

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL



CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE UNA NAVE DE ESTRUCTURA METÁLICA PARA UNA INDUSTRIA DE ULTRACONGELADO

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERIA AGROALIMENTARIA Y DEL MEDIO RURAL

ALUMNO/A: ADRIÁN HERNÁNDEZ ZAHONERO

TUTOR/A: FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ ROMERO

Curso Académico: 2015/2016



VALENCIA, JULIO DE 2016



CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE UNA NAVE DE ESTRUCTURA METÁLICA PARA UNA INDUSTRIA DE ULTRACONGELADO

Autor: Adrián Hernández Zahonero

Trabajo final de grado

Tutor: Francisco Javier Sánchez Romero

Realizado en: Valencia

Fecha: Julio 2016

Resumen:

Se ha propuesto el cálculo y dimensionado de una estructura de acero de una nave de 30x50x8 metros, en la cual se llevará a cabo la ultracongelación mediante IQF, de hojas de espinaca para su consumo.

La estructura de la nave se compondrá de estructuras tipo cercha, separadas cada 5 metros. La cubierta será de panel tipo sándwich que transmitirá la carga a las cerchas mediante correas. Toda la estructura será de acero tipo SJ275.

Para el cálculo de la misma se realizará el diseño de la cercha, el cálculo de las cargas, cálculo de los esfuerzos y finalmente el dimensionado en función de las tensiones y deformaciones. Además se dimensionarán las cimentaciones mediante zapatas centradas.

Por último, se realizará también el diseño de la cámara de almacenamiento de producto congelado, teniendo en cuenta los requerimientos de frío necesarios.

El propósito es entender, saber utilizar y aplicar adecuadamente los métodos de cálculo desarrollados en las asignaturas de Resistencia de Materiales y Construcciones Agroindustriales (2º Curso) y Mecánica de suelos (3º Curso).

Palabras clave:

Estructura, acero, ultracongelado



CALCULATION AND SIZING OF A STEEL STRUCTURE INDUSTRIAL UNIT FOR A DEEP-FROZEN FACTORY

Author: Adrián Hernández Zahonero

Trabajo final de grado

Tutor: Francisco Javier Sánchez Romero

Made in: Valencia

Date: July 2016

Synopsis:

It has been proposed the calculation and sizing of the Steel structure of a 30x50x8 meters industrial unit, where they will use IQF to deep freeze spinach leaves for consumption. Roof trusses, each separated by 5 meters, will compose the structure of the industrial unit. Sandwich panels will compose the cover that will transmit the load to the roof trusses by leashes. The steel used for the structure will be SJ275 type. The design of the roof truss, the calculation of the loads, the calculation of the stress and lastly the sizing accordingly to tensions and deformations will be used for the calculations of the structure.

Finally, the last step will be designing the frozen products storage chamber, which will meet the freezing storage requirements.

The purpose is to understand, being able to use and correctly apply the calculations methods studied in "Resistencia de Materiales y Construcciones Agroindustriales" (2º course) and "Mecánica de Suelos" (3º course)

Keywords:

Structure, steel, deep-freeze

ÍNDICE

1. Documento 1: Memoria	
2. Documento 2: Anejos	
2.1. Anejo I: Justificación del dimensionado.....	
2.2. Anejo II: Construcción.....	
2.3. Anejo I: Diseño circuito de frío.....	
3. Documento 3: Planos	
3.1. Plano 1: Plano de situación.....	
3.2. Plano 2: Plano de localización.....	
3.3. Plano 3: Planta general de la nave	
3.4. Plano 4: Alzado estructura principal	
3.5. Plano 5: Planta de la cubierta.....	
3.6. Plano 6: Planta de la cimentación	
3.7. Plano 7: Alzados de la nave	
3.8. Plano 8: Circuito de frío en nave	

DOCUMENTO I

MEMORIA

ÍNDICE

1	JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	4
2	OBJETO DEL PROYECTO	4
3	DOCUMENTOS QUE COMPONEN EL PRESENTE TRABAJO	4
4	JUSTIFICACIÓN DIMENSIONADO EN PLANTA	5
5	DESCRIPCIÓN DE LA NAVE	7
6	CÁLCULO ESTRUCTURA PRINCIPAL	10
6.1	DIMENSIONADO DE LA CERCHA	10
6.2	DIMENSIONADO DE LOS PILARES	12
6.3	PERFILES OBTENIDOS.....	13
6.4	DIMENSIONADO DE LAS ZAPATAS	14
7	DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE FRÍO	17
7.1	CARGAS TÉRMICAS	18
7.2	CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN	18
7.3	RESULTADOS.....	21
7.4	DISEÑO DE EVAPORADORES Y CONDENSADORES.....	24
7.4.1	DISEÑO EVAPORADOR	24
7.4.2	DISEÑO DE CONDENSADORES.....	25
8	ACCIONES SÍSMICAS	25
9	ESTUDIO GEOTÉCNICO	26
10	SEGURIDAD Y SALUD	26
11	GESTIÓN DE RESIDUOS	26
12	MEDICIONES	27
12.1	ACERO ESTRUCTURAL	27
12.1.1	Cercha	27
12.1.2	Pilares.....	27
12.1.3	Placas de anclaje.....	27
12.1.4	Correas	27
12.1.5	TOTAL	27
12.2	CIMENTACIONES	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución de la nave	7
Figura 2: Parcela utilizada para la construcción de la nave	8
Figura 3: Parcela visor SIGPAC.....	8
Figura 4: Perfiles estructura principal	9
Figura 5: Alzados nave.....	9
Figura 6: Estructura principal. Esfuerzos obtenidos en el SAP2000	13
Figura 7: Detalle zapata (1)	14
Figura 8: Detalle zapata.....	16
Figura 9: Distribución temperatura en nave	17
Figura 10: Circuito de frío de la instalación.....	19
Figura 11: Diagrama presión-entalpía (Coolpack).....	21
Figura 12: Diagrama Presión-Entalpía (Coolpack).....	21

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Dimensiones maquinaria.....	6
Tabla 2: Axiles SAP2000 y Método nudos	12
Tabla 3: Perfiles cercha.....	12
Tabla 4: Perfil pilares	13
Tabla 5: Perfiles estructura principal	13
Tabla 6: Esfuerzos en zapata.....	14
Tabla 7: Datos materiales zapata y suelo	14
Tabla 8: Dimensionado zapata	15
Tabla 9: Valores de las cargas térmicas en función del nivel de frío	18
Tabla 10: Corrientes circuito frío.....	20
Tabla 11: Niveles de presión	22
Tabla 12: Relaciones de compresión de los compresores.....	22
Tabla 13: Resumen T, P y h	23
Tabla 14: Caudales de fluido	23
Tabla 15: Eficiencia energética.....	23
Tabla 16: Trabajo de los compresores.....	24
Tabla 17: Dimensionado evaporadores	24
Tabla 18: Datos suelo.....	26
Tabla 19: Cálculo mediciones acero estructural	28
Tabla 20: Cálculo mediciones cimentaciones	28

1 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Debido al ritmo de vida de la sociedad actual, cocinar se ha convertido en un problema para la mayoría de familias, que se decantan por el consumo de productos preparados, congelados, listos para calentar y ser consumidos.

