

MASTER OFICIAL INTERUNIVERSITARIO

**REPRESENTACIÓN Y DISEÑO EN
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

TRABAJO FIN DE MASTER

**PROPUESTA DE INSTALACIÓN
PARA LA RECUPERACIÓN DE
LODOS PROCEDENTES DEL
MECANIZADO DEL MÁRMOL**

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA



Rubén Castaño Domene
Curso 2010-2011

Director:
Julián Sánchez-Hermosilla López

1. Introducción	4
1.1. Extracción del mármol.....	4
1.2. Elaboración del mármol.....	4
1.2.1. Aserrado con telar multifleje.....	4
1.2.2. Aserrado con cortabloques.....	5
1.2.3. Pulido.....	5
1.2.4. Cortes longitudinales y transversales.....	5
1.3. Generación de residuos.....	6
1.3.1. Tratamiento de lodos.....	6
1.4. Caracterización y valoración de los residuos.....	6
1.4.1. Posibles aplicaciones industriales.....	7
2. Objetivo	10
3. Material y Métodos	10
3.1. Estimación de la cantidad de residuos.....	10
3.2. Instalación típica.....	12
3.3. Componentes de una instalación típica.....	12
3.4. Instalación propuesta.....	15
3.5. Componentes de la instalación propuesta.....	15
3.6. Análisis comparativo del diseño planteado con una instalación típica.....	18
4. Resultados	18
4.1. Valorización de los efluentes.....	18
4.2. Ventajas de la instalación propuesta.....	19
5. Conclusiones	19
6. Bibliografía	20
7. Índice de tablas y figuras	21
8. Legislación	22
9. Anexos	23
9.1. Anexo de cálculos.....	23
9.2. Planos.....	32

Resumen

Una vez analizadas las diferentes etapas que intervienen en la elaboración del mármol, se puede afirmar que el proceso que genera más residuos es el corte de los bloques. Este proceso se realiza en telares o en cortabloques que necesitan de una mayor refrigeración por agua. De esta manera, de la mezcla del agua de refrigeración y de la granalla producida en el corte se forman los lodos de proceso.

El tratamiento de estos residuos consiste básicamente en conducirlos a unos depósitos de decantación para realizar su espesamiento y conseguir, por una parte, agua clarificada que vuelve a emplearse en la planta, y por otra parte la obtención de lodos espesados, los cuales se someten a un proceso de deshidratación para ser utilizados como agregado en la producción de hormigón autocompactante.

El presente trabajo pretende mejorar las instalaciones de recuperación de los lodos, por lo que se ha realizado una estimación de la cantidad de residuos generados, la descripción y el análisis de una instalación típica, y se ha llevado a cabo una propuesta de diseño de una instalación equivalente.

Palabras clave: mecanizado del mármol, residuo de mármol, reciclado, CaCO_3 .

Abstract

Once analyzed the different stages involved in processing of marble, we can say that the process generates more waste is the cut of blocks. This process is done on looms or block cutters that require more cooling water. So, the mixture of cooling water and granules produced in the cutting form sludge process.

The treatment of this waste is basically lead them to deposits of sedimentation for their thickening and get, on the one hand, a clarified water which again is used in the plant, and otherwise the obtaining of thickened sludge, which are subject to a dehydration process to be used as aggregate in the production of self-compacting concrete.

This paper aims to improve installations for the recovery of sludge, so it has estimated the amount of waste generated, the description and analysis of a typical installation, and has been carried out a design proposal for an equivalent installation.

Key words: processing marble, marble waste, recycling, CaCO_3 .

1. Introducción

España es el segundo productor de mármol del mundo, siendo el 95% del mármol que se comercializa en nuestro país procedente de la comarca de Macael (Almería). (Felipe et al., 2011) [1]. Debido a las elevadas demandas mundiales del mármol, las cantidades de residuos generadas por su industria están produciendo un impacto económico y ecológico difícilmente sostenible, ya que dichos residuos deben ser tratados, transportados y depositados en vertederos, con importantes costes de vertido.

Por este motivo, se plantea el hecho de aprovechar dichos residuos, como materia prima en diversos materiales de construcción, con el fin de generar un menor impacto ambiental y una mejor distribución de los recursos naturales.

1.1. Extracción del mármol

Las reservas de mármol se explotan en canteras a cielo abierto. Sigüenza (2000) [2] explica que, generalmente los métodos de arranque de cualquier roca ornamental consisten, en una primera fase, en la independización del macizo rocoso de un gran bloque, entendiéndose por bloque una figura geométrica más o menos paralelepípedo y dimensiones tales, que permitan a los equipos de arranque y carga operar en condiciones de máximo rendimiento. El gran bloque primario se somete a sucesivas etapas de subdivisión hasta alcanzar unas dimensiones fácilmente manipulables, y al mismo tiempo dentro de la gama que comercialmente requiere la industria de transformación.

1.2. Elaboración del mármol

Según López (1995) [3] la elaboración del mármol comprende la realización en los talleres de todas las operaciones necesarias para transformar los bloques obtenidos de la cantera en tablas y piezas que tengan la forma, medida y acabado que se precisa para su puesta en obra.

El mármol entra en el taller como materia prima en forma de bloques, más o menos paralelepípedos, de 6 a 15 toneladas, con unas longitudes de 2.2 a 3 metros, anchuras de 1.2 a 1.5 metros y alturas de 0.9 a 1.2 metros, iniciándose su elaboración en función de las características del material a tratar: tamaño del bloque, dureza, diaclasamiento, estratificación, abrasividad, fragilidad, etc., y de las dimensiones que se quiere dar al producto tratado. En el taller se somete a los siguientes procesos:

1.2.1. Aserrado con telar multifleje

La Fig. 1 muestra un telar multifleje para el aserrado de bloques. Los flejes, debido al movimiento rectilíneo que efectúa el marco porta-cuchillas, a la presión vertical del corte y a la acción abrasiva de la granalla de acero que mezclada con agua y cal se vierte continuamente sobre el bloque, van realizando lentamente la operación de aserrado de la roca. El consumo de agua en telares es considerable, en pequeños ronda los 30 m³/h, mientras que en telares grandes asciende hasta los 120 m³/h.



Fig. 1. Telar multifleje para aserrado de bloques.

1.2.2. Aserrado con cortabloques

La máquina (Fig. 2) dispone de discos diamantados de gran diámetro que pueden realizar cortes muy profundos en sucesivas pasadas, llamadas incrementos, empleándose uno o varios discos verticales en paralelo, que pueden cortar en un sentido o en ambos.

Además, estos equipos suelen estar dotados de un disco horizontal acoplado con el vertical que permite la obtención de baldosas. El corte horizontal se efectúa una vez que las tiras están cortadas a la profundidad definitiva. El consumo de agua es menos elevado, y oscila entre los 2.1 m³/h y los 3.6 m³/h.



Fig. 2. Cortabloques para aserrado de bloques y producción de solería.

1.2.3. Pulido

La siguiente operación a realizar en la elaboración del mármol es el desbaste, pulido y abrillantado de las tablas, obteniéndose unas superficies planas y lisas, y adquiriendo el aspecto brillante característico. Para ello se utilizan diferentes muelas abrasivas de grano progresivamente decreciente, con riego de agua central sobre la herramienta, instaladas en máquinas como la de la Fig. 3.

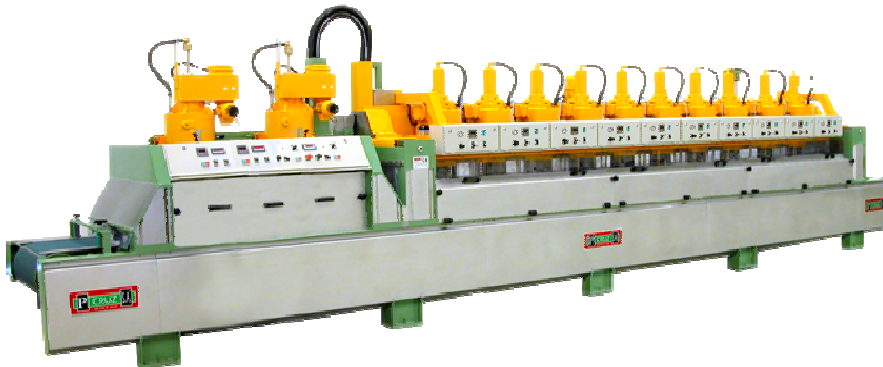


Fig. 3. Máquina para calibrado de espesores y pulido de tablas.

1.2.4. Cortes longitudinales y transversales

Una vez pulidas, las tablas han de ser finalmente cortadas, longitudinal y transversalmente, a las medidas exactas requeridas para la colocación en su destino. Esta última operación de aserrado debe ser sumamente precisa, ya que deben salir todas las piezas iguales, a las medidas exigidas, con sus aristas vivas y los cantos completamente perpendiculares entre sí.

Para ello se utilizan sierras circulares montadas sobre estructuras que permiten el movimiento en dos direcciones (Fig. 4), donde el elemento cortante es un disco de alma metálica con sus bordes hechos de una concreción de carburo de tungsteno o de diamante. Durante el corte, el disco ha de estar continuamente refrigerado por agua.



Fig. 4. Cortadora para despieces con movimiento longitudinal y transversal.

1.3. Generación de residuos

Una vez han sido analizadas las diferentes etapas que intervienen en la elaboración del mármol, podemos afirmar que el proceso que genera más residuos es el corte de los bloques. Este proceso, como ya hemos visto, se realiza en telares o en cortabloques que necesitan de una mayor refrigeración por agua. De esta manera, de la mezcla del agua de refrigeración y de la granalla producida en el corte se forman los lodos de proceso. Estos efluentes están cargados de partículas finas de la roca elaborada, que por lo general se suelen recoger por gravedad, para lo que se da la pendiente adecuada a la solera del piso donde se encuentran las máquinas. Así todas las aguas que se vierten se desplazan por gravedad hacia un pozo común o sumidero desde el que son bombeadas hacia balsas de decantación o hacia el sistema de depuración previsto para eliminar los sólidos en suspensión y recuperar el agua limpia, que de esta forma se incorpora de nuevo al proceso.

Una vez recuperada el agua nos aparece la pregunta de que hacer con los sólidos generados, que tratamiento y que aplicaciones tienen.

1.3.1. Tratamiento de lodos

El tratamiento de los residuos del mecanizado del mármol consiste básicamente en conducir los lodos a unos depósitos de decantación para realizar su espesamiento y obtener, por una parte, agua clarificada que vuelve a emplearse en la planta, y por otra parte la obtención de lodos espesados, que se depositan en balsas de evaporación o se someten a un proceso de deshidratación.

1.4. Caracterización y valoración de los residuos

Como criterio para la identificación de los residuos de una planta de elaboración de mármol se ha empleado la definición propuesta por la Ley 10/1998 de Residuos, por la que se establece que un residuo es *cualquier sustancia u objeto perteneciente a alguna de las categorías que figuran en el anejo de esta Ley, del cual su poseedor se desprenda o del que tenga la intención u obligación de desprenderse. En todo caso, tendrán esta consideración los que figuren en el Catálogo Europeo de Residuos (CER).*

A tal efecto, se ha estimado el empleo de la Lista Europea de Residuos aprobada en España mediante la Orden MAM/304/2002, en la que aparecen recogidos en función del tipo de actividad de la que proceden y ordenados en capítulos, cada uno con un código.

En el caso que nos ocupa, se corresponde al código 01 04 13 «Residuos de la prospección, extracción de minas y canteras y tratamientos físicos y químicos de minerales. Residuos de la transformación física y química de minerales no metálicos. Residuos del corte y serrado de piedra».

La composición química de los residuos generados en la elaboración del mármol carece de elementos tóxicos o nocivos, ya que están constituidos en un 99% por calcita (CaCO_3), su composición se puede ver en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición química del polvo de mármol (% en peso). (Valdez et al., 2011) [4]

Mineral fino	CaO	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Otros	Pérdida al fuego
Residuo de mármol	55.32	0.44	0.36	0.04	0.12	43.35

La finalidad del proceso de valoración de residuos es la evaluación de la viabilidad de las aplicaciones potenciales para los residuos generados. El uso de estas alternativas conllevará unos beneficios ambientales, un mejor aprovechamiento de los recursos, un incremento de la capacidad de producción y una mejora de calidad de productos.

1.4.1. Posibles aplicaciones industriales

Las aplicaciones industriales del carbonato cálcico son incontables. En términos generales, se utiliza como carga en papel y pinturas, en plásticos, en sellantes y adhesivos, para la industria química básica, en agricultura y ganadería, y como agregado en cerámicas y materiales de construcción. (Santos, 2004) [5].

Papel

En la industria del papel, el carbonato cálcico se utiliza como carga y como cobertura, si bien la mayor demanda es para carga, ya que se puede utilizar hasta en un 25% en peso en plantas que utilizan condiciones básicas o neutras de fabricación de papel.

La utilización del carbonato cálcico en la producción de papel se debe a que una hoja elaborada enteramente a partir de pulpa de celulosa tiene una superficie irregular y es, algunas veces, demasiado transparente para muchos propósitos de escritura e impresión que requieren una hoja suave y opaca. Esto se puede lograr cargando la hoja con minerales no fibrosos los cuales llenan los espacios vacíos o huecos de la red de fibras.

Los minerales para carga no sólo poseen ventajas técnicas sino que también ayudan a bajar el coste de producción ya que son por lo general más baratos que las fibras.

Otra de las ventajas del carbonato cálcico es que con su uso se reduce de manera considerable la cantidad de agua utilizada en el prensado, a la vez que acelera el secado de la pasta, lo que conlleva a un ahorro significativo de energía.

Pinturas

Las pinturas y revestimientos se basan en una mezcla de polímeros, pigmentos, solventes y aditivos. El carbonato cálcico actúa como un extensor y pigmento de carga en pinturas y se agrega a las pinturas por tres principales razones:

- Para reducir la cantidad de un pigmento primario caro, principalmente el dióxido de titanio (TiO_2). Los ahorros se encuentran en un rango del 10% al 35%.
- Para proporcionar una deseada propiedad reológica a la capa de pintura, manteniendo la dispersión, y dar cuerpo a la pintura.
- Para mejorar el procesamiento, el almacenamiento y las propiedades de aplicación de la pintura.

Los residuos de la elaboración del mármol pueden añadirse en grandes cantidades, hasta en un 30% en peso, sin modificar la viscosidad en las pinturas plásticas. Esto, junto a su baja absorción de aceites, hace que los residuos se puedan añadir en todo tipo de pinturas, principalmente en las de exterior.

Plásticos

El carbonato cálcico puede ser utilizado como carga en la producción de un rango de resinas, que incluye polipropileno, poliestireno, poliuretano, poliolefina, epoxies, poliéster, fenoles y ABS. Sin embargo, su uso más importante está confinado al polímero PVC, en su forma rígida o flexible. La aplicación de este mineral mejora la rigidez y la densidad del plástico, aunque empeora las características mecánicas, siendo el impacto negativo menor cuánto más fina es la granulometría del residuo utilizado. (Corpas et al., 2000) [6].

Sellantes y adhesivos

Los sellantes y adhesivos de poliuretano, silicona, polisulfuro, acrílicos y plastisoles proporcionan una pasta elástica de unión entre dos superficies, que también puede actuar como una barrera para el polvo, basura, humedad y químicos. Asimismo se utilizan como relleno de espacio, y pueden disminuir ruidos, vibraciones, etc.

El carbonato cálcico se emplea fundamentalmente como carga, extensor y pigmento en la elaboración de sellantes y adhesivos. La carga mejora las propiedades de trabajo, permanencia y resistencia, y modifica la expansión térmica y la conductividad.

Industria del hierro y el acero

La cal (CaO) se emplea como fundente de apoyo a la fundición en la extracción de hierro a partir del mineral de hierro. La cal reacciona con impurezas de sílice y alúmina en el mineral y forma una escoria que flota sobre la superficie de fusión.

En las plantas de acero, el desecho de ácido sulfúrico base proveniente del baño químico, se neutraliza con cal, y las sales de hierro también son precipitadas. Así mismo, la cal es neutralizadora y precipitante de cromo, cobre y metales pesados en procesos de niquelado antes de disponer de ellos.

Industria del vidrio

La mayoría de los vidrios están hechos por la fusión de una mezcla de arena silícea, carbonato sódico, cal, dolomita y otros materiales. La cal actúa como un fundente, permitiendo a la mezcla fundir a una temperatura relativamente baja. Además, la cal también ejerce como estabilizador mejorando la resistencia del vidrio al ataque químico y de agentes atmosféricos.

Desulfurante en centrales térmicas

El carbonato cálcico se utiliza para reducir las emisiones de dióxido de azufre (SO₂) de los productos de combustión gaseosa de las plantas de generación eléctrica, donde se queman carbones con un alto contenido en azufre.

De forma general, se puede decir que el carbonato cálcico se descompone produciendo óxido de calcio en suspensión que reacciona con el dióxido de azufre dando lugar a sulfato de calcio en estado sólido. Éste a su vez, es oxidado dando lugar a la formación de yeso. Para este tipo de industrias, el yeso puede ser un subproducto útil y un recurso vendible.

Agricultura y ganadería

El blanqueo de las paredes y el techo de los invernaderos a base de carbonato cálcico o de cal apagada es el sistema de sombreado más extendido en la horticultura mediterránea. (Valera, Molina y Peña, 2002) [7]. El blanqueo de la cubierta se muestra como una técnica de bajo coste, que presenta efectos positivos para el microclima como para el

comportamiento del cultivo y puede considerarse un medio eficaz para aliviar la gran carga de calor que se genera en los invernaderos durante el periodo estival.

Por otro lado, la acidez en terrenos agrícolas produce una carencia de los elementos necesarios para la alimentación de las especies vegetales. La necesidad de cal en un suelo depende de su pH inicial, si el suelo presenta un pH menor a 5 se debe agregar caliza agrícola al terreno. Asimismo, el calcio es el intermediario entre la planta y los elementos nutritivos que ésta toma del suelo, se comporta como un importante elemento nutritivo que favorece el crecimiento, da resistencia a los tejidos vegetales e influye en la formación y maduración de los frutos y semillas.

En ganadería el carbonato cálcico se emplea en piensos compuestos como suplemento alimenticio animal. Para la formación ósea de los animales se requieren cantidades considerables de calcio. Un nivel insuficiente de alimentación cálcica puede provocar serias enfermedades en el rebaño.

Cerámicas

En la fabricación de cerámica el uso de residuos de mármol supone materia prima secundaria con una importante influencia sobre las propiedades de los productos cerámicos como ladrillos, tejas, baldosas, etc.

El uso de carbonato cálcico con arcillas provoca una reducción de la temperatura de cocción, con el respectivo ahorro energético. Se ha demostrado que el agregado de residuos de mármol reacciona fácilmente con los filosilicatos y cuarzo proporcionando una mejor sinterización de los polvos originales.

El único inconveniente es la disminución de la resistencia a la flexión cuando la adición de lodos de mármol aumenta. Los experimentos llevados a cabo por Montero et al. (2009) [8] han demostrado que el uso de un 15-20% de polvo de mármol contenido en las materias primas de cerámica roja podría considerarse como la mejor proporción para mejorar las propiedades del ladrillo cerámico. Además, el carbonato cálcico se puede emplear como pigmento, atribuyendo a las pastas cerámicas un color amarillento.

Hormigón

En años recientes, los avances en la tecnología del hormigón se han enfocado en gran medida a desarrollar hormigones que apoyen la sostenibilidad medioambiental. Para lograrlo, una vía ha profundizado en las posibilidades de utilización de una gran gama de subproductos y residuos industriales, entre los que se encuentran los residuos procedentes del mecanizado del mármol.

Los residuos del mármol considerados se generan inicialmente en forma de lodos, producto del tratamiento de sedimentación al que son sometidos. Posteriormente, se presentan en forma de terrones de una masa húmeda y poco manejable, floculados a partir de aditivos químicos y prensados, con poca uniformidad en cuanto a su contenido de humedad. Este hecho hace necesaria su utilización en forma de lechada, la cual se realiza simplemente añadiendo agua y mezclando enérgicamente, hasta disolver totalmente los terrones o grumos, y alcanzar una lechada fluida y homogénea.

El hormigón es el material resultante de la mezcla de cemento, con agregados pétreos (arena y grava) y agua. Hebhoub et al. [9] han demostrado que la sustitución de arena y grava por residuos del mármol, hasta en un 75% de cualquier formulación, favorece a la disminución del contenido de aire atrapado y aumenta considerablemente la resistencia a compresión y a tracción del hormigón. Además, no solamente se sustituyen agregados naturales por agregados reciclados, ya que como afirman Valdez et al. [4] se puede reemplazar sin afectar a sus propiedades hasta en un 30% el cemento que constituye el hormigón por residuos de elaboración del mármol.

2. Objetivo

De todos los usos industriales citados, se ha optado por la utilización de los lodos del corte y pulido del mármol en la producción de hormigón, debido a los requisitos y limitaciones de otras aplicaciones, tales como, el tamaño de las partículas, la necesidad de un grado de blancura y brillo, o un proceso de calcinación¹.

El presente trabajo pretende mejorar las instalaciones de recuperación y reutilización de los residuos procedentes de la elaboración del mármol. Para ello se ha realizado una estimación de la cantidad de residuos generados, la descripción y el análisis de una instalación típica, y se ha llevado a cabo una propuesta de diseño de una instalación equivalente.

3. Material y Métodos

3.1. Estimación de la cantidad de residuos

Para llevar a cabo la estimación es necesario contar con las siguientes condiciones:

- Se considera a efectos teóricos un bloque de 1 m³, dimensiones 100x100x100 cm.
- En la etapa de aserrado, se estima que la mitad de los bloques son aserrados con telar multifleje y la otra con disco diamantado. Siendo T el ancho de la pastilla compuesta por ligante y diamante, se tiene que: T_{telar} = 0,6 cm y T_{disco} = 1,25 cm.
- Las dimensiones de las tablas obtenidas varían entre 2 y 3 cm de espesor.
- El 75% de las tablas son destinadas a corte para solería. Las dimensiones finales de la losa se considerarán como media de 40x40x2 cm, lo que supondrá un corte de 800 cm lineales por cada tabla.
- El 25% de las tablas son elaboradas mediante pulido. En este proceso se perderán 0,2 cm de grosor de cada tabla.
- Densidad del bloque de mármol = 2.730 kg/m³

Para la obtención de la masa final de residuo seco se realizan los siguientes cálculos:

1) Obtención del número de tablas:

Tabla 2. Obtención del número de tablas.

Dimensiones grosor (cm)	T (cm)	Sección (cm) (D+T)	Nº tablas (S/100)	Nº cortes por cada m ³	
Telar	2	0,6	2,6	39	38
	3	0,6	3,6	28	27
Disco	2	1,25	3,25	31	30
	3	1,25	4,25	24	23

2) Estimación de la masa de residuo seco generado durante el aserrado:

$$Ra = \frac{\sum Nc \cdot T \cdot St \cdot D}{n} ; \text{ sabiendo que: } \begin{array}{l} Nc = \text{Nº de cortes} \\ T = \text{ancho de la pastilla (cm)} \\ St = \text{superficie de la tabla (cm}^2\text{)} \\ D = \text{densidad del mármol (kg/cm}^3\text{)} \\ n = \text{nº de muestras} \end{array}$$

¹ La calcinación consiste en calentar una sustancia a temperatura elevada, pero por debajo de su punto de fusión, para provocar así la descomposición térmica. El carbonato cálcico se calienta alrededor de los 1000-1150°C descomponiéndose en cal viva y dióxido de carbono.

Tabla 3. Obtención de la media de residuo seco (kg) por cada m³ aserrado.

Nº cortes (Nc)	T (cm)	Superficie tabla (cm ²) (St)	D (kg/cm ³)	Media de Residuo (kg) Ra
38	0,6	10000	0,00273	622,44
27	0,6	10000	0,00273	442,26
30	1,25	10000	0,00273	1023,75
23	1,25	10000	0,0273	784,88
				718,33

3) Estimación de la masa de residuo seco generado para la obtención de losas:

$$Rl = \frac{\sum Nt \cdot T \cdot l \cdot e \cdot D \cdot 0,75}{n} ; \text{ sabiendo que:}$$

Nt = N° de tablas
T = ancho de la pastilla (cm)
l = longitud del corte lineal (cm)
e = espesor de la tabla (cm)
D = densidad del mármol (kg/cm³)
n = n° de muestras

Tabla 4. Obtención de la media de residuo seco (kg) por m³ convertido en losa.

Nº tablas (Nt)	T (cm)	cm lineales cortados (l)	Espesor tabla (e)	% tablas para losas	D (kg/cm ³)	Media de Residuo (kg) Rl
39	0,36	800	2	75	0,00273	46,00
28	0,36	800	3	75	0,00273	49,53
31	0,36	800	2	75	0,00273	36,56
24	0,36	800	3	75	0,00273	42,45
						43,64

4) Estimación de la masa de residuo seco generado en el pulido del 25% de tablas:

$$Rp = \frac{\sum Nt \cdot h \cdot St \cdot D \cdot 0,25}{n} ; \text{ sabiendo que:}$$

Nt = N° de tablas
h = altura de pulido (cm)
St = superficie de la tabla (cm²)
D = densidad del mármol (kg/cm³)
n = n° de muestras

Tabla 5. Obtención de la media de residuo seco (kg) por m³ de tablas pulidas.

Nº tablas (Nt)	Altura pulido (cm) (h)	Superficie tabla (St)	% tablas pulidas	D (kg/cm ³)	Media de Residuo (kg) Rp
39	0,2	10000	25	0,00273	53,23
28	0,2	10000	25	0,00273	38,22
31	0,2	10000	25	0,00273	42,31
24	0,2	10000	25	0,00273	32,76
					41,63

5) Total de residuo seco generado en las etapas de elaboración de mármol por cada m³ de mármol en bruto:

$$R_T = Ra + Rl + Rp = 718,33 + 43,64 + 41,63 = 803,6 \text{ kg}$$

3.2. Instalación típica

En una instalación típica (Fig. 5) el agua residual procedente del corte y pulido del mármol es conducida a la balsa de aguas blancas (A) donde una bomba sumergible extrae los lodos del fondo y los envía a un decantador. De camino al decantador, los lodos son tratados con floculante (B), el cual se disuelve en la mezcla actuando sobre las partículas sólidas contenidas en los lodos y provocando que se agreguen entre sí formando partículas cada vez más grandes.

Una vez en el decantador (C) el agua clarificada sale por la parte superior y es conducida a la balsa de agua limpia (H). Desde aquí, una bomba recirculará el agua limpia a cualquiera de las líneas de producción.

Por otro lado, los lodos contenidos en el fondo del cono del decantador se extraen automáticamente con una válvula (D) y se conducen al tanque de homogeneización (E) equipado con un agitador para evitar que los sólidos se precipiten en el fondo. De este tanque los lodos se envían a través de una bomba (F) al filtro prensa (G). En las placas del filtro prensa se separa el agua contenida en los lodos y se reconduce a la balsa de aguas blancas, mientras que los lodos deshidratados caen debajo del filtro prensa.

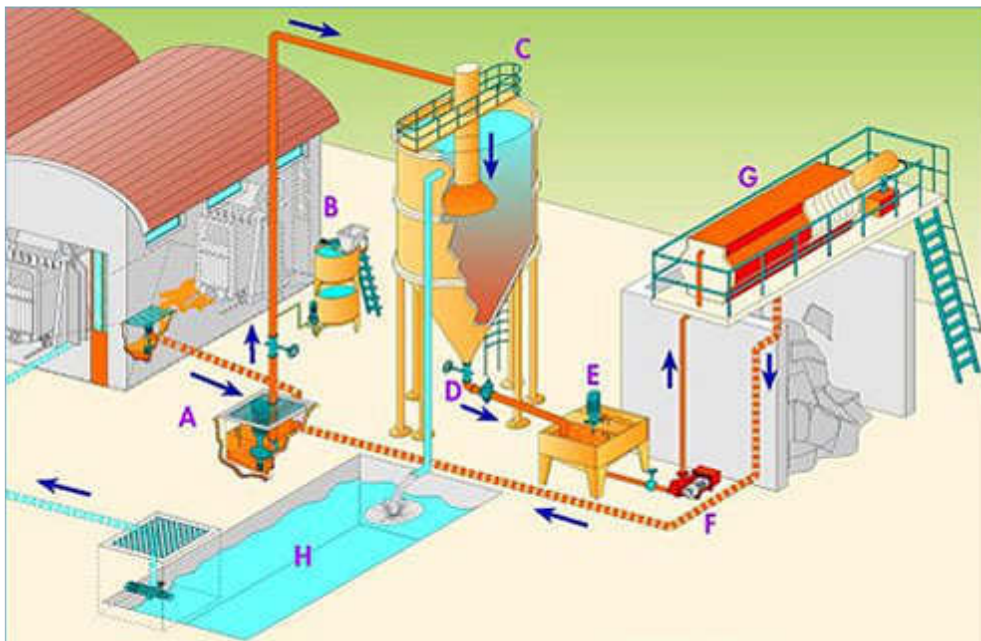


Fig. 5. Descripción del proceso de tratamiento de agua.

3.3. Componentes de una instalación típica

En la Fig. 6 se recoge el esquema de los componentes de una instalación típica para el tratamiento de agua.

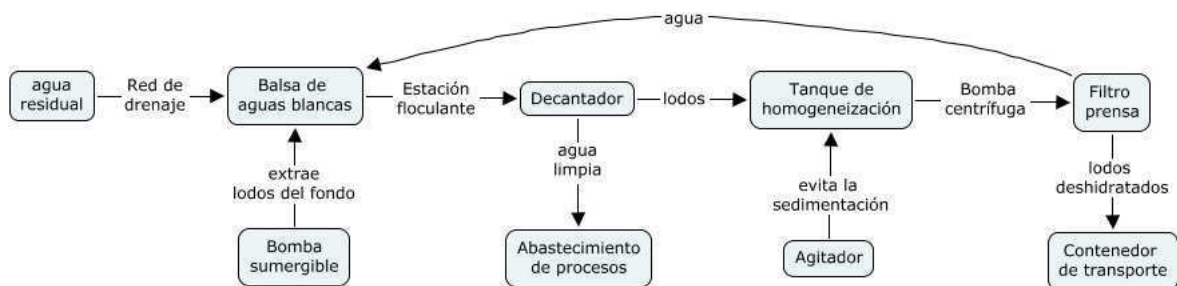


Fig. 6. Esquema de una instalación típica de tratamiento de agua.

