



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Diseño de una línea de fabricación industrial de cerveza en  
el municipio de Alboraiá, provincia de Valencia

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Industrial

AUTOR/A: Castro Villoslada, Arturo

Tutor/a: Bayón Barrachina, Arnau

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIERÍA  
INDUSTRIAL VALENCIA

**TRABAJO FIN DE MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

# **DISEÑO DE UNA LÍNEA DE FABRICACIÓN INDUSTRIAL DE CERVEZA EN EL MUNICIPIO DE ALBORAYA, PROVINCIA DE VALENCIA**

**AUTOR:** ARTURO CASTRO VILLOSLADA

**TUTOR:** ARNAU BAYÓN BARRACHINA

**Curso Académico: 2021-22**

## **RESUMEN**

En este trabajo fin de máster se expone el diseño y cálculo de una instalación industrial de fabricación de cerveza, llevado a cabo en la empresa en la que el estudiante realiza las prácticas, Hidrostal, una multinacional Suiza fabricante de bombas hidráulicas.

En primer lugar, se ubica la producción de la cerveza desde el punto de vista del estado del arte, su historia, las variedades existentes y la materia prima necesaria. Posteriormente, se procede a explicar las diferentes etapas que debe contemplar el proceso de fabricación de la cerveza.

Además, se diseñan y calculan los equipos adecuados a las necesidades de producción. Para el transporte de la materia prima a la entrada del proceso de forma automática se utiliza un bombeo.

Se opta por un diseño que permite una mayor flexibilidad en el producto generado. Se construyen dos líneas paralelas de producción para poder fabricar diferentes tipos de cervezas a la vez.

Como solución para el problema de la complejidad del bombeo en los diferentes puntos de trabajo, se utilizan una tipología de bomba adecuada para tratar con sólidos en suspensión y altas temperaturas. Dicha bomba está compuesta por un rodete de tornillo centrífugo. Se calculan las condiciones de bombeo y se elige la bomba mediante el software privado: Hannibal, de la empresa Hidrostal.

Se realizan también, el diseño y construcción de la nave y la instalación eléctrica de la misma. Para la construcción de la nave se hace uso del software CYPE. Para la instalación eléctrica se tienen en cuenta los consumos de los equipos a alimentar en la nave y a partir de ahí se dimensiona el cableado y los demás elementos de la instalación.

También se realizan planos de planta y de distribución mediante el software Autocad.

Por último, se realiza el presupuesto global de todo el proyecto mediante el programa de CYPE Arquímedes.

**Palabras Clave:** Cerveza, Mosto, Malta, Bombeo, Industria, Hannibal.

## RESUM

En aquest treball fi de master s'exposa el disseny i càlcul d'una instal·lació industrial de cervesa, dut a terme en l'empresa en la qual l'estudiant realitza les pràctiques, Hidrostaal, una multinacional Suïssa fabricant de bombes hidràuliques.

En primer lloc, es situa la producció de la cervesa des del punt de vista de l'estat de l'art, la seua història, les varietats existents i la matèria primera necessària. Posteriorment, s'explica les diferents etapes que han de contemplar-se en el procés de fabricació de la cervesa.

A més, es dissenyen i calculen els equips d'acord a les necessitats de producció. Per al transport de la matèria primera a l'entrada del procés de manera automàtica s'utilitza un bombament.

S'opta per un disseny que permet una major flexibilitat en el producte generat. Es construeixen dues línies paral·leles de producció per a poder fabricar diferents tipus de cerveses alhora.

Com a solució per al problema de la complexitat del bombament en els diferents punts de treball, s'utilitzen una tipologia de bomba adequada per a tractar amb sòlids en suspensió i altes temperatures. Aquesta bomba està composta per un rodet de caragol centrífug.

Es calcula les condicions de bombament i es tria la bomba mitjançant el programa privat: Hannibal, de l'empresa Hidrostaal.

Es realitzen també, el disseny i construcció de la nau i l'instal·lació elèctrica de la mateixa. Per a la construcció de la nau es fa ús del programa CYPE. Per a l'instal·lació elèctrica es tenen en compte els consums dels equips a alimentar a la nau i a partir d'aquí es dimensiona el cablejat i els altres elements de l'instal·lació.

També es realitzen, els plans de planta i de distribució mitjançant el programa Autocad.

Finalment es realitza el pressupost global de tot el projecte mitjançant el programa de \*CYPE Arquimedes.

**Paraules clau:** Cervesa, Most, Malta, Bombeig, Indústria, Hannibal.

## **ABSTRACT**

In this master's thesis, the design and calculation of an industrial beer manufacturing is exposed, carried out in the company where the student is doing the internship, Hidrostal, a Swiss multinational manufacturer of hydraulic pumps.

In the first place, it locates the production of beer from the point of view of the state of the art, its history, the existing varieties and the necessary raw material. Later, the different stages that the beer manufacturing process must contemplate are explained.

In addition, the appropriate equipment is designed and calculated for the production needs. For the automatic transport of the raw material to the beginning of the process it is used a pumping.

It is chosen a design that allows more flexibility in the generated product. Two parallel production lines are built to be able to make different types of beers at the same time.

As a solution to the problem of the complexity of pumping at the different work points, it is used a type of pump suitable for dealing with suspended solids and high temperatures. The pump is composed of a centrifugal screw impeller.

The pumping conditions are calculated and the pump is chosen using the private software: Hannibal, which belongs to the Hidrostal company.

The design and construction of the warehouse and the electrical installation of the same are also carried out. For the construction of the ship, the CYPE software is used. For the electrical installation, the consumption of the equipment to be fed in the warehouse is taken into account and from there the wiring and the other elements of the installation are dimensioned.

The floor and distribution plans are also made using Autocad software.

Finally, the overall budget for the entire project is made with the CYPE Arquimedes program.

**Keywords:** Beer, Wort, Malt, Pumping, Industry, Hannibal.

# ÍNDICE

## Documentos contenidos en el TFM

- Memoria
- Presupuesto
- Planos
- Anexos

## Índice de la memoria

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. Objeto del trabajo .....	2
1.2. Metodología .....	2
1.3. Situación inicial.....	2
1.5. Historia de la cerveza .....	3
CAPÍTULO 2. COMPONENTES Y TIPOS DE CERVEZA.....	7
2.1. Materias primas .....	7
2.1.1. Malta o Cebada .....	7
2.1.2. Agua.....	7
2.1.3. Trigo.....	8
2.1.4. Lúpulo.....	8
2.1.5. Levadura .....	9
CAPÍTULO 3. PROCESO DE FABRICACIÓN.....	10
3.1. Pretratamiento del agua .....	10
3.2. El malteado.....	11
3.2.1. Recepción .....	11
3.2.2. Remojo .....	11
3.2.3. Germinación .....	11
3.2.4. Secado y tostado .....	11

3.2.5. Desgerminación.....	11
3.3. La molienda .....	11
3.4. La maceración .....	12
3.5. La aspersion.....	13
3.6. La cocción .....	13
3.7. La fermentación .....	15
3.8. La maduración.....	16
3.9. La filtración.....	16
3.10. La pasteurización.....	17
3.11. La carbonatación .....	17
3.12. El envasado.....	17
CAPÍTULO 4. CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE EQUIPOS .....	20
4.1. Datos generales.....	20
4.1.1. Cálculos generales.....	21
4.1.2. Criterios de selección .....	21
4.2. Análisis de equipos.....	22
4.2.1. Pretratamiento del agua .....	22
4.2.2. Maceración.....	23
4.2.3. Aspersion.....	24
4.2.4. Cocción .....	24
4.2.5. Intercambiador.....	26
4.2.6. Depósito agua fría y caliente.....	27
4.2.7. Fermentación .....	27
4.2.8. Filtrado .....	28
4.2.9. Envasado .....	29
CAPÍTULO 5. DISEÑO DE LOS EQUIPOS HIDRÁULICOS .....	31
5.1. Conocimientos generales y tipos de bombas.....	31
5.2. Características de las bombas centrífugas .....	32
5.2.1. Partes principales de una bomba.....	32
5.2.2. Tipos de impulsores .....	34
5.3. Selección del tipo de bomba .....	36
5.4. Selección de elementos de la instalación .....	37
5.4.1. Tuberías.....	37

5.4.2. Colector .....	37
5.4.3. Válvula de corte.....	38
5.4.4. Válvula antirretorno .....	38
5.4.5. Válvula reductora .....	38
CAPÍTULO 6 CÁLCULOS DE LA INSTALACIÓN.....	41
6.1 Diseño de la instalación.....	41
6.1.1. Cálculo de pérdidas en la instalación .....	41
6.1.2. Cálculo de la altura a aportar por la bomba.....	47
6.2. Selección de bombas.....	49
6.2.1. Cálculo de la potencia absorbida por las bombas.....	49
6.2.2. Selección de las bombas con Hannibal .....	49
6.2.3. Selección del motor eléctrico.....	52
6.3. Comprobación de la cavitación en válvulas .....	54
6.3.1. Explicación sobre la cavitación.....	54
6.3.2. Justificación del estudio de cavitación en válvulas .....	54
6.3.3. Cavitación en válvula reductora de presión.....	54
CAPÍTULO 7 DISEÑO DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....	57
7.1. Diseño de las luminarias.....	57
7.2. Cálculo de consumos de los equipos.....	59
7.3. Cálculos de sección del cableado .....	60
7.4. Equipos de protección de la instalación frente a sobrintensidades .....	61
7.4.1. Protección frente a sobrecarga .....	62
7.4.2. Protección frente a cortocircuitos.....	63
CAPÍTULO 8 CONSTRUCCIÓN DE LA NAVE .....	66
8.1 Hipótesis de cálculo.....	66
8.1.1 Acciones Permanentes .....	66
8.1.2 Acciones Variables.....	66
8.2 Hipótesis en CYPE .....	68
8.3. Actuaciones previas.....	70
8.4. Cimentación .....	70
8.5. Solera.....	71
8.6. Estructura .....	72
8.6.1. Pórtico interior .....	72

8.6.2. Pórtico de fachada .....	73
8.6.3. Viga perimetral.....	73
8.6.4. Sistema contraviento .....	74
8.7. Cálculos estructurales .....	75
CAPÍTULO 9 OBRA CIVIL .....	76
9.1. Elementos de unión y sujección.....	76
9.2. Profundidad de las conducciones .....	76
9.3. Elementos de sujección eléctricos .....	77
CAPÍTULO 10 CONCLUSIONES .....	79

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Localización geográfica de la planta (Google,s.f.) .....	3
Ilustración 2. Consumo de cerveza en el mundo (La Vanguardia, 2021).....	4
Ilustración 3. Macerador (Inoximexico, 2021) .....	13
Ilustración 4. Tanques fermentadores (Cerveza artesanal, 2021) .....	16
Ilustración 5. Máquina embotelladora (Estrella Levante, 2020).....	18
Ilustración 6. Bolsa metálica para cocción (Maltacerveceros, s.f.) .....	25
Ilustración 7. Olla de cocción (Icespedes, 2021) .....	25
Ilustración 8. Intercambiador de haz tubular (Sagafluid, 2021).....	26
Ilustración 9. Tipos de bomba de desplazamiento positivo (ingenieramecanicaymas, 2016) ...	32
Ilustración 10. Tipos de flujo (ingenieramecanicaymas, 2016).....	32
Ilustración 11. Partes de una bomba hidráulica (ingenieramecanicaymas, 2016) .....	33
Ilustración 12. Sellos de empaquetadura (ingenieramecanicaymas, 2016) .....	34
Ilustración 13. Sellos mecánicos (ingenieramecanicaymas, 2016) .....	34
Ilustración 14. Impulsor monocanal (ingenieramecanicaymas, 2016) .....	35
Ilustración 15. Impulsor cerrado de varios canales (ingenieramecanicaymas, 2016) .....	35
Ilustración 16. Impulsor semiabierto (ingenieramecanicaymas, 2016).....	36
Ilustración 17. Tornillo helicoidal centrífugo (ingenieramecanicaymas, 2016) .....	36
Ilustración 18. Válvula de corte (Inoxalia, 2021).....	38
Ilustración 19. Válvula antirretorno (Inoxalia, 2021) .....	38
Ilustración 20. Válvula reductora de presión (Inoxalia, 2021) .....	39
Ilustración 21. Plano de las líneas de la instalación .....	43

Ilustración 22. Software Hannibal 2 .....	50
Ilustración 23. Gráfica de presiones de vapor (Hyperphysics, s.f.) .....	51
Ilustración 24. Motores eléctricos seleccionables (ABB, 2021) .....	53
Ilustración 25. Válvulas reductoras seleccionables (Bermad, 2021).....	55
Ilustración 26. Zona de cavitación de la válvula (Bermad, 2021).....	56
Ilustración 27. Distancias entre luminarias .....	59
Ilustración 28. Distribución viento exterior .....	67
Ilustración 29. Distribución viento exterior en cubierta .....	68
Ilustración 30. Valores de cargas en cubierta por viento exterior .....	68
Ilustración 31. Normas de materiales .....	68
Ilustración 32. Hipótesis de cálculo de viento.....	69
Ilustración 33. Hipótesis de cálculo de viento.....	69
Ilustración 34. Cimentación de la nave .....	71
Ilustración 35. Estructura general de la nave.....	72
Ilustración 36. Pórtico interior de la nave.....	73
Ilustración 37. Pórtico de fachada de la nave .....	73
Ilustración 38. Viga perimetral.....	74
Ilustración 39. Cruz de San Andrés lateral .....	74
Ilustración 40. Cruz de San Andrés de cubierta .....	75
Ilustración 41. Anclaje en codo (Iagua, 2018).....	76
Ilustración 42 Bandeja portacables (auna distribución, 2020) .....	77
Ilustración 43. Sujeción de bandejas portacables (auna distribución, 2020) .....	78

## Índice de tablas

Tabla 1. Composición de las cerveza (Efricrea, 2017) .....	10
Tabla 2. Cálculo inicial de las fases de los equipos.....	21
Tabla 3. Tiempos de trabajo del embotellado .....	29
Tabla 4. Tiempos de llenado .....	30
Tabla 5. Cálculo inicial de velocidades .....	43
Tabla 6. Diámetros de tuberías de acero inoxidable (Inoxpres, 2021) .....	44
Tabla 7. Diámetros de tuberías de PE (Inoxpres, 2021).....	44
Tabla 8. Diámetros reales obtenidos .....	45

Tabla 9. Pérdidas de los tramos de instalación.....	45
Tabla 10. Pérdidas de los tramos de la instalación recalculados.....	46
Tabla 11. Constantes de pérdidas locales (Conagua).....	46
Tabla 12. Pérdidas locales de la instalación.....	47
Tabla 13. Pérdidas locales de valvulería.....	47
Tabla 14. Altura a aportar por las bombas.....	48
Tabla 15. Resumen de las condiciones de bombeo de los tramos.....	48
Tabla 16. Potencia teórica absorbida.....	49
Tabla 17. Comprobación de la cavitación.....	52
Tabla 18. Presiones de entrada y salida de la válvula reductora.....	55
Tabla 19. Valores de iluminancia recomendados, (Tecnología eléctrica, 2010).....	57
Tabla 20. Número de luminarias a instalar.....	58
Tabla 21. Distancias entre luminarias.....	59
Tabla 22. Potencias de los equipos.....	60
Tabla 23. Intensidades de líneas.....	61
Tabla 24. Secciones de las líneas.....	61
Tabla 25. Intensidades máximas permitidas.....	63
Tabla 26. Intensidades máximas y mínimas de cortocircuito.....	64
Tabla 27. Energía admitida por ohmio.....	65

## Índice de fórmulas

Fórmula 1. Área del círculo.....	22
Fórmula 2. Volumen de un cilindro.....	23
Fórmula 3. Cálculo de pérdidas Darcy-Weisbach.....	41
Fórmula 4. Diámetro teórico.....	41
Fórmula 5. Longitud de cálculo.....	42
Fórmula 6. Número de Reynolds.....	42
Fórmula 7. Factor de fricción.....	42
Fórmula 8. Pendiente hidráulica.....	42
Fórmula 9. Pérdidas locales.....	46
Fórmula 10. Bernoulli.....	48
Fórmula 11. Peso específico.....	48

Fórmula 12. Potencia absorbida .....	49
Fórmula 13. Comprobación del NPSH.....	51
Fórmula 14. Ecuación del índice de local .....	57
Fórmula 15. Cálculo de luminarias .....	58
Fórmula 16. Índice de malla .....	58
Fórmula 17. Índice de proximidad .....	58
Fórmula 18. Intensidad de cálculo de líneas .....	60
Fórmula 19. Intensidad de líneas con motor .....	60
Fórmula 20. Criterio de caída de tensión .....	61
Fórmula 21. Protección a sobrecarga .....	62
Fórmula 22. Sobrecarga en PIA.....	62
Fórmula 23. Protección frente a cortocircuitos mediante IA.....	63
Fórmula 24. Corriente de cortocircuito máxima.....	63
Fórmula 25. Corriente de cortocircuito mínima .....	63
Fórmula 26. Cálculo de energía admisible por el cable .....	64
Fórmula 27. Sobrecarga de Nieve .....	66
Fórmula 28. Sobrecarga de Viento.....	66

## Índice de planos

Plano 1. Situación y emplazamiento
Plano 2. Diagrama de flujo de fabricación
Plano 3. Tramos de la línea de fabricación
Plano 4. Distribución en planta de la línea de fabricación
Plano 5. Distribución de las válvulas enterradas
Plano 6. Profundidad de las conducciones e intersecciones 1
Plano 7. Profundidad de las conducciones e intersecciones 2
Plano 8. Pórtico de fachada
Plano 9. Pórtico interior
Plano 10. Lateral de la nave
Plano 11. Estructura general de la nave
Plano 12. Zonas de procesos de la nave
Plano 13. Ubicación de las luminarias en la nave

Plano 14. Esquema de líneas eléctricas



# MEMORIA DEL PROYECTO



# **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1. OBJETO DEL TRABAJO**

El objeto de este trabajo es el diseño de una línea de producción industrial y adaptar una solución para poder realizar el proceso mediante un bombeo adecuado a las necesidades del proceso.

Se pretende mostrar cómo se debe construir una línea cervecera y aportar una solución adecuada para el transporte y bombeo de la cerveza.

Además, también se diseña la construcción de la nave industrial y la instalación eléctrica necesaria para la misma.

Resumiendo, los objetivos de este trabajo son:

- Diseñar una línea completa funcional de fabricación industrial de cerveza.
- Que los equipos seleccionados tengan la mayor calidad/precio posible.
- Diseñar una solución para el bombeo entre fases.
- Diseñar y construir una nave industrial.
- Dotar de instalación eléctrica a la nave.

## **1.2. METODOLOGÍA**

En este apartado se explica que metodología se utiliza en la elaboración del trabajo.

Primero, se procede a una explicación general del proceso o tipo de equipo en estudio. Se comienza por entender que se hace en el proceso y que equipos pueden cumplir los requerimientos del proceso.

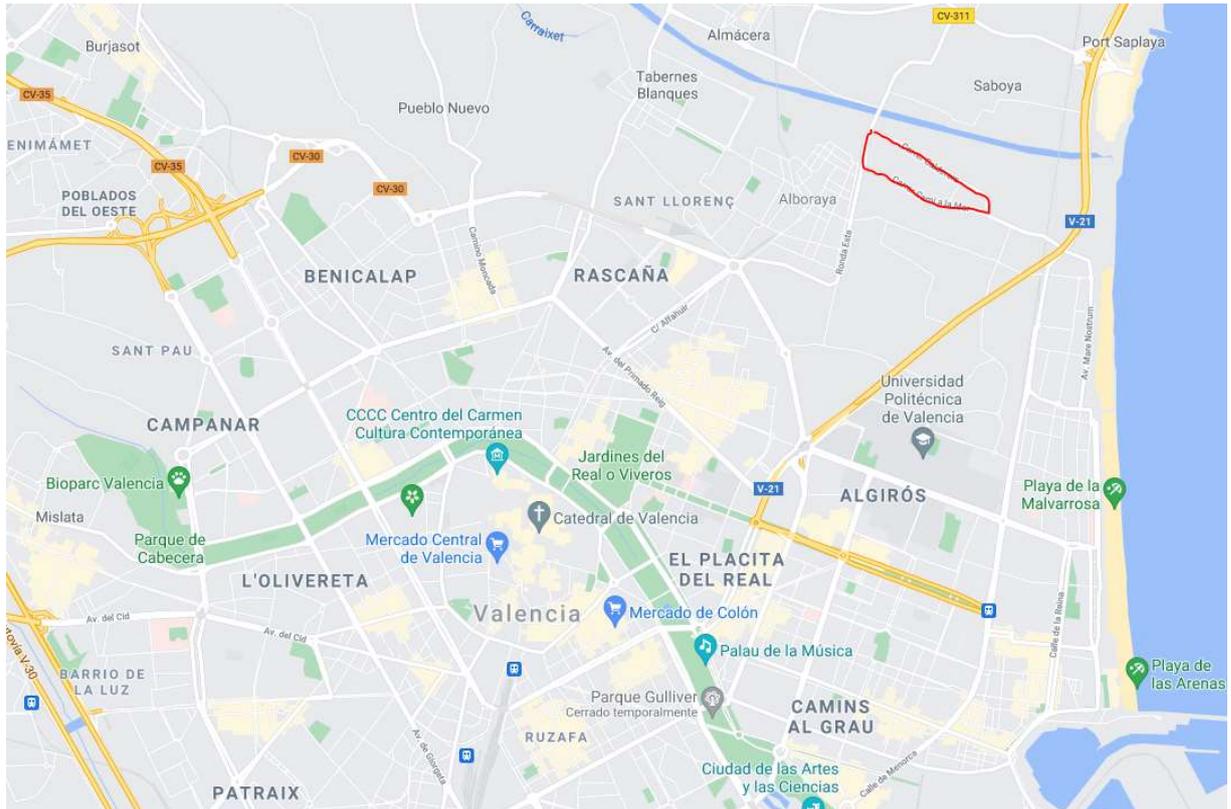
Posteriormente, se analizan todos los equipos que pueden cumplir la función deseada. Se fijan unos criterios de selección de equipo y se comparan las diferentes alternativas de equipos en función de dichos criterios. Se valoran las ventajas y desventajas de cada equipo.

Por último, se selecciona un equipo en concreto en base a los criterios anteriormente fijados, explicando los motivos de su selección

## **1.3. SITUACIÓN INICIAL**

La situación inicial de este proyecto es que se quiere diseñar una instalación cervecera industrial partiendo de un solar edificable. Se realiza la construcción de la nave, la instalación eléctrica y la instalación de las líneas de fabricación de cerveza.

La parcela se ubica en el polígono industrial de Alboraiá.



**Ilustración 1. Localización geográfica de la planta (Google,s.f.)**

La línea de cerveza se diseña para ser capaz de producir 66.667 litros de cerveza mensuales, o lo que es lo mismo 800.000 litros al año.

### **1.5. HISTORIA DE LA CERVEZA**

Los inicios de la cerveza, al menos hasta donde se ha podido demostrar, indican que son alrededor del año 3000 antes de Cristo en la antigua Sumeria. Esta cerveza primitiva sería del tipo ale, más tarde se explica que significa este aspecto.

Desde entonces y hasta el siglo XV la cerveza del tipo ale fue una bebida muy apreciada por todos los pueblos, siendo de consumo mayoritario junto al agua y el vino. Durante la época egipcia de hecho llegó a ser junto al pan alimento básico de la población.

A lo largo de los años, fue evolucionando y mejorando en sus procesos de producción y fermentado. En el siglo XV en los monasterios medievales se comienza a experimentar con la levadura y a variar el proceso de fermentado. Fruto de estos experimentos, nace la cerveza tipo lager.

A partir de entonces, Europa quedó dividida sobre qué tipo de cerveza consumía. Centro de Europa se especializó en la cerveza lager y Reino Unido en la de tipo ale.

Es curioso que a pesar que, para cada tipo de cerveza se utilizan diferentes tipos de levadura, de ahí los nombres ale y lager, la levadura en sí no había sido descubierta, si no que aparecía sola en el proceso.

Además, debido a la variación de procesos y cubas se generaban solas distintas levaduras.

En 1516 se promulgó la Ley Alemana de la Pureza de la cerveza que actualmente se exhibe en el monasterio de Aldersbach. Esta ley es considerada la más antigua del mundo en cuanto a alimentos se refiere.

Desde entonces se ha avanzado mucho en técnicas y mejora del proceso de producción. Se ha seguido experimentando hasta llegar a la gran variedad de cerveza que tenemos actualmente.

A pesar de todo, el consumo de cerveza en proporción a la población ha ido disminuyendo. La sociedad ya no considera la cerveza con un bien de primera necesidad como ocurría en culturas anteriores.

Además, cada vez se tiene una mayor conciencia social sobre las bebidas alcohólicas y los peligros de su consumo, lo cual sumado también a la alta variedad de otras bebidas espirituosas hace que la cerveza ya no sea de consumo tan principal.

Por supuesto, esto no significa que los negocios cerveceros vayan económicamente mal, en absoluto. Simplemente se indica que a pesar de que hoy en día se pueda pensar que la cerveza está en auge y que es un bien muypreciado, lo cierto es que si se compara con épocas pasadas la cerveza está muy lejos de estar en su momento álgido.

Hoy en día, los mayores productores de cerveza a nivel mundial son: China, EEUU, Brasil, Rusia y Alemania. Producir, eso sí, no significa consumir. Los países donde más se consume cerveza per cápita son: República Checa, España, Alemania, Polonia y Austria.

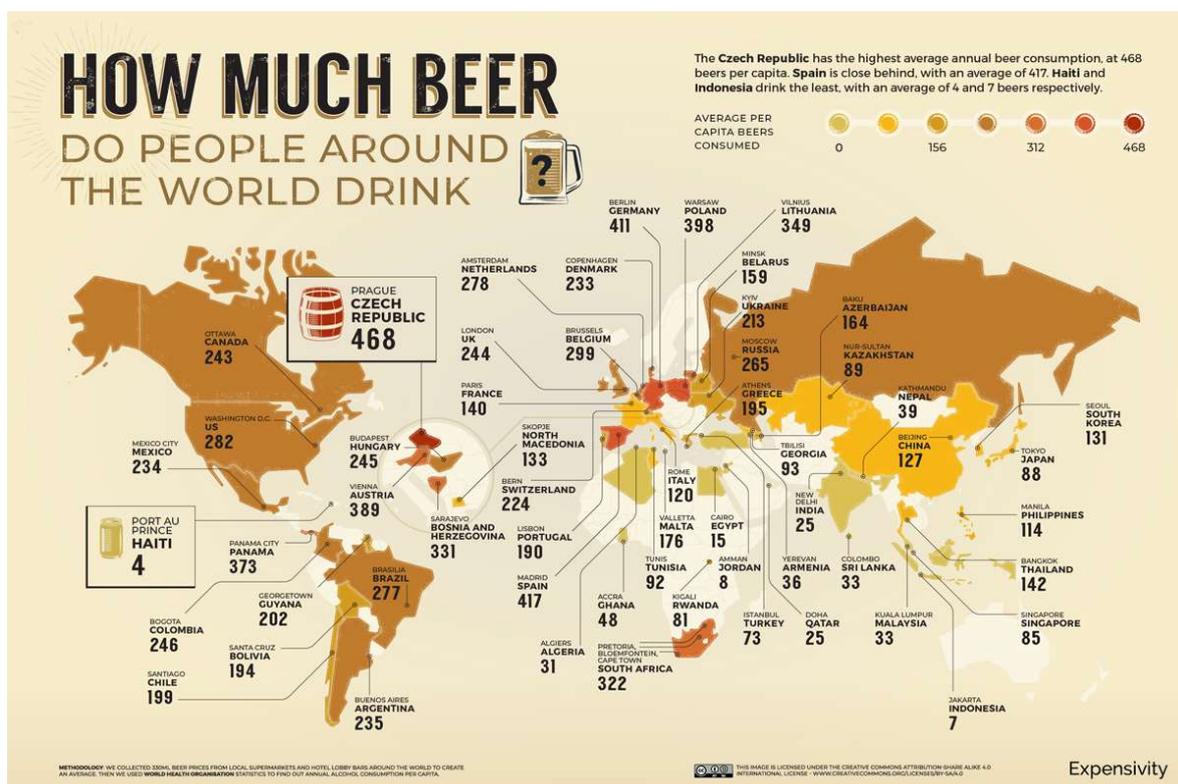


Ilustración 2. Consumo de cerveza en el mundo (La Vanguardia, 2021)

Particularizando el tema para España, el mundo de la cerveza está sufriendo un cambio. Cada vez hay más microcervecerías que grandes fábricas productoras. No solo el número de empresas cerveceras pequeñas crece si no, que también lo hacen sus números de ventas.

Continuando el pensamiento anterior de que la cerveza no está en su mejor momento histórico de en cuanto a relevancia en la dieta y el día a día de la sociedad, sí que está en su momento culmen de variedad y especialización en sus sabores, siendo el aumento de estas fábricas más pequeñas las principales responsables del descubrimiento y refinamiento de las nuevas variedades de cervezas.



# **CAPÍTULO 2. COMPONENTES Y TIPOS DE CERVEZA**

Para poder comprender bien el proceso de fabricación y los equipos que se pretenden diseñar hace falta entender y saber que componentes tiene la cerveza y qué tipos de cerveza existe.

Hay una gran variedad de cervezas y de ingredientes que la componen, más ahora que existe un auge por las cervezas artesanales, que no dejan de innovar composiciones diferentes. Por ello tan solo se exponen los ingredientes y grupos principales de cerveza que hay.

## **2.1. MATERIAS PRIMAS**

En este apartado se describen las principales materias primas que componen la cerveza. Es importante señalar que hay una multitud de cervezas diferentes y que algunas pueden contener materias primas no citadas en este documento.

Aquí se explican los ingredientes más comunes y posteriormente se especifican cuáles son los utilizados en la fabricación del tipo de cerveza específico sobre el que se realiza el trabajo.

### **2.1.1. Malta o Cebada**

La cebada es un cereal rico en almidón y con un alto contenido en proteínas, en un 11% y un 13%, que se utiliza como materia prima para la fabricación de la cerveza. La malta es el resultado de germinar y secar los granos de la cebada.

La cebada es el principal, aunque no el único, cereal que se emplea en la fabricación de la cerveza. Algunas cervezas se fabrican con trigo en lugar de malta o con una combinación de las dos. Además de malta y trigo, también pueden añadirse aparte algún otro cereal o incluso alguna fruta, para darle matices especiales a la cerveza.

Según el malteado que se aplique se pueden obtener maltas más o menos tostadas. Esto afectará significativamente al sabor.

### **2.1.2. Agua**

El agua es el elemento principal de la cerveza. En general, el agua es el 85% del contenido de la cerveza afectando las variaciones de cantidades de la misma al sabor de la cerveza. Además de la cantidad de agua, lo que más afecta al sabor son los minerales que esta contenga, por así decirlo, la calidad del agua.

Las cuatro características a tener en cuenta en la selección del agua son:

El PH: Se trata de un indicador sobre la acidez del agua. Los números más cercanos al 1 indican acidez y los cercanos al 14 son llamados bases. El agua pura se considera que está en el 7, es decir neutro.

Se buscan aguas con PH entre 5,2 y 5,5, ya que esta acidez favorece en los procesos de maceración y cocción, por qué permiten la transformación de azúcares complejos en otros más sencillos para su posterior transformación en alcohol en la fermentación.

Dureza: Desde el punto de vista químico, mide la concentración de cationes de los metales calcio y magnesio que hay en el agua. Se hablan de aguas duras cuando la concentración supera los 50 ppm y muy duras cuando supera los 150 ppm. Se denomina agua blanda cuando la concentración es menor de 50 ppm.

Las aguas más utilizadas para la fabricación de la cerveza son las aguas duras, ya que favorecen la actividad de la levadura y reducen la turbidez de la cerveza.

Alcalinidad: Mide la concentración de aniones metálicos de calcio y magnesio del agua que hacen invariable el PH. Esto es negativo porque, como se ha explicado antes, se busca que el PH del agua sea algo ácido y no neutro.

Minerales: El agua debe aportar minerales a la cerveza para favorecer el trabajo de la levadura. Es cierto que la malta ya aporta muchos de los minerales necesarios, pero se obtiene un mejor resultado si se el agua también los aporta. Por todo esto, se desaconseja el uso de agua destilada para la fabricación de cerveza.

### **2.1.3. Trigo**

El trigo es un cereal que a menudo se emplea en la fabricación de cerveza. Tiene un alto contenido en proteínas, entre un 12% y un 15%, lo que le aporta un aumento de turbidez a la cerveza, una textura diferente a la que la gente se suele referir como “tener más cuerpo”, y genera una mayor corona de espuma.

La turbidez, que en las cervezas claras se considera negativo, en este caso se busca a propósito ya que es algo característico que hace que las cervezas hechas con trigo sean diferentes.

Por otra parte, al tener tanta proteína puede provocar algún problema en el sabor de la cerveza. Además, no posee las enzimas necesarias para convertir el almidón en azúcares fermentables y tampoco tiene cáscara, la cual favorecería el filtrado en la maceración.

Para solucionar estos inconvenientes, generalmente se mezcla con un 30% de malta de cebada.

### **2.1.4. Lúpulo**

El lúpulo es una planta herbácea con fruto seco y parecido a una piña que se utiliza como ingrediente en la fabricación de la cerveza. Este ingrediente no solo aporta sabor amargo a la cerveza, sino que también tiene un efecto antibiótico evitando la aparición de posibles bacterias.

Se añade normalmente en la fase de cocción y es el responsable del sabor amargo de la cerveza.

Hay muchas variedades de lúpulo según se quiera potenciar o no el amargor de la cerveza. También se puede escoger en función del aroma que se quiera dar, aunque esta función la pueden cumplir mejor otros elementos como las frutas.

### **2.1.5. Levadura**

La levadura es un hongo que produce enzimas capaces de transformar azúcares en alcoholes. Es la responsable de la fermentación. Fruto de esta fermentación además de azúcar se genera CO<sub>2</sub>.

Existen dos ramas principales de levadura: las de tipo Ale y las de tipo Lager.

Levadura tipo Ale: Se denominan de alta fermentación ya que su actividad ocurre principalmente en la superficie del fermentador y porque las temperaturas de trabajo son entre 18 y 25 °C.

Además, la fermentación es mucho más rápida que las de tipo lager pudiendo tardar varios días. Se caracterizan por tener un sabor más intenso y afrutado.

La más común y utilizada es la *Saccharomyces cerevisae*.

Levadura tipo Lager: Se denominan de baja fermentación ya que su actividad ocurre principalmente en el fondo del fermentador y porque las temperaturas de trabajo son más bajas, entre 8 y 15 °C.

La fermentación es más lenta ya que tardan varias semanas y su sabor es más ligero.

## CAPÍTULO 3. PROCESO DE FABRICACIÓN

El proceso de fabricación de la cerveza está compuesto por varias fases: el pretratamiento del agua, el malteado, la molienda, la maceración, la aspersion, la cocción, la fermentación, la maduración, el filtrado, la pasteurización, la carbonatación y el envasado.

No todas las fases son necesarias en los procesos de fabricación de cerveza. Algunos pueden ser omitidos, bien por comprarse la materia prima ya tratada o porque por el tipo de instalación y proceso no lo requieren.

Se puede consultar el plano 12 de este trabajo para observar la distribución final en planta de las zonas del proceso.

### 3.1. PRETRATAMIENTO DEL AGUA

El agua es la principal materia prima en la fabricación de cerveza y por tanto la más importante. A priori, podría parecer sencillo el abastecimiento de agua, ya que a través de la acometida de la nave se tiene acceso a ella, pero no es tan fácil, ya que el agua proveniente de la acometida tiene una serie de sustancias no adecuadas para el sabor de la cerveza.

Los aspectos más importantes son: el PH, minerales indeseados y el cloro.

El PH ideal, como se ha comentado en el apartado de materias primas, sería de 5,2 a 5,5, ligeramente ácida para favorecer la absorción de azúcares en el malteado.

El principal enemigo de la cerveza en el agua es el cloro. A pequeña escala, como fabricación casera, se llega a utilizar agua embotellada de mineralización baja para evitar el cloro y los problemas de minerales.

En la siguiente tabla se puede observar la cantidad de minerales y de cloro en ppm que contienen diferentes cervezas de diferentes estilos.

Estilo	C03	Na	Cl	S04	Ca	Mg
Pale Ale	200	40	35	660	295	55
Stout/Porter	319	12	19	54	117	4
Bitter Ale	156	99	60	77	52	16
Pilsener	14	2	5	5	7	2
German Lager	152	10	2	8	75	18

**Tabla 1. Composición de las cerveza (Efricrea, 2017)**

### **3.2. EL MALTEADO**

El malteado es el proceso mediante el cual se obtiene la materia prima de la malta. Se basa en interrumpir el proceso de germinación para continuar con los procesos de secado y tostado. El malteado puede dividirse en los siguientes subprocesos.

#### **3.2.1. Recepción**

Los granos de malta son sometidos a diversos controles en especial a control de humedad. Los granos deben encontrarse con un 12% de humedad, de no ser así debe someterse a un proceso de secado para posteriormente poder ser almacenados durante como máximo 6 semanas. El límite de las 6 semanas se debe a que el almacenamiento durante un tiempo superior a dicho límite afecta negativamente a la actividad del germen del grano.

#### **3.2.2. Remojo**

Los granos son sumergidos a unos 15 °C mientras se oxigena el agua. Posteriormente, se retiran los granos del agua y se dejan descansar durante dos o tres días en condiciones adecuadas para la germinación de los mismos.

#### **3.2.3. Germinación**

Al final de la etapa de descanso el grano comienza a germinar. Este proceso dura alrededor de 5 días y al final del mismo se obtiene ya la malta verde. Se debe tener especial cuidado con mantener la humedad y ventilación adecuadas.

#### **3.2.4. Secado y tostado**

Se interrumpe el proceso de germinación para proceder a secar la malta. Esta acción ocurre en los tambores de secado. Dependiendo de qué tipo de malta se desee obtener el proceso dura más o menos.

#### **3.2.5. Desgerminación**

Es la última parte del malteado. Consiste en separar las raíces y tallos de la germinación del grano. Todos estos restos son usados para compost y uso animal.

El resto del grano se destina como materia prima para la fabricación de la cerveza. Puede aguantar almacenado como máximo hasta un año antes de comenzar a perder sabor.

### **3.3. LA MOLIENDA**

La molienda es la fase en la que se separan la malta de la cáscara del grano. Es un proceso delicado ya que hay que tratar de no romper la cáscara debido a que ésta añade amargor al sabor de la cerveza.

Dependiendo de qué tipo de empresa sea se recomienda un tipo de molienda u otro. Si es una fábrica industrial se recomienda una molienda fina donde la malta quede hecha una harina. En cambio, si es una fábrica artesanal se recomienda una molienda gruesa ya que si se hiciera fina podría formar una pasta demasiado densa y podría atascar el macerador, paso posterior a la molienda.

En este caso la empresa directamente compra la malta ya molida, por lo que no requiere de fase de molienda.

### **3.4. LA MACERACIÓN**

Desde el punto de vista químico se busca convertir el almidón en maltosa. Esto se consigue mezclando la malta molida con agua caliente, como resultado se obtiene el mosto. Las proporciones de cada ingrediente son de unos 3 litros de agua por cada kilo de malta.

En la maceración entran como materia prima la malta molida y agua caliente. La temperatura del agua debe ser de unos 75 °C para que el proceso general tenga lugar con una temperatura entre 60 y 65 °C.

La maceración suele durar 1 hora y se alcanzan densidades entre 1040 y 1070 kg/m<sup>3</sup>. El aumento de densidad se produce por la absorción de azúcares de la malta al agua. Esta densidad también se la conoce como densidad inicial, ya que después de la fermentación se transforma ese azúcar bajando la densidad.

Se puede realizar desde una fase hasta cuatro, según el tipo de malta que sea y las características de los equipos en los que se realicen.

Los productos de salida son: el mosto, que es la mezcla del agua y las sustancias que haya soltado la malta, en especial azúcares, y el bagazo que son los restos de cereal agotados. El bagazo como ya se comentará más tarde son deshechos que pueden ser reaprovechados como alimentación animal y como abono. Las proporciones de obtención de mosto y bagazo son: por cada 30 litros de agua y 5 kilos de malta se obtienen 20 litros de mosto.

El macerador, es la máquina en la que tiene lugar y que efectúa la maceración, tiene forma de silo con la parte de abajo acabada en cono. Dentro del macerador hay un elemento filtrante que puede ser de varios tipos, siendo el de rejillas el más común. Dicho filtro permite al mosto caer hacia el extremo final del macerador mientras que el bagazo no puede pasar.

El macerador tiene en su interior un removedor o agitador para ir mezclando la malta y el agua y favorecer la correcta conversión del almidón en azúcares. De esta forma se intenta que todo el mosto esté a la misma temperatura objetivo.

Existen tres tipos principales de maceración: la infusión, la decocción y la adición.

El método de la infusión tiene lugar en una única cuba calentable en la que se forma todo el mosto cervicero. Se aplican de 1 a 4 fases según la capacidad de regulación de la temperatura. Cuánto mejor se pueda regular la temperatura con los equipos en más fases se realiza.

El método de la decocción necesita de dos recipientes diferentes: uno que se caliente y otro que no. En el recipiente que se calienta, se aumenta la temperatura a una parte de la mezcla hasta hacerla hervir y después, se pasa al otro recipiente donde está el resto de la mezcla, la cual aumenta su temperatura al entrar en contacto con la primera.

Al igual que el método de la infusión, también se pueden hacer variar decocciones, concretamente hasta tres.

Por último, el método de la adición se realiza en recipientes que no se calientan por si solos, si no que dicho aumento de temperaturas se realiza añadiendo agua caliente durante el proceso.



**Ilustración 3. Macerador (Inoximexico, 2021)**

### **3.5. LA ASPERSIÓN**

A la salida del macerador se realiza una realimentación al macerador del mosto. Esto se hace por dos motivos: El primero, para dar más tiempo y tratar de maximizar la conversión de almidón en azúcar. El segundo, para tratar de filtrar mejor y eliminar el máximo posible de restos de bagazo.

A pesar del refiltrado, el mosto sigue conteniendo sólidos en suspensión por lo que a lo largo del resto de procesos hay más etapas de filtrado.

Esta realimentación se hace mediante una bomba hidráulica que eleva el mosto hasta la parte superior del macerador desde donde es devuelta al mismo mediante aspersores industriales o similares.

La aspersion tiene dos partes. En la primera de ellas, como ya se ha comentado se recircula el mosto varias veces. En la segunda se hace circular agua calentada a unos 70 °C a través del grano filtrado para absorber la máxima cantidad de azúcares.

Al igual que en la maceración, en todas las fases de la aspersion es importante no llegar nunca a temperaturas de 80 °C. A partir de esta temperatura se comienzan a disolver sustancias nocivas para el sabor de la cerveza, además de que aumentarían más la densidad del fluido.

### **3.6. LA COCCIÓN**

En este punto el mosto tiene un sabor dulce que pasará a ser amargo gracias al lúpulo. Tras añadir el lúpulo se hace hervir la mezcla a 70 Grados durante 90 minutos para permitir la

asimilación de sustancias del lúpulo al mosto. Este proceso ocurre en una cuba que además también puede servir para realizar la clarificación.

La adición del lúpulo en la empresa se hace de forma directa al mosto. Es interesante conocer que también se puede introducir mediante una especie de sacos de tela o con recipientes de acero inoxidable perforados. De hacerlo de forma directa requiere más trabajo a la hora de filtrar el mosto.

Respecto a cuándo añadir el lúpulo hay varias opciones de cómo hacerlo. Las principales reglas utilizadas por los trabajadores del sector son:

- Regla de los cuartos: Se divide la cantidad de lúpulo a añadir en 4 partes, las cuales se irán añadiendo a lo largo del transcurso de la cocción.
- Regla de los tercios: Se divide la cantidad de lúpulo a añadir en 3 partes iguales. La primera parte se añade cuando comienza la ebullición del mosto. Esta primera adición, junto con la segunda, le añadirá sabor amargo a la mezcla. La segunda se añade 20 minutos antes de finalizar la cocción. La tercera y última, se añade al final del proceso y se utiliza para darle olor a cerveza.
- Reglas de los tres cuartos: Se añade el 75% del lúpulo total al principio de la ebullición para dar sabor a la mezcla, y el resto se añade al final para dar olor.

Para este proceso se escoge emplear el método de los cuartos y se añaden 2,5 gramos de lúpulo por litro de cerveza.

Durante la cocción debido a los restos de malta y al lúpulo surgen flóculos que se comúnmente se denominan “trub”. La eliminación de los mismo debe realizarse de forma moderada para no comprometer el producto final.

Al final de la cocción para eliminar los flóculos se realiza una clarificación, ya que de no hacerse la cerveza podría quedar demasiado turbia. Se busca que la concentración de flóculos sea inferior a 1 gramo por cada litro de mezcla.

La clarificación se puede realizar mediante una cuba whirlpool o también se puede realizar mediante separadores centrífugos. Los separadores centrífugos son más utilizados en fábricas grandes, ya que consiguen aprovechar más el mosto para grandes cantidades. Esto es debido que el trub que se deshecha por el whirlpool tiene una elevada cantidad de mosto.

El proceso de whirlpool consiste en generar un remolino con un movimiento rotatorio del fluido y provocar que las partículas más pesadas queden en el centro del recipiente. Posteriormente, se debe dejar reposar al menos media hora para permitir que las partículas pesadas se depositen en el fondo de la cuba.

Después del reposo, se comienza a extraer el mosto limpio de la cuba. Cuando las partículas pesadas comienzan a asomar en la superficie del mosto a evacuar, se debe reducir la velocidad de descarga para evitar que éstas se mezclen de nuevo.

Además de lograr una cerveza más limpia, con el método whirlpool se consigue un enfriado más rápido, una reducción de sustancias y elementos que alteran el sabor de la cerveza y se consigue una mejor obtención de aroma y sabor del lúpulo.

### 3.7. LA FERMENTACIÓN

El primer paso para realizar la fermentación, y que en muchas empresas se considera una fase previa y diferente a la fermentación, es el enfriamiento de la mezcla.

El proceso de fermentación debe ocurrir a 20 °C si la levadura a añadir es del tipo ale o a unos 8 °C si es del tipo lagger. Esto es debido a que temperaturas superiores a las indicadas provocarían la muerte de la levadura y por tanto no tendría lugar el proceso deseado.

Como la cerveza previa a la fermentación proveniente de la cocción llega a temperaturas de 70 grados se requiere de un proceso de enfriado.

El proceso de enfriado puede realizarse de dos formas. La primera, que es la que se considera una fase previa diferente a la fermentación, se realiza haciendo pasar la cerveza caliente por un recipiente, lleno con un refrigerante, a través de un serpentín. El refrigerante más común es el agua, también se puede utilizar cualquier otro fluido refrigerante.

La segunda, se realiza directamente en el tanque de fermentación. Se llena el tanque con la cerveza y esta se va enfriando gracias a que el fermentador tiene una camisa de refrigeración alrededor.

Una vez realizado el enfriamiento previo, se puede pasar a la fermentación en sí. Se añade levadura al tanque de fermentación y se cierra presurizado durante un tiempo. El tipo de levadura y el tipo de cerveza que se quiera fabricar afectan a la cantidad de levadura que se hecha y al tiempo que dura la fermentación.

Durante la fermentación los azúcares del mosto se transforman en alcoholes. Por ello según se quiera tener una graduación u otra y el sabor que se le quiera dar se dejará más o menos tiempo fermentando. Es el proceso más personalizado de las empresas.

Durante la fermentación, se genera calor procedente de las reacciones exotérmicas que tienen lugar. Se debe refrigerar el fermentador durante el proceso para mantener la temperatura consigna. De no mantenerse esta temperatura provocaría que se generaran subproductos indeseables que contaminarían el sabor. Esta refrigeración se realiza generalmente mediante camisas refrigerantes.

Respecto a las cantidades de levadura, se añaden 0,5 gramos por litro de mosto para realizar la fermentación. Esta cantidad es despreciable a efectos de cálculo de dimensionamiento de equipos y de cálculos de bombeo. Puede variar esta cantidad hasta los 0,7 gramos por litros según el tipo de levadura que se utilice, y la cerveza que se pretenda fabricar.

En la fermentación, el tanque no va totalmente lleno solo de cerveza, también debe albergar una cantidad de oxígeno necesaria para que la levadura pueda respirar. Se considera que debe haber entre 8 y 9 mg de oxígeno por cada litro de mosto en el fermentador.

Además del oxígeno, el tanque también debe estar preparado para albergar el CO<sub>2</sub> que se libera procedente de la actividad de la levadura.

A medida que la fermentación va transcurriendo las células de levadura suben a la superficie en caso de ser del tipo ale, o caen al fondo del tanque en caso de ser lagger. Estas células comienzan a degradarse y van generando compuestos que contaminan el sabor y olor de la cerveza, por ello es importante ir retirándolas.



**Ilustración 4. Tanques fermentadores (Cerveza artesanal, 2021)**

### **3.8. LA MADURACIÓN**

La maduración es la parte final del proceso de otorgado de sabor a la cerveza. Termina de dar los matices de sabor y olor que se desean. El tiempo de duración es muy variado. Durante la maduración aún hay restos de levadura que siguen fermentando, aunque las sustancias obtenidas no son las mismas debido a la ausencia de oxígeno.