Por este motivo, el consumo de este tipo de productos está en aumento.

La espinaca en concreto es una de las verduras que mejor mantiene las propiedades con respecto al consumo en fresco.

Al tener mucha vitamina A o niacina, las espinacas congeladas previenen enfermedades en los ojos, fortalecen el sistema inmunitario y tienen propiedades anticancerígenas. También por su alto contenido de vitamina A, favorecen el buen estado de la piel y de las mucosas.

La abundancia de vitamina B6, presente en las espinacas congeladas y también conocida como piridina hace que este alimento sea muy recomendable en casos de diabetes. Además, la vitamina B6 esta verdura ayuda a prevenir enfermedades cardiacas.

El ácido fólico o vitamina B9 de las espinacas congeladas, hace de este un alimento muy recomendable para su consumo en etapas de embarazo o de lactancia.

El elevado contenido de vitamina K en esta verdura hace que tomar las espinacas congeladas sea beneficioso para una correcta coagulación de la sangre. Este alimento también es beneficioso para el metabolismo de los huesos.

De este modo, se ha planteado el diseño de una nave en la que se llevará a cabo la ultracongelación y envasado de espinacas para su posterior distribución y venta estimándose una fabricación diaria de 1 tonelada de espinacas congeladas.

2 OBJETO DEL PROYECTO

El objeto del presente Trabajo Fin de Grado es el dimensionado y cálculo de una nave de estructura metálica que sirva para albergar una industria de ultracongelación y envasado de espinacas. También se ha dimensionado y calculado el circuito de frío necesario.

3 DOCUMENTOS QUE COMPONEN EL PRESENTE TRABAJO

El presente trabajo se compone de los siguientes documentos:

- 1. MEMORIA**
- 2. ANEJOS**
- 3. PLANOS**

4 JUSTIFICACIÓN DIMENSIONADO EN PLANTA

El proceso de ultracongelación de espinacas se divide en distintas etapas que serán detalladas a continuación:

- 1) Recepción de materia prima
- 2) Limpieza del producto
- 3) Escaldado
- 4) Cortado
- 5) Almacenado en fresco
- 6) Congelado mediante sistema 'Flow-Freeze'
- 7) Envasado del producto
- 8) Almacenamiento a temperaturas negativas

En función a las necesidades de maquinaria de cada una de las etapas del proceso, se ha dimensionado la nave. Para ello se ha estimado una producción de 1 t diaria de espinaca congelada neta, es decir, desechando las mermas y las espinacas que no superen el óptimo de calidad.

La maquinaria requerida, así como las dimensiones de cada una de ellas, se han resumido en la siguiente tabla:

MAQUINARIA	DIMENSIONES (mm)	IMAGEN
TAMBOR ROTATIVO DE LIMPIEZA	6000x3000	
SEPARADOR NEUMÁTICO	1600x9425	
LAVADOR	1920x6580	
ESCALDADORA	10300x1500	
CORTADORA	6000x3000	
FLOW-FREEZE	6200x2500	
ENVASADORA	3500x6000	
ALMACÉN PRODUCTO FRESCO	8000x10000	
ALMACÉN PRODUCTO CONGELADO	26000x30000	

Tabla 1: Dimensiones maquinaria

Se ha estimado necesario, una nave de 30 m de anchura, 50 m de longitud y 8 m de altura suficiente para albergar el proceso de ultracongelación de espinacas con una producción diaria de 1 t, estas dimensiones se justifican en el 'Anejo nº 1'.



Figura 1: Distribución de la nave

5 DESCRIPCIÓN DE LA NAVE

Consiste en una nave de planta rectangular, de 30 m de anchura y 50 m de longitud (1500 m²), con cubierta a dos aguas (simétrica). La altura de fachada es de 8.6 m y la altura de coronación es de 11 m. Los pórticos tienen una separación de 5 m entre ellos.

Se encuentra situada en el término municipal Agullent, en la provincia de Valencia, en la Comunidad Valenciana (España). Concretamente, se ubica en el Polígono Industrial "Els Planets", en la C/ de Mila, número 1, Finca III, IP-8 Benifet, parcela 24.077(01/06/02/03), cuya referencia catastral es 2407702YJ1020N0001UF, 2407701YJ1020N0001ZF, 2407703YJ1020N0001HF, 2407706YJ1020N0001BF, la cual cuenta con una superficie total de 25093.86 m².

Como la superficie total es demasiado elevada para los requerimientos de la nave a desarrollar, se ha seleccionado solo una parte de la parcela, la 06 con referencia catastral 2407706YJ1020N0001BF, y con una superficie total de 5263 m².



Figura 2: Parcela utilizada para la construcción de la nave



Figura 3: Parcela visor SIGPAC

Los muros laterales se cierran con panel prefabricado de hormigón, en disposición horizontal, con una altura de 6 m. Para el resto, (2.6 m) se dispone de panel de fachada mediante correas unidas al pilar. La cubierta se realiza a base de panel tipo sándwich de 4 cm de espesor con placa metálica de 0.8 mm prelacada en ambas caras.

Los elementos estructurales más relevantes de la nave son:

- a) **Pórtico principal:** 30 m de luz y separación entre vanos de 5 m. Se ha desarrollado como estructura triangulada de cubierta (celosía a dos aguas).

- b) **Correas de cubierta y fachada:** Se encuentran espaciadas cada 1.5 m las de la cubierta y cada 1 m las de fachada.

