a la hora de dimensionar las correas se tiene en cuenta el tipo de fijación que las une a los pórticos, si se verán afectadas por un momento flector o éste será absorbido por el cerramiento, etc.

2.4.7.3 Pórticos transversales

Los pórticos son los elementos estructurales de la nave que transmiten los esfuerzos provenientes de las correas al terreno a través de la cimentación. En función de las características de diseño, como puede ser la luz necesaria entre pórticos o las sollicitaciones a las que se verá sometida la nave, existen diferentes tipos de pórticos.

En primer lugar debe elegirse el tipo de material que se va a utilizar para crearlos; éstos pueden ser de hormigón armado, de acero o mixtos. En este estudio interesan los metálicos. Se puede diferenciar dos tipos de pórticos metálicos, los que tienen vigas de alma llena por dinteles o los que están formados por una celosía. Evidentemente esta clasificación es muy general, puesto que aparte de todas las diferentes opciones que se

dan estos dos tipos de pórticos, los pilares también pueden ser de diferentes formas y secciones.

Los pórticos pueden tener muchas y diferentes formas dependiendo de las necesidades constructivas. Por un lado, pueden ser pórticos a un agua o a dos aguas; también pueden ser pórticos adosados, o con forma de diente de sierra, con diferentes inclinaciones, etc. Además, en función de la vinculación del pórtico al terreno, éstos pueden ser biempotrados, biarticulados o triarticulados (cubrera articulada).

Para decantarse por un pórtico u otro, pueden influir los tipos de unión entre viga-pilar, la unión en cubrera, el anclaje al terreno, etc. Dependiendo de los tipos de uniones seleccionados se tendrán distribuciones de cargas diferentes, por lo tanto unas necesidades diferentes. Dependiendo de la luz y de las cargas a las que se ven sometidos se pueden poner como vigas perfiles de sección constante, de sección variable, acarteladas, alveolares, rigidizadas, etc.

Cuando se tienen grandes luces, y no se tienen problemas de altura se colocan celosías, que al igual que los pórticos, existen diferentes tipos de ellas. Existen a su vez diferentes tipos de triangulaciones para las celosías. Al igual que para los dinteles de alma llena, la unión viga-pilar en los pórticos con dintel de celosía puede ser rígida, biarticulada o articulada con deslizadera, todo ello dependiendo de los esfuerzos que soporte el pórtico. Por esa misma razón los pilares también se verán afectados, ya que se puede dar el caso en que sea necesario armar perfiles, utilizar perfiles de sección variable para ahorrar material e incluso diseñar dos tramos de pilar (pilar en bayoneta).

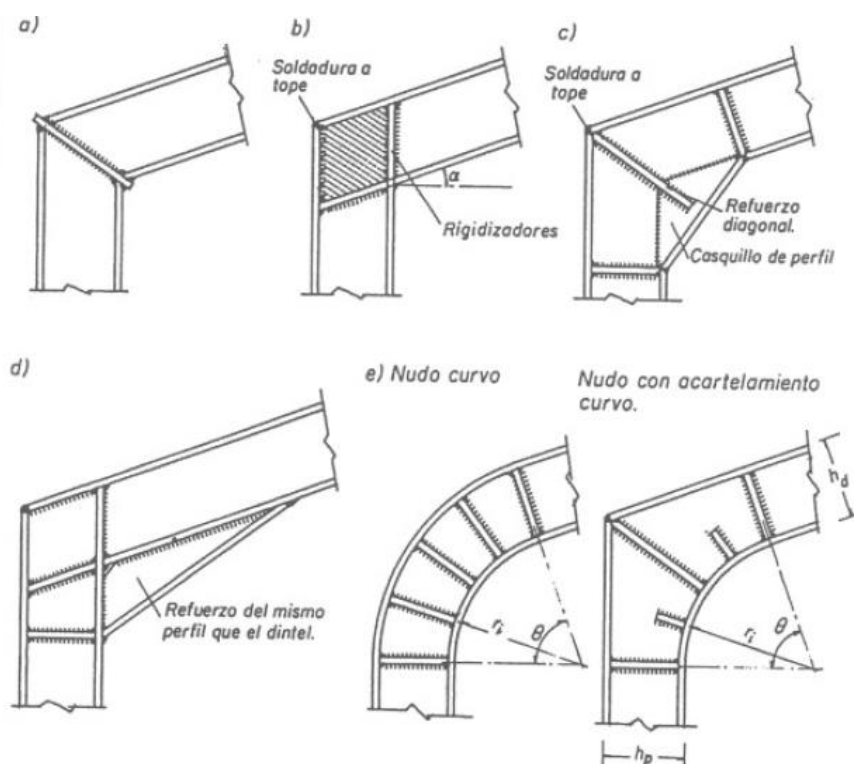
Se observa que las opciones para determinar el pórtico a elegir son infinitas, y el proyectista y su destreza serán los que se harán que se escoja una u otra.

2.4.7.4. Uniones y empalmes

La elección de las secciones en las que se efectúa el empalme de las barras durante el montaje, debe corresponder a aquellas zonas en las que las flexiones son más reducidas. Las uniones pueden ser rígidas, articuladas o semirrígidas. Estas uniones se realizarán mediante soldadura o tornillos. Se aconseja para las uniones realizadas en obra la utilización de tornillos, que en general son de alta resistencia, ya que las uniones

soldadas resultan difíciles de ejecutar correctamente a la intemperie, ya sea por motivos de tiempo atmosférico desfavorable o por una posición inadecuada del operario. Las uniones atornilladas pueden ser empalmes efectuados con cubrejuntas o con placas de testa.

Para los nudos de esquina, existen distintas disposiciones constructivas. Si el momento flector en la unión es muy elevado, se deberán disponer cartelas para aumentar la sección del material y absorber así el momento flector. También se podrá reforzar una unión (o el resto de la viga o pilar) mediante chapas adosadas al alma o mediante rigidizadores cuando los esfuerzos axiales o cortantes sean importantes.



En el nudo de cumbrera, si las solicitaciones no son muy importantes se suele recurrir a “semiarticulaciones”, ejecutadas cerrando las barras del dintel con dos placas y uniéndolas con una pareja de tornillos dispuestos en el eje normal al plano del pórtico. Por otra parte, si la cumbrera tiene una unión rígida, hay que prever en los cambios de dirección bruscos de las alas del perfil, diafragmas o refuerzos que equilibren la fuerza resultante derivada del cambio de dirección.

2.4.7.5. Vigas contraviento y entramados

La viga contraviento, acompañada de los elementos laterales, forma un sistema estable para resistir las cargas longitudinales e impedir los desplazamientos, también longitudinales, de la nave, inmovilizando además en las secciones arriostradas las cabezas de las vigas o cordones superiores de las celosías de los pórticos.

La triangulación que se adopta es, en general, en cruz de San Andrés; no obstante puede utilizarse cualquier otro modelo, como la triangulación en K. La pared del entramado frontal está formada por un grupo de pilares intermedios (pilarillos), que son los que soportan directamente las fuerzas del viento que recibe el cerramiento y las transmiten a la viga contraviento y cimentación.

En los entramados laterales, si la organización constructiva de la nave es tal que el material de cierre puede por sí mismo soportar estas solicitaciones, no es necesario disponer arriostramientos. Sin embargo, si el cerramiento a emplear es ligero o el cerramiento no es capaz de resistir estas solicitaciones, es preciso dar rigidez longitudinal a las paredes, organizando arriostramientos. Si las dimensiones de la nave no son muy grandes, se disponen normalmente dos vanos arriostrados, uno en cada extremo, aunque la mayoría de las veces es necesario disponer más de dos.

2.4.8. Particiones interiores

Se levantarán los tabiques contemplados para los aseos, vestuarios, oficinas y la parte de almacén.