Balsa de aguas blancas

Para la recogida del agua residual procedente de la elaboración del mármol se dispone de un pozo o balsa. Su diseño y configuración depende del espacio necesario para la ubicación, del caudal de producción de residuos o de si se desea realizar una decantación primaria.

Para extraer los lodos del fondo de la balsa de recogida de agua residual se instala una bomba sumergible situada en el centro de dicha balsa.

Las bombas sumergibles se utilizan para el trasiego de aguas residuales con sólidos en suspensión y líquidos pastosos. La ventaja de este tipo bombas es su importante fuerza de elevación, ya que no depende de la presión del aire exterior para hacer ascender el líquido. Además también pueden trabajar con una tubería de aspiración, colocando la bomba por encima del nivel del depósito.

Decantador

El decantador es un recipiente o una instalación que sirve para separar dos sustancias por decantación. La decantación es un método físico de separación de mezclas heterogéneas, estas pueden ser formadas por un líquido y un sólido, o por dos líquidos.

Separación de un líquido y un sólido: Si un líquido contiene partículas de un sólido inalteradas en suspensión, se observa que, debido a la acción de la gravedad y el principio de Arquímedes, la caída de partículas hacia el fondo o la tendencia a flotar a la superficie, depende de su densidad y diámetro.

Uso de floculantes: Durante la fase de tratamiento, y con objeto de acelerar y mejorar el proceso de decantación, se añaden floculantes, a base de polímeros sintéticos, que propician la aglomeración y dan mayor peso a las partículas en suspensión.

Decantador con suspensión hidráulica

Consiste esencialmente en un tanque de fondo cónico o tronco piramidal, en la parte inferior del cual se inyecta el agua residual que asciende disminuyendo la velocidad a medida que el área aumenta y manteniendo así un manto de lodos hidráulicamente suspendido. Los lodos se extraen periódicamente por un tubo que baja hasta el fondo.

Decantador con suspensión mecánica

Consiste en un tanque circular en el cual el agua es inyectada por abajo, de modo que se distribuya en el fondo. Un agitador mecánico que gira lentamente en el fondo, o una bomba que inyecta agua a presión, mantiene las partículas en suspensión. De esta forma, el agua asciende filtrándose a través del manto de lodos. Los lodos se recolectan periódicamente mediante un concentrador situado en el fondo.

Tanque de homogeneización

Los lodos procedentes del decantador requieren de unas características homogéneas para la alimentación del filtro prensa, para obtener estas características se dispone de un tanque de almacenamiento dotado con un agitador vertical.

Un agitador vertical es una herramienta industrial caracterizada por la presencia de una hélice montada en un eje que, debido al movimiento rotatorio transmitido por un motor eléctrico, produce el movimiento de la mezcla hacia el fondo del tanque provocando que los sólidos depositados suban por las paredes hasta la superficie del líquido, y logrando así la homogeneización de los lodos.

Filtro prensa

El filtro prensa es la máquina que efectuará la deshidratación de los lodos generados en el decantador. (Mateo, 2005) [10]. Este se compone de una serie de placas verticales, adyacentes y acopladas. Esta disposición de placas forma cámaras de filtración estancas a la inmersión, en las que se emplean membranas filtrantes, finamente y firmemente malladas. Las placas están prensadas entre ellas mediante un sistema hidráulico-neumático que además permite la descarga de los lodos deshidratados. Para realizar el prensado en la cámara, los lodos se cargan a través de agujeros colocados en el centro de las placas, permitiendo así una buena distribución del flujo, una presión adecuada y un mejor desagüe dentro de la cámara. Las partículas sólidas se van acumulando continuamente en la cámara de filtración hasta que se genera la pasta compacta final.

Ciclos de filtración

Los filtros de prensa son sistemas de deshidratación intermitente. Cada operación de prensado supone los siguientes pasos:

- 1) *Cierre de la prensa:* Cuando el filtro está totalmente vacío, la cabeza móvil activada por el sistema hidráulico-neumático cierra las placas. La presión de cierre es autorregulada mediante la filtración.
- 2) *Llenado:* Durante esta fase la cámara se llena con lodos para su filtración. El tiempo de llenado depende del flujo de la bomba de alimentación. Para lodos con gran capacidad de filtración es mejor llenar el filtro rápidamente para evitar la formación de una pasta en la cámara primaria antes de que se llene del todo.
- 3) *Filtración:* Una vez llena la cámara, la llegada de manera continua de lodos para ser desaguados provoca un aumento de la presión debido a la formación de una capa espesa de lodo en las membranas. Esta fase de filtración puede reducirse de forma manual, mediante un temporizador o un indicador del flujo que activa una alarma de parada cuando se alcanza el final de la capacidad de filtración. Cuando se ha parado la bomba de filtración, a los circuitos de filtración y conductos centrales que están todavía llenos de lodo, se les aplica aire comprimido para su purgado.
- 4) *Apertura del filtro:* La cabeza móvil se retira para desarmar la primera cámara de filtración. La pasta cae por su propio peso. Un sistema mecanizado tira de las placas una por una. La velocidad en la separación de las placas puede ajustarse teniendo en cuenta la textura de la pasta.
- 5) *Limpieza:* La limpieza de las membranas puede llevarse a cabo cada 15-30 ciclos del proceso. Para unidades de prensado medias o largas se realiza un pulverizado de agua a alta presión (80-100bar). La limpieza esta sincronizada con la separación de las placas.

Una vez analizados los componentes de una instalación típica, y con el objetivo de realizar un diseño más intuitivo de la instalación, se ha dividido el proceso de tratamiento de agua en cuatro etapas básicas: *decantación, extracción, homogeneización y deshidratación de los lodos.*

Para realizar el proyecto de la nueva instalación se han tenido en cuenta los aspectos económicos y técnicos, buscando la simplicidad en la fabricación y el montaje del conjunto, pasando por la seguridad y la estética del diseño.

3.4. Instalación propuesta²

El agua residual procedente del mecanizado del mármol antes de ser vertida a la balsa de aguas blancas se trata con floculante, inyectándolo directamente a la tubería de llenado. Cuando la balsa alcanza su nivel máximo de capacidad, automáticamente se abre la válvula de mariposa y se realiza el transvase de agua limpia. Tras realizar el vaciado la válvula se cierra, arranca el agitador vertical y la plataforma móvil comienza a desplazarse a lo largo de la balsa. Una vez que la plataforma ha efectuado una vuelta completa, con el fin de obtener una mejor homogeneización de los lodos sedimentados, el sistema de extracción, basado en una serie de tuberías conectadas a una bomba centrífuga, extrae los lodos y los envía directamente al filtro prensa. Cuando la balsa alcanza el nivel mínimo establecido, la bomba de extracción, el agitador y la plataforma se detienen. Finalmente, en el filtro prensa se separa el agua contenida en los lodos y se envía de nuevo a la balsa de aguas blancas, mientras que los lodos deshidratados se almacenan para su posterior utilización.

3.5. Componentes de la instalación propuesta

La Fig. 7 muestra el esquema de los componentes de la instalación propuesta para el tratamiento de agua.

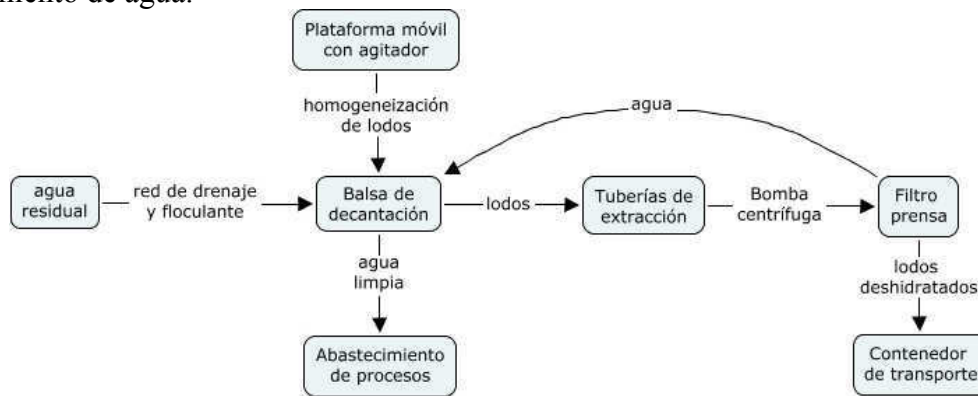


Fig. 7. Esquema de la instalación propuesta para el tratamiento de agua.

Balsa de decantación

Para la recogida de aguas blancas procedentes del corte y pulido de mármol se dispone de una balsa de hormigón con una capacidad para 23.000 litros³.

Mediante un proceso de decantación estática (Fig. 8) se obtiene, por un lado el agua con un porcentaje de sólidos en suspensión que permite su reutilización, y por otro, los depósitos formados fundamentalmente por carbonato cálcico.



Figura 8. Balsa de decantación. Zonas y flujos. Fuente: (Rodríguez et al., 2008) [11].

² Ver Plano Ref. 01.00.00.00 y Ref. 01.10.01.00.

³ Ver Plano Ref. 01.01.00.00.

Criterios de diseño de una balsa de decantación. (Unlu et al., 2003) [12].

- La profundidad de la balsa debe estar comprendida entre 1,5 – 2,5 m.
 - Se asume una profundidad de 1,6 m.
- La relación largo / ancho (L/A) debe estar comprendida entre los valores 3 – 6.
 - $L/A = 7,5/2 = 3,75$
- La relación largo / profundidad (L/H) debe estar comprendida entre 4 – 20.
 - $L/H = 7,5/1,6 = 4,6875$
- El fondo de la balsa debe tener una pendiente entre 5 a 10% para facilitar el deslizamiento del sedimento.
 - Se asume una pendiente del 5%. Además, en la zona de salida de agua limpia se realiza una pendiente del 50%, con el fin de evitar que los sedimentos sean succionados durante el transvase.

La descarga de agua limpia se efectúa por gravedad, mediante una válvula de mariposa maniobrada de forma automática, dependiendo del tiempo de descarga calculado para una altura de 0,9 metros, es decir 12 minutos para 13.500 litros.⁴

Homogeneización de lodos

Una vez finalizado el transvase de agua limpia, el siguiente paso es la homogeneización de los lodos. Para conseguir una mejor extracción de los sedimentos y puesto que para la alimentación del filtro prensa se requiere de unas características homogéneas, se dispone de un agitador vertical. El agitador vertical está instalado sobre una plataforma móvil⁵ (Fig. 9), la cual se desplaza longitudinalmente sobre la balsa de decantación.

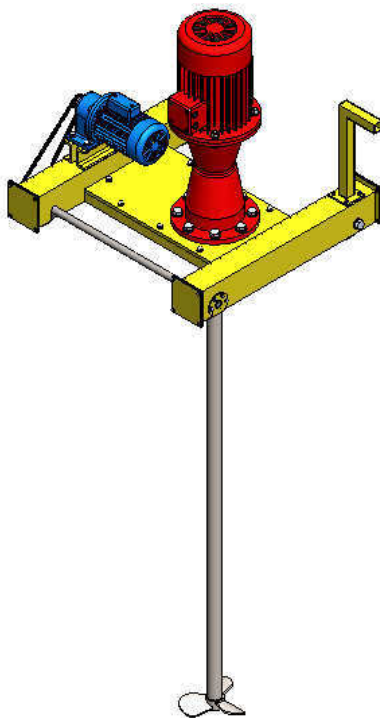


Fig. 9. Plataforma móvil

Características técnicas generales

Agitador FMI-B 1.1-4022-200

Potencia del motor = 2,2 kW

Velocidad de giro = 1500 rpm

Longitud del eje = 1600 mm

Elemento de agitación: hélice marina

Diámetro de la hélice = 200 mm

Volumen de agitación < 20.000 litros

Motorreductor MR3I 32-63A 4 B3

Potencia del motor = 0,12 kW

Velocidad de salida = 33,3 rpm

Transmisión por cadena

Piñón / Corona = 15 / 35 dientes

Velocidad de giro = 14,27 rpm

Velocidad de traslación = 5,38 m/min

⁴ Ver Plano Ref. 01.10.02.00 y Anexo de Cálculos, apartado 9.1.7. Pág. 31.

⁵ Ver Plano Ref. 01.05.00.00 y Anexo de Cálculos, Págs. 23-27.

Una vuelta completa (2 minutos) de la plataforma consiste en dos recorridos de 5,38 m cada uno. La inversión del sentido de giro del motor de traslación se consigue mediante una inversión automática con finales de carrera situados en cada extremo del recorrido⁶.

Sistema de extracción de lodos

Tras realizarse la primera de las seis vueltas completas de la plataforma móvil, se acciona el sistema de extracción⁷ (Fig. 10), basado en una serie de tuberías conectadas a una bomba centrífuga, que extrae los lodos y los envía directamente al filtro prensa.

La extracción de los lodos, al igual que la descarga de agua limpia, está automatizada y depende del tiempo de aspiración calculado para una altura de 0,4 metros, es decir 10 minutos para 6.000 litros.⁸

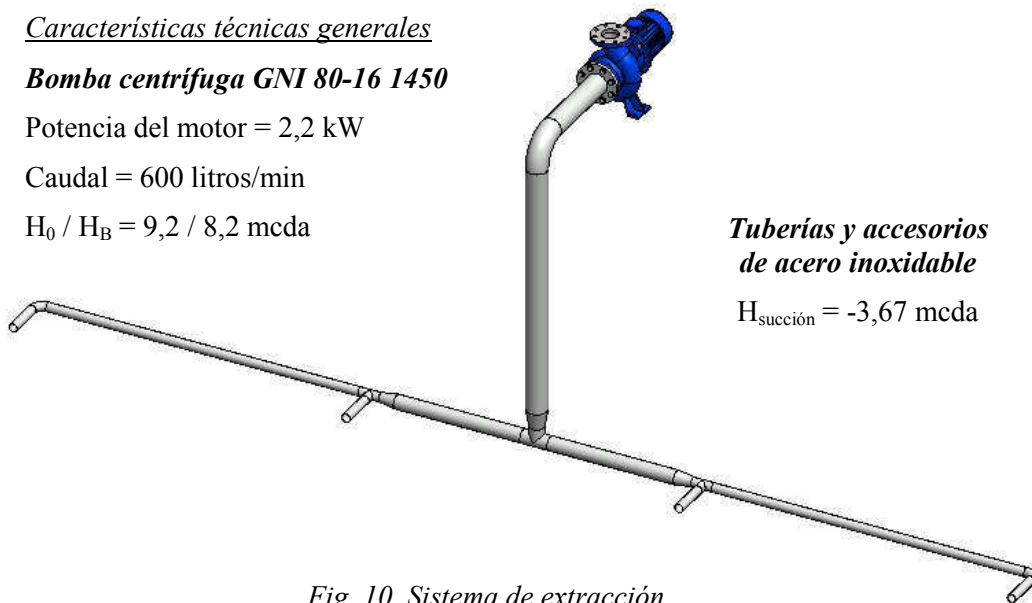
Características técnicas generales

Bomba centrífuga GNI 80-16 1450

Potencia del motor = 2,2 kW

Caudal = 600 litros/min

$H_0 / H_B = 9,2 / 8,2$ mcda



**Tuberías y accesorios
de acero inoxidable**

$H_{\text{succión}} = -3,67$ mcda

Fig. 10. Sistema de extracción

Filtro prensa

Se opta por la utilización de un filtro prensa con traslado lateral de placas (Fig. 11), ya que estos han sido concebidos para atender a pequeñas y medianas producciones de tortas, como el caso aquí descrito.



Características técnicas generales

Filtro Prensa Traslado Lateral

Serie EHPT Tamaño 1500x1500

125 placas, 6360 litros

Fig. 11. Filtro prensa de traslado lateral

⁶ Ver Plano Ref. 01.10.03.00.

⁷ Ver Plano Ref. 01.03.00.00 y Anexo de Cálculos, Págs. 28-31.

⁸ Ver Anexo de Cálculos, apartado 9.1.6. Pág. 28.

3.6. Análisis comparativo del diseño planteado con una instalación típica

En la Tabla 6 se indican los equipos utilizados para la ejecución de los diferentes procesos en una instalación típica y en la solución propuesta.

Tabla 6. Componentes Instalación típica vs. Instalación propuesta.

Instalación típica	Instalación propuesta
Balsa de aguas blancas + Decantador	Balsa de decantación
Tanque de homogeneización + Agitador	Plataforma móvil + Agitador
Bomba sumergible (Balsa → Decantador)	Tuberías de extracción + Bomba centrífuga (Balsa → Filtro prensa)
Bomba centrífuga (Tanque → Filtro prensa)	

En primer lugar, la instalación propuesta mantiene los procesos básicos de *decantación*, *extracción*, *homogeneización* y *deshidratación de los lodos*.

Mediante la realización de una pendiente del 5% en el fondo de la balsa de recogida de aguas blancas y una correcta alimentación en la zona más profunda de la balsa, por medio de una tubería con difusor dirigida hacia el fondo, se podría suprimir el cono de decantación y la bomba sumergible presentes en la instalación típica.

Por otro lado, si equiparamos el volumen de extracción de lodos al volumen de consumo del filtro prensa, no sería necesario almacenar los lodos en el tanque de homogeneización, por lo que también podríamos prescindir del mismo como tal.

Ahora bien, aunque eliminemos el tanque de homogeneización, una vez realizada la descarga del agua clarificada, en el nivel más bajo de la balsa nos quedaría una zona de sólidos sedimentados e inmediatamente por encima de esta una zona de transición sólido – líquido. Si a continuación ponemos en marcha el agitador, con el objetivo de que se produzca el movimiento de elevación de los sólidos, conseguimos que los sedimentos se mezclen con la zona de transición y formen un lodo homogéneo apto para su extracción y envío al filtro prensa.

Por último, al tratarse de una balsa rectangular con una relación largo/ancho de 3,75 se hace necesario instalar el agitador de homogeneización sobre una plataforma móvil que se desplace a lo largo de la balsa. Asimismo, por esta motivo se han diseñado una serie de tuberías que conectadas a una bomba centrífuga aspiran el lodo a lo largo del recorrido de la plataforma.

4. Resultados

4.1. Valorización de los efluentes

Según la estimación calculada, el total de residuo seco generado en las etapas de elaboración del mármol por cada m³ de mármol en bruto sería de 803,6 kg. Si tenemos en cuenta que 1 m³ de mármol tiene una masa de 2730 kg, con este sistema estaríamos recuperando el 29% del producto inicial, considerado como un residuo.

Ahora bien, si estos residuos son recuperados y reutilizados, por ejemplo como agregado en la producción de hormigón autocompactante, estaríamos transformando un residuo en una materia prima, solucionando así los problemas ambientales y económicos que supone deshacerse de ellos.

Además, no solo se reutilizan los lodos deshidratados si no que el agua una vez clarificada abastece de nuevo los procesos de mecanizado del mármol.

4.2. Ventajas de la instalación propuesta

Como ya se ha comentado en el apartado 3.6, al unificar la balsa de aguas blancas y el decantador, tendríamos las siguientes ventajas:

- Al eliminar una de las bombas se evitan los costes de compra, mantenimiento y consumo eléctrico. Además, al sustituir la bomba sumergible fijada en el centro de la balsa, por una bomba centrífuga conectada a una serie de tuberías repartidas a lo largo de la balsa, se consigue una mejor extracción de los sedimentos.
- En relación al cono decantador, simplemente se eliminan los costes de compra y mantenimiento del mismo, ya que la electroválvula de salida de lodos podría asimilarse a la empleada en la descarga del agua limpia.

Por otro lado, al modificar la homogeneización y el envío de lodos al filtro prensa, también tendríamos las siguientes ventajas:

- Se eliminan los costes de compra del tanque de homogeneización puesto que no se necesitaría un pre-almacenamiento, ya que los lodos se envían directamente al filtro prensa.
- Con respecto al agitador del tanque, únicamente se cambia su ubicación, ya que el mismo podría asimilarse al instalado en la plataforma móvil.

5. Conclusiones

La instalación propuesta para el tratamiento del agua empleada en la elaboración del mármol supone la recuperación del 29% del producto inicial, pasando de ser un residuo a convertirse en materia prima para la producción de hormigones autocompactantes, y solucionando de esta forma los problemas ambientales y económicos que implica su eliminación como residuo.

El proceso de tratamiento y reutilización de los lodos generados en la elaboración del mármol es técnicamente viable ya que se dispone de la tecnología necesaria para ello.

Con el objetivo de optimizar el proceso se ha diseñado un prototipo virtual, mediante software de modelado 3D, lo que permite estudiar y modificar la instalación sin tener que desarrollarla físicamente.

Tras analizar una instalación típica y estudiar el nuevo diseño planteado, se tiene que la instalación propuesta permite una mejor extracción de los sedimentos y que requiere de una menor inversión para su puesta en marcha y desarrollo.

6. Bibliografía

- [1] Felipe Sesé, M., Eliche Quesada, D. Corpas Iglesias, F.A. «*Obtención de silicatos de calcio empleando como precursores residuos sólidos. Influencia del mezclado de reactivos en fase seca o fase húmeda*». Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. Vol. 50. 1, Págs. 41-48, enero/febrero 2011.
- [2] Sigüenza Amichis, F. «*La extracción del mármol en las canteras de Macael*». Almería, noviembre 1997. Reproducido en Carretero Gómez, A. El sector industrial en la economía de Almería: III Jornadas sobre Economía de Almería. 2000, Págs. 23-32.
- [3] López Jimeno, C. «*Manual de Rocas Ornamentales. Prospección, explotación, elaboración y colocación*». ETS Ingenieros de Minas – LOEMCO. Madrid. 1995.
- [4] Valdez, P., Barragán, B., Girbes, I., Shuttleworth, N., Cockburn, A. «*Uso de residuos de la industria del mármol como filler para la producción de hormigones autocompactantes*». Materiales de Construcción. Vol. 61, nº 301, Págs. 61-76, enero/marzo 2011.
- [5] Santos Ruiz, J. «*Estudio para tratar de identificar posibles aplicaciones industriales para los residuos generados en el proceso de corte y elaboración de piedra natural, en concreto mármol, analizando su viabilidad técnica y económica*». Proyecto Final de Carrera, Universidad Politécnica de Cataluña, 2004.
- [6] Corpas Iglesias, F.A., Codina Sánchez, S., Ruiz Román, J.M., Ruiz Prieto, J.M., García Cambronero, L.E., Alonso Santos, C. «*Exploitation of marble residues through material composite in a polymer matrix*». Materials for Buildings and Structures. Vol. 6. Wiley-VCH. 2000.
- [7] Valera, D.L., Molina, F.D., Peña, A. «*Climatización de Invernaderos*». Servicio de Publicaciones Universidad de Almería. ISBN 84-8240-535-7. 2002.
- [8] Montero M.A., Jordán M.M., Almendro Candel M.B., Sanfeliu T., Hernández Crespo M.S. «*The use of a calcium carbonate residue from the stone industry in manufacturing of ceramic tile bodies*». Applied Clay Science, Vol. 43. 2, Págs. 186-189, febrero 2009.
- [9] Hebhoub, H., Aoun H., Belachia, M., Houari, H., Ghorbel, E. «*Use of waste marble aggregates in concrete*». Construction and Building Materials. Vol. 25. 3, Págs. 1167-1171, marzo 2011.
- [10] Mateo Pérez, J. «*Maquinaria para el tratamiento de lodos en la elaboración de la piedra*». ROC Máquina: Piedras naturales, maquinaria y equipos. Nº 95, 72-73, 2005.
- [11] Rodríguez López, P., Gutiérrez Lavín, A., Mahamud López, M.M., Bueno de las Heras, J.L. «*Flow models for rectangular sedimentation tanks*». Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. Vol. 47. 9-10, Págs. 1705-1716, 2008.
- [12] Unlu, A., Urgup, M.N., Hasar, H. «*Optimal design of sedimentation tanks for effluent of marble works and use of settled solids in concrete*». Civil Engineering and Environmental Systems. Vol. 20. 1, Págs. 49-59, 2003.

7. Índice de tablas y figuras

- Tabla 1. Composición química del polvo de mármol. *Fuente: (Valdez et al., 2011) [4].*
- Tabla 2. Obtención del número de tablas.
- Tabla 3. Obtención de la media de residuo seco (kg) por cada m³ aserrado.
- Tabla 4. Obtención de la media de residuo seco (kg) por m³ convertido en losa.
- Tabla 5. Obtención de la media de residuo seco (kg) por m³ de tablas pulidas.
- Tabla 6. Componentes Instalación típica vs. Instalación propuesta.
- Figura 1. Telar multifleje para aserrado de bloques. *Fuente: Mármoles Nitram.* <http://www.marmolesnitram.com>
- Figura 2. Cortabloques para aserrado de bloques y producción de solería. *Fuente: Bretón S.p.A. Máquinas e instalaciones para la elaboración del mármol.* <http://www.breton.it/marble>
- Figura 3. Máquina para calibrado de espesores y pulido de tablas de mármol. *Fuente: P. Cruz S.A. Maquinaria para la elaboración de piedra natural.* <http://www.pacruz.com>
- Figura 4. Cortadora para despieces con movimiento longitudinal y transversal. *Fuente: P. Cruz S.A. Maquinaria para la elaboración de piedra natural.* <http://www.pacruz.com>
- Figura 5. Descripción del proceso de tratamiento de agua. *Fuente: Fraccaroli & Balzan – Water filtration systems.* <http://www.fraccarolibalzan.it>
- Figura 6. Esquema de una instalación típica de tratamiento de agua.
- Figura 7. Esquema de la instalación propuesta para el tratamiento de agua.
- Figura 8. Balsa de decantación. Zonas y flujos. *Fuente: (Rodríguez et al., 2008) [11].*
- Figura 9. Plataforma móvil. *Fuente: Elaboración propia. Diseño realizado mediante software de modelado 3D (SolidWorks).*
- Figura 10. Sistema de extracción. *Fuente: Elaboración propia. Diseño realizado mediante software de modelado 3D (SolidWorks).*
- Figura 11. Filtro prensa de traslado lateral. *Fuente: Técnicas de Filtración S.A.* <http://www.gruptefsa.com/sp/index.htm>

8. Legislación

- Directiva 2006/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de mayo de 2006, relativa a las máquinas.
- Directiva 2006/95/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de diciembre de 2006, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre el material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión.
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.
- Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos.
- Catálogo Europeo de Residuos CER, aprobada por la Decisión del Consejo, 2001/573, de 23 de julio, mediante la que se aprueba la Lista Europea de Residuos.
- ORDEN MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos.