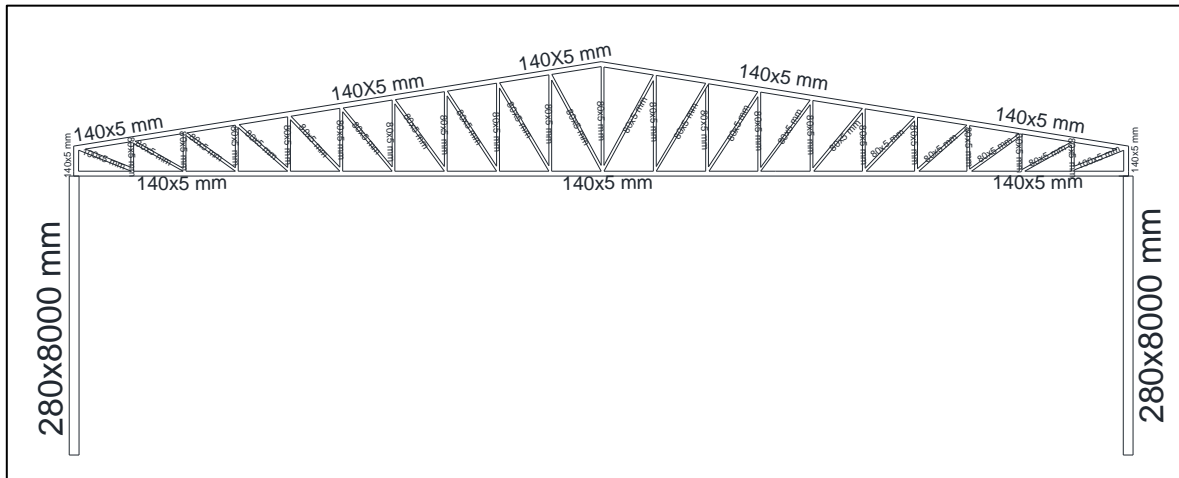


Figura 4: Perfiles estructura principal

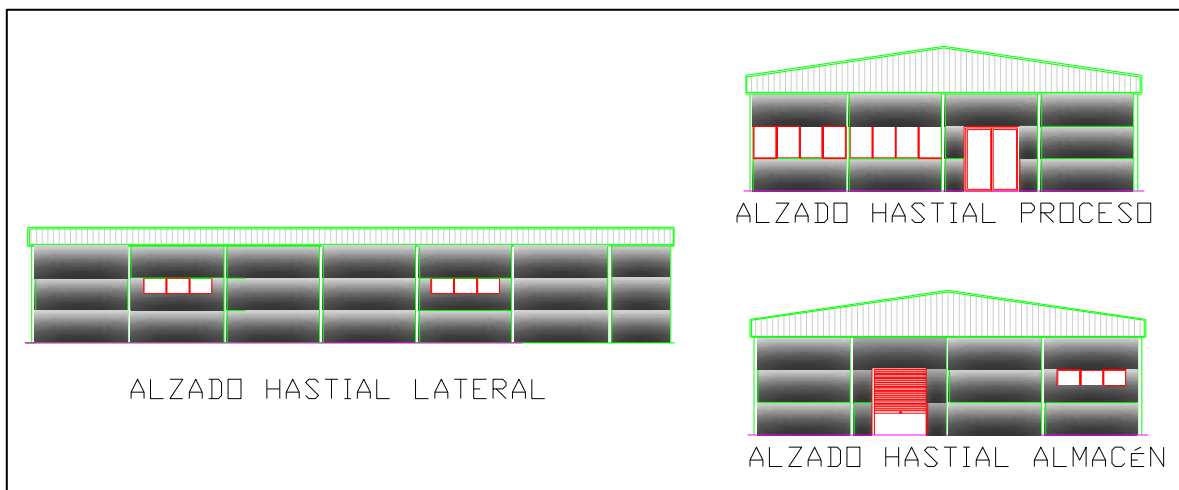


Figura 5: Alzados nave

6 CÁLCULO ESTRUCTURA PRINCIPAL

A continuación, se ha detallado el proceso para el cálculo de las fuerzas ejercidas sobre la estructura de la nave, y así poder dimensionar las distintas partes que la componen.

El cálculo se ha realizado para los dos partes que componen la estructura principal:

1. **Cercha**
2. **Pilares**
3. **Zapatas de cimentación**

El cálculo se ha realizado manualmente mediante métodos simplificados, y posteriormente se ha utilizado el programa SAP2000 (Structural Analysis Program), para la comprobación de esfuerzos.

Se ha considerado una tensión admisible de 2000 kg/cm^2 .

6.1 DIMENSIONADO DE LA CERCHA

Se han calculado los axiles mediante el método de cálculo manual '*Método de los nudos*', comparando los resultados mediante '*SAP2000*' obteniendo unos resultados similares. Las variaciones vienen dadas ya que, para facilitar el cálculo manual, se ha supuesto un comportamiento articulado de los nudos, mientras que el software ha supuesto un comportamiento rígido (más próximo a la realidad).

Se han resumido los valores obtenidos en la siguiente tabla:

BARRA	AXIL (Método Nudos) kg	AXIL (SAP 2000) kg
1-2	0.00	
1-15	-15375.00	-14646.14
15-16	-26415.90	24717.78
15-2	28093.21	24091.24
2-3	26084.15	25677.38
2-16	-10432.91	-9941.20
16-3	14243.22	13731.23
16-17	-38669.35	-38102.49
3-4	38511.30	37992.99
3-17	-6959.54	-6784.38
17-4	7535.18	7457.93
17-18	-45119.23	-44635.42
4-5	44552.56	44165.20
4-18	-4498.90	-4392.72
18-5	3670.02	3731.64
18-19	-47909.40	-47583.63
5-6	47307.69	46994.81
5-19	-2424.52	-2476.67
19-6	1066.47	1182.48
19-20	-48657.99	-48428.13
6-7	48046.88	47795.28
6-20	-768.75	-866.08
20-21	-48085.54	-47918.74
20-7	-882.96	732.27
7-8	47481.62	47276.82
7-21	678.31	542.06
21-22	-46609.23	-46485.52
21-8	-2460.82	-2281.12
8-9	46023.85	45852.90
8-22	1982.57	1811.48
22-23	-44487.30	-44396.62
22-9	-3812.25	-3592.11
9-10	43928.57	43792.02
9-23	3184.82	2978.28
23-24	-41888.18	-41801.02