La maduración en el caso de las cervezas tipo lager se debe hacer a unos 0 °C y a 4 °C en el de tipo ale.

La cerveza se almacena en barriles cuyo material de fabricación puede ser acero o cualquier tipo de madera, según se quiera que esta le aporte un sabor u otro.

### **3.9. LA FILTRACIÓN**

El filtrado es una etapa muy importante en la cerveza en la que se eliminan las impurezas y las partículas indeseables tales como levaduras de la fermentación, restos de lúpulo y algunos flóculos o trubs que puedan haber quedado en ella.

Estos elementos se deben retirar por varios motivos. El motivo principal es que es desagradable a la hora de beber encontrarse restos de materias sólidas. Además, algunos flóculos pueden llegar a alterar ligeramente el sabor de la cerveza si no se retiran.

La cerveza pasa a través de varios filtrados previos como se ha podido comentar previamente, en el macerado y la cocción. Aun así, lo normal es tener al menos un filtrado después del

fermentador. Según el tipo de cerveza y los estándares de calidad fijados por cada empresa, la cerveza puede llegar a pasar a través de varios filtrados después de la fermentación para asegurar una mínima cantidad de sólidos en suspensión.

### **3.10. LA PASTEURIZACIÓN**

Durante todo el proceso de la cerveza es posible que la cerveza llegue a contaminarse de microorganismos o bacterias y que por tanto sea nociva para el consumo humano. Para evitar estos problemas, además de imponer medidas de prevención como el uso de vestimenta apropiada o la limpieza de los equipos, se utiliza la pasteurización.

La pasteurización es un tratamiento térmico que se basa en aportar calor durante un tiempo de forma que se eliminan microorganismos. La temperatura de pasteurización varía entre 60 y 85 °C teniendo en cuenta que, a mayor temperatura, menor tiempo de operación.

Las dos técnicas principalmente utilizadas son: la pasteurización flash y la pasteurización de cerveza envasada.

La pasteurización flash se aplica a la cerveza antes de ser envasada y la somete a temperaturas entre 70 y 85 °C durante 10 o 15 segundos, para posteriormente dejarla enfriar a temperatura ambiente. Es más eficiente energéticamente que los demás métodos. Por el contrario, requiere que los procesos de manejo posteriores a la pasteurización sean asépticos y requiere también que los procesos posteriores eviten pérdidas de CO<sub>2</sub>.

La pasteurización envasada en cambio se basa en temperaturas de 60 °C y tiempo de exposición den entre 10 y 20 minutos. Además, la mayor diferencia es tal y como indica el nombre, que esta pasteurización se realiza con la cerveza ya envasada.

### **3.11. LA CARBONATACIÓN**

Es un tratamiento que se basa en la adición de CO<sub>2</sub> a la cerveza. Se requiere por las posibles pérdidas que algunos procesos como el embotellado o la pasteurización pueden provocar del CO<sub>2</sub> y porque la cerveza en su embotellado o embotellado final debe de ir en unas condiciones de presión adecuadas.

Se utiliza el CO<sub>2</sub> ya que es un gas estable que no provoca reacciones con la cerveza, por ello es importante que el CO<sub>2</sub> seas puro y no lleve oxígeno suelto ya que este si puede reaccionar y generar algún compuesto contaminante para el sabor.

### **3.12. EL ENVASADO**

El envasado es el proceso por el cual la cerveza se introduce y sella en un recipiente para su consumo posterior.

Hay diferentes tipos de recipientes de envasado: botellas, botellines, latas, barriles... Según: cual sea el recipiente de envasado, la cantidad de lúpulo, si ha sido pasteurizada y otros factores, el proceso varía.

En el embotellado, si la cerveza tiene un alto contenido en lúpulo se debe tener cuidado con la temperatura y con la exposición a la luz. Esto también debe ser tenido en cuenta a la hora de almacenar, por ello se recomienda el uso de vidrios de color opacos para evitar el paso de luz.

En el caso del barril o lata, la luz no es problema ya que no tiene forma de pasar. En estos casos el principal problema es la temperatura. Se recomienda que estén en lugares frescos y sin exposición directa a luz solar, no por temas lumínicos como se ha explicado, si no por temas de radiación.

En términos de eficiencia y economía en envasado en barriles es la mejor solución. Se tarda menos tiempo y es más barato que los demás métodos. Además, tiene un mejor aprovechamiento del espacio. Por el contra, este método solo se utiliza casi en exclusiva para la venta a otras industrias como bares o restaurantes.

Si se desea vender en supermercados o al público directo se utiliza en enlatado o el embotellado. Entre estos dos métodos la diferencia ya viene según como se ha explicado antes si se tiene mayor problemática de conservación de la cerveza o si hay motivos de marketing y estéticos por los que usar uno u otro.



**Ilustración 5. Máquina embotelladora (Estrella Levante, 2020)**



## **CAPÍTULO 4. CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE EQUIPOS**

### **4.1. DATOS GENERALES**

Se diseñan los equipos en función de la demanda que se desea cubrir. La demanda anual es de 800.000 litros, es decir 66.667 litros de producción al mes.

A partir de estos ahora se pueden averiguar las dimensiones y capacidad de los equipos y el número de equipos necesarios en cada fase.

También se tiene en cuenta que, al querer innovar en sabores y de tipos de cervezas a fabricar, la flexibilidad será una característica que cobra mucha importancia.

En fábricas industriales de marcas más conocidas, que fabrican un número bajo de tipos de cervezas se escogen menos equipos de mayor capacidad. De esta forma, logran en una sola orden de fabricación crear mayor cantidad de producto, siendo más eficientes.

En este caso se priorizará la flexibilidad de crear más órdenes de diferentes productos frente al aumento de eficiencia.

Para poder diseñar los diferentes equipos de las etapas de la línea, se debe fijar una capacidad de producción de diseño de la línea en un uso.

Diseñando dos líneas para 1667 litros por uso cada una, se tienen que hacer 20 usos de las líneas al mes. Redondeando que al mes haya 20 días laborables, supone que la línea trabaja al 100% de su capacidad.

Trabajar al 100% de la capacidad no es algo positivo, ya que si algún mes puntualmente aumenta la demanda la línea satura. Además, también hay que tener en cuenta la posibilidad de un aumento de demanda futura por crecimiento del negocio.

Para evitar esta clase de problemas se sobredimensiona para poder producir 3000 litros cada línea, lo que supone trabajar al 56% de capacidad de la línea.

Como se ha comentado antes, esta solución supone un aumento de la flexibilidad de producción frente al rendimiento de la capacidad de los equipos y a la ocupación de la nave, pero debido a las características del negocio que es, esta flexibilidad tiene mayor importancia y por tanto se le da prioridad.

El esquema de proceso se puede ver simplificado en el plano número 2. Además, también se puede consultar la situación y colocación de los equipos en planta en el plano número 4.

Respecto al resumen de precios de todos los equipos se puede consultar en el presupuesto del proyecto.

#### 4.1.1. Cálculos generales

La línea de fabricación se diseña para 3000 litros por lo que los equipos deben estar dimensionados para administrar dicha capacidad.

Para ello se requiere conocer las pérdidas de agua de los procesos y el volumen de malta entrante al proceso.

El factor de pérdidas de agua durante el macerado es de 1.25 y durante la cocción de 1.5. Lo que significa que si se quiere obtener 3000 litros de cerveza la olla de cocción debe tener 4500 litros de mosto y el macerador 5625 litros de agua.

Además, el macerador también debe tener capacidad para albergar la malta. La densidad de la malta es de 600 kg/m<sup>3</sup>. Por cada 6 litros de agua se deben emplear 1 kg de malta, por lo que si se utilizan 5625 litros de agua se requieren 938 kilos de malta lo que ocupa 1562 litros.

La siguiente tabla resume los cálculos de las fases de los equipos:

	Litros de agua	Kilos cebada	Litros mosto	Temperatura	Factor pérdidas agua	Nº equipos	Capacidad equipo	Proporción de sólidos
Maceración	25	5	20	65 °C	1,25	2	7190 L	0,25
Cocción	30	-	20	70 °C	1,5	2	4500 L	-
Fermentador	-	-	-	8 °C		23	3000 L	-

**Tabla 2. Cálculo inicial de las fases de los equipos**

#### 4.1.2. Criterios de selección

Los criterios de selección son la herramienta que permite decidir qué solución se escoge frente a otras. Se escogen como criterios de selección: la sencillez del proceso, el coste y la calidad de la solución.

La sencillez de un proceso siempre es importante valorarla ya que de ella depende el grado de formación de los trabajadores o la cantidad de tiempo que se dedica a realizar la actividad. Cuánto más sencillo es un proceso más rápido y con menos errores se realiza.

El coste de los equipos es por norma general el criterio más común que existe. Naturalmente, a igualdad de todas las características, siempre se escoge el equipo más barato.

La calidad del producto es un factor muy importante en cualquier sector, pero especialmente en el de la industria cervecera. Esto se debe a que la cerveza es un producto que no es de primera necesidad, es un producto opcional que la gente consume por que le gusta. Una mala calidad conlleva un peor sabor y por tanto una bajada de ventas del producto.

## 4.2. ANÁLISIS DE EQUIPOS

### 4.2.1. Pretratamiento del agua

Para el pretratamiento de agua se valora tanto la opción de realizar un calentamiento y posterior enfriamiento en reposo, para el evaporado del cloro, como el uso de pastillas químicas y los filtros de carbón activos.

El uso de agua mineral y agua destilada se descartan ya que por sencillez de llenado y de abastecimiento son peores soluciones. Además, la materia prima del agua se encarece.

La opción del precalentamiento y posterior enfriamiento del agua resulta demasiado compleja en comparación a las otras opciones ya que tiene que intervenir la caldera previamente para luego esperar en un depósito abierto para poder evaporar el cloro.

En segundo lugar, los filtros de carbono son una solución sencilla de uso, ya que tan solo se debe hacer pasar el agua por los filtros. Por otra parte, no es tan sencillo si el lote de producción es superior a la capacidad de filtración de cada filtro, y hay que cambiarlos a mitad de llenado. Los filtros de carbón activos pueden filtrar 4000 litros antes de tener que ser cambiados. Cada filtro cuesta 30€. Tienen una alta eficacia en la eliminación de diversos químicos dañinos para la salud, entre ellos el cloro.

Por último, el tratamiento químico mediante pastillas es uso muy sencillo. A cambio, tiene el inconveniente que genera como resultado de la reacción química trazas de sulfitos. Una pequeña parte de la población es alérgica a este compuesto, por lo que en el envase hay que informar al consumidor del posible contenido de este compuesto.

Se utiliza 1 pastilla por cada 20 litros de agua a tratar y se compran en envases de 50 pastillas por 3€. Para tratar 4000 litros cuesta 12€. En cuanto a la calidad, es buen sistema para eliminar bacterias y en especial el cloro.

Una vez analizadas las características de las diferentes soluciones, se elige una en base a los criterios escogidos. La solución más factible es la de las pastillas químicas, ya que es más sencilla y económica que las demás. Únicamente, hay que asegurar que se advierte al cliente del posible contenido de sulfitos.

Tras determinar que procedimiento se lleva a cabo para el pretratamiento de agua diseña el equipo donde tiene lugar el proceso, que se trata de un depósito vertical.

El silo de almacenamiento y el tanque de pretratamiento de agua están situados juntos y algo separados del resto de la línea de producción. Además, de que tener un silo y un tanque grande cerca dificultan la movilidad y libertad de movimientos, como para limpiar, estos también se sitúan algo alejados para poder facilitar la carga del silo.

El tanque de pretratamiento también es dónde, tras realizar la preparación del agua, se mezcla con la malta y se bombea hasta el macerador, es decir, debe tener capacidad también de 7190 litros.

Para calcular las dimensiones del tanque se utilizan las fórmulas de volumen de un cilindro.

$$S = \pi * r^2$$

**Fórmula 1. Área del círculo**

$$\text{Volumen} = S * H$$

#### **Fórmula 2. Volumen de un cilindro**

Siendo S la el área del círculo que resulta y H la altura del tanque. Se itera en el cálculo ya que se desconocen inicialmente tal el radio como la altura del equipo. Se varían los datos iniciales para que la altura no sea muy elevada para evitar problemas en el paso de la malta del silo al tanque. Finalmente, se obtiene un tanque de 2.75 metros de diámetro y de 1.2 metros de altura.

Respecto a los materiales de construcción se valoran dos principalmente: el acero inoxidable y el polietileno. Se escoge el polietileno ya que, aunque ambos son buena solución frente a la corrosión, el polietileno es mucho más barato. Además, el punto fuerte del acero frente al polietileno es su resistencia, pero para esta actividad la resistencia no es un punto clave a valorar.

#### **4.2.2. Maceración**

En la selección de equipo de maceración se tiene en cuenta los diferentes métodos que existen de maceración y que en el capítulo anterior se han comentado: la infusión, la decocción y la adición.

El método de la adición queda descartado ya que, aunque es un método sencillo, también es el método que menos control ofrece sobre la temperatura del proceso. Además, la adición de agua extra durante el proceso dificulta el proceso global debido al tipo de pretratamiento de agua escogido.

El método de la decocción es el que más calidad de producto resultante ofrece. Es el que más lúpulo consigue extraer, pero es mucho más caro al requerir dos recipientes diferentes. Por supuesto, también es el más complejo ya que se tienen que instalar dos recipientes y los equipos necesarios para el transvase del mosto de uno a otro.

El método de la infusión ofrece una calidad aceptable, menor que la del método de la decocción, pero mucho mejor que la de la adición. Es el método más sencillo de los tres ya que solo requiere de un recipiente que se calienta solo y puede mantener una temperatura consigna por sí mismo.

Por estos motivos expuestos se opta por realizar la maceración mediante el método de la infusión, y se procede a buscar un equipo adecuado de estas características. Como se ha indicado antes el macerador debe tener una capacidad de 7190 litros de los cuales solo 4500 pasan a la siguiente etapa, el resto se evapora.

El equipo escogido incorpora además un filtro de rejilla que permite el paso a la zona más baja del macerador del mosto y se lo impide a los restos de la malta. Esta rejilla es el primer filtrado que recibe la cerveza en su producción.

El macerador se construye de acero inoxidable ya que además de poseer un buen comportamiento frente a la corrosión también trabaja bien en el rango de altas temperaturas que exige este tratamiento.

Haciendo uso de la fórmula 1, se calculan las dimensiones del equipo en cuestión, siendo de 2,6 metros de diámetro y de 1,35 metros de alto.

#### **4.2.3. Aspersión**

La elección de equipos para la aspersión es muy sencilla puesto que no existen varios modos de realizarla. Por una parte, se escoge una pequeña bomba centrífuga que trasiega 1 litro por segundo para recircular el fluido, y por otra una canalización metálica perforada similar al mango de una ducha para verterlo de nuevo al macerador.

El caudal a trasegar por la bomba se calcula imponiendo que durante el periodo de una hora la bomba sea capaz de recircular la totalidad del contenido del macerador.

#### **4.2.4. Cocción**

La selección de equipos para la cocción o hervido, es más sencillo que el resto puesto que está muy estandarizado y existe un único método. Existen un par de opciones variadas en cuanto a qué si el filtrado de tipo whirlpool se puede unificar en dicho proceso, o qué tipo de modo de adición del lúpulo se usa.

El filtrado whirlpool puede realizarse en el mismo equipo o en dos equipos separados. Como es de suponer es más sencillo que un mismo equipo pueda encargarse de ambas funciones, pero también resulta algo más caro que los equipos más simples por separado. Respecto a la calidad de la solución no hay diferencias apreciables entre uno y otro sistema.

Respecto a los métodos de adición de lúpulo, existen varias formas. Se puede añadir el lúpulo directamente al mosto, lo cual resulta muy sencillo y gratis puesto que no se requiere ningún utensilio extra, pero tiene algo más de problemática en el filtrado.

También se puede añadir dentro de un saquito de tela como si fuera una bolsa de té. De esta forma se logra que el lúpulo suelte sustancia y de sabor y aromas al mosto sin que los restos orgánicos se mezclen.

De forma similar a la bolsa de tela, se puede realizar con un recipiente metálico con agujeros que permita al lúpulo estar en contacto y mezclar sabores con el mosto sin que la materia orgánica salga del recipiente. Este encapsulado metálico resulta más caro que las bolsas de tela, pero es mucho más resistente y es más seguro en caso de un posible desgarramiento del saco de tela.

El método seleccionado es el del recipiente metálico. Tanto el saco de tela como el recipiente metálico, ofrecen un mejor resultado lo que se prioriza por encima de las otras características. Además, teniendo en cuenta que la resistencia del recipiente metálico es mayor que las de los saquitos de infusión, a la larga el recipiente metálico sale más económico ya que se rompen mucho antes los saquitos.

Haciendo uso de la fórmula 1, se calculan las dimensiones del equipo en cuestión siendo de 2 metros de diámetro y de 1,43 metros de alto.



**Ilustración 6. Bolsa metálica para cocción (Maltacervceros, s.f.)**

Respecto a la opción de combinar o no el filtrado tipo whirlpool en una etapa o realizarlo en dos, se opta por realizarlo todo en un mismo equipo ya que económicamente no supone un gran aumento en comparación a la sencillez de y simplificación del proceso. Además, esta simplificación también puede reportar ahorros en energía en forma de menores arranques de la bomba puesto que hay una etapa menos en el proceso.

Al igual que con el macerador, la olla de cocción también se realiza en acero inoxidable. Los motivos de la elección de dicho material son los mismos que en la maceración: buena resistencia a la corrosión y buen comportamiento frente a altas temperaturas.



**Ilustración 7. Olla de cocción (Icespedes, 2021)**

#### 4.2.5. Intercambiador

Previo a la entrada al fermentador, el mosto debe ser enfriado hasta la temperatura consigna de la fermentación. En este caso al tratarse de una cerveza tipo lager la temperatura consigna es de 8°C.

Para el intercambiador de temperatura se estudian tres tipologías diferentes: intercambiador de placas, intercambiados tubular de agua e intercambiador de calor por aire.

El intercambiador por aire se basa en hacer pasar el mosto por tuberías con aletas y refrigerarlas mediante aire impulsado por un ventilador. Es el sistema más barato, aunque también más ineficiente de los tres, motivo por el cual no se ha escogido como solución.

El intercambiador de placas transmite calor entre dos fluidos que no están en contacto directo si no que los separa una placa. Dicha pared separa el mosto del otro fluido en este caso, agua, que absorbe el exceso de temperatura.

El intercambiador de tubos transmite calor entre dos fluidos diferentes sin que entren en contacto el uno con el otro. La diferencia con el intercambiador de placas es que es este caso, el fluido refrigerante circula libremente por el interior de intercambiador, mientras que el fluido a refrigerar, el mosto, circula por dentro de unos tubos internos.

Tanto el intercambiador de placas como el de tubos, dan un muy buen resultado en cuanto a calidad y dificultad de uso. Se escoge el intercambiador de tubo por seguridad del producto en caso de fuga.

Si hubiese una fuga en el intercambiador de placas, no solo habría pérdidas de productos, si no que el agua refrigerante y el mosto se mezclarían, contaminando el segundo de ellos. En cambio, en el intercambiador de tubos la mezcla saldría de los tubos al interior de intercambiador y no al revés.

Para mejorar el intercambio de calor se recomienda que funcione a con velocidades internas de fluido de más de 1 m/s.



**Ilustración 8. Intercambiador de haz tubular (Sagafluid, 2021)**

#### **4.2.6. Depósito agua fría y caliente**

Se diseñan dos depósitos por línea, uno de agua fría y otro caliente, con el uso de las fórmulas 1 y 2 anteriormente usadas. Se obtiene depósitos de 4000 litros de capacidad, de 1,5 metros de diámetro y 2,3 metros de altura.

Dichos depósitos sirven para alimentar al intercambiador. El depósito de agua fría se alimenta desde la acometida general, y el de agua caliente se alimenta del fluido que sale del intercambiador.

El depósito de agua caliente sirve para alimentar el tanque de pretratamiento, de esta forma dicha agua no se desperdicia.

#### **4.2.7. Fermentación**

El fermentador es el equipo más importante de la instalación. Se estudian diferentes puntos en la selección del fermentador: tipo de fermentador, materiales de construcción y tamaño del fermentador.

La capacidad total de fermentador debe ser mayor que la capacidad neta de cerveza a producir. La capacidad neta del fermentador debe ser un 80% del total, el resto del volumen se reserva para albergar el CO<sub>2</sub> producido de la reacción de la levadura.

Existen diversos tipos de fermentadores: fermentadores intermitentes, fermentadores continuos de tanque agitado, fermentadores continuos no agitados.

El fermentador intermitente funciona por etapas. El primer paso, es la del desarrollo del cultivo sobre la superficie de nutrientes. Las siguientes etapas se centran en el mantenimiento de condiciones adecuadas para el cultivo y en la adecuada repartición del mismo para que llegue a entrar en contacto con la totalidad del mosto.

El control de la temperatura se consigue mediante una camisa de refrigeración con un serpentín interno que lo recorre. El control de temperatura por camisa de refrigeración no es único de los fermentadores discontinuos, si no que suele ser común en todos los fermentadores. En cuanto al flujo que recorre el interior del fermentador, se consigue mediante pequeños impulsores internos que tiene incorporados.

El fermentador de tanque agitado realiza la fermentación en una sola etapa continua. La agitación mejora el proceso por dos motivos. El primero es que logra esparcir la levadura a todo el fluido consiguiendo mejor rendimiento de fermentación. Esta mejora también se logra en otros fermentadores recirculando el fluido con levadura con un circuito de tuberías una bomba de pequeño caudal.

El segundo motivo es que airea y oxigena las levaduras de esta forma alarga su vida evitando que mueran prematuramente por falta de oxígeno.

Los fermentadores continuos no agitados también realizan la fermentación en una sola etapa, pero como su nombre indican no llevan un agitador incluido. Son más sencillos de poner en marcha y conllevan un menor gasto energético, aunque requieren de otro sistema a cambio para asegurar el buen funcionamiento de la fermentación. Dichos sistemas pueden ser el ya citado bombeo de recirculación, o la adición mediante compresor de CO<sub>2</sub> el cual servirá para remover el fluido del tanque.

Como solución se opta por el fermentador de tanque agitado, ya que, en el total del proceso, acaban siendo más sencillos de utilizar puesto que no requieren ni de segundas partes del proceso como en los fermentadores discontinuos.

Sí que requieren un equipo secundario como el agitador para funcionar correctamente, pero es más sencillo de utilizar y más económico que el bombeo de recirculación o la adicción de CO<sub>2</sub>.

El material se realiza de acero inoxidable ya que además de buena resistencia a la corrosión, también presenta una buena conductividad térmica, necesaria para el mantenimiento de la temperatura consigna de fermentación mediante la camisa de refrigeración.

Además, para solucionar el problema de las acumulaciones de levadura muertas expuesto en el capítulo 3, y teniendo en cuenta que se utiliza levadura tipo lager, se puede abrir la tubería de salida del fondo del fermentador y dejar salir una pequeña cantidad de mosto que contiene gran parte de las células que en ese momento comienzan a degradarse. De esta forma, se van eliminando poco las células sin afectar al sabor de la cerveza y sin tener excesivas pérdidas de cerveza.

Haciendo uso de la fórmula 1, se calculan las dimensiones del equipo en cuestión siendo de 1,7 metros de diámetro y de 1,59 metros de alto.

#### **4.2.8. Filtrado**

Existen varios tipos de filtrado que se valoran: los de efectos superficie, los tangenciales, los centrífugos y los de profundidad.

Los filtros de efecto superficie son aquellos cuyo funcionamiento se basa en hacer pasar el líquido a través de una capa con pequeños agujeros que no dejan pasar los elementos de diámetro superior a los agujeros. Son efectivos y baratos, el problema en este caso radica en que debido a la gran cantidad de levadura y otros restos que quedan los filtros se taponan con facilidad convirtiéndolos en ineficientes hasta que se cambien y algo costosos.

Los filtros tangenciales son parecidos a los de superficie en el sentido de que ambos tienen una superficie filtrante con agujeros. La diferencia entre ellos radica en el flujo del líquido a filtrar. En este caso el flujo es tangencial, es decir paralelo al medio filtrante, al contrario que en el filtrado de superficie que el flujo es perpendicular. Este método consigue ser autolimpiante si la concentración de partículas no es muy rápida. El problema es que en el caso de la cerveza la concentración de partículas es muy rápida lo que requiere de paradas constantes para limpiar el filtro.

Otra alternativa es hacer un centrifugado al igual que se realiza con el trub después de la cocción. En este caso no es tan buena solución ya que la levadura se rompe al someterla al efecto gira dividiéndola en porciones más pequeñas lo que requiere de un filtro de superficie adicional a la salida de la centrifugación para lograr la efectividad deseada.

Esta solución es efectiva, aunque algo costosa ya que requiere de dos procesos de filtrado en lugar de uno.

Los filtros de tierras son otra opción posible. Las placas filtrantes son medios filtrantes estructurados realizados con celulosa, tierras diatomeas y resinas integradas entre sí. A medida

que el fluido pasa por el medio filtrante los elementos son retenidos por el mismo. La capacidad de retención varía en función de la mezcla de tierras que se utilicen

Generalmente, el filtro de tierras es utilizado por grandes industrias cerveceras donde los volúmenes a filtrar por ciclo son muy grandes, además de requerir un proceso de filtración rápido.

Por último, están los filtros de profundidad. Los filtros de profundidad atrapan las partículas cuando el fluido pasa por dentro de ellos. Son especialmente útiles con sustancias con grandes concentraciones de sedimentos y que pueden generar problemas al procesarlo.

Las dos mejores opciones descritas de las anteriores son: los filtros de tierras y los de profundidad. Finalmente, se escogen los de profundidad ya que los filtros de tierras están ideados para producciones mayores que la producción objetivo de este proyecto, además de ser los filtros de profundidad más sencillos de uso e instalación.

#### 4.2.9. Envasado

Teniendo en cuenta que los clientes pueden pedir tanto barriles como botellas, se opta por envasar de ambas formas para no perder clientes.

Respecto al embotellado se estudian equipos de diversa capacidad: 4000, 8000 y 12000 botellas por hora.

Se realizan unos pequeños cálculos para comprar tiempos de trabajo según la capacidad, que son los mostrados en la siguiente tabla.

Capacidad embotellado		L. a envasar	Cap. Bot. (L)	tiempo (horas)	tiempo (min)
4000	bot/h	3000	0,33	2,25	135,00
8000	bot/h	3000	0,33	1,13	67,50
12000	bot/h	3000	0,33	0,75	45,00

**Tabla 3. Tiempos de trabajo del embotellado**

A pesar de que existe una notoria diferencia entre los equipos, se decide despreciar dicha disminución de tiempo de trabajo puesto que el tiempo total de trabajo del equipo con la mínima capacidad es suficientemente rápido como para no colapsar la línea de fabricación, puesto que es menor que el tiempo de jornada laboral.

Las botellas que se utilizan para envasar la cerveza son de color marrón muy oscuro para evitar el paso de la luz en la medida de lo posible. Son de capacidad de un tercio de litro y se almacenan en packs dentro de la fábrica. No se requiere refrigeración para su conservación ya que se evita a la exposición a la luz y radiación de la misma.

Para el embotellado se valoran dos opciones: una planta automática de 40 barriles hora, o un llenado manual mediante tanque de CO<sub>2</sub>. En ambos casos se opta por el estándar de barril de 25 litros.

Para el llenado manual se requieren además de los barriles, un tanque de CO<sub>2</sub> con sus correspondientes herramientas necesarias para el llenado. Este método resulta más complejo y consume más tiempo que el automático, pero naturalmente, es mucho más barato.

Para valorar si es rentable o no la gran diferencia de precio entre ambos equipos, se calculan tiempos de llenado entre ambos, teniendo en cuenta que el llenado manual debe hacerlo un operario, mientras que el automático solo requiere supervisión puntual.

	vel. llenado (barril/h)	L. a llenar	Tiempo (h)
Llenado automat.	40	3000	3
Llenado manual	12	3000	10

**Tabla 4. Tiempos de llenado**

De la tabla se puede observar que para el llenado manual se requieren 10 horas de un operario trabajando para llenar la totalidad de barriles de una serie de fabricación. Eso significa que, se requieren 2 operarios con un equipo de llenado cada uno para poder cumplir con el embarrilado. Si contamos con el coste que supone ahorrarse un trabajador entero el llenado automático es claramente una mejor solución económica.

Por tanto, se opta por aplicar el llenado automático.

# **CAPÍTULO 5. DISEÑO DE LOS EQUIPOS**

## **HIDRÁULICOS**

En este capítulo se presentan los diferentes equipos hidráulicos de los que se compone la instalación. Se explica qué son y cuál es su función dentro de la instalación.

También, se justifica el porqué de la selección de esos equipos, de sus características y materiales.

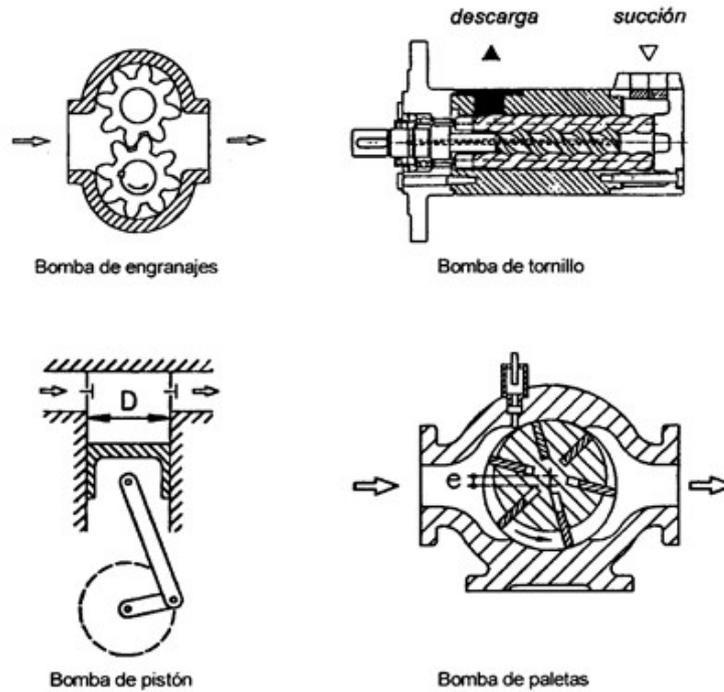
### **5.1. CONOCIMIENTOS GENERALES Y TIPOS DE BOMBAS**

Las bombas hidráulicas son máquinas que transforman la energía mecánica en energía hidráulica aportándole dicha energía al fluido que pasa por ella.

Hay diferentes tipos de bombas según sus usos y características:

- Bomba de desplazamiento positivo o volumétrico: Aportan energía al fluido mediante volúmenes cerrados. De forma periódica, se llenan las cámaras de la bomba trasegando el fluido desde la aspiración hasta la impulsión.

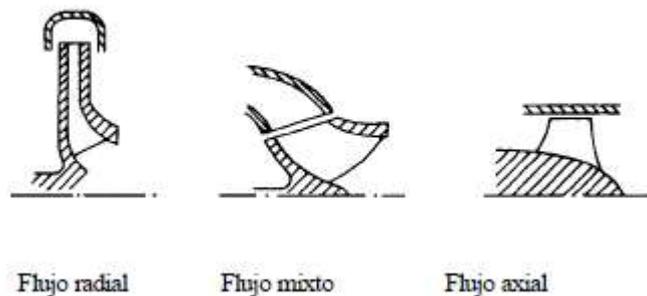
Están subdivididas en alternativas y rotativas, según sean de pistones y émbolos, o de engranajes, tornillos, lóbulos...



**Ilustración 9. Tipos de bomba de desplazamiento positivo (ingenieramecanicaymas, 2016)**

Turbobombas: Ceden la energía al fluido mediante la variación del momento cinético que se genera en el rodete o impulsor. Según el tipo de rodete y la dirección del flujo a bombear se pueden subclasificar.

En caso de que el flujo de salida sea paralelo al eje del rodete, la bomba es axial. En el caso en el que el flujo de salida sea perpendicular al eje del rodete, la bomba es centrífuga. Si el flujo es mixto, la bomba es helicocentrífuga.

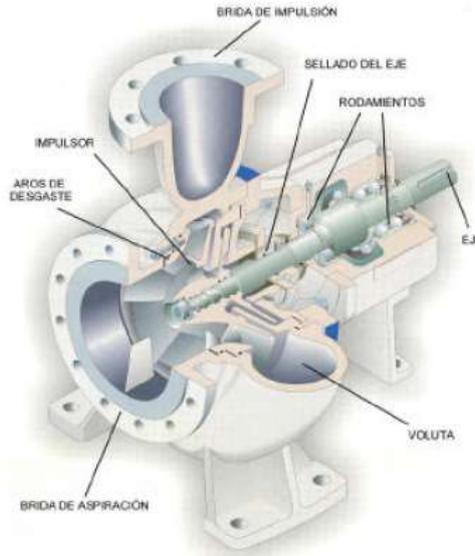


**Ilustración 10. Tipos de flujo (ingenieramecanicaymas, 2016)**

## 5.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS CENTRÍFUGAS

### 5.2.1. Partes principales de una bomba

Centrando el estudio en las bombas centrífugas, se comentan las principales partes que componen una bomba.



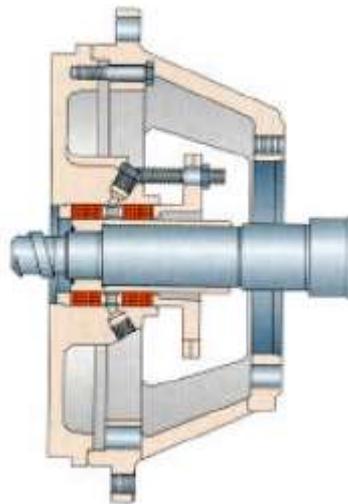
**Ilustración 11. Partes de una bomba hidráulica (ingenieramecanicaymas, 2016)**

El impulsor, también llamado rodete, posee unos álabes los cuales al girar imprimen mayor velocidad y presión a la salida del fluido. El número de álabes y la curvatura de los mismos pueden variar según el tipo de bomba y aplicación.

La voluta es el elemento encargado de conducir el fluido desde la salida del rodete hasta la brida de descarga. Posee un conducto que une la entrada con la salida y cuya sección va aumentando a medida que se acerca a la salida. En este elemento se transforma gran parte de la energía cinética en energía en forma de presión. Al final de la voluta se puede encontrar un difusor con álabes que se encarga de terminar de transformar la energía cinética en presión.

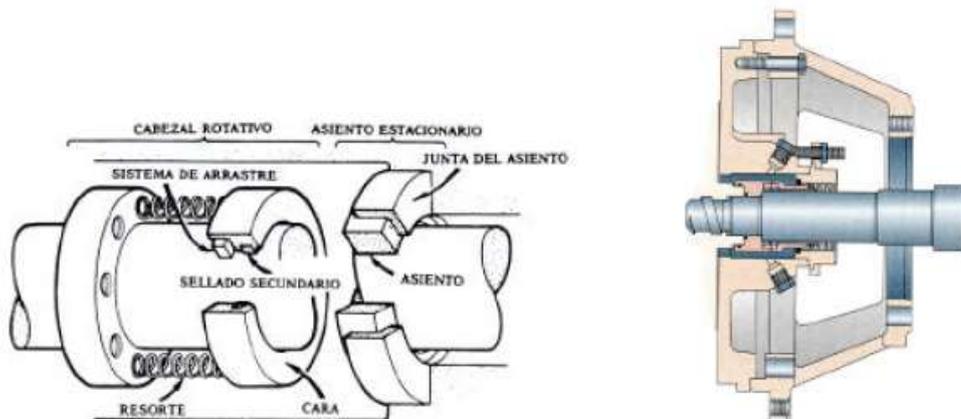
El sello del eje es el elemento encargado de que el fluido no pase a través del eje hacia el motor. Existen dos tipologías principales de sellado: los sellos de empaquetadura y los sellos mecánicos.

Los sellos de empaquetadura consisten colocar varios anillos de material prensable contra el eje de forma que pueda evitar la fuga del fluido bombeado. Son una solución económica y sencilla de instalar. Por el contrario, siempre existe una fuga por pequeña que sea, requiere ajustes frecuentes y provoca mayor desgaste del eje.



**Ilustración 12. Sellos de empaquetadura (ingenieramecanicaymas, 2016)**

Los cierres mecánicos a diferencia de los de empaquetadura, aíslan totalmente el eje sin dejar pasar nada del fluido. Se componen de dos elementos: una carcasa fija denominada asiento y otro elemento denominado cara, que gira con el eje de la bomba. Debido al efecto de la presión del fluido y mediante un resorte, la cara se desliza sobre el asiento impidiendo el paso del fluido.



**Ilustración 13. Sellos mecánicos (ingenieramecanicaymas, 2016)**

El principal inconveniente de los cierres mecánicos frente a los sellos por empaquetadura, es que si se rompe el sello mecánico, la bomba deja de funcionar hasta que se cambie por otro. En cambio, si el flujo que pasa con el cierre por empaquetadura aumenta, se puede solucionar fácilmente ajustado el material prensable.

### 5.2.2. Tipos de impulsores

Hay muchos tipos de impulsores según en qué sector se haga trabajar a la bomba. Las exigencias y características que requieren los impulsores en el bombeo de agua limpia no son las mismas que si bombeara aguas residuales.

Es importante conocer si hay, o no, sólidos en suspensión, ya que de no hacerse puede obstruir la bomba. Para el trabajo de sólidos en suspensión se utilizan rodetes semiabiertos, es decir que los álabes están limitados solamente por un disco posterior, o rodetes abiertos completamente, que no tienen ningún disco.

Dado el tipo de impulsión que se lleva a cabo en este proyecto, con contenido en sólidos en suspensión, se comentan los principales tipos de rodetes para este tipo de funciones.

**Impulsor monocanal (semiabierto y cerrado):** No es bueno trasegando productos largos o fibrosos, ni líquidos abrasivos ya que debido al desgaste se pueden producir desequilibrios dinámicos.

Se pueden encontrar también de canal abierto, los cuales permiten pasar sólidos de mayor tamaño a coste de un peor rendimiento energético.



**Ilustración 14. Impulsor monocanal (ingenieramecanicaymas, 2016)**

**Impulsor cerrado de 2 o 3 canales:** Como en el anterior rodete expuesto, el impulsor cerrado de varios canales no soporta sólidos alargados, pero si trabajan bien con líquidos y sustancias abrasivas.



**Ilustración 15. Impulsor cerrado de varios canales (ingenieramecanicaymas, 2016)**

**Impulsor semiabierto:** Este tipo de rodete se especializa en el trato de fluidos muy viscosos y partículas sólidas. La impulsión se produce mediante la generación de un torbellino. Gracias a dicho torbellino, las partículas en suspensión casi no entran en contacto directo con los álabes por lo que pueden trabajar bien con sustancias abrasivas sin sufrir un elevado desgaste.

Se utiliza mucho para bombear fibras largas. Su principal defecto es la elevada caída del rendimiento respecto a otros tipos de rodetes, que se debe al mayor espacio que dejan los álabes respecto a las paredes laterales.



**Ilustración 16. Impulsor semiabierto (ingenieramecanicaymas, 2016)**

**Impulsor de tornillo centrífugo:** Este tipo de rodete con forma de tornillo tal y como indica su nombre, es ideal para bombear sólidos en suspensión. Gracias a su forma, el rodete tiene menor desgaste que otros ya que entra menos en contacto con las sustancias abrasivas.

Tiene un muy buen rendimiento y se suele utilizar principalmente en el tratamiento de aguas residuales, aunque tiene muy buenos resultados en cualquier aplicación relacionada con sólidos en suspensión en general.



**Ilustración 17. Tornillo helicoidal centrífugo (ingenieramecanicaymas, 2016)**

### 5.3. SELECCIÓN DEL TIPO DE BOMBA

En la selección de las bombas se tienen en cuenta los principales problemas que se encuentran en el bombeo 1 y 2.

En primer lugar, la densidad del mosto varía con respecto a la del agua. Esto hace que muchas bombas preparadas para trabajar con agua limpia tengan problemas para bombear el mosto cervecero.

En segundo lugar, el fluido a bombear llega a temperaturas de 70 °C. Dicha temperatura de fluido puede suponer un problema para muchas bombas, castigando en especial a los sellos hidráulicos.

El primer y segundo punto juntos, altas temperaturas y elevadas densidades, tienen mayor riesgo de provocar cavitación en las bombas.

Además, la cerveza se comporta como un fluido no newtoniano. Aunque su comportamiento como no newtoniano no sea muy acentuado y pueda ser bombeado, esto puede complicar el bombeo si no se tiene en cuenta.

Por último, se trasiegan sólidos en suspensión, en especial en el bombeo de malta hasta el macerador. La presencia de sólidos en suspensión puede provocar atascos y malos funcionamientos en bombas que no estén preparadas para ello.

Las bombas son seleccionadas de la tipología tornillo helicoidal centrífugo por diferentes motivos, relacionados con las características anteriormente destacadas:

En primer lugar, las bombas de tornillo helicoidal centrífugo son adecuadas para el manejo y trato delicado de los sólidos en suspensión. El mismo, también es bueno bombeando fluidos densos, esto es debido al tipo de rodete que tienen. Se trata del impulsor de tornillo helicoidal centrífugo, el cual es el más indicado para esta aplicación.

Respecto a las altas temperaturas, son un problema general para cualquier tipo de bomba. La bomba seleccionada, tiene como ventaja una buena resistencia en altas temperaturas de hasta 90 °C en los sellos mecánicos.

Los sellos mecánicos están hechos: por una parte, de acero inoxidable, y por otra, el anillo de goma, de elastómero de nitrilo.

En conclusión, por los motivos expuestos se puede entender que las bombas escogidas para el primer y segundo bombeo son una buena solución las complicaciones del bombeo.

Para el tercer bombeo, se escoge una bomba monocanal, ya que el fluido a bombear es agua limpia. Ninguna de los anteriores problemas ocurre en este tramo de forma que se busca una solución igual de eficaz y más barata en cuanto a coste.

## **5.4. SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN**

### **5.4.1. Tuberías**

El único punto por estudiar de las tuberías es el material de las misma, ya que el dimensionamiento se calcula en el siguiente capítulo.

Se ha pensado en dos materiales diferentes para las tuberías: acero inoxidable y polietileno (PE). Ambos son suficientemente resistentes para la aplicación que van a tener, es cierto que el acero inoxidable más que el PE, pero el PE resulta mucho más barato. Por ello los tramos de tubería 1,2 y 5 se construyen de PE.

Los tramos restantes, 3 y 4, se construyen de acero inoxidable ya que la temperatura de fluido en dichos tramos es elevada y puede provocar daños y problemas en las tuberías de polietileno.

### **5.4.2. Colector**

Los colectores permiten la unión de varias tuberías que confluyen en una misma tubería, o la división de una en varias. Son elementos de unión de la instalación.

Los tamaños se escogen en función del tamaño de las tuberías a conectar.

Respecto al material de construcción, se mantiene el mismo criterio que ha sido aplicado con las tuberías: tramos 1,2 y 5 de PE, y los tramos 3 y 4 de acero inoxidable.

#### 5.4.3. Válvula de corte

Las válvulas de corte son elementos de regulación que permiten aislar tramos de la instalación, impidiendo el paso de flujo por ellos. Son necesarias para reparar algún tramo de tubería, bomba o cualquier otro elemento, o sencillamente limpiarlo.

Se escoge la válvula de mariposa como válvula de corte por su sencillez de uso y bajo coste de producto.



**Ilustración 18. Válvula de corte (Inoxalia, 2021)**

#### 5.4.4. Válvula antirretorno

Las válvulas antirretorno son elementos de regulación que solo permiten el paso del flujo en un único sentido. Constan de un disco interno con un recorrido mínimo hasta la posición de apertura total, que permite cortar el paso en el sentido contrario al deseado.

Se utilizan principalmente para evitar golpes de ariete y evitar que las bombas se desceben.



**Ilustración 19. Válvula antirretorno (Inoxalia, 2021)**

#### 5.4.5. Válvula reductora

Las válvulas reductoras, o reguladoras, de presión son elementos de regulación que permiten establecer una presión constante en el sistema. Se utilizan para proteger la red de sobrepresiones y ahorrar timbraje a la tubería.

Normalmente, se recomienda instalarla junto con un filtro para evitar que se obstruya con diferentes sólidos en suspensión.



**Ilustración 20. Válvula reductora de presión (Inoxalia, 2021)**

La colocación de las válvulas se puede observar en el plano número 4, tanto su número como su disposición en planta.



# CAPÍTULO 6 CÁLCULOS DE LA INSTALACIÓN

En este capítulo se realizan los cálculos necesarios para la puesta en marcha de las líneas de fabricación de cerveza.

Primero, se dimensionan las tuberías para el camino crítico de cada tramo. Tras dimensionar el camino crítico de cada tramo, se comprueba el estado de los demás caminos, en cuanto a pérdidas en el tramo y presión en el nodo final, por si se tiene que variar el diámetro.

Después de dimensionar la red de tuberías, se selecciona la bomba para alimentar la red. La selección se realiza mediante el software de selección de la empresa Hidrostal, Hannibal.

Por último, se comprueba la cavitación en las válvulas de la instalación para evitar comportamientos adversos. No es necesario comprobar toda la instalación ya es muy sencilla y existe una variación de altura geométrica significativa en ningún punto de la misma.

## 6.1 DISEÑO DE LA INSTALACIÓN

### 6.1.1. Cálculo de pérdidas en la instalación

Se comienza a dimensionar las tuberías del primer tramo, del tanque de pretratamiento al macerador. Para ellos, el primer paso es fijar un caudal.

Una vez se fijan los caudales, se debe escoger cuál de las dos variables, pérdidas o velocidad, se quiere fijar. Se debe fijar una de las dos para resolver la otra, como indica la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_f = \frac{L_{calc} \times f \times v^2}{2g \times D_{int}(m)}$$

**Fórmula 3. Cálculo de pérdidas Darcy-Weisbach**

$$D_t(m) = \sqrt{\frac{4 \times Q \left(\frac{m^3}{s}\right)}{v\left(\frac{m}{s}\right) \times \pi}}$$

**Fórmula 4. Diámetro teórico**

En este caso se fija la velocidad, obteniendo así un diámetro teórico. Posteriormente, se selecciona el diámetro comercial más cercano existente al teórico, y se obtienen las pérdidas de la tubería.

Para el cálculo de la longitud se utiliza la siguiente formula, que en realidad no es más que multiplicarlo por un coeficiente para estar seguros de que las pérdidas reales no sean superiores a las calculadas teóricamente.

$$L_{calc} = L_{real} \times 1.3$$

**Fórmula 5. Longitud de cálculo**

El cálculo de la componente f, factor de fricción, proviene de la ecuación de Swamee-Jain, donde Re es el número de Reynolds,  $\nu$  la viscosidad cinemática de la cerveza y  $\epsilon$  la rugosidad del material de la tubería.

$$Re = \frac{v \times D_{int}}{\nu}$$

**Fórmula 6. Número de Reynolds**

$$f = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{\epsilon}{3.7 \times D_{int}} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right)^2}$$

**Fórmula 7. Factor de fricción**

La última fórmula que se introduce respecto al dimensionado de las tuberías es la siguiente.

$$J = \frac{h_f}{L_{calc}}$$

**Fórmula 8. Pendiente hidráulica**

Esta fórmula permite trabajar de una manera más cómoda y directa con las pérdidas de las tuberías. Es decir, permite relacionar la distancia de la tubería con sus pérdidas, lo que se denomina como pendiente hidráulica. De esta forma se puede verificar rápidamente si las tuberías requieren un aumento de diámetro para reducir pérdidas, o no.

Se realiza una primera iteración para la velocidad igual a 1 m/s. Después, como se ha comentado anteriormente se puede variar dicha velocidad si se considera necesario. Naturalmente, las tuberías son del menor diámetro posible para abaratar costes siempre que se pueda.

La única excepción es el tramo 6, ya que para asegurar un buen funcionamiento del intercambiador de diseña con una velocidad de fluido superior, de 1,5 m/s.

Los tramos en los que se divide la instalación son los siguientes:

El primer tramo une la entrada de agua a la fábrica con los tanques de pretratamientos. Este primer tramo no requiere bombeo ya que aprovecha la presión de la acometida.

El segundo tramo une el tanque de pretratamiento con el macerador pasando por un bombeo.

El tercer tramo une el macerador con la olla de cocción pasando por un bombeo.

El cuarto tramo une la olla de cocción con el fermentador pasando entre medias por el intercambiador y por un bombeo.

El quinto, une los fermentadores con el filtro y embotellado pasando por un bombeo.

El sexto y último, une los depósitos de agua con el intercambiador y con el tanque de pretratamiento de agua.