9.1. Anexo de cálculos

9.1.1. Estructura

Soporte Agitador

«Perfil angular de lados iguales – L30x30x4, Material S235JR»

$$\text{Peso del agitador} \rightarrow q_{\text{agitador}}^* = m \cdot g \cdot FS = 65 \cdot 9,8 \cdot 2 = 1274 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_A + R_B - q_{\text{agitador}}^* = 0 \rightarrow R_B = 1274 - 813,9 = 460,1 \text{ N}$$

$$\sum M_B = 0 \rightarrow R_A \cdot l - q_{\text{agitador}}^* \cdot x = 0 \rightarrow R_A = \frac{1274 \cdot 345}{540} = 813,9 \text{ N}$$

$$M_{f \text{ max}} = R_A \cdot (l - x) = 813,9 \cdot (540 - 345) = 158710,5 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$I_{yT} = 2 \cdot I_y = 2 \cdot 18000 = 36000 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{f \text{ max}} = -\frac{M_{f \text{ max}} \cdot z_{\text{max}}}{I_y} = -\frac{158710,5 \cdot (-21,2)}{36000} = 93,46 \text{ N/mm}^2 < 235 \text{ N/mm}^2$$

Testeras

«Tubo estructural rectangular – 100x80x4, Material S235JR»

$$\text{Peso de la plataforma} \rightarrow Q^* = m \cdot g \cdot FS = 118,3 \cdot 9,8 \cdot 2 = 2320 \text{ N}$$

$$M_{f \text{ max}} = \frac{Q^*}{4} \cdot \frac{l}{2} = \frac{2320}{4} \cdot \frac{530}{2} = 15,37 \cdot 10^4 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$I_{xx} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot ((80 \cdot 100^3) - (72 \cdot 92^3)) = 199,45 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{f \text{ max}} = -\frac{M_{f \text{ max}} \cdot y_{\text{max}}}{I_{xx}} = -\frac{15,37 \cdot 10^4 \cdot (-50)}{199,45 \cdot 10^4} = 3,85 \text{ N/mm}^2 < 235 \text{ N/mm}^2$$

Unión por soldadura Soporte Agitador – Testeras

$$\sigma_n = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{q_{\text{agitador}}^*}{a \cdot L \cdot h} \cdot \left(e + \frac{h}{2} \right) = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1274}{2,5 \cdot 300 \cdot 30} \cdot \left(345 + \frac{30}{2} \right) = 14,41 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_n = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{q_{\text{agitador}}^*}{a \cdot L \cdot h} \cdot \left(e - \frac{h}{2} \right) = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1274}{2,5 \cdot 300 \cdot 30} \cdot \left(345 - \frac{30}{2} \right) = 13,21 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_n^2 + 1,8 \cdot \tau_n^2} = \sqrt{14,41^2 + 1,8 \cdot 13,21^2} = 22,84 \text{ N/mm}^2 < 235 \text{ N/mm}^2$$

Vigas carril

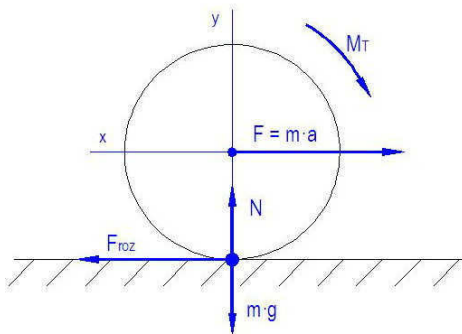
«Perfil I de alas paralelas – IPE80, Material S235JR»

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_A + R_B - \frac{Q^*}{2} = 0$$

$$M_{f\max} = \frac{1}{4} \cdot \frac{Q^*}{2} \cdot L = \frac{1}{4} \cdot \frac{2320}{2} \cdot 7900 = 2291 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_{f\max} = \frac{M_{f\max}}{W_y} = \frac{2291 \cdot 10^3}{20,03 \cdot 10^3} = 114,38 \text{ N/mm}^2 < 235 \text{ N/mm}^2$$

9.1.2. Resistencia a la rodadura



$$-\phi = 120 \text{ mm} = 0,12 \text{ m}$$

$$-m^* = m \cdot FS = 118,3 \cdot 2 = 236,6 \text{ kg}$$

$$-\mu = 0,1 \text{ (Acero sobre acero engrasado y pulido)}$$

$$\sum F_x = 0 \rightarrow m \cdot a - F_{roz} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow N - m \cdot g = 0$$

$$\sum M = 0 \rightarrow M_{inercia} + M_T - F_{roz} \cdot \frac{D}{2} = 0$$

Sabiendo que:

$$F_{roz} = \mu \cdot m \cdot g ; \quad a = \alpha \cdot \frac{\phi}{2} ; \quad M_{inercia} = \frac{1}{2} m \cdot r^2 \cdot \alpha ;$$

Sustituyendo y despejando nos quedará la siguiente ecuación:

$$M_T = \frac{1}{2} \cdot \mu \cdot m \cdot g \cdot \frac{\phi}{2}$$

De donde obtendremos el momento de arranque necesario para que se produzca el movimiento de rodadura:

$$M_{arranque} = \frac{1}{2} \cdot 0,1 \cdot 236,6 \cdot 9,8 \cdot \frac{0,12}{2} = 6,95 \text{ N} \cdot \text{m}$$

9.1.3. Traslación de la plataforma

Motorreductor:

$$P_1 = 0,12 \text{ kW}; \quad i_1 = 42,1; \quad n_2 = 33,3 \text{ rpm}; \quad M_2 = 33,1 \text{ N} \cdot \text{m}; \quad fs = 1,12;$$

Transmisión por cadena:

$$\text{Piñón} \rightarrow z_1 = 15 \text{ dientes}; \quad i_2 = \frac{z_2}{z_1} = \frac{35}{15} = 2,333$$

$$\text{Corona} \rightarrow z_2 = 35 \text{ dientes};$$

Cadena de rodillos simple DIN 8187, 05B-1, Carga de rotura 5000 N.

$$M_{2'} = M_2 \cdot fs = 33,1 \cdot 1,12 = 37,07 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_3 = M_{2'} \cdot i_2 = 37,07 \cdot 2,333 = 86,5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$n_3 = \frac{n_2}{i_2} = \frac{33,3}{2,333} = 14,27 \text{ rpm}$$

$$P_3 = M_3 \cdot n_3 = 86,5 \cdot \left(14,27 \cdot \frac{2\pi}{60}\right) = 129,3 \text{ W} \cong 0,129 \text{ kW}$$

$$F_{r3} = \frac{19100 \cdot P_3}{dp \cdot n_3} \cdot f_z = \frac{19100 \cdot 0,129}{(89,24 \cdot 10^{-3}) \cdot 14,27} \cdot 1,25 = 2418,5 \text{ N} \leq 5000 \text{ N}$$

Longitud de la cadena (pasos) y distancia entre centros:

$$C = 276 \text{ mm}; \quad 30p \leq C \leq 50p; \quad p = \frac{C}{40} = \frac{276}{40} = 6,9 \text{ mm} \rightarrow p_{\text{real}} = 8 \text{ mm}$$

$$L = \frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{2 \cdot C}{p} + \frac{(z_2 - z_1)^2 \cdot p}{4 \cdot C \cdot \pi^2} = \frac{35 + 15}{2} + \frac{2 \cdot 276}{8} + \frac{(35 - 15)^2 \cdot 8}{4 \cdot 276 \cdot \pi^2} = 94,29 \text{ pasos}$$

Recalculamos C:

$$C = \frac{p}{8} \cdot \left[2 \cdot L - z_2 - z_1 + \sqrt{(2 \cdot L - z_2 - z_1)^2 - \left(\frac{\pi}{3,88} \cdot (z_2 - z_1)^2\right)} \right]$$

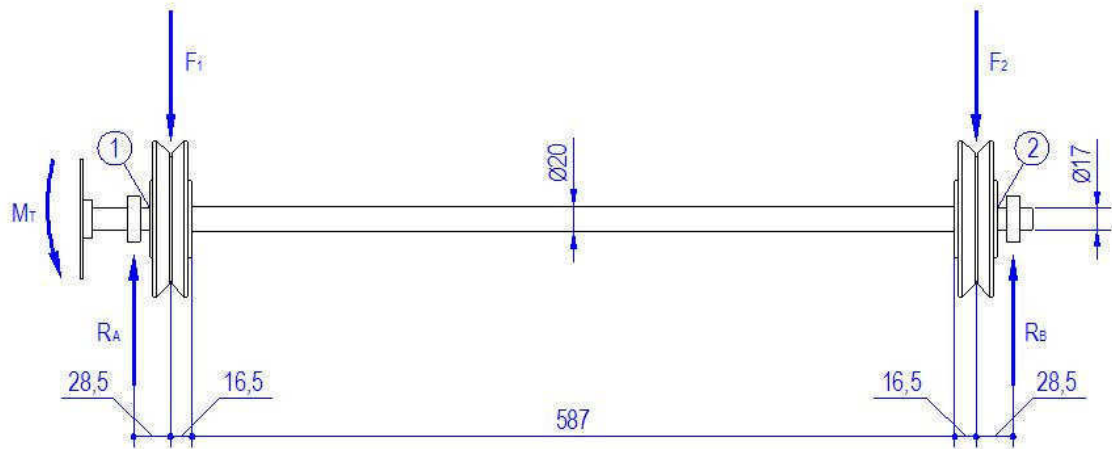
$$C = \frac{8}{8} \cdot \left[2 \cdot 96 - 35 - 15 + \sqrt{(2 \cdot 96 - 35 - 15)^2 - \left(\frac{\pi}{3,88} \cdot (35 - 15)^2\right)} \right] = 282,85 \text{ mm}$$

$$\text{Velocidad de traslación} \rightarrow v = n_3 \cdot \pi \cdot D = 14,27 \cdot \pi \cdot 0,12 = 5,38 \text{ m/min}$$

9.1.4. Análisis de piezas sometidas a fatiga

Eje motriz

«Material F-115, $\sigma_{lim} = 700 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_{ROT} = 900 \text{ N/mm}^2$ »



$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_1 + F_2 - R_A - R_B = 0 \rightarrow R_B = 580 \text{ N}$$

$$\sum M_B = 0 \rightarrow R_A \cdot 677 - F_1 \cdot 648,5 - F_2 \cdot 28,5 = 0 \rightarrow R_A = 580 \text{ N}$$

Secciones críticas 1 y 2 $\rightarrow M_f = R_A \cdot (28,5 - 16,5) = 580 \cdot 12 = 6960 \text{ N} \cdot \text{mm}$

$$M_T = M_3 = 86,5 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

a) Tensión de cizalla:

$$\tau_c = \frac{4}{3} \cdot \frac{R_A}{S} = \frac{4}{3} \cdot \frac{4 \cdot R_A}{\pi \cdot \phi^2} = \frac{16}{3\pi} \cdot \frac{R_A}{\phi^2} = \frac{16}{3\pi} \cdot \frac{580}{17^2} = 3,407 \text{ N/mm}^2$$

b) Tensión de flexión:

$$\sigma_f = \frac{-M_f \cdot y_{max}}{I_{zz}} = \frac{-M_f \cdot \left(-\frac{\phi}{2}\right)}{\frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{\phi}{2}\right)^4} = \frac{32 \cdot M_f}{\pi \cdot \phi^3} = \frac{32 \cdot 6960}{\pi \cdot 17^3} = 14,43 \text{ N/mm}^2$$

c) Tensión de torsión:

$$\tau_T = \frac{-M_T \cdot R}{I_{00}} = \frac{M_T \cdot \left(\frac{\phi}{2}\right)}{\frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{\phi}{2}\right)^4} = \frac{16 \cdot M_T}{\pi \cdot \phi^3} = \frac{16 \cdot 86,5 \cdot 10^3}{\pi \cdot 17^3} = 89,668 \text{ N/mm}^2$$

Cálculo de la tensión media y de la tensión de amplitud:

$$\tau_{xy} = \tau_c + \tau_T = 3,407 + 89,668 = 93,075 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_m^* = \sqrt{3} \cdot \tau_{xy} = \sqrt{3} \cdot 93,075 = 161,21 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_a^* = \frac{\sigma_{fmax} - \sigma_{fmin}}{2} = \frac{14,43 - (-14,43)}{2} = 14,43 \text{ kg/mm}^2$$

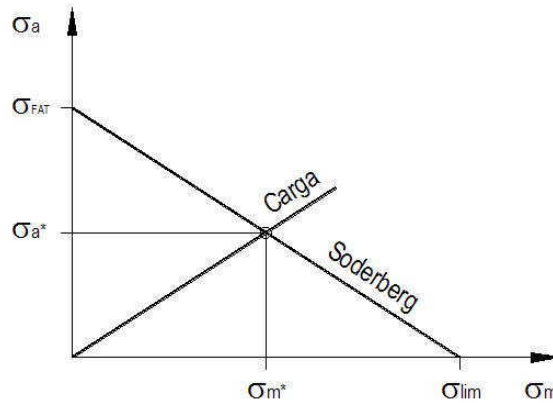
Diagrama de Tensión – N° de ciclos → (Diagrama de Soderberg)

Recta de carga:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_a^*}{\sigma_m^*} \cdot \sigma_m$$

Recta de Soderberg:

$$\sigma_a = -\frac{\sigma_{FAT}^{Real}}{\sigma_{lim}} \cdot \sigma_m + \sigma_{FAT}^{Real}$$



$k_A = 1 \rightarrow$ Acero pulido

$k_B = 0,85 \rightarrow 8 < \emptyset < 50$

$k_C = 0,868 \rightarrow$ Confiabilidad 95%

$k_D = 1 \rightarrow$ Temperatura $< 70^\circ$

$k_E = 0,625 \rightarrow$ Confiabilidad 95%

$$\sigma_{FAT}^{Real} = \prod k_i \cdot (0,5 \cdot \sigma_{ROT})$$

$$\sigma_{FAT}^{Real} = \prod (1 \cdot 0,85 \cdot 0,868 \cdot 1 \cdot 0,625) \cdot (0,5 \cdot 900) = 207,5 \text{ N/mm}^2$$

Igualando las ecuaciones de la recta de carga y de la recta de Soderberg obtenemos σ_m :

$$\frac{\sigma_a^*}{\sigma_m^*} \cdot \sigma_m = -\frac{\sigma_{FAT}^{Real}}{\sigma_{lim}} \cdot \sigma_m + \sigma_{FAT}^{Real}$$

$$\frac{14,43}{161,21} \cdot \sigma_m = -\frac{207,5}{700} \cdot \sigma_m + 207,5 \rightarrow \sigma_{m\lim} = 537,65 \text{ N/mm}^2$$

$$FS = \frac{\sigma_{m\lim}}{\sigma_m^*} = \frac{537,65}{161,21} = 3,335 \rightarrow \text{Vida infinita}$$

9.1.5. Vida de los rodamientos

$$L_h = \left(\frac{50000}{3 \cdot n} \right) \cdot \left(\frac{C}{P} \right)^3$$

Donde:

$n =$ velocidad máxima de rotación $\rightarrow n_3 = 14,27 \text{ rpm}$

$C =$ carga dinámica radial que soporta el rodamiento FAG 6003 $\rightarrow C = 6 \text{ kN}$

$P =$ carga radial aplicada en el rodamiento $\rightarrow P = R_A = R_B = 0,58 \text{ kN}$

$$L_h = \left(\frac{50000}{3 \cdot n} \right) \cdot \left(\frac{C}{P} \right)^3 = \left(\frac{50000}{3 \cdot 14,27} \right) \cdot \left(\frac{6}{0,58} \right)^3 = 1292988 \text{ horas}$$

9.1.6. Proceso de extracción de lodos

Bomba centrífuga

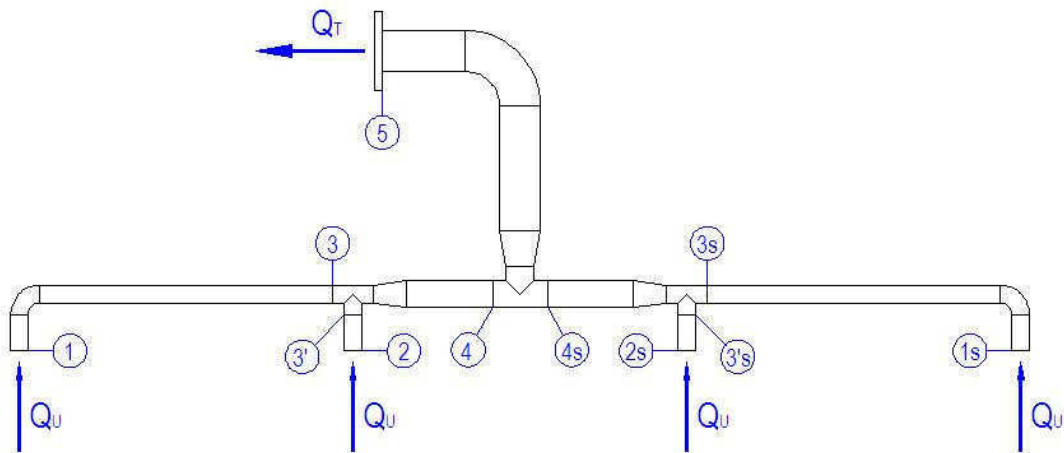
$$P = 2,2 \text{ kW}; \quad Q_T = 36 \text{ m}^3 / h = 0,01 \text{ m}^3 / s; \quad H_{Asp} = 9,2 \text{ m}; \quad H_B = 8,8 \text{ m}$$

Tiempo de aspiración

$$V = S \cdot h = 2 \cdot 7,5 \cdot 0,40 = 6 \text{ m}^3$$

$$Q_T = \frac{V}{t} \rightarrow t = \frac{V}{Q_T} = \frac{6}{36} = 0,1666 \text{ horas} = 10 \text{ minutos}$$

Conservación de la energía. Ecuación de Bernoulli



Tramo 1-3

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - \Delta h_p - \Delta h_s = \frac{P_3}{\gamma} + z_3 + \frac{v_3^2}{2g}$$

Sabiendo que en: *Depósito abierto* $\rightarrow P_1 = P_{atm} \rightarrow \frac{P_1}{\gamma} = 0$ y que: $z_1 = z_3$ obtenemos:

$$\boxed{\frac{P_3}{\gamma} = \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_3^2}{2g} - \Delta h_p - \Delta h_s}$$

$$v_1 = \frac{Q_T}{S} = \frac{0,01}{2 \cdot 7,5} = 6,67 \cdot 10^{-4} \text{ m/s} \quad (\text{Velocidad de vaciado del depósito})$$

$$v_3 = \frac{Q_U}{S_3} = \frac{Q_T / 4}{\pi \cdot D^2 / 4} = \frac{0,01}{\pi \cdot (43,1 \cdot 10^{-3})^2} = 1,71 \text{ m/s}$$

$$\text{Pérdidas de carga primarias debidas al rozamiento} \rightarrow \Delta h_p = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v_3^2}{2g}$$

Para obtener el número de Reynolds se aproxima la densidad del lodo a la del agua por estar conformado en su mayoría de esta:

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{1,71 \cdot 43,1 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-6}} = 73701 \approx 7,4 \cdot 10^4$$

Tubería de acero zincado → rugosidad absoluta: $k = 0,1 \text{ mm}$

$$\text{Rugosidad relativa: } e = \frac{k}{D} = \frac{0,1}{43,1} = 0,00232$$

Del diagrama de Moody obtenemos → $\lambda = 0,026$

$$\Delta h_p = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v_3^2}{2g} = 0,026 \cdot \frac{2,083}{43,1 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{1,71^2}{2 \cdot 9,8} = 0,187 \text{ mcda}$$

$$\text{Pérdidas de carga secundarias debidas a la geometría} \rightarrow \Delta h_s = (\Sigma k) \cdot \frac{v_3^2}{2g}$$

Codo 90° → $k = 0,6$

$$\Delta h_s = (\Sigma k) \cdot \frac{v_3^2}{2g} = 0,6 \cdot \frac{1,71^2}{2 \cdot 9,8} = 0,09 \text{ mcda}$$

Finalmente sustituyendo valores obtenemos:

$$\frac{P_3}{\gamma} = \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_3^2}{2g} - \Delta h_p - \Delta h_s = \frac{(6,67 \cdot 10^{-4})^2}{2 \cdot 9,8} - \frac{1,71^2}{2 \cdot 9,8} - 0,187 - 0,09 = -0,426 \text{ mcda}$$

Tramo 2-3'

$$\frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} - \Delta h_p = \frac{P_{3'}}{\gamma} + z_{3'} + \frac{v_{3'}^2}{2g}$$

Sabiendo que en: *Depósito abierto* → $P_2 = P_{atm} \rightarrow \frac{P_2}{\gamma} = 0$ y que: $z_2 = z_{3'}$, obtenemos:

$$\boxed{\frac{P_{3'}}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_{3'}^2}{2g} - \Delta h_p}$$

$$v_2 = v_1 = 6,67 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}; \quad v_{3'} = v_3 = 1,71 \text{ m/s}; \quad \text{Re} = 7,4 \cdot 10^4; \quad e = 0,00232; \quad \lambda = 0,026$$

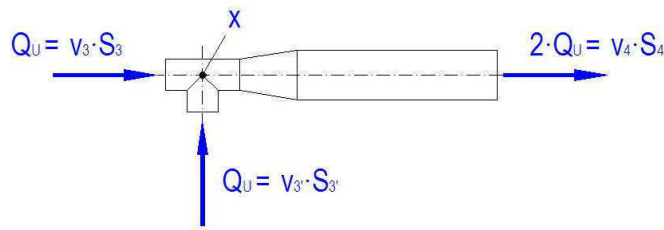
Pérdidas de carga primarias debidas al rozamiento:

$$\Delta h_p = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v_{3'}^2}{2g} = 0,026 \cdot \frac{0,257}{43,1 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{1,71^2}{2 \cdot 9,8} = 0,023 \text{ mcda}$$

Finalmente sustituyendo valores obtenemos:

$$\frac{P_{3'}}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_{3'}^2}{2g} - \Delta h_p = \frac{(6,67 \cdot 10^{-4})^2}{2 \cdot 9,8} - \frac{1,71^2}{2 \cdot 9,8} - 0,023 = -0,172 \text{ mcda}$$

Tramo 3-3'-4



$$\frac{P_x}{\gamma} + z_x + \frac{v_x^2}{2g} - \Delta h_p - \Delta h_s = \frac{P_4}{\gamma} + z_4 + \frac{v_4^2}{2g}$$

Sabiendo que $\frac{P_x}{\gamma} = \left(\frac{P_3}{\gamma} + \frac{P_{3'}}{\gamma} \right)$; $\frac{v_x^2}{2g} \cong 0$ y que: $z_x = z_4$ obtenemos:

$$\boxed{\frac{P_4}{\gamma} = \left(\frac{P_3}{\gamma} + \frac{P_{3'}}{\gamma} \right) - \frac{v_4^2}{2g} - \Delta h_p - \Delta h_s}$$

$$v_4 = \frac{2 \cdot Q_U}{S} = \frac{2 \cdot \frac{Q_T}{4}}{\pi \cdot D^2} = \frac{2 \cdot 0,01}{\pi \cdot (70,3 \cdot 10^{-3})^2} = 1,29 \text{ m/s}$$

Pérdidas de carga primarias debidas al rozamiento $\rightarrow \Delta h_p = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v_4^2}{2g}$

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{1,29 \cdot 70,3 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-6}} = 90687 \approx 9,1 \cdot 10^4$$

Tubería de acero zincado \rightarrow rugosidad absoluta: $k = 0,1 \text{ mm}$

$$\text{Rugosidad relativa: } e = \frac{k}{D} = \frac{0,1}{70,3} = 0,00142$$

Del diagrama de Moody obtenemos $\rightarrow \lambda = 0,023$

$$\Delta h_p = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v_4^2}{2g} = 0,023 \cdot \frac{0,925}{70,3 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{1,29^2}{2 \cdot 9,8} = 0,026 \text{ mcda}$$

Pérdidas de carga secundarias debidas a la geometría $\rightarrow \Delta h_s = (\Sigma k) \cdot \frac{v_4^2}{2g}$

Té igual $\rightarrow k = 1,5$; Ensanchamiento $\rightarrow k = 0,26$

$$\Delta h_s = (\Sigma k) \cdot \frac{v_4^2}{2g} = (1,5 + 0,26) \cdot \frac{1,29^2}{2 \cdot 9,8} = 0,15 \text{ mcda}$$

Finalmente sustituyendo valores obtenemos:

$$\frac{P_4}{\gamma} = \left(\frac{P_3}{\gamma} + \frac{P_{3'}}{\gamma} \right) - \frac{v_4^2}{2g} - \Delta h_p - \Delta h_s = (-0,426 - 0,172) - \frac{1,29^2}{2 \cdot 9,8} - 0,026 - 0,15 = -0,859 \text{ mcda}$$

Tramo 4-4s-5

$$\frac{P_x}{\gamma} + z_x + \frac{v_x^2}{2g} - \Delta h_p - \Delta h_s = \frac{P_5}{\gamma} + z_5 + \frac{v_5^2}{2g}$$

Sabiendo que $\frac{P_x}{\gamma} = \left(\frac{P_4}{\gamma} + \frac{P_{4s}}{\gamma} \right)$ y $\frac{v_x^2}{2g} \cong 0$ obtenemos:

$$\boxed{\frac{P_5}{\gamma} = \left(\frac{P_4}{\gamma} + \frac{P_{4s}}{\gamma} \right) + (z_x - z_5) - \frac{v_5^2}{2g} - \Delta h_p - \Delta h_s}$$

$$v_5 = \frac{Q_T}{S} = \frac{4 \cdot Q_T}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 0,01}{\pi \cdot (107,1 \cdot 10^{-3})^2} = 1,11 \text{ m/s}$$

Pérdidas de carga primarias debidas al rozamiento $\rightarrow \Delta h_p = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v_5^2}{2g}$

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{1,11 \cdot 107,1 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-6}} = 118881 \approx 1,2 \cdot 10^5$$

Tubería de acero zincado \rightarrow rugosidad absoluta: $k = 0,1 \text{ mm}$

$$\text{Rugosidad relativa: } e = \frac{k}{D} = \frac{0,1}{107,1} = 0,00093$$

Del diagrama de Moody obtenemos $\rightarrow \lambda = 0,022$

$$\Delta h_p = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v_5^2}{2g} = 0,022 \cdot \frac{2,295}{107,1 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{1,11^2}{2 \cdot 9,8} = 0,03 \text{ mcda}$$

Pérdidas de carga secundarias debidas a la geometría $\rightarrow \Delta h_s = (\Sigma k) \cdot \frac{v_5^2}{2g}$

Té igual $\rightarrow k = 1,5$; Ensanchamiento $\rightarrow k = 0,26$; Codo 90° $\rightarrow k = 0,6$

$$\Delta h_s = (\Sigma k) \cdot \frac{v_5^2}{2g} = (1,5 + 0,26 + 0,6) \cdot \frac{1,11^2}{2 \cdot 9,8} = 0,148 \text{ mcda}$$

Finalmente sustituyendo valores obtenemos:

$$\frac{P_5}{\gamma} = (-0,859 - 0,859) + (0 - 1,71) - \frac{1,11^2}{2 \cdot 9,8} - 0,03 - 0,148 = -3,67 \text{ mcda}$$

9.1.7. Proceso de transvase del agua limpia

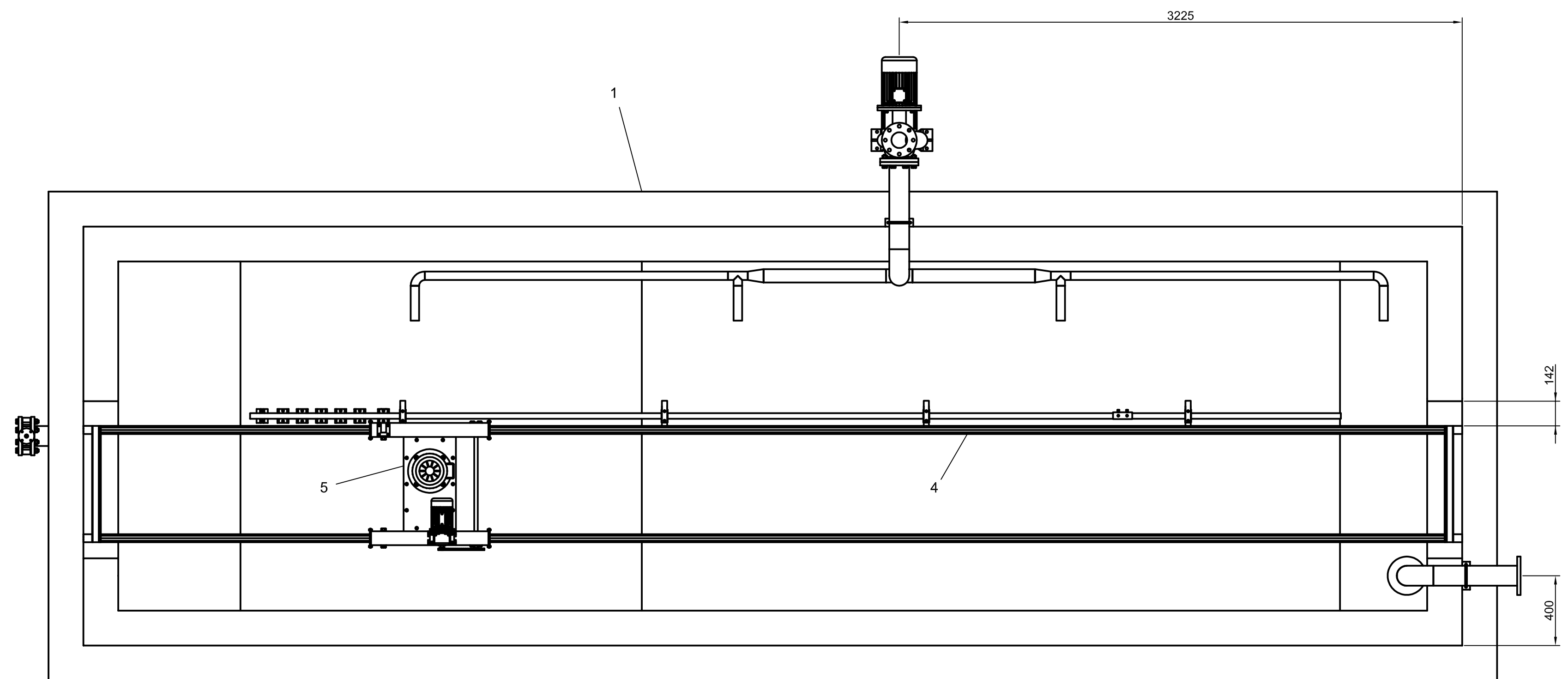
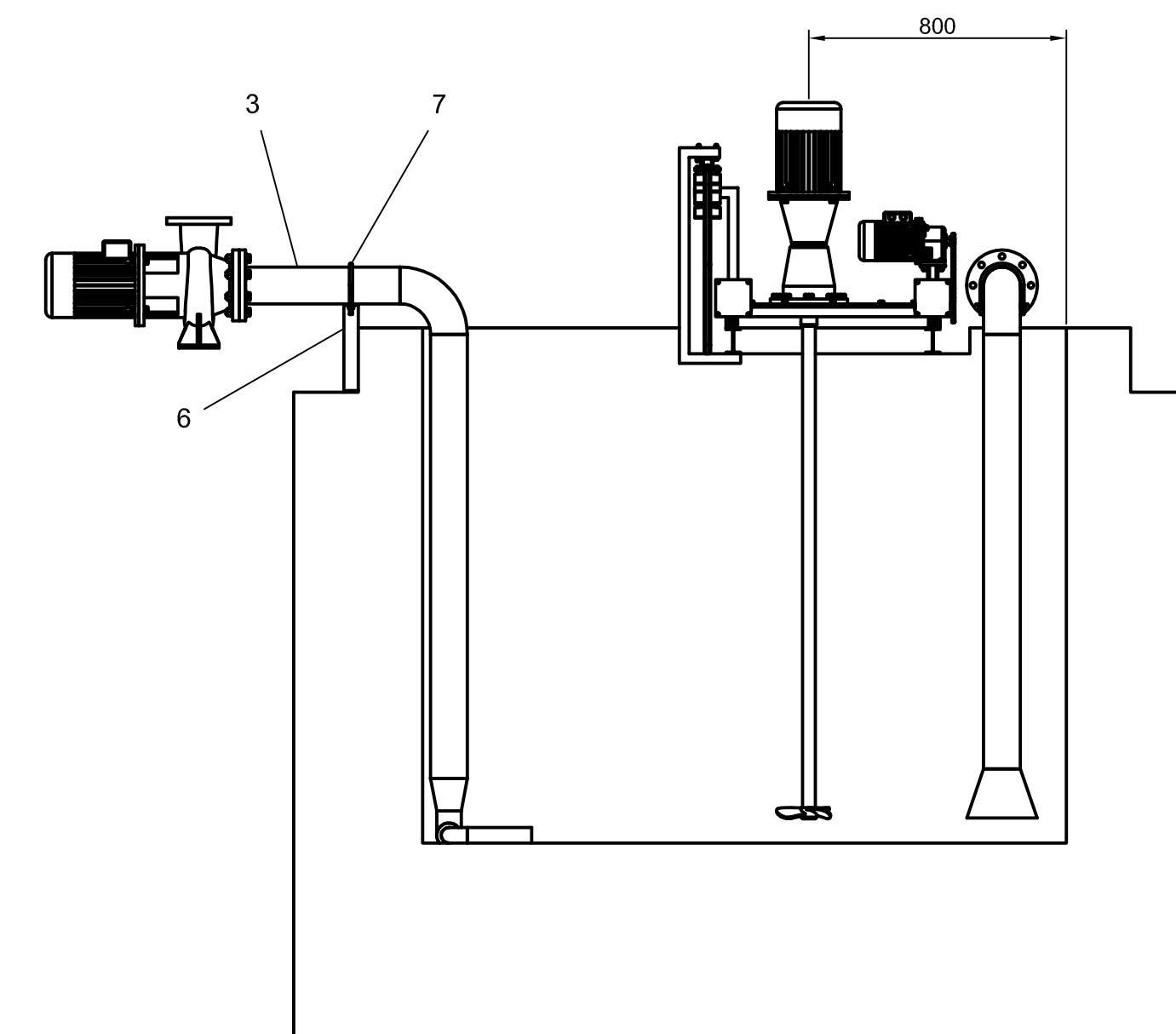
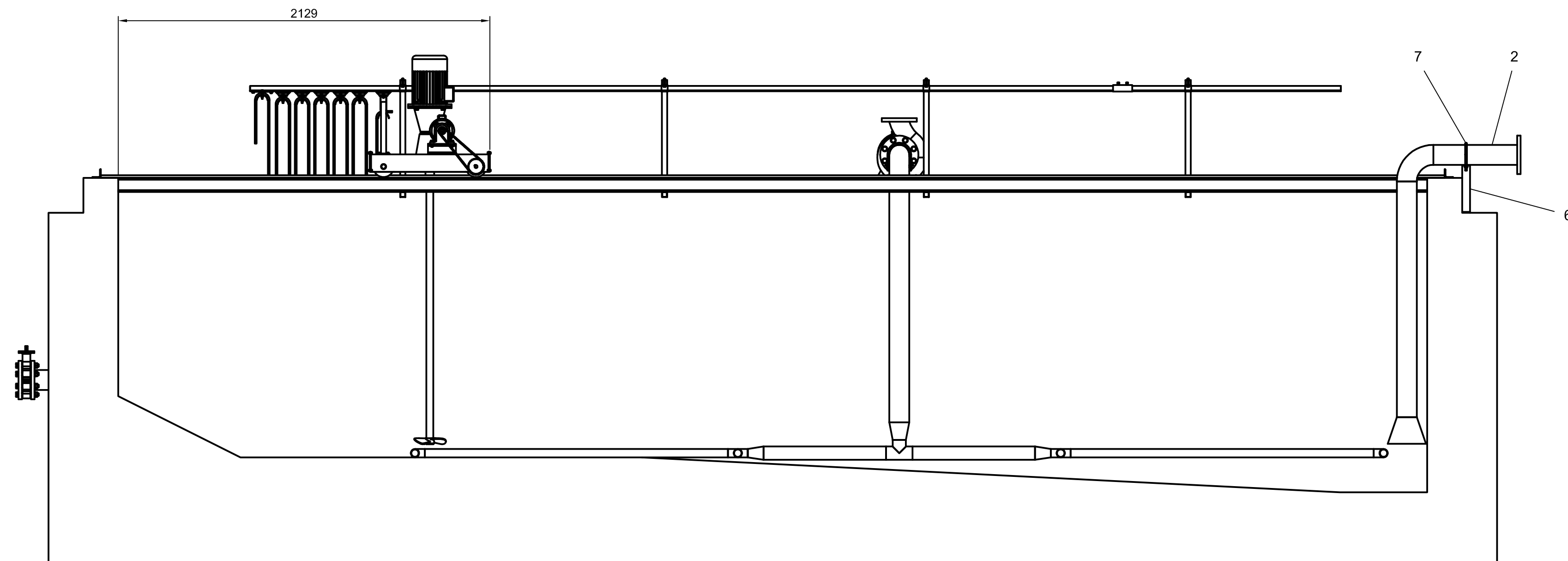
Tiempo de descarga