BARRA	AXIL (Método Nudos) kg	AXIL (SAP 2000) kg
23-10	-5017.71	-4839.10
10-11	41362.09	41190.06
10-24	4311.68	4038.76
24-25	-38926.39	-33955.62
24-11	-6124.63	-5510.17
25-11	10762.50	10081.10

Tabla 2: Axiles SAP2000 y Método nudos

La cercha se divide en tres partes:

- **Armadura:** Parte exterior de la cercha.
- **Diagonales:** Barras diagonales dentro de la cercha.
- **Montantes:** Barras verticales dentro de la cercha.
-

En este caso, se han seleccionado 3 secciones distintas para las diferentes partes de la cercha comprobando que resisten los esfuerzos anteriormente calculados y asumiendo una tensión máxima admisible de 2000 kg/cm². Se han resumido los perfiles en la siguiente tabla:

TIPO	PERFIL	A (cm ²)
Armadura	140x5mm	26,70
Diagonal inicial y final	100x5mm	18,10
Resto de diagonales y montantes	80x5mm	14,10

Tabla 3: Perfiles cercha

Los cálculos justificativos de los esfuerzos y dimensionado de los perfiles se adjuntan en el 'Anejo n°2'.

6.2 DIMENSIONADO DE LOS PILARES

Para el dimensionado de los pilares, se ha asumido igual que en el caso de la cercha, una tensión máxima admisible de 2000 kg/cm², comprobando que la sección soporta los esfuerzos requeridos a resistencia y mediante el '*Método simplificado a pandeo*'.

El perfil elegido para los pilares ha sido el siguiente:

TIPO	PERFIL	A (cm ²)
Pilares	280 HEB	131.4

Tabla 4: Perfil pilares

6.3 PERFILES OBTENIDOS

Las secciones que conforman la cercha y los pilares quedarán resumidas de la siguiente manera:

TIPO	PERFIL	A (cm ²)
Armadura	140x5mm	26,70
Diagonal inicial y final	100x5mm	18,10
Resto de diagonales y montantes	80x5mm	14,10
Pilares	280 HEB	131.4

Tabla 5: Perfiles estructura principal

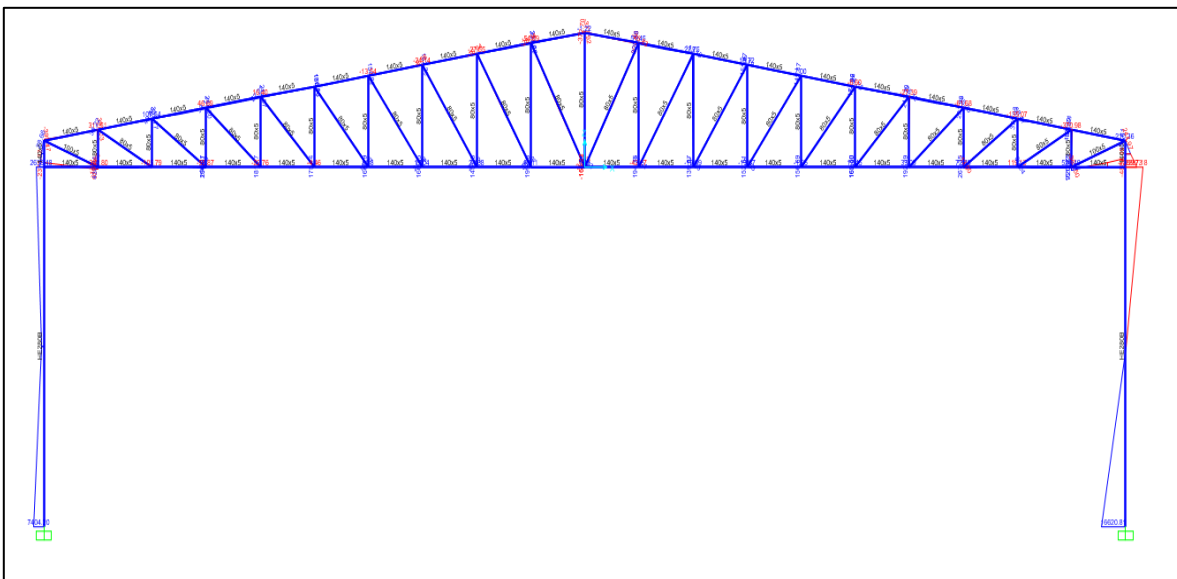


Figura 6: Estructura principal. Esfuerzos obtenidos en el SAP2000

Los cálculos justificativos de los esfuerzos y dimensionado de los perfiles se adjuntan en el 'Anejo n°2'.

6.4 DIMENSIONADO DE LAS ZAPATAS

La zapata es un tipo de cimentación superficial situada bajo los pilares de la estructura y cuya función es transmitir al terreno las tensiones a las que está sometida el resto de la estructura y anclarla.

Su cálculo es un proceso iterativo, es decir, se dan valores a las dimensiones y se comprueba mediante diversos métodos si la solución adquirida es correcta. En el 'Anejo n°2' se justifican con más detalle los cálculos realizados.

N (kg)	M (kg·m)	V (Kg)	TIPO
10250	10483,83	4876,2	CENTRADA

Tabla 6: Esfuerzos en zapata

	f_{ck} (Kg/cm ²)	γ_g	γ_c	ρ_h (Kg/m ³)	
Datos hormigón (HA-25)	250	1,5	1,5	2400	
	f_{yk} (Kg/cm ²)	γ_s			
Datos acero (B-500 S)	5100	1,5			
	ρ_s (Kg/m ³)	σ_{Adm} (Kg/cm ²)	ϕ' (°)	γ_{Vuelco}	$\gamma_{Deslizamiento}$
Datos suelo	1800	1,5	30	2	1,5