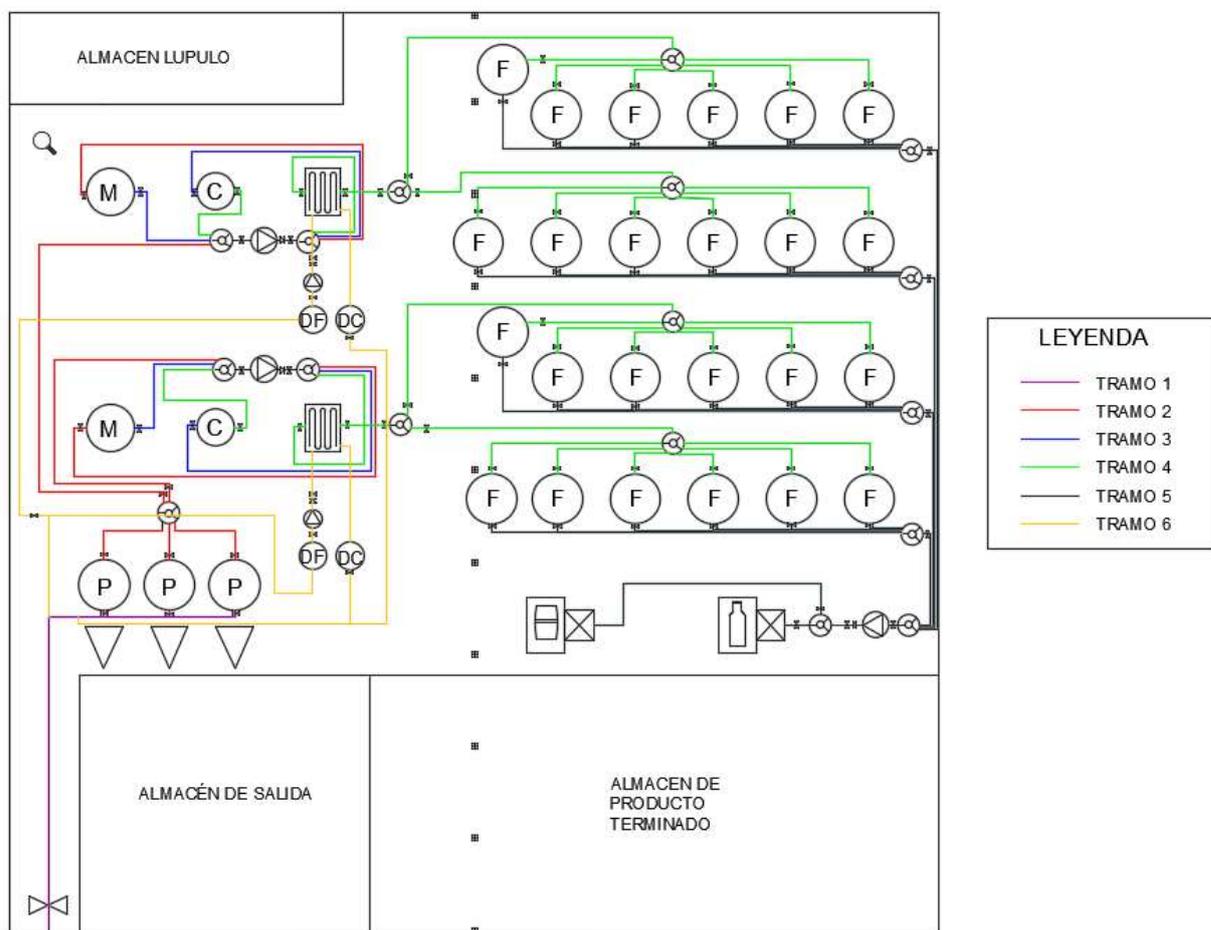


Ilustración 21. Plano de las líneas de la instalación

Los caudales iniciales fijados para todos los tramos son los mostrados en la siguiente tabla:

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5	Tramo 6
<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
<b>velocidades (m/s)</b>	1	1	1	1	1	1,5
<b>D teórico (mm)</b>	79,790	79,790	79,790	79,790	79,790	65,148

Tabla 5. Cálculo inicial de velocidades

Los diámetros de tubería de acero inoxidable son los siguientes:

Diámetro ext. (mm)	Espesor (mm)	Peso aprox. (kg/m)
40	1,5	0,982
43	1,5	1,568
44	1,5	1,678
50,8	2	1,863
53	2	1,946
63,5	2	2,343
73	2	2,702
76	2	2,816
84	2	4,132
104	2	5,14

**Tabla 6. Diámetros de tuberías de acero inoxidable (Inoxpres, 2021)**

Los diámetros seleccionables para las tuberías de Polietileno son los siguientes:

		PE-100 espesor (mm)	
		Presión (bar)	
Diámetro exterior (mm)	63	-	3,8
	75	-	4,5
	90	-	5,4
	110	4,2	6,6
	125	4,8	7,4
	140	5,4	8,3
	160	6.2	9,5
	180	6.9	10,7

**Tabla 7. Diámetros de tuberías de PE (Inoxpres, 2021)**

Lo siguiente, es seleccionar un diámetro comercial parecido al calculado teóricamente. En este caso, se selecciona el diámetro inferior de forma que la velocidad suba, ya que se ha escogido una velocidad inicial ligeramente baja.

Los diámetros reales escogidos en esta primera iteración son:

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5	Tramo 6
<b>D real ext (mm)</b>	90	90	84	84	90	73
<b>Espesor (mm)</b>	5,4	5,4	2	2	5,4	2
<b>D real int (mm)</b>	79,2	79,2	80	80	79,2	69
<b>Caudal (l/s)</b>	5	5	5	5	5	5
<b>velocidades (m/s)</b>	1,015	1,015	0,995	0,995	1,015	1,337

**Tabla 8. Diámetros reales obtenidos**

Con estos diámetros se calcula las pérdidas generadas por las tuberías. Se deciden calcular las pérdidas para el camino crítico dentro de cada tramo. Dicho camino crítico es el que más longitud de tubería tenga, puesto que todos tiene mismo número de codos, conexiones y válvulas.

Las pérdidas de la instalación debido a las tuberías quedan resumidas en la siguiente tabla:

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5	Tramo 6
<b>L real (m)</b>	28	63	29	55	70	50
<b>L calc (m)</b>	36	82	38	71,5	91	65
<b>Viscosidad cin. (Cps)</b>	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000002	9,40E-07
<b>velocidad (m/s)</b>	1,015	1,015	1,195	1,195	1,015	1,34
<b>D real int (mm)</b>	79,2	79,2	73	73	79,2	69
<b>Re</b>	80384	80384	100482	100482	45997	98155,80
<b>Rugosidad (mm)</b>	0,015	0,015	0,06	0,06	0,015	0,06
<b>factor fricción</b>	0,045	0,045	0,078	0,078	0,045	0,078
<b>Hf (mca)</b>	1,076	2,421	2,95	5,595	2,723	6,74
<b>J (mca/m)</b>	0,03	0,03	0,078	0,078	0,03	0,10

**Tabla 9. Pérdidas de los tramos de instalación**

Los metros de longitud de tramos de tubería se obtienen del plano número 3 del proyecto.

Tras obtener la pendiente hidráulica de cada tramo, se observa que para el tramo 3 y 4 la pendiente llega a 78 mmca/m. Ésta pendiente hidráulica resulta muy elevada por lo que se decide aumentar el diámetro de la tubería.

En el caso del tramo 6 como se ha comentado anteriormente, se prioriza una mayor velocidad frente a unas menores pérdidas.

Los resultados son los siguientes:

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5	Tramo 6
<b>L real (m)</b>	28	63	29	55	70	50
<b>L calc (m)</b>	36,4	81,9	37,7	71,5	91	65
<b>Viscosidad cin. (Cps)</b>	1,00E-06	1,00E-06	8,68E-07	8,68E-07	1,75E-06	9,40E-07
<b>velocidad (m/s)</b>	1,01	1,01	0,99	0,99	1,01	1,34
<b>D real int (mm)</b>	79,2	79,2	80	80	79,2	69
<b>Re</b>	80383,66	80383,66	91689,79	91689,79	45997,31	98155,80
<b>Rugosidad (mm)</b>	0,015	0,015	0,06	0,06	0,015	0,06
<b>factor fricción</b>	0,045	0,045	0,078	0,078	0,045	0,078
<b>Hf (mca)</b>	1,08	2,42	1,87	3,54	2,72	6,74
<b>J (mca/m)</b>	0,03	0,03	0,05	0,05	0,03	0,10

**Tabla 10. Pérdidas de los tramos de la instalación recalculados**

Una vez calculadas las pérdidas de carga, se calculan las pérdidas locales por diferentes elementos de la instalación como codos y colectores. Dichos cálculos se realizan siguiendo la siguiente fórmula, donde k es una constante adimensional de diseño para cada tipo de elemento que ha sido estimada por la comisión nacional del agua.

K de colector	1,8
K 45º	0,4
K 90º	0,8
K de filtro	60
K de intercambiador	20
K de contador general	9
K(0) mariposa	0,43
K(0) antirretorno	2,5

**Tabla 11. Constantes de pérdidas locales (Conagua)**

$$h_m = k * \frac{v^2}{2 * g}$$

**Fórmula 9. Pérdidas locales**

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5	Tramo 6
<b>Nº de codos a 45º</b>	0	4	4	8	6	0
<b>Nº de codos a 90º</b>	2	9	6	11	6	3

<b>Nº de colectores</b>	0	2	2	4	3	0
<b>Nº de filtros</b>	1	0	0	0	1	0
<b>Nº de intercambiadores</b>	0	0	0	1	0	1
<b>Nº de contadores gen</b>	1	0	0	0	0	0
<b>Nº de uniones en T</b>	0	0	0	0	0	1
<b>K de colector</b>	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	2
<b>K 45º</b>	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0
<b>K 90º</b>	1	1	1	1	1	1
<b>Unión en T</b>	2	2	2	2	2	2
<b>K de filtro</b>	60	60	60	60	60	60
<b>K de intercambiador</b>	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,00
<b>K de contador general</b>	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00
<b>Velocidad (m/s)</b>	1,01	1,01	0,99	0,99	1,01	1,34
<b>Pérdidas (mca)</b>	3,71	0,65	0,50	1,98	3,81	2,21

**Tabla 12. Pérdidas locales de la instalación**

Posteriormente, se utiliza la misma fórmula anterior para calcular las pérdidas locales correspondientes a las válvulas. Dichas pérdidas quedan reflejadas en la siguiente tabla.

	<b>Tramo 1</b>	<b>Tramo 2</b>	<b>Tramo 3</b>	<b>Tramo 4</b>	<b>Tramo 5</b>	<b>Tramo 6</b>
<b>Nº válvulas mariposa</b>	3	5	4	8	6	3
<b>Nº válvulas antirretorno</b>	1	1	1	1	1	1
<b>Velocidad (m/s)</b>	1,015	1,015	0,995	0,995	1,015	1,337
<b>K(0) mariposa</b>	0,430	0,430	0,430	0,430	0,430	0,430
<b>K(0) antirretorno</b>	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
<b>Pérdidas (mca)</b>	0,20	0,24	0,21	0,30	0,27	0,35

**Tabla 13. Pérdidas locales de valvulería**

### 6.1.2. Cálculo de la altura a aportar por la bomba

La instalación dispone de tres bombeos diferentes: el primero es el bombeo que conecta los tramos 1, 2 y 3, el segundo es el que conecta los tramos 4 y 5, el último es el bombeo que

alimenta al tramo 6. Para el tramo 1 no se necesita bombeo ya que se aprovecha la presión de red.

Previo a seleccionar la bomba, se debe calcular la altura de bombeo necesaria para cada tramo. En el caso del primer bombeo se calcula la altura a aportar necesaria para los tres tramos y se selecciona la bomba con la mayor de las alturas necesarias. Si es necesario se puede regular los excesos de presión con válvulas reductoras de presión.

Para el cálculo de la altura de bombeo se utiliza la ecuación de Bernoulli.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + H_{bombeo} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_{12}$$

**Fórmula 10. Bernoulli**

$$\gamma = g * \rho$$

**Fórmula 11. Peso específico**

El primer término,  $Z_1$ , hace referencia a la altura geométrica del punto 1, el segundo término hace referencia a la altura piezométrica, el tercero a la energía cinética y  $h_{12}$  es la suma de las pérdidas de carga y las pérdidas locales entre los dos puntos.

Para el cálculo se desprecia el término cinético ya que es insignificante en comparación al resto.

Aplicando dicha ecuación a la instalación da los siguientes resultados:

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5	Tramo 6
<b>Z1(m)</b>	-1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
<b>Z2(m)</b>	0,5	1	1	1,5	1	1
<b>Altura Piezométrica 1(mca)</b>	30	0	0	0	3	0
<b>Altura Piezométrica 2(mca)</b>	10	10	10	10	10	10
<b>h12(mca)</b>	4,98	3,32	2,58	5,82	6,8	9,29
<b>Hbomba (mca)</b>	-13,52	14,02	13,28	17,02	14,5	19,99

**Tabla 14. Altura a aportar por las bombas**

El tramo 1 se calcula para comprobar si con la presión de red se llega a la presión necesaria. El valor de la supuesta bomba es un valor negativo, lo que significa que esta está restando presión al fluido para que llegue a los 10 mca exigidos por el final del tramo 1.

Por ello se instala una válvula limitadora de presión al final del tramo 1 que reduce la presión del fluido hasta los 15 mca por motivos de seguridad.

A modo de resumen, se presenta el siguiente cuadro que, además se utiliza para la selección de los equipos de bombeo:

	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5	Tramo 6
<b>Caudal (l/s)</b>	5	5	5	5	5
<b>Altura (mca)</b>	14,02	13,28	17,02	14,50	19,99

**Tabla 15. Resumen de las condiciones de bombeo de los tramos**

## 6.2. SELECCIÓN DE BOMBAS

### 6.2.1. Cálculo de la potencia absorbida por las bombas

Para la correcta selección de las bombas se debe primero además de conocer la altura y caudal a suministrar, la potencia que debe aportar.

Dicha potencia se calcula siguiendo la siguiente fórmula:

$$Pot = \frac{\gamma * Q_{bomba} * H_{bomba}}{\eta_{bomba}}$$

**Fórmula 12. Potencia absorbida**

Se obtiene el siguiente resultado:

	Bombeo 1	Bombeo 2	Bombeo 3
<b>Peso específico (N/m2)</b>	10399	10104	9810
<b>Caudal (m3/s)</b>	0,005	0,005	0,005
<b>Altura (mca)</b>	17,02	14,5	19,99
<b>Rendimiento esperado</b>	0,7	0,7	0,8
<b>Potencia min (W)</b>	1264	1047	1226

**Tabla 16. Potencia teórica absorbida**

Dichas potencias se utilizan como referencia a la hora de buscar la bomba. Se escoge la bomba que además de cumplir con las necesidades de caudal y altura se aproxime razonablemente a la potencia calculada.

La bomba escogida no consume esa energía si no que en realidad consume más puesto que, esta potencia es la necesaria por la bomba y no tiene en cuenta las pérdidas que tiene el motor, ni de la caja de rodamientos. La potencia consumida total es mayor que la absorbida por la bomba.

### 6.2.2. Selección de las bombas con Hannibal

El software Hannibal es un programa de selección y venta de bombas hidráulicas propiedad de la empresa Hidrostaal. A continuación, se explica cómo se utiliza y cuáles son las bombas escogidas mediante el mismo.

El primer paso para la selección de las bombas es la búsqueda de aquellas hidráulicas que puedan funcionar para el caudal y altura escogidos. Para ello, Hannibal posee una herramienta de búsqueda y filtrado.

Además de buscar caudal y altura, también se puede escoger que tipo de bomba buscar entre: sumergible, inmergible, axial y de caja de rodamientos. En este caso se selecciona la opción de caja de rodamientos tal y como se muestra en las siguientes imágenes.

Después de introducir los datos y seleccionar la opción de siguiente, Hannibal muestra un listado de las posibles hidráulicas que más cercanas están al punto indicado. Al seleccionar cualquiera de ellas muestra su curva de trabajo y el punto que se ha buscado como referencia.

La opción mostrada a continuación, es la seleccionada tras ser la que mejor se adapta al punto de funcionamiento.

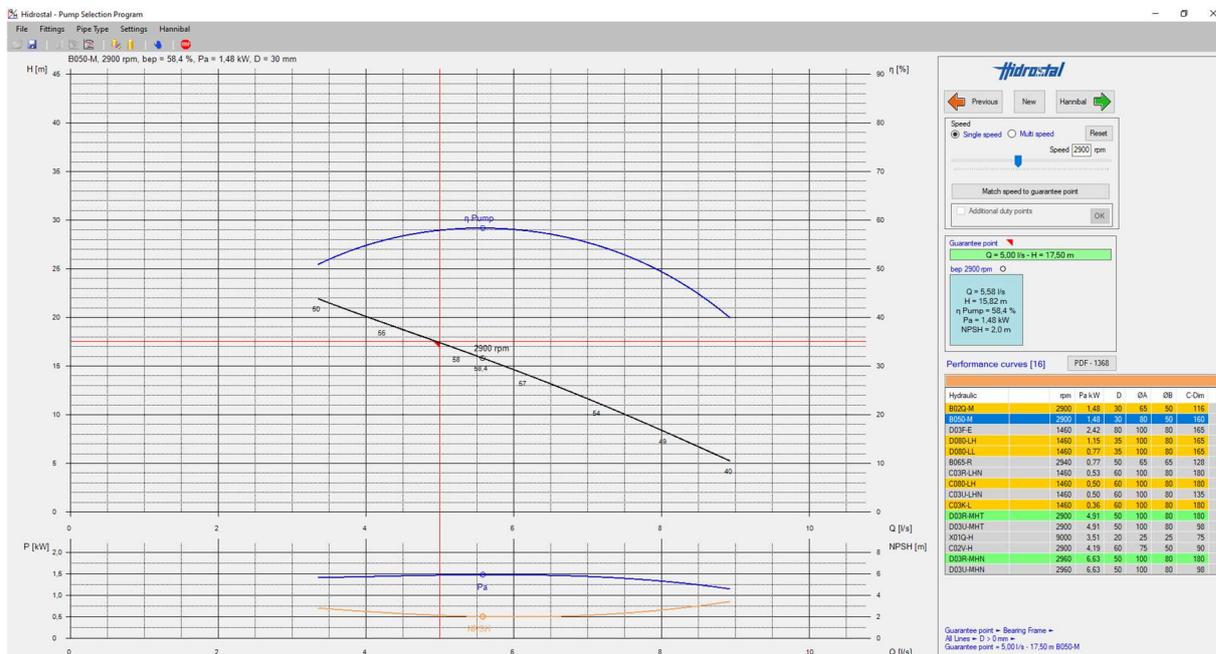


Ilustración 22. Software Hannibal 2

Al continuar, Hannibal muestra la pantalla de detalle de la bomba. En ella puede seleccionar la caja de rodamientos acorde a la hidráulica.

Además, en esta pantalla se puede seleccionar: el material de cada una de las partes de la bomba, el tipo de sellos hidráulicos, el material de dicho sello, el accesorio de instalación, la pintura y los test y certificados que deseen.

A la derecha se muestra el precio de cada una de las partes y del total en francos suizos.

La bomba seleccionada para el primer bombeo, el que corresponde a los tramos 2,3 y 4, es una: B050M-M03R + BCM1X-G112Q con una bancada de accesorio cuyo código es: HS-B112/B050.

Dicha bomba bombea 5 l/s a 17,5 mca con un rendimiento del 58% y una potencia absorbida por la hidráulica es de 1,48 KW, y la potencia total de 3kw. Su NPSH para dicho punto es de 2,1 metros. El régimen de giro de la bomba es de 2896 rpm.

Se escoge el acero inoxidable como material de fabricación para mejorar la vida de las bombas y su resistencia a corrosión.

El segundo bombeo, que une el tramo 5, al tener un punto de funcionamiento bastante similar la hidráulica que mejor servicio da es la misma. Para este bombeo el punto de funcionamiento es 14,5 mca y 6 l/s. La potencia absorbida por la hidráulica es de 1,52 KW, la potencia total es de 3kw y el NPSH de 2 metros. El régimen de giro de la bomba es de 2896 rpm.

Respecto al tercer bombeo, al ser agua limpia se escoge otro tipo de bomba diferente de los otros bombeos. La bomba escogida es: XJP 150F 460, con un rendimiento del 80% una potencia absorbida de 1,3 kw. Su NPSH es de 3 metros y su régimen de giro 2900 rpm.

Al igual que en los otros casos se escoge el acero inoxidable como material de construcción de la hidráulica.

El NPSH es la presión absoluta mínima que debe haber a la entrada de la bomba para evitar que ésta cavite.

Para cerciorar que la bomba no cavita se comprueba con el NPSH que presión absoluta hay en la entrada de la bomba mediante la siguiente expresión:

$$P_{liq} - P_v - 1 - h_a + Z - NPSH > 0$$

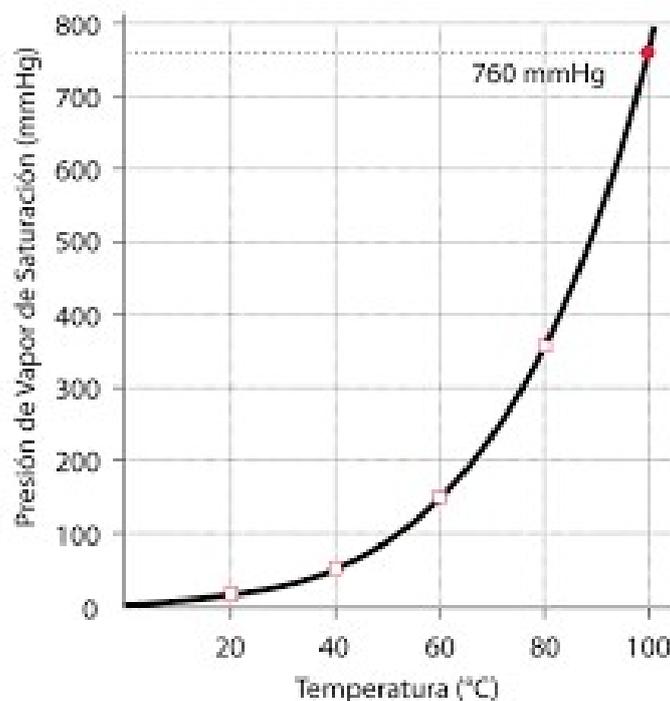
**Fórmula 13. Comprobación del NPSH**

$P_v$  representa la presión de vapor del fluido, es decir, la presión a partir de la cual el fluido cambiará de fase líquida a vapor. Esta presión varía con la temperatura a la que se encuentre el fluido.  $P_{liq}$  es la presión a la que se encuentra el fluido en el depósito.

$h_a$  son las pérdidas existen en el tramo desde el depósito hasta la entrada de la bomba y Z es la cota de altura del fluido del depósito respecto a la bomba. En este caso suma ya que por el diseño de los equipos la bomba trabaja en carga. El 1 se refiere a 1 mca y se pone a modo de coeficiente de seguridad.

Se ha supuesto la cerveza similar al agua en cuanto a características de presiones vapor.

La presión del fluido en el depósito a temperatura ambiente (20 °C) es de 1 atmosfera lo que es igual a 10,33 mca. De la siguiente gráfica se obtienen las presiones de vapor del agua a diferentes temperaturas:



**Ilustración 23. Gráfica de presiones de vapor (Hyperphysics, s.f.)**

Para 80 °C la presión de vapor es de 360 mmHg lo que equivale a 4,90 mca. En la siguiente tabla se expresan los resultados de las comprobaciones de la cavitación. La cota de altura del fluido del depósito se toma como 0 para comprobar el punto crítico, es decir cuando el depósito esté casi vacío.

	<b>Tramo 2</b>	<b>Tramo 3</b>	<b>Tramo 4</b>	<b>Tramo 5</b>	<b>Tramo 6</b>
<b>T (°C)</b>	20	80	80	20	50
<b>Pv (mca)</b>	0,27	4,9	4,9	0,27	1,36
<b>ha (mca)</b>	1,62	1,16	1,22	4,11	1,32
<b>NPSH (mca)</b>	2	2	2	2	3
<b>Dif (mca)</b>	5,44	1,27	1,21	2,95	3,65

**Tabla 17. Comprobación de la cavitación**

Queda comprobado que al ser la diferencia calculada de valor positivo las bombas no cavitan en ningún tramo.

Todas las características de las bombas de los tramos: 2, 3, 4 y 5, se pueden ver con mayor detalle en el Anexo 1 y 2 de este proyecto. Los datos y características de la bomba del tramo 6 se encuentran en el Anexo 3.

### **6.2.3. Selección del motor eléctrico**

Se comparan varios proveedores de motores eléctricos y dentro de los diferentes materiales del motor se opta por el aluminio, ya que para esta aplicación el motor no requiere de un material que lo haga más resistente y el aluminio resulta ser más barato que el resto. Para ambos bombeos se escoge el mismo motor ya que sus datos de servicio son muy similares.

La lista de motores seleccionables del fabricante son los siguientes:

**Motores de aluminio para la industria de procesos IE3 50/60 Hz (eficiencia premium)**  
1 velocidad IP55 IC 411

Potencia kW	Tipo	Código de producto	B3	B5	B35
<b>3000 r/min = 2 polos</b>					
<b>Diseño básico</b>					
0,75	M3AA 80 MB	3GAA081320...K	288	331	359
1,1	M3AA 80 MC	3GAA081330...K	313	354	384
1,5	M3AA 90 LB	3GAA091520...K	373	417	459
2,2	M3AA 90 LC	3GAA091530...K	470	516	566
3	M3AA 100 LC	3GAA101530...K	557	613	653
4	M3AA 112 MB	3GAA111320...K	664	732	760
5,5	M3AA 132 SB	3GAA131120...K	865	956	961
7,5	M3AA 132 SC	3GAA131130...K	1.078	1.160	1.174
11	M3AA 160 MLA	3GAA161410...K	1.496	1.622	1.688
15	M3AA 160 MLB	3GAA161420...K	1.936	2.085	2.128
18,5	M3AA 160 MLC	3GAA161430...K	2.334	2.499	2.526
22	M3AA 180 MLA	3GAA181410...K	2.880	3.095	3.148
30	M3AA 200 MLA	3GAA201410...K	3.608	3.889	3.972
37	M3AA 200 MLB	3GAA201420...K	4.766	5.015	5.130
45	M3AA 225 SMA	3GAA221210...K	5.710	6.041	6.115
55	M3AA 250 SMA	3GAA251210...K	6.918	7.298	7.360
<b>3000 r/min = 2 polos</b>					
<b>Diseño alta potencia</b>					
22	M3AA 160 MLD	3GAA161440...K	2.731	2.813	2.923
30	M3AA 180 MLB	3GAA181430...K	3.409	3.674	3.677
37 <sup>(R)</sup>	M3AA 180 MLC	3GAA181430...K	4.485	4.750	4.753
45	M3AA 200 MLC	3GAA201430...K	5.379	5.726	5.743
55	M3AA 225 SMB	3GAA221220...K	6.537	6.901	6.942
75 <sup>(R)</sup>	M3AA 225 SMC	3GAA221230...K	8.424	8.705	8.829
75 <sup>(R)</sup>	M3AA 250 SMB	3GAA251220...K	8.920	9.251	9.362
90 <sup>(R)</sup>	M3AA 250 SMC	3GAA251230...K	10.708	11.039	11.150
<b>1500 r/min = 4 polos</b>					
<b>Diseño básico</b>					
0,75	M3AA 80 ME	3GAA082350...K	299	336	370
1,1	M3AA 90 LC	3GAA092530...K	342	388	438
1,5	M3AA 90 LD	3GAA092540...K	402	451	498
2,2	M3AA 100 LE	3GAA102550...K	492	547	588
3	M3AA 100 LF	3GAA102560...K	584	651	680
4	M3AA 112 MB	3GAA112320...K	695	761	791
5,5	M3AA 132 MB	3GAA132320...K	893	974	989
7,5	M3AA 132 MC	3GAA132330...K	1.126	1.229	1.222
11	M3AA 160 MLA	3GAA162410...K	1.526	1.652	1.718
15	M3AA 160 MLB	3GAA162420...K	1.969	2.102	2.161
18,5	M3AA 180 MLA	3GAA182410...K	2.466	2.665	2.734
22	M3AA 180 MLB	3GAA182420...K	2.681	2.863	2.949
30	M3AA 200 MLA	3GAA202410...K	3.740	4.038	4.104
37	M3AA 225 SMA	3GAA222210...K	4.568	4.882	4.973
45	M3AA 225 SMB	3GAA222220...K	5.015	5.312	5.420
55	M3AA 250 SMA	3GAA252210...K	6.670	6.984	7.112
<b>1500 r/min = 4 polos</b>					
<b>Diseño alta potencia</b>					
18,5	M3AA 160 MLC	3GAA162430...K	2.334	2.532	2.526
30	M3AA 180 MLC	3GAA182430...K	3.542	3.840	3.810
37 <sup>(R)</sup>	M3AA 200 MLB	3GAA202420...K	4.320	4.617	4.684
55	M3AA 225 SMC	3GAA222230...K	6.289	6.620	6.694
75	M3AA 250 SMB	3GAA252220...K	8.606	9.136	9.048
<b>1000 r/min = 6 polos</b>					
<b>Diseño básico</b>					
0,75	M3AA 90 LD	3GAA093540...K	377	413	473
1,1	M3AA 100 LE	3GAA103550...K	454	494	560
1,5	M3AA 100 LF	3GAA103560...K	531	573	627
2,2	M3AA 112 MC	3GAA113330...K	667	709	763
3	M3AA 132 MC	3GAA133330...K	828	891	924
4	M3AA 132 MD	3GAA133340...K	1.031	1.082	1.127
5,5	M3AA 132 ME	3GAA133350...K	1.274	1.317	1.370
7,5	M3AA 160 MLA	3GAA163410...K	1.620	1.754	1.812
11	M3AA 160 MLB	3GAA163420...K	2.218	2.334	2.410
15	M3AA 180 MLA	3GAA183410...K	2.747	2.913	3.015
18,5	M3AA 200 MLA	3GAA203410...K	3.591	3.889	3.955
22	M3AA 200 MLB	3GAA203420...K	3.873	4.088	4.237
30	M3AA 225 SMA	3GAA223210...K	5.263	5.544	5.668
37	M3AA 250 SMA	3GAA253210...K	6.918	7.298	7.360
<b>1000 r/min = 6 polos</b>					
<b>Diseño alta potencia</b>					
18,5	M3AA 160 MLB	3GAA163420...K	3.393	3.674	3.661
37	M3AA 225 SMB	3GAA223220...K	6.537	6.901	6.942
45	M3AA 250 SMB	3GAA253220...K	7.894	8.440	8.336
55	M3AA 250 SMC	3GAA253230...K	9.615	10.162	10.057
<b>750 r/min = 8 polos</b>					
<b>Diseño básico</b>					
0,75	M3AA 100 LB	3GAA104520...K	566	624	662
1,1	M3AA 100 LD	3GAA104540...K	705	763	801
1,5	M3AA 112 MC	3GAA114330...K	856	922	952
2,2	M3AA 132 SA	3GAA134110...K	1.062	1.164	1.178
3	M3AA 132 MA	3GAA134310...K	1.265	1.351	1.361
4	M3AA 160 MLA	3GAA164410...K	1.672	1.820	1.864
5,5	M3AA 160 MLB	3GAA164420...K	2.069	2.234	2.261
7,5	M3AA 160 MLC	3GAA164430...K	2.482	2.631	2.674
11	M3AA 180 MLA	3GAA184410...K	3.277	3.475	3.545

**Ilustración 24. Motores eléctricos seleccionables (ABB, 2021)**

Para la correcta selección del motor lo primero es fijarse que el régimen de giro sea el correcto, en este caso la sección de 2 polos, es decir de 3000 rpm. Después, se busca la potencia adecuada en este caso 3 KW.

Además de lo ya citado, se debe tener en cuenta que la tercera columna que en este caso marca 100 LC indica el tamaño IEC del motor que debe coincidir con el tamaño del bastidor de rodamientos seleccionado. Se puede comprobar que el tamaño de bastidor de rodamientos es el mismo en los anexos 1 y 2.

Las opciones de las últimas columnas B3, B5 y B35 indican: si se quiere el motor con brida de acoplamiento B3, si se quiere el motor con patas para apoyarlo sobre la bancada B5, o si se

quieren ambas opciones B35. Los valores de dichas columnas es el precio en euros del motor seleccionado.

En este caso se escoge el modelo M3AA 100 LC 3GAA101530..K.

### **6.3. COMPROBACIÓN DE LA CAVITACIÓN EN VÁLVULAS**

#### **6.3.1. Explicación sobre la cavitación**

La cavitación es un fenómeno físico que consiste en la aparición de burbujas de vapor debido a bajas presiones y su posterior transformación a líquido de nuevo. En el caso de las instalaciones hidráulicas tiene consecuencias muy negativas y siempre debe evitarse.

Se puede dividir en dos fases: La primera es la transformación debido a bajas presiones, en este caso, del agua en vapor de agua. La segunda es el retorno de vapor de agua a agua líquida. Esta segunda fase es la problemática ya que puede dañar los equipos de la instalación.

#### **6.3.2. Justificación del estudio de cavitación en válvulas**

Las válvulas son un punto crítico donde cavitación puede llegar a aparecer. En este proyecto se utilizan 3 tipos diferentes de válvulas, como se ha explicado con anterioridad.

Para las válvulas antirretorno no se estudia, puesto que no generan ningún riesgo para la cavitación.

Respecto a las válvulas de mariposa, en un principio no se tiene porqué estudiar su cavitación ya que en esta instalación se diseñan para cumplir una función de válvulas de corte, es decir, completamente abiertas o cerradas.

Por último, la válvula reductora de presión instalada en el primer tramo de la instalación puede generar cavitación por lo que se calcula si provoca o no cavitación.

#### **6.3.3. Cavitación en válvula reductora de presión**

En primer lugar, se selecciona una válvula de entre todas las posibles. La siguiente tabla muestra las diferentes opciones que da el proveedor escogido:

		DN/Tamaño	40	1.5"	50	2"	65	2.5"	80	3"	100	4"	150	6"	200	8"	250	10"	300
Datos de caudales	700 Y 700 ES	Kv/Cv - Plano	54	62	57	66	60	69	65	75	145	167	395	456	610	705	905	1,045	1,520
		Kv/Cv - V-Port	46	53	48	56	51	59	55	64	123	142	336	388	519	599	769	888	1,292
		Kv/Cv - "Y" Plano	42	49	50	58	55	64	115	133	200	230	460	530	815	940	1,250	1,440	1,850
		Kv/Cv - "Y" V-Port	36	41	43	49	47	54	98	113	170	200	391	450	693	800	1,063	1,230	1,573
700-ES	PN16; 25	L (mm/pulg.)	230	9.1	230	9.1	290	11.4	310	12.2	350	13.8	480	18.9	600	23.6	730	28.7	850
		W (mm/pulg.)	150	5.9	165	6.5	185	7.3	200	7.9	235	9.3	300	11.8	360	14.2	425	16.7	530
		h (mm/pulg.)	80	3.1	90	3.5	100	3.9	105	4.1	125	4.9	155	6.1	190	7.5	220	8.7	250
		H (mm/pulg.)	240	9.4	250	9.8	250	9.8	260	10.2	320	12.6	420	16.5	510	20.1	605	23.8	725
		Peso (Kg/lb)	10	22	10.8	23.8	13.2	29	15	33	26	57.2	55	121	95	209	148	326	255
700-EN	PN16; 25	L (mm/pulg.)	-	-	-	-	-	-	310	12.2	350	13.8	480	18.9	600	23.6	730	28.7	850
		W (mm/pulg.)	-	-	-	-	-	-	200	7.9	235	9.3	320	12.6	390	15.4	480	18.9	550
		h (mm/pulg.)	-	-	-	-	-	-	100	3.9	118	4.6	150	5.9	180	7.1	213	8.4	243
		H (mm/pulg.)	-	-	-	-	-	-	305	12	369	14.5	500	19.7	592	23.3	733	28.9	841
		Peso (Kg/lb)	-	-	-	-	-	-	21	46.2	31	68.2	70	154	115	253	198	436	337
700 Brida	"Y" PN16 Clase 150	L (mm/pulg.)	205	8.1	210	8.3	222	8.7	250	9.8	320	12.6	415	16.3	500	19.7	605	23.8	725
		W (mm/pulg.)	155	6.1	165	6.5	178	7	200	7.9	223	8.8	320	12.6	390	15.4	480	18.9	550
		h (mm/pulg.)	78	3.1	83	3.3	95	3.7	100	3.9	115	4.5	143	5.6	172	6.8	204	8	242
		H (mm/pulg.)	239	9.4	244	9.6	257	10.1	305	12	366	14.4	492	19.4	584	23	724	28.5	840
		Peso (Kg/lb)	9.1	20	10.6	23	13	29	22	49	37	82	75	165	125	276	217	478	370
	"Y" PN25 Clase 300	L (mm/pulg.)	205	8.1	210	8.3	222	8.7	264	10.4	335	13.2	433	17	524	20.6	637	25.1	762
		W (mm/pulg.)	155	6.1	165	6.5	185	7.3	207	8.1	250	9.8	320	12.6	390	15.4	480	18.9	550
		h (mm/pulg.)	78	3.1	83	3.3	95	3.7	105	4.1	127	5	159	6.3	191	7.5	223	8.8	261
		H (mm/pulg.)	239	9.4	244	9.6	257	10.1	314	12.4	378	14.9	508	20	602	23.7	742	29.2	859
		Peso (Kg/lb)	10	22	12.2	27	15	33	25	55	43	95	85	187	146	322	245	540	410
700 Rosca	"Y" PN16; 25 Clase 150; 300	L (mm/pulg.)	155	6.1	155	6.1	212	8.3	250	9.8									
		W (mm/pulg.)	122	4.8	122	4.8	122	4.8	163	6.4									
		h (mm/pulg.)	40	1.6	40	1.6	48	1.9	56	2.2									
		H (mm/pulg.)	201	7.9	202	8	209	8.2	264	10.4									
		Peso (Kg/lb)	5.5	12	5.5	12	8	18	17	37									
	Angular PN16; 25 Clase 150; 300	L (mm/pulg.)	-	-	121	4.8	140	5.5	159	6.3									
		W (mm/pulg.)	-	-	122	4.8	122	4.8	163	6.4									
		R (mm/pulg.)	-	-	40	1.6	48	1.9	55	2.2									
		h (mm/pulg.)	-	-	83	3.3	102	4	115	4.5									
		H (mm/pulg.)	-	-	225	8.9	242	9.5	294	11.6									
Peso (Kg/lb)	-	-	5.5	12	7	15	15	33											

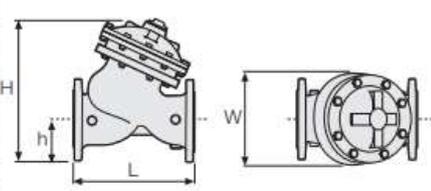


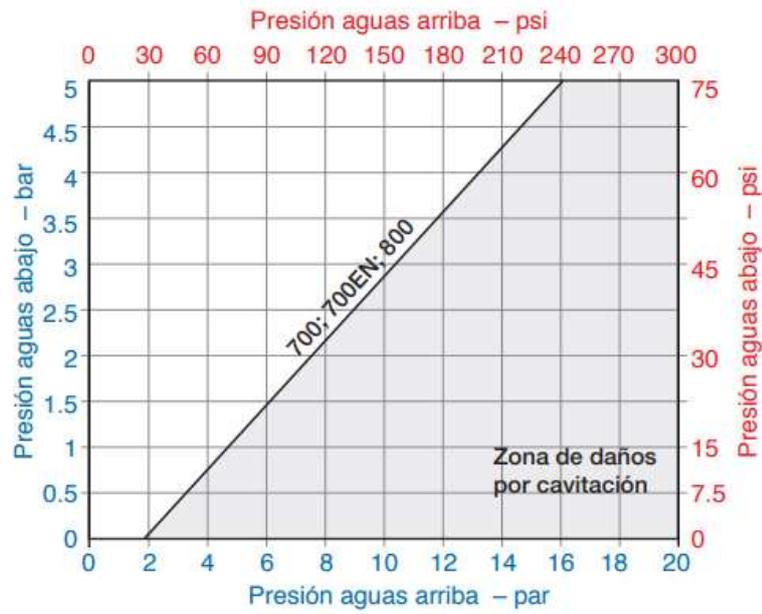
Ilustración 25. Válvulas reductoras seleccionables (Bermad, 2021)

Se escoge la 700 Rosca Y de DN 40 ya que indica que el radio exterior es de 40 mm y es la que mejor se acopla a la tubería del tramo 1 de la instalación.

Una vez escogida la válvula, se comparan las presiones de entrada y de salida del fluido en la válvula con el gráfico de la zona de cavitación que el proveedor de la válvula provee.

	Tramo 5
Presión Aguas arriba válvula (Bar)	2,34
Presión aguas abajo (Bar)	1,5

Tabla 18. Presiones de entrada y salida de la válvula reductora



**Ilustración 26. Zona de cavitación de la válvula (Bermad, 2021)**

Entrando por la parte de debajo de la gráfica, en 2,34 bares y subiendo hasta cruzar con la fila de 1,5 bares, se encuentra el punto de funcionamiento frente a cavitación del equipo. En este caso claramente la válvula no cavita.

# CAPÍTULO 7 DISEÑO DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA

## 7.1. DISEÑO DE LAS LUMINARIAS

Para el diseño de las luminarias primero se escoge el tipo de luminarias a instalar.

Para ello se ha tenido en cuenta la siguiente tabla que indica las necesidades de luxes según la actividad que se realiza.

Iluminancia (lux)	Tipo de actividad
20	Orientación, estancia temporal
50	Actividad ocasional, tareas bastas
100	Áreas de descanso, pasillos, almacenes sin actividad
200	Tareas con poco detalle
300	Tareas normales
500	Tareas normales con cuierto detalle
750	Tareas visuales difíciles, detalles pequeños
1000/1500	Tareas visuales exigentes
3000/5000	Tareas difíciles con pequeños detalles

**Tabla 19. Valores de iluminancia recomendados, (Tecnología eléctrica, 2010)**

El trabajo de una línea cervecera se cataloga como una tarea normal por lo que las luminarias escogidas tienen una iluminancia de 300 luxes.

Las luminarias escogidas tienen las siguientes características: 150 W de potencia, flujo luminoso de 14250 lúmenes y un rendimiento del 0,85.

El índice del local K se calcula según la siguiente fórmula:

$$K = \frac{a * b}{h(a + b)}$$

**Fórmula 14. Ecuación del índice de local**

Donde a y b son las medidas de la sala a iluminar, en este caso la totalidad de la nave, y h la altura a la que están situadas las luminarias, 5 metros.

El índice de local sirve para poder obtener el factor de utilización a través del uso de tablas. El factor obtenido en este caso es 1,12.

El número de luminarias a instalar se calcula siguiendo la siguiente fórmula:

$$E_{med} = \frac{\eta * u_h * m * n * \Phi_{TOTAL}}{A}$$

**Fórmula 15. Cálculo de luminarias**

Siendo:  $E_{med}$  la iluminancia media de la luminaria,  $u_h$  el factor de utilización,  $m$  el factor de mantenimiento,  $n$  el número de luminarias,  $\Phi_{TOTAL}$  el flujo luminoso de la luminaria y  $A$  el área a iluminar. La siguiente tabla recoge los valores utilizados en este cálculo:

<b>Lúmenes</b>	14250
<b>Iluminancia media (lux)</b>	300
<b>Rendimiento</b>	0,85
<b>F. utilizacion</b>	1,12
<b>F. mantenimiento</b>	0,7
<b>Área</b>	2500
<b>Nº luminarias</b>	79

**Tabla 20. Número de luminarias a instalar**

Por sencillez de la distribución al ser un cuadrado la nave se cogen 81 luminarias. Estas se dividen en 9x9 en la nave.

En cuanto a la disposición de las luminarias se utilizan dos índices, el índice de malla y el de proximidad. Estos índices se calculan de la siguiente manera:

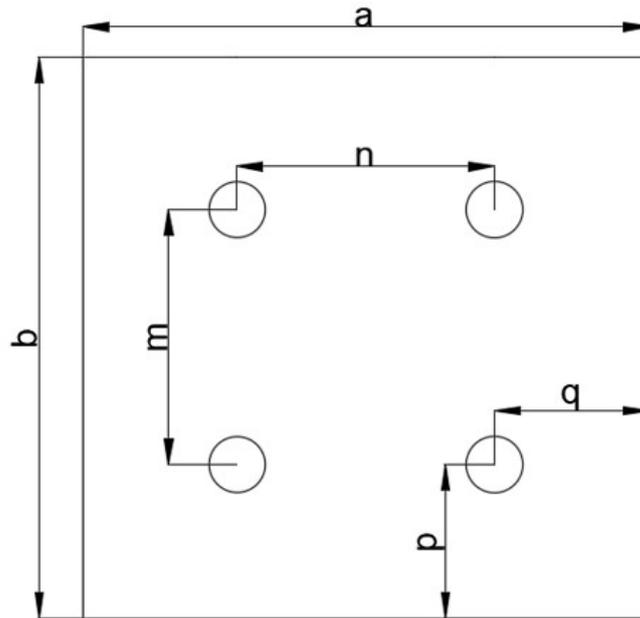
$$K_m = \frac{2 * m * n}{h(m + n)}$$

**Fórmula 16. Índice de malla**

$$K_p = \frac{a * p + b * q}{h(a + b)}$$

**Fórmula 17. Índice de proximidad**

Los componentes de estas ecuaciones se refieren a las medidas expuestas en la siguiente figura. Los círculos representan las luminarias y el cuadrado la sala a iluminar.



**Ilustración 27. Distancias entre luminarias**

Se itera con las fórmulas ya expuestas de índices de malla y proximidad. Se suponen valores para las distancias  $m$  y  $n$ , calculándose el resto de las incógnitas. La iteración se detiene al obtener unos índices similares a los recomendados por el fabricante. En este caso los recomendados eran  $K_m = 1$  y  $K_p = 0.5$ .

Los valores finales obtenidos son los siguientes:

<b>m</b>	5,5
<b>n</b>	5,5
<b><math>K_m</math></b>	1,1
<b><math>K_p</math></b>	0,6
<b>p</b>	3
<b>q</b>	3
<b>b</b>	50
<b>a</b>	50
<b>h</b>	5

**Tabla 21. Distancias entre luminarias**

Se puede observar la distribución final de las luminarias en la nave en el plano número 13 de este trabajo.

## 7.2. CÁLCULO DE CONSUMOS DE LOS EQUIPOS

Para poder realizar la instalación eléctrica primero se calculan los consumos eléctricos de los equipos de la planta. Dichos consumos quedan recogidos en la siguiente tabla:

Equipos	Potencia unit kw	Nº equipos	Potencia equipos kw	V alimnetación
Bombas cerv.	1,5	2	3	400
Macerador	60	2	120	400
Olla cocción	32,5	2	65	400
Compresor	2,2	24	52,8	400
Embotelladora	6	1	6	400
Embarriladora	5	1	5	400
Luces	0,15	81	12,15	220
Bombas inter.	0,7	2	1,4	400
Potencia total	-	-	265,35	-

Tabla 22. Potencias de los equipos

A la potencia total calculada no se le aplicará un coeficiente de seguridad ya que ya está sobredimensionada, es decir, todos los equipos nunca van a estar conectados a la vez.

### 7.3. CÁLCULOS DE SECCIÓN DEL CABLEADO

Hay diferentes líneas de cables de alimentación dentro de la instalación, según a que grupos de consumo alimenten. El esquema de dichas líneas se puede ver en el plano 14.

Para el dimensionado de las líneas se usa el criterio de caída de tensión al tratarse de una instalación de baja tensión.

Se calcula las intensidades de cálculo de las líneas mediante la siguiente fórmula:

$$I_B = \frac{S}{\sqrt{3}U_n}$$

Fórmula 18. Intensidad de cálculo de líneas

Para las líneas con motores se debe tener en cuenta que los motores consumen mayor intensidad en el arranque, por ello la intensidad se calcula así:

$$I_B = 0,25 \frac{S_{mot.max}}{\sqrt{3}U_n} + \frac{\sum S}{\sqrt{3}U_n}$$

Fórmula 19. Intensidad de líneas con motor

Donde  $S_{mot.max}$  es la potencia mayor del motor de la línea. Los resultados son los siguientes:

	IB
L1	86,60
L2	50,09
L3	86,60
L4	50,09
L5	38,11

<b>L6</b>	38,11
<b>L7</b>	15,88
<b>L8</b>	32,80

**Tabla 23. Intensidades de líneas**

El límite de caída de tensión que no debe ser superado se fija en un 3%. El cálculo de la caída de tensión se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta U = \frac{L * \rho * P}{U_N * S}$$

**Fórmula 20. Criterio de caída de tensión**

En dicha fórmula  $\Delta U$  es la caída de tensión, L la longitud de la línea del cable, S la sección del cable,  $\rho$  es la resistividad del material ( $\frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$ ) y U la tensión. Se utiliza como material cables de aluminio con aislamiento de XLPE.

Para las longitudes se ha estimado del lado de la seguridad que cada tramo son 80 metros.