$$t_{h1-h2} = \frac{2 \cdot S_1}{S_2 \cdot \sqrt{2g}} \cdot (\sqrt{h_2} - \sqrt{h_1})$$

$$S_1 = L \cdot A = 7,5 \cdot 2 = 15 \text{ m}^2$$

$$S_2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot (107,1 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$t_{h1-h2} = \frac{2 \cdot 15}{9 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,8}} \cdot (\sqrt{0} - \sqrt{0,9}) = 714,3 \text{ seg} \approx 12 \text{ min}$$



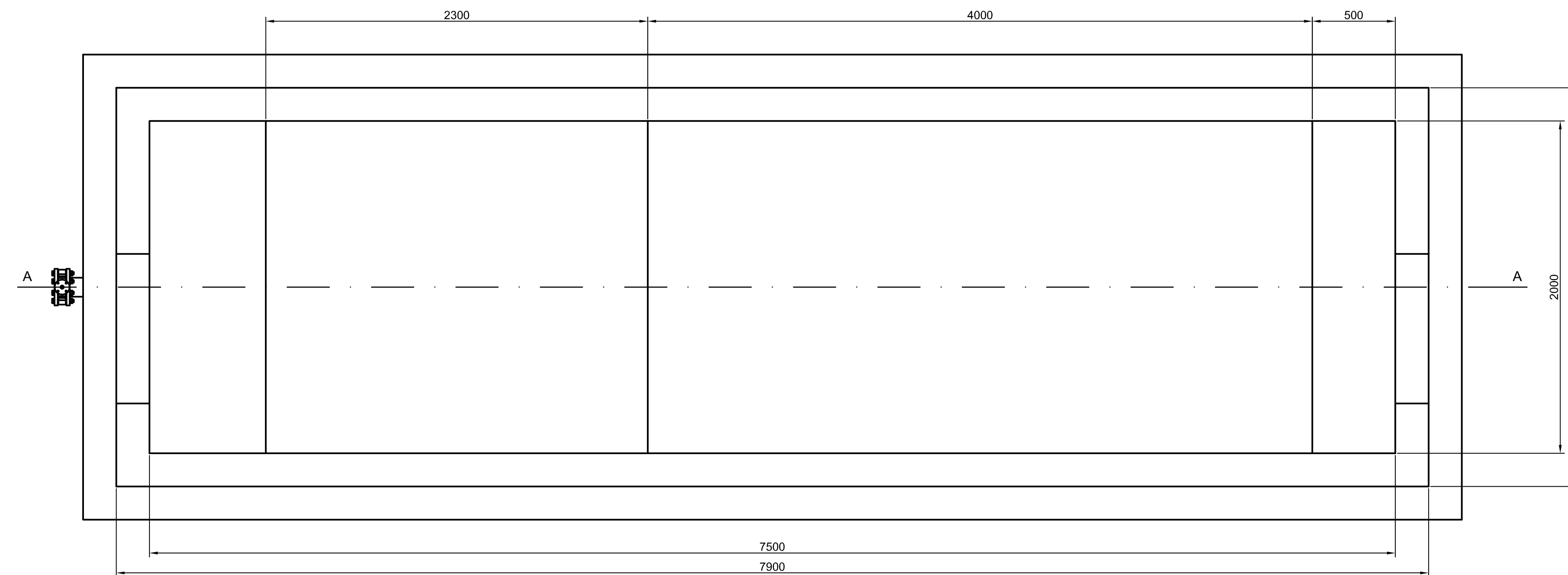
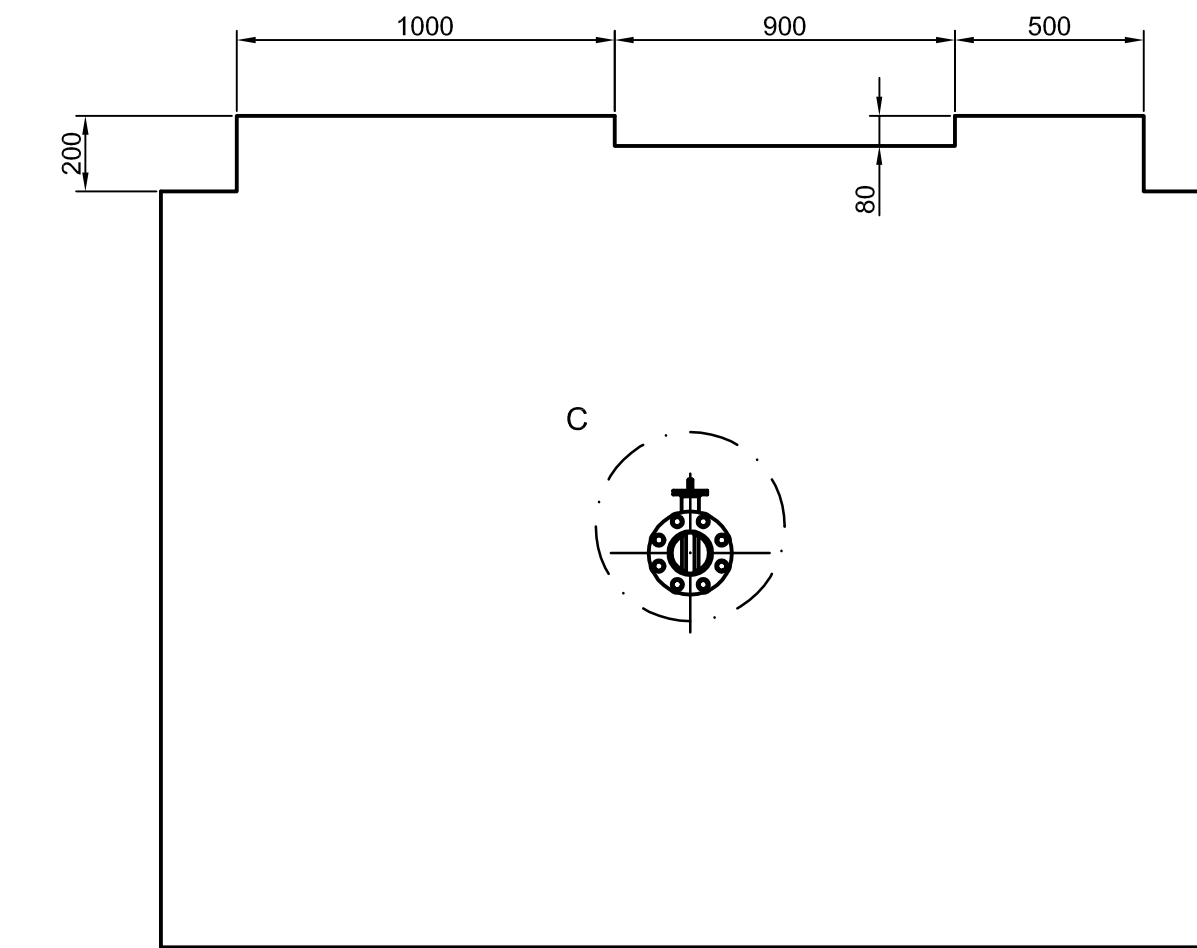
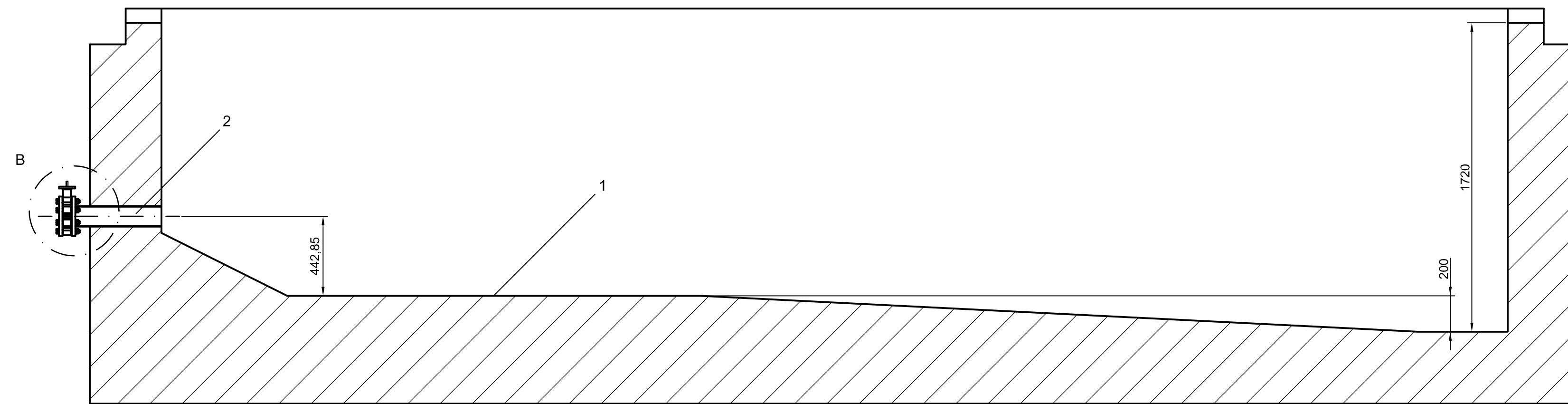
7	01.07.00.00	Abarcor para fijación de tubería DN100	2	Salvador Escoda	Acero zincado	0,506
6	01.06.00.00	Apoyo tubería DN100	2	Taller	S235JR	5,130
5	01.05.00.00	Plataforma Móvil	1			118,221
4	01.04.00.00	Carril + Portacables	1			129,751
3	01.03.00.00	Sistema de extracción	1			134,170
2	01.02.00.00	Llenado balsa de decantación	1			29,855
1	01.01.00.00	Balsa de decantación + Vaclado	1			
Marca	Nº de referencia	Designación	Nº ud	Norma / Fabricante	Material	Peso (kg)

Dibujado:	RUBEN CASTAÑO DOMENE	Fecha:	11/09/2011	Firma:		Formato:	A1	Escala:	1:20	Tolerancias no indicadas UNE-EN 22768-m
Revisado:										Software: AutoCAD 2007

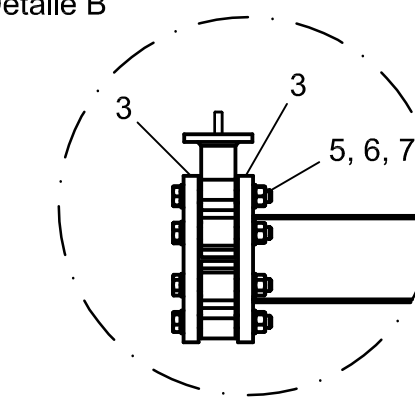
Máster en Representación y Diseño en Ingeniería y Arquitectura

	Conjunto: <i>Instalación para la recuperación de lodos procedentes del mecanizado del mármol</i>		
	Subconjunto:	Material:	Tratamiento:
	Designación: Conjunto	Cantidad: 1 ud.	Referencia N°: 01.00.00.00

Corte AA

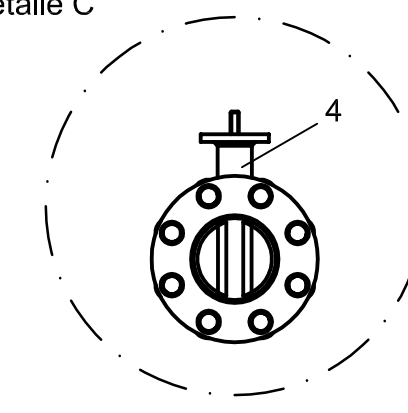


Detalle B



Escala 1:10

Detalle C



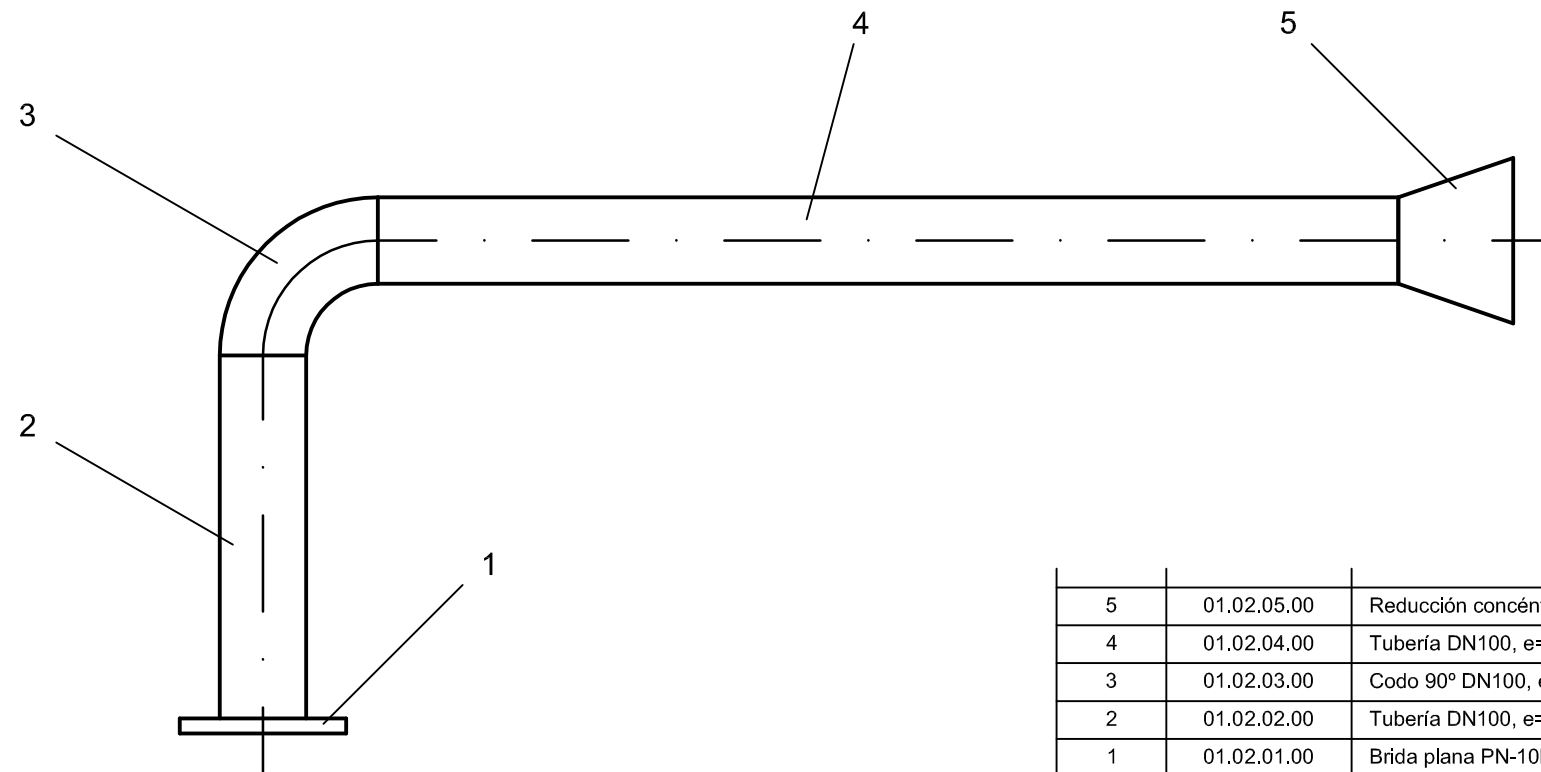
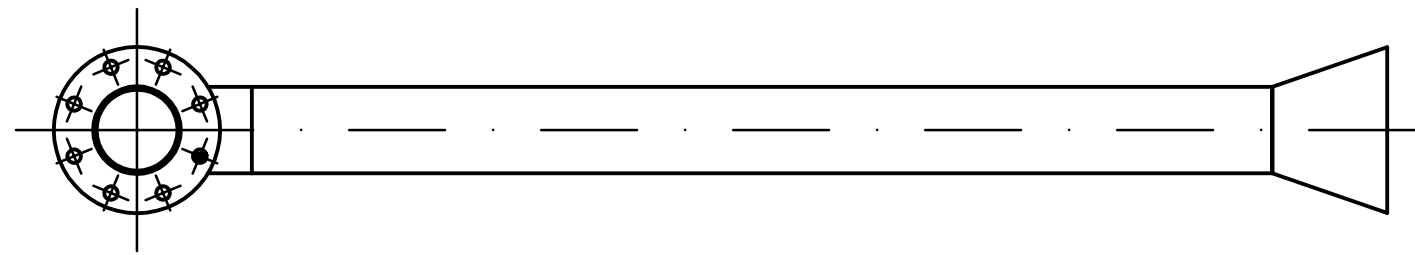
Escala 1:10

7	01.05.12.00	Tuerca hexagonal M16	8	DIN 934	F-1140	0,280
6	01.05.11.00	Arandela plana M16	16	DIN 125	Acero pulido	0,192
5	01.01.05.00	Tornillo hexagonal M16x120	8	DIN 931	F-1252 8.8	1,832
4	01.01.04.00	Válvula de mariposa tipo LUG(w), DN100	1	SIGEVAL		6,370
3	01.01.03.00	Brida plana PN-10bar, DN100mm	2	DIN 2576	AISI 304 L	4,000
2	01.01.02.00	Tubería DN100, e=3,6, L=500mm	1	DIN 2463	AISI 304 L	4,950
1	01.01.01.00	Balsa de decantación, capacidad máxima 23000 litros	1		Hormigón	
Marca	Nº de referencia	Designación	Nº ud	Norma / Fabricante	Material	Peso (kg)

Dibujado:	RUBEN CASTAÑO DOMENE	Fecha:	07/09/2011	Firma:		Formato:	A1	Escala:	1:20	Tolerancias no indicadas UNE-EN 22768-m
Revisado:										Software: AutoCAD 2007

Máster en Representación y Diseño en Ingeniería y Arquitectura

	Conjunto: <i>Instalación para la recuperación de lodos procedentes del mecanizado del mármol</i>		
	Subconjunto: Balsa de decantación + Vaciado	Material:	Tratamiento:
	Designación: Balsa de decantación + Vaciado	Cantidad: 1 ud.	Referencia N°: 01.01.00.00



5	01.02.05.00	Reducción concéntrica 219.1 / 114.3, e=3.6mm	1	DIN 2616	AISI 304 L	5,180
4	01.02.04.00	Tubería DN100, e=3.6, L=1350mm	1	DIN 2463	AISI 304 L	13,365
3	01.02.03.00	Codo 90° DN100, e=3.6mm	1	DIN 2605	AISI 304 L	2,360
2	01.02.02.00	Tubería DN100, e=3.6, L=500mm	1	DIN 2463	AISI 304 L	4,950
1	01.02.01.00	Brida plana PN-10bar, DN100mm	1	DIN 2576	AISI 304 L	4,000
Marca	Nº de referencia	Designación	Nº ud	Norma / Fabricante	Material	Peso (kg)

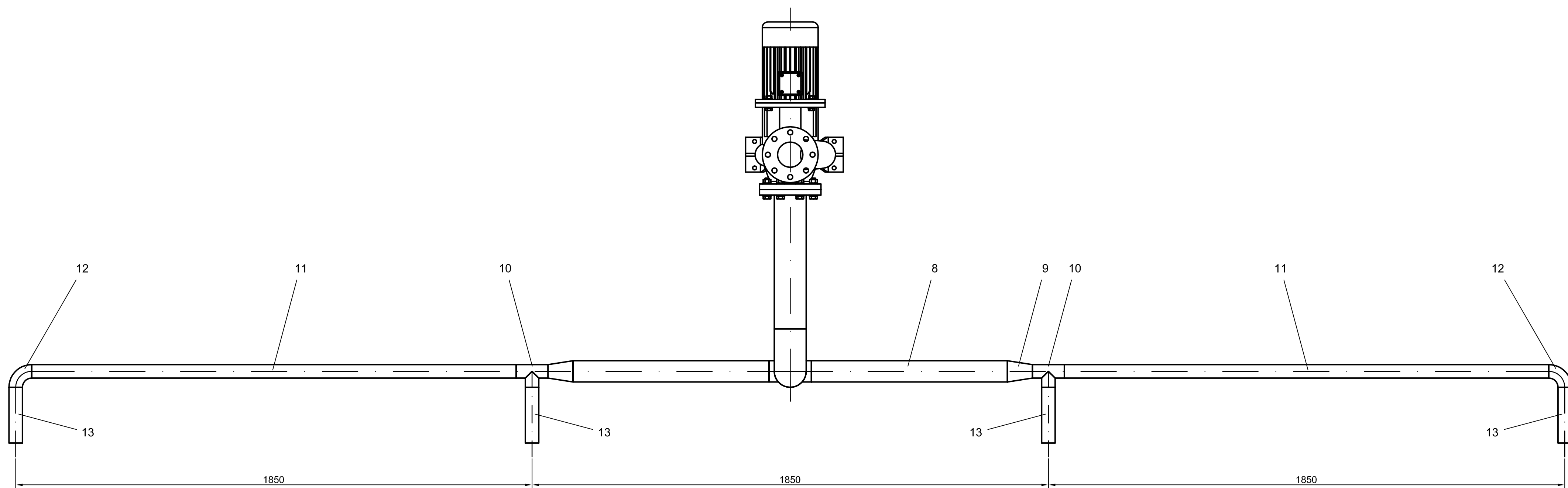
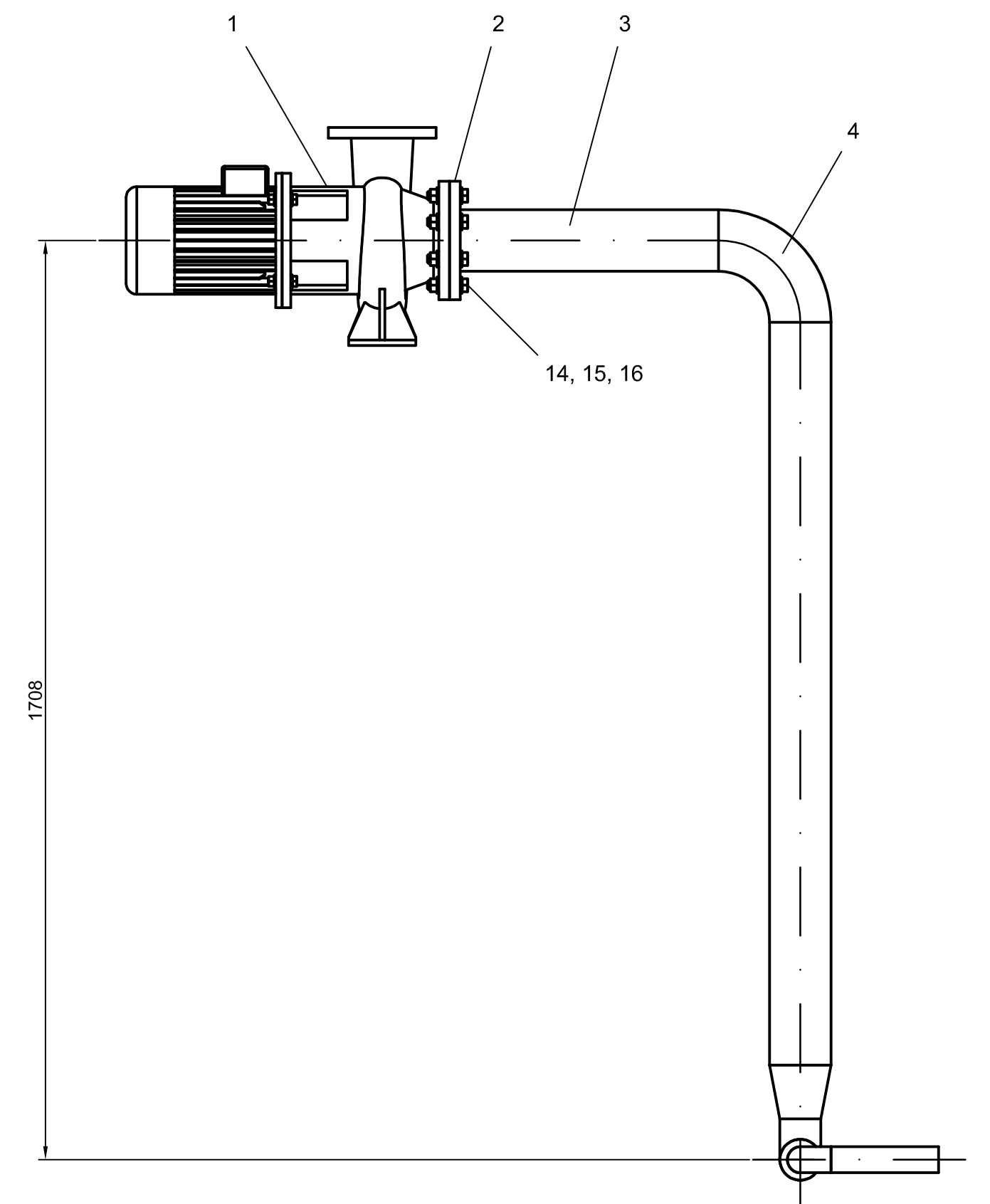
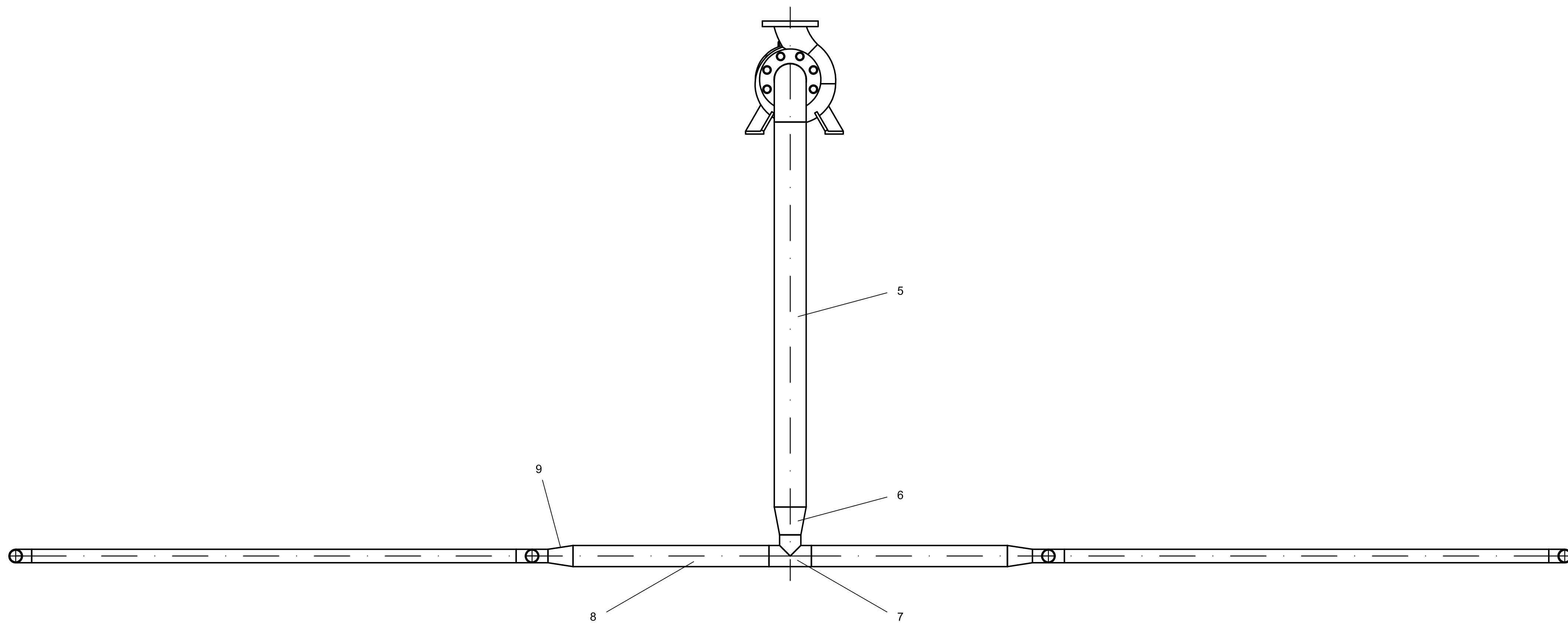
	Nombre y Apellidos	Fecha	Firma	Formato:	Escala:	Tolerancias no indicadas UNE-EN 22768-m
Dibujado:	RUBEN CASTAÑO DOMENE	07/09/2011		A3	1:10	Software: AutoCAD 2007
Revisado:						