2.4.9. Acabados

Se realizarán los alicatados de los aseos, colocación de solado de gres, raseados, taquillas, colocación de ventanas, puertas interiores...

2.4.10. Instalaciones

Se procederá a la colocación de todos los conductos necesarios para las instalaciones previstas en el edificio. Con todos los conductos y tomas de corriente ya instalados, se colocaran los urinarios, lavabos,....

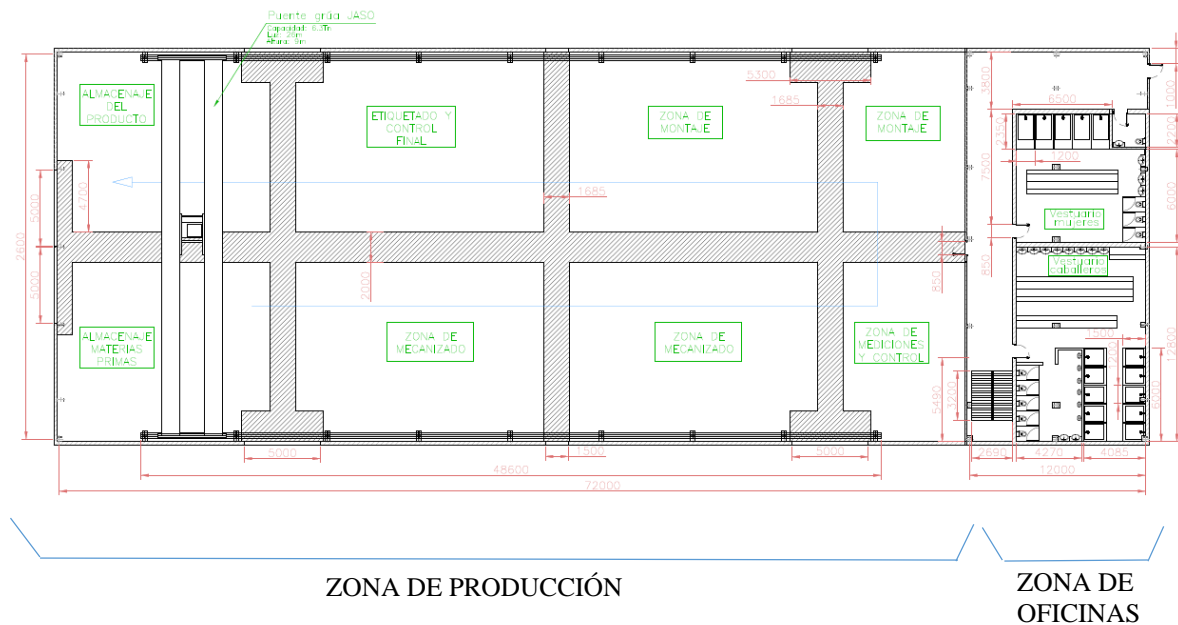
2.4.11. Urbanización del entorno

Se procederá a urbanizar el entorno de los edificios, para lo que se realizaran labores de asfaltado, creación de zonas verdes, colocación de señalización..., así como una parte del solar con el fin de ampliar la empresa en un futuro.

2.4.12. Distribución en planta

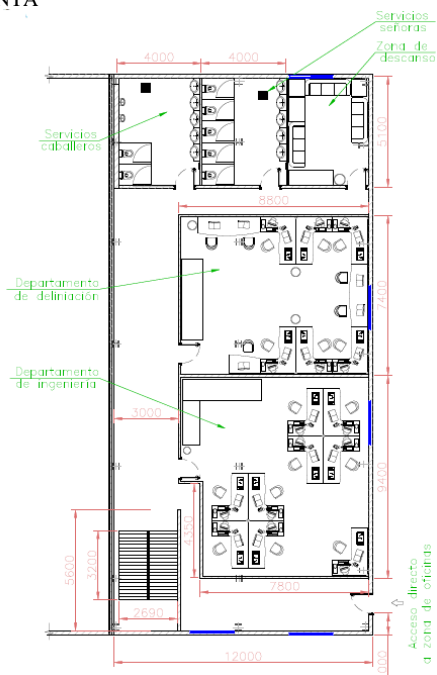
La distribución y diseño de esta nave industrial está enfocada al proceso de bombas industriales y al confort de todos los empleados de la empresa, ambientando de esta manera un lugar de trabajo agradable para todos.

La nave se divide en dos zonas generales que son la zona de producción y la zona de oficinas. La primera de ellas dispone de un puente grúa con capacidad de 6.3 Tn y se distribuye en otras zonas que son; almacenaje de materia prima, mecanizado, control y medición, montaje, equilibrado y control final y etiquetado y almacenaje del producto. La zona de oficinas consta de tres plantas. En la planta baja se ubican los vestuarios para mujeres y caballeros además de un baño para minusválidos tal y como se muestra en la figura:

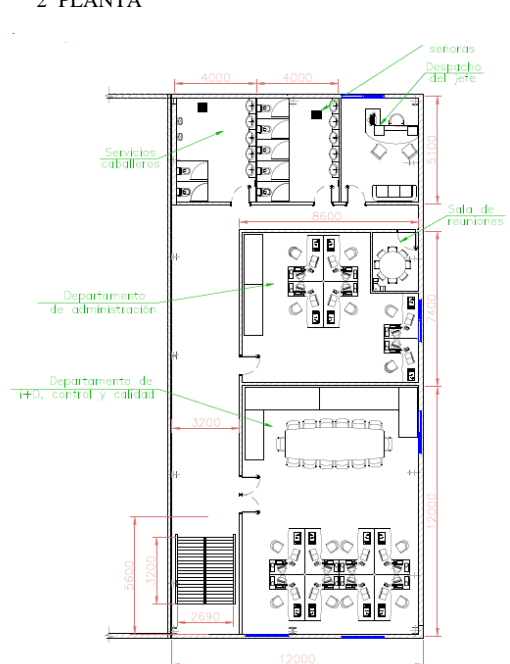


La 1ª planta consta de un departamento de delineación, departamento de ingeniería, zona de descanso y servicios para mujeres y caballeros con un acceso directo desde el exterior a dicha planta. En la 2ª planta se encuentra el departamento de administración, departamento de i+D, control y calidad, sala de reuniones, despacho del director y los servicios para mujeres y caballeros.

1ª PLANTA



2ª PLANTA



2.5. NORMAS Y REFERENCIAS

2.5.1.- DISPOSICIONES LEGALES Y NORMAS APLICADAS

En este apartado se presenta la normativa que se debe aplicar a un proyecto de diseño de una nave industrial. Las exigencias básicas que establece esta normativa deben cumplirse tanto en el proyecto, como en la construcción, el mantenimiento y la conservación del edificio y sus instalaciones.

Con ello, el principal marco normativo a seguir en todo momento durante la ejecución de este proyecto será el Código Técnico de la Edificación (CTE) ya que es el que regula las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios, incluidas sus instalaciones, para satisfacer los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad, en desarrollo de lo previsto en la disposición adicional de la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE).

Dentro del Código Técnico de la Edificación, en su segunda parte destacan los Documentos Básicos que contienen, por un lado, la caracterización de las exigencias básicas y su cuantificación mediante el establecimiento de las características cualitativas o cuantitativas objetivamente identificables del edificio, y por otro lado, unos procedimientos, cuya utilización acredita el cumplimiento de dichas exigencias básicas, que se definen en forma de métodos de verificación o soluciones sancionadas por la práctica.

En este proyecto destacaremos particularmente los siguientes Documentos Básicos:

- Documento Básico de Seguridad Estructural (DB-SE):

Tiene como objetivo asegurar que el edificio tiene un comportamiento estructural adecuado frente a las acciones e influencias previsibles a las que pueda estar sometido durante su construcción y uso previsto.