Con dicha fórmula se calcula la sección del cable que permite que la caída de tensión no sea mayor que un 3%. En la siguiente tabla se resumen los datos y resultados obtenidos:

	Potencia (KVA)	U alimentación	Longitud del cable(m)	Caída de tensión (%)	Resistividad	Sección (mm <sup>2</sup> )	Sección comercial (mm <sup>2</sup> )
<b>L1</b>	60	400	80	3	2,82E-08	28,20	35
<b>L2</b>	34,7	400	80	3	2,82E-08	16,31	25
<b>L3</b>	60	400	80	3	2,82E-08	28,20	35
<b>L4</b>	34,7	400	80	3	2,82E-08	16,31	25
<b>L5</b>	26,4	400	80	3	2,82E-08	12,41	16
<b>L6</b>	26,4	400	80	3	2,82E-08	12,41	16
<b>L7</b>	11	400	80	3	2,82E-08	5,17	6
<b>L8</b>	12,5	220	80	3	2,82E-08	19,42	25

**Tabla 24. Secciones de las líneas**

#### 7.4. EQUIPOS DE PROTECCIÓN DE LA INSTALACIÓN FRENTE A SOBREINTENSIDADES

Son necesarios equipos que protejan la instalación de situaciones anómalas donde la instalación se vea sobrecargada trabajando en puntos superiores a los de diseño.

Se distinguen dos situaciones anómalas: las sobrecargas y los cortocircuitos, siendo la intensidad en ambos, superior a la nominal, y en el cortocircuito muy superior a la de sobrecarga.

### 7.4.1. Protección frente a sobrecarga

#### 1.2.1 Protección frente a sobrecarga:

Existen tres elementos principales que pueden proteger a una instalación frente a sobrecargas: PIA: Son pequeños interruptores automáticos, comúnmente conocidos como magnetotérmicos, pensados para el uso de cualquier persona sin necesidad de mantenimiento.

Se diferencian de los IA en que disponen de un solo disparador térmico y otro electromagnético sin regulación posible.

IA: Son interruptores automáticos dotados de un elevado poder de corte que se encargan de cortar automáticamente la corriente en caso de sobrecarga o cortocircuito.

Fusible: Es un dispositivo el cual provoca el corte del circuito cuando uno de sus elementos se funde debido a la temperatura que provoca la corriente al circular por él.

Se ha escogido proteger la instalación mediante IA y PIA. Los IA se encargan de proteger los cortocircuitos y los PIA las sobrecargas. Las fórmulas que deben cumplir para su correcto funcionamiento son las siguientes:

$$IB \leq IN \leq IZ$$

$$I2 \leq 1.45 IZ$$

#### Fórmula 21. Protección a sobrecarga

$$I2 = 1.45 IN$$

#### Fórmula 22. Sobrecarga en PIA

Donde IB es la corriente para la que se ha diseñado el circuito, IN es la corriente nominal asignada al interruptor y es IZ es la corriente admisible del cable. I2 es la corriente que asegura la actuación de protección para un tiempo largo.

En los PIA se puede ver que debido a la fórmula 22 se cumple automáticamente la segunda de las ecuaciones 21.

Las intensidades máximas permitidas por la sección del cable son las siguientes según la norma UNE 20460-5-523:

	IZ
L1	104,00
L2	84,00
L3	104,00
L4	84,00
L5	66,00
L6	66,00

<b>L7</b>	36,00
<b>L8</b>	84,00

**Tabla 25. Intensidades máximas permitidas**

Por lo que se escoge un PIA con una tensión de diseño entre IB e IZ. Se ha escogido el interruptor automático serie EBG de CHINT para las líneas de la 5 a la 8, y el interruptor automático serie DZ158 de CHINT.

#### 7.4.2. Protección frente a cortocircuitos

Para los cortocircuitos, los IA deben cumplir:

$$Pdc > Iccmax$$

$$Iccmin > Ia$$

$$(I^2t)_{IA} < (I^2t)_{ADM} = (K * S)^2$$

#### Fórmula 23. Protección frente a cortocircuitos mediante IA

Pdc es el poder de corte del IA, Iccmax y min son las corrientes de cortocircuito máximas y mínimas. Ia es la intensidad de actuación del disparador,  $(I^2t)_{IA}$  es la energía por ohmio que deja pasar la protección y  $(I^2t)_{ADM}$  es la energía por ohmio que soporta el cable.

Es decir, el poder de corte debe ser superior a la máxima corriente de cortocircuito ya que en caso contrario no podría cortar dicho cortocircuito.

La última condición es que la energía que permite el paso el IA sea inferior a la admisible por el cable y que este no sea dañado por ella.

La corriente de cortocircuito mínima deber ser más grande que la corriente de activación del IA para que este pueda detectarla y actuar.

Para el cálculo de Iccmax se utiliza la siguiente fórmula:

$$I_{ccmax} = \frac{U_n}{\sqrt{3} * Z_{eq}}$$

#### Fórmula 24. Corriente de cortocircuito máxima

$Z_{eq}$  es la impedancia equivalente del recorrido del cortocircuito. En este caso se ha tomado la impedancia de las líneas.

Para el cálculo de la Iccmin se ha tomado la siguiente fórmula de cálculo:

$$I_{ccmin} = 0.5 * I_{cctripolar}$$

#### Fórmula 25. Corriente de cortocircuito mínima

Para el cálculo de dicha intensidad se aumenta la impedancia por 1.25 para tener en cuenta el efecto del aumento de temperatura. El 0.5 se usa ya que el cortocircuito de menor corriente no sería tripolar sino entre fase y fase o fase y neutro.

Las intensidades mínimas y máximas obtenidas se resumen en la siguiente tabla:

	<b>Zeq (mΩ)</b>	<b>Iccmax (KA)</b>	<b>Iccmin (KA)</b>
<b>L1</b>	64,95	3,5556	1,4222
<b>L2</b>	90,59	2,5492	1,0197
<b>L3</b>	64,95	3,5556	1,4222
<b>L4</b>	90,59	2,5492	1,0197
<b>L5</b>	141,23	1,6352	0,6541
<b>L6</b>	141,23	1,6352	0,6541
<b>L7</b>	376,09	0,6141	0,2456
<b>L8</b>	90,59	1,4020	0,5608

**Tabla 26. Intensidades máximas y mínimas de cortocircuito**

Para el cálculo de la energía admisible por el cable se utiliza la siguiente fórmula:

$$I^2 t_{adm} = (K * S)^2$$

**Fórmula 26. Cálculo de energía admisible por el cable**

Donde K es una constante que varía según el material de cable y del aislante del mismo, y S es la sección del cable en mm<sup>2</sup>. Los resultados obtenidos para las líneas se resumen en la siguiente tabla:

	<b><math>I^2 t_{adm}</math></b>
<b>L1</b>	10824100
<b>L2</b>	5522500
<b>L3</b>	10824100
<b>L4</b>	5522500
<b>L5</b>	2262016
<b>L6</b>	2262016
<b>L7</b>	318096

<b>L8</b>
-----------

5522500
---------

**Tabla 27. Energía admitida por ohmio**

Se comprueba que se cumplen las tres condiciones de selección del IA y se escoge un IA adecuado a las instalación.

## CAPÍTULO 8 CONSTRUCCIÓN DE LA NAVE

### 8.1 HIPÓTESIS DE CÁLCULO

Las dimensiones de la planta son de 50 metros por 50 metros, lo que hacen un total de 2500  $m^2$ .

#### 8.1.1 Acciones Permanentes

Las únicas acciones permanentes de la nave es su propio peso. Como valor general para la carga de la estructura se toma  $0.5 \text{ kN}/m^2$ . Para el peso de los cerramientos se toma  $0.15 \text{ kN}/m^2$ .

Las acciones permanentes por tanto son de  $0.65 \text{ kN}/m^2$ .

#### 8.1.2 Acciones Variables

- Sobrecarga de Uso:  
Según CTE DB SE-AE en la Tabla 3.1 para la categoría de cubiertas accesibles únicamente para conservación la carga es  $Q_u = 0.40 \text{ kN}/m^2$
- Sobrecarga de Nieve:  
En base a la ubicación de la nave y la inclinación de la cubierta se le asigna una sobrecarga u otra.

$$Q_{nk} = S_k * \mu$$

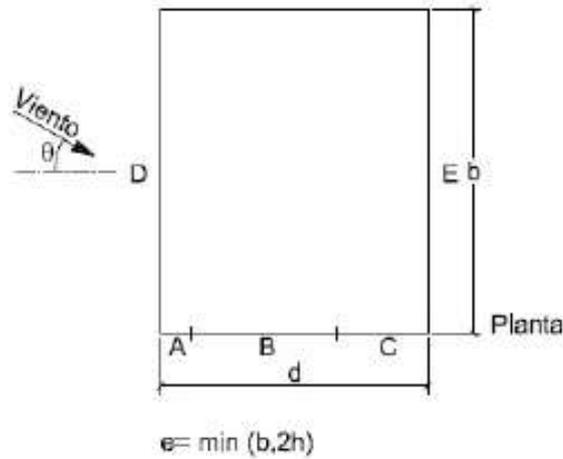
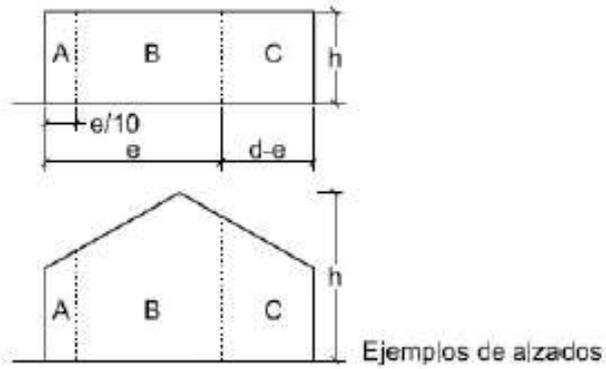
#### Fórmula 27. Sobrecarga de Nieve

- Sobrecarga de Viento:  
La sobrecarga de viento se calcula según la presión dinámica del viento  $q_b$  según la zona geográfica, el coeficiente de exposición  $c_e$  que depende del entorno y el coeficiente eólico  $c_p$  que depende del viento.

$$q_e(Z) = q_b * c_e(Z) * c_p$$

#### Fórmula 28. Sobrecarga de Viento

Para el coeficiente eólico frente a viento exterior se utilizan la siguiente distribución:



A (m <sup>2</sup> )	h/d	Zona (según figura), $-45^\circ < \theta < 45^\circ$				
		A	B	C	D	E
≥ 10	5	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	0,7	-0,3
5	5	-1,3	-0,9	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	0,8	-0,3
2	5	-1,3	-1,0	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	0,7	-0,3
≤ 1	5	-1,4	-1,1	-0,5	1,0	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	"	-0,3

**Ilustración 28. Distribución viento exterior**

Para el viento exterior aplicado en la cubierta se realiza otra distribución de cargas:

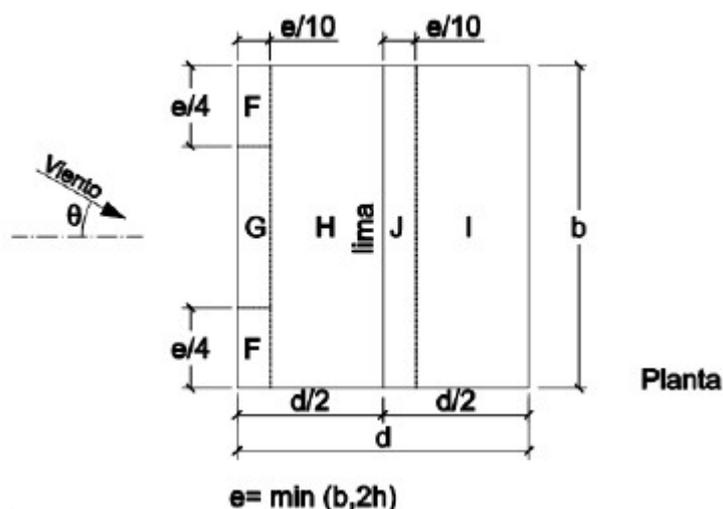


Ilustración 29. Distribución viento exterior en cubierta

Pendiente de la cubierta $\alpha$	A (m <sup>2</sup> )	Zona (según figura)				
		F	G	H	I	J
5°	≥ 10	-1,7 +0,0	-1,2 +0,0	-0,6 +0,0	-0,6 0,2	-0,6 0,2
15°	≥ 10	-0,9 0,2	-0,8 0,2	-0,3 0,2	-0,4 +0,0	-1 +0,0

Ilustración 30. Valores de cargas en cubierta por viento exterior

Para el viento interior en este caso se considera una acción extraordinaria por lo que no se ha calculado.

## 8.2 HIPÓTESIS EN CYPE

Las hipótesis de cálculo y normas utilizadas por el software son las siguientes:

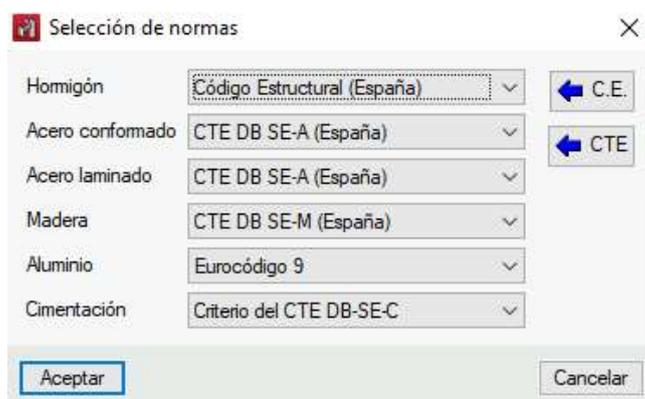


Ilustración 31. Normas de materiales

Se tienen en cuenta cargas de viento y de nieve. Indicando la situación geográfica de la nave, Alboraya, se calculan las cargas asociadas al viento.

Para la nieve además de la situación geográfica, se tiene en cuenta la exposición de la nave al viento.

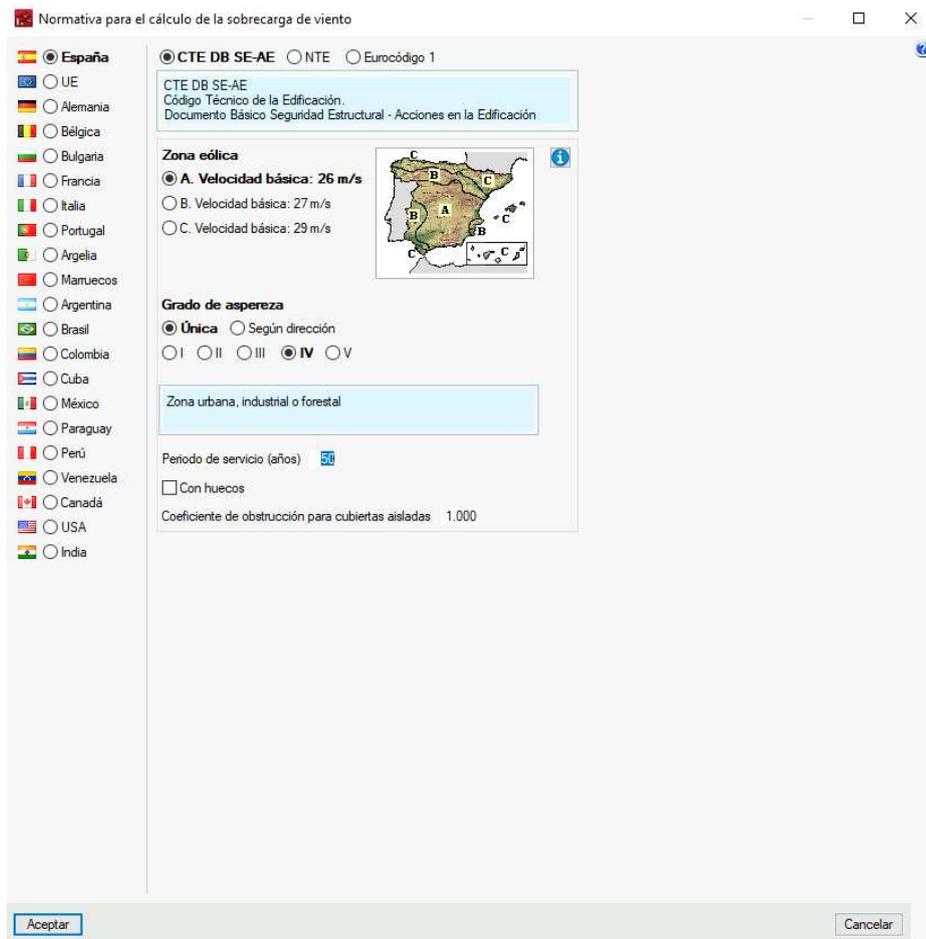


Ilustración 32. Hipótesis de cálculo de viento

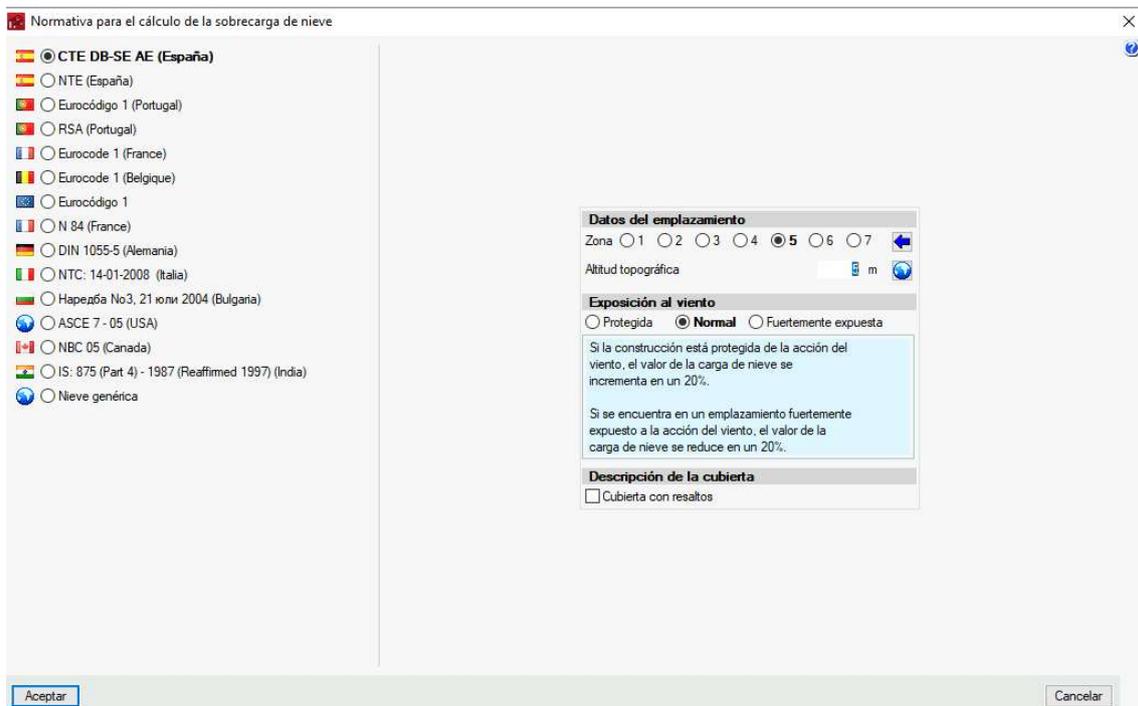


Ilustración 33. Hipótesis de cálculo de viento

### **8.3. ACTUACIONES PREVIAS**

La situación inicial es una parcela vacía y nueva.

El primer paso es desbrozar y preparar el terreno para la obra. Se eliminan también rocas y elementos que estorben y haya sobre el terreno.

Posteriormente, se realizan las excavaciones para las cimentaciones.

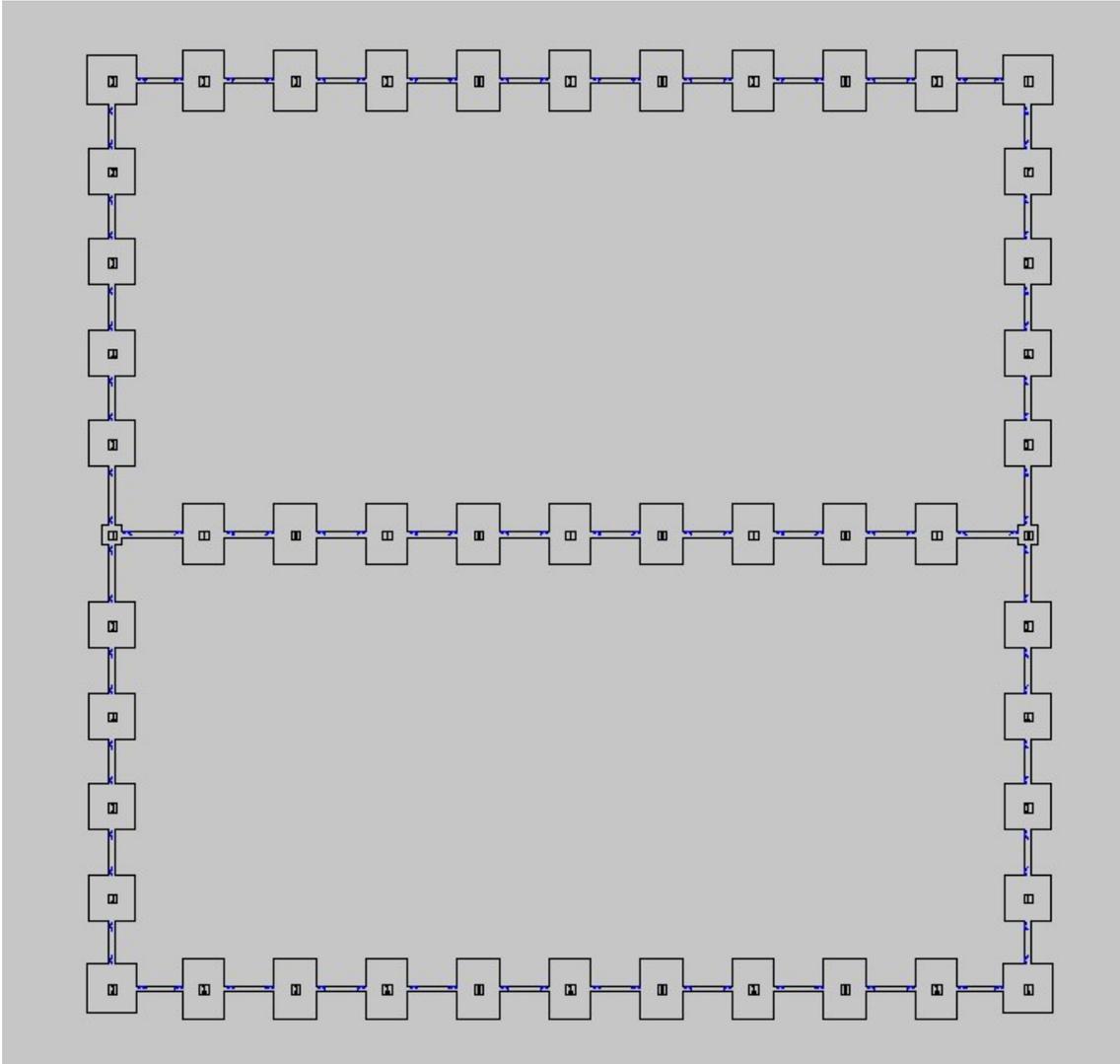
### **8.4. CIMENTACIÓN**

La cimentación se divide en tres partes principales: el hormigonado de limpieza, zapatas y vigas de atado.

Se coloca una capa de 10 cm de hormigón de limpieza debajo de las zapatas de forma que evite la contaminación del hormigón estructural.

Los pórticos interiores están provistos de zapatas rectangulares centradas aislada, mientras que los pilares de los pórticos de fachada son cuadradas. Las zapatas del pilar central del pórtico de fachada es de mucho menor tamaño ya que la carga transmitida por él también es mucho menor.

Todo esto se puede observar en la siguiente imagen:



**Ilustración 34. Cimentación de la nave**

Respecto a las vigas de atado sirven para absorber esfuerzos horizontales generados en la estructura y evitar desplazamientos laterales. Las vigas de atado enlazan la totalidad de las zapatas de la estructura.

### **8.5. SOLERA**

Es un elemento constructivo no estructural que proporciona una superficie firme horizontal para zonas de edificación.

Primero se coloca una lámina de polietileno para poder verter posteriormente el hormigón sin que haya pérdidas del mismo.

Se coloca un mallazo electrosoldado cerca de la superficie final de la solera que se encarga de resistir las tensiones de tracción producidos por fenómenos higrotérmicos.

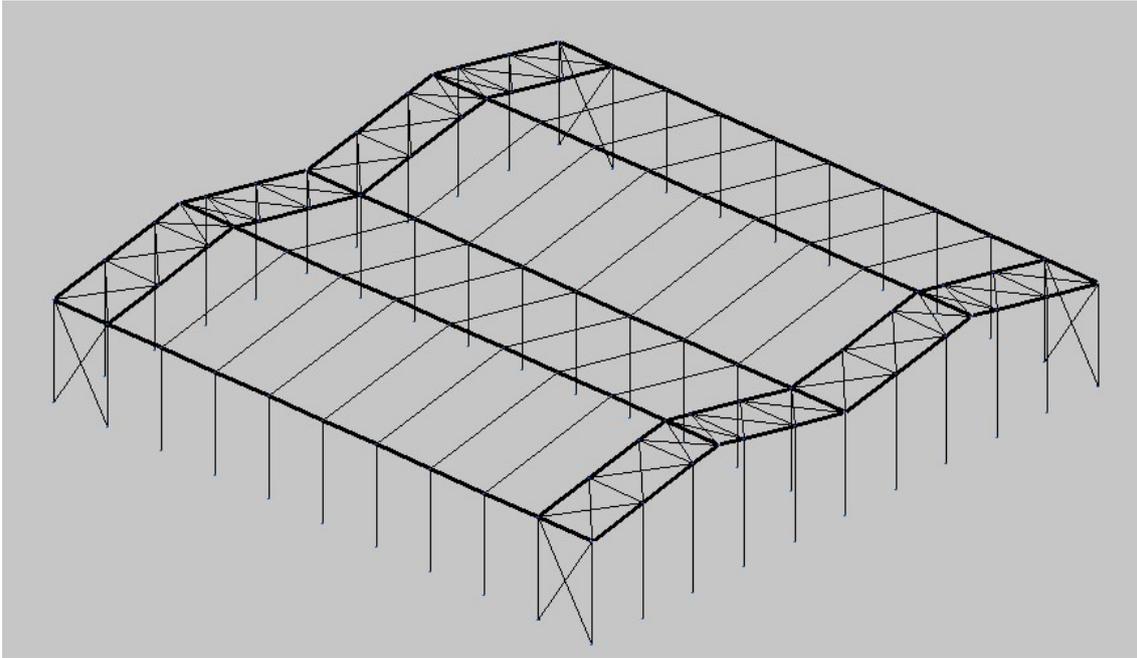
Se colocan también juntas que permitan el movimiento del hormigón, para evitar la fisuración superficial, en el perímetro de la solera y en los pilares.

## 8.6. ESTRUCTURA

La nave está compuesta por dos pórticos a dos aguas consecutivos de 50 metros de longitud y 25 metros de luz. La altura de los pilares laterales es de 8 metros y una altura máxima de 10,5 metros. La distancia entre pórticos es de 5 metros habiendo en total 11 pórticos. Los pilares de fachada tienen una separación de 5 metros.

Se colocan arriostramientos laterales y en cubierta mediante cruces de San Andrés y se coloca también en el lateral una viga perimetral para restringir la translacionalidad de la estructura.

El esquema de la estructura se puede ver también en el plano 11 de este trabajo.



**Ilustración 35. Estructura general de la nave**

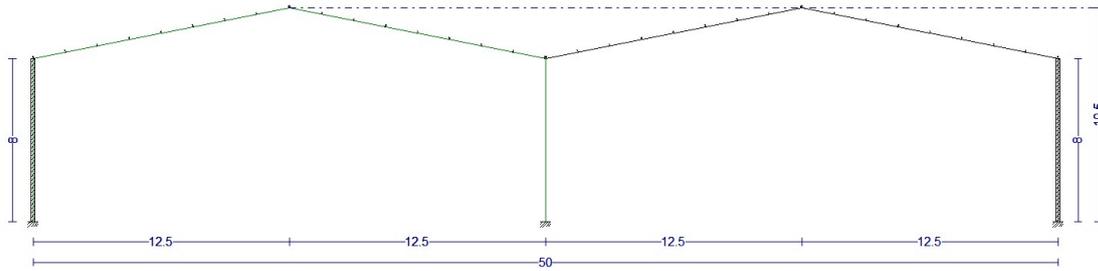
### 8.6.1. Pórtico interior

La nave en total está compuesta por 9 pórticos interiores idénticos en materiales y dimensiones. El pórtico interior tipo es como el mostrado en la siguiente imagen.

Los pilares son de 8 metros de altura, el material es acero S275 y IPE 330. Las jácenas miden 12,748 metros de longitud y de IPE 360. La altura máxima de la nave es de 10,5 metros. Están fijos a la jácena mediante soldadura y al suelo mediante zapatas y placa de anclaje.

Las correas están situadas en la jácena con una separación de 1,5 metros entre ellas de acero S275 y de IPE 100.

El pórtico interior se puede observar con más detalle en el plano 9 de este trabajo.



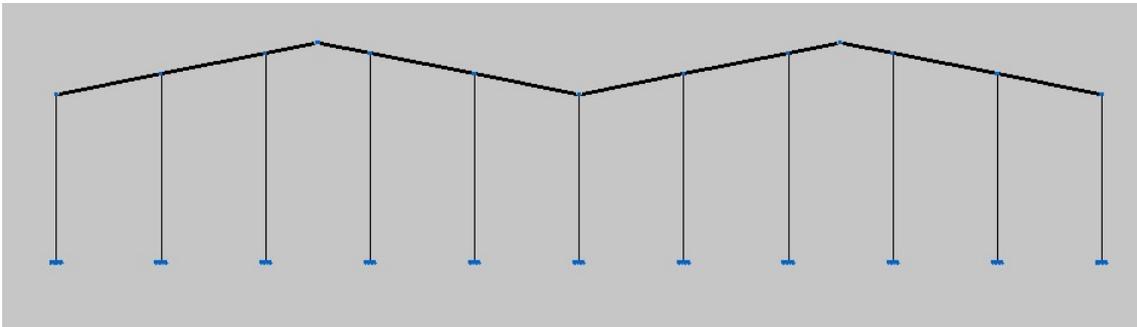
**Ilustración 36. Pórtico interior de la nave**

### 8.6.2. Pórtico de fachada

Ambas fachadas, tanto la anterior como la posterior son idénticas. Los pilares de los extremos tienen 8 metros de altura, lo siguiente más exteriores 9 y los siguientes 10 metros de altura. En total hay 9 pilares internos en la fachada. Los pilares externos son un perfil IPE 330 mientras que los internos son un perfil IPE 400, excepto el céntrico que es un IPE 500.

La distancia entre los pilares de fachada es de 5 metros. Hay 4 jácenas de 12,75 metros cada una. Las jácenas están diseñadas con un perfil IPE 360 con acero S275.

El pórtico de fachada se puede observar con más detalle en el plano 8 de este trabajo.

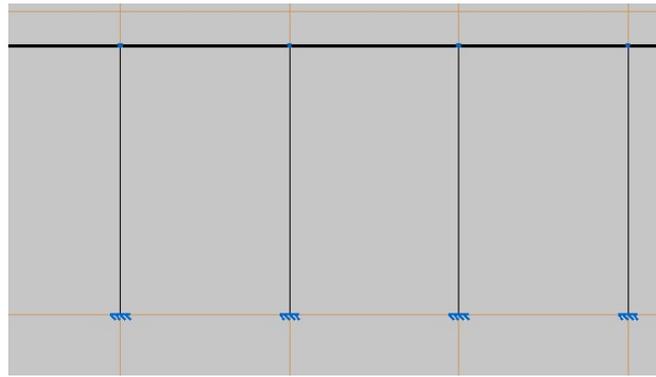


**Ilustración 37. Pórtico de fachada de la nave**

### 8.6.3. Viga perimetral

Hay 2 vigas perimetrales, 1 por cada lado de la nave, que enlazan las cabezas de los pilares laterales. Mejoran la estabilidad de la nave y complementan el arriostramiento de la misma. Están dimensionadas como IPE 270 con acero S275.

La viga perimetral se puede observar con más detalle en el plano 10 de este trabajo.



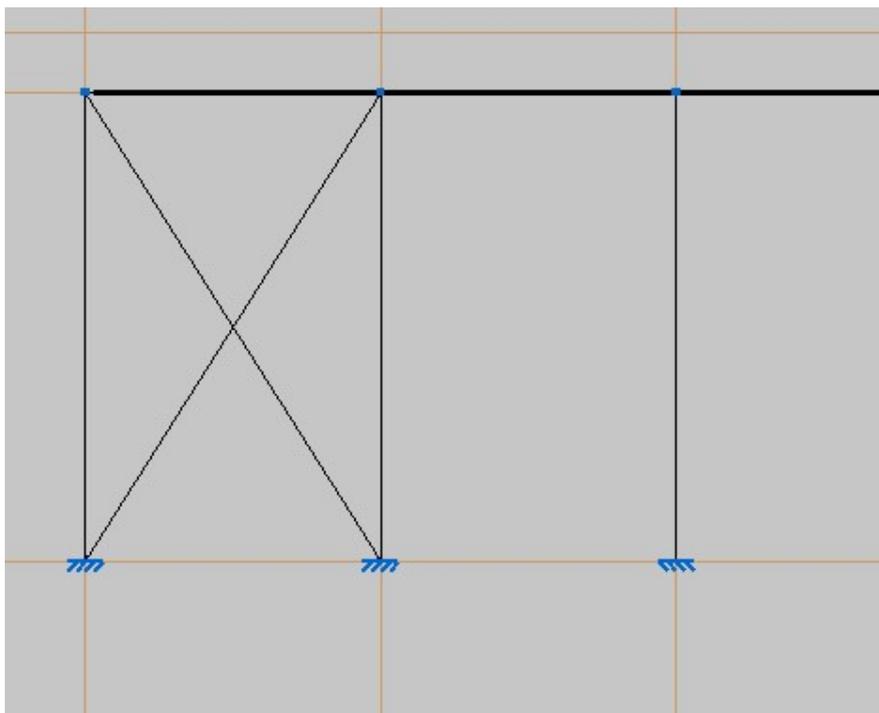
**Ilustración 38. Viga perimetral**

#### **8.6.4. Sistema contraviento**

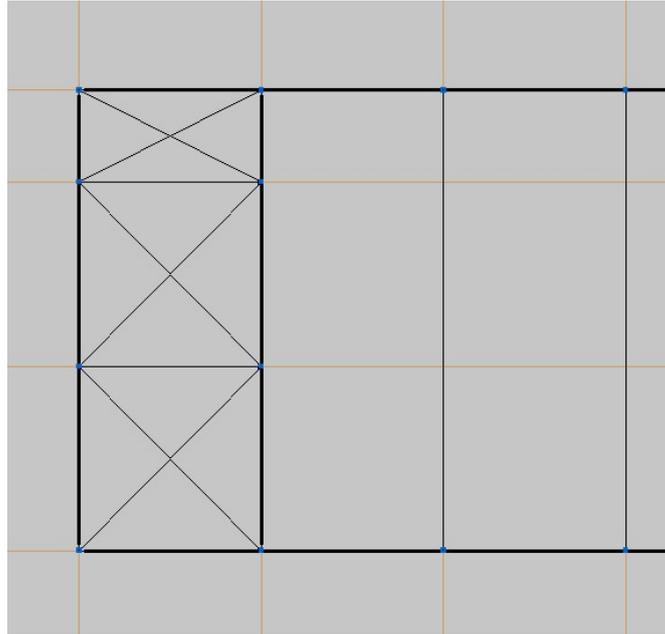
El sistema de contraviento se basa en la Cruz de San Andrés, la cual evita el pandeo bajo cargas verticales.

Las cruces de San Andrés están dispuestas tanto en los laterales de la nave como en las cubiertas. Las cruces laterales están dimensionadas con un Perfil R23,6 mientras que las cruces de las cubiertas lo están con un perfil R24.

La cruz de San Andrés lateral se puede observar con más detalle en el plano 10 de este trabajo.



**Ilustración 39. Cruz de San Andrés lateral**



**Ilustración 40. Cruz de San Andrés de cubierta**

### **8.7. CÁLCULOS ESTRUCTURALES**

Los cálculos y resultados del cálculo estructural se pueden encontrar en Anexo 4 al final de este trabajo.

Los tamaños de IPE a utilizar en cada elemento de la nave también están indicados en dicho anexo.

## **CAPÍTULO 9 OBRA CIVIL**

### **9.1. ELEMENTOS DE UNIÓN Y SUJECCIÓN**

Algunos elementos de la instalación pueden sufrir debido a la presión, como son: codos y válvulas. Por ello, se opta por reforzar estos puntos débiles con un bloque macizo de hormigón a su alrededor para fijarlos y evitar problemas en la conducción.



**Ilustración 41. Anclaje en codo (Iagua, 2018)**

Las válvulas que van enterradas y ancladas son todas aquellas que no son las de entrada y salida de un depósito/ tanque del proceso productivo. Dichas válvulas se pueden observar en el plano 5.

Además del anclaje, las válvulas enterradas están instaladas en cajas de registro con que permiten el acceso a la válvula.

### **9.2. PROFUNDIDAD DE LAS CONDUCCIONES**

Las tuberías van enterradas por el suelo de la planta. Todos los tramos excepto el tramo 6 están situados a 30 cm de profundidad. El tramo 6 en cambio va situado a 50 cm de profundidad para evitar cruces con el resto de tramos.

Dicha distribución y sección de profundidad de las tuberías puede verse en el plano número 7.

En un punto en concreto de cada línea se produce una intersección del tramo 4 con los tramos: 2, 3 y 4. Para sortear dicho cruce el tramo 4 baja hasta los 50 cm de profundidad para luego recuperar altura hasta los 30 cm.

Dicha distribución y sección de profundidad de las tuberías puede verse en el plano número 6.

### **9.3. ELEMENTOS DE SUJECCIÓN ELÉCTRICOS**

Los cables eléctricos irán por la planta mediante bandejas perforadas metálicas situadas a 3 metros de altura del suelo de la nave.

Las bandejas se sujetan mediante anclajes a la pared de la nave aquellas que van perimetralmente. Las que se internan dentro de la nave son sujetadas por unas barras horizontales que cruzan la nave de parte a parte y se enganchan a pared y al pilar central.

Dichas barras de sujeción se colocan media metro por encima de la altura de las bandejas. La unión a las paredes tanto de las barras de sujeción como de las bandejas es mediante tornillos. La unión entre la barra de sujeción y las bandejas se hace mediante un gancho que encaja en las varillas de la bandeja.



**Ilustración 42 Bandeja portacables (auna distribución, 2020)**



**Ilustración 43. Sujeción de bandejas portacables (auna distribución, 2020)**

## **CAPÍTULO 10 CONCLUSIONES**

En la realización de este trabajo se logra diseñar exitosamente una línea completa y funcional de fabricación de cerveza industrial.

Se comienza con el estudio teórico de la creación de la cerveza, desde las materias primas necesarias hasta su embotellado, incluyendo todos los procesos intermedios.

La selección de los equipos tiene como criterio la mejor calidad de producto y como segundo criterio, naturalmente, el precio. Además, los equipos cumplen con una serie de requisitos y condiciones mínimas exigidas de funcionamiento.

Posteriormente, se realiza en más profundidad el diseño y cálculo de las necesidades de bombeo. Se escogen equipos de bombeo que cumplan con las necesidades y requisitos obligatorios además de, aportar el máximo valor añadido mediante otras características.

Dichos equipos de bombeo escogidos, poseen unas buenas características de trabajo con sólidos en suspensión y fluidos de alta temperatura y densidad. Son poco comunes en comparación al resto de bombas hidráulicas del mercado, debido a su rodete monoálabe en forma de tornillo. Esta característica es la principal ventaja y característica que aporta un mejor funcionamiento a la línea de fabricación con respecto a otras.

Con la solución escogida se logra, además de una línea de funcional, una mayor flexibilidad en la producción pudiendo crecer horizontalmente en cuanto a producto con un menor coste de oportunidad.

Se diseña una nave industrial amplia capaz de albergar todos los equipos necesarios para llevar a cabo la actividad industrial.

También se logra satisfacer las necesidades eléctricas de la nave diseñando la instalación eléctrica de acuerdo con las necesidades de consumo de los equipos de la línea de fabricación y de la nave.

Además, este proyecto contribuye con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, concretamente con los objetivos: 7 energía asequible y no contaminante, 8 trabajo decente y crecimiento económico y 9 industria, innovación e infraestructura. Mediante la selección de equipos eficientes y de bajo consumo, y con la construcción de una industria este proyecto aporta a la causa de dichos objetivos.

Como futuras líneas de mejora se establece el diseño de una línea de malteado para poder tratar la malta y personalizar aún más la cerveza.

Se extrae como conclusión que el diseño de una línea de fabricación de cerveza no es único. Hay muchas formas de crear una línea de cerveza y todas ellas pueden ser buenas soluciones, depende de las condiciones de presupuesto y espacio y de los objetivos que se busquen cumplir.

En este trabajo se opta por priorizar la calidad de los equipos y la flexibilidad de producción, sin que esto conlleve un gasto desmesurado. En cambio, se optaría por equipos mucho más baratos si se tuviera un límite de presupuesto, o se optaría (Martín Navarro, 2017) por una línea (Bandeja portacables, 2020) de capacidad unitaria mayor si fuera a producir un único tipo de cerveza.

## BIBLIOGRAFIA

- Alboraya y alrededores.* (s.f.). Obtenido de google maps.com:  
<https://www.google.com/maps/place/Alboraya,+Valencia/@39.4979664,-0.3668709,14z/data=!4m5!3m4!1s0xd60463d7931a313:0x17118901ff5fdd4a!8m2!3d39.4989552!4d-0.3510141>
- Bandeja portacables.* (2020). Obtenido de Aunadistribución.com:  
<https://www.aunadistribucion.com/mostrar-catalogo/1198>
- Bolsa metálica para cocción.* (s.f.). Obtenido de Maltacerveceros.com:  
<http://www.maltascerveceros.com/la-cocción/>
- Consumo de cerveza en el mundo.* (2021). Obtenido de La Vanguardia.com:  
<https://www.lavanguardia.com/comer/al-dia/20210302/6262331/mapa-definitivo-paises-toman-mas-cerveza-mas-barata.html#foto-1>
- Diámetros de tubería de PE.* (2021). Obtenido de Inoxpres.com:  
<https://inoxpres.com/producto/tuberia-polietileno/>
- Diámetros de tuberías de acero inoxidable.* (2021). Obtenido de Inoxpres.com:  
<https://inoxpres.com/producto/tuberia-acero-inoxidable/>
- El agua en la fabricación de cerveza.* (2017). Obtenido de eficrea.com:  
<https://eficrea.com/blog/el-agua-en-la-fabricacion-de-cerveza>
- Gráfica de presiones de vapor.* (s.f.). Obtenido de Hyperphysics.com: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Kinetic/watvap.html>
- Impulsor cerrado de varios canales.* (2016). Obtenido de Ingenieriamecanicaymas.com:  
<https://ingenieriamecanicaymaas.blogspot.com/2016/08/clasificacion-y-tipos-de-bombas.html>
- Impulsor monocal.* (2016). Obtenido de Ingenieriamecanicaymas.com:  
<https://ingenieriamecanicaymaas.blogspot.com/2016/08/clasificacion-y-tipos-de-bombas.html>
- Impulsor vortex.* (2016). Obtenido de Ingenieriamecanicaymas.com:  
<https://ingenieriamecanicaymaas.blogspot.com/2016/08/clasificacion-y-tipos-de-bombas.html>
- Intercambiador de haces tubular.* (2021). Obtenido de Sagafluid.com:  
<https://sagafluid.com/intercambiador-de-calor-tubular/>
- Macerador.* (2021). Obtenido de Inoxmexico.com:  
<https://www.inoxmexico.com/categoria/8/buen-fin-42/2/mash-macerador>
- Máquina embotelladora.* (2020). Obtenido de Estrella Levante.com:  
<https://www.estrelladelevante.es/es>
- Martín Navarro, C. (2017). *Proyecto estructural de construcción de nave industrial de 4300 m2 para almacenamiento de agua embotellada para la empresa "aguas de chovar".* Obtenido de RIUNET.UPV.ES:

- [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/84127/18451818E%20-%20TFG\\_14969930558312172113670039733356.pdf?sequence=2](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/84127/18451818E%20-%20TFG_14969930558312172113670039733356.pdf?sequence=2)
- Motores eléctricos de baja tensión.* (2021). Obtenido de ABB.com: <https://new.abb.com/motors-generators/es/motores-de-baja-tension-iec>
- Olla de cocción.* (2021). Obtenido de Icespedes.com: [https://www.icespedes.com/catalog/es/133-fermentadores-de-cerveza?gclid=CjwKCAiAqIKNBhAIEiwAu\\_ZLDmgsHqTWPXMq1qERBfoUjB3tCI5wwZGUelyr-r6pqO3F8ib3SLISlXoCyfsQAvD\\_BwE](https://www.icespedes.com/catalog/es/133-fermentadores-de-cerveza?gclid=CjwKCAiAqIKNBhAIEiwAu_ZLDmgsHqTWPXMq1qERBfoUjB3tCI5wwZGUelyr-r6pqO3F8ib3SLISlXoCyfsQAvD_BwE)
- Partes de una bomba hidráulica.* (2016). Obtenido de Ingenieriamecanicaymas.com: <https://ingenieriamecanicaymaas.blogspot.com/2016/08/clasificacion-y-tipos-de-bombas.html>
- Pastor Grau, F. (2019). *Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión para una potencia de 400kW en una fábrica de muebles en Cartagena.* Obtenido de RIUNET.UPV.ES: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/84127/18451818E%20-%20TFG\\_14969930558312172113670039733356.pdf?sequence=2](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/84127/18451818E%20-%20TFG_14969930558312172113670039733356.pdf?sequence=2)
- Sellos de empaquetadura.* (2016). Obtenido de Ingenieriamecanicaymas.com: <https://ingenieriamecanicaymaas.blogspot.com/2016/08/clasificacion-y-tipos-de-bombas.html>
- Sellos mecánicos.* (2016). Obtenido de Ingenieriamecanicaymas.com: <https://ingenieriamecanicaymaas.blogspot.com/2016/08/clasificacion-y-tipos-de-bombas.html>
- Sujeción bandejas portacables.* (2020). Obtenido de Aunadistribución.com: <https://www.aunadistribucion.com/mostrar-catalogo/1198>
- Tanque fermentador.* (2021). Obtenido de Cerveza artesanal.com: <https://hacercervezaartesanal.com/tipos-de-fermentadores-cerveza/>
- Tipos de bombas de desplazamiento positivo.* (2016). Obtenido de Ingenieriamecanicaymas.com: <https://ingenieriamecanicaymaas.blogspot.com/2016/08/clasificacion-y-tipos-de-bombas.html>
- Tipos de flujo.* (2016). Obtenido de Ingenieriamecanicaymas.com: <https://ingenieriamecanicaymaas.blogspot.com/2016/08/clasificacion-y-tipos-de-bombas.html>
- Tornillo helicoidal centrífugo.* (2016). Obtenido de Ingenieriamecanicaymas.com: <https://ingenieriamecanicaymaas.blogspot.com/2016/08/clasificacion-y-tipos-de-bombas.html>
- Valores de iluminancia recomendados. (2010). En J. Roger Folch, M. Riera Guasp, & C. Roldán Porta, *Tecnología eléctrica.*
- Válvula antirretorno.* (2021). Obtenido de Inoxalia.com: <https://www.inoxalia.net/tipos-valvulas-distinto-funcionamiento/>

*Válvula de corte.* (2021). Obtenido de Inoxalia.com: <https://www.inoxalia.net/tipos-valvulas-distinto-funcionamiento/>

*Válvula reductora de presión.* (2021). Obtenido de Inoxalia.com: <https://www.inoxalia.net/tipos-valvulas-distinto-funcionamiento/>

*Válvulas reductoras seleccionables.* (2021). Obtenido de Bermad.com: [https://www.bermad.com/app/uploads/2016/06/ww-720\\_spanish.pdf](https://www.bermad.com/app/uploads/2016/06/ww-720_spanish.pdf)

*Zona de cavitación de la válvula.* (2021). Obtenido de Bermad.com: [https://www.bermad.com/app/uploads/2016/06/ww-720\\_spanish.pdf](https://www.bermad.com/app/uploads/2016/06/ww-720_spanish.pdf)