Máster en Representación y Diseño en Ingeniería y Arquitectura



Conjunto: *Instalación para la recuperación de lodos procedentes del mecanizado del mármol*

Subconjunto: Llenado balsa de decantación	Material:	Tratamiento:
Designación: Llenado balsa de decantación	Cantidad: 1 ud.	Referencia Nº: 01.02.00.00

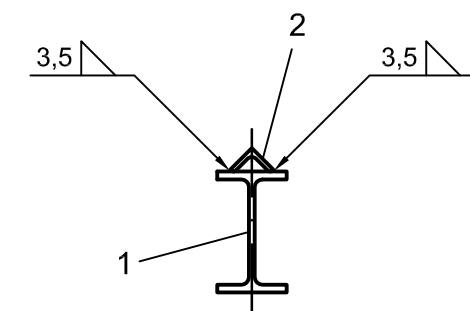


16	01.05.12.00	Tuerca hexagonal M16	8	DIN 934	F-1140	0,280
15	01.05.11.00	Arandela plana M16	16	DIN 125	Acero pulido	0,192
14	01.03.14.00	Tornillo hexagonal M16x65	8	DIN 931	F-1252 8.8	1,136
13	01.03.13.00	Tubería DN40, e=2,6, L=200mm	4	DIN 2463	AISI 304 L	2,360
12	01.03.12.00	Codo 90° DN40, e=2,6mm	2	DIN 2605	AISI 304 L	0,520
11	01.03.11.00	Tubería DN40, e=2,6, L=1736mm	2	DIN 2463	AISI 304 L	10,240
10	01.03.10.00	Té igual DN40, e=2,6mm	2	DIN 2615	AISI 304 L	1,380
9	01.03.09.00	Reducción concéntrica 76.1 / 48.3, e=2,9mm	2	DIN 2616	AISI 304 L	0,980
8	01.03.08.00	Tubería DN65, e=2,9, L=702mm	2	DIN 2463	AISI 304 L	7,410
7	01.03.07.00	Té igual DN65, e=3,6mm	1	DIN 2615	AISI 304 L	1,680
6	01.03.06.00	Reducción concéntrica 114.3 / 76.1, e=3,6mm	1	DIN 2616	AISI 304 L	1,020
5	01.03.05.00	Tubería DN100, e=3,6, L=1380mm	1	DIN 2463	AISI 304 L	13,662
4	01.03.04.00	Codo 90° DN100, e=3,6mm	1	DIN 2605	AISI 304 L	2,360
3	01.03.03.00	Tubería DN100, e=3,6, L=500mm	1	DIN 2463	AISI 304 L	4,950
2	01.03.02.00	Brida plana PN-10bar, DN100mm	1	DIN 2576	AISI 304 L	4,000
1	01.03.01.00	Bomba GNI 80-16 1450, P=2,2kW, Q=600 l/min	1	IDEAL		82,000
Marca	Nº de referencia	Designación	Nº ud	Norma / Fabricante	Material	Peso (kg)

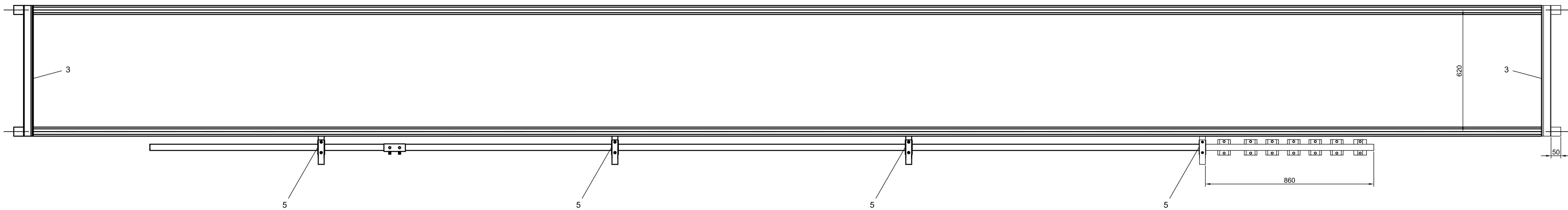
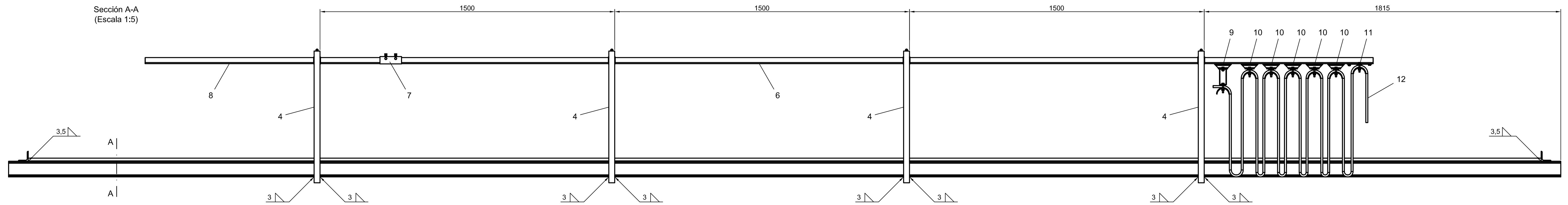
Dibujado:	RUBEN CASTAÑO DOMENE	Fecha:	06/09/2011	Firma:		Formato:	A1	Escala:	1:10	Tolerancias no indicadas UNE-EN 22768-m
Revisado:										Software: AutoCAD 2007

Máster en Representación y Diseño en Ingeniería y Arquitectura

	Conjunto: <i>Instalación para la recuperación de lodos procedentes del mecanizado del mármol</i>		
	Subconjunto: Sistema de extracción	Material:	Tratamiento:
	Designación: Sistema de extracción	Cantidad: 1 ud.	Referencia Nº: 01.03.00.00



Sección A-A
(Escala 1:5)

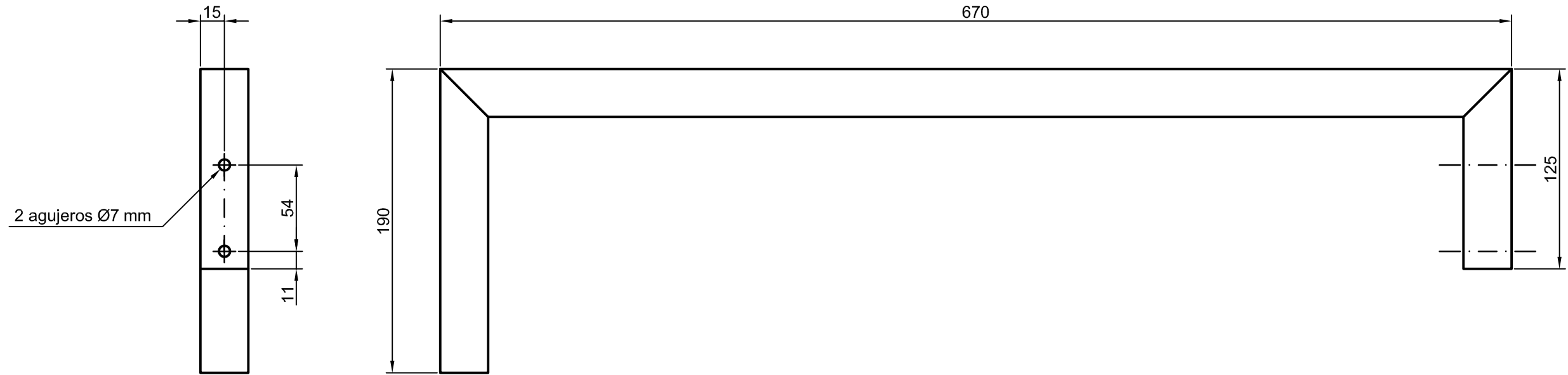


Marca	Nº de referencia	Designación	Nº ud	Norma / Fabricante	Material	Peso (kg)
	12	01.04.12.00	Manguera plana para cables eléctricos	1		
	11	01.04.11.00	Carro fijo	1	Ramón Galarza	0,250
	10	01.04.10.00	Carro intermedio	5	Ramón Galarza	0,245
	9	01.04.09.00	Carro arrastrador	1	Ramón Galarza	0,558
	8	01.04.08.00	Perfil de rodadura, L=2250mm	1	Ramón Galarza	Acero zincado 2,813
	7	01.04.07.00	Empalme	1	Ramón Galarza	Acero zincado 0,325
	6	01.04.06.00	Perfil de rodadura, L=4000mm	1	Ramón Galarza	Acero zincado 5,000
	5	01.04.05.00	Soporte perfil de rodadura	4	Ramón Galarza	Acero zincado 0,140
	4	01.04.04.00	Apoyo portacables	4	Taller	S235JR 7,000
	3	01.04.03.00	Perfil angular de lados iguales - L50x50x5, 670mm	2	EN 10025	S235JR 5,060
	2	01.04.02.00	Perfil angular de lados iguales - L20x20x3, 7700mm	2	EN 10025	S235JR 13,560
	1	01.04.01.00	Perfil I de alas paralelas - IPE 80, 7900mm	2	EN 10025	S235JR 94,800


Dibujado:	RUBEN CASTAÑO DOMENE	Fecha:	08/09/2011	Firma:		Formato:	A1	Escala:	1:10	Tolerancias no indicadas UNE-EN 22768-m
Revisado:										Software: AutoCAD 2007

Máster en Representación y Diseño en Ingeniería y Arquitectura

	Conjunto: <i>Instalación para la recuperación de lodos procedentes del mecanizado del mármol</i>		
	Subconjunto: Carril + Portacables	Material:	Tratamiento:
	Designación: Carril + Portacables	Cantidad: 1 ud.	Referencia N°: 01.04.00.00



Nota: Todos los agujeros son pasantes

	Nombre y Apellidos	Fecha	Firma	Formato:	Escala:	Tolerancias no indicadas UNE-EN 22768-m
Dibujado:	RUBEN CASTAÑO DOMENE	03/09/2011		A3	1:3	 Software: AutoCAD 2007
Revisado:						

Máster en Representación y Diseño en Ingeniería y Arquitectura



Conjunto: *Instalación para la recuperación de lodos procedentes del mecanizado del mármol*

Subconjunto: Carril + Portacables

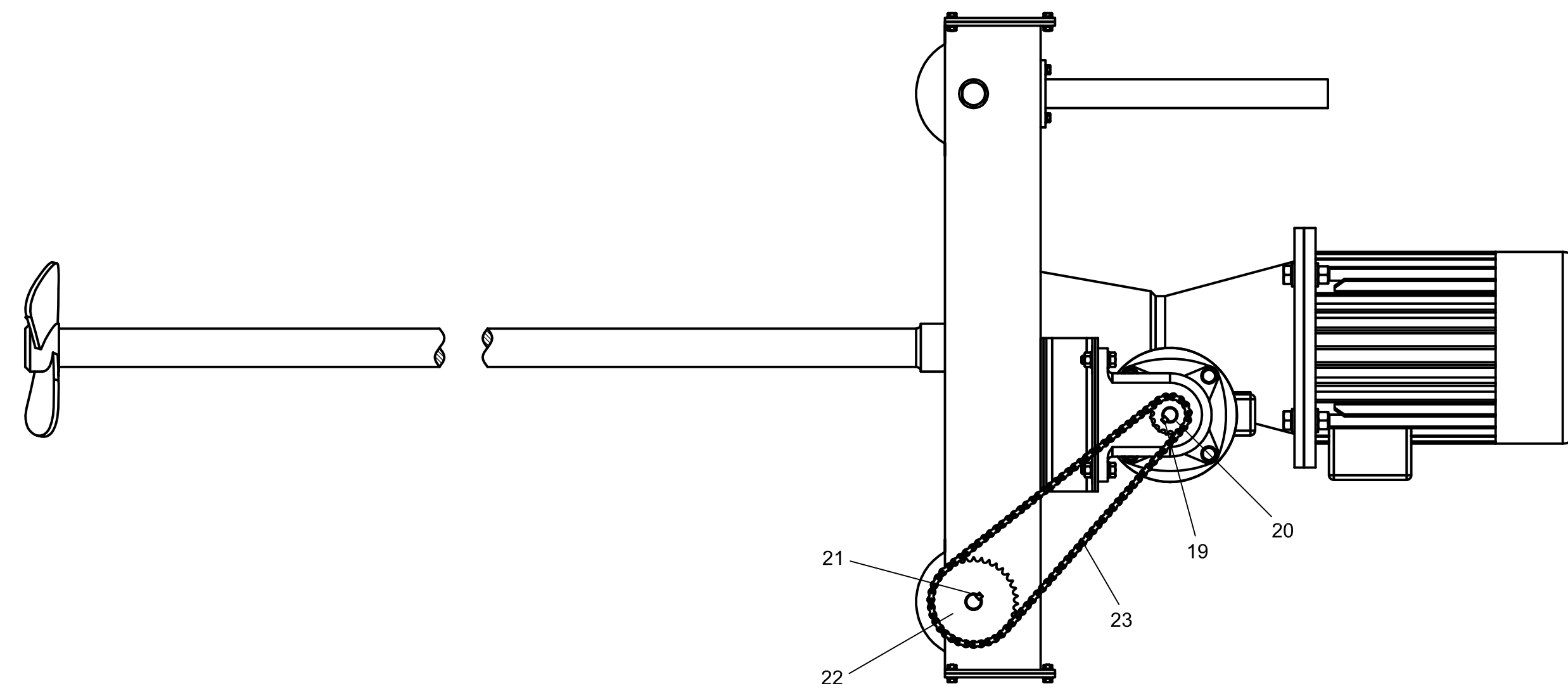
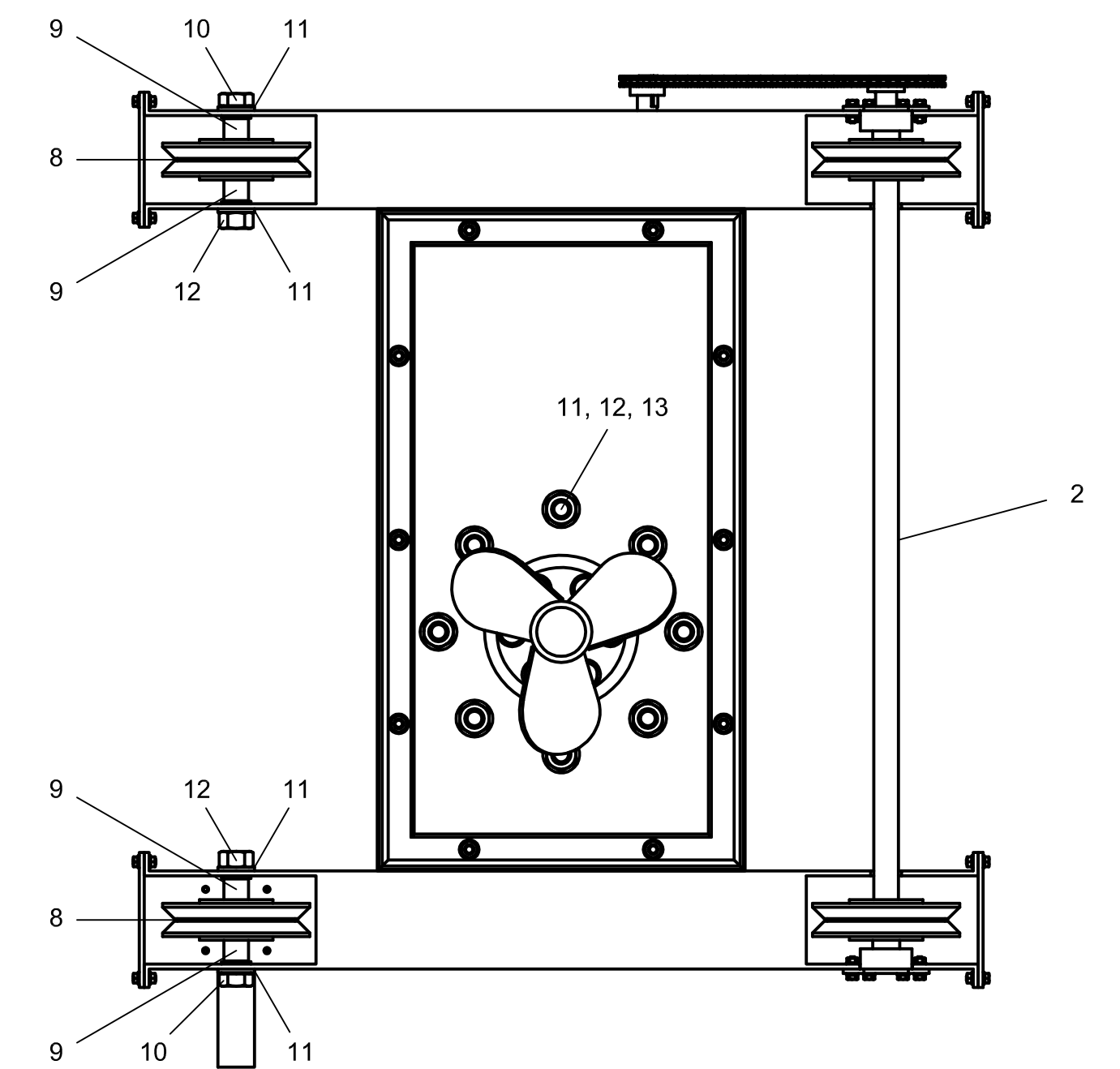
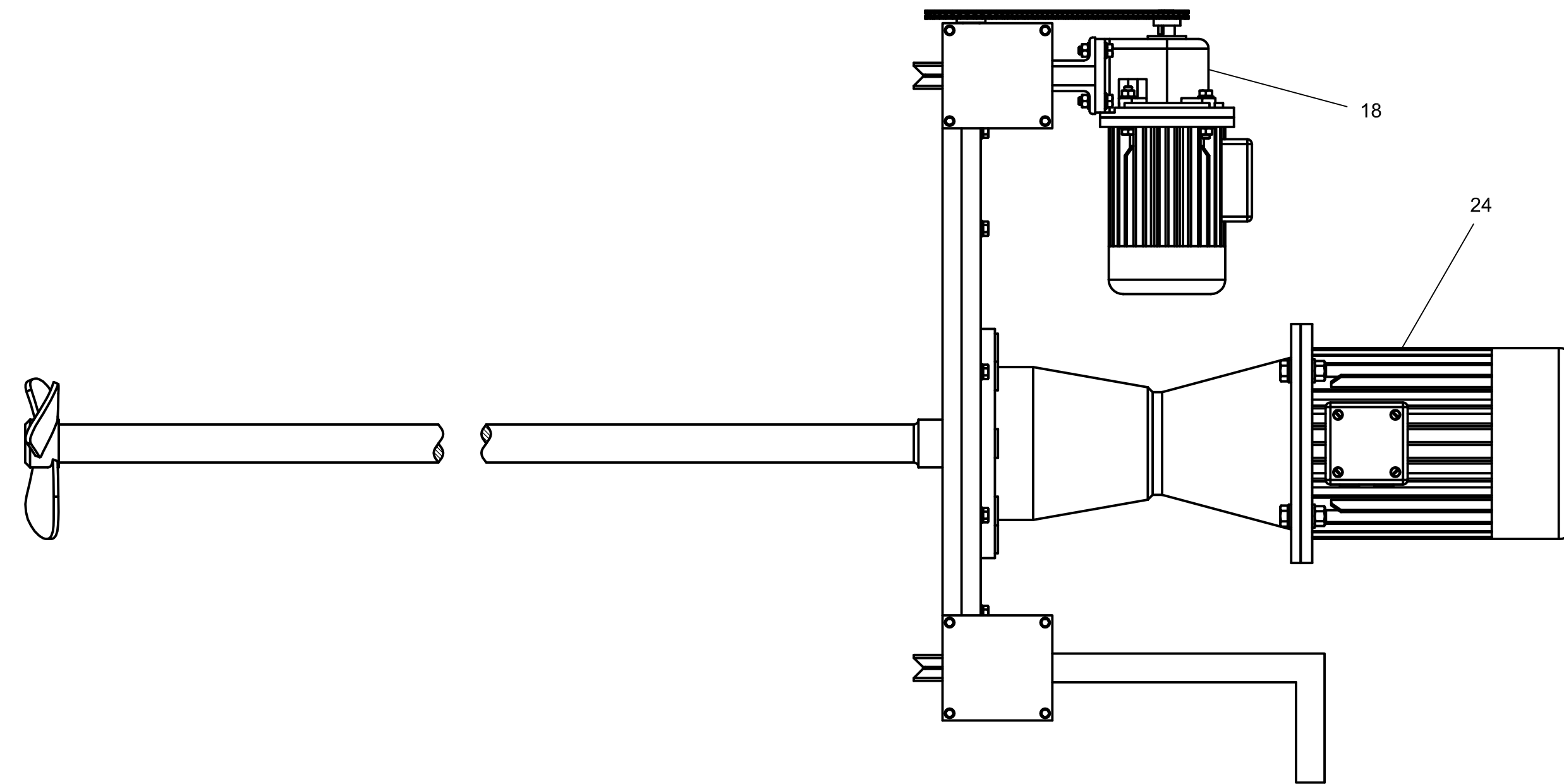
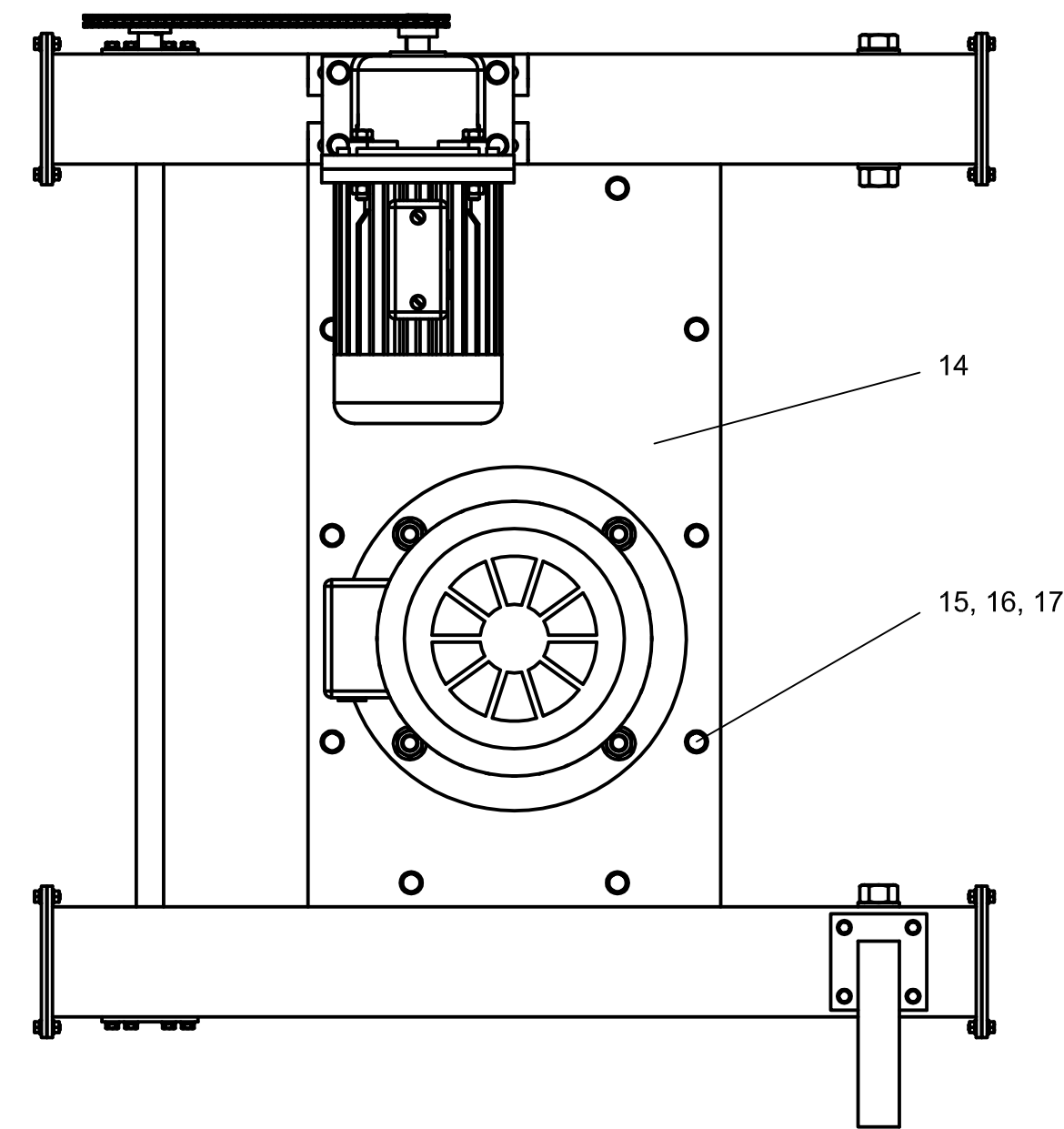
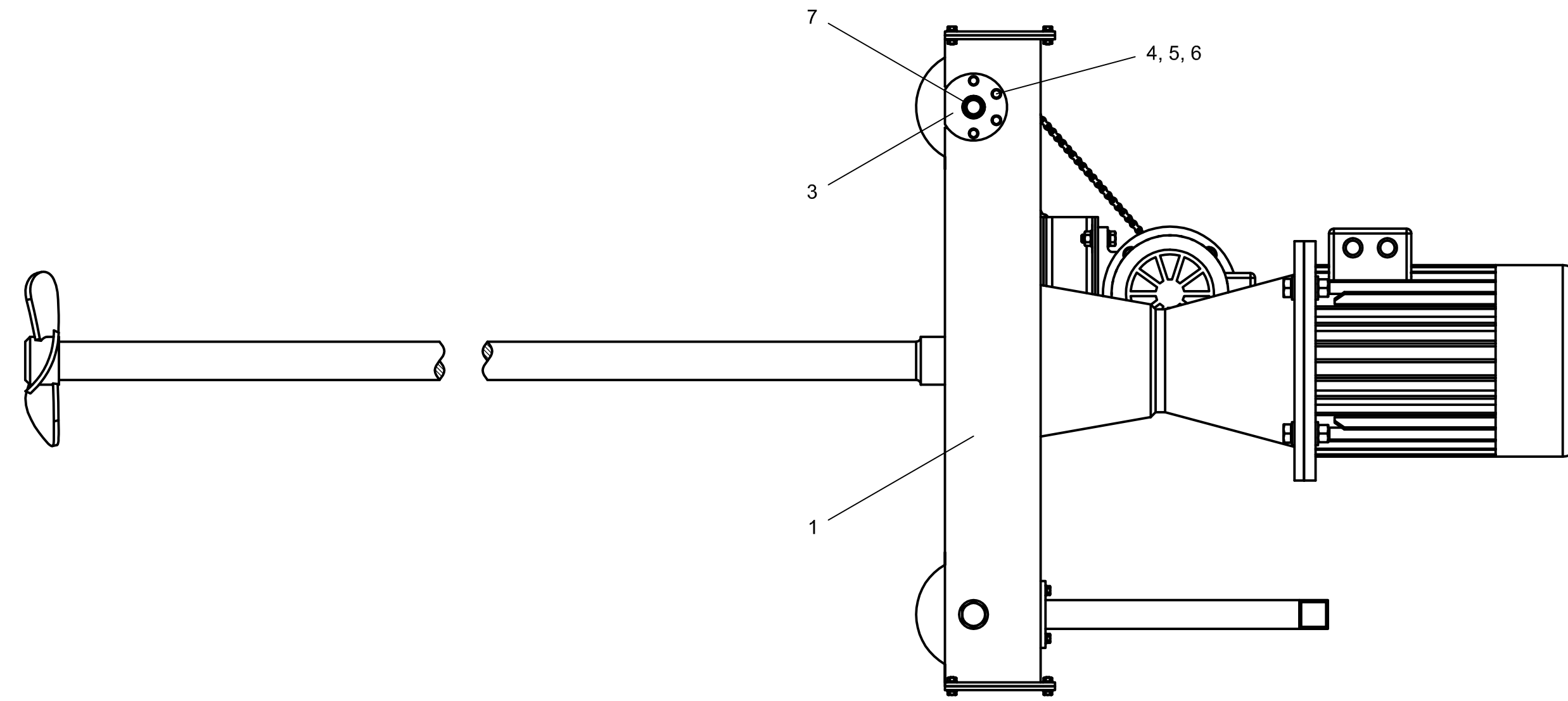
Material: S235JR

Tratamiento:

Designación: Apoyo portacables

Cantidad: 4 ud.