- Documento Básico de ACERO (SE-A)

Se destina a verificar la seguridad estructural de los elementos metálicos realizados con acero en edificación y se refiere únicamente a la seguridad en condiciones adecuadas de utilización, incluyendo los aspectos relativos a la durabilidad.

➤ Documento Básico de ACCIONES EN LA EDIFICACIÓN (SE-AE)

Su función consiste en determinar las acciones sobre los edificios para verificar el cumplimiento de los requisitos de seguridad estructural (capacidad portante y estabilidad) y aptitud al servicio.

➤ Documento Básico de CIMIENTOS (SE-C)

Se refiere a la seguridad estructural, capacidad portante y aptitud al servicio de los elementos de cimentación de todo tipo de edificios, en relación con el terreno, independientemente de lo que afecta al elemento propiamente dicho.

➤ Documento Básico de SEGURIDAD EN CASO DE INCENDIO (SI)

Este documento excluye de su ámbito de aplicación “a los edificios, establecimientos y zonas de uso industrial a los que les sea de aplicación el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales”.

➤ Documento Básico de SEGURIDAD DE UTILIZACIÓN (SU)

Se limita el riesgo de que los usuarios sufran daños inmediatos durante el uso previsto de los edificios, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento.

➤ Documento Básico de SALUBRIDAD (HS)

Se trata de reducir a límites aceptables el riesgo de que los usuarios, dentro del edificio y en condiciones normales de utilización, padezcan molestias o enfermedades, así como el riesgo de que los edificios se deterioren y de que deterioren el medio ambiente en su entorno, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento.

➤ Documento Básico de PROTECCIÓN FRENTE AL RUIDO (HR)

Se limita el riesgo de molestias o enfermedades que el ruido pueda producir a los usuarios, dentro de los edificios y en condiciones normales de utilización, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento.

➤ Documento Básico de AHORRO DE ENERGÍA (HE)

Nos ayuda a conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización del edificio, reduciendo a límites sostenibles su consumo, y también a conseguir que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovable.

Según lo explicado respecto al Documento Básico de Seguridad en Caso de Incendio, este proyecto deberá cumplir las directrices que se establecen en el Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales (Real Decreto 2267/2004), el cual establece los requisitos que deben cumplir los establecimientos e instalaciones de uso industrial para su seguridad en caso de incendio, ya que el ámbito de aplicación de esta normativa incluye a los talleres de reparación y los estacionamientos de vehículos destinados al servicio de personas y transporte de mercancías. Este reglamento nos ayuda a reducir a límites aceptables el riesgo de que los usuarios de un edificio sufran daños derivados de un incendio de origen accidental, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento.

Por otra parte, teniendo en cuenta que el material prioritario en la cimentación de la nave es el hormigón armado, también será de obligado cumplimiento la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08, en la que se proporcionan procedimientos que demuestran su cumplimiento con suficientes garantías técnicas. Además, es obligatorio el cumplimiento de la INSTRUCCIÓN PARA LA RECEPCIÓN DE CEMENTOS (RC-08), según Real Decreto 956/2008 de 6 de Junio, el cual define las prescripciones técnicas generales que deben satisfacer los cementos y los métodos de ensayo para comprobarlas, para su recepción en las obras de construcción, en las centrales de fabricación de hormigón y en las fábricas de productos de construcción en cuya composición se incluya el cemento.

En lo que respecta a urbanismo, este proyecto es acorde al Plan General de Ordenación Urbana (PGOU) de Erandio, de acuerdo con lo establecido en el artículo 67 de la Ley 2/2006 de Suelo y Urbanismo del País Vasco. Por otra parte, el PGOU está sometido al procedimiento de evaluación ambiental estratégica regulado por el Real Decreto 211/2012, de 16 de octubre, integrando también su contenido el denominado

Informe de Sostenibilidad Ambiental (ISA) como documento a través del cual se incorpora el análisis de esta variable.

En lo referente al Control de Calidad, este proyecto también cumple con el Real Decreto 238/1996 del Boletín Oficial del País Vasco nº 215 de 22 de octubre, de CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN, el cual permite garantizar, a través de los organismos oficiales, el cumplimiento de lo referido en la normativa vigente sobre Control de Calidad en la edificación y también concretar las funciones a desempeñar en esta materia por los facultativos que intervienen en la obra de construcción. Es obligatorio en obras de más de 300.000 €.

Para el cálculo y diseño de la grúa puente se ha considerado la Norma UNE 76-201-88 en donde se refleja las bases de cálculo específicas para los caminos de rodadura de los puentes grúa realizados en construcción metálica y reacciones producidas por el funcionamiento del puente grúa tanto en los propios pilares como en la viga carrilera.

Se consideran además la Orden 891/1980 de 14 de Abril y la orden de 9 de Abril de 1981 para la instalación y uso de paneles fotovoltaicos.

Este proyecto también cumple con el Real Decreto 173/2010, de 19 de febrero de Medidas Mínimas de Accesibilidad a los Edificios, por las que se establece las exigencias dimensionales mínimas que afectan a la accesibilidad y desplazamientos en los edificios de nueva planta, siendo de carácter supletorio de las que puedan dictar las Comunidades Autónomas en ejercicio de sus competencias.

En lo que respecta a la seguridad en el trabajo, este proyecto cumple con la LEY DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES (Ley 31/1995) y con las DISPOSICIONES MÍNIMAS DE SEGURIDAD Y SALUD EN LAS OBRAS DE CONSTRUCCIÓN, en las que se desarrolla la Ley de Prevención de Riesgos Laborales y donde se establece las condiciones mínimas de seguridad y salud aplicables en las obras.

De manera más genérica, este proyecto cumple con las Normas sobre Redacción de proyectos y dirección de Obras de Edificación, según Real Decreto 129/1985, de 23 de Enero donde se establece la obligación de hacer constar expresamente las características que deben reunir los proyectos de obras de edificación de cualquier tipo, así como la obligación de los Órganos encargados de su visado de constatarlo; la

obligatoriedad del Libro de Órdenes y Asistencias en toda obra de edificación, y de la expedición del certificado final de obra para la ocupación de cualquier inmueble de promoción privada. También regula la intervención de Colegios profesionales y Oficinas de supervisión de proyectos.

De manera particular en la Comunidad Autónoma del País Vasco, este proyecto cumple con el Real Decreto 49/2009 que regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero y la ejecución de los rellenos con tierras o rocas.

Finalmente, y de manera no obligatoria, este proyecto cumple con las Normas Tecnológicas de la Edificación, que regulan cada una de las actuaciones que intervienen en el proceso edificatorio: diseño, cálculo, construcción, control, valoración y mantenimiento, aunque su carácter es puramente instructivo.

2.5.2.- BIBLIOGRAFÍA

➤ Libros:

- ✦ “La estructura metálica hoy”. Tomos I y II., Ramón Argüelles Álvarez.
Ed. Técnicas y Científicas MBH, 1999.
- ✦ “Timoshenko: Resistencia de materiales”, Gere James M.
- ✦ “Arte de proyectar en arquitectura”, Ernst Neufert.
- ✦ “Acero laminado: Prontuario”, Nicolas Larburu.
- ✦ “Construcciones metálicas”, F. Rodríguez Avial.
- ✦ Apuntes de Teoría de Estructuras y Construcciones Industriales.
- ✦ Apuntes de Elasticidad y Resistencia de Materiales.
- ✦ Apuntes de Arquitectura y Calidad en la Edificación.
- ✦ Apuntes de topografía y construcción industrial.