# **PRESUPUESTO**



## TABLA DE PRECIOS DESCOMPUESTOS

Presupuesto				% C.I. 3		
Código	Tipo	Ud	Resumen	Cantidad	Precio (€)	Importe (€)
<b>TFM PRUEBAS 2 PRESUPUESTO</b>					<b>935.181,70</b>	<b>935.181,70</b>
<b>A010000</b>	<b>Capítulo</b>		<b>Demolición y construcción de la nave</b>		<b>655.033,46</b>	<b>655.033,46</b>
<b>DRS015b</b>	Partida	m <sup>2</sup>	Demolición de pavimento de cemento.	600,000	5,53	3.318,00
m05mai030	Maquinaria	h	Martillo neumático.	0,136	4,060	0,55
m05pdm110	Maquinaria	h	Compresor portátil diesel media presión 10 m <sup>3</sup> /min.	0,136	6,880	0,94
mo112	Mano de obra	h	Peón especializado construcción.	0,105	18,120	1,90
mo113	Mano de obra	h	Peón ordinario construcción.	0,105	17,820	1,87
%		%	Costes directos complementarios	2,000	5,260	0,11
			<b>DRS015b</b>	<b>600,000</b>	<b>5,53</b>	<b>3.318,00</b>
<b>GTA010</b>	Partida	Ud	Transporte de tierras con contenedor.	30,000	99,55	2.986,50
m04res010apa	Maquinaria	Ud	Carga y cambio de contenedor de 7 m <sup>3</sup> , para recogida de tierras, colocado en obra a pie de carga, incluso servicio de entrega y alquiler.	1,044	90,760	94,75
%		%	Costes directos complementarios	2,000	94,750	1,90
			<b>GTA010</b>	<b>30,000</b>	<b>99,55</b>	<b>2.986,50</b>
<b>ADR030</b>	Partida	m <sup>3</sup>	Relleno para base de pavimento.	600,000	77,53	46.518,00
mt10hmf011xb	Material	m <sup>3</sup>	Hormigón no estructural HNE-15/B/20, fabricado en central.	1,000	65,680	65,68
m06bhe010	Maquinaria	h	Camión bomba estacionado en obra, para bombeo de hormigón.	0,040	169,320	6,77
mo020	Mano de obra	h	Oficial 1ª construcción.	0,025	19,030	0,48
mo113	Mano de obra	h	Peón ordinario construcción.	0,048	17,820	0,86
%		%	Costes directos complementarios	2,000	73,790	1,48
			<b>ADR030</b>	<b>600,000</b>	<b>77,53</b>	<b>46.518,00</b>
<b>CSZ010</b>	Partida	m <sup>3</sup>	Zapata de cimentación de hormigón armado.	0,700	189,78	132,85
mt07aco020a	Material	Ud	Separador homologado para cimentaciones.	8,000	0,150	1,20
mt07aco010c	Material	kg	Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, de varios diámetros.	50,000	1,590	79,50
mt08var050	Material	kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0,200	1,090	0,22
mt10haf010ctLc	Material	m <sup>3</sup>	Hormigón HA-25/F/20/XC2, fabricado en central.	1,100	80,490	88,54
mo043	Mano de obra	h	Oficial 1ª ferrallista.	0,082	20,740	1,70
mo090	Mano de obra	h	Ayudante ferrallista.	0,122	19,680	2,40
mo045	Mano de obra	h	Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,051	20,740	1,06

Título del Trabajo Fin de Máster

mo092	Mano de obra	h	Ayudante estructurista, en trabajos de puesta en obra del hormigón.	0,306	19,680	6,02
%		%	Costes directos complementarios	2,000	180,640	3,61
			<b>CSZ010</b>	<b>0,700</b>	<b>189,78</b>	<b>132,85</b>
<b>EAS005</b>	Partida	Ud	Placa de anclaje de acero, con pernos soldados.	43,000	28,77	1.237,11
mt07ala011k	Material	kg	Pletina de acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, para aplicaciones estructurales. Trabajada y montada en taller, para colocar con uniones soldadas en obra.	5,888	2,000	11,78
mt07aco010c	Material	kg	Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, de varios diámetros.	1,775	1,590	2,82
mq08sol020	Maquinaria	h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	0,015	3,180	0,05
mo047	Mano de obra	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0,315	20,740	6,53
mo094	Mano de obra	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,315	19,680	6,20
%		%	Costes directos complementarios	2,000	27,380	0,55
			<b>EAS005</b>	<b>43,000</b>	<b>28,77</b>	<b>1.237,11</b>
<b>EAM010</b>	Partida	m <sup>2</sup>	Estructura metálica realizada con pórticos.	2.500,000	67,98	169.950,00
mt07ala010deb	Material	kg	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales, acabado con imprimación antioxidante. Trabajado y montado en taller, para colocar con uniones soldadas en obra.	32,800	1,430	46,90
mq08sol010	Maquinaria	h	Equipo de oxicorte, con acetileno como combustible y oxígeno como comburente.	0,010	7,330	0,07
mq08sol020	Maquinaria	h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	0,015	3,180	0,05
mq07ple010bg	Maquinaria	Ud	Alquiler diario de cesta elevadora de brazo articulado, motor diésel, de 16 m de altura máxima de trabajo, incluso mantenimiento y seguro de responsabilidad civil.	0,010	119,880	1,20
mq07gte010a	Maquinaria	h	Grúa autopropulsada de brazo telescópico con una capacidad de elevación de 12 t y 20 m de altura máxima de trabajo.	0,010	48,710	0,49
mo047	Mano de obra	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0,396	20,740	8,21
mo094	Mano de obra	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,396	19,680	7,79
%		%	Costes directos complementarios	2,000	64,710	1,29
			<b>EAM010</b>	<b>2.500,000</b>	<b>67,98</b>	<b>169.950,00</b>
<b>EAV010</b>	Partida	kg	Acero en vigas.	8.000,000	2,22	17.760,00
mt07ala010dab	Material	kg	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales, de las series IPN, IPE, HEB, HEA, HEM o UPN, acabado con imprimación antioxidante. Trabajado y montado en taller, para colocar con uniones soldadas en obra.	1,000	1,430	1,43
mq08sol020	Maquinaria	h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	0,018	3,180	0,06
mo047	Mano de obra	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0,020	20,740	0,41
mo094	Mano de obra	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,011	19,680	0,22
%		%	Costes directos complementarios	2,000	2,120	0,04
			<b>EAV010</b>	<b>8.000,000</b>	<b>2,22</b>	<b>17.760,00</b>
<b>EAS010</b>	Partida	kg	Acero en pilares.	40.000,000	2,22	88.800,00
mt07ala010dab	Material	kg	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales, de las series IPN, IPE, HEB, HEA, HEM o UPN, acabado con imprimación antioxidante. Trabajado y montado en taller, para colocar con uniones soldadas en obra.	1,000	1,430	1,43

Título del Trabajo Fin de Máster

mq08sol020	Maquinaria	h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	0,015	3,180	0,05
mo047	Mano de obra	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0,016	20,740	0,33
mo094	Mano de obra	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,016	19,680	0,31
%		%	Costes directos complementarios	2,000	2,120	0,04
			<b>EAS010</b>	<b>#####</b>	<b>2,22</b>	<b>88.800,00</b>
<b>EAS010b</b>	Partida	kg	Acero en cruces de San Andrés.	8.000,000	2,22	17.760,00
mt07ala010dab	Material	kg	Acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, en perfiles laminados en caliente, piezas simples, para aplicaciones estructurales, de las series IPN, IPE, HEB, HEA, HEM o UPN, acabado con imprimación antioxidante. Trabajado y montado en taller, para colocar con uniones soldadas en obra.	1,000	1,430	1,43
mq08sol020	Maquinaria	h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	0,015	3,180	0,05
mo047	Mano de obra	h	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	0,016	20,740	0,33
mo094	Mano de obra	h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,016	19,680	0,31
%		%	Costes directos complementarios	2,000	2,120	0,04
			<b>EAS010b</b>	<b>8.000,000</b>	<b>2,22</b>	<b>17.760,00</b>
<b>FFF060</b>	Partida	m <sup>2</sup>	Fachada de una hoja, de fábrica de bloque cerámico para revestir.	2.100,000	54,95	115.395,00
mt04lkk030a	Material	Ud	Bloque cerámico machihembrado, para revestir, 25x30x25 cm, con huecos verticales que permiten el paso de instalaciones sin rozas, con aislamiento global de 50 dB(A) entre 100 y 5000 Hz, para uso en mampostería protegida (pieza P), densidad 754 kg/m <sup>3</sup> , según UNE-EN 771-1.	13,000	2,000	26,00
mt08aaa010a	Material	m <sup>3</sup>	Agua.	0,012	1,490	0,02
mt09mif010cb	Material	t	Mortero industrial para albañilería, de cemento, color gris, categoría M-5 (resistencia a compresión 5 N/mm <sup>2</sup> ), suministrado a granel, según UNE-EN 998-2.	0,034	30,730	1,04
mt07aco010c	Material	kg	Ferralla elaborada en taller industrial con acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, de varios diámetros.	0,700	1,590	1,11
mt08cem011a	Material	kg	Cemento Portland CEM II/B-L 32,5 R, color gris, en sacos, según UNE-EN 197-1.	6,935	0,100	0,69
mt01arg006	Material	t	Arena de cantera, para hormigón preparado en obra.	0,009	16,670	0,15
mt01arg007a	Material	t	Árido grueso homogeneizado, de tamaño máximo 12 mm.	0,019	16,520	0,31
mt04lkk010a	Material	Ud	Ladrillo cerámico machihembrado, para revestir, 33x30x7 cm, con huecos verticales que permiten el paso de instalaciones sin rozas, para uso en mampostería protegida (pieza P), densidad 846 kg/m <sup>3</sup> , según UNE-EN 771-1.	1,300	0,740	0,96
mt50spa050m	Material	m <sup>3</sup>	Tablón de madera de pino, dimensiones 20x7,2 cm.	0,001	363,070	0,36
mt50spa081a	Material	Ud	Puntal metálico telescópico, de hasta 3 m de altura.	0,003	15,910	0,05
mt50spa101	Material	kg	Clavos de acero.	0,011	1,550	0,02
mq06mms010	Maquinaria	h	Mezclador continuo con silo, para mortero industrial en seco, suministrado a granel.	0,122	1,720	0,21
mo021	Mano de obra	h	Oficial 1ª construcción en trabajos de albañilería.	0,665	19,930	13,25
mo114	Mano de obra	h	Peón ordinario construcción en trabajos de albañilería.	0,408	18,690	7,63
%		%	Costes directos complementarios	3,000	51,800	1,55
			<b>FFF060</b>	<b>2.100,000</b>	<b>54,95</b>	<b>115.395,00</b>
<b>QTX045</b>	Partida	m <sup>2</sup>	Sistema integral "EURONIT", de paneles de fibrocemento sin amianto, para cubierta inclinada.	2.500,000	63,61	159.025,00
mt13eur015va	Material	Ud	Panel Agrotherm "EURONIT", formado por placa ondulada de fibrocemento sin amianto, perfil Granonda, gama Rústica, color arcilla, en la cara	0,426	84,060	35,81

Título del Trabajo Fin de Máster

			exterior, núcleo aislante de espuma de poliuretano y acabado interior con lámina de poliéster reforzado con fibra de vidrio, color blanco; de 2500 mm de longitud, 1100 mm de anchura y 54 mm de espesor. Según UNE-EN 494.			
mt13eur100c	Material	Ud	Kit de accesorios de fijación, para placas onduladas de fibrocemento sin amianto, "EURONIT".	1,000	10,190	10,19
mt13eur050ea	Material	Ud	Remate inferior de faldón, "EURONIT", de 330 mm de anchura de ala y 1140 mm de longitud, gama Rústica, color arcilla, para cubierta de fibrocemento sin amianto, perfil Granonda "EURONIT", con accesorios de fijación. Según UNE-EN 494.	0,159	13,750	2,19
mt13eur020mj	Material	Ud	Caballote liso con ángulo de 90°, "EURONIT", de 200 mm de anchura de ala y 1200 mm de longitud, gama Natural, color gris, para cubierta de fibrocemento sin amianto, perfil Granonda "EURONIT", con accesorios de fijación. Según UNE-EN 494.	0,036	16,370	0,59
mt13eur030a	Material	Ud	Caballote articulado "EURONIT", formado por pieza superior y pieza inferior, de 320 mm de anchura de ala y 1135 mm de longitud, gama Rústica, color arcilla, para cubierta de fibrocemento sin amianto, perfil Granonda "EURONIT", con accesorios de fijación. Según UNE-EN 494.	0,077	31,040	2,39
mt13eur060a	Material	Ud	Caballote articulado de ventilación "EURONIT", formado por pieza superior y pieza inferior, de 320 mm de anchura de ala y 1135 mm de longitud, gama Rústica, color arcilla, para cubierta de fibrocemento sin amianto, perfil Granonda "EURONIT", con accesorios de fijación. Según UNE-EN 494.	0,010	34,590	0,35
mt13eur090a	Material	Ud	Pieza de remate de hastial "EURONIT", formada por pieza superior y pieza inferior, de 300 mm de anchura de ala y 300 mm de longitud, gama Rústica, color arcilla, para cubierta de fibrocemento sin amianto, perfil Granonda "EURONIT", con accesorios de fijación. Según UNE-EN 494.	0,004	48,230	0,19
mt13eur095a	Material	Ud	Placa de fibrocemento sin amianto, con adaptador para salida de humos "EURONIT", de 1520x1000 mm, gama Rústica, color arcilla, perfil Granonda "EURONIT", con accesorios de fijación. Según UNE-EN 494.	0,010	115,060	1,15
mt13eur096a	Material	Ud	Pieza de conexión entre placa de fibrocemento sin amianto y aspirador estático para salida de humos "EURONIT", de 760x520 mm, diámetro de salida 30 cm, gama Rústica, color arcilla, perfil Granonda "EURONIT", con accesorios de fijación. Según UNE-EN 494.	0,010	51,020	0,51
mt13eur097h	Material	Ud	Aspirador giratorio para salida de humos "EURONIT", de acero inoxidable, con diámetro de salida 32 cm, y accesorios de fijación.	0,010	116,330	1,16
mo020	Mano de obra	h	Oficial 1ª construcción.	0,229	19,030	4,36
mo113	Mano de obra	h	Peón ordinario construcción.	0,093	17,820	1,66
%		%	Costes directos complementarios	2,000	60,550	1,21
			<b>QTX045</b>	<b>2.500,000</b>	<b>63,61</b>	<b>159.025,00</b>
<b>A010100</b>	Partida	m2	Pintura de la nave	2.100,000	15,31	32.151,00
A0101011	Material	L	Pintura blanca	1,000	4,930	4,93
A0101012	Mano de obra	h	Pintor	0,650	15,270	9,93
			<b>A010100</b>	<b>2.100,000</b>	<b>15,31</b>	<b>32.151,00</b>
			<b>A010000</b>		<b>655.033,46</b>	<b>655.033,46</b>
<b>A020000</b>	<b>Capítulo</b>		<b>Instalación de los equipos de producción</b>		<b>162.466,18</b>	<b>162.466,18</b>

Título del Trabajo Fin de Máster

<b>A020100</b>	Partida	Ud	Equipo de pretratamiento de agua, constituido por un tanque de acero inoxidable, incluye instalación del mismo	3,000	3.332,62	9.997,86
mo008	Mano de obra	h	Oficial 1ª fontanero.	0,600	19,560	11,74
mo107	Mano de obra	h	Ayudante fontanero.	0,600	18,010	10,81
mt09tag20i	Sin clasificar	ud	Tanque de pretratamiento de agua de acero inoxidable de 7190 litros.	1,000	3.213,000	3.213,00
			<b>A020100</b>	<b>3,000</b>	<b>3.332,62</b>	<b>9.997,86</b>
<b>A020200</b>	Partida	Ud	Tanque macerador de acero inoxidable con capacidad de 7190 litros,	2,000	4.683,37	9.366,74
mo008	Mano de obra	h	Oficial 1ª fontanero.	1,250	19,560	24,45
mo107	Mano de obra	h	Ayudante fontanero.	1,250	18,010	22,51
A020201	Maquinaria	Ud	Tanque macerador de acero inoxidable con capacidad 7190 litros.	1,000	4.500,000	4.500,00
			<b>A020200</b>	<b>2,000</b>	<b>4.683,37</b>	<b>9.366,74</b>
<b>A020300</b>	Partida	Ud	Tanque de cocción de fabricación de cerveza de acero inoxidable y capacidad de 4500 litros.	2,000	3.330,82	6.661,64
mo008	Mano de obra	h	Oficial 1ª fontanero.	0,900	19,560	17,60
mo107	Mano de obra	h	Ayudante fontanero.	0,900	18,010	16,21
A020301	Maquinaria	Ud	Tanque de cocción de fabricación de cerveza de acero inoxidable y capacidad de 4500 litros.	1,000	3.200,000	3.200,00
			<b>A020300</b>	<b>2,000</b>	<b>3.330,82</b>	<b>6.661,64</b>
<b>A020400</b>	Partida	Ud	Intercambiador térmico de fluidos de haces tubulares.	2,000	1.286,31	2.572,62
mo008	Mano de obra	h	Oficial 1ª fontanero.	1,300	19,560	25,43
mo107	Mano de obra	h	Ayudante fontanero.	1,300	18,010	23,41
A020401	Maquinaria		Intercambiador térmico de fluidos de haces tubulares.	1,000	1.200,000	1.200,00
			<b>A020400</b>	<b>2,000</b>	<b>1.286,31</b>	<b>2.572,62</b>
<b>A020500</b>	Partida	Ud	Tanque de fermentación de cerveza de acero inoxidable.	24,000	3.651,43	87.634,32
mo008	Mano de obra	h	Oficial 1ª fontanero.	1,200	19,560	23,47
mo107	Mano de obra	h	Ayudante fontanero.	1,200	18,010	21,61
A020501	Maquinaria		Tanque de fermentación de cerveza de acero inoxidable de 3000 litros.	1,000	3.500,000	3.500,00
			<b>A020500</b>	<b>24,000</b>	<b>3.651,43</b>	<b>87.634,32</b>
<b>A020600</b>	Partida	Ud	Equipo de filtrado por profundidad.	2,000	425,54	851,08
mo008	Mano de obra	h	Oficial 1ª fontanero.	0,350	19,560	6,85
mo107	Mano de obra	h	Ayudante fontanero.	0,350	18,010	6,30
A020601	Maquinaria	Ud	Equipo de filtrado por profundidad.	1,000	400,000	400,00
			<b>A020600</b>	<b>2,000</b>	<b>425,54</b>	<b>851,08</b>
<b>A020700</b>	Partida	Ud	Equipo de embotellado de cerveza automático con capacidad de 4000 botellas/hora.	1,000	20.630,96	20.630,96
mo008	Mano de obra	h	Oficial 1ª fontanero.	0,800	19,560	15,65
mo107	Mano de obra	h	Ayudante fontanero.	0,800	18,010	14,41
A020701	Maquinaria	Ud	Equipo de embotellado de cerveza automático de capacidad de 4000 botellas/hora.	1,000	20.000,000	20.000,00
			<b>A020700</b>	<b>1,000</b>	<b>20.630,96</b>	<b>20.630,96</b>
<b>A020800</b>	Partida	Ud	Equipo de embarrilado de cerveza automático de capacidad 40 barriles/hora.	1,000	24.750,96	24.750,96
mo008	Mano de obra	h	Oficial 1ª fontanero.	0,800	19,560	15,65
mo107	Mano de obra	h	Ayudante fontanero.	0,800	18,010	14,41
A020801	Maquinaria	Ud	Equipo de embarrilado de cerveza automático de capacidad 40 barriles/hora.	1,000	24.000,000	24.000,00
			<b>A020800</b>	<b>1,000</b>	<b>24.750,96</b>	<b>24.750,96</b>
			<b>A020000</b>		<b>162.466,18</b>	<b>162.466,18</b>

Título del Trabajo Fin de Máster

<b>A030000</b>	<b>Capítulo</b>		<b>Instalación de los grupos de bombeo y red</b>		<b>70.088,00</b>	<b>70.088,00</b>
<b>IFB006</b>	Partida	m	Tubería para alimentación de agua potable, enterrada.	1.152,000	18,93	21.807,36
mt01ara010	Material	m³	Arena de 0 a 5 mm de diámetro.	0,110	11,930	1,31
mt37tpa020bhg	Material	m	Tubo de polietileno PE 100, de color negro con bandas de color azul, de 90 mm de diámetro exterior y 5,4 mm de espesor, SDR17, PN=10 atm, según UNE-EN 12201-2, con el precio incrementado el 30% en concepto de accesorios y piezas especiales.	1,000	11,360	11,36
mo020	Mano de obra	h	Oficial 1ª construcción.	0,033	19,030	0,63
mo113	Mano de obra	h	Peón ordinario construcción.	0,033	17,820	0,59
mo008	Mano de obra	h	Oficial 1ª fontanero.	0,110	19,560	2,15
mo107	Mano de obra	h	Ayudante fontanero.	0,110	18,010	1,98
%		%	Costes directos complementarios	2,000	18,020	0,36
			<b>IFB006</b>	<b>1.152,000</b>	<b>18,93</b>	<b>21.807,36</b>
<b>IFB006b</b>	Partida	m	Tubería para alimentación de agua potable, enterrada.	200,000	52,24	10.448,00
mt01ara010	Material	m³	Arena de 0 a 5 mm de diámetro.	0,107	11,930	1,28
mt08tag020ig	Material	m	Tubo de acero galvanizado estirado sin soldadura, de 3" DN 80 mm de diámetro, según UNE 19048, con el precio incrementado el 30% en concepto de accesorios y piezas especiales.	1,000	29,600	29,60
mt08tap010a	Material	m	Cinta anticorrosiva, de 5 cm de ancho, para protección de materiales metálicos enterrados, según DIN 30672.	7,590	0,760	5,77
mo020	Mano de obra	h	Oficial 1ª construcción.	0,081	19,030	1,54
mo113	Mano de obra	h	Peón ordinario construcción.	0,081	17,820	1,44
mo008	Mano de obra	h	Oficial 1ª fontanero.	0,269	19,560	5,26
mo107	Mano de obra	h	Ayudante fontanero.	0,269	18,010	4,84
%		%	Costes directos complementarios	2,000	49,730	0,99
			<b>IFB006b</b>	<b>200,000</b>	<b>52,24</b>	<b>10.448,00</b>
<b>IFB030b</b>	Partida	Ud	Válvula limitadora de presión.	1,000	40,78	40,78
mt37svl010a	Material	Ud	Válvula limitadora de presión de latón, de 1/2" DN 15 mm de diámetro, presión máxima de entrada de 15 bar y presión de salida regulable entre 0,5 y 4 bar, temperatura máxima de 70°C, con racores.	1,000	22,820	22,82
mt42www041	Material	Ud	Manómetro con baño de glicerina y diámetro de esfera de 100 mm, con toma vertical, para montaje roscado de 1/4", escala de presión de 0 a 10 bar.	1,000	10,850	10,85
mt37www010	Material	Ud	Material auxiliar para instalaciones de fontanería.	1,000	1,380	1,38
mo008	Mano de obra	h	Oficial 1ª fontanero.	0,100	19,560	1,96
mo107	Mano de obra	h	Ayudante fontanero.	0,100	18,010	1,80
%		%	Costes directos complementarios	2,000	38,810	0,78
			<b>IFB030b</b>	<b>1,000</b>	<b>40,78</b>	<b>40,78</b>
<b>IFW010</b>	Partida	Ud	Válvula de corte.	86,000	99,27	8.537,22
mt37svc010u	Material	Ud	Válvula de compuerta de latón fundido, para roscar, de 3".	1,000	72,330	72,33
mt37www010	Material	Ud	Material auxiliar para instalaciones de fontanería.	1,000	1,380	1,38
mo008	Mano de obra	h	Oficial 1ª fontanero.	0,553	19,560	10,82
mo107	Mano de obra	h	Ayudante fontanero.	0,553	18,010	9,96
%		%	Costes directos complementarios	2,000	94,490	1,89
			<b>IFW010</b>	<b>86,000</b>	<b>99,27</b>	<b>8.537,22</b>

Título del Trabajo Fin de Máster

<b>IFW040</b>	Partida	Ud	Válvula de retención.	4,000	66,41	265,64
mt37svr010h	Material	Ud	Válvula de retención de latón para roscar de 3".	1,000	54,370	54,37
mt37www010	Material	Ud	Material auxiliar para instalaciones de fontanería.	1,000	1,380	1,38
mo008	Mano de obra	h	Oficial 1ª fontanero.	0,199	19,560	3,89
mo107	Mano de obra	h	Ayudante fontanero.	0,199	18,010	3,58
%		%	Costes directos complementarios	2,000	63,220	1,26
			<b>IFW040</b>	<b>4,000</b>	<b>66,41</b>	<b>265,64</b>
<b>IF1009</b>	Partida	Ud	Colector.	10,000	19,09	190,90
mt37alu100a	Material	Ud	Colector de acero galvanizado, con entrada de 3" de diámetro y tres derivaciones, de 3" de diámetro.	1,000	8,820	8,82
mt37tpu534c	Material	Ud	Racor con salida por tuerca móvil roscada hembra, de acero galvanizado, de 20 mm x 3/4".	1,000	4,100	4,10
mt37www010	Material	Ud	Material auxiliar para instalaciones de fontanería.	1,000	1,380	1,38
mo008	Mano de obra	h	Oficial 1ª fontanero.	0,103	19,560	2,01
mo107	Mano de obra	h	Ayudante fontanero.	0,103	18,010	1,86
%		%	Costes directos complementarios	2,000	18,170	0,36
			<b>IF1009</b>	<b>10,000</b>	<b>19,09</b>	<b>190,90</b>
<b>IF1009b</b>	Partida	Ud	Colector.	7,000	13,84	96,88
mt38tmc500fc	Material	Ud	Colector acero galvanizado, con entrada de 3" de diámetro y cinco derivaciones de 3" diámetro.	1,000	7,930	7,93
mt37www010	Material	Ud	Material auxiliar para instalaciones de fontanería.	1,000	1,380	1,38
mo008	Mano de obra	h	Oficial 1ª fontanero.	0,103	19,560	2,01
mo107	Mano de obra	h	Ayudante fontanero.	0,103	18,010	1,86
%		%	Costes directos complementarios	2,000	13,180	0,26
			<b>IF1009b</b>	<b>7,000</b>	<b>13,84</b>	<b>96,88</b>
<b>XRI080</b>	Partida	Ud	Prueba de servicio final de la red interior de suministro de agua.	1,000	296,55	296,55
mt49prs040	Material	Ud	Prueba de servicio final para comprobar el correcto funcionamiento de la red interior de suministro de agua en condiciones de simultaneidad, incluso desplazamiento a obra e informe de resultados.	1,000	282,260	282,26
%		%	Costes directos complementarios	2,000	282,260	5,65
			<b>XRI080</b>	<b>1,000</b>	<b>296,55</b>	<b>296,55</b>
<b>IFW070</b>	Partida	Ud	Arqueta.	1,000	130,65	130,65
mt10hmf010Mm	Material	m³	Hormigón HM-20/B/20/l, fabricado en central.	0,074	72,780	5,39
mt11arp100b	Material	Ud	Arqueta de polipropileno, 40x40x40 cm.	1,000	59,260	59,26
mt08aaa010a	Material	m³	Agua.	0,006	1,490	0,01
mt11arp050f	Material	Ud	Tapa de PVC, para arquetas de fontanería de 40x40 cm, con cierre hermético al paso de los olores mefíticos.	1,000	39,560	39,56
mt01arr010a	Material	t	Grava de cantera, de 19 a 25 mm de diámetro.	0,284	7,180	2,04
mq01ret020b	Maquinaria	h	Retrocargadora sobre neumáticos, de 70 kW.	0,038	36,300	1,38
mo020	Mano de obra	h	Oficial 1ª construcción.	0,508	19,030	9,67
mo113	Mano de obra	h	Peón ordinario construcción.	0,395	17,820	7,04
%		%	Costes directos complementarios	2,000	124,350	2,49
			<b>IFW070</b>	<b>1,000</b>	<b>130,65</b>	<b>130,65</b>
<b>IFW020</b>	Partida	Ud	Filtro retenedor de residuos.	1,000	101,26	101,26
mt37www060k	Material	Ud	Filtro retenedor de residuos de bronce, con tamiz de acero inoxidable con perforaciones de 0,5	1,000	87,530	87,53

Título del Trabajo Fin de Máster

			mm de diámetro, con rosca de 3", para una presión máxima de trabajo de 16 bar y una temperatura máxima de 110°C.			
mt37www010	Material	Ud	Material auxiliar para instalaciones de fontanería.	1,000	1,380	1,38
mo008	Mano de obra	h	Oficial 1ª fontanero.	0,199	19,560	3,89
mo107	Mano de obra	h	Ayudante fontanero.	0,199	18,010	3,58
%		%	Costes directos complementarios	2,000	96,380	1,93
			<b>IFW020</b>	<b>1,000</b>	<b>101,26</b>	<b>101,26</b>
<b>IFC090</b>	Partida	Ud	Contador de agua.	1,000	45,20	45,20
mt37alb100a	Material	Ud	Contador de agua fría de lectura directa, de chorro simple, caudal nominal 1,5 m³/h, diámetro 1/2", temperatura máxima 30°C, presión máxima 16 bar, apto para aguas muy duras, con tapa, racores de conexión y precinto.	1,000	33,150	33,15
mt38www012	Material	Ud	Material auxiliar para instalaciones de calefacción y A.C.S.	1,000	2,070	2,07
mo004	Mano de obra	h	Oficial 1ª calefactor.	0,399	19,560	7,80
%		%	Costes directos complementarios	2,000	43,020	0,86
			<b>IFC090</b>	<b>1,000</b>	<b>45,20</b>	<b>45,20</b>
<b>IFW030</b>	Partida	Ud	Grifo.	1,000	10,56	10,56
mt37sgl012a	Material	Ud	Grifo de comprobación de latón, para roscar, de 1/2".	1,000	4,910	4,91
mt37www010	Material	Ud	Material auxiliar para instalaciones de fontanería.	1,000	1,380	1,38
mo008	Mano de obra	h	Oficial 1ª fontanero.	0,100	19,560	1,96
mo107	Mano de obra	h	Ayudante fontanero.	0,100	18,010	1,80
%		%	Costes directos complementarios	2,000	10,050	0,20
			<b>IFW030</b>	<b>1,000</b>	<b>10,56</b>	<b>10,56</b>
<b>A030100</b>	Partida	Ud	Equipo de bombeo Hidrostral	4,000	3.865,79	15.463,16
mo008	Mano de obra	h	Oficial 1ª fontanero.	0,850	19,560	16,63
mo107	Mano de obra	h	Ayudante fontanero.	0,850	18,010	15,31
A030101	Material	Ud	Bomba centrífuga horizontal marca Hidrostral.	1,000	3.721,250	3.721,25
			<b>A030100</b>	<b>4,000</b>	<b>3.865,79</b>	<b>15.463,16</b>
<b>IFD020</b>	Partida	Ud	Depósito auxiliar de alimentación.	2,000	799,23	1.598,46
mt37sve010d	Material	Ud	Válvula de esfera de latón niquelado para roscar de 1".	1,000	9,650	9,65
mt37svc010f	Material	Ud	Válvula de compuerta de latón fundido, para roscar, de 1".	2,000	9,470	18,94
mt41aco200c	Material	Ud	Válvula de flotador de 1" de diámetro, para una presión máxima de 6 bar, con cuerpo de latón, boya esférica roscada de latón y obturador de goma.	1,000	67,000	67,00
mt37dps020e	Material	Ud	Depósito de poliéster reforzado con fibra de vidrio, cilíndrico, de 2000 litros, con tapa, aireador y rebosadero, para colocar en superficie.	1,000	554,980	554,98
mt41aco210	Material	Ud	Interruptor de nivel de 10 A, con boya, contrapeso y cable.	2,000	13,110	26,22
mt37www010	Material	Ud	Material auxiliar para instalaciones de fontanería.	1,000	1,380	1,38
mo008	Mano de obra	h	Oficial 1ª fontanero.	2,062	19,560	40,33
mo107	Mano de obra	h	Ayudante fontanero.	2,062	18,010	37,14
mo003	Mano de obra	h	Oficial 1ª electricista.	0,249	20,480	5,10
%		%	Costes directos complementarios	2,000	760,740	15,21
			<b>IFD020</b>	<b>2,000</b>	<b>799,23</b>	<b>1.598,46</b>
<b>IFD005</b>	Partida	Ud	Grupo de presión doméstico.	2,000	5.527,69	11.055,38

Título del Trabajo Fin de Máster

mt37gru450ab	Material	Ud	Grupo de presión de dos bombas para suministro de agua en aplicaciones domésticas y comerciales, modelo 99219419 CMBE Twin 3-30 "GRUNDFOS", con control electrónico de velocidad para mantenimiento de la presión constante y control de funcionamiento de una o de las dos bombas y de la alternancia entre ellas, interruptor de presión para protección contra marcha en seco, cuerpos de acero inoxidable, altura máxima de aspiración 1 m, conexión de aspiración Rp 1", conexión de descarga Rp 1", presión máxima 10 bar, apta para temperaturas desde 0 hasta 60°C, dos motores de alimentación monofásica, con convertidores de frecuencia de alta eficiencia, de 1,1 kW cada uno, eficiencia energética clase IE5, protección IP55, aislamiento clase F y protección térmica, dos cables de alimentación de 1,5 m, con enchufe Schuko, y dos depósitos de membrana de 4 litros cada uno.	1,000	4.782,240	4.782,24
mt37sve010d	Material	Ud	Válvula de esfera de latón niquelado para roscar de 1".	4,000	9,650	38,60
mt37svr010c	Material	Ud	Válvula de retención de latón para roscar de 1".	2,000	5,100	10,20
mt37www050c	Material	Ud	Manguito antivibración, de goma, con rosca de 1", para una presión máxima de trabajo de 10 bar.	2,000	16,330	32,66
mt37www010	Material	Ud	Material auxiliar para instalaciones de fontanería.	1,000	1,380	1,38
mt37gru601b	Material	Ud	Puesta en marcha del grupo de presión, "GRUNDFOS".	1,000	189,910	189,91
mo008	Mano de obra	h	Oficial 1ª fontanero.	3,686	19,560	72,10
mo107	Mano de obra	h	Ayudante fontanero.	1,843	18,010	33,19
%		%	Costes directos complementarios	4,000	5.160,280	206,41
			<b>IFD005</b>	<b>2,000</b>	<b>5.527,69</b>	<b>11.055,38</b>
			<b>A030000</b>		<b>70.088,00</b>	<b>70.088,00</b>
<b>A040000</b>	<b>Capítulo</b>		<b>Instalación de la red eléctrica</b>		<b>27.844,06</b>	<b>27.844,06</b>
<b>III150</b>	Partida	Ud	Luminaria suspendida.	81,000	207,80	16.831,80
mt34ode470vf	Material	Ud	Luminaria lineal, de 1486x85x85 mm, para 2 lámparas fluorescentes T5 de 80 W, con cuerpo de luminaria formado por perfiles de aluminio extruido, acabado termoesmaltado de color gris RAL 9006; tapas finales; difusor opal de alta transmitancia; reflector interior acabado termoesmaltado, de color blanco; protección IP20.	1,000	173,880	173,88
mt34tuf010h	Material	Ud	Tubo fluorescente T5 de 80 W.	2,000	7,860	15,72
mo003	Mano de obra	h	Oficial 1ª electricista.	0,208	20,480	4,26
mo102	Mano de obra	h	Ayudante electricista.	0,208	18,880	3,93
%		%	Costes directos complementarios	2,000	197,790	3,96
			<b>III150</b>	<b>81,000</b>	<b>207,80</b>	<b>16.831,80</b>
<b>IEO040</b>	Partida	m	Bandeja para soporte y conducción de cables eléctricos.	250,000	28,37	7.092,50
mt35une001a	Material	m	Bandeja perforada de PVC, color gris RAL 7035, de 60x75 mm, resistencia al impacto 5 julios, propiedades eléctricas: aislante, no propagador de la llama, estable frente a los rayos UV y con buen comportamiento a la intemperie y frente a la acción de los agentes químicos, según UNE-EN 61537, suministrada en tramos de 3 m de longitud, para soporte y conducción de cables eléctricos.	1,000	9,040	9,04
mt35une006a	Material	Ud	Pieza de unión entre tramos de bandeja, de PVC, color gris RAL 7035, de 60 mm de altura, incluso tornillos de PVC.	0,667	3,110	2,07
mt35une015aa	Material	Ud	Soporte horizontal, de PVC, color gris RAL 7035, incluso tornillos de PVC.	1,000	6,070	6,07

Título del Trabajo Fin de Máster

mo003	Mano de obra	h	Oficial 1ª electricista.	0,328	20,480	6,72
mo102	Mano de obra	h	Ayudante electricista.	0,164	18,880	3,10
%		%	Costes directos complementarios	2,000	27,000	0,54
			<b>IEO040</b>	<b>250,000</b>	<b>28,37</b>	<b>7.092,50</b>
<b>IEH012</b>	Partida	m	Cable eléctrico de 0,6/1 kV de tensión nominal.	240,000	2,87	688,80
mt35cun110a	Material	m	Cable unipolar XZ1 (S), siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV, reacción al fuego clase Eca según UNE-EN 50575, con conductor de aluminio clase 2 de 16 mm <sup>2</sup> de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (X) y cubierta de compuesto termoplástico a base de poliolefina libre de halógenos (Z1). Según IEC 60502-1.	1,000	0,780	0,78
mo003	Mano de obra	h	Oficial 1ª electricista.	0,050	20,480	1,02
mo102	Mano de obra	h	Ayudante electricista.	0,050	18,880	0,94
%		%	Costes directos complementarios	2,000	2,740	0,05
			<b>IEH012</b>	<b>240,000</b>	<b>2,87</b>	<b>688,80</b>
<b>IEH012b</b>	Partida	m	Cable eléctrico de 0,6/1 kV de tensión nominal.	240,000	3,03	727,20
mt35cun110b	Material	m	Cable unipolar XZ1 (S), siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV, reacción al fuego clase Eca según UNE-EN 50575, con conductor de aluminio clase 2 de 25 mm <sup>2</sup> de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (X) y cubierta de compuesto termoplástico a base de poliolefina libre de halógenos (Z1). Según IEC 60502-1.	1,000	0,920	0,92
mo003	Mano de obra	h	Oficial 1ª electricista.	0,050	20,480	1,02
mo102	Mano de obra	h	Ayudante electricista.	0,050	18,880	0,94
%		%	Costes directos complementarios	2,000	2,880	0,06
			<b>IEH012b</b>	<b>240,000</b>	<b>3,03</b>	<b>727,20</b>
<b>IEH012c</b>	Partida	m	Cable eléctrico de 0,6/1 kV de tensión nominal.	160,000	3,87	619,20
mt35cun110c	Material	m	Cable unipolar XZ1 (S), siendo su tensión asignada de 0,6/1 kV, reacción al fuego clase Eca según UNE-EN 50575, con conductor de aluminio clase 2 de 35 mm <sup>2</sup> de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (X) y cubierta de compuesto termoplástico a base de poliolefina libre de halógenos (Z1). Según IEC 60502-1.	1,000	1,130	1,13
mo003	Mano de obra	h	Oficial 1ª electricista.	0,065	20,480	1,33
mo102	Mano de obra	h	Ayudante electricista.	0,065	18,880	1,23
%		%	Costes directos complementarios	2,000	3,690	0,07
			<b>IEH012c</b>	<b>160,000</b>	<b>3,87</b>	<b>619,20</b>
<b>IEC020</b>	Partida	Ud	Protecciones eléctricas.	8,000	235,57	1.884,56
mt35cgp020da	Material	Ud	Caja general de protección, equipada con bornes de conexión, bases unipolares previstas para colocar fusibles de intensidad máxima 100 A, esquema 1, para protección de la línea general de alimentación, formada por una envolvente aislante, precintable y autoventilada, según UNE-EN 60439-1, grado de inflamabilidad según se indica en UNE-EN 60439-3, con grados de protección IP43 según UNE 20324 e IK08 según UNE-EN 50102.	1,000	38,770	38,77
mt35amc820all	Material	Ud	Fusible de cuchillas, tipo gG, intensidad nominal 100 A, poder de corte 120 kA, tamaño T00, según UNE-EN 60269-1.	3,000	5,760	17,28
mt35cgp040h	Material	m	Tubo de PVC liso, serie B, de 160 mm de diámetro exterior y 3,2 mm de espesor, según UNE-EN 1329-1.	3,000	5,350	16,05

Título del Trabajo Fin de Máster

mt35cgp040f	Material	m	Tubo de PVC liso, serie B, de 110 mm de diámetro exterior y 3,2 mm de espesor, según UNE-EN 1329-1.	3,000	3,670	11,01
mt26cgp010	Material	Ud	Marco y puerta metálica con cerradura o candado, con grado de protección IK10 según UNE-EN 50102, protegidos de la corrosión y normalizados por la empresa suministradora, para caja general de protección.	1,000	109,120	109,12
mt35www010	Material	Ud	Material auxiliar para instalaciones eléctricas.	1,000	1,460	1,46
mo020	Mano de obra	h	Oficial 1ª construcción.	0,298	19,030	5,67
mo113	Mano de obra	h	Peón ordinario construcción.	0,298	17,820	5,31
mo003	Mano de obra	h	Oficial 1ª electricista.	0,497	20,480	10,18
mo102	Mano de obra	h	Ayudante electricista.	0,497	18,880	9,38
%		%	Costes directos complementarios	2,000	224,230	4,48
			<b>IEC020</b>	<b>8,000</b>	<b>235,57</b>	<b>1.884,56</b>
			<b>A040000</b>		<b>27.844,06</b>	<b>27.844,06</b>
<b>A050000</b>	<b>Capítulo</b>		<b>Seguridad y salud</b>		<b>10.000,00</b>	<b>10.000,00</b>
<b>A050100</b>	Partida	%	Medidas de seguridad y salud.	10,000	1.000,00	10.000,00
			<b>A050000</b>		<b>10.000,00</b>	<b>10.000,00</b>
<b>A060000</b>	<b>Capítulo</b>		<b>Diseño e ingeniería</b>		<b>9.750,00</b>	<b>9.750,00</b>
<b>A060100</b>	Partida	h	Ingeniero Industrial	325,000	30,00	9.750,00
			<b>A060000</b>		<b>9.750,00</b>	<b>9.750,00</b>
<b>PRESUPUESTO</b>					<b>935.181,70</b>	<b>935.181,70</b>

## TABLA DE PRESUPUESTO Y MEDICIONES

Presupuesto				% C.I. 3		
Código	Tipo	Ud	Resumen	Cantidad	Precio (€)	Importe (€)
<b>TFM PRUEBAS 2 PRESUPUESTO</b>	<b>Capítulo</b>				<b>935.181,70</b>	<b>935.181,70</b>
<b>A010000</b>	<b>Capítulo</b>		<b>Demolición y construcción de la nave</b>		<b>655.033,46</b>	<b>655.033,46</b>
<b>DRS015b</b>	Partida	m <sup>2</sup>	Demolición de pavimento de cemento.	600,000	5,53	3.318,00
<b>GTA010</b>	Partida	Ud	Transporte de tierras con contenedor.	30,000	99,55	2.986,50
<b>ADR030</b>	Partida	m <sup>3</sup>	Relleno para base de pavimento.	600,000	77,53	46.518,00
<b>CSZ010</b>	Partida	m <sup>3</sup>	Zapata de cimentación de hormigón armado.	0,700	189,78	132,85
<b>EAS005</b>	Partida	Ud	Placa de anclaje de acero, con pernos soldados.	43,000	28,77	1.237,11
<b>EAM010</b>	Partida	m <sup>2</sup>	Estructura metálica realizada con pórticos.	2.500,000	67,98	169.950,00
<b>EAV010</b>	Partida	kg	Acero en vigas.	8.000,000	2,22	17.760,00
<b>EAS010</b>	Partida	kg	Acero en pilares.	40.000,000	2,22	88.800,00
<b>EAS010b</b>	Partida	kg	Acero en cruces de San Andrés.	8.000,000	2,22	17.760,00
<b>FFF060</b>	Partida	m <sup>2</sup>	Fachada de una hoja, de fábrica de bloque cerámico para revestir.	2.100,000	54,95	115.395,00
<b>QTX045</b>	Partida	m <sup>2</sup>	Sistema integral "EURONIT", de paneles de fibrocemento sin amianto, para cubierta inclinada.	2.500,000	63,61	159.025,00
<b>A010100</b>	Partida	m2	Pintura de la nave	2.100,000	15,31	32.151,00
			<b>A010000</b>		<b>655.033,46</b>	<b>655.033,46</b>
<b>A020000</b>	<b>Capítulo</b>		<b>Instalación de los equipos de producción</b>		<b>162.466,18</b>	<b>162.466,18</b>
<b>A020100</b>	Partida	Ud	Equipo de pretratamiento de agua, constituido por un tanque de acero inoxidable, incluye instalación del mismo	3,000	3.332,62	9.997,86
<b>A020200</b>	Partida	Ud	Tanque macerador de acero inoxidable con capacidad de 7190 litros,	2,000	4.683,37	9.366,74
<b>A020300</b>	Partida	Ud	Tanque de cocción de fabricación de cerveza de acero inoxidable y capacidad de 4500 litros.	2,000	3.330,82	6.661,64
<b>A020400</b>	Partida	Ud	Intercambiador térmico de fluidos de haces tubulares.	2,000	1.286,31	2.572,62
<b>A020500</b>	Partida	Ud	Tanque de fermentación de cerveza de acero inoxidable.	24,000	3.651,43	87.634,32
<b>A020600</b>	Partida	Ud	Equipo de filtrado por profundidad.	2,000	425,54	851,08
<b>A020700</b>	Partida	Ud	Equipo de embotellado de cerveza automático con capacidad de 4000 botellas/hora.	1,000	20.630,96	20.630,96
<b>A020800</b>	Partida	Ud	Equipo de embarrilado de cerveza automático de capacidad 40 barriles/hora.	1,000	24.750,96	24.750,96
			<b>A020000</b>		<b>162.466,18</b>	<b>162.466,18</b>
<b>A030000</b>	<b>Capítulo</b>		<b>Instalación de los grupos de bombeo y red</b>		<b>70.088,00</b>	<b>70.088,00</b>

Título del Trabajo Fin de Máster

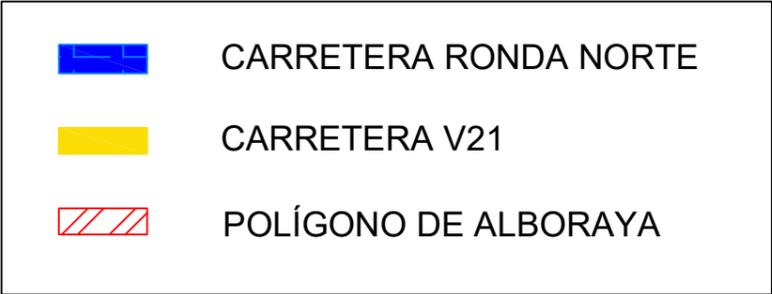
IFB006	Partida	m	Tubería para alimentación de agua potable, enterrada.	1.152,000	18,93	21.807,36
IFB006b	Partida	m	Tubería para alimentación de agua potable, enterrada.	200,000	52,24	10.448,00
IFB030b	Partida	Ud	Válvula limitadora de presión.	1,000	40,78	40,78
IFW010	Partida	Ud	Válvula de corte.	86,000	99,27	8.537,22
IFW040	Partida	Ud	Válvula de retención.	4,000	66,41	265,64
IFI009	Partida	Ud	Colector.	10,000	19,09	190,90
IFI009b	Partida	Ud	Colector.	7,000	13,84	96,88
XRI080	Partida	Ud	Prueba de servicio final de la red interior de suministro de agua.	1,000	296,55	296,55
IFW070	Partida	Ud	Arqueta.	1,000	130,65	130,65
IFW020	Partida	Ud	Filtro retenedor de residuos.	1,000	101,26	101,26
IFC090	Partida	Ud	Contador de agua.	1,000	45,20	45,20
IFW030	Partida	Ud	Grifo.	1,000	10,56	10,56
A030100	Partida	Ud	Equipo de bombeo Hidrosta	4,000	3.865,79	15.463,16
IFD020	Partida	Ud	Depósito auxiliar de alimentación.	2,000	799,23	1.598,46
IFD005	Partida	Ud	Grupo de presión doméstico.	2,000	5.527,69	11.055,38
			<b>A030000</b>		<b>70.088,00</b>	<b>70.088,00</b>
<b>A040000</b>	<b>Capítulo</b>		<b>Instalación de la red eléctrica</b>		<b>27.844,06</b>	<b>27.844,06</b>
III150	Partida	Ud	Luminaria suspendida.	81,000	207,80	16.831,80
IEO040	Partida	m	Bandeja para soporte y conducción de cables eléctricos.	250,000	28,37	7.092,50
IEH012	Partida	m	Cable eléctrico de 0,6/1 kV de tensión nominal.	240,000	2,87	688,80
IEH012b	Partida	m	Cable eléctrico de 0,6/1 kV de tensión nominal.	240,000	3,03	727,20
IEH012c	Partida	m	Cable eléctrico de 0,6/1 kV de tensión nominal.	160,000	3,87	619,20
IEC020	Partida	Ud	Protecciones eléctricas.	8,000	235,57	1.884,56
			<b>A040000</b>		<b>27.844,06</b>	<b>27.844,06</b>
<b>A050000</b>	<b>Capítulo</b>		<b>Seguridad y salud</b>		<b>10.000,00</b>	<b>10.000,00</b>
A050100	Partida	%	Medidas de seguridad y salud.	10,000	1.000,00	10.000,00
			<b>A050000</b>		<b>10.000,00</b>	<b>10.000,00</b>
<b>A060000</b>	<b>Capítulo</b>		<b>Diseño e ingeniería</b>		<b>9.750,00</b>	<b>9.750,00</b>
A060100	Partida	h	Ingeniero Industrial	325,000	30,00	9.750,00
			<b>A060000</b>		<b>9.750,00</b>	<b>9.750,00</b>
<b>PRESUPUESTO</b>					<b>935.181,70</b>	<b>935.181,70</b>