Referencia N°: 01.04.04.00

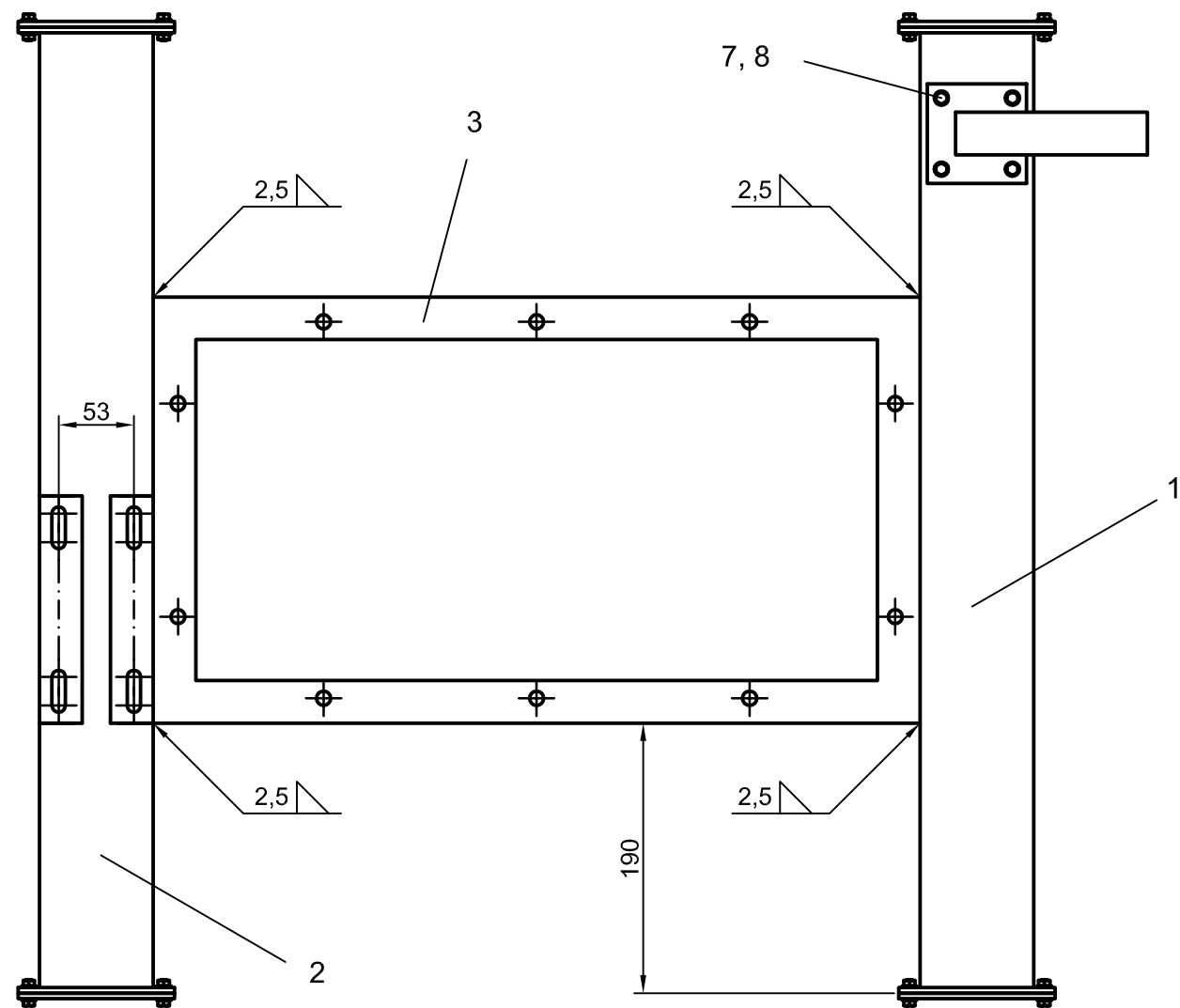
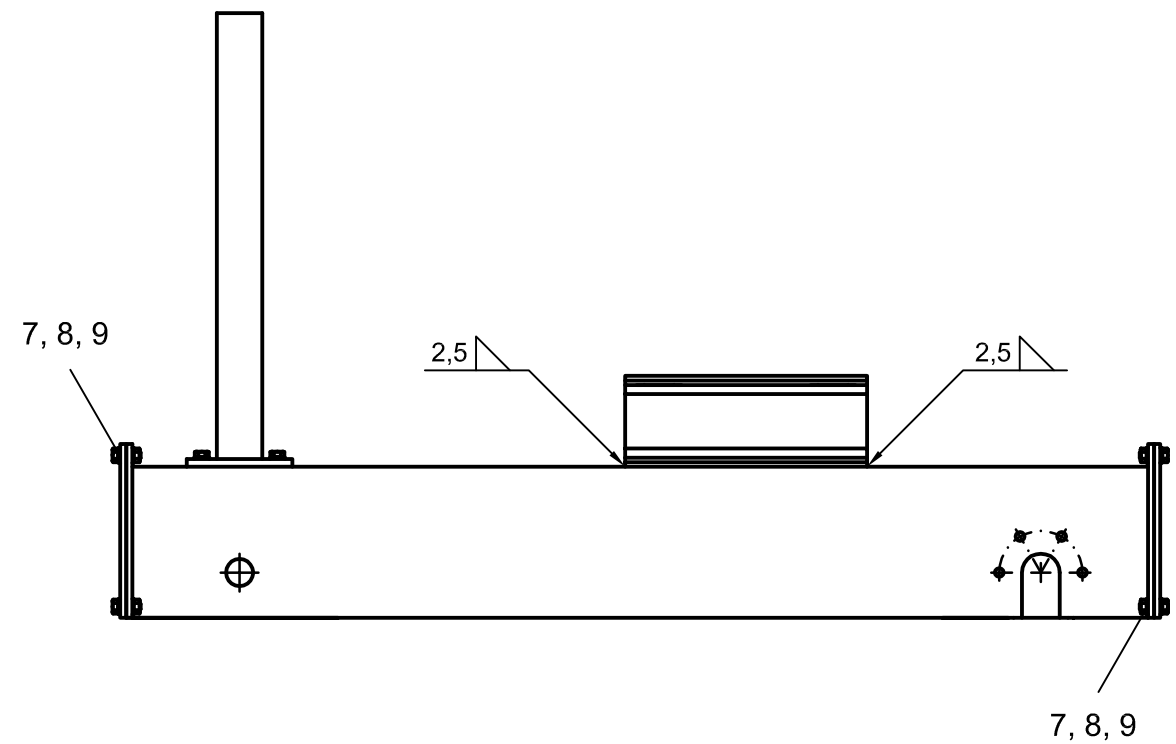
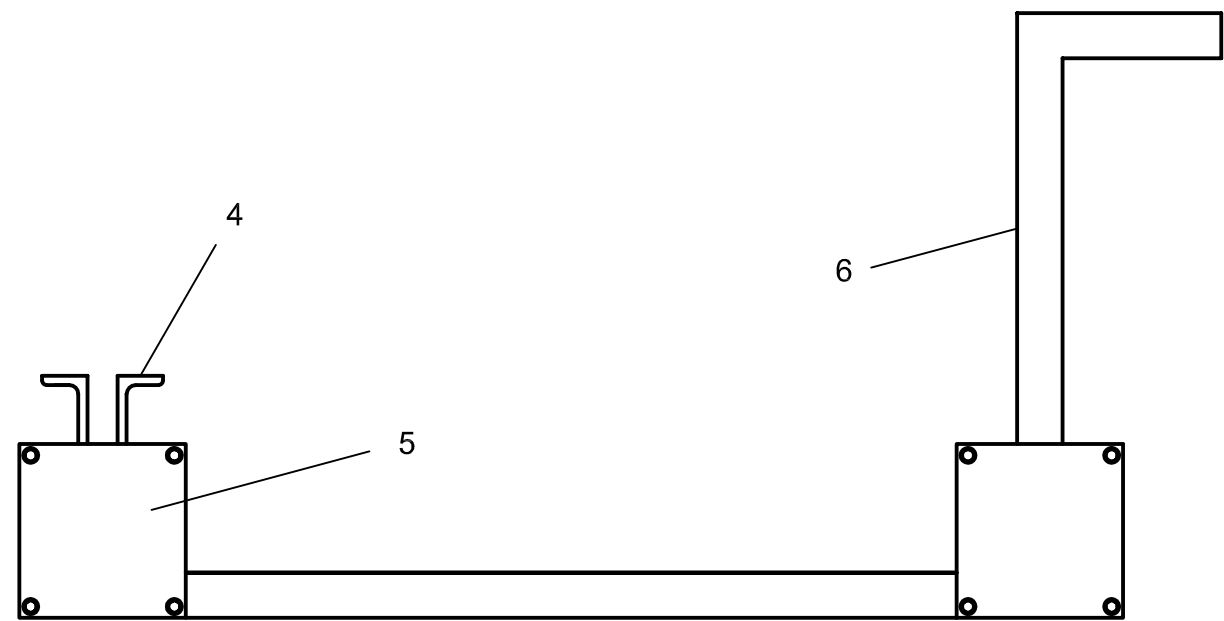


24	01.05.24.00	Agitador FMI-B-1.1-4022-200, P=2.2kW, n=1500rpm	1	INOXPA		65.000
23	01.05.23.00	Cadena de rodillos simple 05B-1	1	DIN 8187		0.138
22	01.05.22.00	Corona 35 dientes	1	Taller	F-1516	0.152
21	01.05.21.00	Chaveta paralela 5x5x12	1	DIN 6885	F-1252	0.002
20	01.05.20.00	Piñón 15 dientes	1	Taller	F-1516	0.050
19	01.05.19.00	Chaveta paralela 5x5x25	1	DIN 6885	F-1252	0.004
18	01.05.18.00	Motorreductor MR 3I 32-63A 4 B3, P=0.12kW, i=42.1	1	ROSSI		8.000
17	01.05.17.00	Tuerca hexagonal M8	14	DIN 934	F-1140	0.098
16	01.05.16.00	Arandela plana M8	28	DIN 125	Acero pulido	0.056
15	01.05.15.00	Tornillo hexagonal M8x30	14	DIN 933	F-1252 8.8	0.266
14	01.05.14.00	Chapa brida	1	Taller	S235JR	11.507
13	01.05.13.00	Tornillo hexagonal M16x50	8	DIN 931	F-1252 8.8	0.952
12	01.05.12.00	Tuerca hexagonal M16	10	DIN 934	F-1140	0.350
11	01.05.11.00	Arandela plana M16	20	DIN 125	Acero pulido	0.240
10	01.05.10.00	Tornillo hexagonal M16x100	2	DIN 931	F-1252 8.8	0.396
9	01.05.09.00	Casquillo valona Ø _y =16, Ø _{ext} =20, L=20 mm	4	SELFOIL	Bronce	0.044
8	01.05.08.00	Rueda 1 cojinete canal V, Ø120 mm	2	GAYNER	Acero zincado	3.700
7	01.05.07.00	Retén DIN A 17x23x3	2	DIN 3760	NBR 70	0.002
6	01.05.06.00	Tuerca hexagonal M5	8	DIN 934	F-1140	0.016
5	01.05.05.00	Arandela plana M5	16	DIN 125	Acero pulido	0.016
4	01.05.04.00	Tornillo hexagonal M5x15	8	DIN 933	F-1252 8.8	0.032
3	01.05.03.00	Tapa Eje de transmisión	2	Taller	F-211	0.322
2	01.05.02.00	Eje de transmisión	1	Taller		6.098
1	01.05.01.00	Estructura	1	Taller		20.780

Marca	Nº de referencia	Designación	Nº ud	Norma / Fabricante	Material	Peso (kg)														
<table border="1"> <tr> <td>Nombre y Apellidos</td> <td>Fecha</td> <td>Firma</td> <td>Formato:</td> <td>Escala:</td> <td colspan="2">Tolerancias no indicadas UNE-EN 22768-m</td> </tr> <tr> <td>Dibujado: RUBEN CASTAÑO DOMENE</td> <td>04/09/2011</td> <td></td> <td>A1</td> <td>1:5</td> <td colspan="2">Software: AutoCAD 2007</td> </tr> </table>							Nombre y Apellidos	Fecha	Firma	Formato:	Escala:	Tolerancias no indicadas UNE-EN 22768-m		Dibujado: RUBEN CASTAÑO DOMENE	04/09/2011		A1	1:5	Software: AutoCAD 2007	
Nombre y Apellidos	Fecha	Firma	Formato:	Escala:	Tolerancias no indicadas UNE-EN 22768-m															
Dibujado: RUBEN CASTAÑO DOMENE	04/09/2011		A1	1:5	Software: AutoCAD 2007															

Máster en Representación y Diseño en Ingeniería y Arquitectura

				Conjunto: Instalación para la recuperación de lodos procedentes del mecanizado del mármol			
Subconjunto: Plataforma Móvil		Material:		Tratamiento:			
Designación: Plataforma Móvil		Cantidad: 1 ud.		Referencia N°: 01.05.00.00			

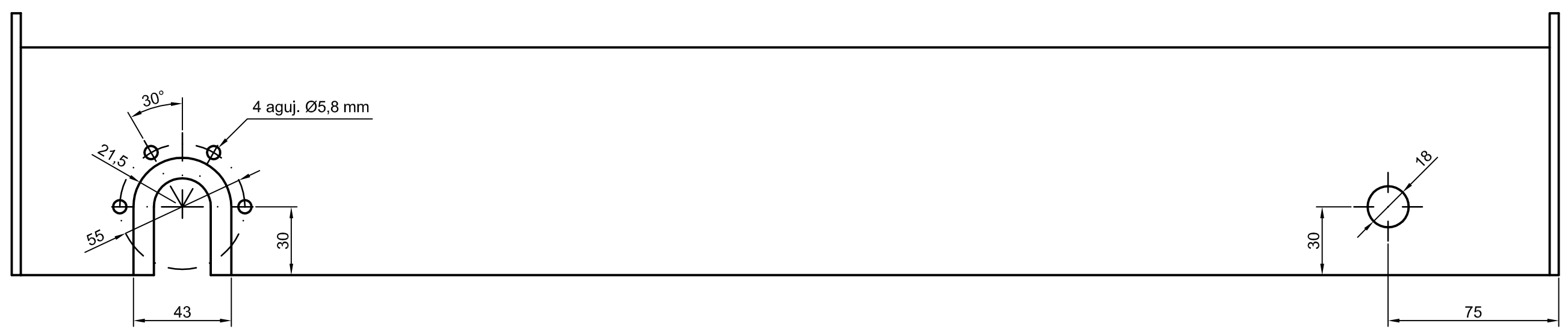
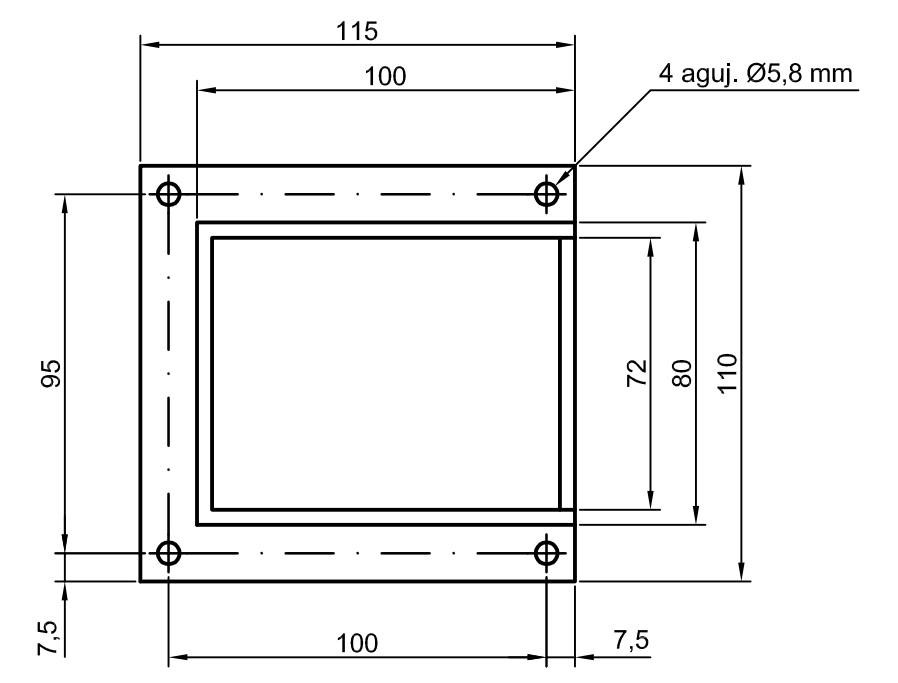
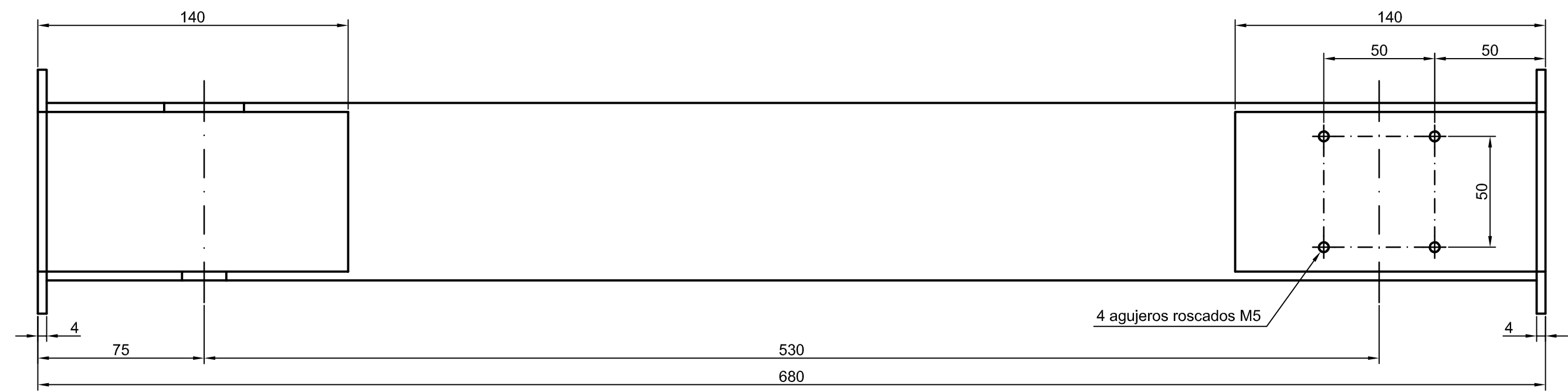
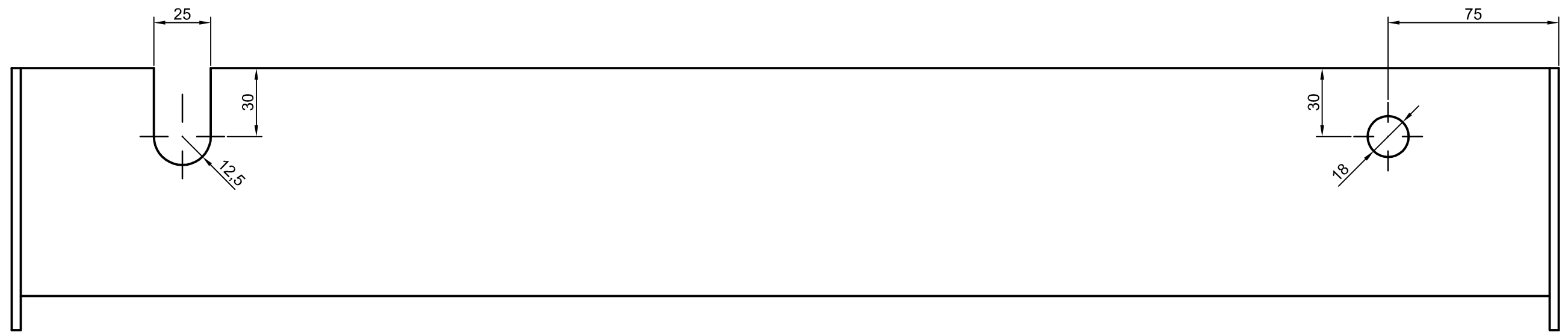


9	01.05.06.00	Tuerca hexagonal M5	16	DIN 934	F-1140	0,031
8	01.05.05.00	Arandela plana M5	36	DIN 125	Acero pulido	0,036
7	01.05.04.00	Tornillo hexagonal M5x15	20	DIN 933	F-1252 8.8	0,080
6	01.05.01.06	Brazo de arrastre portacables	1	Taller	S235JR	0,890
5	01.05.01.05	Tapa Testera	4	Taller	S235JR	1,572
4	01.05.01.04	U60x30	2	Taller	S235JR	1,600
3	01.05.01.03	Soporte Chapa brida	1	Taller	S235JR	2,833
2	01.05.01.02	Testera izquierda	1	Taller	S235JR	6,869
1	01.05.01.01	Testera derecha	1	Taller	S235JR	6,869
Marca	Nº de referencia	Designación	Nº ud	Norma / Fabricante	Material	Peso (kg)

	Nombre y Apellidos	Fecha	Firma	Formato:	Escala:	Tolerancias no indicadas UNE-EN 22768-m
Dibujado:	RUBEN CASTAÑO DOMENE	04/09/2011		A3	1:5	Software: AutoCAD 2007
Revisado:						

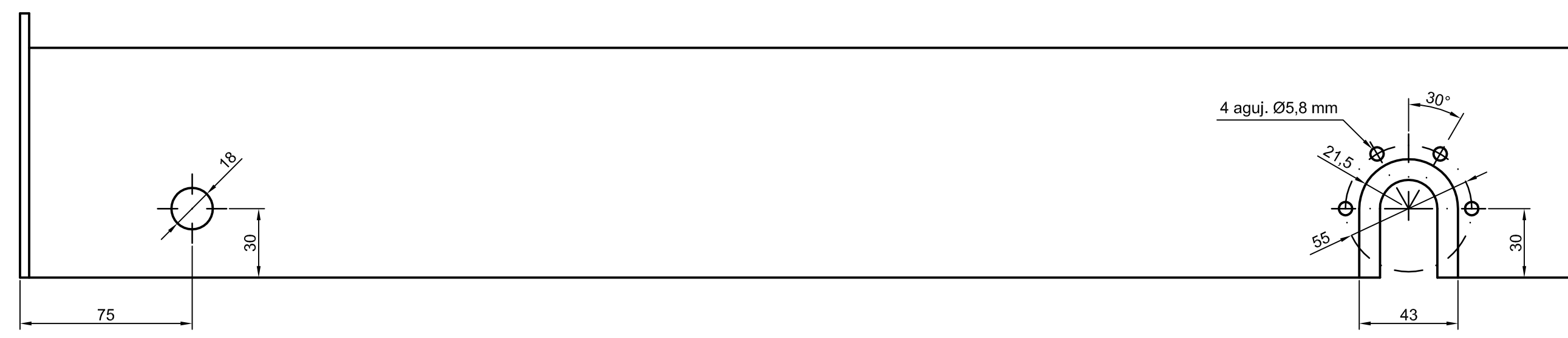
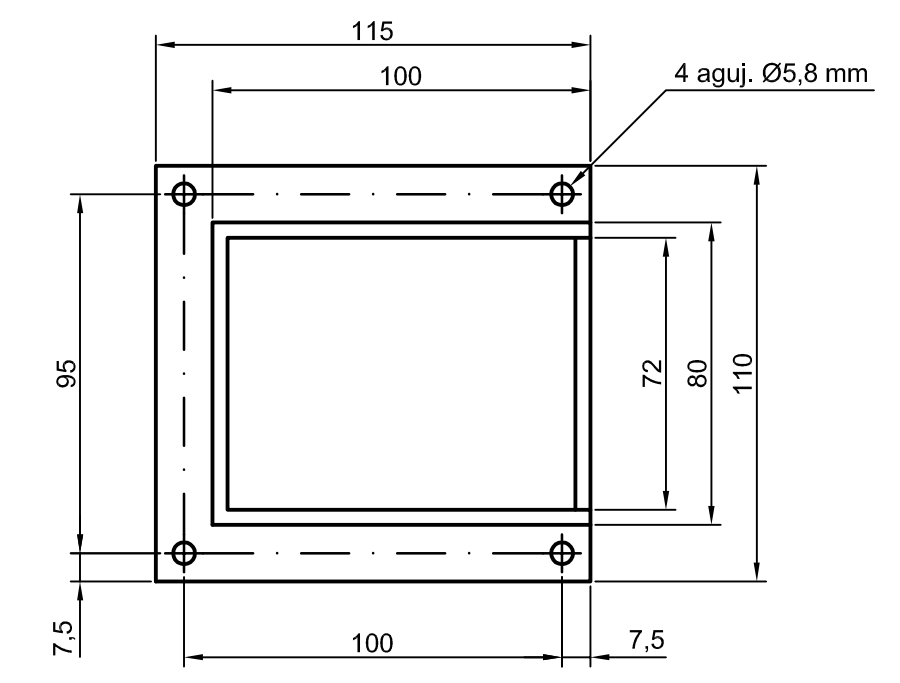
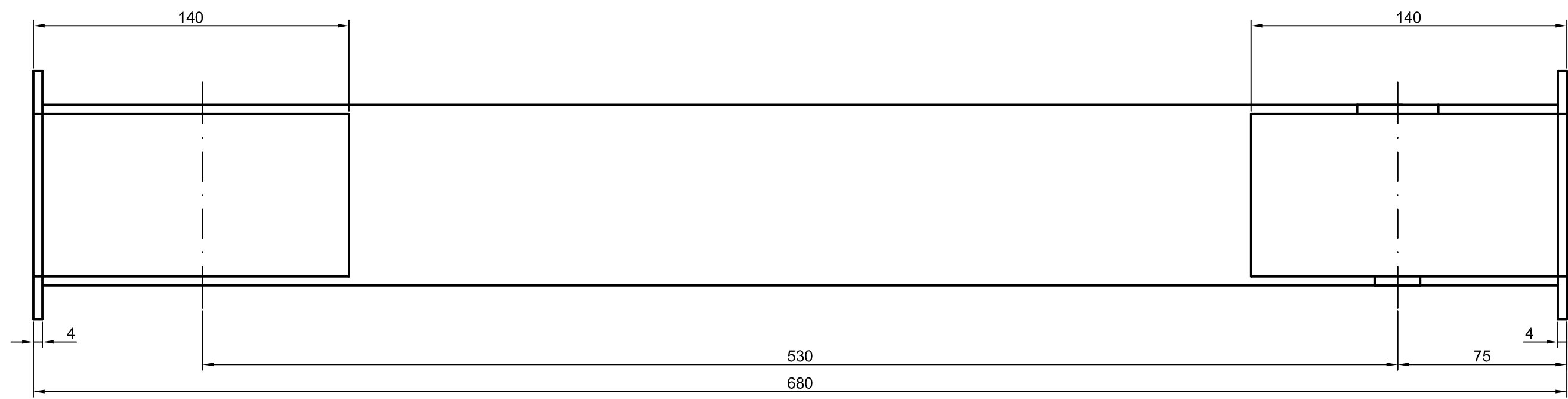
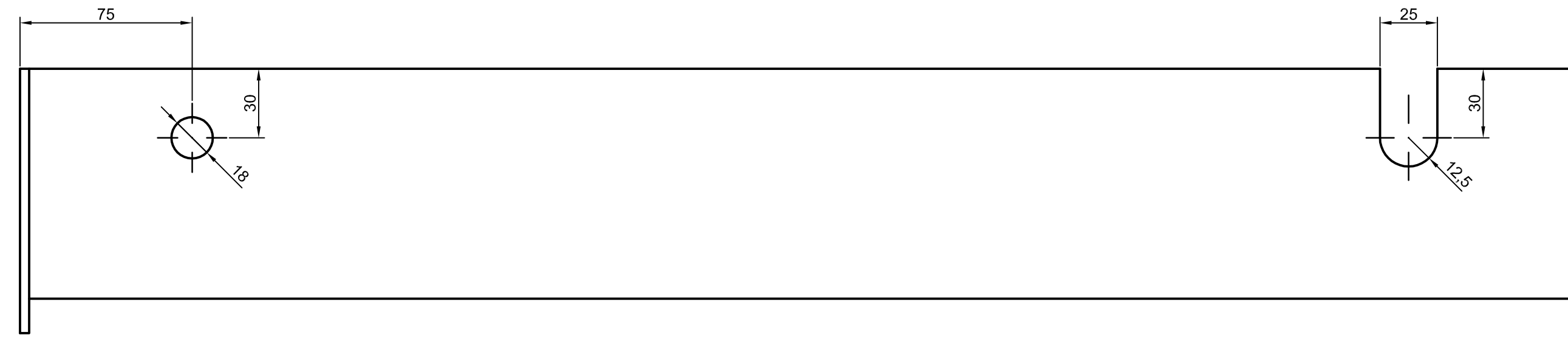
Máster en Representación y Diseño en Ingeniería y Arquitectura

	Conjunto: <i>Instalación para la recuperación de lodos procedentes del mecanizado del mármol</i>		
	Subconjunto: Plataforma Móvil	Material:	Tratamiento: Pintado RAL-1007
	Designación: Estructura	Cantidad: 1 ud.	Referencia Nº: 01.05.01.00