➤ Páginas web:

- ✦ <http://www.erandio.net>
- ✦ <http://www.bizkaia.net>
- ✦ <http://www.boe.es>
- ✦ <http://erandiopgou.com>
- ✦ <http://www.hiansa.com>
- ✦ www.constructalia.com
- ✦ <http://www.jaso.com/es/la-empresa>
- ✦ <http://www.roca.es>
- ✦ <http://www.cype.es>
- ✦ www.proyectosfindecarrera.com
- ✦ www.logismarket.com
- ✦ www.codigotecnico.org
- ✦ www.aenor.es
- ✦ www.bizkaia.net
- ✦ http://www.fomento.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/ORGANOS_COLEGIADOS/CPH/
- ✦ www.soloarquitectura.com/foros
- ✦ [noticiasjuridicas.com](http://www.noticiasjuridicas.com)

➤ Prontuarios y catálogos:

- ✦ Prontuario de paneles “ARVAL”.
- ✦ Prontuario de grúas puente JASO.
- ✦ Prontuario de forjados de chapa colaborante HIANSA.
- ✦ Prontuario de puertas cortafuegos ATHENEA.
- ✦ Prontuario puertas correderas industriales HORMANN.
- ✦ Prontuario sistemas solares KALZIP.
- ✦ Prontuario productos ROCA.
- ✦ Prontuario CM CURBIMETAL.

2.5.3.- PROGRAMAS DE CÁLCULO

- *Programa CYPECAD*

Para la realización de los cálculos se ha optado por la utilización del programa de cálculo “CYPECAD”, desarrollado por CYPE ingenieros S.A. En una primera fase se utiliza el “Generador de pórticos” aplicación que permite al usuario diseñar las correas metálicas, tanto en cubierta como en los laterales de la nave. Además permite generar la geometría del pórtico tipo en dos dimensiones, considerando cargas y coeficientes de pandeo según la descripción y normativa seleccionada. Para calcular los perfiles de las barras que conforman el pórtico es necesario la exportación del fichero a la que sería la segunda parte del programa de “Cype”, esto es, el “Metal-3D”. Este programa ha sido concebido para realizar el cálculo y dimensionado de estructuras metálicas. El análisis de las solicitaciones se realiza mediante un cálculo espacial en 3D, por métodos matriciales de rigidez, formando todos los elementos todos los elementos que definen la estructura: pilares, vigas, cimentación, etc.

El Método Matricial conduce a grandes sistemas de ecuaciones lineales mediante la idealización de la estructura real. Este método consiste en suponer desconocidos los desplazamientos y giros de los nudos de un modelo de cálculo y para ello se establecen dos tipos de relaciones: las relación entre los desplazamientos y los esfuerzos que éstos originan en los nudos de las barras, y el equilibrio de fuerzas entre las acciones exteriores a la estructura y los esfuerzos generados en los nudos, obtenidos anteriormente. Planteando las ecuaciones de equilibrio se establece un sistema matricial de ecuaciones cuyas incógnitas son los desplazamientos. Una vez conocidos dichos desplazamientos y su relación con los esfuerzos en los nudos, se calculan los esfuerzos en los extremos de las barras.

Sin embargo, al tratarse de una idealización de la estructura, el modelo de cálculo se aproxima lo máximo posible al comportamiento real de la estructura, pero existen factores que impiden que la fiabilidad ante dichos cálculos sea total. Por ejemplo, las acciones que actúen sobre la estructura pueden ser diferentes a las cargas supuestas o incluso durante la ejecución de la obra la estructura puede sufrir algún cambio. De todas maneras, estas diferencias entre la estructura real y el modelo de cálculo se salvan

prácticamente en su totalidad mediante la aplicación estricta de la normativa existente y mediante la experiencia del técnico.

- *Software de forjados HAINSA*

El Software proporcionado por la empresa HAINSA tiene como objeto dar una solución al cliente del forjado colaborante necesario según las características y solicitudes a las que esté expuesto. Es una herramienta muy completa pero caracterizada por un manejo intuitivo y sencillo. Posiblemente sea el programa dedicado a esta tipología de estructura mixta (acero hormigón) más completo y potente a nivel Europeo. Se trata del fruto de muchos meses de estudio e investigación en colaboración con el Grupo de Estructuras de la Escuela de Ingenieros Superiores de Sevilla, Dpto. de Mecánica de Medios Continuos. Todos los procesos y sus resultados (certificados de producto) cumplen con las normas más restrictivas y avanzadas en Europa, los Eurocódigos. Se trata de unas Normas que reflejan en cada momento el máximo nivel del conocimiento alcanzado por expertos procedentes de todos los Países de la Unión en un determinado sector, y por ello sirven de base para la redacción de las diferentes Normas de obligado cumplimiento a nivel nacional.

- *Software “GIM”*

“GIM” es un software registrado para el análisis cinemático y estático, creado por el grupo de investigación COMPMECH en la Universidad del País Vasco UPV/EHU. Principalmente se caracteriza por la capacidad de resolver construcciones cinemáticas mostrando el centro instantáneo de rotación, los polos fijos y móviles, polos de aceleración, recorrido, etc. Por otro lado, este programa ha sido de vital importancia para el diseño de la celosía en lo que a la geometría se refiere, mostrando las tensiones a las que están sometidas las distintas barras para los distintos casos geométricos, y permitiendo una comparación de resultados para así obtener una celosía óptima.

- *Software CRANEWAY 8.xx*

Software para cálculo de la viga carril del puente grúa.

2.5.4.- PLAN DE GESTIÓN DE CALIDAD

La elaboración del Programa de Control se lleva a cabo según el Decreto 238/1996 de 22 de Octubre por el que se regula el Control de calidad en la construcción y tiene por objeto garantizar la verificación y el cumplimiento de la normativa vigente, creando el mecanismo necesario para realizar los Ensayos y Pruebas que avalen la idoneidad técnica de los materiales empleados en la ejecución y su correcta puesta en obra, conforme a los documentos del proyecto.

Las características de los materiales definidas en el proyecto así como las mediciones correspondientes a los mismos y la composición y número de lotes a ensayar de cada uno de ellos, se especifican en el Programa de Control de Calidad. Una vez terminado dicho Programa de Control de Calidad se visa por el Colegio Oficial correspondiente y pasa a formar parte del Proyecto.

Para la realización de los ensayos, análisis y pruebas se cuenta con el conocimiento de la Dirección Facultativa, los servicios de un Laboratorio de Ensayos debidamente acreditado y antes del comienzo de la obra se dará traslado del “Programa de Control de Calidad” a dicho Laboratorio con el fin de coordinar de manera eficaz el control de calidad.

Una vez comenzada la obra la Dirección Facultativa anotará en el “Libro de Control de Calidad” los resultados de cada ensayo y la identificación del laboratorio que los ha realizado, así como los certificados de origen, marcas o sellos de calidad de aquellos materiales que los tuvieran.

Para darse por enterada de los resultados de los ensayos la Dirección Facultativa y el Constructor firmará en el “Libro de Control de Calidad” y reflejará en este y en el correspondiente “Libro de Ordenes” los criterios a seguir en cuanto a la aceptación o no de materiales o unidades de obra, en el caso de resultados discordes con la calidad definida en el Proyecto, y en su caso cualquier cambio con respecto a lo recogido en el Programa de Control.

Finalmente para la expedición del “Certificado Final de Obra” se presentará en el Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos el “Certificado de Control de Calidad” siendo preceptivo para su visado la aportación del “libro de Control de

Calidad". Este Certificado de Control será el documento oficial garante del control realizado.

2.6. REQUISITOS DE DISEÑO

En este apartado se tendrán en cuenta los datos de partida y las bases establecidas por el cliente y los que se derivan de legislación, reglamentación y normativa aplicables.

El principal requisito que debe cumplir esta nave es cumplimentar en todo momento con el PGOU del municipio, en el cual se establecen unos requisitos que afectan directamente a este proyecto. Esos requisitos muestran especial interés en el cuidado del entorno y medio-ambiente por lo que se plantea una solución de la edificación de una nave industrial con disposición de paneles fotovoltaicos además de zonas verdes y urbanización minuciosa y pensada al detalle para fusionarse con el entorno y el resto de proyectos de la zona. De manera complementaria se desarrolla un proceso de producción coherente con lo descrito anteriormente, en el cual se realice la parte de mecanizado y montaje de las bombas hidráulicas.