Tabla 7: datos materiales zapata y suelo

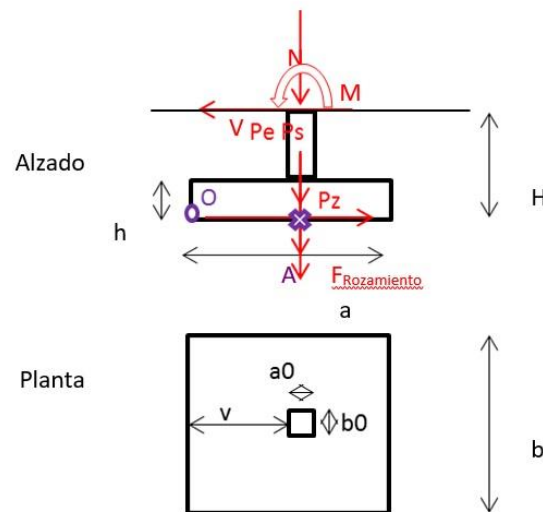
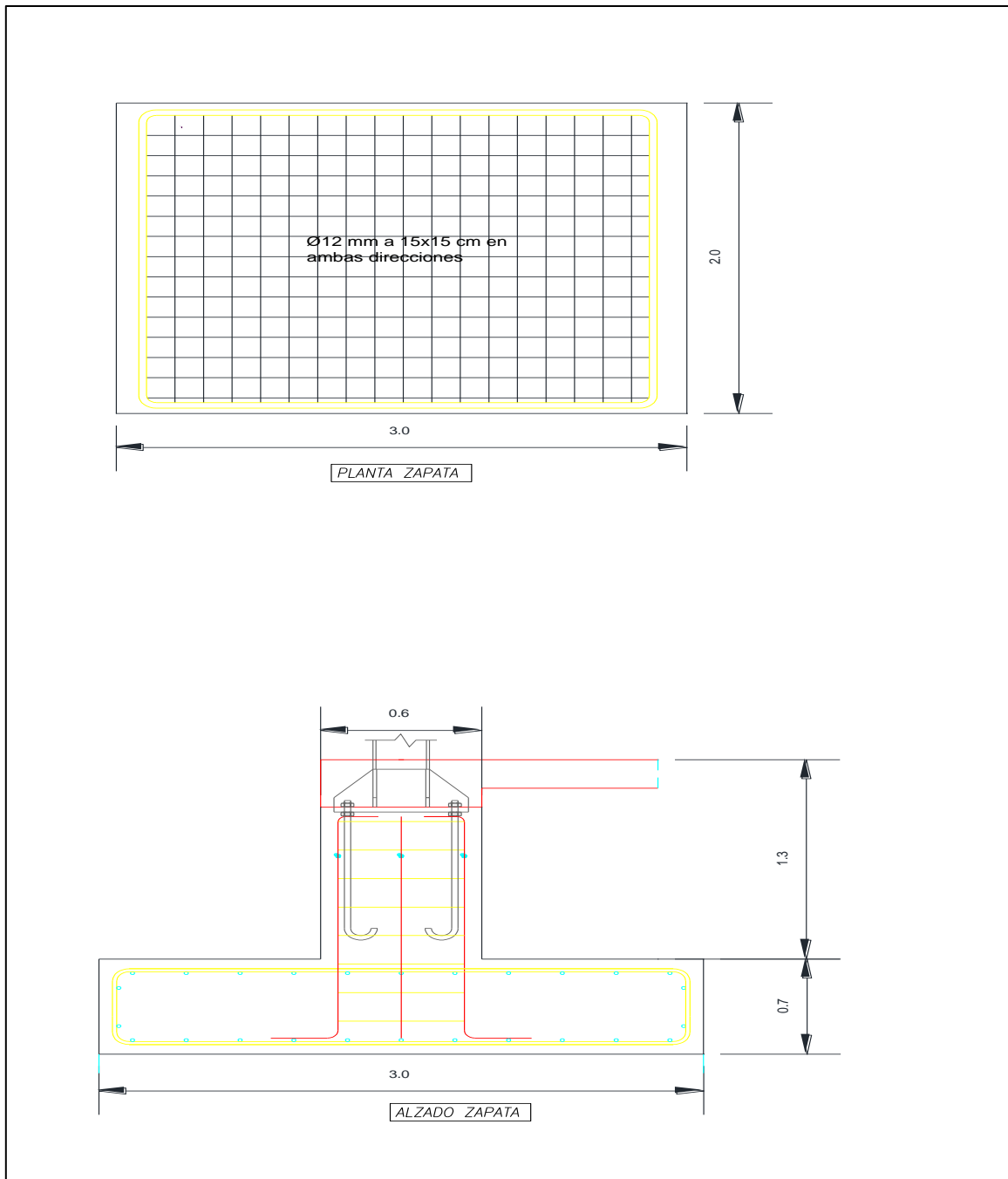


Figura 7: Detalle zapata (1)

Los valores finales una vez comprobado que las tensiones transmitidas al suelo están por debajo de las admisibles se muestran en la siguiente tabla. Respecto al armado se colocarán redondos de diámetro 12 mm, separadas a 15 cm, en ambas direcciones, y en ambas caras de la zapata. Los resultados se resumen en la siguiente tabla

a_0	b_0	a	b	h	H	Número barras de acero
0,6	0,4	3	2	0,7	2	13

Tabla 8: Dimensionado zapata

**Figura 8: Detalle zapata**

7 DISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE FRÍO

Se ha dividido la nave en cuatro zonas según las necesidades de frío:

- Zona caliente
- Zona media
- Zona ultracongelación
- Zona cámaras

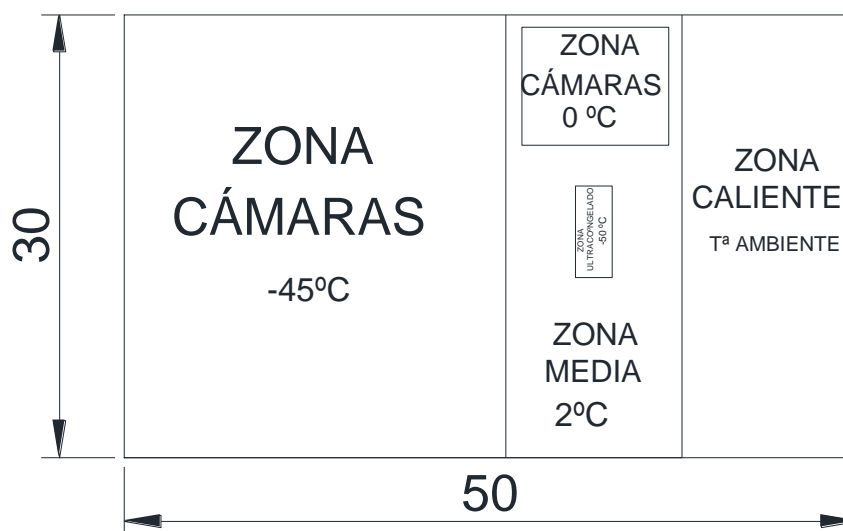


Figura 9: Distribución temperatura en nave

La zona caliente incluye la zona de recepción de la materia prima y la zona del proceso de limpieza, y preparado de las espinacas para su congelación. Esta zona no requiere de refrigeración por lo que se mantendrá a temperatura ambiente.