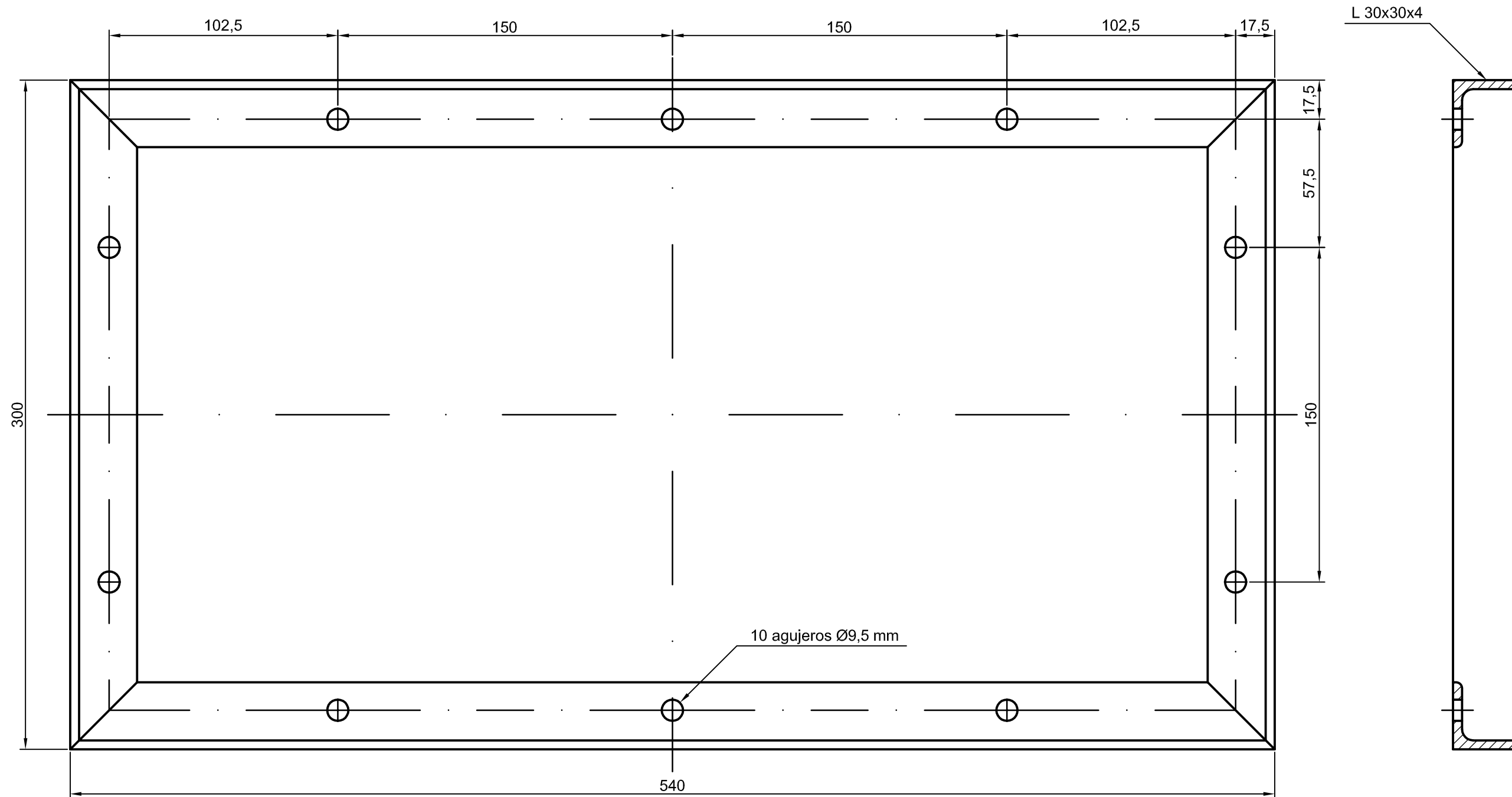
Nota: Todos los agujeros son pasantes

	Nombre y Apellidos	Fecha	Firma	Formato:	Escala:	Tolerancias no indicadas UNE-EN 22768-m
Dibujado:	RUBEN CASTAÑO DOMENE	31/03/2011		A2	1:2	
Revisado:						Software: AutoCAD 2007
Máster en Representación y Diseño en Ingeniería y Arquitectura						
	Conjunto: <i>Instalación para la recuperación de lodos procedentes del mecanizado del mármol</i>					
	Subconjunto: Plataforma Móvil			Material: S235JR		Tratamiento:
	Designación: Testera derecha			Cantidad: 1 ud.		Referencia Nº: 01.05.01.01




Nota: Todos los agujeros son pasantes

Nombre y Apellidos	Fecha	Firma	Formato:	Escala:	Tolerancias no indicadas UNE-EN 22768-m
Dibujado: RUBEN CASTAÑO DOMENE	31/03/2011		A2	1:2	Software: AutoCAD 2007
Revisado:					
Máster en Representación y Diseño en Ingeniería y Arquitectura					
Conjunto: <i>Instalación para la recuperación de lodos procedentes del mecanizado del mármol</i>					
Subconjunto: Plataforma Móvil			Material: S235JR	Tratamiento:	
Designación: Testera izquierda			Cantidad: 1 ud.	Referencia Nº: 01.05.01.02	



Nota: Todos los agujeros son pasantes

	Nombre y Apellidos	Fecha	Firma	Formato:	Escala:	Tolerancias no indicadas UNE-EN 22768-m
Dibujado:	RUBEN CASTAÑO DOMENE	31/03/2011		A3	1:2	 Software: AutoCAD 2007
Revisado:						

Máster en Representación y Diseño en Ingeniería y Arquitectura



Conjunto: *Instalación para la recuperación de lodos procedentes del mecanizado del mármol*

Subconjunto: Plataforma Móvil

Material: S235JR

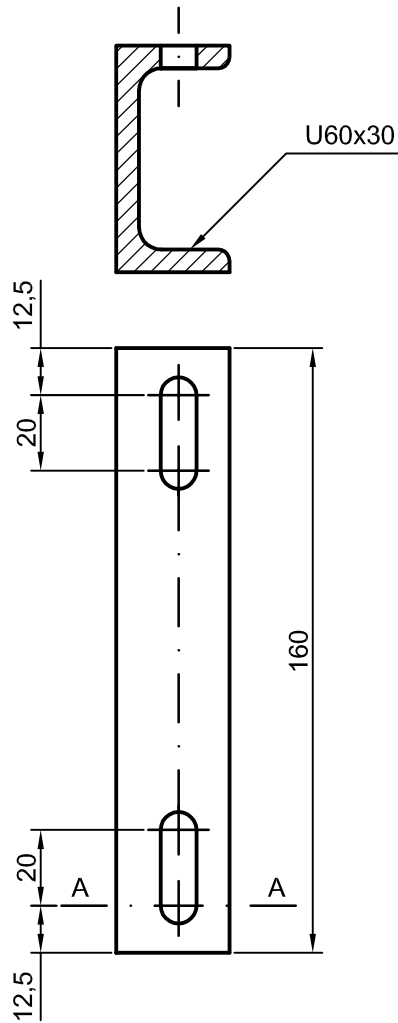
Tratamiento:

Designación: Soporte Chapa brida

Cantidad: 1 ud.

Referencia Nº: 01.05.01.03

Corte AA



	Nombre y Apellidos	Fecha	Firma	Formato:	Escala:	Tolerancias no indicadas UNE-EN 22768-m	
Dibujado:	RUBEN CASTAÑO DOMENE	03/09/2011		A4	1:2		
Revisado:							Software: AutoCAD 2007

Máster en Representación y Diseño en Ingeniería y Arquitectura



Conjunto: *Instalación para la recuperación de lodos procedentes del mecanizado del mármol*

Subconjunto: Plataforma Móvil

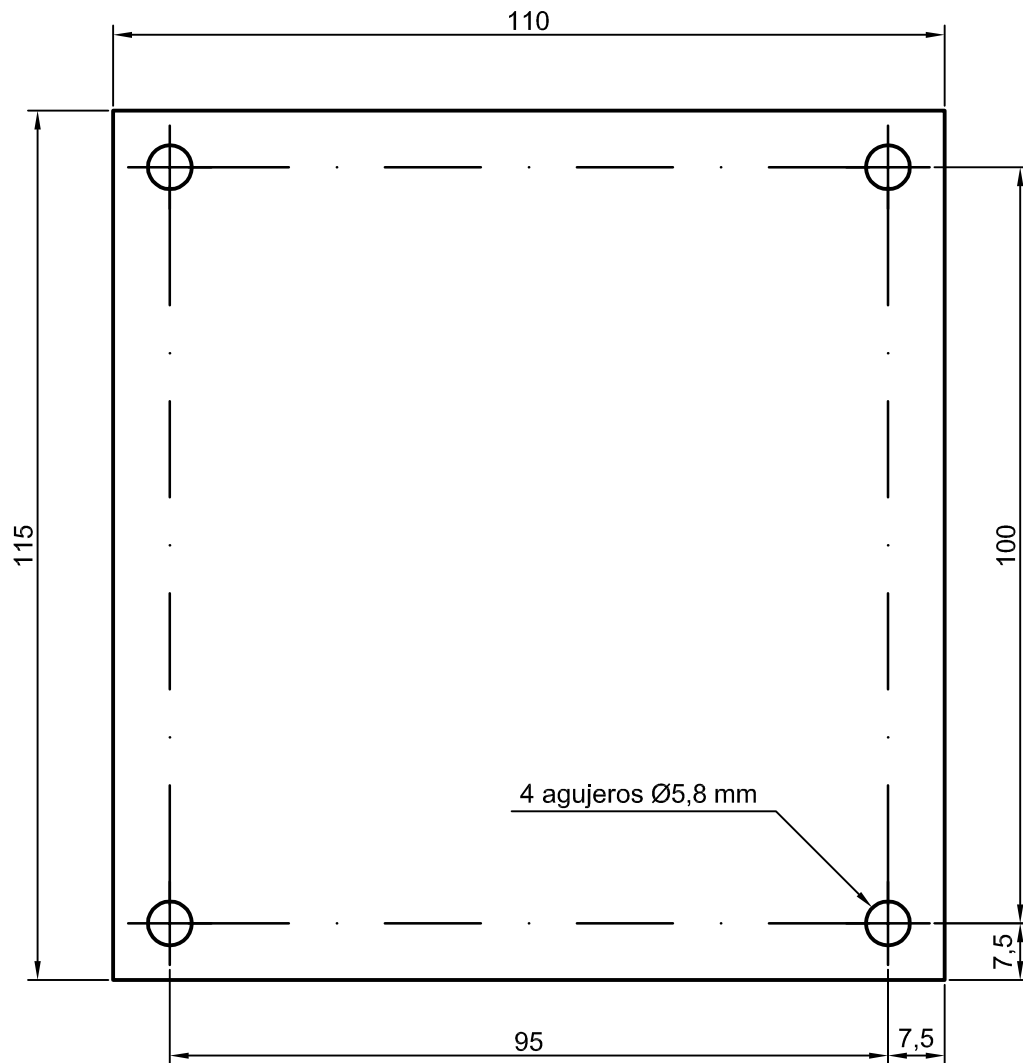
Material: S235JR

Tratamiento:

Designación: U60x30

Cantidad: 2 ud.

Referencia Nº: 01.05.01.04



Chapa espesor 4 mm

Nota: Todos los agujeros son pasantes

	Nombre y Apellidos	Fecha	Firma	Formato:	Escala:	Tolerancias no indicadas UNE-EN 22768-m	
Dibujado:	RUBEN CASTAÑO DOMENE	31/03/2011		A4	1:1		Software: AutoCAD 2007
Revisado:							

Máster en Representación y Diseño en Ingeniería y Arquitectura



Conjunto: *Instalación para la recuperación de lodos procedentes del mecanizado del mármol*

Subconjunto: Plataforma Móvil

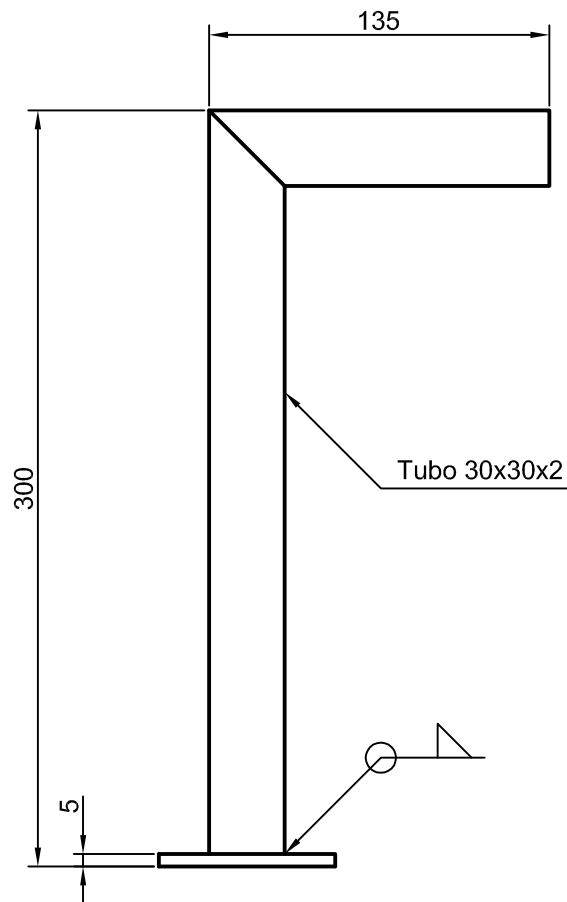
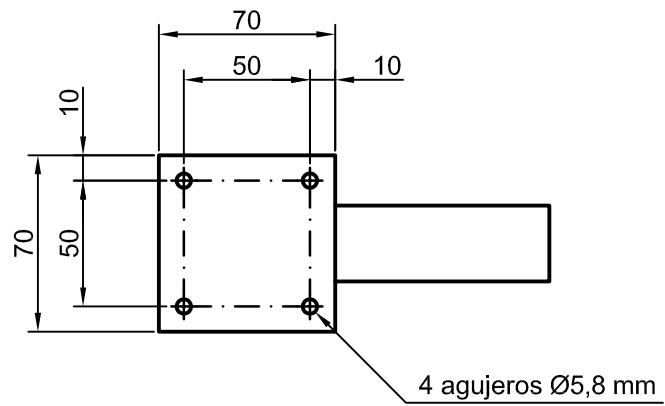
Material: S235JR

Tratamiento:

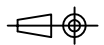
Designación: Tapa Testera

Cantidad: 4 ud.

Referencia Nº: 01.05.01.05



Nota: Todos los agujeros son pasantes

	Nombre y Apellidos	Fecha	Firma	Formato:	Escala:	Tolerancias no indicadas UNE-EN 22768-m
Dibujado:	RUBEN CASTAÑO DOMENE	03/09/2011		A4	1:3	 Software: AutoCAD 2007
Revisado:						

Máster en Representación y Diseño en Ingeniería y Arquitectura



Conjunto: *Instalación para la recuperación de lodos procedentes del mecanizado del mármol*

Subconjunto: Plataforma Móvil

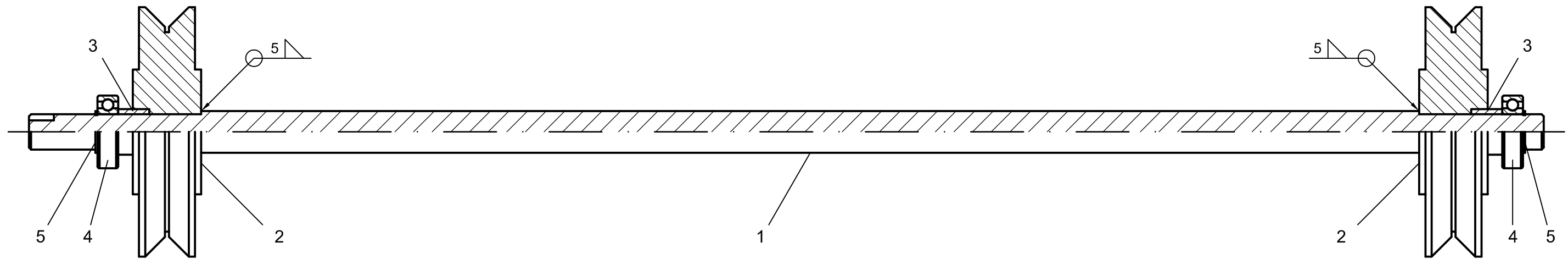
Material: S235JR

Tratamiento:

Designación: Brazo de arrastre portacables

Cantidad: 1 ud.

Referencia Nº: 01.05.01.06



5	01.05.02.05	Anillo elástico para eje Ø17mm	2	DIN 471	SAE 1070	0,002
4	01.05.02.04	Casquillo cilíndrico Ø _{int} =17, Ø _{ext} =22, L=15 mm	2	SELFOIL	Bronce	0,040
3	01.05.02.03	Rodamiento rígido a bolas 6003	2	DIN 625		0,076
2	01.05.02.02	Rueda motriz	2	Taller	F-114	4,280
1	01.05.02.01	Eje de transmisión	1	Taller	F-115	1,700
Marca	Nº de referencia	Designación	Nº ud	Norma / Fabricante	Material	Peso (kg)

	Nombre y Apellidos	Fecha	Firma	Formato:	Escala:	Tolerancias no indicadas UNE-EN 22768-m
Dibujado:	RUBEN CASTAÑO DOMENE	04/09/2011		A3	1:2	Software: AutoCAD 2007
Revisado:						

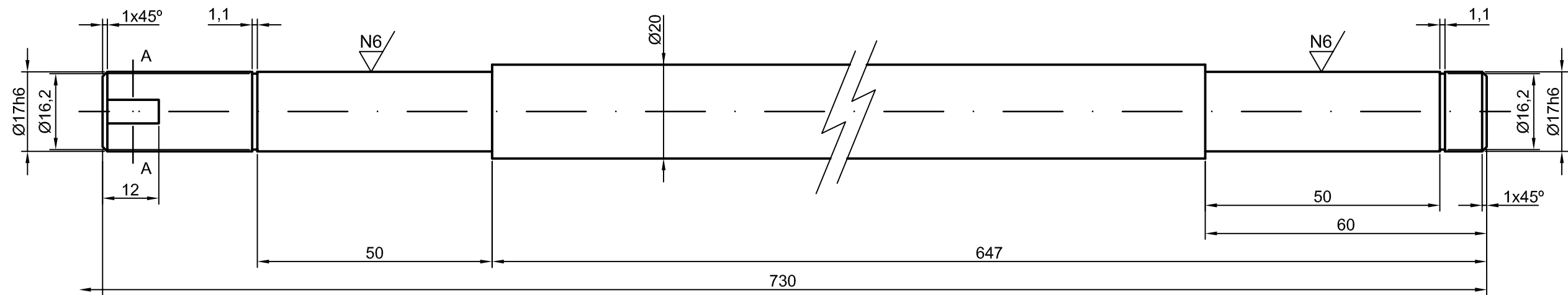
Máster en Representación y Diseño en Ingeniería y Arquitectura



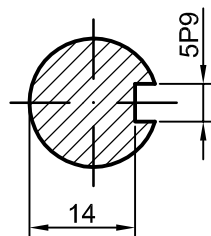
Conjunto: *Instalación para la recuperación de lodos procedentes del mecanizado del mármol*

Subconjunto: Plataforma Móvil	Material:	Tratamiento:
Designación: Eje motriz	Cantidad: 1 ud.	Referencia Nº: 01.05.02.00

N9 / (N6)



Sección AA



	Nombre y Apellidos	Fecha	Firma	Formato:	Escala:	Tolerancias no indicadas UNE-EN 22768-m
Dibujado:	RUBEN CASTAÑO DOMENE	30/03/2011		A3	1:1	Software: AutoCAD 2007
Revisado:						

Máster en Representación y Diseño en Ingeniería y Arquitectura



Conjunto: *Instalación para la recuperación de lodos procedentes del mecanizado del mármol*

Subconjunto: Plataforma Móvil

Material: F-115

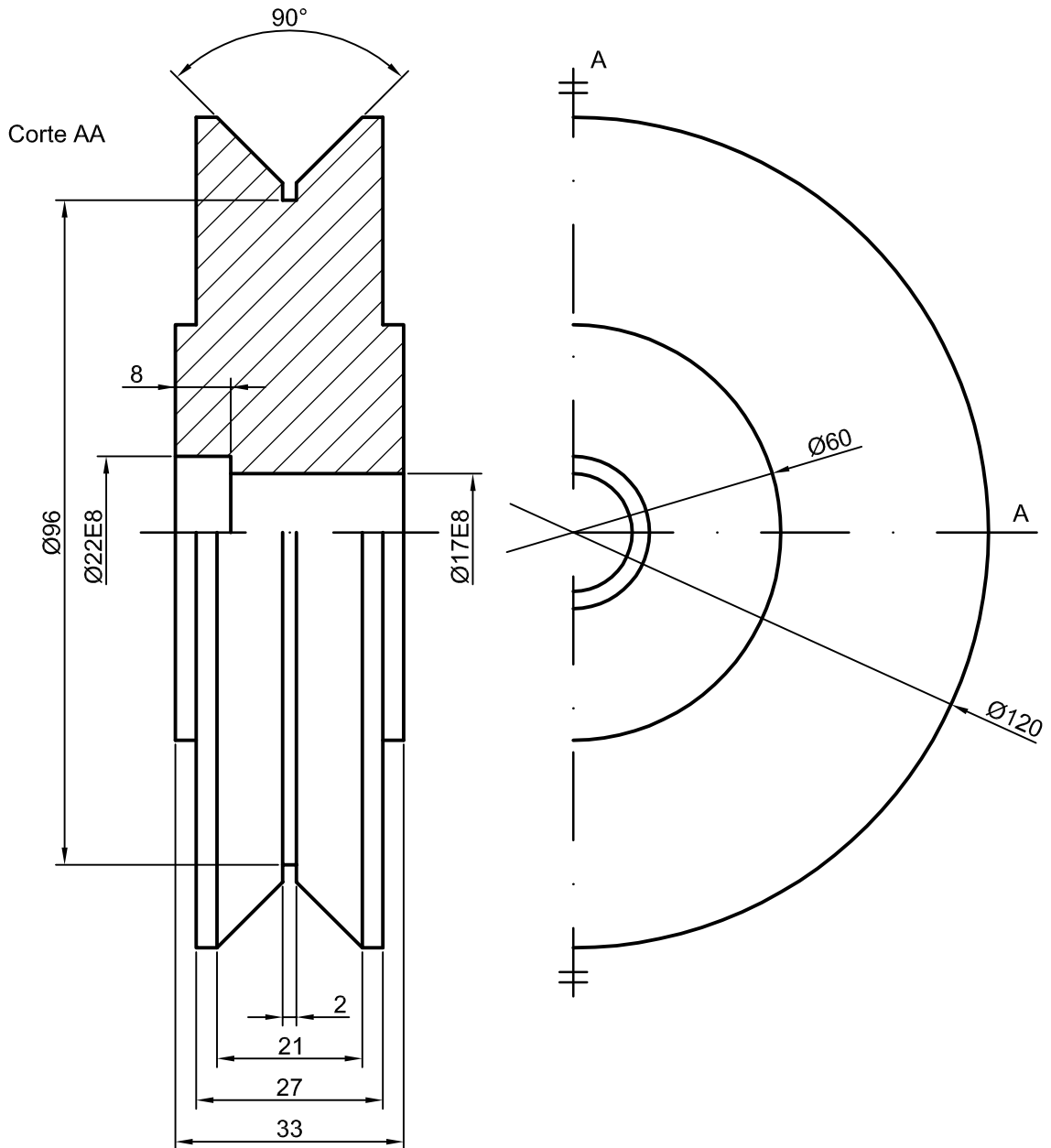
Tratamiento: Temple superficial


Designación: Eje de transmisión

Cantidad: 1 ud.

Referencia Nº: 01.05.02.01

N7



	Nombre y Apellidos	Fecha	Firma	Formato:	Escala:	Tolerancias no indicadas UNE-EN 22768-m
Dibujado:	RUBEN CASTAÑO DOMENE	29/03/2011		A4	1:1	 Software: AutoCAD 2007
Revisado:						

Máster en Representación y Diseño en Ingeniería y Arquitectura



Conjunto: *Instalación para la recuperación de lodos procedentes del mecanizado del mármol*

Subconjunto: Plataforma Móvil

Material: F-114

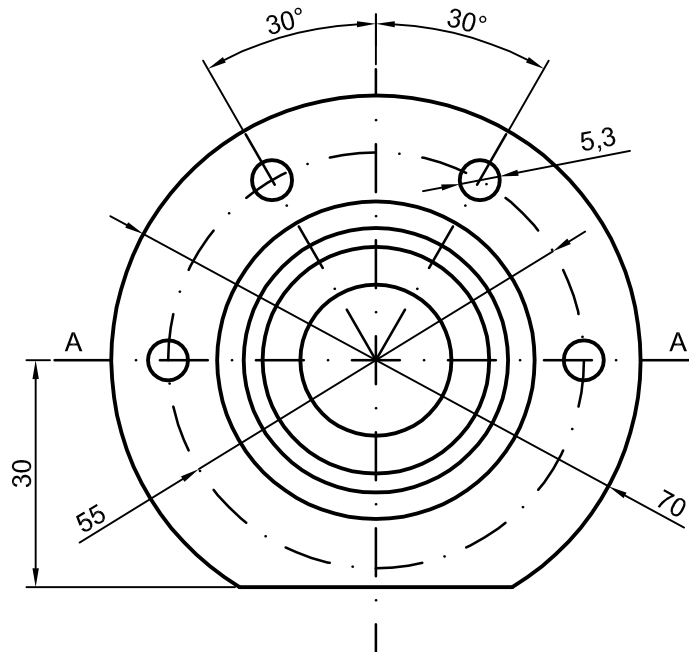
Tratamiento:

Designación: Rueda motriz

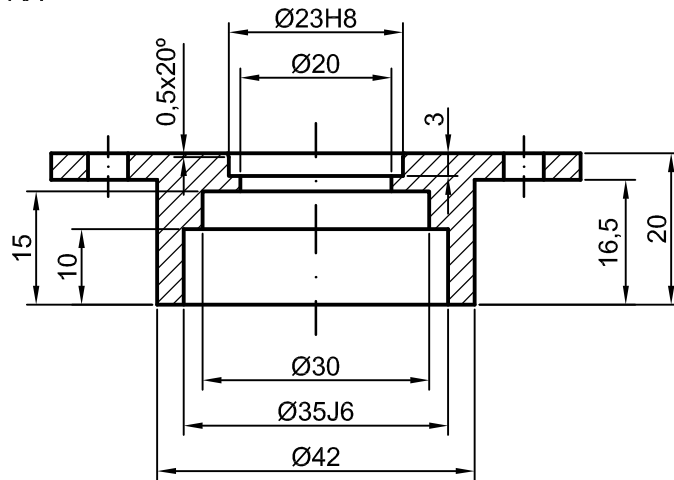
Cantidad: 2 ud.

Referencia Nº: 01.05.02.02

N7



Corte AA



	Nombre y Apellidos	Fecha	Firma	Formato:	Escala:	Tolerancias no indicadas UNE-EN 22768-m	
Dibujado:	RUBEN CASTAÑO DOMENE	27/03/2011		A4	1:1		
Revisado:							Software: AutoCAD 2007

Máster en Representación y Diseño en Ingeniería y Arquitectura



Conjunto: *Instalación para la recuperación de lodos procedentes del mecanizado del mármol*

Subconjunto: Plataforma Móvil

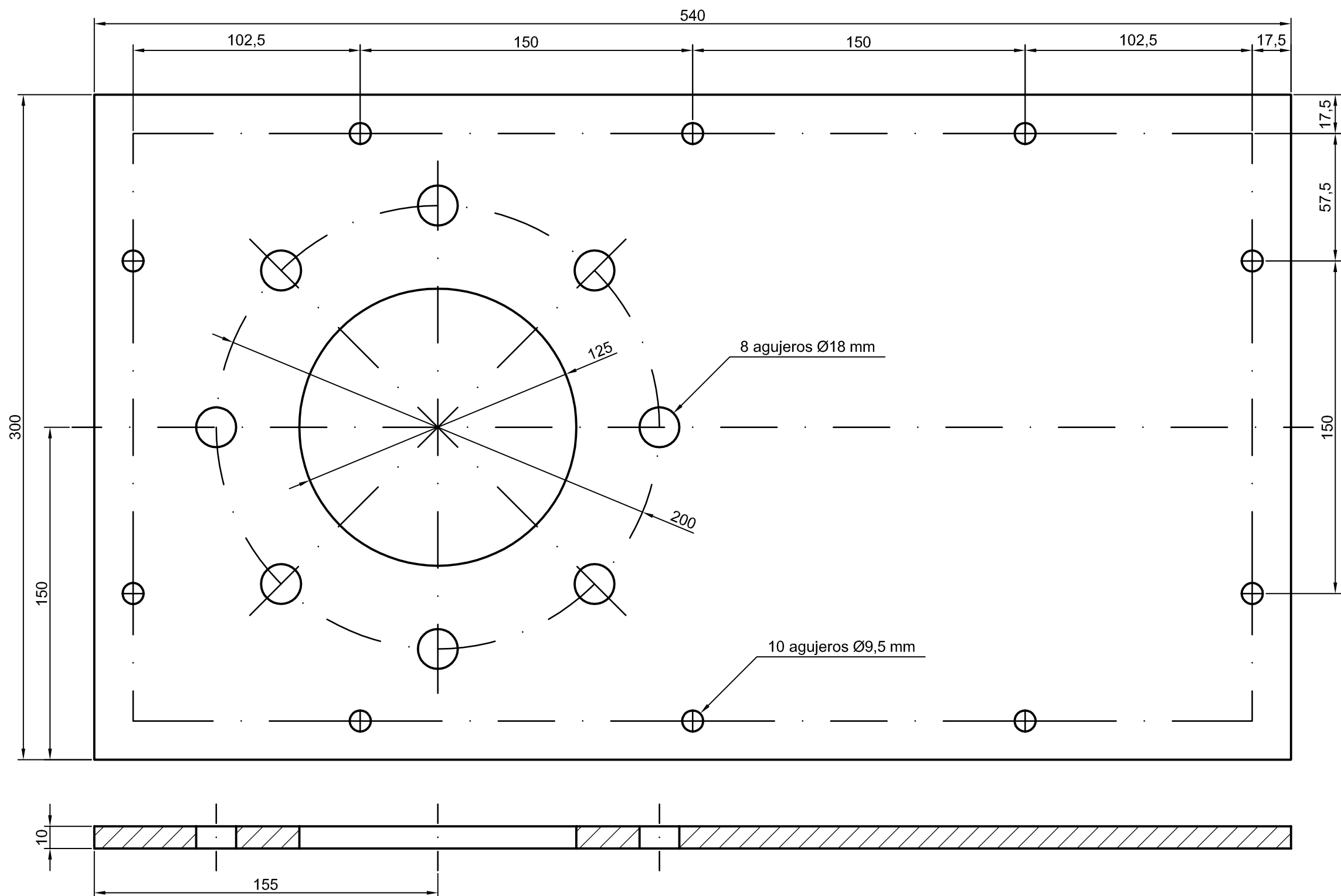
Material: F-211

Tratamiento: Pintado RAL-1007


Designación: Tapa Eje de transmisión

Cantidad: 2 ud.