Para la ejecución del proyecto se han tenido en cuenta, tanto el informe geotécnico como la experiencia en las parcelas colindantes. La presión admisible sobre el terreno, bajo cargas, depende principalmente de la propia naturaleza del terreno y de la profundidad y anchura del cimiento. Puesto que el terreno ya ha sido tratado con la edificación del Vial Playabarri para lo que será preciso la construcción de un muro verde que beneficiará la zona, se ha optado por diseñar la cimentación del edificio a base de zapatas aisladas unidas mediante vigas de atado para evitar los desplazamientos.

En cuanto a los requisitos necesarios que se establecen a través de normativa, como puede ser a través del CTE, es necesario saber que al tratarse de una nave de gran longitud, esta norma obliga a no disponer de elementos longitudinales continuos de más de 40 metros para no tener que considerar las acciones térmicas en el cálculo. Es decir, el CTE obliga a disponer a 40 metros o menos una junta de dilatación que evite que los elementos dispuestos longitudinalmente se dilaten en exceso, creando tensiones que afecten al resto de la estructura.

Dicho documento, aparte de determinar las deformaciones y las tensiones máximas, las flechas, etc. determina los tipos de materiales, los perfiles óptimos, las uniones más adecuadas; en definitiva todo lo necesario para conseguir una construcción en buenas condiciones.

Según el Ministerio de trabajo y asuntos sociales de España, la utilización de grúas puente y similares (pórtico, semi-pórtico, ménsula y de pluma) presenta riesgos específicos para las personas (operadores y personal situado en sus proximidades), para los bienes (manipulados por las grúas o situados en su área de influencia) e incluso para las instalaciones donde están ubicadas. Las grúas puente puestas en el mercado (comercializadas) o puestas en servicio en cualquier país miembro de la UE a partir del 1 de enero de 1995 deben cumplir con las especificaciones de la Directiva 98/37/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (en España el RD 1435/1992 y las modificaciones al mismo contenidas en el RD 56/1995). Estas grúas deben disponer del marcado "CE" con su correspondiente Declaración de Conformidad y su Manual de Instrucciones "original" y, en el momento de su entrada en servicio, una traducción en castellano. Para su correcta utilización es preciso seguir las pautas de mantenimiento y uso establecidas en el RD 1215/1997.

2.7. ANÁLISIS DE SOLUCIONES

Se ha tomado como solución constructiva calcular y diseñar una estructura metálica, por el abanico de ventajas que presenta, como pueden ser: resistencia, ductilidad, homogeneidad, rapidez de montaje, menor coste de cimentación, solventar grandes luces, adaptabilidad... Además da la posibilidad de ser preparada en taller, lo que se traduce en que los elementos llegan a obra prácticamente elaborados, necesitando un mínimo de operaciones para quedar terminados.

2.7.1.- TIPO DE CUBIERTA

A la hora de estudiar los distintos tipos de cubierta, se tendrá en cuenta las ventajas y desventajas de cada una de ellas.

Como requisito de diseño, se ha establecido que la cubierta sea a dos aguas, por lo tanto inclinada, debido a que esta disposición permite una mayor flexibilidad al pabellón.

Otra de las decisiones que hay que tomar respecto a la cubierta será la manera en que va unida al resto de la estructura, pudiendo hacerse mediante correas o a través de un forjado. La diferencia entre ellas radica principalmente en que el peso de las correas será mucho menor que el del forjado.

2.7.2.- CERRAMIENTOS DE FACHADA

A la hora de elegir el tipo de fachada se tendrán en cuenta la economía, la seguridad y la imagen exterior del edificio principalmente.

Por otro lado, se pretende que el peso de la estructura sea el mínimo posible, por lo que se descarta la utilización de hormigón armado o fábrica de ladrillo, por ejemplo.

2.7.3.- CORREAS

Se considera que existe una posibilidad notable de que la cubierta se una a la estructura mediante correas para poder evitar pesos innecesarios, lo que conlleva a estudiar las opciones que se presentan a la hora de elegir el tipo de correa.

Realmente, no es posible determinar a simple vista el perfil óptimo para la estructura. Sin embargo, los perfiles más comunes para disponer como correa con los perfiles conformados, en C, en Z, etc., o los perfiles laminados en I. Generalmente, en caso de tener fuertes cargas en el plano del faldón o disponer de una celosía, la opción de elegir perfiles conformados suele ser más eficaz porque estos perfiles tienen mayor

inercia y por ello un mejor comportamiento ante la flexión en dicho plano y una buena rigidez transversal.

2.7.4.- PÓRTICOS

Aunque en la edificación de estructura metálica es muy común la utilización de pórticos de alma llena se plantea como posibilidad la solución de utilizar pórticos con dinteles de viga en celosía, ya que este tipo de pórticos soportan mayores esfuerzos, a pesar de que se aprovecha peor la altura de la nave.

Este tipo de vigas en celosía pueden disponer de diferentes triangulaciones: Pratt, Howe, Warren, en K, en rombo, etc. Las primeras se utilizan para luces moderadas, mientras que las últimas son adecuadas para grandes luces. A estos tipos de triangulación primarios pueden incorporarse otras triangulaciones denominadas secundarias, cuya misión consiste en acortar los vanos de las barras para reducir sus longitudes de pandeo, si están comprimidas, o su flexión, si soportan cargas intermedias. Por otra parte, es conveniente que la inclinación de las piezas de celosía del alma este comprendida entre 45° y 60°, con objeto de que las tensiones secundarias tengan poca importancia y no se complique excesivamente la realización constructiva de los nudos.

Otra decisión a tomar referente a los pórticos será la de si son pórticos biarticulados, biempotrados o triarticulados. Para tomar esta decisión se tendrá en cuenta la distribución de los esfuerzos a lo largo de los perfiles para las diferentes soluciones. Respecto a esto, los pórticos biempotrados son los que mejor distribuyen los esfuerzos.

Por otra parte, no es posible conocer de antemano los perfiles de los que va a constar el pórtico; para ello es necesario realizar varios cálculos y determinar qué perfil es el que ofrece mayor aprovechamiento.

Se plantea diseñar dos tipos de pórticos: los hastiales y los principales. Los primeros están expuestos a mayores solicitaciones pero a su vez, les corresponde la mitad de área tributaria que a los otros. Los principales además constan de una ménsula para la posible circulación de la grúa puente, considerando con esto que los pórticos correspondientes a la zona de oficinas no disponen de ménsula.

2.7.5.- OTROS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

✦ ARRIOSTRAMIENTOS

Los elementos de arriostramiento tienen como finalidad formar un sistema estable para resistir las cargas longitudinales e impedir los desplazamientos, también longitudinalmente, de la nave, inmovilizando además en las secciones arriostradas las cabezas de las vigas o los cordones superiores de las celosías de los pórticos.

Generalmente se adopta una triangulación en cruz de San Andrés, aunque pueden utilizarse otros modelos, como la triangulación en K.

A pesar de que inicialmente no se conoce el número de entramados de los que dispondrá la nave, es muy común disponer entramados en los vanos extremos de la nave a modo de viga a contraviento. En el caso de que la junta de dilatación se realice mediante la unión de las correas con agujeros rasgados que permitan su dilatación, se pondrá un entramado de cruces a un lado de la junta y el otro lado se dejará sin arriostrar, de manera que el vano se comporte libremente y sea capaz de absorber las dilataciones y movimientos de la nave. En el caso de que el diseño lo exija, se dispondrán entramados adicionales de manera que la nave quede totalmente estable longitudinalmente.