El resto de la nave (zona media) se mantendrá a una temperatura de 2°C , que ayudará a la conservación de la materia prima, ralentizando las reacciones oxidativas propias.

La zona de ultracongelación alberga la parte de la nave de mayor requerimiento de frío. Está compuesta por el "Flow-Freeze", por el que pasarán las espinacas para su ultracongelación a -50°C . Esta temperatura viene dada por la T_m' (Temperatura de subenfriamiento) de las espinacas.

Por último, en la zona de cámaras se encuentran dos:

- **Cámara de materia prima**
- **Almacén de producto terminado**

La cámara de materia prima en la cual se almacenará la espinaca en fresco antes de su congelación, se mantendrá a 0 °C. Se ha seleccionado esta temperatura dado que las espinacas no presentan daños por frío y de esta forma se mantendrán en mejores condiciones.

Por otro lado, el almacén de producto terminado donde se mantendrá el producto congelado y envasado hasta su expedición con un tiempo máximo estimado de 5 días, se mantendrá a una temperatura de -45 °C.

7.1 CARGAS TÉRMICAS

Se define el concepto carga térmica como la cantidad de energía térmica por unidad de tiempo (potencia térmica) que un recinto cerrado intercambia con el exterior.

Para el diseño del circuito de frío de la nave, así como para el diseño de los evaporadores, condensadores y la elección del fluido refrigerante, es necesario conocer las necesidades térmicas de los distintos niveles de frío requeridos en la nave.

En función de los niveles de frío de la nave, las cargas térmicas quedarán resumidas de la siguiente manera:

	2 °C	0 °C	-50 °C	-45 °C
Q₁	205302.97	4562.28	5333.35	210075.20
Q₂	-	9350.00	266475.00	-
Q₃	-	27140.00	55790.00	27140.00
Q₄	212586.28	2451.05	1687.86	451339.84
Q₅	60834.82	60834.82	60834.82	60834.82
Q₆	9615.31	9615.31	-	9615.31
Q₇	-	-	-	-
Q₈	30795.42	6157.84	44842.25	35582.28
Q_{TOTAL} (kcal/día)	519134.80	120111.30	434963.28	794587.45

Tabla 9: Valores de las cargas térmicas en función del nivel de frío

7.2 CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN

El circuito de refrigeración de la nave, estará compuesto de cuatro evaporadores, una cámara isobárica, un condensador, tres intercambiadores de calor, cinco compresores y cinco válvulas de expansión.

Para el cálculo de las características de todos los puntos se ha utilizado el software 'Coolpack', realizando balances de energía cuando se ha requerido. El fluido refrigerante empleado en el circuito, es el 'R-410a'. Sus características de trabajo son:

- **T crítica:** 74.67 °C
- **T mínima:** -100 °C
- **No daña la capa de ozono,** ODP = 0
- **Potencial de calentamiento atmosférico PCA (GWP) = 2088.**
- **Clasificación seguridad:** A1. Baja toxicidad y no inflamable.