## RESUMEN DEL PRESUPUESTO

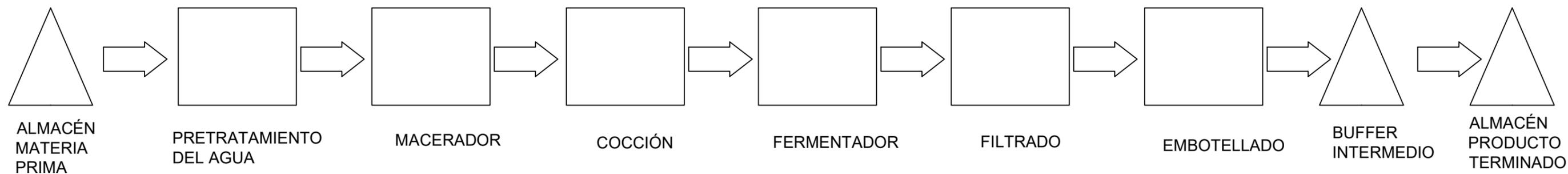
<b>CAPÍTULOS</b>	<b>COSTE</b>
Capítulo 1 Demolición y construcción de la nave	655.033,46 €
Capítulo 2 Instalación de los equipos de producción	162.466,18 €
Capítulo 3 Instalación de los grupos de bombeo y red	70.088,00 €
Capítulo 4 Instalación de la red eléctrica	27.844,06 €
Capítulo 5 Seguridad y salud	10.000,00 €
Capítulo 6 Ingeniería y diseño	9.750,00 €
PEM	935.181,70 €
PEC	1.112.866,22 €
<b>PRESUPUESTO FINAL</b>	<b>1.346.568,13 €</b>

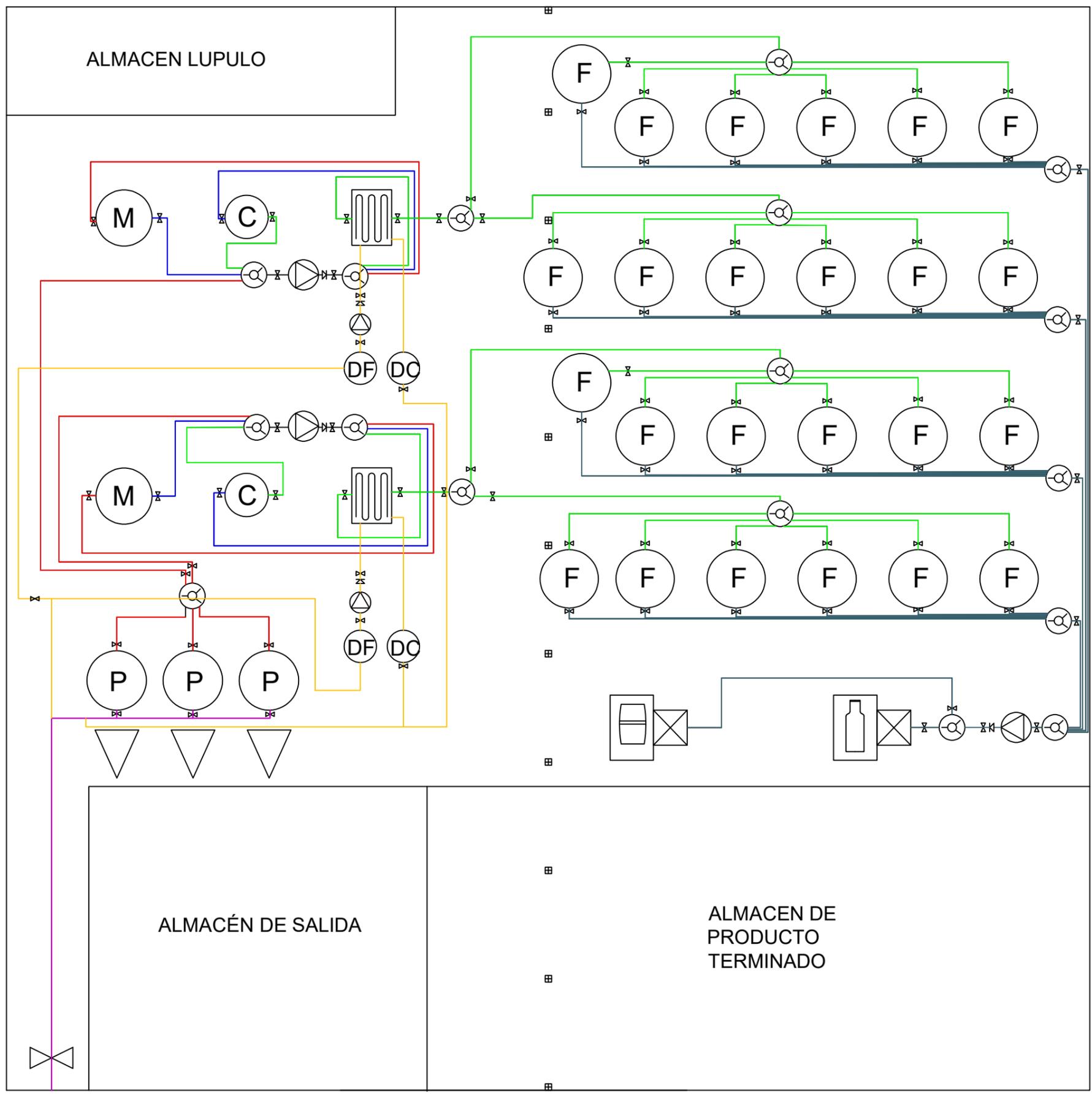


# PLANOS



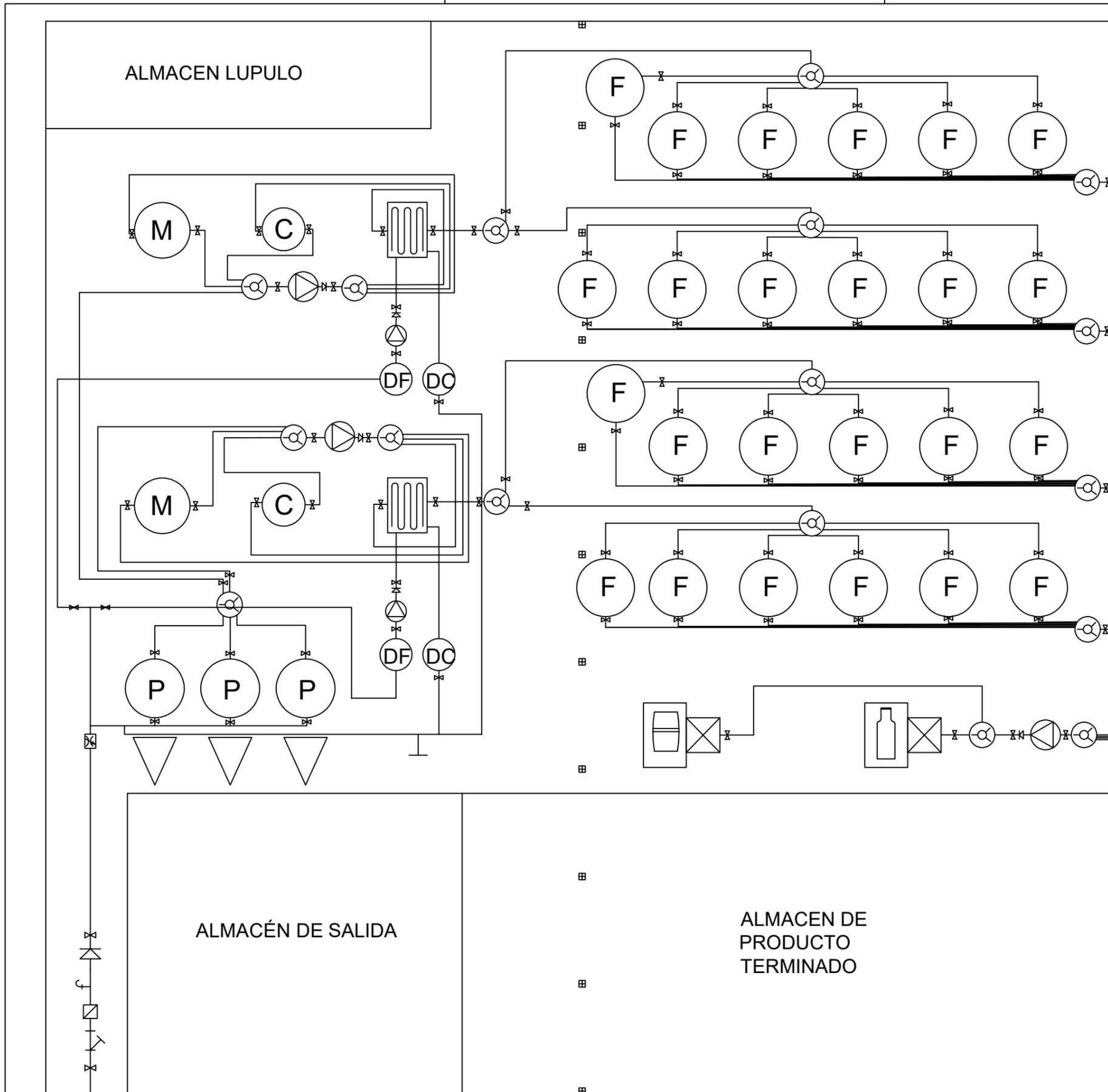
<p>TRABAJO FINAL DE MASTER EN INGENIERIA INDUSTRIAL</p>  <p><b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b></p>  <p><b>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA</b></p>	<p>Proyecto: <b>DISEÑO DE UNA LÍNEA DE FABRICACIÓN INDUSTRIAL DE CERVEZA ARTESANAL EN EL MUNICIPIO DE ALBORAYA (VALENCIA)</b></p>	<p>Plano: <b>SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO</b></p> <p>Autor: <b>ARTURO CASTRO VILLOSLADA</b></p>	<p>Fecha: <b>NOVIEMBRE 2021</b></p> <p>Escala: <b>1:2000</b></p>	<p>Nº Plano: <b>1</b></p>
---	---	--	--	---------------------------





**LEYENDA**

- TRAMO 1
- TRAMO 2
- TRAMO 3
- TRAMO 4
- TRAMO 5
- TRAMO 6



### LEYENDA

-  TANQUE PRETRATAMIENTO
-  MACERADOR
-  OLLA COCCIÓN
-  FERMENTADOR
-  INTERCAMBIADOR
-  FILTRO
-  EMBOTELLADO
-  EMBARRILADO
-  VALVULA DE CORTE
-  SILO MALTA
-  BOMBA
-  COLECTOR
-  VALVULA ANTIRRETORNO
-  FILTRO DE ENTRADA
-  GRIFO DE COMPROBACION
-  CONTADOR GEN.
-  VALVULA LIMITADORA
-  DEPÓSITO AGUA FRÍA
-  DEPÓSITO AGUA CALIENTE
-  TUBERÍA A DESAGÜE

TRABAJO FINAL DE MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

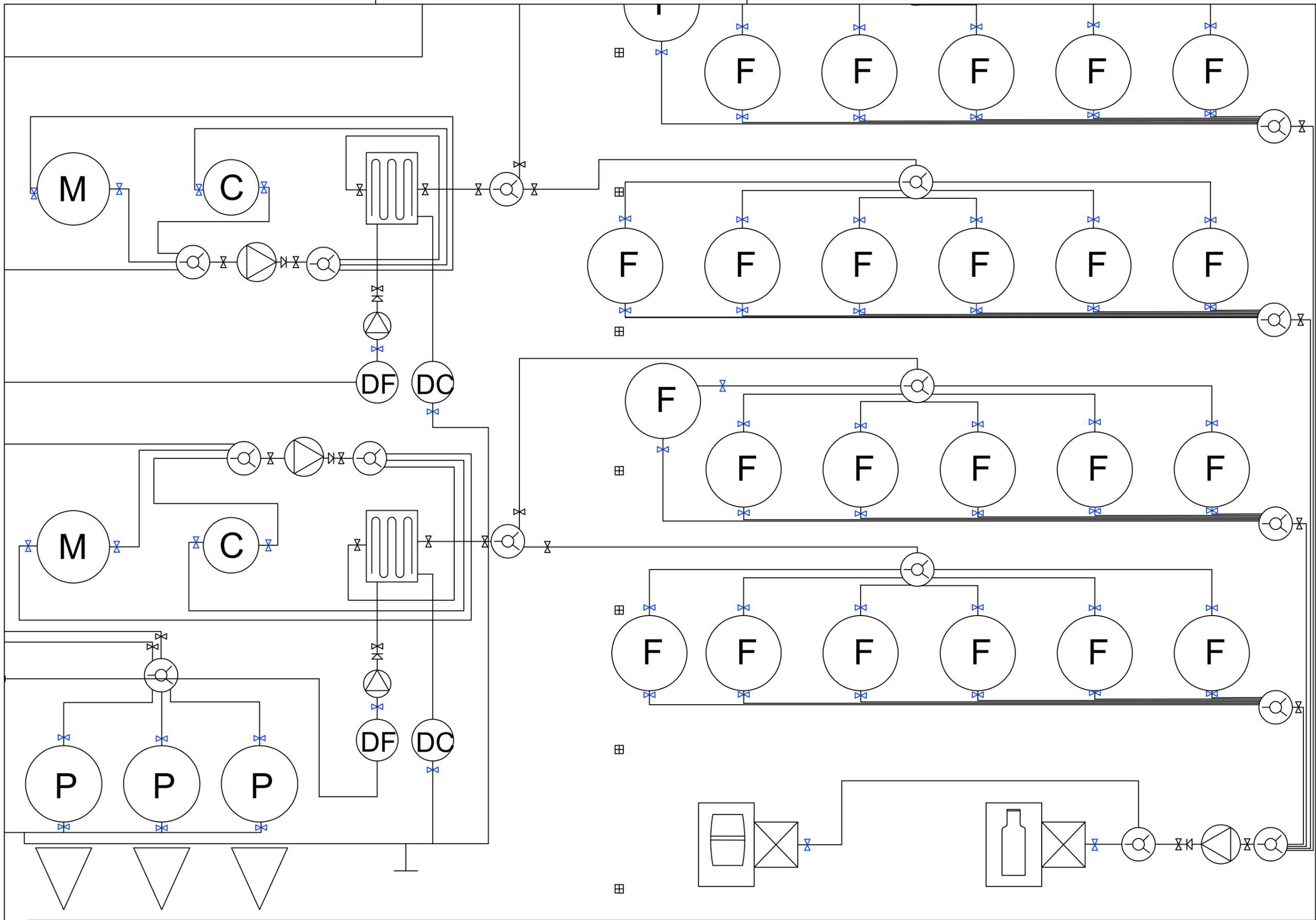


Proyecto: DISEÑO DE UNA LÍNEA DE FABRICACIÓN INDUSTRIAL DE CERVEZA ARTESANAL EN EL MUNICIPIO DE ALBORAYA (VALENCIA)

Plano: DISTRIBUCION EN PLANTA DE LA LÍNEA DE FABRICACIÓN  
 Autor: ARTURO CASTRO VILLOSLADA

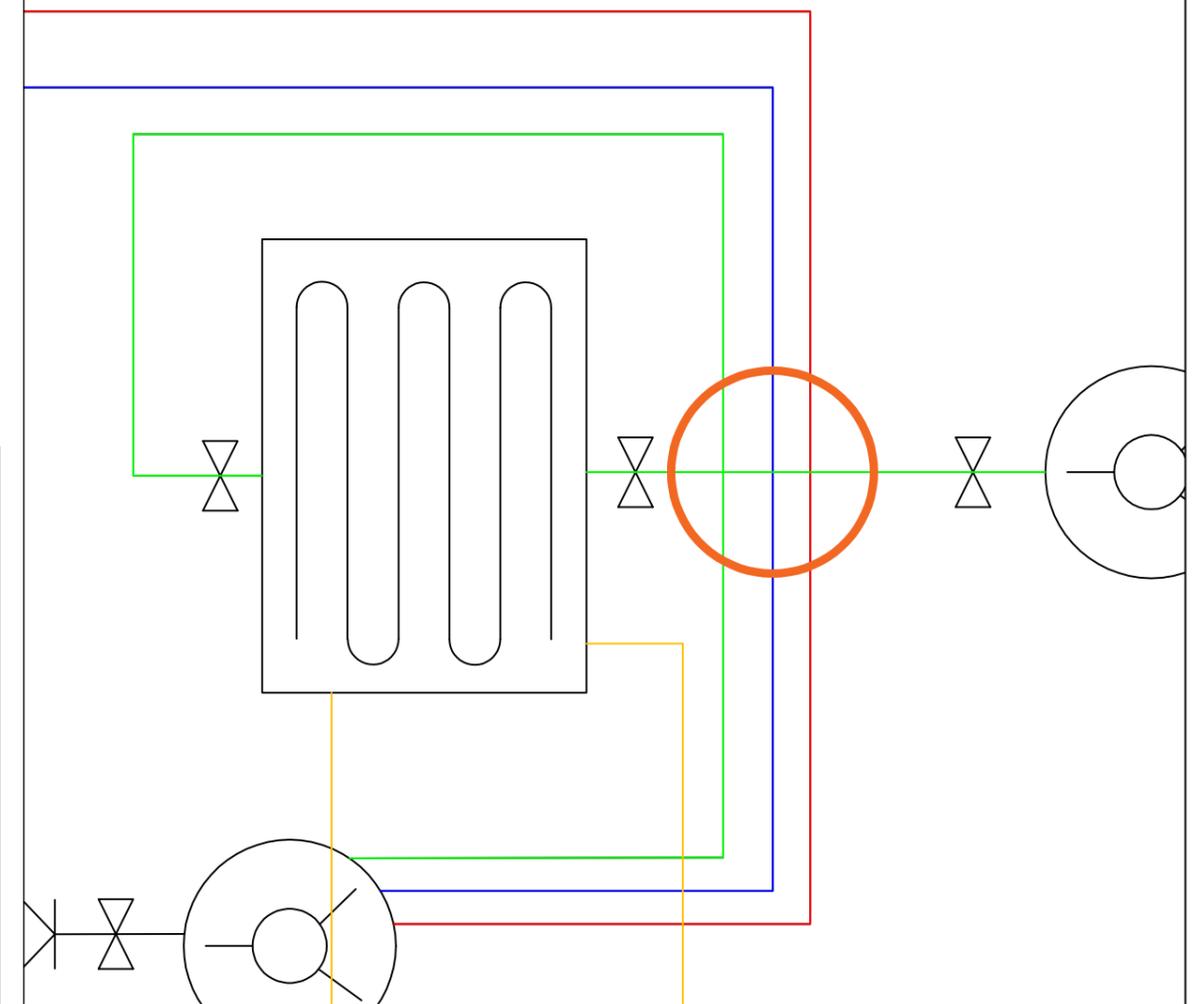
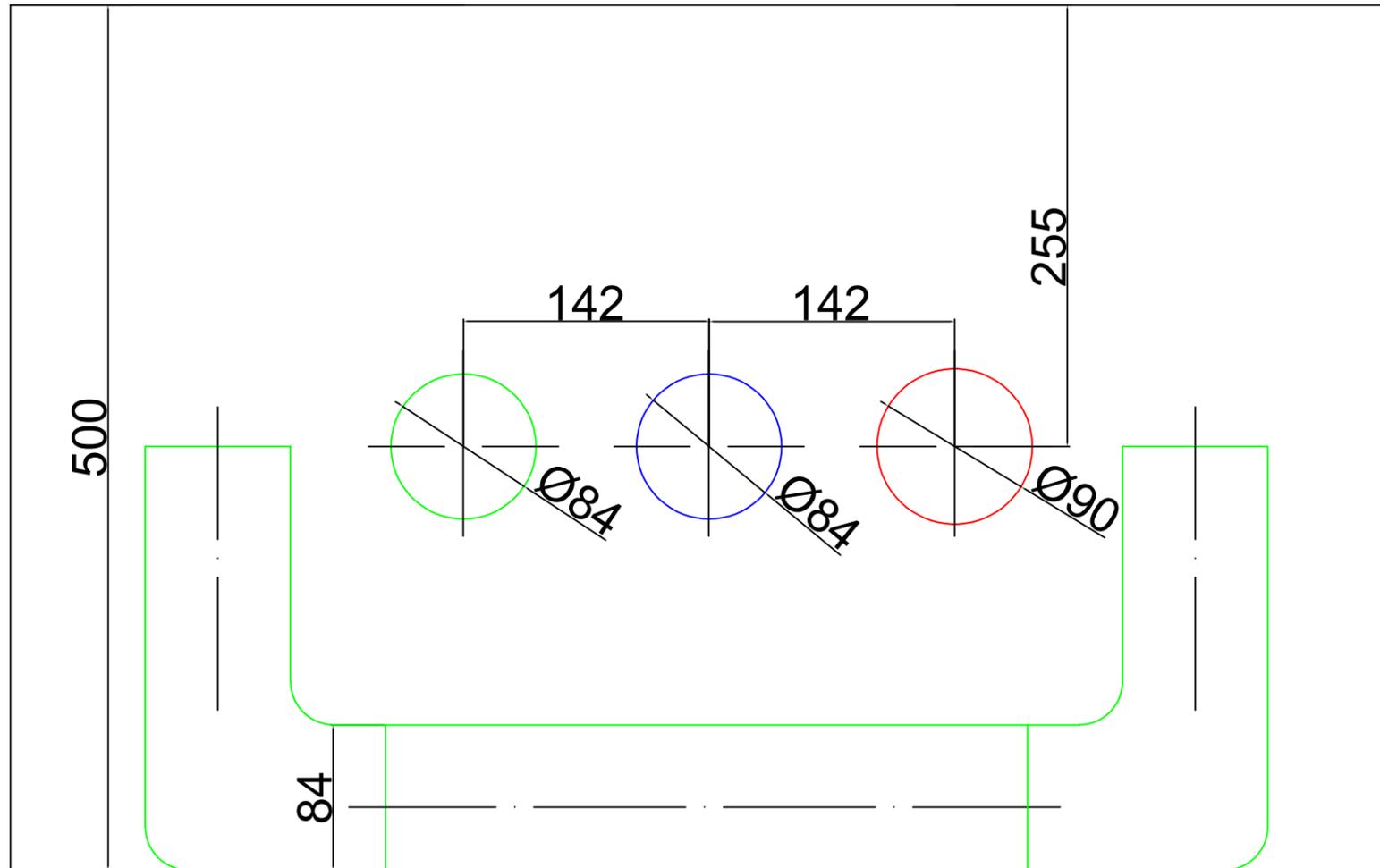
Fecha: NOVIEMBRE 2021  
 Escala: 1:20

Nº Plano:



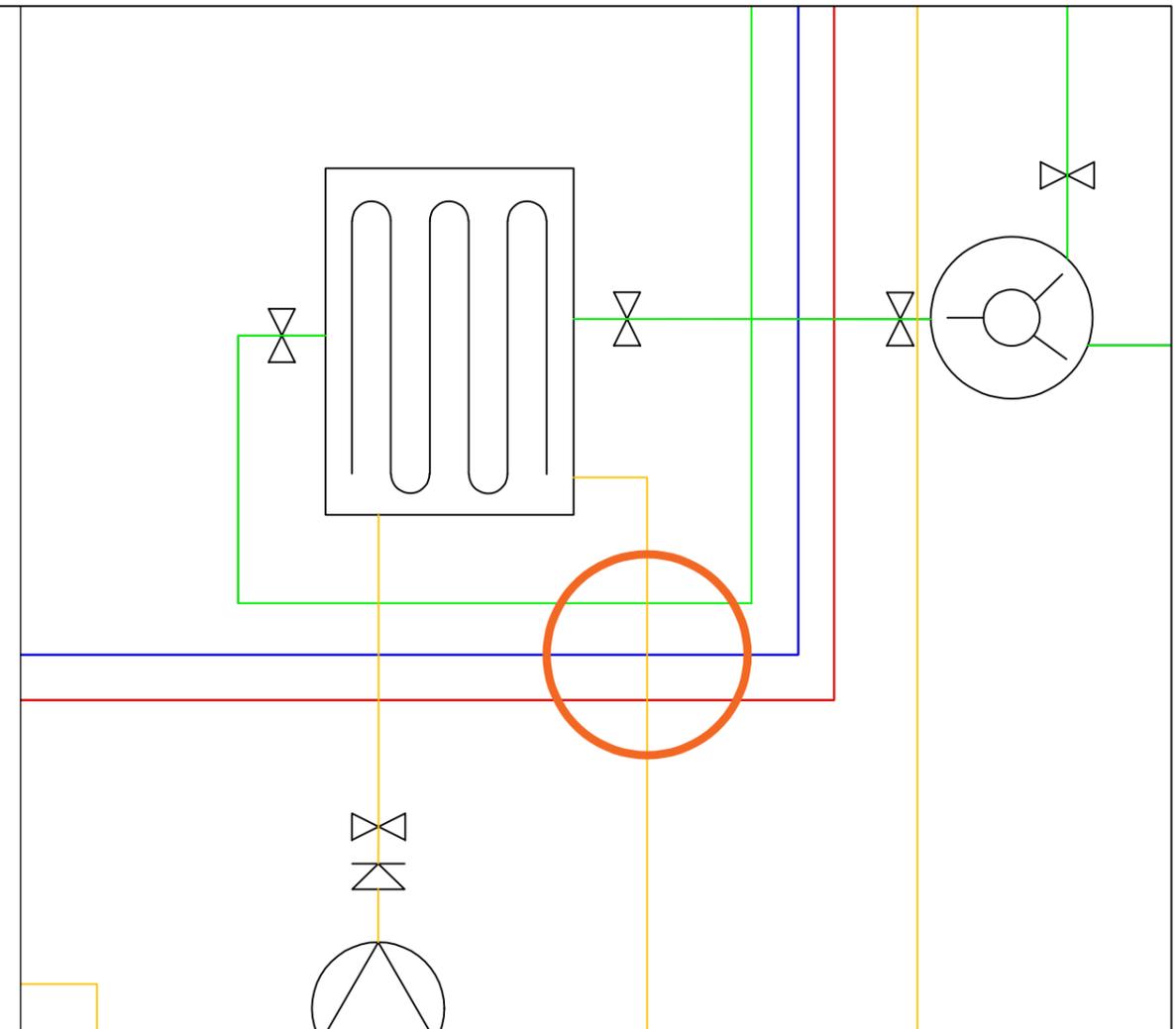
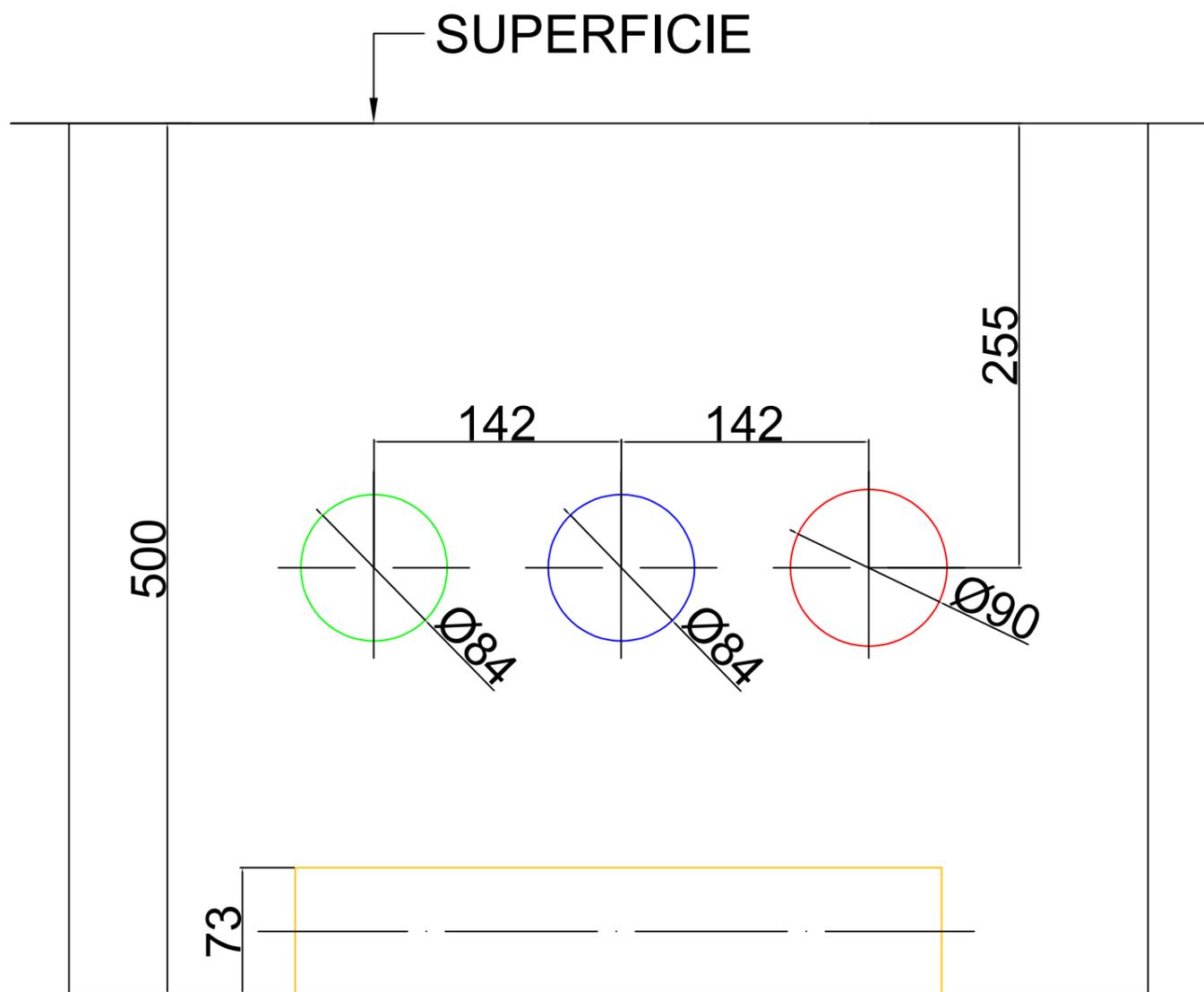
  
 VÁLVULAS ENTERRADAS

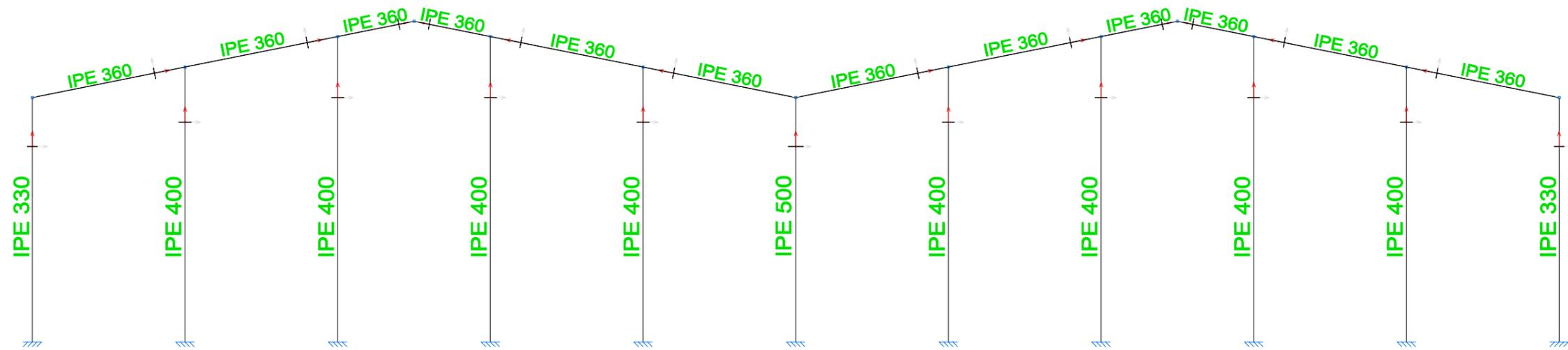
↓ SUPERFICIE



### LEYENDA

-  INTERSECCIÓN
-  TRAMO 2
-  TRAMO 3
-  TRAMO 4





TRABAJO FINAL DE MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA

Fecha:



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALÈNCIA

Nº Plano:

Proyecto: DISEÑO DE UNA LÍNEA DE FABRICACIÓN INDUSTRIAL DE CERVEZA ARTESANAL EN EL MUNICIPIO DE ALBORAYA (VALENCIA)

Plano: PÓRTICO DE FACHADA

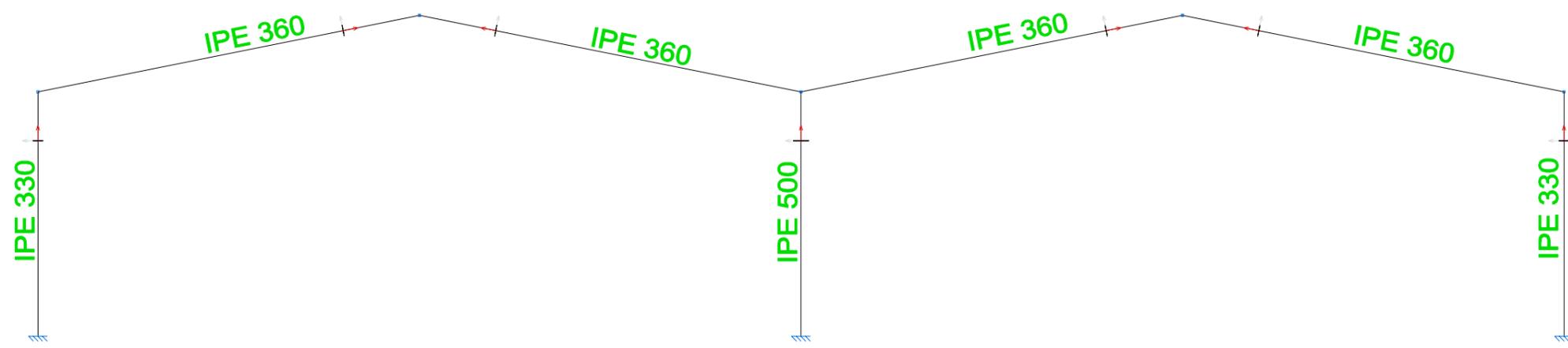
Autor: ARTURO CASTRO VILLOSLADA

Fecha: NOVIEMBRE 2021

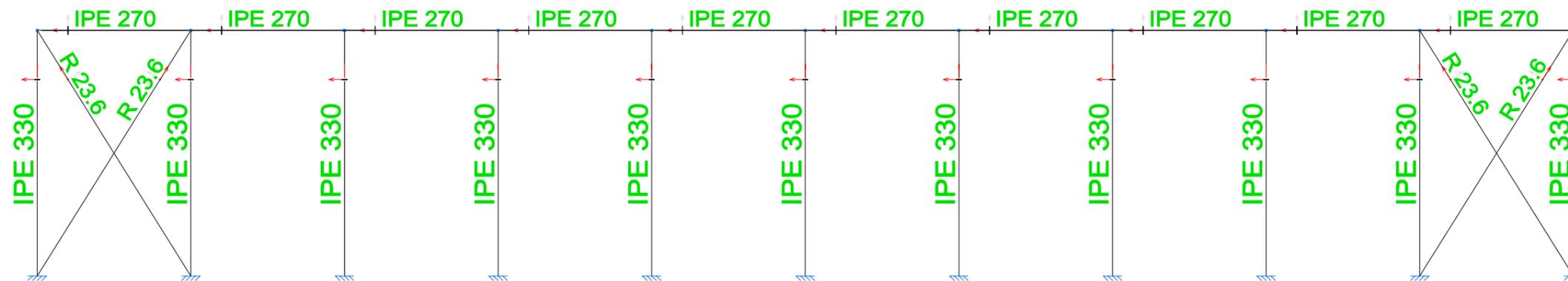
Escala: 1:20

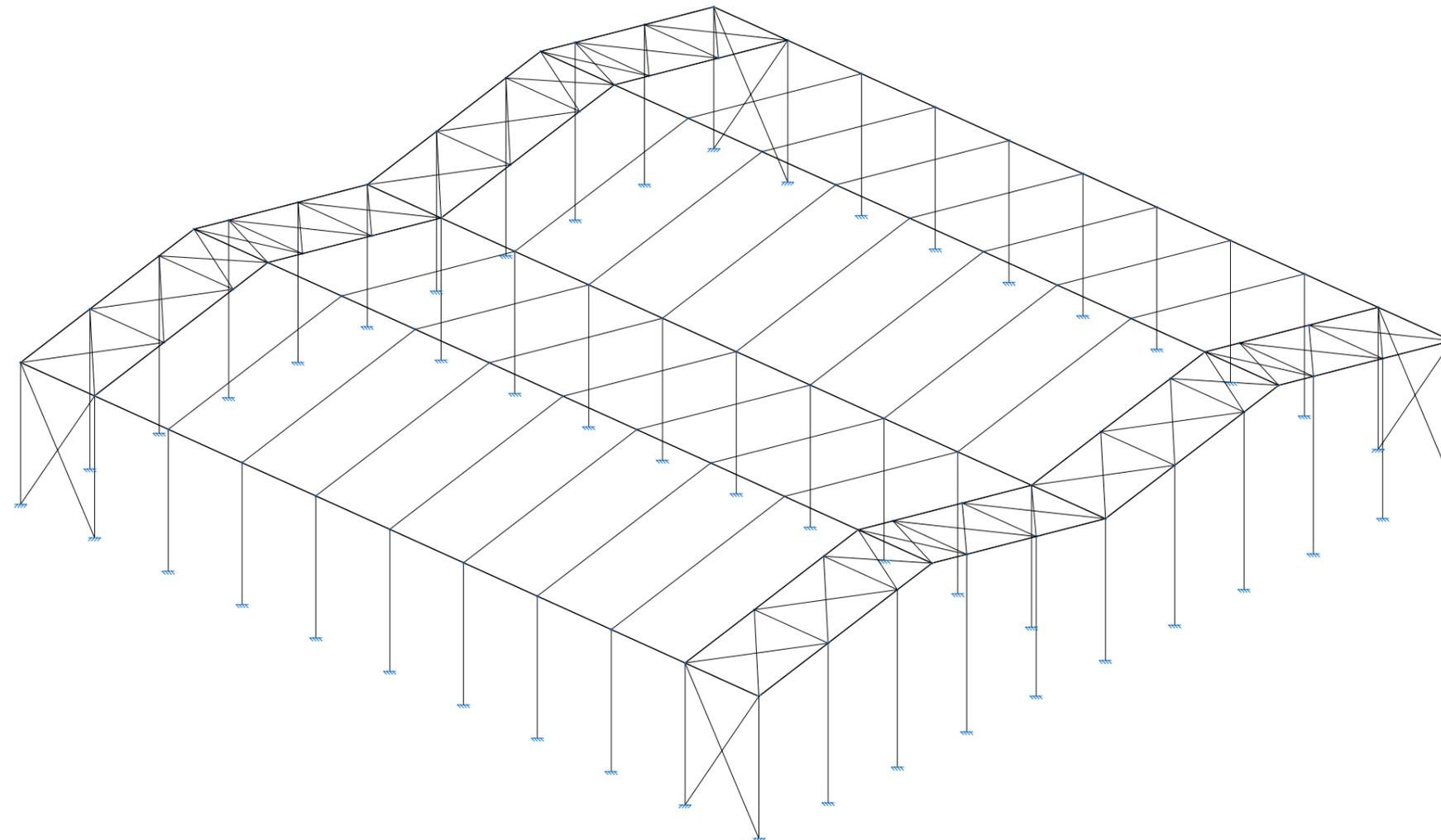
Nº Plano:

8



<p>TRABAJO FINAL DE MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL</p>  <p><b>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</b></p> <p>Fecha:</p>  <p><b>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA</b></p> <p>Nº Plano:</p>	<p>Proyecto: <b>DISEÑO DE UNA LÍNEA DE FABRICACIÓN INDUSTRIAL DE CERVEZA ARTESANAL EN EL MUNICIPIO DE ALBORAYA (VALENCIA)</b></p>	<p>Plano: <b>PÓRTICO INTERIOR</b></p> <p>Autor: <b>ARTURO CASTRO VILLOSLADA</b></p>	<p>Fecha: <b>NOVIEMBRE 2021</b></p> <p>Escala: <b>1:20</b></p>	<p>Nº Plano: <b>9</b></p>
--	---	---	--	---------------------------





TRABAJO FINAL DE MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALÈNCIA

Proyecto: DISEÑO DE UNA LÍNEA DE FABRICACIÓN INDUSTRIAL DE CERVEZA ARTESANAL EN EL MUNICIPIO DE ALBORAYA (VALENCIA)

Plano: ESTRUCTURA GENERAL DE LA NAVE

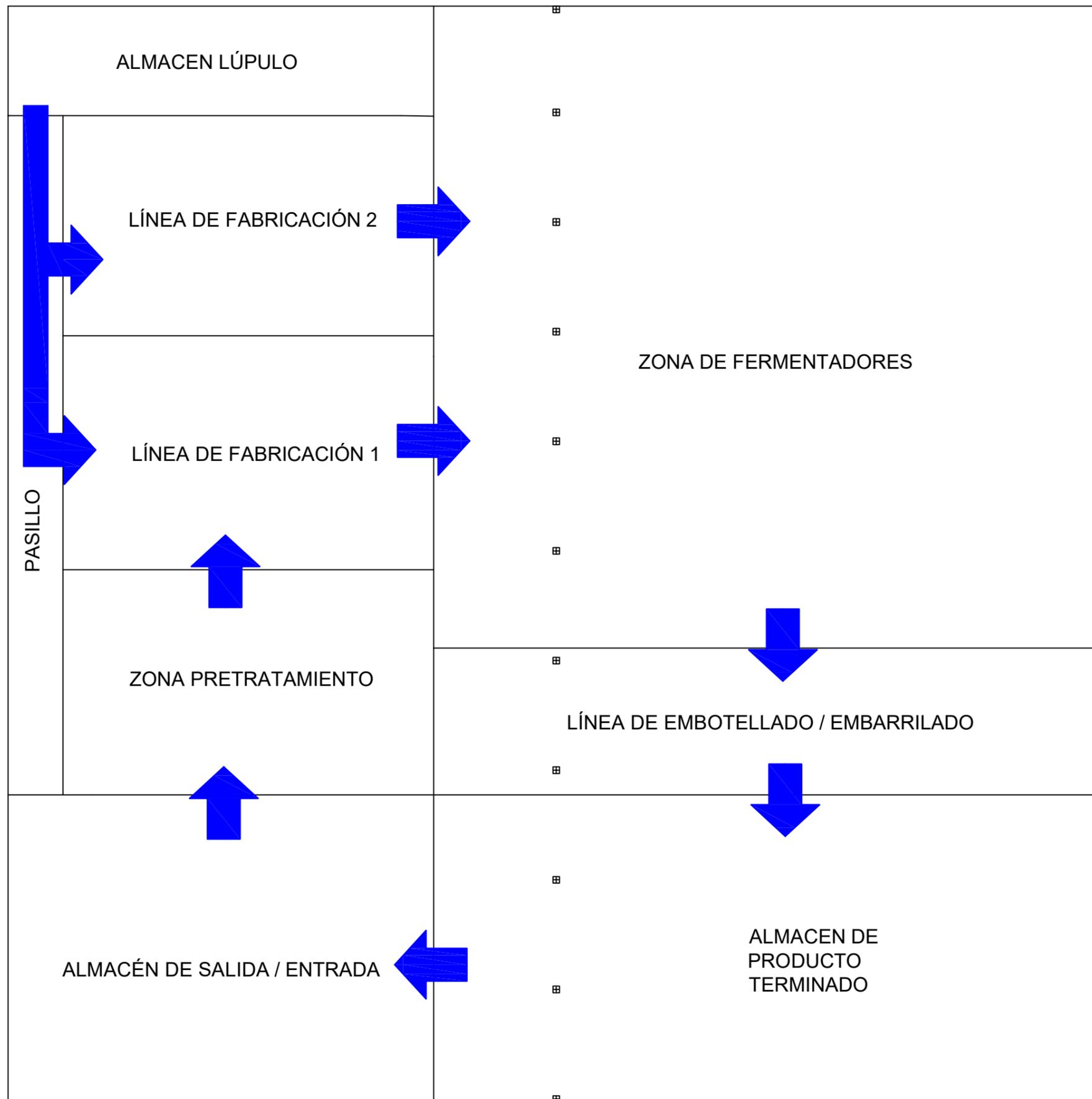
Autor: ARTURO CASTRO VILLOSLADA

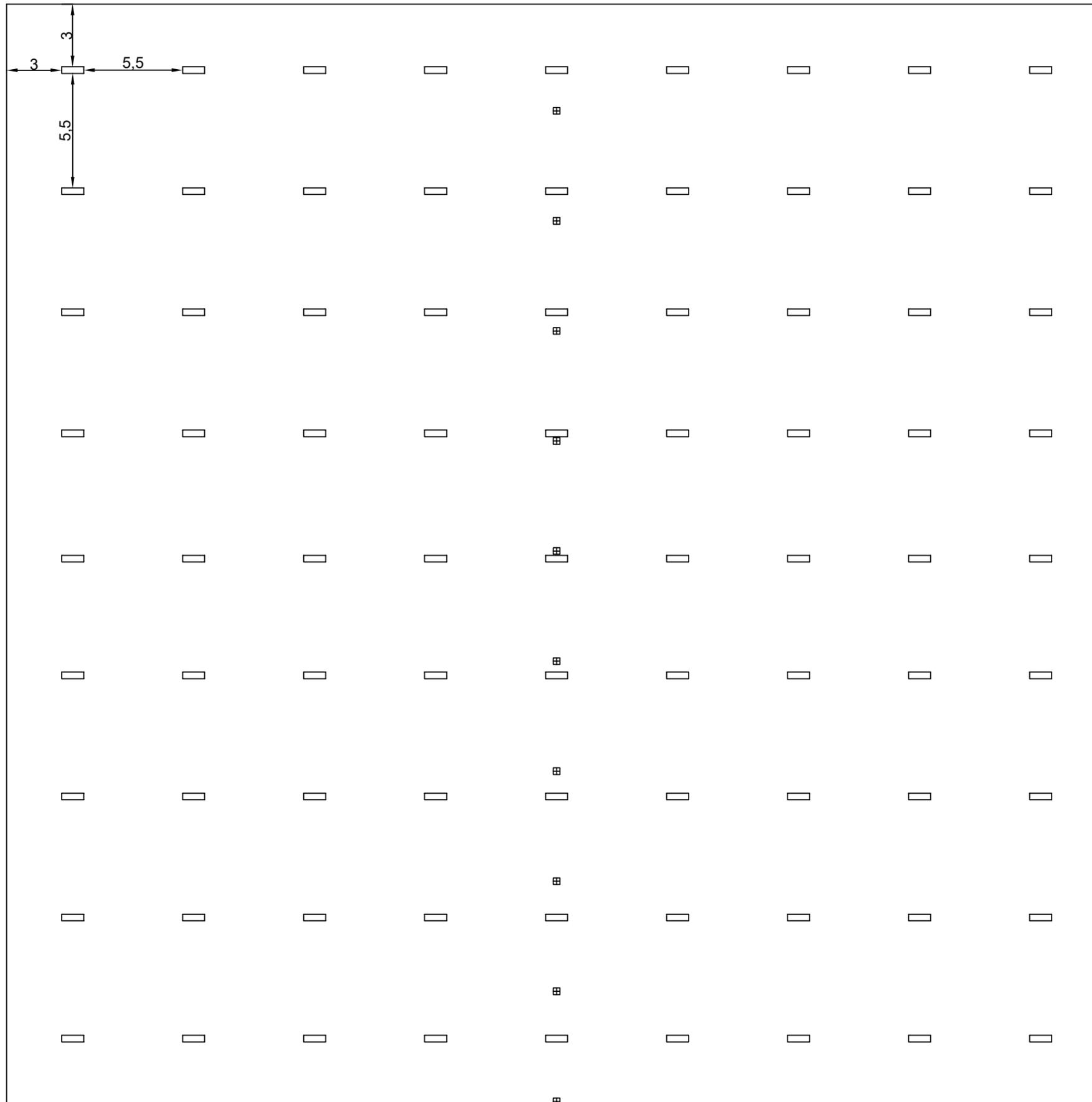
Fecha: NOVIEMBRE 2021

Escala:

Nº Plano:

11





TRABAJO FINAL DE MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

Proyecto: DISEÑO DE UNA LÍNEA DE FABRICACIÓN INDUSTRIAL DE CERVEZA ARTESANAL EN EL MUNICIPIO DE ALBORAYA (VALENCIA)

Plano: UBICACIÓN DE LAS LUMINARIAS EN LA NAVE

Autor: ARTURO CASTRO VILLOSLADA

Fecha: NOVIEMBRE 2021

Escala: 1:20

Nº Plano:

13

L1	P=60 KW COS(Φ)=0.95
L2	P=34.7 KW COS(Φ)=0.95
L3	P=60 KW COS(Φ)=0.95
L4	P=34.7 KW COS(Φ)=0.95
L5	P=26.4 KW COS(Φ)=0.8
L6	P=26.4 KW COS(Φ)=0.8
L7	P=11 KW COS(Φ)=0.9
L8	P=12,15 KW COS(Φ)=0.95

L1	Macerador 1
L2	Olla cocción, bomba inter. y bomba cerv 1
L3	Macerador 2
L4	Olla cocción, bomba inter. y bomba cerv 2
L5	Compresores
L6	Compresores
L7	Embotellado y embarrilado
L8	Luces