En cuanto a los entramados laterales, si la organización constructiva de la nave es tal que el material de cierre puede por sí mismo soportar estas solicitaciones, no es necesario disponer arriostrados. Sin embargo, si el cerramiento es ligero, no siendo capaz de resistir estas solicitaciones, es preciso dar rigidez longitudinal a las paredes, organizando entramados laterales.

✦ PILARILLOS

En los pórticos hastiales, principalmente en el trasero, se colocarán pilarillos que soporten directamente las solicitaciones provocadas por el viento que recibe el cerramiento, trasladándolas a la viga contraviento y a la cimentación.

En caso de estimarse que sean necesarios los entramados hastiales, estos pilarillos también servirán para limitar la longitud de las cruces de San Andrés.

✦ VIGAS DE ATADO

Las vigas de atado son perfiles que se disponen entre pórticos a lo largo de toda la longitud de la nave, de manera que ayudan a transmitir los esfuerzos longitudinales hasta los elementos de estabilización y evitan los desplazamientos en las cabezas de los pilares.

Estos perfiles pueden colocar también a la mitad de los pilares, más o menos, de manera que se consigue reducir la longitud de las cruces de San Andrés. También se sitúan uniendo entre sí las claves de los pórticos. La distancia y los perfiles serán en función de las necesidades constructivas.

Dependiendo de la decisión que se tome con las correas, será necesario disponer tirantillas para reducir la flecha y el momento flector de éstas en el plano paralelo a la fachada o a la cubierta, según el caso.

Considerando la luz que tendrá la nave, es posible que sea necesario disponer de tornapuntas para evitar el pandeo lateral del ala inferior de los dinteles. Aún está por determinar su necesidad y, en caso de que sean necesarias, la distancia a la que se colocarán.

2.7.6.- UNIONES Y EMPALMES

La elección de las secciones en las que se efectúa el empalme de las barras durante el montaje debe corresponder a aquellas zonas en las flexiones son más reducidas.

Las uniones que se den en la nave serán soldadas o atornilladas dependiendo de su rigidez rotacional y de dónde se proceda a su montaje, ya que se intentará realizar el menor número de soldaduras posibles en obra. Las uniones pueden ser empalmes efectuados con cubrejuntas o con placas de testa.

Las uniones de las correas con los pórticos suelen ser atornilladas con un elemento de unión entre ambos denominado como ejión. Se estudiará esa solución y la unión entre ellas dependerá del tipo de perfil seccionado.

Los pórticos tendrán uniones reforzadas por medio de rigidizadores o cartelas para poder soportar los grandes esfuerzos a los que estarán sometidos en las uniones de cumbrera, y en las uniones viga-pilar si es preciso.

En general, las uniones, ya sean soldadas o atornilladas, tendrán una disposición distinta en función de que la unión sea rígida, articulada o semirrígida.

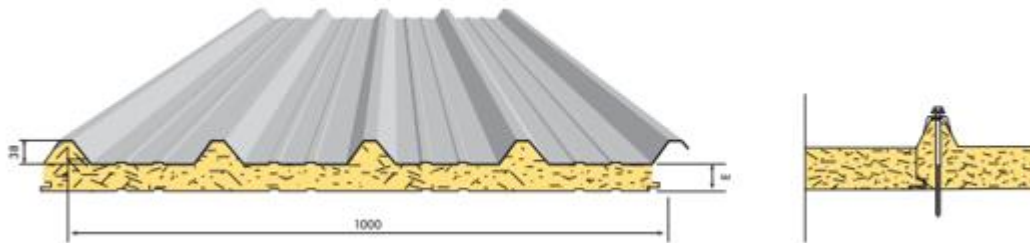
2.7.7.- JUNTA DE DILATACIÓN

Entre las múltiples soluciones existentes para tener en cuenta las dilataciones de la nave, existen las juntas de dilatación. Se plantea dimensionar la estructura teniendo en cuenta las variaciones de temperatura, o bien dividir la estructura allí donde haya que colocar la junta con una separación de unos centímetros y después taparlo con los cerramientos. El hecho de elegir una solución u otra depende única y exclusivamente del proyectista, en función de las características de la nave.

2.8.- RESULTADOS FINALES

2.8.1.- TIPO DE CUBIERTA

El cerramiento de cubierta consistirá en unos paneles prefabricados de tipo sándwich de la gama “Promistyl” suministrado por la empresa “Arval” que se componen de dos paramentos metálicos con un núcleo de lana de roca de 100 mm, destinados particularmente a cerramientos industriales. Este tipo de cerramiento de cubierta forma un conjunto solidario con las ventajas de una mayor eficacia a flexión y un rápido montaje. Son capaces de soportar 348 kg/m². El peso por unidad de superficie es de 24,2 kg/m². Pudiendo considerarse a efectos de cálculo como cubierta ligera.



El material de cubierta se atornillará a las correas de cubierta para la transmisión de esfuerzos actuantes sobre ella a la estructura de la nave, teniendo en cuenta que la zona de apoyo debe tener como mínimo 50 mm de anchura. La fijación de estos paneles a las correas se realiza mediante tornillos autorroscantes con recubrimiento de nylon en la cabeza del tornillo, del mismo color que el panel.

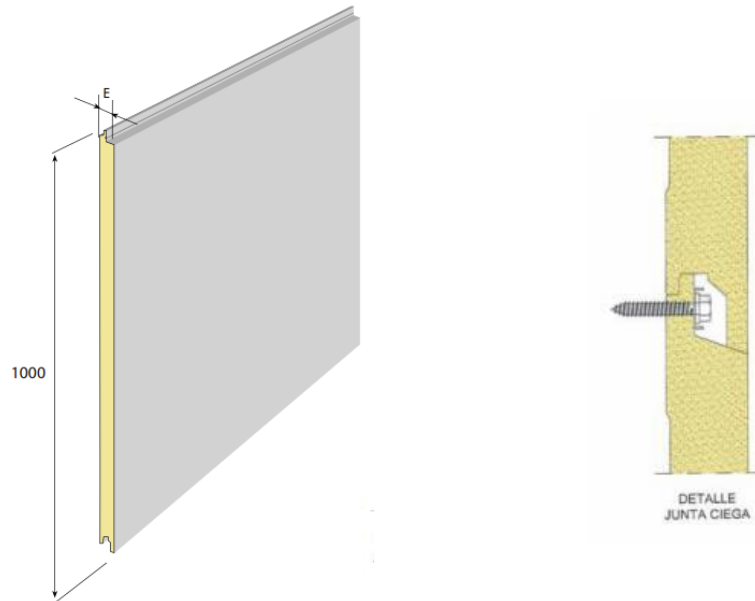
El objeto de la elección de este material no es otro que las ventajas que presenta frente al resto de materiales, como por ejemplo: gran aislamiento térmico, alta rigidez, buen aspecto estético y ligereza, consiguiendo estructuras menos pesadas.

Las uniones entre las diversas placas de cubierta, se tapanán mediante tapajuntas, que serán de un perfil con un acabado igual al de la cara exterior del panel, para mantener una homogeneidad estructural. El objeto o finalidad de estos tapajuntas es garantizar la estanqueidad, proteger a las fijaciones y que no aparezcan discontinuidades en la cubierta. Así mismo se colocan piezas especiales de chapa prelacada para la coronación de cumbrera, vierteaguas, canalones y esquinas.

Además, la estructura se ha estudiado con la posibilidad de instalar paneles fotovoltaicos Kalzip SolarClad, considerando el medioambiente y fomentando el consumo de energías renovables y limpias en el entorno. Dichos paneles permiten una instalación posterior a la de la propia nave, dato a tener en cuenta por si en un futuro se pretende aumentar la cantidad de paneles solares en cubierta dado que en los cálculos se ha considerado paneles solares a lo largo de toda la superficie de cubierta.