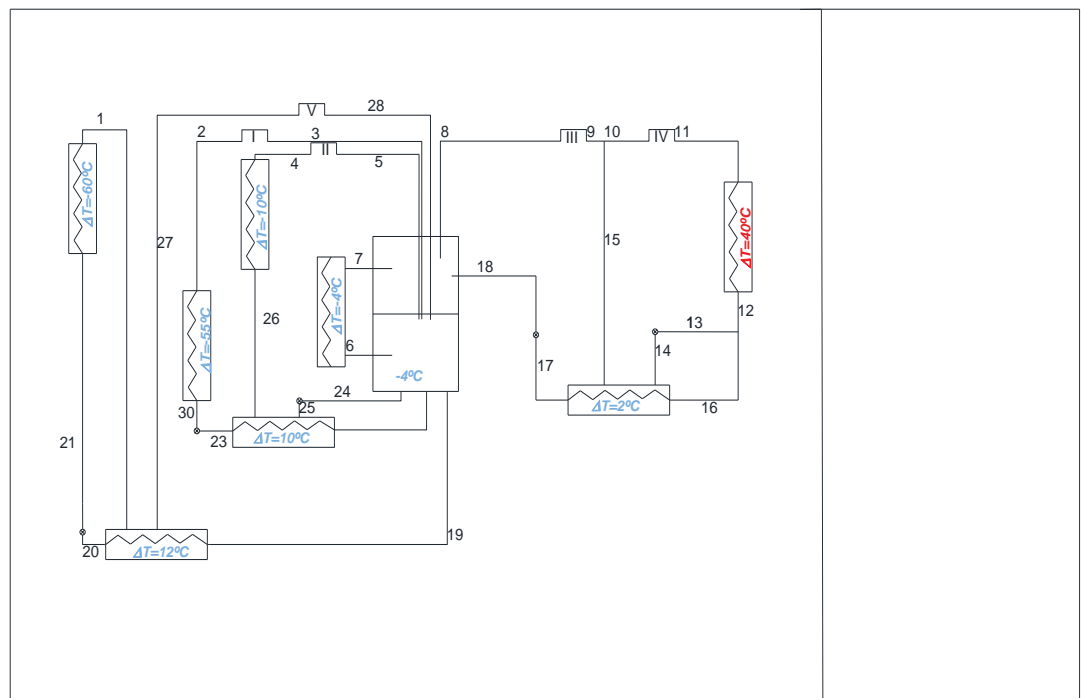


Figura 10: Circuito de frío de la instalación

1	Salida evaporador -60 °C y entrada a intercambiador de calor 12 °C
2	Salida evaporador -55 °C y entrada a compresor 1
3	Salida compresor 1 y entrada a cámara isobárica
4	Salida evaporador -10 °C y entrada a compresor 2
5	Salida compresor 2 y entrada a cámara isobárica
6	Salida cámara isobárica y entrada a evaporador -4 °C
7	Salida evaporador - 4 °C y entrada a cámara isobárica
8	Salida cámara isobárica y entrada a compresor 3
9	Salida compresor 3
10	Inyección y entrada a compresor 4
11	Salida compresor 4 y entrada a condensador 40 °C
12	Salida condensador 40 °C
13	Entrada a válvula de expansión
14	Salida válvula de expansión y entrada a evaporador de 2 °C
15	Salida evaporador 2 °C y recirculación
16	Entrada evaporador 2 °C
17	Salida evaporador 2 °C y entrada a válvula de expansión
18	Salida válvula de expansión y entrada a cámara isobárica
19	Salida cámara isobárica y entrada a intercambiador de calor 12 °C
20	Salida intercambiador de calor 12 °C y entrada a válvula de expansión
21	Salida válvula de expansión y entrada a evaporador -60 °C
22	Salida cámara isobárica y entrada a intercambiador de calor 10 °C
23	Salida intercambiador de calor 10 °C y entrada a válvula de expansión
24	Salida cámara isobárica y entrada a válvula de expansión
25	Salida válvula de expansión y entrada a intercambiador de calor 10°C
26	Salida intercambiador de calor 10 °C y entrada a evaporador -10 °C
27	Salida intercambiador de calor 12 °C y entrada a compresor 5
28	Salida compresor 5 y entrada a cámara isobárica
30	Salida válvula expansión y entrada a evaporador -55 °C

Tabla 10: Corrientes circuito frío

7.3 RESULTADOS

En el 'Anejo n°3', se muestran con más detalles los cálculos y resultados obtenidos.

Mediante balances de materia y con la ayuda del software de cálculo de circuitos de frío 'CoolPack' se han calculado las distintas entalpías, presiones y temperaturas:

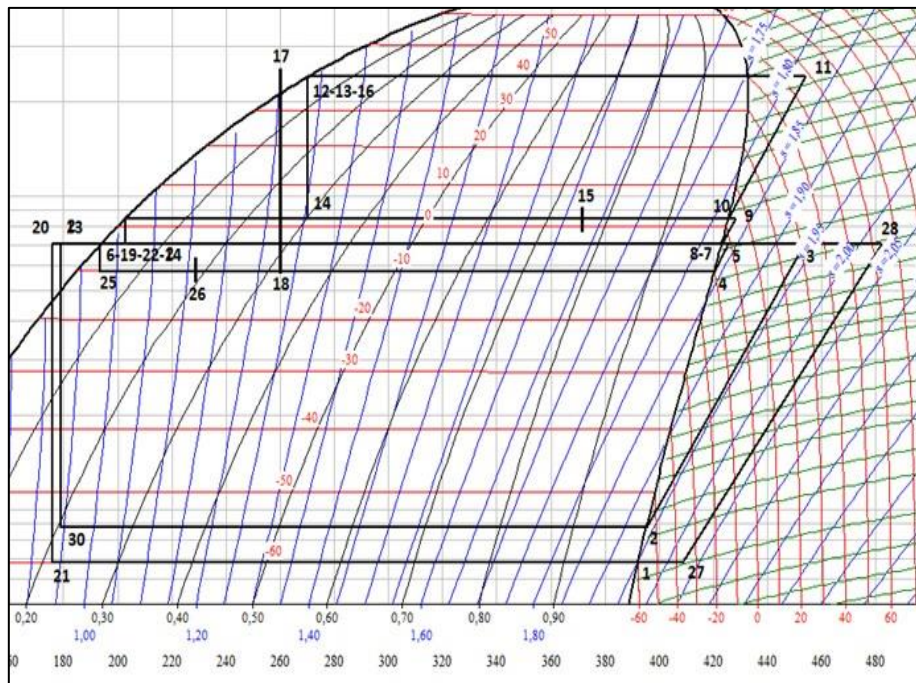


Figura 11: Diagrama presión-entalpía (Coolpack)

NIVELES DE PRESIÓN		bar
P 40	11; 12; 13; 16; 17	23.981
P 2	14; 15; 9; 10	8.501
P-4	19; 20; 28; 22; 23; 3, 24; 5, 6; 7; 8; 18	7.029
P-10	25; 26; 4	5.759
P-55	30; 2	0.883
P-60	21; 1; 27	0.679

Tabla 11: Niveles de presión

RELACIONES DE COMPRESIÓN	
R V	10.35
R I	7.96
R II	1.22
R III	1.21
R IV	2.82

Tabla 12: Relaciones de compresión de los compresores

	P (bar)	T (°C)	h
1	0.679	-60.000	392.16
2	0.883	-55.000	395.24
3	7.029	31.830	453.73
4	5.759	-10.000	420.27
5	7.029	-0.838	425.66
6	7.029	-4.000	193.68
7	7.029	-4.000	422.99
8	7.029	-4.000	422.99
9	8.501	5.050	428.14
10	8.501	2.000	425.48
11	23.981	58.250	454.13
12	23.981	40.000	270.02

	P (bar)	T (°C)	h
13	23.981	40.000	270.02
14	8.501	2.000	270.02
15	8.501	2.000	364.29
16	23.981	40.000	270.02
17	23.981	38.000	265.92
18	7.029	-4.000	265.92
19	7.029	-4.000	193.68
20	7.029	-16.000	176.03
21	0.679	-60.000	176.03
22	7.029	-4.000	193.68
23	7.029	-14.000	178.91
24	7.029	-4.000	193.68
25	5.759	-10.000	193.68
26	5.759	-10.000	264.18
27	0.679	-36.540	409.81
28	7.029	63,970	482.34
30	0.883	-55.000	178.91

Tabla 13: Resumen T, P y h

CAUDALES	M (kg/h)	
Me-60	19, 20; 21; 1; 27; 28	327.42
Me-55	22; 23; 30; 2; 3	639.72
Me-10	24; 25; 26; 4; 5	134.02
Me-4	6; 7	394.30
Mc	10; 11; 12	2540.32
M 13	13; 14; 15	105.87
M 16	16, 17; 18, 8; 9	2434.45