# **ANEXO 1**



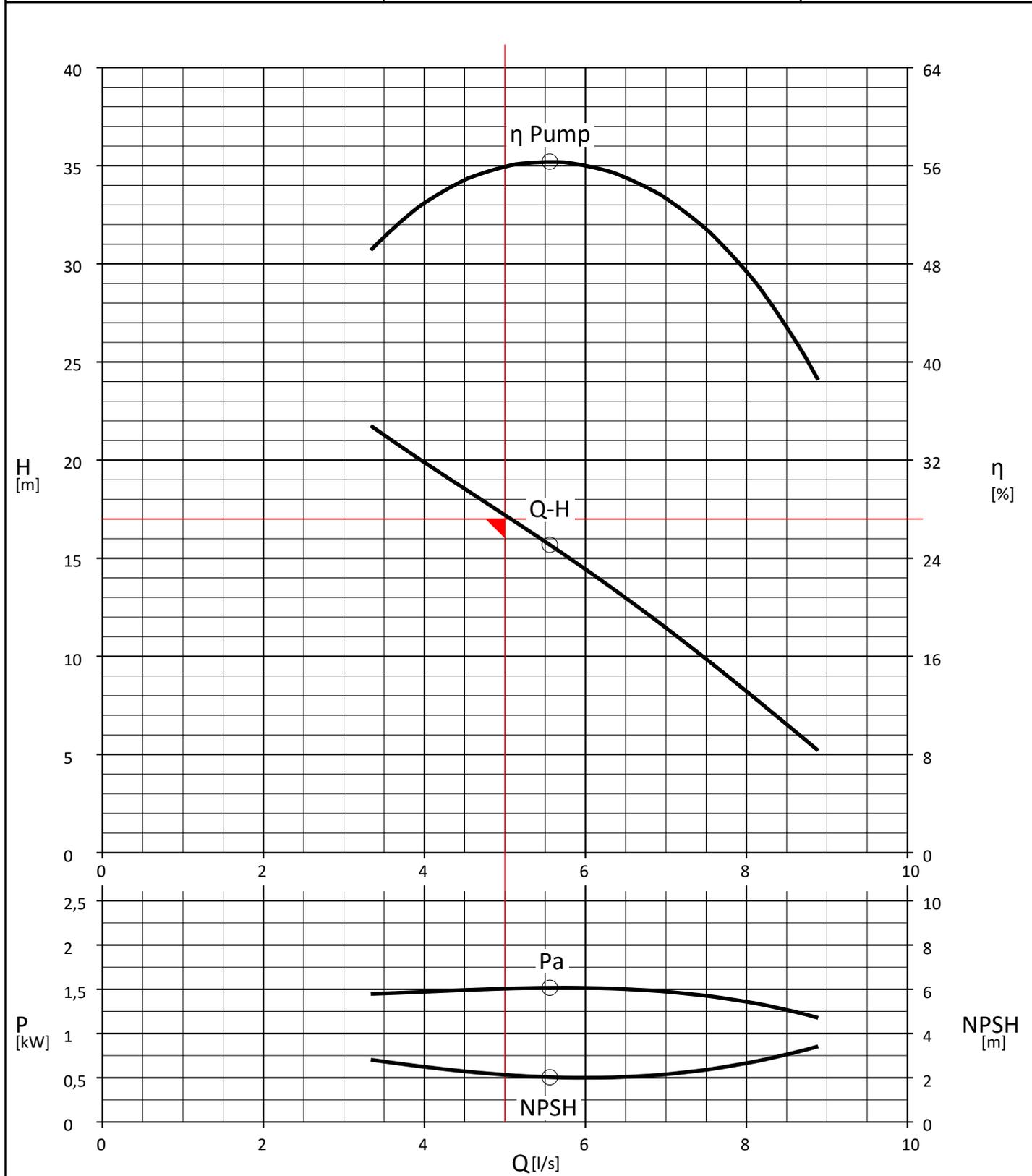
# Data Sheet Bearing Frame Pump

**BF**

1	Customer:		Project:	
2	Order No.:		Pump Title:	
3	Manufacturer	<b>Hidrostat</b>	Job No.	
4	Factory No.		Serial No.	
<b>Hydraulic Conditions</b>				
5	Quantity:	<b>1</b>	Pump Code:	<b>B050-M03R + BCM1X-G112Q</b>
6	Liquid		Min.	Nom.
7	Solids [%]		Max.	
8	Required Free Passage [mm]	Required flow [l/s]		NPSHa [m]
9	Temperature $t_A$ [°C]	Pump flow [l/s]		NPSHr [m]
10	Specific Gravity at $t_A$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Required TDH [m]		Efficiency [%]
11	Viscosity at $t_A$ [mm <sup>2</sup> /s]	Pump TDH [m]		
12	Suction Condition			Required $P_N$ [kW]
13				Pump speed [rpm]
<b>Constructions</b>				
14	Nozzles	Size DN [mm]	Rating PN [bar]	Position
15	Suction	<b>80</b>		Facing
16	Discharge	<b>50</b>		Hydraulic Type
17				<b>B050</b>
18				<b>Si</b>
				<b>M</b>
				Free Passage [mm]
				<b>30</b>
				Mounting
				<b>horizontal</b>
<b>Motor</b>				
19	Manufacturer		Winding Protection	
20	Type		Starting Method	
21	Nominal Rating $P_N$ [kW]	<b>4</b>	Motor heater voltage [V]	
22	Voltage [V]		Frame Size	
23	Frequency [Hz]	<b>50</b>	Motor mounting	
24	Speed [rpm]	<b>3000</b>	Ex-Proof	
25	Nominal Current [A]		Enclosure	
26	Starting Current $I_A / I_N$		Insulation	
27	Cos $\phi$			
28				
<b>Materials</b>				
29	Casing	<b>0.6025 (GG25)</b>	Shaft	<b>1.4021 (X20Cr13)</b>
30	Impeller	<b>1.4122 (RL03)</b>	Seal motorside	<b>38 mm / F-Tipo - C/SiC</b>
31	Liner	<b>~0.9650 (Hidrohard)</b>	Seal pumpside	<b>28 mm / G-Tipo - SiC/SiC</b>
32	Back Cover	<b>0.6020 (GG20)</b>	O-Ring	<b>Nitrile</b>
33				
<b>Instrumentation</b>				
34	Moisture Probe	<b>No</b>		
35			Moisture Probe Relay	
36	Bearing temperature probe	<b>No</b>	Thermister Relay	
37				
<b>Testing</b> EN ISO9906:1999 Grade 2 Annex A				
38	Test required	<b>No</b>	Overall Efficiency [%]	
39	Hydrostatic at [bar]		Hydraulic Efficiency [%]	
40	Performance at [l/s m]		Motor	
41	NPSH [m]			
<b>Documentation</b>				
42	Instruction Manuals	<b>94-BA 5039E, 94-BA 5030E, 94-BA 5086E</b>	Performance Curve	<b>C-1368-2888</b>
43			Sectional Drawing	<b>S-7714, S-9689</b>
44	Wiring Diagram		Assembly Certificate	
45	Dimension Sheet	<b>M-4790, M-4802, M-6505, M-9926</b>	Certificates	
<b>Miscellaneous</b>				
46	Pump Weight Net [kg]	<b>68 kg - Includo Baseplate</b>	Painting	<b>Standard Painting</b>
47	Hydraulic Weight [kg]	<b>24,0 kg</b>	Coat thickness [µm]	<b>150µm, Estándar RAL 5010</b>
48				
<b>Accessories</b>				
49	Placa Base	<b>HS-B112/B050 - Dismounting base plate BCM.X/BCZ.X-/112 for B050 - 22,0 kg</b>		
50				
51				
52				
<b>Notes</b>				
53				
54				
55				
56				
57				

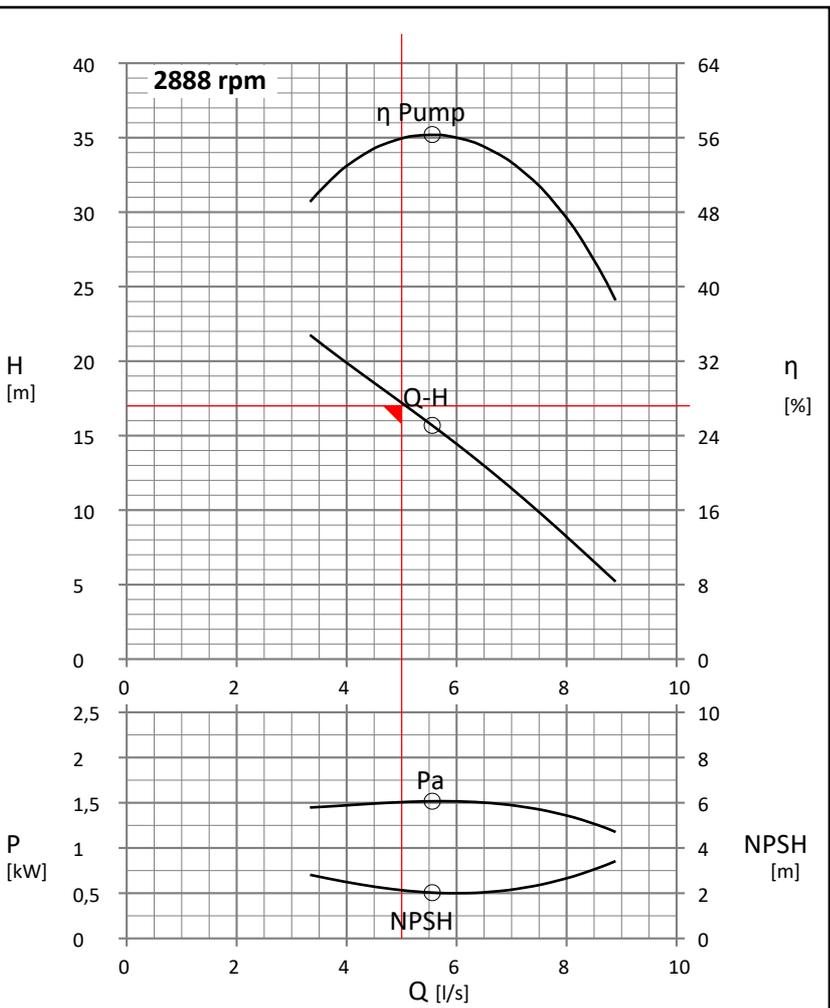
# B050-M03R + BCM1X-G112Q

Proyecto: Cliente: H/R No.: Pedido N°: Fecha:	Nota La potencia P de la bomba incluye al sello mecánico pérdidas por fricción en rodajes y sello mecánico soporte con rodajes asentados.	 D = 30 mm
	Pruebas de la bomba acuerdo ISO 9906:2012-3B <b>Velocidad: 2888 rpm</b>	



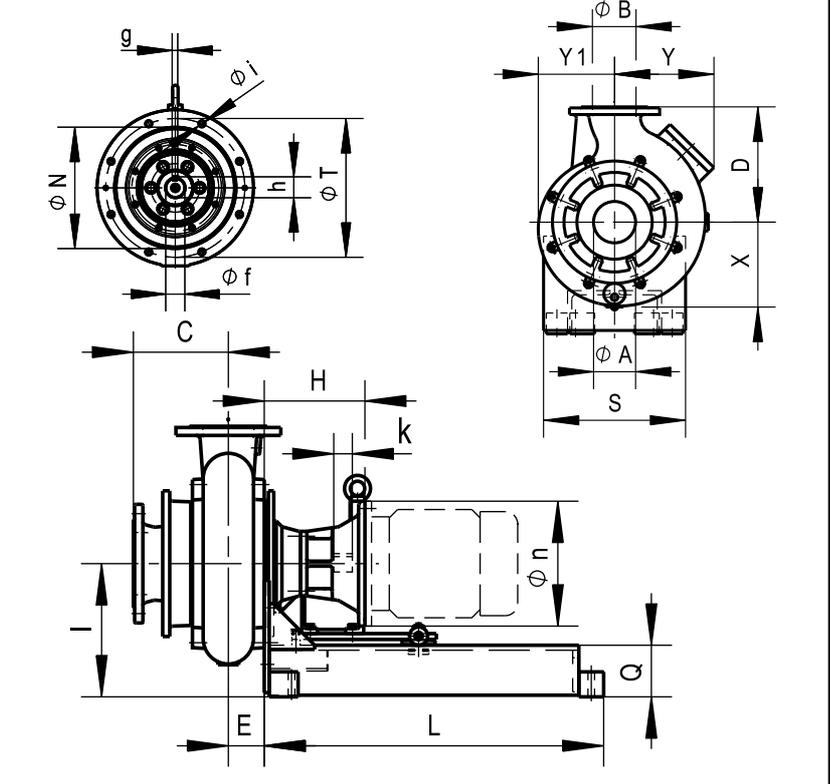
# Bomba con soporte de rodamien.: B050-M03R + BCM1X-G112Q

Proyecto / Fecha:			
Cliente:			
H/R No. / Pedido N°:			
Bomba Tipo:			
<b>Hidráulica</b>			
Succión:	80 mm	Taladrado a PN 6	
Descarga:	50 mm	Taladrado a PN 16	
Tipo:	B050		
Regulable:	Si		
Impulsor:	M		
Pasaje libre:	30 mm		
Tapa de limpieza:	No		
<b>Motor</b>			
Fabricante:			
Potencia nominal Pn:	4 kW		
IEC-Tamaño de motor:	112		
Frecuencia:	50 Hz		
Velocidad:	2888 rpm		
<b>Material de la parte hidráulica</b>			
Caja:	0.6025 (GG25)		
Impulsor:	1.4122 (RL03)		
Camiseta:	~0.9650 (Hidrohard)		
Sellar las partes:	0.6020 (GG20)		
Eje:	1.4021 (X20Cr13)		
Sello mec. lado motor:	38 mm / F-Tipo - C/SiC		
Sello mec. lado bomba:	28 mm / G-Tipo - SiC/SiC		
Juntas tóricas:	Nitrile		
<b>Instrumentación</b>			
Sonda temp. Rodamiento:	No		
Sonda de temperatura:			
<b>Varios</b>			
Instalación:	horizontal		
Peso bomba:	~ 46 kg		
Pintura:	Pintura estándar		
Espesor de la pintura:	150µm, Estándar RAL 5010		
<b>Accesorios</b>			
Placa Base:	HS-B112/B050		
Peso:	22,0 kg		
Punto de garantía:	<span style="color: red;">▶</span> Q = 5,00 l/s - H = 17,00 m n = 2900 rpm, f = 50,0 Hz		



Nota: La potencia P de la bomba incluye al sello mecánico pérdidas por fricción en rodajes y sello mecánico soporte con rodajes asentados. Pruebas de la bomba acuerdo ISO 9906:2012-3B

Dibujo de dimensiones			
A	80 mm	n	250 mm
B	50 mm	T	215 mm
C	160 mm	l	203 mm
D	160 mm	L	800 mm
E	45 mm	Q	50 mm
X	145 mm	R	220 mm
Y	125 mm	S	
Y1	104 mm		
f	28 mm		
g	8 mm		
H	203 mm		
h	31 mm		
i	4xØ14		
k	34 mm		
N	180 mm		



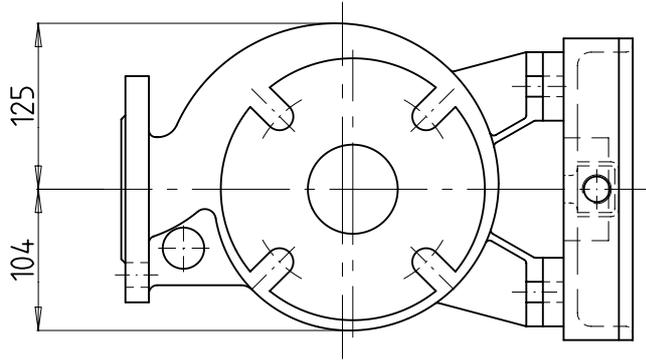


FLEXIBLE COUPLED BEARING FRAME PUMP  
 FLEXIBEL GEKUPPELTE LAGERSTUHL PUMPE  
**BCM1X-/112**

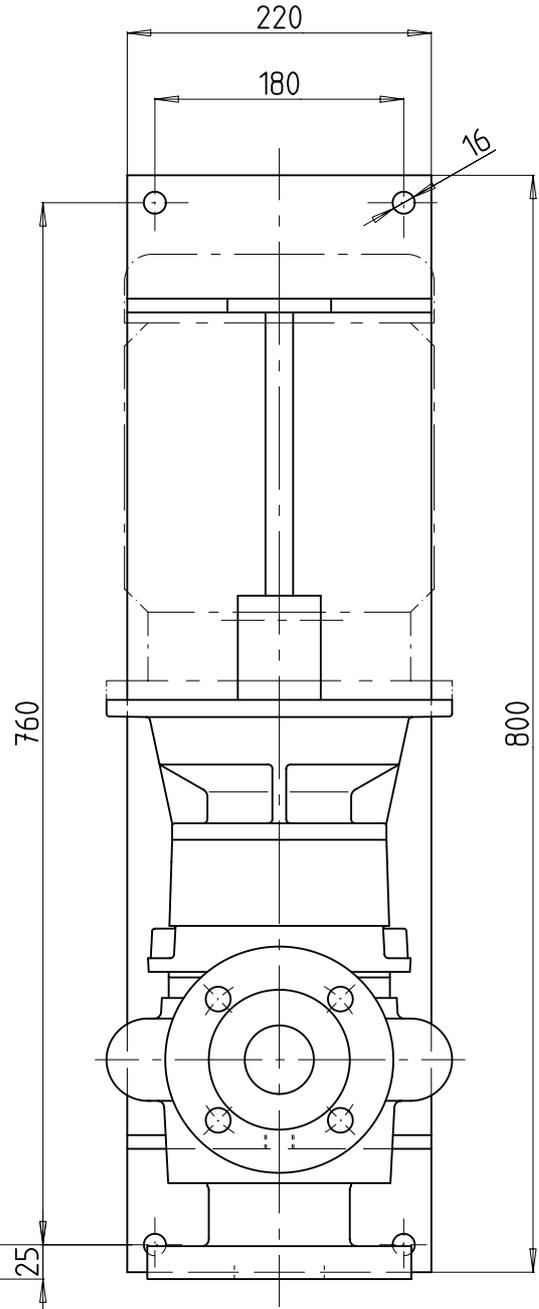
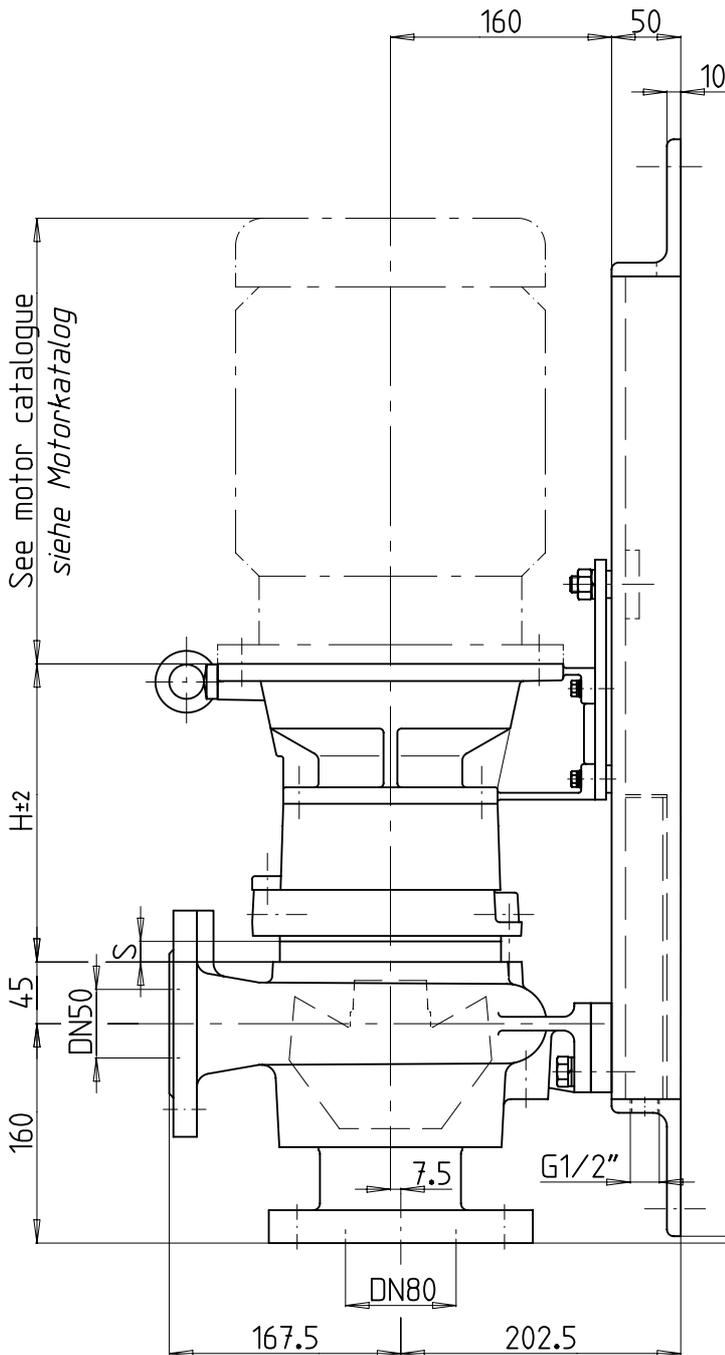
HYDRAULIC  
 HYDRAULIK  
**B050**

ACCESSORIES: BASE PLATE  
 6HX-B112

ZUBEHÖR: GRUNDPLATTE  
 6HX-B112



HYDRAULIC HYDRAULIK		H	S
B050	-M	210.4	8
	-H	217.4	15



DN 50 = PN 40 DIN EN 1092  
 DN 80 = PN 6 DIN EN 1092

Pump flanges see 00-TU6196-97  
 Pumpenflanschen siehe 00-TU6196-97

Konstruktionsänderungen vorbehalten  
 Hidrostal reserve the right to make changes without giving prior notice  
 Hidrostal se reserve tous droits de changement de construction

File :

Drawn by/Bearb. Dat. Vis. : 27.05.03 erg  
 Approved by/Gepr. Dat. Vis. : 27.05.03 db

No : 03 - M 6 5 0 5



# DIMENSIONS OF FLEXIBLE COUPLED BEARING FRAMES

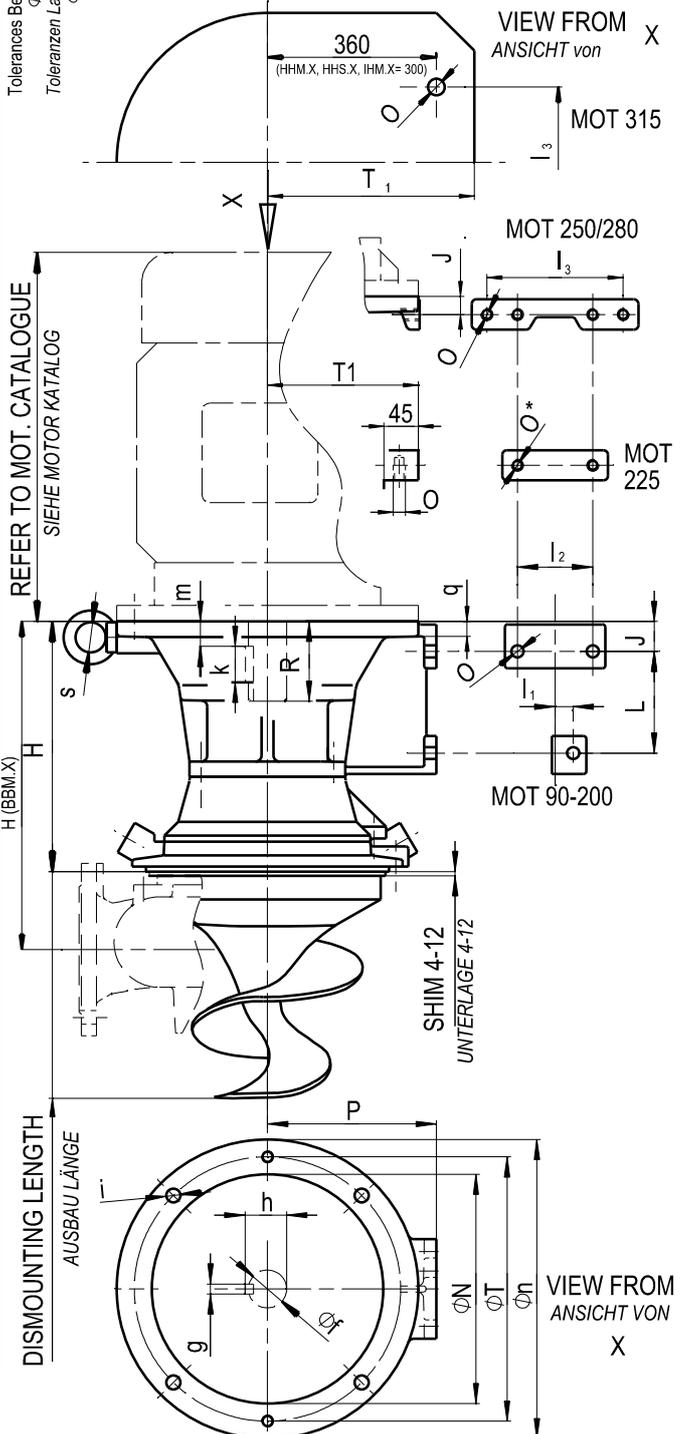
## ALLGEMEINES MASSBLATT FLEXIBEL GEKUPPELTE LAGERSTÜHLE

Type	Motor Size	Dismount. Ausbau	Cl. TYPE H K. TYPE	I1	I2	I3	J	L	O	P	s	T1	q											
BBM.X	090	---	247	20	40	-	18	44	8	146	25	-	12											
BCM.X		166	211																					
CBM.X		172	188																					
CCM.X		200	---																					
DCM.X		218	206																					
BBM.X	100/112	---	253	20	40	-	18	66	8	148	25	-	12											
CBM.X		166	194																					
BCM.X	100/112	166	203	20	40	-	18	66	8	148	25	-	12											
BCZ.X		---	---																					
CCM.X		172	192																					
CCZ.X		---	---																					
DCM.X		218	197																					
DCZ.X	---	208																						
EDM.X	132	---	---	18	75	-	30	102	12	168	30	30	15											
BDM.X		122	257																					
BDZ.X		---	---																					
CDM.X		172	246																					
CDZ.X		---	248																					
DDM.X		---	251																					
DDZ.X		---	261																					
DDS.X		218	253																					
DDS.X		---	284																					
EDM.X		---	240																					
EDS.X	---	273																						
CDM.X	160/180	172	322	20	75	-	27	88	14	214	35	-	15											
DDM.X		---	---																					
DDS.X		---	327																					
DDS.X		---	338																					
DFM.X		218	360																					
DFM.X		---	371																					
DFM.X		---	300																					
DFM.X		---	311																					
DFS.X		---	317																					
DFS.X		---	328																					
EDM.X	307	---	---	20	75	-	27	88	14	214	35	-	15											
EDS.X		---	---																					
EFM.X		---	316																					
EFS.X		---	349																					
EFM.X		---	289																					
EFS.X		---	306																					
FFM.X		---	324																					
FFS.X		---	406																					
HFM.X		---	324																					
HFS.X		---	406																					
DDM.X	200	---	---	20	75	-	44	88	14	214	35	-	17											
DDS.X		---	---																					
DFM.X		218	344																					
DFM.X		---	355																					
DFM.X		---	377																					
DFM.X		---	388																					
DFM.X		---	317																					
DFM.X		---	327																					
DFS.X		---	334																					
DFS.X		---	344																					
EFM.X	307	---	---	20	75	-	44	88	14	214	35	-	17											
EFS.X		---	---																					
FFM.X		---	306																					
FFS.X		---	323																					
FFM.X		---	341																					
FFS.X		---	423																					
HFM.X		---	341																					
HFS.X		---	423																					
FFM.X		497	---											---	20	75	-	44	88	14	214	35	-	17
FFS.X			---											---										
HFM.X	---		414																					
HFS.X	---		434																					
HFM.X	---		414																					
HFS.X	---		434																					
EGM.X	---		455																					
EGS.X	---		480																					
FGM.X	---		438																					
FGS.X	---		---																					
HGM.X	225	328	414	-	50	-	20	-	M16	225	40	200	18											
FFS.X		---	434																					
HFM.X		---	414																					
HFS.X		---	434																					
EGM.X		---	455																					
EGS.X		---	480																					
FGM.X		---	438																					
FGS.X		---	---																					
HGM.X		---	438																					
EGM.X		---	465																					
EGS.X	---	490																						
FGM.X	250/280	---	---	-	380	490	23	-	M16	280	40	-	20											
FGS.X		---	---																					
HGM.X		---	448																					
HGM.X		---	448																					
HGM.X		---	448																					
HGM.X		---	448																					
HGM.X		---	448																					
HGM.X		---	448																					
HGM.X		---	448																					
HGM.X		---	448																					
HGM.X	---	448																						
HGM.X	315	---	---	-	-	350	-	-	22	-	30	400	22											
HGM.X		---	---																					
HGM.X		---	---																					
HGM.X		---	---																					
HGM.X		---	---																					
HGM.X		---	---																					
HGM.X		---	---																					
HGM.X		---	---																					
HGM.X		---	---																					
HGM.X		---	---																					
HGM.X	---	---																						
HGM.X	355	---	---	-	-	-	-	-	-	-	30	-	27											
HGM.X		---	---																					
HGM.X		---	---																					
HGM.X		---	---																					
HGM.X		---	---																					
HGM.X		---	---																					
HGM.X		---	---																					
HGM.X		---	---																					
HGM.X		---	---																					
HGM.X		---	---																					
HGM.X	---	---																						

Motor Size	pol	∅f	g	h	∅j	k max	m min	N	n	R	T
090	2..8	24	8	27	4x12	40	6	130	200	50	165
100		28		31	4x14	34	20	180	250	60	215
112		38	10	41	4x18	38	25	230	300	80	265
132		42	12	45		80	30	250	350	80	300
160		48	14	51.5		100	10	300	400	110	350
180	2	55	16	59	80	30	350	450	140	500	
200											
225	4..8	60	18	64	110	30	450	550	170	740	
250											
280	2	65	20	79.5	125	45	550	660	210	740	
315											
355	4..8	90	25	95	8x23	160	50	680	800	210	740
400	100	28	106								

\* only on customers request  
Nur auf Kundenwunsch

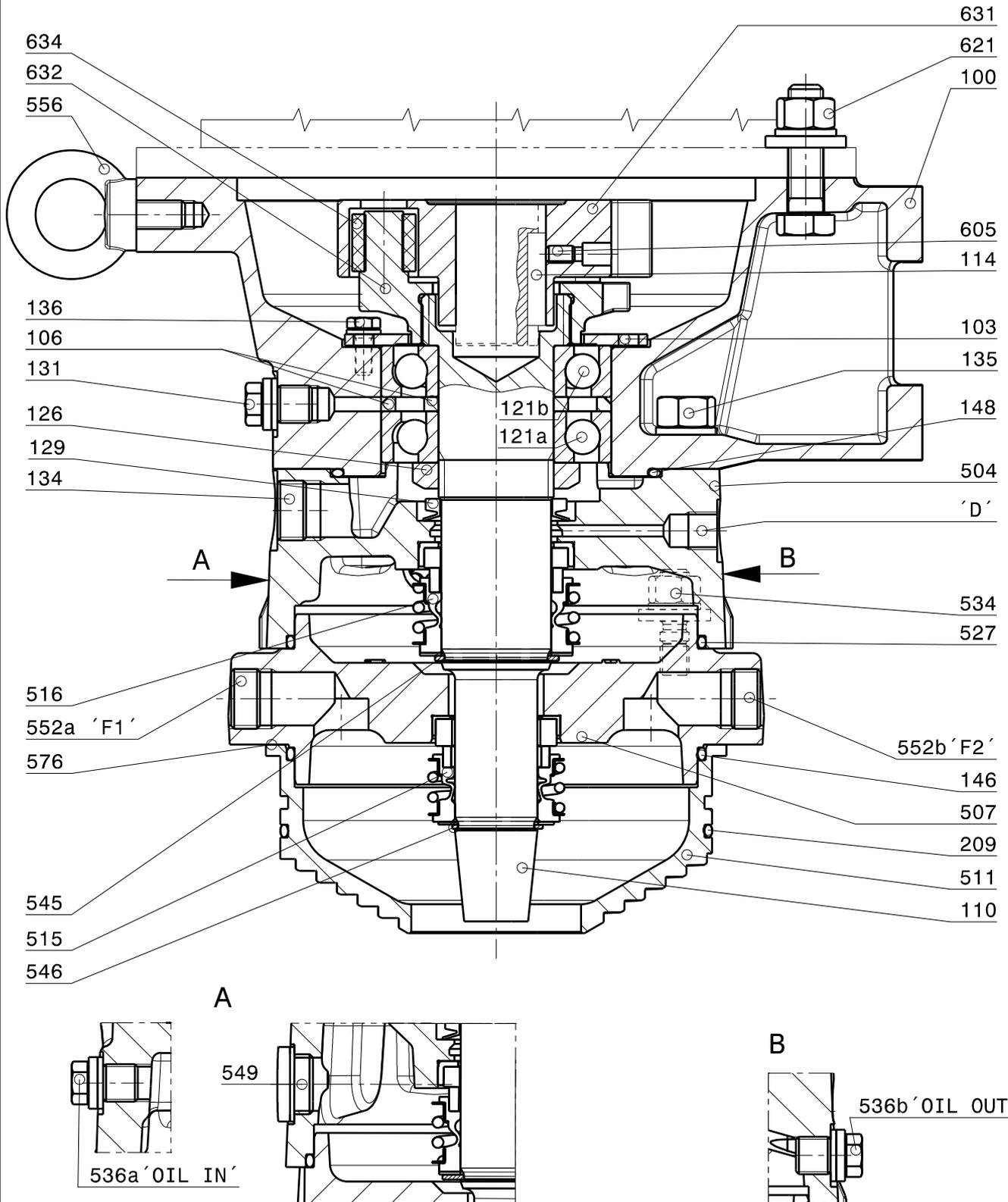
Tolerances Bearing frame ∅f: H7 (Coupling)  
∅N: +0.3/+0.1 (Motor Support)  
Toleranzen Lagerstuhl ∅f: H7 (Kupplung)  
∅N: +0.3/+0.1 (Motorlatene))

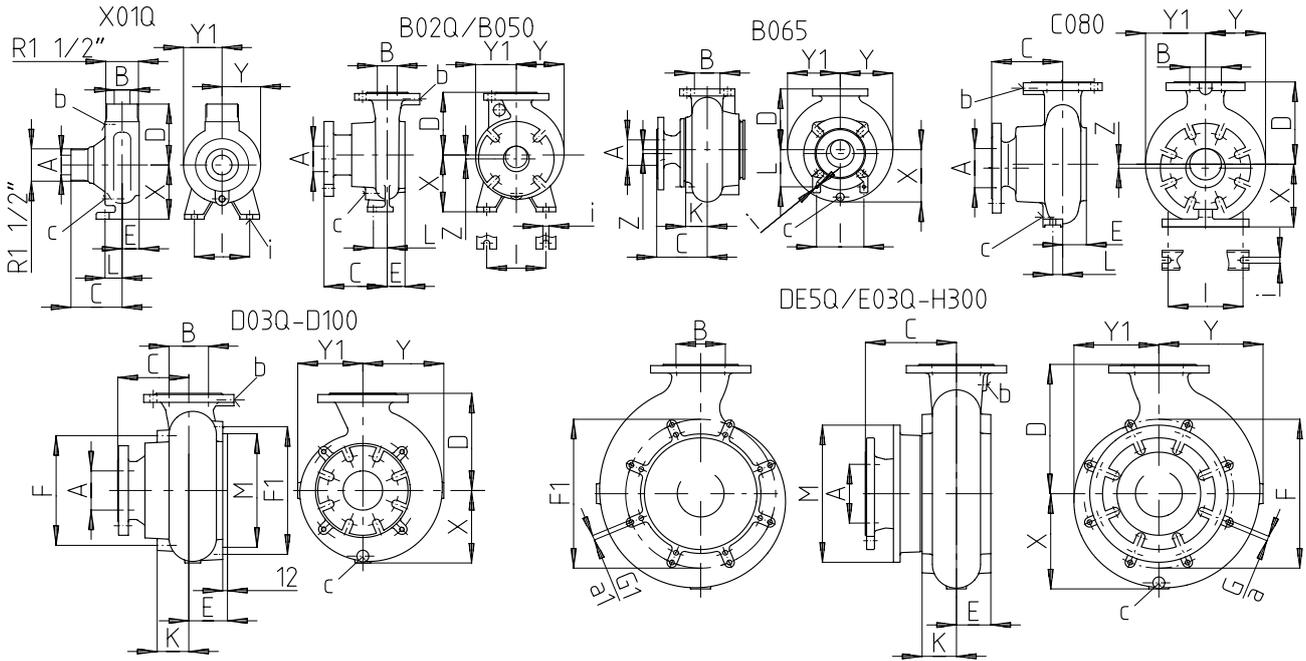


Konstruktionsänderungen vorbehalten  
Subject to change without prior notice  
Modifications réservées sans préavis

Drawn by/Bearb. Dat. Vis.: 25.01.01 db  
Approved by/Gepr. Dat. Vis.: 07.08.18 rest

No: 93-M4802s





**Pump flanges / Pumpenflanschen:**

A, B ≤ DN 150 PN16 DIN EN 1092  
A, B ≥ DN 200 PN10 DIN EN 1092

**ATTENTION EXCEPTION / ACHTUNG AUSNAHME:**

A B02Q/B050 PN6 DIN EN 1092  
B B02Q PN6 DIN EN 1092  
B B050 PN16 DIN EN 1092

See also / Siehe auch 00-TU 6196 + 00-TU 6197

Pump-Type	A	B	C	D	E	F	F1	G	G1	I	K	L	M	X	Y	Y1	Z	a	a1	b	c	i
X01Q	32	25	75	80	25					55		25		80	56.5	56.5	0			G 1/8"	G 1/8"	12
	R1 1/2"	R11/2"																				
B02Q	65	50	116	160	45					100		40		112	125	104	-			-		15
B050	80		160			-	-	-	-	150		35		145			7.5			G 1/4"		
B065	-T	65	138	155	-					120	55	95		134	134	134	10			-		M8
	-E/R/S		128																			
C080		80	180	210	60					190	-	25		160	152	152						15
D03Q/D080	100		165	215	72					65			290	162	179	168				G 1/4"		
D04Q/D100		100	180	248	98	280	326			80				185	210	168		4				
DE5Q -ER/H		125	230	330	87					87				253	274	225						
E03Q -MH																						
E080		80	208	285	62					77				216	229	229						
E05Q -L/M/H/S	150		230																			
E125			182																			
		125	200	330	87	380	380	M12	M12	87			350	253	274	225						G 1/2"
E05Q -ML			288																			
			298																			
E08Q -ML	200		276																			
		200	285	400	100					88				315	360	270	0	8				G 1/2"
			278																			
E200																						
F100		100	245	364	80					80				275	297	250						
F150/ -E			235																			
F06Q -L/M		150	270	410	108	470	470			108			435	320	346	275						
			330					M16	M16													
F250/F10Q		250		475	127					125				356	405	320						
H125	250	125	280	460	96					96				346	368							
H200/H08Q		200		530	132	570	570			132			530	390	425	345						
H300/H12Q	300	300		650	0					264				520	560	455						

# Baseplate HS

## Overview of dismounting base plate for flex bearing frames

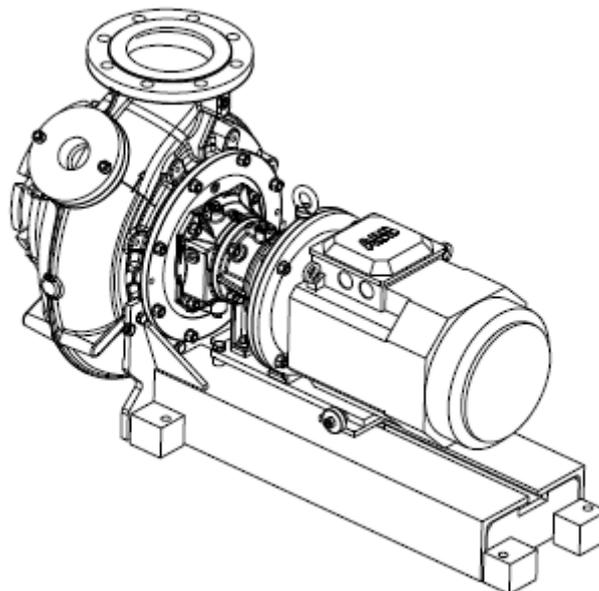
### Description

The dismounting base plate for flexible coupled bearing frames ensures the best support and best maintenance access for the pump. The hydraulic casing is on one side attached to the baseplate (overhung). These welded steel Baseplates are available painted or galvanized.

Baseplate	Steel painted	Steel galvanized	Hydraulic size	Bearing frame size	IEC motor size
HS-B065	■	- <sup>2</sup>	B065	BB..X	100, 112
HS-B112/B02Q	■	- <sup>2</sup>	B02Q	BC..X	
HS-B112/B050	■	■	B050		BD..X
HS-B132	■	- <sup>2</sup>	B050/B065	CC..X	100, 112
HS-C112	■	■	C03U/C03R	CD..X	132
HS-C132	■	■		160,180	
HS-C180	■	■			
HS-D04U/DX132	■	- <sup>2</sup>	D04U	DD..X	132
HS-D06Q/CX112	■	■	D06U/D06R	DC..X	100, 112
HS-D06Q/DX132	■	■		DD..X	132
HS-D112/C	■	■	D03U/D03R/D04R	DC..X	100, 112
HS-D132/C	■	■		DD..X	132
HS-D180/C	■	■		DD..X / DF..X	160,180
HS-E132/C	■	■	E03R / E06U / E06R / E08U / E08R / E125	ED..X	132
HS-E180/C	■	■		ED..X / EF..X	160,180
HS-F180/C	■	■	F04K / F06K / F10K	FF..X	

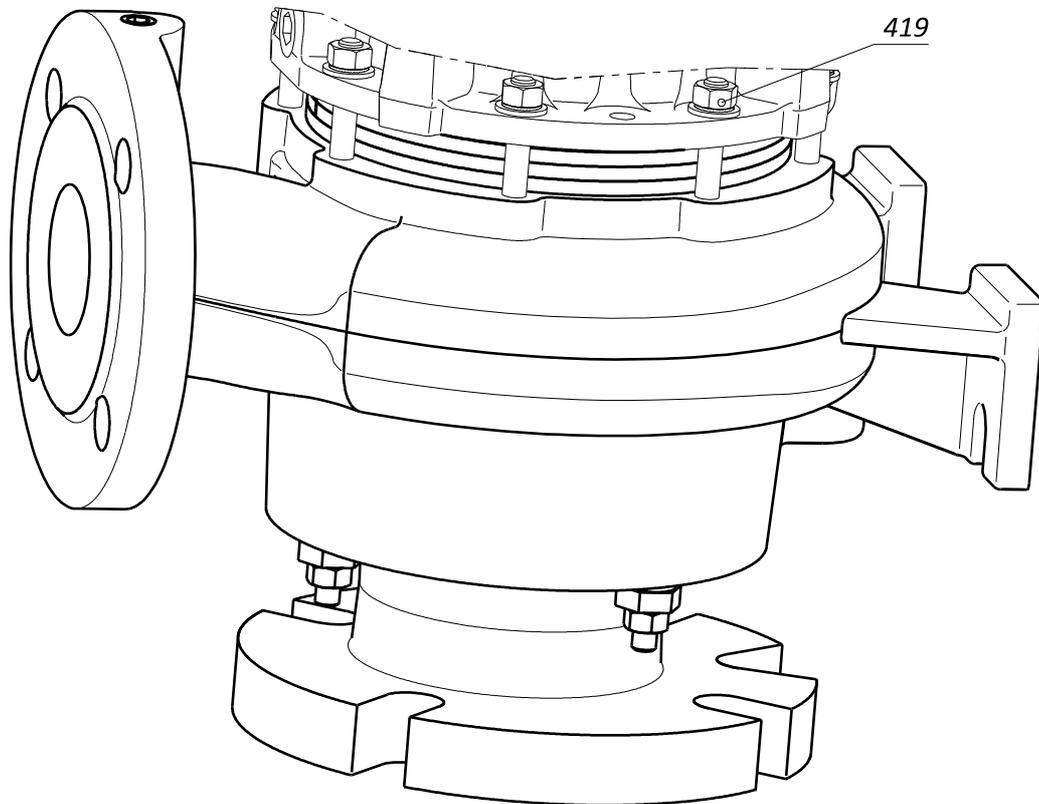
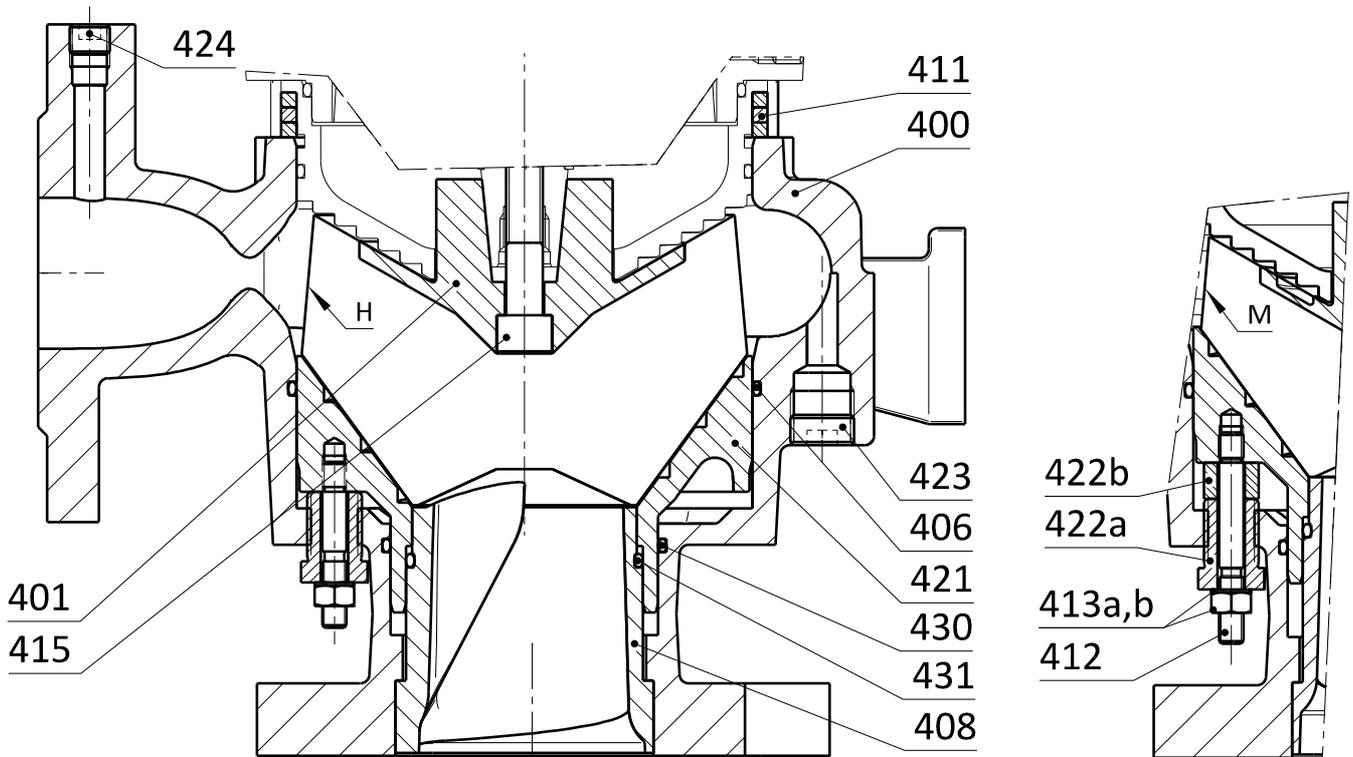
<sup>1</sup>Motors type IM B35 and B5