2.8.2.- CERRAMIENTOS DE FACHADA

Los cerramientos de fachada también son paneles prefabricados de tipo sándwich, consistentes en dos caras exteriores de acero galvanizado prelacado de 0,5 mm en cara interior y 0,7 mm de espesor en la cara exterior, unidas entre sí por un núcleo central aislante de espuma de 60 mm de espesor.



Con estos paneles se consigue un recubrimiento de fachadas de estética refinada en posición vertical y horizontal. La fijación se realiza mediante ensamblaje machihembrado entre paneles, logrando de esta manera una fijación oculta. Además presenta la posibilidad de combinar paneles de anchos de 600, 900 y 1000 m, posible mecanizado de esquina y posibilidad de microperfilado. Es capaz de soportar 300 kg/m² y pesa 11,7 kg/m².

2.8.3.- CORREAS

Se plantea una solución con perfiles en Z. Estos perfiles son conformados en frío de poco espesor y se fabrican, a partir de chapa delgada de acero mediante máquinas perfiladoras o rodillos y prensas. Son ligeros y se les puede dar diversas formas. La

mayor ventaja que caracteriza a estos perfiles es la relación resistencia-peso que presentan y consecuentemente esto se refleja en el presupuesto. Presentan un buen comportamiento ante la flexión en el plano y una buena rigidez transversal.



El cálculo de las correas se ha realizado mediante el programa “Generador de Pórticos” de CYPE obteniendo como resultado:

- CUBIERTA: Correas de perfil ZF-275 x 2,5 dispuestas cada 1,35 m a lo largo del cordón superior de la celosía.
- LATERAL: Correas de perfil ZF-200 x 3,0 dispuestas cada 1,5 m.

Teniendo en cuenta que la nave tiene una longitud de 72 m, habrá que considerar la colocación de una junta de dilatación en el pórtico central, según el CTE, para no tener que considerar las acciones térmicas; es decir, en el pórtico donde se disponga la junta de dilatación habrá que romper la continuidad de las correas, tanto en cubierta como en fachada. Así, a efectos de cálculo, se consideran correas continuas de 36 m de longitud multiapoyadas.

Se utilizará la eji3n como medio de uni3n entre las correas y el perfil al que vayan unidas. Con dicha uni3n se considera la cubierta como infinitamente r3gida en su plano y, por tanto, las correas s3lo soportan la flexi3n en el plano normal a la cubierta y se supone que la cubierta impide el giro de las correas por lo que no habr3 momento torsor. Los 3nicos esfuerzos que soportan son el de momento flector y cortante en el plano perpendicular a la cubierta. Tampoco se comprueba el pandeo lateral del ala

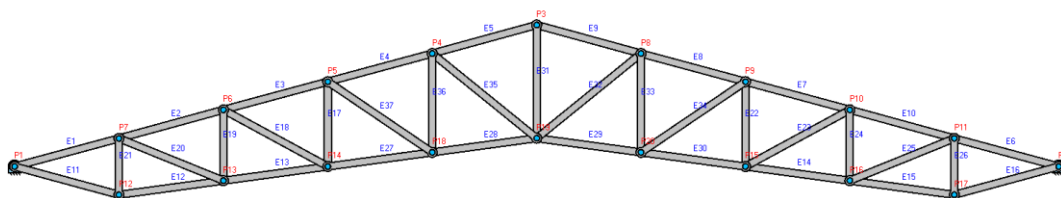
inferior ni se tiene en cuenta la flexión desviada para perfiles que no están en ejes principales.

En conjunto se calcula que se necesitarán 44 correas ZF-275 x 2,5 y 40 correas ZF-200 x 3,0 todas ellas con una longitud de 36 m. En los pórticos hastiales también se dispone de correas ZF-200 x 3,0 con una longitud máxima de 26 m, sumando 20 correas con esas características. El nexo de unión para las correas de tipo ZF-275 x 2,5 será una eji3n R-7640 y para las de tipo ZF-200 x 3,0 ser3 una eji3n R-7639.

2.8.4.- P3RTICOS

La estructura de la nave est3 compuesta por un total de 13 p3rticos biempotrados en su base, compuestos todos ellos de acero S-275 y dispuestos con una separaci3n 6 m entre ellos. Excepto los p3rticos hastiales, el resto contar3 con una viga en celos3a y unos pilares, que a su vez, si est3n en el tramo de tr3nsito de la gr3a puente, dispondr3n de m3nsulas donde ir3 apoyada la viga carrilera.

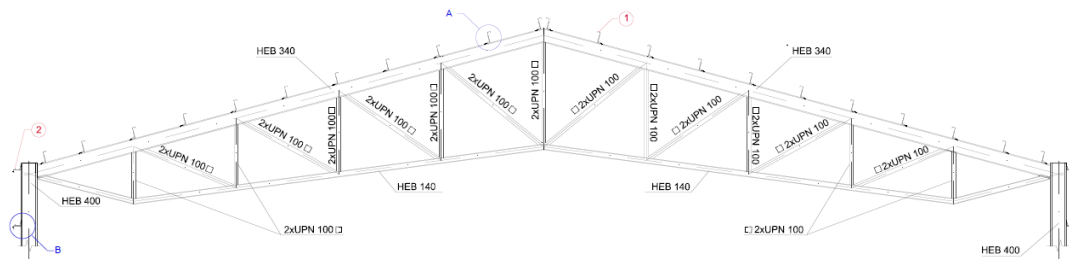
Se ha realizado un estudio previo de la celos3a para obtener una soluci3n 3ptima. Dicho estudio ha consistido en buscar en una primera instancia una geometr3a que afrontase las solicitaciones a la que est3 expuesta sin que las barras sufran de manera excesiva y a su vez, reducir al m3ximo la habitabilidad de la misma optando finalmente por la siguiente geometr3a:



A continuaci3n se ha realizado un predimensionamiento de las barras y finalmente se ha introducido todos los datos al programa NUEVO METAL 3D de CYPE

junto a toda la estructura. Obteniendo finalmente los siguientes resultados, teniendo siempre como objeto conseguir una solución óptima.

Celosía: Está compuesta con perfiles HEB-340 para el cordón superior de la celosía, perfiles HEB-140 para el cordón inferior y montantes y diagonales compuestos por 2 perfiles UPN 100 en cajón soldado.



Se presentan 4 tipos de pórticos a lo largo de toda la nave:

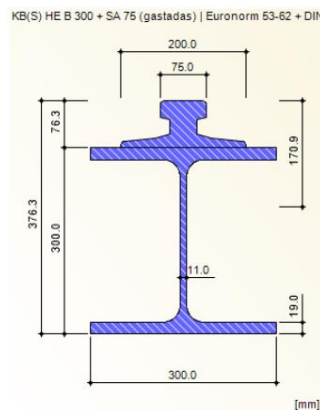
- **Pórtico tipo:** consta de un dintel con viga en celosía descrita anteriormente y unos pilares con perfiles HEB-400 con disposición de ménsula con mismo perfil que el pilar, acartelada y con rigidizadores para garantizar un empotramiento perfecto ménsula-pilar.
- **Pórtico 2 y 3 zona entreplanta:** consta de un dintel con viga en celosía descrita anteriormente y unos pilares con perfiles HEB-300 a los cuales irán articulados los cabios que componen la entreplanta.
- **Pórtico hastial delantero:** consta de un dintel simple con perfil IPE-240, unos pilares HEB-320 y unos pilarillos IPE-450. Los cabios que componen la entreplanta son de perfil HEB-200 y están unidos con vigas de sección IPE-300. Este pórtico también consta con dinteles de las puertas
- **Pórtico hastial trasero:** consta de un dintel simple con perfil IPE-360, unos pilares HEB-320 y unos pilarillos IPE-450. Además consta de dinteles con perfiles de sección IPE-300 para la instalación de dos portones.