Tabla 14: Caudales de fluido

Eficiencia energética (η)	2.2
----------------------------------	-----

Tabla 15: Eficiencia energética

TRABAJO COMPRESORES (kJ)	
W I	23749
W II	37415
W III	723
W IV	12540
W V	72790

Tabla 16: Trabajo de los compresores

7.4 DISEÑO DE EVAPORADORES Y CONDENSADORES

Un evaporador es un intercambiador de calor en el que tiene lugar la evaporación del fluido frigorígeno a la temperatura de ebullición en la presión a la que se encuentre el fluido. El calor para vaporizarse lo recibe del medio que lo rodea manteniendo a este a una baja temperatura

Por otro lado, un condensador es un intercambiador de calor en el que tiene lugar la condensación de vapores del fluido frigorígeno a la temperatura de presión de impulsión del compresor. El fluido frigorígeno cede calor sensible de recalentamiento de los vapores, el calor latente de condensación y el calor sensible de subenfriamiento a un medio refrigerante

7.4.1 DISEÑO EVAPORADOR

Los evaporadores necesarios para el circuito de frío según los niveles de presión son:

- **Evaporadores de expansión directa:** P₋₅₅, P₋₁₀ y P₋₂
- **Evaporadores de expansión directa sobresaturado:** P₋₆₀

Se han elegido evaporadores de tubo ya que se adaptan perfectamente a las exigencias del circuito. El dimensionado queda resumido de la siguiente forma;

Evaporadores	Q (fr/h)	U (kcal/h·m ² ·°C)	T _v (°C)	T _{camara} (°C)	T _e (°C)	T _s (°C)	ΔT _{ml} (°C)	A (m ²)
-4	21630,62	30	-4	2	4	0	5,77	124,94
-10	5004,64	30	-10	0	2	-2	9,87	16,91
-55	33107,81	30	-55	-45	-43	-47	9,87	111,87
-60	18123,47	30	-60	-50	-48	-52	9,87	61,24

Tabla 17: Dimensionado evaporadores

7.4.2 DISEÑO DE CONDENSADORES

Para el dimensionado del condensador del circuito, el cual trabaja a presión de 40 °C, se ha decidido usar intercambiadores de tubo con aletas por agua. Además, han considerado aerocondensadores puesto que, se ha usado ventiladores para aumentar el coeficiente global de transmisión de calor, en este caso a 400 kcal/h·m²·°C.

Se ha estimado un caudal de agua de 8000 L/h, con una temperatura de entrada al condensador de 15 °C obteniendo un área de 10.33 m².

8 ACCIONES SÍSMICAS

La Norma Sismorresistente vigente actualmente es CTE, el cual prescribe:

Clasificación de las construcciones

1. De moderada importancia

Aquellas con probabilidad despreciable de que su destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio primario, o producir daños económicos significativos a terceros.

2. De normal importancia

Aquellas cuya destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio para la colectividad, o producir importantes pérdidas económicas, sin que en ningún caso se trate de un servicio imprescindible ni pueda dar lugar a efectos catastróficos.

3. De especial importancia

Aquellas cuya destrucción por el terremoto, pueda interrumpir un servicio imprescindible o dar lugar a efectos catastróficos.

Para la construcción objeto de este trabajo no es obligatoria la aplicación de esta Norma, ya que se trata de una construcción de moderada importancia.

9 ESTUDIO GEOTÉCNICO

La zona donde se ubica la nave no presenta problemas geotécnicos, obteniéndose los datos de resistencia del suelo, de la experiencia en otro tipo de construcciones similares a la diseñada, así como las recomendaciones generales del Código Técnico.

En la siguiente tabla se resumen los datos utilizados:

	ρ_s (Kg/m ³)	σ_{Adm} (Kg/cm ²)	ϕ' (°)
Datos suelo	1800	1,5	30

Tabla 18: Datos suelo

10 SEGURIDAD Y SALUD

El presente Trabajo Fin de Grado, tiene como objeto el Dimensionado y Cálculo de la nave de estructura metálica e instalación de frío. En el caso, de que se redactara un proyecto completo de las instalaciones, se debería elaborar un Estudio de Seguridad y Salud, que sirviera para dar unas directrices básicas a la empresa constructora para llevar a cabo sus obligaciones en el campo de la prevención de riesgos profesionales.

11 GESTIÓN DE RESIDUOS

En el caso de que se redactara un proyecto completo, se debería cumplir el del Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD). El objeto del presente Trabajo Fin de Grado es sólo el Dimensionado y Cálculo.

12 MEDICIONES

Se han realizado las estimaciones de material (acero y hormigón) que requerirá la construcción de la nave propuesta:

12.1 ACERO ESTRUCTURAL

12.1.1 Cercha

- **Armadura:** 14225.350 kg de acero
- **Diagonal inicial y final:** 504.713 kg de acero
- **Resto de diagonales y montantes:** 9916.376 kg de acero

12.1.2 Pilares

- **HEB 280:** 14832.000 kg de acero
- **HEB 220:** 4576.000 kg de acero

12.1.3 Placas de anclaje

- **Estimadas:** 15 kg de acero x nº de pilares= 390 kg de acero

12.1.4 Correas

- **IPE-140:** 13545 kg de acero

12.1.5 TOTAL

- 44444.439 kg de acero x 1.1 (factor mayorante) = 48888.883 kg de acero
- 48888.883 kg de acero / 1500 m²= 32.593 kg de acero/m²

ACERO ESTRUCTURAL					
		PESO (kg/m)	LONGITUD (m)	UNIDADES	ACERO (kg)
CERCHA	ARMADURA	21	61,582	11	14225,350
	DIAGONAL INICIAL	14,2	3,231	11	504,713
	RESTO DIAGONALE	11,1	81,215	11	9916,376
PILARES	HEB 280	103	8	18	14832
	HEB 220	71,5	8	8	4576
CORREAS	IPE-140	12,9	50	21	13545
PLACAS DE ANCLAJE	ESTIMADAS				390
				TOTAL	48888,883

Tabla 19: Cálculo mediciones acero estructural

12.2 CIMENTACIONES

- **Volumen de hormigón:** 109.200 m³ de hormigón.
- **Acero:** 150.041 kg de acero.

CIMENTACIONES							
	V HORMIGÓN (m ³)	UNIDADES	δ ACERO (kg/m ³)	θ BARRAS ACERO (m)	h barras (m)	nº zapatas	ACERO (kg)
ZAPATA	109,2	13	7850	0,012	0,5	26	150,041

Tabla 20: Cálculo mediciones cimentaciones