Referencia Nº: 01.05.03.00



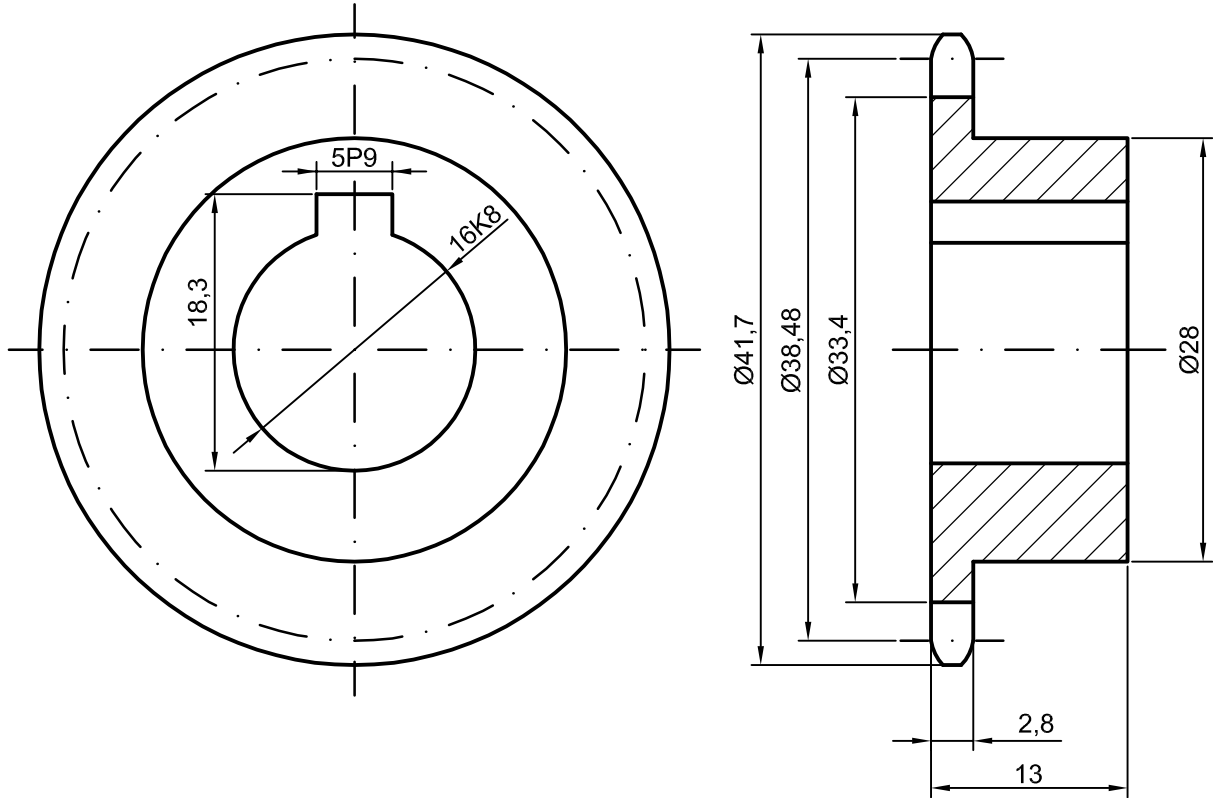
Nota: Todos los agujeros son pasantes

	Nombre y Apellidos	Fecha	Firma	Formato:	Escala:	Tolerancias no indicadas UNE-EN 22768-m
Dibujado:	RUBEN CASTAÑO DOMENE	31/03/2011		A3	1:2	 Software: AutoCAD 2007
Revisado:						


Máster en Representación y Diseño en Ingeniería y Arquitectura

	Conjunto: <i>Instalación para la recuperación de lodos procedentes del mecanizado del mármol</i>		
	Subconjunto: Plataforma Móvil	Material: S235JR	Tratamiento: Pintado RAL-1007
	Designación: Chapa brida	Cantidad: 1 ud.	Referencia Nº: 01.05.14.00

N8



Datos del piñón para cadena de rodillos DIN 8187	
Diámetro rodillo cadena (mm)	5
Paso (mm)	8
Nº de dientes	15
Diámetro primitivo (mm)	38,48
Diámetro exterior (mm)	41,70
Diámetro interior (mm)	33,40
Altura de diente (mm)	4,15

	Nombre y Apellidos	Fecha	Firma	Formato:	Escala:	Tolerancias no indicadas UNE-EN 22768-m
Dibujado:	RUBEN CASTAÑO DOMENE	29/03/2011		A4	2:1	 Software: AutoCAD 2007
Revisado:						

Máster en Representación y Diseño en Ingeniería y Arquitectura



Conjunto: *Instalación para la recuperación de lodos procedentes del mecanizado del mármol*

Subconjunto: Plataforma Móvil

Material: F-1516

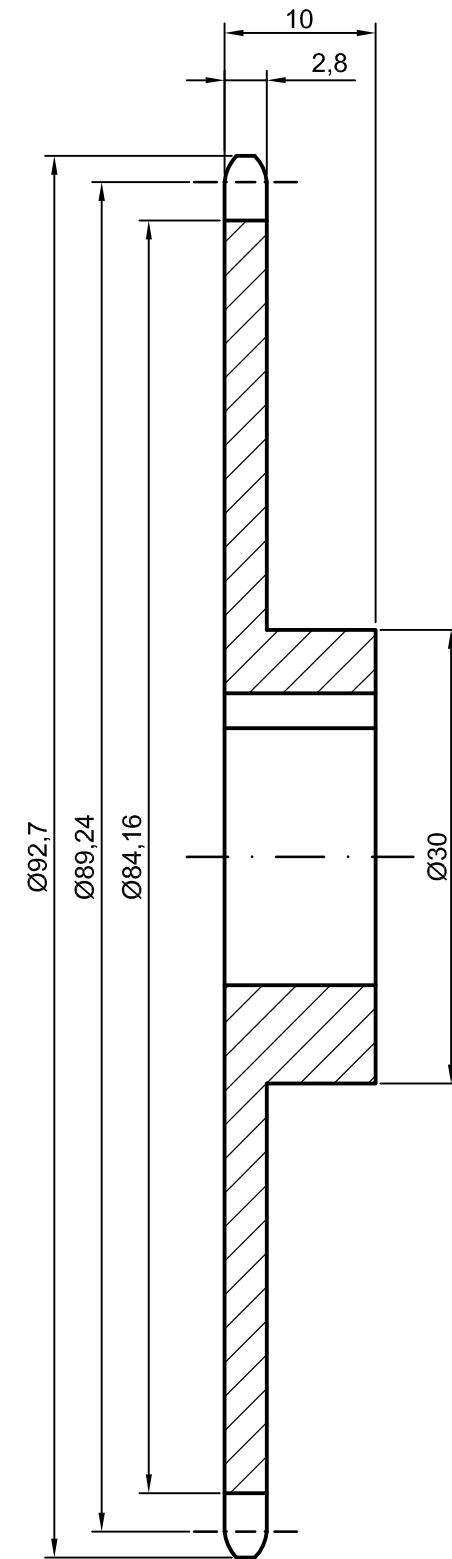
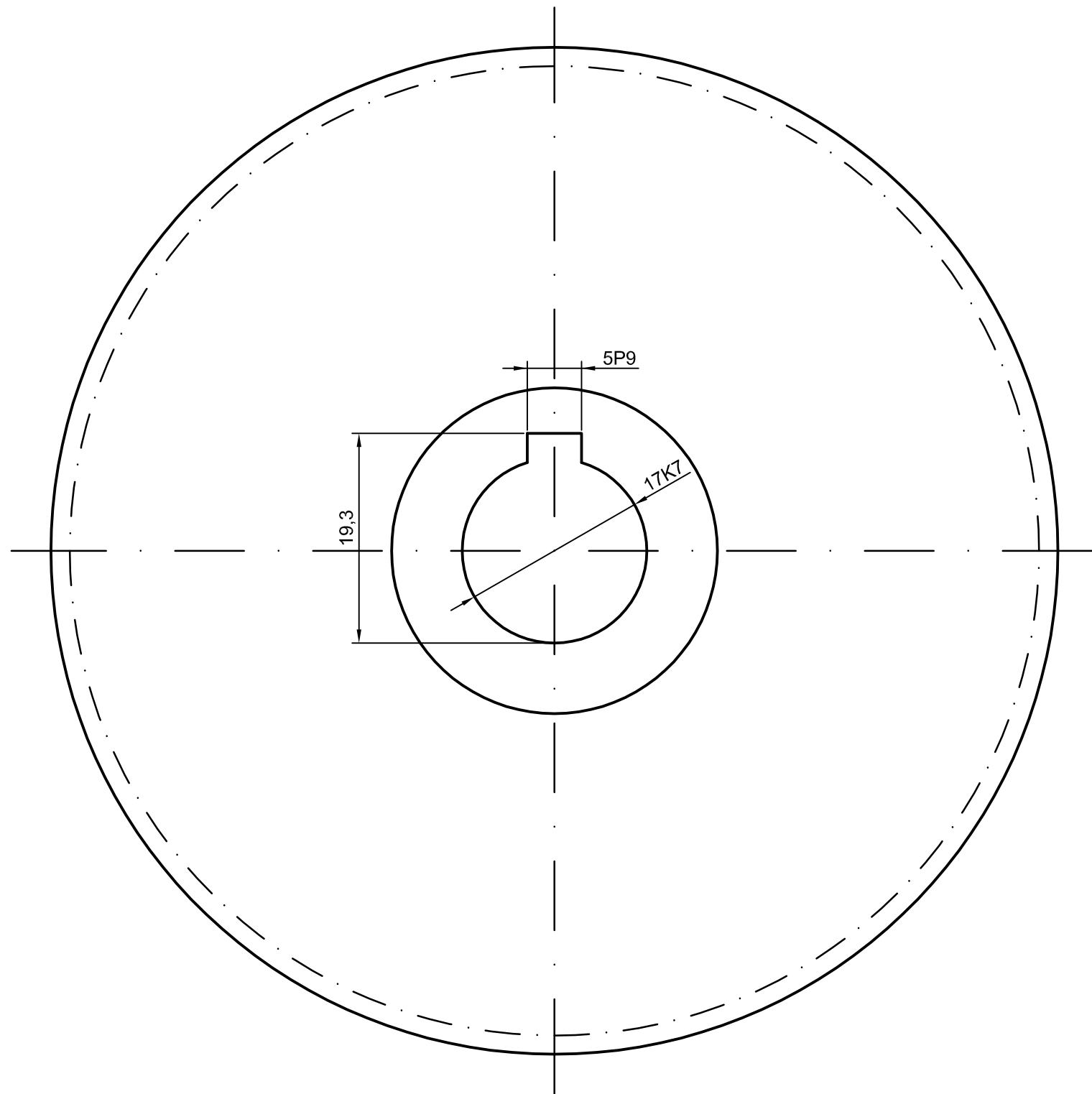
Tratamiento: Cementación

Designación: Piñón 15 dientes

Cantidad: 1 ud.

Referencia Nº: 01.05.20.00

N6



Datos de corona para cadena de rodillos DIN 8187	
Diámetro rodillo cadena (mm)	5
Paso (mm)	8
Nº de dientes	35
Diámetro primitivo (mm)	89,24
Diámetro exterior (mm)	92,70
Diámetro interior (mm)	84,16
Altura de diente (mm)	4,27

	Nombre y Apellidos	Fecha	Firma	Formato:	Escala:	Tolerancias no indicadas UNE-EN 22768-m
Dibujado:	RUBEN CASTAÑO DOMENE	29/03/2011		A3	2:1	Software: AutoCAD 2007
Revisado:						

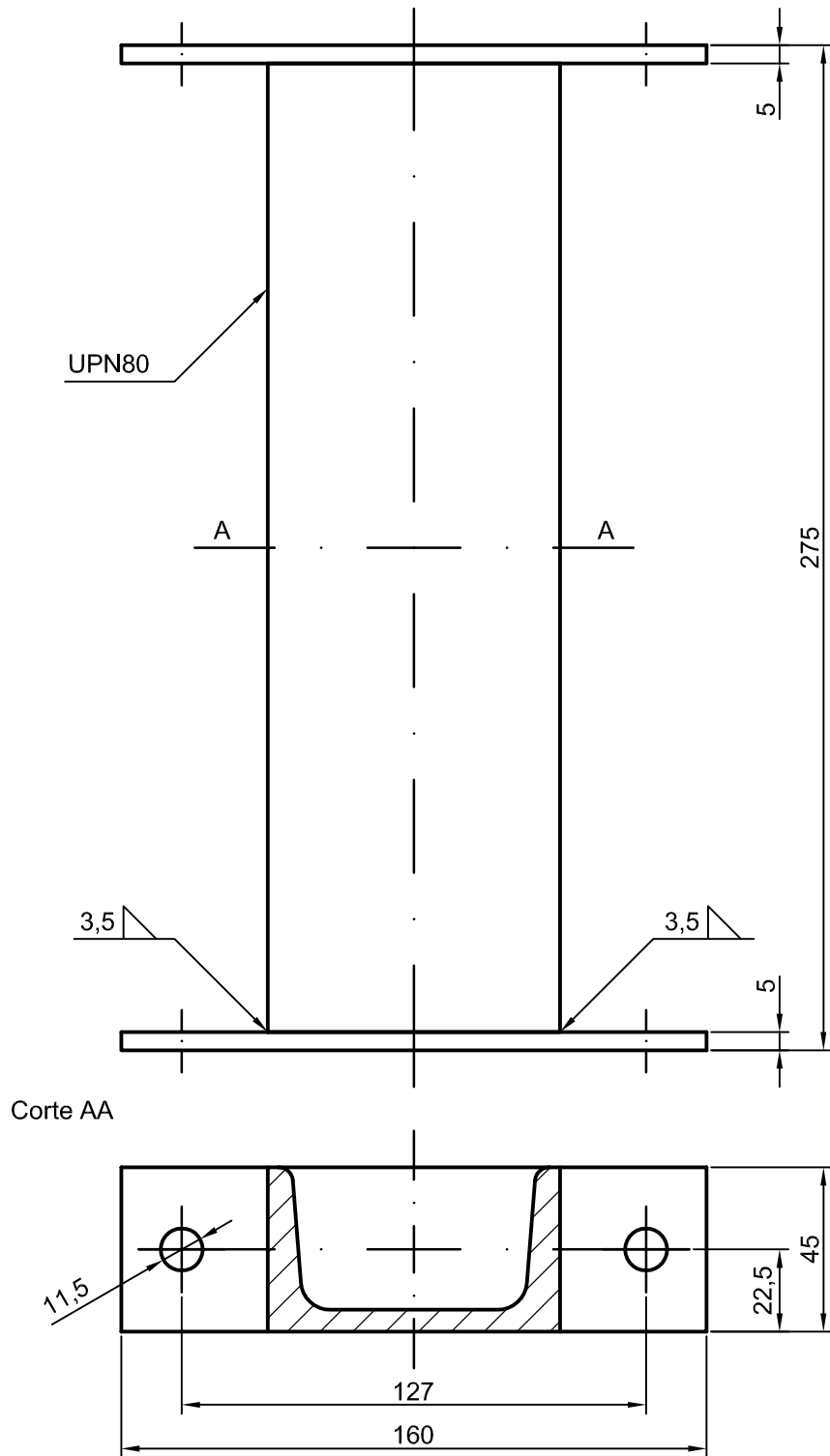
Máster en Representación y Diseño en Ingeniería y Arquitectura




Conjunto: *Instalación para la recuperación de lodos procedentes del mecanizado del mármol*

Subconjunto: Plataforma Móvil Material: F-1516 Tratamiento: Cementación

Designación: Corona 35 dientes Cantidad: 1 ud. Referencia Nº: 01.05.22.00



Nota: Todos los agujeros son pasantes

	Nombre y Apellidos	Fecha	Firma	Formato:	Escala:	Tolerancias no indicadas UNE-EN 22768-m
Dibujado:	RUBEN CASTAÑO DOMENE	07/09/2011		A4	1:2	 Software: AutoCAD 2007
Revisado:						

Máster en Representación y Diseño en Ingeniería y Arquitectura



Conjunto: *Instalación para la recuperación de lodos procedentes del mecanizado del mármol*

Subconjunto:

Material: S235JR

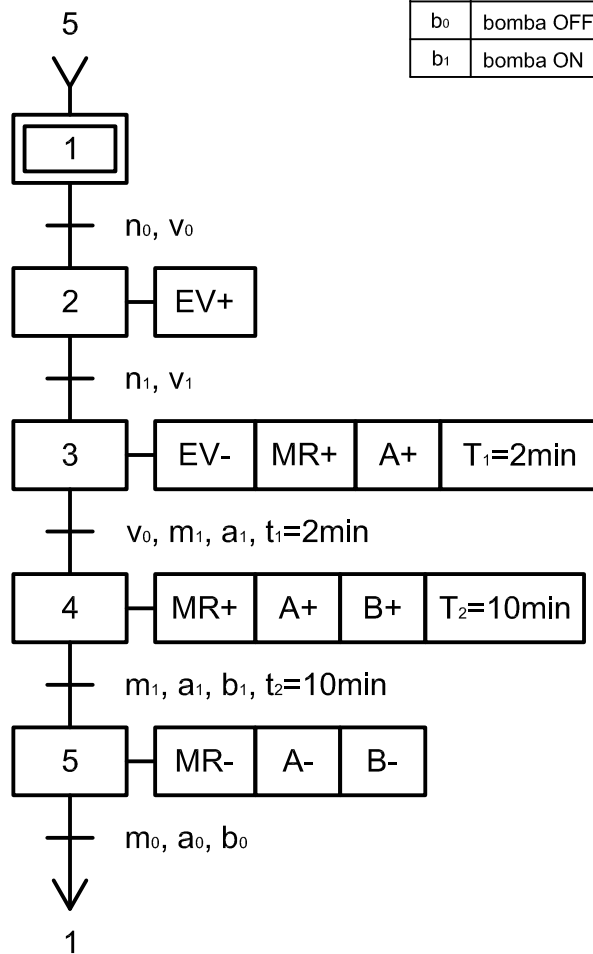
Tratamiento:

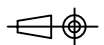
Designación: Apoyo tubería DN100

Cantidad: 2 ud.

Referencia Nº: 01.06.00.00

Entradas		Salidas	
n ₀	nivel máximo 1.6 m	EV	Válvula
n ₁	nivel mínimo 0.7 m	MR	Motorreductor
v ₀	válvula cerrada	A	Agitador
v ₁	válvula abierta	B	Bomba
m ₀	motorreductor OFF	T	Temporizador
m ₁	motorreductor ON		
a ₀	agitador OFF		
a ₁	agitador ON		
b ₀	bomba OFF		
b ₁	bomba ON		



	Nombre y Apellidos	Fecha	Firma	Formato:	Escala:	Tolerancias no indicadas UNE-EN 22768-m
Dibujado:	RUBEN CASTAÑO DOMENE	23/09/2011		A4	%	 Software: AutoCAD 2007
Revisado:						

Máster en Representación y Diseño en Ingeniería y Arquitectura



Conjunto: *Instalación para la recuperación de lodos procedentes del mecanizado del mármol*

Subconjunto: Esquemas Eléctricos y de Control

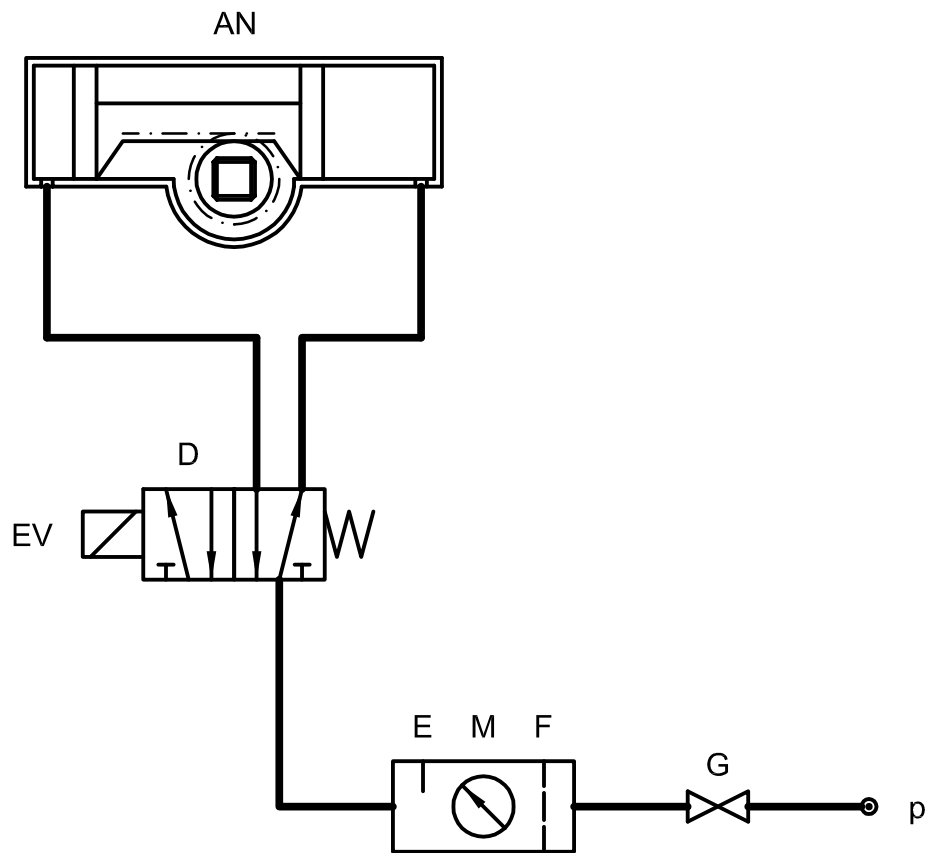
Material:

Tratamiento:

Designación: GRAFCET

Cantidad:

Referencia Nº: 01.10.01.00



LEYENDA	
p	Entrada aire a presión
G	Grifo
F,M,E	Conjunto Filtro, Manómetro, Engrasador
D	Distribuidor 5 vías / 2 posiciones
EV	Electroimán apertura válvula mariposa
AN	Actuador neumático rotativo doble efecto

	Nombre y Apellidos	Fecha	Firma	Formato:	Escala:	Tolerancias no indicadas UNE-EN 22768-m
Dibujado:	RUBEN CASTAÑO DOMENE	23/09/2011		A4	%	
Revisado:						

Máster en Representación y Diseño en Ingeniería y Arquitectura



Conjunto: *Instalación para la recuperación de lodos procedentes del mecanizado del mármol*

Subconjunto: Esquemas Eléctricos y de Control

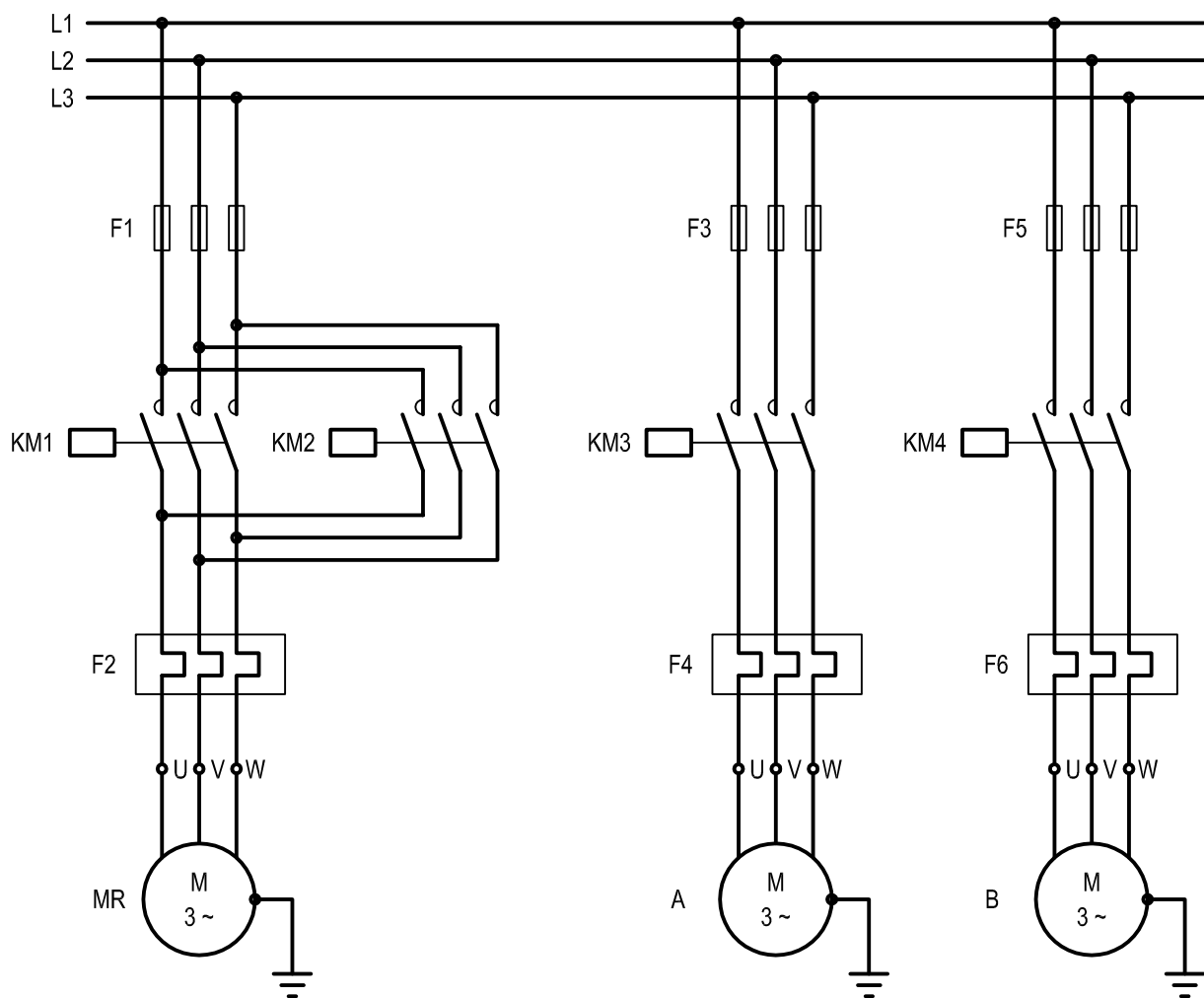
Material:

Tratamiento:

Designación: Accionamiento Válvula de mariposa

Cantidad:

Referencia Nº: 01.10.02.00



LEYENDA			
L1,L2,L3	Red eléctrica 230 / 380 V	MR	Motorreductor, P= 0.12 kW
A	Agitador, P= 2.2 kW	B	Bomba, P= 2.2 kW
F1	Fusibles Motorreductor	F2	Relé térmico Motorreductor
F3	Fusibles Agitador	F4	Relé térmico Agitador
F5	Fusibles Bomba	F6	Relé térmico Bomba
KM1	Final de carrera izquierdo	KM2	Final de carrera derecho
KM3	Contactador Agitador	KM4	Contactador Bomba

	Nombre y Apellidos	Fecha	Firma	Formato:	Escala:	Tolerancias no indicadas UNE-EN 22768-m
Dibujado:	RUBEN CASTAÑO DOMENE	23/09/2011		A4	%	
Revisado:						

Máster en Representación y Diseño en Ingeniería y Arquitectura



Conjunto: *Instalación para la recuperación de lodos procedentes del mecanizado del mármol*

Subconjunto: Esquemas Eléctricos y de Control

Material:

Tratamiento:

Designación: Accionamiento Motores

Cantidad:

Referencia Nº: 01.10.03.00

MASTER OFICIAL INTERUNIVERSITARIO

REPRESENTACIÓN Y DISEÑO EN INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

RESUMEN

Una vez analizadas las diferentes etapas que intervienen en la elaboración del mármol, se puede afirmar que el proceso que genera más residuos es el corte de los bloques. Este proceso se realiza en telares o en cortabloques que necesitan de una mayor refrigeración por agua. De esta manera, de la mezcla del agua de refrigeración y de la granalla producida en el corte se forman los lodos de proceso. El tratamiento de estos residuos consiste básicamente en conducirlos a unos depósitos de decantación para realizar su espesamiento y conseguir, por una parte, un líquido clarificado que vuelve a ser reutilizado en la planta, y por otra parte la obtención de lodos espesados, los cuales se someten a un proceso de deshidratación para ser utilizados como agregado en la producción de hormigón autocompactante.

El presente trabajo pretende mejorar las instalaciones de recuperación de los lodos, por lo que se ha realizado una estimación de la cantidad de residuos generados, la descripción y el análisis de una instalación típica, y se ha llevado a cabo una propuesta de diseño de una instalación equivalente.

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