2.8.5.- OTROS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

- VIGA CARRIL

La viga carril se comportará como una viga continua a lo largo de 8 vanos de la nave. La capacidad del puente grúa será de 6.3 Tn que recorrerá la nave en toda su longitud excepto zona requerida para oficinas (primeros dos vanos de la nave) y los dos vanos extremos de la zona de taller. La grúa birrail dispone de una luz de 26 m y se ubica a 9 m de altura.

Para el cálculo de la viga carril se ha realizado un estudio con el programa CRANEWAY 8.xx, obteniendo:



- ARRIOSTRAMIENTOS

Los arriostramientos de la nave están compuestos por tirantes que trabajan únicamente a tracción y ayudarán a mantener la estabilidad longitudinal de la nave.

Los arriostramientos de fachada se dispondrán de perfiles redondos de Ø20 mm en modo de Cruz de San Andrés. En cubierta se diferencia en dos grupos, el arriostramiento superior con perfiles en L 35 x 35 x 4 y el arriostramiento superior con perfiles en L 50 x 50 x 6 mm ambos también en modo de Cruz de San Andrés.

- ARRIOSTRAMIENTOS

En los pórticos hastiales se disponen de 5 pilarillos en cada uno de perfil IPE-450, de manera que la nave soporta mejor los esfuerzos longitudinales debidos al viento, evitándose un sobredimensionamiento excesivo de los pórticos.

- VIGAS DE ATADO

Todas las vigas de atado existentes a lo largo de la estructura disponen de un perfil IPE-300 y acero S-275. se distribuyen a lo largo de toda la nave, interrumpiéndose en la junta de dilatación.

- FORJADO

El forjado que se utilizará para la edificación de la zona de oficinas será un forjado compuesto colaborante proporcionado por la empresa Hainsa. El fundamento de los forjados compuestos radica en la tecnología que potencia la adherencia entre acero y hormigón para hacer frente a las tensiones inducidas por las cargas. Se ha optado por el perfil del forjado colaborante tipo MT-100 (llamado así por la altura de greca de 100 mm) y espesor 1.20 mm sin necesidad de apuntalamiento en su instalación. Dicho perfil de forjado está particularmente indicado para edificios de importantes dimensiones con estructura metálica y luz entre apoyos significativa como es el de este proyecto.

- SANEAMIENTO

Se ha diseñado una instalación separativa de fecales y pluviales para la red de saneamiento y se ha calculado cuáles son las dimensiones necesarias de los elementos que componen dichas instalaciones obteniendo:

Aguas pluviales: dos canalones de Ø250 mm por cada lado de la nave, con 10 sumideros por cada canalón, los cuales dan a bajantes de Ø160 mm que se conectan con colectores de Ø200 mm dispuestos con una inclinación del 2% que dan lugar a arquetas de 0,6 x 0,6 x 0,8 m. También se dispone con dos zanjas de saneamiento con dimensiones de 1 x 0,25 x 72 m.

Aguas residuales: se dispone de colectores horizontales de Ø110 mm dispuestos con una inclinación del 2% que dan lugar a arquetas de dimensiones 0,5 x 0,5 x 0,8 m y de aquí a pozos de depuración de agua residual.

2.8.6.- UNIONES

Las uniones realizadas en este proyecto han sido realizadas mediante soldadura y han sido dimensionadas según la normativa vigente. Las uniones soldadas se realizarán en taller y se finalizan posteriormente en obra.

2.9 -PRESUPUESTO

Según se justifica en el correspondiente documento de este proyecto, Documento 7, el presupuesto total, asciende a la cantidad de **1.651.305,14 €**

**UN MILLÓN SEISCIENTOS CINCUENTA Y UN MIL TRESCIENTOS
CINCO EUROS CON CATORCE CÉNTIMOS DE EURO**

2.10 -DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

A: Área

Ae: Área efectiva.

E: Módulo de deformación.

Es: Módulo de elasticidad del acero.

F: Acción.

Fd: Valor de cálculo de una acción.

Fk: Valor característico de una acción.

Fm: Valor medio de una acción.

G: Carga permanente. Módulo de elasticidad transversal.

Gk: Valor característico de la carga permanente.

I: Momento de inercia.

- K: Cualquier coeficiente con dimensiones.
- M: Momento flector.
- Md: Momento flector de cálculo
- Mr: Momento de fisuración del hormigón en flexión.
- Mu: Momento flector último.
- N: Esfuerzo normal.
- Nd: Esfuerzo normal de cálculo.
- N u: Esfuerzo normal último.
- Q: Carga variable.
- Qk: Valor característico de Q.
- S: Solicitación. Momento de primer orden de un área.
- Sd: Valor de cálculo de la sollicitación.
- T: Momento torsor. Temperatura.
- Td: Momento torsor de cálculo.
- Tu: Momento torsor último.
- Us: Capacidad mecánica del acero
- V: Esfuerzo cortante.
- Vd: Esfuerzo cortante de cálculo.
- Vu: Esfuerzo cortante último.
- W: Módulo resistente. Carga de viento.
- a: Flecha. Distancia.
- b: Anchura; anchura de una sección rectangular.
- be: Anchura eficaz de la cabeza de una sección en T.
- bw: Anchura del alma o nervio de una sección en T.
- c: Recubrimiento.
- d: Altura útil. Diámetro.
- d': Distancia de la fibra más comprimida del hormigón al centro de gravedad de la ar- madura de compresión ($d' = d/2$).
- e: Excentricidad.
- f: Resistencia.
- fc : Resistencia del hormigón a compresión.
- fcd : Resistencia de cálculo del hormigón a compresión.
- fck : Resistencia característica del hormigón a compresión.
- fc_m : Resistencia media del hormigón a compresión.
- fct : Resistencia del hormigón a tracción.
- fs : Carga unitaria de rotura del acero.
- fy : Límite elástico aparente de un acero natural.

f_{yd} : Resistencia de calculo de un acero.
 f_{yk} : Límite elástico característico de un acero.
 h : Canto total o diámetro de una sección. Espesor.
 i : Radio de giro.
 j : Número de días.
 k : Cualquier coeficiente con dimensiones.
 l_b : Longitud de anclaje.
 l_e : Longitud de pandeo.
 l_o : Distancia entre puntos de momento nulo.
 m : Momento flector por unidad de longitud o de anchura.
 q : Carga variable repartida.
 r : Radio.
 s : Espaciamiento. Separación entre planos de armaduras transversales.

LETRAS MINÚSCULAS GRIEGAS

α : Angulo. Coeficiente adimensional.
 β : Angulo. Coeficiente adimensional.
 γ : Coeficiente de ponderación o seguridad.
 γ_m : Coeficiente de minoración de la resistencia de los materiales.
 γ_s : Coeficiente de seguridad o minoración del límite elástico del acero.
 γ_f : Coeficiente de seguridad o ponderación de las acciones o solicitaciones.
 γ_n : Coeficiente de seguridad o ponderación complementario de las acciones o solicitaciones.
 δ : Coeficiente de variación.
 η : Coeficiente de reducción relativo al esfuerzo cortante.
 λ : Coeficiente adimensional
 μ : Momento flector reducido o relativo
 ν : Esfuerzo normal reducido o relativo
 ξ : Coeficiente sin dimensiones
 ρ : Cuantía geométrica
 σ : Tensión normal
 σ_s : Tensión en el acero
 σ_{s1} : Tensión de la armadura mas traccionada, o menos comprimida.
 σ_{s2} : Tensión de la armadura mas comprimida, o menos traccionada.
 τ : Tensión tangente

- τ_b : Tensión de adherencia
- τ_w : Tensión tangente del alma
- φ : Coeficiente adimensional
- ψ : Coeficiente adimensional
- ω : Cuantía mecánica