<sup>2</sup>on request



Subject to change without prior notice

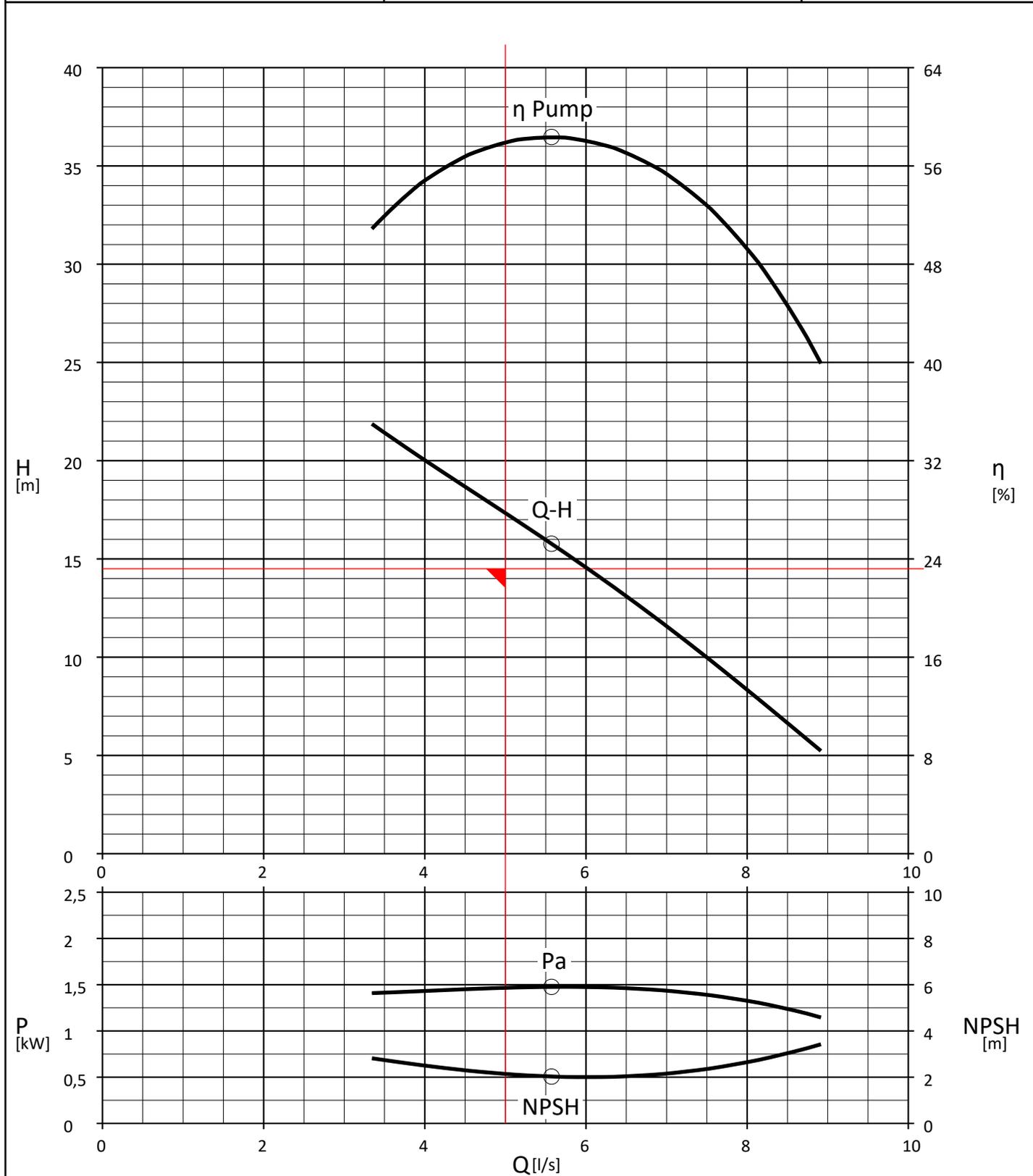
# Hydraulic B050-H0.R/M0.R FFT



# **ANEXO 2**

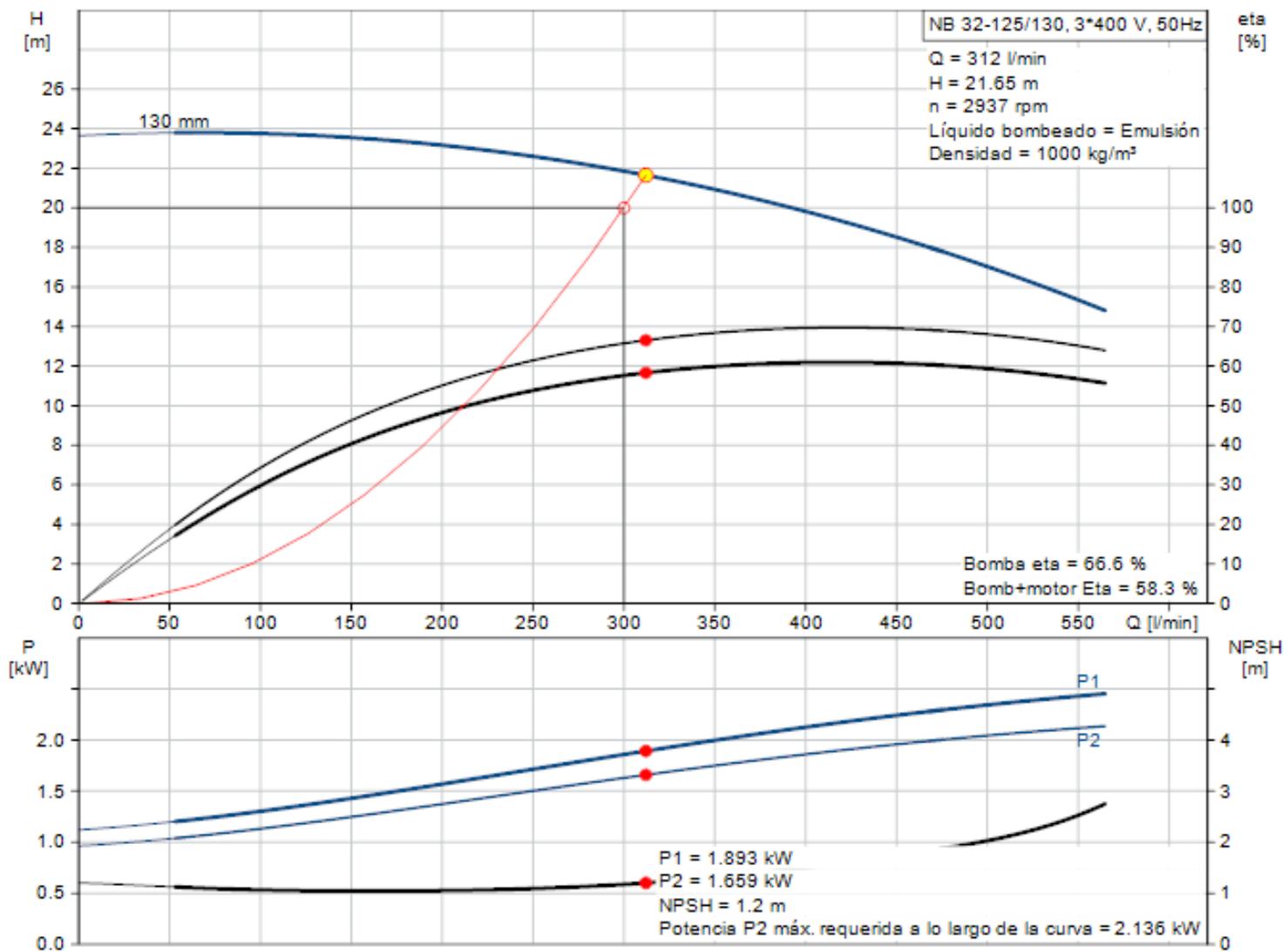
# B050-M01R + BCM1X-G112Q

Proyecto: Cliente: H/R No.: Pedido N°: Fecha:	Nota La potencia P de la bomba incluye al sello mecánico pérdidas por fricción en rodajes y sello mecánico soporte con rodajes asentados.	 <b>D = 30 mm</b>
	Pruebas de la bomba acuerdo ISO 9906:2012-3B <b>Velocidad: 2896 rpm</b>	

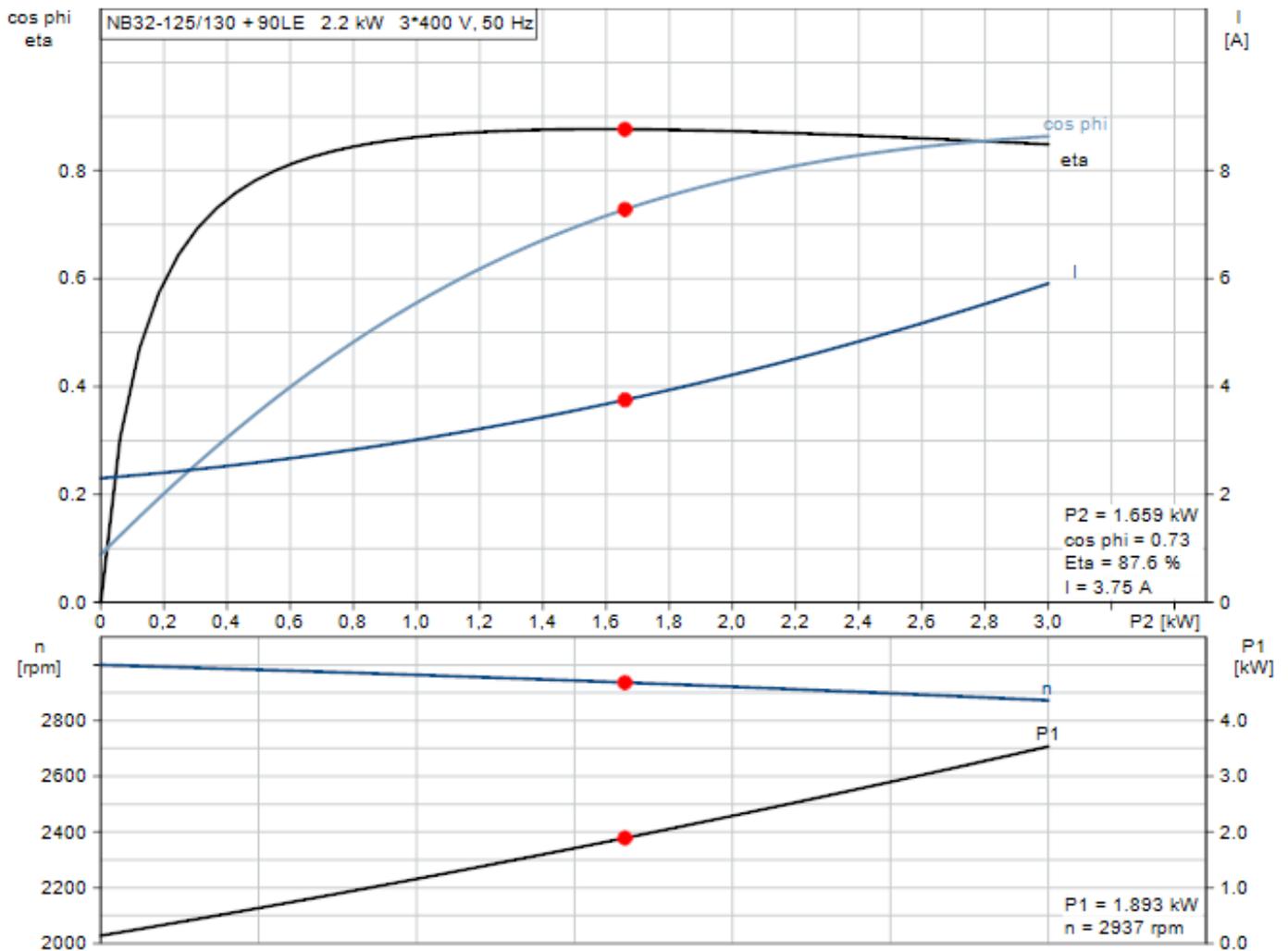


# **ANEXO 3**

# RENDIMIENTO



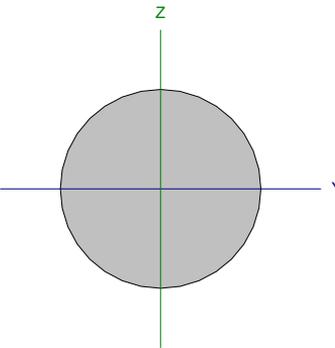
# MOTOR



Tipo	NB 32-125/130
Cantidad	1
Motor	2.2 kW
Caud	312 l/min
Alt.	21.65 m
Entrad presión mín	-0.77 bar ( 40 °C, contra la atmosfera)
Pot. P1	1.894 kW
Pot. P2 requerida en el punto de trabajo	1.66 kW
BombaEta	66.6 %
Motor Eta	87.6 %
Bomb+motor Eta	58.3 % =Bomba Eta *motor Eta
Total Eta	58.3 % =Eta relativa punto de trabajo
Consumo energía	2108 kWh/Año
Emisión CO2	559 kg/Año

# **ANEXO 4**

CRUZ DE SAN ANDRES CUBIERTA  
Barra N74/N90

Perfil: R 24 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )
	N74	N90	7.141	4.52	1.63	1.63	3.26
Notas: <sup>(1)</sup> Inercia respecto al eje indicado <sup>(2)</sup> Momento de inercia a torsión uniforme							
		Pandeo		Pandeo lateral			
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
$\beta$		0.00	0.00	0.00	0.00		
L <sub>k</sub>		0.000	0.000	0.000	0.000		
C <sub>m</sub>		1.000	1.000	1.000	1.000		
C <sub>1</sub>		-		1.000			
Notación: b: Coeficiente de pandeo L <sub>k</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	$\bar{\lambda}$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>	
4/N90	$\bar{\lambda} \leq 4.0$ Cumple	$\eta = 45.0$	N <sub>ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(1)</sup>	M <sub>ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(2)</sup>	M <sub>ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(2)</sup>	V <sub>ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(3)</sup>	V <sub>ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(3)</sup>	N.P. <sup>(4)</sup>	N.P. <sup>(4)</sup>	N.P. <sup>(5)</sup>	N.P. <sup>(6)</sup>	M <sub>ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(7)</sup>	N.P. <sup>(8)</sup>	N.P. <sup>(8)</sup>	CUMPLE h = 45.0
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez N: Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra h: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede															
Comprobaciones que no proceden (N.P.): <sup>(1)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. <sup>(2)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. <sup>(3)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. <sup>(4)</sup> No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. <sup>(5)</sup> No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. <sup>(6)</sup> No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. <sup>(7)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. <sup>(8)</sup> No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.															

**Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)**

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras de arriostramiento traccionadas no debe superar el valor 4.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} < 4.0 \quad \checkmark$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.  
 f<sub>y</sub>: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  
 N<sub>cr</sub>: Axil crítico de pandeo elástico.

A : 4.52 cm<sup>2</sup>  
 f<sub>y</sub> : 265.00 MPa  
 N<sub>cr</sub> : ∞

### Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.450} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(90°)H1+1.5·N(EI).

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{51.35} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{114.17} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{4.52} \text{ cm}^2$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{265.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

### Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

### Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

### Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

### Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

### Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

### Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

### Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

### Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Producción por una versión de software de tipo

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

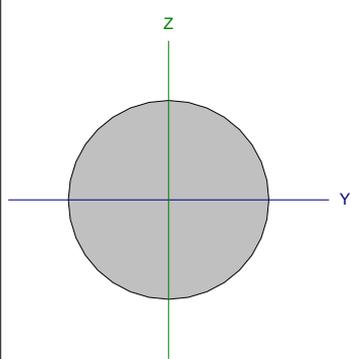
Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

CRUZ DE SAN ANDRES LATERAL  
Barra N73/N82

Perfil: R 23.6 Material: Acero (S275)							
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )
	N73	N82	9.434	4.37	1.52	1.52	3.05
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme							
		Pandeo		Pandeo lateral			
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
$\beta$		0.00	0.00	0.00	0.00		
$L_k$		0.000	0.000	0.000	0.000		
$C_m$		1.000	1.000	1.000	1.000		
$C_1$		-		1.000			
Notación: b: Coeficiente de pandeo L <sub>k</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado
	$\bar{\lambda}$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>y</sub>	
N73/N82	$\bar{\lambda} \leq 4.0$ Cumple	$\eta = 83.1$	N <sub>ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(1)</sup>	M <sub>ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(2)</sup>	M <sub>ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(2)</sup>	V <sub>ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(3)</sup>	V <sub>ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(3)</sup>	N.P. <sup>(4)</sup>	N.P. <sup>(4)</sup>	N.P. <sup>(5)</sup>	N.P. <sup>(6)</sup>	M <sub>ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(7)</sup>	N.P. <sup>(8)</sup>	N.P. <sup>(8)</sup>	CUMPLE h = 83.1
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez N: Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>t</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>t</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra h: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede															
Comprobaciones que no proceden (N.P.): (1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión. (2) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector. (3) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante. (4) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (5) No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (6) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede. (7) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. (8) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.															

**Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)**

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras de arriostramiento traccionadas no debe superar el valor 4.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} < 4.01 \quad \checkmark$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : 4.37 \text{ cm}^2$$

f<sub>y</sub>: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : 265.00 \text{ MPa}$$

N<sub>cr</sub>: Axil crítico de pandeo elástico.

$$N_{cr} : \infty$$

### Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.831} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H1+0.75·N(EI).

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{91.77} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{t,Rd} : \underline{110.40} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{4.37} \text{ cm}^2$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{252.38} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{265.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

### Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

### Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

### Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

### Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

### Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

### Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

### Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

### Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Producción por una versión de software de tipo

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

VIGA PERIMETRAL  
Barra N50/N58

Perfil: IPE 270 Material: Acero (S275)		Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas		
Inicial	Final	Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )		I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	
N50	N58	5.000	45.90	5790.00	420.00	15.90	
Notas: <sup>(1)</sup> Inercia respecto al eje indicado <sup>(2)</sup> Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo		Pandeo lateral				
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
	β	0.00	0.00	0.00	0.00		
	L <sub>k</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000		
	C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000		
C <sub>1</sub>	-		1.000				
Notación: b: Coeficiente de pandeo L <sub>k</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)														Estado	
	$\bar{\lambda}$	$\lambda_w$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>r</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>r</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM, M <sub>z</sub>	NM, M <sub>z</sub> , V <sub>y</sub> , V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>r</sub> V <sub>z</sub>		M <sub>r</sub> V <sub>y</sub>
N50/N58	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w, \max}$ Cumple	η = 3.0	η = 2.8	x: 5 m η = 0.9	x: 5 m η = 0.7	x: 5 m η = 0.4	η < 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 5 m η = 4.1	η < 0.1	M <sub>ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(1)</sup>	N.P. <sup>(2)</sup>	N.P. <sup>(2)</sup>	CUMPLE h = 4.1
Notación: λ̄: Limitación de esbeltez I <sub>w</sub> : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión M <sub>r</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y M <sub>r</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM, M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM, M <sub>z</sub> , V <sub>y</sub> , V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>r</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>r</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra η: Coeficiente de aprovechamiento (%) N.P.: No procede																
Comprobaciones que no proceden (N.P.): <sup>(1)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. <sup>(2)</sup> No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.																

**Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)**

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} < 2.0 \quad \checkmark$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 2

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 45.90 cm<sup>2</sup>

f<sub>y</sub>: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

f<sub>y</sub> : 275.00 MPa

N<sub>cr</sub>: Axil crítico elástico de pandeo mínimo, teniendo en cuenta que las longitudes de pandeo son nulas.

N<sub>cr</sub> : ∞

Producción por una versión educativa de Xyle

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

37.82 ≤ 250.57 ✓

Donde:

$h_w$ : Altura del alma.	$h_w$ :	<u>249.60</u>	mm
$t_w$ : Espesor del alma.	$t_w$ :	<u>6.60</u>	mm
$A_w$ : Área del alma.	$A_w$ :	<u>16.47</u>	cm <sup>2</sup>
$A_{fc,ef}$ : Área reducida del ala comprimida.	$A_{fc,ef}$ :	<u>13.77</u>	cm <sup>2</sup>
$k$ : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	$k$ :	<u>0.30</u>	
$E$ : Módulo de elasticidad.	$E$ :	<u>210000</u>	MPa
$f_{yf}$ : Límite elástico del acero del ala comprimida.	$f_{yf}$ :	<u>275.00</u>	MPa
Siendo:			
$f_{yf} = f_y$			

**Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$\eta$  : 0.030 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(0°)H2+1.5·N(EI).

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.  $N_{t,Ed}$  : 36.29 kN

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$   $N_{t,Rd}$  : 1202.14 kN

Donde:

$A$ : Área bruta de la sección transversal de la barra.  $A$  : 45.90 cm<sup>2</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd}$  : 261.90 MPa

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0}$  : 1.05

Producido por una versión educativa de CYPE

## Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.028} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{33.19} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{1202.14} \text{ kN}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{2}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{45.90} \text{ cm}^2$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo son nulas.

## Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.009} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N58, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H1.

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{1.09} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{126.76} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{484.00} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

## Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.007} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N58, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·N(R)2.

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.16} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N58, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.18} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{25.40} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{97.00} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

## Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N58, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.22} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{334.07} \text{ kN}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{22.09} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

Siendo:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{45.90} \text{ cm}^2$$

b: Ancho de la sección.

$$b : \underline{135.00} \text{ mm}$$

$t_f$ : Espesor del ala.

$$t_f : \underline{10.20} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.60} \text{ mm}$$

r: Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{15.00} \text{ mm}$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$33.27 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

$l_w$ : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{33.27}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$l_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.

$$l_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

### Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.04} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{444.96} \text{ kN}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{29.43} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{45.90} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{249.60} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{6.60} \text{ mm}$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$1.21 \text{ kN} \leq 167.04 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{1.21} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{334.07} \text{ kN}$$

### Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.04 \text{ kN} \leq 222.48 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.04} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{444.96} \text{ kN}$$

### Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.041} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N58, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(0°)H2+1.5·N(EI).

Donde:

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{36.29} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{1.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.08} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a tracción.

$$N_{pl,Rd} : \underline{1202.14} \text{ kN}$$

$M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{126.76} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{25.40} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

No procede, dado que tanto las longitudes de pandeo como las longitudes de pandeo lateral son nulas.

### Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$ .

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(270°)H1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$1.21 \text{ kN} \leq 167.04 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{1.21} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{334.07} \text{ kN}$$

### Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

### Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

### Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

PILAR LATERAL  
Barra N65/N66

Perfil: IPE 330  
Material: Acero (S275)

	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )
	N65	N66	8.000	62.60	11770.00	788.00	28.06
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo		Pandeo lateral				
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.			
$\beta$	0.00	0.70	0.00	0.00			
L <sub>K</sub>	0.000	5.600	0.000	0.000			
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000			
C <sub>1</sub>	-		1.000				
Notación: b: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico							

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	$\lambda_w$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>x</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>x</sub> M <sub>y</sub>	NM <sub>x</sub> M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>x</sub> V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	
N65/N66	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 7.815 m $\eta = 1.9$	x: 0 m $\eta = 2.4$	x: 0 m $\eta = 58.0$	x: 0 m $\eta = 3.7$	x: 0 m $\eta = 9.2$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 59.5$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.2$	x: 7.816 m $\eta = 6.3$	$\eta < 0.1$	CUMPLE h = 59.5
Situación: I: Limitación de esbeltez I <sub>w</sub> : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida N: Resistencia a tracción N <sub>t</sub> : Resistencia a compresión M <sub>x</sub> : Resistencia a flexión eje Y M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión eje Z V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y M <sub>x</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados M <sub>y</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados NM <sub>x</sub> M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión y axil combinados NM <sub>x</sub> M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados M <sub>t</sub> : Resistencia a torsión M <sub>x</sub> V <sub>y</sub> : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados M <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados x: Distancia al origen de la barra h: Coeficiente de aprovechamiento (%)																

Producido por una versión educativa de VPE

**Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda} : \underline{0.47} \quad \checkmark$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{3}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{62.60} \text{ cm}^2$$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$N_{cr}$ : Axil crítico de pandeo elástico.

$$N_{cr} : \underline{7778.92} \text{ kN}$$

El axil crítico de pandeo elástico  $N_{cr}$  es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{7778.92} \text{ kN}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{\infty}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[ G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

$I_y$ : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y : \underline{11770.00} \text{ cm}^4$$

$I_z$ : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \underline{788.00} \text{ cm}^4$$

$I_t$ : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \underline{28.06} \text{ cm}^4$$

$I_w$ : Constante de alabeo de la sección.

$$I_w : \underline{199000.00} \text{ cm}^6$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \underline{210000} \text{ MPa}$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \underline{81000} \text{ MPa}$$

$L_{ky}$ : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} : \underline{5.600} \text{ m}$$

$L_{kz}$ : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} : \underline{0.000} \text{ m}$$

$L_{kt}$ : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$$L_{kt} : \underline{0.000} \text{ m}$$

$i_0$ : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$$i_0 : \underline{14.16} \text{ cm}$$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

$i_y, i_z$ : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$$i_y : \underline{13.71} \text{ cm}$$

$$i_z : \underline{3.55} \text{ cm}$$

$y_0, z_0$ : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$$y_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

$$z_0 : \underline{0.00} \text{ mm}$$

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

40.93 ≤ 256.27 ✓

Donde:

$h_w$ : Altura del alma.

$h_w$  : 307.00 mm

$t_w$ : Espesor del alma.

$t_w$  : 7.50 mm

$A_w$ : Área del alma.

$A_w$  : 23.03 cm<sup>2</sup>

$A_{fc,ef}$ : Área reducida del ala comprimida.

$A_{fc,ef}$  : 18.40 cm<sup>2</sup>

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

k : 0.30

E: Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

$f_{yf}$ : Límite elástico del acero del ala comprimida.

$f_{yf}$  : 275.00 MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

**Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

h : 0.019 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 7.815 m del nudo N65, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H1.

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$  : 30.91 kN

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$  : 1639.52 kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 62.60 cm<sup>2</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

**Resistencia a compresión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

h : 0.023 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

h : 0.024 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N65, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·N(EI).

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$  : 37.38 kN

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

Producido por la versión Educativa de CYPE

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{1639.52} \text{ kN}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{3}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{62.60} \text{ cm}^2$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo  $N_{b,Rd}$  en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{1530.02} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{62.60} \text{ cm}^2$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

$\chi$ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$C_y : \underline{0.93}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$f_y : \underline{0.64}$$

$\alpha$ : Coeficiente de imperfección elástica.

$$a_y : \underline{0.21}$$

$\bar{\lambda}$ : Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.47}$$

$N_{cr}$ : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{7778.92} \text{ kN}$$

$N_{cr,y}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{7778.92} \text{ kN}$$

$N_{cr,z}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{\infty}$$

$N_{cr,T}$ : Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

## Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.580} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N65, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H1.

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{122.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N65, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(180°)H2+1.5·N(EI).

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{72.29} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{210.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{804.00} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

## Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.037} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N65, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(90°)H1+0.75·N(EI).

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{1.42} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N65, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{1.48} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{40.33} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{154.00} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

## Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.092} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N65, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{42.66} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{465.77} \text{ kN}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{30.80} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

Siendo:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{62.60} \text{ cm}^2$$

b: Ancho de la sección.

$$b : \underline{160.00} \text{ mm}$$

$t_f$ : Espesor del ala.

$$t_f : \underline{11.50} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.50} \text{ mm}$$

r: Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{18.00} \text{ mm}$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$36.13 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

$l_w$ : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{36.13}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$l_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.

$$l_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

### Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.18} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{598.42} \text{ kN}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{39.58} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{62.60} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{307.00} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{7.50} \text{ mm}$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$42.66 \text{ kN} \leq 232.88 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{42.66} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{465.77} \text{ kN}$$

### Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.18 \text{ kN} \leq 299.21 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.18} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{598.42} \text{ kN}$$

## Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.595} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.568} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p<sup>és</sup>imos se producen en el nudo N65, para la combinaci3n de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H1.

Donde:

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracci3n solicitante de c3lculo p<sup>és</sup>imo.

$$N_{t,Ed} : \underline{24.62} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de c3lculo p<sup>és</sup>imos, seg<sup>u</sup>n los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed}^+ : \underline{122.12} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed}^+ : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la secci3n, seg<sup>u</sup>n la capacidad de deformaci3n y de desarrollo de la resistencia pl3stica de sus elementos planos, para axil y flexi3n simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a tracci3n.

$$N_{pl,Rd} : \underline{1639.52} \text{ kN}$$

$M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexi3n de la secci3n bruta en condiciones pl3sticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{210.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{40.33} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Art3culo 6.3.4.1)

$M_{ef,Ed}$ : Momento flector solicitante de c3lculo p<sup>és</sup>imo.

$$M_{ef,Ed} : \underline{119.59} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

$\sigma_{com,Ed}$ : Tensi3n combinada en la fibra extrema comprimida.

$$\sigma_{com,Ed} : \underline{148.74} \text{ MPa}$$

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A}$$

$W_{y,com}$ : M3dulo resistente de la secci3n referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

$$W_{y,com} : \underline{804.00} \text{ cm}^3$$

A: 3rea de la secci3n bruta.

$$A : \underline{62.60} \text{ cm}^2$$

$M_{b,Rd,y}$ : Momento flector resistente de c3lculo.

$$M_{b,Rd,y} : \underline{210.57} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## Resistencia a flexi3n, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Art3culo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de c3lculo a flexi3n y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, adem3s, el esfuerzo cortante solicitante de c3lculo p<sup>és</sup>imo  $V_{Ed}$  es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de c3lculo  $V_{c,Rd}$ .

Los esfuerzos solicitantes de c3lculo p<sup>és</sup>imos se producen para la combinaci3n de acciones 0.8·PP+1.5·V(0°)H1.

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$42.66 \text{ kN} \leq 232.88 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de c3lculo p<sup>és</sup>imo.

$$V_{Ed,z} : \underline{42.66} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de c3lculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{465.77} \text{ kN}$$

### Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.002} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H1.

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo  $M_{T,Rd}$  viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{3.69} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{24.40} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.063} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 7.816 m del nudo N65, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{29.12} \text{ kN}$$

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido  $V_{pl,T,Rd}$  viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{465.31} \text{ kN}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{465.77} \text{ kN}$$

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.37} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{24.40} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

## Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$h < \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP + 1.5·V(270°)H1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.18} \text{ kN}$$

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido  $V_{pl,T,Rd}$  viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{597.88} \text{ kN}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{598.42} \text{ kN}$$

$t_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.

$$t_{T,Ed} : \underline{0.34} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{24.40} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

PILAR FRONTAL  
Barra N93/N94

Perfil: IPE 400 Material: Acero (S275)						
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas		
	Inicial	Final		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )
	N93	N94	10.000	84.50	23130.00	1318.00
Notas: <sup>(1)</sup> Inercia respecto al eje indicado <sup>(2)</sup> Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral		
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.	
$\beta$	0.00	0.70	0.00	0.00	0.00	
L <sub>k</sub>	0.000	7.000	0.000	0.000	0.000	
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
C <sub>1</sub>	-			1.000		
Notación: b: Coeficiente de pandeo L <sub>k</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	$\lambda_{w, \max}$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>z</sub> V <sub>y</sub>	
N93/N94	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_{w, \max} \leq \lambda_{w, \max}$ Cumple	x: 9.815 m $\eta = 1.6$	x: 0 m $\eta = 1.8$	x: 0 m $\eta = 4.8$	x: 0 m $\eta = 75.5$	$\eta = 0.5$	x: 0 m $\eta = 3.0$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 77.6$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.1$	$\eta = 0.4$	x: 0 m $\eta = 2.9$	CUMPLE h = 77.6

Notación:  
 $\bar{\lambda}$ : Limitación de esbeltez  
 $\lambda_{w, \max}$ : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida  
 N<sub>t</sub>: Resistencia a tracción  
 N<sub>c</sub>: Resistencia a compresión  
 M<sub>y</sub>: Resistencia a flexión eje Y  
 M<sub>z</sub>: Resistencia a flexión eje Z  
 V<sub>z</sub>: Resistencia a corte Z  
 V<sub>y</sub>: Resistencia a corte Y  
 M<sub>y</sub>V<sub>z</sub>: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados  
 M<sub>z</sub>V<sub>y</sub>: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados  
 NM<sub>y</sub>M<sub>z</sub>: Resistencia a flexión y axil combinados  
 NM<sub>y</sub>M<sub>z</sub>V<sub>y</sub>V<sub>z</sub>: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados  
 M<sub>t</sub>: Resistencia a torsión  
 M<sub>y</sub>V<sub>z</sub>: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados  
 M<sub>z</sub>V<sub>y</sub>: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados  
 x: Distancia al origen de la barra  
 h: Coeficiente de aprovechamiento (%)

Producido por una versión educativa de IPE

**Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda} : \underline{\quad 0.49 \quad}$  ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 3

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 84.50 cm<sup>2</sup>

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$N_{cr}$ : Axil crítico de pandeo elástico.

$N_{cr}$  : 9783.60 kN

El axil crítico de pandeo elástico  $N_{cr}$  es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$  : 9783.60 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$  : ∞

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$  : ∞

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[ G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

$I_y$ : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$I_y$  : 23130.00 cm<sup>4</sup>

$I_z$ : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$I_z$  : 1318.00 cm<sup>4</sup>

$I_t$ : Momento de inercia a torsión uniforme.

$I_t$  : 51.28 cm<sup>4</sup>

$I_w$ : Constante de alabeo de la sección.

$I_w$  : 490000.00 cm<sup>6</sup>

E: Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 81000 MPa

$L_{ky}$ : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$L_{ky}$  : 7.000 m

$L_{kz}$ : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$L_{kz}$  : 0.000 m

$L_{kt}$ : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$L_{kt}$  : 0.000 m

$i_0$ : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$i_0$  : 17.01 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

$i_y, i_z$ : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$i_y$  : 16.54 cm

$i_z$  : 3.95 cm

$y_0, z_0$ : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$y_0$  : 0.00 mm

$z_0$  : 0.00 mm

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

43.37 ≤ 263.21 ✓

Donde:

$h_w$ : Altura del alma.

$h_w$  : 373.00 mm

$t_w$ : Espesor del alma.

$t_w$  : 8.60 mm

$A_w$ : Área del alma.

$A_w$  : 32.08 cm<sup>2</sup>

$A_{fc,ef}$ : Área reducida del ala comprimida.

$A_{fc,ef}$  : 24.30 cm<sup>2</sup>

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

k : 0.30

E: Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

$f_{yf}$ : Límite elástico del acero del ala comprimida.

$f_{yf}$  : 275.00 MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

**Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

h : 0.016 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 9.815 m del nudo N93, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$  : 35.64 kN

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$  : 2213.10 kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 84.50 cm<sup>2</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

**Resistencia a compresión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

h : 0.017 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

h : 0.018 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N93, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·N(EI).

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$  : 37.66 kN

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

Producido por la versión Educativa de CYPE

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{2213.10} \text{ kN}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{3}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{84.50} \text{ cm}^2$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo  $N_{b,Rd}$  en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{2054.09} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{84.50} \text{ cm}^2$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

$\chi$ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$C_y : \underline{0.93}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$f_y : \underline{0.65}$$

$\alpha$ : Coeficiente de imperfección elástica.

$$a_y : \underline{0.21}$$

$\bar{\lambda}$ : Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.49}$$

$N_{cr}$ : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{9783.60} \text{ kN}$$

$N_{cr,y}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{9783.60} \text{ kN}$$

$N_{cr,z}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{\infty}$$

$N_{cr,T}$ : Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

## Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.048} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N93, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H2+0.75·N(R)2.

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{16.39} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N93, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H2.

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{15.30} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{342.31} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{1307.00} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

## Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.755} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N93, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H2+0.75·N(R)2.

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{39.84} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N93, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{45.28} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{59.98} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{229.00} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

## Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.005} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)2$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{3.29} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{646.14} \text{ kN}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{42.73} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

Siendo:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{84.50} \text{ cm}^2$$

b: Ancho de la sección.

$$b : \underline{180.00} \text{ mm}$$

$t_f$ : Espesor del ala.

$$t_f : \underline{13.50} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8.60} \text{ mm}$$

r: Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{21.00} \text{ mm}$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$38.49 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

$l_w$ : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{38.49}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$l_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.

$$l_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 70 \cdot \varepsilon$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

### Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.030} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N93, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)2$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{23.41} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{792.68} \text{ kN}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{52.42} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{84.50} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{373.00} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8.60} \text{ mm}$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$3.29 \text{ kN} \leq 323.07 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)2$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{3.29} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{646.14} \text{ kN}$$

### Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$23.41 \text{ kN} \leq 396.34 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)2$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{23.41} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{792.68} \text{ kN}$$

## Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.776} \quad \checkmark$$

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.755} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N93, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

Donde:

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{30.53} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{2.32} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{45.28} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a tracción.

$$N_{pl,Rd} : \underline{2213.10} \text{ kN}$$

$M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{342.31} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{59.98} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.1)

$M_{ef,Ed}$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{ef,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

$\sigma_{com,Ed}$ : Tensión combinada en la fibra extrema comprimida.

$$\sigma_{com,Ed} : \underline{0.00} \text{ MPa}$$

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A} < 0 \rightarrow \sigma_{com,Ed} = 0$$

$W_{y,com}$ : Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

$$W_{y,com} : \underline{1307.00} \text{ cm}^3$$

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{84.50} \text{ cm}^2$$

$M_{b,Rd,y}$ : Momento flector resistente de cálculo.

$$M_{b,Rd,y} : \underline{342.31} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

## Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$ .

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H2+0.75·N(R)2.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

$$23.41 \text{ kN} \leq 396.34 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,y}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,y} : \underline{23.41} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,y}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,y} : \underline{792.68} \text{ kN}$$

## Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(90°)H1.

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.01} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo  $M_{T,Rd}$  viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{5.74} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{37.99} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

## Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(0°)H1+0.75·N(R)2.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{2.56} \text{ kN}$$

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido  $V_{pl,T,Rd}$  viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{646.05} \text{ kN}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{646.14} \text{ kN}$$

$\tau_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.

$$\tau_{T,Ed} : \underline{0.05} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{37.99} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

## Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.029} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N93, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)2$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{23.18} \text{ kN}$$

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido  $V_{pl,T,Rd}$  viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{792.57} \text{ kN}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{792.68} \text{ kN}$$

$t_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.

$$t_{T,Ed} : \underline{0.05} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{37.99} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

JACENA  
Barra N96/N94

Perfil: IPE 360 Material: Acero (S275)						
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas		
	Inicial	Final		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )
	N96	N94	5.099	72.70	16270.00	1043.00
Notas: <sup>(1)</sup> Inercia respecto al eje indicado <sup>(2)</sup> Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
$\beta$	1.00	1.00	0.00	0.00		
L <sub>K</sub>	5.099	5.099	0.000	0.000		
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000		
C <sub>1</sub>	-		1.000			
Notación: b: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico						

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)																Estado
	$\bar{\lambda}$	$\lambda_{cr}$	N <sub>i</sub>	N <sub>t</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	V <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	M.V <sub>z</sub>	M.V <sub>y</sub>	NM.M <sub>z</sub>	NM.M <sub>y</sub> .V.V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub>	M.V <sub>z</sub>	M.V <sub>y</sub>		
N96/N94	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_{cr} \leq \lambda_{cr,max}$ Cumple	x: 4.894 m $\eta = 4.8$	x: 0.204 m $\eta = 26.9$	x: 4.895 m $\eta = 6.8$	x: 1.846 m $\eta = 1.8$	x: 4.895 m $\eta = 1.9$	x: 0.204 m $\eta = 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 4.895 m $\eta = 33.8$	$\eta < 0.1$	$\eta = 0.4$	x: 4.895 m $\eta = 1.9$	x: 0.204 m $\eta = 0.1$	CUMPLE h = 33.8	

Notación:  
 1: Limitación de esbeltez  
 .: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida  
 N: Resistencia a tracción  
 N<sub>i</sub>: Resistencia a compresión  
 N<sub>t</sub>: Resistencia a flexión eje Y  
 M<sub>y</sub>: Resistencia a flexión eje Z  
 M<sub>z</sub>: Resistencia a corte Z  
 V<sub>z</sub>: Resistencia a corte Y  
 V<sub>y</sub>: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados  
 M.V<sub>z</sub>: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados  
 NM.M<sub>z</sub>: Resistencia a flexión y axil combinados  
 NM.M<sub>y</sub>.V.V<sub>z</sub>: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados  
 M<sub>t</sub>: Resistencia a torsión  
 M.V<sub>z</sub>: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados  
 M.V<sub>y</sub>: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados  
 x: Distancia al origen de la barra  
 h: Coeficiente de aprovechamiento (%)

Producido por una versión educativa de CAE

**Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)**

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda} : \underline{\quad 1.55 \quad}$  ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase : 3

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

A : 72.70 cm<sup>2</sup>

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$N_{cr}$ : Axil crítico de pandeo elástico.

$N_{cr}$  : 831.44 kN

El axil crítico de pandeo elástico  $N_{cr}$  es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$N_{cr,y}$  : 12969.80 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$N_{cr,z}$  : 831.44 kN

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$N_{cr,T}$  :  $\infty$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[ G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right]$$

Donde:

$I_y$ : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$I_y$  : 16270.00 cm<sup>4</sup>

$I_z$ : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$I_z$  : 1043.00 cm<sup>4</sup>

$I_t$ : Momento de inercia a torsión uniforme.

$I_t$  : 37.44 cm<sup>4</sup>

$I_w$ : Constante de alabeo de la sección.

$I_w$  : 314000.00 cm<sup>6</sup>

E: Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

G: Módulo de elasticidad transversal.

G : 81000 MPa

$L_{ky}$ : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$L_{ky}$  : 5.099 m

$L_{kz}$ : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$L_{kz}$  : 5.099 m

$L_{kt}$ : Longitud efectiva de pandeo por torsión.

$L_{kt}$  : 0.000 m

$i_0$ : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.

$i_0$  : 15.43 cm

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

$i_y, i_z$ : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.

$i_y$  : 14.96 cm

$i_z$  : 3.79 cm

$y_0, z_0$ : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.

$y_0$  : 0.00 mm

$z_0$  : 0.00 mm

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq k \frac{E}{f_{yf}} \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc,ef}}}$$

41.83 ≤ 255.09 ✓

Donde:

$h_w$ : Altura del alma.

$h_w$  : 334.60 mm

$t_w$ : Espesor del alma.

$t_w$  : 8.00 mm

$A_w$ : Área del alma.

$A_w$  : 26.77 cm<sup>2</sup>

$A_{fc,ef}$ : Área reducida del ala comprimida.

$A_{fc,ef}$  : 21.59 cm<sup>2</sup>

k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.

k : 0.30

E: Módulo de elasticidad.

E : 210000 MPa

$f_{yf}$ : Límite elástico del acero del ala comprimida.

$f_{yf}$  : 275.00 MPa

Siendo:

$$f_{yf} = f_y$$

**Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

h : 0.048 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.894 m del nudo N96, para la combinación de acciones 1.35·PP+0.9·V(90°)H1+1.5·N(EI).

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$N_{t,Ed}$  : 91.39 kN

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$N_{t,Rd}$  : 1904.05 kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

A : 72.70 cm<sup>2</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

**Resistencia a compresión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

h : 0.087 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

h : 0.269 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.204 m del nudo N96, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$  : 165.95 kN

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$N_{c,Rd} : \underline{1904.05} \text{ kN}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{3}$$

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{72.70} \text{ cm}^2$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo  $N_{b,Rd}$  en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$N_{b,Rd} : \underline{617.37} \text{ kN}$$

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{72.70} \text{ cm}^2$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} : \underline{1.05}$$

$\chi$ : Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

$$C_y : \underline{0.95}$$

$$C_z : \underline{0.32}$$

Siendo:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

$$f_y : \underline{0.60}$$

$$f_z : \underline{1.93}$$

$\alpha$ : Coeficiente de imperfección elástica.

$$a_y : \underline{0.21}$$

$$a_z : \underline{0.34}$$

$\bar{\lambda}$ : Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_y : \underline{0.39}$$

$$\bar{\lambda}_z : \underline{1.55}$$

$N_{cr}$ : Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{831.44} \text{ kN}$$

$N_{cr,y}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{12969.80} \text{ kN}$$

$N_{cr,z}$ : Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{831.44} \text{ kN}$$

$N_{cr,T}$ : Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

## Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.068} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.895 m del nudo N96, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1$ .

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{18.26} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.895 m del nudo N96, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 0.9 \cdot V(180^\circ)H1 + 1.5 \cdot N(EI)$ .

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{13.34} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{266.88} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{1019.00} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

## Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.018} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.846 m del nudo N96, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1$ .

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{0.50} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 1.846 m del nudo N96, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(R)1$ .

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{0.89} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,z} \cdot f_{yd}$$

$$M_{c,Rd} : \underline{50.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,z}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,z} : \underline{191.00} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

## Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.019} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 4.895 m del nudo N96, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{10.20} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{530.87} \text{ kN}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{35.11} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

Siendo:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{72.70} \text{ cm}^2$$

b: Ancho de la sección.

$$b : \underline{170.00} \text{ mm}$$

$t_f$ : Espesor del ala.

$$t_f : \underline{12.70} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8.00} \text{ mm}$$

r: Radio de acuerdo entre ala y alma.

$$r : \underline{18.00} \text{ mm}$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70 \cdot \varepsilon$$

$$37.32 < 64.71 \quad \checkmark$$

Donde:

$l_w$ : Esbeltez del alma.

$$l_w : \underline{37.32}$$

$$\lambda_w = \frac{d}{t_w}$$

$l_{\max}$ : Esbeltez máxima.

$$l_{\max} : \underline{64.71}$$

$$\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$$

e: Factor de reducción.

$$e : \underline{0.92}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$$

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

### Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 0.204 m del nudo N96, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1+0.75·N(R)1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.69} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{c,Rd} : \underline{694.54} \text{ kN}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{45.93} \text{ cm}^2$$

$$A_v = A - d \cdot t_w$$

Siendo:

A: Área de la sección bruta.

$$A : \underline{72.70} \text{ cm}^2$$

d: Altura del alma.

$$d : \underline{334.60} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8.00} \text{ mm}$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$4.96 \text{ kN} \leq 265.44 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H2.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{4.96} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{530.87} \text{ kN}$$

### Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

$$0.69 \text{ kN} \leq 347.27 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1+0.75·N(R)1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{0.69} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : \underline{694.54} \text{ kN}$$

**Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)**

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{el,Rd,z}} \leq 1$$

h : 0.170 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{el,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{el,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

h : 0.177 ✓

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{el,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

h : 0.338 ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 4.895 m del nudo N96, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

Donde:

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$N_{c,Ed}$  : 165.44 kN

$M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{y,Ed}^+$  : 18.26 kN·m

$M_{z,Ed}^+$  : 0.21 kN·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

Clase : 3

$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a compresión de la sección bruta.

$N_{pl,Rd}$  : 1904.05 kN

$M_{el,Rd,y}$ ,  $M_{el,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones elásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$M_{el,Rd,y}$  : 236.73 kN·m

$M_{el,Rd,z}$  : 32.14 kN·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.

A : 72.70 cm<sup>2</sup>

$W_{el,y}$ ,  $W_{el,z}$ : Módulos resistentes elásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$W_{el,y}$  : 903.89 cm<sup>3</sup>

$W_{el,z}$  : 122.71 cm<sup>3</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M1}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M1}$  : 1.05

$k_y$ ,  $k_z$ : Coeficientes de interacción.

$$k_y = 1 + 0.6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$k_y$  : 1.02

$$k_z = 1 + 0.6 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$k_z$  : 1.16

$C_{m,y}$ ,  $C_{m,z}$ : Factores de momento flector uniforme equivalente.

$C_{m,y}$  : 1.00

$C_{m,z}$  : 1.00

$c_y$ ,  $c_z$ : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$c_y$  : 0.95

$c_z$  : 0.32

$\bar{\lambda}_y$ ,  $\bar{\lambda}_z$ : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$\bar{\lambda}_y$  : 0.39

$\bar{\lambda}_z$  : 1.55

$\alpha_y$ ,  $\alpha_z$ : Factores dependientes de la clase de la sección.

$\alpha_y$  : 0.80

$\alpha_z$  : 1.00

### Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$ .

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H2$ .

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

$$4.96 \text{ kN} \leq 265.42 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed,z} : \underline{4.96} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{530.84} \text{ kN}$$

### Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{T,Ed}}{M_{T,Rd}} \leq 1$$

$$\eta : \underline{0.004} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1$ .

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.02} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento torsor resistente de cálculo  $M_{T,Rd}$  viene dado por:

$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

$$M_{T,Rd} : \underline{4.46} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

$W_T$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T : \underline{29.48} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

## Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.019} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 4.895 m del nudo N96, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{10.20} \text{ kN}$$

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido  $V_{pl,T,Rd}$  viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{530.73} \text{ kN}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{530.87} \text{ kN}$$

$t_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsión.

$$t_{T,Ed} : \underline{0.10} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

$W_t$ : Módulo de resistencia a torsión.

$$W_t : \underline{29.48} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

## Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,T,Rd}} \leq 1$$

$$h : \underline{0.001} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p $\acute{e}$ simos se producen en un punto situado a una distancia de 0.204 m del nudo N96, para la combinaci3n de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1+0.75·N(R)1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de c $\acute{a}$ lculo p $\acute{e}$ simo.

$$V_{Ed} : \underline{0.69} \text{ kN}$$

$M_{T,Ed}$ : Momento torsor solicitante de c $\acute{a}$ lculo p $\acute{e}$ simo.

$$M_{T,Ed} : \underline{0.00} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El esfuerzo cortante resistente de c $\acute{a}$ lculo reducido  $V_{pl,T,Rd}$  viene dado por:

$$V_{pl,T,Rd} = \sqrt{1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{1.25 \cdot f_{yd} / \sqrt{3}}} \cdot V_{pl,Rd}$$

$$V_{pl,T,Rd} : \underline{694.26} \text{ kN}$$

Donde:

$V_{pl,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de c $\acute{a}$ lculo.

$$V_{pl,Rd} : \underline{694.54} \text{ kN}$$

$t_{T,Ed}$ : Tensiones tangenciales por torsi3n.

$$t_{T,Ed} : \underline{0.16} \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Siendo:

$W_T$ : M3dulo de resistencia a torsi3n.

$$W_T : \underline{29.48} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de c $\acute{a}$ lculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$$

Siendo:

$f_y$ : L $\acute{i}$ mite el $\acute{a}$ stico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$